

「すいせい」で観測されたハレー彗星と  
太陽風の相互作用

向井利典・三宅 亘\*・寺沢敏夫\*\*  
北山正信・平尾邦雄\*\*\*

(1986年12月25日受理)

Solar wind interaction with comet Halley observed by Suisei

By

Toshifumi MUKAI, Wataru MIYAKE, Toshio TERASAWA,  
Masanobu KITAYAMA and Kunio HIRAO

**Abstract :** The Suisei probe made a closest approach of 151,000 km to comet Halley at 13:06 UT on 8 March 1986, and during the encounter Suisei passed through a strong interaction region, where the solar-wind flow was severely perturbed by picked-up ions of cometary origin. Plasma-flow observation shows a characteristic pattern of the flow around the comet as an obstacle. The pickup shells of water-group ions and protons of cometary origin were clearly identified in the phase-space distribution. It is interesting to note that the shell is incompletely filled (by 50-70% of the filling factor). Field-line draping around the comet was observed within  $2 \times 10^5$  km of the Halley's nucleus, where magnetic-field directions are derived from the symmetry axes of the ion-pickup shells. Other ions, such as  $\text{CO}^+$  (and/or  $\text{N}_2^+$ ) and  $\text{CH}^+$  (and/or  $\text{C}^+$ ), were also identified from energy per charge spectrum near the closest approach. Flow turbulence was observed as short-term (period of  $\lesssim 2$  min) fluctuations of the anisotropy direction in the outer cometosheath ( $2-4.5 \times 10^5$  km from the nucleus), while the flow was found to be laminar near the closest

---

\* 電波研究所平磯支所

\*\* 京都大学地球物理教室

\*\*\* 東海大学航空宇宙学科

approach ( $1.5-2 \times 10^5$  km from the nucleus). An abrupt change of the plasma parameter was detected around  $4.5 \times 10^5$  km away from the nucleus, representing the bow-shock crossing. The mass-loading effect was observed at a distance of up to  $\sim 1 \times 10^6$  km. Spatial distribution of density of water-group ions (identified up to  $4 \times 10^6$  km from the nucleus) is also presented.

## 概 要

「すいせい」がハレー彗星に 15 万 km まで接近して観測した太陽風は彗星イオンのピックアップの影響で本来の姿の面影のない程乱された状態にあった。流速ベクトルの変化はちょうど障害物の前面の流れのパターンを示している。イオンの速度分布関数の詳細な観測の結果、彗星起源のプロトン及び水分子族イオンのピックアップ・シェルの存在が明らかになった。そのシェルは必ずしも完全ではなく、充填率が 50~70 % であることはプラズマ物理的に大変興味ある点である。そのシェルの対称軸から推定された磁力線方向の変化から、核から 20 万 km 以内で磁場の彗星への巻き付きが観測された。また、シェル構造からイオン種別の判定が可能で、前記の主成分の他に  $\text{CO}^+$  (又は  $\text{N}_2^+$ )、 $\text{CH}^+$  (又は  $\text{C}^+$ ) の存在が最接近のデータで確認された。1 スピン毎の非等方性方向の観測から、最接近の付近 (核から 20 万 km 以内) の流れが層流的であるのに対して、その外側から衝撃波までの間では乱流的であることが観測された。衝撃波の通過は核から 45 万 km の所で検出されたが、その後も約 100 万 km までマス・ローディング効果が観測された。また、彗星核から 400 万 km までの水分子族イオン密度の空間分布も求められている。

## 1. 緒 言

1986 年 3 月上旬、この歴史的なエポックはハレー彗星が 76 年毎に巡って来るたびに想い起されるであろう。人類の作った探査機が 6 機、編隊を組んだかの如く、初めてハレー彗星を訪れたのであった。日本の「すいせい」の最接近は 3 月 8 日 13:06 UT で約 15 万 km (太陽側) であった。搭載されたプラズマ観測器は彗星ガスと太陽風の強烈な相互作用を観測し、その結果は既に Nature 誌[1]及び Geophysical Research Letters[2], [3] に発表されている。本論文と次の論文〔寺沢他〕はこれらをまとめたもので、本論文は彗星近傍の観測を報告する。

彗星と太陽風の相互作用は、彗星科学としては勿論、太陽系プラズマ物理として重要な研究課題であり、各国の探査機は全てこの問題の解明を一つの柱とした。これに関して、他の惑星の場合との相違は彗星の重力が弱いことで、Biermann et al.[4]が約 20 年前に初めて指摘したように、太陽風は彗星核の数百万 km も上流から相互作用し始めるのであ

る。彗星の中性ガスは光電離等によってイオン化され、磁場を介して太陽風にピックアップ (pickup) される。一方、太陽風は重い彗星イオンが重荷となって減速される (mass loading 効果)。この影響は彗星核に近づくにつれて大きくなると考えられるので、一つの問題は衝撃波の生成がどうなるかということである。その位置や強さは彗星イオンのピックアップ過程の評価によって大きく変わることをモデル計算は示していた (例えば[4], [5])。「すいせい」の観測データはこの描像に対する実験データを提供したものであり、ソ連の Vega や ESA の Giotto との軌道条件や姿勢制御システムの相違の為に、他では見えないユニークなデータもあって互いに相補的となっている。

