

火星起源 SNC 隕石について

矢内 桂三 Keizo Yanai

1. はじめに

SNC 隕石は火星起源とされる Shergottite-Nakhlite-Chassignite の頭文字をとってこう呼ばれる。これらはいずれもエコンドライト隕石に属し、地球の火成岩 (マグマから固結した岩石) に類似の岩相 (岩質や組織) を呈する。それゆえ SNC 隕石はかつて火成活動のあった天体 (母天体) から飛来したことは明らかである。

隕石の中でエコンドライト隕石は火成岩的岩相を示す共通の特徴があり、これらは母天体上での火成活動の産物とされている。そして、この火成活動は母天体形成直後、～40 億年以前、の出来事であった。ところが、SNC 隕石の年代は 13 億年前後ときわめて若いことが判明した。さらに最新の年代データは 1.5～2 億年と言うものもある。SNC 隕石をもたらしたのは現存するどの天体か、なぜ火星起源と言われるのか、どのような火成活動の産物か、いつどのようにして地球に飛来してきたのか、岩質はどうか、年代値の意味を含め紹介したい。

2. SNC 隕石

SNC 隕石は表 1 のように現在 12 個 (約 78kg) が知られている。アルファベットの頭文字の付いたのが南極産、他は南極以外で発見・採集された。SNC 隕石は構成鉱物や鉱物の組合せなどによって 3 つのタイプに分けられ、その代表が Shergotty, Nakhla, Chassigny 隕石である。12 個の SNC 隕石のうち 11 個はハンレイ質岩～超苦鉄質岩で、深成岩的岩相を呈している。唯一 QUE だけが玄武岩質火山岩であるらしい。

表 1. SNC 隕石一覧 (原重量)

Shergottites		Nakhlites		Chassignite	
Shergotty	～5 kg	Nakhla	～40 kg	Chassigny	～4 kg
Zagami	～18 kg	Lafayette	～800 g		
EETA 79001	7,942 g	G.V.	158 g		
ALH 84001	1,930.9 g				
QUE94201	12.0g				
ALH-77005*	482g				
Y-793605*	(16g)				
LEW88516*	13g				

*カンラン石を含む, G.V.: Governador Valadares, ALH: Allan Hills, EETA: Elephant Moraine, LEW: Lewis Cliff, QUE: Queen Alexandra Range, Y: Yamato, 総重量: 約 78 kg

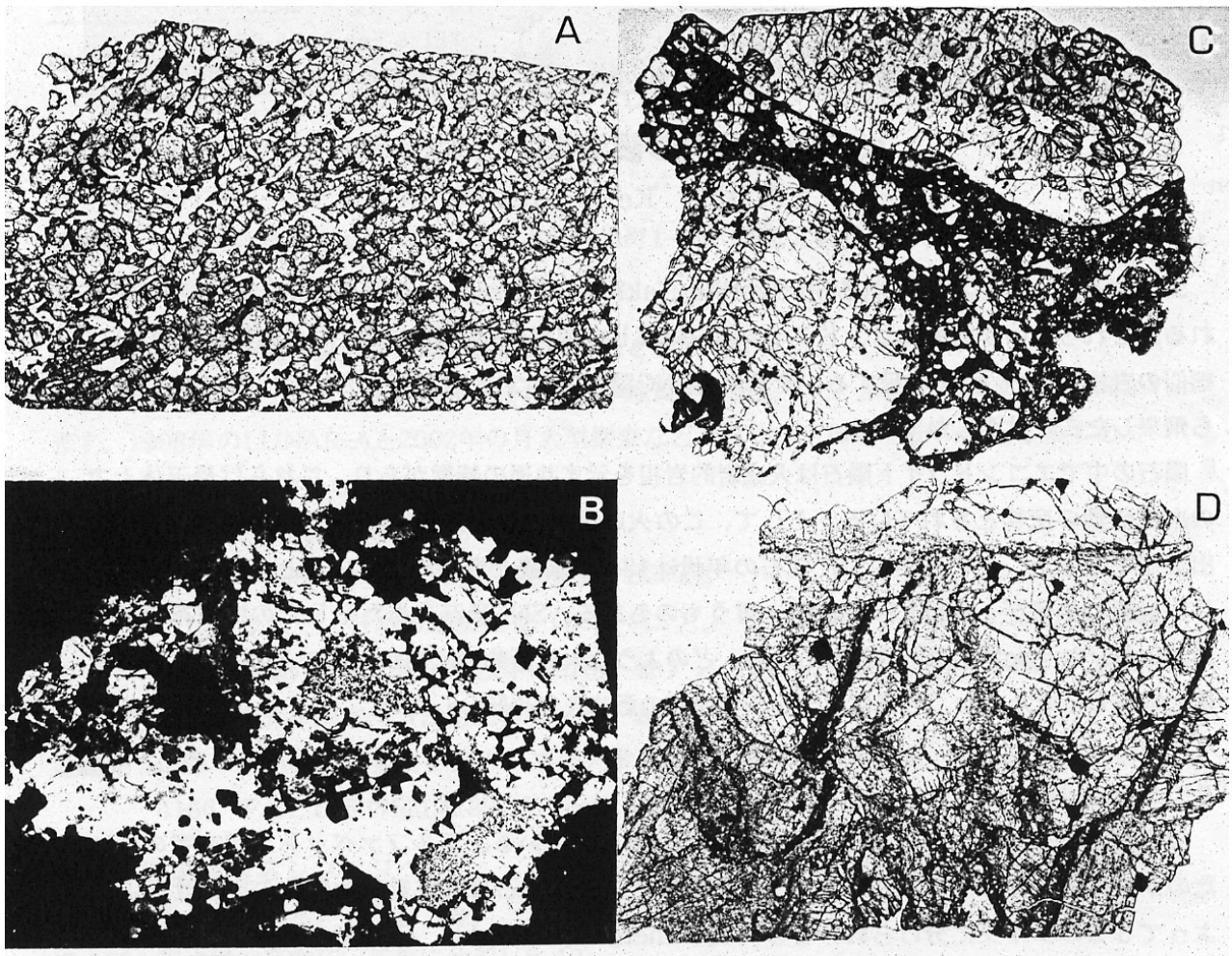


図1. SNC 隕石の顕微鏡写真

A : Zagami 隕石 (幅 9 mm), B : ALH-77005 (11 mm), C : Y-793605 (10 mm), D : ALH84001 (10 mm)

Shergotty タイプ (Shergottite) はハンレイ質岩でピジョン輝石、普通輝石と斜長石 (完全にマスケリナイト化) からなる。しかし、ALH84001 隕石はほとんど斜方輝石からなる Diogenite 相当の隕石である。また、ALH-77005, Y-793605 及び LEW88516 の各隕石はカンラン石を含む。Nakhla タイプ (Nakhlite) は輝岩相当の隕石で普通輝石と少量のカンラン石とからなり、斜長石、カリ長石及びマグネタイトを含む。Chassigny タイプ (Chassignite) は超苦鉄質岩のダンカンラン岩でほとんどがカンラン石とからなり、少量の普通輝石、斜長石及びクロム鉄鉱を含む。このタイプに属する隕石は、Chassigny 隕石が唯一で、この隕石のメルト包有物中に含水珪酸塩鉱物を含むことが知られている。

