

遠方銀河と宇宙再電離の研究

研究代表者 井上 昭雄
(先進理工学部 物理学科 教授)

1. 研究課題

宇宙の基本構成要素である銀河が、どのように誕生し、どのように進化し、現在私たちが棲む銀河系のようになるかを解明する学問分野—銀河形成進化論—は、現代の宇宙物理学・天文学のフロンティアの一つとなっている。中でも、宇宙年齢 10 億年未満の時代の銀河探査は、宇宙で最初の銀河—初代銀河—の形成に関する直接的な観測データを提供する意義がある。また、初代銀河の形成と並行して起こった超巨大ブラックホールの形成と、それらの銀河進化への影響を理解することも重要な課題となっている。さらに、その時代に起こった宇宙全体の相変化である宇宙再電離現象は、その後の銀河の形成や進化に多大な影響を与えた重要性がある。初代銀河や超巨大ブラックホールが深く関わっているはずであるが、未解明な点が多い。本研究では、(1)アルマ望遠鏡、(2)すばる望遠鏡など(他の大型可視近赤外線望遠鏡を含む)、(3)NASA James Webb Space Telescope (JWST)を用いた遠方銀河の観測研究を行なう。さらに、(4)次世代の宇宙望遠鏡計画の立案と推進も行なう。これらの研究により、初代銀河形成と宇宙再電離の理解を目指す。

2. 主な研究成果

2.1 アルマ望遠鏡による遠方銀河の観測

これまでに得た観測データにもとづき多数の論文を出版した。主要な成果として、観測史上最遠方の合体銀河の発見がある[1]。これについては、国立天文台などと共同でプレスリリースを行なった(2019年6月18日)。なお、プレスリリース用の画像は先進理工学部ホームページにも利用されている。また、遠方宇宙の巨大ブラックホール天体キューサーから2階電離酸素イオン輝線検出に成功した成果[2]、遠方銀河星間塵の放射を観測し、星間塵の温度が通常より高いことを明らかにした成果[3]などもある。

2.2 すばる望遠鏡などによる遠方銀河の観測

以前取得したすばる望遠鏡などのデータを取りまとめ、多数の論文を出版した。例えば、遠方銀河の電離光子観測を行ない、銀河の平均的な電離光子放射率を報告し、宇宙再電離光源としての寄与を議論した[4]。すばるのデータに加え、NASA Spitzer 宇宙望遠鏡の観測データを利用して、宇宙年齢 10 億年程度の時代にある、恒星年齢が 10 億年に迫るような銀河の候補を発見した[5]。つまり、これらは宇宙で最初に誕生した銀河の可能性がある。この成果については、日本天文学会秋季年会で記者会見を行なった(2019年9月10日)。また、銀河の集団である銀河団の最遠方記録を更新し[6]、プレスリリースを行なった(2019年9月27日)。

2.3 JWST による遠方銀河の観測

2021年の打ち上げに向けて、観測提案募集が年度末から始まったが、コロナ禍のため、現在観

測募集が延期となっている。今後、打ち上げ延期も予想される。

2.4 次世代宇宙望遠鏡計画の推進

宇宙科学研究所に対し、初代銀河探査機 G-REX の検討を行なう Research Group (RG) の設立を提案し、1月に認められた。RG の活動として、2月10日に米国アリゾナ大学を訪問し、今後の協力を議論した。2月11日からカリフォルニア工科大学において開催された Spitzer 宇宙望遠鏡の会議に参加し、ハーバードスミソニアン研究所のグループと今後の協力について議論した。

3. 研究業績

3.1 学術論文(主な成果で説明した6本)

[1] Hashimoto, T., **Inoue, A. K.**, Mawatari, K., Tamura, Y., Matsuo, H., Furusawa, H., Harikane, Y., Shibuya, T., Knudsen, K. K., Kohno, K., Ono, Y., Zackrisson, E., Okamoto, T., Kashikawa, N., Oesch, P., Ouchi, M., Ota, K., Shimizu, I., Taniguchi, Y., Umehata, H., Watson, D.

“Big Three Dragons: A $z = 7.15$ Lyman-break galaxy detected in [O III] 88 μm , [C II] 158 μm , and dust continuum with ALMA”

Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.71, id.71 (2019)

[2] Hashimoto, T., **Inoue, A. K.**, Tamura, Y., Matsuo, H., Mawatari, K., Yamaguchi, Y.

