

# 彗星の起源

藪下 信\*

## 1. 彗星の分類

彗星は太古の昔から人類に知られている天体の一種である。にもかかわらずそれらが一体どのようなものであるのかは正確に知られていない。惑星の場合はすでに地球のみならず、月の資料を持ち合わせているので、それらが起源に関する手がかりを与えてくれる。彗星についてはその構成物質が未だ地上に持ち帰えられていないから、その起源を物理的に議論することは困難である。しかし惑星と異り非常に数多くの彗星があるので、それらの軌道の統計的分布から、起源に関して何らかの情報が得られるかも知れない。ここではそういう観点から彗星の起源を議論してみよう。

彗星はその形、明るさが時と位置によって変るため、軌道によってのみ異った彗星を識別することができる。軌道要素がかなり正確に知られている彗星の数は600に達するが、軌道周期は数年のものから、数万年、中には数百万年のものがある。また惑星による摂動を受けて太陽系から永久に去ってしまった（去ってしまうことが確実な）彗星もある。一般に長周期のものが明るい。これらの彗星は一般に長周期と短周期に分類されているが、どこに境界をおくかはかなり任意である。冥王星の周期は約200年であるから、一応200年より周期の短いものを短周期、そうでないものを長周期と呼ぶことにしよう。有名なハレー彗星は平均77年の周期をもつから、この分類によれば短周期彗星である。ポーターの彗星カタログには566個の彗星が記されているが、このうちの94個は短周期で、残りの472個が長周期彗星である。

## 2. 主惑星による補償

短周期彗星と長周期彗星の軌道は周期が異なるというだけでなく、他の点でも著しい対称を見せている。短周期彗星の軌道はほぼ黄道面に一致するが、長周期彗星の遠日点は、ほぼ一様に天球上に分布している。軌道の黄道面に対する傾斜角を $i$ とすれば、遠日点が天球上に一様に分布しているときの $i$ の分布は $\sin i$ に比例するはずである。図1ではポーターのカタログをもとにした $i$ のヒストグラム分布を与えている。これから判るように、長周期彗星の遠日点は天球上にほぼ一様に分布していると結論してよい。

短周期彗星の軌道と、長周期のそれとがこのように異なるのはどうしてであろうか。H.A. ニュートンは放物軌道に近い長周期彗星が主惑星の摂動で短周期に換えられたとの仮説を立て、それを補獲過程と名づけた。主惑星の引力圏外では太陽を焦点とする放物線、その中では惑星の引力のみを受けるという単純化をして計算を行った。1920年にH.N. ラッセルはニュートンのこの結果と当時知られていた彗星の軌道とを比較してニュートン仮説の妥当性を議論した。ニュートンの計算から導かれる結論は要約すれば次のようになる。

1. 放物線軌道の彗星がランダムに惑星近傍に来るならば、惑星によって補獲される確率は百万分の一程度である。補獲は主として木星によって起り、土星は木星の約40分の1しか彗星を補獲しない。天王星、海王星の役割は約1/400である。
2. 惑星との一回の遭遇で短周期になった彗星の平均軌道半径（以下 $a$ と表す）が $a$ より小であるもの数は $a^2$ に比例する。
3. 補獲された短周期彗星の軌道はほとんどが順行である。
4. 補獲された彗星の軌道は、それを補獲した惑星の軌道の近傍を通過するはずである。しかし補獲された時からの時間の経過とともに、彗星軌道は進化し補獲した惑星軌道との関係は薄れていくであろう。

ラッセルは観測されていた彗星の軌道要素との比較から、2と3はほぼ観測データと一致することを示した。また周期が木星とほぼ等しいために木星族と呼ばれている彗星のかなりのものが、木星軌道の近傍（平均軌道半径の1/10以下）に来ることを示し、木星族に関する限り4も観測データと一致することを結論した。しかし土星族や天王星族については必ずしも4が成り立つとは限

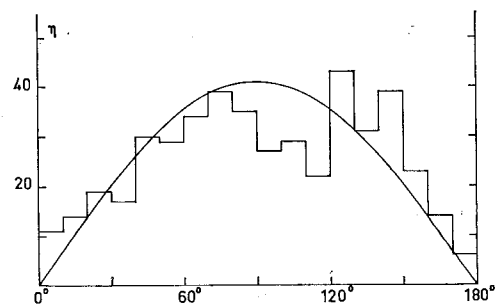


図1 長周期彗星の軌道傾斜角( $i$ )のヒストグラム分布。ポーターのカタログから作ってある

\* 京大・工学部・数理工学教室  
Shin Yabushita: Origin of Comets

らないことも示した。

このラッセルの研究によって、短周期彗星は放物線に近い軌道をもつ長周期彗星が主惑星によって補獲されたものであることが確立された。彗星の起源の問題はしたがって長周期彗星の起源を明らかにすることに還元されたわけである。それ迄に木星や土星の表面から何らかの噴出によって彗星は生れたとする仮説が提唱されていたが、そのような仮説を議論する必要はなくなったのである。

