

惑星間空間のダスト

齋藤 馨 児*

1. 惑星間物質

惑星間物質とは、太陽系のなかに一面にひろがっている小さな粒をいい、粒の大きさや観測方法のちがいにしたがって、流星物質、黄道光物質に大きくわけている。これらは太陽系の、惑星、小惑星、彗星などとならぶ構成要素だが、観測の方法がかぎられ、研究はまだゆきとどいていない。今日まで、惑星間物質は、大きく3つの観測的および理論的な方法で研究されている。第1は流星物質の軌道をしらべる力学的な方法、第2は流星物質の大きさの頻度分布や、黄道光物質の輝度、偏光などを解こうとする物性論的な方法、第3は流星スペクトル、隕石の分析、宇宙塵の採集などにもとづく化学的な方法である。ここでは、流星物質を中心に惑星間物質の生成と散逸について、知られたことがらをまとめてみたい。

2. 擾動力による散逸

2.1 流星物質は、地球の大気にとびこんでくと流星として見られる。流星現象の観測は、約150年前にはじまり、おもに眼視でなされてきたが、40年前から写真で、25年前からは電波でもさかんにおこなわれている。したがって流星物質の性質はかなりわかってきた。それらは大きさ100 μm から数cmの粒である。それより大きなものは地表にまで達し、隕石となる。また流星物質は、彗星と似た離心率の大きな楕円軌道で太陽のまわりを運動しているが、1つずつ異なるばらばらな軌道をもつ散在流星と、多数がほとんど同じ軌道を運行し、流星群として観測される群流星との、2種類がある。

群流星はもともと彗星からわかれて生じた粒である。流星群の空間軌道が特定の彗星とひとしかったり、著しい流星雨が彗星の回帰にもなっておこなうなど、確かな証拠が知られていて、この結論には疑いの余地がない。流星物質が実際に彗星から生れているとみられる観測事実もある。

しかし今日、目や電波で観測されている著しい流星群が約12群あるうち、4群は母彗星が知られていない。無数の小流星群や散在流星では、ふつう個々の彗星との関連はわからない。

黄道光物質は、流星物質より小さく、たとい地球大気にとびこんでも発光しないような粒からなる。黄道光、対日照は、おもにこの種の粒が太陽の光を散乱反射して、光っている現象である。それらの観測によると、大きさは最大で100 μm 、最小ははっきりしないが1 μm またはそれ以下だろう。量は流星物質より多い。だが観測からもとめられる性質は、大きさの範囲のほか、空間分布、組成の推定などざっとしたことがらにすぎず、起源はもちろん、運動についても観測ではほとんどわかっていない。

散在流星や黄道光物質が、群流星とおなじく彗星の崩壊した粒か、惑星や小惑星など太陽系のほかの構成要素にも、起源の一部があるのか、またひょっとして、恒星間空間からはるばるきた粒をいくらかでもふくんでいるのか、などは注意深い検討を必要とする。それを解く一つの方法として、多くの流星群を彗星からの誕生にはじまる進化の系列のなかに配列し、その延長の上に、散在流星や黄道光物質を配置できるか、考えてみよう。

2.2 1950年にアメリカのホイップルがいいだし、いまも大すじで信じられている説によると、彗星の本体は、固体の粒をふくんだ、よごれた雪玉といったものであるといえる。この本体を彗星の核という。すなわち核は、大小さまざまな固体の粒と、水、メタン、アンモニア、二酸化タンソンなどのガスが凍った雪との混合物である。

彗星が太陽から約2天文単位に近づくと、核は表面からとけて気体が蒸発し、同時に、ふつうにダストといっている固体の粒を放出する。ダストは気体の圧力などで加速され、外向きに速さをもつ。ホイップルの理論にもとづいて放出の速さをもとめると、明るさ0等級の流星に相当する半径1cmの粒に対し、約10 m/sである。また、半径1 μm の小さなダストの速さは100 m/s以上になる。

核からでてきたダストは、太陽から引力のほかに斥力をもうけ、太陽と反対側にふきながされ尾をつくる。この斥力の源は、太陽の光の圧力、つまり輻射圧と、太陽風とである。一般に、電磁波が物体の表面で反射または吸収されて運動量に変化がおこると、反射、吸収した面に力がはたらく。これを輻射圧という。たとえば太陽光は、地表の1 cm^2 あたりに、約 4×10^{-8} ダインの輻射圧をおよぼしている。このように輻射圧の大きさは、光のあたっている面の断面積に比例する。これに対し、万有引力は

* 東京天文台
Keiji Saito: Interplanetary Debris, A Review of the Current State of Investigations.

