じわじわ増光、そして突然の大爆発…恒星合体の全貌をとらえる

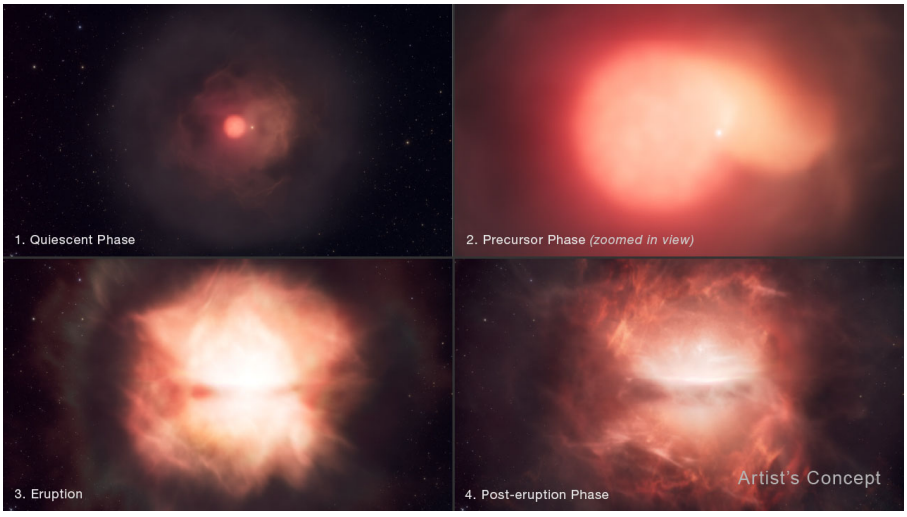
―アンドロメダ銀河で発生、せいめい望遠鏡などで観測―

概要

前田啓一 京都大学大学院理学研究科教授や米コロンビア大学などの国際研究グループは、私たちの天の川銀河の隣のアンドロメダ銀河にある連星系で発生した恒星合体現象を観測し、その全貌を明らかにすることに成功しました。

この連星系は太陽の約 7 倍の質量を持ち、非常に進化した恒星である漸近巨星分岐星※1（Asymptotic giant branch star; AGB 星）と呼ばれる段階に達した大きな星（主星）と、太陽の約 0.7 倍の小さな星（伴星）からできています。観測によると、伴星が 2018 年から約 7 年間にわたってゆっくりと渦を巻いて主星のガスに落ち込んで徐々に明るくなっていったあと、2025 年 10 月に主星の中心部と合体し、その衝撃で主星の外層ガスの約 10%が猛スピードで外へ吹き飛ばされ、一気に約 100 倍も明るくなる大爆発を起こした結果、高輝度赤色新星※3と呼ばれる星になる劇的なプロセスが起きていたことがわかりました。

このような主星が伴星を飲み込む現象は「共通外層※2進化」と呼ばれます。前田教授らは、コロンビア大学による連星系の特定のあと、京都大学理学研究科附属天文台岡山天文台が持つ「せいめい望遠鏡」を使って 2025 年 10 月に起きた爆発を観測し、共通外層進化の結果として恒星合体が起こった可能性を報告しました。その後、米航空宇宙局（NASA）のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡による詳細な観測などにより、連星進化における重要な過程を初めて明らかにしました。本研究結果は、天文学の基礎である恒星進化の理解において大きな未解明問題であるとされる、共通外層進化及び恒星合体過程の理解に向けた重要な成果として、2026 年 11 月 18 日に国際学術誌「*Nature*」に掲載されました。



本研究で明らかになった恒星合体過程の想像図（左上→右上→左下→右下の順）©NASA, ESA, CSA, STScI, Leah Hustak (STScI)。

1．背景

恒星の多くは二つの星が回りあう連星をなします。より質量の大きい星（主星）が進化に伴い膨張する際に、相手の星（伴星）を飲み込んでしまう現象は共通外層進化として知られます。共通外層中の伴星の周回運動は摩擦を生みだし、外層が周囲に放出されると同時に、伴星は徐々に主星の中心部（コア）に向けて落ち込んでいきます。その結果として、二つの可能性が考えられます。第一に、共通外層がすべて吹きとび、主星のコアと伴星がすぐ近くを回りあう近接連星として生き残る可能性、第二に、すべての共通外層を摩擦により吹き飛

