

## 分子ドリフトを観察し星誕生に迫る

前恒星コアにある2分子の速度差を初めて観察し、  
磁場とガスの分離による初期星形成の過程を解明

### ポイント

- ① 太陽のような星はガスと塵の高密度な塊である前恒星コアの崩壊によって形成されます。観測によると、コアには強い磁場が存在していることが示唆されていますが、星形成過程における磁場の役割は依然として明確にされていません。
- ② 本研究では前恒星コアに存在する2種類の分子を観測し、速度差を検出することができました。その速度差は両極性拡散という現象で説明可能であることを確認しました。この結果は、両極性拡散が前恒星コアの磁場を弱めることで星形成において重要な役割を果たしていることを示唆しています。
- ③ 星形成前のコアにおける物理的・化学的条件を理解することで、惑星と生命を形成する物質がどのように組み立てられていくのかを、より詳しく解明できました。

### 概要

太陽のような星は、「フィラメント」と呼ばれる分子雲内の細長い高密度構造の中に存在する「前恒星コア」（ガスと塵の高密度な塊）の崩壊によって形成されます。このフィラメントには強い磁場が存在していますが、星形成過程における磁場の役割は依然として明確にされていません。イオンは磁場からの力を感じるため磁力線と結合（カップリング）していますが、部分的に電離したプラズマ中に存在する中性粒子は磁場から力を感じません。前恒星コアのような高密度環境では電離度が低いため、磁場と中性粒子は分離（デカップリング）して運動します。そのため、重力によってコアの中心に向かって落下していく中性粒子はイオンと異なる振る舞いを示し、異なる速度構造を持つと予測されます。しかし、この予想される速度差（ドリフト速度）はこれまで観測的には十分に明確に検出されていません。

本研究では九州大学高等研究院稲盛フロンティアプログラムのアルズマニアン ドリス准教授の研究グループと国立天文台、マックス・プランク地球外物理学研究所、鹿児島大学、九州産業大学、ミリ波電波天文学研究所、ヨーロッパ南天天文台が共同研究を行いました。スペイン南部にある口径 30m の単一鏡型電波望遠鏡を用いて、地球から最も近い星形成領域の一つであるおうし座分子雲に位置する典型的な前恒星コア L1544 に向けて 2 種類の分子、重水素化ジアゼンニリウムイオン ( $\text{N}_2\text{D}^+$ ) と中性分子重水素化アンモニア ( $\text{NH}_2\text{D}$ ) の放射を観測しました。

この2分子は前恒星コア内部の高密度領域をトレースする理想的な指標分子であり、 $\text{N}_2\text{D}^+$ と  $\text{NH}_2\text{D}$  の速度マップを比較した結果、コア内において平均で 0.05 km/s の速度差が見つかりました。本研究グループはこの速度差を両極性拡散の証拠として解釈しました。両極性拡散は前恒星コアの磁気を弱めることができ、星形成に必要な重力崩壊を引き起こす、もしくは早めることができます。本成果で両極性拡散を確認できたことにより、初期星形成を引き起こすために必要なメカニズムを解明しました。

本研究グループは、重力崩壊直前の前恒星コア内部に存在する  $\text{N}_2\text{D}^+$ と  $\text{NH}_2\text{D}$  のドリフト速度検出に初めて成功しました。この成果は、コア内部でのイオン・中性粒子のデカップリングを調べるだけでなく、前恒星コア段階におけるダスト粒子の成長が、コアの力学的進化および原始星への崩壊過程を調整する重要な役割を果たすことを示しました。

本研究成果は、2026 年 7 月 10 日に学術誌「Astronomy & Astrophysics」に掲載されました。

### 研究者からひとこと：

星形成における物理的・化学的条件を理解することで、惑星と生命を形成する物質がどのように作られてきたのかを、より詳しく解明できるようになります。本結果は、動力学、宇宙化学、物理学などを融合させた学際的な共同研究でした。様々な分野が繋がったおかげで初期の星形成についてより包括的な全体像を描き出すことができました。（アルズマニアン ドリス）

## 【研究の背景と経緯】

地球のような惑星を伴う太陽型星は、銀河内の恒星間物質（星間空間を満たす物質）に埋め込まれた「フィラメント」と呼ばれる構造の中に存在する、前恒星コア（ガスと塵の高密度な塊）の重力崩壊によって形成されます。フィラメント状分子雲を貫く磁場が強い場合、磁場は星形成を遅らせますが、星形成過程において磁場がどの程度重要かは未だ十分には解明されていません。

磁場の進化はガスと磁力線との結合（カップリング）の程度と密接に関連しています。この結合の強さは、部分電離プラズマ中におけるイオンと中性粒子の衝突によって維持されています。前恒星コアでは電離度が小さいため、磁場とガス（中性粒子）の結合が弱まり、磁場とガス（中性粒子）はデカップリング（分離）をします。重力収縮過程において、イオンは磁場に束縛されている一方で、中性粒子はコア中心に向かって落ちていくため、イオンと中性粒子は異なる速度構造を持つと予測されます。しかし、この理論的に予想されるイオン・中性粒子間の速度ドリフトは、これまで観測的には明確に検出されていません。