### 3. 惑星によるハレー彗星軌道の摂動

惑星による彗星軌道の摂動は彗星の起源を考えるに際して非常に重要で、これについては次節で論ずることにするが、ハレー彗星の軌道は非常に興味深く、また惑星摂動の一つの典型と考えられるので、ここで少し詳細に説明してみよう。最近キアンとプレーディはハレー彗星の過去の軌道を計算しているが、筆者は十分に彼等の仕事を検討する余裕を持たなかったので、ここではコーウェルとクロメリンの計算をもとに議論を進める。

1907~8年にコーウェル・クロメリンは1835年のハレー彗星の出現のデータを基礎に、過去の惑星による摂動を計算した。その目的は古文書に記録されている彗星のどれがハレー彗星であるかを定めるためであって、記録されている彗星の位置を使って、計算された軌道を修正し乍ら過去に進むという方法を取った。このようにして過去28回の出現の間の惑星摂動を計算した。周期 $P$ がどのように変化を受けたかが、表1に示されている。ただしここで $P$ はある近日点通過時とその次の通過時との差としている。また平均周期は77.10年であるので、

1607年を規準としこの平均周期をもとに近日点通過時を計算したものと、実際の通過年月との差を偏差として表わしてある。惑星の引力が無視されたとき、この偏差は0となる筈であるから、この偏差は彗星の近日点通過時刻の惑星による摂動である。惑星の摂動により、偏差は正になったり負になったりする、いいかえれば彗星は加速を受けたり減速を受けたりするのである。この偏差を時間に対して画けば、周期が770年の正弦運動があることが判る。したがって惑星の摂動は累積的ではなく周期的である。このようにハレー彗星の軌道は平均周期77年の運動のまわりに周期運動をくり返すため、非常に安定なものとなっている。

この彗星軌道の離心率は0.9672であるから、惑星の近くにいるときの軌道はほぼ放物線に近い。摂動を受けるのはそれが主惑星の近くにいる間だけで、遠日点近くにいるときは殆んど影響を受けない。したがってハレー彗星の軌道の受ける摂動は主としてそれが近日点通過の時の主惑星の位置にのみ関係するものと考えられる。コーウェルとクロメリンは近日点通過から次の近日点通過の間に彗星の軌道の受ける摂動を計算したが、幸いなことに彼等の計算の詳細は表となって印刷されているので、それをもとに遠日点から次の遠日点通過の間に受ける摂動の大きさを求めることができる。周期の変化は平均運動の変化に直すことができる。図2は木星による平均運動の摂動(遠日点から遠日点まで)を、彗星の近日点通過時の木星の位置(木星の経度 $\chi$ )の関数として表したものである。この図から、まず平均運動の摂動は $\chi$ について平均すれば0となることがわかる。このことから、仮にハレー彗星と同一軌道に数多くの彗星があり、

表1 ハレー彗星の近日点通過年月

年 月	周 期	偏 差	年 月	周 期	偏 差
1910.30		-5.92	837.15		0.33
1835.88	74.42	-3.24	760.44	76.71	0.72
1759.20	76.68	-2.82	684.85	75.59	2.23
1682.71	76.49	-2.20	607.23	77.62	1.71
1607.82	74.89	0.00	530.87	76.36	2.45
1531.65	76.17	0.93	451.50	79.37	0.18
1456.44	75.21	2.82	373.85	77.65	-0.37
1378.86	77.58	2.34	295.27	78.58	-1.85
1301.81	77.05	2.47	218.27	77.00	-1.75
1222.69	79.12	0.37	141.23	77.04	-1.69
1145.30	77.39	0.08	66.07	75.16	0.25
1066.73	79.07	-1.89	-11.23	77.30	0.05
989.71	76.52	-1.31	-86.38	75.15	2.00
912.55	77.16	-1.37	-162.62	76.24	2.86
837.15	75.40	0.33	-219.63	77.01	2.95

