

若い大質量星を育てる巨大なガス流

—フィードバック問題の解決に新たな手がかり—

概要

京都大学基礎物理学研究所 オルギン特任助教（兼：国立天文台特任助教）、大屋講師、および東京大学 サンウェサ准教授らの研究グループは、大型電波干渉計アルマ¹ (ALMA) を用いた電波観測実験を行い、細長く伸びる構造に沿ったガス流（ストリーマ）が、生まれて間もない大質量星²の成長を助ける様子を捉えました。このストリーマは、原始星³の母体である分子雲コアがもつ物質を、コアの中心部にある原始星近傍の高密度領域まで、直接送り届ける高速道路のような役割を果たしていると考えられます。通常の星形成のシナリオでは、大質量星からのフィードバックと呼ばれる効果によって、星を成長させるための材料となるガスの流入が妨げられるため、現在見つかったような大きな質量を持つ星を作ることができないという問題が認識されてきました。この研究の成果は、フィードバック問題を解決する機構として、ストリーマがガスの運搬機能を実際に果たしている様子を初めて捉えたものであり、大質量星の形成シナリオの解明に大きく近づく重要な成果といえます。

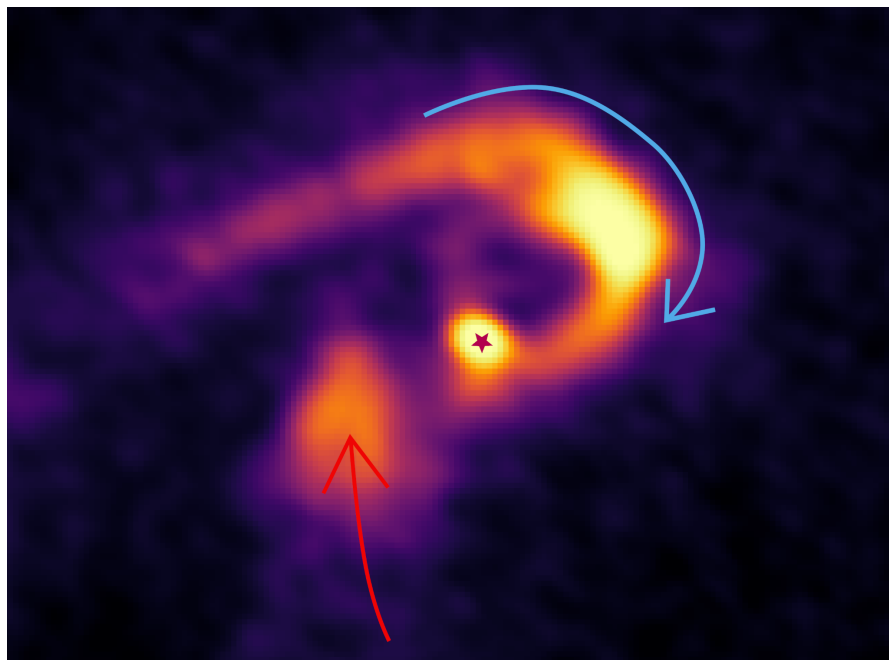
本論文は 2025 年 8 月 20 日の *Science Advances* 誌に掲載されました。

図. 大質量星形成領域

G336.018-00.82 における、星間塵から放射される電波の強度分布。

星型のマークは原始星の位置を示す。赤と青の矢印に沿って、ガスが回転しながら落下している。

青の矢印が示すガス流（ストリーマ）は、分子雲コアから原始星近傍の高密度領域まで、物質を輸送する役割を担う。(credit: F. Olguin)



1. 背景

星と惑星系の形成過程を明らかにすることは、我々が住む地球を含む太陽系の起源の理解に直結する興味深いトピックです。星の中でも、太陽の8倍以上の質量を持つものは大質量星²と呼ばれます。大質量星は重元素を生成する場であることから、宇宙や太陽系における物質的な起源とも関連します。

大質量星は、太陽程度の質量を持つ低質量星に比べて急速に成長しますが、その過程では、恒星風⁴や輻射圧⁵などが生じることで、星に降着するガスが吹き飛ばされると考えられています。「フィードバック」と呼ばれるこのような現象は、星を成長させる材料であるガスが星に到達するのを妨げ、大質量星の成長を抑制します。そのため、標準的な星形成のシナリオでは、実際に観測されているような大きな質量を持つ星を作ることができないという問題が、長年認識されてきました。このことから、フィードバック効果をいかにして克服し、大質量星の形成が実現されるのかを解明することは、星形成研究の重要な課題の一つです。

このフィードバック問題を解消する機構の有力な候補の一つとして、降着円盤⁶を介したガスの流入が考えられています。近年、高感度・高解像度観測が可能になったことで、実際に生まれた大質量星(大質量原始星)の周りで円盤状のガス構造や「ストリーマ」と呼ばれる細長く伸びるガス流が検出されるようになってきました。このような背景から、これらの構造が大質量星形成シナリオにおいて果たす役割に注目が集まり始めています。

2. 研究手法・成果

大質量星が作られる現場は、一般に太陽系から遠く離れた位置にあるので、その詳細構造を調べるためには、非常に高い解像度で観測する必要があります。オルギン特任助教(京都大学・国立天文台)、大屋講師(京都大学)、サンウェサ准教授(東京大学)らの研究グループは、太陽系から1万光年⁷(約10京キロメートル)離れた位置にある大質量原始星天体 G336.018-0.82 に対して、大型電波干渉計アルマを用いて高感度・高解像度の電波観測を行いました。同研究グループによる以前の観測実験と比べて2.5倍高い解像度(62天文単位⁸;約90億キロメートル)で、この天体の原始星を取り巻く星間塵と分子ガスから放射される波長1.3ミリメートルの電波を捉えました。

