

大規模シミュレーションプロジェクト成果報告書

外圧下に置かれた磁化層の3次元自己重力MHD数値実験

プロジェクトID: nm43

梅川 通久(千葉大普遍教育)

1 イントロダクション

オリオン領域を初めとする大質量星形成領域では、分子雲コアやクランプ等の構造が高い外圧の下におかれている事が、Tatematsu et al. (1992)やMaloney (1988)により観測的に知られている。一方で、自己重力不安定性により分裂してクランプやコアに進化する分子雲の圧縮層は、高い外圧下に置かれた場合には自己重力不安定性の非圧縮モードが卓越し、星形成につながる暴走収縮を起こさない安定分裂片へと進化する事が、Elmegreen and Elmegreen (1978)やNagai et al. (1998)の線形解析によって明らかにされている。この理論的帰結は、高い外圧下におかれた領域では星形成が起こりにくいという結果を導くので、大質量星形成領域が現実の高い外圧の下に置かれているという観測結果を説明する為には、高い外圧の下で形成された安定分裂片が暴走収縮に至る仕組みを明らかにしなければならない。

我々はこの仕組みとして、高外圧下で圧縮層から形成された安定小質量分裂片の合体による星形成、という考えを提案した。本研究課題では、磁場や外圧等の不可欠な環境効果を考慮に入れた3次元自己重力MHD数値実験によって、「合体による星形成」が実際に起こり得る事を示す為に、分裂片同士の相互作用を解析した。

2 方法

数値計算は、修正Lax-Wendroff法に数値粘性を加えた3次元MHDコードと、並列化されたICCG法によるPoisson方程式を解くルーチンを併せて使用した。座標系は3次元デカルト座標系とし、 x, y 方向は周期境界、 z 方向は自由境界条件を用いた。スケールハイトを単位として $(x, y, z) = (31, 31, 2.85)$ の、 x, y 方向に広い領域を取り、 $x \times y \times z = 201 \times 201 \times 75$ にグリッドを切った。初期条件として、 $z \geq |z_{\text{halo}}|$ に外圧をかけ、さらにこの圧縮層を大局的磁場が水

平に貫いている状態を想定した。そして、外圧の大きさ、大局的磁場の強度をパラメータとし、外圧が圧縮層中央面上の圧力の0.94倍となる様な高外圧下に置かれた圧縮層の中央面上で磁気圧とガス圧の比が1.0となる強度の y 方向一様磁場に貫かれたモデルで、ランダムな摂動を初期条件の速度場に与え計算を実行した。

3 計算結果

計算結果の密度構造、速度場、磁場形状の時間発展を図1に示す。初期の圧縮層のランダムな摂動が成長して、磁場に平行なフィラメント、続いてフィラメントの分裂によりクランプが形成されている事がわかる。

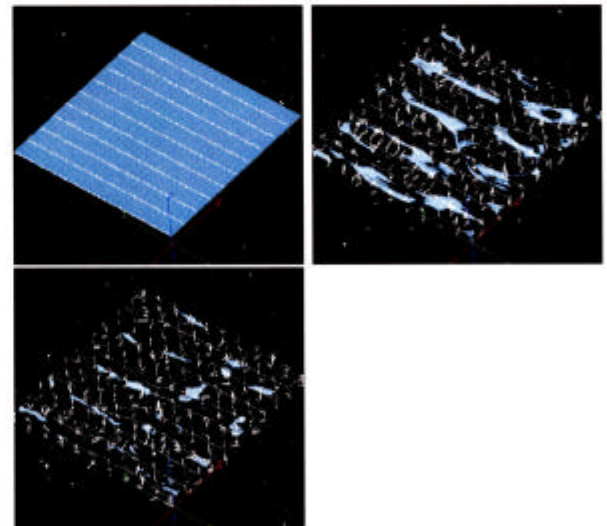


図1: 時刻 $t = 0.0H/c_s$ (左上)、 $17.35H/c_s$ (右上)、 $19.21H/c_s$ (左下)。 H はスケールハイト c_s は音速)。青い等値面は初期の圧縮層中央面上密度の0.94倍、白い等値面は1.0倍を表す。また、曲線は磁力線を、矢印は速度場をそれぞれ表す。

図2に、最大密度の時間発展(a)と、図1の $t = 19.21H/c_s$ における密度構造を鳥観図にしたもの(b)

を示す。(a)より、フィラメントの分裂が起こっている時刻と、最終的にクランプが形成されて以降に、最大密度の上昇が止まって振動する状態のステージが存在する事がわかる。

また、図2 (b)から、もともとのフィラメント構造に起因するクランプの列と同時に、フィラメントを跨ぐ方向にならんだ、相互に影響を与えあっている可能性がある複数のクランプを見る事が出来る。

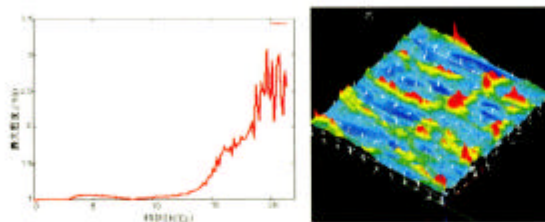


図 2: (a) 最大密度の時間発展(左)と、(b) $t = 19.21 H/c_s$ における密度構造の鳥観表示(右)。(a)において、密度は初期の圧縮層中央面上での密度を1とする。また、(b)において、山になり赤く着色された部分は密度が1.0以上、谷になり青く着色された部分は0.1以下の領域を表す。

4 まとめ

- 外圧が高い場合について、一様磁場に貫かれた圧縮層が磁場に平行なフィラメントを経由して自己重力的に安定なクランプ構造まで分裂し、複数のクランプが相互作用をする所まで、一体的に数値シミュレーションで追うことが出来た。
- 最大密度の時間発展を追うと、圧縮層の分裂が、最大密度1.4-1.8程度で一度落ち着くステージと、その後2.5前後まで上がって振動するステージとが存在する事が分かった。
- 第2段階目で形成されたクランプは、異なるフィラメント構造を起源とするクランプ同士で互いに近い位置に形成される等、相互に作用しあっている物と考えられる。

次の段階として、本研究課題で見出されたクランプ同士の相互作用が、星形成にどう影響を与えるのか、定量的に解明して行く計画である。

reference

- Elmegreen B. G., Elmegreen D. M. 1978, ApJ, 220, 1051
 Maloney P. 1988, ApJ, 334, 761
 Nagai T., Inutsuka S., Miyama S. M. 1998, ApJ, 506, 306
 Tatematsu K., Umemoto T., Kameya O., Hirano N., Hasegawa T., Hayashi M., Iwata T., Kaifu N. et al. 1993, ApJ, 404, 643