質量または体積に比例してかわる。そのため、小さな粒では、引力にくらべて輻射圧にもとづく斥力の割合が、粒の小さなほど大きくなる。

古くベッセルとプレディヒンとは、彗星のダストの尾の形を、粒にはたらく太陽引力と輻射圧とのバランスとして説明した。ちかごろ、イギリスのフィンソン、プロブスタインは、この古典理論を発展させ、実際に尾の、形明るさ、ダストの大きさの頻度分布をもとめる方法を考えた。それを、1956年のアラン・ロラン彗星の尾に応用して、ダストの平均半径を数 μm 、放出の速さを 150~300 m/s と求めている。

このように、彗星から放出されるダストの大部分はミクロンサイズで、輻射圧が強くはたらいて彗星軌道からはずれる。母彗星が放物線にちかい長周期の軌道をもつとき、軌道からすこしでもはずれたダストは、放物線や双曲線の軌道にうつり、やがて太陽系からうしなわれる。アメリカのハービットは、このことから、太陽系にのこりうるダストの半径の最小値を計算してもとめた。それはハリー彗星(周期 76 年)のダストで約 20 μm 、短周期彗星では約 2 μm である。これらより大きな粒は、軌道面上で、彗星のちかくにのこり、軌道運動をつづける。

アラン・ロラン彗星では、実際にそうした粒の集まりが目や写真でみとめられた。すなわち、地球がこの彗星の軌道面を横ぎったとき、軌道面上で彗星のうしろに、長さ 10^7 km、厚さ 10^4 km の光のすじとして、ダストの拡がりが見測された。ホイップルによると、この厚さから粒の放出速度が推定でき、約 5 m/s となるという。

2.3 彗星から小さな速度で放出された粒の、母彗星との軌道のちがいは、およそつぎのようになる。まず、彗星の運動方向やそれと反対の方向に放出された粒は、母彗星に対し周期と離心率とがすこしかわる。運動方向に垂直に放出された粒は、軌道傾斜角や、昇交点黄経などがかわる。これらのうち、観測上もっとも著しくあらわれるのは、周期の変化である。母彗星の周期を P 、近日点での速さを V 、生じた粒の放出速度を v とすると、母彗星と粒との周期のちがいは、

$$\Delta P = 3P^{5/3} V v$$

第1表 フィラメントの生じる時間

流星群	母彗星	周期(年)	時間(年)
こと	1861 I	415	2500
ペルセウス	1862 III	120	1800
オリオン	ハリー	76	1200
しし	テンペル	33	
りゅう	ジャコビニ	6.4	700
ふたご	—	1.6	160

となる。 v で放出された粒は、つぎの彗星回帰のとき、 ΔP 年だけ早く、または遅れて近日点をとおる。何周かのうち、流星物質は彗星軌道上にほそくひろがり、軌道の全周にわたるフィラメントを形づくる。軌道に垂直に放出された粒はフィラメントに太さをつける。

チェコスロバキアのプラベクは、いま実際に活動している流星群について、フィラメントのできあがる年数を計算してしめた。第1表のようにこの年数はかなり短く、 $v=10$ m/s のとき、数百~数千年である。これで見ると、母彗星のすぐちかくだけに濃い流星物質の雲があると考えるのは正しくない。そういうことのおこるのは、若い特別な彗星の場合だけである。

2.4 若い流星群の例としてジャコビニ彗星に属するりゅう座流星群をとりあげてみよう。この彗星は、1900年にはじめて発見された周期 6.4 年の木星族彗星である。1898年に木星に非常にちかづいたはずで、軌道の形が大きくかわって、それまで近日点は地球軌道より外側にあったものが、地球軌道とまじわり、彗星が発見されたばかりか、流星群も見られるようになった。流星群の活動期は 10 月 8—10 日、輻射点はりゅう座の、 $\alpha=262^\circ$ 、 $\delta=+54^\circ$ にある。彗星は、1913, 26, 33, 40, 46, 59, 65 年の回帰に観測された。

1933 年の回帰では、ヨーロッパ大陸で流星雨が観測され、極大では、1 分間数百個の流星が数えられた。継続時間が 4~5 時間だったため、アジアやアメリカではまったく見られなかった。

1946 年の回帰では、彗星が降交点をとおって 15 日後に地球がその場所に達するというので流星雨が予想された。このときは北アメリカで観測された。継続時間は 5~6 時間で、おりから満月だったが、極大では 1 分間 70 個が数えられた。また、そのころからはじめられた電波による観測で、1 分間 160 個が数えられた。

