

はるかな時空をかける処女たち

—その彗星のささやきを聞け—

渡 部 潤 一

〈国立天文台光学赤外線天文学研究系 〒181 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

ハレー彗星が振りまいた喧噪が去った頃、現れたふたつの彗星。越えてきたのは遙かな時空。ふりまいたのは処女のささやき。きこえてくるのはかすかな吐息。彼女たちの夢語りは、いったい何を知らしめたのか？ その秘めたメッセージをいま解き明かす時がきた。

1. プロローグ

「私はね……。」

「うん？」

「ううん、何でもない。」

「何、どうしたんだい？」

—沈黙—

「あのね」

「うん？」

「私、きれい？」

「ああ、きれいだよ。」

「ほんと？ 嘘じゃない？」

「ああ、嘘じゃないさ。」

「じゃ、私を見てよ。ちゃんと。」

彼女の着ていた漆黒のガウンが、はらりと落ちる。後に残った彼女の影は不思議なほどに白く、透明だった。触れようと手を延ばす。と、その瞬間、その影はどんどんしぼんでふわふわした丸い塊になった。

「渡部さん、起きて下さいよ！」

その不思議な夢を中断したのはA君だった。たつき起こされて、現実に引き戻された場所は郵政省通信総合研究所の口径1.5m赤外線望遠鏡の

Jun-ichi Watanabe: Virgin Comet's traveling over distant spacetime

制御室。A君は元気にコンピューターのキーボードを叩いている。

「晴れてきたから、観測できますよ。」

「そうか。じゃ、やるか。」

おもむろに起き上がると、資料を取り出す。今夜のターゲットはオースチン彗星。1989年末に発見され、今世紀最大の彗星出現か、と騒がれた代物である。もちろん、その軌道から処女彗星、つまりオールトの雲から初めて太陽の近くまでやってきた可能性のある彗星だった。この彗星を当時、世界でも最大クラスの視野を誇る広視野赤外カメラで狙っていたのである。

2. 明るくならなかった「今世紀最大」の彗星

しかしながら、オースチン彗星はそれほど明るくならなかった。彼女はガウンを落としてはくれなかったのだろうか？

そもそも、この彗星は発見当初から明るくなる、と信じていい状況だった。口の重い天文学者たちが、そう言うだけの証拠は揃っていたのである。図1は発見直後の国際紫外線天文衛星IUEの観測¹⁾から得られたオースチン彗星の単位時間当りの水分子放出量を、他の大彗星と比較したものである。オースチン彗星は太陽からの距離がまだ2.2天文単位と遠かったものの水分子の放出量はハレ

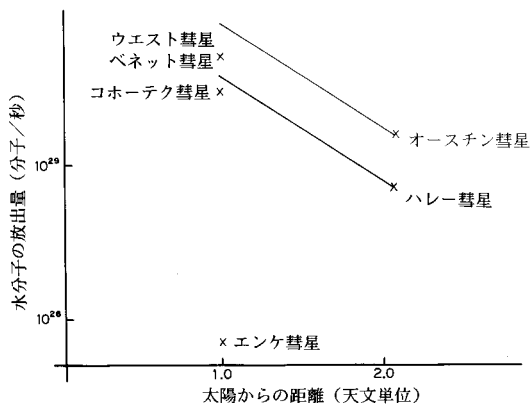


図1 過去の大彗星とオースチン彗星の単位時間当りの水分子放出量の観測値(X印)。横軸は太陽からの距離の対数。直線は放出量の増加がハレー彗星と同じと仮定したとき予想で、このまま太陽に近づいていけば、これらの大彗星を凌ぐ「今世紀最大の彗星」になるはずだったのだが……。

一彗星の2倍もあった。このまま太陽に近づいていけば、今世紀最大の彗星であるウエスト彗星やベネット彗星を上回る彗星になることは確実だったのである。また、赤外線観測から塵の放出量も多いことがわかった。しかも、軌道は放物線に近いもので、オールトの雲から初めてやってきた処女彗星である可能性が高い。この種の彗星は、ハレー彗星のような周期彗星よりも揮発性物質に富んでいて、明るいのが通例である。さらに彗星そのものが太陽に5千万キロメートルにまで近づく、という好条件だった。いよいよ「今世紀最大」の疑いは濃くなったのである。また、近日点を過ぎてから北半球からの観測条件がよくなるのがゴールデンウィークと重なったため、マスコミ等がこぞって取り上げるところとなり、月刊の天文雑誌は発売数日で完売、望遠鏡や双眼鏡はハレー彗星以来の売行きを見せた。

