

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：62616

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K23463

研究課題名（和文）ミリ波観測による低質量星形成領域におけるフィラメント形成シナリオの確立

研究課題名（英文）Establishing the scenario of the filament formation in low-mass star-forming regions with millimeter observations

研究代表者

島尻 芳人（SHIMAJIRI, Yoshito）

国立天文台・アルマプロジェクト・特任准教授

研究者番号：90610551

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、運動情報を電波観測により得ることで、運動学の観点からフィラメント形成過程を明らかにし、フィラメント形成シナリオの確立を目指すことを目的としている。本研究では、以下の2点を明らかにした。(1) 連続波と複数の分子輝線の動径方向のプロファイルを比較から、連続波と分子輝線とは、異なるフィラメント幅を示すことを明らかにした。(2) フィラメントに対する分子輝線データと分裂中のフィラメントの簡易モデルの速度構造関数の比較等から、観測されたフィラメント中のコアは、重力不安定による分裂によって形成されたことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2010年ごろにいたるところで、フィラメント構造が検出されて以来、フィラメント形成の研究は注目を集めてきた。特に、そのフィラメントが0.1pcという特徴的な幅を持つか否かは、大きな論争を予備、10年以上たった今でも結論を得ていなかったが、本研究は、その糸口を示すことに成功した。また、大部分の星形成コアがフィラメント上にあることから、形態学的な証拠から、コアはフィラメントから分裂して形成されたと考えられていたが、本研究では、運動学的証拠から分裂を示すことに成功した。これらの成果は、星形成の理解において重要な星形成の母体であるフィラメントの形成の理解に大きく貢献したと言える。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify the filament formation process from the viewpoint of kinematics and to establish a filament formation scenario by obtaining kinetic information through molecular line observations. In this study, the following two points were clarified. (1) By comparing the radial profiles of the continuum and multiple molecular emissions, we found that the filament width measured in each tracer shows a different width. (2) Comparison of the velocity structure-function between a simple model of the fragmenting filament and observed data indicates that the observed cores in the filaments were formed by fragmentation due to gravitational instability.

研究分野：天文学

キーワード：フィラメント形成 星形成 ミリ波

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

星の生まれ方(星形成)の解明は、現代天文学の重要課題だけでなく、人類共通の知的関心の対象である。過去のおうし座分子雲等に対する系統的な観測研究から、「分子雲(密度が  $10^2 \text{cm}^{-3}$  程度の数 10-100pc 程度に広がったガスの塊)→高密度( $\sim 10^{4-5} \text{cm}^{-3}$ )のコアの自発的重力収縮→中心星への質量降着→誕生初期の星(原始星)から極方向に高速でガスを吹き飛ばす(分子流)」といった星形成シナリオが確立してきた。

しかし、ハーシェル望遠鏡による観測により、0.1pc 幅のフィラメントが全ての分子雲において検出され、この星形成シナリオの描像を大きく変えた(Andre+2010)。このフィラメント幅は、理論研究から、磁気流体力学(MHD)乱流によってフィラメントが形成されたことを示唆している(Padoan+2001)。大部分の星を生むもととなるコアは、フィラメントに埋もれている(Konyves+2015)。つまり、星はフィラメントを介して形成され、フィラメントが星形成の母体であることを示唆している。ハーシェルの観測や追加観測の結果から、

- (a) MHD 乱流がフィラメントを形成
- (b) フィラメントの重力により周辺ガスがフィラメントへ流れ込むことで、フィラメント質量が増加し重力不安定が起こる
- (c) フィラメントからコアへ分裂

といったフィラメント形成シナリオが提唱された。

### 2. 研究の目的

しかし、このシナリオの実証には、電波観測により、(1)フィラメント幅の普遍性の確立と(2)フィラメントからコアへの分裂過程の解明をする必要がある。本研究の目的は、(1) および(2)を取得済みの電波観測でデータを用いて、運動学の観点からフィラメント形成シナリオを実証することである。

### 3. 研究の方法

以下に、既を取得済みの分子輝線データ(IRAM30m, 野辺山 45m, NOEMA など)を用いた(1)および(2)の解決方法を詳細に述べる。

#### (1) 0.1pc のフィラメント幅の普遍性の解明

ハーシェルの結果をもとに統計的にフィラメント幅を調査した結果、フィラメントは 0.1pc という特徴的な幅を持つことが報告されていた(Arzoumanian+2013, 2019)。しかし、分子輝線観測の結果では、多様性が報告されていた(Lee+2014, Hacar+2018)。これは、分子輝線は、分子によって、捉えることができる密度域が連続波と比べて狭く、分子輝線による測定は、その制限を受けていると考えられる。そこで、同じフィラメントを連続波および複数の分子輝線で観測して、動径方向プロファイルの比較を行うことで、仮説を検証する。

#### (2) フィラメントからコアへの分裂過程の解明

コアがフィラメントから分裂して形成されたことを示すため、分裂中のフィラメントの簡易モデルを作成し、モデルと観測の速度構造関数を比較することで、分裂の運動学的証拠を得る。

