

イオンピックアップ過程に関わるビーム不安定により励起される波動について

Study of Ion Beam Instability for the case of the Ion Pick-up Process

加藤 雄人[1], 小野 高幸[2], 大家 寛[3]

Yuto Katoh[1], Takayuki Ono[2], Hiroshi Oya[3]

[1] 東北大・理・地球物理・小野研, [2] 東北大・理, [3] 福井工大・宇宙通信

[1] Electromagnetism of Space and Earth Group, Tohoku Univ, [2] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ., [3] Space Commu. Fukui Univ.

<http://stpp1.geophys.tohoku.ac.jp/>

無磁場天体からの大気流出過程において重要なメカニズムとして考えられているイオンピックアップ過程については、これまでも多くの研究が行なわれているが、イオンの運動の変化に関する素過程については未だ疑問が残されている。本研究では、イオンの沿磁力線方向への運動の変化に深く関わる波動粒子相互作用について特に着目し、イオンピックアップの典型例としてハレー彗星の彗星核から 700 万 km 離れた位置に存在する Comet-Coma 領域で見られたピックアップ現象を取り上げ、Warm Plasma 近似による線形解析、ハイブリッドコードによる計算機実験、さらに Hot Plasma に対する線形解析を用いて研究が進められている。

これまでに行なわれたハイブリッドコードを用いた計算機実験の結果では、太陽風プラズマ中には彗星イオンのピックアップの初期段階でまず小振幅の波動が発生し、その後振幅の大きな MHD 波が励起される。この MHD 波動の成長とともに彗星起源のイオンが強い加速を受け、イオンピックアッププロセスが効果的に働く様子がとらえられている。この MHD 波動は $10^3 V_A / \rho_p$ の波数を持ち、伝播速度がアルフベン速度にほぼ等しい R-mode の波動であるが、先に行なわれた Warm Plasma 近似を用いた線形解析ではこの波数領域には不安定現象としてあらわれていないものであり、非線形波動粒子相互作用がこの MHD 波動の励起に関わっている可能性が示されている。ここで、 V_A はアルフベン速度、 ρ_p はプロトンのサイクロトロン周波数である。

ここでは、太陽風プロトンと彗星起源の酸素イオンとを Hot Plasma として取扱うことにより、シミュレーションの初期段階に励起される波動についてより詳細な線形解析を行なった結果について報告する。

Comet-Coma 領域においては、太陽風プロトン(5 個/cc)の 1/1000 の密度を持って彗星起源の酸素イオンが存在しており、太陽風との相互作用を行なっている。太陽風に固定された系を用いてこの領域を考えると、電離によって生成された彗星イオンが持つ初速度(熱速度)は太陽風速度に比べて無視できる程小さいことから、彗星イオンは太陽風速度にほぼ等しい相対速度を持ったビームとして系の中に入射してくる状況となる。

彗星イオンビームを含む Hot Plasma の分散を求めての線形解析を行なった結果、プラズマ不安定は波長約 $78 V_A / \rho_p$ 、周期 $107 \rho_p^{-1}$ において成長率が最大となる解が得られた。このプラズマ不安定は、彗星イオン O^+ と太陽風プロトンとの間の速度差に起因するビーム不安定によるものであり、イオンピックアップ過程の初期の線形段階で励起される波動の形成をもたらすものと考えられる。この事実はシミュレーションの初期段階で発生している波動に対する周波数及び波数スペクトル解析の結果と一致している。彗星イオンの運動に影響を与える MHD 波の励起の段階では、このビーム不安定の結果発生した波動が重要な役割を持っていると考えられ、その非線形波動粒子相互作用の様相がシミュレーションの中で捉えられていることになり、この段階でのプラズマのふるまいについての詳細な解析が必要とされている。