12 個の SNC 隕石はそれぞれ落下地あるいは発見場所が異なり、南極産の場合は単体 (ほぼ完全な 1 個体) として発見され、他の場合も単体かシャワーとして落下・発見されている。また同じタイプに区分されるものでもそれぞれ岩相や化学組成に特徴があり、これらの隕石はおそらく、12 個の落下によりもたらされたことは間違いない。

以下に各 SNC 隕石の概要を述べる (Graham et al., 1985; Yanai and Kojima, 1987, 1995, Sky and Telescope, 1996)。

ALH-77005 隕石 : 1978 年 1 月日米共同南極隕石探査隊により Allan Hills(昭和基地の反対側、マクマード米基地の北方 250km) の裸氷帯で筆者が発見。南極産第 1 号 SNC 隕石である。この隕石は 500g 弱 (子供のコブシ大) のほぼ完全な 1 個体で発見されたが、ヒュージョンクラストの 90%以上が欠落し、他の隕石とは大変異なり全体が青～黒味を帯びていた。変わった隕石との印象を強く受けたが、当時はエコンドライト隕石のようだが種類は？、火星起源とは思ってもよらなかった。ALH-77005 は大型輝石がカンラン石結晶を包有する典型的なポイキリティック組織を示す火成岩である (図 1 B)。また少量の斜長石 (完全にマスケリナイト化) を含む。鉱物組成はそれぞれ Fa_{25-31} 、 $\text{En}_{47-78}\text{Fs}_{13-26}\text{Wo}_{2-38}$ 、 An_{49-56} である。

Y-793605 隕石 : 1979 年南極やまと山脈で発見された小型の隕石。淡黄緑色を呈し、やまと特有の Diogenite タイプ A に酷似する。最初 Diogenite に分類されたが、酸素同位体組成から SNC 隕石と判明。斜長石の組成も An_{50} 前後で Eucrite や Diogenite の斜長石と異なる。大型輝石がカンラン石を包有する典型的なポイキリティック組織を呈する (図 1 C)。斜長石はマスケリナイト化している。鉱物組成は Fa_{26-34} 、 $\text{En}_{50-77}\text{Fs}_{14-29}\text{Wo}_{2-36}$ 、 An_{49-61} 。

EETA79001 隕石 : 南極最大の SNC 隕石。EETA79001 は粗粒岩相 (A) と比較的細粒な岩相 (B) が明瞭なコンタクト (一種の貫入関係を示す) で接している。A 相は均質なハンレイ岩質岩、B 相はカンラン石や輝石の巨晶を含む粗粒玄武岩質岩である。このように特異な産状はこの岩石をもたらしたマグマの活動が非常に活発であったことを思わせる (前号の p.35 参照)。

ALH84001 隕石 : ほとんどが角礫状の斜方輝石 ($\text{En}_{70}\text{Fs}_{27}\text{Wo}_3$) からなる。この隕石は当初 Diogenite に分類されていたが、詳細な研究で SNC 隕石の Shergottite に改められた (図 1 D)。Diogenite との一番の違いは斜長石の組成にある。ALH84001 の斜長石 (マスケリナイト化) は An_{35-39} で他の SNC 隕石の斜長石と同じである。ALH84001 には少量のクロマイトと初生的な鉄に富む炭酸塩鉱物 ($\text{Fe}_{29}\text{Mn}_{60}\text{Ca}_{11}$) を含むことが報告されている。

LEW88516 隕石 : 原重量わずか 13g の超小型隕石。全体の約 80% がヒュージョンクラストで覆われ、内部は緑色～黒色を呈する。鉱物組合せはカンラン石、輝石、斜長石で少量のクロマイトやガラスを含む。また組成はそれぞれ Fa_{33} 、 $\text{En}_{67}\text{Fs}_{28}\text{Wo}_5$ 、 An_{53} で、ALH-77005 に類似すると言われる。

QUE94201 隕石 : 最近米国隊が発見した超小型隕石。重量わずか 12g、子供の親指大の大きさであろう。Shergottite グループに属し、岩相から玄武岩の溶岩と言われる。

Shergotty 隕石 : 1865 年インド東部 (Bihar 州 Gaya) に落下した特異なエコンドライト隕石。初め Eucrite に分類されていたが、現在は SNC 隕石を代表するハンレイ岩の Shergottite である。主要な構成鉱物はピジョン輝石、普通輝石、斜長石 (An_{50} 、マスケリナイト化) である。

Zagami 隕石 : 1962 年ナイジェリア共和国の東部に落下したカルシウムに富むエコンドライト隕石の一つ。黒いヒュージョンクラストで覆われ、内部は濃い灰色を呈し、衝撃によると思われ

る黒い細脈が生じている。構成鉱物はピジョン輝石、普通輝石、斜長石 (An_{52} 、マスケリナイト化) からなり、粗粒玄武岩-ハンレイ岩的組織を示す (図 1A)。

Chassigny 隕石：1918 年フランス東部に落下したカルシウムに乏しいエコンドライト隕石。数個が落下したと言われる。主に粗粒のカンラン石 (Fa_{32}) からなる集積岩で、月や地球のダンカンラン岩に相当する超苦鉄質岩。メルト包有物中に含水珪酸塩のケルースト閃石 (Kaersutite) を産する。Chassignite に分類される唯一の隕石。

Governdor Valadares 隕石：1958 年ブラジル東部 (リオデジャネイロの北方) で発見されたカルシウムに富むエコンドライト隕石。主に単斜輝石からなる苦鉄質岩でカンラン石 (Fa_{67}) と少量の斜長石を含む。

Lafayette 隕石：米国インディアナ州で 1931 年以前に発見されていた、カルシウムに富むエコンドライト隕石。普通輝石、カンラン石と斜長石からなる苦鉄質岩で、Nakhla 隕石に似る。1600m.y. の K-Ar 年代が得られている。

Nakhla 隕石：1911 年エジプトのアレキサンドリア付近に隕石雨として落下したカルシウムに富むエコンドライト隕石。40 個ほど (重量約 40kg) が回収された SNC 最大の隕石。主に普通輝石とカンラン石からなり、少量の斜長石、カリ長石とマグネタイトを含む。火成岩組織を示す苦鉄質岩。その形成年代は約 13 億年。

3. SNC 隕石の岩石組織と鉱物組成

Chassignite と Nakhrites を除く 4 つの SNC 隕石について、それらの岩石組織を図 1 に示す。Zagami 隕石は輝石と斜長石からなるハンレイ岩質組織を示す (図 1A)。輝石の定方配列が顕著である。ピジョン輝石・普通輝石とも組成変化にとみ、また斜長石は An_{50-55} で完全にマスケリナイト化している。ALH-77005 隕石 (図 1 B) は大型輝石が粒状のカンラン石を含む典型的なポイキリティック組織を示す。マスケリナイト化した少量の斜長石は他の鉱物間を埋めている。ALH-77005 隕石の 1 つの特徴は激しい衝突によると思われるメルトポケットが生じていることである (図 1 B の中央と右下)。メルトポケットには微細なカンラン石と輝石が再結晶している。Y-793605 隕石 (図 1C) は角レキ岩であるが本来の組織をよく残している。岩相は ALH-77005 隕石に類似し、大型の輝石がカンラン石を取り込むポイキリティックである。鉱物間を埋める少量の斜長石はマスケリナイト化している。ALH84001 隕石 (図 1D) は部分的に破碎した大型斜方輝石からなるモノミクト角レキ岩。一見 Diogenite と区別がつかない。ごく少量のクロマイト、単斜輝石、斜長石、炭酸塩を含む。