## 2. 測定器及びデータ処理の概要

「すいせい」に搭載された3次元プラズマ分析器 ESP (Energy Spectrum of Particles) は、図1に示すように、扇形コリメータ、270°球型静電分析器及びマイクロチャンネルプレートで構成されている (その詳細は参考文献[6]及び[7]参照) が、ハレー彗星との会合時には遠距離通信の為に低ビットレートとなり、2次元モードで運用された。視野角は $5^\circ \times 60^\circ$ で、長い方が黄道面に垂直である。測定エネルギー範囲は $30 \text{ eV/e} \sim 15.8 \text{ keV/e}$ で、対数的に等間隔な96ステップに分割されている。角度分布はスピンを利用して得られるが、その分割は図2に示すように22分割で、1スピンの間それぞれの角度セクターで4ステップのエネルギーのイオン・フラックスを測定している。図3はエネルギー掃引方法を示す。64ステップの低エネルギーモード ( $30 \text{ eV/e} \sim 1.92 \text{ keV/e}$ ) と高エネルギーモード ( $248 \text{ eV/e} \sim 15.8 \text{ keV/e}$ ) を交互に行った。各モードの16スピン (ハレー会合時では147秒) のデータを伝送するのに512秒要するので、それぞれのデータ間には365秒の休止期間がある。

各モードのデータは [64 エネルギーステップ]  $\times$  [22 角度セクター] の分布関数で構成されている。プラズマのマクロ・パラメータの算定には次の3つの方法を用いた。一番目

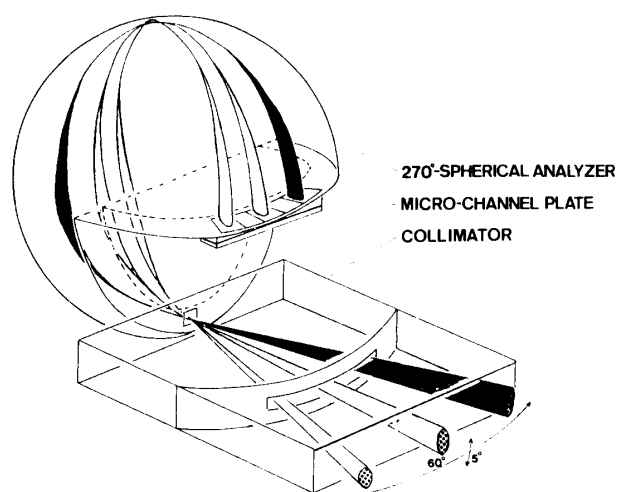


図1 「すいせい」に搭載された ESP センサの機能概念図

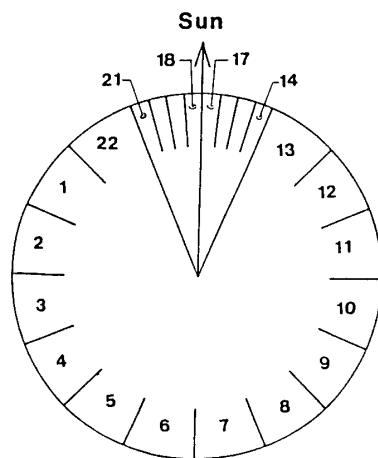


図2 ESPの方位角分布の分割.

太陽方向から $\pm 22.5^\circ$ の範囲内では $5.625^\circ$ ずつ,その他の方向は $22.5^\circ$ ずつに分割して,全部で22セクターある.

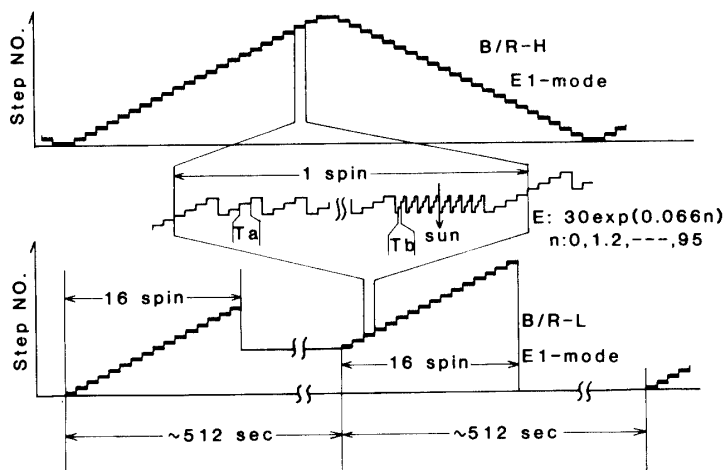


図3 ESPのエネルギー掃引方法.

ハレー会合時では,下部のように低エネルギーモードと高エネルギーモードが交互に繰り返された.

