

2022 年度日本天文学会林忠四郎賞

氏名：大須賀 健（おおすが けん）

現職：筑波大学 教授

授賞対象となる研究：コンパクト天体周囲の降着流と噴出流の先駆的シミュレーション研究

Pioneering Simulation Study on Accretion Flow and Outflow around Compact Objects

大須賀健氏は、1960年代から未解明となってきたコンパクト天体への超臨界降着（エディントン限界を超えたガス降着）問題に対し、放射流体シミュレーションコードを独自開発して取り組み、ブラックホール超臨界降着流の実現を証明し、その観測的特徴を明らかにした。さらに、ブラックホール降着流にみられる3つの降着モードの統一、一般相対論的放射磁気流体シミュレーションの実現、中性子星への超臨界降着流やライン駆動型アウトフローの先駆的シミュレーションで世界を牽引する卓越した成果を上げてきた。

ブラックホール天体は周りのものを吸い込むだけでなく、その降着流が生み出す放射やガスアウトフローを介して、その周囲に莫大なエネルギーを供給している。球対称降着では降着流が生み出す放射の圧力がガス降着を妨げ、古典的な限界（エディントン限界）を超える超臨界降着は不可能であるが、円盤を形成して降着する場合について超臨界降着が可能であるか否かは未解明の問題となってきた。この問題を解くためには多次元放射流体シミュレーションが不可欠であるが、これまで最終的な決着に至る計算は行われてこなかった。大須賀氏は、多次元放射流体力学コードを新規開発し、これを用いたシミュレーションにより超臨界降着流の長時間計算に世界で初めて成功した（Ohsuga et al. 2005, ApJ, 628, 368）。このことにより、①定常的な超臨界降着が可能であること、②降着流内で発生した大量の光子がガスと一緒にブラックホールに吸い込まれること（フォトン・トラッピング効果）、③放射圧により大量のガスが高速（光速の1~2割）で噴き出すこと、④高いエネルギー効率で噴出流が運動量やエネルギーを外部に運ぶこと、⑤円盤面に垂直方向には見かけの光度がエディントン光度の10倍以上になることなどを定量的に明らかにした。さらに、放射圧駆動型噴出流は普遍的に間欠的構造を示すという、予想されていなかった結果を世界で初めて示し（Takeuchi et al. 2013, PASJ, 65, 88; Kobayashi et al. 2018, PASJ, 70, 22）、ブラックホール噴出流の理解が大きく進展した。

上述のシミュレーションは、磁場の働きを現象論的モデル（ α モデル）で置き換えて行われたが、大須賀氏は磁場による角運動量輸送を無矛盾に解くため、放射磁気流体計算コードを独自開発してブラックホール降着流の大局的2次元シミュレーションを世界に先駆けて実行した。その結果、観測的に知られた3降着モード（超臨界降着、標準円盤、低光度の高温円盤）を、ブラックホールへのガス供給率という1パラメータを変えるだけで再現してみせ、ブラックホール降着円盤のモデルを統一した（Ohsuga et al. 2009, PASJ, 61, L7; Ohsuga & Mineshige 2011, ApJ, 736, 2）。さらに、ブラックホール周りの放射輸送を解く3次元の一般相対論的放射磁気流体コードを世界に先駆けて開発し、これを用いた3つの降着モードの詳細計算を行い、当該分野を牽引している（Takahashi et al. 2016, ApJ, 826, 23; Takahashi & Ohsuga 2017, ApJ, 845, L9; Asahina et al. 2020, ApJ, 901, 96; Asahina & Ohsuga 2022, ApJ, 929, 93）。

ブラックホールへの超臨界降着は、上述の通り存在が証明されたが、光子を吸い込めない中性子星では超臨界降着は実現しないと見る見方が研究者の大勢を占めていた。大須賀氏は中性子星への超臨界降着問題にも挑み、当時の予想に反して中性子星においても、降着流と噴出流の棲み分けが起こることで継続的

