

# 中性子星磁気圏境界への降着流の2次元数値実験

加藤 成晃(千葉大自然), 林 満(総研大), 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と同じ特徴を示すブラックホール系からのQPOが発見されたことから、kHz QPOが降着円盤を起源とする物理現象であることが確定的となった。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。本研究では、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結果を示す。

## 2. Simulation results

磁場によって初期トーラスから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が、降着円盤内縁が $\sim 5r_g$ (シュバルツシルト半径)に達すると磁気圧によって円盤物質が磁気圏境界にせき止められた(Fig.1)。磁気圏境界層で磁気ループが十分ねじられると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500Hz程度となる振動が存在することがわかった。さらに $3r_g$ 付近ではkHz程度の振動も存在することがわかった(Fig.3)。

## 3. Discussion and Summary

初期の表面磁場が $10^7, 10^8\text{G}$ のいずれの場合でも、磁気圧によって降着流がせき止められて磁気圏境界層での磁気リコネクションが起こった。その後、半径 $\sim 10r_g$ の磁気圏が復元した。 $B_* = 10^7\text{G}$ のとき、磁気リコネクションが繰り返し起こり、磁気圏境界半径が $5 \sim 10r_g$ の範囲で振動する。このような系では、磁気リコネクションによって駆動されるジェットの存在が強く示唆される。降着流のPSDから得られたピーク振動数( $\sim 500\text{Hz}$ )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。

