

中性子星の持つ弱い磁場と降着円盤の磁氣的相互作用の数値実験 (hyk12b)

加藤 成晃 (千葉大自然), 柳橋 歩 (千葉大自然), 宮路 茂樹 (千葉大自然), 松元 亮治 (千葉大理)

1. Introduction

低質量 X 線連星 (LMXBs) において X 線強度が準周期的に時間変動する QPO 現象に関する研究が近年になって再び注目されている。中性子星系の KHz QPO と良く似た特徴を示す QPO がブラックホール候補天体でも発見されたことから, KHz QPO が降着円盤起源である可能性が高くなった。KHz QPO が発生する場所は降着円盤の内縁付近であると考えられており, 中性子星系では中性子星の磁場の強さと質量降着率で決まる磁気圏境界領域である。今年度のプロジェクトでは, pseudo-Newtonian ポテンシャルによって一般相対論的效果を近似的にとりいれた MHD 数値実験により, 磁気圏境界層がどのように時間変動するかを調べ, その領域における降着流の時間変化を詳しく解析した。

2. Simulation results & Summary

中性子星の双極子磁場の中を回転平衡状態にあるトーラスが回転しているという初期モデルから出発してシミュレーションを実施した。系を特徴づける重要なパラメータは中性子星の持つ磁気モーメントであり, 初期のトーラスの中心密度を 10^2 g/cm^3 とした場合, 10^7 G の場合と 10^8 G の場合を計算した。中性子星は回転していないものとした。このため中性子星とトーラスを結ぶ磁場によってトーラス物質の角運動量が抜き取られて, 磁気圏境界へ質量降着が起こり磁気圏が内側へ押し込まれる。中性子星磁場が十分強ければ磁気圧によって降着がせき止められ, 磁気圏境界に降着物質が蓄積される。中性子星と磁気圏境界に蓄積された回転物質を結ぶ磁力線が十分捻れれば, 磁気リコネクションが起こり, 磁気圏境界層に溜っていた円盤物質が磁極へ向かって流れ出す channel flow が発生した。同時に磁気リコネクションによってプラズモイドが放出され, アウトフローが形成された (Fig.2 左)。その後, 溜っていた円盤物質がなくなると磁気圏境界層が外側へ移動し $\sim 10r_g$ 程度の磁気圏が復元された (Fig.2 右)。 $B_* = 10^7 \text{ G}$ の場合, さらに計算を進めると磁気圏が膨張を始め, 二度目の磁気リコネクションが起こった。このとき磁気圏境界が内側へ移動したが, 別の内側の磁気ループが再び膨張しつつあり, 再帰的にリコネクションが起こると考えられる。このような磁気圏境界層における降着流の時間変動のパワースペクトルを調べたところ, 中性子星に近い程ピーク振動数大きくなり, 最大で約 400 Hz 程度となる振動が存在することがわかった。この振動数は磁気圏境界領域での specific angular momentum から求めた各半径でのエピサイクリック振動数に対応している。さらに $3r_g$ 付近では kHz 程度の振動も存在する (Fig.3)。このように PSD によって得られた特徴的な振動数は QPO 現象の振動数を説明し得ることがわかった。

今後, 対称性を仮定しない大局的なシミュレーションによって降着円盤中に励起される様々なモードの波を調べ, QPO のメカニズムを明らかにしていく予定である。

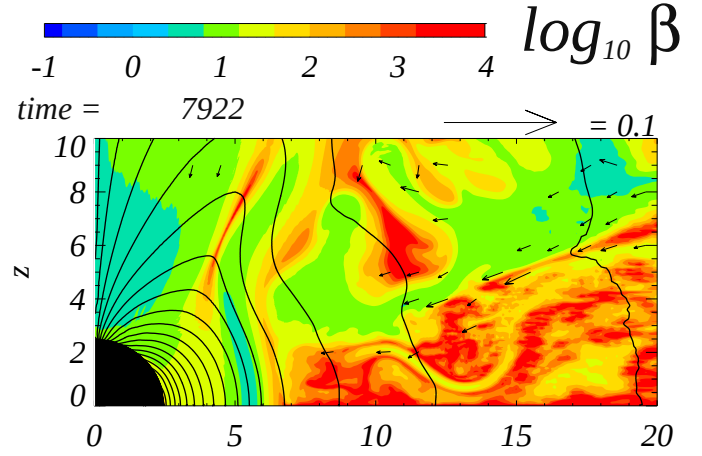


Fig. 1. 10^7 G の場合, 降着物質が磁気圏境界でせき止められている様子。プラズマ β 分布 (カラー) と磁力線 (実線) と速度 (矢印) を表している。長さの単位は r_g 。図右上矢印は光速の 0.1 倍を表す。単位時間は $13r_g$ におけるケプラー回転時間。

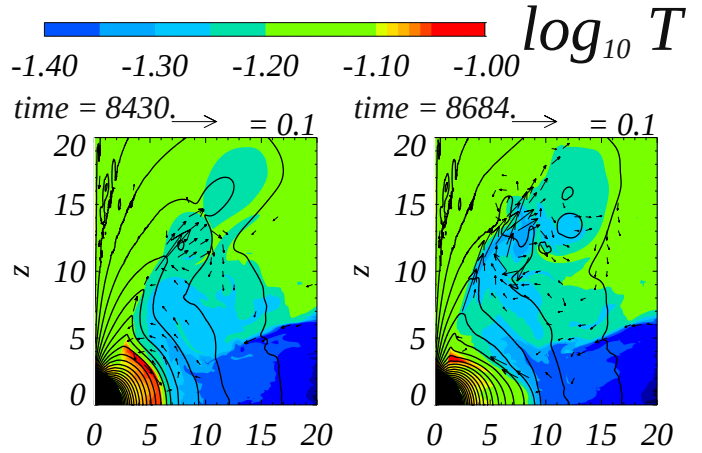


Fig. 2. 磁気圏境界層での最初の磁気リコネクションの様子 (左) と磁気リコネクション後の様子 (右)。温度分布 (カラー) と磁力線 (実線) と速度 (矢印) を表している。

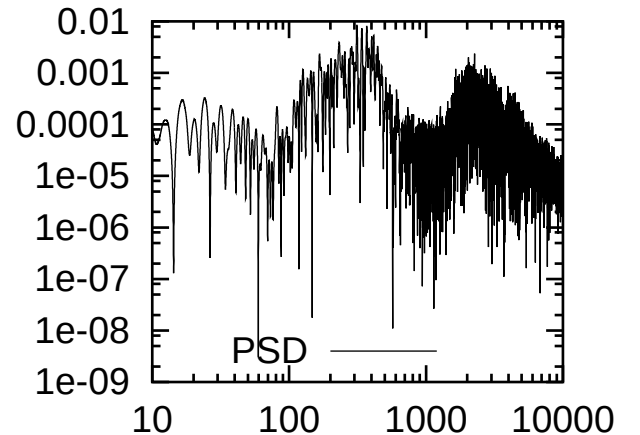


Fig. 3. 磁気圏境界領域 ($3r_g$) での降着流の時間変動のパワースペクトル。横軸は振動数 [Hz] で縦軸はパワー $\times$ 振動数。