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

天体ガス円盤における磁気流体現象の 3 次元数値実験

松元亮治 (千葉大学理学研究科)

利用カテゴリ　XT4A ・ SX9A

我々は降着円盤の大局的な 3 次元磁気流体シミュレータとして ARPS (Astrophysical Rotating Plasma Simulator) を、その後、より汎用的な宇宙磁気流体シミュレータとして CANS（Coordinated Astronomical Numerical Software) を開発し、さまざまな問題に適用してきた。現在、降着円盤磁気流体シミュレータの改訂を進めている。平成 20 年度は、XT4 に CANS を実装する作業と近似リーマン解法の一種である HLLD 法に基づくシミュレーションエンジンを追加する作業、輻射磁気流体シミュレーションエンジン実装のための予備的研究を行った。

1. CANS の XT4 への実装

   カーテシアン座標 3 次元磁気流体コードを XT4 に実装した。並列化には MPI を用い、x,y,z 各方向を領域分割した。$400 \times 400 \times 400$ メッシュ、100 タイムステップの計算を XT4 の 64 コア (16 ノード）を用いて実施した場合の計算時間は 360 秒、1024 コア (256 ノード）を用いて実施した場合の計算時間は 31 秒であり、ほぼノード数に比例する性能が得られた。ノード中の 4 コア全てを使用しても 2 コアの場合に比べて計算時間は僅かしか短くならないが、メモリ参照を削減することにより、さらに 3 割程度計算時間を短くすることができる。これらの結果については 2008 年度秋季天文学会で報告した。

2. HLLD 法に基づく磁気流体コードの実装

   三好・草野 (2005) によって考案された HLLD 法に基づく 2 次元、3 次元の磁気流体コードを XT4 に実装してテスト計算を実施した。HLLD 法ではメッシュ境界でのリーマン問題を 4 個の中間状態を用いて近似的に解くことにより、接触不連続面、磁場方向が変化する不連続面等を精度良く解くことができる。また、密度が負にならない、実装が容易で計算速度が速い等の利点を持つ。磁場の誘導方程式は $\nabla \mathbf{B} = 0$ を満たす解法である CT 法を用いて解く。標準的な多次元テスト問題を用いてコードを検証した後、初期に一様な鉛直磁場に貫かれた回転トーラスからのジェット形成シミュレーションに適用し、CIP-MOCCT 法による Kudoh et al. (1998) の結果と一致することを確認した（小川崇之による報告を参照)。

3. 輻射磁気流体コード実装準備

   輻射輸送方程式の 1 次のモーメント式を解く M_1 スキームの実装について検討した。また、川島朋尚らと共同で、超臨界降着流の Flux Limited Diffusion (FLD) スキームに基づく軸対称 2 次元輻射流体シミュレーションを実施した（川島朋尚による報告を参照)。

今後、XT4 に実装した 3 次元磁気流体コードを用いて、降着円盤の準周期振動 (QPO) のシミュレーションを行うとともに、光学的に薄いハードステートの降着円盤から光学的に厚いソフトステート円盤への状態遷移シミュレーションを行う計画である。