

Elucidation of the finite electron inertia effects in MHD scale K-H vortices

中村 琢磨[1], 林 大輔[1], 藤本 正樹[1]

Takuma Nakamura[1], Daisuke Hayashi[2], Masaki Fujimoto[3]

[1] 東工大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., TITech, [2] Earth and Planetary Sci, Titech, [3] DEPS, TITECH

本研究では、Kelvin-Helmholtz の渦 (KH の渦) についてシミュレーションを用いて研究した。この現象はプラズマの混合現象を考える意味で重要視されているが、理想 MHD 方程式で計算すると期待するような混合は起こらないことが知られている。そこで本研究では、MHD 方程式に電子による効果を加えた方程式系で計算した。すると、MHD で計算した結果には見られない混合現象が起こることがわかった。

本研究では、MHD 方程式系にイオン慣性を考慮に入れた Hall-MHD 方程式系と、Hall-MHD に加えてさらに電子慣性をも考慮に入れた二流体方程式の二つの方程式系を用いた。二つの方程式系の差は、電子の質量をゼロとしたか (Hall-MHD) 電子の質量を加えているか (二流体方程式) という差である。

本研究では、LLBL をモデルとした 2 次元シミュレーションを行ない、そこで発生する KH の渦に現れる電子慣性の効果について研究した。LLBL では、magnetosheath の太陽風流速と magnetosphere の磁気圏プラズマとの間の速度シアによって、その勾配層の厚さに比例したスケールの KH の渦が発生することが知られている。このモデルを Hall-MHD で計算すると、KH の渦は発生するものの二種類のプラズマが激しく混合するという現象は見られなかった。これは MHD で計算した結果と同じである。しかし、電子慣性を考慮に入れた二流体方程式で計算すると、KH の渦の中に二次的ともいえる KH の渦の $1/4$ 程度の大きさの渦が次々と発生し、その結果 KH の渦が崩壊し混合したような状態になることがわかった。つまり、電子慣性を考慮に加えることによって MHD スケールの現象に多大な変化が見られたのである。

一般に電子慣性の効果は、今考えている KH の渦のスケール (MHD スケール) に比べはるかに小さい電子慣性長程度のスケールで効くことが知られている。本研究のモデルでも、電子の質量を加えて計算すると過去の線形解析によって得られた電子慣性によるスケールの小さい不安定が発生していることがわかった。ではなぜこのような小さなスケールの効果であるはずの電子慣性の効果が大きな影響を持ち得るのだろうか。研究を進めると、KH の渦の内部に初期の勾配層の約 $1/4$ の厚さの二次的な勾配層が発生していることがわかった。さらに電子慣性による不安定が成長しながらこの二次的な勾配層に到達していることがわかった。つまり、KH の渦に大きな影響を及ぼす二次的な渦は、二次的な勾配層にノイズ (この場合は電子慣性による不安定) が与えられることによって起こる二次的な KH の渦だといえる。Hall-MHD で計算した時には現れなかった二次的な渦が二流体方程式で計算したときに現れたのは、二流体方程式で計算することによって現れる新たな不安定が二次的勾配層へのノイズとなり得たからということである。

つまり、例えば小さなスケールのノイズでもそれが二次的な勾配層に到達するような状況が起これば、KH の渦の $1/4$ 程度のサイズを持つ二次的渦は発生する。そして、その二次的渦によって KH の渦は決定的に大きな影響を受けるのである。講演では、この説を確認するに至った数値実験の詳細を述べる。