



星のゆりかごに広がる放射状ガス構造の起源を解明

大質量星や星団が生まれる環境を読み解く鍵に

ポイント

- ① 大質量星や星団が生まれる現場として、ハブ・フィラメント系分子雲（分子雲，※1）が知られている。この天体では、複数の細長いフィラメント状ガス構造が、中心領域から放射状に並ぶことが観測で見ついている。しかし、この特徴的な構造がどのように形成されるかはよく分かっていない。
- ② 磁場がくびれた形をもつ分子雲に、高速の星間衝撃波（※2）が入射する状況を3次元シミュレーションで調べた。その結果、放射状に整列したフィラメント構造が形成される新たなメカニズムを明らかにした。
- ③ 本成果は、ハブ・フィラメント系分子雲の形成を統一的に理解する手がかりを与えるものである。今後、観測や理論研究を組み合わせることで、銀河の中で星や星団がどのような環境で生まれるのかの理解が深まることが期待される。

概要

宇宙では、星は分子雲と呼ばれる低温のガスの集まりの中で生まれます。なかでも、大質量星や星団が形成される現場として注目されているのが、「ハブ・フィラメント系分子雲」です。この天体では、複数の細長いガス構造が、中心の高密度領域へ向かって集まっています。しかし、このような放射状に整列したフィラメント状ガス構造が、どのような物理過程によって作られるのかは分かっておらず、その形成機構の解明が求められていました。

本研究では、磁場がくびれた形を持つ分子雲に、高速の星間衝撃波がぶつかる状況に着目しました。そして、中心に向かって放射状に伸びるフィラメント状ガス構造が形成されることを明らかにしました。さらに、星の材料となる高密度ガスが、フィラメントに沿って選択的に中心へ流れ込み、周囲の低密度ガスとは異なる運動を示すことを見いだしました。

九州大学大学院理学研究院町田正博教授の研究室所属の大学院理学府博士課程3年の野崎信吾氏、名古屋大学大学院理学研究科の犬塚修一郎教授の研究グループは、3次元磁気流体数値シミュレーションを用いて、星間衝撃波と砂時計型の磁場構造を持つ分子雲との相互作用を調べました。その結果、曲がった磁力線に沿って生じる斜めの衝撃波によって特徴的なガスの流れが発生し、中心へ向かって放射状に整列した複数のフィラメント状ガス構造が発達することを示しました。さらに、形成されたフィラメントの幅や長さ、ガスの流れる向きが、実際に観測されるハブ・フィラメント系分子雲の特徴とよく一致することを明らかにしました。本研究のシミュレーションには、国立天文台が運用する天文学専用スーパーコンピュータ「アテルイIII」（※3）が利用されました。

今回の成果は、大質量星や星団がどのように材料となるガスを集めて成長するのかについて、新しい理解の仕方を示すものです。特に、ガスが分子雲全体から一様に集まるのではなく、高密度のフィラメント状ガス構造を通じて選択的に運ばれることを示した点は重要です。この結果は、星形成の効率が数パーセント程度にとどまる理由を理解するための鍵となります。今後は、観測との詳細な比較を進めることで、銀河の中で星や星団がどのような環境で生まれるのかの理解が深まることが期待されます。

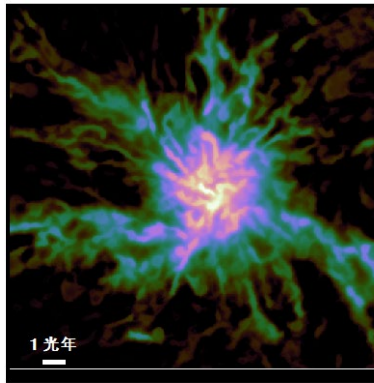
本研究成果は、米国の天文学誌 The Astrophysical Journal Letters に2026年3月18日（日本時間）に掲載されました。

野崎信吾氏からひとこと：

今回の研究では、観測で見えている特徴的なガス構造が、どのような物理過程で作られるのかを示すことができました。放射状に並ぶ構造は一見すると特殊に見えますが、衝撃波と磁場の組み合わせによって自然に生まれることがわかりました。今後は、さまざまな形のハブ・フィラメント系分子雲を統一的に理解することを目指したいです。

