

天の川銀河辺境の星のゆりかごで 宇宙の物質進化を探る

－ 銀河の都会と田舎では分子の豊富さが異なる？ －

新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程の池田達紀さん、同大学理学部の下西隆准教授、同大学創生学部の子金子紘之特任准教授、理化学研究所の古家健次研究員らの研究グループは、アルマ望遠鏡^{注1}を用いて私たちの住む天の川銀河の外縁部^{注2}を観測し、地球から約2万6000光年離れた領域で「ホットコア」と呼ばれる生まれたばかりの星を包む分子の雲を新たに発見しました。

この天体からは、メタノールやジメチルエーテルなどの有機分子をはじめとした多くの分子が検出されました。本研究によって、私たちの住む太陽系の周辺とは大きく異なる環境における、星の赤ちゃんを取り巻く物質進化^{注3}に対して、新たな知見が得られました。

【本研究成果のポイント】

- 天の川銀河の外縁部で新たなホットコアを発見
- 太陽系周辺とは異なる環境を持つ天の川銀河の外縁部は、星の誕生現場における物質進化に対する環境効果を理解する上で重要
- 今回の成果は、天の川銀河外縁部における宇宙線の弱さが、同領域のホットコアにおける二酸化硫黄や一部の複雑な有機分子^{注4}の少なさに寄与する可能性を示唆

1. 研究の背景

星は分子雲というガスや塵の塊の中で生まれます。原始星（星の赤ちゃん）は、誕生すると周囲のガスや塵を暖め始めます。このような原始星を包む暖かいガス分子の雲は、ホットコアと呼ばれています（ただし、温度は100ケルビン程度です）。ホットコアの中では、星の材料となる星間物質が非常に豊かな化学進化を遂げることが知られています。実際、太陽系周辺の星形成領域にある多くのホットコアでは、水や複雑な有機分子を含む様々な分子が見つかります。このため、ホットコアの研究は星形成に伴う物質進化を理解する上で重要であると考えられています。

II. 研究の概要・成果

天の川銀河の外縁部とは、私たちの住んでいる天の川銀河円盤部の外側の領域です。この領域は、太陽系周辺と比較して炭素や酸素といった様々な分子の材料となる重元素^{注5}の存在比が少ないことが知られています。このような環境は、形成初期の天の川銀河や遙か遠方の系外銀河の環境に類似していると考えられています。さらにこの領域では、星の材料となるガス自体が少なく、星の誕生が非常に不活発です。超新星爆発など周囲からの激しい影響も少ない、静穏な環境を保っています。星の誕生が活発な天の川銀河の内側（太陽系周辺）を、次々と開発が進む「都会」とするならば、星の誕生が不活発で静かな外縁部は、過去の景色がそのまま保持された「田舎」のようなイメージです。そのような特殊な環境において、ホットコアの化学組成が太陽系周辺のものと同じなのか、それとも異なるのかを調べることは、星・惑星形成における物質進化の環境依存性を理解する上で重要です。

今回、本研究グループは、チリのアタカマ砂漠にあるアルマ望遠鏡を用いて、天の川銀河の外縁部に存在する5つの星形成領域 Sh 2-283 をはじめとする5つの星形成領域を観測しました。これらの領域は天の川銀河の中心から約5万光年と遠く離れています。太陽系は天の川銀河の中心から約2万6000光年離れていますので、太陽系よりも2倍ほど銀河の外側に位置しています。

観測の結果、本研究グループは Sh 2-283 領域において新たなホットコアを発見しました。この領域では、メタノールやジメチルエーテルなどの複雑な有機分子をはじめとした、多種多様な分子が輝線^{注6}として検出されました。このようなホットコアが検出された例は、天の川銀河の外縁領域では2例目の成果です。

本研究グループは、今回発見されたホットコアの化学組成を、太陽系周辺や他の銀河（大・小マゼラン雲^{注7}）に存在するホットコアと比較しました。その結果、天の川銀河外縁部のホットコアでは、二酸化硫黄やジメチルエーテルなどの分子の存在量が、材料となる炭素や硫黄の減少度合いを補正しても、少ない傾向にあることがわかりました。これらの分子は、生成過程においてホットコア外部からの宇宙線の寄与が重要であると考えられています。今回の結果から、静穏環境である天の川銀河外縁部では他の領域と比較して宇宙線が弱いため、これらの分子の生成に関わる反応がうまく進行しなかったことが示唆されました。

このように、ホットコアにおける物質進化は、原始星自身を取り巻く環境によって大きく変化する可能性が本研究によって示されました。

III. 今後の展開

地球のような生命に富んだ惑星は、天の川銀河の辺境でも存在し得るのでしょうか？ 今回の研究によって、星形成の最初期を取り巻く物質進化は、周囲の環境の違いに大きく影響を受ける可能性が示されました。

今後、アルマ望遠鏡などを用いてこのような領域における星形成活動の探査をさらに行っていくことで、私たちの住む太陽系の周辺とは大きく異なる環境における星・惑星形成領域での

物質進化の詳細な様子が明らかになることが期待されます。

IV. 研究成果の公表

本研究成果は、米国の天体物理学誌「The Astrophysical Journal」に2026年3月3日付で掲載されました。

【論文タイトル】 Digging into the chemical complexity in the outer Galaxy: A hot molecular core in Sh 2-283

【著者】 Toki Ikeda, Takashi Shimonishi, Hiroyuki Kaneko, Kenji Furuya, Kei Tanaka, and Natsuko Izumi

