

Study of Effects on Field-aligned Motion of Picked up Ions due to Interaction with Solar Wind.

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/>

イオンピックアップ過程におけるピックアップイオンの沿磁力線方向への運動の変化について、ハレー彗星のコマ領域での現象をとりあげ、線形解析と計算機シミュレーションによって検討を行った。過去の研究から、イオンピックアップ過程における MHD 波の励起とそれに伴う彗星イオンの加速、および太陽風プロトンの加熱が生じる様相が明らかにされているが、シミュレーションにおける数値的な不安定の発生により太陽風プロトンのエネルギーが増加し続けるという問題が挙げられ、ピックアップされたイオンの太陽風への完全な同化に至るまでのシミュレーションには至っていない。本研究ではこの太陽風プロトンのシミュレーション上の人工的な不自然な加熱の問題を解決して、ピックアップされたイオンが太陽風にどの程度まで同化するかについての評価を行うことを目的とする。

彗星核から 10^7 km 離れたところに位置するコマ領域では、彗星起源の中性粒子の電離によって生成されるイオンと太陽風との直接的な相互作用が行われている。この領域を太陽風に固定された系の上でモデル化すると、電離により生成された彗星イオンは太陽風との相対速度に等しい速度を持ったビームとして系の中に入射してくることと等価となる。

彗星イオンが持つ速度のうち、磁力線に対して直交する成分はサイクロトロン運動に寄与し、平行な成分はそのまま保存されて磁力線方向への運動を行うことになるが、この速度は時間とともに減少し、太陽風に同化すると考えられる。この沿磁力線方向の速度成分の減速（慣性系における加速）について、線形解析およびハイブリッドコードを用いた計算機シミュレーションを用いてそのメカニズムの解明を行った。

用いるモデルは太陽風に固定された系を考え、ビームの方向を初期磁場の方向にとることにより、彗星イオンの沿磁力線方向の運動について特に着目したモデルとなっている。彗星起源の酸素イオンの密度は太陽風プロトンの $1/1000$ として計算を行った。ここでビーム速度はアルフベン速度の 10 倍にほぼ等しく、彗星イオンとしては酸素イオンを取り扱った。

その結果、系の中に入射するビームの速度に起因するビーム不安定によって大振幅の MHD 波が励起され、この MHD 波との相互作用によってビームイオンの沿磁力線方向の速度成分が大きく減速を受ける様相が再現された。この MHD 波の波長は $140 V_a/W_p$ 、周期は $40 W_p^{-1}$ であり、これまでに報告されているシミュレーション結果と一致している。ここで V_a はアルフベン速度、 W_p はプロトンのサイクロトロン周波数である。シミュレーションではこの MHD 波が励起するプロセスが捉えられ、MHD 波の振幅は $120 W_p^{-1}$ において最大となり、その時点でのビーム速度は $4.5 V_a$ となる結果が得られている。バックグラウンドの太陽風プロトンは MHD 波の励起の後加熱されるが、ここでシミュレーションの中でイオンの運動を扱う場合に用いる超粒子の数を調節することにより、問題点として指摘されている太陽風プロトンの数値的な加熱の影響を抑えられることが示された。これにより太陽風プロトンの加熱による運動エネルギーの増加はシミュレーションの系全体のエネルギー収支を満足する程度に収束し、イオンの運動をより長い時間追跡する場合の結果についての信頼性を高めることができた。シミュレーションの後半部分においては、MHD 波はその後減衰に転じるが、ビームの減速は継続し、 $800 W_p^{-1}$ まで経過した時点では $1.0 V_a$ 程度にまで減速されている様相が明らかとなった。この $800 W_p^{-1}$ の間に系全体が進む距離は 5×10^6 km であるが、イオンが磁場に捕らえられた場所が彗星核から 10^7 km 離れたコマ領域であるとする、減速が収束する位置は彗星核までの距離の半分となり、コマ領域の中に十分おさまるものとなる。この結果と観測から得られる結果との比較を行うことで、太陽風に捕らえられたイオンが行う運動の詳細についての議論を行うことができる。

本結果では、長時間のシミュレーション実施によってもビームイオンの減速の終端速度は 0 とならず、ある程度のビーム成分が残ることが結論された。この点についてはシミュレーションあるいは探査機による観測結果を用いてのさらなる検討が必要とされる。以上の結果から、太陽風に捕らえられたイオンが加速され、太陽風に同化されていく過程の中でイオンに関わるプロセスの全容を明らかにすることができた。