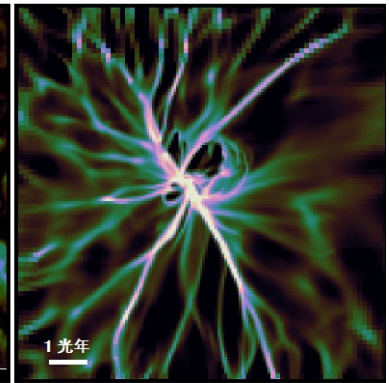
図 1

Mon R2 領域に観測されたハブ・フィラメント系分子雲



© M. S. N. Kumar, ESA/Herschel, NASA/JPL-Caltech (Spitzer)

本研究の数値計算で形成されたハブ・フィラメント系分子雲



© S. Nozaki & S. Inutsuka

【研究の背景と経緯】

宇宙で星が生まれる場所として、分子雲の中に見られる細長いガス構造「フィラメント」が注目されています。なかでも、複数のフィラメントが中心の高密度領域へ向かって放射状に集まるハブ・フィラメント系分子雲は、大質量星や星団が形成される重要な現場として注目されています。実際に、近年の観測によって、このような構造はさまざまな星形成領域で見つかっています（図1左）。一方で、なぜこのような整った放射状構造ができるのか、その物理的な起源はこれまでよく分かっていませんでした。これまでの理論研究で、星間衝撃波と磁場の相互作用によってフィラメントが形成されることは明らかになってきました。しかし、ハブ・フィラメント系分子雲に特徴的な「中心へ向かって放射状に並ぶ複数のフィラメント」の形成メカニズムは未解明のままでした。

【研究の内容と成果】

そこで本研究グループは、実際の分子雲では磁場が一様ではなく、重力の影響で中央に向かってくびれた形をしていることに注目しました。そして、そのような分子雲に高速の星間衝撃波がぶつかったときに何が起こるのかを、国立天文台の天文学専用スーパーコンピュータ「アテルイIII」を用いた3次元磁気流体数値シミュレーションによって詳しく調べました。その結果、衝撃波の通過後に、衝撃波によって掃き集められたガスがくびれた磁場によって流れの向きを変えられ、中心方向に向かって細い流れに分裂しながら集まることで、放射状のフィラメント構造が形成されることがわかりました（図1右）。また、形成されたフィラメントの長さや幅は、実際に観測されているハブ・フィラメント系分子雲の特徴とよく一致していました。

さらに、ガスの運動には密度による明瞭な違いが現れることもわかりました。高密度のガスほど中心方向に大きな速度を持つ一方で、周囲の低密度ガスは中心方向の速度が小さいことが明らかになりました。これは、分子雲全体のガスが一様に中心へ集まるのではなく、衝撃波によって形成された高密度のフィラメントが、中心部への質量輸送を主に担っていることを示しています。こうした構造と運動の違いは、衝撃波が曲がった磁場構造と相互作用することで特徴的なガスの流れが生じ、圧縮された層が分かれて複数の細長い構造が形成されることで生まれると考えられます。今回の結果は、ハブ・フィラメント系分子雲に見られる特徴的な形と、高密度ガスが選択的に集まる仕組みを、一つの物理過程で説明できることを示しています。

