

すばる望遠鏡 学生PI現地観測プログラム特集			
巻頭言	プログラム実施にあたって	宮崎聡	244
	化学特異星の近赤外線高分散分光観測と中性子星合体からの 電磁波放射への応用	土本菜々恵	246
	すばる望遠鏡で探るビッグバン元素合成時のヘリウム量	松本明訓	252
	はやぶさ2拡張ミッション探査先小惑星 1998 KY ₂₆ の 可視分光および偏光観測	紅山仁	259
	ホットジュピターの最期を追った掩蔽観測	河合優悟	264
	すばる望遠鏡の現地観測を通じて学んだこと	鈴木善久	272
シリーズ：海外の研究室から			
	海外で研究する，という選択肢—NASA での6年間— Catholic University of America	村松はるか	277
雑報	日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 <i>39th Internatinal Cosmic Ray Conference (ICRC2025)</i>	横山将汰	281
	日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 <i>Solar Polarization Workshop 11 (SPW11)</i>	山崎大輝	282
	日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 <i>TeV Particle Astrophysics 2025 (TeVPA2025)</i>	坂井延行	284
	日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 <i>Dusty Universe 2025</i>	妹尾梨子	285
書評	理科年表 2026	日下部展彦	288
月報だより			289

【表紙画像説明】

「すばる望遠鏡学生PI現地観測プログラム」は、学生主導の観測提案が採択された際、すばる望遠鏡のあるハワイ現地への渡航を支援する制度である。データ生成の現場を肌で学ぶ経験は、将来の研究者育成において極めて重要である。本特集で紹介する参加学生たちの手記からも、現場での感動が研究の理解を深める一助となっていることが見て取れると思う。運用予算が厳しい中、学生を迎え入れる努力を惜しまない現場職員の尽力に深く感謝したい。なお、観測チームの背後にそびえたつのがすばる望遠鏡本体である。

【今月の表紙デザイン】

今月は「細い月とプレアデス星団（すばる）の接近」をモチーフにしました。細い月は適度に暗いため、すばるの光がかき消えることなく双方を観察することができます。条件が良ければ、肉眼でも見えるとのこと。見えたらラッキー！ 乾杯です。

巻頭言



プログラム実施にあたって

宮崎 聡

〈国立天文台ハワイ観測所 650 N Aohoku Pl. Hilo HI96720〉

e-mail: satoshi@naoj.org

ハワイ観測所では、2023年後期（S23B）の観測プロポーザル受付より、大学院生が筆頭提案者（PI）のプロポーザルについて、それが採択された場合には、ハワイ現地での観測旅費を支出する、というプログラムを導入しました。これは大学の先生方からの要望を受けたものでした（東北大学の児玉先生の記事を参照）。幸い多くの応募があり、S26A期までに84件の学生PIプロポーザルが採択され、これまでに延べ28人（重なりを除いた実人数は21名）の大学院生に、実際の観測を経験していただいています。

私達がこのプログラムを実現したいと思ったのは、学生の皆さんに、観測データがどのような過程を経て取得されているのかを、実際に経験していただきたかったからです。遠方より飛来したひとつひとつの光子が、どれだけ多くの人々の努力の結果、データとして記録されているのかを知っていただきたかったからです。また、観測そのものも、天候不良等が原因で、いつも成功するわけではありません。そのように苦労して取得したデータは、多少不完全でも切り捨てることをせず、何とか研究成果を出そうと工夫してくれるでしょう。また、何か新しい発見は、信号かノイズかギリギリのところで見つかるはずで、そのような工夫をした経験がないと、チャンスを見逃してしまいます。さらには、データがどのように記録されるかという過程をありありと理解できた人は、観測装置に足りていない機能は何か、さらに

観測効率を上げるためにはどうしたらよいかと考え始めて、新しい観測装置を着想する人が出てきてくれるかもしれません。

それから、私達には、大学院生の人達に天体観測を実施する観測所という現場を見ていただきたいという希望もありました。そこで働く人々が、どのようなやりがいを持ち、何を面白いと思って仕事をしているのかということは、数字の羅列であるデータを見ているだけでは、なかなか想像できないと思います。「観測」は、自然科学の方法の中で一過程にすぎないのですが、そこにどのくらいの労力と情熱が込められているのかを知ってほしかったのです。

このような数々の期待を持って、学生PIプログラムを実行しようと所内で調整を始めたところ、おどろくほど多くの支持を得ることができました。とりわけ、観測者が来るとなると対応のための業務量が増えるであろうサポートアストロノマーの方々の反応を心配していましたが、全く取り越し苦労で、逆に強い支持をいただきました。観測者のハワイ島内での滞在についても、事務職員の方々が借り上げ宿舎を確保してくださるなど、経費を圧縮するための工夫をしてくださいました。とはいえ、プログラム実施にあたってはハワイ観測所予算から費用を捻出しているわけで、ハワイ・三鷹の職員の皆様には趣旨をご理解いただきながらも、少しずつ不便を我慢してもらっているのは事実です。心より感謝申し上げます。



図1 プログラムの利用者によるマウナケア山頂の観測室での一コマ。手前：PIの高橋宏典氏（東北大学大学院D1）、後方左：萩原颯氏（東北大学大学院M1）後方右：兒玉忠恭教授（東北大学大学院）。

さて、プログラムを実施し始めてから3年あまりが経ちました。実施前まで、すばる観測提案数は年々微減傾向にありましたが、導入後、見事にV字回復に転じました。学生の皆さんがバリバリ提案書を書いてくださったおかげです。それぞれの指導教員の方々の勧めや助言も多くあったのだと思います。ありがとうございます。観測を終えた学生さんには、可能であれば観測所にしばらく滞在して、データ解析の打ち合わせや研究紹介セミナーを行っていただくことをお願いしていました。それが実行され、観測所職員と研究交流している機会を見ることも多くなってきました。今後もこのプログラムが続き、私達が期待したことが



図2 プログラムでハワイに訪した学生によるセミナーの様子（埼玉大学の金井昂大氏）。

少しずつ実現することを願っています。

なお、本特集はプログラム開始の最初の2年（S23BからS25Aまで）の学生さん達に執筆を依頼しました。それ以降に来訪観測を行った学生さん達も、観測結果が出たらぜひ同様の体験記事を月報に投稿していただき、さらに若い人たちにその経験を伝えてくださるとうれしいです。

Student PI Program

Satoshi MIYAZAKI

Subaru Telescope, NAOJ, 650 N Aohoku Pl. Hilo HI96720

Abstract: Aimes of the introduction of Subaru Student PI program that enables their on-site observations are argued.

化学特異星の近赤外線高分散分光観測と 中性子星合体からの電磁波放射への応用



土本 菜々恵

〈東京大学大学院理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1〉
e-mail: ndomoto@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

近年、宇宙における重元素の起源として連星中性子星合体が注目されている。2017年に観測された中性子星合体からの電磁波放射「キロノバ」の可視光・近赤外線スペクトルには複数の吸収線が見られたが、重元素の束縛-束縛遷移の基本的な情報が整備されていなかったことから、元素の同定が困難な状況が続いていた。筆者は博士課程でこの課題に取り組み、キロノバのスペクトルの理解に重要な元素を発見する中で、すばる望遠鏡およびInfraRed Doppler (IRD) を用いた化学特異星の分光観測を提案した。本稿ではその科学的背景、観測提案の詳細と、すばる望遠鏡学生PI現地観測プログラムを利用してハワイ現地を訪れた体験を記す。

1. はじめに

本稿の執筆にあたり、以下の観測提案に至る科学的背景・筆者のこれまでの研究については詳細を書ききれていないことを記しておく。研究の詳細については過去の解説記事 [1,2] を参照されたい。また執筆時点で観測から1年が経過しているが、本観測で取得したデータを用いた論文は未出版のため、結果やデータの詳細については触れないことをお許しいただきたい。

2. 観測提案:「プラズマ実験室」としての化学特異星

2.1 キロノバ

宇宙における元素の起源を解明することは、天文学・宇宙物理学の重要課題の1つである。中でも鉄より重い元素の約半数、特に金やプラチナ、ランタノイドなどの「速い中性子捕獲反応 (rプ

ロセス)」を必要とする元素の起源は未だ明らかでない*1。

rプロセスが起きるには非常に中性子過剰な環境が必要であり、近年、起源天体の有力な候補として、連星中性子星の合体現象が注目されてきた。連星中性子星が合体すると中性子過剰な物質が宇宙空間に放出され、放出物質の中でrプロセスにより重元素が合成される [4, 5]。さらに、合成されたrプロセス元素の放射性崩壊で放出されるガンマ線、ベータ線によって放出物質が熱化され、可視光や赤外線で熱的に光る現象「キロノバ」が見られる [6, 7]。実際、2017年8月に連星中性子星合体からの重力波 (GW170817) が初めて検出され、さらに世界中の望遠鏡を用いた追観測によって電磁波対応天体が発見された [8]。観測された電磁波対応天体の光は予想されていたキロノバの光り方と見事に一致し、確かに中性子星合体でrプロセス元素が合成されたことが確認

*1 残りの約半数の元素は、主に小中質量星の進化の後期段階 (漸近巨星分枝星)、あるいは高速回転する大質量星内部で「遅い中性子捕獲反応 (sプロセス)」によって合成される [3]。

されている [9]. 中性子星合体やGW170817に付随したキロノバの解説については、天文月報の過去の記事 [10–12] を参照されたい。

2.2 元素の同定と原子データ

中性子星合体が本当に宇宙のrプロセス元素の起源であるかどうかを明らかにするうえで重要なのが、一度の中性子星合体で実際に合成される元素の種類や量である。しかし、GW170817に付随したキロノバではこれが長らくわかっていなかった。元素を同定するためには、どの元素がどの波長の光を吸収するかを事前に知っている必要がある、このような束縛-束縛遷移の情報（「原子データ」）は地上の分光実験で原子の性質を調べることで構築される。一方、キロノバではrプロセスで合成されるあらゆる重元素（のあらゆるイオン化状態）の原子データが必要だが、重元素の特に赤外線での原子データはこれまでほとんど整備されておらず、どの元素が吸収線を作るかすらわからない状態が続いていたのだ。筆者が大学院に入学した2020年の時点で、スペクトルから同定が報告されていた元素は、原子の性質が比較的良好に知られているストロンチウム（原子番号38）のみだった [13].

このような状況の下、筆者は博士課程でキロノバの可視光・近赤外線スペクトルにおける元素の同定を目的とした研究を行ってきた。ストロンチウムの同定を独立に検証したほか [14], 近赤外線スペクトルに見られる吸収線をランタンやセリウム（原子番号57, 58）で説明できることを初めて示した [1, 15]. さらに、地上における分光実験の代わりに恒星の分光観測を行うことで、高分散スペクトルに見られるセリウムの吸収線を利用し、特定の束縛-束縛遷移の性質を調べる（具体的には、遷移確率を測定する）ための研究も行った [2, 16].

これらの研究では、元素の同定のために (1) 「妥当な速度で特定の元素の束縛-束縛遷移の遷移波長が観測された吸収線と整合的である」こと（放出物質は光速の10%程度の速度で膨張しているた

めドップラー効果大きい）、(2) 「与えられた物理状況（密度・温度）で特定の元素の束縛-束縛遷移が十分強い吸収を起こす」ことを示したと言える。一方で、我々はまだ重元素の性質や原子データを完璧に理解しているわけではない。元素の同定を確固たるものにするためには、その波長帯において (3) 「それ以外に強い吸収を起こす束縛-束縛遷移が存在しない」ことが必要である。しかし、これには全ての重元素の全ての束縛-束縛遷移について実験に基づいた正確な情報が必要であり、実験的に今すぐこれを達成することは現実的ではない。

2.3 化学特異星

筆者を含むグループは、(3) の観点を恒星のスペクトルを用いて解決することを考えた [2, 17]. 宇宙には「化学特異星」と呼ばれる、通常の恒星に比べて異常な元素組成パターンを示す星が存在する。中でもAp/Bp星（peculiarのp）に分類されるHR 465という星は、太陽組成に比べて1万倍も多いランタノイド（原子番号57–71）の存在量を示すことが知られており、その質量割合はキロノバにおけるランタノイドの質量割合（理論的にあり得るもの）とよく似ていた（図1）。HR

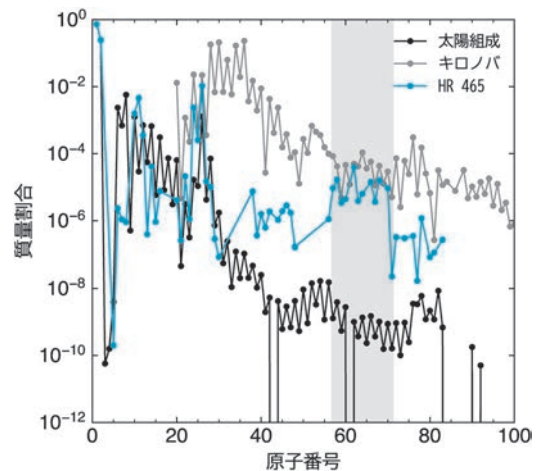


図1 太陽組成（黒） [18], キロノバにおける元素組成の理論モデル（灰色） [14, 15], および化学特異星HR 465における元素組成（青） [19]. 網掛けの領域はランタノイド（原子番号57–71）を示す。

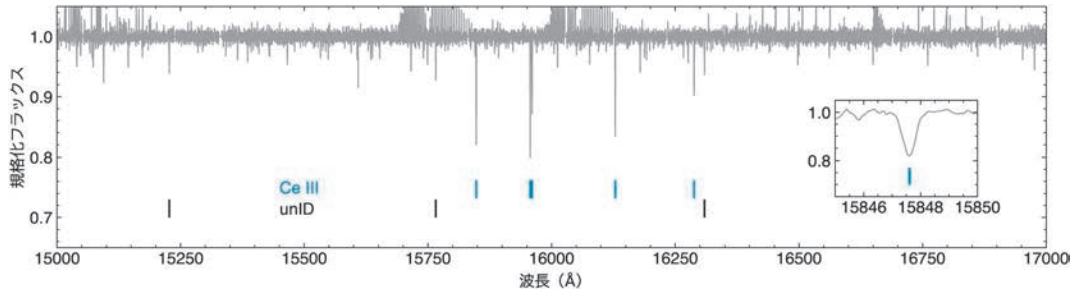


図2 HR 465のHバンドスペクトル [17]. 青線, 黒線はセリウム (二階電離イオン) および未同定の吸収線の位置を示す. 挿入図はセリウムの吸収線の一つの拡大図.

465の恒星大気は密度 $\sim 10^{-10} \text{ g cm}^{-3}$ 程度, 有効温度11000 K程度であり, キロノバの物理状況 ($\sim 10^{-13} \text{ g cm}^{-3}$ 程度かつ数1000 K程度)とは異なる. しかし, プラズマが熱平衡状態にあるとすると, 両者のイオン化状態の分布は似た状態を示す. つまり, HR 465のスペクトルに見られる吸収線を調べることで, キロノバで強い吸収を示しうる, かつ実験室では測られたことのない束縛-束縛遷移を含む, 完全なリストを構築することができる, というわけだ.

すばる望遠鏡のInfRared Doppler (IRD)で観測したHR465の近赤外線高分散スペクトルを調べた結果, 当のストロンチウムとセリウムの遷移波長周辺に, 各元素と同程度に強い未同定の吸収線は存在しないことが明らかになった (図2). つまり観測的に, その波長でキロノバのスペクトルに強い吸収線を作りうる元素はストロンチウムとセリウムだけであることを示すことができたのである (なおランタンについては, 静止波長が地球の大気吸収の影響が大きいJ, Hバンドの間に位置しているため, 星のスペクトルでは検証ができない).

一方, 既に述べたとおり, 恒星大気とキロノバのプラズマ状態は全く同じではない. またランタノイドの存在量は両者で似ているが, 他の元素については必ずしもそうではない. 「完全な」束縛-束縛遷移の情報を得るためには, 更なる検証が必要だと考えた.

2.4 プロポーザル23B-048

このような背景のもとで, 筆者らは様々な有効温度, 様々な元素組成を持つ化学特異星の近赤外線高分散分光観測を提案した. 見逃している未同定の強い吸収線が存在する (しない) かどうか, 本当にストロンチウムとセリウムのみがキロノバのスペクトルにおいて重要なかどうかを検証するためである.

装置には, YJHバンドの近赤外線広域を高分散 ($R\sim 70000$)で観測できるIRDを選択した. 化学特異星のカタログ [20]の中から, 恒星大気パラメータや複数の元素組成が文献で報告されている単独星を選び出し, 最終的にすばる望遠鏡で秋冬に観測可能な星々を観測ターゲットとした.

ちなみに, ターゲットは暗いものでも9等程度で, 口径の小さい望遠鏡でも観測できてしまう. 日本国内にも, 例えば京都産業大学にWINEREDという近赤外線高分散分光器 ($R\sim 30000$)があるが, これはzYJバンドをカバーしており, セリウムの波長域 (Hバンド) はカバーしていない. すばる望遠鏡と同程度の口径のジェミニ望遠鏡にも, 北にGNIRS ($R\sim 18000$), 南にIGRINS ($R\sim 45000$)という近赤外線分光器がある (両装置で取得したデータを使用したこともある [15])のだが, 前者は通常はスリット分光で広域スペクトルを一度に取得することが難しいし, 後者はHKバンドの装置でストロンチウムの波長域 (Yバンド) をカバーしていない. というわけで, 今

回の目的にはIRDが適していたのだった。

3. すばる訪問

3.1 初めてのマウナ・ケア

採択された観測は2024年10月8日に割り当てられた。筆者は学生PI課題の現地観測を希望し、これに合わせて指導教員とともに現地時間10月7日午後ヒロに入った。ご存じの方はプロポーザル番号を見て気づいたかもしれないが、実は本プロポーザルの採択自体は2023年だった。この年の9月にすばる望遠鏡はトラブルに見舞われ、2023年10月に予定されていた当初の観測はキャンセルとなり、学生PI課題ということで2024年に補填いただいたのだった。1年越しの念願かなってのヒロだったわけだが、そのために動いてくださった関係者の皆さまに改めてここで感謝したい。

筆者にとっては初めてのアメリカ、初めてのハワイだったが、ホノルルからヒロへ向かう途中で飛行機の中から見たマウナ・ケアと、その頂上雲の上にポツポツと見える天文台群の小さな影がとても印象的だった。見慣れない楕円状火山だから、飛行機の上から見ても、地上から見上げても、富士山より高い4000mを超える山なのだという実感がなかなか湧かなかったことも面白く覚えている。ヒロ空港からタクシーで山麓施設に辿り着いた後、サポートアストロノマー（SA）の方とともに中間施設のハレポハクに向かった。

3.2 観測

8日夕方まではハレポハクで観測手順書（OPE file）の最終確認などをしながら過ごし、8日前半夜の観測に向かって山頂に登った。筆者は大した登山もしたことがなく、事前情報で4000mの山の上にやや戦々恐々としていたのだが、意外にも、酸素マスクを付けずとも比較的平気だったことは実際に来てみないとわからない発見であった。