超臨界降着が可能であることを予言した (Ohsuga 2007, PASJ, 59, 1033)。予測した噴出ガスからの X 線スペクトルは、高光度 X 線源 (ULX) の観測スペクトルを見事に再現し (Kawashima et al. 2012, ApJ, 752, 18), 中間質量ブラックホールか超臨界降着かで激しい論争が続いていた ULX の正体として超臨界降着説が有力となった。「超臨界降着する中性子星がある」との予言は、10 年後に、ULX の一部にパルサーが発見されて超臨界降着説が正しいことが実証された。その後、大須賀氏は一般相対論的シミュレーションにも成功し (Takahashi & Ohsuga 2017, ApJ, 845, L9), ULX パルサーのシミュレーション研究にも拡張している (Kawashima & Ohsuga 2020, PASJ, 72, 15)。

大須賀氏は、さらにライン駆動型ウィンドモデルの提唱と検証でも優れた成果を上げている。いくつかのセイファート銀河で、光速の 10% 程度の速度を持つアウトフローの存在が示唆しており UFO (Ultra-Fast Outflow) と呼ばれているが、その正体はまだ明らかにされていない。セイファート銀河の多くは亜臨界降着であり、前述の超臨界降にみられる (連続光) 輻射圧駆動型アウトフローでは説明できない。大須賀氏は、亜臨界降着でも部分電離したガスが輻射を吸収して運動量を受け取って飛び出すというライン駆動型ウィンドに着目して輻射流体シミュレーションコードに組み入れ、ライン駆動型ウィンドの発生条件を明らかにし、ウィンドの速度やパワー、カバリング・ファクターの光度依存性が UFO の観測をみごとに再現することを示した (Nomura et al. 2016, PASJ, 68, 16; Nomura & Ohsuga 2017, MNRAS, 465, 2873; Nomura, Ohsuga, & Done 2020, MNRAS, 494, 3616)。さらにラインウィンドの重元素量依存性やブラックホール質量依存性も明らかにし、金属量が太陽近傍程度に増加すると巨大ブラックホールの成長が遅くなることを示した (Nomura, Omukai, & Ohsuga 2021, MNRAS, 507, 904)。

以上のように、大須賀氏は、超臨界降着流の存在証明、ブラックホール降着円盤モデルの統一、一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション、中性子星への超臨界降着流の予言、ライン駆動型ウィンドモデルの予言と検証など、コンパクト天体周囲の降着流と噴出流の研究で世界的に評価の高い卓抜の成果を挙げ、わが国の天文学の発展に大きく貢献してきている。また、氏は主要な国際会議で多くの招待講演を行い、科学組織委員 (SOC) を務めており当該分野の第一人者として評価されている。以上の理由から、大須賀氏に対して、2022 年度林忠四郎賞を授与することとした。

2022 年度日本天文学会欧文研究報告論文賞

論文題目：GOLDRUSH. II. Clustering of galaxies at $z \sim 4-6$ revealed with the half-million dropouts over the 100 deg^2 area corresponding to 1 Gpc^3

著者名：Yuichi Harikane (播金優一), Masami Ouchi, Yoshiaki Ono, Shun Saito, Peter Behroozi, Surhud More, Kazuhiro Shimasaku, Jun Toshikawa, Yen-Ting Lin, Masayuki Akiyama, Jean Coupon, Yutaka Komiyama, Akira Konno, Sheng-Chieh Lin, Satoshi Miyazaki, Atsushi J. Nishizawa, Takatoshi Shibuya, and John Silverman

出版年等：Vol. 70(2018), No. SP1, article id. S11

本論文は、すばる望遠鏡の広視野可視光カメラ Hyper Suprime-Cam を使った戦略枠プログラム (SSP) 探査の初期観測データから、遠方銀河の角度相関関数をこれまでにない統計精度で測定し、遠方銀河の星形成と物質降着の間の関係を観測的に初めて制限したもので、以下に述べるようにその学術的な意義は大きい。

