

降着円盤の大局的 3 次元磁気流体数値シミュレーション

プロジェクト ID : hrm01a

研究代表者 : 松元亮治 (千葉大理)

本プロジェクトでは円筒座標系 3 次元の磁気流体 (MHD) コードを用いた大局的な 3 次元数値実験によって降着円盤における磁気回転不安定性の非線形成長、磁気乱流生成、磁場増幅と飽和機構、角運動量輸送、磁束流出とコロナの形成、重力エネルギー・磁気エネルギーの解放機構を明らかにすることを目的として研究を進めてきた。

今年度は、ブラックホールへの降着流をシミュレートするため、重力ポテンシャルとして一般相対論的效果を近似する擬ニュートンポテンシャル $\psi = -GM/(r - r_g)$ (r_g はシュバルツシルト半径) を採用し、トーラスの初期密度最大半径を $r_0 = 50r_g$ 、吸収境界を $r_{in} = 2r_g$ に置いて、中心天体近傍の空間解像度を従来よりも 5 倍高めた長タイムスケールの数値実験を実施した。なお、赤道面での対称性を仮定することにより、上半空間のみを計算領域とした。メッシュ数は (250, 64, 256) とし、 $r = r_0$ で 10 回転以上 ($r = r_{in}$ では約 1000 回転) のタイムスケールの進化を追跡した。電気抵抗として電流密度を j として $\eta = [(j/\rho)/v_c - 1]^2/R_m$ (when $j/\rho > v_c$) の形の異常抵抗を仮定し、エネルギー式にはジュール加熱項を含めた。輻射冷却は無視した。

図 1 左図にシミュレーション結果の密度分布を示す。角運動量の再分配の結果、トーラスが円盤状に変形するとともに、円盤中に渦状の密度構造が発達していることがわかる。図 1 右図は、 $r < 10r_g$ の領域において赤道面に投影した磁力線と赤道面付近の密度分布を示す。シミュレーションの結果、以下の点が明らかになった。(1) 磁気回転不安定性の非線形時間発展の結果として双対称渦状 (BSS) 磁場構造が発達し、維持される。(2) この BSS 磁場に沿って円盤物質が降着し、密度分布は 1 本腕の渦状腕が卓越した構造になる。(3) 円盤内部はガス圧と磁気圧の比 β の平均値が 7 程度の準定常状態に至る。(4) Maxwell ストレスによる角運動量輸送率は従来の降着円盤モデルで角運動量輸送パラメータとして仮定されていた α の値に換算すると $\alpha = 0.01 - 0.1$ になる。(5) BSS 磁場によってできる磁気チャネル中に電流シートが発達して磁気リコネクションが発生し、ジュール加熱率が激しい時間変動を示す。この機構により、ブラックホール候補天体の特徴である X 線強度の激しい時間変動を再現することができた (Machida et al. 2002 in preparation)。X 線スペクトルの計算、ブラックホール候補天体で発見された QPO 現象の再現等が今後の課題である。

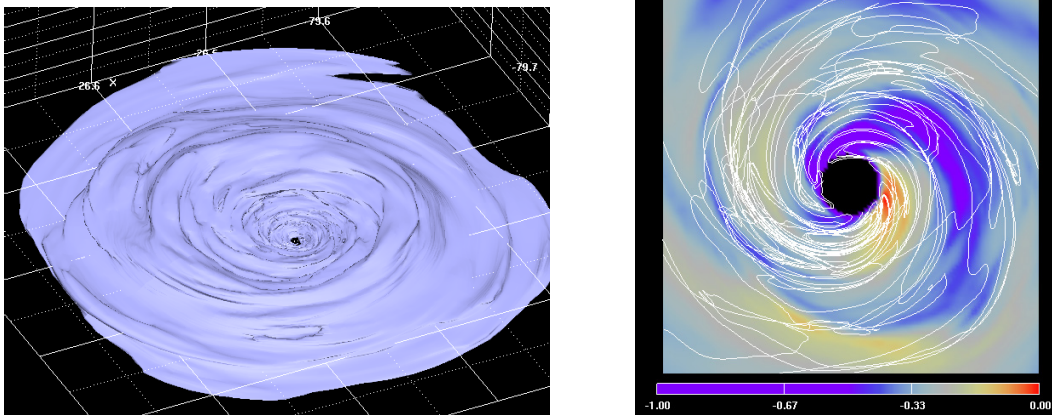


図 1: 左 : ブラックホール降着円盤の 3 次元 MHD 数値実験によって得られた密度分布の等値面 ($t = 30590r_g/c$)、右 : $r < 10r_g$ 領域の密度分布 (グレースケール) と磁力線