### 4. 研究成果

本研究では、大きく分けて以下2点を明らかにした。

#### ■0.1pc のフィラメント幅の普遍性の支持

星形成領域として有名なオリオン座分子雲 B 中にある NGC2024 領域のフィラメントに対して、ハーシェル望遠鏡で取得された連続波データ、野辺山 45m 鏡で取得された分子輝線データ ( $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$ ,  $\text{H}^{13}\text{CO}^+$ )、NOEMA 望遠鏡で取得された分子輝線データ ( $\text{H}^{13}\text{CO}^+$ ) から、動径方向プロファイルのトレーサー間での比較を行った。結果、連続波で測定されたフィラメントの幅は約 0.1pc と先行研究を支持するが、動径方向プロファイルはトレーサー間で異なり、高い密度を捉えることができる分子ほど、測定された幅が狭いことを観測から明らかにした(図 1)。これは、分子輝線による幅の測定には、大きなバイアスがあることを示し、フィラメント幅の普遍性の議論をするためには、同じトレーサー間で比較をする必要があることを示している。

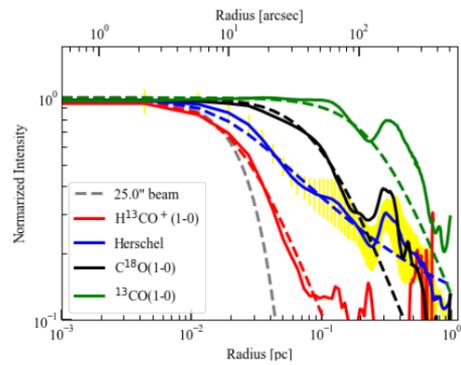


図 1: 連続波(青:Herschel)と分子輝線(赤: $\text{H}^{13}\text{CO}^+$ 、黒: $\text{C}^{18}\text{O}$ 、緑: $^{13}\text{CO}$ )の動径方向プロファイルの比較。

### ■ コアからフィラメントへの分裂

フィラメントが分裂している場合と、していない場合の速度場の簡易モデルを作成し、モデルと観測の速度構造関数を比較した。結果、観測データから得られた速度構造関数は、フィラメントが分裂している場合のモデルの速度構造関数と類似していることを明らかにした(図 2)。このことから、フィラメントが分裂していることを運動学の観点から示すことに成功した。

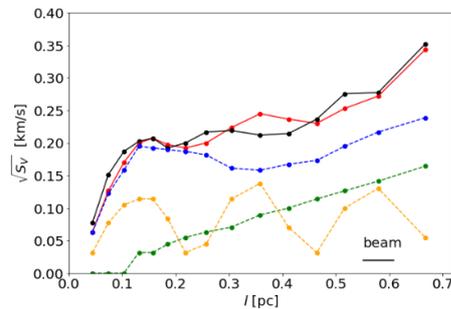


図 2: 観測(黒)、分裂フィラメントモデル(赤)、分裂なしフィラメントモデル(他)の速度構造関数の比較。

以上のように、本研究では、これまで、明らかになっていなかった、トレーサー間のフィラメント幅の違いを明らかにするとともに、コアからフィラメントへの分裂の運動学的証拠を得ることに成功した。今後は、本成果をもとに、本研究を大質量星形成領域における検証に拡張することで、低質量星形成領域に対する観測から提唱されたフィラメント形成シナリオの普遍性の検証を行う計画である。

### [参考文献]

1. Andre Ph., Men' shchikov A., Bontemps S., 2010, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 518, id.L102, 7 pp.
2. Padoan P., Juvela M., Goodman A., 2001, *The Astrophysical Journal*, Volume 553, Issue 1, pp. 227-234.
3. Konyves V., Andre Ph., Men' shchikov A., 2015, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 584, id.A91, 33 pp.
4. Arzoumanian D., Andre Ph., Peretto N., 2013, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 553, id.A119, 15 pp.
5. Arzoumanian D., Andre Ph., Konyves V., 2019, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 621, id.A42, 31 pp.
6. Lee, K. I., Fernández-López, M., Storm, S., et al. 2014, *The Astrophysical Journal*, Volume 797, 76
7. Hacar, A., Tafalla, M., Forbrich, J., et al. 2018, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 610, A77

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 島尻芳人
2. 発表標題 Witnessing the fragmentation of filaments into prestellar cores in Orion B/NGC 2024
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島尻芳人
2. 発表標題 Witnessing the fragmentation of filaments into prestellar cores in Orion B/NGC 2024
3. 学会等名 Nobeyama Science WS 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島尻芳人
2. 発表標題 ミリ波サブミリ波で探るフィラメント形成
3. 学会等名 (サブ)ミリ波単一鏡の革新で挑む, 天文学の未解決問題
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島尻芳人
2. 発表標題 Nobeyama Open-use Highlights I: Core And Filament Formation/Evolution In Natal Environments
3. 学会等名 ALMA/45m/ASTE users meeting (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島尻芳人
2. 発表標題 星間空間における大局的なガス分布と星形成フィラメント分子雲形成
3. 学会等名 様々なスケールの衝突流による誘発的星形成-大質量星から超大質量星団まで- (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島尻芳人
2. 発表標題 Universality of star formation efficiency in dense molecular gas
3. 学会等名 銀河星形成研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島尻芳人
2. 発表標題 電波観測で探る星形成フィラメントの形成過程
3. 学会等名 宇電懇シンポジウム2021 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="https://sites.google.com/view/yoshitoshimajiri/top">https://sites.google.com/view/yoshitoshimajiri/top</a>
---

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
フランス	CEA/Saclay			
英国	Cardiff University	University of Central Lancashire		
ポルトガル	Universidade do Porto			
ギリシャ	University of Crete	Foundation for Research and Technology		
スペイン	Instituto Radioastronomia Milimetrica			