図 2 に Nakhrites を除く 5 つの SNC 隕石について、それらの鉱物組成を示した。Chassigny 隕石を除く 4 個はいずれも斜長石 (マスケリナイト化している) 組成が An_{50} 前後を示す特徴がある。Eucreite、Diogenite、月隕石などのエコンドライトの斜長石は $An_{90} \sim An_{100}$ を示し、SNC 隕石のそれとは明かに異なる (図 2)。斜長石の組成が SNC 隕石か否か判別する一番のキーとなる。Zagami 隕石の輝石はかなりの組成幅が認められるが、他の隕石については輝石もカンラン石と

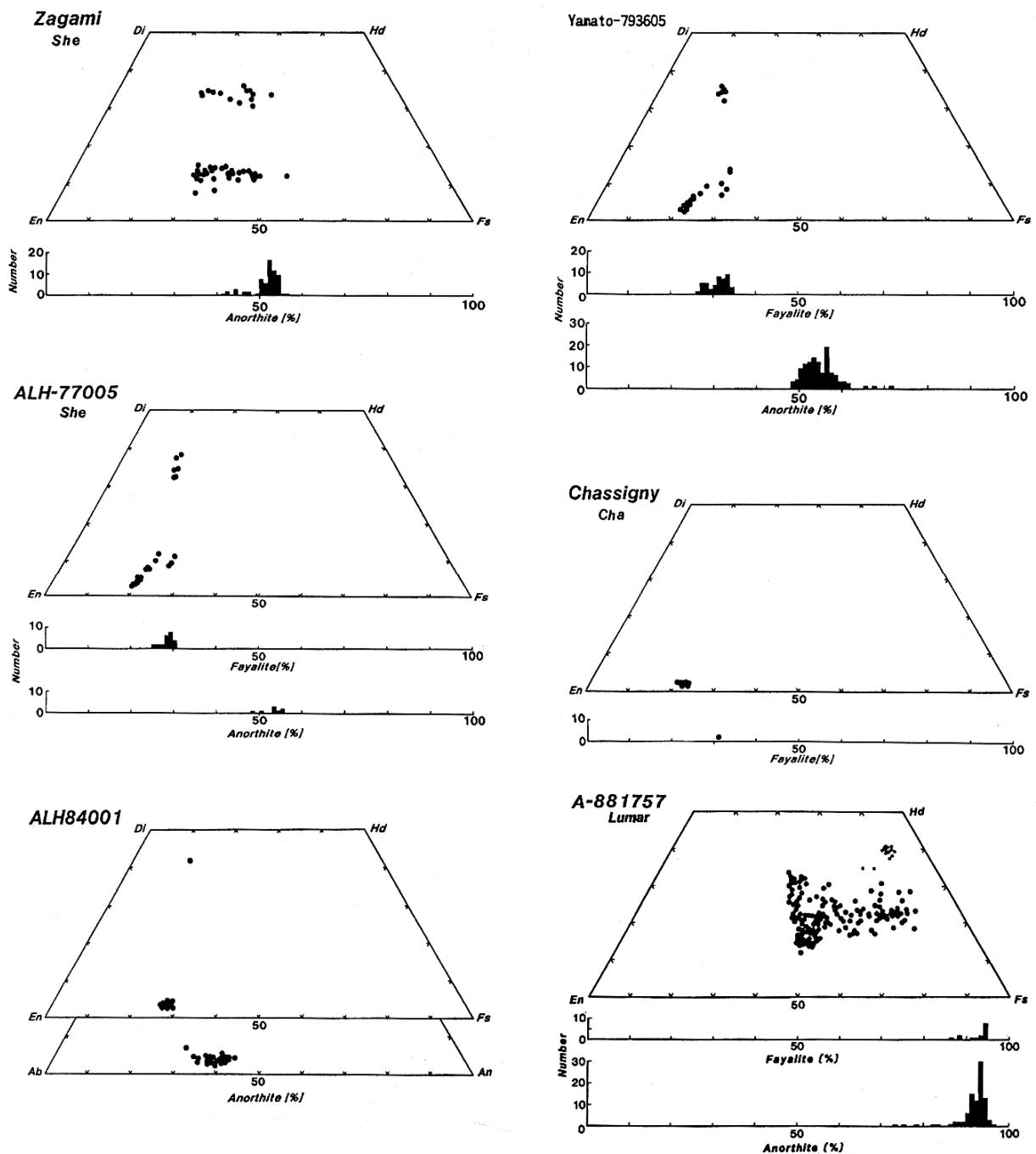


図2. SNC 隕石の鉱物組成

も組成変化が小さく、かつ類似の組成をもつことが分かる。しかし、鉱物の量比についてはかなりの差がある。

4. SNC 隕石が火星起源とされる理由

月起源隕石は、1969年に回収された”月の石”と比較することにより、1979年に南極で発見された隕石の中から確認された。火星起源とされる隕石も”火星の石”が回収されていれば比較

表 2. SNC 隕石の同位体年代 (m.y.)

Meteorite	Rb-Sr	Sm-Nd	238U-Pb	& 232Th-Pb***
Shergotty	165 ± 11	~600, 360**	200 ± 4	205 ± 8
Zagami	180 ± 4	116 ± 47	230 ± 5	229 ± 8
ALHA77005	187 ± 12	~325	—	—
EETA 79001A	173 ± 10*	240 ± 150#	—	—
EETA 79001B	185 ± 25*	240 ± 150#	150 ± 15	170 ± 29

*Wooden et al. (1982); ** Jagoutz and Wanke (1986);

*** Chen and Wasserburg (1986); #Nyquist et al. (1984)

All other ages from Shih et al. (1982)

