

火星の地殻は安山岩質か？

— マーズパスファインダーの成果続報 —

小森 長生 Chosei Komori

本誌の前号でマーズパスファインダーの成果の一端を紹介したが、すぐそのあとに、くわしい予備的報告を掲載した『Science』 Vol.278, 5 Dec. 1977 がとどいた。また、短い報告や論評もその後いくつか出されている。これらに目を通した結果、前号でのべたことについて、修正や補足が必要になってきた。そこで今回は、報告論文の紹介もかねて、パスファインダーの成果と問題点について再びのべてみたいと思う。

『Science』誌には、パスファインダーミッションの全体的なまとめ、電波追跡観測の結果、大気圏の構造と気象観測の結果、ランダーのカメラからの観察結果、ローバーによる表面物質の調査、磁気プレートで集めた磁性ダストの分析、ローバーの APXS による土壌と岩石の組成分析、の計 7 編の論文が掲載されている（これらの個々の概要は論文抄録欄参照）。ここでは、このなかの地質学的な問題を中心にのべる。

土壌と岩石の化学組成

ローバーに搭載されたアルファプロトン X 線スペクトロメーター (APXS) が、着陸後 58 ソル (1997 年 8 月 31 日まで) の間におこなった、6 つの土壌と 5 つの岩石の化学分析結果を、まず表 1 に示す。ここに示された分析値は、すべて APXS の X 線モードのみの分析データである (アルファモードとプロトンモードによる結果はまだ出されていない)。

表 1 では、組成は慣例にしたがって各成分を酸化物の形で表し、その合計は 98% にそろえてある。これは、初生合計値にかなりのばらつきがあることと、測定誤差の大きい P、Cr、Mn などの値を含めなかったことなどの理由による。また、従来岩石とされていた Scooby Doo が、この表では土壌の一員に入れられている。

パスファインダー着陸地点の土壌の化学組成は、バイキング着陸地点のものによく似ているが、いくつかの相違も認められる。概してバイキング地点よりも S がやや少なく、Ti が多めである。Cl は両地点とも不確かさはあるものの、誤差範囲内で一致する。

岩石の分析値をみると、地球上の一般の火成岩にくらべて硫黄の量がかなり多いのが目立つ。これは、土壌粒子をダストとしてかぶり汚染されたためだと結論された。変質していない岩石では、S はほぼゼロと考えてさしつかえないので、土壌と岩石の測定値での、S の量に対するいくつかの成分の量変化のトレンドを求め、S がゼロのときのそれらの成分の値が決められた (図 1)。こうして求めた、硫黄を含まない岩石の組成が、表 1 の最下段に示されている。

表1 着陸地点の土壌と岩石の化学組成

Name		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	Org-sum
Soils												
A-2	After deploy	2.3±0.9	7.9±1.2	7.4±0.7	51.0±2.5	4.0±0.8	0.5±0.1	0.2±0.1	6.9±1.0	1.2±0.2	16.6±1.7	68.6
A-4	Next to Yogi	3.8±1.5	8.3±1.2	9.1±0.9	48.0±2.4	6.5±1.3	0.6±0.2	0.2±0.1	5.6±0.8	1.4±0.2	14.4±1.4	78.2
A-5	Dark next to Yogi	2.8±1.1	7.5±1.1	8.7±0.9	47.9±2.4	5.6±1.1	0.6±0.2	0.3±0.1	6.5±1.0	0.9±0.1	17.3±1.7	89.1
A-8	Scooby Doo	2.0±0.8	7.1±1.1	9.1±0.9	51.6±2.6	5.3±1.1	0.7±0.2	0.5±0.1	7.3±1.1	1.1±0.2	13.4±1.3	99.2
A-10	Next to Lamb	1.5±0.6	7.9±1.2	8.3±0.8	48.2±2.4	6.2±1.2	0.7±0.2	0.2±0.1	6.4±1.0	1.1±0.2	17.4±1.7	92.9
A-15	Mermaid Dune	1.3±0.7	7.3±1.1	8.4±0.8	50.2±2.5	5.2±1.0	0.6±0.2	0.5±0.1	6.0±0.9	1.3±0.2	17.1±1.7	98.9
Rocks												
A-3	Barnacle Bill	3.2±1.3	3.0±0.5	10.8±1.1	58.6±2.9	2.2±0.4	0.5±0.1	0.7±0.1	5.3±0.8	0.8±0.2	12.9±1.3	92.7
A-7	Yogi	1.7±0.7	5.9±0.9	9.1±0.9	55.5±2.8	3.9±0.8	0.6±0.2	0.5±0.1	6.6±1.0	0.9±0.1	13.1±1.3	85.9
A-16	Wedge	3.1±1.2	4.9±0.7	10.0±1.0	52.2±2.6	2.8±0.6	0.5±0.2	0.7±0.1	7.4±1.1	1.0±0.1	15.4±1.5	97.1
A-17	Shark	2.0±0.8	3.0±0.5	9.9±1.0	61.2±3.1	0.7±0.3	0.3±0.2	0.5±0.1	7.8±1.2	0.7±0.1	11.9±1.2	78.3
A-18	Half Dome	2.4±1.0	4.9±0.7	10.6±1.1	55.3±2.8	2.6±0.5	0.6±0.2	0.8±0.1	6.0±0.9	0.9±0.1	13.9±1.4	92.6
Calculated "soil-free rock"		2.6±1.5	2.0±0.7	10.6±0.7	62.0±2.7	0	0.2±0.2	0.7±0.2	7.3±1.1	0.7±0.1	12.0±1.3	

