

南極における宇宙物質に関する研究 (I)

島 誠*・矢吹英雄*

STUDY ON THE EXTRATERRESTRIAL
MATERIAL AT ANTARCTICA (I)

Makoto SHIMA* and Hideo YABUKI†

Abstract

The study of the extraterrestrial material collected in Antarctica is reported. The extraterrestrial material comprises cosmic dust, tektite, and meteorite. Antarctica is the most suitable place for collecting such material, since the Antarctic Continent is covered with thick ice and is hardly contaminated by terrestrial material, so that the extraterrestrial material is easily picked up.

This report describes the chemical composition and the size distribution of cosmic dust. By the chemical composition, cosmic dust is classified into three groups, 1) Ni-Fe group, 2) Fe group and 3) silicate group. The glassy material composed mainly of silica is thought to be a kind of tektite. Annual fall rate of cosmic dust near Syowa Station would be estimated at 3×10^4 ton/year.

1. ま え が き

南極において、各種の観測が行なわれてきたが、その内、宇宙から降下したと考えられる物質、いわゆる宇宙塵、テクタイトおよび隕石などの固形物質に関する研究も、最近盛んになってきた。これらの物質は、現在、人類が入手できる唯一の宇宙物質であり、宇宙空間の科学の進歩に重大な影響を与えている(島, 1967)。地球上の他の地域で採集した宇宙物質についての報告と同様に、南極地域での報告も数がふえつつある。南極は、他の地域に比べて、採集に有利な点が多く、たとえば、南極大陸が水でおおわれていることから、いわゆる地表物質に由来する塵の汚染が少なく、宇宙塵の選別が容易になる点などがある。このほかにも、本文中で述べるごとく、多くの有利な条件があるので、各国の基地を利用した研究が増加しつつある。

* 理化学研究所。The Institute of Physical and Chemical Research, Yamato, Saitama-ken.

本報文には、筆者らが行なっている宇宙塵およびテクタイトの研究を主として、次いで南極で発見された隕石について述べる

宇宙物質の研究は、全般的に、隕石を除いて、また初歩的な段階の研究が多い。本報告も、幼稚なものであるか、南極を中心とした宇宙物質の研究か、今後、昭和基地で盛んになると考えられるので、予備的な報告を行なう。引続き結果を整理して、報告を行なう予定である

2. 宇宙塵について

宇宙塵については、宇宙生成の初期から現在に至るまでの宇宙生成論において、多くの予説のアイディアとして利用されてきたか、その実体については、科学的な研究がきわめて少ない。歴史的には、すでに18世紀にスペインで報告され、その後、定性的な研究が続けられて現在に至っている。主に空気中、雨水中および氷雪中から採集して研究されたか、19世紀に入り、海洋の研究が発展すると共に、海底泥中の宇宙塵についても注目されるようになった。次いで、気球や航空機を利用する採集法が行なわれ、宇宙塵の高度分布の研究が行なわれた。この頃までは、宇宙塵の博物学的な研究が主としてあって、降下量の変動とか粒度組成の検討がなされた。最近では、人工衛星やロケットにより、大気圏外に存在する塵の研究も開始されている。直接宇宙塵を採集して、その物質を研究することだけでなく、間接的な観測も行なわれ、たとえば、黄道光物質による研究なども、宇宙塵を対象として研究された。

宇宙科学の研究で、他の分野に比べ、宇宙塵の研究の発展が著しく遅れ、また初歩的な幼稚な段階にあるのは、試料採集に際して、地表物質の汚染を完全に分離できず、宇宙塵の物質の測定がきわめて困難なことに大きな原因がある。南極では、大陸の上を厚い氷原がおおっており、地上物質の混入が少ない点で採集に有利であり、また、地磁気の関係で、両極地方に宇宙塵が集中降下するとの説もあり、宇宙塵の研究には最も適当な場所の一つになる。

2.1 宇宙塵の採集および物性

南極における宇宙塵の採集は、現在の所、次の3つの方法が考えられる

- a) 南極氷を溶かし、その中に存在する宇宙塵を回収する
- b) 基地などに空気ろ過器を設置して回収する
- c) 基地で飛ばさせる気球などに採集装置をつけて回収する

c)の方法は、また行なわれていないか、a)およびb)を行なっている。a)の方法では、水を採集して、ろ紙で回収する方法と、基地の飲料水は氷をとかして使用するので、基地の水