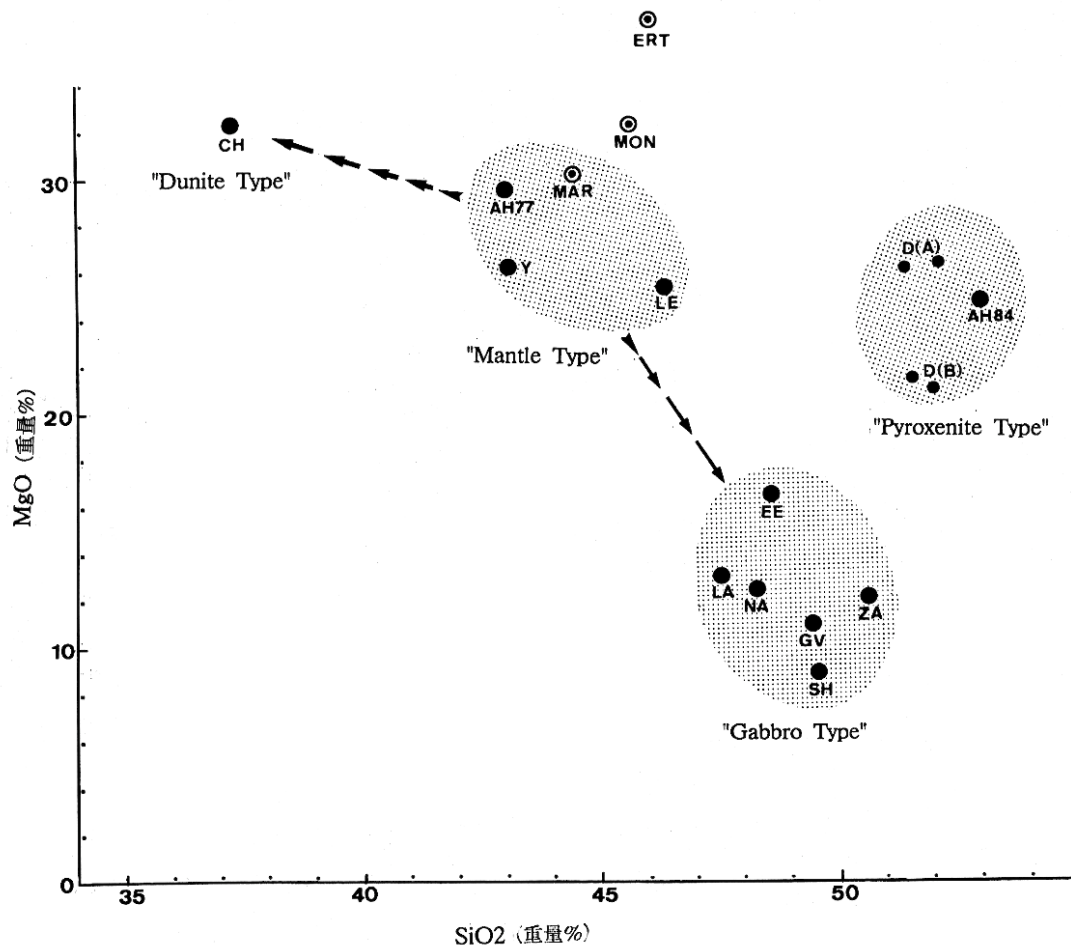


図 3. 全岩組成から見た SNC 隕石の区分

MAR, MON, ERT (火星、月、地球のマントル組成). D(A)・D(B):Diogenite (A) と (B) タイプ (それぞれ Yamato-74097 と Yamato-75032 隕石が代表). AH77 (ALH-77005), AH84 (ALH84001), CH (Ghassigny), EE (EETA79001), GV (Governdor Valadares), LA (Lafayette), LE (LEW88516), NA (Nakhla), SH (shergotty), Y (Y-793605), Za (Zagami) の各隕石.

することが可能であろうが、火星からのサンプルリターンは 20 年～25 年も先のことと言われ、今のところ直接比較・検討することが出来ない。それではなぜ SNC 隕石が火星由来の岩石とされるのだろうか。SNC 隕石は他の隕石、特にエコンドライト隕石に比べても著しく異なった特徴をもっている。まず第 1 に指摘されるのは SNC 隕石の年代である。年代の詳細は別に述べる

が、SNC 隕石は 13 億年前後の固化年代 (マグマから結晶・固化した年代) を示す。また Shergottites から 1 億 5 000 万～2 億年の同位体年代も得られている。隕石は一般に最も始源的であり、その年代は太陽系形成年代 (太陽系惑星の誕生年代) の 45 億年代前後であり、分化したエコンドライト隕石であっても 40 億年代の形成年代をもっている。つまり、隕石の母天体となっていた天体は惑星の形成をもって活動を停止し死んでしまった。ところが、SNC 隕石は火成岩であり、少なくとも 13 億年前まで活動していた天体にその起源を求めなければならない。月は 30 億年前に活動を停止したので、SNC 隕石の母天体になりえない。残るは金星、地球と火星だけである。隕石は地球外物質であるから地球は除外され、金星と火星がその候補者となりうる。

SNC 隕石の化学組成はバイキングによって調べられた火星表層物質の組成と似ているし、酸素同位体組成は地球、月や他の隕石 (特に他のエコンドライト) と明らかに異なる。一方、バイキングによる火星大気の希ガス組成は SNC 隕石のそれに類似し、他の隕石とは決定的に異なることが分かり、SNC 隕石の火星起源が有力となった。

金星と地球はほとんど同じ大きさの天体で、その脱出速度は約 10km/s。地球から地球圏外に物質が自然には飛び出せないように、金星もことは同じであろう。特に厚い大気の実在は金星物質の引力圏脱出を一層困難にしている。それに比べ火星は大気も希薄で脱出速度も金星の半分以上であり、すでに月から隕石が来ており、火星表層物質の火星脱出-地球への飛来-は不可能ではない。この問題は火星の石との直接比較によって最終決着がはかれよう。なお SNC 隕石の火星脱出の原動力は、月隕石の場合と同じように巨大隕石 (小天体) の衝突が考えられる。

5. SNC 隕石の年代

SNC 隕石は非常に若い。表 2 に示したようにいわゆる Shergottites については、1 億年に近い年代も報告されている。年代値が何を (どの出来事を) 示すかは議論になっており、門外漢がどうこう言うべきではないが、研究者によれば 1 億～2 億の年代を結晶化年代 (マグマが固化する年代) とするグループと、火星を脱出する時の年代 (脱出年代) とする考えがあり決着していない。一方、3 億 6 千万年を固化年代と強く主張する研究者もいる。最近はいろいろな同位体年代が簡易に得られるようになり、データは出てもその解釈に戸惑い、あるいは自分に有利な主張を繰り返しているようにも見える。とにかく SNC 隕石から非常に若い年代が得られたことは事実であり、今後研究が進めば年代の意味も明確になろうし、さらに若い年代も得られよう。一方、13 億年前後の年代は SNC 隕石全体から得られ、この年代は固化年代であろうとほぼ同意が得られているようである。13 億年は地球から見ると決して若くはないが、隕石全体から見ればきわめて若い年代であり、その意味するところは、13 億年前に盛んに火山活動を繰り返していた、生きた天体が存在していたということである。しかし、SNC 隕石全体が若いのではなく、ALH84001 隕石は 40 億年よりも古い年代をもっている。これは他のエコンドライト隕石とほぼ同じ年代であり、ALH84001 隕石は他の SNC 隕石とは異なる成因をもっていることを示唆している。この点は、化学組成からも明らかである (図 3)。

表 3. SNC 隕石の化学組成及び火星・月・地球のマントル組成 (重量%)

