

HLLD 法を用いた降着円盤の大局的 3 次元磁気流体シミュレーション

小川 崇之 (千葉大学 理学研究科)

利用カテゴリ XT4MD ・ SX9MD

降着円盤において、磁場は磁気応力による角運動量輸送、それに伴う質量降着、磁気エネルギーの散逸によるガスの加熱、磁気流体ジェットなど、降着円盤の構造や状態遷移に重要な役割を果たしている。このような降着円盤の高解像度な大局的磁気流体 (MHD) シミュレーションを行うには、ロバストかつ精度の高い計算方法が求められる。

Machida et al. (2003, 2006, 2008) では、降着円盤の大局的 3 次元 MHD シミュレーションを行い、磁気エネルギーの散逸による X 線フレアや、ブラックホール降着円盤の状態遷移などの問題に適用してきた。また降着円盤において非軸対称性が発達し、トーラスが三日月状に変形しつつ磁場を増幅すること、蓄積された磁気エネルギーの解放によって、磁場増幅と磁気エネルギーの解放を繰り返す鋸歯状振動を示すことなどを明らかにしてきた。

しかし、従来の我々が用いてきた計算方法は、Modified Lax-Wendroff 法であり、数値振動を引き起こしやすく、また数値拡散も大きなものであった。

そこで我々は、数値振動、数値拡散の小さな高解像度のシミュレーションを行うために、基礎解法として HLLD 法 (Miyoshi and Kusano 2005)、磁場の計算方法として flux-CT 法 (Balsara and Spicer 1999, Gardiner and Stone 2005)、Divergence-cleaning 法 (Dedner et al. 2002) に基づく多次元磁気流体シミュレーションコードの実装を行った。実装したコードのテストとして、これまでに我々は、衝撃波管問題 (Ryu and Jones 1995)、Alfvén 波の斜め伝播 (Toth 2000)、Orszag-Tang Vortex (Toth 2000)、磁気流体ジェット (Kudoh et al. 1998) など他にも多くのテスト計算をおこなった。これらの結果は、先行研究の結果と一致しており、同シミュレーションコードが正しく実装されている事を示している。さらに MPI を用いた並列化を行って国立天文台 XT4 への実装を行い、3 次元円筒座標系コードを用いて、初期に弱い方位角方向磁場に貫かれた回転トーラスのシミュレーションを行い、磁気回転不安定性の成長による磁場の強さなど Machida et al. (2003) の結果と比較し一致を確認した。

また現在、本研究で実装したシミュレーションコードを用いて、国立天文台の大須賀氏と、HLLD 法を用いた 3 次元輻射磁気流体シミュレーションコードの開発を共同研究している。

今後は、本研究で実装した磁気流体コードを用いて、ブラックホール降着円盤の大局的 3 次元磁気流体シミュレーションを行う。初期条件として回転平衡状態にある降着円盤を方位角方向の弱い磁場が貫いているという Machida et al. (2003,2006,2008) と同様の状態を用い、トーラス中で磁気回転不安定性が成長して磁気乱流が発達し、角運動量が効率良く輸送されて降着円盤が形成される過程を追跡する。さらに、方位角方向に多層格子化法

を用いたシミュレーションコードを開発し、軸付近でクーラン条件より決まる時間ステップが短くなりすぎる問題と、また、軸を跨ぐような流れを解けない問題の解決する。

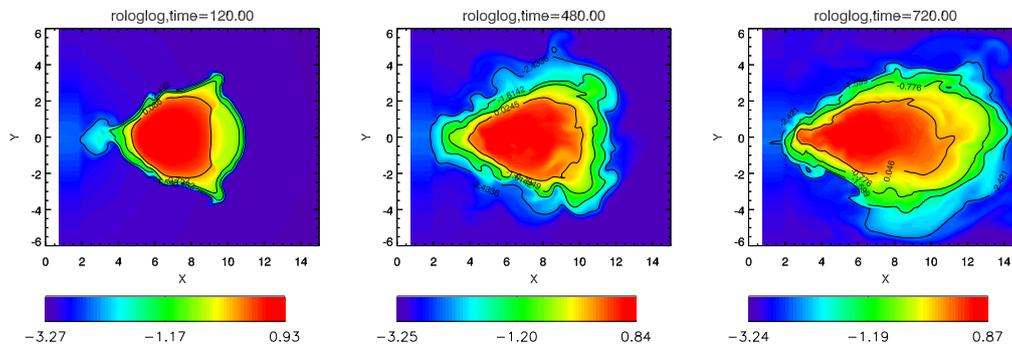


図 1: 円筒座標系での HLLD による $220 \times 32 \times 140$ メッシュでの計算結果、初期条件として、プラズマベータ 100 程度の弱い磁場に貫かれた回転トーラスを置き、その時間発展を計算した。図は、密度分布を表す。time=120 でケプラー半径にあるトーラスが一回転する。