

国立天文台天文シミュレーションプロジェクト成果報告書

研究課題名 非定常リコネクションと衝撃波結合によるフェルミ加速モデル

利用者氏名(所属機関) 西塚直人 (宇宙航空研究開発機構)

利用カテゴリ XT4B

近年計算機の発展に伴い、電流シートにおける不安定性の非線形計算が盛んに行われている。反平行の磁場の間には電流シートが形成され、磁気リコネクションという物理過程によって突発的に磁気エネルギーが熱・運動エネルギーに変換されて解放される。そのため太陽フレアや地球磁気圏サブストームだけでなく天体高エネルギープラズマ現象においても重要な物理過程であると考えられる。近年最も注目されているのは、電流シートにおけるテアリング不安定性によるプラズモイド生成と、その後の不安定性によるプラズモイドの融合である。これらの過程は強い電場を励起し、定常な電流シートよりも大きなエネルギー解放率と粒子加速を誘導するものとして注目されている。

太陽フレアの硬X線やマイクロ波といった非熱的放射は、間欠的で時にフラクタル的な時間変動を示す。これらは間欠的なエネルギー解放を示唆し、先のプラズモイドのダイナミクスとも関連が深いと考えられる。本研究では、まず2次元電磁流体シミュレーションによる太陽フレア中のプラズモイド噴出を計算し、さらにテスト粒子を用いることで粒子の加速機構について議論した。電流シート中にプラズモイドが形成され、上下に間欠的に放出されるのが示された。さらに放出されたプラズモイドはリコネクションアウトフローによって末端衝撃波（ファーストショック）に衝突する。図1はその時の粒子の軌道と速度の時間変化を表す。まずプラズモイドがファーストショックに衝突した時粒子は衝撃波上流で反射を繰り返す。プラズモイドが衝撃波面を通過するに従って反射間隔は小さくなりフェルミ加速が起こる。さらにリコネクション点から伸びるスローショックとファーストショックの間でも反射を繰り返してこちらでもフェルミ加速が起こる。プラズモイドによる粒子の補足を考えることにより、フェルミ加速に必要な衝撃波周囲の散乱体を仮定する必要もない。こうした多段階の加速により、短時間に高エネルギー粒子が生成されることを示した。

さらに現在、2次元から3次元へのモデルの拡張を試みている。粒子加速機構にとって3次元を議論することは重要である。2次元だと無限に長い電流シート中の加速を考えることになるが、3次元では電流シートの奥行きは有限になり、当然加速機構も影響を受ける。現在太陽フレアの3次元磁気流体シミュレーションによって計算された電磁場内にテスト粒子を注入し、そのエネルギーの時間変動を調べている。3次元電流シートは奥行き方向にも乱流的な構造をしており、小さなプラズモイドの噴出により間欠的に局所的に電場を強めている。そうした乱流的な電流シート内でテスト粒子が加速されて

いることを確認し、現在加速機構の詳細を解析している。

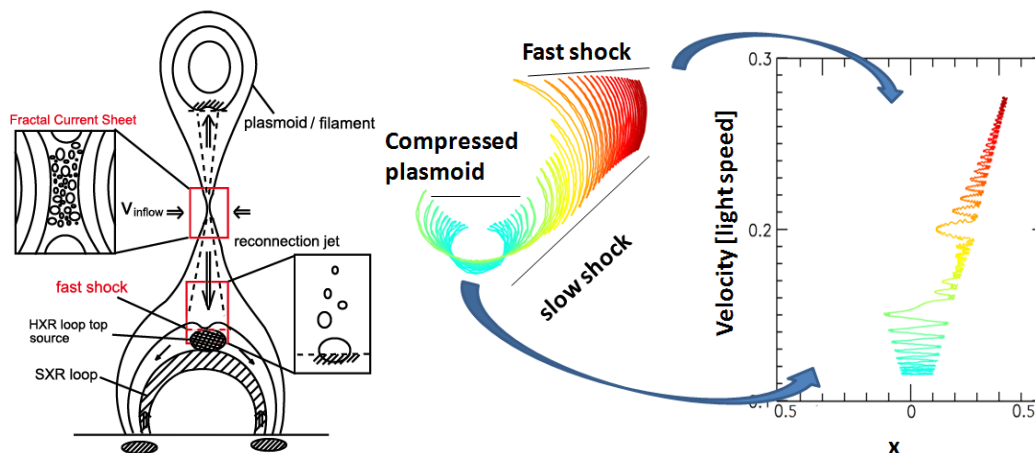


図1: 太陽フレアにおける電流シートと、衝撃波に衝突するプラズモイド噴出の概念図。またプラズモイドが衝撃波面に衝突した時のテスト粒子の軌道と、その時エネルギー変化。

- (1) N. Nishizuka, K. Nishida and K. Shibata, “Fractal Reconnection and Particle Acceleration in the Solar Atmosphere” , 2010, in Proc. of CAUSES II Kick-off Meeting, Kyoto, p.92
- (2) N. Nishizuka and K. Shibata, “Fractal Reconnection and Particle Acceleration in the Solar Atmosphere”, 38th COSPAR Scientific Assembly 2010, 2010年7月18日—24日, Bremen, ドイツ, (口頭発表)
- (3) N. Nishizuka, K. Shibata and K. Nishida, “Multiple Plasmoid Ejections and associated Particle Accelerations” , US-Japan Workshop on Magnetic Reconnection (MR2010), 奈良, 2010年12月6日—9日、(招待講演)