銀河の形成・進化を調べることは、現代の天文学の主目標の一つである。これまでの観測により、宇宙全体の星形成率密度の時間進化は、宇宙初期から赤方偏移 $z \sim 2$ まで増加し、その後現在に至るまでに $1/10$ に減少することがわかっていた。しかしながら、赤方偏移 $z \sim 2$ でピークを持つことや $1/10$ の減少といった性質が、何に起因するのかについての物理的な説明はなされていなかった。

本論文では、すばる Hyper Suprime-Cam SSP 探査の初期観測データから、約 50 万個からなる当時世界最大の遠方 ($z \sim 4-7$) 銀河サンプルを構築し、角度相関関数をこれまでにない統計精度で測定した。これにより、理論的に予言されていた大スケールでの非線形ハローバイアス効果を初めて検出するだけでなく、銀河の星形成率と暗黒物質ハローへの物質降着率の比は大きく変化しないということを指摘した。星形成率と物質降着率の間の関係は過去の理論的な研究により存在が示唆されていたが、観測的に指摘したのは本論文が初めてである。その上で、この星形成率と物質降着率の関係をを用いると、上述の宇宙星形成率密度の特徴的進化をほぼ全て説明でき、この特徴的進化の物理的原因が、構造形成によるハロー個数密度の増加と宇宙膨張による物質降着率の減少の 2 つによるものであり、これら 2 つの増加および減少関数の掛け算で、赤方偏移 $z \sim 2$ でピークをもつことを示した。

本論文は、高い統計精度をもって遠方銀河の角度相関関数を測定した研究の標準的参照先として認識されており、観測から星形成率と物質降着率の関係を指摘した点でも意義が大きい。2022 年 11 月 27 日現在の本論文の非引用数は 102 (NASA/ADS) となっている。また本論文を基準に銀河形成のみでなく宇宙論 (e.g., Miyatake et al. 2022, PRL, 129, 6, id.061301) 等のさまざまな研究が展開しており、今後も LSST や Euclid, Roman 宇宙望遠鏡等の大規模銀河サンプルを用いた研究に影響が波及することが見込まれる。

以上の理由により、2022 年度日本天文学会欧文研究報告論文賞を授与する。

2022 年度日本天文学会欧文研究報告論文賞

論文題目：Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs). II.
Discovery of 32 quasars and luminous galaxies at $5.7 < z \leq 6.8$

著者名：Yoshiki Matsuoka (松岡良樹), Masafusa Onoue, Nobunari Kashikawa, Kazushi Iwasawa, Michael A. Strauss, Tohru Nagao, Masatoshi Imanishi, Chien-Hsiu Lee, Masayuki Akiyama, Naoko Asami, James Bosch, Sébastien Foucaud, Hisanori Furusawa, Tomotsugu Goto, James E. Gunn, Yuichi Harikane, Hiroyuki Ikeda, Takuma Izumi, Toshihiro Kawaguchi, Satoshi Kikuta, Kotaro Kohno, Yutaka Komiyama, Robert H. Lupton, Takeo Minezaki, Satoshi Miyazaki, Tomoki Morokuma, Hitoshi Murayama, Mana Niida, Atsushi J. Nishizawa, Masamune Oguri, Yoshiaki Ono, Masami Ouchi, Paul A. Price, Hiroaki Sameshima, Andreas Schulze, Hikari Shirakata, John D. Silverman, Naoshi Sugiyama, Philip J. Tait, Masahiro Takada, Tadafumi Takata, Masayuki Tanaka, Ji-Jia Tang, Yoshiki Toba, Yousuke Utsumi, and Shiang-Yu Wang

出版年等：Vol. 70 (2018), No. SP2, article id. S35

本論文は、すばる Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いた広視野撮像サーベイのデータを使った最遠方 ($z > 6$) クェーサー探査プロジェクト SHELLQs (Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars) プロジェクトの成果をまとめた初の論文であり、国際的にも大きな注目を集めている。

