

# 「すいせい」によるハレー彗星紫外 ( $L_y\alpha$ ) 観測

金田 栄祐\*・平尾 邦雄\*\*・足原 修・清水 幹夫  
伊藤 富造・小田 稔

(1986年12月25日受理)

## Lyman Alpha Observations of Comet Halley by Suisei

By

E. KANEDA, K. HIRAO, O. ASHIHARA, M. SHIMIZU,  
T. ITOH and M. ODA

**Abstract:** The Ultraviolet Imager aboard Suisei, the first Japanese interplanetary spacecraft, successfully ended its mission by continuously observing the Ly  $\alpha$  intensities of comet Halley.

The major findings obtained from these observations are as follows:

1) Strong short-term variation of the Ly  $\alpha$  intensities of comet Halley; Such a rapid variation was quite unexpected in the knowledge of the past Ly  $\alpha$  observations of comet. In relation to this variation, an accurate determination of the rotation period of this comet was attempted (52.9 hours). 2) The first measurement of the Ly  $\alpha$  intensities from within a thick hydrogen cloud of comet. While the intensity distribution as a function of the distance from the nucleus approximately follows that predicted by the Haser model, it is also compatible with the jet repetition model. 3) Existence of a fine structure in the above photometry data, which possibly represents local enhancements of the atomic hydrogen density. 4) Brightness variation within one rotational period was pursued, producing an outburst occurrence diagram. The rapid variation of the Ly  $\alpha$  intensities as observed suggests

---

\* 東京大学理学部地球物理研究施設

\*\* 東海大学工学部

that in an outburst event there must be involved a small amount of hydrogen-containing molecules whose photodissociation lifetimes are quite short. 5) The observed images are brighter (overally twice) than those expected from the nominal model by IACC/WG.

## 1. 序

彗星の紫外観測はすでに20年近い歴史を有する。しかし彗星はごくまれにしか太陽近傍を訪れない天体であるためにデータの蓄積は他の太陽系内諸天体と比べると格段に少ない。これ迄紫外観測のなされた彗星は West, Benett, Kohoutek…等と容易にその名前を復唱出来る程である[1]。今回世界中で進められた地上及び飛翔体によるハレー観測は、その準備と実行とに十分な時間と細心の注意をもってなされた最初のものである。彗星の紫外観測は大別すれば、1000~3000 Å 域(紫外域)の分光学的測定と、 $L_y\alpha$  (1216 Å) 単色光での彗星撮像ということになる。—— $L_y\alpha$  光以外の紫外線での画像撮影や、 $L_y\alpha$  の分光は断片的にしか報告されていない。既に御承知のごとく我国として初めて惑星間空間に飛び出した探査機の一つ、Suiseiによる紫外観測計画というのは後者に属するものであり、その殆んど常時彗星を観測出来る性質からして、今回の回帰におけるハレー彗星の活動度を大変よくモニター出来るものとなった。

しかし、ハレー彗星が既に地球近傍から遠く去ってしまい、その彗星観測の終焉したいまになって思うことは、ハレーの紫外観測の意義は上記のごとき活動度の大局的モニターにのみあったのではないということである。過去になされた内惑星、外惑星への多くの飛翔体と同様、その実際観測は当初予想だにできなかった新事実を我々に示し、将来の研究にまつべきさらに多くの問題が提起されたといえる。以下、観測装置の概要、運用状況、結果、解釈等、順を追って述べることにするが、それに先立って何故彗星には巨大な  $L_y\alpha$  のグローが存在しているのかについて少し述べておきたい。

ハレー彗星探査によっても明らかにされたごとく[2]、彗星核から放出される気体の大部分は水蒸気( $H_2O$ )である。この水分子は太陽から1 AU 程度の場所では大体1日で紫外線による光解離を受け、

