

適合格子細分化 (AMR) 法を用いた磁気再結合の粒子シミュレーション

Full particle simulation of a magnetic reconnection using adaptive mesh refinement (AMR) technique

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.

<http://www-step.kugi.kyoto-u.ac.jp/~keizo/>

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。最近の粒子シミュレーションによる研究から、磁気再結合のトリガー機構や磁気拡散領域周辺における粒子の加速・加熱機構に関連して、イオンスケールと電子スケールの現象の結合過程が重要であることが指摘されている。このようなスケール結合過程の物理を解明するためには、さまざまなスケールの現象を自己矛盾なく記述できる数値シミュレーションを実施することが必要不可欠である。しかし、電子スケールの現象はイオンスケール・MHD スケールの系から見ると、きわめて局所的な領域で起きているので、全計算領域で格子間隔を等しくとっている従来の粒子コードでは、十分な精度で両者を記述することは困難である。

我々は、このような問題を解決するために、従来のPIC法をもちいた電磁粒子コードに適合格子細分化 (AMR) 法を組み入れることによって、スケールの異なる現象を自己無撞着に記述できるシミュレーションコードを開発している。AMR法とは、計算の経過に応じて格子を再構築し、効率的な高分解能計算を実現する手法である。実際、高分解能計算を必要とするのは電流層の中心付近のみであるので、その他の領域で必要最小限のところまで分解能を下げることであれば、大きなシミュレーション空間を確保することが可能になる。

今回、我々は2次元電磁粒子コードにAMR法を適用することに成功したので、その結果を報告する。シミュレーション領域は異なる格子間隔をもった階層格子から成り、各超粒子の時間発展は、各々の場所において最も細かい格子上の電磁場を使って行われる。計算を高速化するため、最下層の格子にはその格子に属する超粒子に対してポインタを与える。また、電磁場の計算は、格子間隔の最も粗い階層から解き始め、その解を1つ下層の格子の境界条件として与える。AMR法では階層間境界の扱いが難しいが、我々は各階層格子の周りにバッファ領域を設けることによって階層間の連続性を確保している。コードの精度を検証するために、静電波の例としてラングミュア波、電磁波の例として正常波の伝播をテストした。その結果、両者とも異なる階層間を横切って正しく伝播することを確認した。さらに、ハリスシートに対して磁気再結合を起こした結果を紹介する。