

2021年12月2日

新潟大学
国立天文台
台湾中央研究院 天文及天文物理研究所

銀河系の果てに多様な有機分子を発見!

— アルマ望遠鏡が捉えた銀河系最外縁部の赤ちゃん星 —

銀河系の果てで、生まれたばかりの星とそれを包む有機分子の雲が初めて発見されました。

新潟大学研究推進機構超域学院の下西隆研究准教授、国立天文台の古家健次特任助教、安井千香子助教、台湾中央研究院天文及天文物理研究所の泉奈都子博士後研究員の研究チームは、アルマ望遠鏡^{注1}を用いて、私たちの住む銀河系の最外縁部^{注2}を観測し、これまで知られていなかった新たな原始星（赤ちゃん星）を発見しました。さらに、この星には水や複雑な有機分子^{注3}を含む化学的に豊かな分子ガスが付随していることを明らかにしました。銀河系の最外縁部は、銀河系が作られ始めた頃の原始的な環境を今に残していると考えられています。今回の発見は、宇宙史を通じた星・惑星材料物質の化学的多様性の理解に大きく貢献すると期待されます。この研究成果は、2021年12月1日（米国東部時間）に天文学論文誌「アストロフィジカル・ジャーナル」に掲載されました。

【本研究成果のポイント】

- 世界で初めて、私たちの住む銀河系の最外縁部に生まれたばかりの星とそれを包む有機分子の雲を発見
- 銀河系が作られ始めた頃の原始的な環境が残る最外縁部領域は、初期の銀河系における星の形成や物質進化の様子を探るうえで重要
- 今回の成果は、複雑な有機分子が作られる環境は、宇宙史の比較的初期の段階から存在していた可能性を示唆

研究者からのひとこと

「私たちの住む銀河系には、星・惑星形成や星間物質の研究が及んでいない未知の領域がまだまだたくさんあります。太陽系近傍とは大きく環境の異なる銀河系最外縁部のような原始的な領域で、今まさに星が生まれ、そしてそこでは化学的に豊かな物質進化が起きていることは驚きでした。複雑な有機分子が作られる環境は、宇宙史の比較的初期の段階から存在していた可能性があります。」

（新潟大学研究推進機構超域学院・下西隆研究准教授）

「銀河系最外縁部のような重元素が少ない環境下でも、複雑な有機分子が効率的に作られることが今回の観測で明らかになりました。宇宙において有機分子がどのように作られるかについては未解明な部分も多いですが、異なる星形成環境における有機分子の観測と理論研究からの予測を比較することで、その謎に迫ることができると考えています。」

(国立天文台 科学研究部・古家健次特任助教)

I. 研究の背景

星や惑星は分子雲と呼ばれるガスや塵（ちり）のかたまりの中で誕生することが知られています。通常、分子雲の大部分は極めて低温（マイナス 260 度以下）であるため、炭素・窒素・酸素などを含む分子の多くは氷^{注4}の状態が存在しています。しかし、星が誕生し、周囲の物質が温められはじめると、これらの氷は溶け、ガスの状態で放出されます。また、この過程において、塵の表面やガス中での化学反応により複雑な有機分子が生成されると考えられています。星形成天体の雪解けともいえるこのような現象は、惑星系の材料物質の化学進化にも大きな影響を与えます。

原始星周囲の多様な有機分子を含むガス雲はホットコア^{注5}と呼ばれ、一酸化炭素や水のような単純な分子から、生命関連物質の材料となり得る複雑な有機分子まで、化学的に豊かで多様な分子が天文観測により検出されることが知られています。よって、これらの化学組成を調べることは、宇宙における星・惑星・生命の材料物質の多様性を理解する上で重要です。

II. 研究の概要・成果

銀河系最外縁部とは、私たちの住む銀河系の果ての領域のことです。この領域は、炭素や酸素、窒素といった重元素が太陽系近傍よりも少ないことが知られています。また、銀河系の星形成の主要な場となっている銀河の腕（渦状腕）も最外縁部には見つかりません。これらの特徴は、銀河系の形成初期に存在していた原始的な環境と共通しています。このため、太陽系が誕生した 46 億年前、またはそれ以前の宇宙において、現在の太陽系に見られるような有機物に富んだ姿は普遍的だったのか、それとも特殊だったのか、また有機物に富んだ惑星系へと進化するための条件は何だったのか、といった問いに答える上で銀河系の最外縁部は重要な研究対象です。

近年の研究により、銀河系最外縁部には分子雲や原始星候補天体がいくつか見つかっていましたが、太陽系近傍の星形成領域に比べて研究が進んでおらず、星・惑星材料物質の化学組成の研究に至ってはほとんど未開拓の領域でした。

