

成果に関連して出版、もしくは印刷、投稿中の論文リスト

このプロジェクト（同様の過去のプロジェクトも含む）での成果

査読付き欧文誌に投稿中の論文

”TWO-FLUID MHD SIMULATIONS OF CONVERGING HI FLOWS IN THE INTER-STELLAR MEDIUM. I: METHODOLOGY AND BASIC RESULTS”,

Inoue, T., and Inutsuka, S. 2008,

Submitted to ApJ, arXiv:0801.0486

研究代表者の博士論文

”The Role of Thermal Instability in the Interstellar Medium”

Inoue, T. 2008

成果の概要

星間媒質の中低温成分は温度 $T \leq 100$ K, 数密度 $n \sim 10^{1-3} \text{ cm}^{-3}$ 程度の Cold Neutral Medium (CNM) と温度 $T \sim 10^4$ K, 数密度 $n \sim 10^{-1} \text{ cm}^{-3}$ 程度の Warm Neutral Medium (WNM) からなる混相媒質であると考えられている。CNM は HI 雲 ($n \sim 10^{1-2} \text{ cm}^{-3}$) や分子雲 ($n \sim 10^{2-3} \text{ cm}^{-3}$) として観測され、その形成、進化過程に対する理解は銀河進化や星形成の初期条件に対する理解に直結する天文学における重要課題の一つである。

近年、熱的不安定性による CNM 形成過程 (WNM からの暴走的冷却凝縮による相転移過程) が注目され、我々も含めて世界で少なくとも数グループが数値流体力学的手法を用いて精力的に研究を行っている。それら過去の研究から、超新星爆発等を起源とする衝撃波が WNM を圧縮することで熱的不安定ガスを生成し、そこから CNM が形成されることや、形成された CNM が WNM の中で乱流状態を作り出すことが明らかになっている (Koyama & Inutsuka 2002; Audit & Hennebelle 2005; Inoue et al. 2006)。さらに、Heitsch et al. (2006), Vazquez-Semadeni et al. (2007) は、星間媒質を掃く衝撃波が長時間持続される場合 (spiral shock や super bubble) には熱的不安定性により星間媒質のガスは 1000 倍以上に圧縮され、星間媒質の大域的な成分である WNM から分子雲が直接形成されることを流体力学シミュレーションによって示していた。彼らの計算結果は、分子雲の形成及び進化の時間スケールは数 Myr 程度であるとする Hartmann et al. (2001) によって提唱されている “速い分子雲・星形成シナリオ” を示唆するものであった。速い分子雲・星形成シナリオは太陽近傍の詳細観測が可能な高銀緯に存在する分子雲とそこでの星形成の観測を良く説明するシナリオである。

しかしながら、上記の研究は簡単の為にガスと同程度のエネルギーを持っている星間磁場の影響を無視したものであった。そこで本プロジェクトでは星間媒質の弱電離性まで考慮した中性流体と電離流体を記述する 2 流体 MHD コードを開発・運用して、星間弱電離媒質中での熱的不安定性による CNM の形成過程についての高分解能シミュレーションを行った。計算は熱的不安定性の特徴的スケール ($\leq 0.01 \text{ pc}$) を十分に分解する為に 2 次元

で行い、星間媒質の大域的成分である WNM を衝撃波が掃き集め、熱的不安定性が励起される様子をシミュレートした。

その結果、衝撃波面法線と磁場が成す角度が大きい場合には、星間磁場の持つ圧力が熱的不安定性の非線形成長過程のダイナミクスに非常に重大な影響を及ぼし、結果として形成される CNM は分子雲のような高密度状態にはならないことを示した。角度が十分小さい場合には磁気圧の影響が小さくなり、Heitsch et al. (2006) や Vazquez-Semadeni et al. (2007) のように高密度雲が形成されるが、それを許す臨界角は非常に小さく、ほとんどの場合、熱的不安定性は密度の薄い HI 雲を形成することが明らかになった (Inoue & Inutsuka 2008; Inoue 2008)。

本プロジェクトで得られた計算結果は、速い分子雲形成シナリオが示す時間スケール (a few Myr) よりもより長時間かけた HI 雲からの分子雲形成を示唆しており、銀河円盤の赤道面で形成される典型的分子雲のほとんどは長時間かけて形成されることを予言している。また、実際に近傍系外銀河の観測 (Fukui et al. 2001; Blitz et al. 2006) はそのような分子雲の HI 雲からの進化や、長時間進化 (~ 30 Myr) を示しており、本研究の結論と一致していることも興味深い。とは言え、本研究はまだ HI 雲の形成過程を明らかにしたに過ぎず、そのような分子雲形成過程を明らかにするには今後もシミュレーションを通じた研究の進展が必要である。