

ハレー彗星最接近時の太陽風  
パラメータと水イオンの検出

小山 孝一郎・阿部 琢美\*・平尾 邦雄\*\*  
斎藤 尚生\*\*\*・湯元 清文\*\*\*

(1986年12月25日受理)

Detection of water group ions at the distance of 7 million  
Kilometers from comet Halley.

By

Koh-ichiro OYAMA, Takumi ABE, Kunio HIRAO,  
Takao SAITO and Kiyofumi YUMOTO

**Abstract:** Solar wind parameters measured by SAKIGAKE around the time of encounter with Halley comet are discussed. Sakigake was in or near the neutral sheet of Heliomagnetosphere and therefore the solar wind velocity was comparatively slow. Interplanetary space was in a small disturbance period. Although a firm evidence does not exist that solar wind velocity was decelerated by Halley's comet, frequency spectrum analysis of the solar wind parameters shows the existence of water group ions.

概 要

ハレー彗星最接近時の太陽風パラメータを議論した。最接近時には“さきがけ”は磁気中性面付近にあり、この時惑星間空間はやや擾乱状態にあった。ハレー彗星によって太陽風が減速された確証は現在までの解析では得られていないが、太陽風パラメータの周波数解析の結果はハレー彗星の水グループのイオンの存在を示している。

1. はじめに

“さきがけ”はハレー彗星に最接近するにつれ、3月10日には02時45分より03時43

---

\* 電気通信大学

\*\* 東海大学工学部

\*\*\* 東北大学理学部

分までと（ここに用いた時間はテレメータ信号を地上で受信した世界標準時間で、‘さきがけ’と地球との距離は補正してない）、19時40分より翌3月11日3時46分まで、また3月11日には04時07分ごろより8時39分ごろまでデータレコーダに収納し、さらに同日19時36分より3月12日3時48分ごろにわたって観測を行なった。

ここではこれら最接近時において得られた太陽風データがハレー彗星の影響を受けているかを議論した。解析は完全に終わったわけではなく、まだ最終的な結論を出すには至っていないが、太陽風速の微分、およびプラズマ流方向の微分を周波数解析した結果はハレー

