

高精度 MHD 計算を用いた高速磁気リコネクションの研究

小川 匡教 [1]; 藤本 正樹 [2]; 河合 宗司 [3]
[1] 東大・理・地球惑星; [2] 宇宙研; [3] 東北大・工・航空宇宙

Study of fast magnetic reconnection by using newly high resolution MHD scheme

Masanori Ogawa[1]; Masaki Fujimoto[2]; Soshi Kawai[3]
[1] Earth and Planetary, Tokyo Univ; [2] ISAS, JAXA; [3] Dept. Aerospace Eng., Tohoku Univ.

Magnetic reconnection is an important process to drive explosive release of magnetic energy by reconnecting anti-parallel magnetic lines in space plasma, such as particle acceleration in solar flares and large-scale convection in the Earth's magnetosphere. Magnetohydrodynamics (MHD) simulation where plasmas are treated as fluid is one of the useful methods to learn macroscopic effects of magnetic reconnection. However, kinetic effects of plasma particles around an X-line are significant to drive fast reconnection, since the MHD approximation is broken in the vicinity of the X-line. Consequently, reconnection rate which means energy release efficiency is low, the so called slow reconnection. Previous researches have shown that particle simulations including kinetic effects achieve fast reconnection, while MHD simulations do not [e.g., J. Birn et al., 2001].

In this study, we attempt to simulate the fast magnetic reconnection by using a newly high order MHD scheme proposed by S. Kawai [2013]. The results show reconnection rate is higher than previous results by MHD simulations. In addition, as the resolution is higher, the reconnection rate is expected to be higher, since current sheet becomes thinner. As a result, simulations with high resolution allow secondary magnetic islands and generate multiple X-lines. We confirm, however, local reconnection rate at the most major X-lines, and the rate is equivalent to that from previous particle simulations. Consequently, these results show that the newly scheme enables us to perform fast magnetic reconnection. Furthermore, we check this argument is consistent at other various condition and verify this scheme is useful to study magnetic reconnection in the MHD-scale phenomenon.

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、より高解像度で計算を行った場合、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ることが予想される。結果、高解像度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。その中の最もメジャーな 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、各解像度で粒子計算と同等の値に収束することが分かった。これ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唆している。さらに、他の様々な条件下で同様の結果が得られるかどうかを確認し、今回用いたコードが今後大規模なスケールのリコネクションの研究に適用可能であることを検証する。