

三次元シミュレーションにおけるケルビン・ヘルムホルツ渦の空間発展効果

高木 健 [1]; 長谷川 洋 [2]; 藤本 正樹 [3]
[1] 東工大・理・地球惑星; [2] 宇宙研; [3] 宇宙機構・科学本部

The Effects of Spatial Evolution on the Kelvin-Helmholtz Vortices with Three-Dimensional Simulation

Ken Takagi[1]; Hiroshi Hasegawa[2]; Masaki Fujimoto[3]
[1] Dept. Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech.; [2] ISAS/JAXA; [3] ISAS, JAXA

On the flank side of the Earth's magnetosphere (MSP), a velocity shear layer is structured by the velocity jump between the fast plasma flow of the solar wind (SW) and the plasma convection in the Earth's magnetosphere. In that layer it is known that the Kelvin-Helmholtz instability (KHI) is excited by the velocity shear. It has been indicated by many researchers that the nonlinear development of the KHI surely builds a large scale vortex structure, which enables efficient plasma mixing between the SW and MSP plasmas. Computational studies on the development of the KHI-origin vortex structure have been carried out for many years. In those studies a periodic boundary condition has been chosen as a standard model. However, that condition seems inconvenient to observe the long-time development of the vortex structure because leeward domain may influence on windward. Recently, comparison between periodic- and free-boundary conditions has been made using two-dimensional (2-D) hydrodynamic (HD) simulations to investigate the effects of the boundary conditions on the development of the KHI-origin vortices. For the free boundary case, a complicated structure has been detected in the transition from the linear- to the nonlinear phase of the KHI. It is spatially asymmetric regions that appear at the head and the rearmost of a chain of vortices. In those regions an embedded vortex-like flow is produced to make the regions stagnant. This stagnancy plays an important role in the subsequent vortex mixing by the KHI and in the sudden wide-spread of the vortex. This result indicates that wide-spread plasma mixing between SW and MSP plasmas may occur in the early stage.

In this research, we have performed three-dimensional (3-D) HD simulations to inspect the 3-D effects on the plasma mixing as a foothold in adaptation to space. The simulation domains are divided into three regions. That is, one KHI-unstable layer with a finite thickness of D is put between two KHI-stable regions. In order to see the effects of the KHI-stable regions on the KHI-unstable layer, we have made a systematic survey varying D . Then comparison between the 3-D and the recent 2-D results has been done.

地球磁気圏の横腹では太陽風起源の高速プラズマ流と地球磁気圏プラズマ対流によって速度勾配層が形成され、その領域では流れの歪によって励起される Kelvin-Helmholtz 不安定性が発達することが知られている。この KHI の発達に伴い、大規模な渦構造が境界領域に形成されて太陽風プラズマと磁気圏プラズマの効率的混合を可能にすることが示唆されている。その為、KHI による渦構造の発達に関するシミュレーション的研究は長い間なされており、その多くは周期境界条件が標準的なモデルとして採用されているが、下流部が上流部分に何らかの影響を及ぼしている可能性があり長時間発展を見る上で都合が悪いと考えた。

そこで、前回の研究では Kelvin-Helmholtz (K-H) 不安定の空間発展性について調べる為に、従来の周期境界モデルと自由境界の条件を課した従来に比べて非常に大きなシミュレーション空間を用意し、同じ初期条件の条件下で二次元流体計算を行った。その結果、K-H 不安定が線形成長段階から非線形成長段階に移行する辺りで周期境界モデルでは見られなかった空間的な非対称領域が渦の前後に現れる事が分かった。更にこの非対称な部分の中で渦的な流れが形成され、この領域が停滞する事によって後の K-H の渦混合や急激な渦のスケールの拡大に重要な役割を果たす事が分かった。この事は実際の宇宙空間でも早い段階における太陽風起源のプラズマと地球磁気圏のプラズマが広範囲にわたって混合する可能性があることを示唆すると考えられる。本研究ではこのモデルの三次元効果を検証する為に、K-H 不安定領域を上下から K-H 安定領域で挟む三次元モデルを考えて流体計算を行った。その際、有限な不安定領域の厚さに対して上下の安定領域の効果がどの程度影響を与えるかについて焦点を当て、不安定領域の厚さを色々変えて二次元計算結果との比較も行った。