



PRESS RELEASE (2025/02/17)

ALMA がとらえた小マゼラン雲のふんわり分子雲

～大昔の星の保育園は変幻自在か？～

ポイント

- ① 現在の宇宙では、星の保育園（分子雲、※1）が細長いフィラメント構造をとることが知られており、太陽系もそのような雲から生まれた可能性が高い。しかし、大昔の宇宙も同様の特徴があったかどうかは不明である。
- ② 重元素（※2）が少なく約 100 億年前の環境を保つとされる小マゼラン雲（※3）をアルマ望遠鏡（※4）で観測したところ、星の保育園の約 6 割がフィラメント状、残り 4 割が“ふんわり”と広がった形であることが分かった。
- ③ 過去の宇宙ではフィラメントが崩れやすく、重元素が不十分な環境では太陽のような星が生まれにくかった可能性を示唆する。本研究は、宇宙の進化を解明する上で重要な手がかりとなるものである。

概要

私たちが住む天の川銀河では、星が生まれる「保育園」ともいえる分子雲は、細長い“フィラメント”状をしていることが一般的です。私たちの太陽系もおそらくこのフィラメント状分子雲（※5）の分裂によって作られた星の卵（分子雲コア）から誕生したと考えられます。しかし、この過程が宇宙の歴史を通して普遍的であるかどうかについてはほとんど研究が進んでおらず、より大昔の環境で星の保育園がどのような形を持っており、またどのように形作られるかは未解明のままでした。

今回の研究で大昔の宇宙では星の保育園はフィラメント状形状が必ずしも一般的ではなく、その形を大きく変化させているかもしれない兆候が初めて捉えられました。

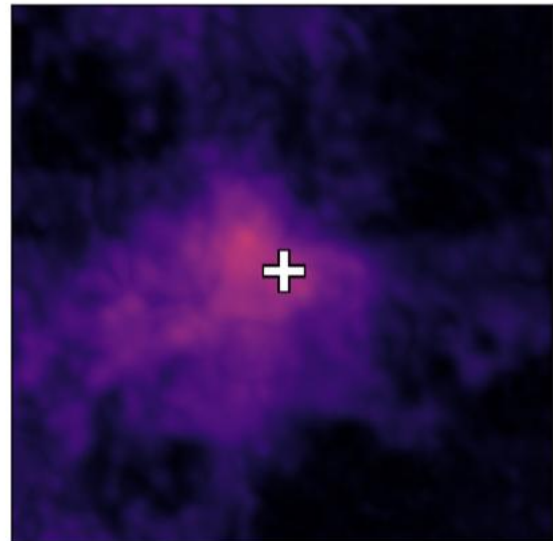
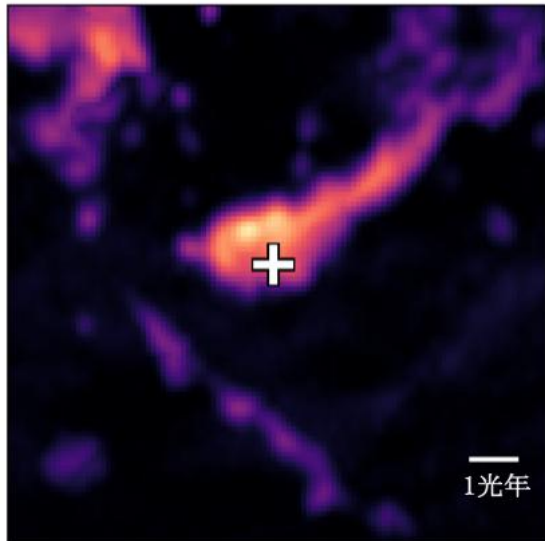
天の川銀河の「お隣さん」としても知られる小マゼラン雲（距離 約 20 万光年）は約 100 億年前相当の環境を残している銀河であり、大昔の宇宙における星の誕生過程を詳しく探る上で貴重な場所です。九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門 徳田一起 学術研究員/特任助教および大阪公立大学大学院理学研究科物理学専攻 博士前期課程 2 年 國年悠里氏らの研究チームは、小マゼラン雲にある生まれたての巨大な星のまわりに広がる分子雲 17 箇所を、南米チリにあるアルマ望遠鏡を用いて観測しました。その結果、観測した分子雲のうち約 60%は天の川銀河の分子雲と同様にフィラメント状をしています。残りの 40%は綿飴のように“ふんわり”した形をしていることがわかりました。研究チームはフィラメント状分子雲が時間経過と共にその形を失い、ふんわりとした姿へと変貌していくと結論づけました。大昔の宇宙では、現在よりも“星の保育園”がふんわりとした姿へと変化しやすい条件が整っていた可能性を示唆されます。