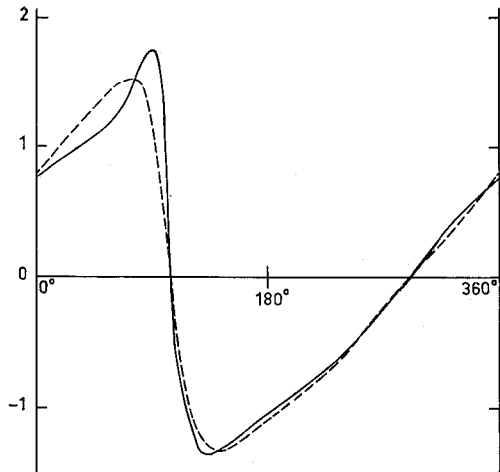


図2 ハレー彗星の平均運動(セコンド/日)の木星による摂動。横軸は木星の経度を表す。実線は放物線近似によるもの、点線はコーウェル・クロメリンの計算によるもの。

それらが同一間隔で近日点(または遠日点)を通過すれば、それらの平均運動の摂動の平均値は0となる。これは惑星による彗星軌道の摂動の一つの特徴である。

さてハレー彗星の近日点通過の際の木星の位置は全くランダムであったとしよう。 $\delta n$ (平均運動の摂動)は正負の値をランダムにとるが、それらを加え合わせたものは誤差の法則に従って、必ずしも0とはならず、近日点通過回数の平方根に比例して増加して行くであろう。したがって彗星の周期はある平均値のまわりに振動するのではなく累積的に大きくなるか小さくなるであろう。現実のハレー彗星の周期はそのようなことはない。したがってハレー彗星の近日点通過時の木星の位置は決してランダムではなく、何回かの後にはもとの配位にもどるようになっていく。このようにハレー彗星の軌道は現在の

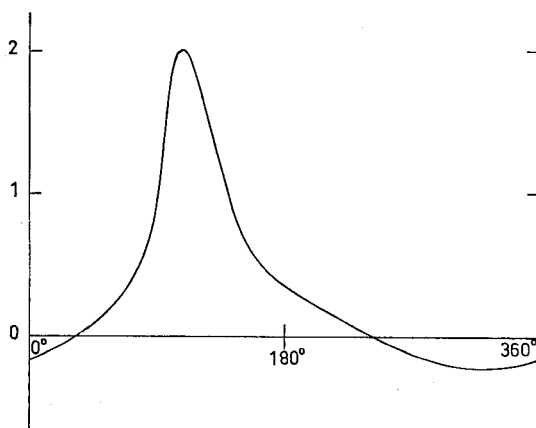


図3 ハレー彗星の $\Omega$ (昇交点経度)の木星による摂動。横軸は木星の経度。単位は度である。

位置に長くいたことになる。しかし彗星はテイルを作ったり、流星群を作ることによって質量、明るさを次第に減少するから、過去のある時に現在の位置に補獲されたに違いないのである。それではその時の軌道はどのようなものであったろうか。そのことを知るには他の軌道要素がどのように摂動を受けるかを考える必要がある。図3には放物近似で求めた $\Omega$ (彗星軌道の昇交点経度)の摂動が $\chi$ の関数として与えられている。ここでは木星のみが考慮に入れているが、土星もほぼ同じ位の寄与を与える。 $\delta n$ と異って $\delta\Omega$ は $\chi$ についての平均をとっても0とはならず、一回転ごとに平均 $0^{\circ}.314$ となる。昇交点から測った近日点の経度( $\omega$ )も同様の永年摂動を受けるであろう。このようにわずかつづつではあるがハレー彗星の軌道要素は永年変化を受けるから、過去にさかのぼれば木星か土星の十分近くに来る可能性がある。そのような配位のときにハレー彗星は補獲され、その後軌道は現在のようになったと考えられる。この例から判るように補獲された彗星の軌道は数十周期の後にはもとの軌道から大きく変化するので、現在の軌道が補獲された時の軌道そのままであると考えてはならない。

#### 4. 長周期彗星の惑星による摂動

よく知られているように彗星は太陽から数天文単位(以下 $a.u.$ と略記する)に近づいてはじめて観測可能となる。したがってその彗星のもとの軌道と未来の軌道は惑星摂動を計算して決定される。長周期彗星の過去・未来についての軌道計算はストローングレンの指導のもとにコペンハーゲン学派によって最初推し進められた。彗星の単位質量あたりの太陽に関するエネルギー $E_s$ が正であれば軌道は双曲線、0のときは放物線、負であれば楕円である。可視領域で決定された軌道の中には $E_s > 0$ のものが多く、それらは双曲彗星とよばれている。ある彗星が太陽系のメンバーか否かを決定するのは必ずしも $E_s$ の符号ではなく、惑星系から十分離れた点で彗星が太陽系重心に関して持つ力学エネルギー $E_G$ の符号である。この $E_G$ の値は太陽近傍で決定された軌道をもとにして、過去・未来にわたって惑星による摂動を計算して求めることができる。可視領域での軌道が双曲線である彗星のもとの $E_G$ の値が正であったか否か、いい換えれば太陽系外からやって来たのか否かを決定するため、ストローングレン一派は主として双曲彗星軌道の惑星摂動を計算した。その結果によれば、それらはすべて惑星によって太陽接近中に加速されたものであって、もとの $E_G$ の値が正であったものは見出されなかった。この点については現在ブレイディ等が $E_G > 0$ である彗星の候補をいくつか示している。しかし筆者の意見では $E_G > 0$ と断定できるものは見出されていない。

表 2  $1/a$  の値 (単位は  $10^{-6}a.u.^{-1}$ ). 負の値は双曲線軌道に対応する

彗星	もとの値	近日点近傍	未来
1853III	99	-803	
1863 I	528	-59	
1863VI	12	-495	
1864III		689	
1889 I	42	-692	-597 E*
1889 II		144	1320
1897 I	30	-882	-371 E
1898VII	-16	-607	-766 E
1904 I	216	-504	523
1944IV	0	-937	
1946VI	45	-699	
1948 I	87	-410	-317 E
1959 $\alpha$	-443	-2124	

