

星の卵の「国勢調査」 アルマ望遠鏡が追う星のヒナ誕生までの 10 万年

大阪府立大学(学長:辰巳砂 昌弘)理学系研究科 徳田 一起 客員研究員(兼・国立天文台 特任研究員)と名古屋大学 理学研究科 立原 研悟 准教授らの研究グループは、法政大学、東北大学、九州大学、パリサクレ大学などと共同で、おうし座方向に存在する「星(恒星)を作る材料」が濃く集まった星の卵とも言える「分子雲コア」(※1)の成長の様子を調べるために、アルマ望遠鏡(※2)を構成するモリタアレイで多数の卵を観測する「国勢調査」(※3)を行いました(図1)。その結果、分子雲コアの中心部が徐々に濃くなり、ある密度(100 万個/cc)を超えると、自身の重力によって星へと急成長する様子を世界で初めて精密に測定することに成功しました。また、観測した分子雲コアのうちの1つが、星のヒナが誕生した瞬間の姿に相当する可能性が高いことも分かりました。これらは分子雲コアが10 万年以上の時を経て星へと至る瞬間までを克明に記録した成果と言えます。

なお、本研究成果は、2本の論文として米国物理学会が刊行する天文学専門誌「The Astrophysical Journal」および「The Astrophysical Journal Letters」に8月7日16時(日本時間)にそれぞれ掲載されました。

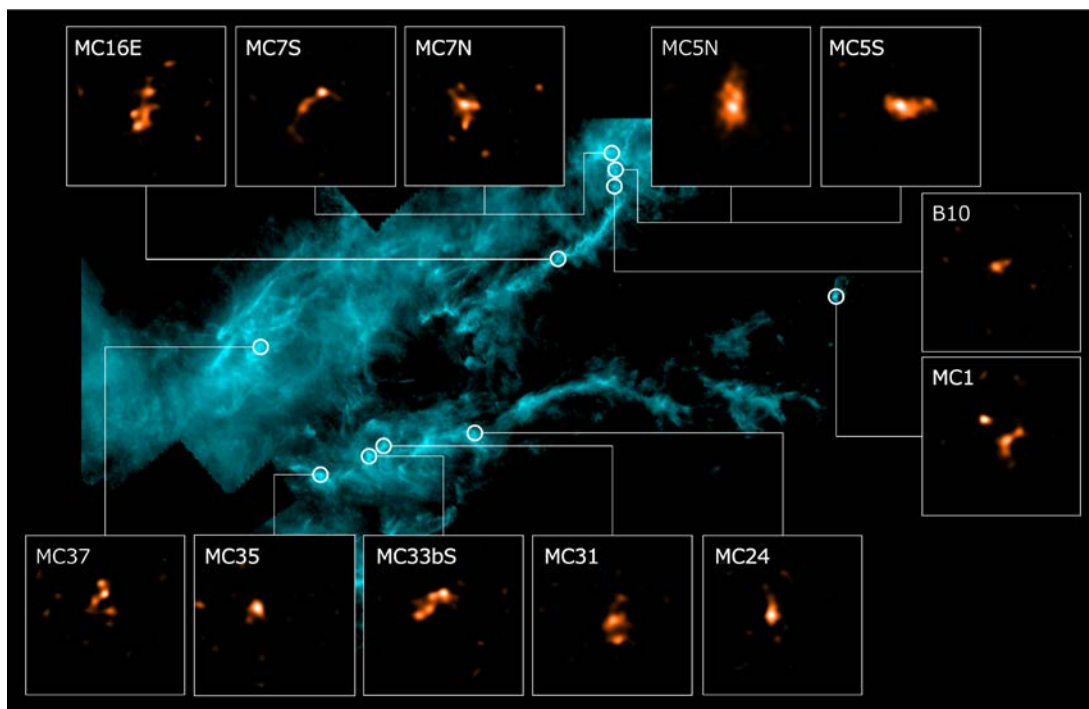


図1: 欧州宇宙機関のハーシェル宇宙天文台が赤外線観測したおうし座分子雲(背景)に、アルマ望遠鏡で観測した分子雲コア(星の卵)12天体を合成した画像。Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Tokuda et al. ESA/Herschel

<研究助成資金等>

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金 (No. 18K13582, 18H05440)、国立天文台 ALMA 共同科学研究事業 (2016-03B) からの支援を受けて行われました。