ところがである。近日点を通過する2カ月前から、オースチン彗星の光度変化に異常が起きた。図2のように、発見前後のするどい光度上昇率が、1.5天文単位あたりを切ったあたりから急にぶってしまった。初期の光度変化から予想

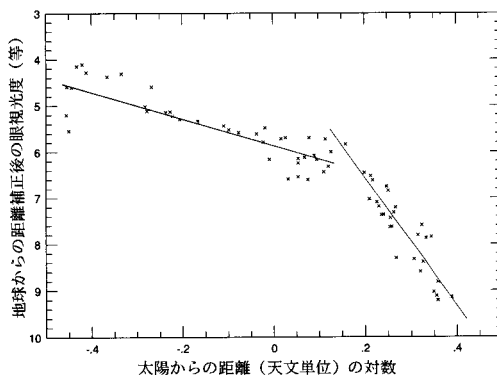


図2 近日点通過前のオースチン彗星の明るさの変化(アマチュアの眼視観測によるもの)。明るさは地球距離の補正をしてある。

される近日点での明るさはマイナス2.5等だったが、改良予報では4.5等。実に7等級もの差がついてしまったのだ。こうして、「今世紀最大」の彗星は幻に終わることになる。

3. 開いたスカートの謎

オースチン彗星の光度上昇が鈍ったことが確実にになった頃、和歌山のTさんから一通の封筒が届いた。Tさんは彗星の写真観測を続けているアマチュアである。そもそも、オースチン彗星の場合、近日点通過前は地平高度が低すぎて、大型の望遠鏡が向かない状況だった。こんな時にも、アマチュアの観測が生きてくる。

同封されていたオースチン彗星の写真を見て驚いた。彗星にはガスがイオン化して、太陽風に流されるイオンの尾と、小さな塵が太陽の輻射圧をうけて形作る塵の尾というのがある。普通、塵の尾はイオンの尾と寄り添うようにして、角度の狭い閉じた「スカート」を作る。近日点通過後は、彗星の進行方向が大きく変わるので、この角度は開いていく。ところが、オースチン彗星の場合には近日点通過前にも拘らず、その塵の尾が大きく開いて、V字形をしているのだ。いままでこんな奇妙な尾を見たことはなかった(図3)。

塵の尾の形状は、塵のサイズと放出された時刻



図3 1990年3月26日のオースチン彗星の奇妙な尾。津村光則氏が16cm ライトシュミットで撮影。

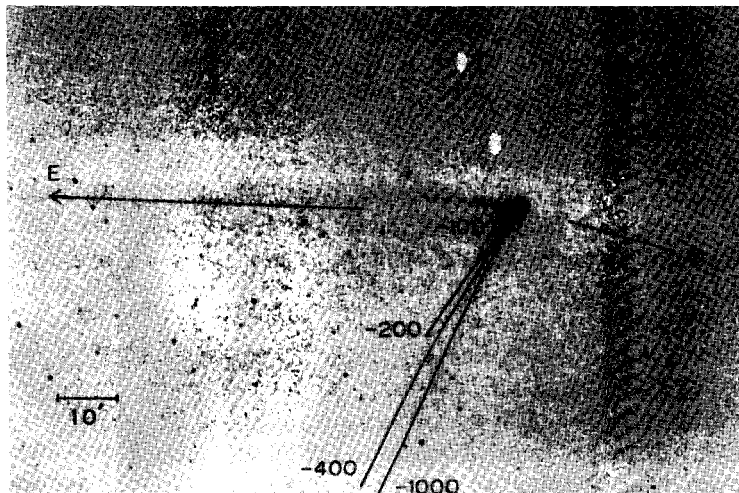


図4 図3の塵の尾をシンクロン(等放出時刻)曲線で再現してみた様子。-1000日のシンクロン曲線上には、近日点通過前1000日に放出された塵が並ぶ。その大きさによって受ける輻射圧が異なるが、ここではサブミリ程度の塵までしか考慮していない。塵の尾が最も濃いのは-1000日から-400日の間である²⁾。

