

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料  
〔平成30年度研究進捗評価用〕

平成27年度採択分

平成30年 6月 1日現在

研究課題名（和文） **星間水素の精密定量による新たな星間物質  
像の構築**

研究課題名（英文） Innovation of the “interstellar medium” by  
accurate measurements of the interstellar hydrogen

課題番号：15H05694

研究代表者

**福井 康雄** (FUKUI YASUO)

名古屋大学・大学院理学研究科・特任教授



研究の概要：水素は宇宙を構成するもっとも基本的な元素であり、その精密な定量は宇宙進化を理解する上で重要な課題である。本研究は、従来の水素定量法の問題点を明らかにし、新たなダスト量をもとにした定量法を提案し、従来を一桁上回る 10%程度の精度で水素を精密に定量する方法を基礎づけた。同時に水素原子から水素分子への転移の詳細の解明に取り組んでいる。

研究分野：数物系科学・天文学

キーワード：星間水素、星間ダスト、原子分子転移、銀河進化

#### 1. 研究開始当初の背景

(1) 星間物質、特に主成分である水素の精密な定量は、天文学の長年の重要課題である。星形成の場である星間分子雲は、主成分である水素分子  $H_2$  の放射が観測できないために精密定量が困難であった。 $H_2$  のかわりに微量成分である一酸化炭素分子 CO の波長 2.6mm の電波強度から  $H_2$  の量を推定する手法が通常用いられるが、不定性が大きい。一方星間原子水素 HI ガスの定量は、21cm 輝線が光学的に薄いという仮定の下で行われてきたが、 $\gamma$  線の観測などにより、HI でも CO でも捉えることのできない「ダークガス」の存在を示唆し、大きな謎とされてきた。

(2) 宇宙背景放射観測衛星プランクの観測により得られた、光学的に薄く、ガスと均一に混ざっていると期待されるダストからの放射を使い、HI ガスの総量を、誤差 10%程度の高い精度で求める手法を確立した。

#### 2. 研究の目的

(1) 上記の手法を用い、星間水素原子・分子雲の質量・空間分布と運動状態を精密に求め、星間雲の真の密度分布を明らかにする。  
(2) 星間空間で原子から分子への相転移が起こる物理的条件の詳細を明らかにする。  
(3) 銀河の星形成率を導き、また星間ガスの密度や運動が星形成に及ぼす影響を調べる。  
(4) 星間物質量とガンマ線との比較から、宇宙線の密度を再評価し、宇宙線の起源に迫る。  
(5) サブミリ波放射との比較から、ダストの進化を追求する。

#### 3. 研究の方法

(1) CO 分子輝線の超広域サーベイを実施するため、新たにマルチビーム受信機を開発し、NANTEN2 望遠鏡に搭載、全天の 40% をカバーし、銀河系内の分子ガスの分布を余すことなく明らかにする。  
(2) 既存のプランク衛星のアーカイブデータ、HI の全天サーベイデータに加え、GASKAP により新たに取得される HI の高分解能データを用い、これまでに確立した上述の手法を用いて解析する。  
(3) 現在得られる最先端の数値シミュレーションのデータから、輻射輸送計算によって擬似観測を行い、複雑な温度・密度構造にある星間ガスの観測結果を理解する。

#### 4. これまでの成果

(1) 磁気流体力学の数値計算結果を用いて、星間水素ガス (HI ガス) の空間分布の特徴を追究した。その結果、HI ガスは温度 300K を境として低温成分と高温成分からなり、低温成分がフィラメント状に小さな体積を持つのに対して高温成分は広く大きな体積に分布することが分かった (図 1)。このため、伝統的な電波源による吸収による測定は高温成分を選択的に観測することになり、密度の高い低温成分を過小評価する傾向があることが明らかになった。このバイアスが HI の過小評価につながり、福井らの 2015 年の結論が支持される。

