

隕石と宇宙塵の話

島

誠*

まえがき

宇宙に関する研究は、古くから多くの人によって行われてきた。しかも最近では、人工衛星や宇宙旅行の話題が毎日のように報道され、月の試料も近く入手できるという情勢である。これら多くの華やかな研究の陰にかくれて、あまり目立たないけれども、天界から地球にやってくる固体物質を中心に、従来の天文学や地球物理学的手段によらない宇宙空間の物質の化学的鉱物学的な研究が行われている。

関連する多くの専門分野の方々からみれば、おしかりをうけるようなことがらも多いと思うが、まずここで宇宙物質の定義として、われわれの手のとどく範囲の物質という意味に用い、しかも直接実験室で料理でき得る材料という枠をつくる。もちろん宇宙線や光なども、実験室で料理できるものであるが、これらは区別した。現にいま人類の手の中にある宇宙の固体物質としては、有名な隕石があり、テグタイトおよび宇宙塵がある。あとの二者については、やや疑問があるにしても、これらの物質から、われわれは多くのことがらを学びとってきた。そして、科学の進歩と共に、どのようなことがいま行わ

れているかというような点を中心に、その概要を解説することにしてしよう。

隕石の研究の歴史

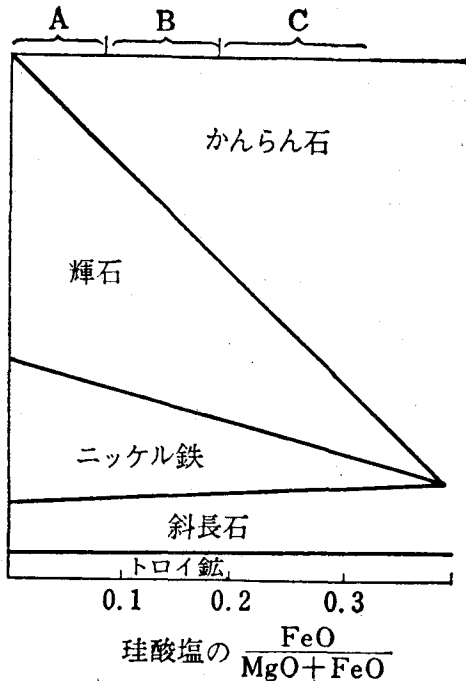
宇宙空間の物質の代表として、隕石があることは、多くの人がすでに知っている。博物館などでよく見られるように、隕石は、鉄を主成分にした鉄隕石と、岩石と同様な外観をしていて珪酸塩を主成分とした石質隕石、および前記両者が半分ずつ混合したような石鉄隕石に大別される。第1表に、代表的な分類表を示そう。この表には、隕石の量と数も示してある。地表の岩石がいろいろに分類されるように、隕石にも幾通りか異った分類表があるが、化学成分や構成している鉱物によってより細分化され、大体第1表のように示されるのが普通である。このうち石質隕石が、コンドライトとエイコンドライトに分けられているのは、前者にコンドルールと呼ばれる粒状物質が入っており(月報アルバム参照)、後者にはそれがなくて一見地表の岩石と同じに見えることで分類された。コンドルールの大きさは $0.1 \sim 1 \text{ mm}$ で、地表の岩石などには、全く見つからない物質である。

第1表 隕石の分類

隕石の分類	細分類の例と、主な構成鉱物	個数	総量 (kg)
鉄隕石	Hexahedrite (Kamacite) Octahedrite (Kamacite, taenite) Ni-rich ataxites (Taenite)	545	約 50000
石鉄隕石	Pallasite (Olivine, Ni—Fe) Siderophyre (Orthopyroxene Ni—Fe) Lodranite Mesosiderite	12	約 10000
石質隕石	コンドライト Enstatite chondrite Olivine-bronzite chondrite Olivine-hypersthene chondrite Olivine-pigeonite chondrite Carbonaceous Chondrite (32 個)	約 900	約 20000
	エイコンドライト Basaltic Achondrite (Enstatite, Hypersthene, Olivine, Ni—Fe) Chondritic Achondrite (Augite, Diopside, Olivine, Plagioclase)	約 70	

* 理化学研究所

M. Shima: Meteorite and Cosmic Dust.



第1図 石質隕石の構成鉱物の変化
 A: 頑火輝石コンドライト
 B: 古銅輝石かんらん石コンドライト
 C: しそ輝石かんらん石コンドライト

1959年、チェコにおいて偶然、隕石の落下がシュミットカメラに撮られて軌道計算が行われ、小惑星帯の附近から落下してきたことがわかるまでは、隕石が確実に宇宙空間の何所に存在していたかという科学的な証明はなかった。しかしながら18世紀の半ば頃には、多くの科学的文化の進歩とともに隕石も研究対象にとり上げられ、鉱物学的な研究と主要な化学成分の分析結果や隕石の落下を観測される例が増えたことなどから、地球物質ではないことは知られていた。この頃の研究には地質鉱物学的手法が利用され、各種の鉱物が隕石の中から発見され、新鉱物名の記載が多かった。それと同時に、隕石の分類にも力がそそがれ、例えばプライオールの定律といわれるようなものが発表されて、隕石の成因および分化の方向などが検討された。この定律は、第1図に示すように、石質隕石の間には化学成分や鉱物組成に相関関係があるというものである。この関係は、岩漿から岩石が分化してきて来る状態に似ているもので、隕石の母体が推定され得ると考えられた。鉄隕石には、ウィットマンステッテン構造と呼ばれる特種な構造がみつかり(月報アルバム参照)、ニッケルの含量と共に形体も異なることなどが報告され、この構造から隕石の冷却速度などが推算された。