\* Eを附したものは太陽系からの脱出が確実なもの。

このストロングレン一派の計算以後軌道が正確に知られている彗星の過去と未来の軌道が多くの研究者によって計算された。その一例としてマースデンによるものを表2に示しておこう。ここで  $a$  は半長径であって、 $E_0 = -GM_s/2a$  で定義される。ここで  $G$  は重力常数、 $M_s$  は太陽系の質量である。 $a > 0$  は楕円、 $a < 0$  は双曲線と定義してある。

この表からも判るように過去の  $a$  の値は正であるが、未来の  $a$  は負となり、太陽系から脱出するものがあることである。長周期彗星の結合エネルギーと惑星によるエネルギー摂動はほぼ同じ大きさなのである。未来の  $a$  が負のものは永遠に太陽系から失われ、したがって何らかの機構によって観測可能な彗星が補給されない限り彗星の数は次第に減少する。それ以外に例えばテイルを作ったり流星群を作ったりすることで彗星は崩壊し、その数は減少する。その減少の割合が太陽系年令に比べて非常に速ければ、どうしても観測可能な彗星の起源という問題を考えざるを得ない。このように彗星の起源の問題は惑星のそれよりもよりシリアスであるといえることができる。ここでまず力学的過程による彗星数の減少を定量的に求めてみよう。

### 5. 太陽系からの彗星の脱出

太陽系からの彗星の脱出の問題はリットルトンの示唆を受けてオックスフォード大学の統計学者ハマズリーが定式化し、解決した。その考え方はまず、長周期彗星は毎年4~5個発見され、その周期は数十万年から数百万年である。観測されないものも考えれば少くとも数百万個の彗星が存在するから、それら個々の軌道をそれらが

脱出する迄追跡することは不可能である。しかしある彗星が惑星空間から遠ざかる時と、再突入するときの惑星の位置は相関がないと考えられるから、数多くの彗星は惑星領域に入る度にある確率分布に従ったランダムなエネルギー摂動を受けると仮定してよい。彗星は一周期毎に正、負の摂動を受けエネルギー空間内で一種のランダム運動を行うが、 $E_0$  が正になれば失われたことになる。あるエネルギーで生れた彗星が太陽系に所属できる時間  $T$  の確率分布がこのようにして得られる。確率論の大数の法則によって、この確率はとりも直さず太陽系に残っている彗星数の、もとの数に対する割合を与える。この問題は周期がエネルギーの関数(ケプラーの法則)であることのため普通のブラウン運動の理論よりも複雑であるが、ハマズリーはモンテ・カルロ法を用いてこの確率を求めた。それが図4に示されている。ハマズリー理論ではエネルギーの確率分布は正規分布(平均値は0)であると仮定されており、図4で用いられる時間の単位はこの正規分布の標準偏差で表される。より正確に言えば1単位 =  $[2\delta(E)]^{-3/2}$  年、ここで  $\delta E$  は彗星エネルギーの変化を  $a.u.^{-1}$  で表したものである。図4から見られるように90%の彗星が太陽系から放出される迄の時間は彗星の初期エネルギーとは無関係に約70単位である。これは彗星の力学的損失のみを考えた結果であるから、物理的崩壊を考慮した場合彗星の失われる割合はより大きい。

この惑星による摂動の分布形と標準偏差(以後これを摂動の大きさという)を求める問題はカー、ヴェンウェルコム、エバーハート、ケンドール(現ケンブリッジ大学数理統計学教授)と筆者によって研究された。それを求める際に何が確率変数と見なし得るかをまず考えておく必要がある。長周期彗星の軌道を定める  $q$  (近日点距離)、周期と他の幾何学変数 ( $\Omega, \omega, i$ ) はどのように

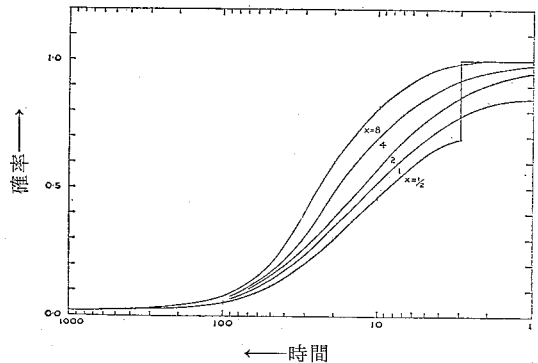


図4 太陽系に残っている彗星の割合を彗星形成時からの時間の関数として表したもの。ハマズリーの計算による。 $x$ は適当な単位で、初期彗星のエネルギーを与える。

変化するかを考えると、ハレー彗星のところでのべたように  $\Omega, \omega$  はわずかに永年摂動を受けるが、それは小さいので定数とみなし得る。  $i$  についても同じことが云える。いま  $q$  について考えると、まず木星、土星の軌道を円と見なして制限三体問題とすれば、ヤコビの積分