ばすことができずに伴星が主星のコアまで落ち込んで合体し、一つの星となってしまう可能性です。

実際には、二つの星の質量や進化段階の組み合わせ次第で、両方のケースが実現されていると考えられます。前者（連星の生き残り）は、その後に白色矮星、中性子星、ブラックホールといったコンパクト天体同士の近接連星に進化していき、これらのコンパクト天体の合体に伴う超新星や重力波天体の前駆天体として重要です。後者（恒星合体）は、単独星とは異なる性質をもった恒星を生み出し、その後どのように進化していくかは恒星進化理論における重要な未解明問題とされています。

共通外層進化段階にある星を特定することは難しく、さらにいつ起こるかわからない恒星合体をリアルタイムでとらえることは非常な困難を伴います。このため、伴星が主星に飲み込まれる姿を直接捉えた例はこれまで一度もなく、共通外層進化及び恒星合体の理解は現象論的な簡単なモデルにとどまっていました。またどのような連星が生き残るか・合体するかについても議論が続いています。

２．研究手法・成果

本研究グループを率いたコロンビア大学・ハッブルフェローの Viraj Karambelkar（ヴィラージ・カランベルカル）研究員らは、アンドロメダ銀河にある、非常に進化した恒星である漸近巨星分岐星（Asymptotic giant branch star; AGB 星）の一つが 2018 年からゆっくりと赤外線で増光するという奇妙な振る舞いを示したことを発見しました（＊１）。このことから、この恒星に伴星が存在し、その伴星が主星である AGB 星の外層に取り込まれつつある、共通外層進化の初期段階にあると結論づけました。

これまで、銀河系内で発生した恒星合体が何例か知られています。これらはすべて、主星が膨張を始めた直後に伴星を飲み込んだ系であると考えられています。このような系は、共通外層が主星に強く束縛されており、共通外層進化の過程で外層を放出しきれずに合体すると予測されています。近年では、同様な現象が銀河系外の突発天体として報告されるようになり、高輝度赤色新星（Luminous red novae;　LRNe）というグループに分類されるようになっています。

一方で、上述のアンドロメダ銀河の共通外層進化候補天体は、主星が AGB 星まで進化し、外層が膨らみ切ってしまった段階で伴星を取り込み始めたと考えられます。このような場合には、伴星の周回運動に伴う摩擦により容易に外層が放出されてしまい、連星は最終的に合体を逃れ、主星のコアと伴星からなる近接連星が残ると考えられてきました。

この天体が 2025 年 10 月以降に示した振る舞いは、上記の予想を裏切るものでした。2025 年 10 月 17 日に可視光で突如 100 倍程度明るくなったことが報告され、AT2025abao と名付けられました（図 1）。この突然の急増光が何に起因するのか、最初の重要な情報は、京都大学理学研究科附属天文台岡山天文台（岡山県浅口市）にある「せいめい望遠鏡」の観測結果として、世界に向けて報告されました（図 2）。せいめい望遠鏡は、主鏡口径 3.8m の国内最大（現在、東アジアで最大）の望遠鏡であり、京都大学と国立天文台の共同運用により最先端の天体観測研究を行っています。前田教授らは、天空に突如現れる（あるいは、急激な増減光を示した）突発天体の発見報告を受け、せいめい望遠鏡による分光観測を実施しその天体の素性を明らかにするという観測プログラムを実施しています。

今回の観測では、2025 年 10 月の急増光の報告を受け、前田教授は田口健太 岡山天文台研究員とともにこの AT2025abao の分光観測を実施し、これが恒星合体と考えられる高輝度赤色新星の特徴を持つことを世界に先駆けて報告しました（＊２）。これは、アンドロメダ銀河という近傍で発生した恒星合体をリアルタイムで観測できるまたとない機会となりました。