そのほかの年は、1952 年に小流星雨が観測されたほかには、回帰の年でさえ流星群の活動はほとんど認められていない。そのあと彗星は、1958 年に木星にちかづき、地球軌道との間隔が大きくなってしまった。しかし 1969 年にふたたび木星にちかづいた。そのため彗星と地球との軌道がふたたび交わり、1972 年の回帰では、流星雨が見られると期待されている。

ジャコビニ彗星が地球の軌道を横ぎってから ΔM 日のうちに、地球がその場所に達して流星雨が見られたとする。この流星物質は、彗星から放出されてから観測されるまでに、軌道を s 回まわっているとすると、その年数は sP 年である。また、前に定義した ΔP を用いて、 $\Delta M = s\Delta P$ と書ける。これらの式に数値をいれて計算すると、流星物質が彗星から放出されたのち観測されるまでの時間は、

第2表 ジャコビニ流星物質の生成

彗星の降交点通過	流星雨	ΔM	sP	
			$v=10$ m/s	30 m/s
1933.7.15	1933.10.8	80日	48年	16年
1946.9.18	1946.10.8	15	9	3
1972.8.10	(1972.10.8)	59	35	12

$$sP(\text{年}) = \frac{\Delta M(\text{日})}{0.167 \times v(\text{m/s})}$$

となる。 $v=10$ m/s, 30 m/s のとき、この式からもとまる年数を、第2表に示した。これでわかるように、流星雨を降らせた物質の生成の時期は、数十年～数年前である。たとえばプラベクは、1946年の流星雨に対して、写真観測の輻射点の広がりから、流星物質の軌道に垂直方向の放出速度をもとめ、 $v=30$ m/s としている。すると表から、放出時期は、わずか3年前である。

イギリスのデービスとツルスキーとは、流星物質が放出された時期を 1890～1900 年ころと仮定し、放出速度をいろいろに仮定して、うまく地球に衝突して流星になる軌道を、摂動計算をおこなってみつけた。それによると、1894 年ころ、速度数 m/s で軌道の方向に放出された粒が、1933, 1946 年の流星雨を生じたという結果になる。

2.5 流星物質が軌道の全周にわたった段階では、フィラメントの太さは数万 km のていどで、地球がとおりすぎるにも、数時間しかかからない。

つぎの段階で、惑星の摂動が軌道の各部分に随意にはたらき、軌道はしだいにひろがって太くなる。母彗星の存在するばあい、この太い流れのなかにあたらしいフィラメントがくわわり、構造はさらに複雑である。流星の活動は数日から数週間にわたり、毎年おなじ活動をあらわす。いちじるしい流星群は、ほとんどこの段階にある。

顕著な流星群のうち、エンケ彗星に関連する6月、11月のおうし座流星群、ハリー彗星に関連する5月のみずがめ座、10月のオリオン座流星群はとくに大きい。地球軌道のちかくでの流星物質の流れの太さ d は、前者のばあい、活動期間が約2カ月だから $d=1$ 天文単位に達する。後者でも、流星群の軌道の分布をしらべると、 $d=0.6$ 天文単位におよんでいる。

これらのように、流星群はまとまった群を永久にたもつことはできず、惑星の摂動をうけてしだいに軌道の分布が広がり、ついに散在流星と区別ができなくなる。すなわち、流星群は限られた力学的寿命をもつといえる。

顕著な流星群の活動を流星雨の古記録などによって過去にさかのぼると第3表がえられた。この表から、記録のある期間と、今日の流れの太さとから、軌道が黄道面

第3表 流星群の寿命

流星群	母彗星	周期	古記録の期間	広がり (A.U.)	寿命 (年)
こと	1861 I	415年	2000年<	0.07	$2 \times 10^5 <$
オリオン	ハリー	76	1500<	0.6	$2 \times 10^4 <$
みずがめ η	ハリー				
ペルセウス	1862 III	108	1000	0.4	2×10^4
しし	テンペル	33		0.2	3×10^4
おうし	エンケ	3.3		1.0	6×10^3
しぶんぎ	—	5	(1800)	0.05	$2 \times 10^5 <$
みずがめ δ	—	4.2		0.2	$3 \times 10^4 <$

全体にひろがる時間を算術的にもとめて、力学的寿命の上限值と考えると、 $10^4 \sim 10^5$ 年となる。

アメリカのマースデンは短周期彗星の惑星による摂動を数世紀にわたって計算した。チェコスロバキアのクレシヤクはそれを使って、太陽から1天文単位の距離で、木星族彗星の平均的な軌道の広がり、100年につき0.12天文単位であるとしている。すると軌道の変化はかなり速く、流星物質は $10^3 \sim 10^4$ 年で散逸してしまう。