本論文のターゲットである「低光度」クェーサーは、宇宙初期からのクェーサーの進化過程を知る上で大変重要なものである。クェーサーは一般に非常に明るく、赤方偏移 (z) が 7 を超えるものが見つかっているが、そのような少数の超高光度のクェーサーが、ポピュレーション全体を反映しているのかは分からず、「より暗いクェーサー」を多数発見し、その性質を統計的に知ることは銀河進化や AGN 進化の解明に極めて重要である。しかし、これまでは観測の制限により限られた数の低光度クェーサーしか見つかっていなかった。本論文では、HSC の広い視野を活かして、新しい手法 (ベイズ確率選択法) を用いて、高い精度でクェーサー候補天体を撮像データから抽出する方法を提案し、フォローアップの分光観測によって、多数のクェーサーを発見することに成功した。本論文では、 $5.7 < z \leq 6.8$ にこれまでのクェーサーに比べて 10 倍以上暗いクェーサー 24 天体、高光度銀河 8 天体を報告している。この手法でクェーサーを発見する確率は 70% とこれまでの手法に比べて非常に高く、いままでよくわかっていなかった、低光度の高赤方偏移クェーサー探査に新しい可能性を技術的にも広げたという点も本論文の独自性として高く評価できる。2022 年 11 月 27 日現在の本論文の非引用数は 102 (NASA/ADS) となっている。

松岡氏らは、その後もこの独創的な手法で 200 個以上の遠方クェーサーを発見しており、既知の $z > 6$ のクェーサーのうち約半数を占めるまでになっている。それらの発見は ALMA による母銀河の統計的な観測による $M-\sigma$ 関係の確認や $z = 6-7$ の光度関数の解明、さらに JWST でのフォローアップ観測提案につながるなど、本論文だけに留まらず、銀河・AGN 進化の理解に大きな貢献をしている。本論文で提案された手法は将来の Euclid/Roman 等の遠方天体探査計画などでも採用される可能性も高く、今後の展開にも期待できる世界トップクラスの業績である。

以上の理由により、2022 年度日本天文学会欧文研究報告論文賞を授与する。

2022 年度日本天文学会研究奨励賞

氏名：木村 成生（きむら しげお）

現職：東北大学学際科学フロンティア研究所 助教

授賞対象となる研究：ブラックホール天体での宇宙線加速と高エネルギー放射の理論的研究

Theoretical Study of Cosmic-ray Acceleration and High-energy Emission around Black Holes

ブラックホールや中性子星などの高密度天体とその周囲にしばしば形成される降着流からは、電磁波だけでなく、宇宙線、ニュートリノ、重力波という様々な形態のエネルギーが放出されており、高エネルギー天文学の実験場として大きな注目を浴びている。ニュートリノの放射や高エネルギー宇宙線の加速という重要未解明問題に対して、木村氏は理論的研究と非熱的粒子加速の直接数値シミュレーションという全く異なる手法を駆使し、数々の重要な研究成果を挙げてきている。

2013年にIceCube実験が 10^{15} eVに達するエネルギーを持つ地球外ニュートリノを発見したことが報告され、高エネルギーニュートリノ宇宙物理学が幕を開けた。木村氏の受賞対象となった研究は、高エネルギーニュートリノの起源天体として、高温の降着流をまとう低高度活動銀河核が有力であることをいち早く見出したことを端緒としている（Kimura et al. 2015, ApJ, 806, 159）。この結果を踏まえて木村氏は、粒子エネルギー分布と電磁波放射の準解析的な計算を行い、高温の降着流が流れ込む低高度活動銀河核がガンマ線とニュートリノの観測結果を同時に矛盾なく説明できることを示した（Kimura et al. 2021, Nature Comm., 12, 5615）。木村氏は、この理論モデルに活動銀河核コロナからのX線放射と10 TeVエネルギーのニュートリノ放射の寄与も加え、X線から軟ガンマ線にわたる宇宙高エネルギー光子背景放射と、IceCubeで観測されている全エネルギー帯域（ 10^{13} eVから 10^{16} eV）の宇宙ニュートリノ背景放射を統一的に説明できることを初めて示した。これまで宇宙軟ガンマ線背景放射の起源としては、放射性核種からの輝線放射や宇宙線電子による放射など、非熱的な過程が幅広く議論されてきたが、この結果は熱的電子が軟ガンマ線放射を担っていることを示す画期的なものであり、Nature CommunicationsのEditors' Highlightsにも選ばれている。