図 1: 左図は、アンドロメダ銀河における共通外層進化を経て恒星合体に至った AT2025abao の位置を表す。右図は、上から共通外層進化段階前（1：NASA NEOWISE 宇宙望遠鏡）、共通外層進化段階（2：NEOWISE）、中心部における恒星合体直前の段階（3：NASA SPHEREx 宇宙望遠鏡）、恒星合体・高輝度赤色新星後（4：NASA ジェームズ・ウェッブ望遠鏡）における、赤外線画像。©NASA, ESA, CSA, STScI, Viraj Karambelkar (Columbia), Kishalay De (Columbia), Alyssa Pagan (STScI)。

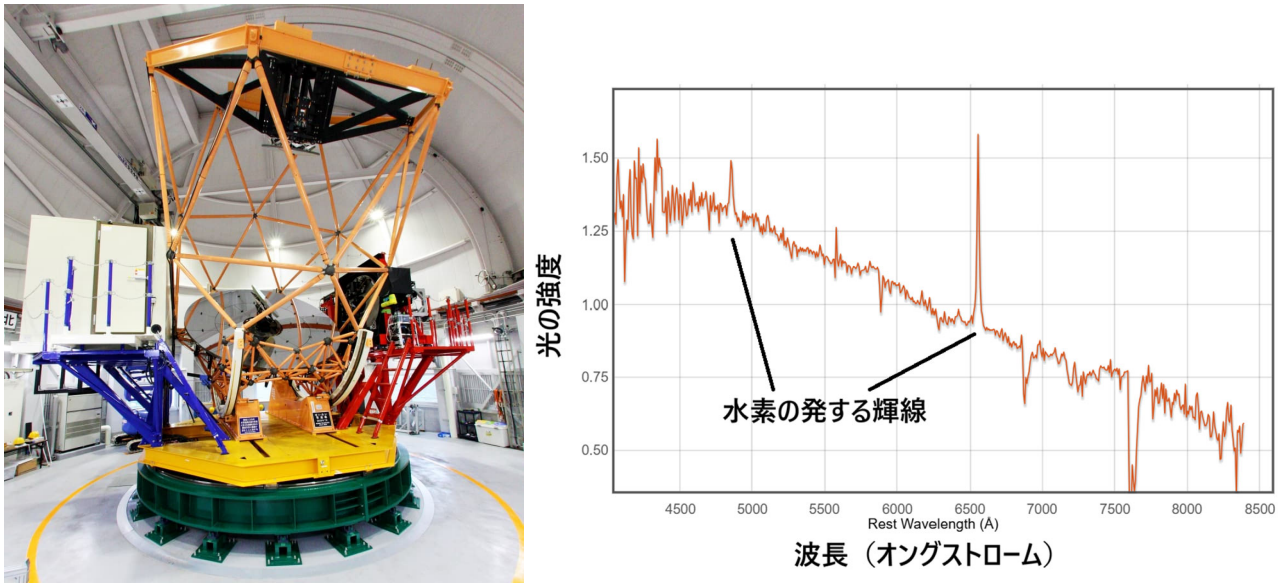


図 2：左図は、京都大学理学研究科附属天文台岡山天文台のせいめい望遠鏡。右図は、せいめい望遠鏡により取得され、世界に先駆けて報告された AT2025abao の分光（スペクトル）データ。長波長側に向けて弱くなる連続光や水素の発する輝線の進化などから、高輝度赤色新星であると特定された。

また、高輝度赤色新星はその名の示す通り非常に赤い天体であり、主に赤外線で光ります。Karambelkar 研

究員と前田教授らは、2021 年末に打ち上げられ、赤外線による天体観測の記録を塗り替え続けるジェームズ・ウェッブ望遠鏡による観測を遂行し、高輝度赤色新星の発生直後の詳細な赤外線観測を初めて行いました。また本研究グループは世界中の地上望遠鏡ネットワークにより、AT2025abao の観測を継続しました。