今回、本研究チームは南米チリのアタカマ砂漠にあるアルマ望遠鏡を用いて、銀河系最外縁部にある星形成領域 WB89-789 を観測しました。この天体は、銀河系の中心から約 6 万 2 千光年と遠く離れています。ガスや塵の大部分が分布している銀河系の円盤部の半径が 5 万から

6万5千光年程度ですので、まさに銀河の最外縁に位置しています。

観測の結果、本研究チームはこの領域に生まれたばかりの星を発見しました。さらに、検出された分子輝線^{注6}を解析し、この天体には水や複雑な有機分子などを含む非常に化学的に豊かな分子ガスが付随していることを明らかにしました。銀河系最外縁部において、原始星やそれを取り囲む有機分子の雲が検出されたのは今回が初めてです。検出された30種類以上の分子の中には、エタノール (C_2H_5OH)、ギ酸メチル ($HCOOCH_3$)、ジメチルエーテル (CH_3OCH_3)、アセトアルデヒド (CH_3CHO) などの星間空間では比較的大きな有機分子や、アセトニトリル (CH_3CN) やプロパンニトリル (C_2H_5CN) などの窒素を含む有機分子など、多種多様なものが含まれていました。

本研究チームは、今回発見された天体の化学組成を、銀河系の内側にある同様の天体のものと比較しました。その結果、複雑な有機分子の存在割合が、非常に類似していることが明らかになりました（ここではメタノール分子に対する割合を比較しています）。これは、銀河系最外縁部のように重元素量が少ない原始的な環境においても、複雑な有機分子が銀河系の内側と同じような効率で生成されることを示唆しています。

III. 今後の展開

私たちの住む太陽系に見られるような有機物に富んだ姿は、宇宙史を通じてありふれていたのでしょうか？

今回発見された天体については、様々な有機分子が検出されましたが、このような化学的に豊かな姿が銀河系の最外縁部にある他の原始星にも存在するかどうかは未だ不明です。また、どのような条件が揃えば、生命関連物質の材料ともなり得る複雑な有機分子に富んだガスをまとう原始星へと進化していくのかもまだよく分かっていません。今後、アルマ望遠鏡などを用いて、同様の天体の探査観測が進めば、銀河系の原始的な環境下における星形成・物質進化の詳細な様子が、より多くの天体について明らかになることが期待されます。

V. 研究成果の公表

本研究成果は、2021年12月1日（米国東部時間）、米国の天文学論文誌「アストロフィジカル・ジャーナル」に掲載されました。

論文タイトル：The detection of a hot molecular core in the extreme outer Galaxy

著者：Takashi Shimonishi, Natsuko Izumi, Kenji Furuya, and Chikako Yasui

doi: 10.3847/1538-4357/ac289b

VI. 謝辞

この研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（No. 19H05067, 21H00037, 21H01145）の支援を受けています。

