



彗星の物理的性質 (5)

竹 田 新 一 郎

第五章 彗星の起原

(I)

§25 彗星の起原については次の二つの假定が考へられる。

- (1) 彗星は元恒星界より来る。
- (2) 全く太陽系に属す。

現今一般に信ぜられて居るのは後者であるが、先づ少しく歴史的に、考へ方の移變の後を辿つて見たい。

古い天文學者は一般に Aristotle にならつて、彗星は地球大氣の上層から放出されたものと思へた様である。従つてこれが研究は氣象學と密接に關係して居たのであつた。

遊星の運行を理論的に説明した Sir Isaac Newton は、彗星も又地球や木星と同じ様に全く太陽系の一員であつて、その軌道は皆楕圓であるが只極めて延びたものと思つて居た。當時軌道の計算された唯一の彗星は只ハレィあるのみで、この考が一般に流布して居つたのは當然である。彼の Immanuel Kant も同様の考へを懷いて居た。彼は云ふ「彗星は太陽を遠く離れて旅し行くが、楕圓を畫いて運行せるが故に、いつかは歸つて来るに相異なる」云々。

半世紀程遅れて彼の Laplace は彗星は恒星系に屬し、太陽系には屬して居ない云ふ意見を吐いて居る。即ち彼によれば、彗星は恒星界を獨自に旅行するものであり、偶々放浪ひ來つた僅かのものが我が太陽の引力圏内に

落ちる。中に、比較的地球に近づいて、観測に都合のよい位置に來たものゝみを我等が発見し得るのである。この Laplace の意見は十九世紀を通じて流行したものである。これに背いた證左の初めて挙げられたのは既に 1860 年の頃であつたが、この假定は餘りにも、深く根ざして居たので、彗星が太陽の一員であるを云ふ意見が天文學者一般に認められて來たのは漸く今世紀に入つてからであつた。して近頃では多くの證左が皆よく一致して、この結論に到達して居るのである。

§26 軌道の統計

彗星の進化論に於て最も重用な因子となるのはその軌道の離心率である。大抵の彗星に於てこれが 1 よりも大きいならば、彗星が一般に恒星界から來たを云ふに疑惑を懷くものはないであらう。Fabry によれば、太陽の恒星界を運いて居る時、彗星が之に近づいて來るもの之れば、すべての彗星は双曲線を書いて運行すべきである。——して太陽の空間速度の大きい程、拋物線よりの隔りは大きくなる。そこで観測の事實はさうなつて居るであらうか。軌道の相當よく決定された彗星 367 個の中

- a) 60 は確かに楕圓であり、
- b) 275 は殆んど拋物線を書き、
- c) 軽い双曲線のものが 12 以下で
- d) 著しく双曲狀を呈するものは皆無である。

この拋物狀軌道の多いのは、一部は多くの彗星は太陽の極めて近くに於ける短期間のみ観測さるゝに過ぎず、又其の軌道を計算するに當つて、拋物線を假定すれば簡單に行へるによるのである。實際 Leuschner は観測の正密度並びに観測期間の長短によつて、彗星の軌道の離心率を分類して居る。

日 附	$e=1$	観測期間	$e=1$
—1755	99%	1—99 日	68%
1756—1844	74%	100—234	55%
1845—1895	54%	140—511	13%

此の事實は彗星が正確に観測され、その期間の長い時には、殆んどすべての彗星は楕圓を書いて運行して居るのを発見するであらうを云ふ結論に導くものである。勿論楕圓の多くは極めて延びたものではあるが。

§27 “固有”離心率

所でこゝに記憶すべきは、彗星の軌道が大多數楕圓であつたとしても、彼等が元來太陽系に屬するこ云ふ假定を直ちに受認するわけには行かない。こ申すのは、彗星の軌道は大きな遊星に近づけば著しく擾亂されるからである。實際彗星の起原を論ずるに當つて、單にその‘近日點離心率’（近日點附近の觀測により決定せる離心率）に基づいた軌道の形に關する統計的見地のみから之を云々するのは寧ろ意義のない事こ云つてよい。この目的のためには、Strömgren の主張して居る様に、‘固有離心率’を問題こせねばならぬ。彗星がその軌道を運行するに際して、三つの時期が擧げられる。第一に太陽の近傍、第二に遊星の附近、最後にこれ以前である。一般の彗星カタログは第一の要素を載せて居るが、只今の目的のために最も必要なのは第三のものである。Strömgren によれば又、木星及土星の及ぼす擾亂は彗星が彼等に接近せぬ時に於ても閑却するわけに行かないが、他の遊星は彗星の近づいた時にのみ勘定に入ればよいこ云ふ。

