

ASTRO NEWS	XRISMニュース (6): X-ray Mirror Assembly (XMA) の開発	林多佳由	731
研究奨励賞	異星の空を覗き込む: 系外惑星大気研究の未来を築く	Stevanus Kristianto Nugroho 訳: 宇佐美昂成	736
EUREKA	星の運動から探る小マゼラン銀河の銀河相互作用	中野覚矢	744
天文教育普及賞	星空を語り続けて48年	村松修	755
天球儀	〈2024年度日本天文学会天体発見賞・天体発見功労賞〉 天体観測六十余年を振り返る —天体発見賞受賞アンケートに答えて—	板垣公一	760
シリーズ: 海外の研究室から	東アジアを渡り歩いて, 台湾へ Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica	奥村哲平	764
シリーズ: 天文学者たちの昭和	日江井榮二郎氏ロングインタビュー 第9回: 太陽観測衛星	高橋慶太郎	768
年会	日本天文学会2026年春季年会のお知らせ		779
月報だより			786
2025年(第118巻)総目次			

---

**【表紙画像説明】**

小マゼラン銀河内部における大質量星の固有運動ベクトル。ベクトルの色は固有運動の方向を表し、北西(右上)に向かう青色と、南東(左下)に向かう赤色のベクトルが目立つ。大質量星に見られる北西-南東方向の逆向きの運動は、南東に位置する大マゼラン銀河の潮汐力によって小マゼラン銀河が引き裂かれる描像に一致する。さらに、大質量星は銀河の回転運動を示さず、小マゼラン銀河における銀河回転の不在を示唆する。

**【今月の表紙デザイン】**

宇宙への関心と技術の発展は人類史にも大きな影響を与えました。原始太陽が誕生してから現在の太陽系が形成される時間経過の中に私もいるのだという思いで毎号デザインさせていただきました。今号は太陽系儀をモチーフにし、この1年間を締めくりたいと思います。幼少期に見上げた七夕の夜空、あの感動が再び蘇ってくるような素晴らしい1年間でした。

## XRISM ニュース (6): X-ray Mirror Assembly (XMA) の開発

林 多佳由

〈Department of Physics, University of Maryland, Baltimore County, 1000 Hilltop Circle, Baltimore, MD 21250, USA〉

〈Center for Research and Exploration in Space Science and Technology (CRESST II), Greenbelt, MD 20771, USA〉

〈NASA's Goddard Space Flight Center, X-ray Astrophysics Division, Greenbelt, MD 20771, USA〉

〈京都大学 大学院理学研究科 物理学第二教室 宇宙線研究室 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町〉

e-mail: thayashi@umbc.edu

### 1. 日本の宇宙科学 X線望遠鏡

XRISM 衛星には2台の X-ray Mirror Assembly (XMA) と呼ばれる X線望遠鏡が搭載されている (図1)。X線望遠鏡は他の波長の望遠鏡と同様に、天体からの光 (X線) を集光することで検出器の小型化を可能にし、ノイズに対する天体シグナルの強度比を向上させるとともに、結像することで天体の空間構造を明らかにする。ただし X線では可視光などと違い、反射面に対して1度以下の角度で入射させないと高い反射率が得られない。つまり、一回の反射で変えられる X線の進行方向は2度程度となり、可視光などの望遠鏡と比較して、X線望遠鏡は口径の割に焦点距離が長く、視野が狭い。実際の X線望遠鏡では、視野中心から外れた天体に対する結像性能<sup>\*1</sup>を向上させるため、回転放物面と回転双曲面の反射鏡で一回ずつ X線を反射することで集光・結像させる、Wolter-I型光学系が広く利用されている (Wolter-I型光学系の構造図は [1] の図4参照)。日本では「あすか」、ASTRO-E、「すざく」、「ひとみ」、XRISM の天文衛星に X線望遠鏡が搭載されてきた。

上記の日本の X線望遠鏡はすべて「多重アルミ

薄板型」で、これらの大部分<sup>\*2</sup>は NASA の Goddard Space Flight Center (GSFC) で開発された。多重アルミ薄板型 X線望遠では製作を簡単にするため、Wolter-I型光学系の回転放物面と回転双曲面の反射鏡はいずれも円錐面で近似される。有効面積<sup>\*3</sup>の向上のため、このような反射鏡を数百枚、同心円上に入れ子に配置する。このタイプの X線望遠鏡は GSFC の Peter Serlemitsos が発明し、スペースシャトルコロンビアに搭載された Broad Band X-Ray Telescope で初めて宇宙で使用された。その後は歴代の日本の X線天文衛星に搭載されながら性能向上を果たした。

多重アルミ薄板型の売りは軽量かつ大有効面積と低開発コストにある。X線天文観測では大気吸収を避けるために飛翔体による観測が必須であり、搭載機器には重量制限が課される。そのうえで、高精度観測にはより多くの X線を集める必要がある。この性能の指標が単位質量当たりの有効面積 (有効面積/質量) になり、特に日本の衛星では一般的に重量制限が厳しく、重要度が高い。多重アルミ薄板型と好対照なのがチャンドラ衛星の望遠鏡で、直接研磨した数 cm 厚のガラスをベースにした反射鏡を4つ入れ子にしている。

<sup>\*1</sup> どれくらい細かい構造を分解できるかという、いわゆる目の良さ。

<sup>\*2</sup> 「ひとみ」の4台のうち2台の望遠鏡と、「すざく」、「ひとみ」の迷光 (意図しない経路から焦点面に届く不要な光 (X線)) を除去する装置 (Precollimator) は日本が開発。XMA ではアライメントバーと呼ばれる反射鏡調整ジグやアライメントキューブは日本から提供。

<sup>\*3</sup> 実際に X線を集められる面積で、どれくらいの X線を集められるかに直結する量。

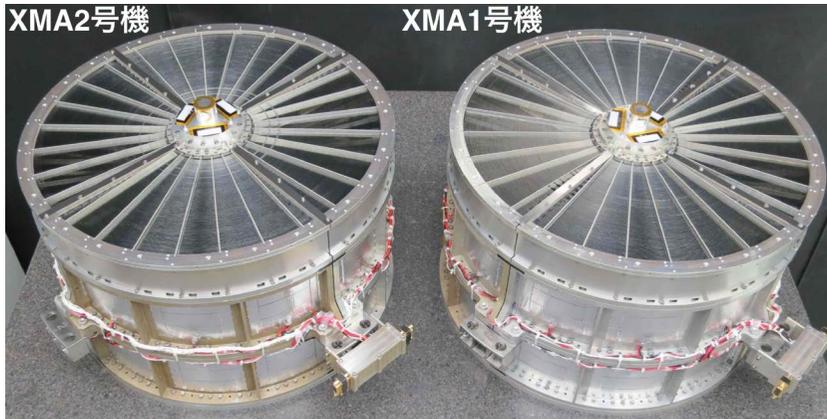


図1 XMA一号機（右）と二号機（左）. 熱的保護膜（サーマルシールド）は未取り付け.

XMAの有効面積／質量@1.5 keVと開発コストが $16 \text{ cm}^2 \text{ kg}^{-1}$ と数億円であるのに対し、チャンドラでは $0.8 \text{ cm}^2 \text{ kg}^{-1}$ と数百億円である。一方で多重アルミ薄板型の欠点は結像性能で、XMAのHalf-Power Diameter (HPD)<sup>\*4</sup>が約80秒角であるのに対し、チャンドラは0.5秒角と、大きな差がある。応答関数<sup>\*5</sup>開発や地上・軌上較正試験<sup>\*6</sup>は、「ひとみ」までは日本が担当したが、XMAではこれらもGSFCが担当した。また、「すざく」、「ひとみ」で日本の大きなハードウェア貢献だったprecollimatorと呼ばれる迷光除去装置の開発もGSFCに移り、X線望遠鏡開発体制はXMAで大きく変わった。筆者はGSFCでXMA開発の当初から現在まで中心的メンバーとして携わってきた。この記事では個人的に印象に残ったことを交えつつ、XMA開発を振り返ってみる。

## 2. XMAのハードウェア開発

2016年3月の「ひとみ」喪失後、同年にはXARM<sup>\*7</sup>として代替機の検討が始まった。翌年11月にはXMAのDesign Reviewが行われ、12月にXMA開発が本格化した。反射鏡製作は主に5人の技術者で行われ、2019年9月までに2台のXMAに十分な約5000枚が製作された。2018年10月にはハウジングが完成し始め、quadrant (QT)<sup>\*8</sup>開発が始まった<sup>\*9</sup>。1, 2段QTハウジングそれぞれに203層の反射鏡を挿入し位置調整する。調整後はX線で結像性能を確認し、必要があれば再調整する。時間の制約から心ゆくまで調整することは叶わなかったが、QT開発は概ね順調に進んだ。可視光で集光位置と光軸を揃えつつQTを組み上げ、有効面積を減らさないようにprecollimatorを取り付けてXMAが完成する。

<sup>\*4</sup> 結像性能を表す一つの量。結像中心を中心とし、望遠鏡で集められる全光量のうち半分が入る円の直径で定義される。HPDが小さいほど狭い範囲に光が集まること、つまり結像性能が高いことを示す。

<sup>\*5</sup> 観測機器を通して得られる情報に対して、その観測機器が与えた影響を表す関数。得られる情報は入力情報に応答関数をかけたものになる。X線望遠鏡の応答関数は注目する空の領域毎に定義される有効面積であり、X線エネルギー、視野中心に対する天体の位置をパラメータに持つ。

<sup>\*6</sup> 応答関数を測定する試験。打ち上げ前後にそれぞれ地上と軌道上で実施。

<sup>\*7</sup> X-ray Astronomy Recover Mission.

<sup>\*8</sup> 四分円 (QT: quadrant) 毎に望遠鏡を制作し、これらを組み上げて一台のXMAにする。

<sup>\*9</sup> <https://svs.gsfc.nasa.gov/13530> や <https://svs.gsfc.nasa.gov/13280/> にQT開発の様子が公開されている。

2019年11月と2020年3月にそれぞれ一、二号機が完成した。完成後は熱真空試験と振動試験<sup>\*10</sup>を実施。熱真空試験中、XMA内の温度が一様な時間帯では集光像に変化はないが、温度勾配ができると途端に大きく歪んだのが印象に残っている。

二号機の熱真空試験が完了した時点の2020年4月からパンデミックのためGSFCは閉鎖された。XMAチームは特別な許可を取り、閉鎖の最中、7月に開発に戻った。二号機の振動試験から再開したが、試験前後でHPDが約10秒角ほど変化してしまっただけで、測定システムに残っていた、加工時に発生する意図しない突起（バリ）をXMA取り付け時に挟んでしまったことが原因で、二号機には問題ないことが判明している。一方で、この問題を受けて再測定した一号機のHPDがGSFC閉鎖前から20秒角以上変化していることがわかった。測定データを遡って確認したところ、実際には振動試験直後にHPDが50秒角も変化している結果が出ていた。しかし、あまりにも像の変化が大きく、また、検出器までの距離を変えて取得した同日の結果が振動試験前とよく一致したため、測定の失敗とみなされていた。さらに、測定後に距離の確認を怠っていたことが痛恨であった<sup>\*11</sup>。

振動試験による破壊が判明した一号機はQTにまで分解して原因追求した。その結果、二号機や「ひとみ」望遠鏡と比べて、ハウジング間のスタイキャスト接着剤の量が少ないことがわかった。スタイキャストはQT結合時のネジ締めによってハウジングが歪まないよう、ハウジング間の隙間を埋める「詰め物」の役割を意図していた。しかし、実はスタイキャストは構造的な補強も担っ

ていることが調査から明らかになり、一号機では補強材としてのスタイキャストの量が不足していた。そのため振動試験でハウジングが動き、歪んでしまっていた。これを受けて十分な量のスタイキャストを使用しつつ一号機を再組み上げた。結果、2021年6月に晴れて振動試験を通過することができた。再組み上げでは部品のネジを締めるたびに焦点距離を確認したが、その都度cm単位（約6秒角相当）で変化しており、X線望遠鏡の繊細さをありありと示していた。

### 3. 地上較正試験と測定システム開発

XMAでは地上較正試験もGSFCで実施したが、当初、有効面積を測れるシステムはGSFCにはなかった。XMAのようにタイトに反射鏡が詰まったX線望遠鏡では、点光源からの等方拡散光を照射しても、隣の反射鏡の影のため反射鏡面全面にX線が当たらず、原理的に有効面積を測ることはできない。そのため、有効面積測定にはビーム幅を細く（mm-cm）絞ったペンシルビームを用いる。ペンシルビーム内ではX線平行度が10秒角程度に抑えられるため、隣の反射鏡の影は問題にならない。一方でペンシルビームでは口径を覆えないので、望遠鏡と検出器を同期移動させることで望遠鏡入射面上にビームを走査させる<sup>\*12</sup>この手法ではpoint spread function<sup>\*13</sup>の測定精度は望遠鏡・検出器ステージの同期精度で制限されるが、有効面積は非常に正確に測定できる。ペンシルビームによる高精度なX線望遠鏡測定は、「ひとみ」までは日本独自の技術・システムであり、XMAではこれをGSFCに導入する必要があった。XMA開発の裏で、X線望遠鏡測定システム（X

<sup>\*10</sup> 衛星搭載機器は打ち上げ時の振動に耐え、宇宙の熱環境でも適切に動作することが必須であるため、これを確認する試験。

<sup>\*11</sup> X線測定は真空中で行うため、測定の際中に望遠鏡と検出器間の距離を測ることはできない。

<sup>\*12</sup> 光源を移動させる手もあるが、X線発生器を移動させることが困難なこと、ステージの首振りによるビームのぶれ、ビームライン全長に亘ってビーム移動範囲以上の真空チャンバーが必要になるデメリットがある。

<sup>\*13</sup> 望遠鏡による点源集光像がどのようにぼやけるかを表す関数。



図2 GSFCのX線ビームライン。

線ビームライン)の大規模な改修を実施した(図2<sup>\*14</sup>)。2018年7月に高輝度X線発生装置、翌年4月に望遠鏡・検出器真空チャンバー(直径約2 m, 全長9 m)が納入されたのに続き、望遠鏡・検出器の両ステージや単色器の導入など、ほぼすべての装置を入れ替え、または新規導入した。印象に残った問題に真空パイプの熱膨張がある。X線を検出器で受けられるようになり二結晶分光器<sup>\*15</sup>を通したX線強度を確認すると、何十%も変動していた。調査の結果、炎天下で真空パイプが膨張し、これに伴い結晶が回転していることがわかった。アンカー増強、パイプの遮光、こまめなX線強度モニターでこの影響は無視できるまでに抑えた。気づけば当然に思えるが、事前に俯瞰して気づくのは難しい。また、最後まで残った問題に、これも熱膨張で、ステージのリードスクリュウの膨張があった。リードスクリュウとはモーターの回転を直線運動に変換する部品で、ステージ動作時は常に摩擦を生じる。地上較正試験では朝から晩までステージを行き来させる。ステージは朝には調子良いが、真空中で対流が効かないためリードスクリュウは次第に加熱、膨張する。そのうち摩擦によるノイズが聞こえ始め、最後には動作不能になってしまう。この問題は地上

較正試験のボトルネックになった。

何とかXMAと測定システムが完成し、2021年8月から翌年5月まで地上較正試験を実施した。試験開始以降は予想以上にスムーズに進んだ。リードスクリュウの問題はあったものの、GSFCのビームラインが100 mと長く、15×15 mmのペンシルビームでも十分な平行度が得られたため(「ひとみ」までは2×2 mm)、大幅に測定時間を短縮できた。しかしやはり、トラブルなしで長丁場の試験が終わることはなく、X線発生器の故障などにより数ヶ月の中断を余儀なくされた。こればかりは我々では対処できず、気をもみながら修理を待つ以外なかった。それでも予定していた項目を全て消化し、2022年5月にXMAは日本に発送された。

#### 4. 日本での受け入れと衛星搭載

日本に到着したXMAはまず、アライメント情報の取得と性能確認のため宇宙科学研究所(ISAS)に搬入された。XMAの入射面中心にはアライメントキューブミラーが搭載されている一方で十分な隙間も確保されており、これを通して検出器面を見通せる(図3)。ここにカメラシステムを取り付け、可視平行光をXMAに当てて得

<sup>\*14</sup> <https://svs.gsfc.nasa.gov/13531/> にビームラインの内部などの写真が公開されている。

<sup>\*15</sup> 向き合った2つの結晶面で1回ずつブラッグ反射させることで入射X線と平行な特定のエネルギー(色)のX線を取り出す装置。結晶を回転させることで取り出すエネルギーを変えられる。

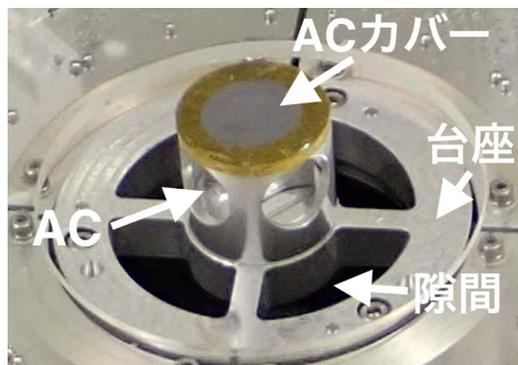


図3 アライメントキューブ (AC) とその台座。XMAの入射面中心に設置。台座のAC周囲部分には隙間が設けてあり、これを通して焦点面を見通せる。この写真では水平を向くAC面に窓を持つカバーが取り付けられているが、図1で取り付けられている台座の隙間を埋める台座カバーは未取り付け。

られる集光像の位置を記録する。同様に可視光で得られた光軸はアライメントキューブの法線からの離角と方位角として記録する。これらの情報は衛星搭載時のXMAアライメントに使用する非常に重要なパラメータで、間違えると場合によっては検出器上に集光像を作れなくなる。

日本輸送後の性能確認もISASで行った。ISASには日本で唯一のX線望遠鏡専用のビームラインがあり、「ひとみ」以前の日本のX線望遠鏡地上較正試験が実施されている。日本メンバーの入念な準備と完成されたシステムにより、大きなトラブルもなく約2ヶ月の測定を終えた。測定結果によれば、輸送前後でXMAの性能に優位な変化はなく、特にGSFCとISASの有効面積測定の結果は統計誤差の範囲(0.3%)で一致した。測定完了したXMAは2022年8月、ついに筑波宇宙センターへ搬送された。

筑波でのXMA搭載作業は1ヶ月後の2022年9月に始まった。まず軌道上でXMAを室温程度に保つための熱的保護膜(サーマルシールド)をXMAに取り付けた。サーマルシールドはアルミを被覆した0.2  $\mu\text{m}$ 厚のポリミド膜で、ネジを落

とすと破けてしまう代物である。その後はXMAを衛星筐体へと吊り上げ、ISASで測定した光軸と集光像位置を頼りに筐体上でアライメントする。光軸は取り付けタブの下に入れるシムの厚さで調整する。集光位置は、仮のインターフェースでXMAを衛星筐体に取り付け、像が検出器上のどこに来るのかをカメラシステムで調べる。この結果から、望む位置に像を置くにはどれだけXMAをずらせば良いかを算出し、これを取り込んだ衛星搭載インターフェースを加工する。この加工完了を待ち、翌月10月に最終取り付け作業を行った。搭載作業ではQT間の隙間を覆うステンレスシートの破損やインターフェースのヘリサート不良、XMA吊り上げに使用したバネばかりが内部で引っかかり、これが戻った時にXMAの吊り具を跳ね上げて保護用アクリルカバーに落下するなど、トラブル続きであったが最終的には十分な精度でアライメントでき、XMAは無事にXRISMに搭載された。

## 5. さいごに

応答関数開発や軌道上での観測軸調整や較正試験など、まだまだ書ききれない項目は多々あるが、衛星搭載までのXMA開発を振り返ってみた。トラブルを強調するような書き方になっており実際に苦労は多々あったが、その中にもこそ新しい発見があり、今になってみれば面白く感じられる。XMAは軌上で期待通りの性能を発揮しており、有効面積の較正では打上げ当初から他衛星と遜えない精度に達している。XMA開発の当初から今まで携われたことはとても嬉しく、この場をお借りして、「ひとみ」以前も含め、全ての関係者の方々に感謝申し上げる。また、本記事の執筆機会を与え、丁寧な校閲をしてくださった、志達めぐみ氏と守屋亮氏にも深く感謝する。

## 参考文献

- [1] 粟木久光, 他, 2019, 天文月報, 112, 460

# 異星の空を覗き込む： 系外惑星大気研究の未来を築く



Stevanus Kristianto Nugroho 訳：宇佐美昂成

〈アストロバイオロジーセンター 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: stevanus.nugroho@nao.ac.jp, skristiantonugroho@gmail.com

太陽系外惑星大気の特徴づけは、宇宙望遠鏡および地上望遠鏡における観測技術の飛躍的な進歩によって新たな時代に突入している。その中でも、高分散分光は強力な観測手法として台頭しており、現在までに発見されている極端な惑星環境の一部において、原子・分子種の明確な検出、風のパターンの測定、化学不平衡状態の調査を可能にしている。本稿では、すばる望遠鏡やその他の施設に搭載された高分散分光器を用いた、昼面の温度が2200 Kを超える巨大ガス惑星である超高温木星（Ultra Hot Jupiter; UHJ）の研究について我々の成果を示す。我々の研究は、超高温木星の大気で見られる熱的・化学的プロセスの重要な兆候を明らかにした。具体的には、WASP-33bからの放射における酸化チタン（TiO）、中性鉄（Fe I）、およびヒドロキシラジカル（OH）の初検出、そしてKELT-20bにおけるFe Iとイオン化カルシウム（Ca II）の原子シグナルの検出である。これらの結果は、UHJにおける熱的逆転層の存在、大気循環、およびエネルギー収支に新たな制約を与え、高分散分光が大気物理・化学過程といった詳細な大気プロセスを探るための強力な手法であることを示している。すばる望遠鏡や今後の超大型望遠鏡（ELT）に搭載される次世代機器の登場により、これらの成果は比較太陽系外惑星学の基礎を築き、多様な系外惑星における大気の気候や化学、惑星の形成過程についてより深い理解をもたらすと考えている。

## はじめに

今年、太陽に似た恒星を周回する最初の太陽系外惑星51 Peg bの発見から30周年を迎える [1]。51 Peg bは巨大ガス惑星であり、視線速度法を用いて発見された。しかし我々の太陽系の惑星（例えば木星や土星）とは異なり、わずか4.23日の公転周期で主星のごく近くを周回している。このため、平衡温度は1000 Kを超える。現在では、一般的に「ホットジュピター」と呼ばれている。このような惑星は潮汐固定、すなわち片方の半球が常に恒星の方を向いているため、昼面と夜側の間に大きな温度差が生じると広く考えられてい

る。51 Peg bの発見は画期的で、従来の惑星形成理論に異議を唱えるとともに、特に惑星の軌道移動の観点から惑星系の進化を再検討させた。

系外惑星大気分野は、初のトランジットを起こす太陽系外惑星HD 209458 bの発見の直後に大きな飛躍を遂げた [2]。HD 209458 bは、太陽に似た恒星を周回するホットジュピターであるのに加えて地球から見て周期的に主星の前を通過（トランジット）する公転軌道を持つ。このトランジットと呼ばれる現象中、ごく一部の恒星の光が惑星の大気を透過する。その透過光スペクトルは、惑星大気中の原子や分子による吸収と散乱の痕跡を含んでおり、その化学組成と構造を推測す



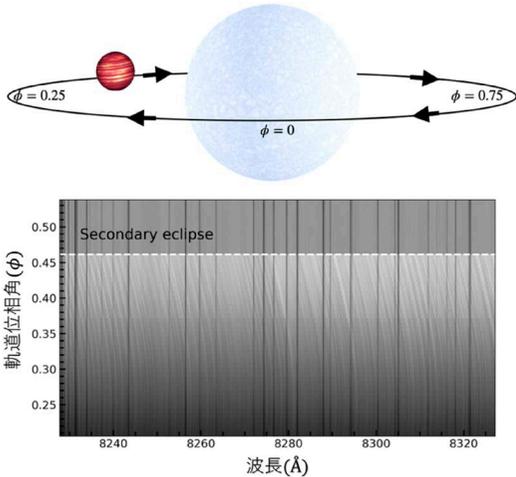


図1 主星の近くを公転する惑星が公転する際にスペクトルがドップラーシフトする仕組みを示す模式図。惑星のドップラーシフトにより時系列スペクトルに特徴的な傾斜した明るい軌跡が生じる。図において軌道位相角0.47以下の範囲に見られる右下がりの白い傾斜線が、惑星由来のスペクトル線（惑星ライン）に相当する。対照的に、静止した垂直の暗い線は地球大気吸収線に対応し、波長が固定されたままとなる。Secondary eclipseは二次食を指す。

分散分光は、分子種の確実な検出や、地上からの温度勾配の調査を可能にするだけでなく、風や自転などの大気力学の研究、そして低分散分光では困難または不可能な非トランジット惑星の大気研究への道も開くと考える [13, 15, 16]。この技術はこの分野に革命をもたらし、太陽系外惑星大気分光法の新時代を切り開いた。

この進歩に触発され、私は共同研究者とともに、特にすばる望遠鏡の高分散分光器（HDS）と赤外ドップラー装置（IRD）を使用して、ホットジュピターなどの主要な大気種を特定するための高分散分光の強みを最大限活かした研究に取り組んできた。以下では、これらの極端な惑星大気における化学、力学、およびエネルギー収支を解き明かす一連の発見に焦点を当てる。

