

# 地球磁気圏における磁気リコネクションの磁気流体的研究

MHD study of the magnetic reconnection in the geo-magnetosphere

研究代表者：近藤 光志 (愛媛大学宇宙進化研究センター)  
kondo@cosmos.ehime-u.ac.jp

## 研究目的 (Research Objective):

磁気圏尾部の地球磁場同士で形成される対称電流層とは異なり、太陽側地球磁気圏では、惑星間空間(太陽風)磁場と地球双極子磁場の間で形成される非対称電流層で磁気リコネクションが起こる。このような非対称磁気リコネクションでは、高速磁気リコネクションの典型的なペチェック型の不連続構造と大きく異なる構造がリコネクション領域全体で形成されることをこれまでの研究で示してきた[Nitta et al., 2016; Nitta & Kondoh, 2019]。これらの結果は、初期温度対称、つまり電流層を挟んだ両側の音速が同じ場合で計算された。その結果、リコネクション構造の発達速度、特に両側のプラズモイドの伸展速度は、それぞれの領域のアルフヴェン速度に依存することを示した。一方、GEOTAIL 衛星による、太陽側地球磁気圏境界のその場観測結果を解析した結果、図 1 のように、プラズマ温度比は数十、磁場強度比は 1~4 程度であることが示された(Kondoh & Nitta, 2024)。

そこで、本研究では、これらの観測結果に基づいた初期条件(磁場強度比、プラズマ温度比)でこれまでのシミュレーション結果を検証することを目的とする。

## 計算手法 (Computational Aspects):

昨年度までと異なり、磁場強度の非対称な電流シートの非等温初期平衡から、原点付近に初期擾乱を与え、自発的な磁気リコネクションの二次元磁気流体計算を行う。計算コードは、OpenMHD コード(Zenitani, 2015)を使用する。電気抵抗は、原点を中心に矩形型の領域に一様に与え、その磁気レイノルズ数は 24.5 とする。初期磁場強度は、電流シートの下側を固定( $B_d = 1.0$ )し、非対称度に応じて上側磁場強度を与える。例えば、磁場非対称度  $k_m=2$  の場合、上側磁場強度は  $B_u = 0.5$  とする。圧力平衡となるようにプラズマ圧力を与え、プラズマ温度比をパラメータとして密度を与える。境界条件からの影響を排除するため、これまで通り、時刻 0 に原点から出たファストモード希薄波が境界に達するまでを計算する。本研究では、希薄波が境界に達する手前の時刻最大  $t=2300$  までを計算時間とする。なお、初期の磁気中性面に沿った方向を  $x$  軸とし、電流シートに垂直な方向を  $y$  軸とする。

## 研究成果 (Accomplishments) :

図1に示したように、昼側地球磁気圏境界の温度比から、初期温度比を10で固定し、磁場強度比を1, 1.25, 1.43, 2.0の4ケースで非対称磁気リコネクションを調べた結果、基本的な磁気リコネクション構造に違いはなく、ただし、プラズモイド前方に形成されるファストショック強度が予想通りファスト波速度に依存して弱くなることが示された。

一方、磁場強度比を1.35に固定し、温度比を0.18, 0.31, 0.46, 0.61の4ケースで非対称磁気リコネクションを調べた結果、その構造自体は初期温度一定の構造と大きな違いは見られなかった。図2に、初期温度比0.61で計算した結果の磁気圧の二次元構造を示す。等温非対称磁気リコネクション同様、非対称なプラズモイドが形成され、低ベータ側(高アルフヴェン速度側)のプラズモイドが先行し、高ベータ側にファストショックが形成されている。