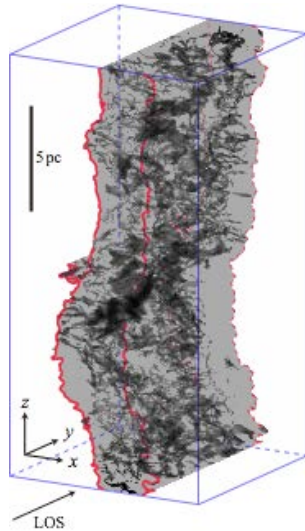


図 1: Inoue & Inutsuka 2012 による磁気流体シミュレーションの結果得られた、衝突する HI ガス流の分布。濃いグレーは温度 300K 以下の低温高密度原子ガス、淡いグレーは 300K 以上の高温低密度ガスを表す。低温ガスは複雑なフィラメント状の構造を持つことがわかる。

(2) マゼラン雲において二つの速度成分が超音速で衝突し、巨大星団が形成されていることを発見した。これは 2 億年前の大小マゼラン雲の相互作用によって加速されたガスが原因となって起きたと考えられる。ダスト量との比較から、ここで衝突しているガスの約半分が小マゼラン雲起源の低重元素ガスであることが導かれた。これは銀河進化における化学進化の詳細にメスをいれた成果である。

(3) 新たに冷却光学系を用いた 2 周波ミリ波マルチビーム受信機(図 2)を設計・開発し、予想される性能を満たしていることを確認した。100GHz 帯 4 ビーム、2 偏波同時受信、サイドバンド分離受信、および望遠鏡の高速駆動とスペクトルの読み出し性能の向上により、これまでの 1 ビーム受信機に比べ、1 桁以上観測効率を向上させることが可能となった。また 230 GHz 帯 1 ビームも同時受信可能で、回転順位  $J=1-0$  と  $2-1$  の 2 つの遷移輝線のスペクトルを得ることができ、分子ガスの密度と温度をより正確に求めることができる。NANTEN2 望遠鏡へ搭載・観測がまもなく開始される予定である。

## 5. 今後の計画

チリの NANTEN2 望遠鏡に新超伝導受信機を設置し、極広域の分子雲観測を実施する。この結果を、HI、ダスト等と比較し、星間ガスの性質、特に水素の原子から分子への転移の詳細を明らかにする。

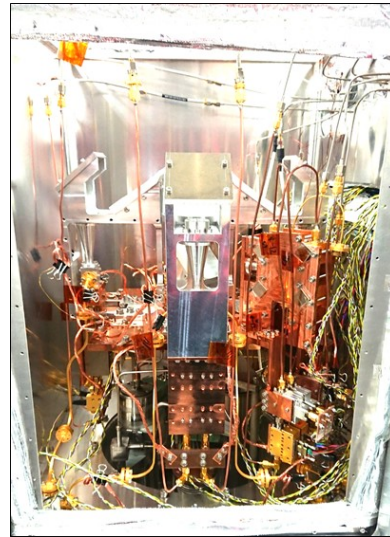


図 2: 新たに開発された NASCO 受信機のデューワー内部。複雑な光学系をなすミラー郡が、超電導ミキサや HEMT アンプなどと共に内部に収められている。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む) (研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

代表的なもの 4 編を以下に記す。

- (1) Fukui, Yasuo, Hayakawa Takahiro, Inoue Tsuyoshi (他 5 名), “Synthetic Observations of 21cm HI Line Profiles from Inhomogeneous Turbulent Interstellar HI Gas with Magnetic Field”, *The Astrophysical Journal*, 2018, 印刷中
- (2) Okamoto, R., Yamamoto, H., Tachihara, K., Hayakawa, T., Hayashi, K., and Fukui, Y., “HI, CO, and Dust in the Perseus Cloud”, *The Astrophysical Journal*, 838, 132, 2017
- (3) Fukui, Y., Tsuge, K., Sano, H., Bekki, K., Yozin, C., Tachihara, K., and Inoue, T., “Formation of the young massive cluster R136 triggered by tidally-driven colliding HI flows”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 69, L5, 2017
- (4) Fukui, Y. (1 番目), Sano, H. (2 番目), Torii, K. (8 番目), Yamamoto, H. (15 番目), Tachihara, K. (18 番目), Onishi, T. (19 番目), Ogawa, H. (20 番目), 他 15 名, “A Detailed Study of the Interstellar Protons toward the TeV  $\gamma$ -Ray SNR RX J0852.0-4622 (G266.2-1.2, Vela Jr.): The Third Case of the  $\gamma$ -Ray and ISM Spatial Correspondence”, *The Astrophysical Journal*, 849, 101, 2017