

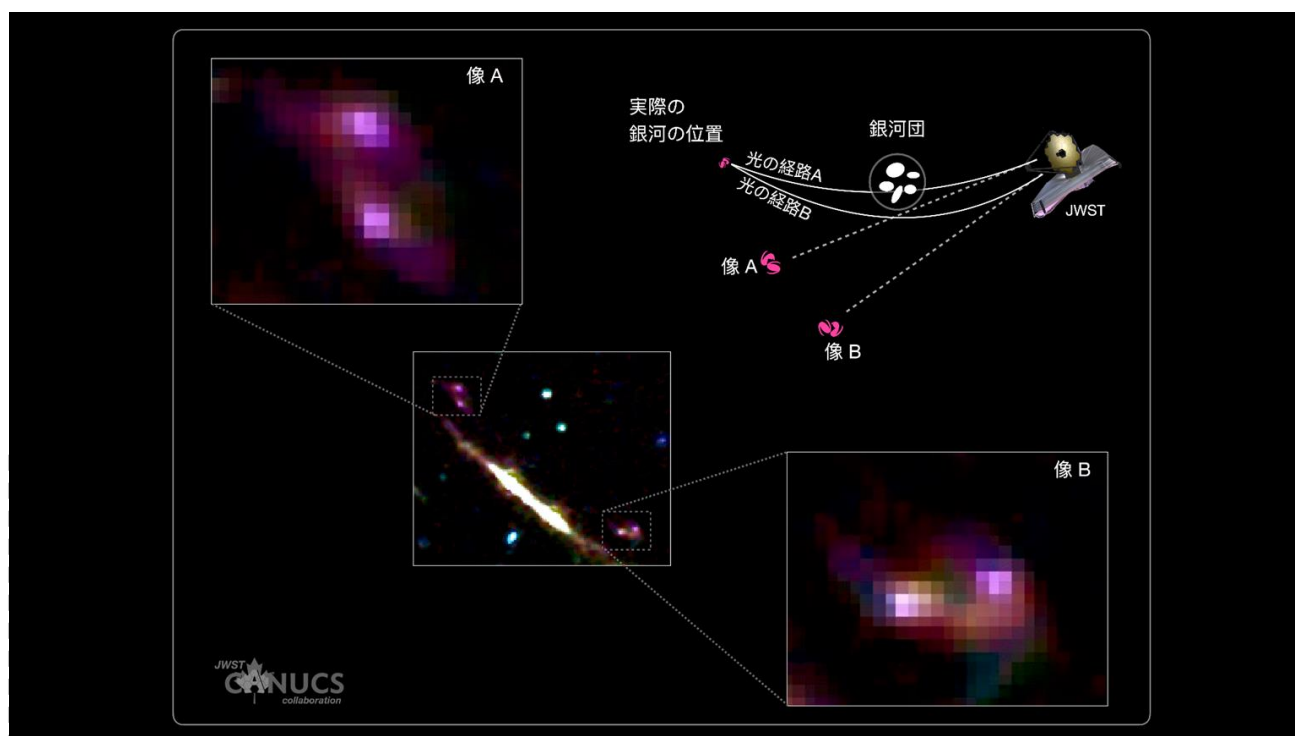
JWST が捉えた「赤ちゃん銀河」同士の合体成長の現場

概要

京都大学大学院理学研究科 浅田喜久 博士後期課程学生、セント・メアリーズ大学大学院理学研究科 Sawicki Marcin 教授らの国際研究チームは、「CANAdian NIRISS Unbiased Cluster Survey」(CANUCS) プロジェクトの観測から、初期宇宙において「赤ちゃん銀河」同士が合体、急成長している現場を発見しました。

宇宙初期において、銀河がどのように成長進化を遂げたのかは未だに分かっていません。特に形成直後の「赤ちゃん銀河」の成長過程を観測的に明らかにすることは、その暗さのために非常に困難でした。今回、2021年12月25日に打ち上げられた最新の宇宙望遠鏡 ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) による観測により、宇宙年齢がわずか約10億歳の初期宇宙において、2つの「赤ちゃん銀河」同士が衝突合体している姿が発見されました。これら2つの「赤ちゃん銀河」は銀河合体により急激に成長していると考えられており、この発見は宇宙初期では銀河同士の衝突合体による成長メカニズムが極めて重要である可能性を示唆しています。

本研究成果は、国際学術誌「*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters*」の2023年7月号に掲載されました。



今回発見された「赤ちゃん銀河」同士の合体の様子。本来は2つの銀河であるが、この銀河は巨大な銀河団の後方に位置しているため、重力レンズ効果により光の経路が曲げられた結果、2つの銀河の姿が二重に観測される(像Aと像B)。右上図はこの重力レンズ効果の概念図。左下図は実際のJWSTによる観測画像を用いた擬似カラー画像。左上と右下に、2つの銀河のペアが二重に観測されている様子の拡大図が示されている(それぞれ像Aと像B)。Credit: *Marcin Sawicki, Yoshihisa Asada, and the CANUCS collaboration*