10月8日の夜は素晴らしい快晴で、具体的な値は忘れてしまったが、SAの方が驚くほど非常によいシーイングで観測をすることができた。IRD

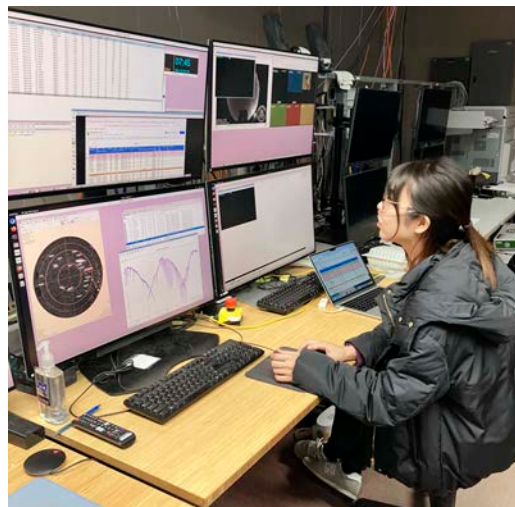


図3 コントロールルームで、即時解析されたスペクトルを確認する筆者。

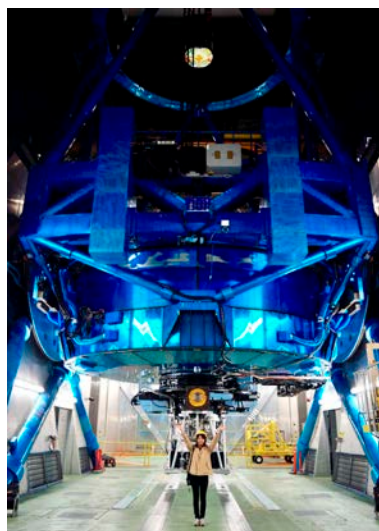


図4 すばる望遠鏡と筆者。

はAOが組み合わさった装置のため、ただでさえよいシーイングに加え、明るいターゲットにAOをかけていたことで、とても良い条件で観測できたことは間違いない。装置の起動には少し時間がかかったが、前半夜中に曇ることはなく、始まってしまえばトラブルも起きず、予定していた以上のデータを取得することができた。

筆者自ら望遠鏡や装置を動かすことはないた

め、観測中はターゲットリストを確認しながら、即時解析されるスペクトルを確認していた(図3)。

3.3 昼のすばる見学

8日の観測時は望遠鏡ドームの隣にある制御棟に入っただけだったが、翌日9日にも再度山頂に登り、ドームの内外を見学させていただくことができた(図4)。望遠鏡本体だけでなく、運用されているあらゆる装置の外観や、主鏡の蒸着装置、さらには当時ファーストライトを目前に控えていたPFS関連の搬入段ボール(!)も見ることができた。訪れた際にはエンジニアリングの方々が働いており、望遠鏡運営が、夜の観測時間以外にも望遠鏡・装置に関わる人々がいて成り立っているのだということを強く実感した。

9日午後には山を下り、ヒロ市内のホテルに宿泊した。そして現地時間10日の午前にはヒロを発ち、日本時間11日夕方には帰国した。たった5日間、滞在時間にして3日間だけの時間だったが、他には代え難い貴重な経験だった。

4. 終わりに

実は、国内外を問わず、このすばる訪問が筆者にとって初めての現地観測であった。一晚、しかも前半夜だけの観測でハワイ現地に行かせていただき、実に贅沢な経験だったと思う。筆者は時間交換枠でジェミニ望遠鏡を使用したことがあるのだが、こちらはキュー観測のため、採択後に観測提案書の詳細を提出してしまえば現地におまかせで、データの取得はメールの知らせ一本だった。それも有り、今は三鷹からリモート参加できてしまうすばる観測が山頂現地でどのように行われているのかドームを管理する人、観測手順書に従って望遠鏡と装置を動かす人、昼間にそれらを支えている人がいることを自身の目で見ることができ、非常に良かったと思うし、現地観測の支援プログラムを運営いただいている意義だと感じている。

はじめに述べたとおり、本稿では観測データの詳細については未公表のため触れなかった。これらの結果については現在解析を進めており、今後速やかに公表できるよう一観測データ一つの背景に多大なる方々の尽力があることを感じながら一取り組んでいる。

謝辞

IRDのSAである工藤智幸氏にこの場をお借りして感謝いたします。本稿に記した現地観測にあたり、観測準備、ヒロでの受け入れから観測所・望遠鏡の案内まで大変お世話になりました。また、プロポーザルのCo-Iである田中雅臣氏、青木和光氏、ヒロでお世話になった岡本桜子氏と、IRDチームの皆さま、そして本稿の執筆の機会を与えてくださった編集委員の方々に感謝いたします。なお、筆者は日本学術振興会特別研究員制度の支援を受けています。

参考文献

- [1] 土本菜々恵, 2024, 天文月報, 117, 17
- [2] 土本菜々恵, 2024, しょうとつ, 21, R007
- [3] Käppeler, F. et al., 2011, Rev. Modern Phys., 83, 157
- [4] Eichler, D., et al., 1989, Nature, 340, 126
- [5] Freiburghaus, C., et al., 1999, ApJ, 525, L121
- [6] Li, L.-X., & Paczyński, B., 1998, ApJ, 507, L59
- [7] Metzger, B. D., et al., 2010, MNRAS, 406, 2650
- [8] Abbott, B. P., et al., 2017, ApJ, 848, L12
- [9] Tanaka, M., et al., 2017, PASJ, 69, 102
- [10] 柴田大, 2018, 天文月報, 111, 730
- [11] 仏坂健太, 2019, 天文月報, 112, 778
- [12] 田中雅臣, 2021, 天文月報, 114, 16
- [13] Watson, D., et al., 2019, Nature, 574, 497
- [14] Domoto, N., et al., 2021, ApJ, 913, 26
- [15] Domoto, N., et al., 2022, ApJ, 939, 8
- [16] Domoto, N., et al., 2023, ApJ, 956, L13
- [17] Tanaka, M., et al., 2023, ApJ, 953, 17
- [18] Asplund, M., et al., 2009, ARA&A, 47, 481
- [19] Nielsen, K. E., et al., 2020, ApJ, 899, 166
- [20] Ghazaryan, S., et al., 2018, MNRAS, 480, 2953

Near-Infrared High-Dispersion Spectroscopic Observations of Chemically Peculiar Stars and Its Application to Kilonova Spectra

Nanae DOMOTO

Research Center for the Early Universe, Graduate School of Science, University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan

Abstract: Binary neutron star mergers are one of the most promising sites for the origin of heavy elements in the universe. The spectra of electromagnetic emission from a neutron star merger, known as a 'kilonova', observed in 2017 showed several absorption lines, imprints of the synthesized elements. However, the lack of fundamental data on heavy elements, such as transition wavelengths, had made element identification difficult. Throughout my Ph.D. studies, I have been working on identifying elements in kilonova spectra. As part of the studies, we proposed spectroscopic observations of chemically peculiar stars using the Subaru/IRD. This article summarizes the details of our proposal, scientific background, and my experience visiting Hawaii through the Student Observation Support Program.

すばる望遠鏡で探るビッグバン元素合成時のヘリウム量



松本 明訓

〈東京大学宇宙線研究所 〒277-8582 千葉県柏市柏の葉 5-1-5〉

e-mail: matsumoto-akinori489@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

原始ヘリウム質量比 Y_p は、ビッグバン元素合成の主要な予言であり、標準宇宙論を拡張したモデルや中性子寿命の測定問題などに対して感度をもつ。近年、銀河の輝線分光に基づく Y_p 測定では、電子密度に敏感な近赤外 HeI λ 10830 輝線の導入により、He/H 推定の不定性の低減が進んでいる。本稿では、 Y_p 推定における極金属欠乏銀河 (EMPG) と HeI λ 10830 輝線の役割を概説したうえで、著者がすばる望遠鏡 MOIRCS を用いて実施した EMPG の近赤外分光観測を紹介する。本観測の一部は、学生PIに対するすばる望遠鏡からのご支援により、ハワイ現地での観測を行うことができた。望遠鏡の運用停止による延期を経て実現した現地観測の体験も観測遠征記と題し紹介する。

1. ビッグバン元素合成

ビッグバン直後の非常に高温の宇宙では、陽子と中性子がバラバラになって激しく宇宙空間を飛び回っていた。宇宙が膨張していくにつれて温度は下がって行くため、やがて陽子と中性子は結合し、宇宙で初めて元素が誕生する。さらに宇宙の膨張が進んでいくと、粒子の密度と温度が下がり元素合成はそれ以上進まなくなる。ビッグバンからおおよそ1-10分ほどの間に起こったとされるこの現象はビッグバン元素合成 [1, 2] と呼ばれ、更なる元素の合成はずっと後の時代、宇宙に星が誕生するのを待ってからとなる。ビッグバン元素合成において合成される元素の種類と量は、宇宙論により高い精度で予言することができる。そのため観測結果とこの予言を比較することで、現在の標準的な宇宙論モデルが、本当に我々の宇宙を記述するかテストすることが可能となる。これまでの観測結果は理論の予言と概ね一致しており、ビッグバン元素合成はビッグバン宇宙論モデルを

支持する強力な証拠の一つとなっている。以下では、主にビッグバン元素合成の主要な産物となるヘリウムに焦点を当てていく。

1.1 ビッグバン合成の生成物

ビッグバン開始以前の十分高温な宇宙では、元素合成の原料となる陽子と中性子は、ニュートリノや電子、陽電子と相互作用しながら平衡状態を保っている。平衡状態とはいえ、宇宙膨張に伴い温度は刻々と変化していくため、中性子と陽子の存在量比も時間とともに変化していく。中性子の質量が陽子の質量より大きいことから、温度の低下に伴って中性子は陽子に対して指数関数的に量を減らしていくことになる。そのためこの後起こるビッグバン元素合成の材料としては、陽子よりも中性子の量がボトルネックとなってくる。この指数的な減少はビッグバン元素合成開始の少し前に、温度低下により平衡状態が保てなくなるまで継続する。その後も中性子はその寿命により僅かに数を減らしていくが、やがてビッグバン元素合成が始まり、原子核に取り込まれていく。

重水素より重い元素が陽子と中性子のみから合成されるには、3体以上の粒子の衝突が必要となる。宇宙空間では粒子の密度が低くこうした反応は殆ど進まない。したがってビッグバン元素合成は、陽子と中性子が一つずつ結合した重水素の合成から始まる。重水素をもとにトリチウム、ヘリウム3 (^3He)、ヘリウム4 (^4He) が合成される。さらにこれらをもとにリチウム (^7Li) やベリリウム (^9Be) も僅かに合成されるが、これらの反応はクーロン障壁が大きくあまり進行しない。また、質量数5と8の安定な原子核が存在しないため、さらに重い元素はほぼ合成されない。そのためビッグバン元素合成で作られる元素は実質的に軽元素に限られる。結局、原料となった中性子は最終的にそのほとんどが最も安定な ^4He 原子核に取り込まれることになる。

つまり、最終的に合成される ^4He の総量は、ビッグバン元素合成開始前に存在した中性子の総量に強く依存する。 ^4He の量は慣例的にバリオンの総量に対する質量比 Y_p で表現され、中性子が全て ^4He に取り込まれると近似すると、その値はおおよそ25%と概算される。一方で観測から、我々の太陽系におけるヘリウムの質量比も25%ほどであることが知られている。これほどの量のヘリウムを恒星内元素合成のみで合成するのは困難であり、この事実はビッグバン宇宙論を支持する大きな根拠の一つとなっている。

ただし当然、ビッグバン元素合成開始前の中性子の量が変化すれば、正確な Y_p の値も変化することになる。先ほど述べたように、中性子は陽子との平衡状態が継続する間に指数的に数を減じていく。仮に当時の宇宙の膨張速度が標準宇宙論で考えられているよりも大きかったとすると、中性子と陽子の相互作用が阻害され、平衡状態がより早く終了する。そのため生き残る中性子の量が増え、 Y_p の値は大きくなる。フリードマン方程式から宇宙のエネルギー密度が高ければ膨張速度は大きくなる。当時は放射優勢期なので、これは未

知の相対論的粒子など、例えばステライルニュートリノなどの存在が候補となってくる [3]。このような宇宙膨張の変化をもたらすエネルギーの存在は、しばしばニュートリノの有効種族数 N_{eff} を用いて表現される。 N_{eff} は大雑把には光子のエネルギー密度に対する、光子以外の相対論的粒子のエネルギー密度の比のようなパラメータとなっている。標準宇宙論では $N_{\text{eff}}=3.046$ となるが、ステライルニュートリノなどが存在すればその分のエネルギーの寄与により、 N_{eff} の値は標準宇宙論の値よりも大きくなる。

宇宙膨張の変化以外に、レプトン非対称性の有無などによっても Y_p の値は変化する可能性がある。ここでレプトン非対称性とは宇宙における電子ニュートリノと反電子ニュートリノの個数密度が異なることを指す。仮に電子ニュートリノが反電子ニュートリノよりも多く存在する場合、ビッグバン元素合成開始前に起こっていた陽子、中性子、ニュートリノなどの粒子の化学平衡状態は、標準宇宙論の予言よりも中性子が少なくなる方向に偏る。これにより、 Y_p の値は小さくなる。

そのため観測的に Y_p の値を求めることで、こうした拡張的なモデルの可能性を探ることが出来る。他にも、中性子寿命の値は陽子-中性子の平衡が切れた後の中性子の減少量を決めるため、 Y_p に影響を与える。しかし現在、実験室における中性子寿命の測定値は、その測定手法によって9秒ほど異なってしまふことが知られている [4]。 Y_p の観測はこうした問題に対しても示唆を与えられると期待される。

1.2 観測からの制限

現状、金属欠乏銀河を用いた手法が最も統計誤差の小さい Y_p の推定値を与えている [5]。銀河の中では、恒星内元素合成によって ^4He も酸素も時間と共に増加していくため、銀河の水素に対する ^4He と酸素の個数密度比 (He/H , O/H) を測定すると、正の相関が見られる。一方でビッグバン元素合成では酸素のような重い元素は合成されな

い。そのため銀河のHe/H-O/H関係をO/H=0の点まで外挿することで、ビッグバン元素合成時のガスのHe/Hを推定することができる。

この手法では、精度良くHe/Hの測定が行われている銀河の大きなサンプルが必要となる。銀河内のある元素の量は、その元素からの輝線のフラックスから推定される。今回の場合、主に銀河内の星からの連続光により電離されたガスから放射された輝線を観測することになる。ただし輝線の強さは電離ガスの各元素の量だけでなく、電子温度や電子密度などの物理量にも依存して放射され、ダストなどによる減光も受ける。加えて実際には、輝線と星からの連続光の重ね合わせを観測することになるが、星の連続光は星自身の大気に含まれるヘリウムと水素により、輝線と同じ波長で吸収を受けている。従って、輝線フラックスからHe/Hを推定するには、これらの影響も同時に考慮して、self-consistentに銀河のガスの物理状態を決定してやる必要がある。これまで、観測された水素とヘリウムの輝線フラックスに対し、Markov Chain Monte Carlo (MCMC) 法で同時にパラメータをフィットする形でHe/Hの推定が行われてきた。

この際、可視光域の水素とヘリウム輝線のみを用いると、He/Hがよく制限できないことが知られている。これは主に、輝線フラックスに対し電子温度と電子密度の値が縮退してしまうことに起因する。この縮退を解くために、近年の研究では可視光域の輝線に加え、電子密度に敏感な近赤外のHeI λ 10830輝線を用いるようになってきた [6, 7]。この輝線はヘリウムのTripletの2Pから2Sの準位の遷移で放射される輝線である。Tripletの2Sから基底準位であるSingletの1Sへの遷移は禁制遷移となるため、Tripletの2S軌道には電子が留まり易い。これらの電子は、エネルギー差の少ない2P軌道には自由電子の衝突励起でも容易に励起される。このためHeI λ 10830は、再結合線が主となる可視の輝線と異なり、電子密度に特に敏感な輝

線となっている [8]。

個々の銀河のHe/Hの決定精度を向上させることに加え、銀河のサンプルサイズも重要である。特に、ビッグバン元素合成時のガス組成に近いと考えられる、なるべくO/Hが低い銀河が鍵となる。ここでは、O/H量が太陽の10%以下しかない銀河を、特に極金属欠乏銀河 (Extremely Metal-Poor Galaxy; EMPG) と呼ぶ。 Y_p 推定において特に重要なEMPGではあるが、その希少さから、これまであまり用いることができなかった。特にHeI λ 10830輝線も含めてHe/Hが求められたEMPGは数個程度しか存在しなかった。

ただし近年、銀河形成の文脈からEMPGが目ざされ、EMPGの探査なども行われるようになった [9-14]。その結果、これまでに可視分光データを備えた数十個ものEMPGが報告されるに至っている。そこで、これを Y_p 推定に活かすべく、これらのEMPGに対する近赤外分光観測がすばる望遠鏡を用いたEMPRESS 3D (PI:大内正己) というプロジェクトの中で行われた [15]。私もプロジェクトに加わり、新たに5個のEMPGについて、HeI λ 10830輝線と既存の可視光輝線を合わせてHe/Hが求められた。過去の研究の銀河サンプルと合わせることでEMPGの数を3個から8個に増やし、外挿が必要なO/H=0付近のギャップを埋めて新たに Y_p が求められた。その結果得られた Y_p は、過去の研究で得られた値よりも 1σ ほど小さくなることが分かった。さらにこの値を宇宙膨張の速度によって説明しようとすると、対応する N_{eff} の値は標準宇宙論の予言する値よりも 2σ ほど低くなる。このような低い N_{eff} を実現するモデルも存在するが、観測の統計誤差がまだ大きく標準宇宙論とのずれをさらに高い精度で検証することが重要である。

2. 新たな観測

EMPRESS 3Dの観測では、天候不良などの影響もあり、当初の見積もりの半分以下の数の

EMPGしか観測をすることができなかった。そこで私は、EMPRESS 3Dの近赤外分光観測を引き継ぎさらにEMPGの数を増やすべく、すばる望遠鏡による観測提案を行った。EMPRESS 3Dの観測時には運用を休止していた多天体近赤外撮像分光装置(MOIRCS)を用い、4晩で約20天体の $\text{HeI}\lambda 10830$ 輝線を取得することを見込んだ提案は無事採択され、2023年10月から翌年1月にかけて、希望通り4晩の観測時間をいただいた。ただし、この年の9月、すばる望遠鏡の主鏡等が破損してしまうハプニングが起こった。その結果、望遠鏡の運用は当面の間休止となり、我々の観測も中止となってしまった。ところが幸運なことに、翌年、キャンセルされた観測のうち学生PIのプログラムについては改めて観測時間をいただき、結局1年遅れで観測が行えることになった。

観測時間は当初の希望通り合計で4晩、2024年10月から翌年1月にいただいた。10月に行われた最初の観測は、天候に恵まれ、2晩の間にEMPGを含む低金属量銀河16天体の $\text{HeI}\lambda 10830$ 輝線を取得することができた。続く11月の観測では、現地ハワイの気温が基準以下まで低下し途中で観測中止になってしまったものの、1天体の観測を行えた。残すは1月12日の13日の合計1晩の観測となる。

現在すばる望遠鏡は基本的にリモートで観測が行われており、我々の11月までの観測も三鷹のリモート観測室からの観測であった。ただし学生PIのプロジェクトについては、その課題の期間中に一度だけ現地観測の受け入れと旅費のサポートをすばる望遠鏡から受けることができる。そこで、これを利用して、最後の観測は現地に直接赴いての観測を行うことにした。以下ではその時の様子を観測遠征記と題して紹介させていただく。

3. 観測遠征記

観測前日の1月11日にハワイ島へ到着した。現地で、指導教員の大内正己さんおよび研究室の



図1 ハレポハクにある宿泊施設。撮影時は雲の上となっていた。

後輩で共同研究者の柳澤広登さんと合流し、大内さんの運転ですばる望遠鏡のあるマウナケアへ向かった。道中では、大内さんに教えていただき、ロコモコ丼発祥の店と言われるCafe100で昼食を取ることができた。また、地元で有名なチョコレートクッキーの工場にも案内していただき、短い時間ではあったが、ハワイ島の雰囲気を感じながら移動することができた。

その後、マウナケア標高2,800 mのハレポハクの宿舎(図1)に到着し、標高に体を慣らすため、その日はそのまま一泊した。翌日から観測が始まり、ハレポハクから山頂のすばる望遠鏡までは、観測準備の段階からお世話になっているSupport Astronomerの田中壺さんに運転していただいた。田中さんのご厚意により、通常より少し早い時間帯に山頂へ上がることができ、観測開始前にすばる望遠鏡の内部を案内していただく貴重な機会を得た(図2)。

実際に目の前で見たすばる望遠鏡は、これまで写真や数値を通して理解していたものとは比べものにならないほどの迫力があり、強い印象を受けた。望遠鏡には今回の観測で使用する分光装置MOIRCSが取り付けられており、実物の望遠鏡と装置を前に、田中さんと大内さんから詳しい解説をしていただいた。これまでのリモート観測で



図2 見学時に撮影したすばる望遠鏡.