## WASP-33bの大気におけるTiOの検出

私たちの研究の主要な動機の一つは、超高温木星（UHJ, 平衡温度が2200 Kを超えるホットジュピター）の大気における酸化チタン（TiO）の存在と、熱的逆転層を駆動する可能性を明らかにすることであった。この目的に最適なターゲットの一つが、昼面温度が3000 Kを超えるほどの強力な恒星光を浴びる惑星 WASP-33b である [17, 18]。その主星は明るく、高速で自転を行う  $\delta$  Scuti 型 A 型星であり、恒星のスペクトル線が少ない上に高い S/N が得られる昼面放射分光法に理想的な対象である。

私たちはすばる望遠鏡の高分散分光器（HDS） [19] を使用して、WASP-33b の二次食直前までの約10時間にわたる高分散放射分光観測を実施した。当時、HDS は8 m 級望遠鏡で利用可能な分光器の中で最高のスペクトル分解能を有しており、他のどの地上大型望遠鏡に搭載された分光器よりも吸収（または放射）バンドを詳細に分解できた。この性能を最大限に活用するため、最高の波長分解能が得られるモードで観測を行い [20]、6170–8817 Å の波長範囲と  $R=165,000$  の分解能を達成した。この範囲は、TiO の強いスペクトル線の多くをカバーしつつ、惑星対恒星のフラックス比が増加する長波長側までカバーできるよう最適化されたものである。

しかし、この波長域のスペクトルは恒星と地球大気由来の多数の吸収線に支配されており、適切に除去しなければ惑星信号は容易に埋もれてしまう。したがって、相互相関を実行する前にこれらの寄与を取り除くことが不可欠である。恒星スペクトルは時系列スペクトルから中央値を差し引くことで効果的に除去できる。一方、地球大気スペクトルはより変動が大きく、エアマスや湿度の変動により強度が変化するため、より詳細な補正が必要となる。

これらの地球大気スペクトルを補正するために、

私たちはデトレンドアルゴリズムを使用した。その基本原理は、地球大気スペクトルの強度変動がスペクトル全体で相関しており、このスペクトル全体の共通傾向を主成分分析（PCA）などの手法で特定・除去できるというものである。私たちは、トランジットサーベイの光度曲線から系統的傾向を除去するために開発されたSysRem [21] というアルゴリズムを採用した。SysRemは機能的にはPCAに類似しているが、各データポイントの不確かさを組み込んでおり、地上ベースの分光データでは特に重要である。このアルゴリズムは地上大気由来のノイズの除去に有効に機能し、高分散分光観測による太陽系外惑星の様々な大気種の検出を可能にした [22-30]。

ここで地球大気補正後のデータに相互相関を適用する前に、比較に使用される惑星スペクトルモデルの精度を慎重に考慮する必要がある。相互相関はデータをモデルスペクトルと照合することで機能するため、その結果はモデルの品質、特に関連する全遷移に対する正確な波長（エネルギー）位置と遷移強度を含む分子線リストの精度に大きく依存する。

TiOに関しては、従来文献で入手可能な分子線リストを HARPS[31] で観測されたバーナード星の高分散スペクトルと比較した際、一部波長域で不正確であることが報告されている。しかし、TiOは数百万もの分子線を有するため、個々の分子線の信頼性を評価するのは困難である。そこで私たちは同一装置、条件で得られたバーナード星のHDSスペクトルとTiOの分子線リストがよく一致するスペクトル次数のみを選択した。これらの「良質なスペクトル次数」を使用し、TiOモデルスペクトルのグリッド全体に相互相関解析を適用した。

その結果、WASP-33bの昼面におけるTiO放射のスペクトルを明確に検出し、成層圏の存在を示す強力な直接証拠を得た（図2参照） [24]。これは高分散分光観測によるTiOの初検出であるのみ

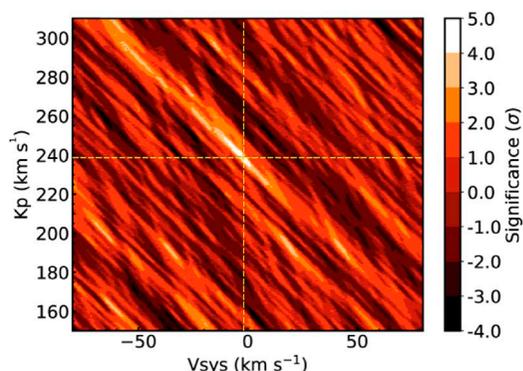


図2 惑星のドップラーシフトの半値全幅 ( $K_p$ ) と惑星が属する恒星系の太陽重心に対する速度 ( $V_{\text{sys}}$ ) の値の範囲を仮定して相互相関法より足し合わせたTiOの検出有意性の図。図中の点線は予想される惑星の  $K_p$  と  $V_{\text{sys}}$  において最も有意なシグナルが得られた位置を示している。カラーバーのグリッド間隔は  $1\sigma$  である。(Nugroho et al. 2017[24]の図に和訳を加えて改変)

ならず、可視高分散分光観測を用いて太陽系外惑星大気中の複雑な分子バンドを持つ化学種の初の検出例でもあった。この成果は、TiOのような高高度の光吸収体が一部のホットジュピター大気で観測される熱的逆転層の形成に寄与するという仮説をさらに強固なものとする。また、TiOのような密で構造的な分子バンドを有する分子種の解析において、可視高分散分光観測が宇宙の低分散観測を強力に補完する技術として有効であることも示した。

## WASP-33bの鉄原子の放射シグナルの検出

WASP-33は $\delta$ -Scuti型星であり、そのスペクトルには強い非対称振動が見られる。これらの振動が引き起こす変動は、特に透過分光観測において惑星大気と恒星光球の両方に存在する化学種の検出に大きな障壁となる。例えば、惑星からのFe I線は軌道運動によってドップラーシフトするが、WASP-33は視線方向の自転速度 ( $v \sin i$ ) が  $86 \text{ km/s}$  と非常に速いため、恒星のFe II線と重な

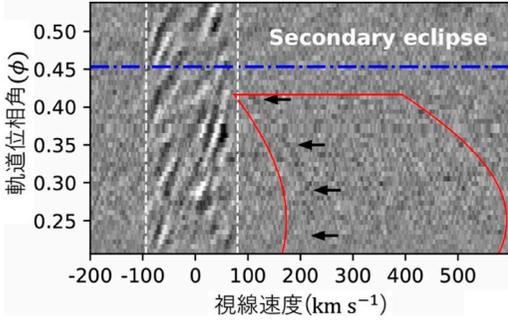


図3 左図: デトレンドアルゴリズムSysRem [21] を用いて地球大気吸収線を除去した後の観測スペクトルに対してFe Iの相互相関関数(CCF)を計算した図。垂直方向の2本の破線で挟まれた領域はWASP-33の自転によるシグナルを示している。水平方向の一点破線は二次食(Secondary eclipse)の時刻を示す。4本の矢印は検出された惑星信号の位置を強調表示しており、惑星のドップラーシフトが主星の自転速度に比べ大きく、主星由来のシグナルと分離可能であることがわかる。主星のシグナルによる影響を避けるため、実線で囲まれた領域を利用することで、主星と惑星の分離に成功した。(Nugroho et al. 2021[27]の図に和訳を加えて改変)

る可能性がある。幸いにも、HDS / すばる望遠鏡での観測中、惑星のドップラーシフトは恒星に対して100 km/sを超えており、惑星の信号を恒星線から明確に分離することができた。これにより、WASP-33bの昼面におけるFe I放射線の検出を可能にした(図3および4[25])。注目すべき点は、これらの観測がTiO検出に使用したものと同一データセットから得られたことであり、このデータセットの持つ優れたシグナル検出力と豊かな情報量を示している[24]。

この検出は、変動する恒星を周回する太陽系外惑星大気中の原子線を高分散昼面放射分光で初めて検出したものであり、低分散分光では極めて困難または不可能な成果である。さらに、この検出は強力な恒星光を浴びる超高温木星の理論的予測と私たちの以前の研究結果に一致し、Fe Iが恒星光の多くを吸収することによりWASP-33bの大

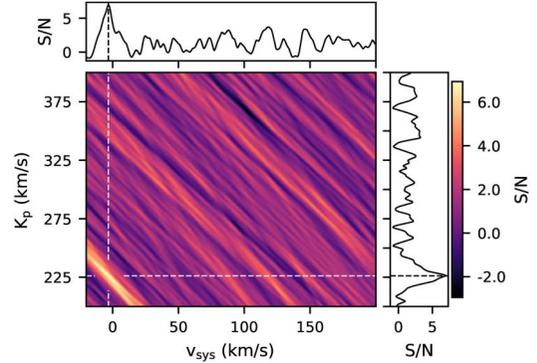


図4 Fe Iの最適モデルのS/Nマップ(縦軸、横軸は $K_p$ および $v_{\text{sys}}$ 値の範囲)。破線はマップ内で $S/N \approx 6.9$ のピークを示す。上段および右パネルは、それぞれ $K_p = 226.0$  km/sおよび $v_{\text{sys}} = -3.2$  km/sにおける相関関数(CCF)を示す。カラーバーはS/Nを示す[25]。

気に熱的逆転層が存在することを強く裏づけている[11, 24]。

## 太陽系外惑星大気におけるOHの初検出

超高温木星の熱構造は、大気の加熱に寄与する光学的不透明度と、大気を冷却する赤外線不透明度のバランスによって支配される。Fe I, Fe II, Na I, Ti Iなどの金属原子は恒星からの相当量の紫外線や可視光を吸収するため、TiO/VOが存在しなくても観測可能な熱的逆転層を引き起こす可能性がある[32]。一方、 $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{HCN}$ などの赤外線冷却の機能を果たす分子は近・中間赤外領域に多くの回転スペクトルを持ち、高温のガス中では効率的に赤外線を宇宙空間へ放出するため、大気が冷却される。しかし、これら分子が不足すると、大気からの赤外線放射が減少し、吸収された恒星からの光が宇宙空間へ放射されず、大気がより高温になる可能性がある[33, 34]。極端な温度によって引き起こされる熱解離は、超高温木星における赤外線冷却分子の存在量を減少させ、 $\text{H}^-$ による吸収と相まって、超高温木星の低分解能スペクトルで観測される弱い $\text{H}_2\text{O}$ のスペ

クトルフィーチャーを説明できる可能性がある [11, 35].

最近の研究で、私たちはIRD / すばる望遠鏡 [36, 37] を使用して、超高温木星 WASP-33b の近赤外線昼面を観測した。この観測により、WASP-33b の昼面におけるヒドロキシラジカル (OH) の放射を検出した (図5参照) [27]。一方、 $H_2O$  は弱いシグナル検出となった。このOHの検出、 $H_2O$  の弱い検出は、WASP-33b の極めて高温の大気中で $H_2O$  の解離が進行していることを強く示唆しており、理論的予測と一致しているため、特に重要な結果である [33, 34]。そしてこの発見は、太陽系外惑星大気のエネギー収支における各化学種の役割を詳細に理解するために、高分散分光観測で吸収・放射の特徴を理解することの重要性を示しており、「太陽系外惑星の大気ではOHが初めて検出された」事例である。さらに、IRDによる高分解能観測は、検出されたOH信号の個々の振動バンドを分解することも可能にする。

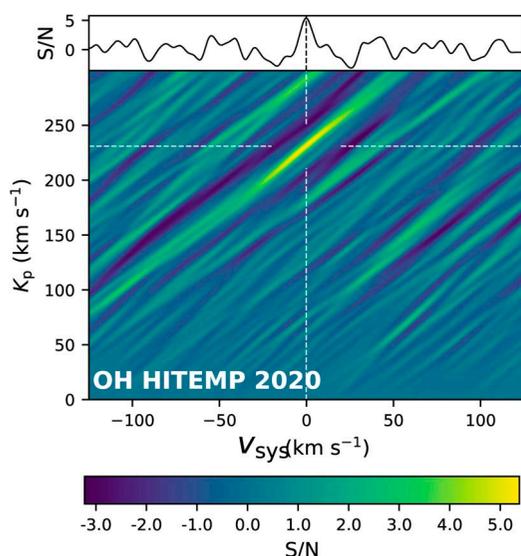


図5 HITEMP 2020分子線リストを用いて作成したOHのS/Nマップ [38–41]. 破線はマップ内の最高ピークを示し、S/Nは $\approx 5.4$ である。上段は $K_p=230.9$  km/sにおけるCCFを示す。カラーバーはS/Nを示す [27].

る。追跡調査として、私たちは太陽系外惑星の放射スペクトルにおける非熱平衡効果を探するための新しい方法を開発した。最初のOH検出に使用したデータに加え、IRDでの追加2夜分の観測を分析することで、最も強い2つのOH振動バンドを検出し、それらの相対強度が熱平衡状態を仮定した予想と一致することを発見した [42].

## KELT-20bにおける原子シグナル

WASP-33bにおける複数の分子種検出の成功を踏まえ、我々は高分散透過分光光スペクトル解析を用いて、比較的低温な大気を持つ超高温木星 KELT-20b の大気中の原子種を調査した。WASP-33b に対して適用した昼面の放射光分光とは異なり、透過分光では昼面、夜面の両領域における上層大気の探査が可能になる。また、この惑星はA型星を周回しており、主星からの強烈な紫外線放射が惑星の上層大気を著しく変化させることが予想されるため、上層大気におけるイオン化された原子種の検出の主要なターゲットである。

ガリレオ国立望遠鏡の分光器HARPS-Nとカラール・アルト天文台の分光器CARMENESで得られた透過光スペクトルを用いて、KELT-20bの大気中の中性鉄 (Fe I)、イオン化鉄 (Fe II)、ナトリウム二重線 (Na I D)、およびイオン化カルシウム (Ca II) のシグナルを検出した [26]。特にCa II HとK線は、大気の最上層を探査するプローブであり、これらの検出はおそらく脱出が進行中の、高温で膨張した上層大気存在を示唆している。興味深いことに、Fe Iシグナルは特徴的な二重ピーク構造を示し、惑星の静止フレームに対して青方偏移していた (図6を参照)。この特徴は、Fe Iが光学的に不透明な高度での強い赤道風を示唆している可能性がある。KELT-20b大気における原子検出の成果は異なる種に対して異なる大気層と力学構造を探査していることを示唆している。これらの発見はKELT-20bの大気の複雑な原子組成を明らかにするだけでなく、その垂直方向の力学構造

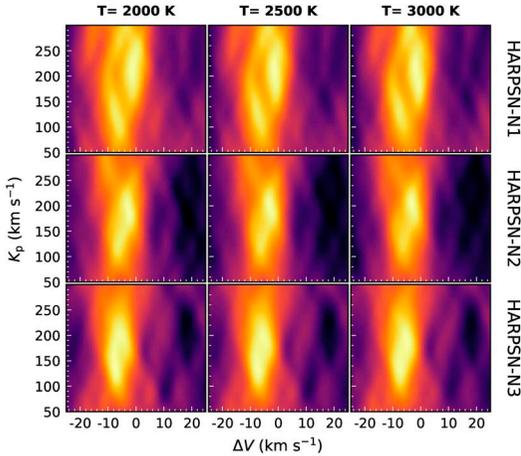


図6 Fe IのS/Nマップ(モデル温度: 2000 K, 2500 K, 3000 K. 横軸は $K_p$ , 縦軸は系全体の速度に対するドップラーシフト( $\Delta V$ ))で図2の $V_{\text{sys}}$ とは異なるパラメータである. 予想される惑星信号の位置付近を除いたマップの標準偏差を採用している. 各行は異なるHARPS-Nデータセットを用いた相互相関の結果を示す. 本論文で示された他の検出信号と比較して特異的な二重ピークまたはダイヤモンド形状の信号が確認できる [26].

に関する重要な知見を与える. このような観測は, 早期型星を周回する太陽系外惑星大気, 温度プロファイル, 化学的組成, 風のパターンを含む多次元的な特性を制約する上で特に価値がある.

## 将来展望

これらの発見は, 極端な温度によって特異な化学的・力学的挙動を示す超高温木星大気の全体像を構築するための広範な取り組みの一部である. 私は, この研究を複数の方向に展開している. 特に高分散分光器を用いて, 超高温木星大気の3次元特性(様々な高度, 緯度, 経度における化学組成, T-Pプロファイル, 風など)の解明に取り組んでいる [43–46]. さらに, これらの技術を土星型惑星, サブネプチューン, スーパーアースといった, より低温または小型の惑星にも適用している [30, 47].

すばる望遠鏡や将来のELT級望遠鏡に搭載さ

れる次世代高分散分光器は, 太陽系外惑星大気研究に新たなフロンティアを開くであろう. これにより, 微小な信号の検出, 多様な惑星の特徴づけ, そして大気化学と惑星形成・進化の関係解明が可能になる. ELT時代では, 効率が最重要となる. 可視光と近赤外線領域を同時にカバーする高スループット・超高分散分光器が, 理想的な地上観測機器となるだろう.

4000 Åより短い波長への観測範囲の拡張は, Fe I, Fe II, Mg I, Ti I, Si I, V I, Ca II, TiO, VO, AlO [26, 44, 48, 49] といったホットジュピターの主要な原子・分子種の検出に不可欠である. さらに $5\ \mu\text{m}$ まで拡張することで, HCN,  $\text{CH}_4$ , SiO,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ など, より低温の大気の特徴づけるために特に重要な分子の観測が可能になる [50].

可視光と近赤外線の同時観測は実用面でも大きな利点がある. 恒星活動をリアルタイムで観測できること(M型矮星や若い星周辺での惑星の誤検出排除に不可欠) [51–53] や, 惑星形成過程の重要な指標となる耐熱性物質と揮発性物質の比率測定が可能になることなどが挙げられる [54, 55]. さらにこの広範な波長範囲によって, 単一の観測で垂直的な化学勾配や大気力学を探索することができる [56, 57].

超高スペクトル分解能( $R \approx 300,000$ )の達成も重要である. これにより地球大気による吸収線の影響を最小限に抑えるだけでなく, 雲層上部の探査, 不均一な大気中の狭い線幅を持つスペクトル線の分解, そして自転・風・局所的な化学情報を含む微細な線形変動の検出をも可能にする [26, 58, 59].

総じて, 太陽系外惑星大気の特徴評価の未来は非常に明るいものである. 観測能力とモデル化技術の急速な進歩により, 私たちは前例のない精度と幅広い手法を駆使できる時代に突入している. 過去の経験と専門知識を活かし, 私はこの発展にコミュニティと共に貢献し続け, 太陽系外惑星大気の特徴づけ研究での日本のリーダーシップ確立

を支援したいと考えている。

## 参考文献

- [1] Mayor, M., & Queloz, D., 1995, *Nature*, 378, 355
- [2] Charbonneau, D., et al., 2000, *ApJ*, 529, L45
- [3] Brown, T. M., 2001, *ApJ*, 553, 1006
- [4] Charbonneau, D., et al., 2002, *ApJ*, 568, 377
- [5] Sing, D. K., et al., 2019, *AJ*, 158, 91
- [6] Charbonneau, D., et al., 2005, *ApJ*, 626, 523
- [7] Seager, S., et al., 2005, *ApJ*, 632, 1122
- [8] Hubeny, I., et al., 2003, *ApJ*, 594, 1011
- [9] Fortney, J. J., et al., 2008, *ApJ*, 683, 1104
- [10] Knutson, H. A., et al., 2008, *ApJ*, 673, 526
- [11] Haynes, K., et al., 2015, *ApJ*, 806, 146
- [12] Evans, T. M., et al., 2017, *Nature*, 548, 58
- [13] Snellen, I. A. G., et al., 2010, *Nature*, 465, 1049
- [14] Kaeuff, H.-U., et al., 2004, *Proc. SPIE*, 5492, 1218
- [15] Brogi, M., et al., 2012, *Nature*, 486, 502
- [16] Brogi, M., et al., 2016, *ApJ*, 817, 106
- [17] Collier Cameron, A., et al., 2010, *MNRAS*, 407, 507
- [18] De Mooij, E. J. W., et al., 2013, *A&A*, 550, A54
- [19] Noguchi, K., et al., 2002, *PASJ*, 54, 855
- [20] Tajitsu, A., et al., 2012, *PASJ*, 64, 77
- [21] Tamuz, O., et al., 2005, *MNRAS*, 356, 1466
- [22] Birkby, J. L., et al., 2013, *MNRAS*, 436, L35
- [23] Birkby, J. L., et al., 2017, *AJ*, 153, 138
- [24] Nugroho, S. K., et al., 2017, *AJ*, 154, 221
- [25] Nugroho, S. K., et al., 2020a, *ApJ*, 898, L31
- [26] Nugroho, S. K., et al., 2020b, *MNRAS*, 496, 504
- [27] Nugroho, S. K., et al., 2021, *ApJ*, 910, L9
- [28] Gibson, N. P., et al., 2020, *MNRAS*, 493, 2215
- [29] Gibson, N. P., et al., 2022, *MNRAS*, 512, 4618
- [30] Rafi, S. A., et al., 2024, *AJ*, 168, 106
- [31] Hoeijmakers, H. J., et al., 2015, *A&A*, 575, A20
- [32] Lothringer, J. D., & Barman, T., 2019, *ApJ*, 876, 69
- [33] Lothringer, J. D., et al., 2018, *ApJ*, 866, 27
- [34] Parmentier, V., et al., 2018, *A&A*, 617, A110
- [35] Arcangeli, J., et al., 2018, *ApJ*, 855, L30
- [36] Tamura, M., et al., 2012, *Proc. SPIE*, 8446, 84461T
- [37] Kotani, T., et al., 2018, *Proc. SPIE*, 10702
- [38] Rothman, L. S., et al., 2010, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, 111, 2139
- [39] Brooke, J. S. A., et al., 2016, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, 168, 142
- [40] Yousefi, M., et al., 2018, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, 217, 416
- [41] Noll, S., et al., 2020, *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 5269
- [42] Wright, S. O. M., et al., 2023, *AJ*, 166, 41
- [43] Herman, M. K., et al., 2022, *AJ*, 163, 248
- [44] Maguire, C., et al., 2023, *MNRAS*, 519, 1030
- [45] Ramkumar, S., et al., 2023, *MNRAS*, 525, 2985
- [46] Ramkumar, S., et al., 2025, *A&A*, 695, A110
- [47] Ridden-Harper, A., et al., 2023, *AJ*, 165, 170
- [48] Hoeijmakers, H. J., et al., 2018, *Nature*, 560, 453
- [49] Hoeijmakers, H. J., et al., 2019, *A&A*, 627, A165
- [50] Gandhi, S., et al., 2020, *MNRAS*, 495, 224
- [51] Krolikowski, D. M., et al., 2024, *AJ*, 167, 79
- [52] Allan, A. P., & Vidotto, A. A., 2025, *MNRAS*, 539, 2144
- [53] Allart, R., et al., 2025, *A&A*, 700, A7
- [54] Lothringer, J. D., et al., 2021, *ApJ*, 914, 12
- [55] Chachan, Y., et al., 2023, *ApJ*, 943, 112
- [56] Seidel, J. V., et al., 2023, *A&A*, 678, A150
- [57] Seidel, J. V., et al., 2025, *Nature*, 639, 902
- [58] Gandhi, S., et al., 2020b, *MNRAS*, 498, 194
- [59] Rukdee, S., 2024, *Scientific Reports*, 14, 27356

## Peering into Alien Skies: Building the Future of Exoplanet Atmospheric Studies

Stevanus Kristianto NUGROHO

*Astrobiology Center, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan*

Abstract: The characterisation of exoplanet atmospheres has entered a transformative era, driven by breakthroughs in both space- and ground-based observations. Among these, high-resolution spectroscopy has emerged as a powerful technique—enabling the unambiguous detection of atomic and molecular species, the measurement of wind patterns, and the investigation of chemical disequilibrium in some of the most extreme planetary environments known. In this article, I summarise our contributions to the study of ultra-hot Jupiters (UHJs)—gas giants with dayside temperatures exceeding 2500 K—using high-dispersion spectrographs on the Subaru Telescope and other facilities. Our work has revealed key signatures of thermal and chemical processes at play in UHJ atmospheres, including the first detections of titanium oxide (TiO), iron (Fe I) and hydroxyl radical (OH) in emission from WASP-33b, and atomic features of Fe I and Ca II in KELT-20b. These results offer new constraints on temperature inversions, atmospheric circulation, and the energy budget of UHJs, and demonstrate the power of high-resolution spectroscopy to probe atmospheric processes in detail. With the advent of next-generation instruments on Subaru and upcoming ELTs, these efforts will lay the groundwork for comparative exoplanetology and a deeper understanding of climate, chemistry, and formation histories across a diverse range of worlds.

