

ガスの状態方程式と星間雲の分裂質量の関係

水野 友理那 (東北大学大学院 理学研究科)

Abstract

ガスの熱進化とフィラメントの分裂時期を考えることで、分裂片の質量は見積もることが出来る。指数を γ とするポリトロップガスのフィラメントを考える。 $\gamma > 1$ の場合、フィラメントの対称軸への収縮が止まる時点で分裂する。その後分裂片は、球対称に収縮する。一方、自己相似収縮するポリトロップ球に対して棒状の摂動を加えた結果、 $\gamma < 1.097$ で摂動が成長することが分かった。両者の結果は、 $1 < \gamma < 1.097$ の範囲ではどのように変化するか不明であるため、今後の研究に繋げていきたい。

1 イントロダクション

理論的に星間ガス雲の分裂はフィラメント形状を経て進むと考えられている。また、観測的にも星間ガス雲はフィラメントの集合体であることが知られている。これらから、フィラメントの分裂により分子雲コア形成が起こると考えられている。

$T \propto \rho^{\gamma-1}$ となるポリトロップガスを考える。以下では熱進化を γ の変化として考える。分裂片 (分子雲コア) の質量はフィラメントが分裂する時点でのジーンズ質量で与えられる。

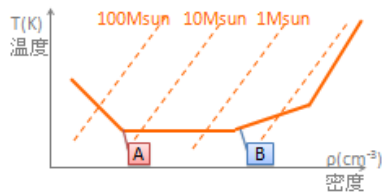


図 1: 星間ガスが収縮するときの温度と密度の関係の例。実線は星間ガスの熱進化、破線は力学平衡となる雲の質量 (ジーンズ質量) を表す。A でフィラメントが分裂した場合、形成される質量は $\sim 10M_{\odot}$ となる。B で分裂した場合、分子雲コアの質量は $\sim 10^{-1}M_{\odot}$ である。

2 フィラメント形状の収縮と状態方程式

半径 R のフィラメントが収縮している場合を考える。単位長さ当たりの質量を M_{line} として、フィラメントの圧力勾配と重力の比を考える。

圧力勾配は

$$|F_P| = \frac{K\rho^{\gamma-1}}{R} \propto R^{1-2\gamma} \quad \because \rho \propto R^{-2}$$

重力は

$$|F_g| = \left. \frac{d\Phi}{dr} \right|_{r=R} = \frac{2GM_{line}}{R}$$

これらから

$$\frac{F_P}{F_g} \propto R^{2-2\gamma}$$

1. $\gamma > 1$

$F_P/F_g < 1$ で収縮してもある半径 R_{cr} で $F_P/F_g > 1$ となるため、収縮は止まる。

2. $\gamma < 1$

$F_P/F_g < 1$ の場合は収縮し続ける。

3. $\gamma = 1$

安定なフィラメントの密度分布の密度分布は決まった形を持ち (Ostliker(1964))、密度分布から単位長さ当たりの質量は以下の式で与えられる。

$$M_{line,cr} = \frac{2c_s^2}{G}$$

• $M_{line} > M_{line,cr} \rightarrow$ 収縮し続ける

• $M_{line} < M_{line,cr} \rightarrow$ 膨張し続ける

実際の星間空間では、密度が高くなると光学的厚さが大きくなり、冷却が効果的ではなくなる。そのため、高密度で $\gamma > 1$ となった時に収縮が止まる。

3 フィラメント状雲の分裂

力学平衡で無限に長いフィラメントに対して摂動を加える。z 方向の摂動を $\delta\rho \propto e^{ikz + \sqrt{\mu}t}$ と考える。摂動の成長率は図2のようになる。ある波長より長い場合、摂動が成長することが分かる。

図2から最大成長率が存在することがわかる。この時の波数を k_{max} とする。 k_{max} の摂動が成長することで分裂片が形成される。よって、形成さえる分裂片の間隔も $\lambda_{max} = 2\pi/k_{max}$ に対応する。

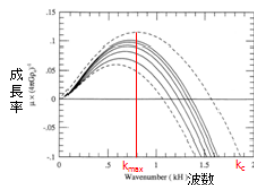


図2: 分散関係式上側の破線が等温の力学平衡なフィラメントの摂動の成長率を表す。図中の k_c より短い波数の揺らぎが成長する。最も成長するの揺らぎは $k_{max} = k_c/2$ である。

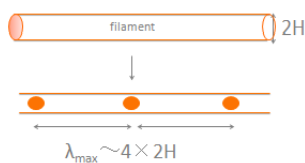


図3: フィラメント状雲が分裂する様子最も成長する揺らぎが分裂片の間隔に対応する

4 分裂片の進化

Inutsuka & Miyama (1997) では、等温で自己相似収縮しているフィラメントに対して摂動を加え、摂動の成長を数値シミュレーションで調べられた。これにより、以下の2つの結果が得られた。

- (i) $M_{line} \sim M_{line,cr}$ (収縮が遅いフィラメント)
→ 球対称に run-away collapse し、分裂する。T
- (ii) $M_{line} > M_{line,cr}$ (収縮が速いフィラメント)
→ 軸方向に収縮し (spindle) し、分裂しない。

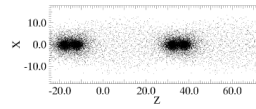


図4: (i) 粒子要素をプロット

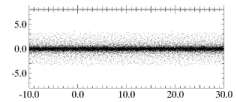


図5: (ii) 左同様

(i) の分裂片はその後、球状に収縮していくことが分かった。(図6参照)

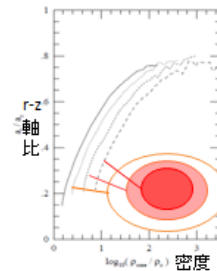


図6: 分裂片の r-z 軸比線は密度等高線の r-z 軸比の時間進化を表す。時間進化に対して軸比が1、すなわち球状に近づいていくことが分かる。

一方、Hanawa & Matsumoto (2000) では、球対称自己相似収縮するポルトローブ球に対して、球面調和関数型の摂動を加えた。摂動の成長率をみたところ、棒状の摂動 ($l=2, m=0$) が成長することが分かった。

図7の成長率の結果から、分裂片が収縮している間に棒状の摂動が成長するのは $\gamma < 1.097$ の範囲である。

5 まとめと今後

1. フィラメントが $\gamma > 1$ となった結果として収縮が止まり、分裂片が形成されることが予想される。

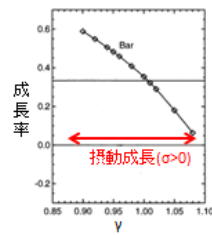


図 7: 棒状な摂動の γ に対する成長率

2. 球対称収縮するポリトロープガスに対して棒状の摂動を加えた場合、 $\gamma < 1.097$ で棒状の摂動が成長する。

今後、 $1 < \gamma < 1.097$ における進化がどのようなものかを研究していきたいと考えている。

Reference

- [1] S. Inutsuka & S. M. Miyama, 1992, ApJ, 388, 392
- [2] S. Inutsuka & S. M. Miyama, 1997, ApJ, 480, 681
- [3] T. Hanawa & T. Matsumoto, 2000 PASJ, 52, 241