図3 初日の観測終了直後のすばる望遠鏡の上空. 終盤は画像右に映る雲によって、邪魔をされてしまった.

は、自身の観測であってもどうしても現実感が薄く感じられ、気がつくデータが手元にある、という感覚もした。しかし、現地で実際の望遠鏡や観測装置を目にし、説明を受けたことで、観測がどのように行われているのかを具体的にイメージできるようになった。

すばる望遠鏡の見学を終えた後、いよいよ観測が始まった。観測は別室に移動して行われるため、山頂での観測であっても、結局実際に観測中に眺めるのはリモート観測の際とほぼ同じモニター画面である。ただし、リモート観測の場合には、現地にいる Support Astronomer の方とのやり取りのため、モニターの一つにはすばる望遠鏡の観測室の様子も映し出されている。これまで画面越しに見ていた観測室に、今回は自分自身が実際に立っているという状況に不思議な満足感を感じた。

初日の観測は非常に順調で、天候にも恵まれた。基本的に快晴が続き、前半夜だけで6天体を観測することができた(図3)。観測の終盤には空の一部に雲がかかり、ちょうど観測対象となっていた天体が見えなくなる場面もあったものの、過去の EMPRESS 3D の観測では半夜で多くても

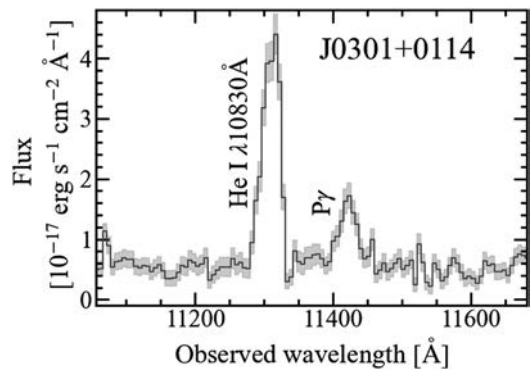


図4 現地観測初日に得られた天体のスペクトルの例 [16].

3-4天体程度しか観測できなかったことを考えると、初日の成果は満足だった。観測は前半夜のみであったため、作業が終了したのは深夜1時ごろである。日没前に建物へ入っていたが、観測終了後に外へ出て見ると空には美しい夜空が広がっていた(図4)。ただし、事前に抱いていた「無数の星が肉眼で見える」というイメージとはやや異なっていた。田中さんの話によれば、山頂は空気が非常に澄んでいる一方で、酸素濃度が低いため視力がやや低下するというトレードオフがあるとのことである。

2日目は、観測開始前に山頂周辺を車で案内していただき、Keck望遠鏡をはじめとする他の観測施設を間近で見学することができた。また、初日は十分に見るができなかったマウナケア山頂からの眺望も楽しむことができ、氷河や火口によって形成されたという独特の地形は非常に印象的であった。

一方で、2日目の観測は前日とは対照的に天候に恵まれず、終始曇り空が続いたため、残念ながら1天体も観測することができなかった。このような状況は過去のリモート観測でも何度も経験してきたが、改めて天候に大きく左右される観測の難しさを実感した。しかし、その分時間に余裕ができたことで、柳澤さん、大内さん、田中さんと今後の新しい観測計画についてじっくり議論することができ、有意義な時間でもあった。

観測翌日には、すばる望遠鏡のヒロ山麓施設においてセミナー発表の機会をいただいた。飛行機の時間の都合もあり、やや慌ただしい発表となってしまったが、参加してくださった方々、ならびに発表の機会をアレンジしてくださったハワイ観測所の小野寺さんには、この場を借りて感謝申し上げます。

結果として、2日間の観測で得られたデータは6天体分となり、全体としてはまずまずの成果を得ることができた。なお、今回の観測で得られた天体は、柳澤さんが中心となって解析し、新たに Y_p の測定に用いられた。結果は論文にまとめられ、*Astrophysical Journal*に投稿されている [16]。

今回現地で実際に望遠鏡や観測装置を目にし、運用の様子を間近で体験したことで、これまでデータや画面越しでは把握しきれていなかった望遠鏡の仕組みを、より具体的に理解できるようになった。また、観測が多くの人々の支えによって成り立っていることを実感し、現地観測ならではの学びを得る貴重な機会となった。

加えて、現地での観測はやはりリモート観測に比べて大きな楽しさがあり、強く印象に残る体験

であった。実際に、私自身だけでなく周囲の友人にとっても、このような現地観測の機会があったことは、本分野に興味を持つきっかけの一つとなっていた。今後も学生が現地ですばる望遠鏡の観測を体験できる機会が継続して提供されることを願っている。

謝辞

本稿の科学的な内容は、筆者らが発表した投稿論文 [15, 16] に基づいている。論文執筆にあたり、指導教員の大内正己さん、柳澤広登さん、播金優一さん、川崎雅裕さん、村井開さんをはじめとし、共同研究者の方々に多大な協力をいただきました。特に、今回の観測で得られたデータは柳澤広登さんに中心となって解析を行っていただきました。またこの研究は望遠鏡運用にご尽力されている方々、観測のサポートをしていただく Support Astronomerの方々など多くの方々のお陰で成り立っています。この場を借りて御礼申し上げます。最後に今回の現地観測について、移動や案内をしてくださった大内正己さんに改めてお礼申し上げますとともに、観測全体を通して手厚いサポートをしてくださった田中壺さんに心より感謝いたします。また、現地観測の受け入れや旅費のサポートを行ってくださったすばる望遠鏡関係者の皆様にも、深く多大なる感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] Iocco, F., et al., 2009, *Phy. Rep.*, 472, 176
- [2] Steigman, G., 2007, *Ann. Rev. Nucl. Particle Sci.*, 57, 463
- [3] Hamann, J., et al., 2011, *Nucl. Phys. B Proc. Suppl.*, 217, 72
- [4] Wietfeldt, F. E., & Greene, G. L., 2011, *Rev. Modern Phys.*, 83, 1173
- [5] Workman, R. L., et al., 2022, *Prog. Theor. Exp. Phys.*, 2022, 083C01
- [6] Aver, E., et al., 2015, *J. Cosmol. Astropart. Phys.*, 2015, 011
- [7] Hsyu, T., et al., 2020, *ApJ*, 896, 77

- [8] Osterbrock, D. E., 1989, *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei*
- [9] Kojima, T., et al., 2020, *ApJ*, 898, 142
- [10] Kojima, T., et al., 2021, *ApJ*, 913, 22
- [11] Isobe, Y., et al., 2021, *ApJ*, 918, 54
- [12] Xu, Y., et al., 2022, *ApJ*, 929, 134
- [13] Umeda, H., et al., 2022, *ApJ*, 930, 37
- [14] Nakajima, K., et al., 2022, *ApJS*, 262, 3
- [15] Matsumoto, A., et al., 2022, *ApJ*, 941, 167
- [16] Yanagisawa, H., et al., 2025, arXiv e-prints, arXiv:2506.24050

Exploring The Primordial Helium Abundance at Big Bang Nucleosynthesis with the Subaru Telescope

¹Akinori MATSUMOTO

¹*Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8582, Japan*

Abstract: The primordial helium mass fraction, Y_p , is one of the key predictions of Big Bang nucleosynthesis and is sensitive to extensions of the standard cosmological model as well as to uncertainties in measurements of the neutron lifetime. In recent years, measurements of Y_p based on nebular emission-line spectroscopy of galaxies have significantly improved through the incorporation of the near-infrared He I λ 10830 emission line, which is highly sensitive to the electron density and helps to reduce uncertainties in He/H abundance determinations. In this article, we first review the roles of extremely metal-poor galaxies (EMPGs) and the He I λ 10830 emission line in estimating Y_p . We then present near-infrared spectroscopic observations of EMPGs carried out by the author using the MOIRCS instrument on the Subaru Telescope. Part of these observations was conducted on-site in Hawaii with support from the Subaru Telescope for a student principal investigator. We also describe the experience of this on-site observing run, which was realized after delays caused by the temporary suspension of telescope operations, in the form of an observing expedition report.

はやぶさ2拡張ミッション探査先小惑星 1998 KY₂₆の可視分光および偏光観測



紅 山 仁^{1,2}

¹コートダジュール大学 コートダジュール天文台 ラグランジュ研究所 Bd de l'Observatoire, CS 34229, 06304 Cedex 4

²東京大学 〒113-9933 東京都文京区本郷 7-3-1

e-mail: jinbeniyama@gmail.com

2024年6月上旬に、すばる望遠鏡学生PI来訪プログラムを通じてマウナケア山頂での観測を実施しました。メインミッションを終えて地球に帰還したはやぶさ2が拡張ミッションとして向かっている地球接近小惑星1998 KY₂₆の観測という提案内容です。あいにく自然現象に味方されず観測データを得ることはできませんでした。提案の背景、実際の観測の様子、および他の望遠鏡を用いた1998 KY₂₆の観測結果について紹介いたします。

1. 背 景

日本の小惑星探査機「はやぶさ」と「はやぶさ2」は、イトカワおよびリュウグウへの探査を通じて、目覚ましい成果をもたらしました。その成功を支えた要因として、探査に先立って行われた多数の望遠鏡観測が挙げられます。これらの観測により、対象小惑星の物理特性（サイズ、形状、自転状態、物質組成、反射率など）が事前に推定されていました [1-4]。それらの情報をもとに、探査機のカメラのゲイン調整などが行われるため、探査先小惑星の物理特性は必須の情報と言えます。実際、望遠鏡観測の結果の多くは探査機によるその場観測の結果とよく一致しており、事前観測の重要性が示されています。また近年、地球に接近する軌道をもつ小惑星（地球接近小惑星）の探査数は増加傾向にあり、より科学的価値の高い天体への探査が重視されるようになっていきます。さらにここ数年で、位置天文観測装置Gaiaの精密な位置測定により地球接近小惑星の掩蔽予報までもが実現し、探査先小惑星のサイズに制約が与えられています [5, 6]。探査結果の科学的価値を最大化するためにも、望遠鏡観測による詳細

な特徴付けは極めて重要です。

今回私たちが提案したのは、1998 KY₂₆という（2023年提案時の）推定直径30 mの小さな小惑星の可視分光および偏光観測です。1998 KY₂₆は1998年に地球から80万kmの近傍を通過し、その接近途中に発見されました。撮像観測およびレーダー観測が実施され、当時最速となる周期10.7分で回転している小天体であることが発表されました [7]。地球に近づいたことで観測された面白い天体でしたが、当時はミッション探査先として選ばれていたわけではありませんでした。

「はやぶさ2」は2014年に打ち上げられ、2018年にメインターゲットの小惑星リュウグウに到着しました。その後2020年にリュウグウのサンプルを携えて地球に帰還し、見事サンプルリターンを成功させました。そしてサンプルを切り離れた「はやぶさ2」は、そのまま次の旅（拡張ミッション）に出発しました [8, 9]。こうして始まった拡張ミッションは2026年の小惑星トリフネどのフライバイを経て、2031年に1998 KY₂₆とのランデブーを予定しています。

最終目的地として選ばれた1998 KY₂₆は、地球からアクセスしやすい軌道であることも選択理由



図1 1998 KY₂₆の天体暦. 図中の横向きの破線で示されている8 m級望遠鏡の分光・偏光観測限界 (V=23) は, 天体のスペクトルエネルギー分布および偏光度に依存するためあくまで参考値です.

の一つですが, 高速自転する小さな小惑星を探索するという科学的な興味深さも考慮されました. これまでに40,000個以上発見されている, 地球接近小惑星の多くは, 火星と木星の間にあるメインベルトからやってきたと考えられています. その過程では太陽からの光によって表面が温められることで生じる微小な力が, 長期的には軌道変化を引き起こす現象も作用していると考えられています. つまり, 地球接近小惑星の起源や力学的進化を理解するためには熱物性や内部構造の理解が不可欠です. 1998 KY₂₆のように高速で自転する小惑星は, 強い遠心力の影響により, 重力だけではラブルパイル構造を維持できません. 高速自転小惑星はウルルのような一枚岩なのか, あるいは表面にレゴリス層を保持しており, その粒子間の粘着力によって構造が維持されているのか, その内部構造や表面様相についてはまだ十分に理解されていません. これらの理解が進めば, 小惑星の力学史をより正確に評価することが可能になります.

直径が小さい1998 KY₂₆は暗く, すばる望遠鏡などの大型望遠鏡を用いても観測することは容易ではありません. (2023年提案時には) 1998年以降, 軌道の不確実性を小さくするための位置観測のみが行われていました. 1998 KY₂₆の直径, 自転状態, 物質組成, 反射率は強い制約が得られておらず, はやぶさ2拡張ミッションの探査を成功させるためにも, 追加の観測が求められていました.

そのようななか1998 KY₂₆は2024年に26年ぶ

りに地球に接近し, 1998年ほどではないものの見かけ上明るくなりました (図1). 8 m級望遠鏡を使えばさまざまな特徴づけ (たとえば分光, 偏光) が可能な明るさです. 前回とは大きく異なり, 1998 KY₂₆は高速自転するミッション探査先小惑星です. 世界の大型望遠鏡が競って観測することは明らかであり, その中ですばる望遠鏡で観測しない方が不自然な状況でした. そこで日本でミッション探査先小惑星の観測を担ってきた先輩方にお力添えをいただき, 観測提案を執筆しました. 小惑星の物質組成を知る基本的な手法である分光観測に加え, その反射率を推定するために, 大きな太陽位相角での偏光撮像観測を提案しました (例えば, [10–12]). 8 m級望遠鏡での偏光観測という, 世界的にも限られた手法を用いることができる点がすばる望遠鏡を使う大きな利点であると考えました.

また, すばる望遠鏡は私にとって長年憧れの地でした. さらに, 観測提案の募集があった時, 私は「微小な高速自転小惑星」というテーマを含む博士論文を執筆中でした. まさに1998 KY₂₆のような小惑星に関連する内容です. はやぶさの影響を受けて天文学者を志した私にとって, 1998 KY₂₆を観測しない理由はありませんでした.

2. いざ, 観測へ

観測提案の採択通知が届いたのは, 2023年12月のことでした. 博士論文を執筆中のタイミング

での嬉しい知らせであり、そのことは今でも鮮明に覚えています。採択通知が届いたその日から晴天を祈りつつ、観測に備えました。

年明けの1月には担当のSupport Astronomer (SA)である青木さんと三鷹でお会いする機会があり、観測準備について相談に乗っていただきました。4月になり、ポスドク生活を開始するためにフランスに異動したため、その後の観測準備は主にメールで進めました。最終調整は、観測前日に中間宿泊施設ハレポハクで行いました。

2.1 24時間かけてフランスからハワイへ

私がポスドクをしていた南仏ニースからすばる望遠鏡のあるハワイ島までは、どうしても複数回のトランジットが必要です。往路はパリ、サンフランシスコ、ホノルルでの3回のトランジットを経て、ハワイ島に到達しました。経度にして地球の裏側にあるハワイへの24時間の旅は長く、楽しみにしている観測のためといえど疲れを感じました。さらに道中、すばる望遠鏡があるハワイ島の活火山キラウエアの活動が活発化しているという、耳を塞ぎたくない知らせが飛び込んできました。トランジット時間に余裕がなく、詳しく調べることができませんでしたが、アメリカ本土からハワイへの飛行機の中でも、私はそわそわして落ち着きませんでした。

ホノルルに到着してすぐ、気になっていたキラウエアについてスマートフォンで調べ、活動が活発になっているというのはどうやら本当らしいということがわかりました。なお米国でのデータ通信が有料のプランに加入していたため、すぐさま「海外で携帯電話を使用したので60ユーロ（当時のレートで約1万円）請求します」という旨のメールが届きました。加えて、ハワイ島でのホテルの予約メールが見つけれず、（長時間フライトの疲れと時差の影響で）そもそも予約していないという結論にいたり、トランジット中に急いで予約しました。わずかに1時間の国内線の後、空港からタクシーを利用してようやくハワイ島のホテ

ルに到着しました。ホテルでは「あなたの名前で2部屋予約が入っています」と告げられました。疲れているときに予期せぬことが起こると、人間は思わぬミスをしてしまうものだと、改めて実感したのでした。同時に、ここまで不運が続いたのであれば、観測ではよい結果が得られるのではないかという非科学的な気持ちを抱いたことも覚えています。

2.2 山頂観測

私たちの観測が割り当てられたのは後半夜の2晩で、それぞれ可視分光観測、偏光観測を実施する予定でした。夜間に山頂に上がるのではなくSAの青木さんと同じタイミングで、夕方から山頂に上がり観測に備えました。山頂での滞在時間は長くなりましたが、観測前にゆっくりと過ごすことができ、体力的な負担は感じませんでした。

両日ともによく晴れました。しかし、初日はキラウエアの火山活動の影響でチリが舞っていて、観測所の規則によりドームを開けることができませんでした。二日目はチリの量も落ち着き、前半夜の観測は実施されました。晴天が継続することを祈る時間は、現地観測ならではの醍醐味です。前半夜の観測者の邪魔にならないように観測準備を進めました。しかしその願いも虚しく、ちょうど前半夜の観測が終わる頃には湿度が高くなり、ドームが閉められました。結局、後半夜は二日連続でドームを開けられず、私の山頂観測は美しい朝焼けとともに終わりを迎えました（図2）。

3. 結果

私が担当した観測時間中、すばる望遠鏡のドームが開くことはなく、1998 KY₂₆の観測データは得られませんでした。それでも、同時期に行われた世界中の他の望遠鏡による観測により、1998 KY₂₆の理解は大きく進展しました。ここで、自身が関わった観測も含め以下にそれらの結果を簡潔にまとめます。

1) 超大型望遠鏡 Very Large Telescope (VLT) を



図2 観測後の集合写真。観測データは得られなかったものの笑顔を見せる3名。左から夜間オペレータのAidan, 筆者, SAの青木さん。ディスプレイに映っているのはオンラインで参加して下さった共同研究者の浦川さん, 吉田さん, 関口さん。

用いた熱赤外線観測から、直径が従来の推定よりも小さく、17 m以下であるという報告 [13]

- 2) ジェミニ北望遠鏡を用いた可視分光および多色撮像観測から、スペクトル型がXe-type (Bus-DeMeo分類) であるという報告 [14]
- 3) ビクター・M・ブランコ望遠鏡, VLT, カナリア大望遠鏡 Gran Telescopio Canarias (GTC), ジェミニ南望遠鏡を用いた測光観測, および1998年の観測データの再解析により, これまで考えられていたよりも自転周期が短く(1998年の推定値の半分の5.35分), また直径が小さい(11 m)という報告 [15]*1

4. 終わりに

観測後は一休みしてから山麓に戻り, ハワイの郷土料理Laulau(お肉を葉っぱで包んだ蒸し焼き料理)をいただきながら身体を休めました。

帰りの便では, 24時間に及ぶフライトの終盤に目的地着陸(ダイバート)を経験し, カナダのガンダー国際空港で一夜を明かすことになりま

した。その影響で以降のトランジット予定も大きく崩れ, 自宅のあるニースに戻るのは, 当初の予定より2日遅れる結果となりました。

振り返ってみると, 往路から復路に至るまで予期せぬ出来事が続いた観測でした。それでも, マウナケア山頂での現地観測は何ものにも代えがたい経験です。近年, 世界的に望遠鏡観測のリモート化が進み, 観測時間を獲得しても現地観測を受け入れていない天文台は少なくありません。今回は現地で観測データを得ることはできず, 科学成果には結びつきませんでした, この現地観測を通じて研究への強いモチベーションを得ることができました。また本経験を通じて, 改めてマウナケアを訪れ, 天候にも恵まれた条件下で観測データを取得するという新たな目標もできました。今後も学生PI来訪プログラムが継続され, 多くの学生が現地観測を経験し, それぞれにとってかけがえのない学びを得ることを願っています。