§28 “重心”離心率

1896年に發表された Strömgren の論文「彗星1890IIの軌道計算」の末章に書かれた彼の説を引用すれば、「これ迄の攝動計算論では本質的な因子を見落して居る。それ故にこの天體に對して在來の方法で計算した拋物狀軌道は全く錯誤せる意義を持つて居る。即ち地球、火星、木星、及び土星の起す擾亂を入れて、エンケの方法によつて計算した、1890年三月十七日に對するこの彗星の接觸軌道（Osculating Orbit）は太陽からずつこ遠く隔てた場所に於てこれが畫く曲線を嚴格に表はして居るこは云へないのである。こ申すのはこの軌道要素は太陽の中心に關して居るのであつて、本當は太陽及攝動をおこす遊星全體の質量の中心を計算の原點に選ばねばならない……」かくして彼の計算した重心離心率をこゝに借りて再録すれば

日 附	接觸離心率	重心離心率
1889 九 月十八日	1.000362	1.000820
1888 十一月 二 日	159	610
1887 十二月十八日	231	400
1887 二 月 一 日	339	280

1886 三 月十八日	421	210
1885 五 月 二 日	454	160
1884 六 月十八日	427	120
1884 一 月 八 日	1,000 390	1,000 120

軌道の拋物狀はこの新しい處理に於てもやはり全くは消えないけれども、若しもこの様な攝動計算を充分以前に迄續けて行けば、重心離心率の値は1に收斂し、恐らくは橢圓軌道を與へるであらうと考へてもよさそうである。事實數年遅れて Fabry の計算した所によればこの可能性は全く裏書されたのであつた。

§ 29 9 Strömgren の研究

彗星の起原についてこの方面の研究を最もよく進めたのはこの Strömgren であつた。彼のなした攝動を後戻しに計算して行く方法は次の三區分に表はせる。

- (1) 攝動函數を重心に關して展開し、
- (2) この攝動函數の微分方程式を長軸の半分又は離心率で表はし、
- (3) 任意に前にまつた時期まで積分をなすのである。

彼は、擾亂を起す天體は橢圓軌道を畫き、擾さるゝ天體は拋物線を畫いて運行せるものと假定し、坐標軸の原點としては太陽及び擾亂を起す天體の重心を採用して、最後に次の重要な公式に到達した。

$$(1) \quad \frac{d}{dt} \frac{1}{a} = 2m_1 \frac{k}{\sqrt{p}} \left[\left(\frac{1}{p^3} - \frac{1}{\gamma^3} \right) (2\gamma_1 b \sin(I_1 - K + B) \cos \frac{v}{2} + \gamma \sin v) - 3 \times \right. \\ \left. \frac{\gamma_1}{\gamma^3} \sin v \cos(I_1 - K + A) \right]$$

こゝに a, b, A 及び B は次の諸式によつて定義される。

$$a \sin A = -\sin(L + v) \cos I$$

$$a \cos A = \cos(L + v)$$

$$b \sin B = s \left(L + \frac{v}{2} \right)$$

$$b \cos B = -\cos \left(L + \frac{v}{2} \right) \cos I$$

$$L = \omega - \Phi \quad K = \Omega_1 + \Psi.$$

ω, Ω や p, v, r, ρ の意味は在來の通りであり, $I\Phi\Psi$ は次の Gauss の式によつて決定される

$$\begin{aligned}\sin \frac{I}{2} \sin \frac{\Psi + \Phi}{2} &= \sin \frac{\Omega - \Omega_1}{2} \sin \frac{i + i_1}{2} \\ \sin \frac{I}{2} \cos \frac{\Psi + \Phi}{2} &= \cos \frac{\Omega - \Omega_1}{2} \sin \frac{i - i_1}{2} \\ \cos \frac{I}{2} \sin \frac{\Psi - \Phi}{2} &= \sin \frac{\Omega - \Omega_1}{2} \cos \frac{i + i_1}{2} \\ \cos \frac{I}{2} \cos \frac{\Psi - \Phi}{2} &= \cos \frac{\Omega - \Omega_1}{2} \cos \frac{i - i_1}{2}\end{aligned}$$

1 を附した文字は遊星に關するもので、指標のないものは彗星に屬する。
ある決つた時期 t_0 以前の $\frac{1}{a}$ に對する攝動の全量は 次の不等式 によつて表はされる。

$$(2) \quad \Sigma d\left(\frac{1}{a}\right) < m_1 \left(1 + \frac{1}{\sin I / 2v_0}\right) \sum_1^{\infty} \frac{\gamma + 3}{\gamma} \left(\frac{R_1}{\gamma}\right)^{n+1}$$

