

電磁流体力学的エネルギー緩和現象のシミュレーション研究

研究代表者 名古屋大学 宇宙地球環境研究所
博士後期課程1年 柴山拓也

太陽フレアは太陽系最大の爆発であり、その影響は地球環境や衛星・通信・電力などの社会基盤にも及ぶ。磁気リコネクションは太陽フレアのエネルギー変換機構であると考えられているが、一般にプラズマ中の磁気リコネクションを効率的に進行させることは難しい。本研究の目的は大規模シミュレーションを用いて、この爆発的な電磁流体力学緩和現象のメカニズムを探ることにある。我々はすでに今までよりも大きなシステムサイズで精密な数値計算を行うことで、非線形発展の結果、Petschek 理論で予想される構造が自発的に形成し、高速リコネクションが起こることを発見した。本研究では局所モデル数値計算を行うことで Petschek 型の構造が現れる際には電流シート内の速度シアが重要な役割を担うことを明らかにした。また、3次元数値実験コードを開発し、初期的な研究成果を得た。

図1はこれまでの精密な数値実験(以降、グローバルモデル)の時間発展の中で現れた電流構造であり、赤い部分が電流が強く流れる領域を表している。枝分かれした電流面はスローモード衝撃波であると同定された。これにより一様抵抗条件では定常的には成立しないと言われていた Petschek 型のリコネクション領域が動的に形成することが明らかになった。

本研究ではその成立条件に関する研究を行った。グローバルモデル内の図1に見られるようなリコネクション領域の時間発展を詳細に調べると、プラズモイドが非線形発展する以前に電流シート内にシア流が存在することが明らかになった。これを局所モデル数値実験(以降、ローカルモデル)の初期条件として電気抵抗やシア流の大きさをパラメータにして複数の数値実験を行った。図2は特徴的なパラメータの計算結果である。図1と同様に電流構造を表しており、枝分かれした Petschek 型の電流構造が発達している。以上の結果から電流シート内のシア流の中でプラズモイドが成長することが Petschek 型電流構造の形成に関して重要な役割を担うことが明らかになった。グローバルモデルの中では初期の Sweet-Parker 型の拡散領域によってシア流が作られ、その中でプラズモイドが成

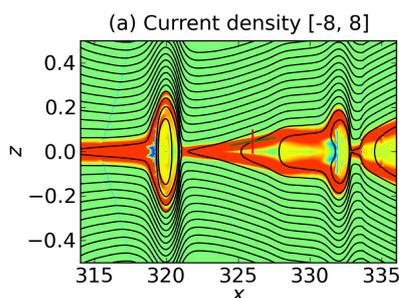


図1: グローバルモデル中に現れたショック構造。

長することで Petschek 型の構造が形成すると考えられる。このように系の時間発展の結果、Petschek 型構造が発現する条件が自発的に整えられる。

また、本研究では今までの2次元数値実験に用いたシミュレーションコードを改良して3次元数値実験を行うことを可能にした。図3は中規模の3次元テスト計算の結果である。色はx-y面内のy方向の電流密度を表している。本計算はy方向の磁場強度が小さい初期条件を用いているためにy方向に短い波長を持つ乱流的構造が発達しやすく、プラズモイド構造が壊れてしまっている。我々が主張する高速リコネクションメカニズムにおいてはプラズモイドが重要な役割を果たすためプラズモイドが安定して存在することが必要となる。本研究の成果として実行効率の十分高い3次元シミュレーションコードを開発することに成功したため、今後の大規模シミュレーションにより3次元空間におけるリコネクションにおいてプラズモイドが果たす役割について明らかにしていくことができる。

出版論文: Shibayama, T., Kusano, K., Miyoshi, T., Nakabou, T., Vekstein, G., Physics of Plasmas, 22, 10, 100706 (2015)

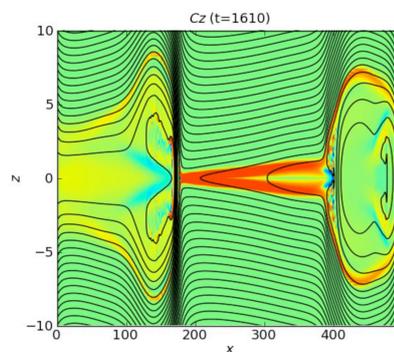


図2: ローカルモデル中に現れたショック構造。

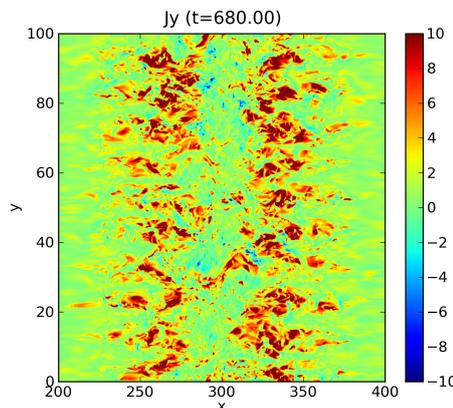


図3: 3次元計算におけるy=0のZ方向電場構造。