謝 辞

観測提案共著者の石黒正晃氏, 黒田大介氏, 高橋隼氏, 関口朋彦氏, 浦川聖太郎氏, 吉田二美氏, 酒向重行氏に深く感謝いたします。また, 観測準備からハワイ滞在に至るまで多大なるご支援をいただいた, SAの青木賢太郎氏に御礼申し上げます。フランス発着で高額かつ複雑, さらにダイバートによる延泊も相まってより煩雑になった出張手続きをスムーズに進めていただいた関係者の皆様に心より感謝いたします。最後に, 担当SAではないにもかかわらず, 休日を割いて出国前にハワイ島の魅力を伝えて下さった寺居剛氏のお心遣いに感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Sekiguchi, T., et al., 2003, A&A, 397, 325
- [2] Ishiguro, M., et al., 2003, PASJ, 55, 691
- [3] Hasegawa, S., et al., 2008, PASJ, 60, S399

*1 詳細はヨーロッパ南天天文台によるプレスリリース記事<https://www.eso.org/public/news/eso2515/>をご参照ください。

- [4] Ishiguro, M., et al., 2014, *ApJ*, 792, 74
- [5] Yoshida, F., et al., 2023, *PASJ*, 75, 153
- [6] Arimatsu, K., et al., 2024, *PASJ*, 76, 940
- [7] Ostro, S. J., et al., 1999, *Science*, 285, 557
- [8] Hirabayashi, M., et al., 2021, *Adv. Space Res.*, 68, 1533
- [9] Kikuchi, S., et al., 2023, *Acta Astron.*, 211, 295
- [10] Kuroda, D., et al., 2018, *A&A*, 611, A31
- [11] Ito, T., et al., 2018, *Nat. Commun.*, 9, 2486
- [12] Shinnaka, Y., et al., 2018, *ApJ*, 864, L33
- [13] Beniyama, J., et al., 2025, *AJ*, 169, 264
- [14] Bolin, B. T., et al., 2025, *AJ*, 169, 303
- [15] Santana-Ros, T., et al., 2025, *Nat. Commun.*, 16, 8275

Observation Proposal: Visible Spectroscopy and Polarimetry of the Hayabusa2 Extended Mission Target Asteroid 1998 KY₂₆

Jin BENJYAMA^{1,2}

¹*Université Côte-d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS, Laboratoire Lagrange, Bd de l'Observatoire, CS 34229, 06304 Nice Cedex 4, France*

²*Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan*

Abstract: We carried out observations at the summit of Maunakea through the Subaru Telescope Student PI Visiting Program in early June 2024. The proposal aimed to observe the near-Earth asteroid 1998 KY₂₆, which Hayabusa2 is heading toward as part of its extended mission after returning to Earth upon completion of its primary mission. Unfortunately, natural phenomena prevented us from obtaining observation data. We introduce the background of the proposal, describe the actual observing experience, and summarize observational results of 1998 KY₂₆ obtained with other telescopes in 2024.

ホットジュピターの最期を追った掩蔽観測

河合 優 悟

〈東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻 〒153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1〉

e-mail: yugo6581@g.ecc.u-tokyo.ac.jp



トランジット法による系外惑星の観測の利点の一つは、惑星の公転周期を非常に高い精度で決定できることである。仮に周期性に乱れが見られれば、そこから惑星のケプラー運動に摂動をもたらす第二の惑星の存在や、潮汐散逸の効率などを推定できる。これまで後者については、期待される公転周期の減衰が観測スパンに対して小さいという問題があった。しかし系外惑星の発見から30年が経ち、いくつかの惑星でこの検出が可能になるようとしている。本稿では、軌道減衰の検出2例目を目指し、すばる望遠鏡MOIRCSを用いて追観測を行った短周期巨大ガス惑星（ホットジュピター）WTS-2bについて報告する。末尾には「すばる学生観測支援プログラム」でのすばる来訪記を記した。

潮汐による惑星の軌道減衰

月が引き起こす潮汐によって地球の自転は年々遅くなり、月は我々から遠ざかっている。これは、地球の自転が月の公転より速いからである。これによって月の潮汐力による地球の表面の膨らみ（潮汐バルジ）の最高点が常に月より先行するため、バルジが月を引っ張るようにトルク（潮汐トルク）が働く。これが月を加速し、その軌道を外側へ押し広げる [1]*1。

自転と公転の速度の関係によっては逆のことが起こる。例えば恒星とそれを数日という短周期で公転する惑星では、多くの場合惑星の公転の方が恒星の自転より速い。すると今度は惑星が恒星の潮汐バルジを常に先行し、惑星がこれを引きずる格好になる。この時、惑星の公転から主星の自転へと角運動量が輸送され、惑星の軌道は内側へ移動（軌道減衰）する [3]。

このような軌道減衰がどのくらい効率的に起こるかは、恒星内部での潮汐摩擦によるエネルギーの散逸（潮汐散逸）効率による。逆にいえば、軌道減衰を直接検出し、この効率を制約することは、恒星の内部構造を理解する一つの手がかりとなる。さらには、軌道減衰の制約を用いて時間を巻き戻すことで、軌道減衰前（すなわち惑星形成・移動*2完了時）の惑星がどの位置に存在していたかの情報も得ることができる。このような研究の可能性は以前から指摘され、観測も多く行われてきたが、期待される軌道減衰の程度が、観測スパンに対して小さいことが問題であった [4]。

しかし、太陽以外の恒星を公転する太陽系外惑星の発見から30年が経ち、一部においてこの検出が現実的になりつつある。2019年には短周期の巨大ガス惑星（ホットジュピター）WASP-12bの公転周期が一年で約30ミリ秒減少していることが発見された [5, 6]。加えて、ホットジュピ

*1 このことを初めて提唱したジョージ・ダーウィンは、あのチャールズ・ダーウィンの息子である。定性的にはそれ以前、1754年に哲学者カントが同じ主張をしていた [2]。月の軌道の拡大はアポロ計画によって実証された。

*2 後述の通り、惑星は原始惑星系円盤で形成された後、（軌道減衰以前にも）様々な機構によって移動する。

ターの軌道減衰を間接的に示唆する観測的証拠もいくつか存在している。例えば、ホットジュピターの存在確率は恒星の年齢とともに減少することが知られている [7, 8]。これは軌道減衰によって惑星が主星に飲み込まれた結果と解釈できる。一方で、これらの直接的な証拠と間接的な証拠からそれぞれ制約された潮汐散逸の効率には一桁の不一致がある。軌道減衰の検出例は現在 WASP-12b の一例のみであり、今後より多くの惑星についての検出からこの不一致の原因が解明されることも期待される。

ホットジュピターのトランジット観測

我々は現在、この軌道減衰の検出2例目を目指し、さまざまなホットジュピターのトランジット観測を行っている。トランジットとは、我々の視線上で、惑星が公転する恒星（以下、主星）の前面を通過する現象である。トランジットは一周期に一度起こるため、その時刻は惑星の公転周期を記録する高精度の「時計」に相当する。これを用いてわずかな周期性からの逸脱を検出できれば、軌道減衰の存在を示す重要な手がかりとなりうる。

潮汐トルクは軌道距離の -6 乗と惑星質量の 2 乗に比例するため、短周期で大質量のホットジュピターは絶好の観測ターゲットである。その中でも、今回紹介する WTS-2b^{*3} は2007年の初観測から20年近くが経過したK型星周りのホットジュピターである [9]。公転周期は約1日で、惑星が主星の重力によって潮汐崩壊してしまうロッシュ限界のすぐ外側に存在している。この事実は、軌道減衰を検出する可能性を高めるうえで重要である。

なぜ重要であるかには、ホットジュピターの形成過程が関係している。ホットジュピターはその

大きさから、現在の位置よりも外側の軌道で形成されたのち、内側へと移動することで生まれると考えられている。移動の有力なシナリオの一つは、伴星や他の惑星による重力的摂動によって軌道離心率（以下、離心率）が大きく励起される高離心率移動（high-eccentricity migration）と呼ばれるものである [10]。高離心率によって近点付近で惑星は主星に接近し、その際の潮汐散逸によって軌道が徐々に円形化しながら縮小する。

重要なのは、このような移動では離心率最大時の近点距離が、惑星が潮汐破壊されてしまうロッシュ限界を下回ってはいけないという点である。これに加えて、移動完了時の軌道長半径は高離心率時の近点距離の約2倍になることが角運動量保存から知られている [11]。結果として、図1に示すように、高離心率移動完了時の軌道長半径はロッシュ半径の2倍より大きくなければならない。すると WTS-2b のような現在ロッシュ限界のすぐ外側に存在しているような惑星は、高離心率移動のみでは説明できない。高離心率移動完了後に、更なる軌道減衰によって現在の位置に到達させる必要がある^{*4}。

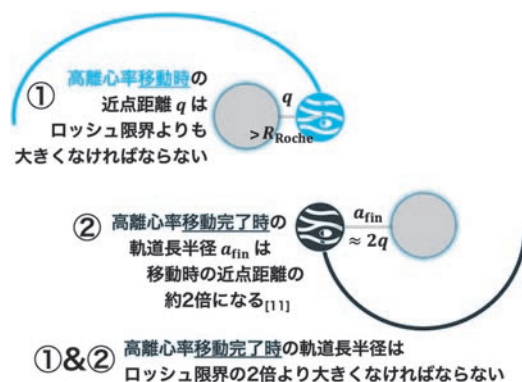


図1 高離心率移動で達成可能な最小の軌道長半径がロッシュ限界の約2倍となることを示す概念図。

^{*3} WTSは惑星を発見した WFCAM Transit Survey の略で、WFCAMはイギリス赤外線望遠鏡に設置された Wide Field CAMera の略である。

^{*4} ほかによりスムーズに円盤内を移動して形成されたという可能性もある。

このことから、我々はWTS-2bの軌道減衰を検出できる可能性が高いと考えた。そして、岡山、テネリフェ、ハワイに設置されている多色測光カメラのMuSCATシリーズ [12]*5を使い2年間にわたりこのホットジュピターのトランジット時刻を測定してきた。このターゲットは比較的暗く、トランジットのSN比を高くするためには露光時間を伸ばさなければいけない。その結果、一般的な観測装置ではトランジット時刻を地上から高い精度で決定することが難しい。一方で、

MuSCATシリーズは3-4色の異なる波長帯で同時に撮像するため、露光時間を伸ばしながらも高い時間分解能での観測が可能である*6。例えば、WTS-2bのトランジット時刻は10秒程度の精度で決定できる。

図2は、発見に用いられたプロジェクトや観測装置であるWTSに加え、Zwicky Transient Facility (ZTF), Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS), MuSCATの観測からそれぞれ求めたWTS-2bの公転周期を示している。発見当時と見比べると、公転周期が200ミリ秒ほど短くなっている。この変動が軌道減衰によるものであれば、主星のWTS-2における潮汐散逸はWASP-12同様の証拠からの示唆より1桁以上効率的であることになる。この場合、我々は惑星が潮汐破壊に至る直前の極めて限られた瞬間を偶然観測しているということになる。

この真偽を確かめるためには、軌道減衰以外の原因によるトランジット時刻の変化も検討する必要がある。そのような偽陽性の要因の代表例が、惑星の近点歳差である*7。惑星が楕円軌道にあるとき、ケプラー運動に小さな摂動が加わると惑星の近点は歳差することが知られている [13]。図3に示すように、近点が歳差する惑星系ではトランジットが発生する位相が回を追うごとに変化して

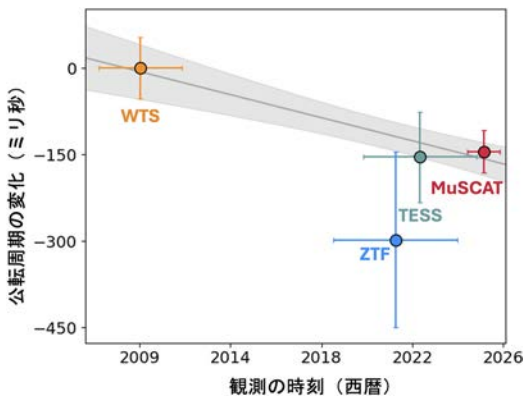


図2 各望遠鏡によるトランジットの観測データから求めたWTS-2 bの公転周期の変化。各点の横軸の広がりには観測スパンに対応している。灰色の直線と帯で、各点への線形回帰の結果を示した。

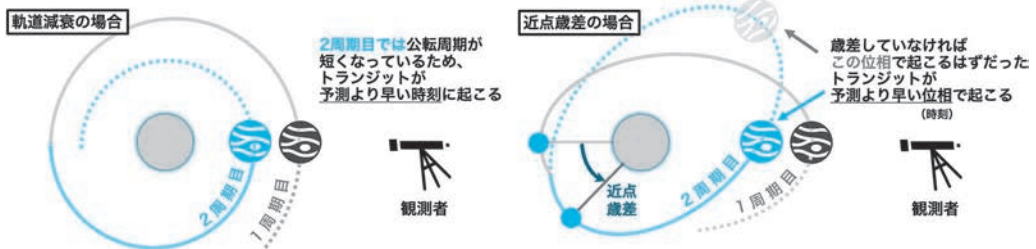


図3 軌道減衰と近点歳差それぞれの場合でトランジット時刻が変化することを示した図。

*5 MuSCATシリーズについては2025年9月の成田憲保氏による天文月報記事をご覧ください [14].

*6 この利点を活かし、ほかにもロッシュ限界のすぐ近くを公転する、暗いターゲットに焦点を当て観測を行っている。

*7 第二の惑星の重力相互作用によるトランジット時刻の変化は、軌道減衰による変化に比べてタイムスケールが大幅に短いため、ここでは考慮しない。

いく。またケプラーの第二法則に従って、楕円軌道上の惑星の公転速度は位相に応じて変化する。結果的に、歳差する惑星のトランジット時刻は歳差周期に従って変化していく*⁸。

そしてこの変化は、離心率が地球程度（ ~ 0.01 ）のわずかな値でも発生するため、安易に見逃すことができない。このことから、軌道減衰と近点歳差を見分けるためにはまず、惑星の離心率を高い精度で決定しなければならない。そのためにはトランジットだけでなく二次食、すなわち惑星が恒星の裏側に隠れるタイミングを知る必要がある。

近点歳差との縮退とすばるでの観測

完全な円軌道の惑星であれば、二次食はトランジットから公転周期のちょうど二分の一の時間が経過した時点で起こる。一方で離心率をもった惑星であれば、近点が我々の視線にある限られた場合を除いて、二次食のタイミングは円軌道の場合と異なる。例えば、我々が観測していたトランジット時刻の変化を楕円軌道と近点歳差で説明する場合、WTS-2bの二次食は円軌道の場合に比べて5分から数十分程度遅れて発生すると予想された。これを検出するためには、少なくとも数分の精度で二次食の時刻を決定する必要がある。

これを達成するため、我々はすばる望遠鏡に搭載されたMulti-Object InfraRed Camera and Spectrograph (MOIRCS)の測光モードを使った観測を昨年6月に行った。二次食で主星が掩蔽するのは主星の放射光に比べて微小な惑星の放射光である。主星に熱され表面温度が2000 Kほどと想定されるホットジュピターと、5000 KほどのK型星のコントラストは近赤外のKバンド領域で最大化され、0.2%程度となる。すなわち、近赤外カメラのMOIRCSはこの観測を行うのに最適の装置である。一方で、MOIRCSの検出器が2015年に刷新されて以来初の

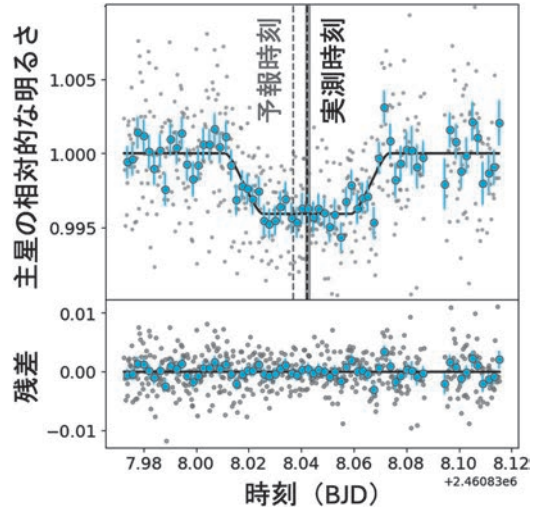


図4 MOIRCSで観測されたWTS-2 bの二次食の光度曲線とそのモデル。灰色の点が実際の観測で、青色はそれを3分間隔でビンニングしたものの、黒線がモデルである。縦の点線は灰色が円軌道時の二次食予報時刻、黒色が実測時刻を示している。

0.2%の相対測光精度を目指した観測となった。

100%曇天の予報通り雲に覆われ続けた夜だったにもかかわらず、二次食直前に途端雲が立ち消え、快晴のまま観測は成功した*⁹。図4に示すように、この観測から二次食の検出に成功した。実際に検出された二次食は0.5%程で想定より深く、これは2200 K相当の放射に相当する。3分間隔でビンニングした相対測光精度は約0.1%でMOIRCSの観測性能を実証する結果にもなった。特筆すべきは、円軌道から予想される二次食の時刻と実測時刻の約7分のズレ（ 5σ の有意性）である。これは、WTS-2bが0.01程度の離心率をもった楕円軌道のホットジュピターであることを意味している。

物理的示唆と今後の観測の展望

近点歳差がトランジット時刻を変化させようと

*⁸ この時軌道減衰と異なり、公転周期は見かけ上しか変化していない。

*⁹ 同行していただいた私の指導教員の成田憲保氏は超がつくほどの晴れ男として知られている。

はいえ、公転周期がこれほど短いホットジュピターが楕円軌道にあることは我々の想定外であった。角運動量が保存される条件下で、惑星系が取りうる運動エネルギーの最小状態は円軌道である。そのため、主星に限りなく近いホットジュピターは、惑星内部の潮汐散逸によってすべて円軌道へ進化することが想定されている [20]。そして、典型的な軌道の円形化のタイムスケールは大多数のホットジュピターの年齢（数十億歳）に対してずっと短い [21]。例えば高離心率移動で WTS-2b が形成されたとしても、移動が完了した現在まで離心率が残存することは考えづらい*¹⁰。調べてみると、これまでに発見された 500 以上のホットジュピターのうち、今回検出された 0.01 程度の離心率を持つものは現時点で HAT-P-13b, WASP-14b, WASP-18b の 3 つのみである [22–24]*¹¹。このうち HAT-P-13b の離心率は約 1 AU の距離に存在する褐色矮星によるものと考えられている [22]。一方、WASP-14b と WASP-18b はそれぞれは数百から数千 AU の距離に M 型の伴星を持ち、興味深いことに、これは WTS-2b も全く同じである [9, 25, 26]*¹²。しかしいずれの場合においても、これほど離れた伴星がホットジュピターの離心率を説明しうるか自明ではない。楕円軌道がどのように維持されるかは、ホットジュピターの形成と軌道進化における新しい課題であると筆者は考える。WTS-2b はこの謎を解明する貴重なサンプルである。

離心率について少々脱線してしまったが、当初

の観測の目的は公転周期の変化の要因を解明することであった。楕円軌道であると判明した今、物理的に一番自然な説明は近点歳差であるように思える。先に述べたように、惑星の近点歳差は、ケプラー運動に加わる微小な摂動によって生じる。この摂動の要因の一つが、主星ではなく惑星に生じる潮汐バルジによる重力ポテンシャルの非球対称性である*¹³。よって近点歳差の速度から、惑星が潮汐によってどの程度変形しているかを制約することができる。この変形の程度は、惑星の密度分布によって決まり、これはラブ数 (Love number) と呼ばれる量によって表される。0 は質量が一点に集中した剛体、最大値の 1.5 は密度分布が一様な自己重力で支えられた完全流体に対応する。探査機ジュノーの観測から木星のラブ数は 0.5 程度であると知られている [27]。