これらの発見は、宇宙の歴史の中で星が生まれる場所がどのように形作られてきたかを理解する上で、新たな視点を提供します。我々が住む太陽系を含む「現在の」星の保育園が形成される上で、銀河環境自体の発展が欠かせなかった可能性があります。

本研究成果は米国の雑誌「The Astrophysical Journal」に 2025 年 2 月 20 日（木）午後 6 時（日本時間）に掲載されました。

研究者からひとこと：

本研究チームでは過去数年の間に小マゼラン雲の分子雲をいくつか観測してきましたが、その全貌はなかなか掴めずにいました。この研究では複数個の分子雲をより詳細に観測したことにより、星（およびその集団）を作っている途中で形が大きく変わっているかもしれない可能性が初めて浮かび上がりました。分子雲の進化は数 10 万年の時間で起こるため人間の一生では追うことができませんが、複数の天体の観測結果を俯瞰することによりその変化を推測できます。これは天文学研究の醍醐味の一つです。



© ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Tokuda et al.

図 1: アルマ望遠鏡が捉えた小マゼラン雲の分子雲の例

一酸化炭素分子が放つ電波を擬似カラーで示した。色が明るいほど電波の強度が強い。クロスで示した箇所に巨大な赤ちゃん星が存在する。左図がフィラメント状構造が顕著な分子雲で、右図がふんわりした形を示す分子雲の例を示す。

