

小マゼラン雲にホットコアを初検出

—遙か昔の宇宙における物質の化学進化に迫る—

[概要]

新潟大学自然科学系（理学部）の下西隆准教授、東京工業大学の田中圭助教、バージニア大学の Yichen Zhang 研究員、国立天文台の古家健次特任助教の国際共同研究チームは、アルマ望遠鏡^{注1}を用いて、地球から約 19 万光年の距離にある矮小銀河・小マゼラン雲において、「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世界で初めて発見しました。小マゼラン雲は、今から約 100 億年前の宇宙に環境が類似していることから、本研究により太陽系誕生よりも遙か昔の宇宙における物質進化に迫る新たな知見が得られました。

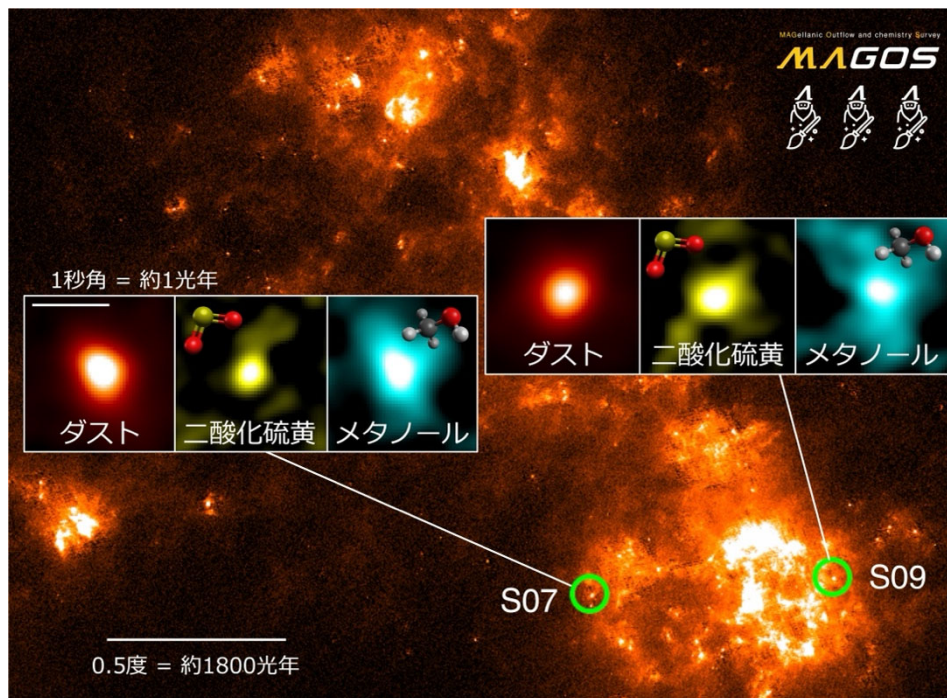


図. 小マゼラン雲に発見された2つのホットコア（天体名：S07 および S09）の位置（緑丸）。アルマ望遠鏡により観測された各天体のダスト（星間塵）、二酸化硫黄、メタノールの放射分布の画像が示されている。背景は小マゼラン雲の赤外線画像(Herschel 望遠鏡による 160 ミクロンの画像)。

本研究成果のポイント

- ・世界で初めて、矮小銀河・小マゼラン雲において生まれたばかりの星を包む化学的に豊かな分子の雲を発見。
- ・発見された天体は、天の川銀河内の同種の天体に比べて、複雑な有機分子の量が非常に少なかった。
- ・小マゼラン雲は、今から約 100 億年前の宇宙に環境が似ており、今回の結果は遙か昔の宇宙における星や惑星の材料物質の多様性を探る重要な手がかりを与えた。

[背景]

星は冷たく巨大なガスの塊の中で生まれます。原始星（赤ちゃん星）が誕生すると、周囲のガスや塵を暖めはじめます。このような原始星を繭のように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、暖かいといってもマイナス 150 度前後から室温程度です）。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、天の川銀河内の多くのホットコアでは、水や複雑な有機分子^{注2}を含む様々な分子が見つかっています。このため、ホットコアの研究は星形成の物理過程を理解するだけでなく、星形成に伴う物質の化学進化を理解する上でも重要であると考えられています。