は shifted bi-Maxwellian の分布関数で fit する方法で, 太陽風プラズマの解析に通常用いられているものである。しかし, 衝撃波の内側ではこの方法は使えず, 次の2つの方法を用いた。まず, リング形構造が分布関数で判別できるときは, その形に対してイオン・ピックアップ・シェル (3.2節参照) の fitting を行い, そうでないときは, 適当な範囲のエネルギーと角度に於ける分布関数のモーメントをとってマクロ・パラメータを算定した。

### 3. 観測結果とその解釈

#### 3.1 プラズマ流の流速

図4はハレー彗星近傍のプラズマ流の特徴をまとめたもので、矢印の長さと方向が流速ベクトルを示す。座標系の中心は彗星核で、CSE系(cometocentric solar ecliptic coordinate system)を用いている。即ち、X軸は黄道面内で太陽方向、Z軸は北方向である。Y軸は右手系を構成するようにとられている。図5はマクロ・パラメータの時間変化で、プ

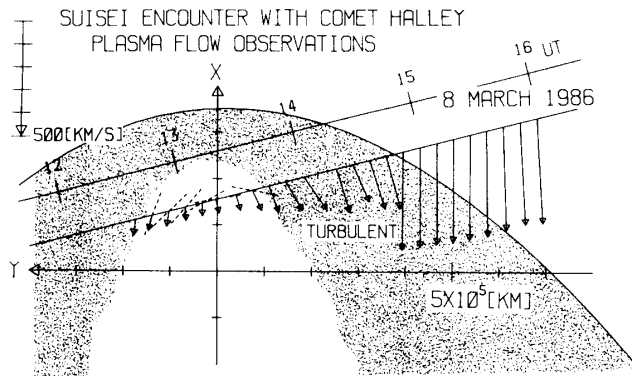


図4 ハレー会合時に「すいせい」によって観測されたプラズマ流速ベクトル。  
破線はピックアップ・シェルの対称軸から推定された磁力線方向を示す。

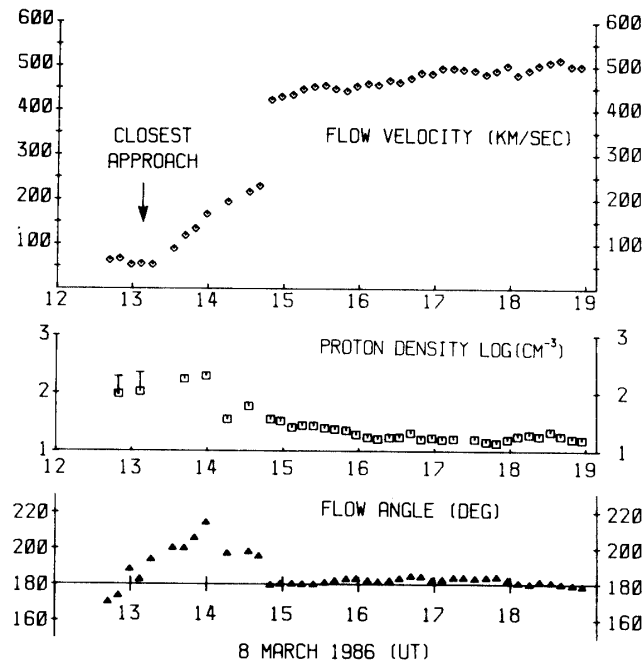


図5 プラズマのマクロ・パラメータの時間変化。

ロトン密度は太陽風プロトンと彗星起源のプロトンの両方を含んでいる。ESPの観測開始は12:32 UTで、14:43 UTまではコメトシース (cometosheath) の中にあったことが流速ベクトルの変化から理解できる。図4の矢印は、障害物のまわりに流れが減速されて曲げられている状況を如実に示している。その対称軸はX軸からわずかに(4°~6°)左に傾いているが、これは上流側の太陽風流速を400~500 km/sと考えると妥当な方向である。流速は最接近時近傍で $56 \pm 10$  km/sにまで減速され、上流の太陽風速度の約1/8と考えられる。

14:43と14:49 UTの休止期間の間にプラズマ・パラメータは大きく変化し、衝撃波の通過を物語っている。彗星核からの距離は約45万kmで、衝撃波の厚みは最大26,000 km(上記の休止期間に対応)となる。図4には衝撃波の形を放物線で近似して、その先端が核から35万kmとして描いている。この衝撃波の通過で、流速は240 km/sから440 km/sに増加し、その方向も16°変化して本来の太陽風の状態に近くなったが、その後もプラズマ・パラメータはゆっくりと変化し続けた。即ち、衝撃波直後の流速440 km/sとプロトン密度 $35 \pm 5$  cm<sup>-3</sup>は17:10 UT(このとき核から約100万km)には $510 \pm 10$  km/sと $15 \pm 3$  cm<sup>-3</sup>になった。この変化は彗星イオンのピックアップによるmass loading効果と考えられる。実際に、この領域の分布関数には彗星起源のプロトン及びO<sup>+</sup>のシェル構造(3.2節)がはっきりと見えている。しかし、上記の変化が全てmass loadingに依るものかどうかは今後の定量的検討を待たねばならない。上流の太陽風のデータとしてVega 1及び2のPLAS-MAGのデータ(Gringauzよりの私信)を見た場合、上記のような大きな変化はなかったようであるが、運動量フラックスが保存しない問題[1]について解明する必要がある。