	Chassigny	Y-79	ALH-77	LEW88	Nakhla	EETA	Sherg	Zagami	ALH84	火星	月	地球
SiO ₂	37.22	43.0	43.02	46.2	48.24	48.5	49.5	50.52	52.9	44.4	45.57	45.95
TiO ₂	0.10	0.6	0.36	0.32	0.29		0.87	0.84	0.20	0.14	0.20	0.23
Al ₂ O ₃	0.80	4.0	2.54	2.93	1.45	5.68	7.59	6.27	1.21	3.02	4.59	4.20
Fe ₂ O ₃			0.38					0				
FeO	27.07	20.8	18.97	18.90	20.64	18.93	19.8	18.03	17.20	17.9	12.99	7.58
MnO	0.48	0.4	0.45	0.48	0.54	0.52	0.52	0.44	0.47	0.46	0.176	0.13
MgO	32.31	26.3	29.69	25.50	12.47	16.6	8.95	12.14	24.7	30.2	32.33	36.85
CaO	0.91	3.9	2.84	4.1	15.08	7.10	9.63	9.57	1.8	2.45	3.79	3.54
Na ₂ O	0.15	0.2	0.37	0.52	0.42	0.84	1.47	0.13	0.14	0.50	0.0607	0.39
K ₂ O	0.05	0.0	0.03	0.03	0.10	0.05	0.19	0.08	0.02	0.0367	0.0058	0.028
H ₂ O(+)			0.00					0.00				
H ₂ O(-)			0.28					0.0				
P ₂ O ₅	0.08		0.39		0.12	0.65	0.72	0.46		0.16		0.015
Cr ₂ O ₃	0.83	0.8	1.00	0.85	0.42	0.58	0.20	0.15	1.07	0.76	0.39	0.44
FeS			0.25					1.58				
Ni(ppm)			0.024					(26)				
Co(ppm)								(<30)				
S						0.18	0.157					
C						0.02	0.043					
Cl							0.0108					
Total	100.0	100.0	100.59	99.80	100.77	100.35	99.6	100.21	99.7	100.03	100.10	99.35

Data Sources: Shergotty. Laul et al.(1986); LEW88 and ALH84. Warren and Kallemeyn(1996); EETA79001. McSween and Jarosewich(1983); Nakhla. Wood et al.(1978); マントル, Wanke and Dreibus(1979 and 1988); 他は Yanai and Kojima(1996).

6. 化学組成から見た SNC 隕石

表 3 と図 3 に SNC 隕石および火星・月・地球の平均マントル組成を示した。この図 3 から SNC 隕石は 4 つのグループ、に分かれることは明らかである。まず ALH84001 隕石はエコンドライト隕石の Diogenite(A)(B) のグループに入り、他の SNC 隕石とは別のものであろう。これは年代値とも合っている。残りの SNC 隕石は Chassigny 隕石のグループ, ALH-77001, Y-793605, LEW88516 隕石のグループ、及び Zagami, Shergotty, EETA79001, Nakhla, G.V., Laffayette 隕石のグループに分けられる。これは化学組成上、超苦鉄質岩、中間型、苦鉄質岩に相当する。また、それぞれを Chassigny タイプ、ALH-77 タイプ、Zagam-Nakhla タイプと呼んだらどうだろうか。なお ALH84001 は Pyroxenite タイプとすべきかも知れない。Zagami-Nakhla タイプの中で Nakhla, G.V., Laffayette 隕石は構成鉱物の点から異なる岩相のようにも見えるが、輝石を主体とする点は共通しているので、このタイプに含まれよう。注目したいのは、ALH-77 タイプは火星のマントル組成にきわめて似ていることである。一つの考えとして、火星のマントルがメルトしマグマが形成され、その中から最初に Chassigny 隕石が沈積岩として分離する。一方より分化したマグマからは Zagami-Nakhla タイプの苦鉄質岩が晶出・固化する。ALH-77 タイプの隕石は残りのマグマが固化した超苦鉄質岩で、組成は最初のマグマに近い。LEW88 は多少分化した～分化の途中に固化したと考えることが出来る。また ALH84 は母天体で生じた最初の相層分化、あるいは初期のマグマオーシャンが固結した時の地殻に相当

表4. 全岩組成からみた SNC 隕石の区分

"Gabbro Type"–"Mantle Type"– "Dunite Type"			"Pyroxenite Type"
Zagmi	ALH-77005	Chassigny	ALH84001
Shergotty	Y-793605		
EETA79001	LEW88516		
QUE94201			
Nakhla			
G.V.			
Laffayette			
G.V.: Governor Valadares			

しょう。表4は以上の考えをまとめたもので、全岩組成から見ると SNC 隕石はそれぞれ Dunite-Mantle-Gabbro 系と Pyroxenite 系に分けられよう。

7. ALH-77005 隕石についてのメモ

日米共同南極隕石探査計画2年目に ALH-77005 隕石を発見したが、この隕石についてはいろいろ思いがある。両国はこの計画をスタートするに当たり、隕石探査に実績のある日本隊(私一人であった)が、米国隊を指導する形で進め、隕石が発見された場合は折半することを約束した(覚書が交わされた)。1年目は合計11個(総重量457kg)の隕石を折半した。ところが、多数の隕鉄、エコンドライト、炭素質隕石を含む310個を発見した2年目は約束がなかなか実行されなかった。当たり障りのない普通コンドライトなどは折半され送られてきた。しかし、かんじんのエコンドライトや炭素質隕石は米国側では研究がスタートしたのに、日本にはなしのつぶてであった。ついに業をにやして、私がヒューストンの NASA-ジョンソンスペースセンターの月の石処理施設(ここで南極隕石の初期処理が行われた)に出向き、直談判するはめになった。出発の前私は1通の手紙を NASA の関係者に送った。内容は『アメリカはフェアな国、南極隕石の折半でアンフェアなことをするなら、日本が持っている南極隕石の1mgもアメリカの研究者は受け取ることはないだろう』。NASA では折半が遅れている理由や、言い訳を沢山聞いたが、何か良く分からなかった。この時私が強く感じたことは、成果(大成果)のあがる共同研究はやるべきでないということであった。折半まで何年もかかり、やっと212.250gの ALH-77005 隕石が送られてきた。私は ALH-77005 隕石の原重量は折半の約2倍の430gぐらいと思っていたら、米国の取り分が264.485gと分かって愕然とした。何と日米に52gもの差があったのだ。私はもう何も言わなかった。今後の隕石探査は日本独自にやるべしと決めていたので。

もう一つ ALH-77005 隕石について記さねばならないことがある。それは名前の付け方である。南極隕石の名前は従来の方法にしたがって、初めは地名を付けていたが、その後同一地域から同じ時期に1,000個以上も発見され、その数もアルファベットを大幅に上わまってしまった。そこで南極隕石は、地名のイニシャル(例えばYはYamato、ALHはAllan Hillsなど)+発見年(発見のシーズン)+発見順のナンバーにすることにした。例えばY-791197(月隕石)はやまと山脈で

1979年の1197番目に発見されたことになる。日本は地名1文字、アメリカは3文字を使っている。日米共同初年度(1976年シーズン)の場合は最初 Allan Nunatak No. 1, . . . No. 9としたが、これを改め ALH-761、. . . 769とした。これに対し米国側は同じ隕石に ALHA76001~76009と名付けた。

