

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: hmu08b 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外圧下に置かれている (Tatematsu et al. 1992)。一方、星形成の重要なトリガーである分子雲圧縮層が高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な分裂片が形成される (Elmegreen and Elmegreen 1978; Nagai et al. 1998)。従って、高外圧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する必要がある、我々は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、分子雲同士の合体や磁気的重力的な相互作用が星の形成にどのような影響を与えるかを調べる為に、3次元自己重力 MHD 数値シミュレーションによって分裂片同士の相互作用の解析を目指した。それと共に、ICCG 法によるポアソンソルバーを並列化し、計算速度を高める為の工夫を行なった。

2 方法

MHD シミュレーション

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 法による自己重力のポアソンソルバー併せて使用した。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、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。

並列化 ICCG 法の評価

ポアソンソルバーの ICCG 法はローカライズド法により並列化したので収束回数が最適ではなく、また各 CPU の担当する領域をオーバーラップさせ

ると性能に向上が見られるという性質がある。従って、反復演算の増加と並列加速の効率の関係を明らかにし、最も効率のよい条件で計算を行なう事が望ましい。そこで本プロジェクトでは、cpu 時間の一部を割いて、オーバーラップさせたグリッド数と領域の分割数をパラメータとして、様々なケースでのテスト計算を実行した。

テスト計算として、圧縮層の初期条件に $(x, y, z) = (201, 201, 105)$ のグリッドを取り、初期の 10 ステップの計算について費した cpu 時間を測定した。

3 結果

計算結果

図 1 に計算を開始してから $t = 19.21H/c_s$ 後の最大密度の時間発展 (a) と密度構造鳥観図 (b) を示す。(a) から、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った。また (b) から、別フィラメントを起源とするクランプ同士が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出す事が出来る。

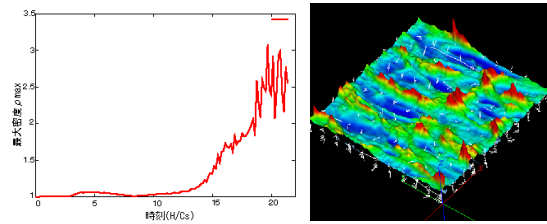


図 1: (a) 最大密度の時間発展 (左) と、(b) $t = 19.21H/c_s$ における密度構造の鳥観表示 (右)。(a) において、密度は初期の圧縮層中央面上での密度を 1 とする。また、(b) において、山になり赤く着色された部分は密度が 1.0 以上、谷になり青く着色された部分は 0.1 以下の領域を表す。

並列化 ICCG 法の評価

3,5,7,15,21cpu での並列計算でオーバーラップグリッド数を 0 から 500,000 まで変えた場合のテスト計算を行なった。ポアソンソルバーに費した cpu 時間を図 2 に示す。3cpu モデルについて、ほとんどのオーバーラップグリッド数の場合で高効率であるのをはじめ、他の cpu 数のモデルでもオーバーラップグリッド数 20 万から 40 万までに最も高速な条件となる事がわかった。

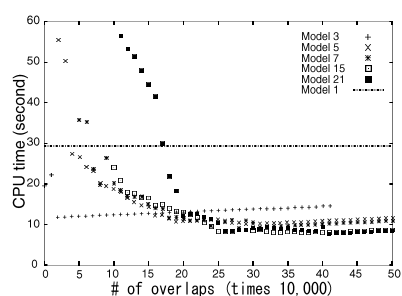


図 2: オーバーラップグリッド数とテスト計算 10 ステップにかかった cpu 時間の関係。各モデル名は並列 cpu 数を表す。

Reference

- Elmegreen B. G., Elmegreen D. M. 1978, ApJ, 220, 1051
- 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