化学分析などの技術が発達した19世紀に入ると、微量

成分の研究が行なわれ、いわゆる元素の宇宙組成などの設定に、隕石の関与した功績は大きい。太陽や星の化学成分が分光器で分析され、同時に隕石や地球物質中の元素の存在度が定まって、少くとも地表に存在している元素と同様な元素が宇宙空間にもあり、また全く異なった元素は存在していないなどのことが確かめられた。この頃には、地球の内部構造の推定に隕石の知識が活用され、有名な地球の模型、例えば中心殻は鉄隕石で、マントル部は石鉄隕石、地殻部は石質隕石と同様な物質で構成されているとのアイデアがでてくる。模型については、いろいろの変遷があるが、もとを正せば隕石から教示されたことに主因がある。

元素の存在度については、同位体の発見に引き続き、それら同位体核種の宇宙における存在度を知らうとする目的で、隕石を構成する元素の同位体核種の測定が質量分析や放射能測定の進歩に歩調を合わせて開始され、同位体存在比の初期のデータが得られた。結論としては、隕石(宇宙代表として)と地球物質の同位体組成は大体同様であることがわかった。

1960年頃から、人類が宇宙空間に関して異常な興味を示すようになり、人工衛星実験が行われるようになると、隕石に対する関心が再びでてきて、近代的な種々の研究方法が応用されている。

特徴的なこととして、核科学の知識の発達に伴う領域での研究と、さらに詳細な組成の検討が行われなじめたことである。前者の仕事は、元素の起源とか年齢および歴史などに、より確からしい証拠をつくり出して来た点に功績があるが、話が広範囲になるので、項を改めて話を進めることにする。後者については、先ず微細な鉱物組成の検討がX線マイクロアナライザーなどで開始され、多くの鉱物がより確実に決定された。

隕石を構成している鉱物として、すでに報告されたものを分類し、第2-A表には地球上にも存在し、かつ隕石の中にも見出されたもの、第2-B表は隕石だけに発見され地表物質中では未だ報告のないものをそれぞれ示した。このような鉱物は、それらが生成される時の環境、すなわち隕石の生成時の温度とか圧力などを推定するのに使用されている。もちろん、高温で安定な鉱物と低温で安定な鉱物が一つの隕石の中に共存しているような例も多い。また隕石中には、有名な鉱物として例えばダイヤモンドなどもある。隕石の生成時の環境は、物理化学的な研究から3万気圧で約1300°Cというような相当な高温高圧も推定されるけれども、いろいろの鉱物からの情報を集めた結果、大体の隕石は温度が1000°C~700°C、圧力は20キロバールくらいで生成され、冷却がかなり早いと考えられる。

鉱物ではないが、隕石のうちの炭素質隕石には有機物

や水が多く含まれているので、低温で生成されたことも考えられるし、また近年それらの隕石から、生物の孢子らしきものが認められると信ずる人達がでてきて話題となっている。生物の問題を離れても、この種の隕石は、宇宙空間物質の原始物質に近いと考えて重要視する一派もあるが、降下の量が少いので、なかなか思うようには研究が進められない。この種の隕石に含まれる水のことは、太陽系に属する惑星の大気組成に重要な関連があり、とくに地球上の水圏や生物の問題を取扱うときに大きな役割を演ずる。

第2-A表 隕石中の鉱物（地表産鉱物と同種のもの）

鉱物名	化学式
Kamacite	(Fe, Ni)
Taenite	(Fe, Ni)
Copper	Cu
Gold	Au
Diamond	C
Graphite	C
Sulfur	S
Moissanite	SiC
Cohenite	(Fe, Ni) ₈ C
Alabandite	(Mn, Fe)S
Pentlandite	(Fe, Ni) ₉ S ₈
Chalcopyrrhotite	(Cu, Fe)S
Valleriite	CuFeS ₂
Chalcopyrite	CuFeS ₂
Pyrite	FeS ₂
Mackinawite	FeS
Spalerite	ZnS
Quartz	SiO ₂
Tridymite	SiO ₂
Cristobalite	SiO ₂
Rutile	TiO ₂
Ilmenite	FeTiO ₃
Spinel	MgAl ₂ O ₄
Magnetite	Fe ₃ O ₄
Chromite	FeCr ₂ O ₄
Magnesite	MgCO ₃
Calcite	CaCO ₃
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂
Breunerite	(Fe, Mg)CO ₃
Olivine	(Mg, Fe) ₂ SiO ₄
Orthopyroxene	(Mg, Fe)SiO ₃
Clinopyroxene	(Ca, Mg, Fe)SiO ₃
Plagioclase	(Na, Ca)(Al, Si) ₄ O ₈
Zircon	ZrSiO ₄
Ureyite	NaCrSi ₂ O ₆
Richterite	Na ₂ CaMg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH, F) ₂
Serpentine	Mg ₆ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈
Apatite	Ca ₅ (PO ₄) ₃ Cl
Graftonite	(Fe, Mn) ₃ (PO ₄) ₂
Sarcopsidite	(Fe, Mn) ₃ (PO ₄) ₂
Gypsum	CaSO ₄ ·2H ₂ O
Epsomite	MgSO ₄ ·7H ₂ O
Bloedite	Na ₂ Mg(SO ₄) ₂ ·4H ₂ O