3. 輻射圧による散逸

3.1 観測からの推定によると、群流星は、散在流星をふくめた流星全体の約30%をしめる。散在流星と区別のできない小流星群は群流星にふくまれないから、これは、いわば群流星の割合の下限值である。

もしも、散在流星をふくめた個々の流星物質の寿命が、流星群の力学的寿命にくらべてひじょうに永いとするとき、流星全体のなかの散在流星の割合は、ひじょうに大きいはずである。実際はそうでないから、散在流星も力をうけて太陽系空間からうしなわれたり、黄道光物質やガスに分解して消えていると考えられる。つまり、流星物質の寿命は、流星群の力学的寿命にくらべて桁はずれに大きくはないはずである。

流星物質にはたらく力は、大きく3つの種類にわけられる。第1は、惑星の摂動力と、その引力で惑星に落ちこむ効果である。上にするしたように、流星群の散逸にもっとも効果的にはたらくとみられる。第2は太陽の光輻射および太陽から吹きだす荷電粒子(太陽風)の作用、第3は流星物質、黄道光物質のたがいの衝突作用である。

太陽の輻射圧は、軌道運動をしている粒にはたらくとき、力の方向が太陽と粒とを結ぶ動径の方向と、精確にはずこしことなる。たとえば、粒が円運動をしているとき、太陽の引力はもちろん、運動に直角な円の中心の方向にはたらくが、輻射圧は直角からずこし運動の方向に傾いた前寄りからはたらく。つまり、1種の光行差が生じる。ポインティングとロバートソンは、相対論を用い

てこの現象を理論的に説明した。この方向の傾きのために、粒を運動と逆に引きもどす分力が生じる。そして粒の角運動量はたえず小さくしづつ小さくなり、粒は正しい円軌道ではなく、ゆっくりと太陽に落ちこむらせん軌道をえがく。

太陽風の作用も、結果としてはポインティング・ロバートソン効果と似ていて、その効果を強めるはたらきがある。また太陽風が惑星間物質にあたると、粒は表面から風化され、永いあいだには、こわれてなくなる。

アメリカのワイアットとホイップルとは、ポインティング・ロバートソン効果が、惑星間物質の進化に重要な役割を演じることを明らかにした。彼等の計算によると、半径 s cm, 密度 ρ g/cm³ の粒が、軌道半径 a 天文単位の円軌道から、太陽にらせんをえがいて落ちこむ時間は、

$$0.7 \times 10^7 \text{ } s \rho a^2 \text{ 年}$$

である。流星物質のように楕円軌道のばあいは、はじめ近日点距離はほとんど一定で遠日点距離だけがちぢまり、軌道がしだいに円に近づく。そのあとで円軌道のとくおなじようにらせんをえがいて太陽に落ちこむ。木星族彗星に相当する軌道として、近日点距離=1, 離心率=0.7 の粒を考えると、太陽に落ちこむ時間は、

$$T = 3 \times 10^7 \text{ } s \rho \text{ 年}$$

となる。この式から半径 100 μ m, 1 mm, 1 cm の粒の、ポインティング・ロバートソン効果による寿命は、10⁵年, 10⁶年, 10⁷年のていどである。

