

地球磁気圏における電流生成機構の解明

Study on current generation mechanism in Earth's magnetosphere

岩立 篤¹, 荻野 竜樹^{1*}

Atsushi Iwadachi¹, Tatsuki Ogino^{1*}

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

太陽風と地球磁気圏の相互作用を明らかにすることは宇宙開発を進めていく上で必要不可欠あり、衛星観測とシミュレーションの双方から研究が行われている。近年の計算機の進歩から、精度の高いシミュレーションと大規模データ解析を行うことが可能になった。特に VRML(Virtual Reality Modeling Language) を用いた 3次元可視化環境は飛躍的に向上し、ボリュームレンダリング法で 1億点以上のピクセルイメージが使用可能となった。しかし、MHDシミュレーションの物理量をそのまま 3次元可視化しても、エネルギーの大きなプラズマが磁気圏境界を覆うように厚みを持って分布しており、磁気圏境界に注目した解析ができない。そこで、磁気圏境界に注目した解析を行うために、空間微分量を用いて 3次元 MHDシミュレーション結果(IMF南向き定常状態)を 3次元可視化・解析して磁気圏ダイナミクスを再構築した。

MHD方程式の基礎物理量を線形化し、ベクトル量の回転と発散をとり、磁力線に対して平行成分と垂直成分に分解する。ここで、平行電流は磁力線に平行な成分、垂直電流は磁力線に垂直な成分、平行渦度は渦度の磁力線に平行な成分、垂直渦度は磁力線に垂直な成分、圧縮性は速度の発散である。この電流生成機構を理解した上で、各パラメータを 3次元可視化し、地球磁気圏のどの領域で値が大きいのか、なぜ大きいのか、MHDモードの分離とその寄与は何かを明らかにする。

MHD方程式の基礎物理量の空間微分量に注目した理論解析を行い、平行渦度が平行電流を生成することを確認し、垂直渦度と圧縮性が垂直電流を生成していること、及び、垂直電流と圧縮性と垂直電流の比によって FMS(Fast magnetosonic mode)と SMS(Slow magnetosonic mode)が分離できることを新たに導き出した。空間微分量を 3次元可視化・解析することで、電流生成に支配的な物理量とその領域を特定した。地球遠方のプラズマシートに流れる電流生成源は垂直渦度であり、その他の領域の電流生成源は垂直渦度と圧縮性の双方である。また、FMSとSMSのモード分離に成功し、その寄与を明らかにした。地球近傍のプラズマシート内では FMSが支配的であり、地球から離れるにつれて SMSが支配的となってゆく。リコネクション領域では特に FMSが顕著に励起されている。

キーワード: MHDシミュレーション, 電流生成機構, 渦度と圧縮性, 磁気リコネクション, 磁気圏ダイナミクス, 境界層不安定

Keywords: MHD Simulation, current generation mechanism, Vorticity and compressibility, Magnetic Reconnection, Magnetospheric Dynamics, Boundary Layer Instabilities