【研究の背景と経緯】

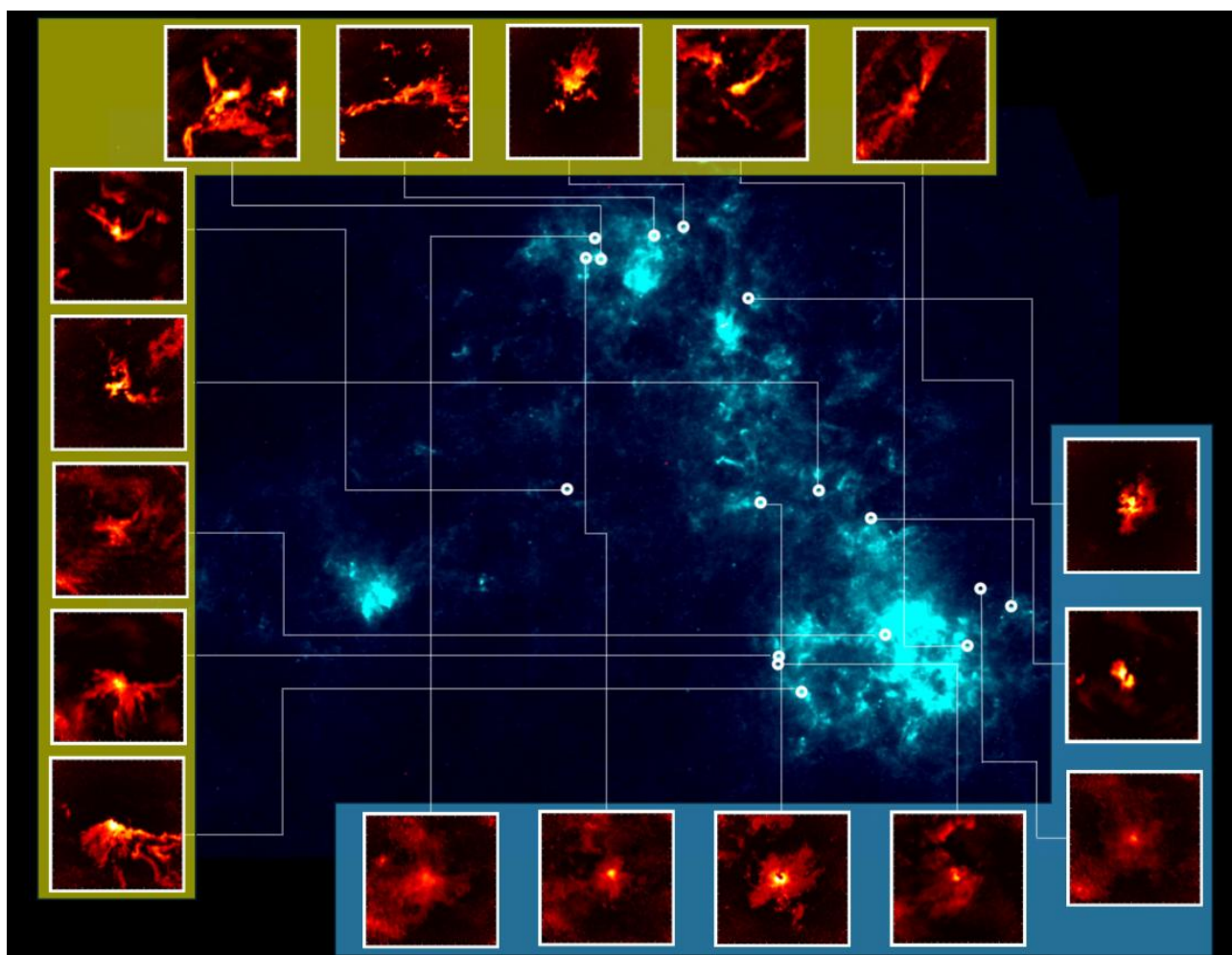
太陽系から約 62 kpc（約 20 万光年）先にある小マゼラン雲は、ヘリウムよりも重い元素（重元素）の割合が現在の天の川銀河の約 5 分の 1 しかありません。これは、約 100 億年前の若い宇宙環境に非常に近い状態です。本来、そのような初期宇宙に近い環境は 100 億光年もの遠方にある銀河でしか観測できません。しかし、小マゼラン雲は比較的近いため、“昔の環境”で星がどのように生まれるのかを調べる上で、格好の場所といえます。私たちの天の川銀河（銀河系）の星形成領域では、幅 0.3 光年ほどの細長い“フィラメント状”の分子雲構造が一般的に観測されてきました。これまでの研究で、このフィラメント内部では重力によって星の卵（分子雲コア）が生まれ、最終的に星へと成長していくことが分かっています。しかし、小マゼラン雲の分子雲については、観測の空間分解能が十分でないことが多く、同じように 0.3 光年程度の幅を持つフィラメント構造が普遍的に見られるのかどうかは不明でした。

【研究の内容と成果】

そこで本研究チームは、小マゼラン雲の分子雲の性質を詳しく調べるため、ALMA を使って取得された「太陽の 20 倍以上の質量をもつ巨大な星の赤ちゃん」が生まれつつある領域の分子雲 17 か所についてデータ解析を行いました。その結果、調査対象のおよそ 6 割が 0.3 光年程度の幅をもつフィラ

メント状の構造を示す一方、残りの4割ほどは“ふんわり”と広がった形をしていることが判明しました(図1, 2)。さらに、フィラメント状の分子雲の温度を調べると、ふんわりした分子雲よりも高いことがわかりました。

大質量星を生むような分子雲では、分子雲同士が衝突した際のなどの衝撃波によって温度が急上昇すると考えられています。天の川銀河のように重元素（冷却剤）が豊富な環境では、そうした高温状態でも短時間で冷却が進み、10 ケルビン（-263℃）ほどの非常に低い温度に急速に下がってしまいます。しかし、重元素が少ない小マゼラン雲のような環境では、十分に冷却されるまでに時間がかかるため、高温状態が長く続きやすいと推測されます。このように、**フィラメント状の雲とふんわりした雲の違いは、それぞれが形成されてから経過した時間の違いを反映している可能性が高いと考えられます**。特に、分子雲が周囲のガスとやりとりを行う“開放系”であることもポイントで、温度が高い間は分子雲中の乱雑なガスの運動（乱流）があまり強まらないのに対し、温度が下がると外部から流入したガスの運動エネルギーによって乱流が発生しやすくなります。その結果、フィラメント構造が崩れ、“ふんわり”と広がる分子雲へと変化すると考えられるのです。



©ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Tokuda et al., ESA/Herschel