“Detections of [O III] 88 μm in two quasars in the reionization epoch”

Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.71, id.109 (2019)

[3] Bakx, T. J. L. C., Tamura, Y., Hashimoto, T., **Inoue, A. K.**, Lee, M. M., Mawatari, K., Ota, K., Umehata, H., Zackrisson, E., Hatsukade, B., Kohno, K., Matsuda, Y., Matsuo, H., Okamoto, T., Shibuya, T., Shimizu, I., Taniguchi, Y., Yoshida, N.

“ALMA uncovers the [C II] emission and warm dust continuum in a $z = 8.31$ Lyman break galaxy”

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.493, p.4294-4307 (2020)

[4] Iwata, I., **Inoue, A. K.**, Micheva, G., Matsuda, Y., Yamada, T.

“Subaru narrow-band imaging search for Lyman continuum from galaxies at $z > 3$ in the GOODS-N field”

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.488, p.5671-5689 (2019)

[5] Mawatari, K., **Inoue, A. K.**, Hashimoto, T., Silverman, J., Kajisawa, M., Yamanaka, S., Yamada, T., Davidzon, I., Capak, P., Lin, L., Hsieh, B.-C., Taniguchi, Y., Tanaka, M., Ono, Y., Harikane, Y., Sugahara, Y., Fujimoto, S., Nagao, T.

“Balmer Break Galaxy Candidates at $z \sim 6$: A Potential View on the Star Formation Activity at $z \geq 14$ ”

The Astrophysical Journal, Vol.889, id.137, 29pp. (2020)

[6] Harikane, Y., Ouchi, M., Ono, Y., Fujimoto, S., 9名, **Inoue, A. K.**, 21名

“SILVERRUSH. VIII. Spectroscopic Identifications of Early Large-scale Structures with Protoclusters over 200 Mpc at $z \sim 6-7$: Strong Associations of Dusty Star-forming Galaxies”

The Astrophysical Journal, Vol.883, id.142, 16pp. (2019)

3.2 総説・著書

該当なし

3.3 招待講演

[1] 「最遠方天体『平成』から『令和』へ」

井上昭雄

第 32 回 理論懇シンポジウム 「天文学・宇宙物理学の変遷と新時代の幕開」, 三鷹, 2019.12

[2] “ULTIMATE prospects for galaxy surveys beyond $z=10$ ”

Inoue, A. K.

Subaru Telescope 20th Anniversary, Wikoloa, Hawaii, USA, 2019.11

[3] “Wide-field near-infrared surveys of high redshift galaxies and TMT follow-up”

Inoue, A. K.

TMT Science Forum 2019, Xiamen, China, 2019.11

[4] 「宇宙塵の起源：銀河スケールからの考察」

井上昭雄

日本地球惑星科学連合大会「宇宙における物質の形成と進化」, 幕張メッセ, 2019.5

3.4 受賞・表彰

該当なし

3.5 学会および社会的活動

[1] 科学研究費補助金 基盤研究 B 審査委員

[2] 国立天文台 ALMA 科学諮問委員会 委員

[3] 国立天文台すばる観測時間割当委員会 委員

[4] 宇宙科学研究所宇宙理学委員会 初代銀河探査機検討 RG 主査

[5] 国立天文台講演会/第 24 回アルマ望遠鏡講演会「アルマ望遠鏡で迫る銀河の誕生と進化」

2020 年 2 月 2 日 東京国際交流館（プラザ平成）国際交流会議場

講演「宇宙で最初の銀河を探して—アルマ望遠鏡による挑戦—」

[6] East-Asia ALMA Science Workshop 2019 (2020, 2, 19-21 台北)

Science Organization Committee

4. 研究活動の課題と展望

今年度もアルマ望遠鏡やすばる望遠鏡を用いた遠方宇宙の観測データの取得と解析は順調に進み、来年度の成果発表に支障はない。しかし、3 月に入り、世界的なコロナ禍の影響で、どの天文台も閉鎖されてしまった。この状態がいつまで続くのか見通しは立たないが、閉鎖期間が長期にわたると、再来年度の成果発表のためのデータ取得が十分に行なえるか不安はある。一方で、各地の天文台にアーカイブされている大量のデータがあるので、これらを利用した研究を行なうことで、継続的に成果を生み出すことは可能であり、アイデアの出どころともいえる。そうすることで JWST の新たな観測募集に備える。また、初代銀河探査機 G-REX の検討も精力的に進める。