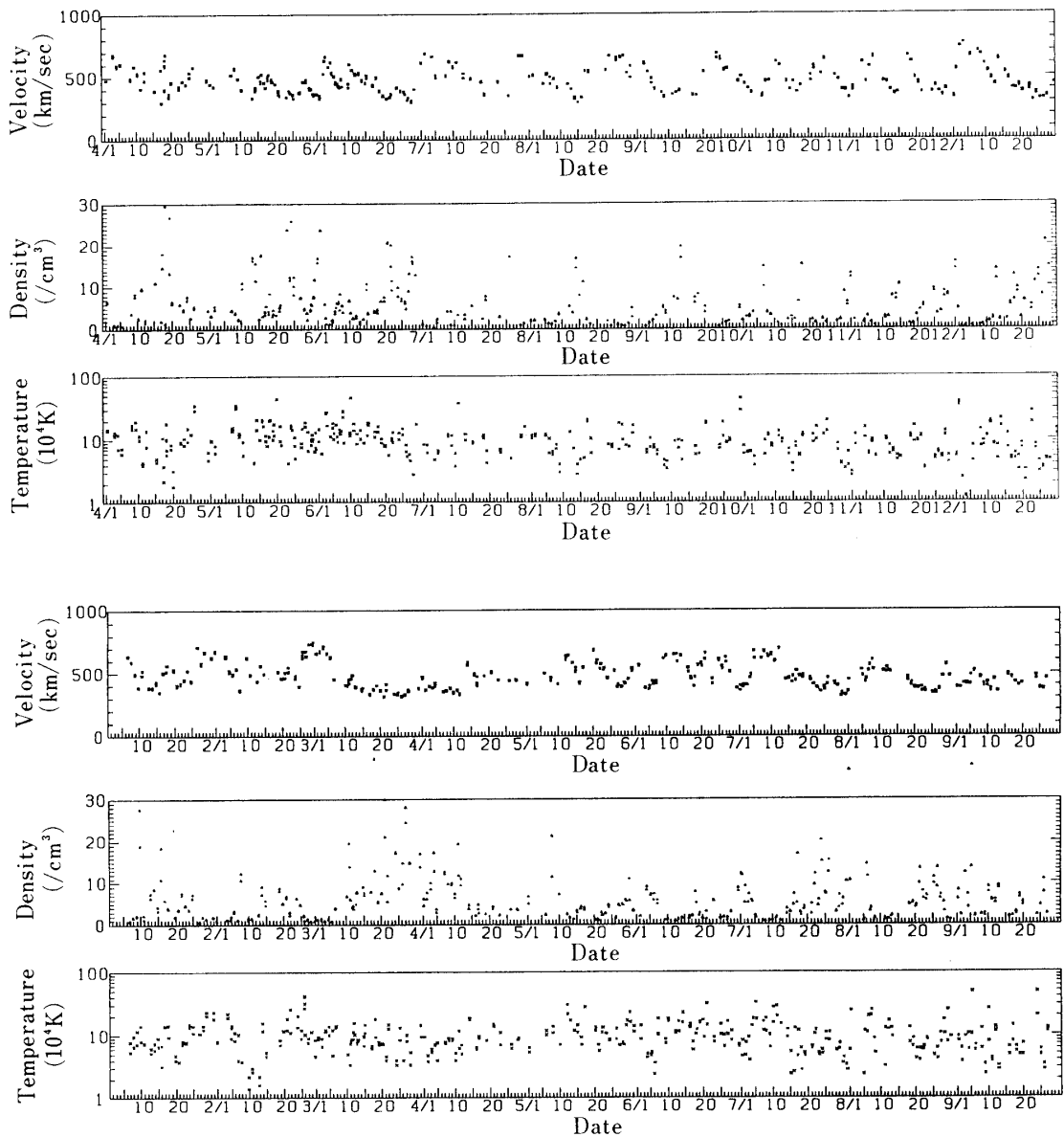


図1 1985年4月から1986年9月にわたる太陽風速、イオン密度、及びイオン温度

彗星に起源する水グループのイオンサイクロtron周波数の存在を示している。

## 2. 観測データ

### 2.1 ハレー彗星最接近ごろの太陽磁気圏

図1は1985年4月1日から1986年9月30日の期間、ファラデーカップ[1], [2], [3],

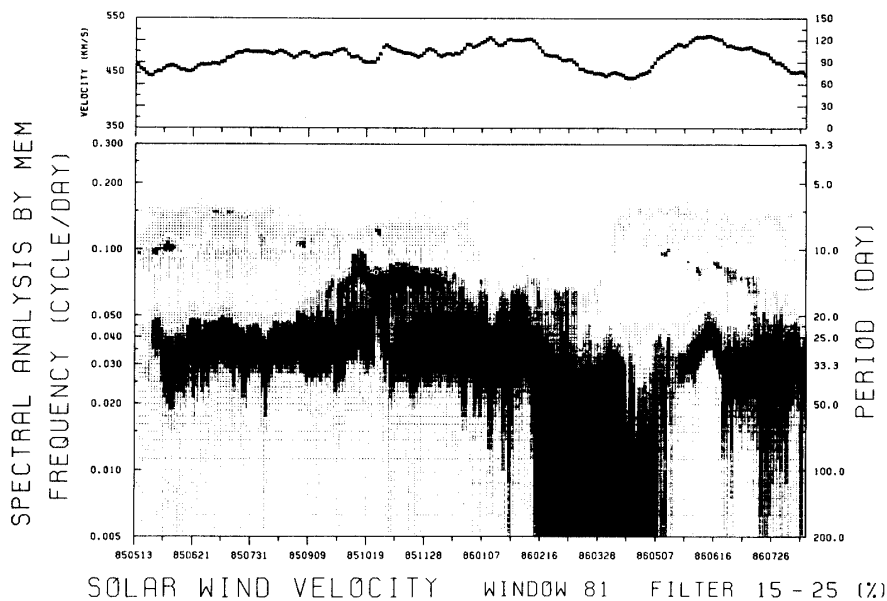


図 2.a 太陽風速データを周波数解析したもの（上部のパネルは太陽風速の平均）

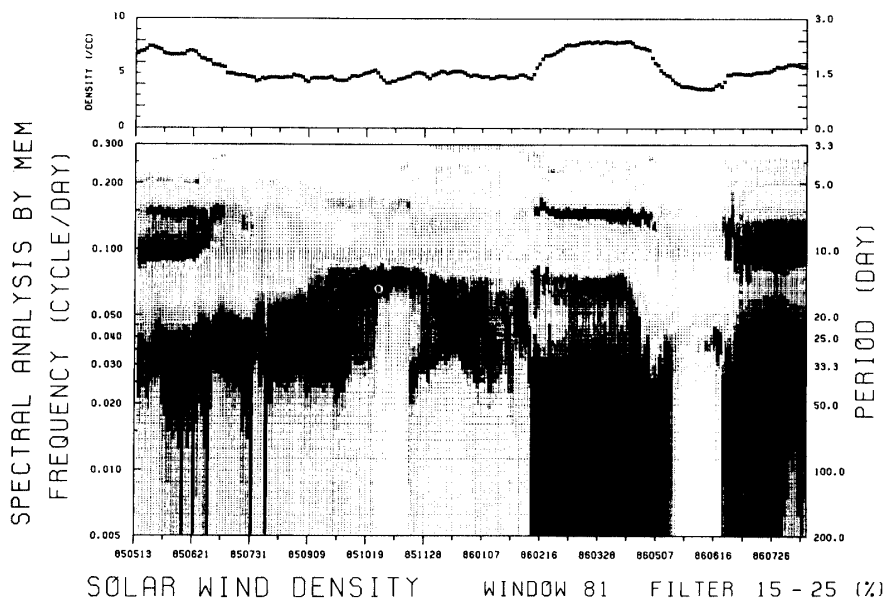


図 2.b イオン密度データと周波数解析したもの（一番上のパネルはイオン密度の平均）

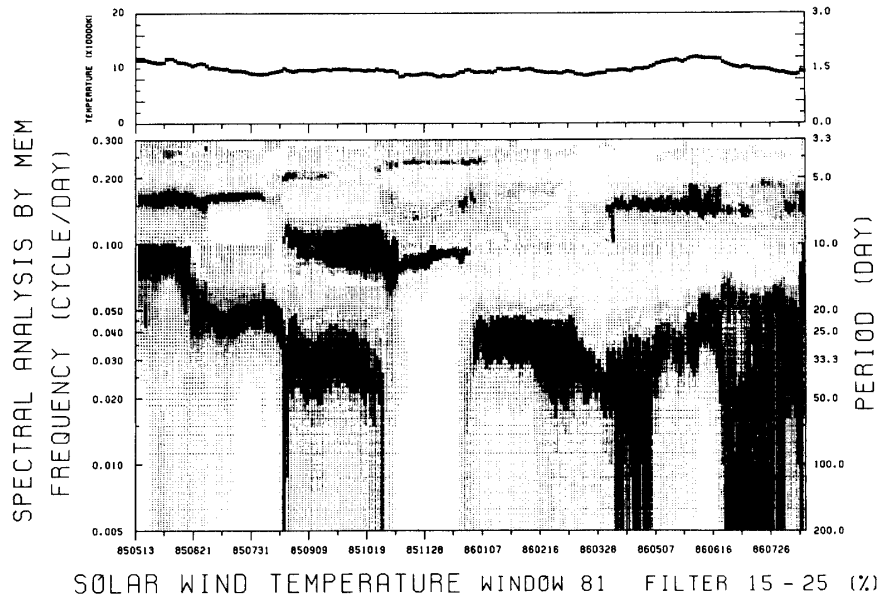


図 2.c イオン温度データを周波数解析したもの（一番上のパネルはイオン温度の平均）

[4]によって得られた太陽風速  $V_s$  (km/s), イオン密度  $N_i$  (/cm<sup>3</sup>) 及びイオン温度  $T_i$  (K) である。データ点は一日2点で、プロットされたパラメータは一日を通じてほとんど変化しないので、1日の値を代表していると思ってさしつかえない。というのは約1年5ヶ月の観測期間中磁場の擾乱のあった日は極めて少ないからである。 $V_s$ ,  $N_i$  及び  $T_i$  に関する一般的な傾向として  $V_s$  が速くなれば  $N_i$  が減り、これらはほぼ27日の周期をもって変動している。これまでの  $V_s$  の最大値は750 km/秒, 最小値は300 km/秒であり  $N_i$  は3月18日に約40 コ/cm<sup>3</sup> の最大値を記録した以外はほぼ2 コ/cm<sup>3</sup>~20 コ/cm<sup>3</sup> の間を変動している。