また木村氏は、突発天体に関する研究でも重要な成果を挙げている。短いガンマ線バーストは、連星中性子星合体の際に起こると考えられており、重力波対応天体としても重要なものである。ガンマ線放射の継続時間は2秒以下であるものの、X線残光の観測から中心エンジンは100秒から104秒程度の長い間活動していることが示唆されている。木村氏は、中心エンジンの長期活動に着目したニュートリノ放射の理論計算により、重力波天体に付随する高エネルギーニュートリノが検出可能であること、そしてニュートリノを用いることで長期活動の放射を担うジェットの状態に制限を与えられることを初めて示した（Kimura et al. 2017, ApJ, 848, L4）。この論文が発表されたのとほぼ同時期に、LIGOグループが連星中性子星合体からの重力波GW170817を検出し、電磁波対応天体も観測されたが、木村氏の結果は、その際の重力波対応ニュートリノ探索のモデルテンプレートとして利用されている。その後も、他の実験グループや他の重力波イベントに対しての解析、マルチメッセンジャー観測に関する将来計画のWhite paperでもこのモデルが使われ続けていることは、この研究成果の重要性を客観的に示している。この研究は初めて重力波対応ニュートリノの検出率を定量的に示したもので、米国天文学会の「AAS Nova」でハイライトにも選ばれている。

木村氏はここまで述べてきたような理論的手法だけではなく、直接的な数値実験を用いて、非熱的粒子

である宇宙線の加速の研究でも重要な成果を得てきている。宇宙線の加速過程は粒子と波動の相互作用といった非線形現象が本質的なため、数値シミュレーションを用いた研究が必須である。これまでの研究では、プラズマ粒子シミュレーションが主に用いられてきたが、この手法では熱的粒子の旋回半径を解く必要があり、旋回半径の1億倍程度大きな現実の天体スケールでの磁気乱流場を取り扱うことは不可能であった。そこで木村氏は、磁気流体シミュレーションにより高温降着流内部の天体スケールの乱流場を用意し、その中で荷電粒子の軌道運動を解くことで粒子加速過程を調べるという独自の手法を開発し、現実的な降着流の磁気乱流中でも粒子加速が起こることを初めて示した (Kimura et al. 2019, MNRAS, 485, 163)。天体スケールでの現実的な乱流場中で粒子加速シミュレーションを行うこの研究は先駆的なもので、今後のさらなる大規模計算による宇宙線加速の解明のための数値的手法の基盤となるものである。

以上のように、木村氏は様々な天体现象からの高エネルギー放射に関する画期的な研究成果を発表してきており、日本の天文学・高エネルギー天体物理学の将来を担う有望な若手研究者である。木村氏の構築した理論モデルと今後の観測データを組み合わせることで、さらに高エネルギー天体ニュートリノやガンマ線の起源への理解を今後大きく前進させることができる。また木村氏の開発した粒子加速のための数値的手法は、発見以来100年の間謎のままとなっている宇宙線加速の解明に、大きな寄与をすることが期待できる。

以上の理由により、木村成生氏に2022年度日本天文学会研究奨励賞を授与する。

2022 年度日本天文学会研究奨励賞

氏名：野田 博文 (のだ ひろふみ)

現職：大阪大学大学院理学研究科 宇宙地球科学専攻 助教

授賞対象となる研究：活動銀河核エンジンに関する新描像の確立と飛翔体搭載機器の開発

Establishment of new pictures on the engine of active galactic nuclei
and leading role in developing instruments onboard ASTRO-H and
XRISM missions