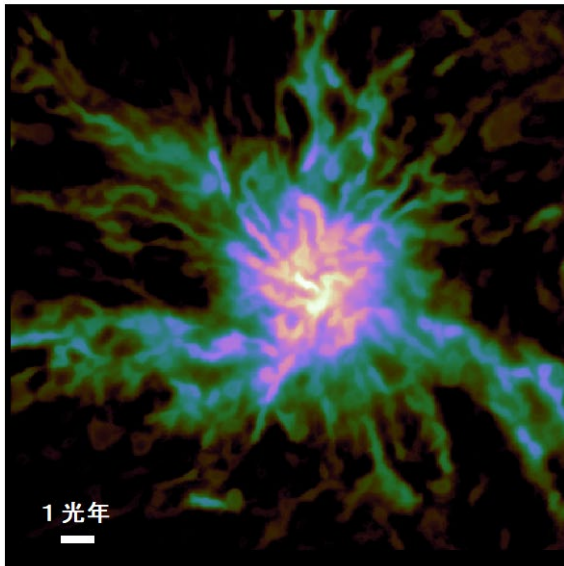
【今後の展開】

近年の観測では、ハブ・フィラメント系分子雲には、放射状に強く整列したものから非対称で複雑な形を示すものまで、さまざまな形態が見つかっています。その違いが何によって決まるのかは、星形成研究における重要な課題です。今後は、衝撃波の向きや強さ、分子雲の密度構造、磁場構造などの条件を系統的に調べることで、こうした多様なハブ・フィラメント系分子雲を統一的に説明する形成シナリオの構築が期待されます。さらに、今回明らかになったような衝撃波起源のハブ・フィラメント系分子雲から、どのような大質量星や星団が生まれるのかを調べるのが重要です。これにより、分子雲の環境の違いが、そこで生まれる星や星団の性質にどのように影響するのかを理解する研究へと発展すると考えられます。こうした研究が進むことで、銀河の中で星や星団がどのような場所に、どのような条件のもとで生まれるのかを理解する、より大きな枠組みの研究へとつながることが期待されます。

【参考図】

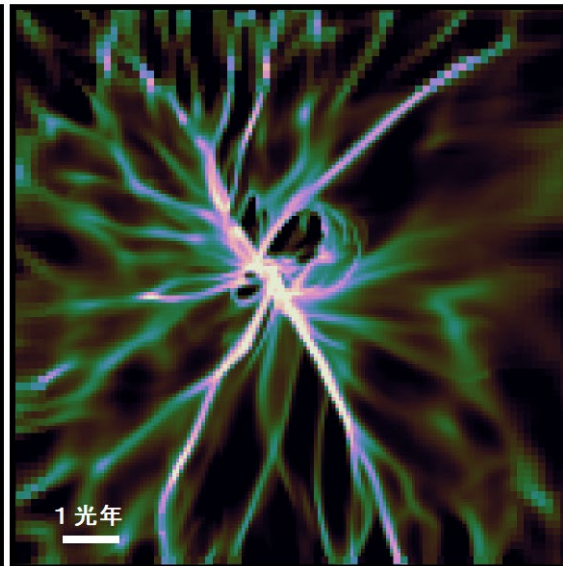
図 1. 観測されたハブ・フィラメント系分子雲と本研究のシミュレーションで形成された構造の比較
(説明) 左は実際に観測されたハブ・フィラメント系分子雲、右は本研究の3次元磁気流体数値シミュレーションで形成された構造を示しています。どちらも、中心の高密度領域へ向かって複数の細長いガス構造(フィラメント)が放射状に伸びる特徴を持っています。本研究は、このような特徴的な構造が、曲がった磁場をもつ分子雲に高速の星間衝撃波が作用することで形成されうることを示しました。

Mon R2 領域に観測された
ハブ・フィラメント系分子雲



© M. S. N. Kumar, ESA/Herschel,
NASA/JPL-Caltech (Spitzer)

本研究の数値計算で形成された
ハブ・フィラメント系分子雲



© S. Nozaki & S. Inutsuka

【用語解説】

(※1) 分子雲

説明・・・星の材料となる、低温で濃いガスや塵の集まり。宇宙の中でも比較的密度が高く、水素分子を多く含むため「分子雲」と呼ばれます。新しい星は主にこの中で生まれます。

(※2) 星間衝撃波

説明・・・宇宙空間のガスの中を伝わる、強い圧縮の波。大きな星のまわりでガスが勢いよく広がる時や、星が一生の最後に大爆発を起こすときなどに生じます。通り過ぎるとガスが急激に押し縮められ、密度や流れ方が大きく変わるため、分子雲の形や星形成に影響を与えることがあります。

(※3) スーパーコンピュータ「アテルイIII」

説明・・・国立天文台が運用する天文学専用のスーパーコンピュータ。総理論演算性能は 1.99 ペタフロップスの性能を有し、メモリバンド幅が大きい「システム M」とメモリ容量が大きい「システム P」の 2 つのシステムから構成されています。本研究ではシステム P の大容量メモリをいかし、大規模なシミュレーションが行われました。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 (JP25H00394, JPMJSP2136) の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：The Astrophysical Journal Letters

タイトル：An Origin of Radially Aligned Filaments in Hub-filament Systems

著者名：Shingo Nozaki and Shu-ichiro Inutsuka

D O I : 10.3847/2041-8213/ae4c84