# 星の運動から探る 小マゼラン銀河の銀河相互作用



中野 覚 矢

〈名古屋大学大学院理学研究科理学専攻物理学領域 〒464-8602 愛知県名古屋市中種区不老町〉  
e-mail: nasatoya@a.phys.nagoya-u.ac.jp

位置天文衛星 Gaia によって得られた、小マゼラン銀河の内部の恒星の動きを紹介する。小マゼラン銀河は私たちから最も近い相互作用銀河であり、より重い大マゼラン銀河との近接相互作用によって大きく形が乱されている。ガスをトレースする若い大質量星と、星までの距離が分かる古典的セファイド変光星の小マゼラン銀河内部の運動から、銀河相互作用によって駆動された星のカオスな運動があらわになりつつある。

## 1. 最も近い銀河の1つ、小マゼラン銀河を探る

小マゼラン銀河<sup>\*1</sup>や大マゼラン銀河といえば、天の川銀河やアンドロメダ銀河に次いで有名な銀河であり、天文学に詳しくなくても名前だけは聞いたことがあるという方も少なくないだろう。実際、大小マゼラン銀河は高校の地学基礎の教科書に記載されており、SF作品などにもしばしば登場する<sup>\*2</sup>。では、なぜ大小マゼラン銀河はそれほどまでに有名なのだろうか。それは何より、私たちの住む天の川銀河のすぐ近くにある、極めて身近な銀河だからである。観測可能な宇宙には約2兆個以上もの銀河が存在するとされている中で、これらの銀河は私たちから最も近い部類に入り、南半球では肉眼で見える一般的な存在となっている。具体的には、小マゼラン銀河までの距離は約62 kpc（約20万光年）<sup>[1]</sup>、大マゼラン銀河までの

距離は約50 kpc（約16万光年）であり<sup>[2]</sup>、約770 kpc（約250万光年）に位置するアンドロメダ銀河の10倍以上近い。この桁違いの近さは天文学的な重要性にも直結し、系外銀河の中では最高精度の観測が可能である。大小マゼラン銀河では、銀河を星1つ1つに分解して観測可能だけでなく、十分明るい星の動きまでも測定できるのである。

大小マゼラン銀河の天文学的な重要性として、それらが重力で互いに引かれあう相互作用銀河であることや、若く軽い銀河であることから初期の宇宙に存在した銀河と似た性質を持つことも挙げられる。例えば、天の川銀河は太陽の約1兆倍もの質量を持つ巨大な銀河である。天の川銀河のような現在の宇宙に存在する大質量の銀河は、より小さな銀河が衝突合体を繰り返しながら質量を獲得していく過程で形成されたと考えられている。過去の宇宙には、このような衝突や重力的な相互

<sup>\*1</sup> 小マゼラン「雲」とも呼ばれる。アンドロメダ星雲がアンドロメダ銀河と呼ばれて久しいように、筆者は「銀河」という天体の本質を表す名称を用いる方が語弊がないと考える。2024年には天文学辞典においても名称が「雲」から「銀河」へと改められている。

<sup>\*2</sup> かの有名な宇宙戦艦ヤマトは地球と大マゼラン銀河を往復する話であり、小マゼラン銀河と大マゼラン銀河は作中の敵に支配されているらしい。

作用の過程にある銀河が数多く存在しており、それらの銀河では相互作用によって爆発的な星の形成が誘発されている。大小マゼラン銀河は、私たちのすぐ隣にありながら、こうした過去の宇宙における銀河進化のメカニズムを解明する手がかりを与えてくれる、極めて重要な天体なのである。

特に、より軽い小マゼラン銀河では相互作用の影響が銀河の形態に強く表れており、ガスや固体微粒子（ダスト）などの星間物質の分布が乱されている。図1は小マゼラン銀河の星の分布と、星間物質の一種である電離水素の放射（H $\alpha$ 放射）の分布を表す。また、図2は大小マゼラン銀河周辺の中性水素の放射の分布を表す。図1に見られるように、小マゼラン銀河の星間物質の分布は星の分布とは大きく異なっている。星間物質は逆V字（ $\Lambda$ ）のような形態を示し、北から南西に向かって伸びる「バー構造」、および北から南東に向かって伸びる「ウイング構造」と呼ばれる構造によって特徴づけられる。南東には大マゼラン銀河が位置しており、ウイング構造は大小マゼラン

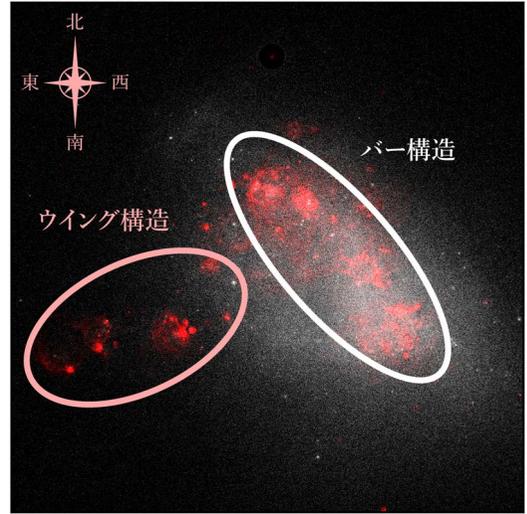


図1 小マゼラン銀河の星と星間物質の形態。図の上が北、右が西である。白い点1つ1つはGaiaで観測された小マゼラン銀河の星を表す。カラーで小マゼラン銀河の電離水素の放射（H $\alpha$ 放射 [7]）が示されており、星間物質に特徴的な逆V字の形態を示す。楕円はバー構造とウイング構造を示す。

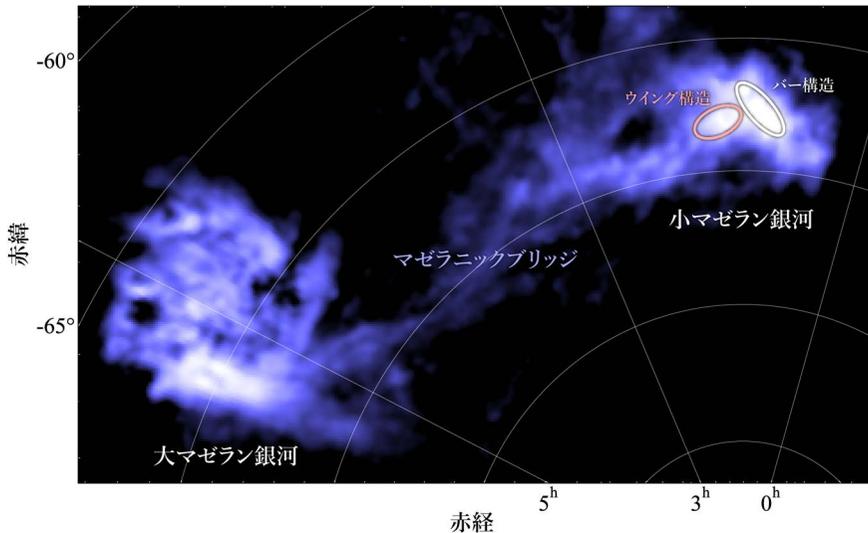


図2 大マゼラン銀河と小マゼラン銀河の周辺の中性水素（100–400 km s<sup>-1</sup>成分）の放射 [8]。小マゼラン銀河に示された楕円はバー構造とウイング構造を示す。2つの銀河はマゼラニックブリッジと呼ばれる中性水素の橋によって繋がっている。大マゼラン銀河の奥行き方向の速度（約260 km s<sup>-1</sup>）と小マゼラン銀河の奥行き方向の速度（約150 km s<sup>-1</sup>）に対応する速度をもつ中性水素からの放射のみを示している。

銀河を繋ぐガスと星の橋（マゼラニックブリッジ：図2）に接続している。また、約数千万歳より若い星<sup>\*3</sup>も星間物質と同じく逆V字の分布を示すことが知られている。これは、若い星がその材料となる星間物質の中に依然として存在しているためであり、これらの若い星は約2億年前の大小マゼラン銀河の近接遭遇 [3] によって乱されたガスから誕生していると解釈される。さらに、小マゼラン銀河の特徴的な形態として、星の分布が奥行き方向に長く広がっていることも挙げられる。小マゼラン銀河の縦横幅は約5 kpc（約1万6000光年）であるが、奥行き方向の幅は約30 kpc（約10万光年）であり、実は小マゼラン銀河はソーセージのような細長い形状をしているのである [4-6]。この奥行き方向に伸びた形態も、銀河相互作用によって形成されたと考えられている。こうした小マゼラン銀河の複雑な形態や構造の起源を明らかにするには、銀河内の星やガスの運動、すなわち「運動学（kinematics）」を詳しく調べることが欠かせない。

近年、欧州宇宙機関（ESA）の位置天文衛星 Gaia [9] の登場により、小マゼラン銀河に属する星の夜空の平面（天球面上）における動き（固有運動）がこれまでにない精度で測定できるようになった。図3は、天の川銀河を背景に宇宙を観測する Gaia のイメージ図である。Gaia は2013年12月に打ち上げられ、地球とともに太陽を公転しながら、2014年7月から2025年1月まで全天にわたる天体を継続的に観測した宇宙望遠鏡である。星の位置を長期間にわたって繰り返し観測することで、わずかな位置の変化から星の固有運動が得られる仕組みだ。さらに、2022年に公開された<sup>\*4</sup> Gaia の第3期データリリース [10] 以降では、小マゼラン銀河においても、十分に明るい星では天球面に直交する奥行き方向の速度（視線速度）も

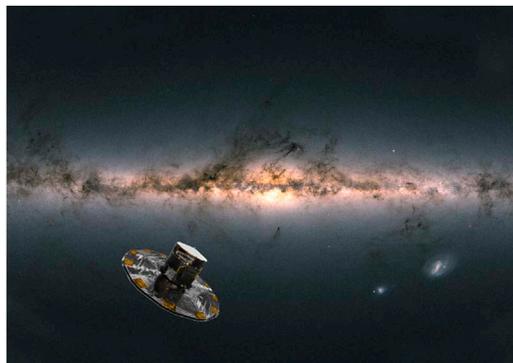


図3 宇宙を観測する位置天文衛星 Gaia のイメージ図。Gaia の写真と、Gaia によって観測された天の川銀河が合成されている。図の右下には Gaia によって観測された小マゼラン銀河（左側）と大マゼラン銀河（右側）も見られる。Credit: ESA/ATG medialab (spacecraft); ESA/Gaia/DPAC (Milky Way)。

得られるようになった。これにより、小マゼラン銀河における星の三次元運動の解析が現実のものとなっている。

とりわけ重要なのが、比較的若い星々の運動である。これらの星は形成から時間が経っておらず、母体となったガスとともに運動していると考えられるため、その固有運動からガスの天球面上の動きを間接的に推定できる。ガスの場合でも、輝線のドップラー効果を利用して視線速度の測定は可能である。しかし、ガスは点源である星のように位置を特定できる対象ではないため、時間をかけて追跡し固有運動を測定することは困難だ。したがって、若い星は、ガスの動きを代替的に捉えるトレーサーとして機能する点で有用である。さらに、前述のように、小マゼラン銀河のガスは相互作用によって乱されており、その影響が若い星の運動にも色濃く反映されていると考えられる。

このような背景を踏まえ、本稿では、小マゼラン銀河に存在する若い星のうち、大質量星と古典

<sup>\*3</sup> 太陽の年齢は46億歳であるため、数千万歳の星は太陽よりもはるかに若い。

<sup>\*4</sup> Gaia の観測データはネット上に公開されており (<https://gea.esac.esa.int/archive/>)、誰でも利用可能である。

的セファイド変光星（以下、古典的セファイド）という2種類の星種族に着目し、それぞれの三次元運動を解析した結果を紹介する。大質量星と古典的セファイドが示す特徴的な運動は、小マゼラン銀河がたどった相互作用や進化の歴史を読み解く上で、重要な手掛かりを与えてくれる。次節では、まずは大質量星の運動について詳しく見ていくことにしよう。

## 2. 小マゼラン銀河の大質量星の運動

### 2.1 大質量星の性質

大質量星は死に際に超新星爆発を起こす星であり、太陽の8倍以上の質量を持つ星として定義される。強い恒星風や超新星爆発によって周囲の星間空間に多大な影響を及ぼし、銀河進化の文脈でも大きな役割を果たす種族の星である。重い星ほど激しい核融合が起こっており、大質量星は小質量の星に比べて明るく、高い表面温度のために黒体放射で青く輝いて見える。そして、激しい核融合によって燃料となる水素は長くとも数千万年という短期間で使い果たされ、超新星爆発を起こす。つまり、現在観測される全ての大質量星は生まれてから数千万年以内の若い星であるといえる。

小マゼラン銀河の大質量星は、先行研究によって一覧表（カタログ）が作成されており、約5000個の大質量星が知られている [11]。しかし、そのカタログは異なる研究グループ・手法によって得られた大質量星サンプルの寄せ集めであり、統計的な解析には適さない。さらに、先行研究のカタログに掲載された大質量星の分布は、若い星が従うはずの逆V字型の形態（図1）を示さず、銀河全体に均一に広がっているため、多くの中質量星の混入が疑われる。そこで、まずはGaiaに

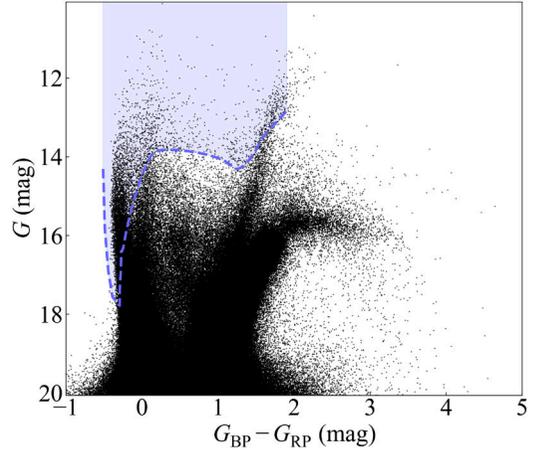


図4 Gaiaで観測された小マゼラン銀河の約200万個の星をプロットした色等級図。破線は色等級図上での大質量星とその他の星の境であり、主系列の一部（左側のG=14-18等級にわたる線）と太陽の8倍の質量を持つ星の進化の軌跡（ $G_{BP}-G_{RP}=0-2$ 等級にわたる曲線）を組み合わせて定義されている。破線より上の塗りつぶされた領域が理論的に大質量星がプロットされる領域である。

よる小マゼラン銀河全面の観測データを用いて、小マゼラン銀河の大質量星を均一な基準で網羅的に選定し、最新のカatalogを作成することとしよう。

### 2.2 大質量星の選定

大質量星の選定のために、大質量星の「青く明るい」性質を利用する。Gaiaは3種類の広い波長帯で観測した星の明るさを提供しており、中心波長が約532 nmの $G_{BP}$ 等級、約673 nmのG等級、約797 nmの $G_{RP}$ 等級のデータが利用可能である。2つの異なる波長で得られた等級の差から、星の色の情報が得られる。図4は、Gaiaで観測された小マゼラン銀河の約200万個<sup>\*5</sup>の星をプロットした色等級図であり、縦軸は星の明るさとしてG等

\*5 年周視差 $\omega \leq 0.1$  masの制限によって、10 kpcより近くに位置する、天の川銀河に属する前景星を除いた数。なお、Gaiaの性能をもってしても~10 kpcを超える遠方の星の年周視差は精度よく測定できないため、約62 kpcに位置する小マゼラン銀河の星の正確な距離を年周視差から求めることはできない。

級を、横軸は星の色として  $G_{BP}-G_{RP}$  等級を示す。色等級図において、明るい星ほど図の上側にプロットされる。また、図の左側にプロットされた星ほど青く、右側にプロットされた星ほど赤い。よって、基本的には図4の左上にプロットされている星のみを選択することで、青く明るい大質量星を取り出すことができる。

大質量星が色等級図上で占める領域を正確に決定するため、色等級図上で理論的に予想された星の進化の軌跡 (PARSECモデル [12-18]) を用いる。星は中心部で水素の核融合を行う主系列星として進化を始め、その段階では色等級図上で主系列と呼ばれる1本の曲線上に分布する。やがて主系列星から赤色巨星に進化すると星は主系列から離れ、色等級図上においてより赤く、明るい領域 (右上) に遷移する。このような星の進化に伴う色と明るさの変化はよく研究されており、色等級図上の進化の軌跡が星の質量に応じて計算されている。図4の破線は、主系列の一部と、8太陽質量の星の進化の軌跡を組み合わせで定義した大質量星の境界である。理論的には、8太陽質量を境に、より重い星は破線より上に、より軽い星は破線より下にプロットされる\*<sup>6</sup>。よって、図4の破線より上に位置し、塗りつぶされた領域にプロットされている7426個の星を大質量星として選択した。

図5は本研究で選択した大質量星の空間分布を、星間物質の3色合成図 (赤: 電離水素, 緑: ダスト, 青: 中性水素) と比較したものである。大質量星は星間物質と同様に逆V字の形態 (図1) を示し、若い星が従うべき性質に一致する。特に、赤で表されたH $\alpha$ 放射は、大質量星からの紫外線によって周囲の水素が電離されて生じる放射であり、若い大質量星の存在を直接的に示す。実際に、H $\alpha$ 放射と大質量星の分布はよく一致しており、選定の妥当性を裏付けている。

### 2.3 大質量星の固有運動

次に、選定した大質量星の小マゼラン銀河の内部における固有運動を見ていく。小マゼラン銀河そのものが天の川銀河に対して動いているため、星の固有運動から小マゼラン銀河の固有運動を差し引くことで、小マゼラン銀河内部における星の固有運動を求められる。ここでは、すべての星が62 kpcに位置すると仮定して固有運動を差し引く。図6に、小マゼラン銀河内部における大質量星の固有運動をベクトルで可視化した。得られた結果は先行研究で若い星の運動を解析した結果 [21-25] に概ね一致している。なお、多くの先行研究は小マゼラン銀河の一部分や、少数の星の解析に限られている。小マゼラン銀河全体の大質量星の分布、および固有運動を可視化したのは本研究が世界初である。

図6では固有運動の向きによってベクトルが着色されており、例として、画像上向きの運動は緑色、画像下向きの運動は赤紫色で示されている。ベクトルにはきれいなグラデーションが見られ、まるでカラフルな花火のように広がっていることが見て取れるだろう。このグラデーションは、大質量星が小マゼラン銀河から離れる方向に、放射状に運動する傾向があることを意味する。これらの銀河の外縁部に分布する星は  $200 \text{ km s}^{-1}$  に近い速度で運動しており、中性水素ガスの回転 (回転速度  $60 \text{ km s}^{-1}$  [26]) を仮定して計算した小マゼラン銀河の脱出速度  $85 \text{ km s}^{-1}$  を上回っている。よって、これら的大質量星 (および付随するはずのガス) は小マゼラン銀河に再び戻ることなく、矮小銀河がガスを失い星形成を止める過程 [28] に対応する可能性がある。

また、図6の左側 (東) に位置する大質量星は赤いベクトルで表され、多くが南東方向に運動している。特に、赤いベクトルは南東のウイング構

\*<sup>6</sup> 実際には、ダストによる赤化 [19] や、小マゼラン銀河内の星の距離の不定性などによって誤差が生じる。本稿の基となった学術論文 [20] ではこれらの影響を詳しく議論しており、大質量星の総数に大きな影響を与えるほどの誤差はない。

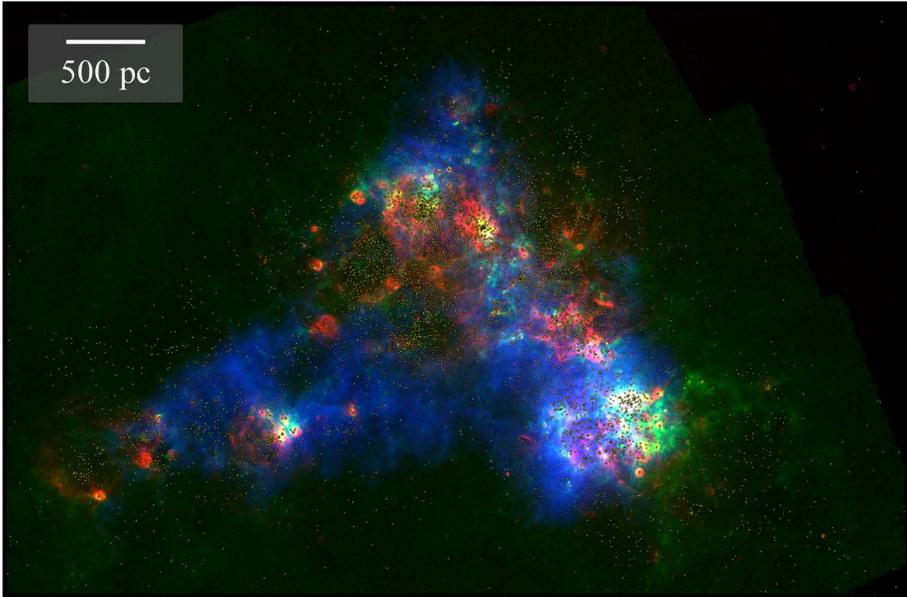


図5 小マゼラン銀河の大質量星の空間分布と、3種類の星間物質の空間分布の比較. 大質量星は黄色い点で示されている. 星間物質は3色合成図として示されており, 電離水素 (赤; 図1と同じH $\alpha$ 放射 [7]), ダスト (緑; Herschel宇宙望遠鏡による350  $\mu\text{m}$ の画像 [27]), 中性水素 (青; 130–170  $\text{km s}^{-1}$ 成分; ASKAP望遠鏡とParkes望遠鏡によるH I放射 [28])を表す. 中性水素の速度成分は小マゼラン銀河の視線速度 (約150  $\text{km s}^{-1}$ )を中心としている.

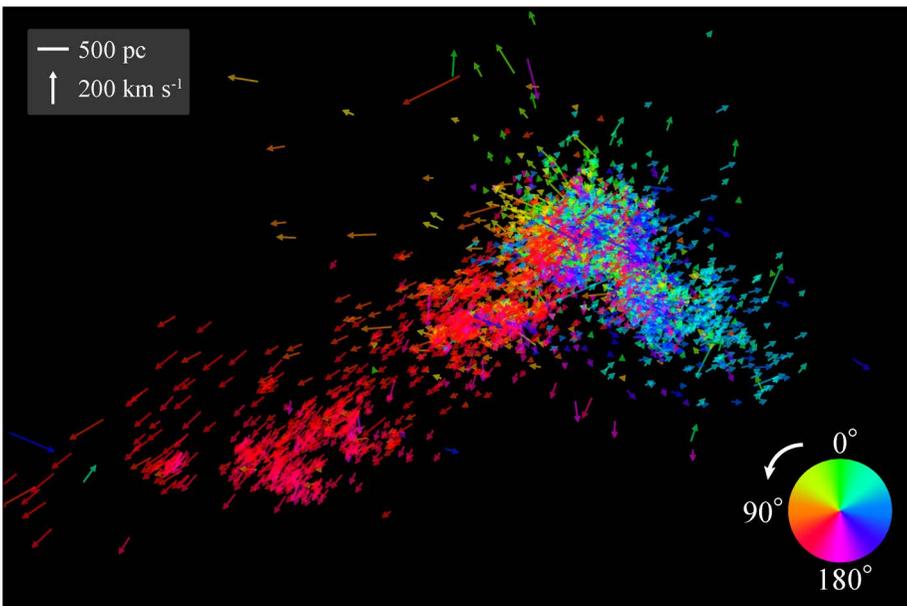


図6 小マゼラン銀河の大質量星の固有運動をベクトルで示した図. ベクトルは固有運動の向きによって色分けされている. 図5に比べて広範囲を示しており, 図の左下 (南東)に位置するのはマゼラニックブリッジに分布する大質量星である.