$$E - n_J h_3 = \text{一定}$$

がなり立つ。ここに  $h_3$  は彗星角運動量の第三成分で  $h$  と同程度の量であり、  $n_J$  は惑星の平均運動  $n_J^2 = R_J^{-3}(M_\odot + M_J)G$  である。さて  $E$  の摂動は簡単な次元解析から  $GM_J/R_J$  のオーダーであることが判るから、近似的に  $\delta h \approx GM_J/R_J n_J$  となる。ところが離心率が 1 に近い軌道に対しては  $h^2 = \sqrt{2GM_\odot q}$  であるから、  $q$  の変化  $\delta q$  は

$$\delta q/q \approx \sqrt{2} (M_J/M_\odot) (R_J/q)^{1/2}$$

となる。これは  $10^{-8}$  のオーダーであり非常に小さい。このように惑星摂動により彗星のエネルギー(周期)は大きく変化を受けるが他の軌道要素はほとんど変化しない。したがって確率変数と見なされるべき量は近日点通過時の木星(土星)の位置を与える  $\chi$  のみである。しかし  $\Omega, \omega, i, q$  を固定すると彗星の数は少くなるので、一応  $q$  のみによつて、彗星群を分類し他の量はランダム変数と見なす。こうして得られた値を次に与える。

$$\begin{aligned} \sigma[\delta(1/a)] &= 73.8 \times 10^{-5} (a.u.)^{-1} & q &= 1.166 a.u. \\ &= 52.1 \times 10^{-5} & q &= 2.937 a.u. \\ &= 46.3 \times 10^{-5} & q &= 5.202 a.u. \end{aligned}$$

他の研究者による値は

$$\begin{aligned} \text{ヴァンヴェルコム} \quad \sigma[\delta(1/a)] &= 78 \times 10^{-5} & q &= 1 a.u. \\ &= 128 \times 10^{-5} & q &= 4.5 a.u. \\ \text{カー} \quad \sigma &= 72 \times 10^{-5} & q &= 1 a.u. \\ &= 42 \times 10^{-5} & q &= 4.5 a.u. \end{aligned}$$

またケンドールはコーウェル・クロメリンのハレー彗星の軌道計算から  $\sigma$  の値を求めて  $76 \times 10^{-5} a.u.^{-1}$  という値を得ている。

さらに必要なのは可視領域にある(近日点距離  $q$  の小さい)彗星の  $\sigma$  だけでなく、  $q$  の大きい彗星の  $\sigma$  もである。  $q$  の大きいものは明らかに、惑星の摂動を受けないからであつて、惑星の摂動領域を明確にする必要がある。筆者はこの計算をも行って、彗星が 90% 放出される迄の時間を求めた。その結果をまとめると

$q$ (天文単位)	時間 $T$
5.2	$7.1 \times 10^6$ 年
7.3	$3.9 \times 10^7$
10	$1.4 \times 10^8$
13	$4.3 \times 10^8$
19	$7.0 \times 10^9$
24	$1.5 \times 10^{10}$

のようになる。この時間  $T$  は彗星が太陽系メンバーと

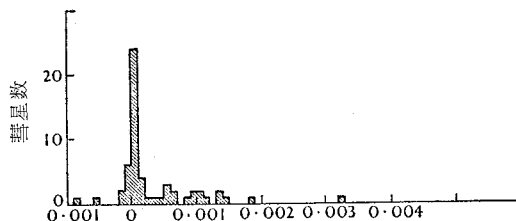


図5  $1/a$  のヒストグラム分布。ガリビナの  $a$  の値をもとにリトルトンが作った。

してとどまり得る期間の一つの日安を与える。この結果から第一に可視領域に近日点のある彗星は一千万年前後で 90% 太陽系から脱出することがわかる。太陽系年齢は 45 億年であるから、現在の可視彗星が、太陽系形成時から今の軌道にいたとすればもとの数は現在の数の  $10^{450}$  倍でなければならず、到底不可能であり、可視彗星は何らかの機構で補充されていなければならない。第二に惑星作用圏は  $q < 18 a.u.$  であつて、これより大きい近日点距離をもつ彗星は太陽系年齢の間太陽系にとどまり得ることが判る。

