

論文の内容の要旨

論文題目: Spacecraft observation of interstellar pickup He^+
 by E/q type ion detectors

(衛星搭載 E/q 型イオン検出器による星間起源ピックアップ He^+ の観測)

氏名 野田 寛大

太陽圏は局所星間雲 (LIC; Local Interstellar Cloud) と呼ばれる温度約 10^4 [K]、水素密度 0.1 [/cc] の領域の中にいると考えられている。LIC は比較的暖かいため、粒子は分子では存在せず、原子あるいはプラズマとなって存在している。LIC の物理量 (温度、密度、速度、磁場、電離状態など) は太陽圏との境界条件を決定する為、この物理量推定は重要である。すなわち、プラズマ成分は太陽圏との相互作用により Bow Shock、Heliopause、Termination Shock を形成し、中性粒子の多くは shock を通過して太陽圏内部まで流入する。また電離状態は LIC に照射される電離端 (HeI : 504 \AA 、 HI 912 \AA) 以上のエネルギーを持つ極端紫外光強度が支配すると考えられるが、定常状態を仮定したモデルにより計算される LIC 中の He^+ の存在量が観測と異なるなど、 He^+ の電離状態は未解決の問題の一つとなっている。

一方、惑星間空間内に存在する He^0 は惑星や彗星の周囲を除外すると、ほとんどが LIC からの流入成分であると見積もられている。太陽圏と LIC は相対速度約 25 km/s を持つため、流入する中性ガスは“星間風”として観測される。星間風水素の約 6 割が電荷交換により失われてしまうのとは対照的に、 He^0 は太陽風の主成分である H^+ との衝突断面積が小さく、太陽近傍での極端紫外光による電離と太陽間近の電子衝突電離以外では大きく損失することなく太陽圏に流入してくると考えられている。したがって惑星間空間内 He^0 は星間空間の情報をそのまま保持していると考えられる。さらに He^0 は太陽光による放射圧の影響をほとんど無視することができるために、太陽重力により星間風下流域にガス集積領域 (ヘリウムコーン) を形成する。ヘリウムコーンの集積度合いは星間空間の物理量および太陽圏内での損失率 (loss rate) の大きさから決まる為、ヘリウムコーンの空間的広がりを観測することにより星間ガスの物理量を推定することができる。1980 年代までは太陽系近傍の星間空間を知る手がかりは可視、紫外域での光学観測に限られていたが、1980 年代中頃には星間起源 He^0 が電離された後のイオンを人工衛星に搭載されたイオン検出器でその場で検出する方法により星間起源粒子の直接観測がなされた。このイオンは太陽極端紫外光

などによる電離の後に太陽風磁場に捕捉されてそのまま太陽風と同じ速度で移流していくために“ピックアップイオン”と呼ばれている。1990年に打ち上げられた ULYSSES 衛星に搭載されている質量分析装置 (SWICS; Solar Wind Ion Composition Spectrometer) は、地球軌道付近では検出できない中性 H や N、Ne、O などのピックアップイオンを観測し、LIC の化学組成の解明に大きく貢献している。また、1990年代後半には ACE (Advanced Composition Explorer) 衛星に代表されるような太陽/太陽風探査を目的とする近代的な機器を持つ衛星がいくつも軌道上で活躍し、例えば ACE に搭載されている SWICS ではピックアップ He^+ イオンの定常観測を実現している。現在の段階では中性のままの粒子を検出するのは困難であり、ULYSSES の GAS による唯一の観測例があるが、検出できる粒子のエネルギーが衛星と星間風の相対速度で決まるため定常的な観測は難しい。したがってピックアップイオンによる観測は定常的に観測が出来るという点で優れている。

以上のようにピックアップイオン観測は近年になって急速にデータが蓄積されつつある。しかしながらヘリウムコーンのピックアップイオン観測は 1985 年に観測した AMPTE/IRM 衛星と近年の ACE 衛星に限られている。さらにピックアップイオン観測では黄経 75 度 (地球の軌道で 12 月上旬) を中心とする半値幅約 15 度のヘリウムコーンを横切る時期に観測期間が限られるため、地球近傍に滞在する人工衛星では LIC の物理量測定は年 1 度である。特に LIC の物理量の時間変化があった場合にはデータ量は不十分である可能性がある。そこで我々はピックアップ He^+ イオンを用いた LIC 粒子観測のデータ量増加を目的として、1960 年代から使用されている質量を区別しないエネルギー/電荷 (E/q) 型のイオン検出器を用いてピックアップ He^+ イオンの観測可能性について検討し、我々が使用可能である観測データを解析した。