### 3.2 彗星イオンのピックアップ

この言葉は大方の読者にとって初めてではないかと思われるので、図6に示す概念図を用いて簡単に説明しよう。座標系の原点は探査機で、 $V_x$ ,  $V_y$ はCSE系と同じである。 $V_F$ は太陽風の流速で黄道面内にあると仮定している(この仮定は衝撃波近傍を除いてほぼ正しいと思われる)。 $V_C$ は彗星の探査機に対する相対速度 $V_{HC}(-18, 70, -12)$  km/sの黄道面成分であるが、この大きさもほぼ $V_{HC}$ に等しい。彗星の外側に逃げ出している中性ガスと核の相対速度はせいぜい数km/sなので、その中性原子又は分子の速度も探査機に対してはほぼ $V_C$ に等しく、光電離等によって新しく生成されたイオンの速度も $V_C$ になる。今、磁力線の方向を破線の $B$ の方向(磁場はプラズマに凍結して一緒に流れている)とす

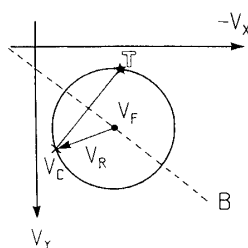
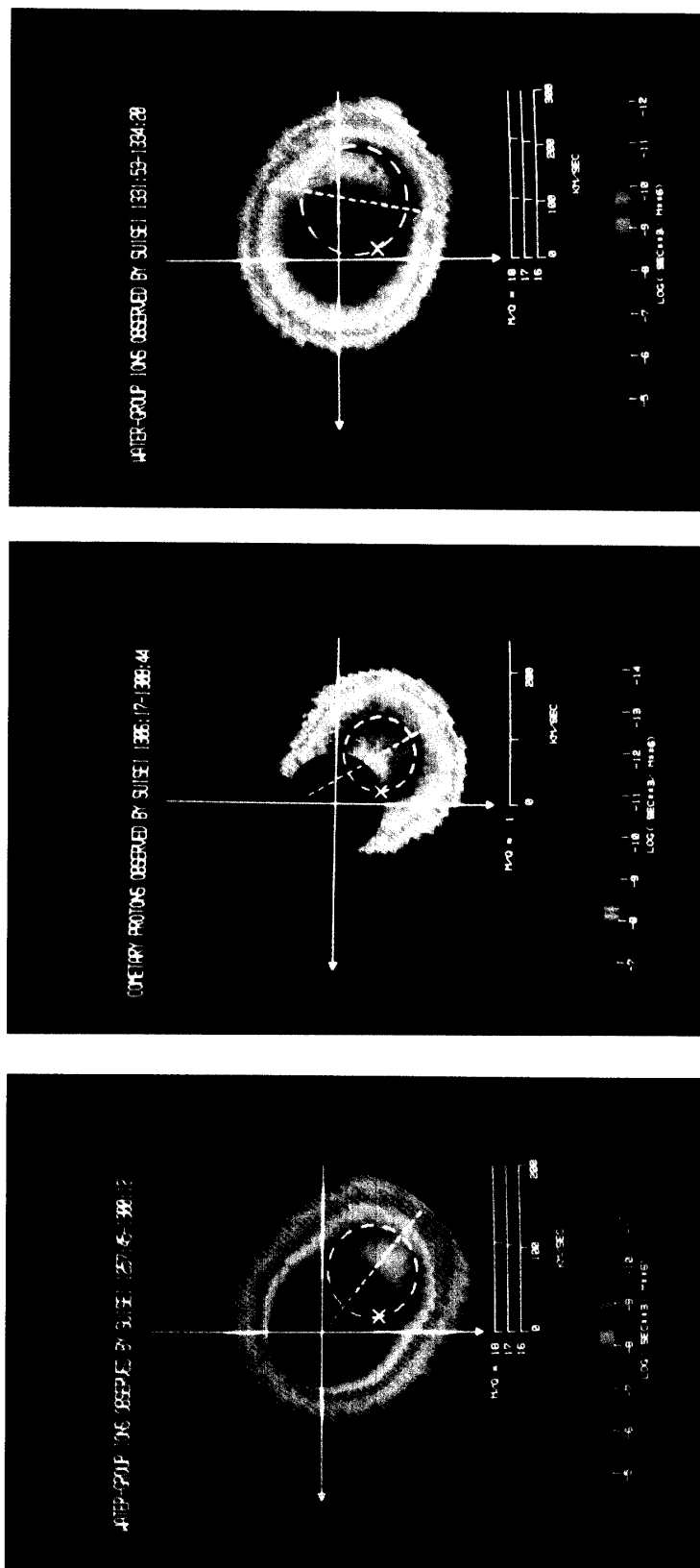


図6 彗星イオンのピックアップ・シェルの概念図(理論モデル)