各値は重量%で示す。合計値は98%に揃えてある。右端のOrg-sumはoriginal sumの略。(R. Rieder et al., 1997による)

この、土壌汚染の影響を除いたSゼロの岩石に最も近い組成を持つものは、SharkとBarnacle Billである。ともにSiO₂量が60%前後で、明らかに安山岩に相当する。当初玄武岩と発表されていたYogiはSiO₂が55.5%で、これも安山岩に入れてよい(一般に玄武岩と安山岩の境界はSiO₂52%におかれている)。ダストの汚染をさし引けばYogiもいっそう立派な安山岩である。他の2つの岩石もほぼ同様である。

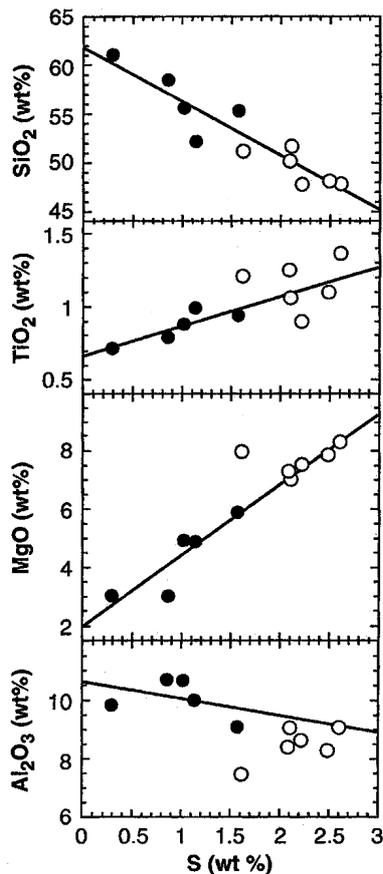
これらの岩石のCIPWノルム鉱物(化学組成から計算で求めた仮想的な鉱物組成)は、斜長石、斜方輝石(オーソパイロキシン)、石英などによって特徴づけられ、安山岩質であることを支持する。ただし、こうした結果から、これらの岩石が火成岩であると断定することはまだできないと、報告者のR. Riederらは慎重である。なぜならば、岩石の細かい組織(textures)を読みとるにはむずかしく、堆積岩や変成岩の可能性があるかもしれないし、またノルム鉱物に斜長石が多いことから、インパクトメルトの可能性も考えられないわけではないというのである。とはいうものの、やはり火成岩(安山岩)だとみるのが最も妥当のように思える。

先に岩石として扱われていたScooby Dooが土壌の仲間に入れられたのは、SO₃の含有量が高く土壌の値にきわめて近いためであった。しかしながら、表1のデータからわかるように、SO₃、Cl、MgOを除くとScooby Dooは岩石の組成にも近いことが注目される。