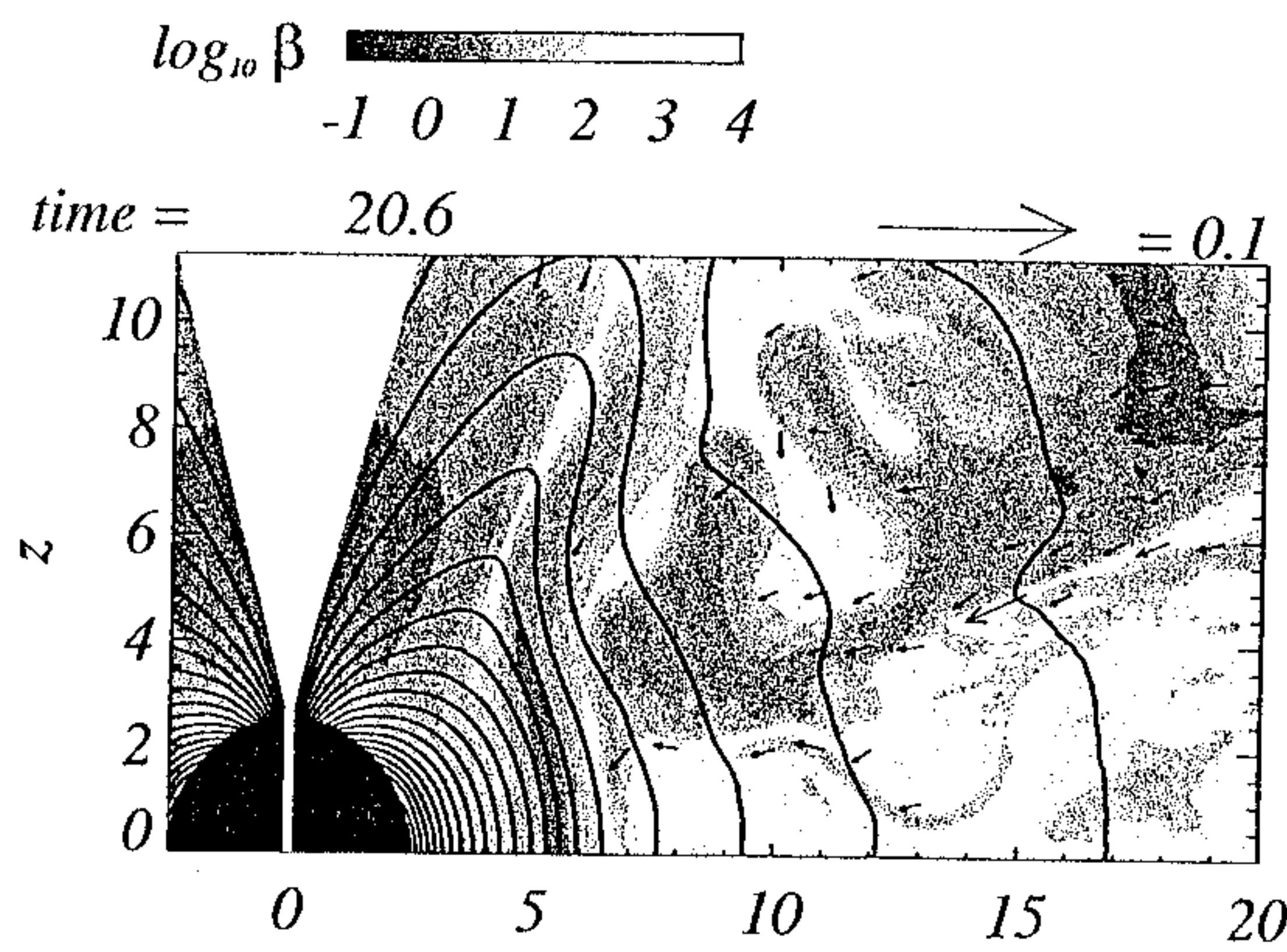


Fig. 1.  $10^7\text{G}$ の場合、降着物質が磁気圏境界でせき止められている様子。プラズマ  $\beta$  分布 (gray-scale) と磁力線 (実線) と速度 (矢印) を表している。長さの単位は  $r_g$ 。図右上矢印は光速の0.1倍を表す。単位時間は  $13r_g$  におけるケプラー回転時間。