本研究グループは、様々な観測結果を統合し理論モデルを構築することで、以下のような結論に至りました（図 3）。共通外層進化の初期の観測結果から、主星は太陽の 7 倍程度の質量をもった AGB 星であり、太陽半径の約 350 倍まで膨らんでいたと考えられます。ジェームズ・ウェッブ望遠鏡により測定された、共通外層進化過程で放出されたダスト量などから、伴星は太陽の 0.7 倍程度の質量を持つやや軽い星であったと考えられるとともに、共通外層進化初期から高輝度赤色新星に至る約 7 年間で放出された外層質量は太陽質量の 10 分の 1 程度であったと結論付けられました。また、AT2025abao の光度進化やスペクトル進化から、伴星が主星の中心部に向かって渦を巻いて急降下して主星の中心部と合体することで高輝度赤色新星が発生し、その際にさらに太陽質量の 10 分の 1 程度の外層が放出されたと考えられます。共通外層進化初期から高輝度赤色新星に至る全段階にわたる外層放出量は、共通外層全体の質量の 10 分の 1 以下であり、これは、主星の中心部と伴星の合体により高輝度赤色新星が発生したという理解と一致します。

以上は、共通外層進化の開始から恒星合体に至る全貌をとらえた初めての観測例となり、恒星進化理論における大きな未解明問題である恒星合体過程の理解に向けた重要な成果です。実際、今回の結果は、共通外層進化とその帰結（連星生き残りまたは恒星合体）に関する標準理論が不十分であることを示しました。今回観測されたような AGB 星を主星とする共通外層進化は、恒星合体を避け近接連星を残すと考えられてきましたが、今回の観測結果はこのような系でも恒星合体が起こることを明確に示し、さらなる謎を投げかけたと言えます。

３．波及効果、今後の予定

AGB 星を主星とする連星系は共通外層進化段階を経て、近接連星を残すと考えられてきました。このような系は、白色矮星・中性子星・ブラックホールといったコンパクト天体からなる近接連星の前駆天体です。これらコンパクト天体同士の近接連星のうち一部は最終的に合体し、ある種の超新星や重力波天体といった様々な高エネルギー突発天体を発生すると考えられています。このため、同様の系がすべて恒星合体に至るとすると、重力波放射天体（例えば、連星中性子星合体）に至る恒星・連星進化の理解に大きな問題が生じ得ます。また、同様にこのような連星は合体しないと考えられてきたため、合体した恒星がどのような性質を持ちどのように進化していくか、恒星進化理論に新たな課題を提示しました。

今後は、本天体（AT2025abao）をさらに継続して観測し、合体してできた恒星の性質を明らかにすることが重要課題として挙げられます。また、最終的な運命（合体か連星生き残りか）を決める要素は何か、今後さらに多数の共通外層進化段階にある連星や高輝度赤色新星を観測することが重要です。

せいめい望遠鏡などによる突発天体の即時観測、ジェームズ・ウェッブ望遠鏡による赤外線観測、地上の国際ネットワークによる継続的な観測などの体制がそろったことで、初めて今回のような観測が可能となりました。今後は、最近稼働を始めた南米チリのベラ・ルービン天文台における LSST サーベイ計画（可視サーベイ）や欧州宇宙機関（ESA）のユークリッド宇宙望遠鏡による赤外サーベイに加え、赤外サーベイ観測を塗り替えると期待されるローマン宇宙望遠鏡が打ち上げを終え科学観測の開始を目前に控えています。これらにより、恒星合体の研究が飛躍的に発展することが期待されます。