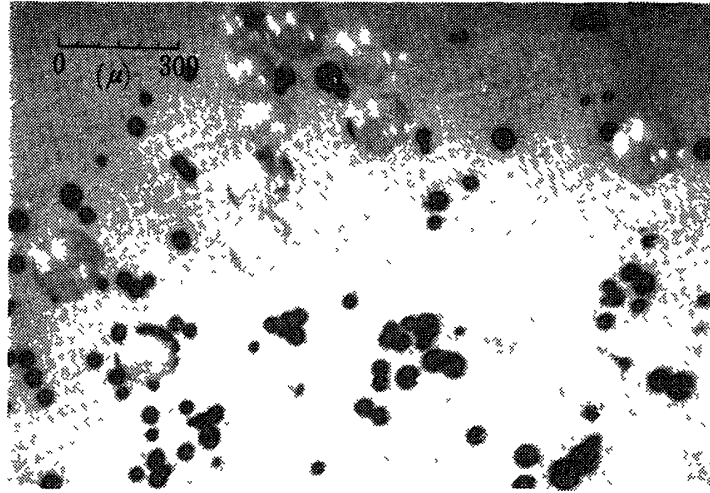


図 1 昭和基地で採集した宇宙塵

道のろ過器を利用する方法とがある。後者の結果および b) の方法の結果は整理中なので、本報では直接氷をとかして回収した場合について述べる。

使用した氷は、昭和40年12月、McMurdo 基地（米国）および Scott 基地（ニュージーランド）付近で、筆者らにより採集したものと、昭和41年および昭和42年に、昭和基地（日本）付近で、日本南極地域観測隊により採集され、当研究室に分けて頂いたものである。氷の中から回収した宇宙塵の一部を図1に示す。昭和基地付近の氷には、既にこの種の宇宙塵が観察されたと西堀氏らが報告している（西堀・石崎，1959）。図1には、黒色球状（直径10～50 μ ）のものと、透明なカラス状の球状（直径50～200 μ ）のものが認められる。球状の物質以外にも、形状の異なる物質はあり、その一部には宇宙塵もあると考えられるが、従来の報告によって、一応球状の物質だけを宇宙塵として取り扱うことにしている（島，1967）。

南極氷を溶かし、ろ紙でろ過した上に残った残渣を顕微鏡で観察し、モリブテン針を用いて球状物質を集める（図1参照）。集めた球状の宇宙塵の化学成分を、X線マイクロアナライザーで分析する（SHIMA and KIMOTO, 1966）。得た結果を表1に示す。南極以外の地域で採集した宇宙塵の化学組成も、参考のため表1に並記してある（島，1968b）。本分析法は、試料の表面状態による分析誤差が大きく、また球状物質の中心部と表面での組成の差異などもあり、分析結果は半定量の域を出ない。表1では、個々の分析結果を羅列すると数が多くなるので、各採集地点別に、鉄ニッケルを主成分とするもの、鉄を主成分とするもの、珪酸塩を主成分とするものの3組に分類し、それらの項での分析結果の範囲を示してある。

珪酸塩を主成分とするカラス物質について、屈折率を測定すると、1.504～1.508の間になる。また鉄ニッケルおよび鉄を主成分とする試料の横断面を作り、観察した鉱物を列記する。

