

磁気再結合の大規模電磁粒子シミュレーション

Large-scale electromagnetic particle simulations of magnetic reconnection

藤本 桂三[1]; 町田 忍[2]

Keizo Fujimoto[1]; Shinobu Machida[2]

[1] 京大・理・地球物理; [2] 京大・理・地球惑星

[1] Dept of Geophys Sci., Kyoto Univ; [2] Dept. of Geophys., Kyoto Univ.

磁気再結合現象は磁気圏サブストームや太陽フレアの発生過程において重要な役割を担っていることが示唆されているが、磁気拡散領域周辺の詳細な物理素過程については未解明な点が多い。磁気拡散領域では、電子やイオンの運動論的效果が重要となるので、電子もイオンも粒子として扱う電磁粒子シミュレーションは、磁気拡散領域周辺の物理素過程を解明する上で非常に有効である。

磁気拡散領域は、電子とイオンの慣性の違いから、イオンの運動論的效果が重要となるイオンの磁気拡散領域と、電子の運動論的效果が重要となる電子の磁気拡散領域とからなる。近年、電磁粒子コードを用いて多くの研究がなされ、電子の磁気拡散領域周辺の構造についてはかなり理解が進んだ。しかしながら、粒子コードには格子点間隔を電子のデバイ長程度にとらなければならないという強い制約があるため、現在の計算機能力をもってしても、磁気再結合現象がイオンスケールにまで発達する様子を記述することは困難である。多くの粒子シミュレーションでは、電子の磁気拡散領域が形成された後、磁気島におけるプラズマ圧と磁気張力がつりあい、磁気再結合現象がイオンスケールにまで発達する前に止まる。このような問題を解決するために、我々は従来の電磁粒子コードに適合格子細分化 (AMR) 法を組み入れた新しい電磁粒子コードを開発し、効率的に高分解能計算を進めることによって、従来よりも大幅に広い計算領域で磁気再結合の粒子シミュレーションを実施することに成功した。

今回、我々はこのコードを用いて、2種類の計算領域で磁気再結合の2次元電磁粒子シミュレーションを行った。1つ目の計算 (Run1) は従来とほぼ同じ計算領域で行い、2つ目の計算 (Run2) はその約10倍の領域で行った。Run1、Run2ともに、磁気再結合現象の初期の時間発展は以下のようにほぼ同じであった。

- 1、テアリング不安定性によって磁気島が形成される。
- 2、磁気再結界面を貫く誘導電場 E_y が急速に成長するとともに、電子の磁気拡散領域が形成される。
- 3、 E_y が時間的にほぼ定常になる。
- 4、 E_y の大きさ (磁気再結合率) が減衰し始める。

しかしながら、プロセス4はRun1とRun2でその原因が異なっていることがわかった。Run1では、前述のとおり、磁気島での圧力バランスの影響で電子の流出が阻害されることに起因している。一方、Run2では、計算領域が広いことによる人為的な境界の影響はほとんどない。このとき、電子の流入速度は減速するが流出速度は変わらないため、電子の磁気拡散領域はより細長くなる。興味深いのは、プロセス4と同時にイオンの磁気拡散領域が形成され始めることである。イオンの磁気拡散領域が形成されると、その内部で電子の磁気拡散領域に流入する電子の流れを大きく変える。イオンの磁気拡散領域がない場合には電子はほぼ磁力線に沿って流入するが、イオンの磁気拡散領域が形成されるとその内部に内向きの強い電場ができるため、電子の沿磁力線運動が阻害され、 $E \times B$ ドリフト運動のみになる。つまり、イオンの磁気拡散領域内ではイオンの運動論的效果が電子の流れを変えていることがわかる。このことから、Run2のプロセス4に対してイオンの運動論的效果が何らかの影響を与えている可能性がある。

講演では、Run1とRun2を比較しながらプロセス4の違いを説明するとともに、イオンの磁気拡散領域内におけるイオンのダイナミクスの役割について議論する。