

磁気圏界面でのケルビン-ヘルムホルツ不安定  
における自己組織化：最小エンストロフィー状態への緩和

\*三浦 彰 [1]

東京大学[1]

**Self-organization in the magnetopause Kelvin-Helmholtz instability: relaxation to the minimum enstrophy state**

\*Akira Miura[1]

University of Tokyo[1]

The evolution and relaxation of an initial shear flow subject to the Kelvin-Helmholtz instability at the magnetopause, which is a typical non-equilibrium open system, are investigated by using two-dimensional compressible hydrodynamic simulations and the calculus of variations. During the instability evolution the total kinetic energy remains almost constant, but the enstrophy decays rapidly by the selective dissipation with the artificial viscosity. The successive vortex pairings lead to the emergence of an isolated vortex and the initial shear flow relaxes toward a self-organized state, i.e., a nearly minimum enstrophy state in the incompressible fluid.

磁気圏界面は太陽風からの流れにさらされる典型的な非平衡開放系である。そのような系では自己組織化が起こり系の時間的、空間的振る舞いに重要な役割を果たすことは良く知られている。前回までの講演で磁気圏界面の速度勾配によって生ずるケルビン-ヘルムホルツ (K - H) 不安定の非線型状態で起こる不可逆の渦の連続する合体は全運動エネルギーがほぼ一定に保たれ、エンストロフィーが数値粘性によって散逸される自己組織化の過程であることを2次元シミュレーションによって明らかにしてきた。今回の講演では、K - H不安定が十分に発達した非線型状態では固有値問題を解くことにより得られる単純な固有関数で記述される最小のエンストロフィー状態に流れは緩和していくことを明らかにする。

自己組織化の過程では粘性 (散逸) の存在が本質的であるが、このシミュレーションでは物理的に意味を持つ粘性を与えているわけではなく、数値シミュレーションコードに含まれる陰の人工粘性と更に外部から与えた陽の人工粘性が粘性の起源になっている。そこでまず人工粘性が最も小さくなるように外部から与える陽の人工粘性は0とする。磁場が含まれるMHDの場合には陰の人工

粘性だけではノイズが多い。そこでもっとも簡単な場合として磁場が全くない中性の流体の場合についてK - H不安定の2次元のシミュレーションを行った。シミュレーションでは初期の流れ方向のシステムの長さは線型で最も不安定なモードの8倍にした。初期擾乱として速度の擾乱は流れ方向の速度の擾乱を乱数で与えもう一方の速度成分は非圧縮の条件を満たすように決める。初期の発展では線型理論で予測されるように最も不安定なモードが乱れた種の中から成長し8個の渦が現れる。最終的には渦は一つに合体し、シミュレーション領域には大きな渦が一つ現れる。シミュレーションコードに含まれる陰の人工粘性と初期の速度シア層の幅によって計算したレーノルズ数は128である。流れのマッハ数は0.25である。このシミュレーションで得られる最終状態での渦度の自乗平均 (エンストロフィー) と速度の自乗平均との比は正規化された値で0.00298であった。一方、非圧縮性を仮定した固有関数から理論的に得られる最小エンストロフィーの状態での比は0.00404である。更にシミュレーションを非圧縮の状態に近づけるためにマッハ数を0.125と0.0625にした場合にシミュレーションから得られた比は0.00347と0.00356であった。従ってシミュレーションにおいてマッハ数を小さくしていき非圧縮の状態に近づけていくと渦度の自乗平均と速度の自乗平均の比の値は理論的に計算された最小エンストロフィー状態での比に近づいて行く。つまりK - H不安定の非線型状態で起こる渦の合体の結果、一つの大きな渦が生じるが、その状態はほぼ最小エンストロフィーの状態に近いことがわかり、K - H不安定の非線型状態で起こる連続する渦の合体は確かに最小エンストロフィーを持つ流れの状態に緩和して行く自己組織化の過程であることが明らかになった。今後、磁気圏界面のようなMHDの場合に物理的に意味のある粘性を与えレーノルズ数に対する依存性等を明らかにしていくことが必要である。