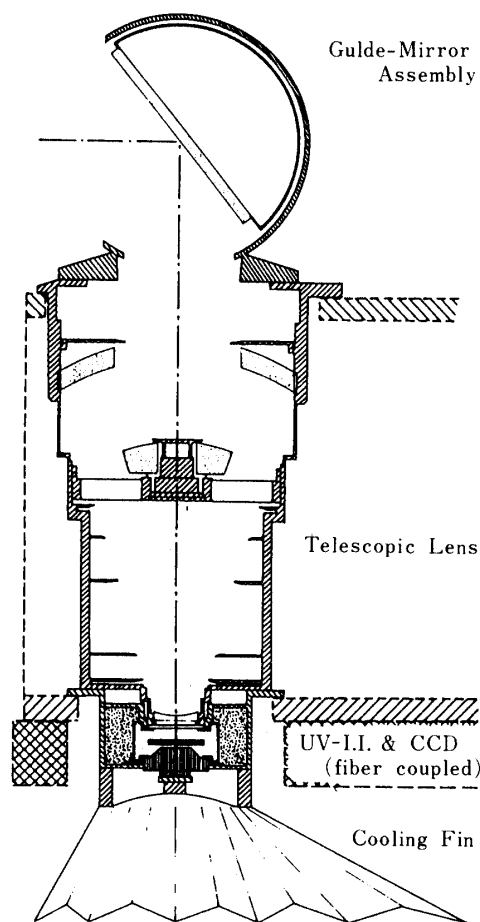


のごとく水素原子を生ずる。残された OH はこれも大体2日程で

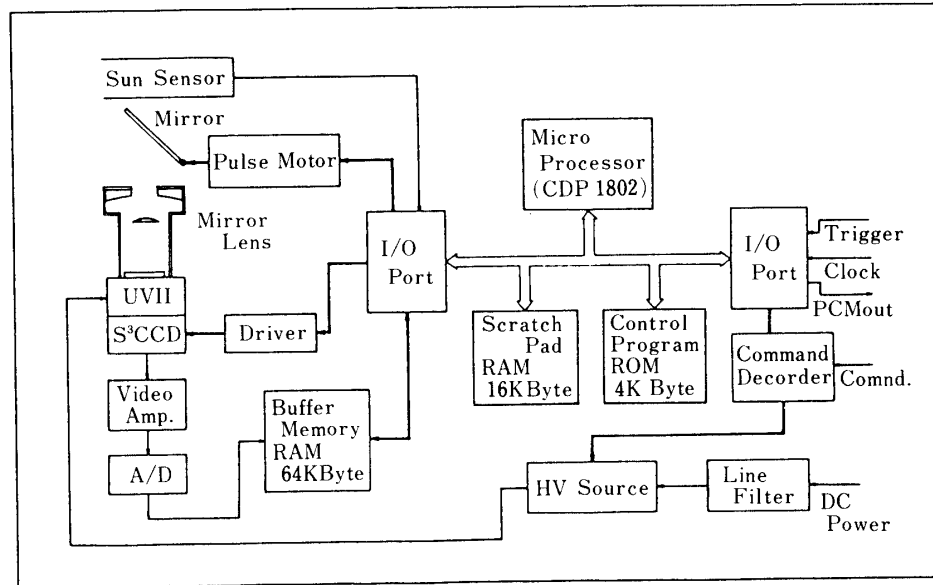


という具合にこわされてしまう。この時生ずる H 原子は(1)についてはほゞ20 km/s、(2)についてはほゞ8 km/s であることが知られている。水素原子の親分子である  $H_2O$  や OH がもともともっていた外向きの平均流速は1 km/s 以下のものであり、また上記のごとき光解離の主を生ずる場所はコマの分子衝突の生じている領域よりも外側であるため、

第0近似としてはこうした高速の水素原子は生れた時の初期速度でもって運動を始めるとしてよい。この水素原子には太陽重力による引力と太陽  $L_{y\alpha}$  光の輻射圧による斥力が働く。前者は彗星核にも等しく働くものなので、これだけでは彗星における水素原子密度をひずませるものとはならない。後者の  $L_{y\alpha}$  輻射圧は殆んど水素原子にのみ有効なものなので、彗星水素コマの密度分布をその外縁部において大きく変形させるものとなる。こうして水素原子は彗星をとりまく広大な空間に分布しているわけであるが、これに今一度太陽の  $L_{y\alpha}$  光があたりそれにより共鳴散乱されることにより、これらの水素原子の分布が我々にとって眼に見えるものとなる。(もっと正確に言えば、この共鳴散乱と先に述べた  $L_{y\alpha}$  輻射圧とは、単一事象の異なった見地からみられた二様の側面にすぎないが。) 広大な水素コマの圧倒的大部分は ( $L_{y\alpha}$  光に対して) 光学的に“薄い”ので共鳴散乱強度を測定することは直ちにその視線上に横わる水素原子の線密度を与えることになり、ひいては全水素コマの水素原子の総量、更には核からの水素原子を含む分子の毎秒の蒸発の総量を与えることにつながる。



第1図 Suissei に搭載された紫外撮影装置 (UVI) の断面図



第2図 UVIを構成する各要素のブロック図

## 2. 紫外撮像装置 (UVI)

第1, 第2図はそれぞれ, Suisei に搭載された紫外撮像装置 (UVI) の断面図と, 同装置を構成する要素のブロック図である. Suisei 探査機はスピン安定方式による姿勢制御を行なっているため, 撮影はスピンを 0.2 rpm まで減少させたのち実行される. イメージを得るための露出時間はこのスピンの大きさに関連してほぼ 2 秒以下に限定される. 同機器は 2次元の固体撮像素子を使ったいわゆる CCD (charge coupled device) である[3]. 総重量は 9 kg, 消費電力量は約 5 watts である. この装置は  $153 \times 122$  ピクセルから成る 2次元画像をつくり出すがその実効時視野 (effective field-of-view) は  $1.96^\circ \times 1.85^\circ$  である. UVI のミラーの操作特性とその飛翔体上の取付位置とから観測可能な空間方向は飛翔体赤道面近くに限られる. Suisei のスピン軸は終始殆んど黄道面垂直に保たれていたもので, 従って観測可能な方向域は同期間中黄道面より  $\pm 15^\circ$  以内に限定された. また同装置が太陽の強い光を直接見ることのないように UVI から天体を見るとき太陽離角が  $16^\circ$  以内になると自動的に測定器を閉じる工夫がなされた.

同装置の運用モードとして 3 種類のものが用意された. 一番普通のモードはイメージング・モードで, 画面を構成する  $153 \times 122$  ピクセルすべてにわたる輝度情報 (各 8 bit であらわされる) をそのまま地上に送ってくるもので最も普通に使われたものである. このモードは 5 分 (或いは 10 分) 毎の画像取得が可能である. 2 番目は測光モード (photometry mode) で画面上の輝度分布を統計的に処理し, そのヒストグラム情報を送信してくるモードである. これは最初のモードに比べると必要な送信データ量が少なくすむため (イメージング・モードの 18,666 byte に比べて 512 byte ですむ), 転送時間内での観測数を多くしたい場合や, さらには探査機と目的物体が接近しすぎ, 画面中の (小さな空間域の) 輝度変化を云々することがあまり意味を有さない場合に運用される. 最後のモードは探索モ