隕石の年令について

元素の存在度は、太陽や隕石ではほとんど同じであるとのべたが、詳細に検討すると、ガス成分や鉄などに多少の差がある。その原因については、今のところ明らかな説明はなされていないが、ただ一般に偶数質量の核種は、奇数の核種に比べて安定度が高いので存在度も大きく、数種の核種が安定であるとか、奇数のものはただ一種の核種が安定であるなどの規則性は見出された。この規則性を説明するのに、近年の核物理の知識を利用して、星の内部における元素の生成課程のイメージが画かれて

いる。多くの核種については、Hの燃焼にはじまり、次いでHe、さらにC, N, Oに進み、中性子の活躍で、より高質量の核種が生成したとするような説明でよいらしいことは御存知の通りであるが、軽元素とくにLi, Be, Bなどの生成については、いまだに疑問が多く、隕石の軽元素核種の研究は重要なテーマの一つになっている現状である。

隕石も、地球の岩石や鉱物と同様に、放射能元素による時間の尺度を用いて、年令が測定されている。この場合、隕石が固化した年代という意味にとると、一般には45億年という数字がでてくる。この数字はまた、地球の年令とも近似して、隕石や地球が最後に固化したのは大体同じ頃らしいと推定される根拠とな

第2-B表 隕石中の鉱物（隕石だけで見出せる鉱物）

鉱物名	化学式
Lonsdalite	C(六方晶系)
Cliftonite	C(重合した炭素)
Schreibersite	(Fe, Ni) ₃ P
Osbornite	TiN
Perryite	Ni ₃ Si
Troilite	FeS
Oldhamite	CaS
Ninningerite	(Mg, Fe)S
Daubreelite	FeCr ₂ S ₄
Djerfisherite	K ₃ CuFe ₁₂ S ₁₄
Gentnerite	Cu ₈ Fe ₃ Cr ₁₁ S ₁₈
Lawrencite	(Fe, Ni)Cl ₂
Merrillite	Ca ₃ (PO ₄) ₂
Farringtonite	Mg ₃ (PO ₄) ₂
Panethite	Na ₂ Mg ₂ (PO ₄) ₂
Brianite	NaMgCa(PO ₄) ₂
Stanfieldite	Mg ₃ Ca ₄ Fe ₂ (PO ₄) ₆
Merrickueite	(K, Na) ₂ Fe ₅ Si ₁₂ O ₃₀
Roedderite	(K, Na) ₂ Mg ₅ Si ₁₂ O ₃₀
Sinoite	Si ₂ N ₂ O

っている。しかしながら、隕石の中の希ガスとくに Xe の同位体を研究しているうちに、その同位体の一種である Xe^{129} 核種が異常に濃縮していることに気付いた。なぜこのような核種が多いかという点を解釈するために、一番もってもらしい説明は、元素が生成された時に出来た I^{129} 核種が、壊変して Xe^{129} になり、隕石の中に保存されていたという考え方である。 I^{129} というのは、地球の年令に比べて半減期 (2.5×10^7 年) が短いので、現在の地球には存在していないけれども、元素生成時にはあつたと考えられる核種である。このような種類の核種は I^{129} 以外にも、2, 3 あって、消滅核種といわれている。このことから、隕石が固化する以前の宇宙における、元素の生成の問題に手掛りができてきた。すなわち元素核種の生成から隕石が固化するまでの間は、約 10^8 年程度あつたらしいということがわかった。

つぎに、元素の生成は星の内部で H の燃焼にはじまり、つぎつぎに合成されたと考えられている。しからば

第3表 鉄隕石および石質隕石中に見出された宇宙線生成物
(放射能は落下の時の値を示す) (本田による)

測定された核種	半減期	鉄隕石の例		石質隕石の例	
		放射性同位元素 dpm/kg	安定同位元素 3×10^{11} atom/g	放射性同位元素 dpm/kg	安定同位元素 3×10^{11} atom/g
H^3	12.6年	50±10		260±30	
He^3			655		43.5±5
He^4			2540		790(全 He^4)
Be^7	53日			100以下	
Be^{10}	2.5×10^6 年	4.1±0.4		19±2	
C^{14}	5600年	1.8±0.25		63±6	
Ne^{20}			8.5		8.5±1
Ne^{21}			8.15		9.0±1
Ne^{22}			8.6		9.6±1
Na^{22}	2.58年	2.1±0.3		90±9	
Al^{26}	7.4×10^5 年	3.6±0.4		60±0	
Si^{32}	約500年	0.8±0.3			
P^{32}	14.5日			約14	
Cl^{36}	3.1×10^5 年	16±2		7.5±0.8	
Ar^{36}			28		0.80±0.16
Ar^{37}	35日	20±4		23±4	
Ar^{38}			43.5		1.22±0.24
Ar^{39}	265年	16±2		10±1	
K^{40}	1.3×10^9 年	7.6±0.5	28±2		
K^{41}			49		
Ca^{42}			70		
Ca^{43}			89±8		
Ca^{44}			100		
Ca^{45}	164日	5±1			
Ca^{46}			1.9±0.2		
Sc^{45}			140		
Sc^{46}	84日	30±3		6.2±0.6	
Ti^{44}	約200年	4.4±0.4		2.0±0.2	
V^{48}	16日	90±45		34±7	
V^{49}	330日	164±16		34±5	
V^{50}			215±18		
Cr^{51}	27.8日	260±120		110±27	
Mn^{53}	$> 2 \times 10^6$ 年	515±52		85±17	
Mn^{54}	300日	470±47		100±13	
Fe^{55}	2.6年	1600±600		340±80	
$Co^{56}+Co^{58}$	平均74日	120±34		14±4	
Co^{57}	240年	89±9		11±1	
Co^{60}	5.26日	17±2		9±1	
Ni^{59}	8×10^4 年	60±15		12±3	