(c)右図  $1.92 \times 10^5$  km

(b)中央図  $1.51 \times 10^5$  km,

(a)左図  $1.53 \times 10^5$  km,

図7 ハレー彗星への最接近前後で観測されたイオンの速度分布関数、横方向及び縦方向の矢印はそれぞれ  $V_x$  と  $V_y$  の方向を示す。

ると、その生れたばかりのイオンは磁力線のまわりを回転し始め、位相空間のトーラスを形成する。 $T$ の点はトーラスの黄道面との交点である。このトーラス分布はプラズマ不安定を引き起こし、アルフベン波を励起する。トーラス分布の彗星イオンはこの波でピッチ角散乱されてシェル分布になる。図6の円はこのシェルと黄道面の交叉線であり、その半径  $V_R$  は  $|V_F - V_C|$  に等しい。ここで、 $V_C$  は定点であることに注意しておく。また、トーラスの形状、従って  $T$  の出現位置は磁力線方向に依存するが、シェルの形状は  $V_F$  と  $V_C$  で決まり、磁力線方向と関係ない。完全な（一様な）シェルになれば、その平均速度は  $V_F$  に等しくなり、彗星起源のイオンが太陽風に同化したことになる。このシェルをピックアップ・シェル (pickup shell) と呼ぶ。

さて、実際のデータを見てみよう。図7 a~c はハレーへの最接近前後で得られた速度分布関数のカラー表示である。図7 a は最接近の約8分前で核から  $1.53 \times 10^5$  km 付近で得られたデータ（高エネルギーモード）のうち、0.2~2.6 keV/e のイオンの分布関数である。カラーコードは全てのイオンが  $O^+$  であるとして作っている。他のイオン（質量  $M$ 、電荷量  $q$ ）に対しては、このスケールは  $(M/q/16)^2$  倍する必要がある。図7 a の右下にリング形の構造が見えるであろう。これが水分子族イオン ( $H_2O^+$ ,  $OH^+$ ,  $O^+$ ) のピックアップ・シェルと考えられる。イオン種別の同定の根拠の一つはシェル上に  $O^+$  に対応する  $V_C$  (図7 a の×印)があることで、少なくとも  $H^+$  や  $CO^+$  ではない。速度のスケールは上から順に  $H_2O^+$ ,  $OH^+$ ,  $O^+$  に対して描いてある。破線の円は  $O^+$  のピックアップ・シェルとして fitting を行ったもので、その結果、流速は  $(-75 \pm 10, 65 \pm 10)$  km/s と算定された。シェルの一部 ( $\leq 0.8$  keV/e;  $O^+$  のスケールで 100 km/s 以下) は減速された太陽風プロトンの存在でマスクされている。

シェルの存在はピッチ角散乱が早いことを示唆するものであるが、同時にまた、図7で必ずしもシェル分布は一様でないことも興味ある点である。このシェルを構成するイオンは観測点の上流側で太陽風にピックアップされたものであるが、もし流速がその間に変化すれば、観測点では同じシェル上にはないであろう。従って、今の場合その上限はせいぜい衝撃波の内側で、彗星核の上流側 30 万 km 程度であろう。観測点までの到達時間は高々 2500 秒（流速 60 km/s として）である。彗星イオンの生成率は核からの距離の逆2乗にほぼ比例するので、平均的には 1000 秒程度であろう。磁場の強さは同時観測がないけれども、Vega や Giotto の観測を参考に 20 nT とすると、 $O^+$  のジャイロ周期は約 52 秒となり、1000 秒の間に 20 程度の回転数になる。ピッチ角散乱の効率は  $\delta B/B$  ( $\delta B$  はアルフベン波の振幅) に依存するけれども、20 程度の回転数は充分であると考えられる。従ってシェル分布の非一様性はエネルギー拡散を同時に考える必要があることを示唆するものかも知れない。或いは、イオンの生成率が非常に高く、ピッチ角散乱が追いつかないことも一つの可能性として考えられる。実際、分布関数をよく見るとトーラスの部分が高いように思われる。以上の議論の定量的検討は今後の問題である。いずれにしても、この非一様なシェル構造は図7 a の破線に関して対称になっていて、この対称軸は磁力線方向を示すものと考えられる（勿論、 $180^\circ$  の不定性はある）。図7 a の例では  $+V_x$  軸から反時計方向に  $140^\circ \pm 10^\circ$  である。





図8 衝撃波の外側で観測されたイオンの速度分布関数。  
小さい破線円と大きい破線円は、それぞれ、彗星起源の  $H^+$  及び  $O^+$  のピックアップ・シェルの理論的な出現位置を示す。

図7 bは最接近時付近(彗星核から  $1.51 \times 10^5$  km)に得られた低エネルギーモードのデータのうち  $0.33$  keV/e以下の分布関数で、イオン種別は全て  $H^+$  であるとして表示したものである。前図と同様に、右下にリング形構造が見えるが、これは彗星起源の  $H^+$  のピックアップ・シェルと考えられる。やはり非一様であるが、シェル部分のコントラストは図7 aに比べてずっと弱い(カラーコードを圧縮していることに注意)。これは、減速され且つ加熱された太陽風プロトンがシェルの内側に存在していることに起因している。前図と同様に、算定された流速及び対称軸はそれぞれ  $(-74 \pm 10, 68 \pm 10)$  km と  $120^\circ \pm 10^\circ$  の方向である。

図7 cは最接近後27分後(彗星核から  $1.92 \times 10^5$  km)のデータで、やはり水分子族イオンのピックアップ・シェルを示すものである。破線の円で算定された流速は  $(-105 \pm 10, 30 \pm 10)$  km/s である。この場合シェルは全く部分的であり、対称軸は  $80^\circ \pm 30^\circ$  の方向になっている。