1. 背景

銀河がその形成初期において、どのように成長進化を遂げたのかは未だに明らかではありません。このような形成初期の銀河は、約120億年以上昔の宇宙初期には数多く存在したと考えられていますが、それらの銀河は遠く暗いため、その成長の様子を詳しく調べることは不可能でした。加えて、銀河の成長の様子を詳しく知るためには可視光線の情報が非常に重要になりますが、120億光年以上かなたの銀河からの可視光線は宇宙膨張により2マイクロメートルよりも長波長に伸びてしまいます。従来の最新鋭望遠鏡であったハッブル宇宙望遠鏡では、波長1.7マイクロメートルまでしかカバーされておらず、次世代の望遠鏡による観測が必要不可欠でした。

2. 研究手法・成果

Herzberg Astronomy & Astrophysics Research Centre の Chris Willott 主任研究員が率いる、国際観測プロジェクト「CANadian NIRISS Unbiased Cluster Survey」(CANUCS、注1)は、2021年12月25日に打ち上げられた最新の宇宙望遠鏡 ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) を用いて、銀河の宇宙論的進化の様子を調べることを目的の一つとした大規模観測プロジェクトです。JWSTは、従来のハッブル望遠鏡に比べて長波長の光を、超高感度で観測することができます。さらに CANUCS プロジェクトでは、「重力レンズ効果」と呼ばれる現象(注2)を用いて、より遠く暗い天体の様子を調べることを目指しています。重力レンズ効果を受けた天体は、本来のその天体の明るさよりもさらに明るく観測されます。したがって、CANUCS プロジェクトでは、重力レンズ効果と JWST の観測を組み合わせることで、従来よりも遥かに暗く、成長初期段階にある遠方銀河の進化の様子を詳しく知ることができます。

プロジェクトメンバーの一員である京都大学大学院理学研究科 浅田喜久 博士後期課程学生らは、CANUCS プロジェクトで観測された銀河団領域 MACS J0417.5-1154 の背後において、赤方偏移5以上(宇宙年齢にしておよそ10億歳未満)にある形成初期の銀河の成長について調査を行いました。その結果、赤方偏移5.1付近にある二つの超低質量銀河が衝突している様子を発見しました。この二つの銀河は、ELG1、ELG2 と名付けられ、どちらも天の川銀河の1万分の1以下という超低質量で形成されて間もない銀河たちであると考えられます。このような遠方にある超低質量の銀河は極めて暗いため、本来ならば最新鋭の望遠鏡である JWST をもってしても詳細に調べることは困難です。しかしながら、ELG1 と ELG2 は重力レンズ効果により本来の明るさよりも15倍程度明るく見えており、JWST によって詳細な調査が可能となりました。

今回の観測では、複数のカラーフィルタによる撮像観測が行われました。その結果、ELG1 と ELG2 はどちらも超低質量だけでなく、活発な星形成活動を行っていることも明らかになりました。特に ELG1 と ELG2 の場合、その特徴的な色から、何らかの要因で最近唐突に星形成活動が活発になったことが示唆されました。これまでの近傍銀河の観測的研究から、銀河同士の衝突現象は星形成活動を誘発する場合があることが分かっており、ELG1 と ELG2 はまさに銀河同士の衝突を経験しているわけですから、この活発な星形成活動は銀河衝突に由来するものではないかと考えられます。さらに ELG1 と ELG2 では、その進化の大部分が銀河衝突によって行われるのではないかと研究者たちは予想します。これら二つの銀河はこれまで細々と星を作ってきましたが、今回の衝突により急激な星形成活動が誘発され、大量の星が形成されています。今後この二つの銀河が合体し、一つの銀河になる頃には星質量にして元々の銀河の4倍以上大きさの銀河へと成長するのではないかと推測されました。

「この天体を研究することで、形成初期の銀河がどのように成長するのかについて、いくつかの重要な洞察を得ることができました。特に銀河進化の初期段階において、銀河同士の衝突現象とそれに伴う活発な星形成活動が重要な成長メカニズムである可能性が観測から示唆された点が興味深いです。このような遠方にある超低質量銀河の進化の解明は、まさに JWST が目指していた一大科学目標の一つであり、今回の成果は今後の JWST による観測的研究の先駆けとなる重要な結果です。」と浅田喜久 博士後期課程学生は語ってい