さえわかれば計算できる。私はすぐに神奈川のS氏に電話をした。S氏もアマチュアだが、この種の理論計算では日本で第一人者である。計算結果はその日の夜、ファックスで届けられた。それを見て再び衝撃が全身を走った。オースチン彗星の開いたスカートの正体は、なんと1000日も前に放出された塵だったのである(図4)。

1000日前というと、彗星はまだ太陽から11天文単位、土星よりも外側の距離になる。彗星の主成分である水が蒸発しはじめるのは小惑星帯にさしかかるあたりのはずだ。いったいそんな遠い場所で、どうしてこれだけの塵を放出することができたのだろうか？

実は、この疑問だけなら答えは明らかだ。このオースチン彗星は処女彗星なので、ほかの彗星に比べて、水より揮発性の強い二酸化炭素などが大量に含まれていることは、容易に想像がつく。ちょっと計算すると、二酸化炭素の氷(ドライアイス)なら、この距離で蒸発しはじめることがわかる。したがって、二酸化炭素をドライビング・ガスとして、塵が核から飛び出してきたと考えればよい²⁾。

しかし、問題はスカートが連続していないことである。土星の外側で大量の塵を吹き出すなら、そのあとも連続して塵を出し続けそうなものなのに、-400日頃から観測時までの塵の尾はまった

く影が薄いのだ。むしろ、-1000日あたりの尾が異常に濃いのである。

「おまえはいったい何を語りかけているのか？」写真に向かって呟く問いに答えるはずもなく、オースチン彗星は近日点を過ぎ、いよいよその姿を明け方の東空に現そうとしていた。

4. まだらなる姿、^{しのめ}東雲に舞う

太陽に最接近し、東の空に現れたオースチン彗星の「異常」に気がついたのは可視光でガスを狙ったアマチュアのS氏、K氏の観測チームだった。当時、S氏は天文学会の内地留学生として天文台に出入りしており、ハレー彗星で発見されたガスジェットに非常に興味をもっていた。

ここで少し、このガスジェットについて紹介しておこう。そもそも、彗星のガスというのは可視光では炭素原子が2つくっついたC₂分子やシアアン(CN)分子といったマイナーな成分しか観測できない。これらのガスはほとんど彗星核から直接放出されるか、あるいはもっと複雑な母分子からの光解離でできる。どちらにしろ核から至近距離で分子ガスになってしまうために、あとは圧力勾配のせいで核を中心に球対称に分布するはずである。したがって、ガスにはそれまで塵で観測されていたようなジェットのような非対称な分布はありえない、と思われていた。ところがハレー彗星ではこれが見つかったのである³⁾。このガスジェットはハレー彗星の地上観測キャンペーンでの最大の発見と言えるものだ。そして、いまだにこのガスジェットの原因はわかっていない⁴⁾。ただ、核からの物質放出の異方性、つまり核表面の非一様性に深くかかわっていることだけは確かである。

さて、話を元に戻そう。ガスジェットに魅せられていたS氏がオースチン彗星のガス成分の撮像をすと言い出した。望遠鏡の割当てもない。CCDもない。干渉フィルターさえもなかった。

「そりゃ、無理じゃないか？」

「いえ、なんとかします。」

S氏はものの一週間で本当になんとかしてしまった。千葉・館山にある月刊天文雑誌編集長個人の所有の60cm望遠鏡と、H社のCCD撮像装置一式を無償で借りる約束を取り付けてしまったのである。

「あとは、フィルターだけです。」

「うーん、じゃあ、なんとかしよう。」

熱意に負けて、昔のハレー彗星の時のフィルターを捜し出し、それを貸すことにした。新しいものは鹿児島宇宙科学研究所の60cm望遠鏡に送ってあった。ここでは、宮崎大学のT氏とH氏が、オースチン彗星のモニター観測を分担してくれる手はずになっていた。