図において1985年5~6月及び1986年1~4月は基本的な約27日周期の変動が消えているが、これをより詳しく見るために4月1日から2日ずつずらして31日分をとり最大エントロピー法によって周波数スペクトルを求めて見た。図2 a, 図2 b 及び図2 c にその結果を示す。図2 a においては上部パネルに81日の速度の平均をプロットし、その下部に濃淡表示でスペクトルを示した。パネルの下部に記された番号は月日であり、この日をはさんで40日間のデータを周波数解析したという事である。周波数解析にあたっては観測点のない日は線形補間によってデータを内挿した。

速度の周期は85年5月から86年2月に向けて徐々に小さくなり、86年2月16日付近から周期が消え86年5月7日ごろより再び周期が回復している。ゆるやかな周期の変化は“さきがけ”が太陽磁気圏の高緯度へシフトした事を示している。この結果は85年5月63日より86年2月16日ごろまで、太陽風速が早くなった(即ち、“さきがけ”が太陽風速の早い高緯度を見た)ことによって理解できる。86年の2月16日ごろより周期は突然変動しはじめ、86年5月7日ごろまで、周期が不明である。一方太陽風速はこの間、極小値を取

った。この二つの事実から太陽風速が最小をとった3月、4月には‘さきがけ’は太陽磁気圏の磁気中性面付近にあり太陽磁気圏を観測したと結論できるのではないと思われる。

同じような周期の振舞いはイオン密度にも現われている。所が興味深いのは図1において周期が明瞭でない1985年5月および1986年2月から5月に約6.8日即ち太陽の赤道付近の自転周期の1/4が明瞭にあらわれている事である。

図2cに示したようにイオン温度の周波数解析の結果はまた重要な事実を示している。イオン温度に関する明瞭な周期は86形1月7日ごろよりあらわれ86年3月ごろまで見られ、その後消滅している。周期のあらわれはじめた時期は太陽速度については周期が消滅しようとする時期にあたりまた、イオン温度に関する周期がきえる86年3月ごろは太陽周速の平均が最もおそくなる時期に一致している。

これらの観測事実が太陽表面及び太陽磁気圏構造に関してどのような物理像を提供しているのかは別稿にゆずる。

## 2.2 最接近時のデータ

図3は3月10日19時30分から3月11日8時30分までの太陽風データで、ハレー彗星とさきがけとの幾何学的な最接近の時期は3月11日の4時ごろである。3月11日の2時

