平成 20 年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクト成果報告書

磁場が卓越した分子雲で形成される原始星コア

工藤哲洋 (国立天文台)

利用カテゴリ　XT4B・ SX9A ・ 汎用 PC

星は分子雲で生まれる。分子雲は高密度で低温のガスであるため、比較的小さなスケールで自己重力的に不安定になる。自己重力的に不安定な分子雲は分裂して、その中により密度の高いコアを形成する。そして、そのコアの中で最終的に星が形成される。しかし、分子雲からコアが形成される時に、どのくらいの割合のガスがどれくらいの時間スケールで形成されるのかはよくわかっていない。それは、分子雲がその中に、超音速の乱流と、無視できない強さの磁場を持つ複雑な系であるからである。そこで、本研究では、乱流と磁場を持つ複雑な分子雲の中で、どのように自己重力不安定性が成長しコアが形成されるのか、という問題を 3 次元磁気流体力学の数値シミュレーションによって研究する。

磁場が卓越した分子雲においては磁場がコア形成を抑制するため磁場の拡散時間（$\sim 10^7$ 年）をかけてゆっくりとコアが形成されると見積もられていた。しかし、我々が最近行った研究（Kudoh & Basu 2008）などで、超音速の大きなスケールの流れが分子雲中にあるとそれが磁場の拡散を促進し、力学的な時間（$\sim 10^6$ 年）のオーダーでコアが形成されることが示された。Kudoh & Basu (2008) はそれを 3 次元磁気流体力学数値シミュレーションで示した初めての研究であったが、空間的な分解能が比較的粗い計算で行われた（論文投稿中にレフリーからも指摘された)。その実際上の理由は、磁場が卓越した分子雲の数値シミュレーションでは、時間の刻み幅が短くなると同時に、コア形成までの物理的な時間が長くなるので、磁場が弱い場合に比べて長時間の計算時間を必要とするためであった。(そのため、空間分解能をやや犠牲にして長時間計算していた。)

そこで、平成 20 年度の後期は、これまでよりも高速の新しい計算機システムを利用して空間的な分解能を上げた計算をを行い、Kudoh & Basu (2008) の結果を確かめることを行った。Kudoh & Basu (2008) と同様、磁力線に沿った方向に最初に重力収縮が起こったと仮定し、磁力線に垂直方向に広がった平板状のガスを初期条件として考え、その状態に超音速の流れを与えてコアが形成されるまで計算を行った。図 1 と 2 に、Kudoh & Basu (2008) で行った $(N_x, N_y, N_z) = (64, 64, 40)$ の計算と、今回新たに行った $(N_x, N_y, N_z) = (128, 128, 40)$ と $(N_x, N_y, N_z) = (256, 256, 40)$ の計算結果の比較を示した（N_x, N_y, N_z はそれぞれのグリッド数。z 軸が磁場の方向)。図 1 は、計算領域における最大密度を時間の関数として示した物である。高分解能の計算でも、これまでとほぼ同様のタイムスケールで密度の発散が起こりコアが形成されていることがわかる。超音速の流れがない時は、$t/t_0 \sim 150$ でコアが形成されるので、それに比べるとほぼ一桁小さな時間でコアが形成されている。図 2 にコアが形成された時の密度のカラーマップを示した。高分解の計算のほうがより小さな乱流の構造を追えているが、生成したコアの大きさなどはほぼ同じであった。

従って、Kudoh & Basu (2008) で示したように、磁場が卓越した分子雲において、超音速の大きなスケールの流れがコアの形成を促進し、力学的な時間（$\sim 10^6$ 年）のオーダーでコアが形成されることが確認された。(結果的に、元の空間分解能の粗い計算においても、最終的にできるコアの大きさを分解できるくらいのグリッド数があればよい結果を出す、という論文執筆時の予想が確認された。）今後は、このモデルのパラメータサーベイを行って行く予定である。

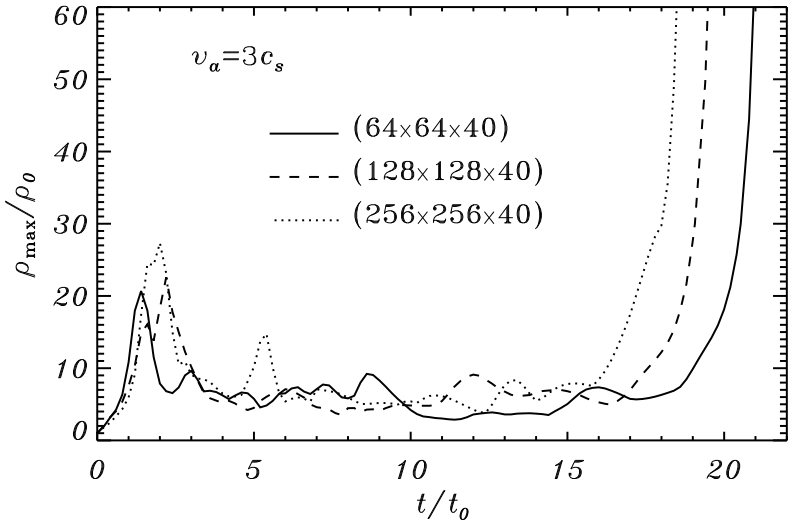

図 1: 密度の最大値を時間の関数で表したもの。線の違いは、計算したグリッド数の違いを表す。多少の違いが出ているのは、初期条件の乱流（平均値は同じ）の具体的な値がグリッド数に依存して異なっているためと思われる。

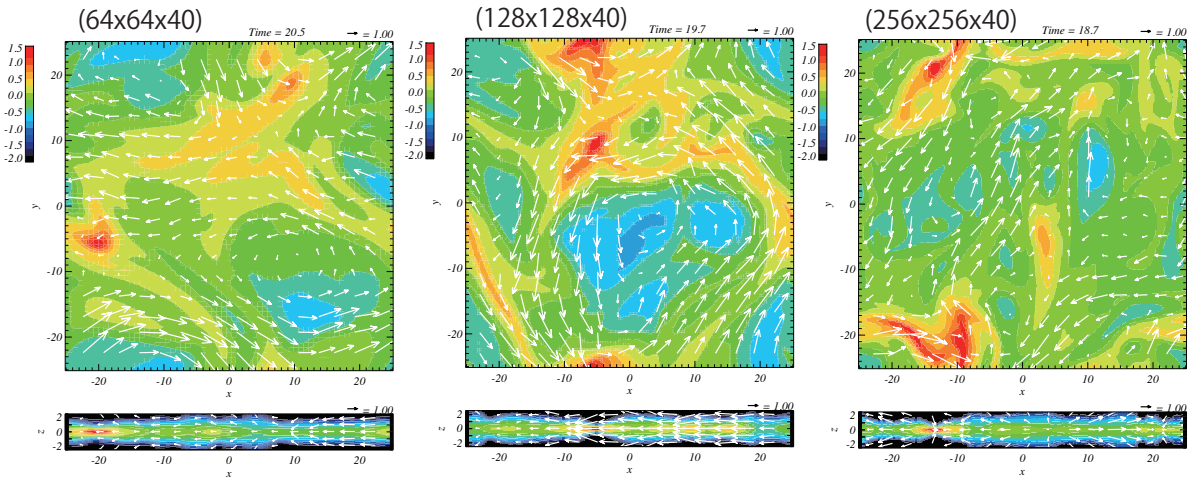

図 2: 密度のカラーマップ。上の図が x-y 面の $z = 0$ での断面図で、下の図が x-z 面のコアの中心を含む断面図。左から右にかけてより空間高分解能の図になっている。密度の高い赤い部分でコアが形成されている。