

捕獲効率の1/3ほどであり、他の色々な軌道の捕獲効率に比べて特に悪いことはない。もしこの計算結果が本当なら、ハレー彗星は1931IV ( $q=0.075$  AU,  $i=169^\circ$ ) といった近日点距離のかなり小さい長周期彗星から軌道進化したと考えざるを得ない。逆行軌道で黄道の近くを運動する長周期彗星は、低軌道傾斜角を持つ長周期彗星とほぼ同数知られているから数量的にも余り問題ない。

ただしこの計算では、木星以外の惑星は考慮されていないし、ジェット効果の影響も入っていない。近日点距離の小さい彗星ではこの効果は核の自転軸の方向によ

てはかなりきいてくる場合がある。その時には今の結論が変わってくるかもしれない。

今後は、ジェット効果による軌道の変化と、核の慣性モーメントの変化による自転の変動を同時に解くようなアプローチが必要になるだろう。またガス放出のメカニズムと自転の方向を知るために、ハレー彗星の接近時に、核附近のガスの流れを詳しく観測することは極めて重要である。高倍率による眼視観測の出る幕はまだであると思われる。

## ハレー彗星でなにを観測するか

齊藤 兎\*

### 1. ハレー彗星の意義

彗星の科学的な研究はハレー彗星とともに進んだというのはいいすぎだろうか。

18世紀初頭ハレーは彗星の回帰軌道をはじめて予言した。天王星や海王星の発見に百年も先だち太陽引力のおよぶひろい空間の存在をしめした。1758年のハレー彗星の回帰はフランスのクレイローが木星・土星の摂動をしらべてその時期を正確にいいあてた。

1835年の回帰は彗星の物理的な観測というあたらしい方面の研究のはじまりになった。ハレー彗星は、近日点の前で頭部の形や様相がいろいろに変わる。中心核から突出する光りもの・円形の光暈・中心から弧をえがいてでる流線などがあらわれる。彗星本体からふきだすちいさな固体粒が太陽に起因する斥力で押しながされるのだとみて、ドイツのベッセルはそういういろいろな活動や頭部の形状を説明しようと試みた。この斥力は彗星の尾をもつくる。19世紀後半ロシアのブレディヒンは、ベッセルの考えを応用して尾の形の分析をおこなって成功した。ベッセル・ブレディヒンの尾の理論といいその大筋はいまも通用する。

19世紀は彗星の本質を推定する観測事実のでた時代でもあった。特定の彗星と流星群との軌道が一致するという発見がそれだ。すると彗星の本体は密にむらかった流星物質の集団であろう。この考えは一世紀にわたってひろく信用され、いまでもイギリスのリットルトンなどが主張しつづけている。

1910年の回帰は、尾が地球をつつむほど彗星と地球とがちかづくというので早くから一般の関心をあつめた。専門的にも多くの人びとが観測し大量の記録がえられ

た。だがそれらはおおく個別におこなわれたから、記録の蒐集は不完全でいまなお埋もれている観測もあるらしい。このハレー彗星の研究から彗星分子の発光が太陽光の共鳴散乱にもとづくことがわかった。リック天文台のポプロフニコフはスペクトルならびに頭部や尾の形とその変化の広範な研究をおこなった。また隕石がガス物質を収着していることから類推をすすめて、彗星の発光分子の起原になる安定な母物質の存在を予想した。分子収着の考えをうけてソビエトのレーヴインは彗星光度と太陽距離との関係を説明し、その説明は1950年代まで、正しいとみられていた。

このように近代のハレー彗星はどの回帰も彗星研究の中心に位置をしめている。これはハレー彗星が計画的に観測のできる大型の周期彗星だというばかりでなく、76年の周期が人の一生にちかくて科学研究のサイクルと同期したことも見のがせないとおもう。

さて1986年の回帰は、いままでをこえて重要な彗星研究上の節目にあたっている。それは、まだ直接知ることができないでいる彗星の本体をなんとか解明したい機運とじっさい解明できそうな状況が、彗星とそれをめぐるいろいろな方面の研究の結果熟し開けてきているからである。

### 2. 彗星の本体

20世紀前半に到達した彗星の本質に関する結論によると、定性的には、彗星現象はうまく説明できる。すなわち彗星の本体は直径数百キロメートルに広がる流星物質の集団であること。その流星物質は揮発性の安定分子、たとえば水・アンモニア・二酸化タンソンなどを粒の内部に収着していること。揮発性分子は太陽のちかんで固体粒からでてきて、太陽光の作用やたがいの化学反応で、発光する分子基を生じ目にみえる彗星の形をつくること。

\* 東京天文台 Keiji Saito: Ground-based study of Halley's comet at the next return

粒や分子は光圧など太陽からのとくべつな斥力をうけて尾をつくることである。

けれども定量的な検討がすすむと、彗星の構造の安定や不安定や寿命・発光分子の生成量と生成速度・斥力の大きさなどのいたるところでこの考えは矛盾をあらわすようになった。