表1 宇宙塵の化学成分表

試料採取点および方法	Size (μ)	No. of particle	Fe	Ni	Co	Mn	SiO ₂	Other elements (Present)
南極氷 McMurdo Station および昭和基地 (ろ過法)	<10	1	60	2	—	—	—	Cr, Zn, Cu
		2	70~60	—	—	+	5~0	Ti
		8	5~0	—	—	—	0.5~0	60~50
	10~20	16	80~55	20~0.1	+	1~0	1~0	Cu, Zn, Cr
		10	70~50	—	—	0.5~0	10~5	
		42	5~0	—	—	+	70~50	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
	岡山県久門虫明 (Slide glass法)	<10	12	80~50	20~1	—	—	—
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	10~0	—	—	—	70~50	Ti, Al
>20		15	80~50	20~1	5~0	—	+	Zn
		67	90~70	—	—	+	10~0	
		1	1	—	—	—	70	Al
乗鞍観測所 (Slide glass法, ろ過法, マクネット法)		10~20	2	80~70	8~3	0.5~0	1~0	—
	1		70	—	—	—	+	
	4		5~0	—	—	—	70~50	Ti
	>20	2	—	—	—	—	70	Al
航空機(日本上空) (粘着紙法)	10~20	3	70~68	5~0.7	0.3~0	0.3~0	+	Ti, Al
		1	5	—	—	+	50	Ti, Al, Cu
気球(太平洋上) (粘着紙法, 採集器法)	10~20	3	65~40	3~0	—	8~1	10~0	Ti
		1	70	—	—	+	5	Ti
		3	5~0	—	—	—	70~60	Ti
深海底土(太平洋) Lamont 研究所および 「淡青丸」で採集(マク ネット法)	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

+ trace, — absent

と、前者には鉄隕石にみられるようなカマサイト、ターナイト、およびかんらん石などがあり、時に磁鉄鉱や Wustite も表殻部に存在する。後者には、特に磁鉄鉱、褐鉄鉱および金属鉄などが認められる。

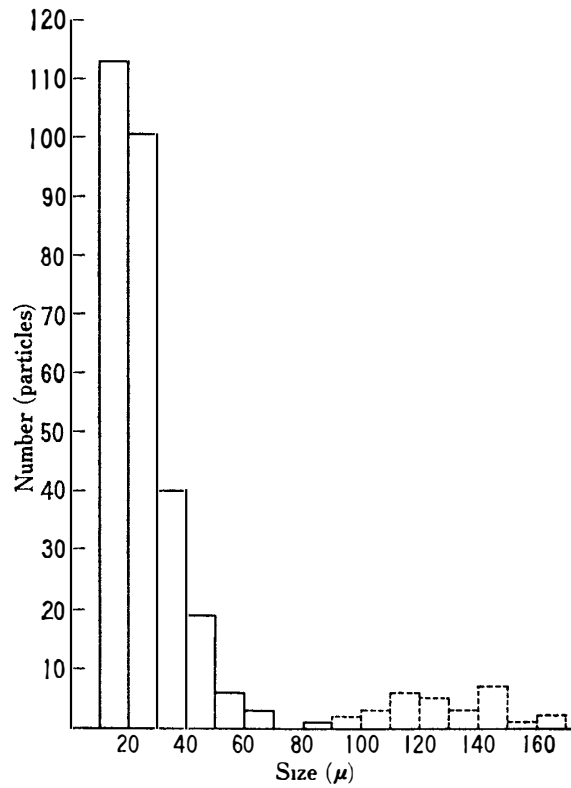


図 2 昭和基地宇宙塵の粒度分布の例

表 2 年間降下量の推定

粒子種類	対象試料	直径	降下量 (t/年)	備	考
流星	視観測の総計	5mm	1000	WILLIAM	1954
タスト(球)	深海底泥	25μ	100	BAEVASTU <i>et al.</i>	1955
〃	南極(昭和基地)氷中	>10μ	3 × 10 ⁴	this work	1968
〃	南極(McMurdo 基地)氷中	10μ	7 × 10 ⁴	SHIMA	1966
〃	Driveway 大気中	5μ	1 × 10 ⁵	CROIZER	1966
〃	New Mexico 大気中	5μ	1.6 × 10 ⁵	CROIZER	1965
〃	南極氷中	~	1.8 × 10 ⁵	TIEL <i>et al.</i>	—
〃	Greenland 氷中	5μ	2 × 10 ⁵	WRIGHT <i>et al.</i>	1963
〃	成層圏	3μ	2 × 10 ⁵	WRIGHT <i>et al.</i>	1962
〃	北極大気中	3μ	5 × 10 ⁵	HODGE <i>et al.</i>	1958
全タスト		5μ	10 ⁶	WRIGHT <i>et al.</i>	1963
〃	黄道光物質		10 ⁶	VAN de HULST	1947
〃	人工衛星 1958α		10 ⁶	DUBIN	1958
〃	人工衛星		<10 ⁵	WEIHRAUCH <i>et al.</i>	1967
化学元素	深海底泥(Ni)		10 ⁶ ~10 ⁷	PETTERSON	1962
〃	南極氷(Ni)		5 × 10 ⁵	PICCIOTTO	1967
〃	深海底泥(Ir)		<1 × 10 ⁵	BARKER <i>et al.</i>	1968
〃	深海底泥(Os)		<5 × 10 ⁴	〃	1968
隕石	落下観測	5cm	100	WATSON	1956