観測の結果、この天体で2本の細長い構造のガス流(ストリーマ)が検出されました。同研究グループによる以前の観測実験で、この天体では原始星を取り巻いて回転・落下する円盤状のガス構造の存在が指摘されており、ストリーマはこの円盤の外側から円盤の外縁部まで繋がっていると考えられていました。しかし、新たな観測結果では、従来考えられていた大きさの円盤構造は同定されず、円盤が存在すると考えられていた領域の内側までストリーマが伸びている様子が捉えられました。とくに、ストリーマのうちの1本は、1,000天文単位を超える空間スケールから、原始星近傍の高密度領域まで直接繋がっていることがわかりました。

さらに、メタノール分子の回転スペクトル線を詳細に解析することで、これらのストリーマ上でのガスの運動を明らかにしました。その結果、ガスは原始星の周りを回転する運動と、原始星に向かって落下する運動を併せ持つことがわかりました。ストリーマに沿った高密度領域へのガスの流入率は十分大きく、中心星からのフィードバック効果を克服し、成長途上の星に向けたガスの供給を継続させることが可能であることを、初めて観測的に示しました。このことから、検出されたストリーマは、この大質量原始星の形成過程と深く関連する重要な構造であると考えられます。

3. 波及効果、今後の予定

大質量星の形成過程においては、サイズと質量が比較的大きい降着円盤が、若い原始星に効率よく物質を供給するメカニズムとして、従来有力視されてきました。本プロジェクトの成果は、大規模なスケールから星形成の最も中心の領域まで、ストリーマが大量の物質を直接運んでいることを明らかにしたものです。このことは、大質量星が成長するための物質の供給において、少なくとも星形成過程のある一時期では、必ずしも大きな円盤構造を要さないことを示唆します。この成果は、長年注目されてきた大質量星形成に伴うフィードバック問題の解決に新たな手がかりを与えます。

今後はこの研究を拡大し、他の大質量原始星形成領域の観測研究を展開することで、この研究成果で見出したストリーマによる効率的なガス供給が、大質量星形成シナリオにおいて一般的な現象であるのかどうかを調査します。また、ALMAを用いたさらなる高解像度観測実験を提案し、原始星近傍の100天文単位以下の構造を捉えます。そこでのガスのイオン化と小さな円盤構造の有無を明らかにすることで、大質量原始星が成長する機構の解明にさらに踏み込みます。

4. 研究プロジェクトについて

- 1 国立天文台, ALMA 共同科学研究事業, 研究課題名 “Observational Study of Disk Formation around High-Mass Protostars -What is the Universal Picture from Low-Mass to High-Mass?-”, 課題番号: 2024-27B, 研究種目: Category (B)-2, 申請者: 大屋瑤子
- 2 日本学術振興会, 科学研究費補助金, 研究課題名「原始星周りに形成される円盤構造の系統的探究 - 低質量星から大質量星まで-」, 課題番号:25K07367, 研究種目: 基盤研究 (C), 代表者: 大屋瑤子

<用語解説>

- ¹ 大型電波干渉計アルマ: アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array; ALMA)。東アジア、北米、ヨーロッパ、およびチリによる国際共同プロジェクトによって、チリ・アタカマ砂漠に建設された電波干渉計。口径 12 メートルのアンテナ 54 台と、口径 7 メートルのアンテナ 12 台の、計 66 台のアンテナ群から成る現在世界最大級の電波望遠鏡。
- ² 大質量星: 太陽の 8 倍以上の質量を持つ恒星。
- ³ 原始星: 生まれたての星。
- ⁴ 恒星風: 恒星の表面から出る物質の流れ。
- ⁵ 輻射圧: ガスなどの粒子に対して、光 (光子) がぶつかることで与える圧力。
- ⁶ 降着円盤: 星やブラックホールなどの周りに形成される円盤状の構造。
- ⁷ 光年: 距離の単位。光が 1 年間で到達する距離であり、約 9 兆 5000 億キロメートル。
- ⁸ 天文単位: 距離の単位。地球と太陽の間の距離の年間平均にほぼ等しく、約 1 億 5000 万キロメートル。

<研究者のコメント>

この研究では、観測した 30 個の天体から、目を引くサンプルを選び出して詳細に解析しました。この天体は以前にも低解像度で観測しましたが、大質量原始星に伴う円盤構造の典型的な半径を考慮して、円盤やトラス状の構造が形成されていると考えていました。この研究の結果、これまでの予想に反して、円盤構造は存在しないか、極めて小さいことが判明しました。渦状腕構造が、中心の原始星に非常に近い位置にまで達していることは予想外でした。(オルギン特任助教)

<論文タイトルと著者>

タイトル: Massive extended streamers feed high-mass young stars (巨大なストリーマが若い大質量星に物質を供給)

著者: [Fernando Olguin](#), [Patricio Sanhueza](#), Adam Ginsburg, Vivien Huei-Ru Chen, Kei Tanaka, Xing Lu, Kaho Morii, Fumitaka Nakamura, Shanghuo Li, Yu Cheng, Qiuyi Luo, [Yoko Oya](#), Takeshi Sakai, Masao Saito, and Andrés Guzmán

掲載誌: *Science Advances* DOI: 10.1126/sciadv.adw4512