

星間 HI 雲の蒸発過程と非平衡ダイナミクス

長島雅裕¹、小山洋²、犬塚修一郎¹ (¹ 京大理、² 神戸大自然)

masa@scphys.kyoto-u.ac.jp

我々の銀河系内の希薄な星間ガスは、熱的に安定な二つの相 ($T=10^2\text{K}$ 程度の Cold Neutral Medium [CNM]、 $T=10^4\text{K}$ 程度の Warm Neutral Medium [WNM]) が存在し、圧力平衡にあることが知られている。これらの相がどのように進化するかは星形成や銀河進化と密接に関連する重要な問題である。星間ガスは輻射を通じて外場との熱的な相互作用のある開放系の圧縮性流体力学として定式化ができるが、さらに CNM/WNM の双安定状態にあることから、一種の相転移として見ることも可能である。そのため、非平衡物理としての取り扱いが CNM/WNM 相のダイナミクスの理解に有益な示唆を与えられる。我々は CNM と WNM の間の界面に着目した。非平衡系の物理では界面ダイナミクスは時間依存 Ginzburg-Landau 方程式から出発することが多いが、我々は流体力学の方程式から直接近似を行い界面の運動を記述する以下の式を得た:

$$\begin{aligned} u_d(R) &\simeq u_1 + \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{d-1}{R} \frac{\kappa(R)T(R)}{p} \\ &= u_1 \left[1 - \frac{R_c}{R} \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

ここで $u_d(R)$, u_1 は d 次元球対称及び 1 次元並行平板系の場合の界面を通る流速、 R は球の半径、 $\kappa(R)$ は界面での熱伝導係数、 R_c は臨界半径である。さらに蒸発率は

$$\dot{M} \simeq 4\pi R^2 \rho_{\text{CNM}} u \propto R^2 \left[1 - \frac{R_c}{R} \right] \quad (2)$$

と書け、蒸発のタイムスケールは

$$t_{\text{evap}} \equiv \frac{M}{dM/dt} \propto R \left[1 - \frac{R_c}{R} \right]^{-1} \quad (3)$$

となることがわかり、臨界半径の前後で雲のサイズへの依存性が変わることがわかる。

さらにこれを確かめるため、球対称 1 次元の数値シミュレーション、及び準定常を仮定した数値計算を実行した。図 1 は蒸発のタイムスケールのサイズ依存性を示す。実線は系全体で加熱と冷却が釣り合う圧力 (saturation pressure; 式 1 で $u_1 = 0$ の場合に相当)、破線、一点鎖線は低圧、高圧の場合の準定常を仮定した計算であり、それぞれの線上に乗っているプラス印が数値シミュレーションの結果である。両者とも良い一致を示す。圧力が高いほどタイムスケールが長くなり、蒸発しにくいことがわかる。高圧の場合、0.1pc 程度で一旦発散し、サイ

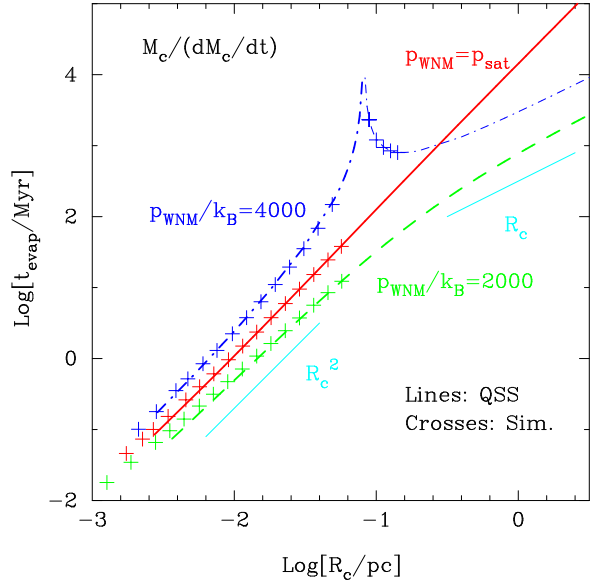


図 1: 雲の蒸発のタイムスケール、 M/\dot{M} 、の雲のサイズ依存性。実線、破線、一点鎖線はそれぞれ $p/k_B = 2823$ (saturation pressure), 2000 (低圧), 4000 (高圧) の場合の準定常を仮定した計算結果。それぞれの線上に示されているプラス印は非定常数値シミュレーションの結果である。 $p \neq p_{\text{sat}}$ の場合、雲のサイズが小さい場合と大きい場合で $t_{\text{evap}} \propto R_c^2, R_c^1$ となっているが、これは解析的な近似式で理解できる。

ズの大きい雲では逆に成長する。この結果より、ここが臨界半径に相当していることがわかる。2005 年になって初めて発見された tiny HI clouds (Braun & Kanekar 2005; Stanimirović & Heiles 2005) のサイズ、 $\sim 0.01\text{pc}$ 程度の雲は 1Myr 程度で蒸発するが、0.1pc 程度の雲では WNM の圧力に大きく依存することがわかった。

さらに、saturation pressure 以外の場合は、臨界半径程度を境に解析的近似解で示したように蒸発のタイムスケールのサイズ依存性が変わっていることも確かめられた。

次のステップとして、自己重力を考慮した場合についても計算を行う予定である。

References

- Braun R., Kanekar N., 2005, A&A, 436, L53
- Nagashima M., Koyama H., Inutsuka S., 2005, MNRAS, 361, L25
- Nagashima M., Koyama H., Inutsuka S., in prep.
- Nagashima M., Inutsuka S., Koyama H., in prep.
- Stanimirović S., Heiles C., 2005, ApJ, 631, 371