R はのそ遊星のレーディアス・ヴェクトルの極大値を示し、 v_0 は攝動作用を知らんご欲する時期 t_0 に對する true anomaly である。 $\frac{R_1}{\gamma}$ は大抵極めて小さいが故に Σ 内の式は急激に收斂する。然らざる場合にはこれは和

$$\frac{1}{R_1} \left\{ \frac{1}{\left(1 - \frac{R_1}{\gamma}\right)^2} - \left[1 + \sin \frac{R_1}{\gamma} + 3 \left(\frac{R_1}{\gamma}\right)^2 \right] \right\}$$

に等しいと置ける。

即ち行ふべき計算の順序はかうである。先づ立派に規定された '近日點要素' を採用して、Encke の方法で數年前迄、直角生標及び速度に對する攝亂を計算し、太陽の坐標及び速度を補正して、 t に於ける重心に關する彗星接觸要素を得る。これから公式 (2) を使つて充分遡つてまつた時期 t_0 迄の $\frac{1}{a} - \frac{1}{a_0}$ を計算し最後に公式 (2) によつて未だ勘定に入らぬ攝動の上限値を求めるのである。

§ 30 計算の結果 (A) Fayet の結果

Strömgren とは全く獨立に、Fayet はこの方面の問題に没頭した。彼の

有名な論文 (1906) "彗星離心率に關する研究" に於て、彼は、0.9985 よりも大きな離心率を持つ約百五十個の彗星の個有軌道を發見して居る。彼によれば木星のみを擾亂を生ずる遊星にされば、四個 (1844Ⅲ, 1860Ⅵ, 1898Ⅶ 及び 1899Ⅰ) を除いてすべての彗星は元來橢圓軌道を持つて居たこと云ふ。この四つの彗星に對しては、土星及び必要に應じては他の遊星をも勘定に入れて、彼は計算をやり直した。1863Ⅵ 及び 1899Ⅰ の二彗星に對しては、拋物狀は正確度の範圍内で消失した。1898Ⅶ に對しては、

$$e=1.0000893 \pm 0.0000165.$$

1844Ⅲ は古い軌道決定に誤算のあるのを發見して、彼が新に計算し直した所、橢圓軌道に出て來て居る。

併しながら Fayet の計算は完全とは云ひがたいのである。實際 Strömgren も指摘して居る様に、

(1) Fayet の處理した軌道の決定は彗星進化論を論ずるためには充分に正密であるとは云へない。

(2) 四つの場合を除いて、木星のみが擾亂をかもすものとして計算されて居る。

(3) 第一次の攝動のみ取扱はれて居るに過ぎない。

(B) Strömgren の結果

Strömgren は '臨界' 離心率を持つた彗星の中、只今の目的の爲に信頼するに足る程の軌道決定のたしかなものを選んだ。即ち 1890Ⅱ の外に次の七つである。

彗 星	離 心 率	平 均 誤 差
1882Ⅱ	0.9999078	± 0.0000021
1886Ⅰ	1.0004461	141
1886Ⅱ	1.0002286	44
1886Ⅲ	1.0003824	183
1897Ⅰ	1.0009270	506
1898Ⅶ	1.0010336	164
1902Ⅲ	0.9999675	74

彼は先づ信用の出来る軌道決定に立つて、この七つの彗星に對し、エンケの方法に従つて約六年間の木星及び土星の起す攝動を計算し、これを以て、太陽、木星、土星の一系に關する接觸要素を見出した。引續いて彼は

公式 (1) によつて又六年を遡つて下記の結果に到達した. それ以前の $\sum d \frac{1}{a}$ の極大値は彗星 1890 に對してのみ計算されたが, それが値の小さいために (± 0.0000251), 他の七個に對しても一般にこれが當はまるものと假定されて居る.

下の表に於ては長軸の半分の逆數 $\left(\frac{1}{a}\right)$ が與へられて居るが, (I) は '近日點' 要素, (II) は t に於ける接觸重心要素, III は t_0 に於ける彗星の '個有' 要素に相當し IV はこれに 0.0000251 を加減せるものである.