その元素が、今からどれくらい昔にできたかということを考えよう。いままでに、隕石が固化してからの年令は約45億年、そして元素生成後隕石固化まで約1億年と述べたが、ここでは U^{238} と U^{235} の核種の生成割合を中心に、その年数を考えよう。星の内部で生成される U^{238} は、はじめから U^{238} としてでき上がったものばかりではなく、 Pu^{242} , Cm^{246} , Cf^{250} からでもできるし、 U^{235} は Pu^{239} , Am^{243} , Cm^{247} , Cf^{251} , Fm^{255} などからも供給される。そして、 U^{238} と U^{235} のできる割合は、大体のところ 6:4 で、 U^{235} が少しよけいに行けることになる。もしこれらの元素が、一度にできたと仮定すると、ほぼ 6.5×10^9 年前にできたことになるし、またこれらの元素が、隕石の固化までの間に連続的に生成され続けていたとすると、 12×10^9 年以前にこれらの元素の生成がはじまったと考えられる。このように、宇宙の年令を数字で書き表わすことが、隕石を中心とした研究で開始されている。そして少くとも宇宙の年令には、元素の生成の時期、生成後から隕石固化までの時期、そして隕石の固化から現在までという3つの区切りが、今のところ考えられている。

隕石の年令を研究しているうちに、測定の方法や測定する隕石によって、年代が少し新しく出る場合がある。例えば、年代決定法のうち K-Ar 法や U-He 法といわれるような、ガス成分の関与する決定法では、新しい年代を示す傾向がある。このことは、隕石の中からガス成分が逃げ去ったと考えることで説明できる。同時に、隕石の中には宇宙線の照射によって核反応がおこり、ガス成分の添加もおこり得るので、説明はあまり簡易には行えないが、少くとも隕石の中に気体を保持していた期間、すなわち年令を推定できると考えられ、いろいろの仮説が出されている。

宇宙線の照射によって生成される核種は、宇宙線生成物といわれ、この研究からまたいろいろと面白い事実がみつげ出されてきた。宇宙空間においては、地球上で受けるよりもより強い宇宙線が、隕石を照射している。その結果、主として破砕反応が隕石の主成分である Fe や Si についておこり、多くの核種が生成する。この核種の研究は、微量の放射能測定や高分解能の質量分析計による測定技術の発達に伴って、近年とみに盛んになってきた。現在までに、希ガス成分以外に Be, C, Al, Si, P, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni などの同位体がみ

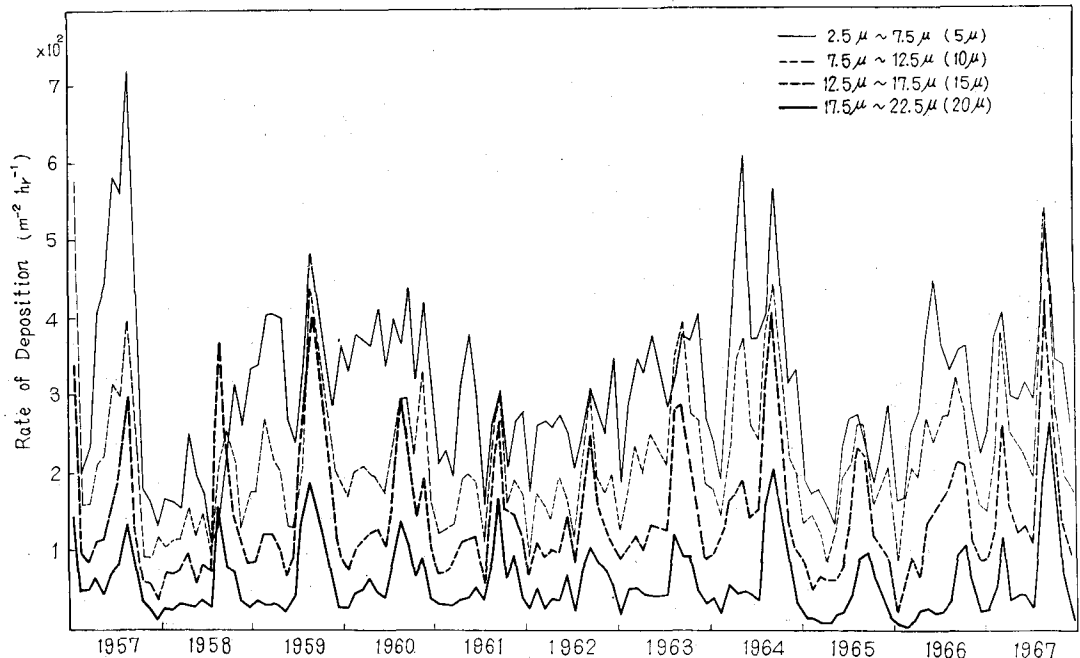
つかっている（第3表参照）。これらの核種の中には、放射能をもって半減期の長いものと、短いものが組合さっており、うまく組合せて用いると、隕石が宇宙線の照射を受けていた年代を計算することもできる。少しばかりの仮定、例えば宇宙線の強度が照射年代を通じて一定であったなどのことを用いると、鉄隕石では数億年、石質隕石では数千万年くらい照射を受けたと考えられる。また隕石の中には、いつ地球に落下したのか記録のないものも多い。この場合に、落下した時代を確定する試みも、宇宙線生成物を利用して行われている。半減期の異なる質量数の近い核種、例えば Cl^{36} と Ar^{39} を用いて、両者の比と壊変の式を組合せると、落下してから現在までの年代が求められる。もちろん、考古学でよく用いられる C^{14} など利用できる。しかしこれらの場合には、隕石が宇宙空間に存在していた時に、表面を磨耗しないことなどを仮定しなければならない。