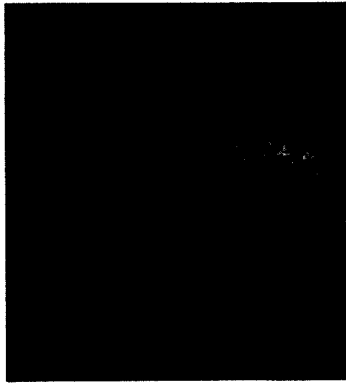
ード (search mode) で上下, 左右隣接する (部分的に重畳した) 9画面のピクセル情報が大局的空間輝度分布としてある程度編集し直された形で送られてくる。このモードは限られた時間に広い空間域の粗い輝度情報を得たいときに有用であり, 標的物体の探索が容易でない観測の初期段階にその効果を発揮する。

以上の観測モードの選択, 撮影時刻, 向けられるべき天体方向等はすべて地上からの指令によってなされるが, それは逐次指令することも出来るし, 或いは一連のコマンド群としてあらかじめプログラム化して飛翔体に伝えておくことも出来るように設計された。

### 3. 観測の概要

Suiseiの打ち上げ ('85年8月) 後間もなく (9月初~中旬) Giacobini 彗星が地球近傍を訪れた。UVIにとってはハレー彗星観測の予行演習の意味もあり, 同彗星の検出を試みたが, 近日点が~1 AU程度であることや, 予想される彗星の活動度が(ハレーと比べると) かなり小さいものであるため, その同定にはなお今後の詳細な画像解析が必要である。しかし, この期間において平行して天空上のいくつかのO, B星の撮影, 地球 Geocoronaの撮影を試み, UVIの操作特性等に習熟が計られた。後者の Geocoronaの撮影はその強度が知られていることもあって, UVIの in-flight 較正に貴重なデータを供するものとなった。

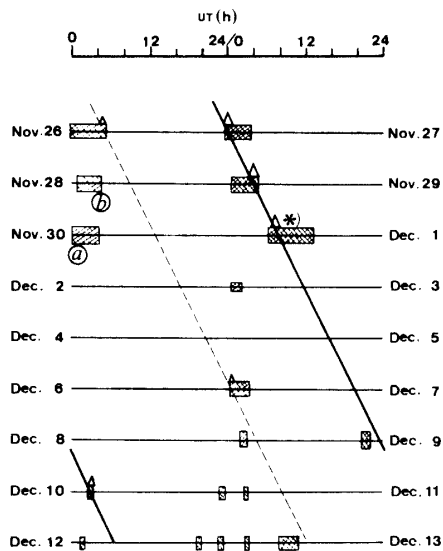
待望のハレー彗星の補捉は10月に入ってから連日試みられたが, 初めてその徴候をとらえたのは11月14日であった。このときはハレーの予想される天空位置にかなりの強度をもってその像が捕えられたが, これは2~3日後に再び捕捉が困難となり, 以後10日間ほどのハレー未確認時期が続いた。(現時点で考えればこの出来事は恐らく非常に強い outburstのような事が彗星核上で生じたのではないかと思われ, 米国の地上観測がこのことを裏書きしている。) 再びハレー彗星がUVIにより明確に同定されたのは11月26日の事であったが, それ以後はハレー観測の終了に至るまで捕捉上の特別の困難はなく観測が続けられた。後に詳しく述べる事であるが, このハレー観測開始当初のころの像はかなりの明暗変化が認められる。12月に入ってからには像は次第に明るいものとなり, 幾多のデータが取得された。新年があけても観測が続行されたが, 1月11日より2月3日の間はUVI観測は休止となり, 他の搭載機器に観測時間が譲られた。これは, ハレー彗星がSuiseiに対して太陽と反対方向に位置するような配置となり, いわゆる太陽離角が小さく迷光対策や測定器保護のためにとられた処置である。2月3日より観測が再開されたが, 予定されるハレーとの会合(3月8日, UT 13.<sup>h</sup>06)に向って徐々に視野上に占めるハレーの姿が大きなものとなっていき, ときにハレーの全体像のどこを狙うかに配慮が加えられた時期でもある。いよいよハレーとの会合がせまり, 測光モードによるデータ取得が検討され, 天空のどの方向を狙うかが決定された( $\alpha_0=11^{\text{h}}20^{\text{m}}$ ,  $\delta_0=5^{\circ}\text{S}$ )。この方向はハレー彗星方向に対して殆んど逆向きに相当し, 彗星ダストによる衝撃を回避する方向である(この方向は同時に紫外線で強く光る恒星のある星野をも避けている)。この探査機のハレー会合直前の十数時間にわたる測光データの取得は無事成功裏に終わったが, 厚い水素雲の中からのデータ取得は世界で初めてのものとして貴重な意味を有するものである。会合後もハレー観測は



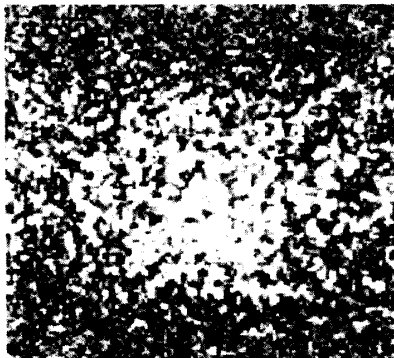
第3図 1985年12月12日, 23<sup>h</sup>UT撮影. 写真の縦横スケールはハレーの像平面上で515万kmと486万kmとである. このとき彗星は $(\alpha_0, \delta_0) = (0^h 25^m, 9^\circ 28' N)$ にある. ハレーの太陽および Suisei からの距離はそれぞれ  $r = 1.301$  AU,  $\Delta_s = 1.006$  AU である.



