

# 革新的望遠鏡群を駆使した銀河形成進化論研究

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。特に、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。本研究では、(1) ジェームズウェーブ宇宙望遠鏡 (JWST)、(2) アルマ望遠鏡、(3) すばる望遠鏡など(他の大型可視近赤外線望遠鏡を含む)、(4) 欧州の Euclid 衛星と米国の Roman 衛星を駆使した遠方銀河の観測研究を行なう。さらに、(5) 日本の次世代宇宙望遠鏡計画 GREX-PLUS を推進する。これらの研究により、銀河形成進化論の包括的理解を目指す。

## 2. 主な研究成果

### 2.1 JWST による観測研究

ジェームズウェーブ宇宙望遠鏡 (JWST) による観測で、観測史上最遠方の天体記録を更新した [1]。赤方偏移 14.44 というビッグバンから約 3 億年の時代に比較的明るい銀河が存在することを証明する成果である。また、私たちのグループが進めてきた JWST と ALMA による遠方銀河研究の観測成果を出版した [2, 3, 4]。特に、赤方偏移 7.2 の銀河の観測結果からは、史上最遠方の電離酸素のアウトフローガスを発見した [2]。また、赤方偏移 6.8 の銀河の観測から、JWST で見える可視光の電離酸素と ALMA で見える赤外線の電離酸素は、異なる温度・密度状態にあることが分かった [3]。初期宇宙の銀河内の電離ガスには非一様性があり、その起源は新たな謎として提示された。

### 2.2 アルマ望遠鏡による遠方銀河の観測

星間塵からの熱放射が検出されている銀河で最遠方である赤方偏移 8.3 の銀河を ALMA で観測し、熱放射の温度を精密に測定することに成功した [5]。91K という非常に高い温度にあることが分かり、初期宇宙の激しい星形成活動により、星間塵が非常に高温にまで加熱されている様子が明らかとなった。本成果について 2025 年 11 月 18 日にプレスリリースを発売した。また、赤方偏移 10 を超える数個の銀河の ALMA 観測を重ね合わせても星間塵からの熱放射は検出されず、その時代の銀河には星間塵が非常に少ないことを明らかにした [6]。一方で赤方偏移 7.9 の銀河集団では星間塵が豊富に存在し、わずか数億年の間に大量の星間塵が蓄積する必要があることを明らかにした [7]。

### 2.3 すばる望遠鏡などによる遠方銀河の観測

すばる望遠鏡に搭載された超主焦点カメラ (Hyper Suprime-Cam; HSC) に複数の狭帯域フィルターを搭載して得られた 24 平方度の広域かつ高感度な撮像データを解析し、水素ライマン $\alpha$ 輝線を強く放つ銀河の大規模探査を実施した[8]。これにより、現代天文学のフロンティアの一つである宇宙再電離の時期や電離史について議論した。また、赤方偏移 3.3 の中性水素ガス雲に対して、米国ケック望遠鏡による面分光観測を実施した。背景の銀河の光の中に影絵のように写る中性水素雲を初めて画像として捉えることに成功した[9]。将来的に補償光学機能を持つ面分光装置で観測すれば、より詳細なガス雲分布を明らかにできる。

### 2.4 Euclid 衛星や Roman 衛星による観測研究

欧州の Euclid 衛星の超広域探査に呼応した地上望遠鏡群による大規模撮像探査プロジェクト UNIONS に参加している。UNIONS による可視光天体カタログと、全天電波探査 VLASS による電波天体カタログをクロスマッチすることで、約 15 万個という史上最大の電波銀河カタログを構築して出版した[10]。今後の電波銀河研究の基礎となるカタログであり大変意義深い。

### 2.5 日本の次世代宇宙望遠鏡計画 GREX-PLUS の推進

日本独自の宇宙望遠鏡計画 GREX-PLUS (Galaxy and Reionization EXplorer and PLanetary Universe Spectrometer) を推進した。GREX-PLUS は、JAXA 宇宙科学研究所が戦略的に実施する中型計画(予算規模 400 億円、このクラスが JAXA の宇宙科学ミッションで最大規模)の 2030 年代の打上枠を目指す候補である。光学赤外線天文連絡会が策定したロードマップ 2025 において、GREX-PLUS は 2030 年代の最優先計画に選定された。

## 3. 研究業績

### 3.1 学術論文

主な成果で言及した 10 本を含む、21 本の査読付き論文を出版した。

[1] A Cosmic Miracle: A Remarkably Luminous Galaxy at  $z_{\text{spec}} = 14.44$  Confirmed with JWST

Naidu, R. P., Oesch, P. A., Brammer, G., ..., **Inoue, A. K.**, et al.

