

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2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。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 型の構造が現れるメカニズムに迫るとともに前年度の名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクトで開発した 3 次元数値実験コードを用いた 3 次元システムでの磁気リコネクション計算を行い、プラズモイドの 3 次元構造形成過程に関する研究を行った。

図 1 は今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。グローバルモデルにおいて Petschek 型のショック構造はアウトフロー中に形成したプラズモイドに付随して形成していた。そのため電流シート中のプラズマ流の存在が重要であると考えていたが、本研究で電流層内のフローやプラズモイドの大きさ、電気抵抗値など様々なパラメータのもとで数値実験を行った結果、あるパラメータではプラズモイドを固定した状態でも Petschek 型の構造が現れることが明らかになった。この Petschek 型構造が現れる際には磁力線がつなぎ変わる点である X 点とプラズマ流の停留点の位置関係が重要であり停留点が X 点よりも下流側 (+X 側) に

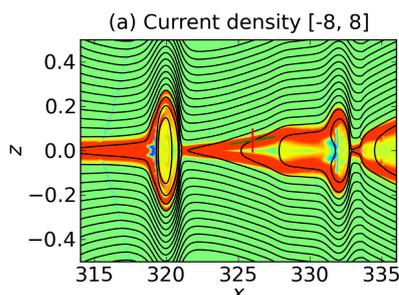


図 1: グローバルモデル中に現れたショック構造。

あることで X 点の位置が制限され、拡散領域の拡大が阻止されていると考えられる。

また、本研究では前年度の名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクトで開発した 3 次元数値実験コードを用いた 3 次元システムでの磁気リコネクション計算を行った。我々の研究を含め今までのリコネクション研究の多くは 2 次元系を用いているためシミュレーション中に再現できない構造がある。例としては斜め構造を持つ斜めプラズモイドがあげられる。斜めプラズモイドは 2 次元的なプラズモイドよりも卓越した構造になる可能性が指摘されており、我々の数値実験でも斜めプラズモイド構造が卓越する様子が再現された。図 3 は 3 次元シミュレーションの $Z=0$ でのスライスであり、赤い斜め構造を持つプラズモイドと青い反対の角度の斜めプラズモイドが形成している様子がわかる。色は磁場の X 成分 (リコネクションする成分) を表す。これらの斜めプラズモイドはお互いの交点でリコネクションし、ジグザグ構造のプラズモイドを形成することがあり、観測で見られるようなねじれた 2 次元構造に近いプラズモイドはこのようなりコネクションを通したプラズモイド構造の再形成の結果として生じている可能性がある。

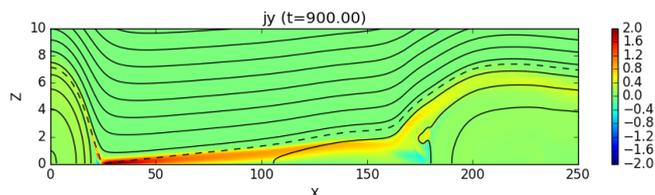


図 2: ローカルモデル中に現れたショック構造。

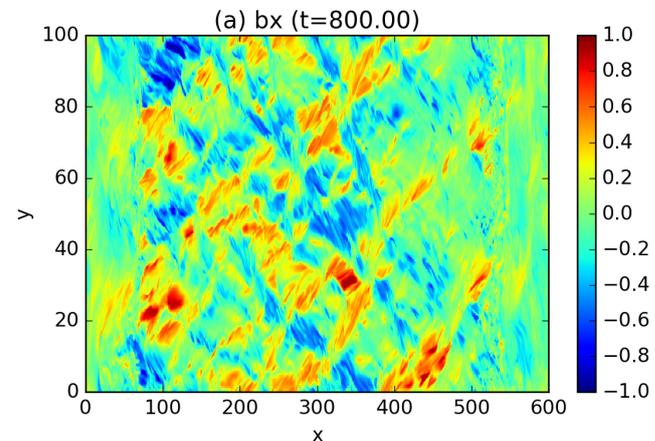


図 3: 3 次元計算における初期中性面に発達した斜めプラズモイド