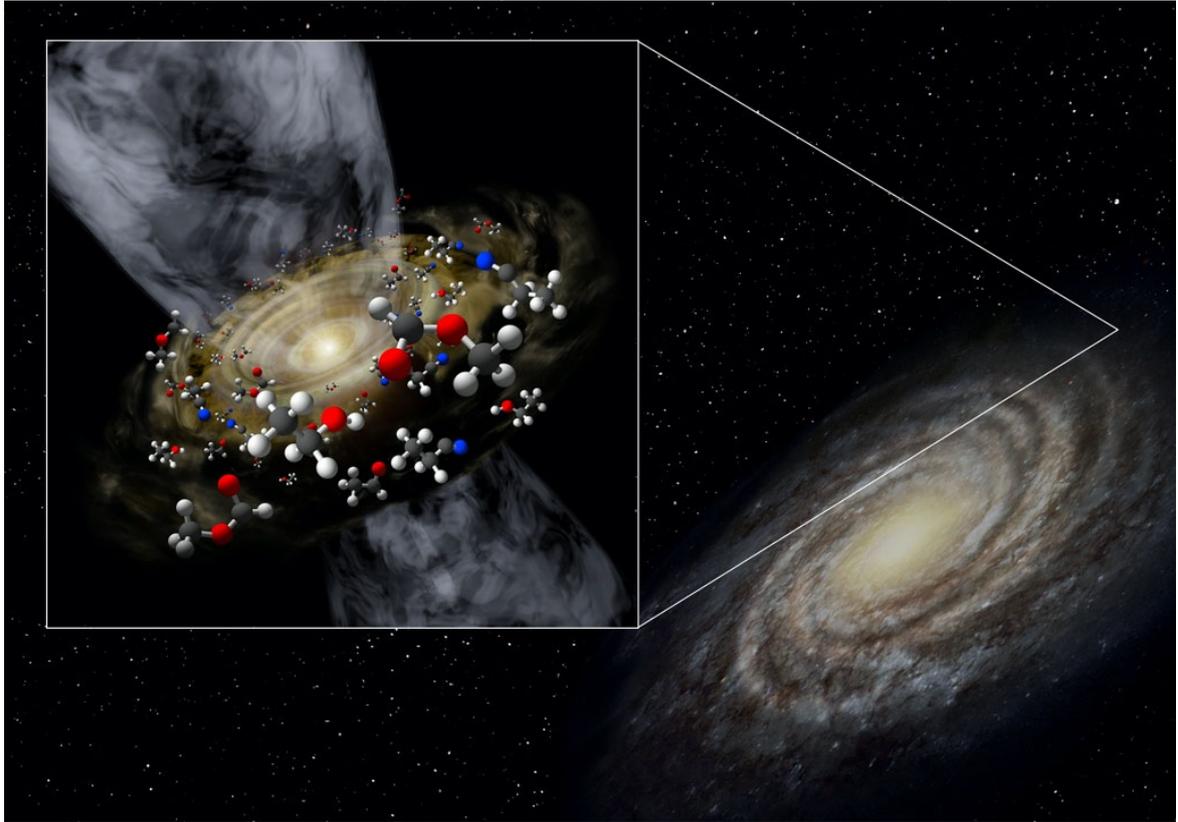


図 1. 銀河系の最外縁部に発見された原始星とそれを取り巻く有機分子の雲の想像図
クレジット：新潟大学

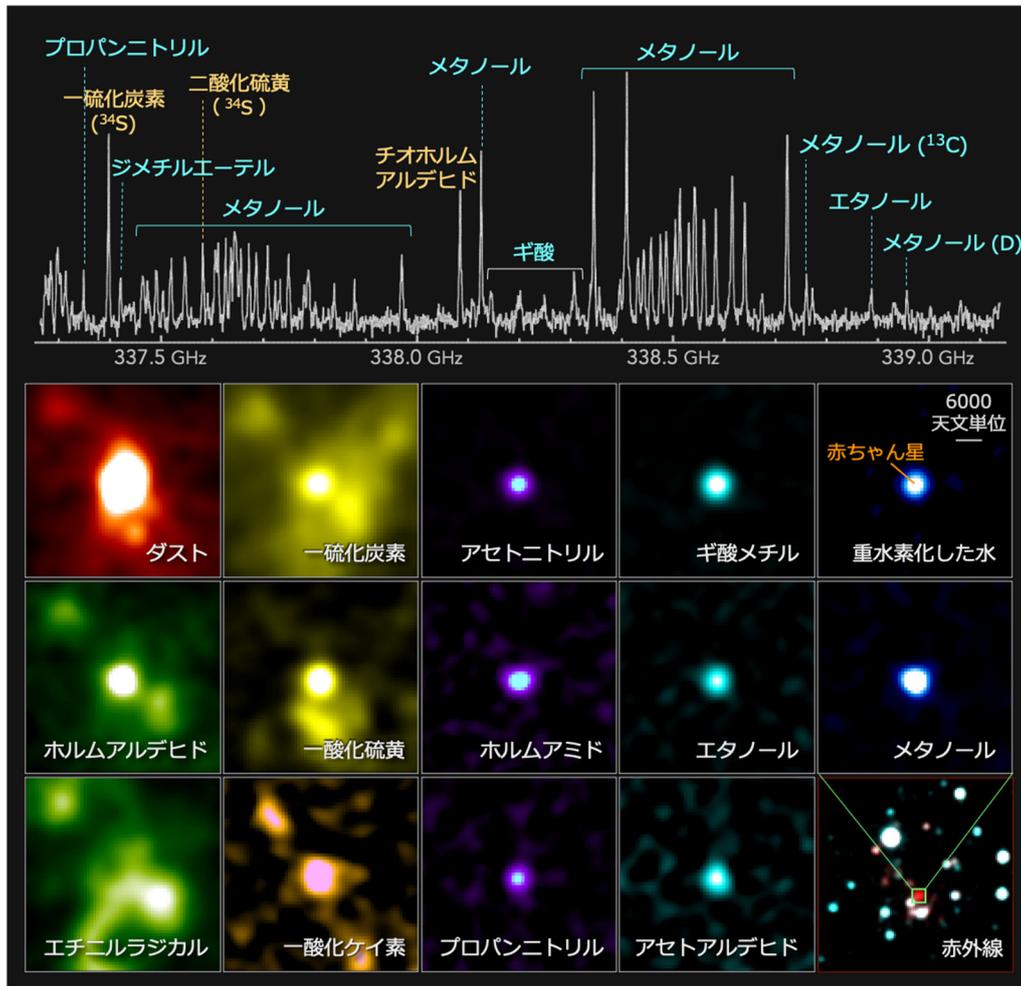


図 2. アルマ望遠鏡により発見された銀河系最外縁部の赤ちゃん星の電波スペクトル（上側）と分子輝線分布（下側）の一例. 星を包む塵（ダスト）、ホルムアルデヒド（ H_2CO ）、エチニルラジカル（ CCH ）、一酸化炭素（ CS ）、一酸化硫黄（ SO ）、一酸化ケイ素（ SiO ）、アセトニトリル（ CH_3CN ）、ホルムアミド（ NH_2CHO ）、プロパンニトリル（ $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ ）、ギ酸メチル（ HCOOCH_3 ）、エタノール（ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ）、アセトアルデヒド（ CH_3CHO ）、重水素化した水（ HDO ）、メタノール（ CH_3OH ）などの画像が示されています。右下には観測した領域の赤外線 2 色合成画像（赤が $2.16 \mu\text{m}$, 青が $1.25 \mu\text{m}$, 2MASS データベースより）を示しており、今回の原始星は緑色の四角で囲まれた領域に位置します。

クレジット：ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), 下西隆/新潟大学

【用語解説】

注 1. アルマ望遠鏡

アルマ望遠鏡（正式には、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計、Atacama Large Millimeter/submillimeter Array、ALMA）は、南米チリ共和国北部にあるアタカマ砂漠の標高 5000 メートルに建設された電波望遠鏡です。パラボラアンテナ 66 台を組み合わせる干渉計方式の巨大望遠鏡で、ミリ波・サブミリ波領域では分解能・感度ともに世界一の性能を誇ります。アルマ望遠鏡は、国立天文台を代表とする東アジア、米国国立電波天文台を代表とする北米連合、ヨーロッパ南天天文台を代表とするヨーロッパ、及びチリ共和国が協力して建設・運用する国際的な共同プロジェクトです。

