

# 最近の彗星の位置観測と軌道の計算

長谷川 一郎

## 1. 大口径望遠鏡の活躍

すでに25年も昔のことであるが、カニンガムがウィルソン山の60吋鏡でエンケ周期彗星の回帰を検出したのは、1950年のことであった。写真光度は20.1等級で、これは微光彗星の観測のレコードであった。カニンガムは、この年からウィルソン山の60吋や100吋鏡を使って周期彗星の早期検出を試み始めたのであった。1950年には、エンケ彗星を含めて3彗星、1951年には5彗星、1953年には1個の検出に成功している。全て17等級より暗く、大半は19ないし20等級であった。なかでも1950年のエンケ彗星の検出前に撮影してあった乾板には、この彗星が21.0等のイメージで写っていたのである。20等級の彗星光度の見積りには、いろいろ面倒な問題があるが、大口径望遠鏡によって、20等級の周期彗星が検出され得ると言うことが、このようにして実証されたのであった。

有名なパロマー天文台の122センチ・シュミットカメラによる写真星図の作製は1949年に始ったが、この撮影の副産物として1955年までの6年間に合計11個の新彗星が発見された。その内の4個が木星族の周期彗星であった。なお、発見光度は15~19等のものばかりであった。このシュミット望遠鏡は、現在に至るまで、最もよく仕事をしているものの一つであろうが、1960年から1974年までに16個の新彗星を発見し、5個の周期彗星の検出に使用された。この望遠鏡で発見された新彗星は全て他の観測の副産物であるが、周期彗星の検出は、予報に基づいて計画されたものであった。なかでも1972年と1973年にゲーレルスが発見した新彗星の光度は19等であった。これは最微光彗星の発見でのレコードである。

現在アリゾナ大学にいるエリザベス・ローマーは、はじめリック天文台で、ジェファースの指導のもとに微光彗星の位置観測に従事し、1957年から1966年まで海軍天文台フラグスタッフ観測所の100センチ反射鏡で多くの周期彗星の検出や、微光彗星の観測を行った。1969年からは、キット・ピークのシュワード天文台の229センチ鏡や、月惑星研究所カタリナ観測所の150センチ鏡を使って観測している。近年の周期彗星の早期検出の大半は彼女の手になるものであり、彼女はジェファース、

カニンガムさらにはバンビースブルックの系統を代表する観測者である。

最近、世界各地に建設された大口径望遠鏡やシュミットカメラによる微光彗星の位置観測は、かなり盛んに行われて居り、特に周期彗星の検出では、中口径の出る幕はかなり少くなっている。表1に最近10年間に周期彗星の検出を行った大口径機が掲げられている。

我国では、岡山の188センチ鏡や堂平観測所の91センチ鏡が、周期彗星の検出や微光彗星の観測に活躍している。しかし、海外の天文台でも同様であるが、最近のように観測天文学が盛んになって来ると、なかなか彗星観測の余裕がないと云うのが実情のようである。木曾のシュミット・カメラもやがて活動を開始することと思われるが、パロマー山のシュミットのように、このシュミットもたくさんの彗星をつかまえて呉れることを期待したい。また我国にももっとたくさんの大望遠鏡が設置されることを希望したいものである。

ローマーは、周期彗星の検出だけでなく、太陽から遠くへ行った彗星もよく観測している。この種の観測は、彗星の軌道を正確に決定するために大へん貴重なものであるばかりでなく、惑星空間の天然探測機としての彗星の価値を高めることにもなるのである。ローマーの彗星の最遠観測のレコードは、1971年のトマス彗星(1968j)の観測で、この時の彗星の日心距離は8.0天文単位、光



図1 アラン・リゴ周期彗星。フラグスタッフの100センチ反射で、ローマーが撮影したもの。1958年5月12日、露出90分、光度19.8等。視野40'×50'。(Official U.S. Navy Photograph)

表 1 彗星観測に活躍している大口径機

口径 (センチ)	種別	$F$	天文台 (場所)	主な観測者
229	反射	9	シュワード (キットビーク)	ローマー
200	反射	4.5	オンドレヨフ (チェコ)	アンタル
188	反射	4.9	東京大学 (竹林寺山)	富田
155	反射	5.1	ハーバード (アガシ)	マクロスキ, シャオ
154	反射	13.5	月惑星研究所 (カタリナ)	ローマー
154	反射	5	コルドバ (ボスクアルグレ)	ペレイラ
122	シュミット	2.5	パロマー (パロマ山)	
91	反射	5	東京大学 (堂平山)	富田
80	シュミット	3	ハンブルグ (ハンブルグ)	コハウテク
61	シュミット	3.5	インタ・アメリカン (セロ・トロロ)	アラヤ
51	屈折 マクスツフ		エール・コロンビア (エル・レオンシト) チリ大学 (セロ・エル・ロブレ)	ギブソン, セスコ トレス

