

2020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)

副代表者: 梅田隆行(名古屋大学・宇宙地球環境研究所)

共同研究者: 岡光夫(カリフォルニア大学バークレー校(米国、カリフォルニア州))

申請区分: 継続、応募区分: 一般

「粒子シミュレーションを用いた磁気リコネクションジェット先端領域の乱流化過程の研究」 (Study on the stability of the reconnection jet fronts by particle simulations)

成果報告:

本プロジェクトでは、2019年度に引き続き「磁気リコネクション」過程について、大規模3次元完全粒子シミュレーションを用いた研究を行った。磁気リコネクションとは、磁気シアのあるプラズマ境界をまたいで磁力線が繋ぎ変わることで、電流層に蓄積された磁気エネルギーを爆発的にプラズマの運動また熱エネルギーに変換するプラズマ物理において最重要なエネルギー変換過程の1つであり、太陽系から銀河ジェットまで様々な領域で起こる爆発的なプラズマ現象において中心的な役割を果たすと考えられている。地球磁気圏においては、磁気リコネクションが磁気圏夜側に伸びる尾部電流層に蓄積された磁気エネルギーを解放する事で、オーロラサブストームに代表される大規模な磁気圏擾乱が駆動されると考えられており、本過程におけるエネルギー変換過程を定量的に理解する事が、磁気圏物理を理解する上での最重要課題の1つとなっている。また、太陽物理においては、磁気リコネクションが太陽表面で起こるフレア爆発を駆動していると考えられており、本過程におけるエネルギー変換過程の理解は、地球磁気圏また太陽物理など各単体領域の理解を超えて太陽-地球系を包括的に捉えた宇宙天気という視点からも重要である。磁気圏や太陽表面で起こる磁気リコネクションは、電磁流体(MHD)スケールに発展する大規模な現象であるが、課題代表者らの2019年度までの粒子スケール物理を考慮した関連研究により、地球磁気圏や太陽表面を含む幅広いパラメータ範囲で、磁気拡散領域と呼ばれる磁気リコネクション過程の磁力線の繋ぎ代わりが起こる中心領域に加えて、拡散領域の外側のリコネクションジェット先端領域で粒子スケールの波長を持つLower-hybrid drift instability(LHDI)が普遍的に成長すること、このLHDIによって起こりうるエネルギー輸送の強度が拡散領域で予測される強度と同等レベルであることが示された[参考文献1]。

このような背景の下、本プロジェクトでは本年度、貴センターの運用するFX1000を使用して、これまで行っていなかったガイド磁場(リコネクション面に垂直成分の磁場)を考慮した粒子シミュレーションを新たに行い、これまで行った計算結果と合わせてエネルギー輸送のガイド磁場依存性を調べ、その結果を磁気圏においてMMS衛星を用いて既に観測されているジェット先端領域の粒子データと比較し、さらに幅広いパラメータ下で発生するLHDIの線形解析と合わせることで、太陽表面にも応用できるジェット先端領域のエネルギー輸送過程を定量的に理解する計画であった。しかし、これまでの計算結果のデータ保存に申請した計算時間を消費し新たな計算が実行できなかった為、研究計画を完遂させるに至らなかった。

その代替として本年度は、共同研究者らと改めて今後の方向性を議論した。具体的には、現在、ジェット先端領域を含め太陽表面で起こる磁気リコネクション領域をより高精度に観測する次世代観測衛星PhoENiX計画が本課題の共同研究者である岡博士を中心に進められているなど将来的に太陽表面の観測技術が向上が期待できる他、本課題副代表梅田博士の所属する名古屋大学宇宙地球環境研究所では太陽表面物理の研究が積極的に進められているという点を考慮し、課題代表者が行ってきた粒子シミュレーションデータの解析を太陽観測に応用できる形でアウトプットさせていくこと、また、MHDシミュレーションが主流の太陽表面のシミュレーション研究において、本課題で行っているようなローカルな粒子シミュレーションを連携させる定量的なアプローチを取ることの有用性やその具体的な方法など、本課題の太陽表面物理への応用について詳細な議論を行った。その後、新たに、これまで保存していた計算の粒子データの解析を進めている(図1)。また本年度は、国際会議(いずれもオンライン)にて本課題に関連する2つの招待講演を行った(成果発表1,2)。

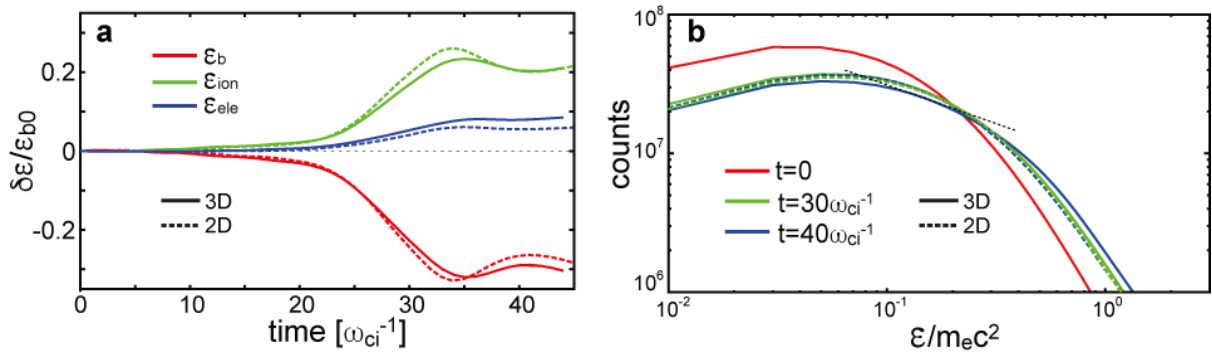


図1 : Nakamura et al. [2019] (参考文献1)で行った粒子シミュレーションの粒子データ解析結果。シミュレーション領域内の(a)磁場、電子粒子、イオン電子の全エネルギーの時間変化、及び、(b) 電子のエネルギースペクトルの時間発展。磁気リコネクションの成長と共に、磁場のエネルギーが解放され、電子とイオンの運動エネルギーに変換される。3次元計算の場合にのみ、ジェット先端領域におけるLHDIの成長と共に電子が負荷的に加熱される。この付加的な加熱は比熱的電子の生成を伴う。

参考文献：

- [1] [T.K.M. Nakamura](#), [T. Umeda](#), R. Nakamura, H. S. Fu, & [M. Oka](#), Disturbance of the Front Region of Magnetic Reconnection Outflow Jets due to the Lower-Hybrid Drift Instability, *Physical Review Letters*, 123, 235101, 2019

【成果発表】

- [1] (学会発表) [T.K.M. Nakamura](#), [T. Umeda](#), R. Nakamura, H. S. Fu, & [M. Oka](#), Disturbance of the Front Region of Magnetic Reconnection Outflow Jets due to the Lower-Hybrid Drift Instability, *the EGU General Assembly 2020*, online, May, 2020 (highlight)
 (学会発表) [T.K.M. Nakamura](#), [T. Umeda](#), R. Nakamura, H. S. Fu, & [M. Oka](#), Disturbance of the Front Region of Magnetic Reconnection Outflow Jets due to the Lower-Hybrid Drift Instability, *4th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPS-DPP)*, October 2020 (invited)