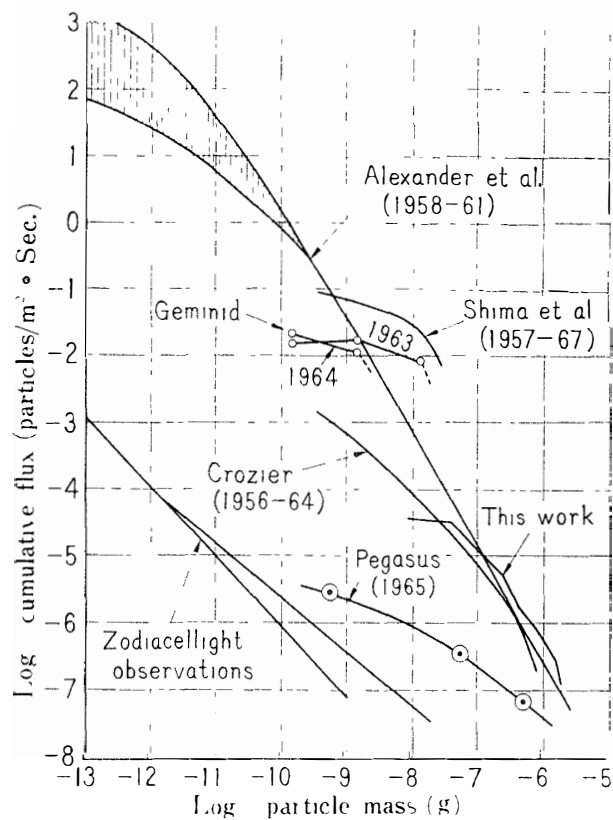


図 3 落下粒子の降下量と質量の関係図

宇宙塵の粒度の測定は、顕微鏡を使用するので、直径 10μ 以下のものは不正確になり、かつ見落とし数も増す。昭和基地で回収した宇宙塵の内、測定終了したものについて粒度分布を示すと、図2が得られた。図の実線は黒色粒を示し、破線はカラス粒を示す。

昭和基地における宇宙塵の降下量の推定を試みた。氷の採集地点および採集日は不確かであるが、ろ過した氷が水量にして60%に達した時の例を示す。回収した宇宙塵の個数は388個で、その粒度分布は、図2と同様とし、昭和基地の年降水または降雪量を400mm/yearとすると、表2に示す結果が得られる。しかし、南極の年降雪量を、BROCASらの推定値、70mm/year(BROCAS and PICCIOTTO, 1967)を用いれば 5×10^3 ton/year ということになる。表2には、他の地域または他の方法で報告された値もまとめて示してある。

次に、宇宙塵の研究において、通常行なわれる手段は、落下する粒子の降下量と質量との関係を考察することである。上に述べた結果を用いて、両者の関係図を求めると、図3が得られる。この図には、降下量と質量の関係について今迄に求められた多くの結果を利用して、一緒に示してある(島, 1968 b)。これらの結果は、計算によって求めたもの(たとえばALEXANDER)、間接的な観測によって求めたもの(GEMINIDの例)、実測値に根拠を求めた

もの (CROZIER の例など) などを, 一つの図で表わしてある

2.2 考 察

顕微鏡の観察により, 球状の物質だけを一応宇宙塵として回収しているが, もちろん形状の不規則なものも宇宙塵の中には存在すると考えられる. しかし, 従来の研究では, 地表物質の汚染物に不規則な形状の物質が多く, 区別に困難なこと, および筆者らの得た結果を, 南極以外の観測点の結果と比較検討する際に, 一応球状物質だけに限定した方が便利なことなどで, 単に便宜上, 球状物質だけを回収している.

