

## 流体近似の無衝突磁気リコネクションにおける温度異方性と遅進衝撃波形成

# 平林 孝太 [1]; 星野 真弘 [2]  
[1] 東大・理・地惑; [2] 東大・理

## Temperature Anisotropy and Slow-Shock Formation in Collisionless Magnetic Reconnection under Fluid Approximation

# Kota Hirabayashi[1]; Masahiro Hoshino[2]  
[1] Earth and Planetary Sci., Univ. of Tokyo; [2] University of Tokyo

Magnetic reconnection has been widely studied as an efficient mechanism for converting magnetically stored energy into thermal and/or kinetic energy in plasmas. Especially, the so-called Petschek type reconnection accompanied by a pair of slow shocks emanated from the localized X-type diffusion region can provide a fast reconnection rate even in plasmas with extremely high magnetic Reynolds numbers as is often the case in astrophysical and space plasmas.

The recent explosive advances in computational power have enabled us to perform particle-in-cell and hybrid simulations which include kinetic effects in collisionless plasmas self-consistently, but the results do not indicate the clear evidence for the formation of the slow shocks predicted by the Petschek model. It is thought that the absence of shocks in kinetic simulations might be caused by the smallness of the simulation box or by the temperature anisotropy due to the PSBL (plasma sheet boundary layer) ion beams accelerated along the magnetic field lines from the diffusion region. Furthermore, it is the rare occasion that the formation of the Petschek-type slow shock is detected in the current sheet of the Earth's magnetotail by in-situ observation of GEOTAIL and ISEE satellites. We may not be able to understand the collisionless magnetic reconnection only by the picture of the Petschek model.

In order to bridge the gap between the Petschek model and the results of kinetic simulations and in-situ observations, we performed a series of 1- and 2-dimensional anisotropic MHD simulations based on the double adiabatic approximation and the Landau closure model. We focused on the effect of the temperature anisotropy on the macroscopic structure of collisionless reconnection layers. The main results are as follows: (1) slow shocks do exist even in the anisotropic fluid, (2) the generated slow shocks are weak and the released magnetic energy is very small, (3) in spite of the weakness of shocks, the resultant reconnection rate is 10-30% larger than that in isotropic MHD.

In our presentation, we discuss the detailed structure of reconnection layers as comparing with isotropic cases.

磁気リコネクションは、蓄積された磁気エネルギーをプラズマ粒子のエネルギーの効率的に変換するメカニズムとして盛んに研究されてきた。とりわけ、局在化した磁気拡散領域から生じる遅進衝撃波を伴った、いわゆる Petschek 型のリコネクションは、宇宙プラズマに普遍的な超高磁気 Reynolds 数の下でも、高いリコネクション率を保つメカニズムとして注目されてきた。

一方、近年の爆発的なコンピュータの進歩に伴い、運動論効果を自己無撞着に取り入れた無衝突プラズマの Particle-In-Cell シミュレーションや Hybrid シミュレーションといった粒子計算が可能となってきたが、それらの結果は、Petschek モデルから予測される遅進衝撃波の形成を明確に支持するものではない。衝撃波が現れない理由として、計算領域が小さいことや、拡散領域から磁力線に沿って加速される PSBL(plasma sheet boundary layer) イオンビームが作る温度の異方性が衝撃波形成を抑制している可能性が指摘されている。また、GEOTAIL 衛星や ISEE 衛星などによる地球磁気圏尾部の「その場」観測から、プラズマシートとロープの境界を横切った際に、遅進衝撃波が観測される例が非常に稀であることも報告されており、無衝突プラズマ中の磁気リコネクションにおいては、Petschek の提唱した描像のみでは理解できない要素も多い。

本研究では、Petschek モデルと、粒子シミュレーションや衛星観測の結果とのギャップを埋める位置づけとして、流体近似による無衝突磁気リコネクションの数値シミュレーションを行い、無衝突リコネクションのマクロな構造を調べる。特に温度異方性に着目し、二重断熱近似と Landau 流体モデルを用いた無衝突 MHD コードを開発、1次元および2次元の計算を行った。主な結果は次の通りである：(1) 異方性入り MHD においても遅進衝撃波は形成される。(2) 衝撃波は非常に弱く、磁気エネルギー解放率も非常に低い。(3) 弱い衝撃波にも拘らず、リコネクション率は等方的 MHD と比べ 1 ~ 3 割程度上昇する。

本発表では、通常の等方的な MHD の計算と比較しながら、温度異方性とその存在下における波動モードの性質に注目してリコネクションレイヤーの構造について議論する。