実は今だから正直に白状するが、私はS氏の指導教官として、内心ではこのガス成分での撮像には悲観的な見方をしていた。たぶん、ガスジェットは検出できないだろう、と思っていたのである。なぜならば、オースチン彗星は処女彗星で、その表面からは比較的一様な蒸発がおこっているはずだからだ。周期彗星のように何度も太陽のまわりを周回している彗星の核では、その表面が不揮発性の殻(マントル)に覆われ、ごく一部の火山の噴火孔のような場所から、塵やガスが吹き出している。それは地上からでも離散的な塵のジェットが観測されることで想像できるし、ハレー彗星の直接探査でも確かめられた。だからこそ、ガスさえもジェットとなって等方分布からずれているのだろう。しかし、こういった堅い殻ができるには、何度も太陽を周回しないと無理である。まして、処女彗星であるオースチン彗星などは塵のジェットさえ観測されないのに、ガスジェットなどは到底出ないだろう、と思っていた。

そして、私の予想は外れた。S氏はオースチン彗星のC₂ガスのまだら模様を検出したのである。まさしく、ガスジェットだった。これは処女彗星のガスジェットの検出としては世界で初めての観測結果となった。このあたりの詳しいことは、S氏の論文⁵⁾や天文月報記事⁶⁾に譲ることにするが、

ともかくも処女彗星の表面はそれほど一様じゃないのでは、という疑問を抱かざるを得なかった。

いったい、東雲の空に舞うオースチン彗星のまだらなその姿は何を意味しているのだろうか？

5. そして処女は十二^{ひとえ}単を纏う

オースチン彗星が噂通りには明るくならなかったこと、奇妙に開いた尾が観測されたこと、そして、ガスジェットが検出できたこと、これらの事実が語りかけるものはなんだろう？

そのヒントは思いがけない人からもたらされた。木星大気の在野の研究者であるH氏である。本職はコンピューターソフトエンジニアだが、会社でもときどき仕事の合間に天文学のジョブを走らせているらしい。アマチュアらしく、いろんなことに興味をもって手を出してみるのだが、当時はオースチン彗星の明るさの変化を簡単な理論で再現できないか、と考えていたらしい。その彼がひょっこりと三鷹へやってきた。

「こんな理論があるんですね。これなら、オースチン彗星の明るさの変化もなんとか再現できますよ。」

それはコア-マントル・モデルという理論で、彗星核表面の熱伝導率の悪いマントル部分がどんどん発達し、そのために内部への熱の流れが阻害されて、水の蒸発量が抑えられ、予想光度を下回るといったものだった。もともとオースチン彗星と同じように予想を裏切ったコホーテク彗星の光度変化を説明するために提案されたものだったが、それ以来あまり脚光はあびていない。H氏は、その論文にある非線形方程式群をある仮定のもとで単純化して解いていたが、なかなかよく合いそうな気配だった。マントルがこの一回だけの回帰で数倍に厚くなれば、光度変化を再現できるはずだ。この計算結果はアリゾナでの国際学会に発表された⁷⁾が、その後マントルを非定常として再計算されている。

