

磁気リコネクションの磁気散逸領域の衛星プラズマ観測

銭谷誠司 (国立天文台), 篠原育 (宇宙科学研究所), 長井嗣信 (東京工業大学)

磁力線が繋ぎ代わる磁気リコネクションは、宇宙空間プラズマや高エネルギー天体プラズマの中でさまざまな爆発現象を引き起こす物理素過程である。磁気リコネクションでは、磁力線が繋ぎ代わる X-line 近くの「磁気散逸領域」の物理が系全体の発展をコントロールする。しかし、この磁気散逸領域は、そもそも磁気散逸という概念自体が曖昧だったために、厳密には定義されていなかった。最近の理論・シミュレーション研究で、系に依存しないエネルギー散逸量を使うと磁気散逸領域を判別できることが、ようやくわかってきたところである [1]。

地球磁気圏では、長年にわたって多くの人工衛星がプラズマ環境を観測し続けている。これらの衛星は、直接「その場」の物理量を測ることで、リコネクション物理を理解するための手がかりを提供してくれる。しかし、リコネクションの磁気散逸領域を直接観測した研究はこれまで殆どなかった。上で述べたように磁気散逸領域の定義が存在しなかったうえ、現在の衛星の観測機器では 1000 km × 100 km 程度の大きさの磁気散逸領域を見つけるのが非常に難しかったからである。

ジオテイル衛星は JAXA/ISAS と NASA が共同運用している衛星で、1992 年以来、地球磁気圏を観測し続けている。2003 年 5 月 15 日、ジオテイル衛星は磁気圏夜側のおよそ 190,000 km の位置で磁気リコネクションが起きているのを観測した [2]。このイベントは、ジオテイルの観測史上最も良いもので、リコネクションの内部構造が非常に良く見えている。図 1 の上側パネルは、このときの観測データの一部である [3]。ある時点を超えて、イオン (青) と電子 (赤) の流れの向きが反転している。電子が流れが局所的にイオンの流れを追い越しているのは、運動論リコネクションの X-line 付近で見える特徴である。灰色のヒストグラムは散逸領域を特徴付けるエネルギー散逸量である。ここでは磁気圏座標系で

$$D_e^* = j_x(\vec{E} + \vec{v}_e \times \vec{B})_x + j_y(\vec{E} + \vec{v}_e \times \vec{B})_y, \quad (1)$$

と表される近似量を用いている [3]。そして、図の中の矢印で示すように、プラズマの流れが反転するあたりに散逸構造が見えている。これは、プラズマ粒子シミュレーションで得られる空間プロファイル (図 1 の下側パネル) と一致しており、X-line 付近の磁気散逸領域を観測したものだと思われる。

今回の観測は、ジオテイル衛星の時間分解能の限界近くで磁気散逸領域を捉えている。万全を期すために、我々はデータの妥当性を観測機器の生データに遡って徹底的にチェックした。そして、さまざまな可能性を考慮してもジェット反転層付近に散逸構造が見えるため、衛星が磁気散逸領域を通った可能性が高いことを確認した。我々の知る限り、これは磁気リコネクションの磁気散逸領域を惑星磁気圏尾部で初めて明瞭に観測した研究である。

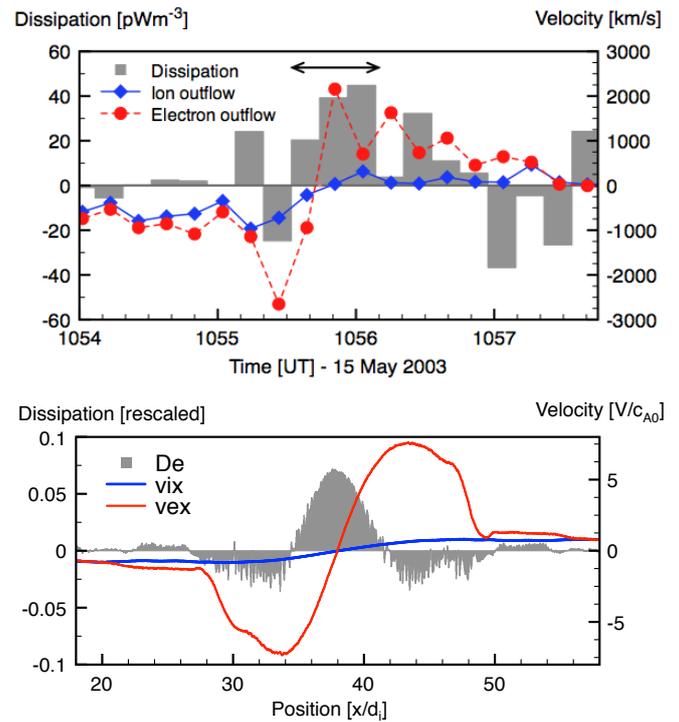


図 1: (上) 2003 年 5 月 15 日の 1054:00 UT から 1057:45 UT にかけてのジオテイル衛星の観測データ。イオン速度 (青) と電子速度 (赤) のアウトフロー (x) 方向成分、近似散逸量 D_e^* (1 式) を示す。ただし、速度は磁場に水平なフロー成分を省いている。(下) プラズマ粒子シミュレーションの結果。横軸は空間方向。

2014 年、NASA は MMS (Magnetospheric MultiScale の略) という次期磁気圏探査衛星を打ち上げる予定である。MMS は 4 機の衛星からなる編隊飛行衛星 (群) で、磁気リコネクション領域のプラズマや電磁場を時間・空間ともに高解像度で観測する予定である。しかし、通信のバンド幅が限られているため、観測データの全てを地上に転送することはできない。そこで、磁気散逸領域などの重要領域を機上で判定して、その領域の高解像度データを優先して地上に転送する必要がある。今回の解析手法を用いて磁気散逸領域を判定し、その領域の高解像度データを地上で解析すれば、我々は磁力線の繋ぎ代えメカニズムを解明することができるだろう。

参考文献

- [1] Zenitani, S. *et al.*: 2011, *PRL*, **106**, 195003.
- [2] Nagai, T. *et al.*: 2011, *J. Geophys. Res.*, **116**, A04222.
- [3] Zenitani, S. *et al.*: 2012, *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L11102.