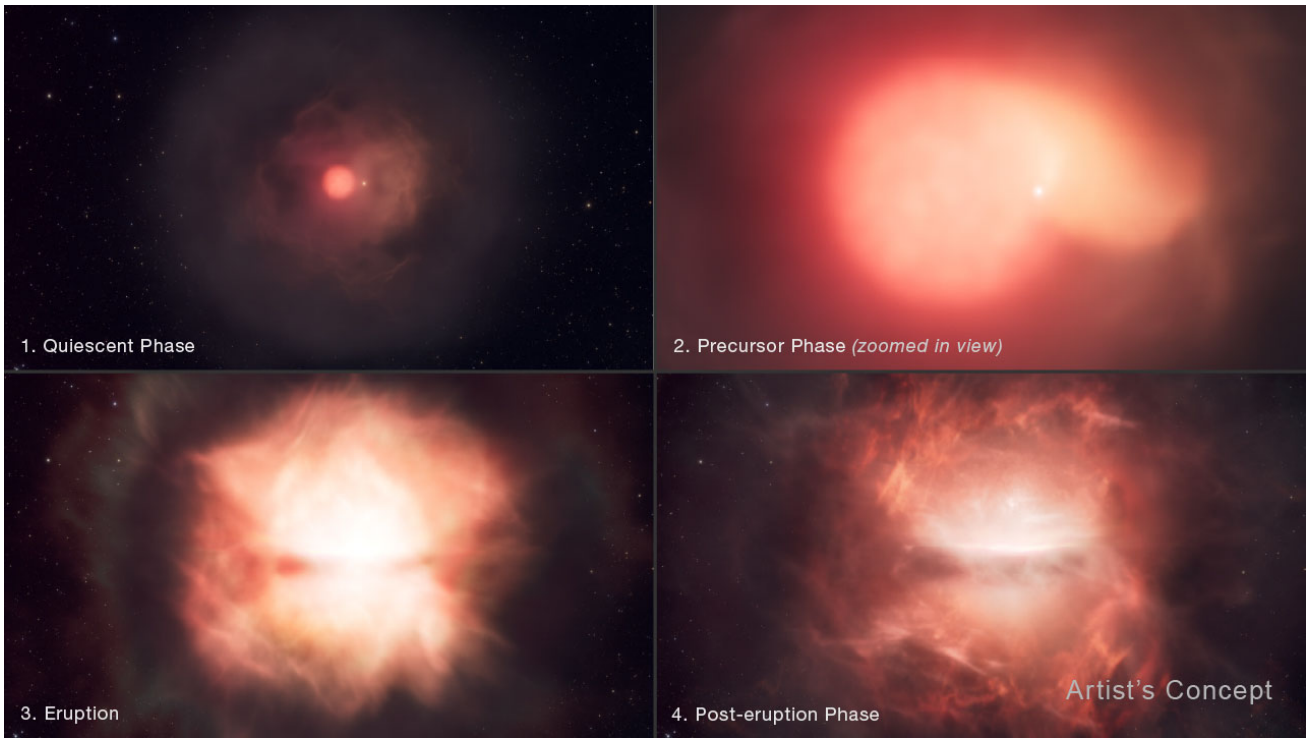


図３：本研究で明らかになった、恒星合体過程の想像図。1. AGB 星（主星、中心に表示）の膨張に伴い、外層放出を開始しつつ、その表面が伴星（AGB 星の右隣の点）に到達する（-2018 年）。2. 伴星が AGB 星の外層に取り込まれ、共通外層を形成する（中心部を拡大してある）。共通外層内での伴星の周回運動による摩擦のため、共通外層の放出が加速する（2018-2025 年）。3. 主星の中心部と、落ち込んだ伴星が衝突・合体し、大増光しつつさらに外層を放出する高輝度赤色新星が発生（2025 年 10 月 17 日）。4. 2 と 3 の段階を経て、中心（合体）星を残し、外層が吹き飛ぶ様子（2025 年 10 月以降）。©NASA, ESA, CSA, STScI, Leah Hustak (STScI)。

NASA からのリリース（英語）へのリンク：(論文掲載時以降に有効になります)
https://science.nasa.gov/missions/webb/nasa-data-clinches-first-of-its-kind-stellar-merger/