とにかく隕石を中心として、宇宙空間におけるいろいろの現象を、時間を尺度にして考えられるようになって来たことは、大きな意義があろう。そして、元素の起源についても、多くの知識を与えてくれており、核物理や核化学の知識とともに、元素の生成機構にまで論及できる時代になったことは事実であろう。

宇宙塵について

宇宙塵は、宇宙生成の初期から太陽系の生成および現

在に至るまでの宇宙生成論において、多くの学説のアイデアとして利用されてきたが、その実体についての科学的な研究は、極めて少い現状である。とにかく、隕石は確実に宇宙物質であるが入手できる機会が少く、落下の時期や場所なども不確実で、研究資料に不便を感じている。しかし宇宙塵は、年間を通じて全地球表面に $10^4 \sim 10^6$ トンも降下していることになっており、割合に容易に採集し得る宇宙物質と考えられる。しかし地表で採集された宇宙塵は、確実に宇宙空間に存在していたものかどうかあまり確かでないし、また地表の他の物質との区別も困難である。このことが、他の宇宙空間の対象の研究に比べて、現在の宇宙塵研究が幼稚な段階にある理由となる。宇宙塵という名称も、多くの学者によってその定義が異なる。古い時代には、流星や彗星の一部が塵になったとして、流星塵や彗星塵と呼ばれたり、隕石の破壊した粉末と考えて隕石塵と名付けられたりした。また天文学的には、黄道光物質に由来する塵であるとか、夜光雲に由来する塵であると考えられる立場の人もある。核物理や宇宙生成機構を研究する学者は、宇宙創成とか宇宙形成の際の存在物と考える人もいて、決して一つの定義には定め得られないようである。しかしながらこれらの名称も、宇宙塵の成因などについての見解からつけられることが多いので、筆者はともかくにも、宇宙から地球表面に降下してくる塵を総称して、宇宙塵ということにしている。



第2図 宇宙塵降下の経年変化の1例（岡山での観測を整理したもの）

人類が宇宙塵に気がついて、科学的に研究をはじめたと思われる最初のもは、1821年にスペインにおいて電の中の鉄粒の存在を報告した例がある。その後ヨーロッパを中心として、氷、雪、雨および空気中からの採集の記録があり、次いで海洋研究の発展とともに、海底土中に埋れている宇宙塵の研究もはじめられたが、これらの

研究はごく定性的な観察や博物学的な研究が主であった。次いで気球、航空機などの発達によって、空中における採集が可能となり、宇宙塵の高度分布の研究が行われ、降下量の変動、粒度組成（直径の分布）の検討および宇宙塵の宇宙空間や空気中における運動の計算などが行われてきた。

第4表 各地で採集した宇宙塵の化学成分表 (%)

採集地及び採集法	直径 (μ)	粒子数	Fe	Ni	Co	Mn	SiO ₂	他の元素で含ま れているもの
南極空気中 ろ過法	10~30	4	70~60	15~1	+	0.5~0	+	Cr, Zn, Cu
		2	70~50	-	-	0.5~0	10~5	Ti, Al
		5	10~1	-	-	+	70~60	Al, Ti
南極氷 (昭和基地及び マクマード基地) ろ過法	<10	1	60	3	-	-	+	Cr, Zn, Cu
		2	70~60	-	-	+	5~0	Ti
		8	5~0	-	-	0.5~0	60~50	Ti, Al
	10~20	16	80~55	20~0.1	+	1~0	1~0	Cu, Zn, Cr
		10	70~50	-	-	0.5~0	10~5	
		12	5~0	-	-	+	10~50	Ti, Al
	>20	13	60~55	10~0.1	+	0.5~0	+	Cu
		12	65~60	-	-	+	5~0	Cu, Zn
		35	5~0	-	-	+	70~50	Al, Ti
空気中 (岡山, 東経 134°12', 北緯 34°10') ガラス粘着法	<10	12	80~50	20~1	-	+	+	Cu, Zn, Cr
		44	90~70	-	-	+	10~0	
		23	10~1	-	-	-	70~60	
	10~20	38	80~50	20~1	5~0	+	+	Cr, Ti
		187	90~70	-	-	+	10~0	
		23	10~1	-	-	-	70~50	Ti, Al
	>29	15	80~50	20~1	5~0	+	+	Zn
		67	90~70	-	-	+	10~0	
		1	1	-	-	+	70	Al
空気中及び雪 (乗鞍) ガラス粘着法 磁石法	10~20	2	80~70	8~3	0.5~0	1~0	-	Cu, Zn
		1	70	-	-	-	+	
		4	5~0	-	-	-	70~50	Ti
>20	2	+	-	-	-	70	Al	
空気中(飛行機) 粘着紙法	10~40	7	70~68	8.5~0.7	0.5~0	5~0	+	Ti, Al, Cu
		3	80~65	-	-	0.5~0	10~0	Cu
		10	10~0	1	-	+	70~50	Ti, Al, Cu
空気中(気球) 粘着紙法	10~20	3	65~40	3~0	+	8~1	10~0	Ti
		1	70	-	-	+	5	Ti
		3	5~0	-	-	+	70~60	Ti
海底泥(太平洋) 磁石法	5~30	3	65~50	20~0.1	0.5~0	+	+	Cu, Cr
		3	60~45	-	-	0.5~0	10~5	Ti
		4	5~0	-	-	0.5~0	70~60	Ti, Al