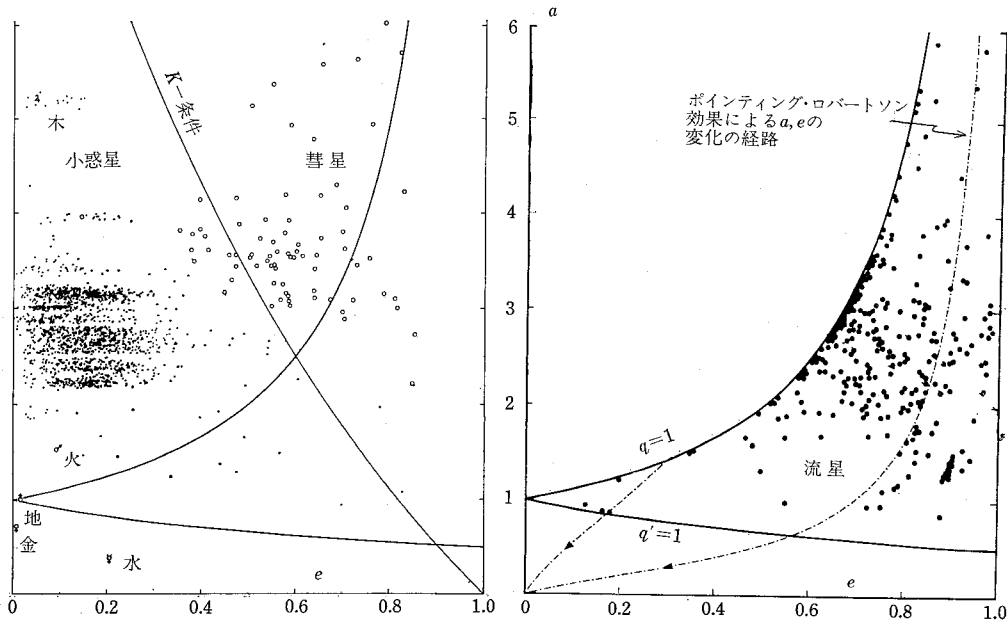
3.2 輻射圧のはたらきが惑星間物質の分布の上にとの

ように作用していると考えられるか、散在流星の観測の統計にもとづいてのべてみよう。

一般に流星物質は、軌道によって流星として観測にかりやすいものと、本来観測が不可能なものがある。たとえば近日点距離が1天文単位をこえる大きな軌道や、遠日点距離が1天文単位に達しない小さな軌道をもつ粒は、地球軌道とまじわらず観測できない。グラフの縦軸に長半径 a , 横軸に離心率 e をとり観測された流星の a, e の値をプロットすると、点の分布範囲は第1図のように太い2本の曲線のあいだに限られる。惑星間物質という立場から見ると、観測にこうした選択効果のあることは注意を要する。たとえば図のように、 e の小さい流星は、 e の大きなものにくらべて、観測できる a の範囲がせまい。したがって e の頻度分布だけを見て、たとえば離心率の小さな流星物質はすくないといった判断をすることはできない。このばあい、意味があるのは、数ではなく図の上の点の密度である。

ホイップルは、ハーバード天文台で撮影した明るい写真流星の統計をしめた。軌道は大きく2種類にわかれる。全体の20%は、 $e \sim 1, a > 5$, 軌道傾斜角 i は $0^\circ \sim 180^\circ$ にわたっている。70%は $e < 0.7, a < 5, i < 35^\circ$ である。これらはそれぞれ、長周期彗星、短周期彗星の軌道の特徴とよく似ている。つまり、明るい流星のほとんどは、彗星の崩壊物らしい。のこり数%は、小惑星の軌道と似たところがある。

マク罗斯キー、ポーセンは、ハーバード天文台のスー



第1図 小惑星、彗星、流星の a, e の関係
 q, q' は近日点, 遠日点距離, 水, 金, 地, 火, 木は惑星を表わす

パーシュミットカメラで写された、+4 等級までの割合に暗い写真流星の統計をしめた。軌道の種別は、明るい写真流星と似ているが、それより多様である。とくに、明るい流星では $a < 1$ がなかったのに、暗い流星では 10% みられる。彗星と小惑星とを軌道の特徴でわけようとするとき、ホイップルの K -条件というものを用いることがある。

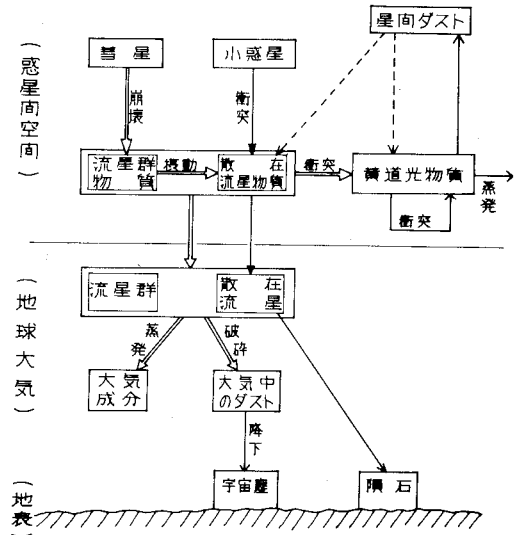
$$K = \log \frac{a(1+e)}{1-e} - 1$$

彗星では $K > 0$ 、小惑星では $K < 0$ である。上の写真流星をこの基準にてらしてしらべると、明るい流星では 6%、暗い流星では 26% が $K < 0$ となる。このことは後者で、 a や e の小さな流星の割合が多いことをしめている。その原因は、ポインティング・ロバートソン効果にあると考えることもできる。

