

ブラックホール磁気降着流の大局的 3 次元数値実験

千葉大学大学院自然科学研究科 町田 真美

1 Introduction

白鳥座 X-1 のようなブラックホール候補天体では、光学的に厚い標準降着円盤モデルを拡張した多温度ディスクモデル + パワーロウテイルで説明できる soft-state と光学的に薄い ADAF で説明できる hard-state 等が観測されている。Hard-state の特徴の一つとして X 線強度の激しい時間変動がある (根来ら 1994)。この X 線強度変動はフラクタル的な分布を示す部分と、X 線ショットと呼ばれる数秒間隔で指数関数的に増光してほぼ対称に減光するピークを持つ成分があることが知られている。X 線ショットのモデルとしては ADAF 中を長波長の密度摂動が円盤最内縁で音波として反射する事で生成するというモデルがあるが (萬本ら 1996)、このモデルは角運動量パラメーター α を仮定したモデルであった。そこで、 α 粘性を課しない 3 次元の散逸的磁気流体数値実験を行なうことで、X 線ショットを再現する事を本研究の目的とする。

2 Results

計算の初期条件として、弱い方位角方向磁場に貫かれ、半径 $50r_g$ (r_g はシュバルツシルト半径; 以下 $r_g = 1$ とする) で圧力最大となるような一定の角運動量分布を持つような、回転平衡トーラスを考える。中心天体の重力ポテンシャルとして擬ニュートンポテンシャルを用いる事で、一般相対論的効果を近似する。赤道面に対称境界を置き、円盤外側は自由境界、方位角方向には周期境界条件を採用した。また、 $2r_g$ に吸収境界条件を仮定した。基礎方程式は散逸性 MHD 方程式を採用し、電気抵抗として $\eta = [(j/\rho)/v_c - 1]^2/R_m$ ($j/\rho > v_c$; j は電流密度) の異常抵抗を仮定した。このような系に方位角方向速度にランダム摂動を加えて、時間発展を追った。円盤ガスは磁気回転不安定性

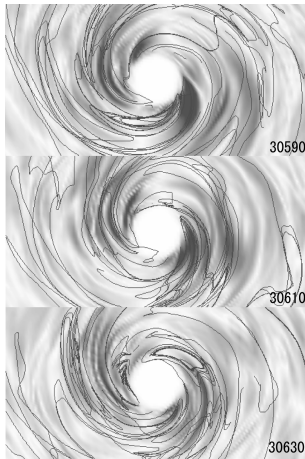


Figure 1: 電流密度の時間発展と磁力線。黒い部分が電流密度の高い領域。

の成長によって効率的に角運動量を失い、中心天体に渦状に降着する。磁場はガスに凍結しているため、密度渦状腕に沿って双対称渦状磁場構造 (BSS) が形成される。このため、強い電流シートが密度渦状腕内に形成される。図 1 はブラックホール近傍 ($-10 < x < 10, -5 < y < 5$) の電流密度分布 (グレースケール) と磁力線の時間発展を示す。時刻 30590 に円盤最内縁付近に形成されている電流シートは、時刻 30630 には散逸していることがわかる。

図 2(a) はジュール加熱率、電流密度の体積積分 ($2 < \varpi < 6, 0 < z < 10$) と $\varpi = 2.5r_g$ の質量降着率の

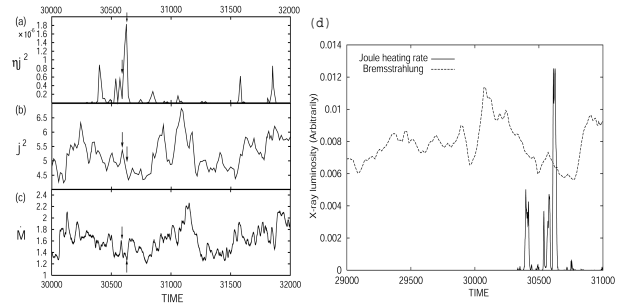


Figure 2: (a) ジュール加熱率、電流密度、質量降着率の時間発展。(b) X 線強度の時間発展

時間変化を示している。図 1 で電流が散逸する時間は矢印で示してある。ジュール加熱率が増加するときに電流密度が急激に減少しており、磁気リコネクションが生じた事がわかる。図 2(b) はソフト X 線は熱制動放射で生じると仮定して計算結果から見積もった X 線強度の時間変動である。質量降着率が上がると X 線も増光し、ガスが中心天体に吸い込まれると減光してその後、磁気リコネクションが起こる事がわかる。

3 Discussion

ブラックホールへの質量降着とその後に生じる円盤最内縁での磁気リコネクションに明らかな相関がある事が示されたので、この機構で白鳥座 X-1 等で観測される X 線ショットを説明してみる。図 3 は質量降着とそれに伴う磁気リコネクションを模式的に示した図である。まず、中心近傍に密度の塊が渦状に降着する。

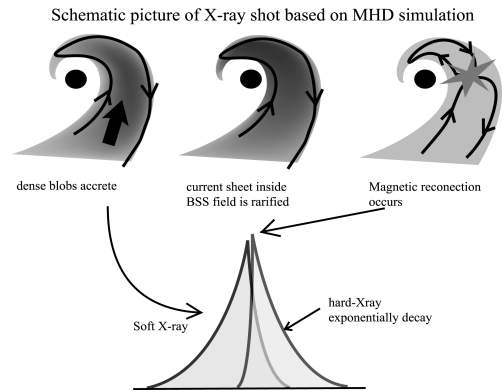


Figure 3: X 線ショットモデル

それにより、ソフト X 線が急激に増光する。ガスと磁場は凍結しているため、渦状の密度分布に沿って BSS 磁場構造が卓越する。BSS 磁場は反平行磁場構造なので、密度渦状腕内に強い電流シートが形成される。密度の塊が中心ブラックホールに吸収されると、ソフト X 線は急激に減光する。電流シート内の密度が下がると磁気リコネクションが発生し磁気エネルギーを熱として解放するため、X 線強度は突然増加し、指数関数的に減光する。この一連の過程で観測される X 線ショットを説明できる。

References

Machida, M. & Matsumoto, R. 2003, ApJ, 585, 429