+: 微量に含まれている -: 全く含まれていない

これらの研究で最も大きな問題は、宇宙塵と地表物質を完全に分離することができず、また観測手段としての顕微鏡などに限界があって、例えば極微細な粒子についての研究は困難であった。また化学組成についても分析の手段がなく、X線マイクロアナライザーや放射化学分析の利用ができるようになった近年までは、ごくおおよその推定分析が行われたにすぎない。最近になると、人工衛星やロケットによって、大気圏外に存在する塵の研究も開始され、直接採集したり、または間接的に観測したりして、塵の物性の探求が行われている。

また気象学の立場から、雨粒の最初の核として宇宙塵を考える例もでてきて、降雨の周期との関連などもとり上げられている。

宇宙塵の物性

(1) 宇宙塵の直接採集法

宇宙塵を直接採集してその物性を研究するために、(a) 空気、雨、氷または雪をろ過する方法、(b) 粘性物質を塗布し、空気に接触させて集める方法、(c) 磁石などを用いて集める方法、などがとられる。地表物質の混入を避けるために、採集場所としては、大都市や人の多い地方などを避けた高い山頂、灯台、大洋上または両極地方などが選ばれている。飛翔体を利用して行う場合には、高空でのみ作動する採集装置を使用して回収を行う。海底泥中から採集する場合には、(c)の方法がよくとられる。また大量に宇宙塵を必要とする場合には、両極地方の氷とか、海底泥を利用したりする。この場合に、宇宙塵の選別を特に行わず、地表物質の混入をそのままに化学処理を試みることも行われている。

(2) 直接観測による粒度・降下量など

顕微鏡を用いて粒度分布を測定すると、直径10ミクロン以下のものは測定誤差が大きいが、総合すると

$$\log N = a + bD$$

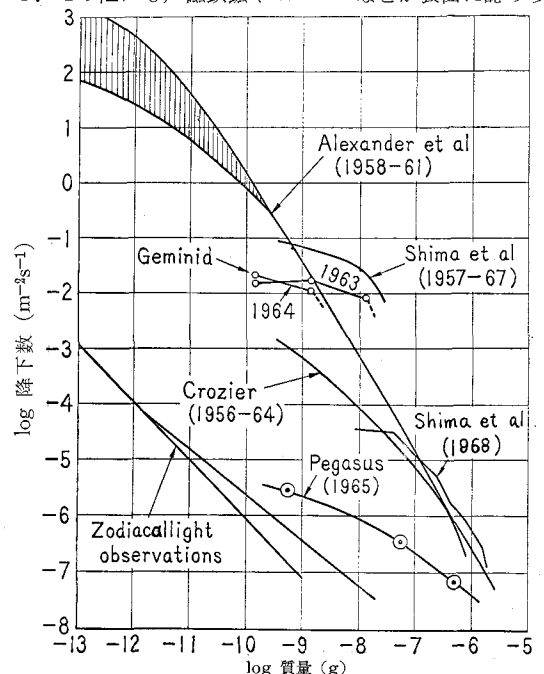
なる関係が得られている。 D は粒の直径、 N は粒の数、 a は大体3.15で、 b は0.04~0.1の間になる。

連続的に観測を行い、降下数の年変動を追求した研究では、アメリカと日本で約10年間の測定がある。興味あることは、季節変化が確実に見出せることで、日本の場合、秋季に数が増加する(第2図参照)。日変化は、観測者により見出されたとする例や、見出されない例などが報告されている。また、宇宙塵降下の緯度効果は、人によって、あるとする人やないとする人がある。地球の歴史において、過去に降下量の変動が存在するとの見地から、海底泥や南極氷の堆積状況を研究した例もある。宇宙塵の降下量の研究は、細粒部分の測定に問題があるにせよ、古くから推定が行われており、直接に宇宙塵を採集してそれから計算する例、または黄道光の観測から推

定する例、および化学元素の定量分析から推算する例などがある。従来は $10^5 \sim 10^6$ トン/年の程度の降下量が考えられてきたが、人工衛星やロケットによる観測および南極氷の中の宇宙塵の研究などから、年間 $10^4 \sim 10^5$ トンと考えた方がよいと報告されている。