ランダーのカメラが見た土壌と岩石

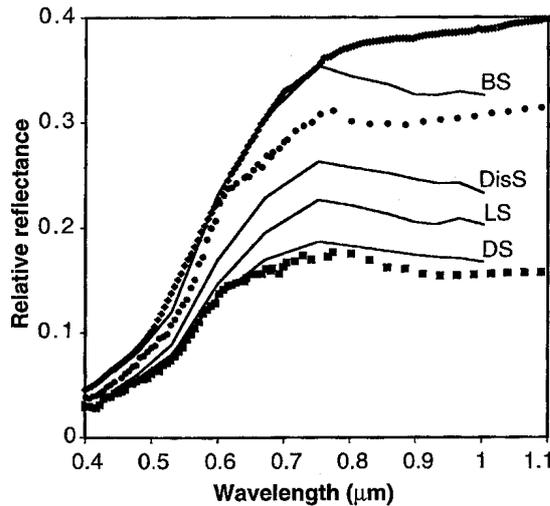
ランダーのカメラによるスペクトル画像データからも、土壌と岩石の性質が明らかにされた。着陸地点付近では少なくとも4つの土壌タイプが識別できるが、そのうち最もふつうのタイプは、明るい土壌(bright soil)と暗い土壌(dark soil)である。

Bright soilのタイプエリアはCradle岩とYogi岩の近くにある。その反射スペクトルは明るく、750nmでの相対的反射率は28~35%に達する(図2)。このタイプの土壌は赤/青比が高く、酸



↑ 図2 土壌の反射スペクトル

BS: bright soil, DS: dark soil, DisS と LS は中間的な反射率の土壌。(黒丸は火星の明るい地域、黒の四角は火星の暗い地域、黒の菱形はハワイのパラゴナイト質土壌)。(P.H. Smith et al., 1997 による)



← 図1 Sに対するSi, Ti, Mg, Alの割合。

黒丸は岩石、白丸は土壌の実測値を示す。各元素についてSがゼロのときの外挿値から、表1最下段のSを含まない岩石の組成が計算された。(R. Rieder et al., 1997 による)

化鉄に富むことを示している。一方、dark soilのタイプエリアはPhotometry FlatsとMermaidにあり、風成堆積物のパッチや砂丘地形などにみられる。750nmでの反射率は16%程度(図2)、赤/青比も低い。この性質から判断すると、風化の程度は低く、鉄の酸化過程があまり進んでいないようにみえる。ただし、dark soilはbright soilよりも粒子サイズが大きく、bright soilから選択的に分けられた部分だという考えもある。他の2つのタイプは、bright soilとdark soilの間の中間的な性質を示している。

岩石のほうは、着陸地点では、スペクトルからみて少なくとも3つのタイプがあることがわかった。第一の最も一般的なタイプは、Barnacle BillやBamm-Bammで代表される暗い岩石(dark rock)である。スペクトルのコントラストは低く、750nmでの反射率は12~14%である(図3)。赤/青比はひじょうに低く、比較的未風化の物質であることを示している。小さな空洞や気泡らしいものがあり、角ばった外観を示すことから、大洪水のあとにおこった比較的新しい衝突でできたものと思われる、南方2.2kmにあるBig Crater(直径1.5km)の放出物とも考えられる。

第二のタイプは明るい岩石(bright rock)で、Broken WallやWedge、Shark、Yogiなどがこれにあたる。反射率は19~24%で(図3)、赤/青比も高い。このことは、風化がより進んでいるか、土壌起源のダストを多くかぶっていることを示しているものと思われる。

第三のタイプは、赤と青の反射率が比較的高く、赤/青比も高いpink rockの仲間で、Scooby DooやBaker's Benchがその例である。これらはAPXS測定で土壌の一員に加えられたように、スペクトル的にもbright soilによく似ているので、このような土壌が固結したものであろう。