トランジット時刻の変化が近点歳差によるものだとすれば、WTS-2b のラブ数は 0.2 程度となる。これは WTS-2b は木星より質量がよりコア付近に集中していることを示唆する*¹⁴。半径と質量に加えて、密度分布の情報であるラブ数が制限されれば、モデル計算から惑星のコア質量を推定できる [28–30]。例えば、先述の HAT-P-13b はラブ数が 0.3 程度と推定されており、この値からコア質量が 25 地球質量以下であると制限されている [22]。またこれらの理論研究では惑星の金属量や内部温度を仮定しているため、これらが観測的に制限できれば、より正確に内部構造を制限で

*¹⁰ 一方で、高離心率移動が惑星形成直後に開始する必然性はないため、WTS-2b が年齢に対して比較的最近現在の軌道に到達した可能性も考えられる。ただこの場合も、離心率 0.01 という移動の最終盤を偶然観測する可能性は限りなく低い。

*¹¹ XO-3b と CoRoT-16b ではそれぞれ 0.3 と 0.4 と逆に一桁大きい離心率が検出されており、これらの惑星は現在高離心率移動の終盤にある可能性がある [15, 16]。KOI-13b と WASP-19b では 0.001 程度のさらに一桁小さい離心率が検出されている [17, 18]。

*¹² そのような共通点がある一方、WTS-2b が約 1 木星質量であることに対し、WASP-14b と WASP-18b はそれぞれ惑星質量が 7.7 と 10 木星質量程度と格段と重い。さらに主星はどちらも F 型星である (WTS-2 は K 型星)。

*¹³ ほかに相対論効果、主星の潮汐バルジ、惑星の自転による扁平などもあるが、いずれも公転周期 1 日のホットジュピターの近点歳差への寄与は、惑星の潮汐バルジによるものに比べて数桁小さい [19]。

*¹⁴ 現時点で WTS-2b のコアが木星に比べて大きいかどうかは、ラブ数のみからは自明ではない。ホットジュピターは主星からの強い輻射を受け半径が膨張しているため、エンベロープの密度が木星より低いことでも相対的にコア方向に質量が集中し、ラブ数が小さくなる [29]。そのため後述のコア質量の制限には惑星の内部温度などの仮定が必要である。

きる。この文脈において、今後はWTS-2bの大気観測も重要であるといえる。

一方で、軌道減衰と近点歳差は両立する現象である。ロッシュ限界のすぐ外側に存在していることを踏まえると、前述の通りWTS-2bは軌道減衰によって現在の位置に移動してきた可能性も排除できない。両方の現象が寄与している場合、近点歳差の速度が実際はより小さく、その分をより弱い軌道減衰が補うという解も考えられる^{*15}。

このようなさらに細かい縮退を解くためには、引き続きのトランジット及び二次食の観測が重要となる。軌道減衰は今後もトランジット時刻を常に早めるが、近点歳差は歳差周期の三分の四を過ぎると今度はトランジット時刻を遅らせるようになる。現在計算中の結果が正しければ、今年を境に二つのモデルによるトランジットおよび二次食の予報時刻は開き始めるはずである。この天体は公転周期がほぼ一日であるため、シーズン中決まった時期に毎日観測することができる。今シーズンの観測が楽しみである。

すばる学生観測支援プログラム

なお、今回の観測は「すばる学生観測支援プログラム」による助成をいただき、実際に現地を訪れ行うことができた。このような貴重な機会を提供していただいたことに改めて感謝を申し上げるとともに、現地での経験を振り返りたい。

すばる来訪記

三密回避、ステイホームの最盛期、我が家ではよく天体観測をしていた。天体観測といってもハワイの星空カメラをテレビで映し、部屋を暗くして流れ星を探すというものである。当時は大学院の受験勉強の真っ最中でもあり、画面の星空を眺めながらいつか研究で現地に行きたいと思っていた。

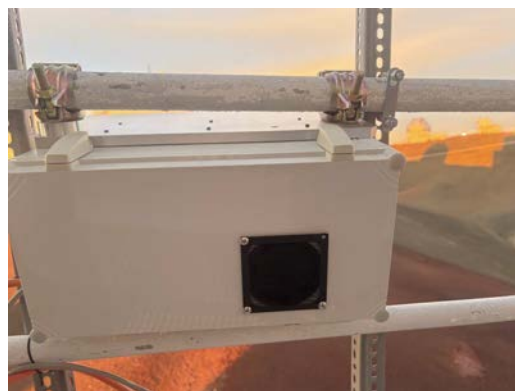


図5 すばるのキャットウォークに設置されたライブカメラ。奥に見えるのがジェミニ北望遠鏡。

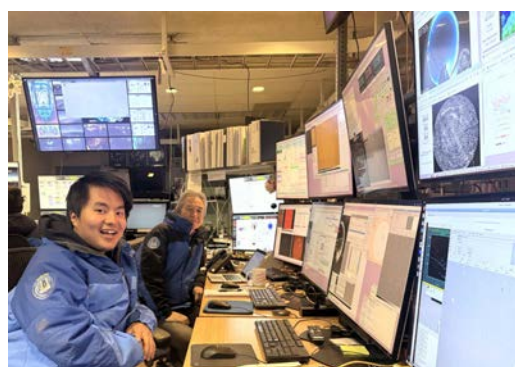


図6 すばる観測室にて。

5年経った昨年6月、プロポーザルが採択され、すばる望遠鏡で観測するという一つの夢が叶った。標高4,000 mともなれば真夏でも寒空である。すばるのキャットウォークから眺める夕日は、初日の出のように神々しく思えた。

キャットウォークをもう少し進むと、我々を挟んだジェミニ北望遠鏡側の稜線にもそれを拝もうとたくさんの人と車影を作っている。同時に、我々の前方の手すりに取り付けられた制御板のようなものが目に入った。

サポートアストロノマー (Support Astronomer; SA) の田中壱さんが、それは数年前にアウトリー

^{*15} しかし、近点歳差の寄与をゼロとすると、これは惑星が潮汐力によって全く変形していないことを意味する。ガス惑星においてそれは非現実的であると筆者は考えている。

チ用に設置した星空のライブカメラだと教えてくださった。まさかと思ひ尋ねると、やはり我が家で“天体観測”に使っていたあのカメラである。それは8 m望遠鏡の肩にちょこんと乗った小さな箱だった。

受験期を思い出しながら観測室に戻ると、この星空カメラがスカイモニターとして使われていた。両手でも数えきれないモニターの中、観測中眺めていたのは、奇しくもあの日と全く同じ画面の星空だった。夜通し曇天の予報だったが、後半夜が始まると雲は綺麗さっぱりなくなった。

観測が落ち着いた頃、合間を縫って星空を見に外へ出た。月が明るいからか酸素が薄いからか、想像していたほどの満天の星空とまではいかなかったのが印象的だった。指導教員の成田先生が隣で赤外線ゴーグルを使い「これならよく見える」と言っていたが、それはズルだろうと思った。

そんなやりとりの最中も、壁の向こうのすばるは私の観測ターゲットを向いている。スノーストームの雹による打痕に覆われたドームを見上げると、それは小平桂一先生の「宇宙の果てまで」に描かれたすばるの完成までの道のりを感じさせた。

観測が終わると、朝焼けの雲海にマウナケアが大きな影を作っていた。まだ誰もいないジェミニ望遠鏡側の稜線からそれを望んだ。観測も成功し、とても清々しく、どこか誇らしい気持ちで下山した。

画面の向こう側に人がいるというのは本当である。受験生の時に眺めていた画面の星空にも、数えきれない観測制御用のモニターの一つ一つにも、たくさんの人の想いと時間が注がれている。そのすべての人の肩にちょこんと乗せてもらえた気のする夜だった。

今回は月のない夜に、たっぷりと酸素を吸って観測に向かおうと思う。

謝 辞

本稿の科学的な内容の詳細については、現在論文を準備中である。出版時にはぜひそちらをご覧ください。

いただきたい。今回の成果は、MuSCATシリーズのPI、指導教員である成田憲保氏、測光観測とデータ解析の基礎を教えていただいた福井暁彦氏、MOIRCSのSAの田中壺氏をはじめとした、共同研究者の皆様のサポートによるものである。また、田中氏には本稿執筆の機会を与えていただいたこと、コロナ禍の家を明るくしてくれた星空カメラをすばるに設置してくださったことについてもこの場をお借りして感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] Darwin, G. H., 1880, *Philosophical Transactions* 171, 713
- [2] Wuerth, J., 2021, *The Cambridge Kant Lexicon* (Cambridge University Press, New York)
- [3] Murray, C. D., & Dermott, S. F., 2000, *Solar System Dynamics* (Cambridge University Press)
- [4] Sasselov, D. D., 2003, *ApJ*, 596, 1327
- [5] Patra, K. C., et al., 2017, *AJ*, 154, 4
- [6] Yee, S. W., et al., 2019, *ApJL*, 888, L5
- [7] Miyazaki, S., & Masuda, K., 2023, *AJ*, 166, 209
- [8] Chen, D.-C., et al., 2025, *Nat. Astron.* 10, 92
- [9] Birkby, J. L., et al., 2014, *MNRAS*, 440, 1470
- [10] Wu, Y., & Murray, N., 2003, *ApJ*, 589, 605
- [11] Ford, E. B., & Rasio, F. A., 2006, *ApJ*, 638, L45
- [12] Narita, N., et al., 2015, *JATIS*, 1, 045001
- [13] Tremaine, S., 2023, *Dynamics of Planetary Systems* (Princeton University Press)
- [14] 成田憲保, 2025, *天文月報*, 118, 9
- [15] Johns-Krull, C. M., et al., 2008, *ApJ*, 677, 657
- [16] Ollivier, M., et al., 2012, *A&A*, 541, A149
- [17] Esteves, L. J., et al., 2015, *ApJ*, 804, 150
- [18] Bernabò, L. M., et al., 2024, *A&A*, 684, A78
- [19] Ragozzine, D., & Wolf, A. S., 2009, *ApJ*, 698, 1778
- [20] Damiani, C., & Lanza, A. F., 2015, *A&A*, 574, A39
- [21] Kawai, Y., et al., 2025, *AJ*, 170, 299
- [22] Buhler, P. B., et al., 2016, *ApJ*, 821, 26
- [23] Joshi, Y. C., et al., 2009, *MNRAS*, 392, 1532
- [24] Deline, A., et al., 2025, *A&A*, 699, A150
- [25] Ngo, H., et al., 2015, *ApJ*, 800, 138
- [26] Csizmadia, S., et al., 2019, *A&A*, 623, A45
- [27] Durante, D., et al., 2020, *Geophysical Research Lett.*, 47, article id. e86572
- [28] Kramm, U., et al., 2012, *A&A*, 538, A146
- [29] Wahl, S. M., et al., 2021, *ApJ*, 921, 105
- [30] van Dijk, E. A., & Miguel, Y., 2025, *MNRAS*, 540, 1544

Chasing the Demise of a Hot Jupiter with Transits and Occultations

Yugo KAWAI

The University of Tokyo, Graduate School of Arts and Sciences, 3-8-1 Komabada, Meguro-Ku, Tokyo 153-8902, Japan

Abstract: Transit observations of planets provide extremely precise measurements of their orbital periods. Any deviation from strict periodicity we detect then becomes a direct probe of external perturbations to the Keplerian potential. Now that more than three decades have passed since the discovery of the first exoplanet, sufficiently long time baselines exist to detect minute deviations, such as ones caused by orbital decay of the planet due to tidal interactions with the host star. In this article, we report our attempt at just the second detection of such orbital decay of a short period gas giant (hot Jupiter) WTS-2b, using the MOIRCS instrument installed on Subaru Telescope.

すばる望遠鏡での現地観測を通じて学んだこと

鈴木 善久

〈東北大学天文学教室 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3〉

e-mail: yoshihisa.suzuki@astr.tohoku.ac.jp

私は、国立天文台ハワイ観測所が企画する教育目的による山頂・山麓施設での共同利用観測者受け入れプログラムの一環として、ハワイ時間2024年7月12日から7月16日の5日間にわたり、すばる望遠鏡での現地観測を行いました。近年、世界的にリモート観測が進む中で、実際に観測現場を訪れ、滞在しながら観測に携わったことで、観測が厳しい自然環境のもとで行われていることや多くの人の支えによって成り立っていることを強く実感することができました。本稿を通して、すばる望遠鏡における観測現場の雰囲気をもっと多くの方に伝えることができれば幸いです。

1. はじめに

日本時間2023年12月7日10時46分、“We are pleased to inform you that ...”という書き出しのメールが届きました。観測プロポーザルを提出すること自体が初めてだった私は、その英文をしばらく理解できずに画面を見つめていました。それは、私にとって初めてのプロポーザルの採択通知でした。思いがけない知らせに驚きを隠せず、何度もメールを読み返しました。当時は観測の機会を得られたことへの喜びばかりが先に立ち、観測がどれほど多くの人に支えられて実現しているのかを深く考える余裕はありませんでした。

私の初めての観測は、国立天文台のリモート観測室から行いました。日本時間2024年5月13日、朝早くに仙台を出発して意気揚々と天文台のリモート観測室に向かい、画面越しに観測の現場が映し出される瞬間を心待ちにしていました。観測の開始を待っておりますと、当日観測を支援してくださるサポートアストロノマーの方から一通のメールが届きました。山頂は濃霧に覆われ、時折降雨や降雪も見られるため、山頂には上がらずに

マウナケア山麓にある中間施設であるハレポハクで待機を続けますというご連絡でした。観測開始とともに現地から共有されるはずの画面は、真っ暗なまま変化しませんでした。世の中にはビギナーズラックという言葉がありますが、どうやら私には縁がなかったようでした。本観測に同行していただいた千葉柗司先生からは冗談混じりに「日頃の行いだね」と言われながら、少しでも天気が回復しないかと付け焼き刃に黙々と観測室のゴミ拾いをしました。しかし、最後まで天気が好転することはありませんでした。続く5月15日も、サポートアストロノマーの方から、山頂の湿度が高く、すばる望遠鏡の主鏡周辺の露点も高くミラーカバーも開けることができない状況のため、ハレポハクで待機をしていますというご連絡をいただきました。この日も天気が回復することはありませんでした。

こうして私の初めての観測は1枚のデータも得られないまま終わりました。唯一の成果といえますと、リモート観測室がいつもよりきれいになったことでしょうか。そのときはまだ、ハレポハクがどのような場所で、山頂がどれほど厳しい環境である

か知りませんでした。また、観測が実現するまでに、どれほど多くの人の準備が重ねられているのかについても、深く考えてはいなかったのです。

2. 観測テーマ

初めての観測は分厚い雲に阻まれていましたが、私たちが解き明かそうとしている宇宙の謎もまた、同じように深く覆い隠されているものでした。それは、暗黒物質とは何かを明らかにすることです。暗黒物質とは、電磁波を放出しないために直接見ることはできませんが、重力を介してその存在が示唆されている仮説上の物質です。古くは1932年にヤン・オールトが、太陽近傍の恒星の運動を解析し、“missing mass”としてその存在について言及していました [1]。

現在の標準的な宇宙論では、冷たい暗黒物質 (Cold Dark Matter; CDM) が宇宙の全エネルギー密度の約3割を占めていると考えられています。ここで冷たいとは、暗黒物質の運動が光速に比べて十分遅く、非相対論的に振る舞うことを意味します。このような性質を持つ暗黒物質を仮定すると、宇宙初期に存在していた、ある場所はほんの少しだけ物質が多く、別の場所は少しだけ少ないといった物質分布のムラを保つことができます。そして時間が経つとともに、物質が多かった場所には重力によってさらに物質が集まるため、このムラは時間が経つとともに成長していきます。その結果、まず小さな構造が形成され、それらが合体しながら銀河や銀河団といったより大きな構造へと成長していくことができます。このようにしてできた構造は、観測される銀河の三次元分布など、銀河よりも大きなスケールの構造を非常によく再現できることが知られています [2]。

では、CDMモデルは銀河よりも小さなスケールでも観測をよく説明することができるのでしょうか。CDMモデルに基づく、私たちの住む天の川銀河の周りには、暗黒物質が支配的な小さな天体が数多く存在することが予想されています。

もしその中にガスが流入し、星形成が起こっていると、私たちはそれを小さな銀河として観測できると期待されます。天の川銀河の周囲に発見されている矮小楕円体銀河は、まさにそのような天体に対応すると考えられています。

矮小楕円体銀河は光度が非常に低く、恒星の数も少ない銀河です。しかし、その内部の恒星の運動を解析すると、矮小楕円体銀河は、恒星の明るさから予想される質量に比べて、約100-1000倍大きな質量を持つことが明らかになっています [3]。これは、矮小楕円体銀河が暗黒物質に支配されていることを示しています。そのため、矮小楕円体銀河を通して、銀河よりも小さなスケールにおいてCDMモデルの検証がなされてきました。

その結果、CDMモデルは銀河よりも小さなスケールでは観測を十分に説明できない可能性が指摘されてきました。ここでは、提案されている問題のうち、特に天体の数に注目したミッシングサテライト問題に焦点を当てます。ミッシングサテライト問題とは、天の川銀河サイズの銀河形成シミュレーションが予測する暗黒物質が支配的な天体の数が、実際に天の川銀河周辺で観測されている矮小楕円体銀河の数よりも1桁以上多いという問題のことです [4, 5]。

この数の不一致を説明するために、大きく3つの考え方が提案されています。1つ目は、暗黒物質のモデルを変更することです。例えば温かい暗黒物質 (Warm Dark Matter) モデルでは、小さなスケールの構造形成が抑えられるため、予想される矮小銀河の数は減少します。2つ目は、超新星爆発をはじめとするバリオンのフィードバック効果を考慮することです。超新星爆発などによって、暗黒物質が支配的な系から星形成に必要なガスが吹き飛ばされることで、星形成が抑制され、結果として観測される矮小銀河の数を減らすことができます。3つ目は、まだ発見されていない暗い矮小銀河が存在する可能性です。当時は比較的明るい矮小楕円体銀河しか知られていなかった

め、より暗い天体が今後の観測で発見されれば、この不一致は緩和されます。

このうち、特に3つ目の観測的アプローチによって、この問題は少しずつ緩和されていきました。スローンデジタルスカイサーベイ (SDSS) やダークエナジーサーベイ (DES) といった大規模な測光観測によって、矮小楕円体銀河だけでなく、それよりもさらに暗く、より暗黒物質が支配的な低光度矮小銀河 (Ultra Faint Dwarf; UFD) なども見つかってきたのです。

この問題に対して、日本のすばる望遠鏡はさらに重要な役割を果たしました。2014年3月から2022年1月にかけて約7.5年、計330夜を用いて、Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC-SSP) と呼ばれる大規模な測光観測が実施されました^{*1}。その結果、天の川銀河の周りに新たに5つのUFDが発見されました^{*2} [6]。これらの発見をHSC-SSPの観測領域の面積や検出限界を考慮して統計的に補正すると、発見された衛星銀河の総数はCDMモデルの予測よりも、やや多い可能性が示唆されました。興味深いことに、本論文の発表と同時期に、近傍渦巻き銀河M83の衛星銀河の数についても、数値シミュレーションの予測と比較した研究により、予測より多い可能性が示唆されました [7]。もはや“missing”ではなく、“too-many” satellite problemです。では、この不一致はどの程度深刻なのでしょうか。

本観測の目的は、このHSC-SSPで発見されたUFD候補の分光フォローアップ観測をすることです。HSC-SSPなどの測光観測では、空間的に星が集まっている領域を効率よく探すことで候補天体が選ばれます。しかし、それらが本当に矮小銀河であるかどうかは確定していません。例えば星が密集して見える天体としては球状星団もあり、

球状星団には暗黒物質がほとんど存在しないことが知られています。そこで、私たちは、すばる望遠鏡の微光天体分光撮像装置 Faint Object Camera And Spectrograph (FOCAS) を用いて、矮小銀河候補内の恒星を分光観測し、その視線速度や金属量を測定することで、暗黒物質が支配的な矮小銀河であるかどうかを決定したいと考えました。