以上のようにしてピックアップ・シェルの対称軸から推定された磁力線方向を図4の矢印の足元に破線で示してある。興味あることは、この方向が連続的に回転しているように見えることで、アルフベン[8]が提唱した破力線の彗星のまわりの巻き付きを示しているのではないかと考えられる。しかし、この磁力線方向の推定は彗星核からの距離20万 kmを越えると可能でなくなった。これは、流速の乱れが大きくなってシェル構造がはっきり

しなくなった為で、このことについては3.4節で述べる。

衝撃波を越えた太陽風の領域に於けるピックアップ・シェルの例を図8に示す。この例は前述の mass loading 効果の最後の約1時間分のデータを平均したものである。太陽風域に於ける彗星イオンの観測結果の詳細は、Terasawa et al.[3][9]を参照していただくとして、ここでは単に、小さい破線円が彗星起源の  $H^+$ 、大きい円が  $O^+$  のピックアップ・シェルの示すことを指摘するに留める。太陽風速度が大きくなっている為、 $O^+$  のピックアップ・シェルは低エネルギー部分 ( $\leq 15.8$  keV/e; ESP の測定エネルギー上限) しか見えていない。

### 3.3 彗星起源のイオン組成

ESP はエネルギー分析器であって質量分析器ではないが、ピックアップ・シェルが明瞭なときはイオン種別の弁別が可能である。その結果、図7や図8に見られたように、主成分は当初の予想通り水分子族イオンと  $H^+$  であった。この事は Giotto の質量分析器の結果 [10]とも一致する。図9は、図7 aの原点から流速方向(破線の磁力線方向でもある)に切った断面図である。横軸は、図9では、エネルギーにとっている。縦軸のスケールは、全てのイオンが  $H_2O^+$  であるとしたときの位相空間密度であるが、他のイオンに対しては  $(M/q/18)^2$  倍すべきである。1.7 keV/e のピークは図7 aのリングに相当するもので、水分子族イオンを表わしている。また、1 keV/e 以下のイオンはプロトン成分である(太陽風起源の  $He^{++}$  も混在している可能性もある)。他のイオンのピックアップ・シェルはエネルギー

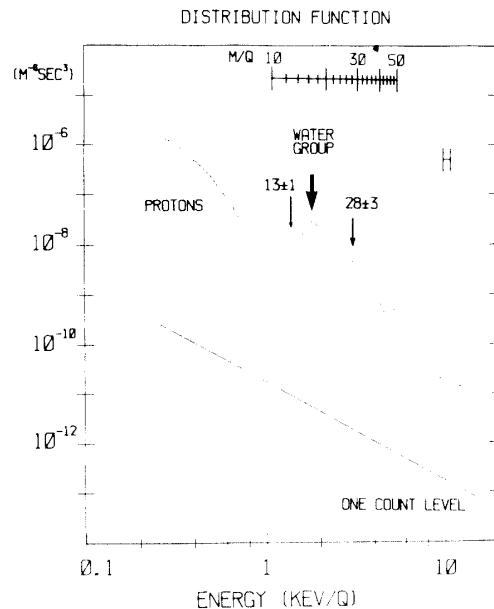


図9 図7 aの原点から流速ベクトル方向に切った断面図。  
横軸はエネルギー・スケールであるが、対応する  $M/q$  のスケールを上方に示している。右上の小さいバーは流速の10%変動に対する  $M/q$  のスケールの誤差を示す。

ギー軸上で  $(1/2)m_P[|V_F| + V_R]^2 \times (M/q)$  に相当する。ここで、 $m_P$  はプロトン質量である。図7 a ではプロトンのシェルは見えていないので、水分子族イオンのピークに合わせた  $M/q$  のスケールを図の上方に示している。この一連のデータをとるのに147秒要するので、その間の流速の変動は  $M/q$  の判定に誤差を生ずる。右上方の横方向の小さい棒は流速の10%の変動に対応する誤差の大きさを示すものである。図9で、水分子族イオンの他に  $M/q=28$  のピークは統計的に有意で、 $CO^+$  又は  $N_2^+$  に対応するものと考えられる。また、 $M/q=13 \pm 1$  の小さいピークは  $C^+$  又は  $CH^+$  の可能性がある。他にも重イオンらしきピークが見えるが、これらについてはもう少し検討を要する。

### 3.4 流速の乱れ

第2節で述べたように、ハレー会合時のESPのエネルギー掃引は低エネルギーモードと高エネルギーモードを交互に繰り返して行われた。各モードの64ステップのデータを得るのに147秒要したが、1スピンの間に(9.18秒)4ステップのエネルギーにおける角度分布の情報が得られるので、そのデータの非等方性の方向の変化を調べることにより短時間の乱れについての情報が得られると期待される。図10がその解析の結果である。各コラムが一連のデータ群で、その中の棒の方向が上記の1スピン間の非等方性方向を示す。但し、統計的ゆらぎを避ける為、平均のカウント数が200 c/s 以上の場合だけを表示してある。データ No. 2-5の間は棒の方向が揃っていて、流れが層流的であることがわかる。そして No. 6-16(特に11-16)では棒の方向にゆらぎが見られ、流れが乱流的になっていた事を示唆している。この領域は図4で“turbulent”と表示した部分である。以上をまとめると、衝撃波のすぐ内側では乱流的になっているが、彗星核に近づくにつれて減速されると共に層流的になっていることがわかった。