## 6. 彗星の起源に関する学説

前節の議論から明らかなように可視領域にある彗星は一千万年間で太陽系から失われるので、それらは何らかの機構で補充されていなければならない。太陽系は近日点距離が大きいため観測不可能でまた惑星摂動を受けない彗星多数を持っており、それらが時々可視領域にもつて来られるというのがオールトの有名な理論である。オールトは軌道要素が正確に知られているもの、もとの  $1/a$  の値、いかえれば発見された時の値から惑星摂動をさし引いた  $a$  の逆数の分布を考えた。図5はガリビナの値をもとにリトルトンが画いたヒストグラム分布であつて、オールト説の誤りを指摘しようとしたものだが皮肉にもその正しさを証明する結果となっている。この分布から、まず  $a^{-1}$  が 0 と  $10^{-4}$  の値に多くの彗星のあることである。オールトの解釈によればこれらの彗星は過去に惑星の摂動を受けたものではあり得ない。前節で触れたように惑星空間を一度でも通過したことのある彗星は  $1/a$  の値が正負  $10^{-8} a.u.^{-1}$  位の摂動を受ける。したがつてもとの  $1/a$  の値が  $10^{-4}$  である多くの彗星が全て惑星空間を通過すれば、  $1/a$  の分布はその幅が少くとも  $10^{-8} a.u.^{-1}$  位になるはずであつて、図5に示されているような細かいピークを持ち得ないからである。この解釈はおそらく唯一の正しいものであり、これ以外の解釈は考えられない。したがつて半長径が数万天文単位の彗星が数多く存在することは観測データによって確立されていると考えることができる。オールトは大きな  $q$  の値 ( $q$

>18a.u. であれば惑星による摂動を受けない) をもち、 $a$  が数万 a.u. である数多くの彗星が太陽系に属し、それらが近傍を通過する恒星の引力によって可視領域にもって来られたものが新しい彗星 (ヒストグラム分布で  $1/a$  が  $10^{-4}$  より小さいもの) であると考えた。この考えが正しいためには、恒星による摂動は  $q$  を大きく変えるが、 $a$  の値 ( $1/a$  の値) を大きく変えないようなものでなくてはならない。このように恒星の摂動が作用する否かは詳しく考察する必要がある。

リトルトンによれば彗星は星間空間に存在する微粒子 (ダスト) が太陽によって補獲されたものに他ならない。星間ダスト中を太陽が通過すると、ダストの軌道は太陽重力によって曲げられ、その結果太陽後方で多くのダストが衝突する直線ができる。殆んどものは後方に逃げさるが太陽からの距離が  $GM_{\odot}/V^2$  ( $V$  はダストと太陽の相対速度) の数倍より近くのものには引力によって太陽系に引き込まれる。このようにダストが比較的密度が高くなったのが彗星であって、彗星の素材は星間空間のものであるが、彗星として存在し始めるのは太陽近傍においてである。この理論によれば彗星には大きな核と呼べるほどのものは存在しない。また彗星は太陽系重心に向かって突入するので、近日点距離はせいぜい太陽中心から 2.2 太陽半径のところにある。  $V$  として適当な数値を用いるとせいぜい  $a$  は数百天文単位となる。こうしてでき

た彗星が数万 a.u. のところに持って来られるには惑星の摂動を必要とする。また最初の  $q$  は小さく、惑星摂動は  $q$  を大きく変えないから、太陽から数万 a.u. のところで恒星の摂動を受けなければならない。でないならば全ての彗星は太陽と衝突して消滅してしまうことになる。また太陽は銀河面内を回転運動しているので、ダストを追いつくことが多いから太陽運動の後方に彗星の遠日点は多く分布するはずである。

### 7. 恒星と銀河核による摂動

オールト、リトルトンいずれの理論でもすでに説明したように恒星の摂動は重要であるので、それについて少し考察してみる。この問題はエピックにより極めて初等的に、筆者はかなり詳しく調べたが、恒星が長周期彗星の軌道に及ぼす影響は二つあって、一つは平均とし彗星にエネルギーを与え、他の効果は彗星の  $q$  を変えることである。恒星と太陽彗星系の遭遇はランダムな事象であるから、統計的にのみ扱うことができる。オールトの理論で彗星が太陽系創造と同時にできたものとするれば、それは恒星の摂動にもかかわらず45億年太陽系に所属し得なければならない。太陽近傍の恒星の空間密度と平均速度は知られているから、この問題には定量的に解答を与えることができる。筆者の計算によれば半長径が  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$  a.u. である彗星は  $3.5 \times 10^{12}$ ,  $1.7 \times 10^{11}$ ,  $1.1 \times$

★★★★★★★★★★★★

— わが国唯一の天体観測雑誌 —

# 天文ガイド

毎月 5 日発売! 定価240円(〒32)



天文ファンの人たちに毎月の天文現象の案内や、ニュースの紹介をするとともに、望遠鏡の作り方、観測ガイド、天体写真の写し方など、実用記事も掲載。  
また、読者の写した天体写真、星座写真等たくさん作品や望遠鏡の自作レポートも網羅。

誠堂新光社 東京・神田錦町一―五 振替・東京六二九四

★★★★★★★★★★★★

天文に興味を持ちはじめた小学校上級生から中学校1年生ぐらいの子供たちのための天文入門書

# 星空の12ヵ月

古畑正秋著/A4判/定価 900円

12枚の毎月の星図を中心に、星座の話、星の明るさ、金星や火星の動き、流星、月のこと、天の川、変光星のことなど、はじめて星に心をうばわれた少年たちにわかるようにやさしく説明してあります  
■おもな内容— 星座のさがしかた/星座の歴史/星座の表/星の明るさ/日出、日入の薄明/1月の空/冬のおもな星座/2月の空/星雲と星団/3月の空/金星のうごき/4月の空/春のおもな星座/5月の空/火星の動き/6月の空/7月の星座/その他