度は21.0等であった。最微光彗星の観測レコードは1974年のワータネン彗星の検出観測で、光度は21.5等（日心距離は2.18天文単位）であった。この撮影には229センチ鏡で90分の露出が必要であった。

一般の長周期彗星は、一度きりしか現れないから、遠ざかれば遠ざかる程、我々の関心は薄くなってしまいが、周期彗星は、太陽に近い時でも、遠い時でも、もし観測出来るならば、甚だ興味深い話題を提供してくれることが期待できる。最近、エンケ周期彗星が遠日点にある時の位置観測が、シュワード天文台と、ハーバードのアガシ観測所で行われた（1972年8月～9月）。日心距離は4.1天文単位、核光度は20.5等であった。これまで常時いつでも観測出来る周期彗星に、シワスマン・ワハマン第1彗星（1925 II）があった。この彗星は離心

率が0.11～0.15ぐらいで、近日点距離が5.5、遠日点距離が7天文単位である。通常は17, 18等級の明るさであるが、時々12等級ぐらいにまで急増光する面白い彗星として有名であるが、エンケ彗星も1972年以来、常時観測される周期彗星になった。後で述べるが、周期彗星の連続観測は、いわゆる非重力効果を調べるのに大へん有効なのである。

1970年にパロマー山で発見されたガン周期彗星が、1973年1月に、アガシ観測所で、19.7等級で観測された。日心距離は4.7天文単位であって、その前年9月に遠日点を通ったばかりであった。ガン彗星も常時観測される周期彗星の仲間に入ったのである。我国の関心、小島信久両氏もこの彗星を、1974年末に17等級で観測した。使用した器械は40センチ反射鏡である。

表 2 常時観測出来ると思われる周期彗星（クレサクによる）

彗星	$P$	$r$	$m$	$Q$	$m_A$
P/Schwassmann-Wachmann 1	15.2	7.30	—	6.81	—
P/Gunn	6.8	4.66	20.5	4.74	19.6
P/Schwassmann-Wachmann 2	6.5	3.52	19.0	4.83	20.4
P/Encke	3.3	4.10	20.5	4.10	20.5
P/Whipple	7.5	3.56	19.0	5.16	20.6
P/Ashbrook-Jackson	7.4	3.83	20.1	5.33	21.0
P/Comas Sola	8.5	3.87	19.5	6.59	21.3
P/Faye	7.4	3.52	19.0	5.98	21.5
P/Kearns-Kwee	9.0	4.06	19.5	6.43	21.6
P/Tempel 2	5.3	3.55	20.4	4.68	21.7

$P$ : 周期 (年),  $r$ : 今までに観測された最大日心距離 (天文単位),  $m$ : その時の観測光度.  $Q$ : 遠日点距離 (天文単位),  $m_A$ : 彗星が遠日点にあって、かつ地球から見て衝になる時の彗星光度の予想値. (1973年に発見された P/Clark は、 $Q=4.68$ で、 $m_A=20.5$ と予想される)

クレサクは、周期彗星の遠距離観測を調査した結果、表2の彗星が遠日点でも観測出来るのではないかと予想している。彗星が太陽から2.5～3天文単位より遠くにある時は、通常、彗星核の表面での蒸発は起りにくいと思われる。3天文単位以遠では、たいていの場合、日光を反射している核を観測しているにすぎないと思われる。ローマーやクレサクらは、遠方の彗星の核光度から、彗星核の大きさを推定した。反射能をどう見積るかが問題であるが、彗星の核の半径は、だいたい1キロメートル程度から、2, 3キロメートルのものが多くいようである。いま仮に彗星核の平均密度を1とすると、この大きさの核の重量は $10^{16} \sim 10^{17}$ グラムになる。

さて、大口径の望遠鏡がいくつも動き出した結果、周期彗星の新発見は、毎年一向に減

少する気配はない。短周期彗星は、何回も木星に接近して、木星の摂動の影響を受け、地球の近くにまで来る軌道を描くようになった結果、発見されるものである。また、この逆に木星の摂動によって、短周期軌道から長周期軌道に変わって、我々の視界から遠ざかって行くものもある。また何回も太陽のまわりを公転するにつれて、彗星物質を消耗してしまって、だんだん小さく、かつ暗くなって、彗星としては観測されなくなるものもあると思われる。このようにして、短周期彗星は、終えず補給されまた消滅して行っているのであるが、果してバランスがとれているのか、どうか、確かなことはわからないが、近年、新たに発見されている短周期彗星の絶対光度（日心、地心距離とも1天文単位である時の光度）の平均値は、年と共に暗くなってゆく傾向がある（図2）。観測に使用される望遠鏡が大きくなり、暗くて小さい彗星の発見が可能となったことと、ある程度より明るい短周期彗星は、既に発見されつくしたと考えてよいのだろう。

