

高磁気レイノルズ数プラズマにおける磁気リコネクションのシミュレーション研究 Simulation study of magnetic reconnection in high Raynols number plasma

中坊 孝司^{1*}, 草野 完也¹, 三好 隆弘², Grigory Vekstein³
Takashi Nakabou^{1*}, Kanya Kusano¹, Takahiro Miyoshi², Grigory Vekstein³

¹ 名大 STEL, ² 広大理, ³ Manchester Univ.

¹ STEL, Nagoya Univ., ² Hiroshima Univ., ³ Manchester Univ.

磁気リコネクションは宇宙及び実験室プラズマにおける磁気エネルギーの解放機構として重要な物理プロセスである。磁気リコネクションの基本的なメカニズムは Sweet や Parker によって提案されたように、薄い電流層における磁気拡散に支配される。彼らのモデルに従えばリコネクション率は磁気レイノルズ数 (S) の平方根に反比例しなくてはならない。しかし、磁気圏や太陽コロナにおいては磁気レイノルズ数が非常に大きい ($S > 10^{12}$) にも関わらずリコネクション率が 10^{-2} 程度の高速リコネクションが生じることが観測されている。そのメカニズムについてはこれまでスローショックの効果や Hall 項の影響などに基づいたモデルが提案されているが、それぞれの効果がどのような条件で現れるのかは未だに十分理解されていない。Sweet や Parker の理論では電流層が安定であることが仮定されているが、最近では磁気レイノルズ数が大きくなると、電流層そのものが不安定化する結果としてリコネクションが加速化することが指摘されている。

Lapenta(2008) では磁気レイノルズ数をパラメータとし、電流層不安定が起こるリコネクションの発達過程を調べている。結果として、磁気レイノルズ数が高い程、電流層が不安定になるタイミングが遅くなることが分かった。しかし、磁気レイノルズ数の値は 10^3 と 10^4 しか調べられておらず、更に高い値での計算はされていない。また初期に与える磁場の擾乱の大きさも変化させていないため、不安定が起こるパラメータの閾値についてはまだ検証の余地が残っている。

本研究では高磁気レイノルズ数領域においてリコネクションを加速するメカニズムを、精密な電磁流体力学 (MHD) シミュレーションを実施することにより特定することを目指す。

カレントシートの厚さがイオン慣性長に近づいた時にリコネクションの加速に寄与する要因を特定するためには、高精度のスキームが必要である。このため、Miyoshi & Kusano (2005) によって開発された HLLD Riemann solver による 2 次元 MHD コードを利用した数値シミュレーションを名大 STE 研のスーパーコンピュータを用いて実施した。HLLD Riemann solver は近年、MHD 方程式の数値解法の世界的标准として認められつつある高効率高精度アルゴリズムであり、従来の解法では解けなかった不連続を精密に解くことができる。

本発表では、2 次元平面上で平衡状態 (ハリス平衡) を考え、磁場の擾乱成分と一様な電気抵抗を与えた時の磁気リコネクションの発達過程について、磁場擾乱の振幅と波長、磁気レイノルズ数をパラメータとした計算結果を報告する。また、結果からリコネクションの高速化と電流層における 2 次不安定性の関係について議論する。