

彗星コマ中での彗星イオンと太陽風間での非線形波動粒子相互作用に関する計算機シミュレーション

Simulation of the Nonlinear Wave Particle Interaction for Motions of the Picked-up Ions in the Comet-Coma Regions.

加藤 雄人[1], 大家 寛[2]

Yuto Katoh[1], Hiroshi Oya[2]

[1] 東北大・理・地球物理・大家研, [2] 東北大・理・地球物理学

[1] Electromagnetism of Space and Earth Group, Tohoku Univ, [2] Geophysical Ist. Tohoku Univ.

1 序

1986年のハレー彗星回帰の際に行なわれた複数の飛翔体による直接観測の結果、太陽風と彗星イオンとの相互作用領域が彗星核に対して大きく非対称な構造を持っていることが明らかとなった。この非対称構造の形成過程について Oya(1993)によって示されたモデルでは、彗星イオンの磁力線方向の運動に対する非線形波動粒子相互作用による制動が重要な働きをする。本研究ではこのモデルに関わる「波動粒子相互作用にもとづく粒子運動の制動効果」を検証するために、線形解析と計算機シミュレーションを用いて、線形過程から非線形過程へと至る全プロセスの究明を目的として行われた。

2 励起される電磁流体波 -線形解析

本研究は彗星核から 300 万 km から 1000 万 km を越える Comet-Coma 領域を対象としている。特に選んだ核から 700 万 km の領域では彗星起源の中性粒子の密度は、太陽風プロトン(5 個/cc)の 1/1000 である。この領域に入ってから電離した彗星イオンが核に対して持つ速度は 1km/sec で太陽風速度に比べて無視できることから、太陽風に固定された座標系では、発生した彗星磁力線に対して直角方向の旋回速度を持ち、磁力線に平行方向にはイオン・ビームとなって系の中に入射してくる状況となる。この時ビームの最高速度は太陽風と惑星間磁場が平行になる場合で、太陽風速度に等しくなり、Alfven 速度の 10 倍となる。したがって、まず、ビームと磁場の方向を平行とする場合について、彗星イオンの磁力線方向への運動について特に着目し、磁場強度 5nT の場合、彗星起源の酸素イオンの運動を取り扱った。基礎方程式となる、運動方程式および Maxwell 方程式を、まず線形化し分散関係式を導出し、解析解を求めた。その結果、成長する電磁流体波の解が得られた。成長率が最大となる波長は酸素の Lamor 半径の 4 倍に相当する約 5 万 km、成長率は 10^{-2} (1/ cp) であり、1000 秒間で波長が立ち上がることを示している。

3 1次元ハイブリッドコードシミュレーション

問題としている波動粒子相互作用が成長し、非線形過程に入った時を取り扱うために、1次元ハイブリッドコードシミュレーションを行なった。パラメータはしたがって線形解析の場合と全く同じ条件におかれている。結果はシミュレーションの初期段階では線形解と同じ波動が発生し、その後それらの波動が強い非線形波動へと推移していく様相が示された。ここで最も強く励起される非線形波動の波長は大きく伸びて約 50 万 km に及ぶ。この非線形波動のスペクトルが最も卓越した部分での等価位相速度は Alfven 速度(47km/s)にほぼ等しいという特徴を示し、また磁力線方向に対して右回りの変動をする横波であることが示された。この非線形波動の励起に伴って、400km/sec から始まるイオンビーム速度が 40km/sec 前後に落ちるまで制動が加えられ、沿磁力線方向の速度成分が大きく減速することが明らかとなった。この結果は冒頭で示されたモデルでの制動効果を支持するものである。