ほぼ全ての銀河の中心には超巨大ブラックホール(SMBH)が存在し、物質が降着することで活動銀河核 (AGN)となる。降着物質の重力エネルギーを変換して放射やジェットを生み出す機構「AGN エンジン」は、SMBH 近傍の高温電子雲(コロナ)と降着円盤から構成されると考えられており、SMBH を成長させ星や銀河の進化にも影響を与える重要な存在である。しかし、空間構造や降着率に伴う状態変化など基本的な事項は不明のままであった。

このような中、野田氏は、エネルギー帯ごとの強度変動を利用して、AGN エンジンからの連続 X 線を複数の起源に切り分ける独自の手法を提案した。その結果、広帯域にわたる硬い連続 X 線を生成するコロナに加え、もう一成分軟 X 線放射を担う光学的に厚いコロナが一般に存在する新描像を打ち立てた(Noda et al. 2013 PASJ, 65, 4)。さらに、降着流の幾何を決定するため、野田氏は多波長の研究者を巻き込んで、X 線天文衛星と 1.5 m 級の 5 台の地上望遠鏡を組み合わせ、AGN の X 線と可視赤外光を 1 年にわたり同時モニターするプロジェクトを立ち上げた。その結果、X 線と可視光の変動に約 2 日の時間差を検出し、全く分かっていなかった広帯域連続 X 線を放射するコロナの大きさを、数百シュバルツシルト半径と初めて精密に決定した。さらに、理論で予想される輻射非効率降着流が内側に形成され、光学的に厚いコロナと降着円盤が外側に広がる描像を確立した(Noda et al. 2016, ApJ, 828, 78)。

野田氏は、AGN エンジンの質量降着率に依存した状態変化に関しても業績をあげている。野田氏は、激しく光度変動する AGN の多波長スペクトル変化を解析し、AGN スペクトルの「状態遷移」を世界で初めて発見した。これは、降着率が特定の閾値をまたいで変化するとき、熱い降着流と光学的に厚いコロナ(+降着円盤)の間で蒸発と凝縮が生じることを示唆する。従来の理論予想では状態変化のタイムスケールは 1 万年以上と予想されていたが、本研究はその予想を覆した。状態遷移は恒星質量 BH で頻繁にみられる現象であり、質量が約 1 千万倍も小さい両者を統一的に解釈できる画期的成果である。さらに、数年という短い期間にタイプが変化する「Changing-Look AGN」は、この降着流の状態遷移が原因であると世界で初めて提唱した。これらを報告した論文は X 線観測の枠組みを超えて、可視赤外や理論の専門家からも大きな注目を集め、2022 年 12 月の時点で 120 回引用されている(Noda and Done 2018 MNRAS, 480, 3898)。

野田氏は、AGN 周辺の物質分布に関しても重要な成果を上げた。AGN エンジンの質量供給源はドーナツ状に覆うダストトラスであることが広く受け入れられている。しかしその形成機構や、形状・物質分布はわかっていなかった。野田氏は、AGN のスペクトルに現れる中性鉄特性 X 線に着目した。中性鉄特性 X 線は AGN エンジンからの X 線が周辺物質で光電吸収されて生じるため、強度・エネルギー中心値・線幅から、吸収体の立体角や AGN エンジンからの距離を推定できるが、従来は検出器のエネルギー分解能が足りず制限が困難だった。野田氏は「ひとみ」衛星で降着率が低くジェットの強い NGC 1275 を観測し、中性鉄特性 X 線の精密分光観測から速度幅を $500-1600 \text{ km s}^{-1}$ と史上最高精度で測定した。この結果