「そうか、それまで着ていたガウンを脱ぎ捨てるんじゃないで、逆に衣を着込むのか！」

はるかな時空を旅してきた処女が着る十二^{ひとえ}単。そして、この彼女たちが身につける雅やかな衣こそが、オースチン彗星の他の観測事実をも説明する鍵となった。

核表面に、特にオースチン彗星のような処女彗

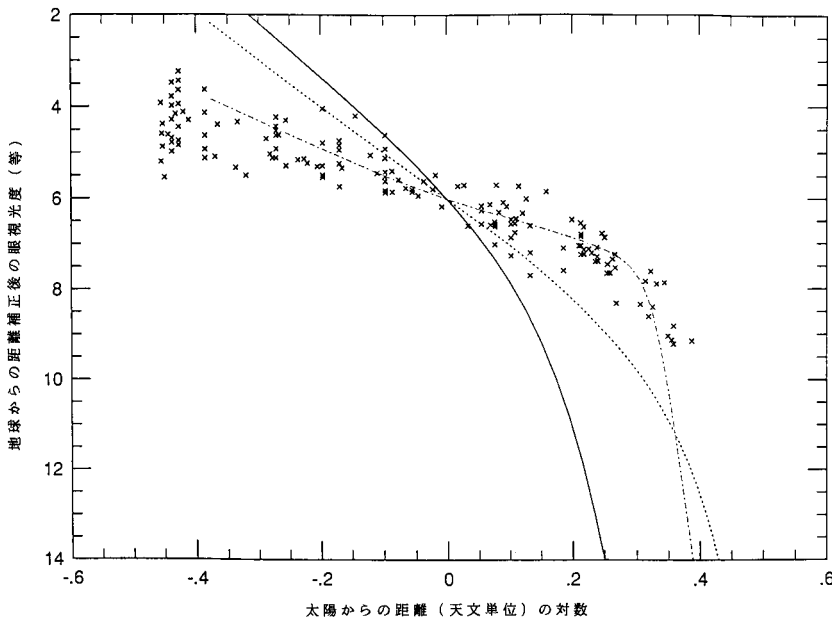


図5 オースチン彗星の近日点通過前の光度観測データといくつかのモデル計算から予測される光度変化の比較。すべて1天文単位でスケールしている。実線、点線、破線がそれぞれ純粋水の蒸発平衡モデル、定常マントルモデル、マントル発達モデル、非定常のマントル発達モデル(青)がよく合うことがわかる。

星の表面に厚いマントルが発達したとすれば、光度変化は急激に落ち込み、定量的にも説明がつく(図5)。そのうえ、ガスジェットのような物質放出の異方性も生じて来るのは必然であり、S氏らの観測事実も納得がいく。ガスジェットが観測されたのはオースチン彗星の近日点通過後で、マントルの衣は十分に厚くなってははずである。

さらにもうひとつ、不自然に開いたオースチン彗星の尾の謎も解ける。11天文単位という遠方で二酸化炭素等の揮発性物質が蒸発したときに、すでにマントルを形成したと考えれば、それ以後しばらく太陽に近づいて水が蒸発してくるまでは活動が一時的に小康状態となるだろう。蒸発初期の扇型の端に当たる-1000日付近では濃く、それから-400日付近の中央部分が薄い奇妙な尾ができたことも自然に説明できるはずだ。

ただ、この時のマントル形成は主成分の水の蒸発によるものとは異なっているはずである。この距離で蒸発できる揮発成分はマイナーで、せいぜ

い体積の2割を越えることはないので、大きな表面変成を起こすことはない。したがって、比較的静かに揮発成分が抜け出て行き、表面層に孔ができるポーラスマントルが考えられる(図6)。これなら、熱伝導率が下がり、ダストマントルと同じ効果が現れる。

だいたい、われわれは彗星核がいったいどのようなものをまだ知らない。ハレー彗星という古い周期彗星の表面構造を垣間見ただけで、その中身や処女彗星の表面などというものはまだ想像の域を出ていないのである(図7)。