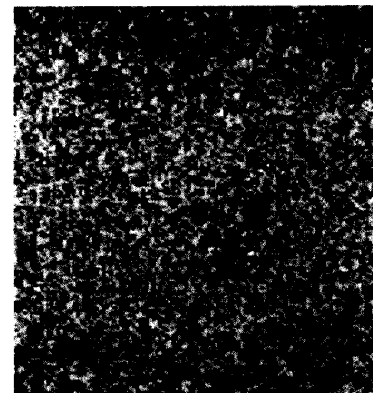
第4図 1985年12月11日, 02<sup>h</sup> UT撮影. 写真の縦横スケールはハレーの像平面上で500万kmと472万kmとである.  $(\alpha_0, \delta_0) = 0^h 33^m, 10^\circ 13' N$ ,  $r = 1.330$  AU,  $\Delta_s = 0.976$  AU.



第5図 1985年11月30日から12月13日の間の観測状況. このダイアグラムから彗星の自転周期 $\sim 2.2$ 日が結論された.



第6図 1986年2月28日11<sup>h</sup> UT撮影, 縦横スケールは, ハレーの像平面上で174万kmと164万km,  $(\alpha_0, \delta_0) = (22^h 53^m, 2^\circ 27' N)$ ,  $r = 0.717$  AU,  $\Delta_s = 0.339$  AU.

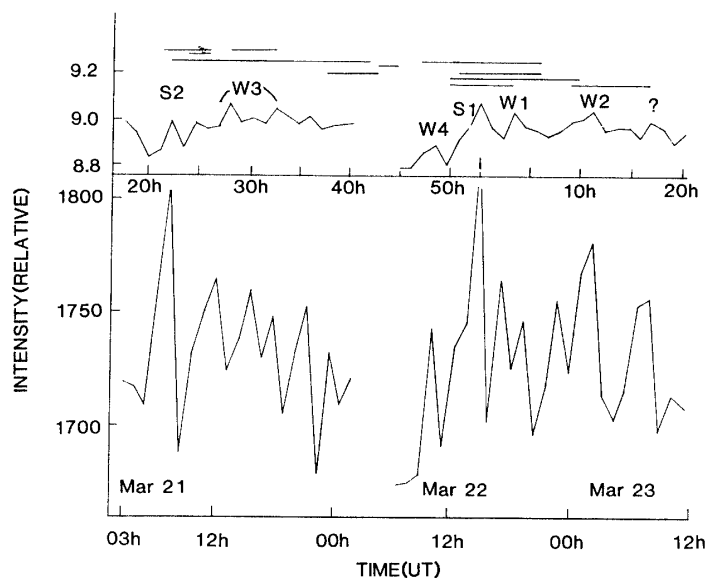


第7図 1986年2月25日13<sup>h</sup> UT撮影, 縦横スケールは235万kmと222万km,  $(\alpha_0, \delta_0) = (22^h 54^m, 2^\circ 33' N)$ ,  $r = 0.684$  AU,  $\Delta_s = 0.459$  AU.

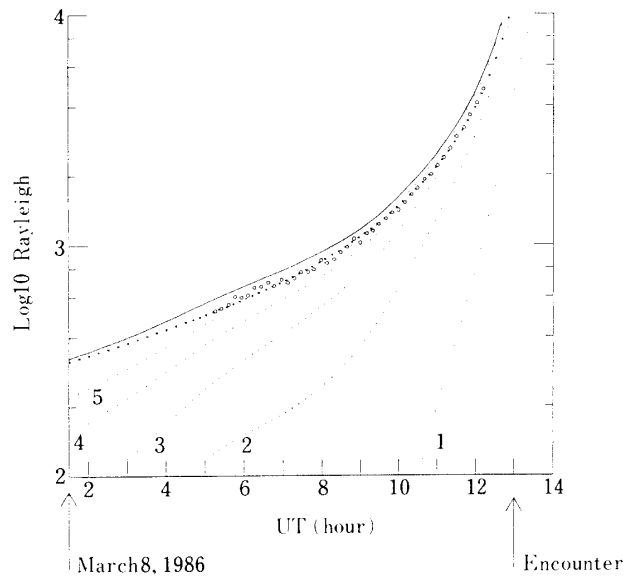
続行されたが、飛翔体、ハレーの位置関係のため、またハレーが既に近日点を通過して一ヶ月以上を経ていることもあり、会合以後ハレーの像は急速にその明るさを減じていった。4月に入ると像はかなり幽かなものとなり、4月中旬には再びハレー彗星の太陽離角が減少したために撮像は困難となり4月14日をもってUVIによるハレーの観測は終了した。

#### 4. 観測結果, 解釈

観測結果については既に3篇の欧文誌[4][5][6]に報告されているので詳細はそちらを見ていただく事として、ここではその概略を述べる。第3図, 第4図はハレー観測が本格的になってまもない頃に撮られたもので、第3図は'85年12月12日, 23<sup>h</sup>UT, 第4図は12月11日02<sup>h</sup>UTのものである。一見して明らかな事は僅か2日程しか時間が違わないのに両者の明るさがかなり異っていることである。このような短期間の間の明るさの変化は他の時期にもその例が見られた。第5図は11月30日から12月13日迄の観測状況を示したもので、斜線でハッチされた部分がUVI観測のなされた時間帯であり、三角形のスパイクの付された部分は画像の中心部に明るいpixelsを含むデータが取得された事を表わし、それはジェット(あるいはoutburstという用語の方が適切であるかも知れない)の出現を示唆するものと考えられる。このような中心部の明るい画像の出現をプロットしてゆくと、それはある周期性をもっている事が判明した。それを示しているのが同図の左上より右下に斜めに走る実線であり、およそ2.2日の周期である。この周期性の発見は今回のハレー彗星回帰における最初の自転周期の決定としてNatureに報告された[4]。周期性を



第8図 3月21日03<sup>h</sup>UTから3月23日13<sup>h</sup>UTにかけて68.33分毎にとられたピフセル輝度分布変化。上段は画面を構成するすべてのピクセルの強度を平均したもので、下段は最も明るい100ピクセルの強度のみを加算したものである。