(3) 宇宙塵の物性

宇宙塵は従来、鉄、ニッケルのような金属球が主で、直径も10~50ミクロンくらいのものが最も多いと考えられてきた。最近では、化学分析技術の発達に伴い、多くの結果が得られ、第4表に示すように、例えば鉄、ニッケルを主成分とする群、鉄を主成分とする群、および珪酸塩を主成分とする群の3つに分類できる。この場合、黒色球状の物質について研究されたが、この他にもテクタイトと同様なものの発見もあり、ガラス物質の化学組成も検討されている。通常、鉄隕石に近い化学組成の群のものは、全黒色球状物質の約20% くらいの数になるが、この群の試料も含めて、他の2つの群の物質が宇宙空間に存在していたとの科学的な証明は、まだ行われていない。また、球状の物質だけを一応宇宙塵として採集しているが、形状の不規則なものも存在することが、人工衛星による採集では認められている。しかし現状では、不規則な形のは、混入した地表物質にも多く見られ、その区別が困難なことから、一応球状物質に限定して研究を進めている。採集した宇宙塵の鉱物組成については、塵の断面を作って観察すると、鉄隕石にみられるテーナイト、カマサイトおよびかんらん石などが見られる。この他にも、磁鉄鉱やWüstiteなどが表面に認めら



第3図 落下粒子の降下量と質量の関係図

れ、とくに鉄金属、褐鉄鉱およびガラス物質が観察できる。断面の観察から、塵の内部組成と表面の組成とが異なる場合もあって、塵の平均化学組成の検討が困難なこともあるが、組成の一樣な場合も多い。化学組成の検討に関しては、X線マイクロアナライザーを利用するので、その欠点、例えば試料表面の状況による分析結果の不正確さなどがあり、半定量分析結果を得ているにすぎない現状である。

宇宙塵の粒子降下数と質量との間には、多くの直接または間接的な観測結果から、第3図に示すような関係が得られている。

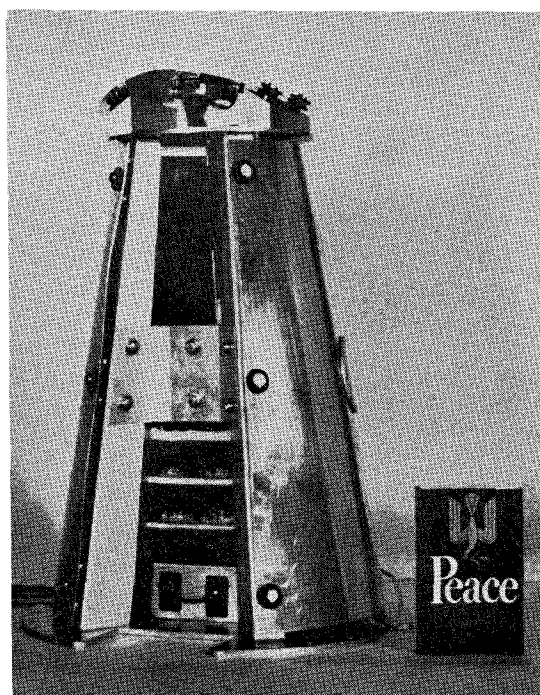
(4) 間接測定法

現在では、飛翔体の利用が盛んになり、宇宙塵を直接に採集することも行われてはいるが、直接採集には多くの困難があるので、間接的に測定する方法もある。例としては、彗星の尾や黄道光の観測などから、粒度分布などを間接的に測定する方法がとられてきた。飛翔体を利用する場合には、次のような装置を用いて間接的に測定を行っているが、いずれの方法も、宇宙空間に存在する塵の粒が、測定器に衝突する現象を、種々の方法で測定するのである。(a) Grid Wire 型 (粒子衝突による細いグリッドワイヤの切断を、電気的導通の有無で測定する)、(b) Capacitor 型 (粒子が薄膜に衝突通過する時に生ずる放電現象を測定する)、(c) Pressure Cell 型 (気体を封入した薄壁の容器に粒子が衝突穿孔し、それによる内圧の低下の測定)、(d) Penetration 型 (不透明な薄膜に粒子が穿った孔から通過してくる光量を測定する)、(e) Flash Light 型 (不透明な金属膜上の粒子の衝突点に生ずる熱発光点の測定)、(f) Laser 型 (レーザー光線を用いて種々の散乱計測)、(g) Microphone 型 (圧電素子を用いて粒子衝突の測定)。これらの装置は、取り付けが簡単で、最少のテレメーターチャンネルでデータを送ることができ、小さくて軽く丈夫なことが要求される。多くの場合(g)の方法がとられてきたが(第4図参照)、飛翔中の温度変化に伴うノイズの問題があって、光学的な方法の方が適当しているともいわれている。これらの装置で測定を行う場合、宇宙塵の宇宙空間における運動が問題となるし、またそれが地球に捕捉される機構なども不明である。また大気圏内での行動も追求でき難い現状である。しかし落下の速度や大気に飛び込む温度などは、種々の仮定の下に計算により推定されている。宇宙空間における宇宙塵の地球との相対速度は、古くは 100 km/秒とも考えられたこともあったが、最近では約 10 km/秒程度であろうと推定されている。このような速度では、測定器の表面でいわゆる超高速衝突 (hypervelocity impact) の現象がおこる。宇宙塵が測定器に感知される時、測定器の表面と塵の間に、破壊、蒸発、イオン化

の現象などがおこると考えられる。宇宙塵の間接的な測定では、この点の検討が最も大切になってきて、2, 3 の超高速衝突実験が、測定器開発のためとともに、観測結果との照合に利用されはじめている。