## 【研究の内容と成果】

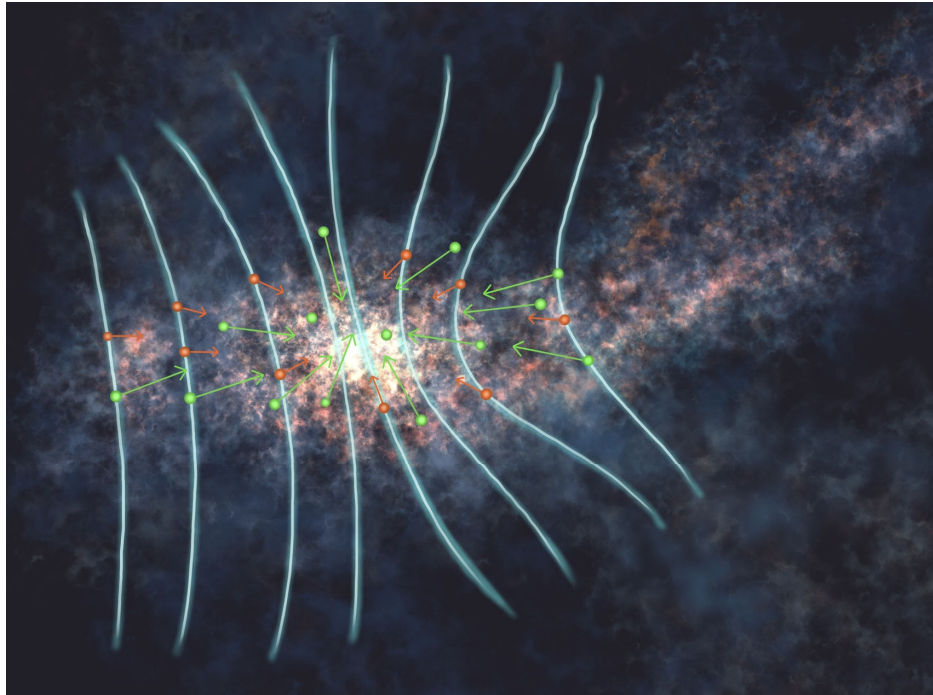
本研究では、スペイン南部に設置された 30m 単一鏡電波望遠鏡を用いて、太陽系に最も近い星形成領域、おうし座分子雲に位置する典型的な前恒星コア L1544 を観測しイオン・中性粒子間の速度ドリフトの検出を試みました。そのために、2 種類の分子、イオンの重水素化ジアゼンニリウムイオン ( $\text{N}_2\text{D}^+$ ) と中性分子重水素化アンモニア ( $\text{NH}_2\text{D}$ ) の放射を観測しました。

イオンと中性分子の速度分布を比較した結果、コア内で平均 0.05 km/s の速度差が検出されました。さらに、ダスト粒子の成長を考慮した両極性拡散の磁気抵抗およびドリフト速度の理論予測と比較することで、この速度差をダスト成長によって効率の大きくなった両極性拡散の観測的兆候として解釈しました。両極性拡散は前恒星コアの磁場強度を弱めることができ、星形成に必要な重力崩壊を引き起こします。このように、本成果では両極性拡散の兆候を発見に成功したため、初期星形成に必要なメカニズムを解明しました。

## 【今後の展開】

本研究成果は生命や惑星系の起源に関する根本的な問いと結びついています。星形成前のコアにおける物理的・化学的条件を理解することで、惑星、そして生命がどう形成されるかを、よりの確に追跡できるようになります。今後はさらなる前恒星コアを観測し、本研究結果の普遍性を確認すると同時に、ALMA などの高解像度の観測施設を用いて、コア内部におけるドリフト速度の空間的な変動をマッピングすることを試みています。

#### 【参考図】



フィラメント状分子雲に埋め込まれた L1544 前恒星コア

青い線は磁力線を表しており、コアの重力収縮によって曲がっています。赤と緑の点は、それぞれイオン種と中性分子種を表しており、矢印はコア中心へ向かうそれらの流入運動を示しています（中性分子の方が速度が速く矢印が長くなっています）。コアの外側部分では、イオンも中性分子も磁力線に結合していますが、コア内側の中心部では、中性分子が磁力線から切り離され、磁力線に結合したままのイオンに比べてより速い速度で落下していきます。このイオンと中性粒子の解離は「両極性拡散」として知られており、前恒星コアが原始星へと重力崩壊を開始するために不可欠な現象です。この原始星は、やがて太陽系のような恒星系へと進化することになります。

#### 【謝辞】

本研究は自然科学研究機構とドイツ学術交流会（NINS-DAAD International Personal Exchange Program）の助成を受けたものです。

#### 【論文情報】

掲載誌：Astronomy & Astrophysics

タイトル：Probing the ion-neutral drift velocity towards the L1544 prestellar core. Detection of ambipolar diffusion using  $\text{N}_2\text{D}^+$  and para- $\text{NH}_2\text{D}$ .

著者名：Doris Arzoumanian, Silvia Spezzano, Tommaso Grassi, Paola Caselli, Yusuke Tsukamoto, Haruka Fukihara, Yoshiaki Misugi, Felipe Alves, Jaime Pineda, Sigurd Jensen, Elena Redaelli, and Alexei Ivlev

D O I : 10.1051/0004-6361/202658871

#### 【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学 高等研究院 アルズマニアン ドリス准教授

TEL : 092-802-4371

Mail : arzoumanian.doris.958@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

**Kyushu  
University** **VISION 2030**  
総合知で社会変革を牽引する大学へ