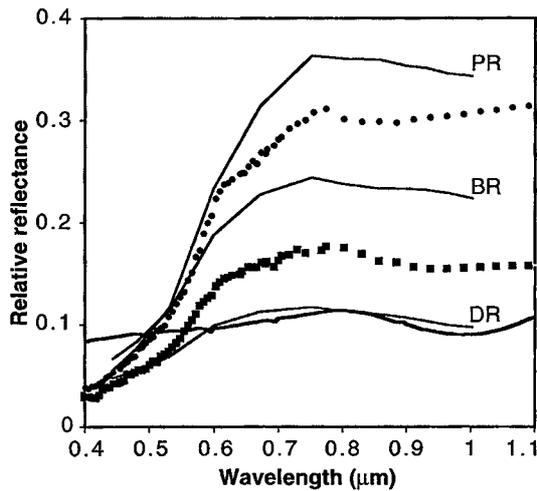


図3 岩石の反射スペクトル

BR:bright rock, DR:dark rock, PR: pink rock. (黒丸は火星の明るい地域、黒い四角は火星の暗い地域、太線はハワイの新鮮な玄武岩) (P.H. Smith et al., 1997 による)

以上のうち、第三のタイプは別として、第二のタイプは風化やダスト汚染の影響をとり除けば、基本的には第一のタイプと同じ性質をもつ岩石とみてよさそうだ。第一のタイプで、輝石の存在を示す900~1000nmでの吸収帯がみられないといった問題はのこるものの、これらの岩石はAPXS測定で判断されたように、安山岩質岩石と考えて矛盾はない。

火星の地殻は安山岩質か

これまでみてきたことから明らかなように、パフアインダーの観測と分析からみる限り、着陸地点の岩石のタイプは、土壌が固結したものを別にして、基本的に単一(安山岩質)であるように見える。しかしこのことは、着陸地点が大洪水の跡地でいろいろ異なったタイプの岩石がよせ集められているのではないかという、当初の研究者たちの期待を裏切ることとなった。最初にいろいろな種類の岩石があるように思えたのは、土壌(ダスト)のかぶり方の差異にすぎなかったのだ。

では、これら単一タイプの岩石片は、もとはどこにあったものだろうか。ランダー画像チームのDaniel Britt(アリゾナ大学)たちの仮説によると、洪水堆積物の数10m下には、厚さ数100mの火山性基盤岩がよこたわっている。洪水堆積物は上流からもたらされたこの基盤岩のかけらであって、もともとは1つの岩盤に属していたものではないかという。そうだとすると、火星の地殻は全体として安山岩質の組成をもっているとみてよいのだろうか。

APXSで得られた火星岩石の組成は、火星起源とされるSNC隕石などに比べて、 SiO_2 、 Al_2O_3 、アルカリの量が多く、この組成は地球の地殻の平均化学組成に比較的近いものである。ただし火星岩石では、鉄の含有量が多いことが地球とは大きく異なっているが、これは火星マンツルのFeO量が高いこと(マンツルのFeO量は、地球の8~11%に対して火星では16~27%に達するという見積もりがある)に由来しているのだろうと考えられている。

火星の地殻の組成の問題は、玄武岩質のSNC隕石の起源(火星のどの部分からきたのか)の問題ともからんでくるので、今回の分析結果だけから、簡単に安山岩質だと断定することはできない。今後のさらに広範囲の探査が不可欠になってくるだろう。

またこの問題は、火星の火山活動の性質とも関連してくる。火星の火山は、その地形や火山噴出物の特徴から、苦鉄質~超苦鉄質マグマの活動でできたと考えられてきた。火山噴出物には火

砕物や火砕流など、爆発的噴火の産物と考えられるものも多いが、これらも玄武岩質マグマに由来するものと解釈され、玄武岩質マグマの爆発的活動の可能性が論じられてきた。これらの議論は、火星の地殻が玄武岩質だという単純な仮定にもとづいてのものだったわけであるが、こうしたことも今後再検討の必要が出てくるだろう。

火星の土壌と岩石の関係も重要である。土壌が岩石（地殻）の風化産物であるのだとすると、土壌と岩石との化学組成上の差異、とくに土壌中の硫黄の存在はどう説明したらよいのであろうか。土壌中には、火成岩のような結晶質岩石が本来含みうる量よりもはるかに多量のSO₃が存在している。これを、火山ガスからのSO₂の供給で説明する考えもあるようだが、いまのところ硫黄の由来は不明である。また土壌中にはFeOとMgOも岩石中より多く存在するが、これについては、SNC隕石のようなFeとMgに富んだ苦鉄質物質との混合がおこった結果だろうという考えが出されている。