造とマゼランブリッジに分布しており、南東方向に位置する大マゼラン銀河に向かう動きとして読み取れる。一方、図6の右側（西）に位置する大質量星は水色のベクトルで表され、多くが北西方向に運動している。この北西-南東方向に逆向きに運動している様子は、南東方向に位置する大マゼラン銀河からの潮汐力の影響と整合的である。潮汐力とは、銀河のような広がった天体に対して、近い部分ほど強く、遠い部分ほど弱く引張る重力の差によって生じる力である。この力により、大マゼラン銀河に近く、相対的に強い重力を受けている星々は南東方向へと引き寄せられている。逆に、大マゼラン銀河から遠く、相対的に弱い重力を受けている星々は、小マゼラン銀河中心部よりも受ける引力が弱いため、取り残されて大マゼラン銀河とは逆向きに運動していると解釈できる。これはまさに、小マゼラン銀河が大マゼラン銀河によって引き裂かれていく過程が、個々の星の運動という形で可視化された例であり、銀河の破壊過程が鮮明に描き出されたのである。

2.4 大質量星の視線速度

続いて、固有運動と直交する奥行き方向の運動である、視線速度について見ていこう。図7は約500個の大質量星について、Gaiaによって測定された視線速度を示している。小マゼラン銀河自体の視線速度が約150 km s<sup>-1</sup>であるため、視線速度が150 km s<sup>-1</sup>より大きい星は相対的に私たちから遠ざかる方向に動いており、視線速度が150 km s<sup>-1</sup>より小さい星は相対的に私たちに近づく方向に動いている。図7より、南東に位置する大質量星ほど視線速度が大きく、より速く遠ざかっていると分かる。つまり、奥行き方向の運動を見た際にも、小マゼラン銀河の大質量星は北西-南東方向に逆向きに運動しており、大マゼラン銀河との相互作用を反映していると考えられる。

なお、大マゼラン銀河は、約62 kpcに位置する小マゼラン銀河より私たちに近く、約50 kpcに位置している。大マゼラン銀河に近い南東の星

ほど速く遠ざかることは、重力源の大マゼラン銀河からむしろ離れているように見えるため、一見すると奇妙である。しかしこれは、大マゼラン銀河の視線速度が約260 km s<sup>-1</sup>[29]と小マゼラン銀河より大きいことで説明できる。小マゼラン銀河の南東部に位置する星々は、大マゼラン銀河の重力に捉えられ、大マゼラン銀河の速度に近づいているのである。実際、マゼランブリッジの中性水素ガスは大マゼラン銀河に近づくほど視線速度が大きくなっているため [30]、ガスとともに動く大質量星の視線速度が南東に向かうほど大きいのは自然である。従って、北西-南東方向に逆向きの視線速度も、南東に位置する大マゼラン銀河の影響であるとして矛盾はない。

2.5 銀河回転の不在

さて、ここで、ガスの視線速度にも着目してみよう。図7の背景に示された色は、その位置に存在する中性水素ガスの平均的な視線速度を表している。ガスの視線速度は大質量星と同じく東西で逆向きの速度を示す。実は、このガスの視線速度の分布は、長らく小マゼラン銀河の銀河回転を意味すると考えられてきた [26, 32]。というのも、

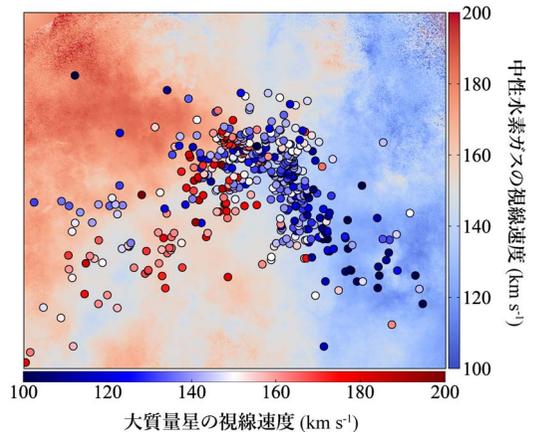


図7 小マゼラン銀河の大質量星の視線速度をカラーで示した図。大質量星は円で示されており、円の色は大質量星の視線速度を表す。背景は中性水素ガス [28] の速度場図であり、ガスの速度がカラーで示されている。

回転体を横から見ると、一方の側では私たちから遠ざかり、もう一方では近づくように見えるからだ。銀河は回転しているという前提に立てば、図7の大質量星や、その他の星種族 [33–35] でも報告されている逆向きの視線速度も、銀河の回転を表しているように見えるだろう。

しかし、図6に立ち返ると、大質量星の固有運動からは回転の兆候は見られない<sup>\*7</sup>。むしろ、大質量星の固有運動は回転ではなく北西-南東方向に互いに逆向きの運動を示しており、ガスの固有運動も若い大質量星と同様の動きをしていると考えられる。よって、図7の大質量星やガスに見られる逆向きの視線速度も、回転ではなく、大マゼラン銀河の潮汐力由来の逆方向の動きとして解釈するのが自然である。このように、視線速度だけでなく、Gaiaによる星の固有運動を加えた三次元運動を解析することで、銀河の運動学をより精密に捉えられるのである。

### 3. 小マゼラン銀河の古典的セフィイドの運動

#### 3.1 古典的セフィイドの性質

さて、ここまで大質量星の運動について述べてきたが、大質量星の小マゼラン銀河内部の固有運動を求める際に、とある問題がある。それは大質量星までの距離が正確にわからないことだ。本来、Gaiaによって測定された星の天球面上の位置の変化から星の速度を求める際には、星までの距離の情報が必要である。例えば、天球面上で見かけ上、同じ長さだけ天体の位置が変化したように見えても、その天体までの距離が遠いほど速度は大きい<sup>\*8</sup>。とはいえ、星までの距離を正確に求

めることは困難であり、前節では大質量星までの距離を、一律に小マゼラン銀河までの距離 62 kpc で代用して計算していた。しかし、前述の通り、小マゼラン銀河は奥行き方向に約 30 kpc ほど伸びた、ソーセージのような構造をしている。奥行き方向の 30 kpc のどこに大質量星が分布しているかは自明ではなく、固有運動の向きや大きさには無視できない誤差が含まれている可能性がある。そこで登場するのが、星までの距離を正確に求められる古典的セフィイドである。

古典的セフィイドは誕生から数千万-数億年が経過した星種族であり、周期的に明るさを変化させる脈動変光星の一種として知られている。その特徴は、変光周期と絶対等級の間に周期-光度関係<sup>\*9</sup>と呼ばれる明確な関係が存在する点にある。変光周期の測定から絶対等級を求め、これを見かけの等級と比較することで、星までの距離を計算できるのである。この特性は、小マゼラン銀河が奥行き方向に約 30 kpc も広がっていることを考えると極めて重要である。すなわち、すべての星を単一の距離にあると仮定することなく、銀河内の三次元的な空間構造を考慮した解析を可能にする。小マゼラン銀河の古典的セフィイドは暗黒物質探査を目的に網羅的に観測され、詳細なカタログが提供されている [36, 37]。また、それらの距離を高精度に見積もる計算手法も確立されている [6, 38]。

#### 3.2 古典的セフィイドの三次元運動

図8は、個々の古典的セフィイドまでの距離を用いて計算した、小マゼラン銀河内部における約 4000 個の古典的セフィイドの固有運動をベクトルとして可視化したものである。図8より、大質量星と同様に、古典的セフィイドの固有運動にも

<sup>\*7</sup> なお、回転している大マゼラン銀河で内部の星の固有運動を見ると、鮮明な時計回りの運動が見られる [31]。

<sup>\*8</sup> 電車から窓の外を眺めた際に、近くの建物が高速で動いて見えるのに対し、遠くの山がゆっくり動いて見えることと同じ。

<sup>\*9</sup> 古典的セフィイドの周期-光度関係は、小マゼラン銀河の星々の観測からヘンリエッタ・スワン・リービットによって初めて確立された [39, 40]。エドウィン・ハッブルはこの関係を用いて、「アンドロメダ星雲」が天の川銀河の外にある天体、すなわち別の銀河であることを示し、宇宙に多数の「銀河」が存在することを明らかにしたのである [41]。

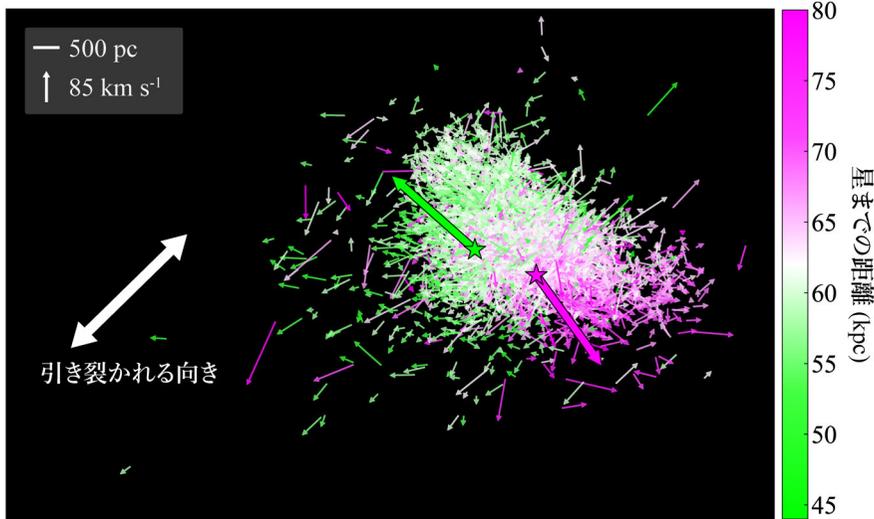


図8 小マゼラン銀河の古典的セファイドの固有運動をベクトルで示した図。ベクトルは古典的セファイドまでの距離によって色分けされている。凡例のベクトルの長さは小マゼラン銀河のおおよその脱出速度である  $85 \text{ km s}^{-1}$  に対応する。2つの星印は、それぞれ星までの距離が55 kpcより近い古典的セファイドの平均位置（左上の★）、星までの距離が70 kpcより遠い古典的セファイドの平均位置（右下の★）である。星印から伸びる太い矢印は、近い古典的セファイドと遠い古典的セファイドの平均的な運動方向を表す。

明確な銀河回転の兆候は見られない。また、図8の銀河外縁部に着目すると、北西および南東の領域に、銀河が引き裂かれる方向に沿って  $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$  という大きな速度で運動する古典的セファイドが目立つ。この北西-南東方向の逆向きの運動は古典的セファイドの距離に依存せずに見られる。

次に、図9は約90個の古典的セファイドについて、Gaiaによって測定された視線速度を示している。この約90個は視線速度が測定可能な、特に明るく若い古典的セファイドであり、そのうちの36個は本研究で選定した大質量星と一致する。図9より、古典的セファイドの視線速度は大質量星と同じく北西-南東方向で逆向きの運動を示し、大マゼラン銀河の潮汐力による影響と整合的である。

つまり、小マゼラン銀河を引き裂く北西-南東方向の逆向きの運動、および銀河回転の不在という特徴は古典的セファイドにも共通して見られ、これらは大質量星の距離の不定性によって生じた

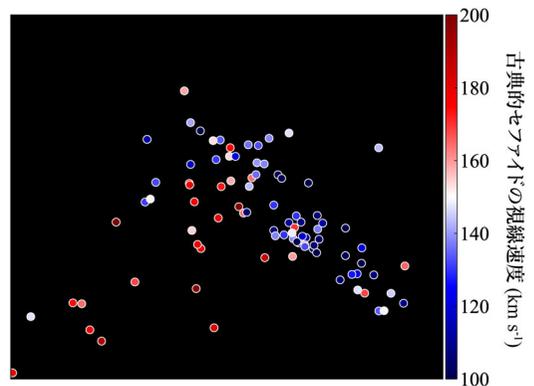


図9 小マゼラン銀河の古典的セファイドの視線速度をカラーで示した図。古典的セファイドは円で示されており、円の色は視線速度を表す。

見かけの運動ではないということだ。

さらに、図8より、古典的セファイドは、近いほど北東に、遠いほど南西に動いており、距離に応じて異なる固有運動の特徴を持つことが分かる。この距離に応じて見られる北東-南西方向の逆向きの運動は、大マゼラン銀河が位置する南東方向とは一致せず、銀河を引き裂く向きではない。

近い古典的セフィイドが北東に動くことに関しては既に先行研究で指摘されており、その原因は大マゼラン銀河の重力の影響であると議論されていた [25]. 本研究では、新たに遠い星も南西に動いていることを示し、古典的セフィイドは距離に応じて互いに逆向きに運動していることを明らかにした. 距離依存の北東-南西方向の運動は、大マゼラン銀河の潮汐力によって引き裂かれる方向とは異なる方向であり、大マゼラン銀河の潮汐力とは別の、謎のメカニズムが作用した結果である可能性を示唆している. 例えば、小マゼラン銀河が私たちから見た奥行き方向、つまり天の川銀河と反対方向に伸びていることを踏まえると、この運動は天の川銀河の重力に起因するかもしれない. あるいは、さらに過去に起きていた大マゼラン銀河との近接遭遇の余波に起因するかもしれない. いずれにせよ、その起源は現状では不明であり、今後の数値シミュレーションによる検証が待たれる.

#### 4. 新たなシミュレーションの重要性

もし小マゼラン銀河が回転していない場合、ケプラー回転を仮定して得られていた小マゼラン銀河の質量 [26, 32] が正しくないことになる. すると、その質量から計算された、小マゼラン銀河・大マゼラン銀河・天の川銀河の三体相互作用の軌道モデル (例えば [3]) も修正が必要かもしれない.

また、先ほどは詳述しなかったが、図7において、大質量星とガスの視線速度が完全には一致していない問題がある. 特に銀河の北東では、ガスの視線速度は大きい、そこに分布する少数の星の視線速度は小さい. これは流体であるガスのみ働く作用が加わった結果であると考えられる.

このように、ガスと若い星の運動のずれや、小マゼラン銀河が距離に応じて逆向きに動くメカニズムは、銀河回転をしていない小マゼラン銀河のモデルに基づく新たなシミュレーションによって、今後明らかにされていくことが期待される.

本研究は、観測的研究によって理論的研究の方向性に新たな示唆を与えるものであり、まさに観測と理論の相互促進の一例であると言える. そして同時に、私たちのすぐ隣にある銀河ですら、その運動の全貌が未だ明らかではないという事実は、銀河動力学の理解に残された課題の大きさを改めて認識させるものである.

#### 謝 辞

本稿は著者らによる学術論文 [20, 35] に基づいている. この場をお借りして、指導教員である立原研悟氏、そして共同研究者である玉城磨生氏に深く感謝申し上げる. 本研究は、JST次世代研究者挑戦的研究プログラムJPMJSP2125の財政支援を受けて行われた.

#### 参考文献

- [1] de Grijs, R., & Bono, G., 2015, AJ, 149, 179
- [2] de Grijs, R., et al., 2014, AJ, 147, 122
- [3] Diaz, J. D., & Bekki, K., 2012, ApJ, 750, 36
- [4] Scowcroft, V., et al., 2016, ApJ, 816, 49
- [5] Jacyszyn-Dobrzaniecka, A. M., et al., 2017, Acta Astron., 67, 1
- [6] Ripepi, V., et al., 2017, MNRAS, 472, 808
- [7] Smith, R. C., & MCELS Team, 1999, IAU Symposium, 190, 28
- [8] HI4PI Collaboration, et al., 2016, A&A, 594, A116
- [9] Gaia Collaboration, et al., 2016, A&A, 595, A1
- [10] Gaia Collaboration, et al., 2023, A&A, 674, A1
- [11] Bonanos, A. Z., et al., 2010, AJ, 140, 416
- [12] Bressan, A., et al., 2012, MNRAS, 427, 127
- [13] Chen, Y., et al., 2014, MNRAS, 444, 2525
- [14] Chen, Y., et al., 2015, MNRAS, 452, 1068
- [15] Tang, J., et al., 2014, MNRAS, 445, 4287
- [16] Marigo, P., et al., 2017, ApJ, 835, 77
- [17] Pastorelli, G., et al., 2019, MNRAS, 485, 5666
- [18] Pastorelli, G., et al., 2020, MNRAS, 498, 3283
- [19] <https://github.com/mfouesneau/dustapprox>
- [20] Nakano, S., et al., 2025, ApJS, 277, 62
- [21] Zivick, P., et al., 2018, ApJ, 864, 55
- [22] Oey, M. S., et al., 2018, ApJ, 867, L8
- [23] Murray, C. E., et al., 2019, ApJ, 887, 267
- [24] De Leo, M., et al., 2020, MNRAS, 495, 98
- [25] Niederhofer, F., et al., 2021, MNRAS, 502, 2859
- [26] Stanimirović, S., et al., 2004, ApJ, 604, 176
- [27] Meixner, M., et al., 2013, AJ, 146, 62
- [28] McClure-Griffiths, N. M., et al., 2018, Nat. Astron.,

2, 901

[29] van der Marel, R. P., et al., 2002, AJ, 124, 2639  
 [30] Brüns, C., et al., 2005, A&A, 432, 45  
 [31] Gaia Collaboration, et al., 2021, A&A, 649, A7  
 [32] Di Teodoro, E. M., et al., 2019, MNRAS, 483, 392  
 [33] Evans, C. J., & Howarth, I. D., 2008, MNRAS, 386, 826  
 [34] Dobbie, P. D., et al., 2014, MNRAS, 442, 1663  
 [35] Nakano, S., & Tachihara, K., 2025, ApJ, 985, L5  
 [36] Udalski, A., et al., 2015, Acta Astron., 65, 1  
 [37] Soszyński, I., et al., 2015, Acta Astron., 65, 297  
 [38] Ripepi, V., et al., 2016, ApJS, 224, 21  
 [39] Leavitt, H. S., 1907, Annals of Harvard College Observatory, 60, 87  
 [40] Leavitt, H. S., & Pickering, E. C., 1912, Harvard College Observatory Circular, 173, 1  
 [41] Hubble, E. P., 1929, ApJ, 69, 103

**Stellar Motions as Probes of Galactic Interactions in the Small Magellanic Cloud**

**Satoya NAKANO**

*Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan*

Abstract: I present the internal stellar motions of the Small Magellanic Cloud revealed by Gaia. The Small Magellanic Cloud is the nearest interacting galaxy to the Milky Way, and its structure has been significantly disturbed by close interactions with the more massive Large Magellanic Cloud. The internal motions, traced by young massive stars that follow the distribution of the interstellar medium and by classical Cepheids that provide accurate distance measurements, reveal complex and chaotic stellar dynamics driven by galactic interactions.

# 星空を語り続けて48年

村 松 修

〈コスモプラネタリウム渋谷 〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町 23-21〉

e-mail: mag00672@nifty.ne.jp



2024年度日本天文学会天文教育普及賞を受賞しました。渋谷駅前の天文博物館五島プラネタリウムで投影解説をスタートし、同施設が閉館になった後、渋谷区の新文化施設建設計画が公表された段階から新プラネタリウム施設設置に協力しました。コスモプラネタリウム渋谷として完成した後はこの施設で都会の空から失われてしまった天の川と満天の星を語り続けてまいりました。渋谷を拠点にした私の天文教育普及活動を紹介します。

## はじめに

私は1974年5月に東京渋谷駅前の東急文化会館にあった天文博物館五島プラネタリウムに技術係として採用されたあと、1977年に解説係も兼務することになりました。五島プラネタリウムが2001年3月に閉館したのち、施設の天文資料は渋谷区に一括寄贈され渋谷区五島プラネタリウム天文資料として区民向けに活用されることになりました。渋谷区からこの事業を委託された私は天文資料の展示、星空解説などを実施しました。2010年11月に渋谷区文化総合センター大和田にコスモプラネタリウムが開館して解説員の仕事を続けています。

## 星と遊び、星から学ぶ

この言葉はプラネタリウムの投影解説をすることになったときに生解説をする心構えとして教わりました。投影を観覧される方が星に親しんでいただけるような話し方を、さらに天文学の知識をひとつでも持ち帰っていただく内容を話して、また見たいと思っていただくためです。星空解説歴48年を経過した今でもこの言葉を口ずさんで解説台に入っています。

## プラネタリウム投影機との出会い

私が星に興味を持ったのは1965年の池谷・関彗星の発見を知った高校生のときでした。アマチュア天文家として羨望の的となった池谷薫さんと関勉さんが自作の天体望遠鏡で彗星搜索を続けて同時に同じ彗星を発見したのでした。このときまで星空に関心がなかった私は星の世界に初めて興味を持ち書店で天文雑誌を立ち読みするようになっていました。今でも月刊天文ガイド1966年5月号臨時増刊「イケヤ・セキ彗星写真集」（誠文堂新光社）は大切に保管しています。

工業短大を卒業して技術職に就いた私は山手線の渋谷駅から東急文化会館8階の天文博物館五島プラネタリウムのドーム（図1）を眺めながら通勤していました。休みの日には五島プラネタリウムの投影番組を見に通っていました。目的はカールツァイス製のプラネタリウム投影機です（図2）。技術職の私は美しい星空をドームスクリーンに映し出す精巧なプラネタリウム投影機の動きに魅せられました。そんな生活を続けていたときに五島プラネタリウムの解説係と技術係を採用する募集記事が天文雑誌に掲載されました。投影機に触ってみたい衝動にかられた私は技術職ならばなんとかなるのではないかと願書を郵送しました。後か



図1 東急文化会館の五島プラネタリウム20 mドーム

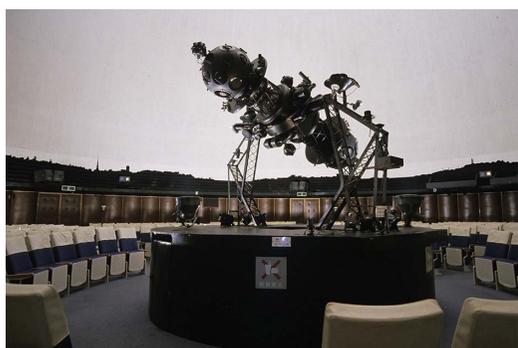


図2 五島プラネタリウムのCarl Zeiss IV型プラネタリウム投影機

ら聞いた話では解説係の願書は多数あったのですが技術係の願書は私のものだけだったそうです。技術係長の指導でプラネタリウム投影機の日常点検作業や休館日に実施する保守点検と消耗部品交換などの作業を覚えました。

プラネタリウム投影機は天文学を形にした装置です。地球が太陽を公転することによって地球から見る太陽は1年かけて天球を一周します。その軌跡を黄道と呼び、惑星は黄道に沿って順行と逆行を繰り返します。満ち欠けしながら地球を中心に公転する月の軌跡は白道と呼ばれます。さらに地球の自転によって真東から昇る星は真西に沈み、その軌跡を天の赤道と呼びます。地球の自転軸は約26000年周期で首振り運動（歳差）をしていて北極星と呼ばれる星は時代によって変わります。

す。プラネタリウム投影機はこうした天体の動きを精密に再現して見せてくれる装置です。そのため技術係の仕事は天文学の基本的な知識が要求されます。体系的な天文学を学んでいなかった私は仕事の合間に上司や解説係の先輩から天文学の基礎を学びました。黄道と天の赤道の交点の一つである春分点が位置天文学の基準点になっている理由を初めて理解しました。

私は時間に余裕のある時は投影見学をしながらプラネタリウム投影機の運転音に異常はないか、電球が消耗して星の明るさに異常がないか、音響にノイズなどが出ていないかと休館日の保守作業に役立つ情報収集を行っていました。おかげで星座解説する先輩たちの話し方を覚えてしまったほどです。夏休みの繁忙期は解説係のシフトが厳しくなってきました。そこで開館日の仕事に余裕のある技術係が解説係を支援できるよう解説の修行もすることになりました。2001年3月に閉館するまでの24年間は技術係と解説係の仕事を兼務しておりました。

## 渋谷区五島プラネタリウム天文資料へ

閉館後、五島プラネタリウム所蔵の天文展示品や天文書籍に加えて天体観望会に使った望遠鏡、そしてプラネタリウム投影機は一括して渋谷区教育委員会に寄贈されました。私は寄贈された天文資料などを区民向けに活用する事業を委託されて、渋谷駅をはさんで東急文化会館の反対側にある渋谷区旧大和田小学校跡地施設の3階の空き教室を使用して仮展示室を開設しました（図3）。さらに区民向けの天文教室や屋上での天体観望会を定期的に行いました。

2005年6月に渋谷区がプラネタリウム施設を含む文化・保健施設を旧大和田小学校跡地に建設する構想を発表して、渋谷区五島プラネタリウム天文資料は旧代々木高校跡地施設に移転しました（図4）。

旧代々木高校跡地施設には大食堂が残されてい

て、この場所にパイプ椅子を並べ大型スクリーンを天井から吊るして高解像度ビデオ投影機からデジタルプラネタリウムの映像を平面式に投影する簡易プラネタリウム「星空の小部屋」を開設しました。ここでは区内の保育園や小学校向けの学習投影を実施したり、区民向けの天文教室と天体観望会を続けました。新プラネタリウムは渋谷区が運営することになり、私は投影解説を担当することになりました。人手が足りないため五島プラネタリウムを退職した一部の解説係にも協力していただき開館準備を進めました。新プラネタリウムの開館記念番組は「星空の小部屋」の映像システムで選定しました。



図3 渋谷区五島プラネタリウム天文資料展示室を開設した旧大和田小学校跡地施設



図4 旧代々木高校跡地施設に移転して、大食堂を改造した平面式デジタルプラネタリウム「星空の小部屋」を開設

## 新しい渋谷のプラネタリウム施設

2010年11月21日に開館記念番組「HAYABUSA 帰還編」を上映してコスモプラネタリウム渋谷が開館しました（図5, 6）。続いて11月23日には開館記念講演会を開催してノーベル物理学賞を受賞された小柴昌俊先生にご講演いただきました。

今年はコスモプラネタリウム渋谷が開館15周年を迎えます。

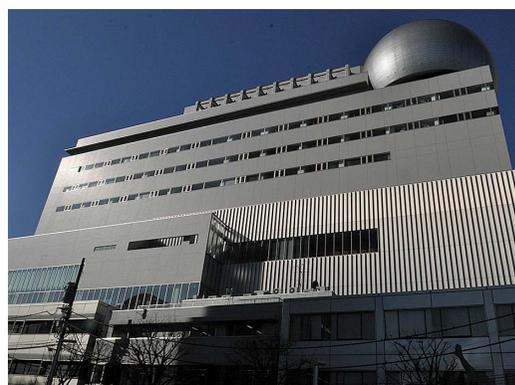


図5 渋谷区文化総合センター大和田17 m ドーム



図6 コスモプラネタリウム渋谷のプラネタリウム投影機GEMINISTARIUM III（コニカミノルタプラネタリウム製）

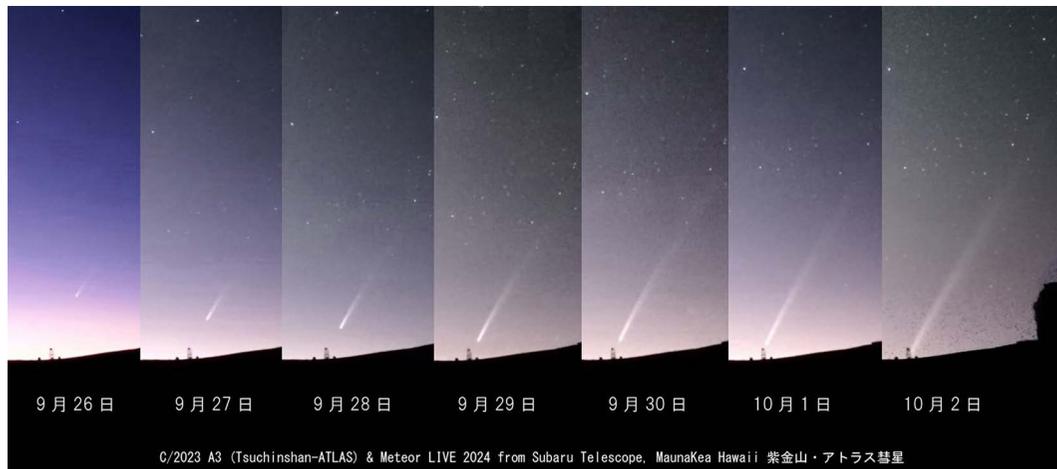


図7 すばる-星空ライブカメラで撮影した紫金山・アトラス彗星の尾の変化 (画像作成: 村松修)

### 最近の天文教育普及活動

話を变えて昨年秋の出来事を紹介させていただきます。紫金山・アトラス彗星 (C/2023 A3) が2024年9月28日(日本時間)に近日点を通過しました。そして10月14日には日没後の西空に雄大な尾を見せる大彗星として姿を現しました。話は少し前に戻りますが、半年前からこの彗星が明るくなるのが予想されていましたので、コスモプラネタリウム渋谷では地球に接近する10月の星空案内のパンフレットに彗星の明るさと尾の長さの予想図を載せようとして計画していました。6月ころからこの彗星の明るさが横ばい状態になってきましたが、この彗星の軌道要素と地球の位置関係からこの時期は明るくないことがわかっていましたので予想通りと考えていました。ところが7月になって、この彗星が太陽接近前に崩壊する可能性を示唆する論文をアメリカの天文学者ズデネク・セカニナ博士が発表したので、非常に驚き、今後の動向が大変気になっておりました。一方で彗星の軌道計算から、近日点通過前後の9月26日から10月1日までの明け方、ハワイ島マウナケアのすばる望遠鏡山頂施設に設置された朝日新聞社の星空ライブカメラで彗星をとらえる