粒度分布を測定する際にも, 顕微鏡使用による限界があって, 先にも述べたが, 10μ 以下の直径のものは不正確になる. 通常は外挿法により推定を行なっているが, ここではふれない. 粒度の細かい宇宙塵の数は, 大きい粒に比べて多いと言われており, 降下量の計算値を定める際の弱点ともなっている.

表2に示した昭和基地の値は, 氷が表面にあって, 外気と接しているとの仮定に立った計算値である. しかし, より深い部分, すなわち過去において, 宇宙塵の降下量が常に一定であったとは考えられず, その検討も必要である. 過去の降下量に対する検討としては, 南極氷を表面からボーリンクし, 深さを一つの尺度として, その位置の宇宙塵の存在量を追跡し, 変化の状況を研究した GLIOZZI らの報告がある(1966). 宇宙塵の降下量は, 過去において, 何回かの増減が観測されたか, ボーリンクの位置によっては, 増減の回数と深さが必ずしも一定とならないと報告された. この報告では, 測定した宇宙塵を, 粒度だけ検討しており, 化学組成の報告はない. またコア試料の深さは, 年代に比例するとも考えられが, その検討も行なわれていない. しかしながら, 南極の氷は, 経年変化を追跡する場合に有利な試料であって, 海底泥の堆積物を対象としたときよりも, 比較的地表物質の汚染を避けられ, 最も貴重な試料となる.

宇宙塵の降下量は, 数年前まで年間 $10^5 \sim 10^6 t$ 降下すると考えられていたが, 最近では $10^4 \sim 10^5 t$ と減少の傾向に計算されている. 特にロケットや人工衛星による観測結果も (NAUMAN, 1966), 以前に推定していた宇宙空間における塵の分布値より低い値が報告され, 現在では, $10^4 \sim 10^5 t$ が最も妥当とされている.

宇宙塵の回収に際して, モリブテン針を用いるのは, 化学成分, 特に微量成分の検討をする時に, モリブテンだけの汚染を考えればその他の元素の測定がてき得る理由による. 鉄合金針を用いると, 種々の元素の汚染の原因になるので使用できない.

化学成分については, X線マイクロアナライザーによる測定の欠点があるまま反映する

先にも述べたが試料表面の状況による誤差は大きく出て、特に球状の表面を測定した場合、半定量値を得るにすぎない点を注意せねばならない。宇宙塵を切開し、中心部の組成を検討したか、一部表面の殻に酸化膜を有するものもあって、内部の組成と異なるものもある。しかし、必ずしも全部の試料に共通した現象でもない。たゞ一部でも異なった化学組成の部分があることは、化学成分の平均値を議論するとき障害が出てくる。このような欠点があるにせよ、表1に示すように、宇宙塵は大別して3つの群に分類でき、南極以外の地点で採集した試料と大差のない結果が得られた。また、鉄-ニッケルの成分を有する試料は、全体の試料の約20~30%になり、この組成のものは、鉄隕石組成に近似している。従って宇宙物質として取り扱うことか比較的容易に考えられるか、鉄を主成分とする群と、珪酸塩を主成分とする群については、外見上、宇宙塵として取り扱っているが、問題を残している。また、鉄隕石に近似しているから、必ずしも宇宙物質であるとの証拠も、現在の所ではない。

化学成分だけで、宇宙物質と地表の物質に分けて検討することは困難が多い (WRIGHT and HODGINS, 1964)。しかし、マンガンの有無で宇宙物質の区別をする試みが行なわれた (FREDRIKSSON and MARTIN, 1963)。FREDRIKSSON 氏によれば、黒色粒状の宇宙塵らしい試料の中に、マンガンが検出できると、その試料は、地表物質と考える方が妥当であると報告している。しかし、現在までに得られた多くの分析結果を総合して、鉄とマンガンの関係図を作ると図4になる (島, 1968b)。この図には、宇宙物質の代表として隕石を用い、また地表物質の代表として各種岩石類の分析結果も書き入れてある。この図から、マンガンは、