図10の各データ群の上方の円のマークは彗星起源のイオンのピックアップ・シェルが明瞭に判別できたことを示す。乱流の領域でもシェルはまだ見えているが、流れのゆらぎの為にかなりぼけた形になっている(3角のマーク)。なお、衝撃波の内側では、プロトンのシェルは最接近の近傍(No. 3と5の低エネルギーモード)でのみ観測された。その外側の領域では太陽風プロトンの温度が高い事と流れのゆらぎの為にプロトン・シェルの判別は

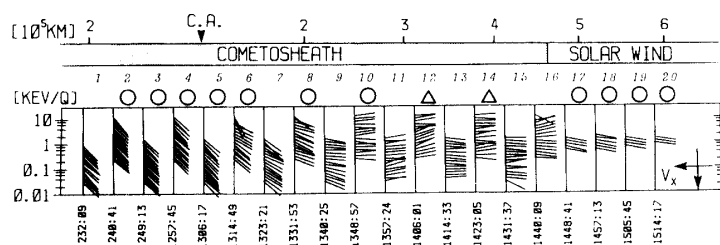


図10 非等方性方向の変動の観測。

各コラムの小さい棒が1スピンのデータから求められた非等方性方向を示す。各コラムの上方の丸の印はピックアップ・シェルが確認できたデータを示す。核からの距離が最上部に書かれている。

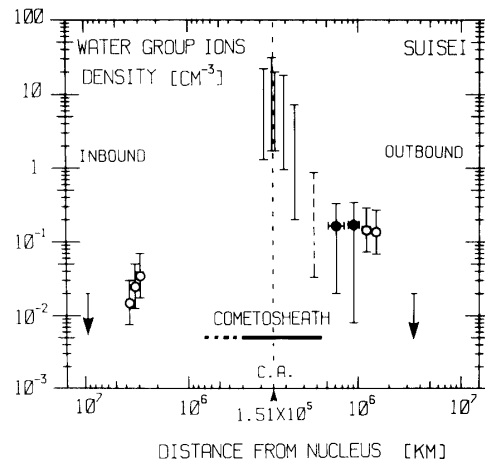


図 11 水分子族イオン密度の空間分布。  
白丸は太陽風プロトンの温度異方性から磁力線方向が決められた場合、黒丸はできなかった場合に対応する (Terasawa et al. [3], [9] 参照)。

難しい。

衝撃波の外側では再びピックアップ・シェルがずっと判別できた。ここでは図 8 に示すように  $H^+$  と  $O^+$  の両方のシェルが見られた。

### 3.5 水分子族イオンの密度

3.3 節で述べたようにシェル構造が見えているときはイオン種別の判定が可能で、そのシェルを構成しているイオン密度が算定することができる。但し、ESP の視野は全空間をカバーしていないので、外挿することが必要であり次式を用いた。

$$N_c = N_{\text{OBS}} \cdot \frac{V_{\text{SHELL}}}{V_{\text{OBS}}} \quad (1)$$

ここで、 $N_c$  はシェルを構成するイオンの密度、 $N_{\text{OBS}}$  は測定器視野内で観測されたシェル (体積  $V_{\text{OBS}}$ ) のイオン密度、 $V_{\text{SHELL}}$  はシェル全体の体積である。 $V_{\text{SHELL}}$  及び  $V_{\text{OBS}}$  の計算に必要なシェルの厚みはリング形構造の位相空間密度の最大値の 10% 以上の部分をとった。コメトシースの中では大体 10 km/s である。このようにして得られた水分子族イオンの密度プロファイルを図 11 に示す。プロトン密度については Terasawa et al. [3], [9] を参照されたい。各データの最大値は一樣なシェルの場合に対応し、最小値はトーラスの場合に対応する。後者の疑いは ESP の観測が 2 次元モードの為に捨てきれないが、コメトシース内のシェルの充填率を 50~70% とするのが妥当と思われる (図 7 参照)。コメトシース内のイオン密度は図 11 では上限と下限のみを示しているが、シェルの充填率を上記の値にとると最接近時では  $14 \sim 20 \text{ cm}^{-3}$  になる。この値は Giotto のイオン質量分析器の結果 [10] とほぼ一致する。なお、衝撃波のすぐ内側では乱流性の為に、算定されたイオン密度の信頼性が低いと考えられるので破線で示している。衝撃波の外側の太陽風領域におけるプロトン・シェルの充填率はほぼ 50% と考えられる [3], [9] ので、水分子族イオンに

対してもその値を採用した。但し、この領域では、シェルの一部しか ESP の測定エネルギー範囲内にないので (図 8 参照), 算定された密度の不確かさは大きくなる。