これまでにも、同様の分光観測計画は遂行されてきましたが、悪天候などに見舞われたこともあり、2020年以降なかなか思うように進んでおりませんでした。そこで、2020年以降にHSC-SSP領域内で新たに発見された矮小銀河も含めて、分光フォローアップ観測を再開することにしました。今回は、牛飼い座IVと名づけられた矮小銀河の分光観測に挑みました。

3. 現地観測

CDMモデルの検証に向けて、私はハワイ時間2024年7月12日から7月16日にかけて現地観測を行いました。7月12日、ハワイのヒロ空港に到着すると、そのままハワイ観測所の岡本桜子氏の車で、すばる望遠鏡のあるマウナケア山麓の中間施設であるハレポハクに向かいました。車で約1時間、標高2,800 mまで一気に上がります。富士山でいえば七合目から八合目に相当する高さです。地上のハワイらしい暑さとは対照的に、標高が上がるにつれて空気はひんやりとし、景色も次第に荒涼としていきました。

ハレポハクでの手続きを終え、外のデッキを渡って宿泊棟へ向かいました。その途中で地上を見下ろし、初めて自分かなりの高所にいることを実感しました。宿泊する部屋は想像よりも広く、10畳ほどの空間が静まり返っていました。部屋に荷物を置き、夕食を終えて、すぐに床に就

^{*1} Hyper Suprime-Cam や HSC-SSP については天文月報2019年2月号のHSC特集を参照していただきたい。

^{*2} HSC-SSPを用いたそのほかの銀河考古学のサイエンスについては、天文月報2019年4月号のHSC特集(3)のHSCで探る銀河系と近傍銀河(著:千葉柁司氏)を参照していただきたい。

きました。ところが、その夜はなかなか寝つくことができませんでした。観測がいよいよ始まるという高揚感とも、時差ボケとも異なる、低酸素によると思われるぼんやりとした感覚が、夜のあいだ続きました。

訪問2日目、いよいよ山頂での観測が始まります。山頂観測の期間中は、毎日ハレポハクと山頂を往復します。観測は今日から3日間、每晚19時頃から24時頃まで行われます。その日の空は快晴で、風も弱い状況でした。リモート観測で空振りに終わった日々を思い出しながら、ようやく巡ってきた好機に胸が高鳴りました。午後4時頃、専用の四輪駆動車で揺られながら、舗装されていない道を約30分かけて登っていきました。マウナケア山頂の標高は約4,000 mです。高度が上がるにつれて草木は消え、岩肌が広がっていきました。

山頂の観測室に入ると、まず酸素ボンベを着用しました。高山病の危険があるためです。その後、分光観測の準備を本観測のサポートアストロノマーである青木賢太郎氏の横で見守っていると、シーイングは約4秒とのことでした(図1)。シー

イングとは、大気の揺らぎによって星像がどれだけ広がるかを示す指標です。マウナケア山頂の典型的な値である約0.6秒を大きく上回っています。今回用いた分光器のスリット幅は0.4秒でした。シーイングがこれほど大きい場合、星像はスリット幅を大きく超えて広がります。そのため、今回ターゲットとするような暗い矮小銀河内の恒星の分光データを取得することは難しいです。

快晴であっても、必ずしもよいデータが得られるとは限らないということを思い知らされました。青木氏からは「ワースト1位・2位を争うほど悪いシーイングです」と言われました。結局、その夜は有意なデータを取得することはできませんでした。

訪問3日目は、快晴ではあるものの、やや風の強い日でした。この日は、青木氏のご厚意により、すばる望遠鏡の施設内をご案内いただきました。観測室からエレベータで上階へ上がり、外に出て望遠鏡外周のデッキを一周しました。その後、観測室へ戻る途中で、今回観測で使用しているFOCASと、青く輝くすばる望遠鏡本体を間近に見る機会を得ました。その大きさには圧倒されました。また、FOCASと入れ替わりで配備されている多天体近赤外撮像分光装置MOIRCSについても拝見しました。さらに、高分散分光器HDSの設置された部屋や、新たな矮小銀河の発見に大きく貢献してきたHyper Suprime-Cam(HSC)、そしてその前身であるSuprime-Camも拝見しました。いずれも想像を超える規模でした。最後に1階へ降り、主鏡の下に入りました。直径8.2 mの単一鏡の大きさには改めて圧倒されました。

ご案内いただく中で、HSCなどの主焦点に取り付ける装置の運用の難しさや、日々続けられている装置のメンテナンス作業についてもお話を伺いました。望遠鏡が常に最高の性能を維持できるよう、多くの方々が高所で作業にあたっていることを改めて認識しました。この日も観測は思うようには進みませんでした。リモート観測では見

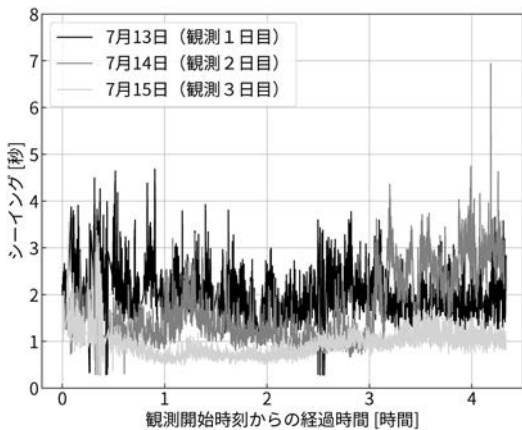


図1 3日間の観測における観測開始時刻からのシーイングの時間変化: 観測1日目と観測2日目はシーイングの平均値が約2秒で、時間変動も大きいことがわかります。一方で観測3日目はシーイングの平均が約1秒で安定していることがわかります。なお3日間とも天気は快晴ではありましたが、

えなかった現場の厳しさを知ることができました。標高4,000 mという過酷な環境での作業や、低酸素下での長時間観測。地上での観測を行うという点では理想的な立地でありながら、その環境には大きな負担が伴っていることを実感しました。観測とは、単にデータを取得する作業ではないことを強く認識しました。

訪問4日目、観測最終日となりました。この日はシーイングが約1秒程度まで改善し、ようやく牛飼い座IVを観測することができました。天候やシーイングは人の力では制御できません。しかし、観測可能な条件が整った瞬間にすぐ観測を開始できるよう、装置を整え、体制を維持し続けてきたからこそ、今回の観測は成立したと言えます。こうして、私の現地観測は、観測の現実を知る機会となりました。

4. おわりに

本観測体験は、観測の背後にある多くの人の支えを実感する貴重な経験となりました。普段のリモート観測ではあまり意識することのない、過酷な環境での作業や日々の保守点検があつてこそ、私たちは遠く離れた場所から観測することができます。近年は様々な事情から、現地で観測に立ち会う機会は決して多くないと思います。しかし、現地で体験した観測環境の厳しさど、観測を支える人々の存在は、今後の研究活動において忘れてはならないものであると考えています。今後はその重みを感じながら、宇宙の謎に迫っていきたくと考えています。

5. 後日談

今回のS24A期の観測に続きS24B期でも観測時間をいただくことができましたが、再び悪天候に見舞われる結果となりました。それゆえ、2024年は総じて掃除のスキルが向上しました。その後、S25A期およびS25B期を経て、ようやく解析に必要なデータが集まってきました。現在は

その結果の報告に向けて、やや散らかった部屋で解析を進めています。

謝辞

本原稿の作成にあたり、担当編集委員の田中孝氏には大変お世話になりました。ここに厚く御礼申し上げます。現地観測に際しては、上清初枝氏、Noriko Roth氏、末広曜子氏に多大なるご支援をいただきました。また、現地観測時にすばる望遠鏡ツアーを企画してくださった本観測のサポートアストロノマー、青木賢太郎氏に心より感謝申し上げます。本観測提案にあたり、共同研究者として貴重なご助言を賜りました千葉柁司氏、石垣美歩氏、本間大輔氏、岡本桜子氏、小宮山裕氏、田中賢幸氏、林航平氏にも深く感謝申し上げます。最後に、日頃より観測を支えてくださっているすべての皆様に、心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Oort, J. H., 1932, Bull. Astron. Inst. Netherlands, 6, 249
- [2] Tegmark, M., et al., 2004, ApJ, 606, 702
- [3] Gilmore, G., et al., 2007, ApJ, 663, 948
- [4] Klypin, A., et al., 1999, ApJ, 522, 82
- [5] Moore, B., et al., 1999, ApJ, 524, L19
- [6] Homma, D., et al., 2024, PASJ, 76, 733
- [7] Müller, O., et al., 2024, A&A, 684, L6

Lessons from On-Site Observation with the Subaru Telescope

Yoshihisa Suzuki

Astronomical Institute, Tohoku University, 6-3 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan

Abstract: I participated in on-site observations with the Subaru Telescope from July 12 to July 16, 2024. In recent years, remote observation has become more common worldwide. However, by traveling to the observatory and staying there during the observations, I was able to directly experience the harsh natural environment in which astronomical observations are conducted and to recognize how much we rely on the dedicated support of many people.

海外で研究する、という選択肢—NASAでの6年間—

Catholic University of America

アメリカ ワシントンDC

<https://www.catholic.edu>

村松はるか (Assistant Research Scientist)

2年で日本に帰るつもりでした。2019年6月、東京大学大学院理学系研究科で博士号を取得して3ヵ月後、私は2年間のポスドク契約でアメリカに渡りました。契約を終えたら日本に戻り、次のキャリアを探すのだろうと漠然と考えていました。ところが1年も経たないうちに、「もう少しここにいたい」と思うようになりました。アメリカでの研究生活は、楽しいことばかりではありません。大変なことも、悩むこともたくさんあります。それでも、なんとかやっていけると思えば、意外と乗り越えられるものです。そう思いながら気づけば6年近くが経っていました。

アメリカに旅立つまで

大学院研究室見学の際に、JAXAの教員から「今進学すれば、君が関わった検出器が宇宙に上がるかもしれない」と言われ、心が躍りました。私が進学したのはJAXAの相模原キャンパスにあるX線宇宙実験研究室でした。

一方で、海外で働きたいという気持ちも幼い頃からありました。外資系企業で働く母が海外出張に出かける姿を見て育ったことが、その原点だったと思います。大学時代にはカナダへの交換留学やヨーロッパでの短期滞在を経験し、大学院進学後は毎年国際学会に参加するようになりました。新しい土地に向かう飛行機の中では、いつもワクワクする気持ちで胸が高鳴りました。

博士課程では、X線検出器マイクロカロリメータを地上のアプリケーションへ応用するための開発を行いました。マイクロカロリメータは、X線

の光子が素子に吸収された際のわずかな温度上昇から、光子一つ一つのエネルギーを精密に測定する装置です。さらに、この検出器を高密度に並べることで、X線の撮像も可能になります。つまり、高いエネルギー分解能と撮像能力を両立できる検出器です。現在運用中のXRISM衛星にも搭載されており、従来の検出器を大きく上回る性能を実現しています。私が開発したのは、超伝導遷移端センサー (TES) と呼ばれるタイプです。超伝導体が超伝導状態から常伝導状態に変わる境目では、わずかな温度変化で抵抗が劇的に変わります。TESはこの性質を利用して、光子1つ分の微小な温度上昇を高感度で検出します。博士課程では、この検出器の設計、製作、評価、搭載までの一連の流れを主導して行いました。この経験は、今の仕事にも繋がっています。

指導教員がNASAとの深い繋がりを持っていることから、初めて参加した国際学会でNASAの研究者であるCaroline Kilbourne博士を紹介してもらいました。その後も学会で会うたびに話すようになりました。研究室の先輩方が海外の研究所に就職していく姿を見て、私自身もNASAでポスドクとして働きたいと思うようになりました。博士課程3年になった頃、Caroline博士に直接連絡を取り、インタビューの機会をもらいました。博士論文用の実験を進めている最中で慌ただしかったのですが、アメリカに向かいました。インタビューは2日間にわたり濃密なものでした。1日目の朝、30分の口頭発表から始まり、その後1人1時間、彼らの研究内容を聞いたり、ラボの

説明を受けたり、軽く雑談したりといった感じでした。研究室のメンバーはとてもフレンドリーで、1時間もあっという間に過ぎていきました。とても疲れて、上手くできたかどうかわからずに帰りの飛行機に乗ったことを覚えています。当初希望していた測定チームには予算の関係で入れず、海外学振にも不採択となりました。途方に暮れていたところ、製作チームのボスが「うちで採用する」と名乗り出てくれました。大学院時代、製作と測定の両方で経験を積んでいたことが、ここで活かしました。

NASAでの研究環境

私が働いているのは、ワシントンDC郊外のメリーランド州にあるNASAゴダード宇宙飛行センター（Goddard Space Flight Center）です。ゴダードはNASAの中でも最大規模の研究施設の一つで、ハッブル宇宙望遠鏡やジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡など、数々の宇宙ミッションがここで生まれました。緑豊かな広大なキャンパスには研究棟やクリーンルーム、衛星試験施設などが点在しています。

渡米当初は2年間のポスドク契約でしたが、その後更新を重ね、計5年間のポスドク期間を経て現在のAssistant Research Scientistに昇進しました。私の雇用形態は、日本でよくある3-5年の任期付きポジションとは異なり、雇用期限が決まっておらず、ミッションの予算が続く限り雇用が継続されます。私は現在、次世代のX線天文衛星ミッションコンセプトであるLynxやLEM（Line Emission Mapper）の検出器開発に携わっています。検出器の製作は、半導体デバイスの製造プロセスとほぼ同じです。直径10センチメートルのシリコンウェハー上に金属の薄膜を成膜し、微細なパターンを形成していきます。一つのピクセルはわずか0.3ミリメートル四方です。この極小のピクセルを基盤の目のように規則正しく配列することで、X線の撮像が可能になります。先行する

ESAのATHENAミッションでは約1500ピクセルが敷き詰められていますが、次世代ミッションではより広視野・高解像度が求められるため、これを約10倍の13000~15000ピクセルに増やす計画です。私はこの多素子化を実現するための検出器設計やプロセス開発を担当しています。私が所属するX線グループは、検出器を開発・製作する部門と評価・測定する部門に分かれています。アメリカでは分業が進んでおり、研究室やクリーンルームの施設を管理してくれる人もいるため、研究者は研究に集中できます。そのためプロジェクトは速く進みますが、製作のみを担当していると全体像が把握できないこともありました。日本とは違う進め方に、最初は戸惑うこともありましたが、研究室のメンバーは多国籍で、インド、韓国、イランなど様々な国から来ており、女性も比較的多いです。仕事とプライベートのバランスを重視する文化があり、夕方5時には帰宅することが多く、家族を大切にしていることが伝わってきます。

アメリカで研究を始めて驚いたのが、博士号取得後すぐの私でも一研究者として対等に扱われるところです。意見を聞いてくれ、建設的な議論ができます。相手を否定せず、とりあえず褒めてくれる文化が、私には合っているのかもしれない。

アメリカ滞在中、家族の不幸で日本に1ヵ月ほど帰国したことがあります。長期間休めたことに感謝しましたし、日本から戻った際、いつも「おかえり」「大変だったね」と声をかけてくれるのが嬉しかったです。「おかえり」と言われるたびに、この職場が戻ってくる場所なのだなと感じました。

ワシントンDCでの暮らし

ワシントンDCの好きなどころは、空が広いことです。高いビルがないので、遠くまで見渡せます。東京で育った私にとって、都会の窮屈な空か



図1 スペースシャトルと筆者—Steven F. Udvar-Hazy Centerにて

ら解放されて自然が見渡せるのは新鮮でした。気候も日本と似ていて、四季がはっきりしているのも過ごしやすいです。

プライベートの時間が増えて、写真撮影を始めました。ワシントンDCには日本から寄贈された桜があり、毎年満開になる時期は多くの人で賑わいます。また、飛行機の写真が好きなのですが、ワシントンDC近郊には3つも空港があり、どれも飛行機を間近に見られるスポットがあります。空港の近くにはSteven F. Udvar-Hazy Centerという航空機を専門に展示している博物館があり、そこにはスペースシャトルが展示されており、宇宙開発の歴史を身近に感じられる場所でもあります。

一方で、苦労していることもあります。まず食事です。日本ほど便利なおいしいものが簡単に手に入りません。ただ、私の住んでいる地域にはアジアスーパーが多く、食材は手に入るので作ることはできます。最近アジアブームもあり、日本から寿司屋やラーメンのチェーン店が進出してきているのも嬉しいです。徐々にアメリカの味にも慣れてきて、フライドポテトが好物になりました。

また、アメリカは車社会です。日本でも少し運転していたので運転自体には苦労しませんでした。が、アメリカに来て大きい車に乗りたいと思い、SUVを中古で手に入れました。しかし大きさに慣れず、運転初日にフロントバンパーを擦ってし

まい、ショックでその日の予定をキャンセルしました。また、車のトラブルで道路の真中で立ち往生したこともあります。その時は親切な人がジャンプスタートしてくれて、なんとか道路の脇に寄せることができました。今ではどこに行くにも車を使うようになり、歩いて10分程度の距離でも車を使うようになりました。日常の運動の機会がなくなったのは困りますが、住んでいるアパートにジムがあるので、たまに行くようになっています。

次に言葉の壁です。渡米当初は英語を聞き取ること、話すことに大変苦労しましたし、今も苦労しています。最初は上司が話していることがわからず、紙に書いてもらっていましたが、時間が経つにつれて聞き取れるようになりましたが、日常の雑談が特に難しいです。英語力を上げるために、オンライン英会話やアニメを英語で見たり、発音矯正アプリを使って練習したりしています。しかし発音はなかなか上達せず、1年続けたのにスコアは落ちてしまいました。それでも続けています。日常会話は仕事での会話以上に多岐に渡るので苦労し、バックグラウンド知識がないためにわからないといったことが発生します。また、日本ではどうなのとよく聞かれますが、日本の状況をわかっていないために説明できないといったこともありました。海外にいるからこそ、母国のことを意識して知っておく必要があるのだと気づきました。

言葉だけでなく、人とのつながりを作ることに苦労しました。渡米して半年ほど経った頃、コロナパンデミックが始まり、テレワークを余儀なくされました。まだ仲良くできる友人もおらず、孤独を感じていました。仕事としてアメリカに来ていると、職場以外で新しいコミュニティを見つけることは簡単ではありません。最初の頃は仕事に慣れることで精一杯で、外に向けるエネルギーがありませんでした。少しずつ余裕が出てからは、大学同窓会の活動やSNSのコミュニ



図2 ワシントンモニュメントと桜

ティーに参加するようになり、徐々に人の輪が広がっていきました。同窓生であり、同じように仕事もしくは家族とともにアメリカに来たというだけで、話が広がり、仲間意識をもつことができました。ワシントンDCには政府機関、報道機関、研究関係者、企業の方々が集まっており、日本にいたら知り合えないような異業種の方と交流できる機会があるのも楽しい一面だと思っています。

外の世界が広がる一方で、自分の内側にも自然と目が向くようになりました。海外で移民として暮らすことには、独特の自由さがあります。現地の文化にも、母国の文化にも縛られなくていいのです。「こうあるべき」という枠から少し外れた場所にいられます。しかし、たまにどこにも所属していない、居場所がないと感じることもあります。自分のアイデンティティは日本人で、それは変えようがありません。けれど、日本に帰っても、日本にいる人たちと同じようには感じられない自分がいます。宙ぶらりんな感覚は、時々心細くもあります。それでも、この6年間を振り返ると、その不安も含めて海外に出てよかったと思えます。

若手研究者へ

この記事を書いてみて、私は今まで進路の選択で、自分の気持ちを優先し、ワクワクすることを

したいと思い進んできた実感しました。大変なことはたくさんありますし、悩むこともあります。それでも、好きなことを優先して進んできてよかったと思います。

海外で研究する最大のメリットは、世界中から集まった研究者と日常的に交流できることです。異なるバックグラウンドを持つ人々と議論することで、自分では思いつかなかった視点やアイデアに出会えます。また、国内・国際的な共同研究に参加しやすくなり、研究のネットワークが大きく広がります。