注 2. 銀河系最外縁部

私たちの住む銀河系の中では、ガスや塵の大部分は銀河円盤と呼ばれる領域に分布しています。銀河円盤の大きさは半径 5 万から 6 万 5 千光年程度です。太陽系は、銀河の中心から約 2 万 6 千光年離れた場所に位置しています。銀河系外縁部とは、一般に銀河中心から約 4 万 4 千光年以上離れた領域のことを指します。銀河中心から約 6 万光年以上と特に離れた領域は、銀河系"最"外縁部と呼ばれます。これが今回の研究対象です。

注 3. 複雑な有機分子

天文学では、6 個以上の原子からなる有機分子を「複雑な有機分子」と呼んでいます。

注 4. 宇宙の水

宇宙には塵（ちり）またはダストと呼ばれる固体微粒子が存在します。分子雲内部の極低温かつ密度の高い領域では、このダストの表面に気体の原子・分子が吸着し、氷が生成されます。これらは星間氷と呼ばれています。ダスト表面での化学反応は、星や惑星が誕生する領域における分子生成のメカニズムの一つとして重要であると考えられています。

注 5. ホットコア

原始星の周りには、分子雲段階で生成された氷が溶けることで、暖かい分子ガスが大量に存在する領域が作られます。このような生まれたばかりの星を繭のように包む暖かい分子の雲は、ホットコアと呼ばれています。暖かいといっても、マイナス 150 度前後からせいぜい室温程度です。星形成初期の分子雲の状態に比べれば十分に暖かいので、ホットという表現が使われます。

注 6. 輝線

原子や分子は、その種類に応じて特定の波長の光を放出します。これは輝線として観測されます。電波望遠鏡は、天体に付随するガスから放射されるこの光を捉え、どのような種類の原子・分子がどれくらいの量・温度で存在しているかを探ることができます。

本件に関するお問い合わせ先

(研究に関すること)

新潟大学 研究推進機構 超域学術院

研究准教授 下西 隆 (しもにし たかし)

E-mail : shimonishi@env.sc.niigata-u.ac.jp

(報道に関すること)

新潟大学広報室

E-mail : pr-office@adm.niigata-u.ac.jp

国立天文台天文情報センター

講師 平松 正顕 (ひらまつ まさあき)

E-mail : hiramatsu.masaaki@nao.ac.jp