

惑星磁気圏のグローバル粒子シミュレーション（に向けて）

藤本 桂三（東大新領域 / 国立天文台）

惑星磁気圏における大域的なプラズマダイナミクス（運動量・エネルギー輸送過程）は、太陽風の変化にともなう磁気圏の過渡的な応答を考える上で非常に重要である。特に、地球磁気圏では、太陽フレアにともなう太陽風変動により磁気圏サブストームと呼ばれる現象が発生することがある。このとき、磁気圏全体のグローバルなプラズマ対流が駆動されるとともに大域的な磁場構造が変化する。その影響は地上にも現れ、極域におけるオーロラ発光現象や地磁気の急激な変動として観測される。また、サブストーム時には高エネルギー粒子が生成されるため、地球周辺を飛行する人工衛星の活動にも大きな影響を与える。衛星への被害を最小限にするため、地球磁気圏のグローバルな変動を正確に予測することが社会から求められている。このような背景から、太陽風変動にともなう磁気圏ダイナミクスを理解することは、科学的にも実用的にも重要である。

太陽風と惑星磁気圏からなる系は、さまざまなスケールの物理過程が互いに相互作用しあう複雑系である。そのため、純粋理論や人工衛星による観測のみからそのダイナミクスを理解することは困難であり、数値シミュレーションを用いた理論モデルの構築が有力な研究手法となっている。従来のグローバルシミュレーションでは、計算機資源の制約のため、プラズマを磁気流体（MHD: Magnetohydrodynamics）として近似的に扱うことがほとんどであった。実際、惑星磁気圏のサイズは、一般的に、プラズマの粒子性が重要となる運動論スケールに比べて十分大きく、磁気流体近似が良く成り立つと考えられてきた。しかし、地球磁気圏のグローバル MHD シミュレーションでは、プラズマの運動論過程を規定する電気抵抗（粘性）モデルをどのように与えるかによって、大域的なダイナミクスが大きく変わることが知られている。このことは、マイクロ過程である運動論過程がマクロ過程である MHD 過程に大きな影響を与えることを示唆しており、マイクロとマクロを同時に記述する必要があることを指摘している[1]。一方、最近の急速な計算機性能の向上と、適合細分化格子（AMR: Adaptive Mesh Refinement）を用いた先進的なプラズマ粒子計算手法の確立により、地球磁気圏全体を粒子シミュレーションによって記述することが可能になりつつある。

そこで、本研究では、惑星磁気圏のグローバル粒子シミュレーション手法を確立し、地球磁気圏サブストームのトリガー機構とそれに付随するオーロラ発生機構およびプラズマ粒子加速機構を解明することを目的とする。本年度は、グローバル粒子シミュレーション手法の確立を目指して、小さな双極子磁場に一樣なプラズマ流を与えた場合（図 1）に、シミュレーションが安定的に進行するかどうかを調べた。

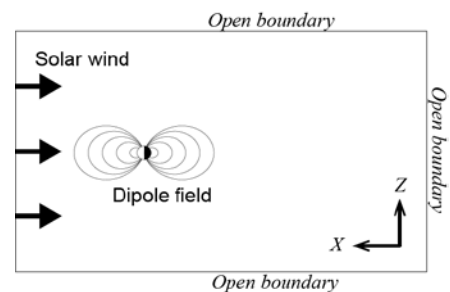


図 1：グローバル粒子シミュレーションの初期設定。

計算領域の大きさは $L_x \times L_z = 10\lambda_i \times 5\lambda_i$ (λ_i はイオン慣性長) とし、計算格子は一樣、境界条件は開放境界[2]とした。図 2 に、電子の旋回周期に比べて十分長時間経過した後の電流密度 (J_y) 分布を示す。プラズマ流と磁気圏の境界や尾部の中心付近に強い電流が流れ、磁気圏に特徴的な構造が形成されることを確認した。

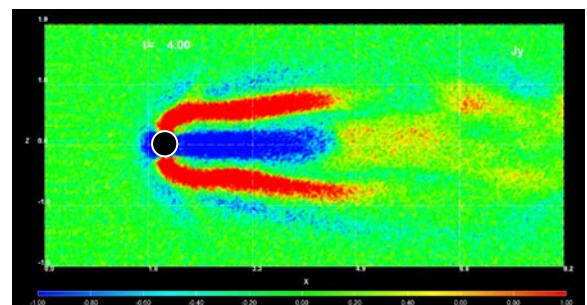


図 2：テスト計算結果。紙面垂直方向の電流密度を示す。

参考文献

- [1] K. Fujimoto & M. Takamoto, Phys. Plasmas, 23, 012903, 2016.
- [2] K. Fujimoto, Geophys. Res. Lett., 41, 2721, 2014.