3.3 イギリスのデービス、ジルは、ジョドレルバンクで観測した電波流星の統計をしめた。流星の明るさは実視等級になおして +5~+7 等級である。まず、全体の 40% は、 $a > 2$ である。それらはいっばんに e が大きく、 i は小さく、 $i = 90^\circ$ 付近や $i > 90^\circ$ つまり逆行のものはすくない(種別 1)。60% は $a < 2$ である。この種類は e の大きさでさらに 2 つにわかれる。 $e > 0.5$ のものは i が小さく、種別 1 を小型にした軌道をもつ(種別 2)。つまりそれらの軌道はつぶれた楕円で、黄道面に集中している。 $e < 0.5$ のものは、 $i = 60^\circ, 140^\circ$ の付近に集まっており、 $i = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ の付近はすくない。つまりそれは、黄道面と大きく傾く円に近い軌道をもつ(種別 3)。

デービス、ジルは、これら 3 種別の生じた理由をつぎのように説明した。流星物質は、はじめ木星軌道の外側にひろがる大きな長周期軌道にあったと考える。軌道面の分布は一樣で、したがって i の分布は $\sin i$ に比例して 90° にちかいものが多い。それらの軌道がポインティング・ロバートソン効果で木星のちかくまで収縮してきたとき、軌道は円にちかい形になっている。ここで流星物質は木星の作用を強くうけ、軌道面が木星のそれにちかいものは全部、木星と衝突してうしなわれる。木星に吸収されなかった流星物質は、摂動力をうけるが、はじめの i が小さいと大きな摂動をうけ、離心率の大きな楕円軌道にかわる。すなわち、木星族彗星に似た軌道になる。これが種別 1、2 に相当する。はじめの i が 90° にちかくしてしかも小粒の流星物質は、危険区域をすみやかにとおるぬけて生きのこるが、そのとき小摂動をうけ i が減じる。これが種別 3 に相当する。

アメリカのホーキンスは、ハーバード天文台で電波観測した +8 等級までの流星の統計をしめた。そのなかの 10% は、黄道面との傾きが大きく ($i = 40 \sim 80^\circ$) 円



第 2 図 惑星間物質の散逸

にちかい ($e = 0.3 \sim 0.7$) 軌道を運動している。ホーキンスはこれらを、無線通信に使うトロイダルコイルの形に似ているとみて、トロイド群と名づけた。彼はまた、トロイド群が、ハーバード天文台の +11 等級までの電波流星にもっと著しくでていること、写真流星には認められないことをのべている。トロイド群は、デービス、ジルの種別 3 と一致する。

オーストラリアのニルソンは、アデレードで観測した +6 等級までの電波流星の統計をしめた。これにも、トロイド群に相当するものがみられる。また、彼は、軌道の近日点黄経の頻度分布に規則性のあることをしめている。そして一樣な分布から、観測された規則性が生じる時間を 10^6 年とみつもっている。

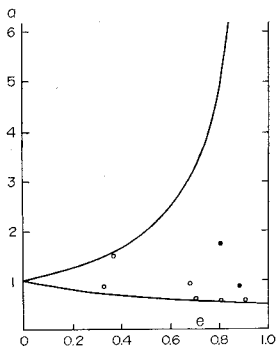
3.4 いままでしるした観測の統計は、たがいによく一致しているとみてよいだろう。これらとおして、流星物質の起源は二通りあるといえる。第 1 は、写真流星として観測できる、割合に大粒の物質で、おもに彗星の崩壊で生じ、散在流星に移ってきたものである。第 2 は電波流星の一部分にみられるトロイド群で代表される小粒の物質で、はじめから小さな粒として存在し、太陽系の外域から地球軌道ちかくまではいりこんだ疑いのもたれる物質である。これらのほか、小惑星起源の流星物質があると、誰もが考えているが、軌道の特徴ではっきり分離できるところまでは、いっていない。(第 2 図)

このような分類には、反対の意見もある。ソビエトのレベデニツは、ハルコフで観測した +7 等級までの電波流星の統計から、流星の軌道はすべて、彗星の崩壊物として説明できるとのべている。彼によれば、写真流星は

- (a) 短周期彗星の崩壊物 (大部分)
- (b) 長周期彗星の崩壊物 (のこりの部分)
 であり、電波流星はつぎの (c), (d) の重ねあわせである。
- (c) 勝手な i をもつ成分 (i の小さなものはすくない)。近日点距離が $q=0.1\sim 1$ まで一様に分布し、 e は $0.1\sim 1$ にむかって系統的に多くなる。
 これは長周期彗星の崩壊物である。トロイド群もこのなかにふくまれる。彼によれば、トロイド群を、ポインティング・ロバートソン効果で生じた物質群とみるのは無理であるという。
- (d) 小さな i をもつ成分。 $a < 3, q < 0.3, e > 0.7$ の小さな、太陽ちかくに落ちこむ、つぶれた楕円軌道をもつ成分。