日米共同2年目の1977年シーズンに採集された310個についても、私はALH-77001から付けるものと決めていた。米国からALHA77001からすると通知してきたが、私はALHと77001の間に"A"を入れる意味がさっぱり分からなかった。隕石の命名は国際隕石学会の隕石命名委員会(Nomenclature Committee)がオーソライズするらしいが、この委員会の委員長で米国の著名な隕石研究者が"A"を入れることを強く主張していた。私は"A"の意味は何かと問い直したところ、"A"イコール"America"の意であるとの返事が返ってきた。親切にも日本隊が発見した場合は"N"を入れたらとのアドバイスのおまけまで付いていた。とにかく呆れてものが言えなかった。ALH-77隕石の80%以上を日本側の2人が集めたのに。

今ではこの時に発見したシャーゴッタイトには、ALH-77005(日本)とALHA77005(米国)の2つの名前が付いている。どう言うわけか日本の隕石研究者はアメリカ側の名前がお好みらしく、ALHA77005を使い、日本側のALH-77005を全く無視している。その後米国は1982年から"A"を入れるのを取り止めた。その理由が何なのか私には知るよしもないが、共に無駄なことをしたのは確かである。

(岩手大学工学部)

論文紹介

SNC隕石と火星のクレーター年代学

Brandenburg, J.E., 1995, Constraints on the Martian cratering rate based on the SNC meteorites and implications for Mars climatic history. *Earth, Moon, and Planets*, 67, 35-45.

火星起源とされるSNC隕石には、その組成と宇宙線照射年代のちがいが3回の異なる衝突でもたらされたとする考えと、北半球の巨大クレーターLyot盆地(直径227km)を形成した1回の衝突でもたらされたとする別の考えがある。SNCの結晶年代は2億年~13億年であるが、この値はこれまで用いられてきた火星のクレーター年代学(Neukum and Hiller, 1981; Neukum and Wise, 1976; Hartmann et al., 1981など)とは矛盾をきたす。すなわちSNCの年代は、クレーター密度から見積もられた火星表面の溶岩の年代幅や、火星で最も若い衝突盆地とされるLyotの推定年代を、ともにはるかに下回るのである。

もし本当にSNCが火星表面の岩石に由来しており、クレーター密度が表面年代の真の見積もりを示すものならば、両者から求めた年代値は、同じ年代幅の中に収まらなければならないだろう。この不一致の一因は、火星表面でのクレーター生成率が不確かなことである。

これまで、火星のクレーター生成率は月の1~4倍の範囲内にあり、多くの場合月の2倍程度と見積もられてきた。クレーター生成率が月と同じだったとすると、火星は初期の5億年間だけ地質学的に活発であったが、その後はほとんど活動しなかったことになる。一方、生成率が月の

2倍だとしても、SNCをもたらししたと思われる北半球の広大な溶岩地帯の年代は、SNCの年代幅よりも古くなってしまう。

そこで著者は、火星におけるクレーター生成率は月の4倍だったと仮定し、これにもとづいて、SNCの多重衝突起源と単一衝突起源のどちらがより確からしいかを検討した。

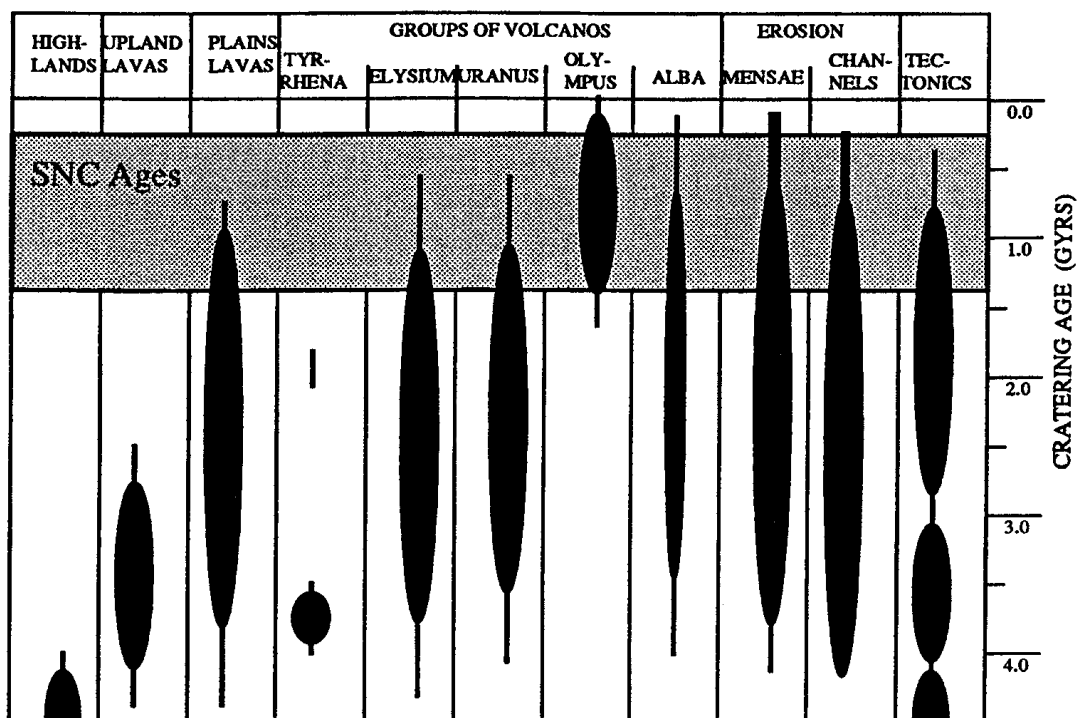
多重衝突の場合

SNCの岩石学的多様性と宇宙線照射年代のちがいからみると、多重衝突説がもっとも確からしくみえる。クレーター生成率が月の4倍ならば、北半球の溶岩地帯における3回の衝突は、SNCの年代幅に相当するヘスペリア代後期からアマゾン代後期の間に起こったことが、全火山地帯の40%の地域の火山噴出物の層位関係から読みとれる。

ただし、SNCの1つのALH84001は結晶年代が13億年よりもずっと古く、鉱物学的特徴も他のSNCと異なっていることが最近わかった。この隕石は明らかに、南半球の高地でおこった別の衝突でもたらされたものであろう。SNC隕石の年代のこのような二極分化は、火星表面の地形と年齢を北半球と南半球に二分する非対称性に対応しているとみることができる。

単一衝突の場合

大規模な単一衝突がおこって直径数10 mにおよぶ岩塊が火星表面から放り出され、これが宇宙空間での衝突破壊によって順次分裂していったと考えれば、SNCの組成や宇宙線照射年代の多様性は単一衝突説でも説明できる。そしてそのような場所としてLyot盆地が有力候補にあげられた。これが事実とすれば、Lyotは最も若いSNCよりも若くなければならない。Lyotの形成年代は、クレーター生成率が月の2倍だとすると7億年前～18億年前である。そこでこの値を2億年以下にするためには、生成率を月の7倍くらいに引き上げねばならなくなる。これはき