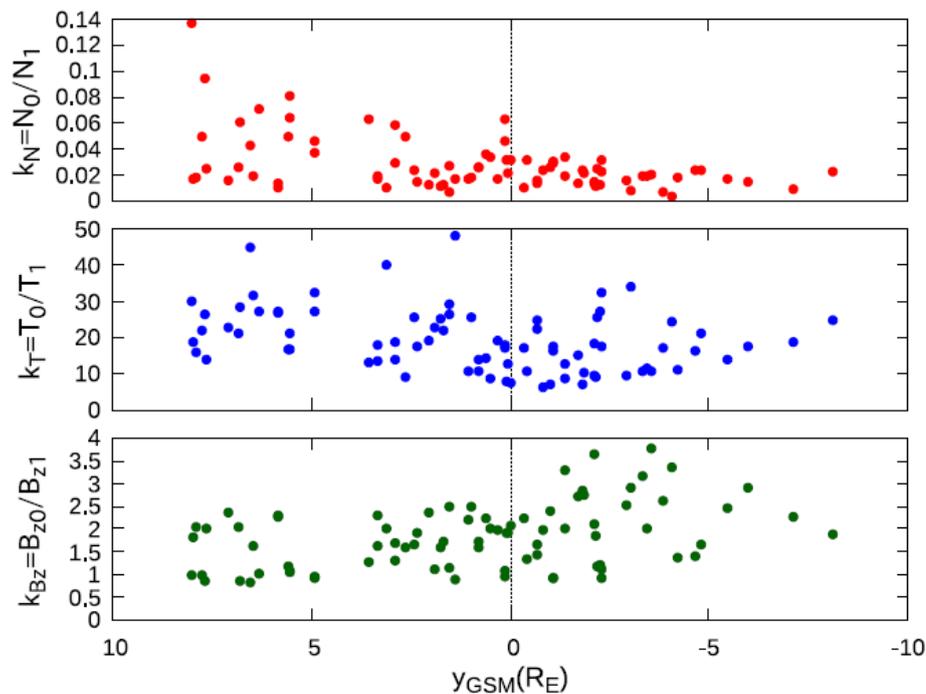


Fig.1 GEOTAIL 衛星で観測された磁気圏境界を挟んだ両側のプラズマ数密度比、温度比、磁場強度比(Fig.5 in Kondoh & Nitta, 2024 より)

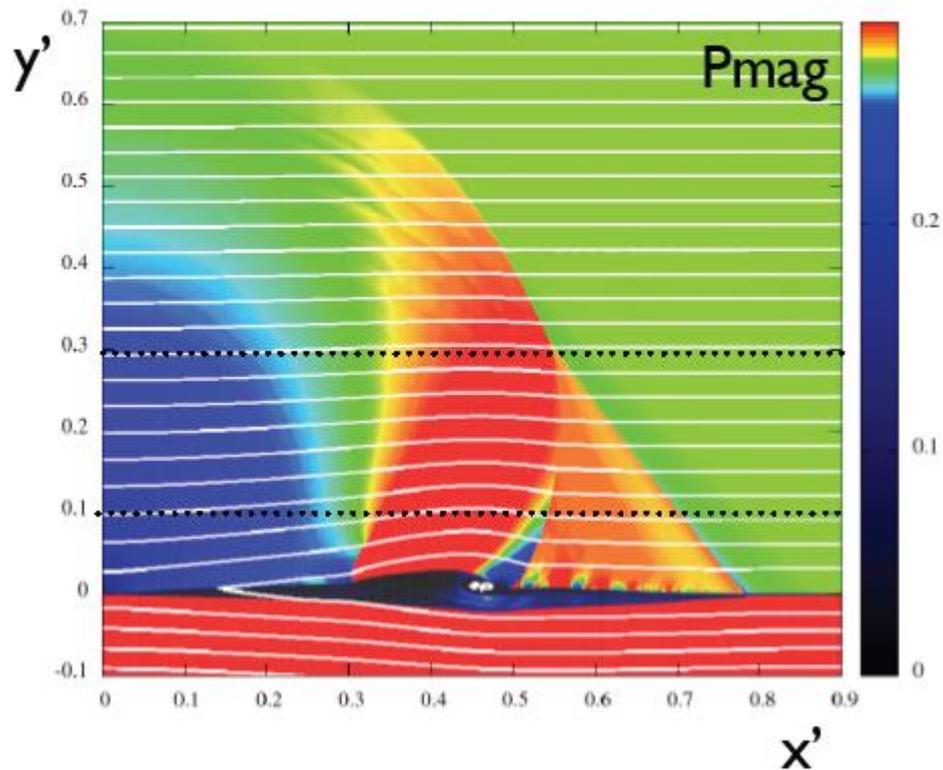


Fig.2 ローブ磁場強度比 1.35、温度比 0.6 の初期条件で計算した非対称磁気リコネクションの磁気圧のカラー等高図

#### 公表状況 (Publications) :

##### (論文)

1. Kondoh, K. & Nitta, S., "GEOTAIL observations of magnetic reconnection environment around the dayside magnetopause under steady southward interplanetary magnetic field conditions", Earth Planets and Space, 76:33, 2024

##### (口頭)

1. Kondoh K., "Study of the global structure of the dayside magnetic reconnection using MHD simulations and in-situ observations", AGU Fall Meeting 2023, San Francisco, December 2023
2. 近藤光志, 太陽コロナ中の非対称磁気リコネクション, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2023 年秋学会, 仙台, 2023 年 9 月