土壌に由来する火星大気中のダスト粒子には、磁性を帯びたものが多いことが、ランダーのマグネットアレイの実験で確かめられた（前号でのべた、ランプマグネットに付着したダストの分析結果は未発表である）。粒子は赤褐色のFe₂O₃を含み、そのうちの約6%はマグヘマイトmaghemite (γ-Fe₂O₃)であるという（マグヘマイトは磁赤鉄鉱ともいい、磁鉄鉱magnetiteと赤鉄鉱hematiteの合成語。磁鉄鉱の風化で生成する）。酸化鉄のγ相の形成には液体の水が関与していると考えられ、この物質に土壌生成のなぞをとく鍵が秘められているかもしれない。

堆積岩（礫岩）の存在をめぐる

パスファインダー着陸地点の岩石は安山岩質の単一タイプのもので、という考えが広まってきたなかで、この考えに異論をとなえる人たちがいることにもふれておかなければならない。ローバーチームのHenry Moore (USGS) たちがそうで、彼らは堆積岩のうちの礫岩が存在すると主張している。

Mooreらはローバーの画像をくわしく検討した結果、SharkやHalf Domeなどの岩石は礫岩のようにみえると結論した。これらの岩石にみられる直径3~4 cmのまるいコブは、礫岩の中に含まれている中礫(pebble)だと考えられる。また、もう少し小さめの岩石には、0.5~1 cm大のまるい中礫が含まれ、それらが抜け落ちたようにみえる穴のあいた岩肌が観察されるという。これに対してBrittは、「多くの岩石を見てきた岩石屋としては納得できない。堆積岩のようなものはまだなにも見っていない」と反論しており、パスファインダー科学者の間でも、意見が分かれているのが現状である。筆者も、写真の解像度からみて礫岩だと断定するのはすこし苦しいような気がするが……。

Mooreたちの主張によると、Sharkなどのコブのある岩石は、河川か海岸で堆積したシルト・砂・中礫からなる礫岩で、粘土とか珪質または鉄や硫黄の化合物の沈殿によって固められ、それらの断片が大洪水によってアレス扇状地に再堆積したのだろうという。このことはとりも直さず、アレス洪水の起こる前にも、円礫の生成と礫岩の形成をもたらした液体の水の環境があったことを物語る。そしてこのようなことが確かだとすると、アレス峡谷河口部の着陸地点あたりは、当初の予想のように、本当にいろいろな種類の岩石が寄せ集められたところ、ということになるの

かもしれない。

さて、パスマインダーの成果には、このほかにもとりあげたいことがあるが、誌面のつごうもあるのでこのへんで止めておく。論文紹介のつもりが、私見をまじえた内容になったことをお断りしたい。また、筆者の思いちがいなどがあるかもしれないので、ご意見をいただければ幸いである。

〈付記〉本稿に登場した個々の岩石については『Science』278, 5 Dec. 1977 や『Sky & Telescope』Oct. 1997 に、くわしく岩石名を入れたカラー写真が掲載されている。これらの原著もぜひ参照していただきたい。

参考文献

- Rieder, R., et al., 1997, The chemical composition of Martian soil and rocks returned by the mobile Alpha Proton X-ray Spectrometer: Preliminary results from the X-ray Mode. *Science*, 278, 1771-1774.
- Smith, P.H., et al., 1997, Results from the Mars Pathfinder Camera. *Science*, 278, 1758-1765.
- Hviid, S.F., et al., 1997, Magnetic properties experiments on the Mars Pathfinder Lander: Preliminary results. *Science*, 278, 1768-1770.
- Rover Team, 1997, Characterization of the Martian surface deposits by the Mars Pathfinder Rover, Sojourner. *Science*, 278, 1765-1768.
- Kerr, R.A., 1998, Pathfinder tells a geologic tale with one starring role. *Science*, 279, 175.
- Edgett, K., 1997, Mars Pathfinder: Lander is silent, but date tell many tales. *Eos*, Vol.78, No.46 (Nov. 18, 1997), 521, 527.
- Edgett, K., 1997, Pathfinder mission ends. *Mars Underground News*, Vol.9, No.4, 4-6.