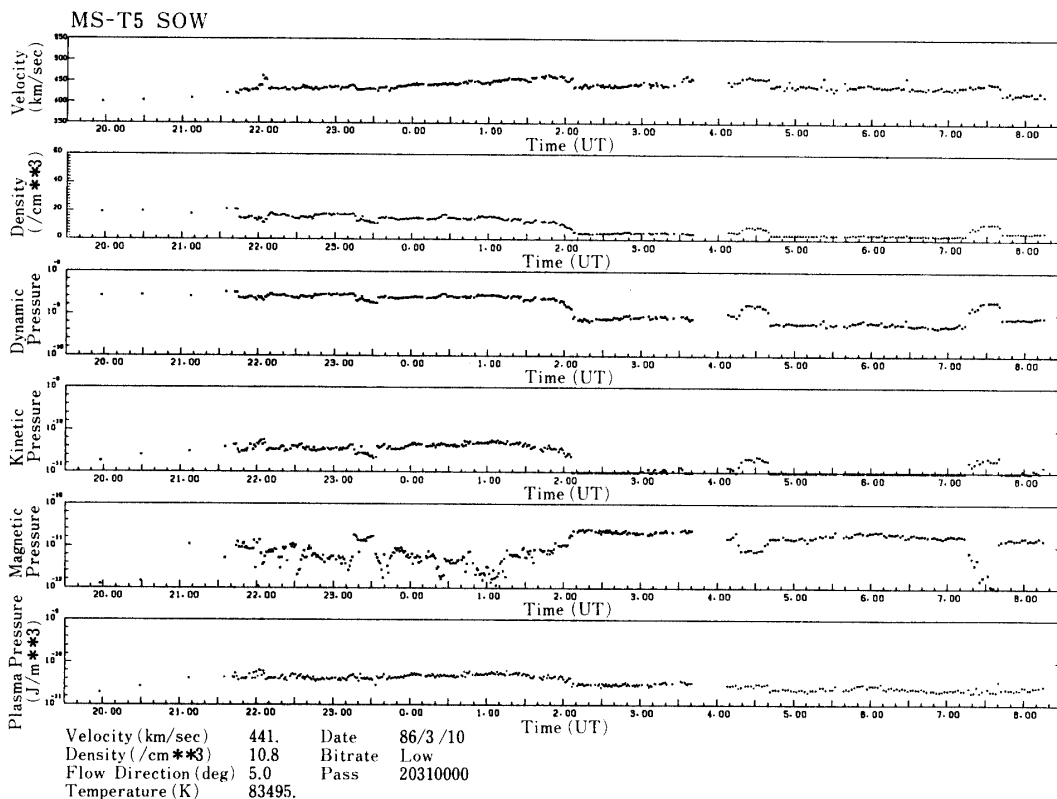


図3 ハレー彗星接近時の太陽風のパラメータ

上より太陽風速, イオン密度,  $N_i M V_s^2$ ,  $N_i k(T_e + T_i)$ ,  $B^2/2\mu$  及び  $N_i k(T_e + T_i) + B^2/2\mu$

