

プラズマハイブリッドシミュレーションモデルの一般化 Generalization of Plasma Hybrid Simulation Model

天野 孝伸^{1*}; 東森 一晃¹; 白川 慶介¹
AMANO, Takanobu^{1*}; HIGASHIMORI, Katsuaki¹; SHIRAKAWA, Keisuke¹

¹ 東京大学地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

宇宙プラズマの非線形現象を扱う自己無撞着な数値シミュレーションモデルとして、イオンを運動論的に扱い電子を慣性の無視できる流体として扱うハイブリッドモデルが広く用いられている。この手法は電磁流体スケールからイオンの慣性長のスケールまでを正しく取り扱うことが出来るが、一方で質量0の電子の存在を仮定しているため高周波の whistler 波の取り扱いが困難であり、このため数値的安定性に問題を抱えていた。我々は最近、ハイブリッドモデルに電子慣性効果を「適切に」組み込むことによってこの問題が解決できること、またこれによって低密度領域や真空領域の扱いが可能になることを示した。本研究ではこのモデルを更に発展させ、電子の運動論的效果を組み込む手法の可能性について議論する。

電子の運動論的效果は一般的には最も原始的な Vlasov-Maxwell 方程式を用いなければ扱うことが出来ないと考えられている。このモデルでは電磁波や Langmuir 波などの高周波の波動までが全て含まれており、特に宇宙プラズマでは多くの場合において電子のプラズマ周波数とサイクロトロン周波数は前者の方が非常に大きいため、計算量が莫大になってしまうという問題が有る。逆に考えれば、例えば電子と whistler 波とのサイクロトロン共鳴などを考える際には高周波成分による寄与は小さいと考えられ、近似的には準中性条件が成り立っているものと予想される。そこで本講演では電荷中性条件を仮定した、イオンと電子を共に運動論的に粒子として扱う手法の是非を検討する。基本方程式としては Maxwell 方程式の変位電流を無視した Vlasov-Ampere 方程式系を採用し、静電場についての Poisson 方程式は用いない。従って本モデルでは電場は通常一般化されたオームの法則に対応する方程式から決定する必要があるが、この電場の決定方程式を Vlasov-Ampere 方程式系より厳密に導出した。講演ではこの厳密な方程式を用いることによって電荷中性条件を仮定しながらも電子サイクロトロン共鳴の正しい取り扱いが可能であることを示す。

キーワード: プラズマ, 数値シミュレーション

Keywords: plasma, numerical simulation