

## 平成30年度 名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクト 成果報告書

課題代表者：中村琢磨（オーストリア科学アカデミー・宇宙科学研究所）、申請区分：継続（一般）

研究課題名：粒子シミュレーションを用いた磁気圏尾部における磁気リコネクション層乱流化過程の研究

(Study on evolution of turbulence in magnetotail reconnection by particle simulations)

成果報告：

本研究では、オーロラサブストームへ繋がる地球磁気圏尾部におけるエネルギー解放を担う「磁気リコネクション」現象について、貴センターの運用する FX100 を用いた大規模 3 次元完全粒子シミュレーションを行った。近年の大規模粒子シミュレーションにより、現実的な 3 次元空間では、2 次的に発生する様々なタイプのプラズマ波動・不安定によってリコネクション層全体が乱流化する事が報告されている。課題代表者らは特に、2 次的に強められる磁気シアに起因する tearing 不安定（2 次的リコネクション）による乱流化、及び、リコネクションジェット先端領域等で 2 次的に強められる密度勾配に起因する lower-hybrid drift instability (LHDI) による乱流化に注目し、昨年度から引き続きその普遍性について研究を進めてきた。また同時に、これらの乱流化の鍵となるイオンスケールや電子スケール領域を解像する現在世界最大の磁気圏観測ミッションである Magnetospheric Multiscale (MMS) ミッションとの比較研究も進めている。本年度はその中でもガイド磁場成分が弱い場合（磁気シアが初期値として弱い場合）における 2 次的 tearing 不安定による乱流化を扱う計画であったが、本年度に MMS 衛星が初めてジェット先端領域を小スケールの構造まで含め観測する事に成功したイベントが報告され、その中で LHDI 起因と推測される波動現象も観測されていたため、本年度はジェット先端領域のシミュレーション研究を優先的に行った。

具体的には、まず 3 次元完全粒子シミュレーションを行い磁気リコネクションジェット先端領域で密度勾配起因の LHDI の発生を確かめた（図 1 a）。次に、この LHDI 起因の乱流領域の詳細な構造を調べ、乱流領域では、磁場に垂直成分の電場及び電流の強い擾乱が発生している事、及び、それらの擾乱により磁場のエネルギーがプラズマのエネルギー（主に電子の熱エネルギー）に変換されている事を示した。この事は、ジェット先端領域が、新たな電子の加熱源になりうる事を示唆している。さらに、これらのシミュレーション結果と報告されている磁気圏尾部におけるジェット先端領域の MMS 観測イベントを比較し、垂直成分の電場と電流の擾乱及びそれに伴うエネルギー変換効率について、シミュレーション結果と観測結果が定量的に一致する事を確かめた（下記 1）。この事は、ジェット先端領域における付加的な電子加熱が実際に磁気圏尾部領域で起こっている事を強く示唆している。

次に、ジェット先端領域で発生する LHDI 乱流の普遍性を確かめるため、本年度に本課題副代表者の梅田博士が主導し課題代表者と共同で開発した運動論的線形解析ツール（下記 2）をシミュレーション結果及び MMS 観測結果に応用した。これにより、シミュレーション結果及び MMS 観測においてジェット先端領域に見られる波動が LHDI 起因である事が確かめられた（図 1 b）。さらに、シミュレーションで用いたパラメータに比べより現実的なパラメータ範囲における線形解析も行い、上記の結果と合わせる事で、磁気圏尾部におけるジェット先端領域で起こる LHDI 乱流の普遍性を示した。これらの結果は現在論文としてまとめ、国際雑誌に投稿中である（下記 3）。

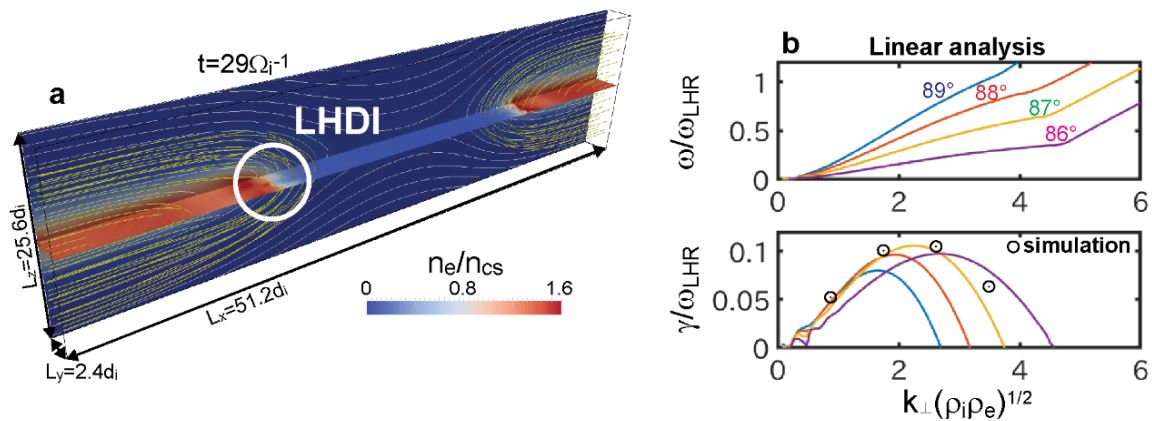


図1 : (a) 3次元完全粒子シミュレーション結果（下記1、3）。コンターは電子密度、線は磁力線を表す。磁気リコネクションジェット先端領域に密度勾配に起因したLHDIの成長が見られる。(b)シミュレーションから得られたパラメータを運動論的線形解析ツール（下記2）に入力した結果。得られたLHDIの成長率とシミュレーション結果から得られた成長率が一致する事が確認された（下記3）。

成果発表：

1. Nakamura, T. K. M. and T. Umeda, Study on the reconnection jet fronts based on fully kinetic simulations, SGE PSS 2018 Fall Meeting, Nagoya, November 2018
2. Umeda, T. & T. K. M. Nakamura, (2018), Electromagnetic linear dispersion relation for plasma with a drift across magnetic field revisited, Physics of Plasmas, 25, 102109
3. Nakamura, T. K. M., T. Umeda, R. Nakamura, H. S. Fu, and M. Oka, Stability on the front region of magnetic reconnection outflow jets, submitted