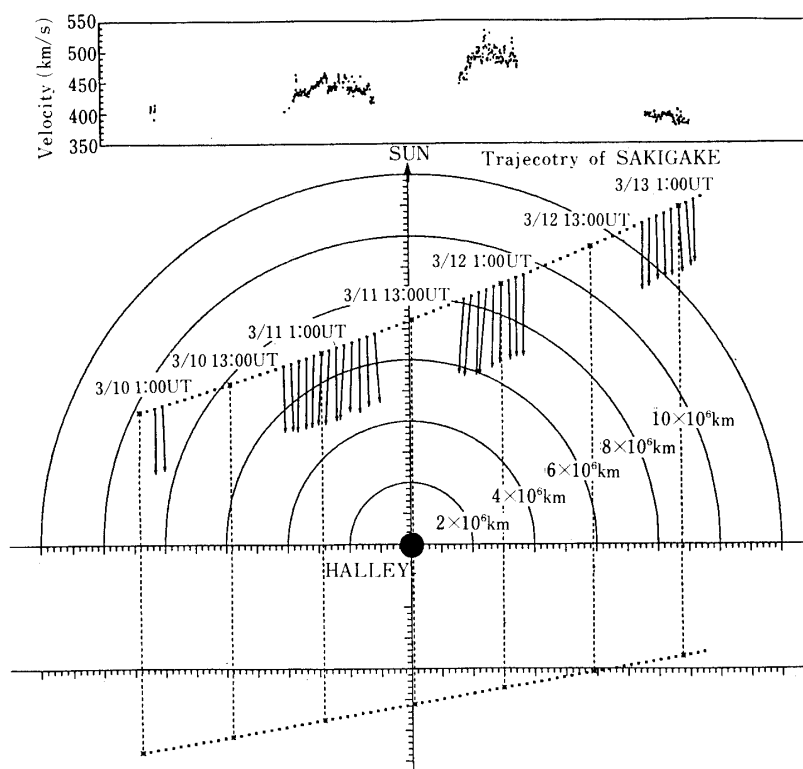


図4 最接近時における太陽と彗星との関係及び観測時刻々の“さきがけ”の位置。図にはまた太陽風速を矢印の長さで、プラズマ流の方向を矢印で示した。

から2時10分にかけてまずイオン密度は約  $12 \text{ コ/cm}^3$  から  $4 \text{ コ/cm}^3$  に減少した。同時に惑星間空間の磁場は  $5 \text{ nT}$  から  $7 \text{ nT}$  へと増加した[5]。太陽風速はこの時間に  $480 \text{ km/秒}$  から  $450 \text{ km/秒}$  に急に減少した。この時間において波動観測器は強いプラズマ波動を検出した[6]。2時10分前後のエネルギー密度  $P$  を以下の式によって計算すると

$$P = \frac{B^2}{2\mu} + N_i m V_s^2 + N_i k (T_e + T_i) \quad (\text{J/m}^3) \quad (1)$$

2時ごろには  $T_e = T_i$  として  $P \approx 7 \times 10^{-11} \text{ J/m}^3$ 、2時10分には  $P \approx 4 \times 10^{-11} \text{ J/m}^3$  で2時間前後でエネルギー密度あるいはプラズマプレッシャーの連続性は保たれていない。 $T_e = 4T_i$  とすれば、この差はますます大きくなる。

引きつづいてイオン密度  $N_i$  の上昇が3月11日3時46分から4時10分、及び7時14分から7時42分に亘って観測されこの期間に磁場の減少があり、更に太陽風速はイオン密度が急に上昇した3月11日4時10分及び7時42分にそれぞれ約  $30 \text{ km/秒}$  遅くなっている。このようにして得られた太陽風速およびプラズマ流方向を図4に示す。一番上の図は太陽風速で更にこの図の下にさきがけの軌道にそって太陽風速及びプラズマ流の方向をプロットした。この図を見ると、ハレー彗星とさきがけを結ぶ線上であたかも太陽風が減

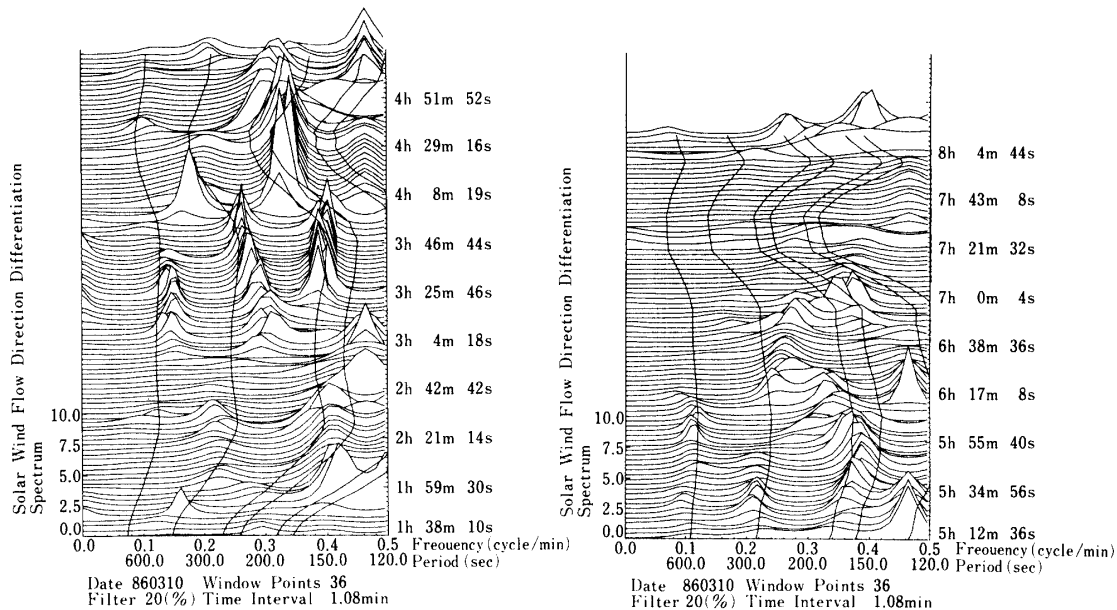


図5 ハレー彗星最近時にプラズマ流方向の微分に見出された、 $\text{H}_2\text{O}^+$ あるいは $\text{O}^+$ によると思われるイオンサイクロトロン周波数

