

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和4（2022）年度 中間評価用〕

令和4年3月31日現在

研究期間：2020年度～2024年度
課題番号：20H05645
研究課題名：重水素分子で探る星形成の極初期

研究代表者氏名（ローマ字）：立松 健一（TATEMATSU Ken'ichi）
所属研究機関・部局・職：国立天文台・野辺山宇宙電波観測所・教授
研究者番号：40202171

研究の概要：

本研究の目的は、星形成の未解決問題、(a) 星形成の始動条件（安定な分子雲コアがどのように不安定になり、星形成に至るのか）、(b) 分子雲コアの角運動量はどのように変化し星形成に至るのか、を重水素を用いた分子雲コアの年代測定という新しい技法を用いて探求することである。

研究分野：電波天文学

キーワード：星形成、分子雲コア、始動条件、重水素

1. 研究開始当初の背景

天文学研究において、重水素を含む分子の電波観測の重要性が極めて高まっている。1 番目の理由は、人類最強の電波望遠鏡アルマによって、極めて高分解能の観測が可能になったが、ほとんどの分子が（ダストへの吸着などによる）depletion によって存在量が著しく減少し、低温(10-20K)の「星なしコア」（原始星が誕生する前の分子雲コア）の観測が難しいことが判明したからである。気相で形成される重水素を含む分子は depletion の影響を受けにくいことが観測的に明らかにされており、ドップラー効果により速度場が調べることができる分子トレーサとして星なしコアの研究に極めて重要である。2 番目の理由は、特に気相で形成される重水素を含む分子は、星形成の直前直後に最大値を取ることが化学モデル計算で示されているからである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、星形成の未解決問題、(a) 星形成の始動条件（安定な分子雲コアがどのように不安定になり、星形成に至るのか）、(b) 分子雲コアの角運動量はどのように変化し星形成に至るのか、を重水素を用いた分子雲コアの年代測定という新しい技法を用いて探求することである。星形成がどのように始動するかは、実はまだわかっていない。安定な星なしコアが、不安定になって星形成を開始するメカニズムとしては、乱流の散逸、質量の降着、コアの振動によるエネルギー散逸、などの可能性が指摘されているが、どれが正しいかは、まだ不明である。この研究のために、星形成に至るコアのサンプルを集め、その進化を追うことが喫緊の課題である。角運動量は、連星系誕生の頻度、惑星の誕生の仕方を決める重要な物理パラメーターである。周知のように恒星の半分以上は連星であり、また、惑星系の誕生の仕方は生命居住可能（ハビタブル）惑星との関連で重要である。分子雲コアの年代測定を基に、比角運動量の進化（減少の様子）を研究する。

3. 研究の方法

本研究では、重水素を含む分子の観測を可能にする 72-116 GHz の 7 ビームのマルチビーム受信機を開発し、野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載し、重水素を含む分子を用いた代表的な星形成領域のサーベイ観測を遂行する。7 ビームを用い、両偏波を観測するために、初段に 72-116 GHz の極低雑音アンプを用いる。

4. これまでの成果

本研究で製作した野辺山 45m 電波望遠鏡用の新 7 ビーム受信機は、ほぼ完成の状態にあり、2022 年度前半に新型コロナの状況を見ながら、望遠鏡に搭載予定である。

野辺山 45m 電波望遠鏡と既設の受信機を用いて、107 個の SCUBA-2 コアを含む 44 領域の On-the-Fly マッピング観測を行った。重水素の割合が観測されているコアを中心に 82~94GHz での分子 N_2H^+ 、 HC_3N 、および CCS の輝線を観測した。 N_2H^+ および HC_3N 輝線の分布は、 $850 \mu m$ のダスト連続放出の分布に似ていた。CCS 輝線は検出されないか、または、 $850 \mu m$ のダスト連続波のピーク位置を取り巻くように分布していた。原始星の方向では 12% の分子雲コアで CCS が検出されたが、これは原始星付近の高い励起によると考えられる。分子雲コアの進化に従って、非熱的速度分散が変化している様子は観測されなかった。このこと