小マゼラン雲は、太陽系近傍に対して炭素や酸素などの重元素^{注3}の存在量が約 10% から 20%と少ないことが知られています。このような重元素の少ない環境は、ビッグバン直後の誕生したばかりの宇宙に存在した銀河と類似しており、小マゼラン雲は遙か昔の宇宙における星形成過程や物質進化の様子を探る上で重要な現場のひとつです。

本研究チームはこれまで、大マゼラン雲^{注4}や天の川銀河の外縁部といった重元素の少ない領域における星形成および物質進化に着目し、これらの領域をアルマ望遠鏡で観測することによりホットコアを発見してきました。しかし、星形成活動が活発な近傍銀河の中でも特に重元素の少ない小マゼラン雲では、これまでホットコアは見つかっていませんでした。

[今回の成果と今後の展望]

そこで本研究チームは、大・小マゼラン雲内の約 40 の大質量原始星をアルマ望遠鏡により系統的に観測するプロジェクト（MAGOS プロジェクト; MAGellanic Outflow

and chemistry Survey) を開始しました。今回の小マゼラン雲におけるホットコアの発見は、MAGOS プロジェクトにより取得されたデータおよびアルマ望遠鏡のアーカイブデータを組み合わせて得られたものです。

小マゼラン雲で発見されたホットコアの物理・化学的性質を詳細に調べたところ、興味深い特徴が見つかりました。これまでに知られていた通常の重元素量環境では、原始星付近の暖かくコンパクトで高密度なホットコア領域は星間有機分子の一種であるメタノールの輝線^{注5}により検出されてきました。一方、本研究で小マゼラン雲内に発見した2つのホットコアではどちらも、メタノール分子は比較的低温で広がった領域に由来しており、ホットコアの高温ガスからの寄与は非常に小さいことが分かりました。また、天の川銀河内で一般的に用いられるメタノール輝線の代わりに、小マゼラン雲の天体では二酸化硫黄の分子輝線を用いてホットコア領域を検出できることも今回の研究で明らかになりました。

本研究成果より明らかになった小マゼラン雲の原始星の興味深い特徴は、遙か昔の宇宙で起きていた物質進化や星形成過程の多様性を解明する重要な鍵となります。現在の天の川銀河の星・惑星形成領域で起きている星間物質の豊かな化学進化は、宇宙史を通して普遍的な現象だったのでしょうか？星・惑星形成領域における物質進化の理解は、惑星へと取り込まれうる生命材料物質の多様性の究明にもつながります。今後、アルマ望遠鏡やジェームスウェッブ宇宙望遠鏡を用いた観測が進むことで、過去の宇宙と現在の宇宙における星・惑星形成過程およびそれに伴う物質進化の様子の違いがより詳細に明らかになることが期待されます。

[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 Letters」に2023年4月4日付で掲載されました。また、論文誌の中から際立った研究を紹介するAAS Novaでもハイライトされました ([First Detection of Hot Molecular Cloud Cores in the Small Magellanic Cloud](#))。

【論文タイトル】 The Detection of Hot Molecular Cores in the Small Magellanic Cloud

【著者】 Takashi Shimonishi, Kei E. I. Tanaka, Yichen Zhang, Kenji Furuya

【doi】 10.3847/2041-8213/acc031

[謝辞]

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（JP19K14760, JP20H05845C, JP20H05847, JP21H00037, JP21H00058, JP21H01145）、および卓越研究員事業の支援を受けています。

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. 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と考えられています。

注 3. 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 4. 大マゼラン雲

小マゼラン雲と同様に天の川銀河の近傍に位置する伴銀河です。地球から約 16 万光年の距離にあります。重元素量は小マゼラン雲よりやや高く、太陽系近傍に比べて約半分から 1/3 程度です。

注 5. 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。