第 2 次大戦後 1950 年にアメリカのホイブルが提案した彗星核の「雪玉」モデルは、そういう矛盾を克服できる理論として現代の彗星研究の根底をつくった。彗星の本体は流星物質の集団などではなく、それは固体粒と凍りついた揮発性物質とがひとつになった塊りである。大きさはせいぜい数キロメートルにすぎない。揮発性物質は水・アンモニア・メタン・二酸化タンソ・一酸化タンソなどを考えればいい。それらは固体粒に収着されているののではなく、氷結して粒のあいだを埋め粒同士をむすびつけている。彗星が太陽にちかづくとき、核表面に氷結していた揮発性物質は熱されガスになって蒸発してくる。これによって急激で多量の発光分子の生成が説明できるばかりか、ガス膨張の圧力にもかかわらず彗星本体が長期間安定に存在することを説明できる。

彗星の奇妙で重要な現象に、周期彗星の運動に見られる、重力で説明できない長期にわたる加速または減速がわずかだがあって、19 世紀からわかっている。たとえばエンケ彗星の復帰は毎回約 2 時間ほど計算より早くおこり、おなじ木星族のダレ彗星ではいつも約 2 時間遅れておこる。ホイブルは、これこそ彗星をひとつの塊りと考うべき証拠だとみた。すなわちそれは、核表面の特定領域でガスの蒸発がおこりやすく、ロケットの噴射のようにたえず核を押すためにおこる。蒸発のおこりやすい領域は熱源である太陽の方向と関係する。このことから核の自転の存在ばかりかその向きと周期を観測的に検出できる。この考えによると大彗星の頭部でときどき認められる二重・三重の光暈や中心からでてくる非対称な光の流れなどは、核の自転にともなって間歇的にガスの噴出がおこるあらわれである。

### 3. 彗星観測の課題 I——彗星核

彗星はもとわずかな人びとの興味の対象でしかなかった。1960 年代から一方で星間物質や太陽系の起原の研究の進歩に関連して、またもう一方で惑星間電場・磁場のプローブに利用できるというので、彗星はひろい方面から注目されるようになった。おなじとき天文学の観測手段は多方面で発達をとげた。彗星についても、大望遠鏡を用いた可視域のくわしいスペクトル観測を手はじめに、赤外域・ついでロケットや衛星を応用した紫外域・電波望遠鏡による電波域の観測がおこなわれ、知識は量も質も一変した。

表 1 彗星の元素組成 (デルサム, 1980)

元 素	宇宙組成*	彗 星 組 成		彗星/宇宙
		ダスト**	ガス	
H	26.600.000	2.000	24.000	0.1%
C	11.700	700	4.200	42
N	2.310	50	1.100	50
O	18.400	5.000	13.400	100
S	500	350	150	100
Mg	1.060	1.060	—	100
Si	1.000	1.000	—	100
Fe	900	900	—	100
Ni+Cr	60	60	—	100

\* Si=1000, 宇宙組成はカメロンによる。

\*\* 彗星ダストは C1 コンドライト組成を仮定。

彗星の観測といえば、頭部の光度推移・発光物質の種類と量の多少・ダストとプラズマの尾の形など、めざましいが一過性の現象のそれがおもである。それでもそういう観測を結合して、彗星をつくる物質についてかなりのことがわかってきた。たとえば、アラン・ロラン彗星 (1956 III) は太陽にはじめてちかづいた「新彗星」といえる大彗星でおおくの観測がある。フランスのデルサムはいろいろな観測と解析を総合し、この彗星を構成する物質の元素組成をみちびいた (表 1)。もし彗星がひろく予想されているように太陽系の始原物質またはそれに近縁の物体なら、元素組成は太陽のそれと一定の関係がみられるはずである。表は、スイソが宇宙組成の千分の一に減じているのを別にしてそれをよく示している。

このように彗星について今日の最大の課題は、一過現象をこえた恒久的な彗星の特性すなわち核の物理構造・化学組成・物質状態などをもとめて彗星の本質を明らかにすることである。紫外域・電波域のスペクトル分布とその強度との観測は、物質の種類と生成量を知るため、揮発性物質の研究において重要なみをもつ。固体物質については、赤外域の熱放射の観測とダスト尾の形状や光量の観測から粒の種類と量を推測することができる。これらを総合してガスから固体まですべての物質の存在比がもとまる。

彗星の核はたといホイブルのいうような「雪玉」であっても地球上から見ることはできないとおもう。大きさのちいさいこともある。それよりも、核から百キロメートルぐらひは、ガスにのってでてきた粒や雪片が多量あって太陽光を反射し、本体をかくすためである。けれども核の周辺でおこっている現象をよく観察すると、すべての彗星活動の根源にある核の特性を理解する道がひらけるはずだ。核からでてきた物質は、おたがい同士または太陽に起因するいろいろな物理的・化学的作用をこう