この種の流星物質は、ふつうの短周期彗星より a が小さく、 e が大きいから、彗星物質からポインティング・ロバートソン効果で移ってくることはありえない。母彗星として、 e が大きく、 q の小さなとくべつな短周期彗星を考えねばならない。その彗星は、極端に太陽にちかづくため、数回の回帰で分解し、短命で、現在はないのであろう。しかし、(d) 成分の量を説明できるためには、100~1,000 年に1コあらわれればよいという。

3.5 金星、火星へいったパイオニア 8, 9 号は、黄道光物質の観測装置をのせていて、 $a=0.7\sim 1.1$ 天文単位の



第3図 パイオニアの観測した黄道光物質

空間で、2年間にわたってそれらの採取や軌道の観測をおこなった。軌道のわかった粒は8コあり、大きさは $1.7\sim 4\ \mu\text{m}$ であった。 a, e, q の値がわかっており、軌道は2組に分かれるようにみえる(第3図)。6コは、太陽にちかづく楕円軌道

つまりレベデニツの (d) 成分、2コは円にちかい軌道をもつ。これらが黄道光物質の代表であるとすれば、黄道光物質の軌道は電波流星とよく似ているといっただろう。

4. 衝突による散逸

4.1 流星物質も黄道光物質も、粒が小さなものほど数が多い。粒の大きさを質量であらわし、地球大気の単位面積に、単位時間に降ってくる質量 m 以上の粒の総数を N とすると、観測によれば

$$N = Km^{-S}$$

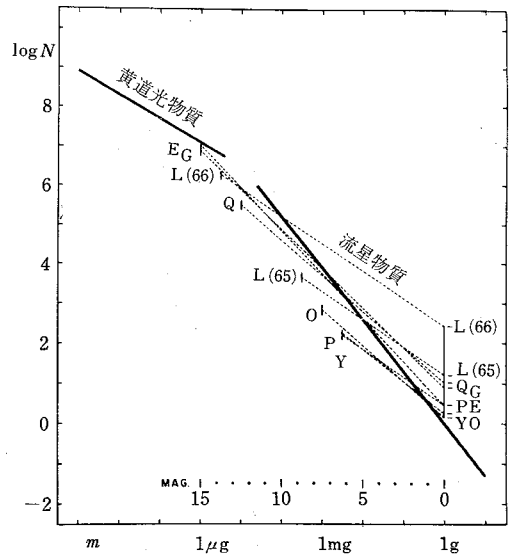
第4表 惑星間物質の累加質量指数

物質	質量 (g)	ミルマン	ドナニ
黄道光物質	$10^{-10}\sim 10^{-5}$	0.6	0.5
散在流星	$10^{-5}\sim 10^1$	1.3	1.0~1.3
群流星	"	みずがめ η 1.1 ふたご 1.0 しぶんぎ 0.9 オリオン 0.9 こと 0.8 ペルセウス 0.7 しし 0.7	新* 1.3~2.0 古* 0.3~0.7 (*理論から推定される値)

がなりたっている。 K, S は定数で、 S を累加指数という。グラフの横軸に $\log m$, 縦軸に $\log N$ をとって、 m, N の関係をあらわすと、直線がえられる。 S はこの直線の勾配にあたる。

S の値は、流星物質に対して写真流星、電波流星の観測にもとづく実測値がある。黄道光物質に対しても、ロケットや人工衛星による実測値と、黄道光観測からみらびいた計算値がある。それぞれ一定範囲の値をもつことがわかっている。第4図と第4表とに、カナダのミルマンがまとめた S の値をしめした。

図でわかるように、散在流星と群流星とは、 S 値がはっきりことなる。たとえば1966年のしし座流星雨では、0等級以上の明るい流星の総数は、散在流星の1,000倍もある。しかし、暗い流星までふくめると、この比はし



第4図 惑星間物質の質量分布
 L: しし (1965, 66), Q: しぶんぎ, G: ふたご,
 P: ペルセウス, E: みずがめ η , Y: こと,
 O: オリオン座各流星群。

だいにちぢまり、10等級までの流星数では、両者の数はほとんどひとしい。さらに小さな流星までふくめると、流星雨はかえって散在流星の多数のなかにうずもれてしまう。表にしめされた顕著な流星群のどれについても、おなじことがみられる。

一般に彗星から流星物質が生じるとき、まえに示したように、ミクロンサイズの粒の割合が多い。ところが流星群は、上でみるように、散在流星よりも小さな粒の割合が少なくなっている。彗星から生れていまにいたるあいだに、 S の値が変化することがわかる。変化のおこる原因の1つは、多分ポインティング・ロバートソン効果で、小さな粒がさきに散在流星のなかに散逸するのであろう。また原因の1つは、惑星間物質どうしの衝突であって、粒がこわされ質量の頻度分布がかわるのであろう。1つの粒について、これらの原因のいずれが効果的にはたらくかは、粒の大きさと、惑星間物質全体の空間密度とに左右される。