The Open Journal of Astrophysics, Vol.9 DOI: 10.33232/001c.156033 (2026)

[2] RIOJA. Young starburst and ionized gas outflows in a  $z = 7.212$  galaxy uncovered by JWST NIRCам and NIRSspec observations

Ren, Yi W., **Inoue, A. K.**, Alvarez-Marquez, J., et al.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.544, pp.4722-4743 (2025)

[3] RIOJA. JWST and ALMA Unveil the Inhomogeneous and Complex Interstellar Medium Structure in a Star-forming Galaxy at  $z = 6.81$

Usui, M., Mawatari, K., Alvarez-Marquez, J., ..., **Inoue, A. K.**, et al.

The Astrophysical Journal Letters, Vol.991, id.L38, 12 pp. (2025)

[4] RIOJA. A Clumpy Galaxy Assembly at Redshift 6.81 Revealed by JWST

Mawatari, K., Constantin, L., Usui, M., ..., **Inoue, A. K.**, et al.

The Astrophysical Journal, Vol.998, id.119, 21 pp. (2026)

RIOJA. JWST and ALMA Unveil the Inhomogeneous and Complex Interstellar Medium

Structure in a Star-forming Galaxy at  $z = 6.81$

[5] A warm ultraluminous infrared galaxy just 600 million years after the big bang  
Bakx, T. J. L. C., Sommovigo, L., Tamura, Y., ..., **Inoue, A. K.**, et al.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.544, pp.1502-1513 (2025)

[6] Probing infrared eXcess to investigate early-Universe dust (PIXIEDust)

Bakx, T. J. L. C., Algera, H. S. B., Jolly, J.-B., ..., **Inoue, A. K.**, et al.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.546, id.staf2284, 20 pp. (2026)

[7] ELPIS: Accelerated Metal and Dust Enrichment in a Protocluster Core at  $z \approx 8$

Umehata, H., Tamura, Y., Fudamoto, Y., ..., **Inoue, A. K.**, et al.

The Astrophysical Journal Letters, Vol.993, id.L50, 8 pp. (2025)

[8] SILVERRUSH. XIV. Ly $\alpha$  Luminosity Functions and Angular Correlation Functions from 20,000 Ly $\alpha$  Emitters at  $z \sim 2.2-7.3$  from up to 24 deg<sup>2</sup> HSC-SSP and CHORUS Surveys: Linking the Postreionization Epoch to the Heart of Reionization

Umeda, H., Ouchi, M., Kikuta, S., ..., **Inoue, A. K.**, et al.

The Astrophysical Journal Supplement Series, Vol.277, id.37, 24 pp. (2025)

[9] The first direct imaging of the silhouette of a damped Lyman  $\alpha$  system along the line-of-sight to a background galaxy

Komori, F., **Inoue, A. K.**, Mawatari, K., et al.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.543, pp. 2943-2957 (2025)

[10] UNIONS Optical Identifications for VLASS Radio Sources in the Euclid Sky (UNVEIL). I. A Catalog of  $\sim 146,000$  Radio Galaxies up to  $z \sim 5$

Zhong, Y., Ichikawa, K., Hildebrandt, H., ..., **Inoue, A. K.**, et al.

The Astrophysical Journal Supplement Series, Vol.281, id.22, 25 pp. (2025)

### 3.2 総説・著書

該当なし

### 3.3 招待講演

[1] 「遠方銀河観測の観点からのビッグデータアストロノミーへの期待」ビッグデータアストロノミー2025, 筑波大学, 2025年5月14日

[2] “Synergy between JASMINE and GREX-PLUS” JASMINE Consortium 2025, 東北学院大学, 2025年8月18日

[3] “JWST’s spectral analysis of Dn4000 and EW(H $\delta$ A) of  $z \sim 2-3$  galaxies” Tohoku Summer Camp in Appi, 安比高原, 2025年8月21日

[4] 「GREX-PLUS」2025年度光赤天連シンポジウム, キャンパスプラザ京都, 2025年11月5日

### 3.4 受賞・表彰

該当なし

### 3.5 学会および社会的活動

- [1] 日本天文学会代議員
- [2] 光学赤外線天文連絡会 将来計画検討専門委員会 委員
- [3] 国際天文学連合(IAU) Commission J3 “Galaxies at the Epoch of Reionization”  
Organizing Committee Member
- [4] ALMA 国際合同天文台 大規模観測プログラム選考委員会 委員長
- [5] 国立天文台 すばる科学諮問委員会 委員
- [6] 宇宙科学研究所宇宙理学会 委員
- [7] 宇宙科学研究所宇宙理学委員会 銀河進化・惑星系形成観測ミッション時限 WG 主査

#### 4. 研究活動の課題と展望

本研究課題は 2024 年度から第二期として新たにスタートした。JWST の高感度かつ精細なデータ、Euclid 衛星の超広視野撮像データを活用した銀河進化研究を推進する。また、アルマ望遠鏡やすばる望遠鏡による観測データも豊富に利用可能であり、これらを組み合わせた銀河進化研究を推進する。さらに、わが国独自の宇宙望遠鏡計画 GREX-PLUS も推進する。