

## ケルビン・ヘルムホルツ不安定の3次元乱流発展に対するイオンの運動論的效果

# 松本 洋介 [1]; 関 華奈子 [2]  
[1] 名大環境; [2] 名大 STE 研

## Ion kinetic effects on a 3-D turbulent evolution of the K-H instability

# Yosuke Matsumoto[1]; Kanako Seki[2]  
[1] SELIS, Nagoya Univ.; [2] STEL, Nagoya Univ.

We have shown by 3-D MHD simulations that a vortex after the linear growth of Kelvin-Helmholtz (K-H) instability is susceptible to the secondary instability [Matsumoto and Seki, 2007]. The fundamental mechanism is similar to the magneto-rotational instability (MRI) which has usually been applied to the accretion disk. Sano and Stone [2002] showed that the Hall term (ion kinetic) effect had importance in the nonlinear saturation of the MRI as well as in the linear growth [Balbus and Terquem, 2001]; the direction of the magnetic field with respect to the angular momentum separates the fate of the instability. By analogy with their study on the MRI, we have examined an ion kinetic effect on the 3-D nonlinear evolution of the K-H instability. 3-D Hall MHD simulation showed a faster and more turbulent evolution of the secondary instability when the magnetic field directed opposite to the angular momentum of the vortex. On the other hand, it was inhibited when the magnetic field was set in the same direction. The results indicate importance of the ion dynamics in rapidly rotating plasma in which vortices finally collapses into turbulence. The detailed mechanism that deviates the nature of the secondary instability is presented in this talk.

我々のこれまでの研究では低緯度磁気圏境界面で成長していると考えられるケルビン・ヘルムホルツ (KH) 不安定の非線形乱流発展を示すことにより、太陽風プラズマの磁気圏内及び電離圏への新たな輸送モデルを提案してきた。特に電離圏へのエネルギー輸送という観点では、3次元 KH 不安定の MHD シミュレーションを行うことにより、渦内部で背景磁場方向に成長する2次的不安定の存在とその生成メカニズムをこれまで明らかにしてきた [Matsumoto and Seki, 2007]。この3次元性による2次的不安定の成長により、渦面内の運動エネルギーが磁気エネルギーへと変換され、新たに生まれる磁場成分により3次的に乱流状態へと移行することが明らかになった。また、この2次的不安定を理論的に解析し、磁気圏への応用を試みた結果、その成長時間スケールは1分程度であることから十分に存在しうるモードであることが明らかになった。

これまでの議論では理想 MHD 近似を元にしていたが、現実の磁気圏境界ではイオンの粒子性が無視できないことが示唆されている。人工衛星による磁気圏境界の観測から、境界の厚みはイオン慣性長の数倍程度であることが示されており、KH 不安定の非線形発展に対してイオンの運動論的效果の寄与を議論する必要がある。そのような観点で、これまで KH 不安定の線形成長に対する Hall 項の効果 [Fujimoto and Terasawa, 1991] や、その2次元非線形発展に対する影響 [Huba, 1994] が示されてきた。いずれにおいても、Hall 項は非一様な背景プラズマ中において効果的であることが明らかになった。一方、渦内部で成長する3次元2次的不安定のメカニズムは、理論解析から、天体の降着円盤で扱われる Balbus-Hawley 不安定 (または磁気回転不安定、MRI) のそれと似ていることが我々の研究によって明らかにされている。その MRI についても、近年 Hall 項の重要性が示されてきた。Sano and Stone [2002] は、線形成長率だけでなく [Balbus and Terquem, 2001]、MRI の非線形発展が角運動量に対する磁場の向きによって大きく影響を受けることを明らかにしている。

本研究では、上記 MRI の Hall 項の効果に関する研究とのアナロジーから、KH 渦内部で発生する3次元2次的不安定に対するイオンの運動論的效果に注目し研究を行った。そのため、これまで開発した CIP 法をベースとした3次元 MHD コードを拡張した Hall MHD コードを用いてその3次元非線形発展を調べた。イオンの運動論的效果を表す初期の速度シア幅 ( $l$ ) とイオン慣性長 ( $L_i$ ) の比は  $l/L_i=8.0$  と、イオンの慣性効果が弱い初期条件で計算を行った。また、垂直背景磁場 ( $B$ ) の向きを変えて、渦運動による角運動量 ( $L$ ) と磁場の内積が正の場合 ( $BL>0$ ) と負の場合 ( $BL<0$ ) の2種類計算を行った。まず、KH 不安定の線形成長率を調べたところ、Fujimoto and Terasawa [1991] で示されたように、両者の間に違いは見られず理想 MHD の結果と同じ成長率を示した。一方、非線形段階においてはこれまでの理想 MHD 計算と同様に渦内部に2次的不安定が成長するものの、イオン慣性効果が弱いにもかかわらず両者の間に有意な差が見られた。  $BL<0$  の条件下ではより速い2次的不安定の成長を示すことが明らかになった。  $BL<0$  では2次的不安定がより速く成長した結果、より強い乱流構造へと発展することが明らかになり、MRI の研究で示された結果と同様の傾向が KH 不安定の3次元非線形発展においても再現されることが明らかになった。本講演ではイオン運動論的效果が2次的不安定の成長に及ぼす影響について物理的解釈も含めて発表をする。