は、星形成の始動条件として、乱流の散逸があまり効いていないことを示唆するのかもしれない。

5. 今後の計画

3年目の2022年度は、受信機を野辺山45m電波望遠鏡に搭載し、立ち上げ・試験観測を行う。4-5年目の2023-2024年度には、星形成の規模が大きく異なる、我々の銀河系内の代表的な星形成領域、おうし座、へびつかい座、オリオン座、赤外線暗黒星雲のサーベイ観測を行い、その違いを分子雲コアの進化を追いつつ比較研究という新しい切り口で研究する。またアルマ望遠鏡を用いた高分解能・高感度 follow-up 観測を提案遂行する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

arXiv2203.12885, ApJ, in press, 2022-03

Nobeyama Survey of Inward Motions toward Cores in Orion Identified by SCUBA-2

*Tatematsu, Ken'ichi; Yeh, You-Ting; Hirano, Naomi; Liu, Sheng-Yuan; Liu, Tie; Dutta, Somnath; Sahu, Dipen; Evans, Neal J., II; Juvela, Mika; Yi, Hee-Weon; Lee, Jeong-Eun; Sanhueza, Patricio; Li, Shanghuo; Eden, David; Kim, Gwanjeong; Lee, Chin-Fei; Wu, Yuefang; Kim, Kee-Tae; T'oth, L. Viktor; Choi, Minh; Kang, Miju; Thompson, Mark A.; Fuller, Gary A.; Di Li, 20; Wang, Ke; Sakai, Takeshi; Kandori, Ryo; Hsu, Shih-Ying; Chiong, Chau-Ching; JCMT Large Program SCOPE collaboration; ALMASOP collaboration

MNRAS. 510, pp. 5009-5022, 2022-03

ATOMS: ALMA Three-millimeter Observations of Massive Star-forming regions - V. Hierarchical fragmentation and gas dynamics in IRDC G034.43+00.24

*Liu, Hong-Li; Tej, Anandmayee; Liu, Tie; Issac, Namitha; Saha, Anindya; Goldsmith, Paul F.; Wang, Jun-Zhi; Zhang, Qizhou; Qin, Sheng-Li; Wang, Ke and 29 more (Tatematsu, Ken'ichiは39名中21番目)

ApJ...925..144S, 2022-02

The ALMA Survey of 70 μ m Dark High-mass Clumps in Early Stages (ASHES). V. Deuterated Molecules in the 70 μ m Dark IRDC G14.492-00.139

*Sakai, Takeshi; Sanhueza, Patricio; Furuya, Kenji; Tatematsu, Ken'ichi; Li, Shanghuo; Aikawa, Yuri; Lu, Xing; Zhang, Qizhou; Morii, Kaho; Nakamura, Fumitaka; Takemura, Hideaki; Izumi, Natsuko; Hirota, Tomoya; Silva, Andrea; Guzman, Andres E.; Sakai, Nami; Yamamoto, Satoshi

ApJS..256...25T, 2021-10

Molecular Cloud Cores with High Deuterium Fractions: Nobeyama Mapping Survey

*Tatematsu, Ken'ichi; Kim, Gwanjeong; Liu, Tie; Evans, Neal J., II; Yi, Hee-Weon; Lee, Jeong-Eun; Wu, Yuefang; Hirano, Naomi; Liu, Sheng-Yuan; Dutta, Somnath; Sahu, Dipen; Sanhueza, Patricio; Kim, Kee-Tae; Juvela, Mika; Tóth, L. Viktor; Fehér, Orsolya; He, Jinhua; Ge, Jixing; Feng, Siyi; Choi, Minh; Kang, Miju; Thompson, Mark A.; Fuller, Gary A.; Li, Di; Ristorcelli, Isabelle; Wang, Ke; di Francesco, James; Eden, David; Ohashi, Satoshi; Kandori, Ryo; Vastel, Charlotte; Hirota, Tomoya; Sakai, Takeshi; and 4 more

ApJ...907L..15S, 2021-01

ALMA Survey of Orion Planck Galactic Cold Clumps (ALMASOP): Detection of Extremely High-density Compact Structure of Prestellar Cores and Multiple Substructures Within

*Sahu, Dipen; Liu, Sheng-Yuan; Liu, Tie; Evans, Neal J., II; Hirano, Naomi; Tatematsu, Ken'ichi; Lee, Chin-Fei; Kim, Kee-Tae; Dutta, Somnath; Alina, Dana and 31 more

ApJS..251...20D, 2020-12

ALMA Survey of Orion Planck Galactic Cold Clumps (ALMASOP). II. Survey Overview: A First Look at 1.3 mm Continuum Maps and Molecular Outflows

*Dutta, Somnath; Lee, Chin-Fei; Liu, Tie; Hirano, Naomi; Liu, Sheng-Yuan; Tatematsu, Ken'ichi; Kim, Kee-Tae; Shang, Hsien; Sahu, Dipen; Kim, Gwanjeong and 25 more

7. ホームページ等

<https://www.nro.nao.ac.jp/~kt/html/>