（＊１）Karambelkar, Viraj R., Kasliwal, Mansi M., De, Kishalay., Frostig, Danielle., Stein, Robert., Mo, Geoffrey., Lourie, Nathan P., Simcoe, Robert A., Blagorodnova, N., “The Slow Brightening of WNTR23bzdiq/WTP19aalzlk: Possible Onset of Common Envelope Evolution in an Asymptotic Giant Branch Star?”, The Astrophysical Journal, 993, 109 (2025)
（＊２）Taguchi, K., Maeda. K., The Astronomer's Telegram, No. 17468 (2025)

＜用語解説＞
※1 漸近巨星分岐星: 太陽質量の約８倍以下の恒星の進化の最終段階。中心部での酸素からヘリウムへの核融合、ヘリウムから炭素・酸素への核融合を経て、中心の炭素・酸素コアの周りでヘリウムや水素が核融合を起こしている段階。外層が非常に膨張し、もともとの数百倍～千倍程度の半径を持つ巨大な星となる。

※2 共通外層: 恒星は、質量の大きい星ほどはやく進化する。連星においては、より質量の大きい星（主星）が進化に伴い膨張する段階が何度か発生する。この膨張に伴い、相手の星（伴星）を飲み込んでしまうと、

主星の外層の中を主星の中心部（コア）と飲み込まれた伴星が回りあう状態となる。二つの星が一つの外層の中で公転運動をするため、共通外層と呼ばれる。この際に、共通外層が周囲に放出されると同時に、伴星が徐々に主星のコアに向けて落ち込んでいく進化を、共通外層進化と呼ぶ。

※3 高輝度赤色新星: 主に銀河系外で見つかっている、突発天体現象。超新星と新星の中間の光度を持つ。急激に増光する際には、青い連続光と水素の出す輝線を示すが、急激に赤くなり低温度星と似たスペクトルを示す。徐々にその放射の大部分が赤外域に移る。恒星合体により引き起こされる爆発的現象と考えられている。

＜研究者のコメント＞



今回の天体が 2025 年 10 月に示した急増光が、恒星合体に伴う高輝度赤色新星であることを世界に先駆けてせいめい望遠鏡で特定・報告できたことは、その後のジェームズ・ウェッブ望遠鏡をはじめとする観測計画の起点となりました。現在、ジェームズ・ウェッブ望遠鏡により取得したデータのさらなる解析を行うとともに、継続的にさまざまな波長の観測データを取得しています。まだだれも見たことのない天体現象のデータ、今後どんなものが出てくるか楽しみにしています。（前田啓一）

＜論文タイトルと著者＞

タイトル：An inspiral of a star inside a common envelope with its giant companion（巨星を伴星とする恒星の共通外層内でのインスパイラル）

著　　者：Viraj Karambelkar, Kishalay De, Karel D. Temmin, Brian D. Metzger, Nadejda Blagorodnova, G. C. Anupama, Sudhanshu Barway, Judhajeet Basu, Eric C. Bellm, Varun Bhalerao, Aleksandra Bochenek, Shatakshi Chamoli, Kaustav Das, Christoffer Fremling, Danielle Frostig, Marco A. Gomez-Munoz, Steven L. Groom, K-Ryan Hinds, Joahan Castaneda Jaimes, Jacob Jencson, David Jones, Mansi Kasliwal, Grace Katusiime, Rubina Kotak, S. R. Kulkarni, Ryan Lau, Chang Liu, Nathan P. Lourie, Morgan MacLeod, Keiichi Maeda（＊）, Zoe McGrath, Geoffrey Mo, Gerard Garcia-Moreno, Josiah Purdum, Nabeel Rehemtulla, R. Michael Rich, Reed L. Riddle, Sam Rose, Robert A. Simcoe, Jesper Sollerman, Robert Stein, Hugo Tranin, Maxime Wavasseur, Simon de Wet, Jacob Wise
（＊）Department of Astronomy, Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8502 Japan.

掲 載 誌：*Nature*　DOI：https://doi.org/10.1038/s41586-026-11221-z