第9図 Suisei のハレー会合直前数時間にわたってとられた  $L_{\gamma\alpha}$  の強度データ。横軸は3月8日のUTでの時刻。縦スケールのレーリー値は、文中で説明されている理論計算に対するものであり、実測データは最終データ取得時（最接近に一番近い時刻）における値を上記計算値に正規化してプロットしてある。この時点のハレー太陽間距離は0.823 AUである。

自転に結びつけて解釈するのはこのような天体に対する当然の帰結としてあまり問題はないのであるが、ずっと観測の後期になってとられる同様の周期性を示唆するデータと質的に異っているのは、この時期は対恒星自転周期（固有の自転周期）と、彗星公転運動のために彗星からみた太陽の方向が推移することによるみかけの自転周期とが殆んど差がないことである。このことが第5図で斜めに引かれた線分が殆んど直線であることを意味する。この時期は彗星・太陽間距離が1.5 AUとまだ遠方であり、突発的なガス放出に比べて、隠やかな定常的蒸発の寄与している部分は未だ大した事がないように思われる。このような明暗の周期的変動は近日点通過後になっても相変わらず見られる。第6、第7図はそれを示したもので、第6図は'86年2月28日11<sup>h</sup>UT、第7図は'86年2月25日13<sup>h</sup>UTに撮られたものである（両図は共通な輝度スケールで表示されている）。これらの写真の中心付近はすでにかなり光学的に厚く ( $\tau_{Ly\alpha} > 1$ ) なっていると考えられる。

彗星の輝度変動、つまりは活動度の変動をより詳しく調べるため、3月の中旬以後測光モードでのピクセル輝度分布を調べる観測が行なわれたが、その結果を示したものが第8図である。我々はこの強度変動図に見るとき名称 (S...strong, W...weak) を試みに与えたが、これらは最終的には彗星核表面上に分布する outburst 源に対応づけられるべきものと考えている。ただここで留意しておかねばならない事は、序にも述べたごとく、 $H_2O$  や OH の光解離の特性時間が $\sim 1$ 日という長さのため、この強度変動は直接には水によるも



のではなく（それと量的には比例した、しかしもっと微量の）光解離特性時間の遙かに短い分子からの水素原子を見ているのだらうという事である。我々はこのような分子として、Vegaのハレー会合時の観測において検出が報告（ $\sim 4310 \text{ \AA}$ ）されたCH分子を最も蓋然性の高いものと考え、Geophys Res Lettの論文にそのような分子の必要性を議論した[6]。このような光解離に対する短寿命分子種の必要性は、長期間にわたる一連のLy $\alpha$ 観測のいくつかの時期にしばしば感じられてきた事であり、そうした分子は量こそ少なけれ、生み出されるや否や殆んど一瞬にして解離し尽されてしまうため強く発光し、それがために彗星活動の大変優れた表示子としての役割を果たしているであろう。

次にSuiseiとハレーとの会合時に取得されたデータに移りたい。第9図がそれである。

ハレー彗星についてはIACG (Interagency consultative group)の作業グループにより、ガス、ダストに関するnominal modelともいふべきものが従前から準備されていた[7]。

それによれば、太陽からの距離の関数として同彗星の予想されるH<sub>2</sub>Oの産出量が掲げられている。この予測値を使い水素分子分布に関する古典的なHaserモデルを用いて計算されたものが同図中の\*で示されたものである。この図は直接には横軸に時間をとっているが理論計算点というのはHaserモデルによる水素原子密度分布に対し、各時刻におけるSuiseiの位置、及び測定器の向けられた方向の視線を考え、強度計算を行ったものである。このようにHaserモデルによる密度分布は観測値の空間変化をよく再現しているように見えるが、しかしこのことは必ずしもコマ中の水素原子分布が定常的ガス放出機構によって維持されていることを意味しない。先にも述べたように突発的なガス放出が彗星活動に相当な寄与をなしている事は疑いない。こうした事から観測のかなり早期の段階において突発的なガス放出（あるいはその周期的繰り返し）に対する水素原子密度分布の計算法を確立する必要に迫られた。こうしたモデルにも専門的にみれば、とりいれる効果によりいくつかのversionがあり得るのであるが、ここでは多少とも簡単と思われるモデルを説明しておきたい。そのモデルでは水素原子の親分子であるH<sub>2</sub>OやOHは（その低速のため）原点にとどまるとする。すなわち水素分子放出に関する点源モデルである。このモデルではH<sub>2</sub>O（あるいはOH）の放出と、しばらくしてから光解離により確率的に発生する水素原子の時間遅れが問題となる。現在時を $t_c$ 、ジェットを $t_0$ 、放出の持続時間を $T$ 、その強度を $Q$  (molecules/sec)とする。またH<sub>2</sub>O、OHの光解離特性時間を $\tau_{\text{H}_2\text{O}}$ 、 $\tau_{\text{OH}}$ とする。このときH<sub>2</sub>O、OHの光解離により生ずるHの発生関数を $Q_{20}(t)$ 、 $Q_8(t)$ とすれば、少しく変形ののち、

$$Q_{20}(t) = \begin{cases} Q(1 - e^{-T/\tau_{\text{H}_2\text{O}}})e^{-(t-t_0-T)/\tau_{\text{H}_2\text{O}}} & \text{for } t > t_0 + T \\ Q[1 - e^{-(t-t_0)/\tau_{\text{H}_2\text{O}}}] & \text{for } t_0 + T \geq t \geq t_0 \\ 0 & \text{for } t_0 \geq t \end{cases} \quad (3)$$