速されたような感じを受けるが、このような太陽風の減速がハレー彗星によるものかあるいは偶然であったのかの結論は未だ出ていない。

ここで特に問題となるのはハレー最接近に現れたような惑星間空間磁場と太陽風速及び密度の振舞いがハレー彗星最接近時に特有なものかどうかという事であるが、太陽風速が減少してイオン密度がさがると共に惑星間空間磁場が増加するというような3月11日の2時頃におこった現象は、7月17日の3時35分及び8月1日の5時20分にも観測されており、従って最接近した3月10日及び11日に得られた結果は現時点ではハレー彗星に起因するものとは断定できない。

### 2.3 特にプラズマ流に現われた水グループイオンのサイクロトロン周波数について

上記のように太陽風速およびイオン密度に明らかな彗星による影響は現時点では見られないが、3月10日及び3月11日に得られたプラズマ流の微分値（これは惑星間空間磁場のBy成分に相当すると思われる）を36個とって、前述したと思じように周波数解析を行うと $\text{H}_2\text{O}^+$ あるいは $\text{O}^+$ のサイクロトロン周波数と思われる周期が現れる。図5はこの周期が最も強く現われた3月11日1時38分から8時4分までを横軸に周期を、縦軸に36コのデータの得られた時間の中心値をシフトしつつ、周波数の振幅をプロットしたものである。図中の曲線は図の右側よりまわりの惑星間空間磁場の強さを考慮して計算した、質量12, 13, 16, 18及び50のイオンに相当するイオンサイクロトロン周波数である。イオンサイクロトロン周波数の計算に必要な惑星間空間磁場は38分間の観測の平均を使用した。

図を見ると3月11日3時25分ごろから4時51分にかけて質量16あるいは18に相当するピークが強くなっている。

この結果は前に湯元等〔7〕によって惑星間空間磁場データにあらわれたものと同じであり、この周波数を生じた波はアルフヴェーン的である事を示していると思われる。

### ま と め

さきがけのハレー彗星最接近時における太陽風パラメータを議論した。これまでのデータ解析によって得た結論は以下のである。太陽風はハレー彗星との相互作用によって減速されているという確証は現時点では得られていないが、質量16あるいは18のイオンによると思われるイオンサイクロトロン周波数をハレー彗星より約700万km離れた（さきがけのハレー彗星への最接近距離）場所で検出した。本報告は未だ完全でないので更なる研究を続けている。

### 謝 辞

さきがけの成功は多くの方の御援助のたまものでありここに深甚の謝意を表します。

### 参 考 文 献

- [1] K. Oyama, K. Akai, K. Nakazawa, K. Hirao and S. Tei, Development of Faraday Cup onboard MS-T5 for solar wind measurement, ISAS Report No. 616, 1984
- [2] K. Oyama and S. Kobayashi, Effect of electrode contamination upon measurement of solar wind, J. J. Appl Phys, **24**, 793-794, 1985
- [3] K. Oyama, K. Hirao, T. Hirano, K. Yumamoto and T. Saito, Was the solar wind decelerated by comet Hally? Nature **321**, 310-313, 1986
- [4] 小山孝一郎, 平野孝文, 平尾邦雄, 「さきがけ」に搭載された太陽風観測器, 宇宙科学研究所報告特集第15号, 3-43, 1986
- [5] T. Saito, K. Yumoto, K. Hirao, T. Nakagawa and K. Saito, Interaction between comet Halley and the interplanetary magnetic field observed by Sakigake, Nature **321**, 303-307, 1986
- [6] H. Oya, A. Morioka, W. Miyake, E. J. Smith. and B. Tsurutani, Discovery of cometary kilometric radiations and plasma waves at comet Halley, Nature **321**, 307-310, 1986
- [7] K. Yumoto, T. Saito and T. Nakagawa, Hydromagnetic waves near  $O^+$  (or  $H_2O^+$ ) ion cyclotron frequency observed by Sakigake at the closest approach to comet Halley, Geophys. Res. Lett. **13**, 825-828, 1986