彗星	(I)	Ep-	(II)	Ep-
1 1882 II	+0.0118963	1882.7	+0.0121471	1876.7
2 1886 I	-0.0006944	1885.9	-0.0000143	1880.2
3 1886 II	-0.0004770	1885.9	+0.0003222	1880.8
4 1886 IX	-0.0005765	1887.0	+0.0000684	1881.0
5 1890 II	-0.0002151	1890.2	+0.0000786	1884.0
6 1897 I	-0.0008722	1897.1	+0.0000367	1891.1
7 1898 VIII	-0.0006074	1898.5	-0.0000088	1892.5
8 1902 III	+0.0000810	1902.9	-0.0000204	1896.8

彗星	(III)	Ep-	(IV)
1. 1882 II	+0.0121488	1869.6	+0.0121237
2. 1886 I	-0.0000071	1873.2	-0.0000322
3. 1886 II	+0.0003166	1874.0	+0.0002915
4. 1886 IX	+0.0000630	1873.7	+0.0000379
5. 1890 II	+0.0000718	1286.8	+0.0000467
6. 1897 I	+0.0000368	1884.1	+0.0000117
7. 1898 VII	-0.0000157	1885.4	-0.0000408
8. 1902 III	-0.0000168	1889.8	-0.0000419

(I) と (III) とを較べれば, 双曲軌道を畫いて居たと思はれて居た彗星は, 充分に逆算をなせば元來橢圓軌道を畫く事が示されるものと結論できると思ふ. No. 2 及 7 の彗星にあつては, 双曲線の形は依然として失はれずに居る. 併しながらこれらの彗星では $\frac{1}{a}$ の平均誤差は甚だ大きいのでこれは單に見掛だけのものではなからうか. 彗星 1902 III に就いては, 却つて橢圓軌道が双曲軌道に變じて居る. 併しそのづれは極めて小さいので,

全體の結果には大して影響ないものと見てよからうと思はれる。斯の如く Strömgren に従へば、今日迄發見された彗星はすべて我が太陽系に起原するものと信じてよいと云ふのである。更に附言して彼は、近日點近傍で双曲又は拋物軌道を畫いて運行せるものも他日は皆橢圓軌導に復するのであらうと云つて居る。

以上の如く、Fayet, Fabry, Strömgren の研究の結果はすべてよく一致して、彗星は元來我が太陽系の一員である事を示すものである。—— 即ち Newton の引力の法則が嚴密に滿され、他に何等の力を考へないならば、今日迄發見されたすべての彗星は橢圓軌道に沿うて運行せりと結ばざるを得ないのである。

§ 31 彗星軌道の分布

この節を終へるに當つて、念の爲、彗星軌道の分布に關する研究から、只今採用した假説に對する支點を見出そう、夙に 1860 年 Carrington は當時迄拋物乃至双曲軌道を畫いて居るものと信ぜられて居た、133 個の彗星すべての、我が太陽へ近づく方向を調査した。その結果彼の發見せる所によれば、この 133 個の中で、云はゞ、太陽に出遇つた彗星は僅か 61 個であるのに、我等に追付いたものは 72 個ある。—— 彗星が一般に我が太陽と共に宇宙を旅して居るものと云ふ強い證據ではないか。其の後多くの天文學者、殊に Fabry の如きが新に利用し得た、更に豊富な更に正密なデータを使つて、Carrington の結論、即ち、我が太陽系が星晨界を飛行する途次、行違ふ彗星が追付いて來るものよりも多いと云ふ様子のない事を確めた。併しながら、觀測された軌道が天空に一様に分布されて居らないのは事實である。その分布が合理的な均齊から外れて居る事は、多少は、彗星が黃道面に近く、而して一般の遊星の様に太陽の周圍を西から東に運行せるものが多いのに由因する様に思はれるが、主要な相異は、彗星を發見する事情の一樣でない事に歸因するのだと思ふ。

II

§ 32 太陽系内に於ける彗星の地位

前節に述べた様に、種々の見地より見て、彗星が元來我が太陽系の一員

である事は殆んど疑を入れないと思ふ。然りとすれば、第一に起きる問題は、彼等は太陽系の何處に如何にして生れたかである。即ち發生のメカニズムである。頭に浮ぶ二つの解答は、

(1) 彼等は遊星と同じ様な起源を持つ

(2) 彼等は太陽或は大きな遊星から放出されたものである。

第二の假説はその理論そのものには何等不合理的な分子は含まれて居ないにしても、観測の事實と比較して大きな困難に出會するのである。第一に双曲軌道を以て放出された彗星の大部分が、何が故に殆んど拋物線を畫いて歸つて來るか。又その小部分が離心率の小さい橢圓軌道に變ぜられるのであらうか。Lagrange の主張した様に、大きな遊星から放出された彗星は太陽の引力のために週期的のものに變じ得るであらうが、次の難點はこの場合にも亦避け難い様に思はれる。彗星は尾を形成する度毎に、いくらかでも其の物質を失つて行く。彼等の生命は餘り長いものではない。一朝汐作用を受けて破壊するものもあれば、太陽や遊星に落込んで終ふものもある。更に又大遊星も雖も嘗て、あれ程多くの彗星を放つ程活潑であつたか否か、頗る疑しい次第である。こんなわけで、彗星の放出説は近頃多くの天文學者の却下する所以となつた。