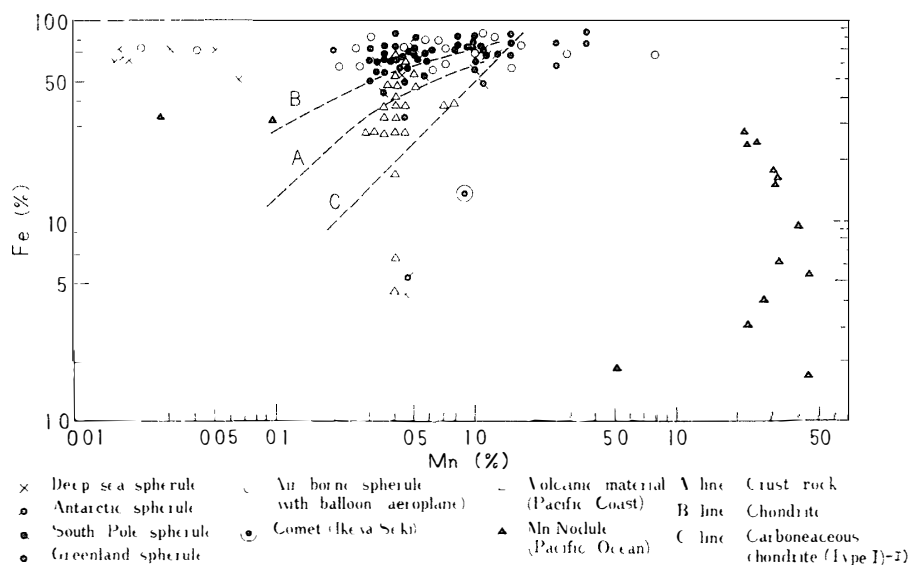


図4 各種の塵の Fe/Mn 比関係図

宇宙物質の隕石および池谷・関すい星の中でも認められ、鉄との比をとっても地表物質との区別の困難なことがわかる。このような試みは、PARKIN らによっても行なわれ (PARKIN and TILLES, 1968), 同様な結論を得ている。

固体の宇宙塵以外にも南極氷の中には、溶存状態の化学成分が、宇宙から供給された物質として存在していると、PICCIOTTO らは考えている(1967)。測定方法によって、ろ紙を通過するような微粒子も混在して検出されると考えられるが、イオン交換樹脂により回収されるイオン状のニッケルもあることが報告された。これは、固形の宇宙塵が、南極に降下した後、水の中で種々の化学変化を行ない、溶存状態になったとも考えられるが、とにかく、固体でない宇宙物質の存在が、南極氷中から見出された事は興味あることである。

宇宙塵の鉱物組成については、観察した試料が少ない。グリーンランド氷河の中から回収した試料について、El GROSSY が報告している(1968)。昭和基地の氷の中の試料で観察される鉱物は先に述べたが、グリーンランド産のものと同様である。隕石中には、地表で産しない特殊な鉱物があって(島, 1968a), それらの特殊な鉱物が宇宙塵の中も見出せると、宇宙塵が、隕石同様に、宇宙物質であるとの証拠になる。しかしながら、そのような鉱物は、また見出されていない。興味あることは、宇宙塵の中に Wustite が存在することである。Wustite は、隕石の表面殻の中に風化鉱物として見出される。宇宙塵の表層に Wustite が存在することは、隕石が大気圏に突入した時に生成される風化鉱物と同様に、宇宙塵が大気圏に突入した形跡を残していることになる。このことは、宇宙塵が大気圏外に存在していたと考えられる一つの証拠となるかも知れない。