<研究内容と成果>

我々の最も身近な恒星である太陽と同程度の質量を持つ星は、宇宙空間に漂うガスが自身の重力によって収縮することにより誕生します。これまでの研究で、分子雲コアと呼ばれる水素分子ガスが濃く集まったものが「星の卵」であることは良く知られていましたが、その中身を調べてどのように星へと成長するかを、実際の望遠鏡を使った観測で明らかにすることは非常に困難でした。これは分子雲コアが収縮して星へと進化するには 10 万年以上かかるため、人間がその一生を追うことは不可能であることと、星が誕生するのは分子雲コア中心部の極限られた部分であるため、非常に高い視力の電波望遠鏡で調査する必要があったからです。本研究チームは、高い視力を実現できるアルマ望遠鏡を使って、多数の異なる進化段階にある分子雲コアをくまなく観測する最新の「国勢調査」を行い、卵の成長の様子を明らかにしようと考えました。特に日本が開発に大きな役割を果たしたアルマ望遠鏡の一部である「モリタアレイ」は、比較的なめらかに広がった分子雲コアの中心部の構造の進化を捉えるにあたって最適だったのです。

観測の結果、合計 32 個の星がまだ誕生していない分子雲コアのうち、1/3 程度の限られたもののみが、比較的強い電波強度(※4)を持つことがわかりました (図 2)。個数と成長する時間が比例していると考えると、最初の 30 万年程度の年月はガス収縮が遅く、ガスの密度が 1 立方センチメートルあたり 100 万個を超えると自分自身の重力によりガスが自由落下し、星へと急成長することが判明しました。分子雲コアには自身の重力以外にも磁場や超音速乱流(※5)の力が働いて収縮を妨げていると考えられていますが、それらに打ち勝つ条件を突き止めたのです。加えて、観測天体の中から、ガスの重力による収縮がさらに進み、星のヒナが誕生した瞬間に相当すると思われる、有力な候補天体が 1 つ含まれていたことも判明しました。誕生したばかりの原始星(ヒナ)の本体はこの観測では見えていませんが、原始星特有のガス流(※6)が観測されたことから、産声がかすかに聞こえている状態に相当すると考えられます (図 3 右)。

本研究により、星の「卵」である分子雲コアが「ヒナ」誕生の瞬間と思われる段階まで 10 万年以上の年月をかけてどのように成長するか(図 3)を精密に測定したことで、星誕生プロセスの理解が大きく進むと期待されます。