§ 33 彗星の拿捕説

彗星が遊星による拿捕の研究は H. A. Newton に負ふ所多く、近年又 H. N. Russel は主として観測事實の立場からこれが研究を大いに進めた。こゝでは後者の論文を借用して、この理論の梗概を述べて見ようと思ふ。

元々拋物線を畫いて居つた彗星でも、只一回大きな遊星に出逢つただけで、その遊星の週期よりも小さい週期を持つた橢圓軌道に變じて終ふ事も有り得る。それ所か、劇しく運動を阻止されて、太陽に落込んで終ふ場合も有り得る。

勿論斯くの如き擾亂は極めて近く落合つた時にのみ起るものであり、従つて極めて稀である。この様な邂逅が一度起る間には、擾亂の遙かに小さい、従つて遭遇後の週期の長いものが遙かに多數に上る筈である。

Newton の計算によれば、 10^9 個の彗星が、木星の軌道(圓として)に等しい半径の球内に込つて來れば、その中、木星の週期の半分以下の週期を

持つ楕圓軌道に變へられるものは 126 個ある事になる。木星よりも小さな週期を持つものは 839 個、木星の二倍以下の週期を持つものは 2670 個ある筈である。等々。

この拿捕された彗星の示す特性は次の如く結ばれる。

(1) 彗星の拿捕は殆んどすべて木星に起因すべし。土星は四十に一つを説明するに足り、天王星、海王星を込めてもその拿捕は僅か四千に一つの割である。

(2) その現在の軌道が只一回の邂逅によつてものされた彗星の中、平均距離が a より小なるものゝ數は a^2 に比例すべし。—— 或はその週期が P より小なるものは $P^{\frac{3}{2}}$ に比例すべし。故に或る短期間中に近日點に來る彗星の數はその週期の三乗根に比例する筈である。其の後の邂逅は短週期の割合を増加する傾向がある。

(3) 短週期の彗星は順行し而も又傾角の小さいものが多い。Newton の計算によれば、木星の週期よりも小さい週期を持つ 839 個の彗星の中 57 個は 30° よりも小なる傾角を持ち、 150° を越ゆるものは僅か 51 個に過ぎない。更に又、この傾向は其の後の邂逅を考ふる時は一層著明になり勝である。こ申すのは順行するものは第二の邂逅に於て、其の週期を延長されるよりは短縮されるものがずつこ多かるべきも、逆行するものについては反對の現象が起るからである。攝動作用の小さかつた、長週期の彗星については、軌道は殆んど序なく分布する筈である。

(4) 拿捕された彗星の軌道はすべて、最後に捕へた遊星の軌道に近く走つて居る筈である。拿捕の日の昔であればある程、元來の最短距離は、普通の攝動作用の影響を受けて次第に増大されるであらう。併しながらかゝる場合に於ても、遊星軌道の近くを通過する彗星は自由分布に於けるよりは、遙かに多かるべく、従つて又決して該遊星の軌道に近接せぬものは殆んどない云つてよい。

§ 34 觀測材料との比較

觀測のデータを統計的に論ずれば “短週期” 彗星と長週期のものとの間にある衆知の差異は頭から著明である。

週期の分布		傾角の分布			
限界週期 年	彗星の數	短 週 期		長 週 期	
10	39	0° ≡ y 10° 14		0° ≡ y 30° 4	
80	12	10	20 18	30	60 14
270	5	20	30 4	60	90 9
640	11	30	40 2	90	120 4
1250	11	40	50 1	120	150 6
				150	180 5
2160	5	總數 39		42	
3430	8	平均傾角 13.9		88°1	
5120	5				
7290	3				
10000	6				

上表に示した週期の分布に於て、相續く間隔は週期の三乗根が等しくなる様に割當てられて居る。従つて一回拿捕の理論に従へば同數の彗星を含む筈である。

十年以上の週期に關しては、記録の不完全を考量すれば、各區分内に含まれて居る彗星の數は、大體同じだ云つてよい。然るに、短週期彗星は只一回の邂逅によつて拿捕されたものとしては遙かに多過ぎる。而もこの十年の區域内に於てもその週期の分布は一樣でなく、一部に密集して居るのである。—— その半數は平均値 6.39 年の附近 0.5 年程の間に群つて居る。

上表の示す如く、傾角の分布に根本的に二差別ある事は衆知の事實である。10年乃至 2000年の週期を持つ彗星は悉短週期彗星の平均傾角よりも大きな傾角を持つて居る。短週期彗星の最大傾角は 45° である。然るに長週期彗星の二分の三は之よりも大きな傾角を持つて居る。後者を二等分すれば、前半四百年よりも短い週期を持つものゝ中 16 個は順行し、5個は逆行し、その平均傾角は 66°.8 である、一方 400 年乃至 2000 年の週期を持つ彗星の中、11個は順行し、10個は逆行する。その平均傾向は 97°.5 である。

