

ブラックホール降着円盤の大局的 3 次元磁気流体数値シミュレーション

プロジェクト ID : mrm17a
研究代表者 : 松元亮治 (千葉大理)

ブラックホール候補天体で観測される、さまざまなタイムスケールの時間変動はブラックホールの質量や降着円盤の物理状態を知る手がかりを与えてくれる。しかしながら、従来の降着円盤モデルは角運動量輸送効率をパラメータとしていたためモデルから予測される時間変動のタイムスケールに不定性が残されていた。本プロジェクトでは、現象論的な角運動量輸送パラメータ α を導入しない直接 3 次元磁気流体数値実験によってブラックホール降着円盤の時間変動を調べた。

初期条件は、弱い方位角磁場に貫かれた回転トーラスとし、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) を採用した。トーラスの初期密度最大半径を $r_0 = 50r_g$ 、吸収境界を $r_{in} = 2r_g$ に置いて数値実験を実施した。赤道面对称性を仮定、メッシュ数は (250, 64, 192) 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 $\eta = [(j/\rho)/v_c - 1]^2/R_m$ (when $j/\rho > v_c$) の形の異常抵抗を仮定した。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。

Fig.1 に赤道面密度の時間発展の例を示す (Machida and Matsumoto 2003)。長さの単位は r_g 、時間の単位は $t_0 = r_g/c = 10^{-5} M/M_\odot \text{sec}$ である。降着率は初期トーラスの回転周期程度で変化する。 $10r_g$ よりも内側では $100r_g/c$ 程度のタイムスケールの短周期振動も励起されている。 Fig.2 に $r = 2.5r_g$ での質量降着率の時間変動のパワースペクトル密度 (PSD) を示す。記号は異なるモデルに対応する。いずれのモデルでも振動数 $f \sim 0.01c/r_g$ Hz 付近に折れ曲りが見られる。この振動数からブラックホールの質量が推定できる。それより低振動数側では PSD は $f^{-1.5}$ (点線) に比例し、観測を再現する。さらに低振動数でも PSD の折れ曲りがある。その位置はコロナ密度に依存する。 Fig.3 の実線は計算結果から求めた動径方向の表面密度、圧力、落下速度、音速の分布を示す。破線は $\alpha = 0.08$ 、点線は $\alpha = 0.01$ の移流優勢円盤 (ADAF) の定常解である。 $r = 10r_g$ より内側は $\alpha = 0.08$ 程度の ADAF に近い構造に漸近することがわかった。

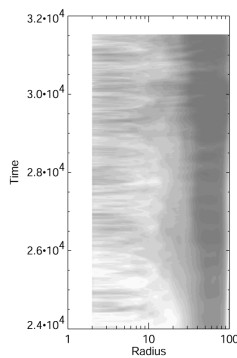


Fig.1

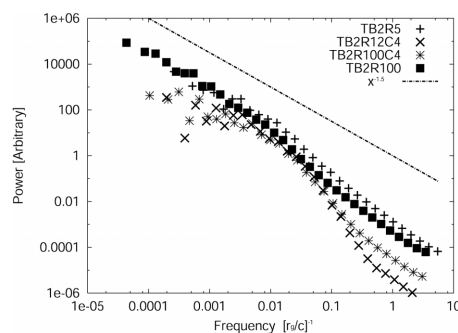


Fig.2

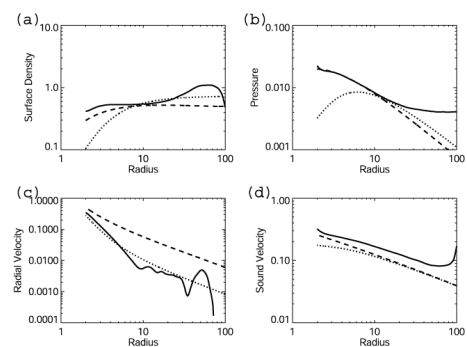


Fig.3

Fig.1 : 3 次元 MHD 数値実験によって得られた赤道面密度分布の時間変化。

Fig.2 : 降着率時間変化のパワースペクトル密度 (PSD)。記号は異なるモデルに対応。点線は $f^{-1.5}$ 。

Fig.3 : ADAF モデルとの比較。実線は計算結果。破線は $\alpha = 0.08$ 、点線は $\alpha = 0.01$ の移流優勢円盤の解。

Reference

- Machida, M. and Matsumoto, R. 2003, ApJ 585, 429