$$Q_8(t) = \begin{cases} \frac{Q}{(\tau_{\text{H}_2\text{O}} - \tau_{\text{OH}})} [\tau_{\text{OH}}(1 - e^{T/\tau_{\text{OH}}})e^{-(t-t_0)/\tau_{\text{OH}}} - \tau_{\text{H}_2\text{O}}(1 - e^{T/\tau_{\text{H}_2\text{O}}})e^{-(t-t_0)/\tau_{\text{H}_2\text{O}}}] & \text{for } t > t_0 + T \\ \frac{Q}{\tau_{\text{H}_2\text{O}} - \tau_{\text{OH}}} [(\tau_{\text{H}_2\text{O}} - \tau_{\text{OH}}) + \tau_{\text{OH}}e^{-(t-t_0)/\tau_{\text{OH}}} - \tau_{\text{H}_2\text{O}}e^{-(t-t_0)/\tau_{\text{H}_2\text{O}}}] & \text{for } t_0 + T \geq t \geq t_0 \\ 0 & \text{for } t_0 \geq t \end{cases}$$

(4)

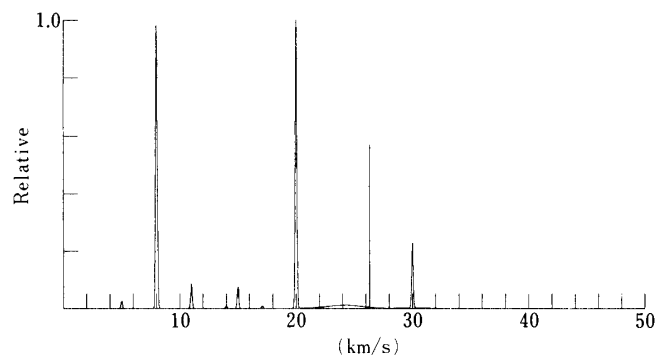
となる事が導びかれる。

この原点における H の発生関数  $Q_{20}(t)$ ,  $Q_8(t)$  を使うと、中心から距離  $r$  の場所での時刻  $t$  での水素原子の密度  $n(t, r)$  が次のように表わされる。

$$n(t, r) = \frac{Q_{20}(t - r/v_{20})}{4\pi r^2 v_{20}} e^{-r/\tau_H v_{20}} + \frac{Q_8(t - r/v_8)}{4\pi r^2 v_8} e^{-r/\tau_H v_8}$$

ここで  $v_{20}$ ,  $v_8$  というのはそれぞれ  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}$  の光解離で生ずる水素原子の速度, 20 km/s, 8 km/s を示す。  $\tau_H$  は水素原子の寿命で、太陽風との荷電交換反応や、太陽紫外線による電離が主なるものである。この式を然るべき視線に沿って積分して線密度を出し、それに太陽  $L_y\alpha$  共鳴散乱の  $g$  因子をかけてみれば（その線密度が  $L_y\alpha$  に対して光学的に厚くない限り）直ちに測定された発光強度と比べられるものになる。第9図中の点線で1と記された曲線はこうしたジェット的一次の放出で期待されるべき強度分布であり、これを53時間（～2.2日）で逐次繰り返したものが番号2, 3, …と付されたカーブである。数回のジェットの繰り返しもまた容易に観測データの振舞いを再現しているのがみてとれるであろう。この図では一寸見にくいとは思いますが、細かくみると必ずしも平坦ではなく微細構造が存在している事がわかる。それは実測データの数点毎にみられる階段状の構造である。我々はこれを明瞭に誤差限界を越えた有意なる構造であると考えている。このような構造が直接的に意味することは、こうした階段状の段差の生じている場所において水素原子密度の局所的な増加があるということである。たゞこの事がさらに物理的には何を意味するかはいくつかの定性的議論が可能である。先述の突発的なガス放出に原因した水素原子の伝播の様相をみているとする考え方も有力なものの一つである。何ぶんにもハレー遭遇時において取得された測光データというのは *Suisei* の飛翔経路に沿ってのみ測られたただ一度きりのものなので、これだけからいくつか考えられる可能な機構に対し、断定的議論をするのは難しい。

Velocity distribution function of hydrogen production

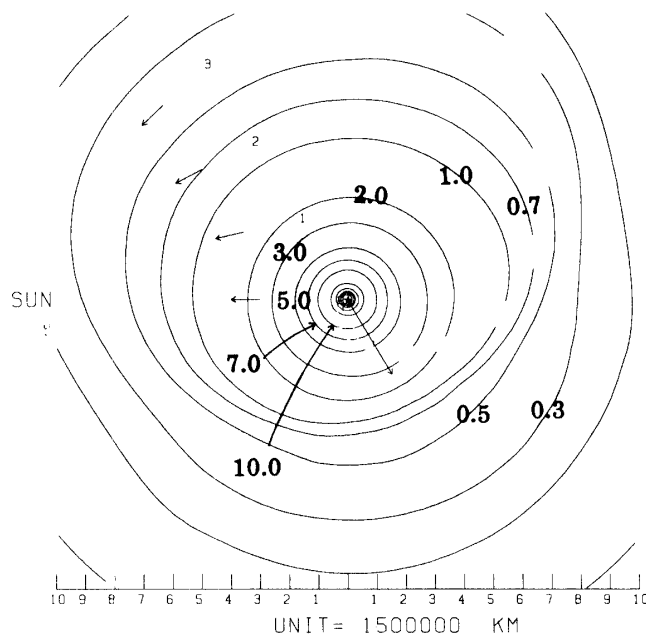


第10図 太陽紫外線による  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}$  の光解離の結果生ずる水素原子産出の速度分布関数（相対値）。