其故に週期に關しても傾角についても、長週期彗星の分布は只一回の近接による拿捕の結果として豫期さるゝ所と宛然一般である。短週期彗星にあつては事情は全く一變する。してその現在の軌道は Newton の主張した様に木星との逐次的近接に際して累積した攝動の影響を受けたものであ

り、その数多いのは近接に當つて破壊的な潮汐作用のために元來の彗星が多數の斷片に分れたものである事を暗示して居る。斯くの如き分解の理論は Callandran が研究せる所であつて、幾群かの彗星は共通の起源を持つ事は Fayet も指摘して居る。之等の研究は又十年以下の週期を持つ彗星が木星 "屬" に屬するに云ふ一般の信念を確めて居る。

皮相的に見れば、長週期彗星の間にも類似の屬存在せりのに説に對する證左は次表にも示される通り甚だ有望なのである。

" 屬 "	木星	土星	天王星	海王星
彗星の數	39	3	2	7
平均週期	6.39(0.59) 年	14.3(0.49)	33.6(0.44)	70.5(0.43)
平均遠日點距離	5.55(1.07)	10.4(1.09)	26.8(1.08)	33.3(1.11)

上表で括弧内に入れた數字は平均週期及び平均遠日點距離をそれぞれの遊星の相當量で除したものである、

併しながら拿捕された彗星を見分くる眞の規繩はその遠日點距離が拿捕した遊星のそれと比べて殆んど差異のない事ではなく、その軌道が該遊星の軌道に近く通過して居る事である。前者は攝動が例外的に大きかつた場合乃至は數回に亘つて同じ方向に累積された時のみに現るゝのであつて極めて稀である。併し後者は近接の度毎に起るのであつて結果する週期の長短は問題でない。—— 實際軌道が双曲線に變ずる場合もそうである。

實際この検査を上記のデータにほごこせば、三個の "土星屬" 彗星中二個はこの遊星の軌道にかなり近く通過して居り、天王星に歸屬されて居る二つもその軌道の相當近くを通つて居る。併しながら "海王星屬" に到つては七個の中何れも 3.8 天文單位以上近づいて居るものはなく、すべてが却つて土星なり、更に木星の軌道の近くを通過して居る。これから見てもこの屬の存在は疑はしくなる。この事は Crommelin が初めてハレー彗星の場合に指摘したのであつたが、W. H. Pickering もこのグループの他の彗星の場合に同様な困難を見出して居るし、Wilson も又その大抵は海王星以外の遊星に屬せしむべきではないかを示して居る。

この研究を更に 2000 年以下の週期を持つすべての彗星に押擴けて、Russel は次の結果を發見した。

短週期彗星は木星に近接的邂逅を示す衆知の傾向がある。—— その85%は太陽よりの距離の十分の一の近くでこの遊星に近づく可能性がある。その木星との最短距離が木星の平均太陽距離の八分の一を越ゆるものは只一つで、彼のエンケ彗星である。エンケ彗星は多くの點で例外的のものであつて、速力を鈍める力を受けて居るので、その軌道の大きさは減少されて來たに相違ない。

長週期の彗星に關しては、一般に云へば、觀測された軌道の分布は、その軌道が自由に分布し居るとして理論的に導いたものと一致して居る。實際に理論的分布との間の只一の大きな差異は遊星に極めて遠く通過するものゝない事である。この差異は主として理論の近似的なるに觀測者の一樣でない事に歸因するのだらうと思はれる。

併し只今の問題にまつて更に重要な事は、大遊星に近づくものが、偶然としては少しく多數に上る事である。實際の拿捕は極めて少數の筈である。一番拿捕されやすいのは何ぞ云つても一番近接するものである。Russellは Newton の公式を使つて、一番好都合な事情の下で遊星に一回近づいた爲に彗星の平均距離に起る最大の變化は幾何なるかを計算した。Newtonが普通の近似法を以て導いた各近接の影響を與ふる式は

$$(1) \quad \frac{1}{a''} = \frac{1}{a'} + \frac{1}{a}$$

$$(2) \quad a = \frac{s}{2m} \frac{A^2 + d^2}{A \cos \theta \pm \sqrt{A^2 + d^2 \sin^2 \theta}}$$