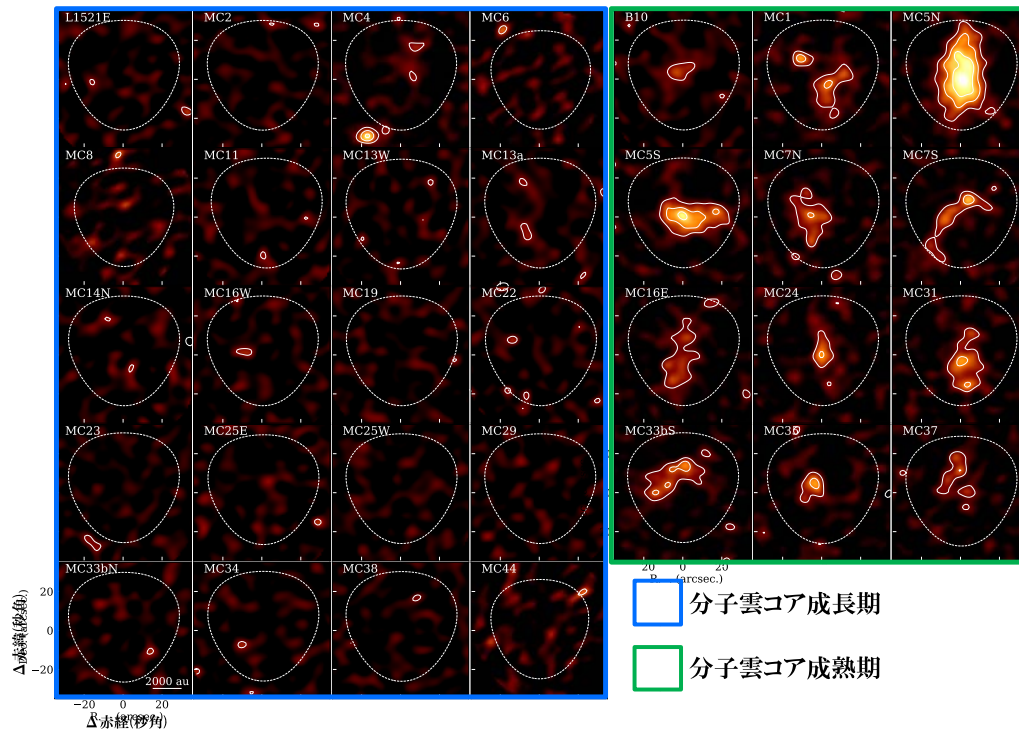


図 2: おうし座方向にある 32 個の分子雲コアの中心部をアルマ望遠鏡(モリタアレイ)で観測した結果。濃いガスに含まれる塵からの電波を表す。色が濃い場所ほど電波強度が強くガスの密度が高くなっていると考えられる。

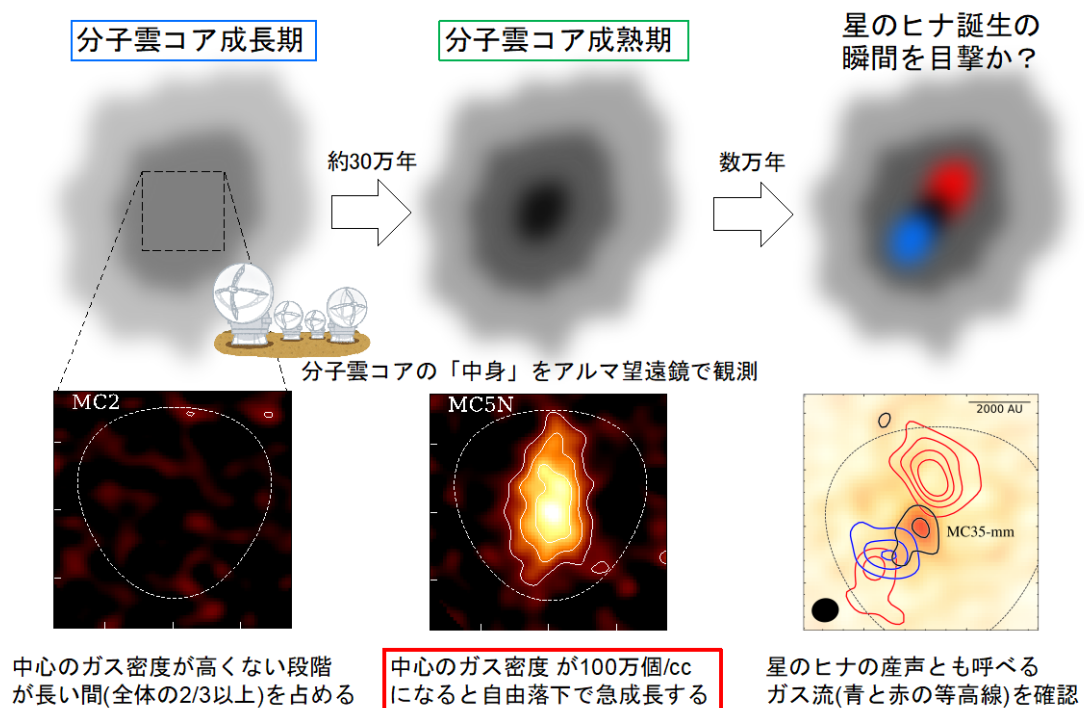


図 3: 観測から明らかになった分子雲コアの進化の様子とその時間

<用語解説>

※1) 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あり、さらに濃くなった場所は分子雲コアと呼ばれています。これはいわゆる星の卵であり、ガスがさらに収縮することによって、太陽のような質量を持つ単独の星やその連星が誕生すると考えられています。

※2) 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でより高い解像度の天体画像を得ることができます。本研究では、日本が開発し、よりなめらかな天体の構造の観測に適したアタカマ・コンパクト・アレイ(愛称「モリタアレイ」)の口径7mアンテナのみを使用しています。