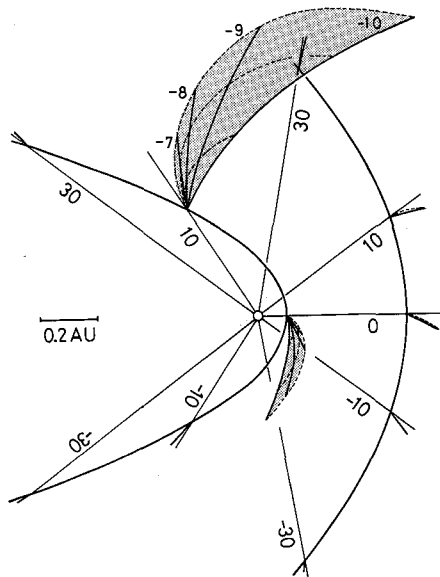


図1 ダスト尾の展開,  $q=0.1, 0.5$  の彗星の近日点から  $-30, \dots, +30$  日の尾. 前者の  $+10$  日の尾で, 実線は 7, 8, 9 10 日前に核をでた粒の配列線. 点線は等斥力線で, いちばんその斥力は重力の 2.5 倍. (運尾隆一・西岡公彦氏作図).

むって核の記憶をいつまでも留めてはいない. ガス物質はとくにいけない. これに対し固体粒は比較的ちいさな外力の作用だけをうけ, 核からでてきたときの特徴をしばらくは残している. 核のちかくにみられる異常はそういう粒物質がおこすと考えられる.

固体粒の研究には理想をいうと近日点距離が 0.3 天文単位以内にくる彗星をしらべるのがいい. その距離で粒に関連する現象が急にめだってあらわれるからである. アラン・ロラン彗星 ( $q=0.31$ ) や 1976 年のウェスト彗星 ( $q=0.20$ ) がそれであった. 核近傍の観測のほかとくにダストの尾の測光と分光が有用である. そういう彗星はひろがった扇形の尾を生じ, 核から放出された時期と粒の大きさが尾の部分によって規則正しくわかる (図 1). ハレー彗星はこの点ではすこし不足だが計画的な観測でのり越えられる. ガス物質の活動のほうは 0.3 天文単位以内では太陽放射の破壊力がつよすぎて反ってちいさくなる. ハレー彗星でじゅうぶんである.

#### 4. 彗星観測の課題 II——プラズマの尾

プラズマの尾というものは, 彗星頭部の, 核から太陽の方向へ数千から数万キロメートルのところまで, ガスがイオン化して反対のほうへしだいに加速され流されるために生じる. 彗星の尾の研究から太陽風が発見されて以来, このプラズマの尾は太陽風や惑星間磁場のプローブの役を演じ, またプラズマの大規模な相互作用の例とな

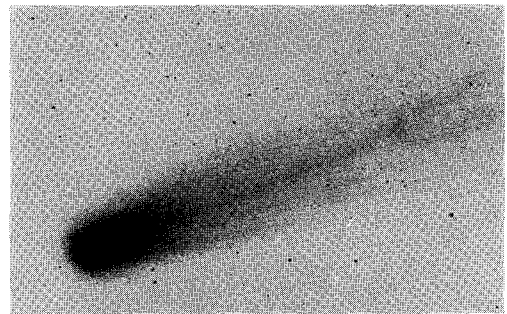


図2 プラズマの尾の不連続, 先端がわかれたようにみえる. ウェスト彗星. 1976年3月19日19時50分 U.T. (鈴木憲蔵氏撮影).

って注目されてきた.

その尾のいちばんめだつ現象は数日に一度のわりで尾に切れ目の生じることだ (図 2). アメリカのニードナーとプラントによると, 太陽磁場の不連続変化に対応する磁場の境界面が彗星本体をよこぎるときに, これがおこる. そのとき尾の発生が一度とだえてあたらしく成長してくる機構を二人はうまいモデルでしめた. もっと小規模の現象には, らせん状にのびる光のすじ・強弱のむら・尾に直角にならぶ弧状のむらの列・尾のねじれ・尾全体のゆらぎなどがある.

頭部付近のプラズマの尾は多数の流線にわかれ 1 本 1 本の直径はわずか 2, 3 キロメートルである. これは太陽から空間へひろがっていく惑星間磁力線が彗星頭部で引っかかって吹き流しのようになっているところへ, 彗星のイオンガスがまわりつき流れているもので, そうでなければ細い線が何時間も安定なわけを説明できない. 流線は頭部からななめの方向にもあらわれ, しだいに後方へたみこまれて平行にそろう. これもおなじ磁力線の影響を示唆する.