(1) 式で a' 及び a'' は近接の前後に於ける彗星の平均距離である。昔の軌道が拋物線なりとすれば近接後の平均路距離は a である。(2) 式に於て、 d は遊星軌道に亂されぬ前の彗星の軌道との最短距離で、 s は亂されぬ彗星の遊星に關する相對速度が、太陽に關する遊星の速度となす比である。 θ はこの二つの速度ベクトルの間の角で、 A は邂逅中遊星の圍りに彗星の畫くべき双曲軌道の長軸の半分である。 γ を邂逅當時に於ける遊星の太陽よりの距離、 a_1 をその平均距離とすれば、

$$(3) \quad A = \frac{ma_1\gamma}{s^2(2a_1 - \gamma)}.$$

次表に必要なデータ及びこれらの式より計算した結果を與へる。 a (彗星

の平均距離の攝動の逆數)の値はその速度の最大の加速並びに遲速に相當するものである。最後の彗星は最も海王星に近づいたものであるが、近接距離が餘り小さくない時はその受くる攝動も如何に些細なものであるかを示す爲に挿入されて居る。この表から見て42彗星の中現在の軌道を書いて運行して居るならば將來の近接で‘解放’され(即ち甚しく拋物軌道に向ひ)得るものは二個に過ぎぬ。——一つは木星の爲め、一つは土星のために。他の場合では一回の近接では如何に多く週期を變じ得ても、其の變化は一回の出現で行はれた軌道決定の誤差より僅かに大きいに過ぎない。(唯一の例外は 1861I である。この彗星は非常によく觀測されたのである)。

最近接時に於ける攝動

彗星	遊星	d	s	θ	現在		攝動後の週期		
					a	平均距離	週期年	年	年
1854 IV	木	0.13	1.46	114°	+111—109	105.9	1089±100	359	216000
1885 III	木	0.21	1.54	118	+194—192	42.2	274±90	204	398
1886 V	土	0.02	1.75	127	+79—74	84.1	771±25	260	∞
1861 I	土	0.11	1.59	123	+370—362	55.7	415±6	336	532
1874 IV	天	0.03	1.46	119	+580—570	45.4	306±14	274	346
1853 II	海	1.22	1.71	132	±27000	84.9	782±200	778	786

他の四十彗星は確かに現在の軌道は直接過去の拿捕によつて説明する事は出来ない。それで他の説明法として考へらるゝものは

(1) 彼等は過去の時代に殆んど拋物狀の軌道から拿捕されたものであるが、其の後普通の遊星の攝動を受けて徐々に形を變じ、終に元來の近接點を通過しなくなつたものである。

(2) 彼等は元來殆んど拋物線軌道を運行して居つたものであらうが、普通の攝動の影響が累積して次第に其の遠日點距離を減少されたのであらう。

(3) 何等かの他の力によつて阻止され、従つてその週期も短縮したものであらう。

(4) 彼等は‘元來’現在と同程度の週期を持つて得たのであらう。

この四つの假説の中で第三の理由は恐らく 1843I や 1882II (これらは近日點で太陽コロナ中を通過したが、如何なる遊星にも近付かなんだ) の場合に當嵌まり、エンケ彗星にあつても與つて力あるのであらう。第四の

暗示については、この節の初めに申したと同じ難點を免れぬ。第二の假説は Russel が、近接せなんだ場合に彗星の受くべき攝動の程度を計算しこの種の累積的攝動の結果から期待さるゝ週期の分布を研究した結果より見れば、採用出来そうもないのである。

最後に第一の假説は最も有望である。蓋し觀測された彗星が大部分近頃拿捕されたものなりとする理由はない。さて木星は他のすべての遊星を一つにしたよりも、彗星の拿捕に關しては遙かに優れたものであるから、相當の攝動を受けた後でも、大數の法則から期待さるゝものよりは、木星の近くを通過するものが數多かるべきだと思ふかも知れない。然るに事實はそうなつて居らない。従つてこの説明にして眞なりとするれば、多くの場合に近接當時軌道の變化起つて後も攝動の影響は相當大きく、少くともその面に關しては、或は近日點の經度に關しては多大のものであつたを假定せざるを得ないのである。延びた橢圓軌道にあつては、その長軸は他の要素に比して速度の少しの變化にも感じ易い。（攝動作用の最初の影響は勿論速度である）。續いて他の要素も變化を受けるべく、終に元來の近接の模様が跡方もなく失せて終つたのではなからうか。

“之を要するに週期的彗星は大遊星によつて拿捕されたものであるが、その日は近頃の事ではなく、爾來引續く攝動の爲にその軌道は劇しく變化されたのであるを結論を下すのが最も當を得た様に思はれる。週期はこの間に比較的影響を受けなかつたのであらう”。

併しながら彗星の遠日點距離が遊星のそれに近い様な遊星に結ぶ便宜上の屬なる考へは確なる基礎に立つて居るのは云はれない。木星は大多數の拿捕に與かりしなるべく、土星は事實上殘餘を説明する。