3. テクタイトについて

テクタイトは、カラス状の物質でオーストラリア南部では数多く発見されている。従って、南極大陸にも分布している可能性があるか、現在までに1例の報告があるにすぎない。SHIMA の報告では(1966), いわゆるテクタイトと同じ物質とするには大きさが小さすぎるので、マイクロテクタイトとして提唱された。化学成分や鉱物学的な検討からは、殆んどテクタイトと同様なものである。宇宙塵の項で述べた南極氷中のガラス物質は、図1に示すように直径 $50\sim 200\mu$ で、珪酸塩を主成分とすると記載した。この昭和基地付近で見られるカラス物質も、Scott 基地付近で報告されたマイクロテクタイトと同じで、これらは、宇宙塵としてよりも、テクタイトとして分類でき得るかも知れない。

地球上のテクタイト産地で、南極氷中に見られるような細かい試料が発見されないのは、

地表物質の混合による検出の困難さにあると考えられる。南太平洋地区の海底泥中からは、ことようなカラス物質が発見されており (GLASS, 1967), このことは、従来考えられてきたテクタイトの粒度より、より細かいテクタイトが地球上には分散しているとの証拠となる。また、それら細粒のカラス物質は火山噴出に伴うカラス物質との区別が困難で、今迄見逃されてきたとも考えている。

4 隕石について

南極において発見された隕石は、何れもその降下を観測したものでなく、氷原上などで発見されたものである。HEY の総合した文献から (1966), 表 3 をまとめることかできる。Adélie Land は、olivine-hypersthene chondrite で、オーストラリアの南極探検隊により、Cape Demson の西方 20 マイルの地点で発見された。Lazarev は、Humboldt 山脈の高度 3000m の地点で発見された鉄隕石である。Thiel Mountains は、別名 Horick Mountains ともいわれ、隕石の中では稀な部類に属する Pallasite である。Neptune Mountains は、Coarset Octahedrite に属する鉄隕石である。この 4 つの例以外にも、南極大陸には隕石の記載が残っており、Scott 隊の記録の中には、隕石発見の項がある。これはまた回収されていない。広大な面積を占める南極大陸では、また数多くの隕石が存在することか期待される。

表 3 南極の隕石

名 前	種 類	発 見 地 点	発見年月日	個数	重量(kg)
Adélie Land	石質隕石	67°11'S, 142°23'E	1912年	1	1
Lazarev	鉄隕石	71°57'S, 11°30'E	1961年1月21日	2	10
Thiel Mountains	石鉄隕石	85°27'S, 90°W	1962年 1月	2	31.7
Neptune Mountains	鉄隕石	83°15'S, 55°W	1964年 2月	1	1.07

隕石火口の報告もあり、一つは Weddell Sea に存在が考えられており、もう一つは Wilkes Land に推定されている。特に後者は、重力測定の異常から推定されているものである。南オーストラリア地方座のテクタイトの成因に結びつけられる隕石火口である。南極における隕石火口は、厚い氷原におおわれているので、他の地方のように容易に地形などから発見される確率は少ないか、今後発見され得る可能性はある。

5. む す び

南極における宇宙物質として、宇宙塵、テクタイト、および隕石について報告した。しかし、前2者は、必ずしも宇宙空間に存在していた物質であったとの科学的な証拠はない。この証明には次の事が考えられる。1)人工衛星などを利用し、宇宙空間の塵を採集して、南極で採集した試料と比較検討する。2)隕石の中で発見されている隕石特有の鉱物を(島, 1968a)宇宙塵の中から検出し、塵が宇宙空間で生成されたことを証明する。3)隕石の中で検出されている、いわゆる Cosmogenic Nuclide を、宇宙塵の中から検出できれば、宇宙塵も隕石同様に宇宙空間に滞在していた証拠となる。隕石が宇宙空間に滞在している間に、宇宙線および太陽プロトンなどの照射を受けて、隕石の中に生成される核種がある。これが Cosmogenic Nuclide と言われている。宇宙塵の場合、塵が宇宙空間に滞在していたと仮定し、WASSON は、次のような推定を行なった(1963)。彼によれば、宇宙塵の中に期待される Cosmogenic Nuclide として、現在の測定技術を考え、 Co^{57} , Co^{56} , Co^{55} , Fe^{55} , Mn^{53} , Al^{26} , Na^{22} および C^{14} があるとしている。この核種以外にも、多くの研究者の提案があって、 Ni^{59} , Ne^{21} , Be^{10} , He^3 などの検出により、宇宙物質としての証拠を定めることが試みられている。これらの研究では、必要とする宇宙塵の量が大量となるので、通常は、入手しやすい海底泥の中に宇宙塵が蓄積しているとの仮定で、底土からの抽出検討が行なわれてきた(LAL and VENKATAVADAN, 1966)しかし、海底泥の中には、地表物質の汚染が著しいので、いまたに明瞭な結果は得られていない。