宇宙塵の確定

宇宙塵が、確かに宇宙空間に存在していたとの科学的な証拠は、多くの場合確実でない現状である。人工衛星で採集して来た物質は、やや確実性があると考えられるが、採集装置の製作途上または飛翔中に地表物質の混入が完全になかったとはいきれない心配がある。しかし宇宙空間で採集した塵と、地表で採集したいいわゆる宇宙塵との照合が、まず考えられる。つぎは、隕石の研究で開発された手段であるが、いわゆる Cosmogenic Nuclide (宇宙線の照射で生成された核種)を宇宙塵の中から検出することである。隕石と同様に宇宙塵が、宇宙空間に滞在していたとすれば、その間に宇宙線や太陽プロトンなどの照射を受けて、内部に新しい核種(第3表参照)が発生する。この種の反応を、ある仮定の下に推算し、例えば Cosmogenic Nuclide として Co^{57} , Co^{56} , Co^{55} , Fe^{55} , Mn^{53} , Al^{26} , Na^{22} および C^{14} が期待できるとの報告がある。その他にも Ni^{59} , Ne^{21} , Be^{10} , He^3 などの検出も検討されている。これらの核種の検出には、現在の測定限界を考えると大量の宇宙塵が必要となり、前記のごとく氷



第4図 ロケット塔載用マイクロホン式宇宙塵観測装置 (頭部および側面が全部マイクロホンで中心部は電気回路が入っている)

山や海底泥の処理が行われつつある。また隕石の研究から、隕石にのみ検出でき、地表では発見されていない鉱物がある。この種の鉱物は、現在のところ第2-B表のごとく、宇宙に特有の鉱物と考えられるので、宇宙塵の中にこの種の鉱物が発見できれば、宇宙塵が宇宙空間に存在していた証拠の一つになり得る。

このようにして、いろいろの試みが行われているが、このうちで宇宙線生成物による推定が最も有望であるらしい。従って、その仕事は現在世界各地で競争で行われているが、未だに定見ある結果は得られていない。

宇宙塵の成因については、定義のところでのべたように多くの説があり、今のところ明らかではない。また塵の組成も、いままで述べてきたものは、主に重元素組成のものであり、多くの天文学者が、星間物質として存在を予測している固体微粒子の化学組成は、大部分水(H₂O)であるとしており、これに水素分子やメタン、アンモニアなどが吸着されたり、凍りついたりしていると考えられている。重い元素は、その中にわずかな不純物として含まれているにすぎず、われわれの取り上げている宇宙塵は、極めて特殊なものかも知れない。

宇宙塵として取り扱っている物質が、実は地表物質であるとの立場で研究している人もある。これは原子爆弾や大きな火山噴火に伴う塵の行動から推定する考え方である。

おわりに

宇宙空間の物質の研究で、現在われわれの手の中にある隕石や宇宙塵を中心に、どのようなことが行われつつあるかという点について、ごく大略を述べた。近代のこれらの研究で、最も目につくことは、宇宙の年令の議論に数字を持ち込んで話を進めたことと、元素や隕石、地球の生成機構を、模型的に説明づける根拠が増加したことであろう。近く、月の試料も採集される予定であるが、いままでの研究方法がすぐにも適用され、月の物質の性質も解明されることであろう。いずれにしても、未知の問題が多い宇宙に対し、隕石や宇宙塵を手掛りに、いろいろのことが企画されており、その全貌を短い本文で述べることは不可能である。より詳しく知りたい方は、Mason 著: Meteorite (1962), Wood 著: Meteorite and the Origin of Planet (1968) および鳥著: 宇宙塵・隕石 (1967) などを参照されたい。また個々の研究論文に関しては、数も極めて多く、ここで紹介はできないので省略させて頂く。

隕石や宇宙塵について、結論的には何も解っていないと考えられ、適確な成因論すらない状況である。仮説としてのアイデアは、かなり沢山あるけれども、全く初歩的なことから仕事をつみ重ねて行かねばならない。従って、多くの関連分野の科学者はもちろん、この問題に興味を有する人達の協力なしでは、この研究は進展しない。本文をお読みになり、少しでも読者の関心が隕石や宇宙塵に向けられたとしたら、筆者の望外の喜びである。

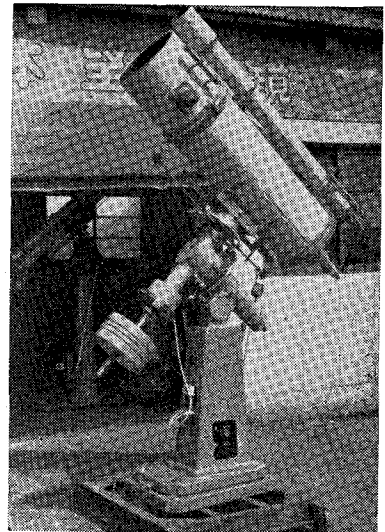
西村製の反射望遠鏡

- | | |
|----------|-------------------|
| 30cm "A" | カセグレン・ニュートン兼用 |
| | 10cm 屈折望遠鏡 (f/15) |
| "B" | カセグレン焦点 |
| | 15cm 屈折望遠鏡 (f/12) |
| 40cm "A" | カセグレン・ニュートン兼用 |
| | 15cm 屈折望遠鏡 (f/15) |
| "B" | カセグレン焦点 |
| | 20cm 屈折望遠鏡 (f/12) |

株式会社 西村製作所

京都市左京区吉田二本松町27
電話 (771) 1570, (691) 9589

カタログ実費90円郵券同封



30 cm 反射望遠鏡

ニュートン・カセグレン兼用