【doi】 10.3847/1538-4357/ae40b8

VI. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 (JP20H05845, JP21H00037, JP21H01145)、国立天文台 ALMA Japan Research Grant (NAOJ-ALMA-381)、公益財団法人 内田エネルギー科学財団、新潟大学量子研究センター (NU-Q) の助成を受けたものです。

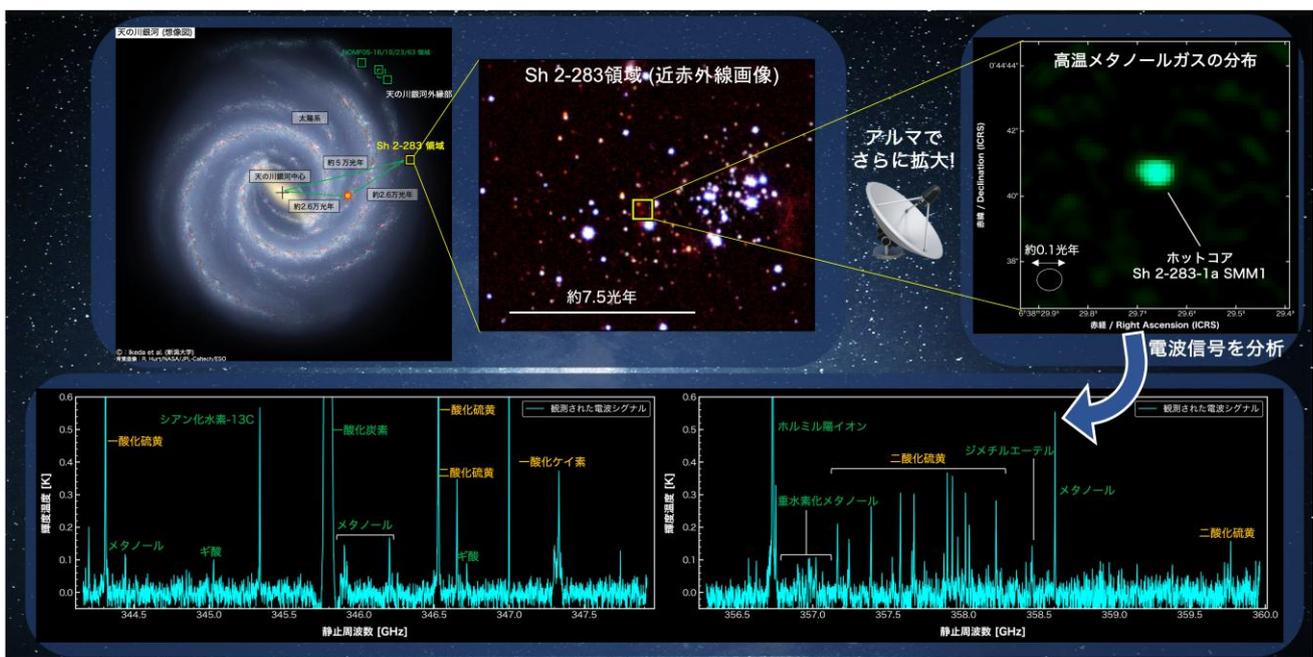


図. 本研究で観測した星形成領域の天の川銀河における位置(左上)、Sh 2-283 領域の赤外線 3 色合成画像 (赤が $2.16 \mu\text{m}$, 緑が $1.65 \mu\text{m}$, 青が $1.22 \mu\text{m}$, UKIDSS サーベイより) (中央上)、今回アルマ望遠鏡で観測されたホットコア Sh 2-283-1a SMM1 におけるメタノールガスの分子輝線分布 (右上)、および電波スペクトル (下)。メタノールやジメチルエーテルなどの有機分子から、二酸化硫黄や一酸化ケイ素などの無機分子まで、多くの分子種が検出されました。

クレジット：池田達紀(新潟大学)、R. Hurt/NASA/JPL-Caltech/ESO の画像を含む

【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運用する国際的な共同プロジェクトです。

(注2)・・・天の川銀河の外縁部

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。今回の研究対象である天の川銀河外縁部とは、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。

(注3)・・・物質進化

ここでは、星や惑星の材料となるガスや塵の中で化学反応が進み、さまざまな分子が生まれて物質の組成が変化していく過程を「物質進化」と呼んでいます。

(注4)・・・複雑な有機分子

天文学では、メタノールのように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5)・・・重元素

天文学ではヘリウムより重い元素を重元素と呼びます。水素に対する重元素の割合は重元素量と呼びます。重元素は恒星内部の核融合反応により合成され、恒星の死に伴い星間空間へと放出されます。そのため、星の生と死のサイクルが十分に繰り返されていない初期の宇宙では、現在の宇宙に比べて重元素量が低かったことが知られています。

(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せん。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。

(注7)・・・大・小マゼラン雲

天の川銀河の近傍に位置する伴銀河です。それぞれ、地球から約16万光年、および約20万光年の距離にあります。これらの領域も天の川銀河の外縁部のように重元素量が少ないことが知られており、これまで複数のホットコアが発見されています。

本件に関するお問い合わせ先

新潟大学理学部

准教授 下西隆（しもにし たかし）

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

URL : <https://sites.google.com/view/astromaterial-lab>

新潟大学大学院自然科学研究科

博士前期課程 2年

池田達紀（いけだ とうき）

E-mail : tokiikeda0122@gmail.com