

磁場のソレノイダル条件を満たす高精度MHDシミュレーションコードを用いた磁気リコネクション関連問題の検証 Validation of a newly developed divergence-free high-resolution MHD code against magnetic reconnection related problems

大山 裕介^{1*}, 河合 宗司², 藤本 正樹²
Yusuke Ohyama^{1*}, Soshi Kawai², Masaki Fujimoto²

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ²Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

大規模系における非定常3次元リコネクションを理解するためには、非定常な圧縮性MHD乱流の様相を正しく捉えた上で、詳しく解析するというアプローチがある。そのためには、高精度MHDコードでMHD乱流を再現し、且つその中で動的に発展するXポイントの振る舞いも再現する必要がある。これまでの研究では、MHD近似において一様な電気抵抗を仮定すると高速磁気リコネクションは再現できないとされ、高速リコネクションのためには少なくともホールMHD近似を用いる必要があるとされた。

本研究では、高精度のMHDシミュレーションコードによって高速磁気リコネクションを再現し、またXポイントの動的な振る舞いを再現する課題にも挑戦した。ここで用いるMHDコードは、物理的に散逸効果が生じるところのみに散逸を効かせ、それ以外の場所では高精度の理想MHDダイナミクスを実施するものである。

結果は以下の通りである。

(1) GEM磁気リコネクションチャレンジ問題では、高速磁気リコネクションの発生を確認した。

(2) 3つのXポイントが並んでいるケースでは、それぞれでの磁気リコネクションがしばらく継続した後、真ん中のXポイントでは逆向きの磁気リコネクションが進み、二つの磁気島は合体して一つになる。その後、両端にあるXポイントは相互作用を起こし、磁気島の成長に伴いより外側にスライドする様子が得られる。

これらはいずれも粒子計算で見られたもので、高精度MHDコードが当初の課題をクリアしたことを示す。但し、Xポイントの動的な振る舞いに関しては、今後とも検証例を増やす必要がある。

宇宙プラズマダイナミクスを記述する究極の体系のひとつとして、運動論的效果を取り込んだ高精度MHDコードということが考えられる。今回の結果は、その開発に向けての第一歩であるとも言える。

キーワード: 磁気リコネクション, MHD シミュレーション

Keywords: magnetic reconnection, MHD simulation