尾の不連続点の運動すなわち尾の物質の流れの速さは  $50 \sim 100 \text{ km/s}$  がふつうだ. このほか磁力線の振動がつたわって生じるとみられる波つまりアルフベン波らしい波もある. イオン・スペクトルのドップラ効果をしらべれば区別できるはずだ.

プラズマの尾は太陽にちかづかぬ彗星でもいちじるしいばあいがある. 観測の機会ダストの尾より多い. 黄道面からはなれた高緯度ではプローブとしての意義がとくにおおきい.

#### 5. IHW 計画

彗星をさぐるためいちばんいい方法は探査体を核にちかづけることだ. ハレー彗星にむけたヨーロッパ宇宙機構の探査体ジオットは, 核から数百キロメートルまでちかづき撮像やガス分析をおこなうほか, 太陽磁場と彗星

ガスとの衝突をその現場で観測する。ソ連邦のベネラも似た計画をもっている。日本のプラネットAはそこまではちがつかないが紫外域の観測で彗星ガスの生成の研究上おおきな寄与をする。これらのほか衛星・ロケット・バルーンなどの観測も計画されるだろう。

観測を地上からささえ、またハレー彗星の活動の推移を完全にとらえるため国際ハレー観測計画 IHW がすすんでいる。彗星活動のいちじるしい期間は近日点通過前後 1~2 か月にかぎられる。その間彗星を効率よく観測するのに国際協力の役だつことは 1974 年のコホウテク彗星でよくわかっている。IHW はねらう分野を七つにわけた。それらは、

- (1) 広域現象: プラズマやダストの尾とそれらに関連する外部コマの変化など広視野・低輝度の現象。
- (2) 核近傍現象: 中心集光・突起物・包被・内部コマの小変化などせまい範囲の低コントラストの現象。
- (3) 分光・分光測光: 波長域 300-1000 ナノメートル。回折格子・プリズムによる。
- (4) 測光・偏光測光: 波長域 300-1000 ナノメートル。干渉フィルターによる。
- (5) 赤外分光・測光: 波長域 1-500 ミクロン。ダスト・ガス・核の組成・散乱特性・熱放射。
- (6) 電波観測: 波長 0.5 ミリメートル以上。物質組成、熱放射・非熱放射。
- (7) 位置測定: 精密位置の迅速な測定と算出。

である。IHW は 1982 年度からはじまり 4 段階がある。

- (1) 82-83 年度: 観測網の設定と方法の規格づくり。
- (2) 84 年度: 彗星による実地練習。
- (3) 85-86 年度: ハレー観測。
- (4) 87-89 年度: データの出版と保管。日本の対応はまだにぶいが宇宙科学研究所では各方面によびかけて観測計画のシンポジウムを夏ごろひらく予定ときいている。

日本の彗星観測ではアマチュア研究者が重要な位置を

表 2 彗星用シュミット・カメラの特性

所 属	焦点距離 cm	口径 cm	視 野	スケール "/mm
東京天文台	100	50	6°φ	3.45
宇宙科学研究所	75	50	4°2×14°	4.2
JOCR*	70	35	8 × 10	4.9

\* Joint Observatory of Cometary Research (米)

しめここでも活躍が期待される。とくに広域・核近傍現象の観測でひろい舞台がある。コホウテク彗星やウェスト彗星での経験によるとアマチュアの写真はいっばんに空間分解能がちいさいという問題点があった。尾の解析には角度 1' まで分解できるのが望ましい(表 2)が、35 ミリ判標準レンズはそこまで分解しない。そこで逃げ道は二つある。まずカメラの焦点距離を 20 cm までのばす。F 数は 3.5 まで明るければよい。つぎに 103 aO のような粗いフィルムでなく微粒子のフィルムをもちい、その微粒子状態を現像でも保たせる。露出時間が長すぎると尾の運動で像がぼけてしまうが、現象の動きの速さからいって焦点距離 20 cm で 20 分まではいい(焦点距離に反比例する)。

核近傍の現象のほうはふつうの写真ではこまかな構造がつぶれる。フィルターや露出時間にくふうが必要である。それよりも中・小口径の望遠鏡でくわしいスケッチをえがいた 19 世紀の方法を見なおすのはどうだろう。ホイブルはそういう記録をもとにいくつかの彗星の自転をしらべた。

流星と宇宙塵の観測も重要になる。今回のハレー彗星の放出するダストがすぐ地球へふってくるのではなく、観測できるのは前回かそれ以前に核をでて一度以上軌道をめぐり、また途中で崩壊してちいさくなった粒である。

## 計 報

国会元評議員、東京大学名誉教授 坪井忠二氏は去る 11 月 19 日午前 11 時半 80 歳で逝去されました。

謹んで御冥福をお祈りするとともに会員諸氏にお知らせ致します。