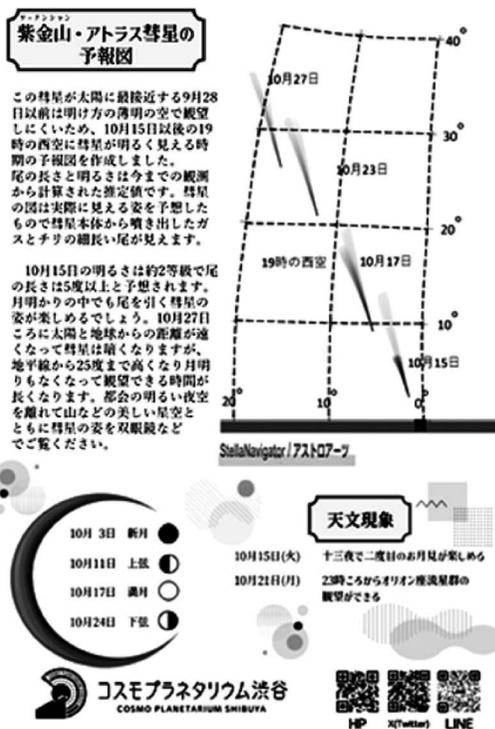


図8 10月パンフレットの紫金山・アトラス彗星予想図

ことができるようになりました。そこで9月になってから星空ライブカメラの星空画像をスクリーンショットで連続取得して画像処理で画質を向上させる準備をしました。



図9 スマートフォンで撮影された紫金山・アトラス彗星（2024年10月13日にコスモプラネタリウム渋谷の屋上で西香織解説員が撮影）

9月26日から10月2日まで天候に恵まれて、ライブカメラによるこの彗星の連続撮影に成功しました（図7）。この連続画像は10月のプラネタリウム投影で解説に利用しました。10月8日から10日には太陽観測衛SOHOのC3カメラの視界にこの彗星が入ることも解説しました。また投影終了後にはこの彗星の観望予想図（図8）を配布し

て観望を勧めました。

10月13日の日没後からコスモプラネタリウム渋谷の屋上でこの彗星の投影資料収集と解説のための情報共有を目的としたスタッフによる臨時的観望会を実施しました。最初は薄明の影響で肉眼では彗星を確認することができませんでした。ところが西香織解説員がスマートフォンの画面を私に見せながら彗星はこれですかと聞いてきました。まさに尾を引く紫金山・アトラス彗星（図9）が写っていました。すぐに全員で画面に写った建物と彗星の位置を確認して双眼鏡で彗星の姿をとらえることができました。最近のスマートフォンのカメラの性能には驚嘆します。翌日の投影からは来館された方にスマートフォンでの撮影をお勧めしました。

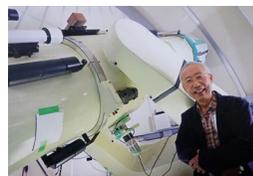
#### 謝 辞

最後に、この賞に私を推薦していただいた皆様、天文教育普及賞選考委員の皆様、そして私の活動を支援していただいている皆様に感謝申し上げます。

## 〈2024年度日本天文学会天体発見賞・天体発見功労賞〉

# 天体観測六十余年を振り返る

## —天体発見賞受賞アンケートに答えて—



### 板垣 公一

〈山形県山形市在住〉

日本天文学会では毎年、「天体発見賞」および「天体発見功労賞」として、新天体を発見し、速やかに報告した個人を表彰しています。この表彰は1936年から実施されており、90年近い歴史がありますが、その長い歴史の中でもっとも多く天体を発見し、もっとも多く受賞したのが板垣公一さんです。2024年度も多くの天体を発見し、8天体で天体発見賞、1天体で天体発見功労賞とダブルで受賞しました。アマチュア天体観測だけでなく、国内外の天文学者の研究にも少なからぬ影響を及ぼしている板垣さんの天体観測について、その変遷をまとめ、天体発見への思いをうかがうアンケートに回答していただきました。（天文月報編集部）

### 受賞の歴史

#### 〈天体発見賞〉

新天体発見の報告のうち、世界で最初に発見したと認められるものが受賞対象です。

#### 初受賞 1968年

発見天体 彗星：C/1968 H1 (Tago-Honda-Yamamoto)

発見年月日 1968年4月25日

#### 2回目の受賞 2002年

発見天体 ①超新星：SN 2001bq in NGC 5534

②超新星：SN 2001gd in NGC 5033

発見年月日 ①2001年5月17日

②2001年11月24日

2002年の受賞以降、2025年まで毎年複数の受賞を続ける（2003年は1件）。

2024年までの受賞対象天体の総数は193。その内訳は新星が16、超新星が175、彗星が2。

#### 〈天体発見功労賞〉

最初の発見ではないものの、独立な発見と認め

られるものが受賞対象です。

#### 初受賞 2005年

発見天体 超新星：SN 2004aw in NGC 3997

発見年月日 2004年3月20日

初受賞以降、2025年までの間に9天体に対して受賞する。その内訳は新星が1、超新星が7、彗星が1。

### これまでの観測を振り返る一問一答アンケート

彗星、新星、超新星など多くの天体を発見し続けている板垣公一さん（写真1）に天体発見賞受賞記事の執筆を依頼したところ、「文章を書くのは荷が重いので、アンケートへの回答なら」とのお返事をいただきました。そこで、天文月報編集委員が聞きたいことを12問のアンケートにまとめました。その回答をご紹介します。

#### Q1：天体発見に興味を持ったきっかけはどのようなことですか。

1963年池谷薫さんが新彗星を発見された新聞



写真1 アンケートに回答して下さった板垣さん。自宅近くの望遠鏡の前にて。



写真2 板垣さんが所有する山形の望遠鏡（本人提供）。0.6-m F/5.7+CCD（KAF-1001E）と0.5-m F/6.0+CCD（KAF-1001E）を搭載。超新星探用。

記事を見て感動したことがきっかけです。

**Q2：観測はいつ頃から、どれくらい続けていますか。**

高校生のころから始めました。本格的には高校を卒業してからです。現在77歳です（2025年4月現在）。

**Q3：どのような機材を使用して、どのような場所で観測していますか。**

山形、岡山、高知に望遠鏡を設置しています（写真2～4）。60 cmを1台、50 cmを2台、35 cmを3台。すべて遠隔操作で撮影できるようにしています。

**Q4：観測からデータの確認までをどれくらいの時間で実施していますか。**

撮影後なるべく時間をおかずに確認することを心掛けています。



写真3 岡山の望遠鏡（本人提供）。0.5-m F/6.9+CCD（KAF-1001E）と0.35-m F/11+CCD（KAF-1001E）を搭載。



2018年11月  
写真4 高知の望遠鏡（本人提供）。0.35-m F/11+CCD（KAF-1001E）2台を搭載。

**Q5：新天体を発見するコツがありましたら教えてください。**

よいコツがあれば私の方が知りたいです（笑）。とにかく、より深く、よりたくさん撮影（パトロール）して、そして早く正しく報告することです。

**Q6：長く天体観測を続けるモチベーションを維持する秘訣はなんですか。**

以前は日本天文学会からの発見賞のメダルが欲しくて励んできました。でも最近は違います。私が発見した天体を大学などの研究者が観測研究されて、学問的な大発見をなされ、論文になることが何よりも嬉しいです。

今まで、私が発見した天体から6本の論文が、ネイチャーに掲載されました。もちろん、私は運よく見つただけです。

**Q7：天体観測をしていて忘れられないエピソードはありますか。**

なんといってもSN2006jcの発見（編集部注：SN 2006jc in UGC4904, 発見日2006年10月9日, 2006年度天体発見賞受賞）が忘れられません。幸運でした。最初で最後のつもりで寄稿をさせていただきます。『星を探して半世紀を振り返って—超新星2006jcとの出会い—』（2017年1月号）[https://www.asj.or.jp/geppou/archive\\_open/2017\\_110\\_01/110\\_01\\_66.pdf](https://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/2017_110_01/110_01_66.pdf)

**Q8：お仕事や家庭との両立で苦勞されたことはありますか。**

社会人になってからは、（仕事・家庭との両立の苦勞は）いつも感じてきたことでございます。

**Q9：検索する対象天体が変化してきていますが、その経緯について教えていただけますか。**

彗星搜索から始めましたが、シューメーカー、レビー彗星が木星に衝突して以降、アマチュアが

彗星を発見するのはとても困難になったので、私は諦めました。それから、私は超新星、新星の搜索にと変更しました。

結果とすればとてもよかったですと思っています。最近は爆発現象（恒星の進化）のこを調べるのが、搜索とともにとても楽しいことになっています。

**Q10：長年にわたって天体発見をされてきていますが、その間に天文学会側の変化について、何か感じられているのではないかと思います。もしそういったものがあれば教えてください。**

現在、凄い数の超新星候補が検出されているのに「アマ」であるがために、ちっぽけな超新星を1個見つけただけでも「天体発見賞」を表彰することは、なんだか時代に合わないように感じています。

そんなことで、私は受賞した観測活動についての執筆を依頼されても、なんかその気にならないのです。受賞者として誠に申し訳ございません。ほんとうにごめんなさい。

なお、近年、超新星は「独立発見」はなくなりました。インターネットの時代です。とてもよかったです。

**Q11：プロの天文学者チームが推進する新天体搜索が本格化している現在でもアマチュア天文家の新天体発見が衰えた感じがしません。アマチュアの強みがどういった点にあるか、もしお考えがあればお聞かせ下さい。**

超新星も新星も爆発現象です。昨日なかったところに出現します。だから、アマでもこれからもう少しは発見できると思います。しかも超新星は、近い銀河ほどプロとのハンディはないと思います。

## Q12：天体発見に興味を持つ人達に、メッセージをお願いいたします。

いつも、搜索機材のことを考えて、より深い撮影を考えて、よりたくさんの撮影を考えて、爆発天体のことを考えて、天候を気にしながら、四季を感じながらの搜索はとても楽しいです。

M31の超新星と我が銀河内のIa型の超新星の発見がこれからの大きな夢です。重力崩壊型はカミオカンデにおまかせです(笑)。

## 天体発見が繋いだ人々との縁

—今回、板垣さんに、アンケートに添える写真を提供していただいたところ、興味深い写真を見つけました。ご自分の観測部屋で、海外からのお客様と思しき二人の男性に何かを説明している写真です(写真5)。この写真は、板垣さんいわく「クルカルニさんとクインビーさんが私のところにみえたときの自慢の写真」とのことです。

「クルカルニさんとクインビーさん」とは、超新星や突発天体の分野で著名な研究者、Shri Kulkarni氏とRobert Quimby氏のことです。特にKulkarni氏は、ZTF(The Zwicky Transient Facility)という、パロマー天文台にある48インチシュミット望遠鏡と広視野の自動カメラを使用した天体観測プロジェクトをリードし続けています。

お二人と板垣さんとの出会いは2011年。NHK BSで放送されている「コズミックフロント」という番組で、「超新星を見つけ出せ！ Itagakiの挑戦」(2011年11月08日放送)として板垣さんの活動が紹介されました。その取材の中で、当時Kulkarni氏がリードしてパロマー天文台で進めていたPalomar Transient Factoryが取り上げられたことがきっかけで、当時、カブリIPMUにいた



写真5 2012年1月28日、Kulkarni氏とQuimby氏が板垣さんの観測室を訪れた。



写真6 最近の観測室の様子(本人提供)。

Quimby氏と一緒に山形の板垣さんのもとを訪れました。その時に二人と連絡先を交換し、Kulkarni氏が東大、福島大学などで講演したときも、案内があったので会いに行ったそうです。Kulkarni氏の日本人の奥様とも親しくなり、いまでも近況をお知らせしてくださるそうです。

これからも、板垣さんたちアマチュアの方の発見する天体は、国を超えて大きな研究の成果につながるでしょう。そのときには、また懲りずに執筆を依頼したいと思います。

(天文月報編集部)

東アジアを渡り歩いて、台湾へ

## Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica (ASIAA)

中央研究院天文及天文物理研究所 (台湾)

<https://www.asiaa.sinica.edu.tw>

奥村哲平 (リサーチフェロー)

台湾の台北市にある中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) に2017年にファカルティとして着任して、はや9年目になります。私の同僚である松下聡樹さん、大橋永芳さんが、既にこのシリーズでASIAAを中心とした台湾の天文学についての記事を書かれています。一方で、私はこれまでに東アジアを中心に、複数の国で研究生活を送ってきたので、その経緯や経験を中心にご紹介したいと思います。私は、学振研究員や著名なフェローシップに採用されたことはありませんが、それでも東アジアを渡り歩きながら、最終的にパーマネント職にたどり着くことができました。海外で研究してみたいと考えている方々にとって、その一例として参考になれば幸いです。

### 最初のポスドク、上海

私は2008年3月に名古屋大学で博士の学位を取得し、4月から中国・上海にある上海天文台でポスドク研究員としてのキャリアをスタートさせました。上海は、大学院博士課程1年目に初めての海外出張で訪れた場所でもあります。

2005年の秋、東京大学の須藤靖教授 (現・高知工科大学)、上海天文台のYipeng Jing教授 (現・上海交通大学) らが中心となって、上海で宇宙論研究会が開かれました。私が在籍していた名大のAt研 (天体物理学理論研究室、現在の宇宙論研究室C研) には須藤研関係者が多く在籍していたこともあり、私もこの研究会に参加させていただけることになりました。当時の宇宙論業界では、スローン・デジタル・スカイ・サーベイ

(SDSS) によってバリオン音響振動の初検出が報告され、それをもとに宇宙モデルを検証する研究が盛んに行われていました。私は、バリオン音響振動や銀河の特異速度が引き起こす大規模構造の非等方性、いわゆる赤方偏移空間歪み効果を用いて宇宙論パラメータを制限するという観測的研究に取り組んでいました。この研究内容を上海の研究会で話したところ、Jingさんが大変関心を持ってくださり、色々質問してくれました。そのご縁もあり、後にJingさんから上海天文台でのポスドク研究員のオファーを頂き、人生初の海外生活が始まりました。博士論文が形になり始めたのが12月上旬だったため、応募の準備を始めた時点で、締切がまだ来ていなかった10件ほどにしか応募できませんでした。その中でオファーをいただけたのは、上海天文台のみでした。

上海では、SDSSの銀河データを用いて銀河の形状相関を測定し、弱重力レンズ効果による宇宙論パラメータ推定において、銀河固有の形状がどの程度系統誤差を引き起こすのかを調べる研究を行いました。中国語はもちろん、英語もまともに話せなかった私は、Jingさんとの議論は常に黒板の前でした。図や式や、うまく発音できない英単語を黒板に書きながら、自分の考えを説明していました。Jingさんは辛抱強く私の拙い説明を聞いてくれました。そのおかげもあって、着任から9ヵ月ほどで2本の論文を完成させることができました。上海天文台は当時、ドイツのマックスプランク宇宙物理学研究所 (MPA) とパートナーシップを結んでおり、その繋がりから Simon

White教授に受け入れてもらい、数ヶ月間ドイツに滞在して研究を行う機会にも恵まれました。

今では状況がだいぶ違うかもしれませんが、当時の上海は、都会とはいえ日常生活で英語はほとんど通じませんでした。タクシーに乗るときのために、「まっすぐ進んで」と「右（左）に曲がって」という中国語だけ暗記していました。あとは常にペンを携帯して、何かを伝える必要があるときは漢字を書いて見せていました。一見不便に思えるかもしれませんが、慣れてしまえば快適でした。逆に、中国語の会話は理解できないので聞かなくてもいいと考えると日本よりも気楽な面もありました。この上海での経験は貴重で、この後色々な国に住むことになりましたが、「言葉が通じなくてもなんとかなる」という自信を与えてくれました（その反動で、以後は現地の言語を全く学ばなくなってしまいました…）。

## 韓国・ソウル／アメリカ・バークレイ

2009年半ば、上海での生活にも完全に慣れてきていた頃、一通の思いがけないメールが届きました。宇宙論研究の世界的権威として知られるUros Seljak教授からでした。韓国・ソウルの梨花女子大学に設立される新しい初期宇宙研究所で、ポスドク研究員を探しているという内容でした。所長は、宇宙背景放射の研究でノーベル物理学賞を受賞したGeorge Smoot教授です。当時の宇宙大規模構造研究のトレンドだった、赤方偏移空間歪み効果に潜む膨大な宇宙論的情報を、より精密な理論モデリングによって引き出す研究と一緒にやらないかと誘ってくれたのでした。

この突然のオファーには非常に悩みました。まだ上海での契約期間も残っており、Jingさんとの共同研究も順調でした。ちょうど中国の国家自然科学基金にも採択されたばかりで、若手研究者には十分すぎる額の研究費が当たったところでした。しかし、韓国に移るとなるとその研究費は辞退する必要があります。一方、上海に残ったと

しても1年後にはまた就職活動を再開する必要があることを考えると、この転機は魅力的でもありました。最終的にはこのオファーを受けて、2009年の年末にソウルへと引っ越しました。

Urosは、当時スイスのチューリヒ大学、アメリカのカリフォルニア大学バークレイ校(UCB)、ローレンス・バークレー国立研究所(LBNL)にもポジションを持ち、各国を飛び回る多忙な日々を送っていました。多数のポスドクや学生を抱えていたこともあり、直接議論できる機会は限られていました。その分、1回の議論に備えて問題点を徹底的に調べ尽くして、何を質問されてもいいように最大限の準備を重ねるようにしていました。こうして、数少ない議論で、複数の論文と一緒に書くことができました。チューリヒ大学やUCB/LBNLに滞在して研究する機会も得られました。特にバークレイには年に数ヶ月のペースで滞在し、トータルでは1年半ほど過ごすことになりました。Urosがオークランドに借りてくれた一軒家に、彼の学生たちと一緒に住んでいました。私は料理が苦手なので、料理は学生さんたちに任せて、私は皿洗いを担当していました。

Urosとは、よく一緒に飲み歩いたり(写真1)、



写真1 ソウル在住時、よくビールを飲みに行ったバー。偶然、筆者のポスドク時代の歴代の受け入れ教官全員とのフーズボール対決。左からUros, 筆者, Jingさん, 高田さん(中央奥はNeal Katz氏)。研究においては雲の上の方々ですが、この勝負では勝てる可能性があるのです。至って真剣です。

趣味のスキーと一緒に出かけたりと、私生活でも親しくさせてもらいました。朝5時に待ち合わせて、高速バスでソウル郊外まで日帰りスキー旅行をすることもありました。職場の外では研究の話をするのはほとんどなく、普段はなかなかできない雑談などをすることができ、貴重な交流になりました。

### 3年間の日本生活と就職活動

韓国／アメリカでのポジションは2013年末までの契約だったため、2012年秋頃から次の職探しを始めました。ファカルティポジションのショートリストに残ることもありましたが、採用には至らず、三度目のポスドク職を探すことになりました。この数年間は、Urosとの共同研究で赤方偏移空間歪みに関する理論モデリングのシリーズ論文を発表しており、それなりにインパクトも出せていたので、少なくともポスドクの職は難なく見つかるだろうと楽観していました。ところが現実は厳しく、いくつかのショートリストには残るものの、最終的には不採用の通知が続きました。そんな中、学生時代からお世話になっていたカブリIPMUの高田昌広教授から幸運にもポスドクのオファーをいただき、2014年に着任することになりました。博士号取得後、初めて日本で暮らすことになりました。

日本での生活を始めると、国内でのファカルティ職にも挑戦してみようという気持ちが芽生えました。私は学部は私立大学の出身で、数学と理科の教員免許も取得していたため、そうした経歴が高専や私立大学での採用に有利に働くのではないかと期待し、6ヵ所ほどに応募してみました。しかし結果は惨敗で、安易な期待はあえなく打ち砕かれました。そこで視点を切り替え、これまで自分が渡り歩いてきた東アジアを中心に、再び海外のポジションに目を向けることにしました。その戦略は功を奏し、2015年末には応募した4機関のうち、台湾のASIAAを含む東アジアの3機関からオファーを頂くことができました。幸運も重

なりました。すばる望遠鏡を用いた初めての銀河サーベイ「FMOS FastSound」(PI:戸谷友則教授、現・東京大学)によって、赤方偏移 $z>1$ における重力理論の初検証を行った論文がちょうどこの時期に発表され、そのプレスリリースがジョブトークの前日に行われて、複数のメディアに取り上げて頂けたのです。完全な偶然でしたが、トークの際にはこのニュース記事を使って効果的にアピールすることができました。

ASIAAからのオファーは、テニュアトラックの副研究員(准教授相当)ポジションで、ほかの2機関からは最初からテニュア付きのポジションのオファーでした。ASIAAは、星・惑星形成から宇宙論に至るまで、天文学のほぼすべての分野をカバーしており、しかも所員の多くが同じ建物に集まっているため、分野間の交流も非常に活発です。これまで銀河サーベイに関する宇宙論の研究しかしてこなかった私にとって、研究の視野を広げるには理想的な環境でした。最終的には、職場の環境や自分がどのように貢献できるかを重視して検討した結果、(唯一テニュア職ではない)ASIAAを選ぶことにしました。

### 台湾で職を得て、現在に至る

こうして、9年近くにわたるポスドク生活を終え、2017年1月から台湾での生活が始まりました。ASIAAの歴史や環境については、前述の松下さん・大橋さんの記事に詳しく紹介されているので、ここでは引き続き自分自身のことに焦点を当てて書かせて頂きます。

ASIAAでは、新任のファカルティがテニュア審査を通過できるよう、研究に専念できる体制が整えられています。私は上海でのポスドク時代、宇宙論的解析の“コンタミ”として銀河の形状相関を調べていたのですが、むしろこの相関を宇宙論的なシグナルとして活用できるのではないかと考えていました。着任後は、この間に本格的に取り組む研究を始めました。ゼロからの手探りで

のスタートでしたが、研究に十分な時間をいただけたこともあり、数年かけて一連のシリーズ論文をまとめることができました。摂動論に基づく理論モデリング、N体シミュレーションによる検証、フィッシャー解析による宇宙論的制限の予測、そして2023年にはSDSSデータを用いた世界初の宇宙論的制限までつなげることができました。このアイデアを最初に思いついたのは2008年でしたので、まさに15年越しの達成でした。

ASIAAの研究環境を活かし、同僚たちと様々な共同研究にも取り組むことができました。銀河団宇宙論の専門家である梅津敬一さんとはダークマターハローの物理的境界であるスプラッシュバック半径に関する理論的研究を行いました。また、銀河とハローの関係を研究しているYen-Ting LinさんとはSubaru Hyper Suprime-Cam (HSC) サーベイの輝線銀河を用いてハローの性質を調べました。さらに、高赤方偏移における銀河進化の専門家のChian-Chou Chenさんとは、将来のAtacama Large Aperture Submillimeter Telescope (AtLAST) projectによる高赤方偏移サブミリ銀河サーベイを見据えた、宇宙の曲率やハッブル定数に対する制限の予測に関する研究を行いました。ASIAAでの面接の際には、Subaru HSC/PFSプロジェクトの積極的参加と、研究所内の共同研究の推進を強調していたので、少しはその公約を果たすことができたかと思います。

着任から3年経った頃から、研究所の運営業務も任せられるようになり、2021年初夏には無事に任期のない教授相当のリサーチフェローに昇進することができました。現在は特に人事関係の委員として、ポスドクやファカルティのリクルート、所員のプロモーション・昇進などを重点的に担当しています。人材は研究所の発展において最も重要なリソースの一つですので、責任は大きいですがやりがいがあります。

ASIAAでは星や惑星形成の研究が中心的な分野であり、また銀河形成・進化の研究も活発で



写真2 ASIAAで宇宙論研究を行う人々（2024年6月撮影）。後列左端から所長のUe-Li, 筆者, 梅津さん, 後列右から3番目がYi-Kuan Chiang, 右端がGeoff Bower。

す。一方で、私が着任した2017年頃は、宇宙論を専門とする研究者はまだ少数派でした。当時は先輩の梅津さんと、仕事終わりにビールを飲みながら、ASIAAにおける宇宙論研究をどのように発展させていくかを、毎日のように語り合っていました。その後、Subaru PFSサーベイの始動が近づく中で、観測的宇宙論の専門家であるYi-Kuan Chiangさんと砂山朋美さんの2名が新たにファカルティとして加わり、さらに2021年には宇宙論分野の世界的権威であるUe-Li Pen教授が所長として就任されるなど、ASIAAの宇宙論研究はここ数年で大きく発展しています（写真2）。

これまで、上海、ソウル、台北と、東アジアの大都市を渡り歩いてきましたが、それぞれの都市や職場にはそれぞれの魅力があり、どこが良かったという感覚はほとんどありません。おそらく、最初から就任先に過度に期待をしていなかったことが良い方向に働いたのかもしれない。文化や研究スタイルの違いに触れられる経験など、ポジティブな面に目を向けるようになってきたため、あまりストレスを感じずに海外生活を送ってこれました。これまでの経緯を振り返りながら取り止めなく書いてきましたが、海外での研究生生活に関心を持つ若手研究者の皆さんにとって、少しでも参考になる部分があれば幸いです。

# 日江井榮二郎氏ロングインタビュー

## 第9回：太陽観測衛星



### 高橋慶太郎

〈熊本大学大学院先端科学研究部 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1〉  
e-mail: keitaro@kumamoto-u.ac.jp

