

## イオンの運動論を考慮した無衝突磁気リコネクション：温度異方性と遅進衝撃波

# 東森 一晃 [1]; 星野 真弘 [1]  
[1] 東大・理

### Ion kinetic effects on collisionless magnetic reconnection: Ion temperature anisotropy and slow shocks

# Katsuaki Higashimori[1]; Masahiro Hoshino[1]  
[1] University of Tokyo

Observations of ISEE and Geotail satellites suggest that two pairs of slow shocks attached to the reconnection diffusion region play an important role on the conversion of magnetic field energy into the kinetic and thermal energy of plasmas in earth magnetotail. In addition, many MHD simulations also support the existence of slow shocks in magnetic reconnection. However, none of the numerical calculations with hybrid codes, where ions and electrons are respectively treated as kinetic particles and fluids, have confirmed slow shocks in the magnetic reconnection.

Although both theoretical and numerical studies about the slow shock have shown that the ion temperature parallel to the magnetic field is higher than the perpendicular temperature in the shock downstream region, observations by the Geotail satellite, in contrast, reported the existence of the higher parallel temperature behind slow shocks. Preceding studies of the magnetic reconnection with hybrid codes also support the higher temperature in the direction parallel to the magnetic field along reconnection layers. The theoretical study about slow shocks with the one-dimensional time stationary assumption indicates that if an ion temperature is higher in the parallel direction, it is difficult to form slow shocks. But no hybrid simulations have confirmed it.

First in this study, using a two-dimensional electromagnetic hybrid code, we performed a large scale simulation of the magnetic reconnection with higher-resolution compared to previous studies. This calculation did not make much difference in the structure of reconnection layers and showed little evidence for slow shocks. Then, we demonstrate a very large scale numerical calculation, where one can expect both the sufficient dissipation of ions and the relaxation of the temperature anisotropy along the reconnection layers. In addition to this large scale simulation of the magnetic reconnection, we show some results of the one-dimensional slow shock simulation with the presence of the ion temperature anisotropy. And we will discuss the relation between the ion dissipation and the temperature anisotropy in detail.

地球磁気圏尾部では ISEE 衛星や Geotail 衛星による過去の観測成果から、磁気リコネクションに伴う Slow shock を介した磁場からプラズマへの効率的なエネルギー転換によって高温プラズマシートが形成されると考えられている。MHD に基づく数値実験からも Petschek 型の磁気リコネクションが確かめられている。一方でイオンの運動論的效果を考慮し電子を流体と仮定した Hybrid コードによる数値実験では、磁気リコネクション境界層における Slow shock は形成されていない。

過去の Slow shock の理論・数値実験に関する研究によれば、Slow shock 下流で磁場に垂直方向にイオンの温度が高くなると考えられている。しかし実際の Geotail 衛星による観測からは衝撃波下流で磁場に平行方向の温度が高くなることわかっている。Hybrid コードを用いた磁気リコネクションの数値実験においてもリコネクション境界層に沿って磁場に平行方向の温度が高くなることが確かめられている。この温度異方性と Slow shock の形成については定常かつ 1 次元を仮定した理論的研究から、磁場に対して平行方向のイオンの温度が高くなる場合に Slow shock が形成されにくくなることわかっているが、イオンの運動論的效果まで含めて詳細に議論したものはない。

本研究ではまず 2 次元 Hybrid コードを用いて、先行研究より高い空間解像度で巨視的磁気リコネクションの数値実験を行った。この結果グリッドサイズを細かくとって先行研究同様に発達したリコネクション境界層はみられるものの、Slow shock は形成されないことを確認した。そこでリコネクション境界層でのイオンの散逸スケールと、リコネクション境界層に沿った温度異方性の緩和に注目し、これまでになかった空間スケールの数値実験を行っている。そしてその結果と併せて、リコネクションにより生じる温度異方性を考慮した 1 次元 Slow shock の数値計算から、イオンの散逸効率と温度異方性の関係について過去の理論との比較を交えて詳細な議論を行う。