“彗星の拿捕は寧ろ稀な事件である。短週期のものに到つては尙稀である。然るに短週期のものが多數あり、而かもあるものが事實觀測された様に明かに短い生命を持つ事より見ても、木星の潮汐作用に因る分解の爲に著しく増加されたと云ふ説は以上の研究によつて強く確められたと云つてよい”。

§ 34 結 語

さて Strömgren 等によれば彗星は元來我が太陽系に屬したものであり、Newton, Russel 等の研究は彼等は元來殆んど楕圓軌道に沿ふて運行して居つたのであるが、その中あるものが大きな遊星に近接し、拿捕されて今日の週期的彗星*が出来たのである事を確めて居る。これらの結果から見れば彗星は太陽系——或は太陽星雲——の外方にうまれたものであると結論せざるを得ない。この區域にこれが生れた機巧については、色々の暗示が提起されて居る。例へば Faye は云ふ「始めの渦に與らなかつた物質の中で、全すべての方向に、中心の周圍に延びた楕圓を畫きながら、中心の密集を離れたものがあるに相違ない。元始の渾沌を去つたこの物質は延びた曲線を畫いて運行し續けたのである」。又 See によれば「遊星の核は元來太陽からずつと離れて公轉して居つたものであるが、爾來隕星や彗星や他の星雲物質を集めて次第に増大し、その軌道が縮少して、殆んど完全な圓に近づくにつれて、太陽星雲の内部は太陽や遊星の成生のために掃き清められたが、外層は依然として微小な屑を餘して彗星の起原ともなつたのである」。

併しながらこれらの問題は寧ろ太陽系の起源を考ふるに當つて論ぜらるべきものであつて、これが確説のなきかぎり、論者により彗星の生成についても説を異にするは當然である。

こは云へ、現今では彗星は我が太陽星雲の外部に於ける殘餘から出来たものだ云ふ説に異論はない様である。勿論 Faye の様に元始時代の渾沌を去つた物質から出来たと考へても一般である。こゝで私共の考に従つて彗星の發生の模様を畫いて見るのも無駄ではあるまいかと思ふ。太陽及び遊星の生れ出でた大きな隕星群を考へて見様。この隕星群の外層は密度が極めて稀薄なので遊星にまで密集する程には到らずとも尙幾何かの物質を残して居たであらう。併しこゝに多くの小さな隕星の集塊が出来たと考へ

*週期的なる語はここでは寧ろ限ぎられた意義に使はれ事實上 20,000 年よりも小さな週期を持つものに對し使用されて居る。實際 20000 年以上の週期性は今日の所正確には見分けられないのである。

るに妨はない。—— この小さな核が即ち彗星の原始の形である。この小さな核は多少なりとも周囲の物質を集めつゝ太陽の圍りを橢圓を畫いて公轉して居たのであらうが、初めは極めて延びたもののみが太陽に近づき得たわけで事實上拋物軌道と區別するわけには行かなかつた。これらの彗星が太陽に近づいて來るころがあれば、其の中いくつかは、大して近接せぬ場合にも、大きな遊星に擾亂されて、眞の拋物軌道又は輕い双曲軌道に變形さるゝ事もあらう。更に木星や土星に近づいたものは、週期を減少して、詳しく決定し得る迄に短週期のものゝ化する場合もあらう。これが所謂週期的彗星の起源であるが、その拿捕の日は近い過去ではなく、爾來幾多の小さい攝動を受け、軌道の形も變り果てゝ、近接直後の姿は失せて終つたものであらうか。して又、主として大きな遊星の潮汐作用が原因して、多くの小彗星に分れたのが、短週期彗星の數多き所以ではなからうか。（完）

詩人 C N ホームス氏より

ホームス氏より久しぶりの便りと共に下の如き近作の詩を贈られた。氏は今
18 Pearl Street, Reading, Massachusetts に住んでゐられる。（山本）

Within a Grove Pines.

BY CHARLES NEVERS HOLMES.

Alone amidst the pines! Mid solitude
Where seldom men and seldom beasts intrude;
No path, no axe-hewed stump or knife-carved bark,
No sun,—a grove of shadows, deep and dark.

Unseen within these shadows, sings some bird,
Unseen, a rushing brook is faintly heard;
A squirrel chatters on a branch close by
And fragrant zephyrs softly, sadly sigh.

Pines everywhere, pines looming huge and high,
Which hide the drifting cloud and azure sky;
Pines old and tall, unmarred by time or age,
Pines scathed with lightning's bolt and tempest's rage.

Alone amidst the pines! A grove sublime,
Where we forget the sleepless lapse of time.

（“GUIDE TO NATURE,” SOUND BEACH, CONN. より）