日江井榮二郎氏のインタビューの第9回です。日本の太陽観測衛星の歴史は、1981年に打ち上げられた「ひのとり」から本格的に始まります。当時、アメリカが2トンを超える巨大な衛星SMMでフレアの観測を目指したのに対し、「ひのとり」は188 kgと極めて小型でした。しかしこの小ささが功を奏し、機体を安定させるための自転を利用して太陽面全体を常に掃引することで、いつでも発生するかわからないフレアを数多く捉えることに成功しました。この成功は、1991年打ち上げの後継機「ようこう」へと繋がります。日江井氏もPIの一人として国際協力のもと、観測装置の開発を進めました。そして世界を驚かせる鮮明なX線画像の撮影に成功するなど、日本の太陽衛星観測の国際的地位を築き上げました。今回は日本の太陽観測衛星の話を中心に伺い、フランスのムードン天文台滞在や乗鞍コロナ観測所所長のお話も聞いていきます。

#### 関連年表

- 1973年 アメリカ「スカイラブ」打上げ
- 1980年 アメリカSolar Maximum Mission 打上げ
- 1981年 「ひのとり」打上げ
- 1982年 乗鞍コロナ観測所長 就任
- 1991年 「ようこう」打上げ
- 1992年 国立天文台 定年退職

#### ●ひのとり

**高橋：**前は、主に助教授時代のお話、乗鞍コロナ観測所の新しい25 cm望遠鏡を作ってスペクトルを観測するとか、飛騨に京都大学のドームレス望遠鏡ができたとか、そういう話をさせていただきました。時系列的に次は人工衛星ですね。

**日江井：**日本はですね、ご存じのように天候は必ずしもよくないよね。天文観測には向かない。だから私は衛星には前から関心がありました。戦後、アメリカがドイツからVロケットをたくさん持って

帰ってきたんですね。それをNRL (Naval Research Laboratory) が使って、太陽の紫外線観測をしたんですよ。1000 Åから2000 Åあたりです。その論文が出たときに私はそのデータが欲しくてね。なぜかっていうと、1700 Åあたりは太陽の光球とクロモスフィアの境界がわかるような波長で、ちょうど吸収線から輝線に変わるあたりなんですよ。私はすぐにワイディング (K. G. Widing) に手紙を出しました。だから衛星に関心はあった。だけど日本が科学衛星上げるなんて、先の先の話だと思ってた。アメリカだってロシアに先を越されて。

**高橋：**スプートニクですね。

**日江井：**それでまあ私だけじゃなくて実は末元 (善三郎) さんも早くから科学衛星に関心があったんですよ。けども末元さんはその頃は岡山の74インチ (188 cm) の望遠鏡のことで忙しくてね。東京天文台で太陽の紫外線観測を始めたのは末元さんと西 (恵三) さんで、1966年に紫外

線用の真空分光器を作り始めたんです。1971年にそれを東大の宇宙航空研究所のロケットに搭載して、真空紫外線の絶対測光の観測が行われたんです。だからアメリカから10年くらい遅れてるわけですよね。その後アメリカではスカイラブというすごい人工衛星をやって、そこに人間が乗って太陽を観測した。ものすごいデータだった。

**高橋:** スカイラブのデータももらったということでしたね (第7回参照)。

**日江井:** だからそういう点じゃ関心があったわけですね、私にも。

**高橋:** 日本の衛星はまず「ひのとり」、1981年の打ち上げですね。

**日江井:** 「ひのとり」だよ。私は「ひのとり」に関わったわけではなくてですね、その後の「ようこう」なんです。でもちょっと「ひのとり」の話をするとな、当時、ちょうど太陽の極大期になってたんです。これは小田(稔)さんと田中捷雄君が独創的な観測装置を作って載せたんです。それで田中捷雄君があの手塚治虫の漫画が大好きでね、それで「ひのとり」にすると。

**高橋:** そこから来てるんですか。

**日江井:** はい、それで「ひのとり」は188 kgというペイロードだったんです。その一方でアメリカのNASAが1980年にSolar Maximum Mission, SMMという衛星を打ち上げてフレアを観測しようとしたんです。これが、2300 kg, 2トン以上ですよ。それで実際に両方上がって観測した。

**高橋:** 全然規模が違いますね。

**日江井:** アメリカの方は衛星が重たくてね、どうやってフレアの観測をやるかっていうと、科学者がですね、あの活動領域にフレアが起こるだろうから、あちらに向けて観測しようと技術屋にお願いするわけですよね。すると技術屋はそっちへ向けて待ってるわけ。ところがフレアの予想ってのはそう当たらずで、予想通り起こったり起こらなかったりする。だからSMMはあんまりたくさんデータが撮れなかったのね。

それに対してですね、「ひのとり」に載ったのは小田さんのすだれコレレーターと田中君発案のブラッグ結晶分光器です。衛星が小さいからスタビリティのためにぐるぐる自転させるわけ。小さいがゆえに自転せざるを得なかった。自転するとブラッグ角が変わって、半周ごとに波長スキャンができる。だから太陽のいろんなところがスイープされるわけですよ。そうするとフレアがどこで起こるかわからなくても、起これば受かっちゃうわけよね。だからいかにも柔道の受け身みたいな、日本的な科学衛星ですよ。それでもものすごくたくさんフレアが受かっちゃってね。鉄の24階電離っていう、ヘリウムライクの非常に高温の鉄のスペクトルが撮れたんです。小田先生は「Small is beautiful.」といってね、アイデアが良ければ小さな科学衛星でもいいよ。

## ●田中捷雄さん

**高橋:** 小さいから回って太陽のいろんなところのスペクトルが観測できたよ。

**日江井:** それは田中捷雄君がアイデアを出して実際に作ったんですね。僕も田中君に相談されました。日江井さん、こんなこと初めてなんだけどね、うまくフレアが撮れるかしらと。でね、その後研究会がアメリカであって、もうアメリカの連中は悔しくてしょうがなくてね。あれだこれだでものすごくいろいろ質問してね。それに対して田中捷雄君がちゃんと答えたんですね。

**高橋:** 小さな衛星が活躍したわけですね。

**日江井:** だから「ひのとり」っていうのはそういう非常にいい観測をやってですね、日本の太陽衛星観測のスタートを非常によく切ってくれたんですよ。

ところが田中捷雄君は白血病で46歳で亡くなっちゃったんです(1990年)。もう本当に惜しいことしてね。あの古在(由秀)先生ですら、田中君は頭のいい男だと言わしめたくらいに、本当に将来を囑望されてた男だったんですよ。頭が

いいだけじゃなくてね、あれは将来台長になってもいいくらいのしっかりした男だったの。ビッグベアのジリン (H. Zirin) にもね、俺のところにいってくれよと言われるくらいにね、アメリカでも非常にいい仕事をした。正月の2日に亡くなったんですけど、正月の1日になんか胸騒ぎしたんで彼の家へ行った。彼の家はうちからそう遠くはないんで、まあ正月だからって彼に会いに行ったんです。そしたら年末に房総半島に家族旅行をしたって言って、それはよかったと思ったんですが、その次の日、2日に亡くなっちゃってね。

高橋: そんな急になんですか？

日江井: いや、ずうっと10年くらい白血病だったんですけども。彼はできうる限りの可能性を探してね、アメリカへ行って調べてもらったり、日本じゃ医科研 (東京大学医科学研究所) のいい先生に調べてもらったりしていました。彼はなんとか治りたいと思って、中国の漢方薬ね、高いんでしょうね、それを飲んだりしてね。「医科研の先生から、そんなの飲んでもダメだって言われちゃうんだけど隠れて飲んでる」とか言ってました。彼は自分で白血球とか赤血球とか血小板の数のデータをグラフにしてね。白血球の数字が悪くなったときには、インターフェロンで抑えたりとかね。7年くらいやりましたよ。

高橋: そうだったんですね。

日江井: それがね、あれは「ひのとり」の実験を宇宙研でやってるときにX線を浴びてね、それで白血病になっちゃったみたいなんです。その当時、まだ放射線の実験のときにモニターを付けるとか付けないとか始まった頃でね。

高橋: 実験中ということですか？

日江井: 実験中。

高橋: それは事故ってことなんですか。

日江井: そうです。公務障害になりました。そのときにね、宇宙研の責任者は田中靖郎さんだったんです。田中靖郎さんが天文台の私のところに来てね、「何かあったらこちらが責任を取りましょ

う」とおっしゃってくれたんです。それでなんとか公務障害というのが認められた。公務障害になったけれどもね、それよりもとにかく彼を失った方が痛かった。

高橋: 田中捷雄さんは世代的にはどのくらいなんですか？

日江井: 私の10年くらい下。だから当時、田中くんに天文台の太陽物理部の面倒をお願いしようと思っていたんですね。私の同世代はね、私の1つ下が牧田 (貢) 君かな、さらにその下が平山 (淳) 君で、くつついちゃって団子なんだよね。だから後任にはもっと下をっていうので田中君に期待していたんだけど、急にいなくなった。それで天文学教室にいた桜井 (隆) 君をお願いして引き受けてもらったんです。その当時、桜井君は理論屋さんでね、乗鞍だとか天文台の現業をやったことはなかったんだけど、もう非常によくやってくれましたね。桜井君にはずいぶん苦勞をかけたんだ。本当は桜井君は天文学教室にいればね、理論家としてもっと仕事できたかもしれないと思って、悪いことしちゃったと思ってるんだけど。桜井くんは太陽のためにずいぶん天文台の仕事をやってくれましたね。まあそんなことがありました。田中君、やっぱり人が亡くなるってのは非常につらいですよ (天文月報1990年7月号に追悼文集が掲載されている)。

## ●ようこう

高橋: それで次は「ようこう」ですね。

日江井: 「ようこう」は1991年に打ち上げたものですよ。私は地上の観測をずっとやるつもりだったの。それというのもね、日本は人材が不足してるわけよ。それで内田豊さんがですね、宇宙研と一緒にそれをやろうと。内田豊さんと宇宙研の小川原 (嘉明) さんが全体をまとめてくれました。平山さんにSXT、軟X線のコロナの撮像装置のPIになってもらったんですが、もう1つ、ブラッグクリスタルスペクトロメーター

(Bragg Crystal Spectrometer, 略してBCS, ブラッグ結晶分光器)のPIがないってわけよ. それでぜひやってくれっていうのが私に来ましてね. 私は断ったんですけどね, だけどまあさっきも言ったようにスペースには関心がありましたしね, ほかに誰もいないっていうんで. それじゃあって名前としては入りました. 実際には渡邊鉄哉さんがやってくれた. 渡邊君と私と宇宙研の人とですね, あとはNRLのドシェック (G. A. Doschek) と, それから University College London のカルヘーン (J. L. Culhane) 先生と, 日英米3つの国でそのBCSをやったわけですね.

高橋: 開発のときは宇宙研に通ったんですか?

日江井: 開発のためにときどき宇宙研に行っていましたね. 宇宙研の小川原先生が厳しくてね, もう少しでも目方を少なくしようと思って削れ削れと, 非常に厳しい人だった. だけどそれがゆえにですね, 「ようこう」は予想を超えて10年も観測を続けられて, 非常にいい成果をあげた. あれは小川原先生のおかげだったと思います.

それからイギリスやアメリカに行ったりもしました. それで感心したのはですね, こういう国ではやっぱり技術者が非常にしっかりしてるんですね. でもイギリスとかアメリカではインチでものを測るでしょ. こちらはセンチメートルでね, こちらからものを持って行ってセットしたら合わないわけよ. だから現場で合わせるっていうのは大事ですね.

高橋: その打ち上げが91年ですけど, 日江井先生が関わるようになったのはいつ頃なんですか?

日江井: こちらに話が来たのは5,6年前ですね.

高橋: 検討自体はもっと前からですか?

日江井: 前ですよ. 1982年には将来計画として議論されていました. そらあだいたい10年ですよ, なんかを計画するのはね.

高橋: それは「ひのとり」の次っていうことで, やっぱり「ひのとり」が成功して, ということですか.

日江井: そうですね. それに太陽活動期の1991年に打ち上げる衛星は「ようこう」だけだったっていうこともあって, 世界中から注目されていたんです. それでも「ようこう」は「ひのとり」の2倍の重さのペイロード, 390 kg. やっと倍にしてもらえたわけですよ.

高橋: その分いろいろ積めると.

日江井: そうですね. これは自転しなくてもちゃんと望遠鏡が太陽に向く3軸制御の衛星です.

高橋: そのBCSっていうのはどういうものなんですか?

日江井: フレアのスペクトルを撮るんです. 太陽全面を, 鉄の25階電離, 鉄の24階電離, カルシウムの18階電離, 硫黄の14階電離っていう極紫外線で撮像する分光器です.

高橋: 「ひのとり」は自転していたので自動的にスイープしてっていうことでしたが, 今度は自転しないからフレアを予想しないといけないわけですか?

日江井: 「ひのとり」では受光装置が位置情報のない検出器だったので回転が必要だったんです. でも「ようこう」衛星は位置感応型の受光器だったんで, ブラッグ結晶を動かさなくてもスペクトルが撮れたんですね. だから太陽全面を見ているので, フレアが起これば取得できます.

それからですね, 受光器はイギリス, ブラッグ結晶はアメリカ, 全体の取りまとめは日本がやったので, 打ち合わせが大変でした. ロッキードのアクトン (L. Acton) 先生ってのが非常に人間味のある人でね, アクトンさんが「ようこう」のサイエンティストをよくまとめてくれたんです. 宇宙研にアメリカ人もイギリス人も来ている議論するわけよ. 「ようこう」というのはアクトン先生のおかげで随分皆さん仲良く仕事ができた.

「ようこう」は寿命も10年と長くてですね, 私自身もデータを使いましたね. ものすごく立派なループ状のコロナ画像があるんですよ. アメリカへ行ってそれをフンドハウゼン (A. J. Hundhausen) と一

緒に研究しましてね。CME, coronal mass ejectionの論文を書きましたね (Hiei, Hundhausen & Sime, 1993)。だから私自身はむしろX線のイメージを使っちゃったなあ、結果としてはね。「ようこう」のX線像っていうのは、ずっと世の中に出回って、我々だけじゃなくて世界中の連中がそれを使ってますからね。あの画像を見て僕らびっくりしましたよね。X線であんなきれいな写真が撮れるなんて。

**高橋:** だいぶ世の中にも出回りましたよね。

**日江井:** 出回ってますよね。あなただって授業でも使ってるんじゃないかと思うけどもね。

**高橋:** そうですね、使いますね。あと当時、僕はたぶん中学生くらいですけど、結構雑誌の「ニュートン」とか読んでましたので、見ましたよね。

**日江井:** それもアクトン先生のおかげですね。アメリカ人ってのは見せ方が上手じゃないですか、tax payerに見せるっていうので。アクトン先生が一生懸命僕らを教えてくれてね、「ニュートン」がそれを見てずいぶん宣伝してくれました。そうすると誰かが聞いたというんだよ、「X線というのは赤い色なの？」なんて。

**高橋:** ああ、なかなかX線は一般の人はわかりませんもんね。でもそういうX線の技術っていうのは、それまでは何かされてたんですか？

**日江井:** コロナのX線画像はですね、アクトンさんがやってくれたの。これには常田(佐久)君が関与しててね、X線の撮像素子に1024×1024のCCDを使うってわけですよ。最初はJPL (Jet Propulsion Laboratory) にそれがあると。それを使えどって渡されたけども、あまりよくないんですよ。それで常田君がこんなよくないはダメだとか言ってね。それでアメリカに行ってNASAに交渉した。そしたら日本の筑波にその支社があると。Texas Instruments in Japan っていうって、そこに常田君がまた交渉に行っさ。その社長がいい人だったんで、じゃあやりましようって

いって、1024×1024のCCDを作ってくれた。だから「ようこう」のX線画像は、常田君ががんばった結果なんです。

**高橋:** 当時、常田さんはまだ若手ですかね。

**日江井:** そのころはまだ助手だったですね。常田君もがんばる男でね、それで金がないとしょっちゅう古在さんのところへ行って、するとまあしょうがないやって言って出してもらってたようですね。

**高橋:** 「ようこう」が終わって、次は「ひので」ですか。「ひので」には関わられたんですか？

**日江井:** 「ひので」には関わってない。もう私はそのときは卒業しちゃってますからね。太陽の観測は地上と衛星と、それからバルーンとロケットがあるのね。ロケットもすごいね。ホワイトサンズで上げるんですよ。それも太陽の連中が関与してるんだけどもね。ロケットは5,6分しかデータが取れないのね。上に行って落ちこちる間に望遠鏡を太陽に向けて撮る。初めはロケットの振動で太陽像が動いてるんですが、観測モードに入るとピタッと像が止まって非常によい画像になるんですね。そうやって太陽の磁場を測ってるんです。

**高橋:** でも人工衛星は長期間安定して観測できるわけじゃないですか。そういうのがあってもやっぱりロケットで5,6分でも撮るってのは大事なわけですか。

**日江井:** あのねえ、人工衛星ってのはだいたい計画から打ち上がるまでに10年かかるわけ。だから観測装置も打ち上がる頃には10年古いし、それから劣化もするわけよ。でもロケットだとかバルーンだとそのとき一番いいCCDだとか装置を使えるわけよね。それが違うんですよ。だからどうしてもね、人工衛星ですと古い装置で観測ということになっちゃうわけですね。しょうがないよね、それは。

ともかく、「ひのとり」や「ようこう」の紫外線・X線で見せてくれた太陽の姿は、それまで見慣れてきた可視光の太陽像を一変させましたね。

太陽は11年の周期活動をする母なる太陽だと思ってたんですが、今や、太陽は常にダイナミックに活動をしている青年のようだ。その活動の基が磁場だということがわかってきたんですね。

## ●ムードン天文台

**高橋:** では少し話を変えまして、先生は1977年に半年くらいパリのムードン天文台に滞在されますね。そのときのお話を伺っていいですか？

**日江井:** そうしましょうか。まずですね、パリ天文台というのはグリニッジ天文台より早くできたんだそうだけでも、そこではそれこそカッシーニだとか長い大きな望遠鏡で、土星のリングを調べたり衛星を発見したりしてるんですね。それに対してムードン天文台っていうのはですね、パリの南西約10 kmのところにあるんですが、そもそも昔、ルイ14世という王様がいて、長男のためにそこにあったシャトー（城）を改築してすごく豪華にしたんですね。

**高橋:** ルイ14世という絶対王政で有名な王様ですね。17世紀から18世紀の。

**日江井:** そうです。それで本当はその長男が王様になるはずだったんだけど先に死んじゃって、その後はいろいろな人が使ったそうです。それからずっと後になって普仏戦争（1870-1871年）があって、そのシャトーの一部が焼失してしまったんですね。でも建物は残ってて土地も広大だったので、ジャンセン（P. J. C. Janssen）って男がもつたないからって、あそこを太陽の研究に使わせてくれと国に頼んで、ムードン天文台を作ったんです（1876年）。

**高橋:** そういう歴史があったんですか。

**日江井:** そのジャンセンという男はすごい男ですね、日食でヘリウムを発見してるわけですよ（1868年）。ロッキヤー（J. N. Lockyer）と一緒に、それから普仏戦争のときに日食があって、アルジェに観測に行きたいんだけど、戦争でパリから出られないんで熱気球で脱出して、それでアル

ジェへ向かったというすごい男でしょ。そのジャンセンがムードン天文台を作って、その後は太陽だけじゃなくていわば天体物理の研究所になったわけですね。

**高橋:** じゃあお城みたいになってるっていうことですか。

**日江井:** お城なんですよ。出自が王様のシャトーだから、きれいなんですよ。私はそんなに多くの天文台へ行ってるわけじゃないけれども、まあきれいな天文台の1つではないでしょうかね。庭がきれいだしね。そこで半年くらいいたかな。

**高橋:** それは何か呼ばれて行ったんですか？

**日江井:** 呼ばれてね。1つはですね、日本でもムードンでもカルシウムK線やH $\alpha$ 線の観測とか、太陽の研究をやってたわけですよ。それでデータを交換してたんです。お互いにどういう観測してるのか、どういうデータを持ってるかとか、まあそういう照らし合わせというようなことですね。国際協力ということだったわけです。

それからもう1つは、以前お話ししたように、乗鞍で白色光フレアのスペクトルのいいのが撮れたわけですよ（第8回参照）。そのスペクトルを持って行って、ムードンの連中と議論しましてね。あそこはミシャル（R. Michard）という男がいて、なかなかいい仕事をしてたんです。あとはムラディアン（Z. Mouradian）だとかエヌー（J.-C. Héroux）だとかピエール・マン（P. Mein）だとかレイロール（J. Rayrole）だとか、いろんな太陽の研究をする連中がいたんです。そこはみんな、なんというのかなあ、学問を楽しんでるという感じで、アメリカとちょっと違いましたね。アメリカはみんな一生懸命論文書いて、俺はこれだけやってるんだよっていうことを人に知らせますよね。ところがムードンはそうじゃなくて自分で自分流の考えで研究をする、楽しんで研究をするという感じなんです。

**高橋:** 雰囲気が違うわけですね。

**日江井:** あと、パリ天文台を見に行っただけです。

ど、驚いたのはね、天文台の中にレンズとか鏡を作る工場があるんですよ。でねえ、ああフランスの天文台っていうのは自分自身でいろいろそういう望遠鏡も作れるんだなあ。日本はそれに比べてね、後進国だから天文の研究は天文台で、望遠鏡は日本光学だとかキヤノンだとかに頼むという、まあ分業になっちゃってたんですけども、そうやって天文台の中に工場があるといいなと思ったわけですよ。

思えばフランスのオブティックスっていうのは立派でしょ、いろんないいのがありますよね。クーデ式望遠鏡はクーデール (A. Couder) が考えたとか、リオフィルターとかコロナグラフというのはリオ (B. F. Lyot) が考えたとか、それからデランドル (H. A. Deslandres) っていうのがスペクトロヘリオグラフを考えたり、それは今も使ってるわけですけどもね。やっぱりヨーロッパっていうのは本当に研究も大事だし、それを確かめる観測のための望遠鏡も自分で作るという姿勢が表れててね、面白かったですね。

**高橋:** 日本で観測装置を天文学者がしっかり作るようになったのはもう少し後ですかね。その白色光フレアではどういう議論をされたんですか？

**日江井:** 白色光フレアについてはですね、1980年ごろ白色光フレアのスペクトルを乗鞍で随分撮りましてですね、そのデータに基づいて3つに分けられるんじゃないかというのをいろいろと議論したんです。1つはハードX線がバーンとこう彩層を突き抜けるときに出す光。もう1つはですね、フレアループの根っこで光球が光る現象がある。どうしてわかったかという、バルマージャンプのない白色光フレアがあるんですよ。だから彩層が光るといよりも光球が光ってるんですよ。それから3つ目は幽霊のように動く白色光フレアがあるんですよ。それはね、まだよくわからないんですが、ループのどっかが明るくなってね、それが光球を照らして明るくなるから動いて見えるんだと私は思っているんです。そういう3

種類あるんじゃないかというのをムードンの連中と議論したんですね。

**高橋:** なるほど、3種類に分類できると。

**日江井:** それからムードンで面白かったのはですね、城の中ですからね、とにかく食堂が立派なんですよ。昼間からワインも出るしね。驚いたのはね、その食費。食費はですね、同じものを食べるのでも技術屋さんはいくら、研究者は給料がいいから少し高い。なんだろう、フランスは自由・博愛・平等の国だっていうのにこれは平等じゃないと思ってたらね、これがフランス式の平等なんですよ。日本の平等と違うんですよ。

**高橋:** いっぱいもらってる人がたくさん払うということですか。

**日江井:** そうなんです。私はみんなで食堂へ行っているんな話をするのが大好きだったんです。特に面白いのはフランスの新聞の政治漫画があるんですよ、Le Canardという風刺新聞かな。それでね、そこに政治漫画があって、まあ大統領がこんなことしたよとかね、アフリカから何かもらったよとかね、フランス語で書いてある。私にはその意味がわからないわけよ。ところがその食堂で、表面の意味はこうだけど裏の意味はこうだよとか教えてくれてね。それからそのとき聞いたのは、パリ天文台っていうのはナチスに占領されましたよね。そのときにドイツのキーペンホイヤー (K.-O. Kiepenheuer)、ロシアのセベルニー (A. B. Severny) が助けてくれたらしいんです。人伝でだから本当かどうかわかりませんが、パリ天文台を守ってくれましたとか言っていましたけどね。そういうのをね、食事のたびに聞いて面白かったですね。

それからフランスでは私はペッケア (J.-C. Pecker) という人にお世話になったんです。ペッケアというのはですね、IAUのセクレタリーをやったりね、IAUのためにずいぶん働いてくれた男なんです、彼はコレジドフランス (Collège de France) の教授でした。コレジドフランスっ



1997年, Collège de Franceの講義室にて, 日江井氏とPecker氏(日江井氏提供).



1999年, Collège de Franceの地下にて(日江井氏提供). 左からJ. C. Vial氏, 日江井氏, Z. Mouradian氏, J. C. Pecker氏.

てのはですね, 16世紀にできてるのかな, フランソワ1世が作って, そこで一般の人々にタダで最高級の学問の話聞かせてあげる. 実際そうなんですよ. いいところでね, 哲学はある, 文献学はある, 歴史学はある, 物理はある, 化学もある, 生物もある, 宇宙も. そのこのプロフェッサーってのはね, 大学のプロフェッサーよりもさらに格が上なんだそうですよ. ペッケアというのはそういう男だった.

**高橋:** コレジドフランスは普通の大学より格が高いわけですね.

**日江井:** そうなんです. それでね, ペッケアと知り合って, ペッケアの別荘にも連れて行ってもらったことがありました. 大西洋上の Ille d'Yeu にあったんです. それで後になってね, コレジドフランスで1ヵ月講義しろというわけですよ. でねえ, そのとき私はもう明星大学にいて, 理事長から1ヵ月は長いからダメだって言われて半月になっちゃったんですけど, それこそ「ようこう」の講義をしたんだ. 私は観測のことをお話しして, 内田君が理論の話をした. 海野(和三郎)先生もそこで講義をされたことがあります. 私が知ってる限りはその3人. そうすると講義したっていうんでメダルをくれてね.