クレーター生成率が月の4倍としたときの火星の活動史

わめて苦しいように思われる。2億年から13億年にわたるSNCの結晶年代を、単一衝突でうまく説明するのは非常にむずかしいであろう。

多重衝突がおこった時期

以上の考察から、著者は多重（3回）衝突説を支持し、衝突と放出のおこった時期を、SNCの宇宙線照射年代から次のように推定する。すなわち、50万年前（EETA79001）、260万年前（Shergotty, Zagami, ALHA77005）、1100万年前（Nakhlites, Chassigny）の3回である。このように、火星北半球の若い火山地帯では、ほぼ1000万年以内に少なくとも3回の衝突があったことになる。それは径0.5 mほどの岩塊を放出可能な直径12kmまたはそれ以上のクレーターを形成したであろう。ところで、大部分のSNCよりも古い年代をもつ溶岩も南半球などには多いので、こうした地域に同じ1000万年内に6回くらいの衝突がおこってもよいことになる。ALH84001はそのような一例かもしれない（放出年代は1000万年よりもやや古いが）。

火星のクレーター生成率が月の4倍（またはそれ以上）になるという結論から、著者は火星はその歴史の大部分を通じて地質学的に活発な惑星であったと考える。とくに火山活動だけでなく、多くのチャネル地形をつくった液体の水の時代も長く続いたにちがいない。SNC隕石に水による変質作用が認められるのは、SNCの母岩が火星上で液体の水と接触したことの証拠だと考えられている。

火星のクレーター生成率が月よりもずっと高かったのは、火星が小惑星帯に近いためであり、また火星軌道を横切る小惑星が多いというGene Shoemakerらの最近の観測ともよく合うものである。

（なお、月のクレーター生成率、クレーター年代学の詳細は、水谷仁著『クレーターの科学』東大出版会、1980などを参照されたい。）（小森長生）

金星の高地にテルルの霜？

Kerr, R.A., 1996, Does Tellurium Frost Venus's Highlands? Science, 271, 28-29.

これは、『サイエンス』誌にのったReview記事であるが、興味深い内容なのでここにその概要を紹介する。著者のR.A. Kerrは同誌の科学記者で、宇宙関係のすぐれた記事を書くことでよく知られた人である。

1995年12月にサンフランシスコで開催されたAmerican Geophysical Union（AGU）の秋の大会で、惑星のレーダー観測の専門家Gordon Pettengill（MIT）は、金星の高地にテルル（Tellurium）の霜が存在するのではないかという、一見突飛な考えを述べて関係者たちを驚かせた。

1979年にパイオニアビーナス号が金星表面の初のレーダー地図をつくったとき、金星の高地に異常に明るい地域があることを発見した。それは金星の平均半径（6052km）以上の高度の所にあり、明るい地域の下限は、地球の山々にみられる雪線のようにくっきりしていた。鉛の融点をこえるほどに高温の金星では、いくら高地とはいえ、この輝きをH₂Oの水で説明することはできない。そこで、金星高地の岩石には黄鉄鉱が多く含まれているとか、空洞の多いザラザラし

た表面の岩石があらわれているのではないかと、という説明がなされてきた。どちらの場合もレーダー反射率を増大させるからである。

一方これに対して、ワシントン大学の R. Brackett、B. Fegley、R. Arvidson らは、金星の諸条件下では黄鉄鉱は不安定であることなどの点をあげて、別の考えを提案した。すなわち、金星の火山が金属蒸気を噴出するならば、地球の山地で大気中の水蒸気から H_2O の霜が下りるように、温度の低い高地では金属の蒸気が霜となって凍りつくのではないかと考えたのである。

Pettengill はこれらのどの考えも抱いていたわけではなかったが、AGUでのホイップル賞受賞記念講演の1週間ほど前に、マゼランが行った最後の観測結果の1つを分析した。マゼランは金星大気中で燃えつきる直前に、レーダービームを山腹に斜めに当てて、金星表面の性質を知るためのデータを取得していた。これを分析した Pettengill と共同研究者の P. Ford (MIT)、R. Simpson (スタンフォード大) は、金星の最高峰マクスウェル山からの反射波の強度と偏光度などの特徴によって、この山に何か不思議な物質があるらしいと気付いたのである。

Pettengill らによると、その物質は火山性の霜であることはまちがいなさそうであるが、ワシントン大学のグループが考えた金属物質ほど伝導性は高くなく、伝導体と絶縁体の中間的性質のものだろうと考えられる。そしてこのような性質に最もよく合うものとして、テルルとゲルマニウムがあるが、テルルのほうが高地のレーダー反射を説明するのに好都合な電磁氣的性質をっており、またテルルの氷点（融点）が、金星高地の明るい地域の下限高度での温度にまさに相当するというのである。

〈紹介者注：テルル（Te）には褐色粉末の無定形テルルと、銀白色で金属光沢をもつ結晶性テルルの、2つの同素体がある。結晶性テルルの融点は $449.8^{\circ}C$ 、沸点は $1390^{\circ}C$ 、密度 $6.2366g/cm^3$ 。半金属に分類される元素〉

こうした考察から Pettengill は、金星の高地は少なくとも数 μm の厚さのテルルの霜（細かい結晶）でおおわれているものと考えている。しかしこの考えには賛否両論があり、高地の多くが明るい原因はそう簡単には説明できないという見方もあるようだ。この問題は化学者の課題であると Pettengill 自身も言っているそうであるし、何よりも Te のような存在度のきわめて低い元素が金星にどれほど存在するのか、今後の比較惑星学的検討も必要になってくるであろう。

（小森長生）

論文抄録

ボイジャー接近以後におこったイオの輝きの変化

Sartoretti, P., McGrath, M.A., McEwen, A.S., and Spencer, J.R., 1995, Post-Voyager brightness variations on Io. Jour. Geophys. Res., 100, E4, 7523-7530.

1992年と1993年におけるハッブル宇宙望遠鏡の観測で、1979年ボイジャー接近以後のイオ表面の変化がわかった。緯度 $-25^{\circ} \sim +30^{\circ}$ 、経度 $150^{\circ} \sim 180^{\circ}$ にまたがる $10^6 km^2$ の地域と、緯度 $+30^{\circ}$ 、経度 130° を中心に広がる $10^5 km^2$ の地域の2カ所が、1979年以降45%も暗くなっていた。この原因として次の2つの可能性が考えられる。1つはペレ式の大噴火で放出した暗い物質の堆積で、 SO_2 の霜

からなる明るい表面がかくされたこと、もう一つはペレ式よりも小規模だが持続性のあるプロメテウス式噴火がおとろえ、明るい輝きをもたらす SO_2 の噴出が減少したことである。(K)

月の組成の多様性：オリエンタレ海と裏側のガリレオのデータの再評価

Gaddis, L.R., McEween, A.L., and Becker, T.L., 1995, Compositional variations on the Moon: Recalibration of Galileo solid-state imaging data for the Orientale region and farside. Jour. Geophys. Res., 100, E12, 26345-26355.

ガリレオ探査機の1回目の地球-月接近(1990年)の固体素子画像のデータを、画素サイズ以下の位置合わせ、散乱光の除去、幾何学的な位置の補正、地上からのスペクトルデータとの校正等を加えることによって再評価し、次のことがわかった。(1)西側リム地域にある小さな海には、 $1\mu\text{m}$ の中程度の吸収があり、表側の海の吸収と同程度である。(2)Schiller-Shickerd 地域の埋もれた海の溶岩のマフィック鉱物の量は以前に考えられていたよりも多く、表側の低Ti玄武岩に相当する。(3)南極/Aitken ベイソン南部がかんらん石に富んでいるという仮説を支持する積極的な証拠はみられなかった。(S)

ガリレオ探査機の第1回地球-月接近での西側リムと裏側のマルチスペクトル研究

Williams, D.A., Greeley, R., Neukum, G., Wagner, R., and Kadel, S.D., 1995, Multispectral studies of western limb and farside maria from Galileo Earth-Moon Encounter 1. Jour. Geophys. Res., 100, E11, 23291-23299.