はるか悠久の時を越えてやってきた処女彗星。その表面では確かに何かが起こっている。そんな確信が私の心の中で次第に強くなっていくのを感じていた。

6. 華麗なるスピナップ

ゴールデンウィークが終わり、オースチン彗星騒ぎがおさまった頃、もう一人の処女がやってき

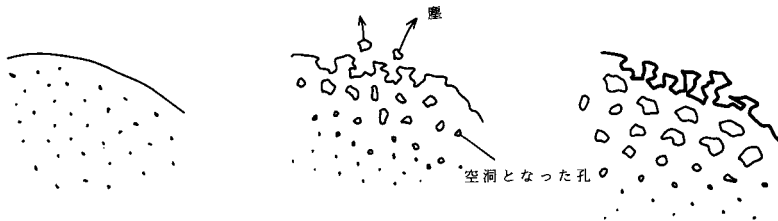


図6 水ではなく、二酸化炭素など水よりも揮発性の強い物質の蒸発で形成されるポーラスマントルの様子。

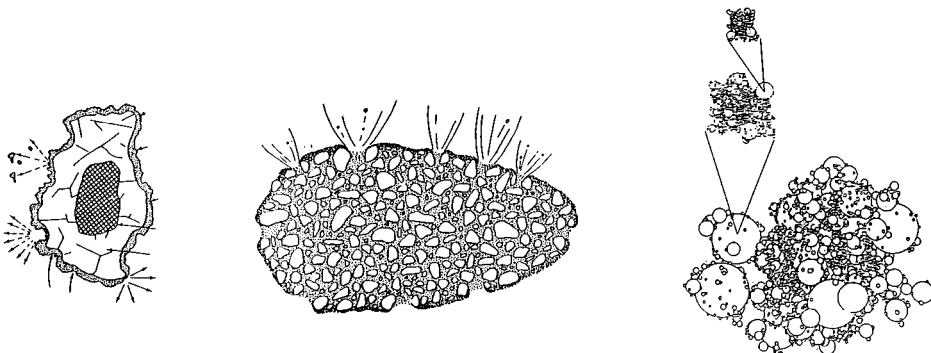


図7 彗星核のさまざまなモデル。右からフラクタルモデル、氷石混合モデル、コア・マントル構造モデル。いずれも周期彗星のように太陽を周回すると表面にはマントルができていく。

た。レビー彗星である。地球軌道の内側には入り込まなかったため、オースチン彗星ほどの騒動にはならなかったが、夏休みには明るさも肉眼で見えるほどになった。しかも、ちょうど衝の位置だったので、ほぼ一晩中観測できるという好条件に恵まれた。このため、とても質のよい光度曲線が光電測光観測から得られた(図8)。ハレー彗星以来、測光観測による彗星の活動モニターは、彗星核の自転周期を決める手段として重要視されてい

る。そして、その観測結果から驚くべき事実が見つかった。周期が少しづつ短くなっているのである。8月18日から29日までの平均周期は18.9時間で、一日0.05時間ほどの周期減少が示唆された⁸⁾。一方、9月18日の国際紫外線天文衛星 IUE のファインエラーセンサーによる可視光域での測光観測では周期は17.0時間で、両者をあわせると一日当たり0.06時間の周期減少となる⁹⁾。これが彗星核の自転周期の減少だとすると、レビー彗星の

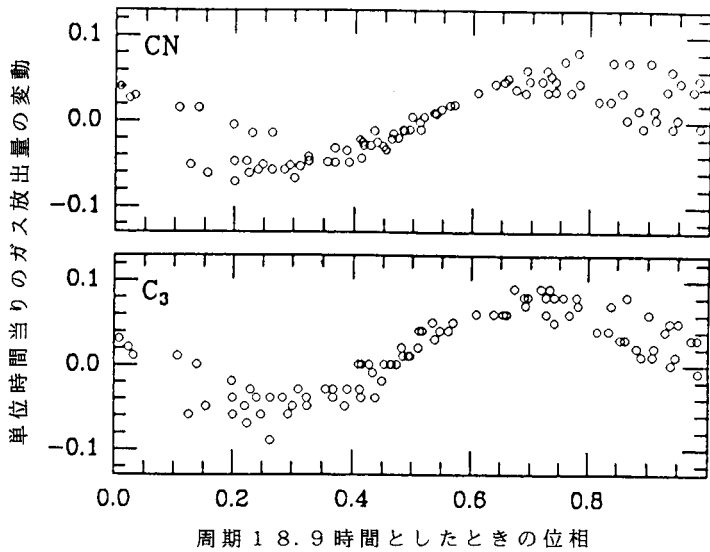
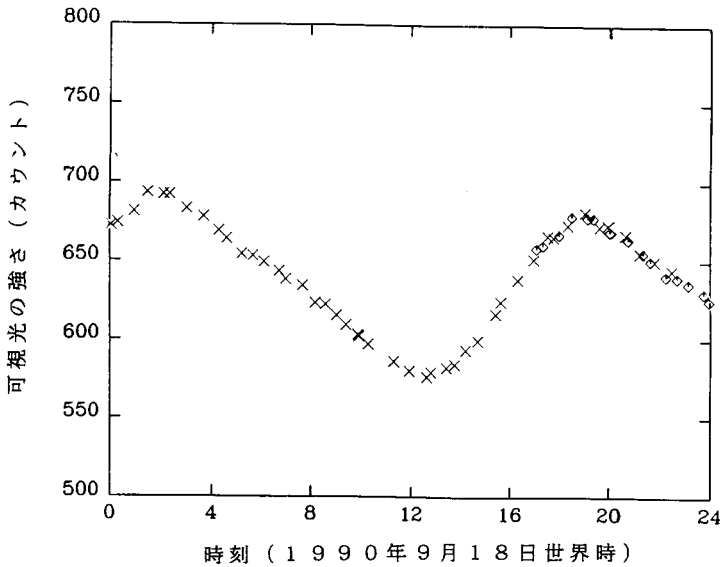