**高橋:** そのペッケアさんという方も太陽の方なんですか?

**日江井:** ペッケアというのはいろんなことをやりましたね, 理論屋さんだね. まあ太陽のことも知ってるし, 銀河のことも知ってるし, いろんなことを知ってる. だからまあコレジドフランスの教授になったんでしょう.

それでニース天文台というのがあるんですが, あれは街の近くにあるからね, 観測ができなくなってさびれそうになってたんです. そのときにペッケアが呼ばれて台長を頼まれたんですね. それでペッケアは何をしたと思う? もうここは明るいから観測は無理だと, 理論屋を集めたの. それで理論屋を集めるには何がいかという食い物. だから食堂をよくした. ペッケアがそう言った. ニース天文台っていいところにあるですよ. 行ったことある?

**高橋:** ないですね.

**日江井:** あそこは行くといいんですけど, 丘の上にあつてですね, 下にニースの町が見えてですね, 地中海も見える. そこに立派な食堂を作って, 本当に見晴らしがよくて気持ちよくてですね, 夏はラベンダーの香りがするんですよ.

**高橋:** それは素晴らしいですね.

**日江井:** 非常にいいところなんです. だからあそこにずいぶん理論屋さんが集まったんですよ. それで彼はニース天文台を有名にしたんです. だからペッケアさんはそういうなんていうかなあ,



1999年、パリのレストランにて(日江井氏提供)。左から内田豊氏、日江井氏、西島和彦氏、日江井夫人、西島夫人。

自分も天文学をやるけれどもいろんなことに気を配る男だったですね。残念ながら最近亡くなってしまいましたけどもね(2020年)。私はずいぶん長い間付き合いました。

もう1つ、ペッケアには娘がいたんだけど、あるとき旅に出すって言って日本に送ったんです。そのときに面倒見たのが末元さん。末元さんという人はですね、ペッケアさんに非常に信頼のある先生だったんです。だからペッケアがですね、自分の娘が日本に行くから面倒見てくれよと。

**高橋:** ペッケアさんと末元さんは知り合いだったんですね。

**日江井:** もちろんです。私より先に末元さんの方がヨーロッパとかアメリカに行って知られてるわけですよ。年はペッケアと末元さんは同じくらいなんです。だから私もですね、末元さんの弟子だということで面倒見てくれたのかもしれないね。

あと、ペッケアは自分の両親がナチスに引っ張られてね(ペッケアはユダヤ人の家庭で生まれた)。戦争中、ペッケアは地下に隠れてドイツ兵と戦ったとか言ってましたね。それで戦争が終わって、親が車で帰ってくるかもしれないって、駅へずうっと通ってたけど、結局会えなかったんだよと言ってました。

## ●コロナ観測所所長

**高橋:** ではまた話題を変えまして、先生は1982年からコロナ観測所所長ですね。これはどういう感じになったんですか？

**日江井:** どういう感じでっていうか、守山(史生)さんが定年になって、その後は私が引き受けるよ。

**高橋:** 日江井先生が所長になるころにはもうコロナ観測所ができて30年以上経ってるということですよ。

**日江井:** はい。以前申し上げましたように、初代の野附誠夫先生が非常に偉い先生で、先生のご尽力で1949年にコロナ観測所ができたんですね。萩原(雄祐)先生が言ったように、アメリカとヨーロッパと日本は「鼎の三脚」で、日本がいなきゃいけないよと。日本もそういうことによって国際的に関与できるよということで、誇らしくもあり責任感も感じたわけです。東京大学としても校外に作る最初の施設であったわけで、だから東京大学もサポートしてくれた。そんなようなことでちょうど時代のいいときにできたんじゃないかな。だから予算も付きやすかったようですね。それから1957年にIGYって行って世界地球観測年というのがあってね。まあ地球物理だけど、太陽は地球に影響を及ぼすからって行って会議に呼ばれたりね。そういうことで観測に必要な人も付きましたね。かなり人が付いた。天文台としてもちょうど上昇期になったわけだよな。

2代目の所長が長澤(進午)先生という地味なんですけど思慮深い方だったんです。その先生が私に言ったのがね、「コロナ観測所は今、人がたくさんいるよ」と。研究者だけでなく技官も大勢いるんですよ。天文台っていうのは研究者だけでなく技官がいろいろ支えてくれるんで、技官が大切なんですよ。それで、「今は乗鞍に人がたくさんいるけれどもね、将来、天文台のどうか他で必要になったら乗鞍の技官を出してあげて

くださいよ」と。人を採るのってものすごく大変なんですよ。だけでも長澤先生はうまく時流に乗って採ってくれたから、乗鞍にはずいぶん人が多かった。とにかく乗鞍にはずいぶん予算がついて、人もついた。そういうときに東京天文台では内部で助け合ってやりくりしてきたの。乗鞍にきたお金の一部をどっかへまわして、その次に今度は岡山にお金がつくとそのお金の一部をほかにまわして、そういうやりくりをするという習慣がありました。でも野辺山の電波でついたとき、野辺山の連中はドライでしたけどね。

**高橋:** 余裕のあるところはちょっとほかにまわしてあげると。

**日江井:** そうなんです。それで天文台全体をうまくまわしていましたね。

**高橋:** 最近だと使い方が制限されてたりするのであまり融通がきかないかもしれませんね。それで、所長の仕事っていうのはどういうものなんですか。

**日江井:** 所長の仕事はあいさつ回り。そうですね、5月末くらいからですね、名古屋から始まりまして、まず名古屋の市役所に行きましたね。先輩から行けと言われて。

**高橋:** 名古屋の市役所に行くんですか。

**日江井:** 名古屋へ行くと、名古屋の市長に挨拶して、土木課にも行って、それから高山の市役所へ行って、高山の市長にも挨拶して、土木課にも行ったり。それから濃飛バスにお世話になるからバス会社のところにも行った。それから丹生川村の村長にもちょっと挨拶して、鈴蘭へ行っているんな村長にも挨拶して。信州大学も、山の上でもしかしたら何かあるかもしれないからね、信大の医学部にも挨拶に行きましたね。とにかく所長としての仕事は皆さんが安全に登下山できるということですね。

**高橋:** 地元の方との関わりが大きいわけですね。

**日江井:** そうですね。乗鞍には東大の寮があるんですけど、東大生が地元の小学校でサマースクー

ルを開いて、コロナ観測所員の中でも通った人がいましたね。乗鞍の寮は村の人々にお世話になっているんで、あるとき地元に戻元するっていうんで講演会を開こうじゃないかと。もう10年くらい続いているんだけど、第1回目、2009年は私がしゃべったの。そのとき観測所の建設を手伝ってくれた地元の人の名前を出したりして、お礼を言ったんです。だから地元とはなるべくうまくしなきゃいけない。

だけど必ずしもうまくいかないのはね、その鈴蘭の福島清毅って人の肩の小屋がコロナ観測所の近くなんだけど(第4回参照)、そこにバスを通したいわけ。でもバスを通すと埃が出るからコロナ観測所はノーって言った。1キロ以内は何も作らないでくれよ。だから福島さんは商売上、儲かり損なってるわけよね。でも福島さんは理解のある人で、こちらの話をのんでくれた。だからまあいい面と悪い面とありますけども。

**高橋:** じゃあいろんなところに挨拶回りに行つて、うまく調整すると。それが所長の重要な仕事なんですね。

**日江井:** そうです。あと、私がクビを覚悟したことがあったんだけど、遭難に近いことが起こつてね。5月の連休のときにさ、まだ雪があって一般の客が観測所の近くまでスキーにきてたわけ。ところがね、登山道路があつてさ、それで荷物を高山から運んでたから雪かきしなきゃいけないわけよ。それで雪をかくと道のところだけ周りよりも3mくらい低くなって、谷みたいになるわけね。それであるとき、霧が出たことがあつてね、スキーヤーがその雪かきした道のところを雪が続いてるもんだと思って滑つたんだよ。それで落つて怪我しちゃった、私が所長のとき。

**高橋:** ああ、一般のスキーヤーがですか。

**日江井:** そうです。それですぐにうちの連中がその人をスノーボードに乗せて信大へ連れて行った。その取扱いがよかったのかな、そのケガした人もありがとうございましたって言って済んだん

だけど、私は心配でさ。ああ、これはうちの土地だから責任取らなきゃいけないんじゃないかと思ったわけよ。それで東大の法学部の三ヶ月(章)先生という、法務大臣にもなられた人に電話で相談した。そしたら民法の先生を紹介してくれたからまたその人に電話したんです。そしたらその人がね、「日江井さん、立ち入り禁止の立て札は立ってるか」って言うの。「はい、立ってます。でも雪に埋まっています」と。そしたらその人は「大丈夫、大丈夫」って。「いざとなれば国選弁護人があるから心配することないよ」って。それを聞いて安心しましたね。法学部の先生を知っていてよかったなと思いました。

高橋: じゃあそこは本来一般人は入っちゃいけない場所なわけですか。

日江井: 本来はね、でもそのときは雪に埋まってたんだから見えないわけよね。だからどっちが悪いのかわかんないよね。

高橋: まあでも法律的には観測所の過失ではないということですね。

日江井: まあそういうことで結局何でもなかったんだけど、やっぱりドキッとすることはありましたよね。

高橋: 所員の方は特にそういう怪我とかは?

日江井: 所員はですね、もう捻挫だの腹痛いだのってのはたくさんありましたよ。だけど大きな事故はなかったのはよかったですね。

高橋: でもそんな山の上で何十年も続いてて、大きな事故がなかったっていうのはなかなかすごい

ですよ。

日江井: それは本当に嬉しいことだと思ってね。だからそれは森下(博三)仙人というね、自分の身を挺して働く人がいて支えてくれてたおかげです(第4回参照)。いやああれはすごい男だなあ。そういう人がね、各観測所にいたの。岡山にもそういう芯となる人がいた。乗鞍にもいたんです。

(第10回に続く)

### A Long Interview with Prof. Eijiro Hiei [9]

Keitaro TAKAHASHI

Faculty of Advanced Science and Technology,  
Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami,  
Kumamoto 860-8555, Japan

Abstract: This is the ninth article of the series of a long interview with Prof. Eijiro Hiei. Japan's history of solar-observing satellites truly began with "Hinotori", launched in 1981. While the United States sought to study flares with the over-two-ton Solar Maximum Mission (SMM), "Hinotori" was extraordinarily compact at just 188 kg. That small size proved advantageous: by using spacecraft spin for stabilization to continuously sweep the entire solar disk, it captured numerous flares whose timing and location were otherwise unpredictable. This success led to its successor "Yohkoh," launched in 1991. Prof. Hiei also served as one of the PIs, advancing instrument development through international collaboration. The mission produced strikingly sharp X-ray images that astonished the world, establishing Japan's international standing in solar satellite observations. In this interview we focus on Japan's solar-observing satellites, and also hear about his stay at the Meudon Observatory in France and his tenure as director of the Norikura Solar Observatory.

## 日本天文学会 2026年春季年会のお知らせ

2026年春季年会は、2026年3月4日(水)から3月7日(土)までの4日間、京都産業大学(京都市北区)にて開催を予定しております。参加方法の詳細については、tennetや年会ホームページで随時お知らせいたしますので、注視していただくようお願いいたします(<https://www.asj.or.jp/jp/activities/nenkai/>)。

### 開催にあたっての注意事項

- ・遠隔地から参加していただけるように、現地およびオンライン(ベストエフォート)のハイブリッド開催とする予定です。
- ・現地でのご入場受付では、QRコードのご提示が必要となります。
- ・ご入金の確認が完了次第、QRコードをメールにてお送りいたしますので、当日は忘れずにご持参くださいようお願いいたします。

### (1) 年会参加費、講演登録費、および年会予稿集代について

#### ・料金表

項目	会 員	非会員	備考
参 加 費	正会員学生：2,000円(不課税) 正会員一般：5,000円(不課税) 準 会 員：5,000円(不課税)	5,000円(消費税込み)	参加申込が必要です
講演登録費	2,000円(不課税)	5,000円 (消費税込み・ 企画セッションのみ)	1講演につき、一緒に 参加費の支払も必要です
講演予稿集	2,000円(消費税込み)	2,000円(消費税込み)	

※事前に講演登録費のお支払いがない場合、銀行振込にて1,000円を足してお支払いいただきます。

※領収書は入金確認完了メールからダウンロードしてください。

※お支払いいただいた参加費・講演登録費は、原則として返金いたしません。重複払いにお気をつけください。

#### ●参加証明について

現地参加の場合：当日受付でお渡しする名札で、年会の参加証明といたします。

オンライン参加の場合：必要な場合のみ、参加申込時にフォーム上でお申し込みください。年会終了後に証明書をメールで送付いたします。

#### ●講演予稿集について

年間購読され、会費と一緒に料金を支払われている方には事前にお送りします。

それ以外の方で講演予稿集が必要な方は、参加申込時にお申込・ご精算ください。郵送いたします。

・支払期間

●講演登録費：2025年11月25日(火) 正午～12月9日(火) 正午

講演者の方は、上記期間に参加申込と参加費の精算を行ってください。お支払いがない場合には講演が取消になる場合がございますのでご注意ください。

●参加費：2026年2月3日(火) 正午～3月7日(土) 正午

原則として会期前にお申し込みください。会期中でもお申し込みは可能ですが、クレジットカードのみでの精算となります。現金での精算は行いません。申込は、後日ホームページなどでお知らせするWebフォーム上で行っていただきます。

・支払方法

●原則クレジットカード支払です。

※講演申込時の決済ページのURLは、自動返信メールに記載されています。

※支払期間中に必ず手続きを済ませてください。

※クレジットカード決済代行サービス（fincode by GMO）を利用しております。

※取り扱いカードは、VISA, MasterCard, JCB, AMEX, DINERSの5種類です。

※クレジットカード支払が困難な方は、支払期間内に銀行振込でお支払いください。

●銀行振込

銀行名：三菱UFJ銀行

支店名：三鷹支店

口座番号：普通4434400

口座名義：シャダンハウジンニホンテンモンガツカイ

※振込人の名前の前に、会員番号（入会申請中の方は入会申請受付番号）をお書きください。

**(2) 受付期間**

通常セッションにおける講演は会員（正会員・準会員）に限られております。非会員の方は、講演申込の前に学会への入会申請をする必要があります。詳しくは年会ホームページをご参照ください。

事 項	受付期間・期限（日本標準時）	関連項目
講演申込（電子メール）	2025年11月25日(火) 正午～2025年12月2日(火) 正午	(3), (4), (5) 参照
講演登録費支払	2025年11月25日(火) 正午～2025年12月9日(火) 正午	(1) 参照
参加申込・支払	2026年2月3日(火) 正午～2026年3月7日(土) 正午	(1) 参照
複数講演の順序指定	2025年12月9日(火) 正午まで	(6) 参照
ポストデッドライン・ペーパー	2026年2月17日(火) 正午まで	(7) 参照
最新情報コーナー	2026年2月17日(火) 正午まで	(8) 参照
講演の変更など	わかった時点で直ちにご連絡ください	(9) 参照
特別セッションの企画 招待講演・特別講演の講演者推薦	2025年11月25日(火) 正午まで	(10) 参照
正会員用展示ブース	2025年11月25日(火) 正午まで	(11) 参照
旅費一部補助	2025年12月2日(火) まで	(12) 参照
各種の会合申込	2025年12月9日(火) 正午まで	(13) 参照
保育室の利用申込	2026年2月6日(金) 正午まで	(14) 参照
懇親会の申込	2026年2月11日(水) まで	(15) 参照

**(3) 分野と「企画セッション」**

・講演分野は次の16分野です。

M.太陽, N.恒星・恒星進化, P1.星・惑星形成(星形成), P2.星・惑星形成(原始惑星系円盤), P3.星・惑星形成(惑星系), Q.星間現象, R.銀河, S.活動銀河核, T.銀河団, U.宇宙論, V1.観測機器(電波), V2.観測機器(光赤外・重力波・その他), V3.観測機器(X線・ $\gamma$ 線), W.コンパクト天体, X.銀河形成・進化, Y.天文教育・広報普及・その他

・「企画セッション」は次の3件です。○印は世話人代表者です。

Z1.「天文学史研究の拡大と展望：Cultural Astronomyとしての天文と歴史」(略称：天文学史)

世話人：○玉澤春史(東京大学/京都市立芸術大学), 真貝寿明(大阪工業大学), 松浦清(大阪工業大学), 澤田幸輝(沖縄女子短期大学)

Z2.「PeV宇宙線加速器ペバトロン探査の現状と今後の展望」(略称：ペバトロン)

世話人：○辻直美(東京大学), 田中孝明(甲南大学), 井上剛志(甲南大学), 齋藤隆之(東京大学), 佐野栄俊(岐阜大学)

Z3.「全天多周波数帯ミリ波・サブミリ波偏光マップがもたらす天文学の新たな知見」(略称：全天偏光マップ)

世話人：○松村知岳(東大Kavli IPMU), 市來淨與(名古屋大学), 藤本龍一(宇宙航空研究開発機構)

- ・企画セッションは、世話人から依頼される講演と通常の講演、議論の時間などから構成され、その割り振りは世話人が決めます。講演者は世話人に対して講演申込みを行います。tennetなどに流れる世話人からのアナウンスに注意し、講演申込みに際しては世話人からの指示に従ってください。なお、講演登録費をお支払いの際には、世話人が全ての講演を投稿した後に、世話人から届く受付番号が必要となります。

#### (4) 講演の形式

- ・a 口頭講演（9分間の口頭発表と3分間の質疑応答）；b ポスター講演・口頭発表付き（ポスターと3分間の口頭発表）；c ポスター講演・口頭発表なし（ポスターのみ）の3種類を予定しています。講演時間は、講演数によって変更することがあります。講演は現地で行っていただくことを想定していますが、オンライン講演も受け付ける予定です（ベストエフォート）。開催地および運営の負担を減らすため、子育てや介護など特別の理由がある場合以外は、現地での講演をお願いいたします。詳細が決まり次第ご案内いたします。
- また、ポスターは現地会場での掲示に加え、Web上でも公開を予定しています。実施方法の詳細については、年会ホームページ (<https://www.asj.or.jp/jp/activities/nenkai/>) に掲載いたしますので、注視していただくようお願いいたします。
- ・講演者1人あたり可能な講演数は最大3件です。また、a講演は1人1講演までで、3件目の講演はc講演（ポスターのみ）に限ります。
- ・なお、コロナ禍対応として実施していたSlackによる交流の場の提供は、本年会より廃止といたします。

#### (5) 講演の申込方法（電子メール）

- ・年会ホームページに掲載します。説明をよく読んで申込を行ってください。
- ・年会直前に行われる記者会見の受付も同時に行います。詳細はtennetや年会ホームページでお知らせします。

※郵送による申込は受け付けておりません。

※締め切りは2025年12月2日(火) 正午を厳守してください。この締め切り日時を過ぎた申請は原則として一切受け付けません。また、締め切り当日のトラブルには対応できない場合もありますので、できるだけ締め切り前日の夕方までに投稿されることをお勧めします。

※講演は完成度の高いものに限ります。予稿の紙面を有効利用してください。予稿集は広範な読者が読むことを想定し、(i) 十分な背景説明を行うこと、(ii) 研究内容や結果・考察について具体的記述を含めること、の2点を心がけてください。これらに留意すれば、大抵は10行以上の予稿になるはずです。以上のような配慮に欠ける極端に短い予稿など不適切な講演申込は、受理しない場合があります。

※年間予約をいただいている予稿集は事前配布となっており、2026年2月20日(金) 付で発行する予定です。年会ホームページでも発行と同時に内容が公開されます。公開後は講演の内容がメディアによって紹介されることもあります。出版前の論文、特許に関係した論文等の講演をする際には、十分ご注意ください。

※講演者は必ずしも筆頭著者でなくても結構です。講演登録費はこの講演者が支払ってください。

※講演予稿の「キーワード」は、Y分野以外は、下記のPASJ Keyword listを使用いただきますようお願いいたします。

[https://academic.oup.com/pasj/pages/Pasj\\_Keywords](https://academic.oup.com/pasj/pages/Pasj_Keywords)

#### (6) 複数講演の順序指定

- ・グループ等で複数の講演を指定した順序で続けたい場合は、申込後、期限内に年会ホームページのWebフォームから申請してください。
- ・講演日時に関する要望は一切受け付けられません。
- ・b講演は2時間のセッションの最後にスケジュールする予定です。順序指定にa講演とb講演が含まれる場合は、b講演を最後に並べてください。ご希望に添えない場合もありますのでご承知おきください。

#### (7) ポストデッドライン・ペーパー (PDL)

- ・PDLは、緊急性・トピックス性に富んだ内容について、通常の講演申込の〆切後にも講演を受け付ける制度です。約半年後の次の年会まで待つことができない明確な理由（個人・グループの事情は不可）が必要です。
- ・申請される場合は上記の理由を明記の上、年会実行委員会までお問い合わせください。申請いただいた内容は年会実行委員会で審査し、受理の可否を判断いたします。なお、通常の申込よりも受理の基準がかなり厳しくなります。
- ・PDLの講演形式は、原則、cポスター講演・口頭発表なし（ポスターのみ）になります。ただし、プログラムに余裕がある場合は、bポスター講演・口頭発表付き（ポスターと3分間の口頭発表）も可能です。希望する形式を記入してください。
- ・PDLの受付期間を過ぎた後の申請については、年会実行委員会にご相談ください。
- ・日本天文学会年会における発表は、PDLも含め天文学会員に限られているため、非会員の方は天文学会員になる必要があります。PDLの審査に加え、会員になる手続きにも時間を要しますので、PDL申請を考えている非会員の方は、まず年会実行委員会にお問い合わせください。

#### (8) 最新情報コーナー

- ・最新の情報を掲示するコーナーを設けます。通常の講演に相当する内容で、本年会で公表する緊急性のないものは最新情報として受け付けません。また、最新情報は年会での講演とはなりません。予稿集等にも掲載されません。発表の形式はポスターのみです。
- ・掲示を希望する場合は、掲示内容の概要と掲示者の情報を年会実行委員会に事前に申請してください。
- ・スペースが無くなれば受け付けを終了することがあります。

#### (9) 講演のキャンセルや変更

- ・申し込んだ講演については、年会実行委員会の承認なくキャンセルすることはもちろん、登壇者、講演題名、講演著者、講演内容も変更することはできません。
- ・やむをえず講演をキャンセルしたり、登壇者を変更したりする場合は、共著者の承諾を得た上で、年会実行委員会にて承認の手続きが必要になります。キャンセルや変更を希望する理由を添えて、原則

講演者（登壇予定の方）が速やかに年会ホームページのWebフォームから申請してください。ただし、キャンセルは極力避け、可能な限り代理登壇者を立ててください。なお代理登壇者は原則学会員（正会員・準会員）とします。会期中、直前の申し出は承認できない場合があります。

- ・講演申込後に講演をキャンセル等しても、講演登録費および参加費の返金はいりません。
- ・講演の申込時に、筆頭著者と講演者を別にすることはできます。筆頭著者は「講演予稿集」の講演者リストの先頭に記され、申込時の講演者（登壇者）は「年会プログラム」で確認することができます。

#### (10) 特別セッション・特別講演・招待講演

- ・多くの会員が関心を持つ話題について、特別セッションを開くことができます。原則として同時に他のセッション等を行いません。また、多くの会員が興味を持つテーマについて講師を依頼する「特別講演」や「招待講演」も時間が確保できれば行います。これらについては、年会実行委員会にご相談ください。

#### (11) 正会員用展示ブース

- ・正会員用の展示ブースのスペースを設けます。展示を希望される場合は、ブース名・趣旨・世話人（正会員3名以上）を記載して、期日までに年会実行委員会までお申込ください。面積は1区画2×2 m～3×3 m（開催地の事情により異なる）、展示費は50,000円です。
- ・賛助会員の皆様への展示案内は、別途郵送いたします。

#### (12) 旅費一部補助

- ・日本天文学会では、正会員（学生）に年会出席旅費（交通費）の一部補助を行っております。希望者は、年会のWebページ [https://www.asj.or.jp/jp/activities/expenses/travel\\_grant/](https://www.asj.or.jp/jp/activities/expenses/travel_grant/) をご覧ください。
- ・オンライン講演の場合、補助はありません。

#### (13) 年会時の各種会合

- ・会合などのために講演会場などを使用したい場合には、年会実行委員会が承認の上、部屋を使用できます。年会ホームページのWebフォームからお申込ください。会合が開けるのは、会期中の昼休み時間に限ります（時間厳守）。並行して午後のセッション準備が行われますのでご注意ください。午後のセッション開始の15分前を目処に会場を開け渡すようご配慮ください。プロジェクターを含む機材やネットワークのサポートは行いません。また、部屋の人数にも制限があることをご了承ください。

#### (14) 年会会期中の保育室

- ・保育室を設置する予定です。詳細は年会のWebページに掲載します。不明な点は年会実行委員（保育室担当）へe-mail（[nenkai-hoiku@asj.or.jp](mailto:nenkai-hoiku@asj.or.jp)）でお問い合わせください。

#### (15) 懇親会

- ・懇親会は、年会3日目にあたる2026年3月6日（金）夜に、フィエスタ河原町にて開催予定です。
- ・会費は2026年2月11日（水）までに事前予約された場合は日本天文学会員・非会員共に、一般6000円、

- 学生4000円。それ以降に申し込まれた場合は、一般7000円、学生5000円の予定です。
- ・会場の都合により、参加人数は250名までとさせていただきます。
  - ・天文学会会場とは離れていますので、事前に交通手段をご確認ください。
  - ・詳細は、後日 tennet でお知らせする WEB ページをご確認ください。