図 11 を見て幾つかの興味ある点がある。一つは 60 万~150 万 km の肩である。もう一つは、図 11 の左右の非対称性である。ハレーに接近中 (図の左側) の観測では 400 万 km で初検出されたが、遠ざかっている時 (図の右側) の同じ距離では検出されなかった (測定器で決まる上限値のみを示している)。また、測定されたイオン密度は単純な計算値 [1] に比べてかなり多い。これらの問題点については現在モデル計算によって検討中であるが、ハレー彗星の水分子の生成率が多かった ( $Q \sim 2 \times 10^{30}$  molecules/s) ののではないかと考えられる。

#### 4. 結 言

「すいせい」がハレー彗星の側を通り過ぎたときに観測された太陽風と彗星ガスの相互作用について述べてきた。その相互作用において最も重要な役割を演じているのが彗星イオンのピックアップ現象であることを観測面で検証し、その特徴的なリング形の速度分布関数の詳細を得たことは、「すいせい」の最大の成果の一つに数えられるだろう。Giotto のプラズマ観測 [Neugebauer 及び Lazarus; 私信] はプロトンのピックアップ・シェルの 3 次元データを得ているが、3.2 節の結果を支持している。但し、Giotto では姿勢制御 (スピン軸が黄道面内) と測定器のエネルギー範囲と視野角の関係で、水分子族のシェルの形を観測できなかった。Vega の場合、姿勢制御が 3 軸制御の為にシェル分布の全体像が得られていないが、エネルギー軸上に見られる彗星イオンのピーク [11] はシェルの一部であろう。勿論、Vega や Giotto は「すいせい」では観測できなかった内部コマの詳細を得ているが、太陽風との直接的な相互作用領域のプラズマ観測のデータの解釈においては筆者らの結果が一つの出発点となっている [ハイデルベルグに於けるハレー・シンポジウム; 第 20 回 ESLAB SYMPOSIUM, 1986]。

プラズマの流速の観測結果も彗星核の上流のコメトシース内の唯一のデータであり、Vega や Giotto のデータと相補的である。

勿論、これらの成果は筆者らだけのものではない。小田稔所長を始め、宇宙研内外の関係者の一致団結した努力があってこそ成し遂げられたものである。特に、プロジェクトマネージャーの伊藤富造教授と名人芸で最接近距離を 15 万 km に制御した上杉邦憲助教授に感謝する。また、データの解釈において西田篤弘教授、清水幹夫教授、足原修博士、山本哲生博士等に感謝する。ここで得られたデータは NASA/DSN ゴールドストーン局で受信されたものである。

#### 参 考 文 献

- [1] Mukai, T., W. Miyake, T. Terasawa, M. Kitayama, and K. Hirao, Plasma observation by Suisei of solar wind interaction with comet Halley, *Nature*, 321, 299-303, 1986a.
- [2] Mukai, T., W. Miyake, T. Terasawa, M. Kitayama, and K. Hirao, Ion dynamics and distribution around comet Halley: Suisei observation, *Geophys. Res. Letters*, 13, 829-832, 1986 b.

- [3] Terasawa, T., T. Mukai, M. Miyake, M. Kitayama, and K. Hirao, Detection of cometary pickup ions up to  $10^7$  km from comet Halley: Suisei observation, *Geophys. Res. Letters*, **13**, 837-840, 1986.
- [4] Biermann, L., B. Brosowski, and H. U. Schmidt, The interaction of the solar wind with a comet, *Solar Phys.*, **1**, 254-283, 1967.
- [5] Wallis, M. K., Weakly-shocked flows of the solar wind plasma through atmospheres of comets and planets, *Planet. Space Sci.*, **21**, 1647, 1973.
- [6] Mukai, T., and W. Miyake, Transmission characteristics and fringing field effect of a  $270^\circ$  spherical electrostatic analyzer, *Rev. Sci. Instr.*, **57**, 49-55, 1986.
- [7] Mukai, T., W. Miyake, T. Terasawa, and K. Hirao, Observation of solar wind ions by the interplanetary spacecraft Suisei (Planet-A), *ISAS RN-312*, 1986.
- [8] Alfvén, H., On the theory of comet tails, *Tellus*, **9**, 92-96, 1957.
- [9] 寺沢敏夫, 向井利典, 三宅亘, 北山正信, 平尾邦雄, 太陽風内のハレー彗星起源イオンの空間分布: 「すいせい」による観測, 宇宙研報告, 本号, 1986.
- [10] Balsiger, H., K. Altwegg, F. Bühler, J. Geiss, A. G. Ghielmetti, B. E. Goldstein, R. Goldstein, W. T. Huntress, W.-H. Ip, A. J. Lazarus, A. Meier, M. Neugebauer, U. Rettenmund, H. Rosenbauer, R. Schwenn, R. D. Sharp, E. G. Shelley, E. Ungstrup, and D. T. Young, Ion composition and dynamics at comet Halley, *Nature*, **321**, 330-334, 1986.
- [11] Gringauz, K. I., T. I. Gombosi, A. P. Remizov, I. Apáthy, I. Szemerey, M. I. Verigin, L. I. Denchikova, A. V. Dyachkov, E. Keppler, I. N. Klimenko, A. K. Richter, A. J. Somogyi, K. Szegő, S. Szendrő, M. Tátrallyay, A. Varga and G. A. Vladimirova, First in situ plasma and neutral gas measurements at comet Halley, *Nature*, **321**, 282-285, 1986.