南極氷は、先に述べたように、汚染が少ないと考えられるので、Cosmogenic Nuclide の検出には、氷の大量処理を行なうことが最も望ましいことになる。昭和基地などでは、使用する飲料水を氷から取っているため、水道のろ過物などは、この目的のために貴重な試料となる。幸いに試料が入手でき、処理中なので、第2報として報告する。

次に宇宙塵の降水量は過去において変動があったと考えられるが、一年間を通じても、季節変化が見出される(島, 1968b) 昭和基地においても、筆者らの採集器が越冬隊の協力により運転されており、その結果もまとめつつあるので、季節変化の報告も近く発表する。

南極における宇宙物質の研究には、まず試料を採集することが重要で、今後とも隕石やテクタイトの探査を続ける必要がある。また、宇宙塵については、南極氷の大量処理と共に、基地における連続観測を続けたい。

終りに南極氷の入手にあたり、種々御配慮を頂いた日本南極地域観測隊の各位に感謝する。

また、宇宙塵の選別に際しては、佐藤みつえ嬢の助力を頂いたことに厚謝する。なお、研究に要した費用の一部に、昭和42年度南極資料整理費ならびに文部省科学研究費“核反応生成物による宇宙空間物質の研究”を使用した。記して謝意を表す。

文 献

- BROGAS, J and E PICCIOITO (1967) Nickel content of Antarctic snow, implication of the flux rate of extraterrestrial dust. *J Geophys Res*, **72**, 2229-2236
- EL GROSSY, A (1968). Electron microprobe analysis and ore microscopic study of magnetic spherules and grains collected from the Greenland ice. *Conti Miner Petrol*, **17**, 331-346
- FREDRICKSSON, K and R MARTIN (1963) The origin of black spherules found in Pacific islands, deep-sea sediments and Antarctic ice. *Geochim Cosmochim Acta*, **27**, 245-248
- GILASS, B (1967) Microtektite in deep-sea sediments. *Nature*, **214**, 372-374
- GIOZZI, J (1966): Size distribution analyses of microparticles in two Antarctic firm cores. *J Geophys Res*, **71**, 1993-1998
- HEY, M H (1966) Catalogue of Meteorite, The British Museum (Natural History), London
- LAI, D. and V S VENKATAVADAN (1966) Low-energy protons: average flux interplanetary space during the last 100,000 years. *Science*, **151**, 1381-1384
- NAUMAN, R J (1966) The near earthy meteoroid environment. NASA Tech Note, D-3717
- 西堀栄三郎・石崎正子 (1959) 南極昭和基地で採集した流星塵. 南極資料, **7**, 35-38
- PARKIN, D. W and D THILES (1968) Influx measurements of extraterrestrial materials. *Science*, **159**, 936-946
- SHIMA, M (1966) Glassy spherules (Microtektite?) found in ice at Scott Base, Antarctica. *J Geophys Res*, **71**, 3595-3596
- SHIMA, M and S. KIMOTO (1966) The black particle found on Mt Noikura, Japan. *Chem Geol*, **1**, 77-80
- 島 誠 (1967) 宇宙塵・隕石, 紀伊国屋, 東京
- 島 誠 (1968a) 宇宙鉱物. 結晶学会誌, **10**, 84-90
- 島 誠 (1968b). 宇宙塵. 粉体工学, **5**(2), 1088-1099
- WASSON, J T (1963). Radioactivity in interplanetary dust. *ICARUS*, **2**, 54-87
- WRIGHT, F W. and P W HODGES (1964) Studies of particles for extraterrestrial origin. 3 Analyses of dust particles from polar ice deposits. *J Geophys Res*, **69**, 2919-2931

(1968年10月10日受理)