先に述べたように暗い彗星の発見が可能となり、予期されない彗星が、18~19等級の暗さで発見されるようになった結果、近日点距離の大きい軌道をもつ彗星の発見が、この数年つづいている。長周期彗星の軌道要素の分布を見ると、近日点距離は、1天文単位附近に多く分布している。これは観測の選択効果によるものとも思われていた。1972年に編集された最新のマースデンの彗星カタログによると、長周期彗星（周期が200年より長い周期彗星や放物線軌道彗星をすべてこのように呼ぶ）で、最も近日点距離が大きいものは1948 III 彗星の4.7天文単位である。近日点距離が4.0天文単位より大きいものは、503個の長周期彗星の内、僅か9個であった。ところが1972年から1974年末までの2年足らずの間に4天文単位以上の彗星が4個発見され、その内3個は4.7天文単位より大きく、最も大きいものは6天文単位を超えるものであった（表3）。木星の軌道の外側において、しかも彗星状に見える天体が観測されていることは興味あることであるし、木星の軌道の内側に入って来ない彗星が

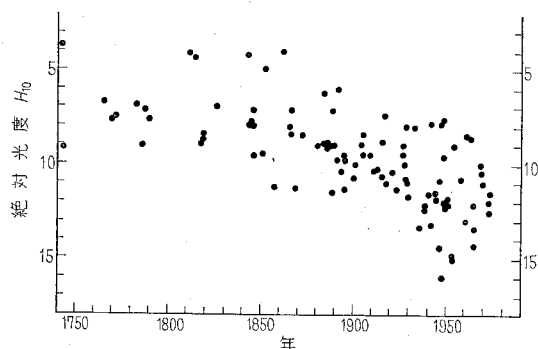


図2 周期彗星の発見時の絶対光度

表3 近日点距離の大きい長周期彗星

彗星	近日点距離 (q)	発見者 (天文台)
1974g	6.02天文単位	バンデンパーク (パロマー)
1972l	4.86	アラヤ (セロ・トロロ)
1973k	4.81	サンディジ (パロマー)
1948III	4.71	ジョンソン (ユニオン・南ア)

短周期彗星のqは全て4.0天文単位より小さく、シワスマンワハマン第1彗星の5.54天文単位が唯一の例外である。

今後たくさん見つかること、彗星軌道の分布や、彗星の起源についても、興味あることがわかるようになるのではないかと期待される。

ローマーは、「いかなる彗星の研究も、その位置観測から始まる。彗星の運動の精密な研究は2つの大きな課題を持っている。それは観測と計算である」と云っている。(A.J., 66, 368 (1961)), 彗星の物理観測も、彗星の位置観測を基礎とするのである。しかし、この事は、我国ではあまり理解されていないように思われる。そして位置観測は「計算」によってその真価を発揮するのであることも。

## 2. 彗星の軌道計算

大口径望遠鏡による観測が活発になるにしたがって、軌道計算には電子計算機が利用されるようになった。位置観測の整約にも電子計算機が使われるようになってはいるが、写真の測定作業や星表に関して面倒な問題があり、電子計算機は、軌道決定と、特に摂動計算にその威力を発揮していると云えよう。

彗星の発見や観測の通報では、国際天文連合 (IAU) の天文電報中央局が、その中心となっている。現在、中央局は、米国ケンブリッジのスミソニアン天体物理学天文台にあって、マースデンがその局長である。スミソニアンには CDC 6400 型の電子計算機があって、新彗星の軌道は、これによってマースデンがすみやかに計算しているので、位置推算表など、観測に必要な計算作業にはことかかない状態である。

マースデンが、電子計算機を使って摂動計算を始めたのは1960年頃のことであった。シンシナチ天文台のハーゲットは、小惑星の軌道計算に、早くからパンチカード・システムや電子計算機を利用していたが、彗星については、シワスマン・ワハマン第1周期彗星の計算などを1960年頃に行ったにすぎない。彗星の計算では、レニングラードの理論天文学研究所 (ITL) の BESM-2、現在は BESM-4、ハイデルベルヒの天文計算局 (SIEMENS 2002 や IBM 360 など)、ワルソーのシタルスキ (GIE

R), 米国のヨーマンス (IBM 360/95) らが盛んにより仕事をしている。ごく最近, 南京紫金山天文台ではシュールバート・シュトゥンプ法によって紫金山第1および第2周期彗星の500年間にわたる摂動計算が行われたが, 用いた電子計算機について筆者は詳しいことは知らない。