は可視光の広輝線(約 2750 km s^{-1})より有意に狭く、中性鉄特性 X 線がトーラス以遠で生成されると結論付けた。また中性鉄特性 X 線の等価幅が通常の AGN のものより小さいことを示した。これは、NGC 1275 のトーラスが発達しておらず、平たい特異な構造を持つことを意味する。トーラスの発達が降着率やジェットに依存する可能性を示し、トーラスの形成機構に迫る上で重要な成果である。同時に、今後 XRISM 衛星などの中性鉄特性 X 線精密分光が、AGN 構造にこれまでに無い制限を与えることを示す先駆的な研究である (Hitomi collaboration 2018, PASJ, 70, 13. 野田氏は corresponding author)。

天文学の発展には、サイエンスの発展に加えて、機器開発の発展も不可欠である。「ひとみ」衛星の X 線マイクロカロリメーターは、衛星軌道上で複数の冷凍機と液体ヘリウムを用いて 50 mK という極低温で運用する。そのため、内部の熱流を極めて精密に制御する「熱設計」が不可欠であった。野田氏は、熱設計に知見をもつ稀少な実験物理学者として、この熱流制御を含め熱設計・熱解析をリードした。そして、単体の動作試験、衛星に搭載した状態での性能試験、種子島からの衛星打ち上げ、軌道上運用の全ての段階に全面的に参加した。特に、野田氏が構築し、地上較正した冷却システムの熱数学モデルによる数値計算結果は、「ひとみ」衛星を軌道投入する H2A ロケットの打ち上げ条件として採用され、打ち上げ成功に不可欠な研究となった。これらの結果は「ひとみ」開発項目の中でも重要な成果の一つとして、「ひとみ」特集号にて論文を出版した (Noda et al. 2018, JATIS, 4, 011202)。2018 年の阪大着任後は、XRISM 衛星搭載 X 線 CCD の開発を全面的にリードしている。野田氏は、フライト素子選別と地上較正のための「フライト CCD 測定システム」を構築してフライト素子を選別し、地上較正を成功させ、SXI 全体での性能試験を完遂した。ハードウェア構築、ソフトウェア整備、試験計画、実験本番に至るまで、大学院生と協力しながら、ほぼ全ての面を野田氏がリードしている。

これまでの野田氏のサイエンス・機器開発両面での活躍は、野田氏が将来の天文学を担う存在であることを示している。

以上の理由により、野田博文氏に 2022 年度日本天文学会研究奨励賞を授与する。

2022 年度日本天文学会研究奨励賞

氏名：藤本 征史（ふじもと せいじ）

現職：テキサス大学オースティン校 Hubble Fellow

授賞対象となる研究：電波と可視光観測による初期銀河と銀河周辺物質の新描像の提案と確立

Establishing a New Physical Picture of Early Galaxies and the
Circum-Galactic Medium by Radio and Optical Observations

ビッグバンから始まる宇宙進化において、天体形成と元素合成の現場である銀河の形成と進化の解明は現代天文学における最重要課題の一つである。これまですばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡などによる可視光観測により、銀河内部の恒星と熱い電離状態の星間物質の進化は赤方偏移 6–10 程度の初期銀河まで調べられてきた。一方で、銀河における星形成の材料となる中性ガスや星形成の結果として生成されるダストなどの冷たい星間物質については、初期銀河において観測することは難しかったが、ALMA 望遠鏡による観測によって近年その様子が明らかになってきた。

藤本氏は ALMA 望遠鏡のアーカイブデータを最大限活用することで、従来行われてきた研究の 10–100 倍の規模となるミリ波連続光の大規模ソースカタログを構築し、重力レンズの増光効果も併用することで、発表当時は最も暗いフラックス限界 (0.02 mJy) までのナンバーカウントを求め、宇宙赤外線背景放射 (CIB) のすべてが誤差の範囲で個々のミリ波ソースで説明できることを示した (Fujimoto et al. 2016, ApJS, 222, 1)。これは CIB の起源の解明において大きなマイルストーンとなる結果となり、2022 年 12 月時点ですでに 100 件の引用がなされている。この論文において藤本氏は、ハッブル宇宙望遠鏡などの可視光 (近赤外線を含む) データとの比較を行い、可視光の深撮像データでも検出できないミリ波ソースが高い割合で存在することを見つけ、後に“NIR Dark Galaxy”と呼ばれて世界で話題になる前に報告した。