ガリレオ探査機の1回目の地球-月接近(1990年)時のマルチスペクトルデータと、ルナオービター画像のクレーター密度を調べることによって、以下の結果を得た。(1)西側リムの海は組成($<2\sim7$ 重量% TiO_2)と年代(27.9~38.6億年)の面で、表側の海に比べると変化に乏しい。(2)ベイスンを埋める大規模な海は、小さな海のパッチに比べると、概してチタンに富む。(3)高地の物質におおわれた海は、Mendel-Rydberg ベイソンと南極/Aitken ベイソンに存在するかもしれない。(4)Grimaldi、Cruger、Mendel-Rydberg、Apollo などの海では年代によって海の溶岩の組成に変化がみられる。また、高チタン(>6 重量% TiO_2)玄武岩は西側リムと裏側には存在しない。このことは、高密度のマグマが裏側の厚い地殻を貫いて上昇することができなかったことを示しているのかもしれない。(S)

火星の流水谷系と fretted channels の起源

Carr, M.H., 1995, The Martian drainage system and the origin of valley networks and fretted channels. Jour. Geophys. Res., 100, E4, 7479-7507.

火星のチャネルには、表面流水の侵食によるものや、大量の地下水の地下侵食で表面が陥没してできたものがあるが、その一方で、切り立った側壁と平坦な床面をもちその床面に平行に細い溝とリッジをもつようなチャネル(fretted channels)は、流水のみでは形成不可能である。これらは、最初谷頭



における地下水の放出で生じた大量の岩屑が、その後の数mm~数cm/年というゆっくりした速度のマスウェイスティングで移動することによって形成されたものと考えられる。

(K)

新製品紹介

Sky Publishing 社の金星儀

Replogle 社が製作し、Sky & Telescope の通信販売で扱う惑星儀の第4弾で、地球・月・火星に続いて金星儀が発売となった。全球の98%は1990~1994年に撮像されたマゼランの画像を基に作られており、残りの2%は旧ソ連のベネラ15、16号（北半球の高緯度部）とアレシポのレーダーの画像（経度0°の赤道部）で補われている。直径30cm、縮尺約4000万分の1なので、金星儀の1mmが40kmに相当する。マゼランの分解能は約100mであったが、この金星儀での分解能は約5kmとなっている。高度別に彩色されており、平均標高（金星半径6051km）から-3kmまでは寒色系の色に、+11kmまでは暖色系の色が使われている。

この金星儀の楽しみ方はいろいろあるが、ひとつは同じ大きさの地球儀と比べてみることだろう。金星の直径は地球の94%だから、この金星儀の地形の大きさをほぼそのまま地球儀と比較できる。まず地球のように陸と大洋底といった二分性はなく、地形の高度はだらだらと変化するし、海溝や海嶺に相当する大地形もない。そのかわりリッジがいたる所にみられる。またコロナが巨大なことにも驚かされる。アルテミスコロナは本州がすっぽり入ってしまうほどだし、北海道よりも大きなコロナが数十もある。火山は、地球のように火山帯をつくらないが、分布には片寄りがある。ベータ地域の火山群のように、火星のオリンパス山の数倍以上の広がりをもつ巨大な火山群がいくつもあることもわかる。また月や火星にくらべると、衝突クレーターは驚くほど少なく、この縮尺では点のようにしかみえないものが多い。金星が、月や火星よりも、はるかに活発な火山活動や構造運動を繰り返してきたことを、直感的に理解することができる。



この金星儀は教育目的の実用性も高く、またインテリアとしても美しいので、教育センターなどの備品としては最適なものだと思う。またすでに金星のCD-ROMを持っている方にも、この金星儀はインデックスマップとして役立つだろう。もちろん個人にも勧められるが、場所をとるので、置き場所をよく考えてから購入することを勧める。定価\$94.95+送料\$43.95で、Sky & Telescope 誌に挟み込まれた申込用紙を使って注文すればよい。同誌を購読していない人は、下記に連絡してカタログをとり寄せるとよい（カタログには申込用紙が添付されている）。
Sky & Telescope P.O. Box9111
Belmont, Ma02178-9111, USA
(白尾元理)

INFORMATION

●地球惑星科学関連学会 1996 年合同大会

一般講演の他に、“火星研究の現状と将来”(26日午前)、“遠方にある巨大彗星の活動とその起源”(28日午前)など興味深いシンポジウムが開催されます。

日 時：3月26日(火)～29日(金)

場 所：大阪大学豊中キャンパス(豊中市待兼山町1-16、阪急宝塚線石橋駅、大阪モノレール柴原駅から徒歩10分)

●日本地質学会夜間小集会「日本の惑星探査計画と惑星地質学」

4月1日(月)～3日(水)に開催される日本地質学会年会中に、上記の夜間小集会が開かれます。1998年のLUNAR-Aと2002年の月大型探査など、日本の月探査をテーマとしますので、ふるってご参加ください。

日 時：4月2日(火)18:00～20:00

場 所：東北大学川内北キャンパス(旧教養部)B202室

プログラム：日本の惑星探査(水谷 仁)／レーダーサウンダーによる惑星探査(小野高幸)／月の海の堆積学(山路 敦)／スペクトル関係(佐々木晶)／月の火山学+探査参加案内(白尾元理)／討 論

連絡先：山路 敦(夜間小集会世話人、京都大学理学部地質学鉱物学教室 TEL: 075 (753) 4166 FAX: 075 (753) 4189 E-mail: yamaji@kueps.kyoto-u.ac.jp)

●第21回南極隕石シンポジウム

日 時：6月5日(水)～7日(金)

場 所：国立極地研究所(板橋区加賀1-9-10)

連絡先：国立極地研究所隕石資料部門(TEL.03-3962-2938、FAX.03-3962-5711、E-mail. kojima@nipr.ac.jp)

●E-mail 導入のお知らせ

惑星地質研究会では1996年2月からE-mail(PXL020572@niftyserve.or.jp)を導入しました。情報の提供、住所変更などの連絡、論文抄録の投稿などに使っていただき、より役に立つ紙面作りに生かしたいと思いますので、よろしくお願いいたします。

編集後記：今回はSNC隕石紹介の決定版といえる原稿を矢内桂三さんからいただきました。少し長いのですが、SNC発見当事者としての貴重な証言も含まれているので、特別増ページとして全文を掲載しました。前号の記事とあわせてSNCの全容を知っていただけるならば幸いです。SNC研究をさらに実証的なものとするために、火星岩石のサンプルリターンが早く実現することを望みたいものです。96・97年の会費を多数の方からお送りいただきました。暖かいご支援に感謝しつつ、いっそうがんばりたいと思います。(K)