彗星の暫定軌道の計算は, 従来の手計算でも1日ぐらいで出来たのであるが, 電子計算機では, それこそ瞬時に出来る。計算結果をライン・プリンタで打出す時間の方が長いくらいである。しかし摂動計算となると, 全く電子計算機の独壇場である。ちなみに, マースデンは10日のステップで, ビエラ周期彗星の130年分の摂動(約4700ステップ)をIBM 7090で僅か13分間で計算したと云う。摂動計算では, 計算速度もさることながら, 計算まちがいや, 積算誤差が大きな問題となるが, CDC 6400では, 13桁の計算精度でもって, 1日毎のステップで計算して50年分(約18000ステップ)の積分結果でも小数点以下7桁目には誤差はないという。ITLのBESM-4の例では, 2.5~40日毎のステップ(積分表の第4差を判断してステップの大きさをきめる)で, 木星族の周期彗星の摂動計算の60年分を1時間ですませるといふ。トロヤ群の小惑星では1時間で400年分の積分が計算出来る。またシュールバート・シュトゥンプ法によ

て10年周期の周期彗星10個に, 同時に7大惑星の摂動を加算して1公転分計算するのに, IBM 7090で約30分であったという。全く, 電子計算機は摂動計算のために作られたかと思いたくなるくらいである(彗星以外の天体軌道計算では, 月や大惑星の運動の積分が電子計算機で行われているが, ここでは省略する)。

1963年にマースデンは, 過去に2回以上の回帰が観測されているにも拘らず, 長い間観測されていない7個の短周期彗星を選んで摂動を加算して位置推算表を計算した。この結果7個の内, 3個の再観測が成功した。昔の周期彗星の軌道を決定しなおして, 摂動を計算するという彗星の身元調べは, ITLやその他でも, 最近よく行われており, その内再観測が行われたものもかなり多くなっている。1960年頃より以降に新発見された周期彗星は, 1970年代のはじめ頃から2回目の回帰を始めているが, この時代の短周期彗星は, 殆ど全て検出されている。しかし, 1940年代より以前に発見されたものでは, 長い間一度も観測されないままになっているものもかなりある。このような「失われた」短周期彗星の中で, 軌道の再確認と, それに基づく予報が計算されている彗星は表4の通りである。失われた周期彗星は表4以外にもまだある。また予報もなく, 偶然発見された彗星が, 軌道計算の結果, 昔一度だけ観測されたことのある周期彗

表4 “失われた” 周期彗星の予報と検出

周期彗星	周期	発見年	最終観測年	回帰観測数	予報計算者	再検出年
P/Biela	6.7年	1772	1852	6	マースデン (1963, 1971)	—
P/deVico-Swift	7.4	1844	1894	2	マースデン (1963)	1965
P/Brorsen	5.5	1846	1879	5	マースデン (1963, 1971)	—
P/Swift-Tuttle*)	119.6	1862	—	1	ヨーマンス (1972), マースデン (1973)	—
P/Tempel 1	5.5	1867	1879	3	マースデン (1963, 1972), シュルトカ (1971)	1966, 1972
P/Tempel-Swift	6.4	1869	1908	4	マースデン (1963, 1969)	—
P/Holmes	7.0	1892	1906	3	マースデン (1963)	1964, 1972
P/Swift	7.2	1895	—	1	ベリヤエフら (1974)	—
P/Giacobini	6.6	1896	—	1	ベリヤエフら (1975)	—
P/Neujmin 2	5.5	1916	1927	2	マースデン (1963, 1970), ベリヤエフら (1972)	—
P/Schorr	6.7	1918	—	1	ベリヤエフら (1974)	—
P/Gale	10.9	1927	1938	2	マースデン (1970)	—
P/Schwassmann-Wachmann 3	5.4	1930	—	1	ベリヤエフら (1974), マースデン (1974)	—
P/du Toit-Neujmin-Delporte	6.4	1941	—	1	マースデン (1970)	1970
P/du Toit 1	15.0	1944	—	1	ベリヤエフら (1973), シタルスキ (1973)	1974
P/Shajn-Schaldach	7.3	1949	—	1	マースデン (1971)	1971

\*) 発見後, はじめての回帰は1982年頃と予想される。(失われた彗星ではないがここに掲げておく。これはベルセウス流星群の母彗星である)

星であることが判明した例もいくつかある。

周期彗星は、小惑星とちがって、木星に接近して、その摂動を大きく受ける。その結果木星に捕獲されたり、その反対に、太陽から遠くへ放り出されたりすることがある。最初にこの現象が観測と計算によって明かにされたのは、1770年に観測されたレクセル彗星であった。その後2,3の周期彗星の軌道の追跡計算が手計算で行われているが、電子計算機時代になって、この種の計算が度々試みられるようになった。大惑星の摂動を大きく受けて軌道がどのように変化するか、具体的な事例を知ることが興味をひくテーマであると思われるが、今のところ、単なる遡及計算は、数字の遊びにすぎないと云えないこともない。摂動計算の出発点となる彗星の元の軌道が十分な精度で決定されていないと云えないが、現実にはなかなかそのようなには行かないからである。それに、彗星には引力の他に非重力効果が大きく働いているものもあるので、単に摂動計算だけでは真の運動を表現することが出来ないからである。しかし ITL などでは既に数十個の周期彗星について、1660年から、2060年までの400年間の計算が行われている。