#### (16) 連絡先

- ◆年会実行委員会      e-mail: nenkai-committee@asj.or.jp  
委員長 和泉究 (年会実行理事・宇宙航空研究開発機構)  
電話: 070-1170-2758

年会係 田口谷怜奈 (日本天文学会)  
〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1 国立天文台内 日本天文学会  
電話: 0422-31-5488      FAX: 0422-31-5487      e-mail: nenkai@asj.or.jp

- ◆開催地組織委員会      e-mail: asj-202603@cc.kyoto-su.ac.jp  
ホームページ URL: <https://sites.google.com/view/nenkai2026haru/>  
委員長 米原厚憲 (年会開催地理事・京都産業大学)  
〒603-8555 京都市北区上賀茂本山 京都産業大学 理学部 宇宙物理・気象学科  
電話: 075-705-1623

年会開催期間 (2026年3月4日~7日) の連絡先は、プログラムおよび予稿集に掲載します。

年会ホームページ: <https://www.asj.or.jp/jp/activities/nenkai/>

和泉究 (年会実行委員長)



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](mailto: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。

ご覧いただく場合にはお申し込みは不要です。詳細は「理科年表オフィシャルサイト」をご覧ください。

詳細：理科年表オフィシャルサイト内

<https://official.rikanenpyo.jp/posts/9170>

主催：理科年表編集委員会、丸善出版株式会社、自然科学研究機構 国立天文台

【内容（途中休憩あり）】

1. 基調講演

・梶田隆章（東京大学 卓越教授／2015年ノーベル物理学賞受賞）

科学の楽しさ～若い時の経験と理科年表～

2. 講演

・渡部潤一（自然科学研究機構 国立天文台 上席教授）  
理科年表に見る天文学100年の歩み

・野村竜一（気象庁長官）  
気象業務150周年の歩み

・倉本直樹（産業技術総合研究所 計量標準総合センター 首席研究員）

130年ぶりに新しくなった「キログラム」：科学の進歩がもたらす単位の進化

・瀨織一起（東京大学 名誉教授）  
地震学の発展と理科年表地学部

・沖大幹（東京大学 総長特別参与／大学院工学系研究科 教授）

理科年表の縦横無尽で水と気候変動研究

お問い合わせ： [rika@prcml.mtk.nao.ac.jp](mailto:rika@prcml.mtk.nao.ac.jp)

## 研究会・集案案内

### 『理科年表』創刊100周年記念講演会のご案内

国立天文台にて編纂する自然科学のデータブック『理科年表』は、おかげさまで、1925年2月20日の創刊から100年の節目を数えることとなりました。毎年更新を繰り返すごとに、新たな発見や過去の知見の訂正を刻み込んで成長してきた『理科年表』は、まさに科学のクロニクル（年代記）といえることができます。

本講演会では、そんな『理科年表』各分野の歩んだ道のりから、研究の最前線、今後の展望などを概観していきます。会場ロビーでは、『理科年表』の歴史を振り返る展示や、同じくアニバーサリーイヤーを迎える関連分野の展示なども、お楽しみいただけます。『理科年表』をご愛読の皆さんはもちろん、『理科年表』を知らないという皆さんも、ぜひ会場にお越しください。

本講演会はYouTube国立天文台チャンネルでのライブ配信・アーカイブ配信を予定しています。当日のご来場が難しい方も、配信にてお楽しみください。

詳しくは、「理科年表オフィシャルサイト」にてご案内していますので、ご覧ください。

#### 【開催概要】

タイトル：『理科年表』創刊100周年記念講演会  
—科学のクロニクル 百年の歩み—

日時：2025年12月14日(日) 13:00-16:30  
(開場12:00)

会場：一橋大学一橋講堂（東京都千代田区一ツ橋2-1-2 学術総合センター内）

アクセス：神保町（東京メトロ 半蔵門線、都営三田線、都営新宿線）、竹橋（東京メトロ 東西線）  
<https://www.hit-u.ac.jp/hall/accessjp.html>

定員：480名

参加費：無料

参加方法：ご来場いただく場合は事前のお申し込みが必要です。ライブ配信やアーカイブ配信を

## 会務案内

### 日本天文学会 2025 秋季年会報告

2025年秋季年会は、9月9日(火)から11日(木)までの3日間、海峡メッセ下関および下関市生涯学習プラザ（山口県下関市、ホスト・後援：山口大学・周南公立大学）にて開催された。遠隔地から参加していただけのように、現地およびオンライン（ベストエフォート）のハイブリッド開催であった。講演は現地

で行っていただくことを原則としたが、子育てや介護など特別の理由がある場合はオンライン講演も受け付けた。年会参加者数は、会員1,068名、非会員96名の計1,164名（うち現地参加者は935名）であった。講演件数は、口頭講演（a）が598件、ポスター講演（b, c）が162件の計760件であった。2件の企画セッションと、天文教育フォーラム、特別セッション（天文学

白書）、および受賞記念講演も開催された。開催地である山口大学・周南公立大学および参加者の皆様のご理解とご協力により、有効な年会とすることができた。参加者・関係者の皆様にこの場を借りてお礼申し上げたい。座長は次頁の方々に務めていただいた。会場・時間帯別にお名前を示し、感謝の意を表する（敬称略）。

	9月9日		9月10日		9月11日	
	10:30-12:40	14:00-16:10	9:30-11:40	13:00-15:10	9:30-11:40	13:00-15:10
A	広視野赤外 宮武広直 (名古屋大学)	広視野赤外 小山佑世 (国立天文台)	銀河 道山知成 (周南公立大学)	活動銀河核 米原厚憲 (京都産業大学)	活動銀河核 川勝望 (呉工業高等専門学校)	活動銀河核 小麦真也 (工学院大学)
B	惑星系 増田賢人 (大阪大学)	惑星系/星間現象 吉田二美 (産業医科大学)	星間現象 榎谷玲依 (国立天文台)	星間現象 田中周太 (青山学院大学)	星間現象 水野恒史 (広島大学)	星間現象 田中邦彦 (慶応大学)
C	星形成 泉奈都子 (国立天文台)	星形成 大屋瑠子 (京都大学)	星形成 塚越崇 (足利大学)	星形成 工藤哲洋 (長崎大学)	星形成 阪本成一 (国立天文台)	
D	観測機器 岩井一正 (名古屋大学)	観測機器 赤堀卓也 (国立天文台)	観測機器 松尾宏 (国立天文台)	原始惑星系円盤 山口正行 (九州大学)	原始惑星系円盤 芝池諭人 (鹿児島大学)	原始惑星系円盤 野津翔太 (東京大学)
E	恒星・恒星進化 鳴沢真也 (兵庫県立大学)	恒星・恒星進化 行方宏介 (京都大学)	恒星・恒星進化 政田洋平 (福岡大学)	恒星・恒星進化 赤穂龍一郎 (早稲田大学)	恒星・恒星進化 加藤ちなみ (東京大学)	恒星・恒星進化 梅田秀之 (東京大学)
F	教育・広報・他 幅良統 (愛知教育大学)	教育・広報・他 縣秀彦 (国立天文台)	太陽 渡邊恭子 (防衛大学校)	太陽 久保勇樹 (情報通信研究機構)	太陽 勝田哲 (埼玉大学)	太陽 鈴木建 (東京大学)
G	銀河団 松下恭子 (東京理科大学)	宇宙論 石山智明 (千葉大学)	宇宙論 奥村哲平 (中央研究院)	宇宙論 浜名崇 (国立天文台)	微分可能天文学 高田昌広 (東京大学Kavli IPMU)	微分可能天文学 和泉究 (宇宙航空研究開発機構)
H	銀河形成・進化 萩本将都 (名古屋大学)	銀河形成・進化 津久井崇史 (東北大学)	銀河形成・進化 泉拓磨 (国立天文台)	銀河形成・進化 豊内大輔 (大阪大学)	銀河形成・進化 安藤誠 (国立天文台)	銀河形成・進化 田村陽一 (名古屋大学)
I	コンパクト天体 大城勇憲 (理化学研究所)	コンパクト天体 藤澤幸太郎 (東京工科大学)	コンパクト天体 山岡和貴 (名古屋大学)	コンパクト天体 川島朋尚 (一関工業高等専門学校)	コンパクト天体 朝比奈雄太 (駒澤大学)	コンパクト天体 松本達矢 (東京大学)
J	観測機器 内田裕之 (京都大学)	観測機器 小高裕和 (大阪大学)	観測機器 鶴剛 (京都大学)	観測機器 松本浩典 (大阪大学)	観測機器 沼澤正樹 (東京都立大学)	
K	観測機器 阿久津智忠 (国立天文台)	観測機器 村上尚史 (アストロバイオロジーセンター)	観測機器 永田伸一 (京都大学)	観測機器 佐野圭 (九州工業大学)	観測機器 宮田隆志 (東京大学)	観測機器 塩谷圭吾 (宇宙航空研究開発機構)

〈記者会見〉

日本天文学会2025年秋季年会記者会見は、9月8日（月）13:00からオンラインにて開催された。冒頭、深川副会長による挨拶、日本天文学会の組織・活動概要の説明、及び、本年秋季年会の紹介が行われた。それに続き、深川副会長の司会・進行により、学術発表1件が行われた。当日は報道機関から10名、それ以外の関係者4名の参加があった。一部のメディアや大学・研究機関のホームページ等で紹介が行われたことを確認している。

学術発表その1

すばる×ジェイムズ・ウェッブ〜最強タッグが暴く、塵のベールに隠された初期宇宙の巨大ブラックホール〜  
松岡良樹（愛媛大学）  
(深川美里)

〈企画セッション〉

「微分可能天文学で楽しむ天文学研究」  
世話人：河原創（宇宙研），大里健（千葉大学），増田賢人（大阪大学），和泉究（宇宙研），高田昌広（カブリIPMU）

天文学は本来、最も牧歌的で楽しい学問のはずである。同好の士の単純な集まりとしての企画セッションがたまにはあっても良いのではないかと、ある日思いついた。そこで微分仲間に声をかけ、水面下で盛り上がりを感じていた微分可能プログラミングの天文学応用をテーマにしたセッションを企画した。微分可能プログラミングとは、プログラムをend-to-endで自動的に微分可能にするプログラミングのことである。これにより現代的なベイズ推定手法や最適化が利用可能になり、高精度データに対する複雑なモデルの推定や自由度の高い装置設計の最適化などに威力を発揮する。世話人の中には十分、講演数が集まらないのではという不安の声もしたが、ふたを開けてみれば、一人12分の講演時間を9分に縮小しないと入らないくらいの応募があった。当日は、最大で50人近い参加者があり、立ち見ができる盛況であった。

全口頭講演のうち1/3が海外勢という国際的なセッションであり、系外惑星・宇宙論・位置天文・重力波・恒星・装置最適化と実に様々な領域から発表があった。基調講演ではYin Li氏のダイナミクスをラグランジュ未定乗数法に置いて微分可能とした流体シミュレーション、Benjamin Pope氏のフィッシャー行列そのものを最適化することによる装置設計といった、微分可能天文学の最先端の話題を聞くことができた。一般講演も非常にレベルが高くて刺激的であった。全体的にはJAXとこれを利用したHMC-NUTSを用いたベイズ推定での応用が多く、天文学における推定問題に対して微分可能プログラミングが強力であることを再確認した。後半の議論では、微分可能プログラミング自体は、物理・化学に基づくモデリングに親和性が高く、伝統的な天文学的アプローチに接続するものとして受け入れやすいが、一方で、これまた微分可能プログラミングであるニューラルネットなどのブラックボックス的なsurrogate modelといつ切り替えるべきか？という機械学習を天文学に取り入れる上での重要な観点が提示された。というわけで楽しい企画セッションになったと思う。皆様、ありがとうございました。

「地上・宇宙望遠鏡の連携による近赤外線広視野深宇宙探査時代における我が国の戦略」

世話人：小山佑世、宮武広直、守屋亮、鈴木大介、吉田道利

昨今のすばる望遠鏡の活躍に代表されるように、日本は可視光の広視野宇宙探査で世界をリードしてきた。しかし可視光の探査には限界があることも、また事実である。観測波長の壁が赤方偏移の壁となり、遠

方宇宙の探索は大きく制限されてしまう。また、塵に埋もれた領域や天体の混み入った領域の探査には、赤外線波長での広視野・高感度・高解像度の観測が欠かせない。そこで「赤外線での広視野観測」をキーワードに、すばる望遠鏡の将来と、それを取り巻く地上・宇宙望遠鏡の状況を整理し、我が国のコミュニティの方向性を分野を超えて議論することを目的として、本セッションを企画した。

本企画セッションでは、2件の基調講演を設定した。東北大学の兒玉忠恭氏には「地上からの次世代広視野近赤外探査が描き出す新しい銀河宇宙像」のタイトルで、またJAXA宇宙科学研究所の山田亨氏には「スペースからの次世代広視野近赤外探査と多波長連携が描き出す新しい宇宙像」のタイトルで、それぞれ我が国が関わる地上・宇宙望遠鏡の過去・現在・未来をレビューしていただいた。本企画セッションは4時間のセッションで、上記の基調講演2件に加え、一般講演として30件の講演が行われた（うちa講演が16件、b講演が14件）。特に、2023年に打上げられた欧州ESAのEuclid宇宙望遠鏡、まもなく打上げ予定の米国NASAのRoman宇宙望遠鏡、すばる望遠鏡の次世代広視野補償光学システムULTIMATE、東京大学が建設を進めるTAO6.5 m望遠鏡（チリ）の観測装置SWIMS、大阪大学のPRIME望遠鏡（南アフリカ）の各計画と、それらに関連する科学成果についての講演が目立った。そしてこれらに続き、我が国の深く関わる計画として、JASMINE、GREX-PLUS、PRIMAなど、いずれも近赤外線の広視野観測を軸とする将来計画も紹介された。我が国の研究者は上に挙げたすべての望遠鏡・装置群にアクセスをもち、可視光での探査に続いて、赤外線での広視野観測天文学をリードできるという期待感が高まる一方で、そのためには国内外の地上・宇宙望遠鏡を戦略的に組み合わせることが必要であり、これまで以上にコミュニティ全体での綿密な連携と戦略策定が必要であることを実感する貴重な機会になった。

なおセッションの会場は、大きなホールをパーティションのみで区切り、複数のセッションが同時進行している形式であったため、各セッションの発表や質問の音が干渉し、スムーズな進行ができなかったことは大変残念であった。しかし幸い、セッション自体は大変盛況で、時間帯によっては立ち見が出るほどの盛り上がりであった。

本セッションの世話人グループは、日本学術振興会の研究拠点形成事業として支援を受け、「地上・宇宙望遠鏡の連携による近赤外線広視野深宇宙探査時代の国際研究拠点形成（2021-2025年度、通称SUPER-

IRNET)」を組織して、これまで約5年間にわたり、光赤外分野の地上・宇宙望遠鏡に携わる研究者を結びつける活動を推進してきた。事業の最終年度となる2025年度の年会で、事業の集大成として企画セッションの機会をいただけたことは大変感慨深く、世話人一同心より感謝申し上げます。

#### 〈特別セッション〉

「みんなで天文学の未来を語ろう!第3回」

世話人: 天文学白書委員会第1期委員

赤堀卓也(国立天文台), 石川遼子(国立天文台), 岡本桜子(国立天文台), 鷹野重之(九州産業大学), 河原創(JAXA/宇宙科学研究所), 高橋慶太郎(熊本大学・委員長), 田中雅臣(東北大学), 富田賢吾(東北大学), 野田浩司(千葉大学), 野田博文(東北大学), 米徳大輔(金沢大学)

年会最終日の9月11日(木) 15:30-16:30に天文学白書に関する特別セッションがハイブリッド形式で開催されました。第3回目となる今回は、前回に引き続き天文学の社会的側面にスポットを当てました。参加者の人数は現地が約30名、オンラインが約30名と多くの方に参加していただきました。

本セッションではまず委員の赤堀から天文学白書委員会の趣旨が改めて説明されました。この事業は日本天文学会員が波長横断・分野横断で天文学全体について楽しく語り合う場を作って天文学コミュニティを盛り上げていくこと、そしてコミュニティの夢を白書としてまとめることを主な目的としています。詳しくは天文月報2025年2月号の記事をご参照ください。また、9月9日に[tennet:2795]にて白書の執筆者が募集され、10月6日に締め切られました。

今回の特別セッションは時間が短かったため、基調講演は国立天文台の平松正顕氏による『天文学と社会』の「今とこれから」の1件でした。平松氏はこれまで国立天文台にて広報、周波数資源保護、産業連携など幅広い分野で天文学と社会をつなぐ役割を果たしてきました。その豊富な経験を踏まえ、天文学と社会の関わりについて国内外の現状がまとめられ、今後天文学と社会が共に発展していくためにはどのような活動・心構えが必要なのか、展望が語られました。また、今年平松氏らを中心として起ち上げられた「天文学と社会」連絡会の紹介もありました。そして講演後には会場も含めて天文学と社会の活動や問題意識に関する議論が行われました。

#### 〈天文教育フォーラム〉

会期初日の9月9日の18時から19時30分まで、日本天文教育普及研究会との共催にて天文教育フォーラムが開催された。今回は海峡メッセ下関の国際会議場(天文学会1会場)とオンラインとのハイブリッド開催であり、対面とオンライン合わせて約110名の方にご参加いただいた。今回の教育フォーラムのテーマは、「天文コミュニティは学習指導要領とどう向き合うか」であった。

学習指導要領は、学校教育法等に基づく、小中高校でのカリキュラムを編成する際の基準である。全国で地域の隔たりなく一定水準の教育を受けられるようにするため、小中高校それぞれに対し、教科等の目標や大まかな教育内容が定められている。学習指導要領は約10年ごとにその時々状況を踏まえて改訂される。天文分野の学習内容についても規定されており、小中高校での天文教育を考えると、何を重視し何を習得してもらうことが望ましいかを考えるうえで、学習指導要領の内容およびその根底にある教育観は、次世代の研究者育成の基盤となるとともに、広く天文コミュニティを支える社会の構成員を育成するという観点においても重要である。2025年現在、次の改訂に向けた検討と議論が進められており、このタイミングで天文コミュニティにおいて情報を共有し、多角的な視点から議論することが次の改訂に向けて意義深い。そこで今回の天文教育フォーラムでは、招待講演者より、日本の教育の指針となっている学習指導要領に関して、様々な角度から話題提供をいただき、学習指導要領における天文分野の課題が何であるのかについて、コミュニティ内で共有および議論するために今回のテーマが設定された。

今回は伊藤信成氏(三重大学)、後藤顕一氏(東洋大学)、岡村定矩氏(東京大学)の3名よりご登壇いただいた。伊藤氏からはそもそも学習指導要領とは何かについての天文コミュニティへの基礎的な知識提供、後藤氏からは化学分野における学術コミュニティからの寄与、岡村氏からは中学校教科書作成における学習指導要領との関係についてと、それぞれ特徴ある話題提供となった。その後のパネルディスカッションでは大朝由美子氏(埼玉大学)を加え、会場全体との質疑応答を交えながら、過去の天文学会における取り組みについての振り返りや、天文分野の特色や他分野との相違点、コミュニティとして学習指導要領にどのように対峙すべきかといった議論が行なわれた。

特に、天文学者は学習指導要領を意識する機会が不足しており、改訂のタイミングでもなかなかその位置づけを理解することは少ないが、基礎的な認識や知識を共有した上で、天文学のどのような内容を教育として提供するか、そしてそもそもその背景にある「なぜ天文を学ぶのか」について、本フォーラムの参加者や天文コミュニティが考えるきっかけになれば幸いである。

#### 〈欧文研究報告論文賞受賞記念講演〉

年会初日の9月9日の17時より、2024年度の欧文研究報告論文賞の受賞記念講演が行われた。講演者および講演タイトルは以下の通りである。  
平野照幸氏「近赤外線域での精密視線速度測定」  
北木孝明氏「The origins and impact of outflow from super-Eddington flow」

講演会は庶務理事の司会進行のもと、会長の挨拶で開会した。両名の研究とも多くの聴衆にとって興味のあるものであり、熱意のある講演に一同大いに刺激を受け、質疑応答も活発に行なわれた。

#### 〈保育室〉

下関生涯プラザ3階・和室1・2にて、保育室を開設した。本年会では4家族4名が保育室を利用した。保育室の準備にあたり、山口大学・周南公立大学スタッフの方々に様々なご協力をいただいたことを感謝する。

#### 〈公開講演会〉

日本天文学会第75回公開講演会は、2025年9月13日(土) 13:30から16:00まで、山口大学と周南公立大学の後援を得て、下関市生涯学習プラザ(大ホール)で開催された。講演会タイトルは「未知の宇宙を探索する～惑星探査とブラックホール～」であり、杉田精司氏(東京大学教授)による「小惑星探査機「はやぶさ2」が明かした太陽系の初期進化」と、本間希樹氏(国立天文台教授)による「電波望遠鏡で見る未知の天体ブラックホール」の2講演が行われた。200名の聴衆が参加し、各講演後に活発な質疑が行われた。高校生以下の参加者が全体のおよそ20%を占め、アンケートでも「大学に進学する意味を見つけら

れた」といった感想があり、市民にとって有意義なものとなったことがうかがわれた。司会は藤沢健太(山口大学)が務めた。

(藤沢健太)

#### 〈懇親会〉

年会2日目の9月10日(水)、下関グランドホテル大宴会場「飛翔」にて懇親会が開催された。会場の都合により参加者数を制限する必要があったが、事前申込(先着順)により204名(うち学生78名)が参加した。キャンセル待ちにご登録いただいた40名の皆様にはご参加いただかず、心苦しく感じている。

懇親会の受付業務には、2025年秋季年会と同様にオンライン決済サービス「イベントペイ」を導入し、円滑な運営を実現した。学会会場と懇親会会場の間は、大型バス2台による送迎で快適に移動していただいた。

懇親会は、新沼浩太郎・山口大学開催地理事の進行により19時に開会。山申明・山口大学理学部長の挨拶、続いて太田耕司・天文学会長の挨拶および乾杯の発声で宴が始まった。唐戸市場直送のお造り盛り合わせや下関名物の瓦そばなど豪華な料理がテーブルを彩り、特に山口県内の酒造から取り寄せた12種類(各一升)の地酒を揃えたコーナーは大盛況で、すべての酒瓶が空になるほどであった。山口県産のトマトジュース等のソフトドリンクも大変好評であった。

余興としては、地元で活躍するプロJAZZバンド「平家ボーイズ」による約60分の生演奏が披露され、最後にはアンコールが出るほどの盛り上がりを見せた。さらに、次回開催地である京都産業大学からのメッセージが代読で紹介され、続いて藤沢健太・山口大学教授の挨拶をもって散会となった。

料理や演奏を楽しむだけでなく、参加者同士の交流も活発に行われ、学术交流の場であると同時に、世代や立場を超えて親睦を深める貴重なひとときとなった。

(道山知成・新沼浩太郎)

(年会実行委員長 和泉究)

---

**編集委員会より**

---

**天文月報記事投稿用アップローダー**

[https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/author\\_submission/](https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/author_submission/)

**■ログイン**

ユーザー名: geppou   パスワード: toukou

**■アップロードの仕方**

アップロード画面で必要事項を埋めてください。するとアップロードに進むことができます。できる限りファイルは1つにまとめてください。ファイルが複数ある場合は「複数のファイルを投稿する」ボタンを押してください。押すたびに欄が増えます。1回あたり全部で最大50 Mbyteまで、個数は20個まで送信できます。それ以上の巨大なファイルのアップロードは推奨されませんが、やむをえない場合は分割してお送りください。

**■注意**

投稿者の個人の認証はcookieを利用しています。したがってcookieを受け取らないブラウザでは使えません。

またフォームのチェックや可変個数のアップロードボックスはjavascriptを利用していますのでjavascriptが使えなければこのアップローダーは使えません。

その場合はtoukou@geppou.asj.or.jpまでメールでご投稿ください。

**■連絡先**

アップローダーに関するご質問はtoukou@geppou.asj.or.jpまでお願いします。

(天文月報編集長)

---

**天文月報記事ご執筆用テンプレート**

---

SKYLIGHT, EUREKA, 天球儀などのご執筆にあたりましては、日本天文学会HP内「天文月報」のページにあります「投稿用テンプレート」をご活用ください。

[https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/author\\_template/](https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/author_template/)

TeX・LaTeXで執筆される方はテンプレートをオンライン上またはダウンロードしてご利用ください。MSWordで執筆される方はwordテンプレートをダウンロードしてご利用ください。また、ご執筆の前に必ず「執筆マニュアル」をご一読ください。

[https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/author\\_manual/tex](https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/author_manual/tex)をご利用される場合は、あわせてreadmeもお読み下さい。

また、ご利用にあたって不具合を発見された方は、編集委員会までご連絡をお願い申し上げます

天文月報119巻1月号 主な掲載予定記事

SKYLIGHT: 近傍宇宙における分子雲形成の研究最前線【徳田一起, 小林将人, 安部大晟】

天球儀: <2024年度日本天文学会天文教育普及賞> すべての人に星空を 共に生きる社会を目指して【高橋真理子, 跡部浩一】<2024年度日本天文学会天文遺産> 天文遺産紹介 一臨時緯度観測所本館(現・木村榮記念館)【本間希樹】<2024年度日本天文学会天文功労賞> 太陽黒点観測【望月悦育】

<シリーズ> アカデミアの外を知る: 「高専教員座談会—高専教員の仕事について知ろう!」実施報告【佐藤大仁】

<シリーズ> 天文学者たちの昭和: 日江井榮二郎氏ロングインタビュー [第10回] 東京天文台の改組【高橋慶太郎】

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, 田中壺, 谷川衝, 鳥海森, 中島亜紗美, 信川久実子, 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7年11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](mailto: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2025年(本誌掲載記事は無断転載を禁じます)