観測される  $L_y\alpha$  輝度分布が（すなわち、水素原子の線密度分布が）測定されたとしてもそれから水蒸気の各時刻における全放出量を得るためには水素コマ原子の分布に関する理論モデルが不可欠である。観測の全期間にわたるハレー彗星の  $L_y\alpha$  輝度計算が観測に平行して行われたが、以下ではこの理論計算ということについて少しく述べその実例を示したい。

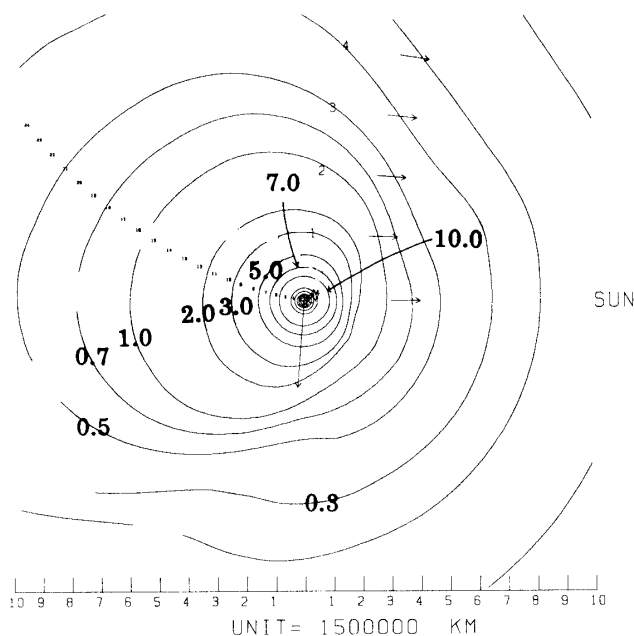
先に  $H_2O$  から出てくる H の速度は 20 km/s, OH から出てくる H の速度は 8 km/s というふうに述べたが実際はもう少し複雑で、紫外線照射によって生ずる  $H_2O$  の、あるいは OH の励起状態によって種々の水素原子の速度が可能である。第 10 図はこうした解離の状態に関しての理論的・実験的データを使い、太陽紫外線の強度スペクトルを考慮にいられたときの、生ずる水素原子の速度分布関数である。かなり狭い速度域にのみ発生することがみてとれる。こうした速度で飛びかう水素原子に対する密度を計算する代表的手法は *syndyname* モデルと呼ばれているものである。これによれば彗星核を速度ゼロで発した粒子の軌道（重力、 $L_y\alpha$  輻射圧が粒子に作用するが、重力は彗星にも等しく働くものなので、彗星と共に動く座標系で考えるときは輻射圧のみが問題となる）をあらかじめ計算

#### HALLEY from EARTH (86/2/9)



第 11 図 地球からみたハレーの  $L_y\alpha$  輝度分布（計算）。記入された数値はキロレイリー値 ( $1 \text{ kR} = 10^9 \text{ photons/cm}^2 \cdot \text{sec}$ ) を表す。彗星の進行方向（投影成分）が長い矢印で示されている。日時は 1986 年 2 月 9 日（ハレー彗星近日点通過）で、地球との距離は 1.550 AU。太陽は紙面投影成分では真左、紙面垂直成分では紙面より測って手前  $77^\circ$  の方向にある。

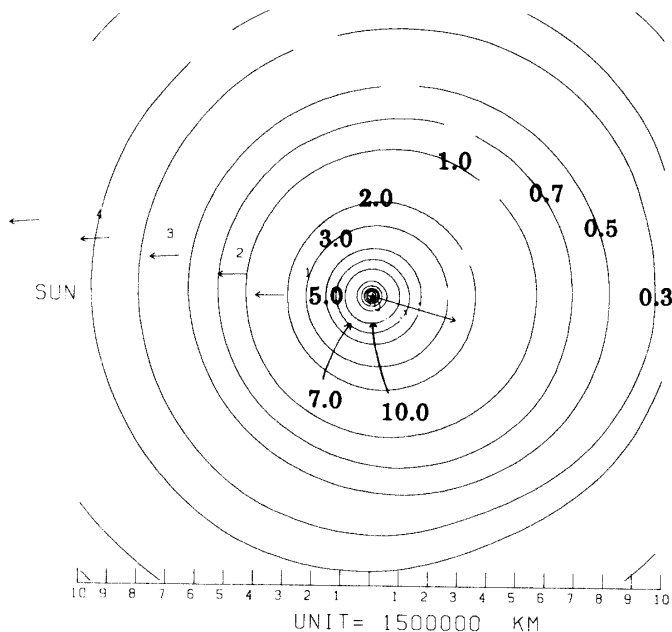
## HALLEY from VENUS (86/2/9)



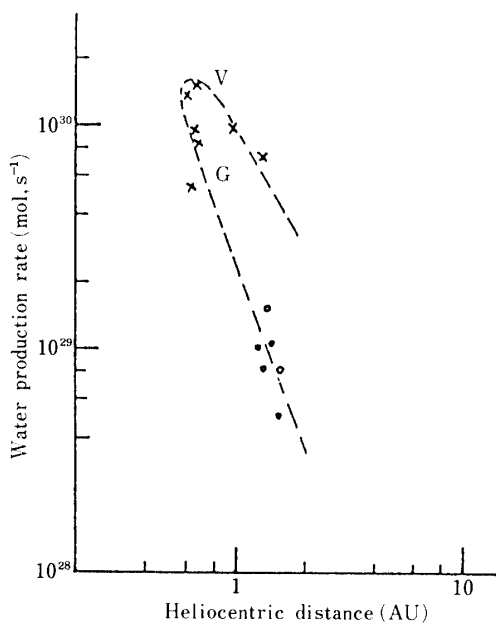
第12図 金星からみたハレーの  $L_{\nu\alpha}$  輝度分布(計算). 日時は1986年2月9日. 金星との距離は0.378 AU. 太陽は紙面投影成分では真右, 垂直成分では紙面より測って向う側  $6^\circ$  の方向にある.