惑星に接近した周期彗星の位置観測を用いてその惑星の質量を求めることも、小惑星の運動の解析などと同様に試みられている。短周期彗星の中には、木星に大へん近くまで(極端な場合には0.01天文単位かそれ以下)接近するものもあるので、このような彗星の木星接近前後の観測を用いると、かなり良い精度で木星の質量を求めることが出来る。また彗星の中には火星、金星、土星などにも接近し得るものもあるので、小惑星よりも多くの実例が得られる。最近では、シワスマン・ワハマン第1周期彗星から木星 ( $1/m=1047.387\pm 0.014$ ) と土星 ( $1/m=3497.48\pm 0.15$ ) や、エンケ彗星から水星の質量 ( $1/m=5980000\pm 170000$ ) が求められている。

周期彗星と小惑星の軌道は、ある程度似ていて、お互いの共通起源説などが提唱されることもあるぐらいであるが、最も大きい相違点は、既に度々述べたように、彗星は、木星や土星に接近する軌道を持っていることであろう。このため、周期彗星の軌道は、時に大きく変化するのであるが、しかし全く規則性がないかと云えばそうでもない。小惑星ほど、短周期彗星の数は多くない(約100個)ので、詳しい統計調査の対象にはなりにくいですが、一例として、図3に平均運動の分布が示されている。これは1960年までの観測によるもので、①は小惑星のものでよく知られている通りである、②は周期彗星の初めて観測された時の平均運動の分布、③は最も最近に観測された時の平均運動の分布を示したものである。②と③の全体的な傾向は似ていると思われるが、個々の彗星については、平均運動の変動は小惑星の場合よりも

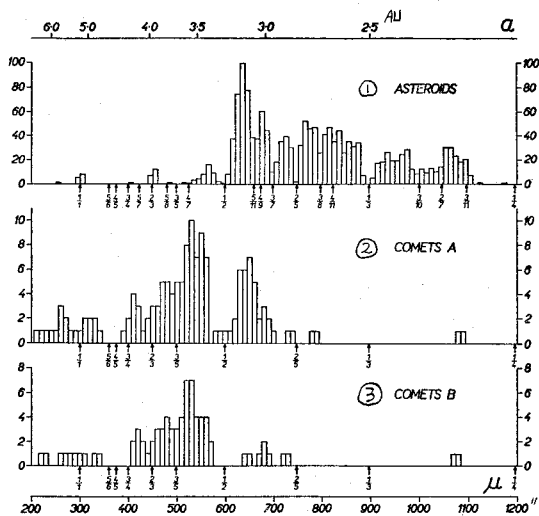


図3 平均運動の分布(クレサクによる)

①は小惑星、②は周期彗星が最初に観測された時の平均運動の分布、③は、最近の平均運動の分布を示す。

大きいので、木星の平均運動との尽数関係も大きく変化する。いわゆるギャップを飛びこえる彗星もいくつかあるが、それでも小惑星に見られるような傾向があることは興味深い。②と③によれば、木星の平均運動のちょうど倍(598 $''$ )のところ、明かな境界が見られる。クレサクはこれを境にして(軌道半長径=3.27天文単位、周期=5.93年)周期の短いものを内部周期彗星と呼んで、その特長をいくつかあげている。それによると、これらの周期彗星は、木星の摂動を大きく受け、軌道の変化が大きい。また物理的な進化(たとえば絶対光度が暗くなることなど)が他の彗星に比べて速い。イメージが拡散状で、日心距離が少し大きくなると急に明るさが暗くなるので、地球からの観測条件が良い時期でない観測できないので、一般には観測しにくいものが多いことなどである。

小惑星は、一般に木星に近づかないが、周期彗星の中にも、木星に近づくとなく、しかも常に恒星状に見えて、彗星か、小惑星かははっきりしないものがある。その典型的な彗星には次の2つがある。

ネウイミン第1周期彗星(1913年発見)

軌道半長径=6.8, 離心率=0.77, 傾斜角=15°, 周期=17.9年

アラン・リゴ周期彗星(1950年発見)

