

高精度 MHD 計算を用いた高速磁気リコネクションの研究 Study of fast magnetic reconnection by using newly high resolution MHD scheme

小川 匡教^{1*}
OGAWA, Masanori^{1*}

¹ 東京大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

磁気リコネクションとは反平行な磁力線が繋ぎ変わることで磁場のエネルギーを爆発的に解放する現象である。この現象は太陽フレアでの粒子加速や地球磁気圏内の大規模な対流などを駆動する重要な物理過程である。磁気リコネクション研究の有用な手法には計算機シミュレーションがあるが、その中でも本研究では電磁流体力学 (MHD) シミュレーションを用いた。MHD はプラズマを流体として扱うため、個々の粒子の集団的な振る舞いを記述できる。すなわち MHD はマクロスケールの物理現象の再現に適した手法だと言える。しかし、磁気リコネクションは大規模な物理現象を駆動する過程である一方で、磁力線が繋ぎ変わる現場である拡散領域では MHD 近似が破れ、プラズマ粒子の運動論的効果が重要になる。従って運動論的効果を含まない MHD では、磁気リコネクションのエネルギー解放効率を示すリコネクションレートが小さくなる (遅いリコネクションと呼ばれる)。過去の研究において、運動論的効果を含む粒子コードなどの計算では高いリコネクションレートが達成できるのに対し、MHD コードによるリコネクションレートは低くなり、MHD では速いリコネクションが再現できないことが示された [e.g., J. Birn et al., 2001]。

本研究では S. Kawai[2013] により提案された、新たな高精度 MHD スキームを用いて高速磁気リコネクションの再現を試みた。その結果、過去の MHD 計算のリコネクションレートよりも高い値が得られた。またリコネクションレートが解像度に依存するかどうかを確かめた。解像度が良くなると、より薄い電流層が再現できるため、より爆発的なリコネクションが起こり、リコネクションレートが高くなると予想される。結果として、グローバルなリコネクションレートは解像度に比例して高くなる傾向が見られた。しかし同時に、精度の良い計算ほど磁気島が複数発生し、複数の X-line ができることが分かった。つまり、解像度に比例したグローバルなリコネクションレートの増加は複数の X-line の影響を反映したものである。しかし、その中の 1 つの X-line に注目して、ローカルなリコネクションレートを求めると、どの解像度でも粒子計算と同等の値に収束することが分かった。このことは低解像度でも一定の高速磁気リコネクションが再現できることを示しており、今後大規模なスケールのリコネクションの研究に今回用いたコードが適用できることを示唆している。

キーワード: 磁気リコネクション, 電磁流体力学
Keywords: magnetic reconnection, magnetohydrodynamics