$10^{10}$  年太陽系に所属し得る。したがって恒星の影響を考慮した太陽系半径は約  $2 \sim 3$  万  $a.u.$  であって、これはオールト彗星群の半長径の値とほぼ等しい。

つぎに近日点距離  $q$  の受ける変化については、遠い遭遇（恒星の太陽に関する衝突係数が彗星の  $a$  の数倍のもの）によっても  $q$  は  $2 \sim 3 a.u.$  変化することが判る。したがって数回の恒星の摂動で惑星の作用圏外にある彗星が可視領域にもって来られる。しかもエネルギー ( $1/a$ ) は数パーセントしか変化しない。このようにオールト理論はもとまった論理構造をもっている。またリトルトン彗星にとっても、既にのべた理由で恒星摂動は重要である。それではこのような性質をもった機構は恒星の引力のみであるのか。チェボタレフは銀河核の引力も同じような性質をもつことを指摘した。太陽は銀河核のまわりを円運動し、彗星は太陽の周囲に運動すれば彗星には銀河核による潮汐力（彗星に働く引力と太陽に働くその差）が作用する。この力によって、星間空間を太陽とは独立に運動していた彗星は太陽によって捕獲されることを彼は示した。これはたとえ月がもともと惑星であったとしても地球に捕獲されるのと同じ機構である。さて  $M_G$  と  $R_G$  を銀河核の質量と太陽からの距離とすれば、銀河核による力を無視できなくなるのは太陽からの距離が  $R_G(M_G/M_\odot)^{2/3}$  と同程度になるときで、彗星の太陽による捕獲もほぼこれ位の距離で起る。これは天体力学の惑星引力圏の公式をそのまま用いたものである。実際の数値を入れるとこの距離は 6 万  $a.u.$  となる。したがってオールトの彗星群はこの作用圏にぎりぎり入っている。この銀河核の作用を考えれば近日点距離が遠いため観測不可能な彗星が、これによって可視領域にもって来られることもあり得る。実際簡単な計算によって、銀河核の摂動によって、彗星の近日点距離が大きく変化することが示されるのである。

以上を要約すれば、半長径が数万  $a.u.$  で近日点距離が  $4 \sim 5 a.u.$  よりも大きい彗星が非常に多くあることは  $1/a$  の分布からほぼ間違いない。それらは太陽系近傍を通過する恒星か銀河核の作用で可視領域にもって来られる。リトルトンの仮説は原始彗星が太陽表面にとび込むか、すれすれに通過することを除けば、数回の惑星摂動でこのオールト彗星となることは可能である。恒星の

摂動により可視領域にもって来られるのであれば彗星の遠日点は天球上にほぼ一様に分布するであろうが、リトルトン理論が正しければそれは太陽運動の後方に強く分布するであろう。また銀河核の影響が強ければ遠日点の分布は銀河面と強い相関を示し、とくにその分布は  $180^\circ$  の周期をもつはずである（潮汐作用の特徴は必ず力の強い場所が二つ現れることにある）。次節では遠日点の分布から何か手がかりが得られるかを議論して見よう。

## 8. 遠日点の分布の彗星の起源

長周期彗星の遠日点分布の特異性は古くから注目されていた。すでに 1886 年ヘックは天球上のある部分（黄道面から緯度  $32^\circ$ （北）、経度  $95^\circ \sim 243^\circ$ ）に遠日点が多くないことに気付いていたし、エディントンも、317 個の分布から同様の結論を導いた。しかし遠日点分布を統計学的に扱い、その分布と銀河内の太陽運動とに関係があることを示したのはリトルトンの学生であったタイローである。この問題はその後、長谷川によっても研究された。

タイローはまず大きな紙風船をつくり、長周期彗星の軌道要素から遠日点を一個づつたんねんに風船上にはりつけて、いくつかの角度から写真を撮り、分布の一般的特徴を見出した。それは銀河面近くに遠日点分布が集中しているということである。

つぎにタイローは遠日点が多く分布している方向を求めた。これは天球を表わす風船上の遠日点に  $(x, y, z)$  座標を与え、 $x, y, z$  に関する重心を計算すれば、その重心と原点（風船の中心）を結ぶ方向が、遠日点が多量的に分布している方向となる。こうして求められた方向は太陽運動の後方から、わずかに  $20^\circ$  ずれているだけであって、この傾向は周期の長いものほど強く現れている。