図8 レビー彗星で観測された光度曲線。上が地上観測によるもの⁸⁾、下が国際紫外線天文衛星 IUE によるもの⁹⁾。上は18.9時間、下が17.0時間の周期を示す。



核は自転速度が徐々に増加している，すなわち，スピニアップしていることになるのだ。

このスピニアップの原因は議論の最中である。すぐに思いつくのは，ロケットで使われるガス噴射による姿勢制御だ。核の自転の赤道部分にジェット源があり，自転とは逆方向に効率よく吹き出せば自転角運動量を増加させられる。しかし，レビー彗星ほどの大きな彗星にこれだけのスピニアップをおこすには，観測されたガスや塵の量を全部そのジェット源に押し込んででも足りそうにない。

そこで次に浮かんだのがアイススケート選手のスピニアップだ。スケート選手は最初に手や足を体の中心から離してゆっくりと回転する。その後，少しづつ手足を回転中心に近づけ，自分の質量分布を変えることによってスピニアップする。少し難しい言葉でいえば，角運動量を変えずに自分の慣性能率を変化させることで回転の角速度を上げているのである。

処女彗星の場合，表面は大きな熱変成を受け，マントルが急激に生成されているに違いない。もし核表面が密度の低いふわふわの状態だったらどうなるだろうか。表面からは水などが蒸発していくが，重い石や塵などが残され，その衣は次第に核の中心へと近づいて行くだろう。つまり，核は衣を厚く重ね着ながら，消えかけの線香花火のように縮んでいくのではないだろうか。これだと，質量の分布が変わり，自転の角運動量がある程度捨ててもスピニアップが可能である。この「アイススケーターモデル」¹⁰⁾は不自然な自転運動やジェットのトルクを考えないでいいメリットがある。が，実際にレビー彗星の観測を説明するには表面の1割ほどの変成が必要で，やはり量的な説明に難点がある。自転周期の変化が見られたのは今のところこのレビー彗星が唯一なので，解決の鍵は今後の処女彗星の観測例にかかっている。

7. エピローグ

処女彗星。それは，悠久の昔，太陽系の惑星たちが生まれようとしている頃，その惑星の卵たちに近づいて，誰にも知られずにそっと飛び出していった氷の旅人。はるかな時空で何億年もの間，漆黒の空間をかけめぐり，やっと再び太陽に近づいて，美しき衣を纏う彼女たち。そのささやきが語りかける夢物語に思いを巡らせ，われわれ天文学者の片思いはまだまだ続くだろう。

ところで，通信総合研究所での話の続きである。不思議な夢の余韻に少しばかり酔いながら，観測が始まった。その日はオースチン彗星の初めての観測だった。ゴーツとドームと望遠鏡が動く音が止むと，A君が実に手際よく露出を始める。

「さて，どんな絵がでるかな？」

同じ研究所のHさん，Tさんも固唾を飲んで見守るなか，最初の画像がモニターに映し出された。

(あっ！)

私は思わず心の中で叫んだ。映し出されたオースチン彗星の姿には見覚えがあったのだ。夢の中で，着ていた漆黒のガウンが落ち，後に残った彼女の影。いまモニターに映し出されているのは，手を触れようとした瞬間に変貌した，あの白くて，透明で，ふわふわした丸い影そのものだったのである。

参 考 文 献

- 1) Roettger et al. 1989, *IAU Circular No.* 4934.
- 2) Watanabe et al. 1990, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **42**, L69.
- 3) A' Hearn et al. 1986, *Nature*, **324**, 649.
- 4) Combi 1987, *Icarus*, **71**, 178.
- 5) Suzuki et al. 1990, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **42**, L93.
- 6) 鈴木 1991, 天文月報, **84**, 267.
- 7) Hasegawa and Watanabe 1992, *Proc. Asteroids, Comets, Meteors IV*, in press.
- 8) Schleicher et al. 1991, *Icarus*, **94**, 511.
- 9) Feldman et al. 1992, *Icarus*, **95**, 65.
- 10) Watanabe 1992, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **44**, 163.