

適合細分化格子を用いた超並列電磁粒子コードによる

磁気リコネクションのシミュレーション

藤本 桂三 (独立行政法人理化学研究所)

1940年代後半に太陽フレアにおける粒子加速機構を説明するモデルとして磁気リコネクション過程が提唱された。それ以来、磁気リコネクションは天体プラズマや、惑星磁気圏プラズマ、実験室プラズマなど、さまざまな磁化プラズマ中で磁場を散逸させ爆発的に粒子を加速・加熱させることができるプロセスとして注目をあびてきた。それにもかかわらず、いかに効率よく磁場を散逸させ磁気エネルギーを粒子の運動エネルギーに変換するか、という根本的なメカニズム(磁気拡散機構)が未だに解明されていない。この難問に挑戦するため、これまで我々は従来の粒子法(Particle-In-Cell (PIC) 法)に適合細分化格子(Adaptive Mesh Refinement (AMR))を適用した新たな電磁粒子コード(AMR-PIC コード)の開発をおこなってきた。さらに、最近、超並列化を実施しより大規模な計算が可能になった。

本研究では、3D-AMR-PIC コードを用いて、磁気リコネクションの大規模3次元粒子シミュレーションを実施した。計算は、Fujitsu FX1の256ノード(1024コア)を20日間程度占有しておこなった。粒子数は、イオンと電子をあわせて最大で 10^{11} 個程度まで使用した。図1にシミュレーション結果を示す。上段はyz平面における波数スペクトルであり、リコネクションの3次元性を示すものである。まず、シミュレーション初期に比較的短波長の波動が現れる。これは低域混成ドリフト波(LHDI)である。LHDIは電流層の脇(密度勾配が大きいところ)に励起するため、X線近傍のプラズマにはほとんど影響を与えない。高速リコネクション時に薄い電流層に励起されるのは、 $m_y=2$ 程度の長波長モードである。このモードは電流層をキンクさせる電磁波であり、 $k_y L_e \sim 1$ のようなスケールを持つと考えられる。図1から、このモー

ドが電流層に潜在的に存在しており、特に伸長した電流層が分裂したとき(図2)に強化されることがわかる。重要な点は、波長が電子のメアンダリングスケールと同程度であるため、電子を散乱させ異常電気抵抗を与え得るということである。

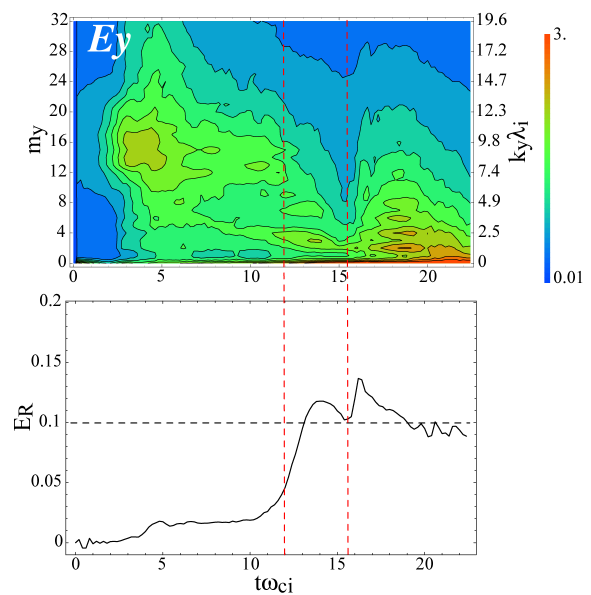


図1 : X型磁気中性線近傍を横切るyz平面における電場Eyの波数スペクトル(上段)とリコネクション電場(下段)の時間発展。

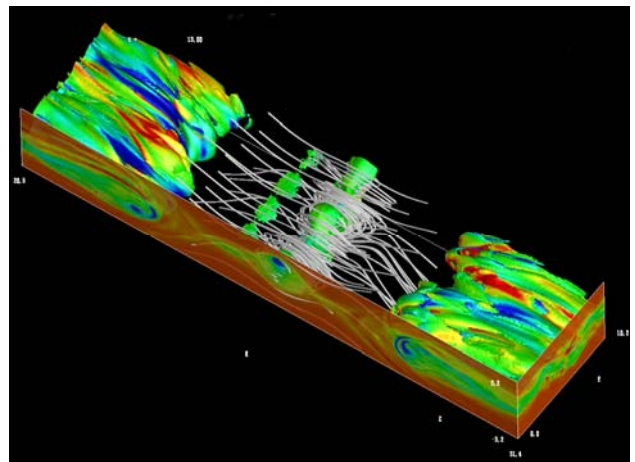


図2 : 電流層の3次元構造。電流密度 j_y (2次元断面)、電流強度(等値面)、および、磁力線が描かれている。