軌道半長径=3.6, 離心率=0.60, 傾斜角=18°, 周期=6.8年

マースデンによれば前者は土星に接近する(773年と1038年に)ことがあったが、両者とも木星とは尽数関係によって木星に接近することは、この数千年間には起ら

ない。また非重力効果が小さいので、既に蒸発するものは全て放出し尽した彗星核だけの状態になっているものと考えられる。マースデンは、この両彗星は、彗星から小惑星に移る過渡期にある天体ではないかと推定している。そしてエンケ彗星も、いつかはいわゆアポロ型の特異小惑星になるのではないかと考えている。これに反して、(944)ヒダルゴの軌道半長径は5.8で小惑星中最大で、離心率は0.66（これより大きいのは(1566)イカルスだけ）で、木星に度々接近する軌道を持っている。もしかするとヒダルゴは、元彗星であったのかも知れないという。マースデンは、(1566)イカルス、(1862)アポロ、(1936 CA)アドニス、(1937 UB)ヘルメスおよび1968 AAなども元彗星であった公算が大きいと考えている。いままでは単に軌道の特性が似ているとか、思いつきの推測が多いようであったが、今後は位置観測と運動の計算によってこの種の問題を今まで以上にはっきりさせることが可能になった。この方面でも我国の立遅れを残念に思うのは、筆者のみであろうか？

彗星の位置観測データの集積や、軌道計算のセンターの要望が、前から時々話題になっているようである。小惑星センターにはシンシナチ天文台やITLがあってかなり機能を果しているが、彗星に関しては、まだ本格的なセンターは設立されていない。しかしシンシナチ天文台や、スミソニアン（マースデン）、ITL、ワルソー（シタルスキ）ではかなり彗星のデータの整理は行われているようである。また軌道要素のリストだけでなく、ひろく彗星の記録を集めたコメトグラフィ（彗星誌）の出版も要望されているが、軌道カタログの編纂でさえやっという彗星分野では、なかなかこれもおぼつかない。せめて、観測結果だけでも早く出版するようにとの要望が出ているが、これも人手と時間がなくては思うように行かないということのようである。彗星の物理がもてはやされるようになったにしては、位置・軌道関係では、ぐちが多くなるようである。

### 3. 非重力効果

エンケ周期彗星の永年加速は、既に1823年にエンケが指摘している、その原因としてエンケは抵抗媒質を考え

た。また離心率にも永年変化が現われるものと推測されたのであるが、エンケ彗星の観測からこれを実証することはできなかった。ベッセルは、抵抗媒質による影響がもし考えられるならば、彗星だけでなく、惑星にも見られる筈であるが、その事実はないと思われるので、彗星の運動に見られる永年変化は、彗星からの物質の放出がその原因であると考えた(1836年)。その後数個の周期彗星に永年加速や永年減速が見られることが指摘されていたが、マースデンは、1968年頃から、現在観測されている短周期彗星全てについて永年変化の有無を調査し、いろいろな解析を行っている。マースデンの彗星の永年変化の説明は、ホイップルの氷モデルに基礎をおいており、彗星核からの物質の放出と、核の自転の影響によって解釈されている。

マースデンが最初に永年変化を調査したいいくつかの周期彗星のうち、一例としてエンケ彗星の近日点通過時刻を見てみよう。表5に、4組の計算結果が示されている。①は、表の最初の3つ、即ち1947年、1951年、1954年の3回の観測を用いて1957年以降の近日点通過を予報したものである。この予報は、惑星の摂動のみを加算して求めたもので、表には( )がつけてある。②は1951年から1957年の3回から求めた軌道をもとにして、他の年の予報を計算したものである。③、④も同様で、( )のついていないものは観測値、ついていないものは重力論のみによる予報値と考えてよい。予報値と観測値の差は、非重力効果に原因するものと考えられ、エンケ彗星の場合、近日点通過の観測値は予報値より早くなっていることが明かである。しかも、この永年加速は、①を例にとると、1957年のO—Cは $-0.06$ 日、1961年は $-0.12$ 日、1964年は $-0.20$ 日、1967年は $-0.30$ 日となり、他の組も全体的に見て、近似的に $-0.04$ 日/(周期)<sup>2</sup>で表わすことができるようである。この永年変化の大きさは、エンケ彗星は中ぐらいで、大きいものは(周期との比率を見るべきであろうが)本田・マールコス・バジュサコバ彗星( $-0.15$ 日)やダレ彗星( $+0.12$ 日)で小さいのは $0.0$ 日であるが、先に述べた小惑星型のネウイミン第1や、アラン・リゴー、不思議なことに、度々急増光するシワスマン・ワハマン第1彗星など十個ばか

表5 エンケ周期彗星の近日点通過時刻（マースデン，1968）

観測年	1947	1951	1954	1957	1961	1964	1967
①	11月26.33日	3月16.21日	7月2.54日	(10月19.91日)	(2月5.71日)	(6月3.69日)	(9月22.36日)
②	( 26.36)	16.21	2.51	19.85	( 5.62 )	( 3.56 )	( 22.20 )
③	( 26.43)	( 16.26)	( 2.53)	19.85	5.59	3.51	( 22.10 )
④	( 26.53)	( 16.33)	( 2.58)	( 19.87 )	5.59	3.48	22.06

