

磁気リコネクションは、プラズマにおけるエネルギー解放過程の1つであり、天体プラズマから核融合プラズマまで普遍的に見られる現象である。また近年、磁気リコネクションは階層横断現象という側面が注目を集めるようになってきている。磁気リコネクションが発生すると、磁場のトポロジーが変化するが、このスケールは系全体に及ぶ。たとえば、太陽フレアを例に挙げるならば、それは1万 km のスケールである。一方、磁気リコネクションのトリガーとしては、プラズマを構成する粒子1つ1つのマイクロな非ジャイロ的運動が基になっており、太陽フレアでは、0.1-1m のオーダーである。このようなマクロとマイクロに大きなスケールギャップを持つ磁気リコネクション過程を、階層横断現象として完全に解明することをめざして、多階層シミュレーションモデルの開発を進めている。

磁気リコネクションの階層性には、領域によって現象の時空間スケールが異なるという特色がある。磁気中性面からイオンメアンダリング振幅内の現象は、ミクロスケールの物理によって支配される。一方、磁気中性面から十分離れた領域では、プラズマの挙動は一流体で近似することができる。そこで、我々の多階層モデルでは、領域によってアルゴリズムが異なる領域分割法を採用し、まず、上流方向について、PIC と MHD の連結を行うことにした。シミュレーション領域は、MHD アルゴリズムが適用される領域(MHD 領域)と PIC アルゴリズムが用いられる領域(PIC 領域)へと分けられる。2つの領域の間には、技術的な領域であるインターフェイス領域を挿入する[1,2]。この領域の物理は MHD, PIC 両方のアルゴリズムを用いて求められる。

このモデルを用いて、磁気リコネクションの多階層シミュレーションを行うことに成功している[3]。2011年度は、より広い領域を計算することを目指すため、PIC と不等間隔メッシュ法を用いた MHD との連結をすることにより、多階層モデルの拡張を行った。図 1(a)にシミュレーションボックスを示す。PIC 領域は $|y/(c/\omega_{ce})| < 17.875$ 、MHD 領域は $19.875 < |y/(c/\omega_{ce})| < 57.375$ 、インターフェイス領域は $17.875 < |y/(c/\omega_{ce})| < 19.875$ の範囲を扱っている。ここで、 c は光速、 ω_{ce} は電子のジャイロ周波数である。図 1(b)は、 y 方向のメッシュ間隔の y 軸依存性を示す。MHD 領域では、メッシュ間隔が y 方向(上流方向)に依存し、 $|y|$ が大きいほど粗く、 $|y|$ が小さいほど細かい。最も粗いメッシュ間隔は 1.0 であり、最も細かいものは 0.25 である。

図 2 は、 $\omega_{ce}t = 2340$ における磁力線(左)と流体速度のベクトル(右)を表している。プラズマ、磁力線とも MHD 領域からインターフェイス領域を通して PIC 領域へとスムーズに流れ込んでおり、PIC 領域の中心で磁気リコネクションが駆動されていることが分かる。さらに、この改良されたモデルで観測された磁気リコネクションを PIC 単体のシミュレー

シミュレーションおよび一様メッシュ間隔の多階層シミュレーションの結果と比較し、正しい物理現象であることを確認した。

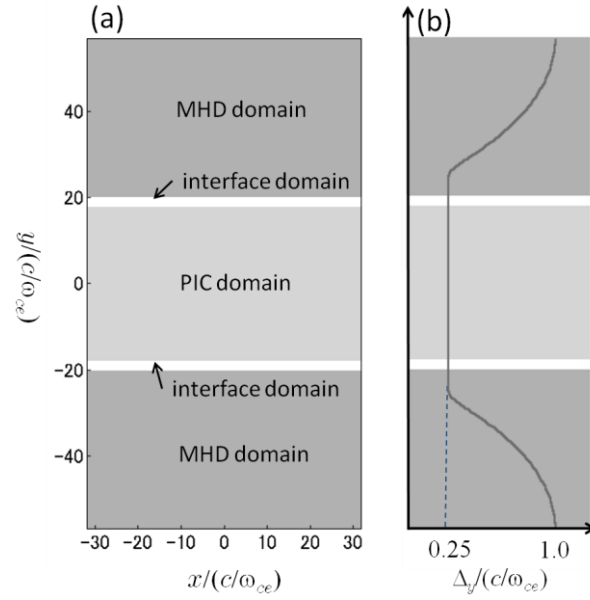


図 1: (a)多階層モデルのシミュレーション領域。(b)メッシュ間隔の y 軸依存性。

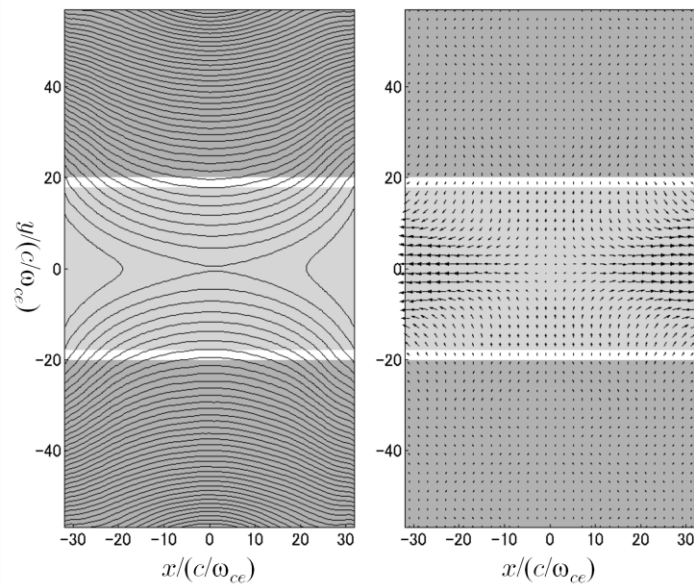


図2: 多階層モデルにおける、磁力線(左)と流体速度ベクトル(右)。

- 1) S. Usami, H. Ohtani, R. Horiuchi, and M. Den, Comm. in Comput. Phys. 4 (2008) 537.
- 2) S. Usami, H. Ohtani, R. Horiuchi, and M. Den, Comm. in Comput. Phys. 12 (2012) 1006.
- 3) S. Usami, H. Ohtani, R. Horiuchi, and M. Den, Plasma Fusion Res. 4 (2009) 049.