ます。

また、共同研究者のセント・メアリーズ大学大学院理学研究科 Sawicki Marcin 教授は「JWST と重力レンズの組み合わせによって、これまで不可能だった宇宙初期の姿を垣間見ることができるようになりました。今後も CANUCS プロジェクトによる観測を用いて、私たちの天の川銀河のような銀河が宇宙論的時間の中でどのように成長してきたかについて、さらに多くの発見があることを期待しています。」と今後の CANUCS プロジェクトの成果について期待を述べています。

3. 波及効果、今後の予定

ELG1 と ELG2 は重力レンズ効果によって 15 倍もの増光を受けた極めてユニークな天体であり、初期宇宙における形成初期の銀河の進化の様子を調べる上で絶好の観測対象であるといえます。今回の結果は複数のカラーフィルタによる撮像観測に基づいたものであり、さらなる調査のためには分光観測による銀河のスペクトル解析が必要不可欠です。実際、CANUCS プロジェクトによる観測の一環として JWST を用いた分光観測がすでに行われており、現在解析中です。

さらには、JWST のカバーする近赤外線や中間赤外線の領域から離れて、ミリ波サブミリ波などの電波領域での観測を行うことによって、ELG1、ELG2 に含まれる分子ガスの様子を調べることが期待されます。分子ガスは星形成の母体とも呼べる重要な構成要素であり、これらの銀河中に残されている分子ガスの量から「なぜ銀河衝突によって星形成が促進されたのか」という、より根源的な謎を解き明かすことにつながります。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、JSPS 若手研究者海外挑戦プログラム、および特別研究員奨励費（22J20011）の支援により実施されました。また、本研究は主にカナダの Department of Astronomy & Physics, Saint Mary's University において行われました。

<用語解説>

（注1）CANadian NIRISS Unbiased Cluster Survey（CANUCS）

JWST 第一期 GTO プログラムの1つで、JWST に搭載されている3つの観測装置を用いて、5つの銀河団領域を観測する、総観測時間約 200 時間の大型観測プロジェクト。カナダの天文学者を中心とした国際共同研究グループが主導しています。

（注2）重力レンズ効果

重力レンズ効果とは、超大質量のもの（今回の場合は銀河団）が存在するときその周囲の空間がねじ曲げられ光が一見直進しなくなるという性質を用いて、その銀河団の後方にある天体からの光が、あたかもレンズのように曲げられることで本来よりも明るく大きく見えるという現象です。

<研究者のコメント>

遠方銀河の観測的研究は、JWST の登場によりここ一年で過去に類を見ないほどの急速な発展を遂げています。JWST による観測データはまさに新時代の幕開けを感じさせる衝撃的なものばかりであり、このような観測プロジェクトに関わる機会が得られたことを大変光栄に思います。今後も更なる発見と成果に期待したいです。（浅田喜久）

<論文タイトルと著者>

タイトル： JWST catches the assembly of a $z \sim 5$ ultra-low-mass galaxy

(JWST が捉えた赤方偏移 5 付近における超低質量銀河の形成)

著者： Yoshihisa Asada (1,2), Marcin Sawicki (1), Guillaume Desprez (1), Roberto Abraham (3), Maruša Bradač (4), Gabriel Brammer (5), Anishya Harshan (4), Kartheik Iyer (6,7), Nicholas S. Martis (1,8), Lamiya Mowla (6), Adam Muzzin (9), Gaël Noirot (1), Swara Ravindranath (10), Ghassan T. E. Sarrough (9), Victoria Strait (5,11), Chris J. Willott (8), and Johannes Zabl (1)

著者所属：

1. Department of Astronomy & Physics and Institute for Computational Astrophysics, Saint Mary's University, 923 Robie Street, Halifax, NS B3H 3C3, Canada
2. Department of Astronomy, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan
3. David A. Dunlap Department of Astronomy and Astrophysics, University of Toronto, 50 St. George Street, Toronto, Ontario, M5S 3H4, Canada
4. University of Ljubljana, Department of Mathematics and Physics, Jadranska ulica 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenia
5. Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Jagtvej 128, DK-2200 Copenhagen N, Denmark
6. Dunlap Institute for Astronomy and Astrophysics, 50 St. George Street, Toronto, Ontario, M5S 3H4, Canada
7. Columbia Astrophysics Laboratory, Columbia University, 550 West 120th Street, New York, NY 10027, USA
8. National Research Council of Canada, Herzberg Astronomy & Astrophysics Research Centre, 5071 West Saanich Road, Victoria, BC, V9E 2E7, Canada
9. Department of Physics and Astronomy, York University, 4700 Keele St. Toronto, Ontario, M3J 1P3, Canada
10. Space Telescope Science Institute, 3700 San Martin Drive, Baltimore, Maryland 21218, USA
11. Cosmic Dawn Center (DAWN), Denmark

掲載誌： *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters*

DOI： [10.1093/mnrasl/slad054](https://doi.org/10.1093/mnrasl/slad054)