※3) 国勢調査

天文観測では一般的に1つの天体の成長を直接調べることはできません。その時間スケールが人間の寿命に比べて遥かに長いからです。そのためある一定の条件の下で複数の天体や空のある場所を広く観測し(掃天観測もしくはサーベイ観測と呼ばれます)、異なる成長段階にある天体を俯瞰することによりその一生を推測するという手法がしばしば用いられます。この研究ではおうし座方向の分子雲を1つの国に見立て、その中に存在する星の卵を一斉に調べることから、国勢調査と呼ぶことにしました。

※4) 電波強度

分子雲コアはおおむねガスの密度に比例して強い電波を放つため、電波望遠鏡で観測することによりおおよそのガス密度を求めることができます。

※5) 超音速乱流

分子雲や分子雲コアの内部には音速を超える速度のランダムなガスの運動があることが知られています。

※6) ガス流

若い星から2つの反対向きの方に放出される高速のガスの流れです。双極分子流と呼ばれています。通常は赤外線で見える原始星によく見られる現象ですが、この観測で見つかったものは赤外線では輝く前段階の、非常に若い原始星(星のヒナ)から放出されていると考えられます。

<参考 URL 等>

国立天文台のアルマ望遠鏡の web サイト

<https://alma-telescope.jp>

大阪府立大学 宇宙物理学研究室

<http://www.astro.s.osakafu-u.ac.jp>

<発表雑誌>

本研究成果は 2020 年 8 月 7 日 16 時（日本時間）に、米国物理学会が刊行する天文学専門誌「The Astrophysical Journal」および「The Astrophysical Journal Letters」に掲載されました。

<雑誌名>

The Astrophysical Journal（日本時間：8月7日16時公開）

<論文タイトル>

FRAGMENTATION AND EVOLUTION OF DENSE CORES JUDGED BY ALMA (FREJA). I (OVERVIEW). INNER ~1000 AU STRUCTURES OF PRESTELLAR/PROTOSTELLAR CORES IN TAURUS

<著者>

Kazuki Tokuda^{1, 2}, Kakeru Fujishiro³, Kengo Tachihara³, Tatsuyuki Takashima¹, Yasuo Fukui^{3, 4}, Sarolta Zahorecz^{1, 2}, Kazuya Saigo², Tomoaki Matsumoto⁵, Kengo Tomida⁶, Masahiro N. Machida⁷, Shu-ichiro Inutsuka³, Philippe André⁸, Akiko Kawamura², and Toshikazu Onishi¹

1) Department of Physical Science, Graduate School of Science, Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

2) National Astronomical Observatory of Japan, National Institutes of Natural Science, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

3) Department of Physics, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan

4) Institute for Advanced Research, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan

5) Faculty of Sustainability Studies, Hosei University, Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8160, Japan

6) Astronomical Institute, Tohoku University, 6-3, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan

7) Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan

8) Laboratoire d'Astrophysique (AIM), CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, F-91191 Gif-sur-Yvette, France

<DOI 番号> <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab9ca7>

<雑誌名>

The Astrophysical Journal Letters（日本時間：8月7日16時公開）

<論文タイトル>

A LOW-VELOCITY BIPOLAR OUTFLOW FROM A DEEPLY EMBEDDED OBJECT IN TAURUS REVEALED BY THE ATACAMA COMPACT ARRAY

<著者>

Kakeru Fujishiro¹, Kazuki Tokuda^{2, 3}, Kengo Tachihara¹, Tatsuyuki Takashima², Yasuo Fukui^{1, 4}, Sarolta Zahorecz^{2, 3}, Kazuya Saigo³, Tomoaki Matsumoto⁵, Kengo Tomida⁶, Masahiro N. Machida⁷, Shu-ichiro Inutsuka¹, Philippe André⁸, Akiko Kawamura³, and Toshikazu Onishi²

1) Department of Physics, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan

2) Department of Physical Science, Graduate School of Science, Osaka Prefecture University,

1-1 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

3) National Astronomical Observatory of Japan, National Institutes of Natural Science, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

4) Institute for Advanced Research, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan

5) Faculty of Sustainability Studies, Hosei University, Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8160, Japan

6) Astronomical Institute, Tohoku University, 6-3, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan

7) Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan

8) Laboratoire d' Astrophysique (AIM), CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, F-91191 Gif-sur-Yvette, France

<DOI 番号><https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab9ca8>