アメリカは実力社会と言われていますが、実はコネクションがとても重要です。国際学会に積極的に参加することや、指導教員や先輩研究者のコネクションを大いに活用させてもらうことをお勧めします。私自身、指導教員の紹介でNASAの研究者と知り合い、覚えてもらえたことが、今のポジションに繋がりました。興味のある研究者には、思い切って連絡を取ってみてください。最初は勇気がいりますが、多くの研究者は若手からの連絡を歓迎してくれます。「いつかポスドクとして働きたい」と伝えておくだけでも、ポジションが空いた時に声をかけてもらえる可能性が生まれます。

英語に不安がある方もいると思いますが、完璧である必要はありません。私も渡米当初は上司の言葉を紙に書いてもらっていたほどでした。大切なのは、伝えようとする姿勢と、少しずつでも上達しようと努力し続けることだと思います。

住み慣れた日本を離れて海外に出るという選択は大変で難しいことですが、研究においてはいつも楽しく、こんなに楽しいことをやって給料がもらえるとは、研究者はなんとよい職業なのだろうと思っています。もし少しでも海外に興味があるなら、ぜひ一歩踏み出してみてください。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

39th Internatinal Cosmic Ray Conference (ICRC2025)

氏 名：横山将汰（千葉大学 ハドロン宇宙国際
研究センター 特任研究員（渡航当時））
渡航先：スイス連邦 ジュネーブ
期 間：2025年7月14～25日

本渡航では、2025年7月14日-24日に行われた宇宙線国際会議 39th Internatinal Cosmic Ray Conference (ICRC2025) に参加し、“Cosmic Ray Heating in the Early Universe: Joule Heating by Return Currents and its Impact on the Thermal Evolution of the Intergalactic Medium at Redshift around 10” という題目で口頭発表を行いました。ICRCは2年に一度開催される伝統ある宇宙線に関する国際会議で、宇宙線に関する最新の観測結果や理論の進展が活発に共有される場となっています。

今回の口頭発表では、宇宙線が駆動するガス加熱過程を新たに提唱し、その初期宇宙の銀河間空間への影響について議論しました。非熱的高エネルギー粒子である宇宙線は、現在の宇宙では主に超新星残骸衝撃波で加速されていると考えられています。初期宇宙の銀河においても同様の過程で宇宙線が加速されると期待されます。加速された宇宙線が銀河間空間へ流出すると、さまざまな相互作用によりガスを加熱し、特に赤方偏移10（宇宙年齢約5億年）程度の時代では、その影響が中性水素からの21-cm線信号として観測できる可能性があります。宇宙再電離期の銀河間空間からの21-cm線信号の観測は、SKA (Square Kilometer Array) によって本格化すると期待されています。従来、銀河間空間の温度上昇の主な要因は銀河からのX線による加熱と考えられてきましたが、近年では宇宙線による加熱効果も考慮され始め、中性ガスの電離と自由電子とのCoulomb

相互作用による宇宙線直接加熱の効果が計算されるようになってきました。このような背景を踏まえ、我々は宇宙線流が駆動する「抵抗性加熱」という新しい加熱機構を提唱し、それが銀河間空間の加熱に支配的な役割を果たしうることを示してきました (Yokoyama and Ohira, 2023)。

宇宙線が銀河から流出すると、宇宙線電流 J_{CR} を打ち消すために、熱的電子が帰還電流 $J_e \approx -J_{CR}$ を作りませんが、このとき熱的電子と熱的陽子との間には相対速度が残ります。宇宙論的なタイムスケールでは、熱的粒子間のCoulomb衝突は無視できず、衝突により抵抗が生じますが、帰還電流は維持されるため、ガスは抵抗性電場 $E = \eta J_e$ の散逸により加熱され続けます。我々の先行研究では、この抵抗性加熱による加熱率の評価と銀河間空間温度の時間進化の計算を行いました。今回の発表ではこれをさらに拡張した最新の結果を報告しました。

再電離前の銀河間空間は電離度が低いので、荷電粒子間の衝突だけでなく、熱的電子と中性原子間の衝突も重要となります。本講演では中性粒子との衝突を含めた抵抗を評価し、 10^3 K程度の環境でこれが支配的となることを示しました。さらに、加熱率が温度と電離度に大きく依存することから、新たに電離度の時間発展を取り入れ、銀河間空間の温度進化を調べました。その結果、典型的な銀河と銀河間空間の環境では宇宙線駆動の抵抗性加熱がX線加熱などよりも支配的となり、100 Kを超える高温領域が30 kpc程度まで広がることがわかりました。このような高温領域は、この時代の宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) よりも温度が高いため、21-cm線の放射領域として観測されうることを議論しました。今後は、公開コードに本加熱機構を実装するなどの形で、より

現実的な21-cm線信号の予言を行うことを計画しています。

発表後には、Ellis Owen氏をはじめ、多くの方から本加熱過程の物理や応用性に関して質問をいただきました。本研究はこれまで主にプラズマ物理や銀河進化の研究者の前で発表することが多かったのですが、今回は宇宙線理論の専門家の方々から大変貴重なフィードバックを得ることができました。いただいたコメントを踏まえ、新たな応用天体を模索しながらモデルを改善していきたいと考えています。また、会期中にはCERNの実験施設を見学させてもらうことができ、理論家の私としては、実際の粒子実験の雰囲気味わう大変有意義な経験となりました。さらに実験系の研究者の方々とも多く知り合うことができ、今後も分野を超えた交流を大切にし、研究の幅を広

げていきたいと気持ちを新たにしました。

2年に一度行われるICRCは、私にとってホームのような学会であると同時に、2年間の自分の成長を試す試金石のようにも捉えています。この2年間は、宇宙線加熱の初期宇宙への応用を議論するうえで宇宙進化の勉強に偏重していた部分がありました。宇宙線やニュートリノの最新の観測結果に触れる中で、今後はより宇宙線の基礎物理の解明に寄与できるよう努めたいと決意を改めました。末筆ながら、本学会への参加を援助していただいた早川幸男基金に心より御礼申し上げます。本渡航で得た貴重な経験を糧に、まずは2年後のICRCを見据えて研究に一層邁進してまいります。本渡航を支えてくださった関係者の皆様に、改めて深く感謝申し上げます。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 *Solar Polarization Workshop 11 (SPW11)*

氏 名：山崎大輝（宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 特任助教（渡航当時））

渡航先：チェコ共和国・プラハ

期 間：2025年9月8～13日

2025年9月8日から13日にかけて、チェコ共和国プラハにて開催された“Solar Polarization Workshop 11 (SPW11)”に参加し、口頭発表を行いました。本研究会は太陽および恒星の偏光観測に関する国際的に最も歴史ある研究集会のひとつであり、約3年に一度、世界中の研究者が集まって最新成果を議論する場です。第11回となった今回の研究会では、太陽および恒星の偏光観測に関する幅広いテーマが議論されました。大型地上望遠鏡や気球・衛星ミッションによる最新の分光・偏光観測の成果、フィラメントやプロミネンス、黒点といった多様な構造における磁場診

断の試み、さらに偏光データのインバージョンを含むデータ解析手法やAIを用いた新しい解析技術の進展などが紹介されました。これらの研究は、観測装置の開発、観測データの解釈、数値シミュレーションとの比較を通じて、太陽大気の三次元磁場構造をより正確に理解するための国際的な基盤を形成していることを強く印象づけました。

申請者は「Magnetic field diagnostic of solar filaments with spectropolarimetric observations in He I 1083 nm」という題目で、太陽フィラメントの磁場診断に関する最新の観測結果を報告しました。本研究では、京都大学飛騨天文台ドームレス望遠鏡に新たに導入された偏光観測装置を用い、静穏フィラメントと活動フィラメントの双方について磁場強度・構造を診断しました。その結果、静穏フィラメントでは数十G程度で逆極型

の磁場構造，活動フィラメントでは100 G程度で順極型と逆極型の間際の性質を示すことを明らかにしました。また，偏光信号から三次元磁場ベクトルを導出する際の不定性を解消する手法を導入した点，そして偏光プロファイル形成の解釈に部分再分配の効果による周波数依存性を導入し観測的・理論的考察を深めた点に新規性があります。

本研究会では，自身の発表に対して多くの質問や意見をいただき，研究成果の位置づけを改めて確認することができました。特に，本研究の出発点となった欧州の望遠鏡を用いた同様の観測研究者であるCarlos Jose Diaz Baso博士らとは，解析手法や較正方法に関する具体的な議論を行うことができ，自身の研究の考察の深化に繋がる重要な知見を得ました。また，偏光プロファイル形成理論の大家であるHan Uitenbroek教授やPetr Heinzel教授らとも密な議論の機会を得て自身の観測で得られたデータの解釈に対して意見交換し，光学的に十分厚い観測対象については，周波数方向に多重散乱の発生確率が異なるために部分再分配の効果を考慮する必要があるとする考察に自信を得る結果となりました。

さらに，会期中のコーヒブレイクや懇親会を通じて多くの国際的研究者と交流し，今後の共同研究の可能性について話し合う機会を得ました。

特に，フィラメントで得られる偏光プロファイルからフィラメント磁場構造を導出する新たな手法として提案されたAndres Vicente Arevalo博士らの3次元インバージョンコードについて，得られた最新の磁場構造の結果と自身の観測結果の比較についての議論を深め，偏光データ処理について関心を持つ研究者らと今後の協力体制を検討することができたのは大きな収穫でした。加えて，自身が今後開発を進める予定のコロナ磁場観測装置が狙うべき科学ターゲットやその際に必要となる性能について，現在の世界の動向を基に検討を具体化する材料が多く得られたことも自身の今後の研究の方向性を考える上で大変有意義でした。

今回の研究会参加により，国内外の研究動向を把握するとともに，本研究会で報告した自身の研究成果が国際的文脈においてどのように位置づけられるのかを確認できました。今後は，今回得られた知見を活かし，他観測との協調や国際共同研究を推進しながら，太陽大気磁場の三次元構造解明に取り組んでいきたいと考えています。また，本研究で得られた成果をより発展させ，将来的には次世代太陽観測計画への応用も目指していきたいと考えます。

本渡航に際し，ご支援を賜りました早川幸男基金の関係者の皆様に心より感謝申し上げます。ま



Solar Polarization Workshop 11の集合写真（研究会HPより）

た、研究の遂行にあたりご助言をいただいた国内外の研究者の方々、共同観測にご協力いただいた

京都大学飛騨天文台の関係者の皆様に深く御礼申し上げます。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 *TeV Particle Astrophysics 2025 (TeVPA2025)*

氏 名：坂井延行（大阪大学大学院理学研究科
宇宙地球科学専攻 D1（渡航当時））

渡航先：スペイン王国・バレンシア市

期 間：2025年11月2～8日

本渡航では、スペインにて2025年11月3日から7日に開催された国際研究会 TeV Particle Astrophysics 2025 (TeVPA2025) に参加し、口頭発表を行った。本研究会は、TeV エネルギー帯を中心とした宇宙素粒子物理学の国際的会議であり、宇宙線やガンマ線およびニュートリノの理論・観測、さらにはダークマター探索など、多岐にわたる分野の研究者が世界中から集まった。午前中には分野を代表する研究者による Plenary Session が行われ、各分野の現状と将来展望に関する包括的な講演を聴講し、大変有意義であった。午後には Parallel Session が開催され、最先端の研究成果に触れることができ、非常に刺激的であった。聴講中には複数の質問を行い、活発な議論に参加することができた。また、昼食や夕食の機会を通じて、日本人研究者のみならず海外の研究者とも幅広く交流することができた。

本研究会では、“Gamma-Ray Emission from AGN Disk Winds: A Case Study of the Nearby Seyfert Galaxy GRS 1734-292” という題目で口頭発表を行った。本発表は、Astrophysical Journal 誌から出版されている、Sakai et al. (2025) に基づいている。近年、フェルミ宇宙ガンマ線望遠鏡により、強いジェットを持たない活動銀河核（セイファート銀河）からのガンマ線が相次いで検出されている。これらにおけるガンマ線放射の起源

として、母銀河の星形成活動、弱いジェット、円盤風（降着円盤からのアウトフロー）などが候補とされているが、各要素の寄与が重なり合う場合が多く、それぞれの放射寄与を個別に評価することは困難である。本研究では、セイファート銀河 GRS 1734-292 に注目した。この天体からはガンマ線が観測されているが、赤外線および電波の光度から、星形成およびジェットの寄与のみでは観測されるガンマ線を説明するには経験的に不十分であると考えられる。そこで、我々はこの天体を円盤風によるガンマ線放射を検証する「実験場」と位置づけ、円盤風が主要な放射要因であるという仮説を理論的に検討した。我々は、円盤風と星間物質の相互作用により形成される衝撃波における宇宙線加速、およびそれに伴うマルチメッセンジャー放射を記述するモデルを構築した。このモデルを GRS 1734-292 に適用することで、観測されるガンマ線フラックスを合理的なパラメータの範囲内で再現し、円盤風が主たる放射源となりうる可能性を示した。

本研究会を通じて、多くの有益な議論と人的交流を得ることができた。発表後には、円盤風のパワーや周囲ガス密度など、モデルパラメータに関する複数の質問をいただき、より深い議論へと発展した。また、聴講者としても多くの研究発表に積極的に質問し、研究者間の議論を深めることができた。特に、活動銀河核からのガンマ線放射を研究する Shilong Chen 氏（ジェットモデルを中心に研究）と議論する機会を得て、異なる理論的アプローチを比較することで、新たな視点を得ることができた。さらに、Chen 氏の共同研究者で

あり、TeVガンマ線望遠鏡LHAASOに關与するBing Theodore Zhang氏とは、TeVガンマ線を放射する新たなタイプの活動銀河核に關する議論を行い、今後の共同研究の可能性を見出した。加えて、天の川銀河内の星形成領域におけるガンマ線・ニュートリノ放射を研究するStefano Menchiari氏との議論を通じて、本研究を銀河系外星形成領域へ応用する展望についても意見交換を行った。

本研究会で得られた知見と人的ネットワークをもとに、活動銀河核における高エネルギー放射機構の理解をさらに深化させたい。特に、セイファート銀河における円盤風にとどまらず、音速を超えるアウトフローを持つ系への応用を視野に

入れて、銀河系外・系内の様々な高エネルギー放射の起源を明らかにしていきたい。最終的には、ガンマ線の生成元である宇宙線の加速天体・加速機構を明らかにし、宇宙空間における粒子加速の物理を解明したい。また、高エネルギー放射だけでなく、アウトフローの銀河進化における役割も探求したい。

本渡航に際し、早川幸男基金からのご支援を賜り、心より感謝申し上げます。ご支援がなければ本研究会への参加は叶わなかったと考えております。本会議での発表経験および国際的な研究者との交流は、今後の研究活動において大きな糧となるものであり、深く御礼申し上げます。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 *Dusty Universe 2025*

氏 名：妹尾梨子（東京大学大学院理学系研究科
附属天文学教育研究センター D1：学
振（渡航当時））

渡航先：アメリカ合衆国・アリゾナ州

期 間：2025年11月3～15日

本渡航では、WR140というダスト生成天体の周囲のダストシェル赤外分光観測研究について、共同研究者であるRyan Lau氏（CalTech/IPAC所属）らとの対面での議論・共同研究と、アリゾナ大学で行われた国際研究会Dusty Universe 2025での口頭発表を行った。

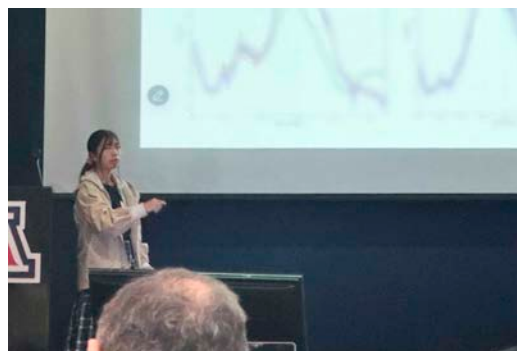
申請者は、宇宙の有機物ダスト・PAHの変性過程や起源に迫るべく、WR140という天体周囲のダストシェルの赤外分光観測研究を行っている。WR140は周期的にダストを生成する天体で、C-rich Wolf-Rayet星（WC星）とO型星からなる連星系である。共同研究者であるRyan Lau氏はこのWR140という天体をジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）の中間赤外線装置（MIRI）

で観測しており、彼らの研究によって、WR140周囲には、WR140により生成されたダストシェルが等間隔で複数個並んでいる様子が確認された（Lau et al. 2022）。WR140周囲のダストシェルは、中心星に近いほど新しくできたもの、遠いほど古くにできたものであるため、複数のダストシェルの赤外線スペクトルを取得し比較することで、WR140周囲のダストの変性過程を知ることができる。そこで申請者は、WR140周囲の複数のダストシェルの分光観測データを解析し、有機物ダストの変性過程を探る研究を行っている。本研究はこれまで、Lau氏と、アメリカと日本の時差を考慮した特定の短時間のオンラインミーティングで議論を重ねながら進められてきた。

しかし今回の渡航で毎日直接Lau氏と議論を行ったことで、日本にいるときよりも格段に速いスピードで研究内容をブラッシュアップできた。また今回の渡航でCalTech/IPACにおけるセミナーを開催していただき、自分の研究内容をIPACの方々に伝え、議論することができた。また、自分

と研究分野が近い、PAHに関する研究を行う研究者ら（ダストシエルの構造のモデル作成研究を行っているYinuo氏、星周物質の観測を行っているJacob氏、Sam氏、銀河のPAH進化研究を行っているThomas氏）や、NASA/JPL（ジェット推進研究所）の星周ダスト研究者（Raghvendra氏）と直接meeting・議論する機会も設けていただいた。日本には自分と近い分野の研究者が少ないため、本渡航を通して研究分野の近い研究者らと議論させていただけたおかげで、これまで以上に的確なコメントやフィードバックをいただくことができ、研究内容をより一層深めることができた。

翌週はアリゾナ州ツーソンへ移動し、アリゾナ大学で開催されたDusty Universe 2025という国際研究会に参加し、口頭発表を行った。口頭発表では主に、WR140周囲のダストシエルの特に中心星から離れた領域において、有機物中のC-H結合由来と考えられる $8.6\ \mu\text{m}$ と $11.2\ \mu\text{m}$ のフィーチャーが検出されたことを発表した。WC星は水素に非常に乏しい天体であるため、本研究で得られた、C-H結合を持った有機物が周囲に存在しているという示唆は非常に面白い結果である。WC星はこれまであまり有機物の起源天体として注目されてこなかったが、今回の発見・発表を通して、WC星とO型星の連星系が宇宙の有機物の起源天体として重要な天体の1つである可能性を示すことができた。研究会の最後に研究会全体をリアルタイムで振り返る時間があり、「今回の研究会で得られた思いがけない収穫はなにか」という問いに多くの人が「WC star」と回答していた。そのため、多くの聴衆にWC星連星系が有機物起源の1つとして重要である可能性を印象付けられたのではないかと考えている。Dusty Universeは、約5年に1度開催されている、宇宙のダストに関連する幅広いトピックを扱う珍しい国際研究会であり、自分の研究をダスト研究者に広められたことだけでなく、他の研究者らの発表を聞き、