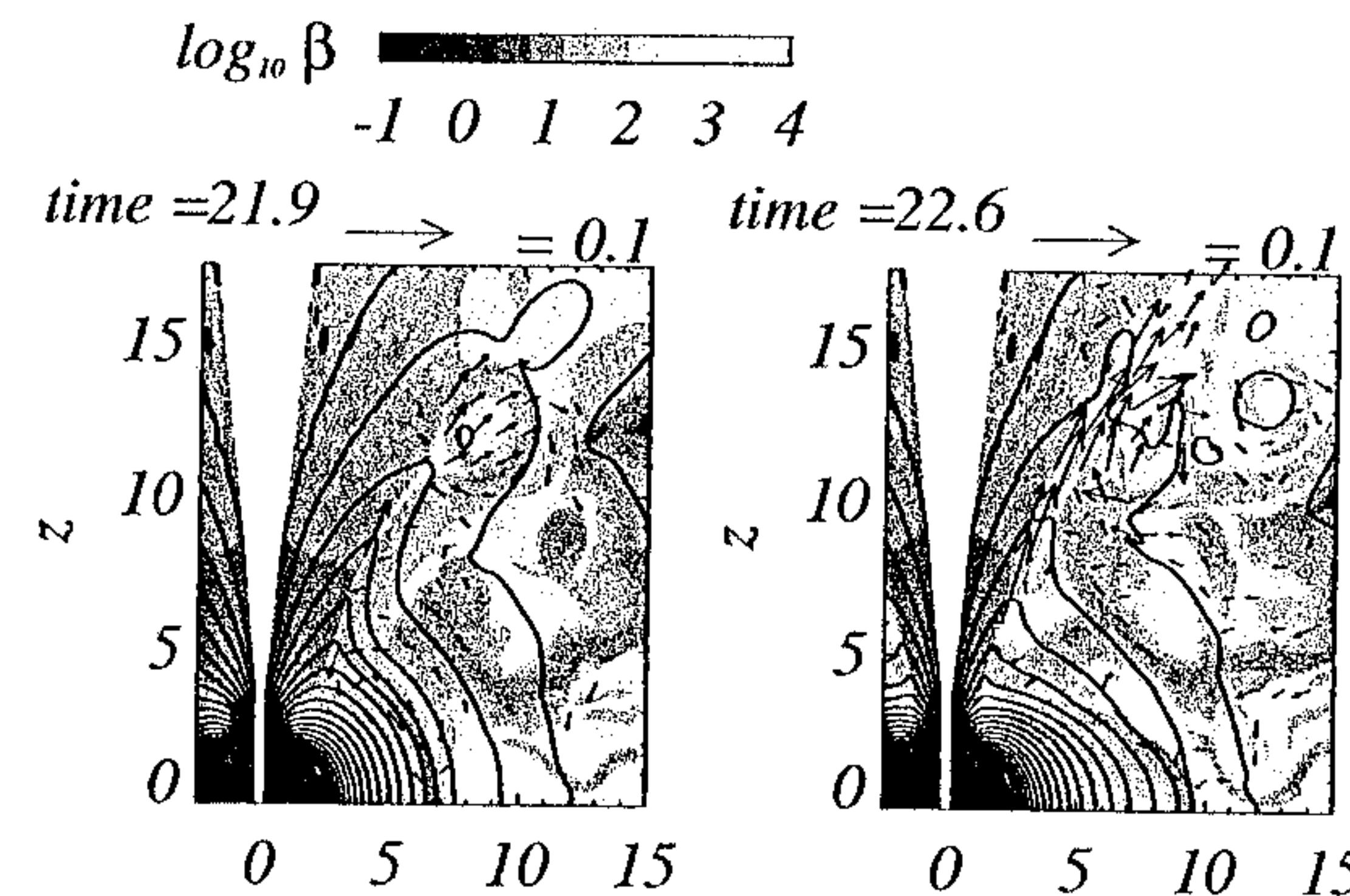


Fig. 2. 磁気圏境界層での最初の磁気リコネクションの様子(左)と磁気リコネクション後の様子(右)。

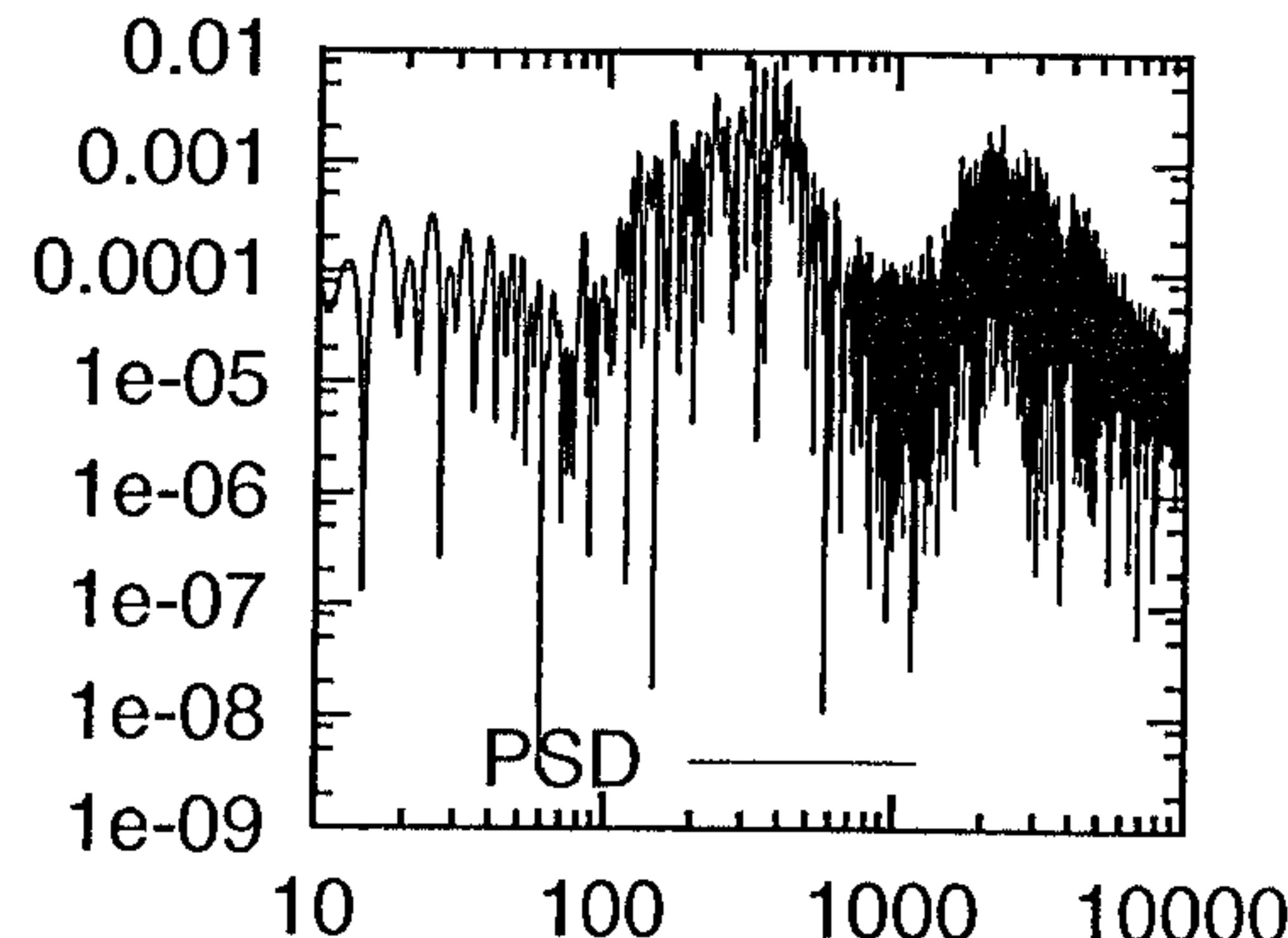


Fig. 3. 磁気圏境界領域( $3r_g$ )での降着流の時間変動のパワースペクトル。横軸は振動数 [Hz] で縦軸はパワー×振動数。