つぎに長谷川は銀河座標をとり、遠日点分布が銀河経度でどう依存するかを調べた。分布の山は二つ見られる。それらは  $90^\circ$  離れているが、統計的に特に有意な山とは考えられない。また銀河緯度についての分布はほぼ正弦分布に近い。これらの観測結果をもとに彗星の起源について考えてみよう。

オールトは彼の彗星族の起源として太陽系内形成を考

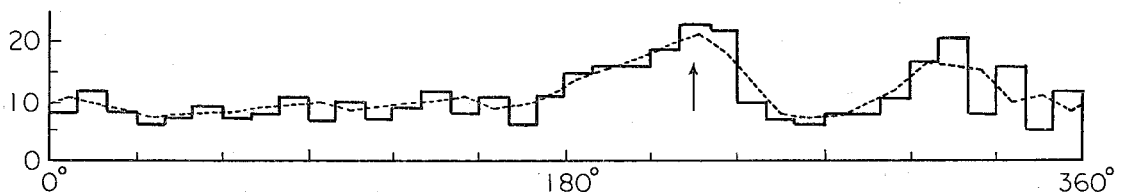


図 6 長周期彗星の遠日点のヒストグラム分布。横軸は銀河経度、縦軸は個数を与える。分布の山は二つ認められるが、それらは  $90^\circ$  しか離れていないことが特徴である。

えた。太陽系形成時に大惑星附近にあった原始彗星が惑星摂動をくり返し受けて太陽から数万 *a.u.* のところに追いやられ(中には永久に逃げたものもある)、恒星の摂動により近日点距離は大きくなり彗星の貯蔵庫に貯えられることになった。これに対しチェボタレフの考えは星間空間起源説である。リットルトンの附着増大説は太陽系内形成と分類できるが材料は星間空間のものである。リットルトン仮説は近日点距離についての困難があるが、これも致命的ではなく、オールの原始彗星と同じ過程で彗星貯蔵庫にもってこることができる。

これら三つの異った起源のいずれを正しいとするかは、遠日点の分布に関する結果を統計学的に有意と考えるか否かにかかっているが、それらを有意と見なし、三つの起源説を論じると、次のようになるであろう。

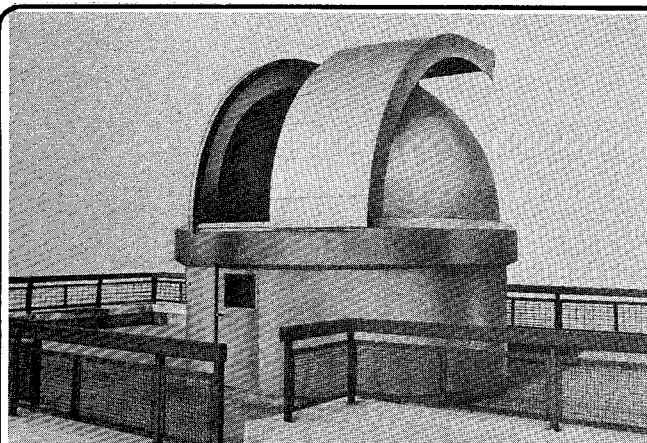
リットルトン説は近日点距離に関して困難があるが、遠日点分布はこれを支持する材料である。遠日点が銀河面近くに分布していることも、この形成機構と矛盾しない。

星間空間起源説も遠日点の銀河面内分布と矛盾しないが、銀河核による潮汐作用が彗星の近日点を支配しているとは考えられない。経度分布の山は  $180^\circ$  離れた二つの

山をもつはずであるが、実際は  $90^\circ$  しか離れていない。

遠日点分布と銀河内の太陽運動との関係が全く偶然的なものであれば、近日点距離の恒星摂動により彗星は可視領域にもって来られるというオールト説が正しいことになる。

以上が定量的に提起された彗星起源説の紹介である。力学的観点からそれを批判し、最も観測結果とよく一致するものと考えられるものを選別するものは、すでに見たように困難である。より直接的な手がかりは彗星物質を地上に持ち帰り、物理・化学的に研究することによって得られるかも知れない。科学は非常に人間臭のあるもので、彗星起源も例外でなくリットルトン、オールト、それにここでは触れなかったホイッブルの間には激しい論争がある。しかし論争の中から新しい事実や理論が生れることが即科学の発展である。彗星の太陽系からの脱出についてのハマズリー・ケンドール理論、タイローの遠日点分布の研究、惑星の摂動の統計的性質についての計算はすべてリットルトンの執念から生れた。たとえ彼自身の理論は誤りであることになっても、彼の彗星理論研究の強力な推進者としての貢献は認めざるを得ないであろう。



#### 営業品目

- ★天体望遠鏡ならびに双眼鏡
- ★天体写真撮影用品及び部品
- ★望遠鏡各種アクセサリ
- ★観測室ドームの設計・施工



← LN-10E型  
25cm反射赤道儀

★総合カタログ  
ご希望の方は切  
手 300 円同封お  
申込みください

## ASTRO 光学工業株式会社



〒170 東京都豊島区池袋本町2-38-15 ☎03(985)1321