図 2: アルマ望遠鏡が捉えた小マゼラン雲の分子雲の一覧

背景の画像は欧州宇宙機関のハーシェル宇宙天文台が遠赤外線で見つけた小マゼラン雲の全体像を示す。丸印がアルマ望遠鏡で観測した位置を示し、観測した分子雲（一酸化炭素が放つ電波）を拡大図で表している。黄色枠で囲ったものはフィラメント状構造を、青枠で囲ったものはふんわりした形を示すものである。

【今後の展開】

分子雲がフィラメント状の形を保つと、細長い“紐”に沿って分裂が起こりやすくなり、太陽のような比較的小さな星を多く生み出す環境が整います。一方、フィラメント構造を維持できない場合は、私たちの太陽系のような惑星系が誕生しにくくなるかもしれません。本研究は、**重元素が十分に供給されるなどの環境が天の川銀河においてフィラメント構造を長時間保つ上で影響力をもち、結果として太陽系のような惑星系の形成に重要な役割**を果たす可能性を示しています。今後、今回得られた小マゼラン雲での観測結果を元に、天の川銀河をはじめとするより重元素量の多い環境の分子雲の観測とも詳細に比較していくことが重要と考えています。このような研究は、星の誕生現場となる分子雲の形成と時間変化について理解を深めていく新しい着眼点を提供します。

【用語解説】

(※1) 分子雲、および分子雲コア・・・宇宙空間には星の材料となる水素原子/分子を主成分としたガスが漂っています。その中でも特に水素分子が豊富に存在する場所が分子雲です。さらにガス密度が濃くなった場所は分子雲コアと呼ばれており、いわゆる星の卵に相当します。これがさらに収縮することによって、太陽のような恒星や、それよりもさらに重い星（大質量星）およびそれらの連星が誕生します。

(※2) 重元素（金属量）・・・天文学では水素とヘリウムよりも重い元素のことを重元素（金属）と呼びます。重元素量とは、太陽およびその周辺を基準とし、最も多い元素である水素に対して重元素がどれくらい含まれているかの割合を表します。

(※3) 小マゼラン雲・・・地球から約 20 万光年の距離にある銀河。我々が住む天の川銀河も含まれている局所銀河群の中では、分子ガスが観測できてかつ原始星（幼年期の星）が詳しく観測できるものの中では最も重元素量が少ない（天の川銀河の 1/5 程度）環境にあります。

(※4) アルマ望遠鏡・・・東アジア（日本・台湾・韓国）・北米（アメリカ・カナダ）・ヨーロッパが共同で運用する国際的な望遠鏡プロジェクトです。チリ・アタカマ砂漠の標高約 5000m の場所に設置されており、合計 66 台のパラボラアンテナを組み合わせることにより高い解像度の天体画像を得ることができます。

(※5) フィラメント状分子雲・・・我々の住む天の川銀河や小マゼラン雲と対をなす大マゼラン雲では、星の誕生現場である分子雲は約 0.3 光年程度の幅を持つ細長い紐状の形であることが一般的です。このフィラメント状分子雲は、分子雲同士が衝突した際や超新星爆発が発生した際に到来する衝撃波によって形成され则认为られています。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費（JP18H05440, JP19K14760, JP20H05645, JP21H00049, JP21H00058, JP21H01145, JP21K13962, and JP23H00129）、国立天文台 ALMA 共同科学研究事業（2022-22B）の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：The Astrophysical Journal

タイトル：ALMA 0.1 pc View of Molecular Clouds Associated with High-Mass Protostellar Systems in the Small Magellanic Cloud: Are Low-Metallicity Clouds Filamentary or Not?

著者名：Kazuki Tokuda, Yuri Kunitoshi, Sarolta Zahorecz, Kei E. I. Tanaka, Itsuki Murakoso, Naoto Harada, Masato I. N. Kobayashi, Tsuyoshi Inoue, Marta Sewiło, Ayu Konishi, Takashi Shimonishi, Yichen Zhang, Yasuo Fukui, Akiko Kawamura, Toshikazu Onishi, Masahiro N. Machida

D O I : 10.3847/1538-4357/ada5f8

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

学術研究員/特任助教 徳田 一起（トクダ カズキ）

TEL：080-1464-3757

Mail：tokuda.kazuki.369@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

大阪公立大学 広報課

TEL：06-6967-1834

Mail：koho-list@ml.omu.ac.jp