アメリカのベルグがもとめたあたらしいデータによると、地球軌道の付近で惑星間物質の総フラックスは、

$$N=10^{-4}/\text{m}^2\cdot\text{sec}\cdot 2\pi \text{ ster.}$$

で、地球大気の 1m^2 に1秒間に 10^{-4} コの粒が降っている割合になる。計算によるとこの空間密度のとき、大きさ約 $30\mu\text{m}$ 以上の粒は、ポインティング・ロバートソン効果で流星群軌道から散逸するまえに、ほかの粒との衝突でうしなわれる。このことから、一般に流星物質の S の変化に、衝突の方が効果的にはたらくと考えるべきだろう。

4.2 アメリカのドナニは、衝突によって粒の大きさ分布のかわることを検討して重要な結論をえた。彼によると、散在流星についての S の実測値は、人によって多少ちがいがあ、最小1.0、最大1.33のあいだにある。ところが流星物質どうしの衝突を考えると、この値はそのままでは定常的にたもたれない。それは理論的に、それぞれの質量範囲について、衝突でこわれてなくなる数の方が、大きな粒がこわれてこの質量範囲にはいつてくる数より多いはずだからである。 $S=1.0\sim 1.33$ がたもたれるためには、したがって小さな粒の割合が多いような粒の供給源が必要である。その供給源の累加指数を σ とすると、 $S=1.0\sim 1.33$ に対して、 $\sigma=1.33\sim 2.0$ であればよい。実際の供給源は、彗星から生じて時間を経っていない若い流星物質で、惑星の摂動によって散在流星物質のなかに流入してくる。

つきに、この供給源にあたる流星群自身も、時間がたつにしたがって散在流星物質の衝突をうけ、 σ がしだいに

変化して小さくなる。まえに実例でしめしたとおりである。とくに母彗星がなくなってしまうと、新しい流星物質は補給されず、 σ は小さくなるいっぽうである。はじめの $\sigma=1.33\sim 2.0$ が $\sigma=0.33\sim 0.66$ に減じたとき、その流星群のそれぞれの質量範囲について、散在物質の衝突で小さな粒へ移っていく数と、大きな粒からこわれてくる数とが釣りあい、分布は安定状態となる。

ドナニによると、電波観測で+6等級以下の暗い流星群物質の σ の実測値は $\sigma=0.5$ にちかい。これは上の、安定状態に達しているのである。おなじ流星群でも明るい写真流星については $\sigma=1.0$ にちかく、いまもお初期状態の分布がのこっている。1つの流星群で粒の大ききのちがいにによって σ の値がことなるのは、散在流星との衝突回数に差異があるからである。このことから流星物質の寿命は $10^4\sim 10^5$ 年になるという。

ドナニは、衝突のあとでも流星物質の軌道が、流星群がなくなるほど大きくは乱れないことを、暗に仮定している。それがなりたつかどうかの理論的な研究は、今後の問題だろう。

4.3 上の議論が正しいとすると、ジャコビニ流星雨のように生れたての流星群では、電波、望遠鏡的な小流星の割合が大きいきみこみがある。アメリカのワトソンによると、1933年の流星雨の等級べつ流星数をほかの流星群とくらべると、小流星がいちじるしく多かった。流星の明るさは質量のほか速度に強く依存するから、これがすぐ小物質の多かったことになるか問題だが、ワトソンはじっさい、質量分布がふつうとちがっていたと考えている。

流星物質や黄道光物質が地球大気のダストや金属原子成分の割合をかえて、ある種の現象を生じているという推定がある。以前から、ナトリウム大気光の起源は惑星間物質ではないか、疑われている。そのほかちかごろでは、薄明の散乱光、 Ca^+ の発光の強度が流星活動と相関があるという観測や、オリオン座流星群の活動期に、ロケットにのせた質量分析器で、 C_2^+ 、 CN^+ らしいイオンを検出するなど、いくつもの報告がでてい。流星群がつねに、たえず一様に降っている散在流星や黄道光物質のしのごほど大きな影響を生じるか疑問があるが、あるとすれば、小粒の物質の多い流星雨のとき、いちじるしく現われるだろう。

将来、この種の流星雨の見られるとき、望遠鏡での観測を組織的におこなって、サイズ分布を確かめることは意義があると考えられる。