Dusty Universe 2025での発表の様子

お互いに議論できたことも大変興味深く、勉強になった。例えば、招待講演ではダストに関する様々なトピック（ダスト減光、ダスト・PAH放射、シリケート・炭素質ダストの室内実験、銀河のダスト・PAH、放射輸送計算、等々）について、選ばれた研究者らがレビューをしてくださるという内容になっており、ダストに関連する基礎的な知識から最新の研究の状況までわかりやすく知ることができた。一般講演やポスター発表も興味深い講演ばかりで、計算・室内実験・観測とそれぞれ現在どのような研究が行われているのかを幅広く知ることができた。講演後に講演者やポスター発表者のもとへ声をかけにいき、発表内容に関する議論や会話を通して、お互いの発表内容の理解を深めるだけでなく、オンラインでは築くことが難しい他研究者とのつながりを持つことができた。今回の出会いが、今後研究会等でまた会えたときにより深い議論をしたり、共同研究を始めたときよりきっかけにつながるよう、今回の出会いを忘れず、一層精進して自分の研究を進めていきたい。また本研究会では、ダスト研究についてだけでなく、発表の仕方や工夫についても学ぶことができた。日本の研究会で見るとも視覚的にインパクトのあるようなスライドを用いた発表が多く、そのような発表は聴衆の心を掴みながらわかりやすく伝えられることを学んだ。

上述のように、本渡航を通して、自分の研究を

深め、現地で研究分野の近い様々な研究者の方々と交流し、ダスト研究や効果的な研究発表など、多くのことを学ぶことができた。また今回は自分の中で最も長い海外滞在で、自分は海外でも研究活動が行える、という自信が少しつき、将来海外でも研究を行うという選択肢が増えるきっかけに

もなった。

今回の実りある渡航を実現できたのは、関係者のご協力並びに早川基金のご支援があったおかげです。今回の渡航を糧に、より一層研究に励みたいと思います。この度はご支援くださり、誠にありがとうございました。

Hayakawa Satio Fund

早川幸男基金とは

「早川幸男基金」は、日本天文学会元理事長・故早川幸男氏のご遺志に基づき、ご遺族から日本天文学会に寄付された750万円を創設基金として、1993年に設けられました。若手天文学研究者の海外学術研究援助を目的としています。

毎年4回（3, 6, 9, 12月の10日が締め切り）募集を行い、一年に総額600万円程度の渡航費の援助を行っています。渡航期間は、締め切り月の翌月の1日から3ヶ月後の月末までが対象となります（例えば、3月10日締め切りの場合、4月1日から6月30日まで）、前回の募集に間に合わず渡航した場合、納得する事情説明がある場合には、その直後の回の締め切りに応募することが可能です。

当基金は現在も寄付金によって継続され、毎年多くの若手天文学研究者の海外研究活動を支えています。この基金を活用し、ぜひ、世界に向け研究活動の幅を広げてください。詳しくはホームページをご覧ください。

早川幸男基金ホームページ

https://www.asj.or.jp/activities/expenses/hayakawa_fund/



理科学年表 2026

国立天文台 編

丸善出版 ポケット版：A6判，机上版：A5判 1,224頁

ポケット版：1,500円＋税，机上版：3,200円＋税

研究資料

お薦め度

5

☆☆☆☆☆

「理科学年表が100周年らしいので、書評とか掲載しませんか？」という話が天文月報の編集会議で持ち上がりました。とはいえ、教科書や専門書、読み物といった本とは全く違うため、引き受けたものの何を書こうかとしばらく悩むことになりました。ちょうどその頃、国立天文台ニュースでも「理科学年表創刊100周年」の特集が組まれ^{*1}、参考にさせていただこうと手に取ってみました。この特集では、理科学年表の変遷、暦部や天文部だけでなく、理科学年表に掲載されている他の分野についても簡潔に紹介されており、非常に読みやすくとまっているという印象でした。とても参考になった反面、書評で書くことがなくなってしまったとさらに悩むことになってしまいました。ただ、この特集にあった「理科学年表とわたし」というコーナーで、筆者たちと理科学年表の個人的な思い出が掲載されていたので、ここでも私と理科学年表についての思い出を書くことで、理科学年表の書評としたいと思います。

前振りが長くなりましたが、私が理科学年表を初めて手に取ったのは、おそらく大学の実験の授業のときだったと思います。高校生の時は天文部に所属していたので、理科学年表より天文年鑑を愛読していたのですが、大学では物理・化学・生物・地学とすべての実験があったため、理科学年表が必須アイテムでした。初めて理科学年表を手に取った時の印象は、「どう見ても鈍器」「なんで“国立天文台編”なんだろう」の2つでした。大学の先生か

らは、「理系なら税金だと思って毎年買っておくように」というようなことを言われた覚えがあります（極貧学生には難しかったので図書館や研究室にお世話になっていました。多謝）。

私が最初に理科学年表を手に取った時はまだ系外惑星の項目は単独ではありませんでしたが^{*2}、現在では見開き1ページに発見方法や代表的な系外惑星の表が掲載され、系外惑星の発見数は毎年更新されています。同様に、他の分野でも新しい発見があればその内容が検討の上反映され、100年前はハードカバーで1.5 cm程の厚みの本が、今年は3.8 cmもの厚さになっており、100年間の科学の進歩の重さを感じることもできます。

ChatGPTやGeminiなどの生成AIがなんでも（ひとまず）答えてくれる現在でも、大事なパラメータについては原典を確認する必要があるため、確実なデータブックが近くにあると安心します。（税金ではなく）安心を買うと思えば毎年買っておきたいと思う一方、本の重さに耐える棚とスペースが悩みどころです。分厚い理科学年表を手に取るにはまだハードルがあるという方はぜひ一度「国立天文台ニュース2025年秋号」の特集^{*1}をご覧ください。その上で、実際の理科学年表も手に取っていただければ幸いです。また、ご自身の理科学年表との思い出（もしあれば）を、科学の進歩と併せて振り返ってみるというのも面白いかもしれませんね。

日下部展彦（自然科学研究機構）

*1 <https://www.nao.ac.jp/news/topics/2025/20251211-naoj-news.html>

*2 理科学年表に「太陽系外惑星」の項目が独立に新設されたのは2003年版から（Gemini調べ）



月報だよりの原稿は毎月20日に締切り、翌月に発行の「天文月報」に掲載いたします。ご投稿いただいた記事は、翌月初旬に一度校正をお願いいたします。

記事の投稿は、e-mailで toukou@geppou.asj.or.jp 宛にお送りください。折り返し、受領の連絡をいたします。

賞の推薦

第17回（2026年度／令和8年度） 「日本学術振興会 育志賞」候補者の推薦

1. 趣旨

日本学術振興会（以下「本会」という。）は、上皇陛下の天皇御即位20年にあたり、社会的に厳しい経済環境の中で、勉学や研究に励んでいる若手研究者を支援・奨励するための事業の資として、平成21年に上皇陛下から御下賜金を賜りました。

このような陛下のお気持ちを受けて、本会では、将来、我が国の学術研究の発展に寄与することが期待される優秀な大学院博士課程学生を顕彰することで、その勉学及び研究意欲を高め、若手研究者の養成を図ることを目的として、平成22年度に「日本学術振興会 育志賞」（以下「育志賞」という。）を創設しました。

2. 対象分野

人文・社会科学及び自然科学にわたる全分野

3. 授賞等

授賞数は16名程度とし、受賞者には、賞状、賞牌及び副賞として学業奨励金110万円を贈呈します。

また、受賞者は、希望により、所定の申請手続きを経た場合、受賞の翌年度から日本学術振興会特別研究員等に採用されます。採用は、翌年度の4月1日における在学年次、学位の取得状況等に応じた採用区分の特別研究員又は外国人特別研究員となります。

4. 対象者

以下の①②の条件を満たす者を対象とします。

①我が国の大学院博士課程学生（海外からの留学生を含む）であって、令和8（2026）年4月1日において34歳未満の者で、令和8（2026）年5月1日において、次の1）から4）のいずれかに該当する者

- 1) 区分制の博士後期課程に在学する者
- 2) 一貫制の博士課程3年次以上の年次に在学する者
- 3) 後期3年だけの博士課程に在学する者

- 4) 医学、歯学、薬学又は獣医学系の4年制博士課程に在学する者

※5月1日に休学中の者については、11月1日までに復学を予定している場合には、推薦できます。この場合は、令和8（2026）年11月1日において、1）から4）のいずれかに該当する必要があります。

- ②大学院における学業成績が優秀であり、豊かな人間性を備え、意欲的かつ主体的に勉学及び研究活動に取り組んでいる者

5. 推薦権者

- 1) 我が国の大学の長（大学長推薦）
推薦数：人社系、理工系、生物系各2名まで、その他に分野を問わず2名までの計8名まで
※ただし各カテゴリーの推薦が男性のみの場合は各1名まで

- 2) 我が国の学術団体（日本学術会議協力学術研究団体に限る）の長（学会長推薦）
推薦数：2名まで

※ただし推薦が男性のみの場合は1名まで

※日本天文学会は上記2）に該当します。

※自薦・個人推薦は受け付けません。

6. 選考方法

推薦のあった候補者について、書類選考により面接選考対象者を決定し、面接選考（11月頃）を経て、日本学術振興会に設置する選考委員会において、候補者の分野別割合及び性別の割合を考慮しつつ、受賞者を決定します。

7. 日本学術振興会の受付期間

2026年5月21日(木)～5月26日(火) 17時必着

※電子申請システムは、2026年4月20日(月)から使用可能

※提出書類記入要領・電子申請マニュアルと提出前チェックリストについては、令和8年4月中旬頃に公開予定ですので、第17回（令和8年度）への推薦・応募にあたっては、必ず最新版をご参照の上、書類をご準備いただきますようお願いいたします。

〈日本天文学会の会長推薦（上記5.2）による応募を希望される方へ〉

上記概要だけでなく、下記リンク先「日本学術振興会 育志賞の推薦募集について」の説明をよくお読みいただいたうえで、2026年5月7日(木) 必着にて日本天文学会事務長 (jimucho@asj.or.jp) 宛に「様式1」以外の応募書類一式をPDFにてご送付ください。

日本学術振興会 育志賞の推薦募集について

<https://www.jsps.go.jp/j-ikushi-prize/yoshiki.html>

*「様式2」（1ページ目）は応募受付後学会事務にて電子申請システムに直接入力してPDFを生成しますので、作成用WORD様式は提供されません。本メールに添付した見本への記入（または任意書式）にてシステム入力に必要な情報（データ）をご提供ください。

*日本天文学会会長推薦へのご応募は日本天文学会会員の方に限らせていただきますので、応募書類送付メールに必ず会員番号をご記載ください。

*審査の公平性を期すため、上記〆切後の応募書類の提出・差替・追加は受け付けませんので、期限厳守のほどお願いします。

研究助成

公益財団法人住友財団

2026年度2件の研究助成

基礎科学研究助成

助成の趣旨：科学の進歩は社会の発展に大きな貢献を果たしてきました。科学は人類社会の未来を拓くことにつながるものです。この助成は、重要でありながら研究資金が不十分とされている基礎科学研究、とりわけ新しい発想が期待される若手研究者による萌芽的な研究に対する支援を行うものです。

助成対象研究：数学、物理学、化学、生物学及びこれらの複合分野並びに工学の基礎分野における萌芽的研究

応募資格：2026年4月1日時点で45歳以下の若手研究者

①産前・産後休暇、育児休業等の取得により研究期間の中断がある場合は年齢要件を考慮しますので、応募前に事務局へお問い合わせ下さい。

②国籍に関係なく、日本の大学等の研究機関に所属し、申請に関する所属機関長の承諾がとれるのであれば応募可能です。

③上記②以外であっても、日本国籍を持つ者または

日本に永住を許可されている外国人は、応募可能です。尚、海外の大学等の研究機関に所属している者は所属機関長の承諾を得ることが必要です。

尚、申請者の所属が営利企業等（兼務を含む）の場合には応募不可です。

助成金：総額2億円（1件当たり最大500万円）

助成件数：40件程度

環境研究助成

助成の趣旨：現在、人類が直面している大きな問題の一つに環境問題があります。地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、生物種の減少、食料と人口、砂漠化、公害等様々な問題があり、その原因の探究と解決策の模索が続けられています。この助成は、環境問題の解決のためには、多面的アプローチによる分析と様々な対応策の構築が必要と考え、そのためのいろいろな観点（自然科学・社会科学・人文科学）からの研究に対する支援を行うものです。

助成対象研究：

- ・一般研究：環境に関する研究（分野は問いません。）

- ・課題研究：

2026年度募集課題

「地球のネイチャーポジティブを実現するための学際的または国際的研究」

応募資格：研究者個人または研究グループ

①国籍に関係なく、日本の大学等の研究機関に所属し、申請に関する所属機関長の承諾がとれるのであれば応募可能です。

②上記①以外であっても、日本国籍を持つ者または日本に永住を許可されている外国人は、応募可能です。尚、海外の大学等の研究機関に所属している者は所属機関長の承諾を得ることが必要です。尚、申請者の所属が営利企業等（兼務を含む）の場合には応募不可です。

助成金：総額1億円

一般研究 7,000万円 1件当たり最大 500万円

課題研究 3,000万円 1件当たり最大1,000万円

助成件数：

一般研究35件程度

課題研究3件程度

共通事項

募集期間：

2026年4月15日(水)～6月30日(火)

応募方法：財団ホームページ（本項最下部URL）から

応募ページにアクセスし、手順に従って申請書類を作成して、システムにアップロードすることで申請を行って下さい。

連絡先:

〒105-0012 東京都港区芝大門1-12-16
住友芝大門ビル2号館
公益財団法人 住友財団
TEL: 03-5473-0161 FAX: 03-5473-8471
E-mail:
基礎科学研究助成 basic.science@mail.sumitomo.or.jp
環境研究助成 environment@mail.sumitomo.or.jp
URL: <https://www.sumitomo.or.jp/>

会務案内

ハラスメント外部相談窓口の設置について

2025年12月の理事会および2026年1月の代議員総会での承認を受け、2026年4月にハラスメント外部相談窓口を設置いたしました。本窓口は、専門的な知見を持つ「公益財団法人21世紀職業財団」に委託して運営されます。

正会員、準会員、および事務所職員であればどなたでも利用可能です。ハラスメントに該当するかどうかに関わらず、誰かの言動や対応について不安や疑問を感じた方からの相談を受け付けます。相談の対象となるのは、年会など各種集会の開催中で生じた問題、委員会活動や事務所内で生じた問題などです。大学や研究機関などの所属組織内で生じた問題については、各機関が設置している相談窓口にて対応いただくことを想定しています。現時点では、第三者からの報告や通報は受け付けておりません。

相談にあたっては、相談者の個人情報保護を重視しており、匿名での相談も受け付けています。相談者が希望しない限り相談者情報は日本天文学会に報告されず、件数等の統計情報だけが報告されます。相談者が調査を希望する場合は、窓口から会長・副会長に通知され、実務理事会で対応を検討することになります。調査体制などについては、継続的に改善を検討していきます。現時点では、相談窓口の相談員の性別について相談者が選択・希望を行うことはできません。

具体的な相談方法については、学会ホームページに掲載の案内 (<https://www.asj.or.jp/jp/about/harassment/>) からパスワード保護されたページをご覧ください。会員向けには、このパスワード保護されたページへのアクセス情報（ユーザー名とパスワード）を示した紙面

案内を、本号に同封いたします。また、「TENNET」でも定期的にお知らせいたしますので、そちらもご確認ください。

外部相談窓口の利用方法について、相談の前後を問わず不明な点がある場合は、日本天文学会事務長 (jimucho@asj.or.jp) までお気軽にお問い合わせください。
日本天文学会 会長 太田耕司

天文月報表紙デザイン案大募集!

天文月報では、下記サイトにて翌年1年間の表紙デザインを常時募集しております。

<https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/design/>

毎年8月末日、1年間で集まった作品を対象に、次年度の表紙デザインを選考いたします。

応募はプロ・アマチュア、会員・非会員問わずどなたでも受け付けております。

2027年の表紙を飾るデザインの応募は、2026年8月31日に締め切ります。応募の際は以下の概要を参照してください。

『天文月報』2027年表紙デザイン募集概要

■掲載期間

2027年1月号（第120巻1号）～2027年12月号（第120巻12号）

■デザインについて

表紙は以下の要素で構成してください。

- ・題字（『天文月報』）
- ・号数
- ・日本天文学会ロゴマーク
- ・記事タイトル（テキストは毎月指定）
- ・カラー画像（画像は毎月提供）
- ・背景イラスト

※すべての要素の配置を含めたデザインを作成してください。

※毎号に背景を変更しても、または背景を固定して配色・画像・テキストを変える形式でもどちらでも構いません。ただし、使用するフォントは年間を通して統一してください。

※参考：バックナンバー

<https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/backnumber/>

■使用素材

題字・ロゴマークは、以下のURLにある指定データを使用してください。題字は原型を崩さない範囲でアレンジ可能です。

題字:

https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/item/geppou_title.jpg

ロゴマーク:

https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/item/logo_J_black.eps

■応募方法

以下をアップローダーより提出してください。

- ・表紙デザイン案 (画像ファイル)
- ・コンセプト説明

提出先: 天文月報編集委員会天文月報投稿用アップローダー

https://stg.asj.or.jp/jp/activities/geppou/author_submission/

ログイン情報:

ユーザー名: geppou, パスワード: toukou

■仕様

カラー: CMYK

ファイル形式: 不問 (※ PDF 添付必須)

サイズ: B5判 (182 mm × 257 mm ・ 縦)

■締切

2026年8月末日

■応募規定

- ・募集する作品は、応募者が作成した未発表のオリジ

ナル作品に限ります。

- ・作品の中に第三者が著作権等の権利を有している著作物等を利用してないものとします。

- ・採用された場合、作品の著作権については以下のように規定します。

*納品された表紙の著作権 (著作権法第27条及び第28条に規定する権利を含む。) は日本天文学会に帰属します。

*表紙に使用したオリジナル原画の著作権 (著作権法21条から26条の3に規定する権利。) は日本天文学会に帰属します。

*著作者が表紙に使用したオリジナル原画を他の目的で使用する場合は、事前にその旨を日本天文学会天文月報編集委員会に知らせ、転載許可を取ってください。

■その他

- ・応募にあたりご提供いただいた個人情報、本要項による採用の通知のためだけに使用します。

- ・採用者には謝礼 (24万円/1年分) をお支払いします。

■お問い合わせ

日本天文学会ホームページお問い合わせフォーム
「天文月報について」

<https://www.asj.or.jp/jp/contact/>

天文月報 119巻6月号 主な掲載予定記事

すばる望遠鏡 学生PI現地観測プログラム特集 (2): 巻頭言【兒玉忠恭】 すばる HDS による明るい金属欠乏星の探索【岡田寛子】 すばる望遠鏡/MOIRCSを用いた若い超低質量天体の近赤外多天体分光観測—すばる望遠鏡現地観測体験記—【金井昂大】 アンドロメダの距離を測る【直川史寛】 近赤外線分光観測に基づく遠方クエーサーのアウトフロー探査と MOIRCS データ解析パイプラインの開発【高橋歩美】

EUREKA: 銀河形状の大規模整列: 銀河の形は初期宇宙を覚えているか?【栗田智貴】 潮汐破壊現象と銀河核環境: AT2023clx 偏光分光観測からの示唆【宇野孔起】

雑報: 講書始の儀【家正則】

編集委員: 日下部展彦 (編集長), 岡本文典, 小山翔子, 志達めぐみ, 鈴木大介, 高橋葵, 田中壱, 谷川衝, 鳥海森, 中島亜紗美, 信川久美子, 橋本拓也, 福島肇, 藤澤幸太郎, 宮武広直, 宮本祐介, 守屋堯

令和8年4月20日 発行人 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1 国立天文台内 公益社団法人 日本天文学会

印刷発行 印刷所 〒162-0801 新宿区山吹町332-6 株式会社 国際文献社

定価733円 (本体667円) 発行所 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1 国立天文台内 公益社団法人 日本天文学会

Tel: 0422-31-1359 (事務所) / 0422-31-5488 (月報) Fax: 0422-31-5487

振込口座: 郵便振替口座00160-1-13595 日本天文学会

三菱UFJ銀行 三鷹支店 (普) 4434400 公益社団法人 日本天文学会

日本天文学会のウェブサイト <https://www.asj.or.jp/> 月報編集 e-mail: toukou@geppou.asj.or.jp

会費には天文月報購読料が含まれます。

©公益社団法人日本天文学会 2026年 (本誌掲載記事は無断転載を禁じます)