しておく. 一般に水素原子は彗星内部コマをゼロでないある速度  $v_0$  で発するがこのような粒子は, そのいわゆる syndynamic line に関して速度  $v_0$  の等速膨張 (すなわち力が働かない) をすると仮定するのである. これは水素コマ内において, 彗星運動に相対的な速度ごとに異って働く筈の重力, 輻射圧の違いの効果を無視することで, コマの中の differential acceleration (or deceleration) の効果を無視すると標語的にはいわれるものである. たゞこの効果はかなり特別の状況 (彗星核からよほど遠く隔った水素原子密度の薄い所を議論するとか, あるいは彗星自身が太陽に非常に近づくような状況) を除いては大した事がないことが知られており, 従って上述の syndynamic model に基づく計算はその簡便さもあり古くから彗星の  $L_{\nu\alpha}$  の輝度計算において行われてきたものである. 第10図にみるごとく, 放出される水素原子はいくつかの速度成分をもっているがそれらに対する輻射圧の効果は異ったものとなるので, 各速度成分粒子の可能な空間存在域に対応して  $L_{\nu\alpha}$  の等光曲線群の間には粗密がそしてひずみが生ずることとなる. 第11, 第12, 第13図は syndynamic モデルに従う水素コマの輝度分布の計算例である. そこでは彗星核からの  $H_2O$  の吹き出しの割合が輝度分布の絶対値を支配することになるが, 彗星の太陽中心距離に関するその関数的変化は, IACG 作業グループにより提唱されたものを借りている [7]. たゞしその大きさはそのモデルの値を2倍したものを使っている. 第11,

HALLEY from PLANET-A (86/2/9)



第13図 Suiseiからみたハレーの  $L_{\gamma\alpha}$  輝度分布 (計算)。日時は1986年2月9日。Suiseiとの距離は1.051 AU。太陽は紙面投影成分では真左、紙面垂直成分では紙面より測って手前  $48^\circ$  の方向にある。



第14図 太陽からの距離に対するハレー彗星からの  $H_2O$  の放出量の変化。○は近日点通過以前、×は近日点通過後を示す。V、Gはそれぞれ Vega 及び Giotto により得られた値である。

第12, 第13図はハレーの近日点通過(1986年2月9日)の時のもので, それぞれ, 地球, 金星, Suisei から見たときの予想される  $L_y\alpha$  の輝度分布である. このときは Suisei や地球からのハレーの太陽離角はそれぞれ  $42^\circ$ ,  $13^\circ$  で, 地球からは輻射圧により吹き流された水素コマをほとんど頭の方から見ていることになる.(それに対し, 金星の場合この離角は  $96^\circ$  で水素コマを真横から, 彗星運動に対してはその後ろから見ていることになる.) 同じ水素コマも観測者の位置により随分と異なったものに見えることがわかる.

第14図は今回のハレー回帰における  $H_2O$  の吹き出し量を推定したものである. 点線は先述のごとく IACG 作業グループによるモデルの予測値を2倍したもので, それは彗星が太陽から2 AU 以内にある全期間の非常に大きな平均的値を表していると考えられる. IACG モデルのみならず一般に過去の彗星活動の諸データは近日点通過前より通過後において著しい事を示しているが,  $L_y\alpha$  観測から推定される水の産出量もまた, はっきりとそのような傾向を裏付けている.

最後に, 観測された多くのハレー像は本質的にはかなり球対称に近い形状をとっているといつてよい. これは次のような理由のためである. 一つには観測の S/N 限界が, 輻射圧が等光度曲線のひずみを生じさせる領域(核からかなり離れた遠方)の輝度には達していない時期が多いこと, 今一つはそのような空間域はハレーを視野( $1.96^\circ \times 1.85^\circ$ ) 中心におくとき, はるか視野外に位置してしまう事が大半だからである(近日点通過後の Suisei 遭遇前後の時期がこのような事情にある). さらにいまひとつ重要なことは, ガス放出がジェットのごとき方向性をもった機構によって生じているとしても, 引き続く光解離は一般に産み出される H-原子の空間分布をかなり球対称に近いものにしてしまうからである.

#### 参 考 文 献

- [1] Feldman, P. D., Ultraviolet spectroscopy of comae; Comets (ed. L. L. Wilkening), 461-479, Univ of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1982.
- [2] Nature, **321**, 259-366 (1986) Special issue on Halley missions.
- [3] Hirao, K., and E. Kaneda; Scientific instrumentation of Planet-A VUV imaging of the hydrogen coma of Halley, Adv. Space Res., **2**, 167-169 (1983).
- [4] Kaneda, E., K. Hirao, M. Takagi, O. Ashihara, T. Itoh and M. Shimizu; Strong breathing of the hydrogen coma of comet Halley, Nature, **320**, 140-141 (1986).
- [5] Kaneda, E., O. Ashihara, M. Shimizu, M. Takagi and K. Hirao; Observation of comet Halley by the ultraviolet imager of Suisei, Nature, **321**, 297-299 (1986).
- [6] Kaneda, E., K. Hirao, M. Shimizu, and O. Ashihara; Activity of comet Halley observed in the ultraviolet, Geophys. Res. Lett., **13**, 833-836 (1986).
- [7] Divine, N., H. Fechtig, T. I. Gombosi, M. S. Hanner, H. U. Keller, S. M. Larson, D. A. Mendis, R. L. Newburn, Jr., R. Reinhard, Z. Sekanina, and D. K. Yeomans; The comet Halley dust and gas environment, Space Sci. Rev., **43**, 1-104 (1986)