

地球近傍での磁気リコネクション境界領域における粒子加熱に関する統計解析

荒木 瑞穂 [1]; 星野 真弘 [1]; 桂華 邦裕 [1]; 北村 成寿 [2]; 齋藤 義文 [3]
[1] 東大・理; [2] 東大・理・地惑; [3] 宇宙研

Statistical study on plasma heating around the reconnection separatrixes in the near-Earth magnetotail

Mizuho Araki[1]; Masahiro Hoshino[1]; Kunihiro Keika[1]; Naritoshi Kitamura[2]; Yoshifumi Saito[3]
[1] University of Tokyo; [2] University of Tokyo; [3] ISAS

Magnetic reconnection is an important physical mechanism that converts magnetic energy into thermal and kinetic energy of plasmas. The energy conversion is mainly performed at the X point, while it is possible to occur in the reconnection separatrix regions where topology of magnetic fields changes (Petschek et al., 1964). Moreover, it was observationally confirmed that cold ions are accelerated in the plasma sheet boundary layer (PSBL) of the distant magnetotail (Saito et al., 1995). The main purpose of this study is to understand how ions and electrons are heated and accelerated through the boundary. Particularly, we perform a statistical study on the heating, using high time resolution data. Ions around the boundary are known to be multiple components (e.g., Ueno et al., 2001), and it is therefore necessary to discuss about variations of plasma characteristics at the level of three-dimensional distribution function. In addition, in order to investigate the mixing of multiple-component plasma, plasma data with high time resolutions are required to analyze short time-scale phenomena less than the ion cyclotron frequency (~ 1 Hz in the plasma sheet). We statistically examine plasma heating around the separatrix regions by analyzing velocity distributions observed by the MMS (Magnetospheric Multiscale) spacecraft.

An example of reconnection separatrix observations is the event from 06:27:15 to 06:32:15 on July 16, 2017. We use three-dimensional distribution function data (Ion: 6.7 Hz, Electron: 33 Hz) obtained from FPI (Fast Plasma Investigation) and magnetic field data (128 Hz) obtained from FGM (Flux Gate Magnetometer) on board the MMS1 spacecraft, which was located in the near-Earth magnetotail at GSM-X ~ 15.7 Re. The X component of the magnetic field decreased from 55 to 20 nT, and the X component of the ion bulk velocity perpendicular to the magnetic field increased from 0 to 150 km/s. This indicates that the spacecraft passed through the boundary between the northern lobe region and the plasma sheet on the earthward side. Three-dimensional distribution functions showed a low-energy component and high-energy beams in both parallel and anti-parallel directions to the magnetic field. The temperature of low-energy components (< 1 keV) increased from 30 to 170 eV. The temperature of the parallel beam (pitch angles of 0-45 degrees) increased from 2 to 3.8 keV. The temperature of the anti-parallel beam (pitch angles of 135-180 degrees) is approximately constant at about 2.5 keV.

In addition to such data-oriented analysis of multiple component plasma, we perform non-linear 2- or 3-component fits to three-dimensional velocity distribution functions. This analysis is necessary to extract multiple components from complex velocity distributions for a large number of events that we have already found in the MMS tail seasons. In this presentation, we show changes in extracted plasma parameters (temperatures, anisotropies, etc.) across the separatrix regions to discuss about heating and mixing processes.

磁気リコネクションは磁場エネルギーをプラズマの熱・運動エネルギーに変換する重要な物理機構である。エネルギー変換は主に X ポイントで行われているとされるが、磁場のトポロジーが変化するリコネクション境界領域においてもエネルギー変換が起こることが示唆されている (Petschek et al., 1964)。また磁気圏尾部の境界領域ではイオンが加速している様子も観測されている (Saito et al., 1995)。本研究では、高時間分解能データを用いて、境界領域のイオンの加速・加熱についての統計解析を行う。境界領域のイオンは複数の異なる速度分布が共存していることが多いため (Ueno et al., 2001)、成分ごとに選り分けた上での 3 次元分布関数レベルの議論が必要となる。また、複数成分の混合を議論するためには、イオンのサイクロトロン周波数 (尾部プラズマシートでは 1 Hz 程度) 以上の高時間分解能のデータを用いる必要がある。我々は、MMS (Magnetospheric Multiscale) 衛星で観測された境界領域における複雑な速度分布を成分ごとに選り分け、複数のイベントについて粒子混合および加熱を調査する。

典型的なリコネクション境界を横切った時のデータを解析した一例として、2017 年 7 月 16 日 06:27:15~06:32:15 のイベントを挙げる。我々は MMS 衛星 1 号機に搭載された FPI (Fast Plasma Investigation) の 3 次元分布関数データ (Ion-6.7 Hz, Electron-33 Hz) と FGM (Flux Gate Magnetometer) の磁場データ (128 Hz) を用いて解析を行った。この時衛星は GSM-X ~ 15.7 Re の地球近傍尾部にいた。この境界の前後で、磁場は GSM-X 成分が 55 から 20 nT まで減少し、イオンのバルク速度の磁場垂直成分のうち GSM-X 成分が 0 から 150 km/s に増加している。よって衛星は北半球側のローブ領域から境界を通過し、地球向きアウトフローのあるプラズマシートへ進入したと考えられる。また 3 次元分布関数を見ると、境界では低エネルギー成分と、磁場平行・反平行方向の高エネルギーのビームがある。それぞれ速度分布のうち 1 keV 以下、1 keV 以上かつピッチ角 0~45 度 (磁場平行方向)、1 keV 以上かつピッチ角 135~180 度 (反平行方向) と定め温度を計算すると、低エネルギー成分は 30 から 170 eV に、磁場平行のビームは 2 から 3.8 keV にそれぞれ増加しているのに対し、磁場反平行のビームは 2.5 keV でおおよそ一定である。

我々は、上記のような典型例だけに限らず、単にエネルギーやピッチ角の範囲を定めるだけでは複数成分選別が困難な分布関数に対しても各成分のプラズマ物理量を得るために、2 成分や 3 成分 Maxwell 分布を仮定した非線形 3 次元フィッ

フィッティングを行っている。本発表では、これまで解析を行ってきた 20 イベントについて、フィッティングで得られた温度やその異方性を示し、境界領域におけるプラズマ加熱や複数成分プラズマの混合を議論する。