りには永年変化は見られない。他の数十個の周期彗星や、数個の長周期軌道の彗星には非重力効果の存在が認められている。

非重力項  $F_i$  は一般に

$$F_i = G_i f(r) \quad (i=1, 2, 3) \quad (1)$$

で表わされるものと考えられている。  $i=1$  は動径方向の成分で、太陽の反対方向を正とし、  $i=2$  は軌道面上、動径に直角の方向、  $i=3$  は軌道面に垂直方向の成分である。  $G_i$  は

$$G_i = A_i e^{-B_i \tau} \quad (2)$$

と書くことができ、  $A_i, B_i$  は定数であるが、  $A_3$  と  $B_1$  はゼロであることが多い。  $\tau$  はある時刻からの時間で、ふつう、  $10^4$  日を単位とする。

ところで問題は  $f(r)$  で、  $r$  は動径であるが、はじめ実験的に

$$f(r) = \frac{1}{r^3} e^{-r^2/2} \quad (3)$$

が用いられていたが、最近、彗星核の水モデルに基づいた、水の蒸発量の理論から  $f(r)$  のかわりに

$$g(r) = a \left( \frac{r}{r_0} \right)^{-m} \left[ 1 + \left( \frac{r}{r_0} \right)^n \right]^{-k} \quad (4)$$

が導びかれている。  $a$  は  $g(1)=1$  とするための定数 (0.111262) で、  $r_0$  は核のアルベドによって変わるが、それを 0.1 とすれば 2.808 天文単位となる。  $m=2.15, nk=23.5, n=5.093$  とされている。いまのところ、  $0.1 < r < 4.0$  天文単位の範囲では、(4) は 5% 以内の精度で観測と合っているという。  $1.8 < r < 4.5$  天文単位では、  $f(r):g(r)$  は殆ど 1 に等しくその差は 15% 以内であるから、どちらの式を用いるかはあまり問題にならない。

$A_i, B_i$  のうち、最も大きいのは  $A_2$  であるが、実はこれが定数ではなく、彗星が木星に接近する前後では変化するし、  $A_2$  自身の永年変化も存在しているようである。エンケ彗星のように既に 200 年ぐらい観測されている彗星の永年変化項の永年変化は、彗星の物理的性質の永年変化と合せて研究する必要があると思われる。彗星の永年変化項は純粋に力学的なものではなく、多分に物理的なのものようである。

ハレー彗星の周期は約 76 年で、現在の軌道計算に充分利用できる観測は、1759 年以降 3 回の回帰しかなく、それも地球に近い時期の観測が多くて、十分な精度で位置が観測されているとは云えない。次回の近日点通過は 1986 年 2 月であるが、その 2 年ぐらい前から位置観測が始まると予想され、かなり良い精度でハレー彗星の運動を把握することができるものと期待される。東洋におけるハレー彗星の記録は西暦前 240 年頃からのものが残っているが、1910 年の軌道に摂動を加算して、過去の軌道

を逆算し、古代の記録と照合することによってわずかに当時の近日点通過時刻を推定することはできる。最近、いくつかの研究があるが、アイルランドのキアンの調査によると、この近日点通過時刻にかなり大きな非重力効果が見られるという。ハレー彗星の問題はこれからの観測と計算が期待されるものの一つであろう。

#### 4. 全エネルギーの変化

彗星の運動エネルギーと位置エネルギーの和である全エネルギーは  $1/a$  に比例する。  $1/a$  (軌道半長径の逆数) は、惑星の摂動を受けて変化するが、近日点附近での  $1/a$  の接触値は観測から求められ、太陽系の重心に準拠した惑星の摂動量を、長期にわたって過去に遡って計算したり、将来に向けて計算することによって、彗星が近日点を通るまでの  $1/a$  の変化量 ( $u_b$ ) と、近日点通過後の変

表 6  $1/a$  の変化量 (彗星数 392, エバーハート (1970))

分布	平均 ( $10^{-6}AU^{-1}$ )	標準偏差 ( $10^{-6}AU^{-1}$ )
$-u_b$	458	395
$+u_a$	453	429
$u_b + u_a$	1	685

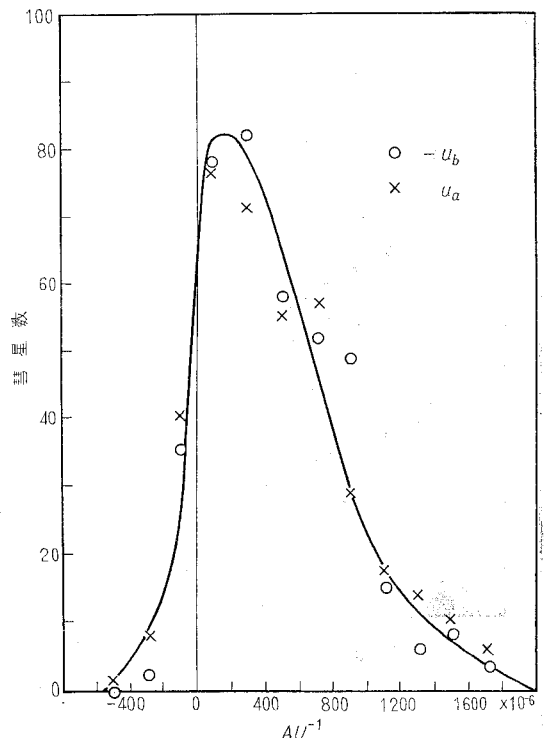


図 4  $-u_b, u_a$  の分布 (エバーハート, ラガバン)