始めにピックアップ He^+ イオンが E/q 型イオン検出器でも観測可能であることを太陽風速度分布関数のシミュレーションにより示し、その後観測データの解析によりこのイオンの検出を行った。地球磁気圏探査衛星 GEOTAIL に搭載されている E/q イオン検出器 LEP (Low Energy Particle experiment, 5 keV–42 keV) のヘリウムコーン通過時のデータを 1994 年から 3 年間解析した。

衛星が太陽風中において、地球衝撃波前面に存在する非熱的イオンの影響がない時期を選び出してカウントを積算した結果、太陽風の 16 倍までのエネルギー位置にピックアップ He^+ イオンとみとめられるカウントを検出し、さらにヘリウムコーンを通過する時期にはこのカウント数が増加していくことを見出した。GEOTAIL はヘリウムコーンを通過する 12 月には衝撃波上流に出ないためコーン中心のデータは得られていないが、2000 年 12 月以降はコーン中心通過時にも太陽風中を飛行するのでデータ取得が可能となってくる。

次に、2000 年現在惑星間空間を飛行中ののぞみ探査機に搭載されている PSA/ISA (Plasma Spectrum Analyzer/Ion Spectrum Analyzer) で同様のデータ解析を行った。データの地球への伝送率が 20 分に 1 データと低いため、機上でカウントを積算する運用が行われた。太陽風プロトンを観測しないエネルギーレンジを選択しているためにピックアップ He^+ イオンの分布関数および α 粒子から太陽風速度を推定した。2000 年 3 月 23 日から 4 月上旬のヘリウムコーン通過を含め 6 月 30 日までのデータを解析に用いた。カウントを日毎に積算し、その太陽黄経でのピックアップイオンの位相空間密度を日毎に算出した。太陽風速度が 500 km/s を超えピックアップイオンがエネルギーレンジを超える場合と、太陽フレア等でバックグラウンドノイズが極度に増加した時期を除外し、さらに積算データが不十分なために統計的誤差がカウント自身と同等以上であるデータを除外した結果、期間中 54 日分のデータが得られた。

LIC 起源粒子は太陽重力のみを受けるケプラー軌道を描きヘリウムコーンを形成すると考えられる。星間風粒子の温度を考慮したモデル (hot model) を作成し、のぞみ PSA/ISA で得られたヘリウムコーンデータをモデルにフィッティングすることにより LIC での温度と密度の推定を行った。ヘリウムコーンの形状は太陽圏での loss rate にも依存する。このため、loss rate には SOHO 探査機の太陽極端紫外光モニターから求めた光電離効率、およびのぞみ探査機に搭載されている電子検出器から求めた電子衝撃による電離効率、および過去の見積もりを用い、 1.4×10^{-7} [1/s] という値を採用した。この条件の下にフィッティング時に χ^2 が最小になるように温度、密度を決定した。その結果、温度 10400 [K]、密度 3.1×10^{-2} [/cc] という

値を得た。

'98、'99年のACEのSWICSによるピックアップイオン観測とULYSSESのGASによる He^0 観測の結果によると、太陽活動が上昇するに従い、導出されたLIC温度および密度が高まっているとの報告があり、我々の結果でも2000年春での温度が10400Kという、従来言われてきた7000[K]に比べて高い温度を記録した。これはモデルを記述する方法にまだ不十分な点がある可能性も否定できないが、時間あるいは空間的な変化を示唆するものかもしれず、更なる研究が必要である。

さらに我々は1984年のAMPTEのピックアップイオンデータと比較するため、1985年に打ち上げられたハレー彗星探査機「すいせい」に搭載されていたE/q型イオン検出器ESP(Energy Spectrum of Particles, 260 eV-17 keV)のデータを解析した。「すいせい」はハレー彗星に接近するため、地球軌道の1AU(天文単位)よりも内側を飛行し、ヘリウムコーン通過時の太陽からの距離は0.7-0.8 AUであった。これにより初めて1AU以内でのピックアップイオンデータの取得に成功した。衛星から地上へのデータ転送率などのためにデータ量が限られていたため、星間空間パラメタの決定をするのに十分なデータ量を確保できなかったが、1AUよりも太陽側で得られたピックアップイオンの位相空間密度はモデルから予想されたものよりも大きい値を示し、このことは従来使用されていたモデルに変更を加える必要があることを示唆するものと考えられ、今後の課題である。