藤本氏はさらに、上記の研究で発見されたミリ波連続光ソースのサイズが小さいことに興味を持ち、サイズの測定を始めた。ALMA 望遠鏡のデータ解析の専門家を交えた研究により uv 平面上でスタッキングを行うコードを開発し、広いフラックスの範囲でサイズと光度の関係を求めた。その結果、当時議論となっていたサイズと光度の間の相関について、負の相関ではなく、正の相関であることをこれまでになく圧倒的な統計精度で示すことに成功した (Fujimoto et al. 2017, ApJ, 850, 83; 2018, ApJ, 861, 7)。連続光のサイズの議論だけでなく、[C II]158 μ m 輝線のデータにも着目し、輝線のスタッキング解析を行うコードを開発して、ダスト起源のミリ波連続光や星起源の可視光の連続光に比べ、[C II]輝線が 5 倍程度広がっていることから、[C II]ハローが存在することを示した (Fujimoto et al. 2019, ApJ, 887, 107)。この結果は宇宙初期の銀河周辺に広がる炭素の存在から、銀河形成の早い時期に強いアウトフローが起こっていることを世界に先駆けて示す結果となり、2022 年 12 月時点で 82 件の引用を受ける研究成果となった。

藤本氏はこれらの成果を元に ALMA の大規模探査 ALPINE 計画や ALCS 計画の国際研究チームにも参加し、活躍している。ALPINE 計画のデータを用いた研究ではスタッキングではなく、個別の初期銀河に [C II]ハローが付随することを発見し、初期銀河の多くに [C II]ハローが付随するという標準的描像を確立することに成功した。ALCS 計画においては自身の能力を生かし、データ解析を一手に担う活躍を見せた。このなかで、赤方偏移 6.02 に強い重力レンズの増光を受けた銀河を発見し、ALMA の高分解能に重力レンズの拡大効果を組み合わせることで 300 pc の空間分解能で光度と力学構造の特性を明らかにし、このような早い時代に回転する銀河円盤と星形成クランプを検出している (Fujimoto et al. 2021, ApJ, 911, 99)。

藤本氏はさらに、初期銀河だけでなく赤方偏移 6 以上で見つかった QSO の超大質量ブラックホー

ル (SMBH) の存在に疑問を抱き、その起源を解明する研究も進めてきた。ALMA の高分解能のデータを生かして、重力レンズ効果の増光で SMBH の質量推定を誤る可能性を指摘した (Fujimoto et al. 2020, ApJ, 891, 64)。さらに QSO の形成にも研究対象を広げ、コペンハーゲン大学の研究者らとの共同研究として QSO の形成初期段階にある赤い QSO が赤方偏移 7.19 の宇宙に存在することを発見し、主著者として Nature で報告を行った (Fujimoto et al. 2022, Nature, 604, 261)。初期宇宙での SMBH の急速な成長過程の解明に向けて発展が期待される研究となっている。

このように藤本氏は ALMA のアーカイブを用いた大規模データによる統計的研究を展開し、それを足掛かりに [C II] 輝線ハローの研究、重力レンズを用いた研究、QSO の研究など、国内外の多くの共同研究者と新しい研究の方向性を開拓し、幅広い分野で研究を遂行する能力があることを示した。さらに ALPINE 計画や ALCS 計画の ALMA による大規模な国際共同研究に入り、中心的な役割を果たし、優れたコミュニケーション能力を生かして高いインパクトをもたらす研究を行えることも示してきた。これまでの成果として共著論文を含めて 92 編もの論文を出版し、その中には研究指導をした学部生が主著者となった論文も含まれている。自身が PI としても多くの ALMA の観測提案が採択されると共に、JWST を用いた観測時間も獲得しており、これからのさらなる活躍が期待される。

以上の理由により、藤本征史氏に 2022 年度日本天文学会研究奨励賞を授与する。