化量 ( $u_a$ ) を求めることが出来る。同様に離心率の変化量についても計算されるが、一般にはこの  $u_b, u_a$  が用いられている。1800年以降の長周期彗星、約400個についてはエパーハートらによって計算されている。観測から得た  $1/a$  に  $-u_b$  を加えると、原初の  $1/a$  が得られ、 $u_a$  を加えると  $1/a$  未来の値が得られる。 $u_b+u_a$  は彗星が太陽系の中心を一回通り抜けることによって生じる全変化に相当する。 $-u_b$  と  $u_a$  とはほぼ同じ頻度分布を示し、その概要は表6および図4の通りである。

全エネルギーの変化量、特に原初の  $1/a$  についてはフェエ (1910) やストレームグレン (1914) が注目し、ライデン天文台その他のグループが精力的に計算したことがあった。1950年に僅か22個の彗星の  $1/a$  を用いてオールトが“彗星の雲”説を提唱したことは有名である。

なお、プレイデイは143個の彗星の離心率の原初値と、未来値を計算した (1970)。そして、近日点通過時における離心率の値が1.000172より小さいものと、大きいものの2グループに彗星をわけると、前者の46%が太陽系から脱出するが、後者ではその75%もの彗星が太陽系から逃脱して行くとの結論を得ている。統計的には、 $e=1.000172$  に意味があるというが、なぜこの値が意味をもつのか、その理由はわからない。

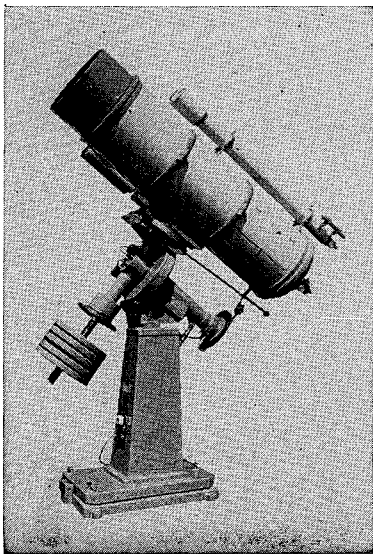
非重力効果と、惑星による長期間の摂動の計算をしてはじめて短周期、長周期、両種の彗星の軌道の面倒を一

通り見たことになる。あと残された仕事は、古記録に見える彗星記録の整理と、その中で、もし出来るならば、近年観測されている彗星との同定である。ハレー彗星の過去はハレーが手をつけて以来、皆、この同定によって明らかにされたのである (6月号アルバム参照)。ハレー彗星のほか、どの彗星が同定されるかは、今後の調査に期待したい。

### 学会だより

#### 山路ふみ子自然科学振興財団昭和50年度奨学賞および研究助成候補推薦について

学会あてに上記候補者推薦の依頼が来ています。希望される方は7月20日までに本会庶務理事まで御連絡下さい。資格は、奨学賞 (賞牌及び100万円) については50才未満で理学等の分野において研究業績が特に優秀な方、助成金 (100~200万円) については、自然科学の進歩発展に貢献でき、且つこの助成金の交付により円滑な進展が期待できる研究に従事している45才未満の方となっています。



天体望遠鏡  
ドーム、製作

## 西村製の天体望遠鏡

### 40 cm 反射望遠鏡の納入先

- |        |                     |
|--------|---------------------|
| No. 1  | 富山市立天文台             |
| No. 2  | 仙台市立天文台             |
| No. 3  | 東京大学                |
| No. 4  | ハーバート大学 (USA)       |
| No. 5  | ハーバート大学 (USA)       |
| No. 6  | 台北天文台 (TAIWAN)      |
| No. 7  | 北イリノイズ大学 (USA)      |
| No. 8  | サン・チェゴ大学 (USA)      |
| No. 9  | 聖アンドリウス大学 (ENGLAND) |
| No. 10 | 新潟大学高田分校            |
| No. 11 | ソウル大学 (KOREA)       |
| No. 12 | 愛知教育大学(刈谷)          |

606 京都市左京区吉田二本松町 27

株式会社 西村製作所

TEL. (075) 771-1570  
691-9580