

## 24Cp01

# 磁気リコネクションにおけるプラズマ粒子軌道研究の進展 Recent progress in particle orbit theory of magnetic reconnection

銭谷 誠司  
Seiji Zenitani

神戸大学 都市安全研究センター  
Kobe University, Research Center for Urban Safety and Security

宇宙空間で起きる磁気リコネクションの内部では、プラズマ粒子が、磁力線周りのジャイロ回転では表すことができない、複雑な運動をすることが知られている。例えば、磁力線が繋ぎ変わる X 型領域付近では、反転磁場の間で粒子が蛇行 (メアンダリング) する。さらに、X 型領域の下流側では、繋ぎ変わった磁場成分に対するジャイロ回転が加わるため、粒子は Speiser 運動という独特の運動をすることが知られている。こうした粒子運動の性質は、1980 年代に磁場の曲率パラメーターという観点から整理されて、今日に至っている。

2015 年に NASA の MMS 衛星が打ち上げられ、宇宙空間のリコネクション領域で詳細なプラズマ観測を行うようになった。これにあわせて、リコネクション系の最小構成要素である粒子運動の研究も進んでいる。本稿では、我々のグループの研究成果をベースに、近年の理論・シミュレーション研究と MMS 衛星観測で明らかになってきた、リコネクション系での非ジャイロ的粒子運動の性質を紹介する [1]。

我々は、プラズマ粒子 (PIC) シミュレーションの粒子運動を解析して、イオンが「8 の字」型の安定軌道を通して運動していることを発見した [2]。8 の字軌道 (下図) は理論的に存在が

予見されていたものの、実際の観測・シミュレーション研究では殆ど議論されていないものであった。さらにこの結果を受けて、PIC シミュレーションの粒子軌道をサーベイし、電子の過半数が磁気中性面を通らない「非交差型」軌道を通して運動していることも突き止めた [3]。これはリコネクション領域で多くの粒子がメアンダリングするという定説を覆す発見であった。

地球磁気圏の昼側境界では、プラズマ密度や磁場強度の異なる「非対称」条件下でリコネクションが起きる。このような場合、メアンダリング運動が強調されて、電子の速度分布関数に特徴的な「三日月」型成分が形成される [4,5]。この三日月成分は、MMS 衛星の観測でも検出されて注目を集めている [6]。時間が許せば、関連する MMS 衛星の観測結果も紹介する。

参考文献：

- [1] 銭谷誠司、磁気リコネクションにおけるプラズマ粒子軌道研究の進展、プラズマ核融合学会誌, *J. Plasma Fusion Res.* **97**, 47-55 (2021)
- [2] S. Zenitani et al., *Phys. Plasmas* **20**, 092120 (2013).
- [3] S. Zenitani & T. Nagai, *Phys. Plasmas* **23**, 102102 (2016).
- [4] M. Hesse et al., *Geophys. Res. Lett.* **41**, 8673 (2014).
- [5] S. Zenitani et al., *J. Geophys. Res.* **122**, 7396 (2017).
- [6] J. L. Burch et al., *Science* **352**, aaf2939 (2016).