論文紹介

215 万年前に南氷洋に落下したエルタニン小惑星

Gersonde, R., Kyte, F.T., Bleile, U., Diekmann, B., Flores, J.A., Gohl, K., Grahl, G., Hagen, R., Kuhn, G., Sierro, F.J., Volker, D., Abelman, A., and Bostwick, J.A., 1997, Geological record and reconstruction of the late Pliocene impact of the Eltanin asteroid in the Southern Ocean. *Nature*, 390, 357-363.

いまから 215 万年前の鮮新世後期に、直径 1 ~ 4 km の小惑星が、南氷洋の一部をなすベリングスハウゼン海の一部、チリの南西約 1500km の海中に落下し爆発した。この事実の発見は、30 年前の 1960 年代半ばにアメリカ海軍の船エルタニン号 (Eltanin) が、同地 (50° 47.2'S、90° 47.6'W) の深さ 4700 m の海底から、堆積物のコアサンプルを採取したことにはじまる。その後 1981 年になってこのサンプルからイリジウム (Ir) の濃集が発見された (Kyte, F.T., et al., 1981)。さらに、玄武岩質エコンドライトの破片がサンプル中に含まれていること (Kyte et al., 1985)、Ir は主に多孔質の溶融片に濃集していること (Kyte et al., 1988) なども明らかになった。それ以来この物質は「エルタニン隕石」とよばれるようになった。

これらの調査研究をふまえてさらに多くの情報をえるために、著者の R. Gersonde (ドイツのアルフレッド・ウェゲナー極地海洋研究所) たちは、1995 年に調査船ポーラースターン号 (Polarstern) で、この地域の海底をくわしく調査した。本論文はその報告である。

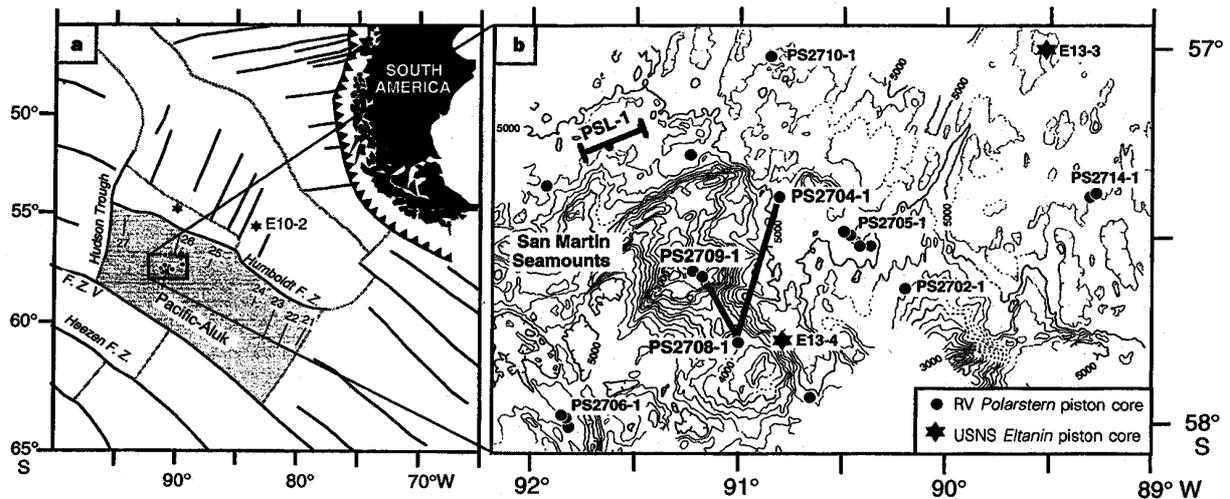


図1 エルタニン小惑星落下地とコアサンプル採取地点

エルタニン号の調査地点を含む新しい調査地域を図1に示す。ここは南極プレート上にあり、水深約2500 mを頂きとする不規則な形のSan Martin海山と、それをとりまく水深約5000 mの深海底からなる。この海域の8か所でコアサンプルの採取が試みられたが、そのうち長さ20 mの完全な断面がとれたのは次の3か所である。

- ① PS2709-1：海山の頂上近くの57° 35.4'S、91° 13.2'W地点。水深2707 m。
- ② PS2708-1：海山の南斜面の57° 46.8'S、90° 59.9'W地点。水深3965 m。
- ③ PS2704-1：海山の北の深所の57° 23.4'S、90° 48.4'W地点。水深4961 m。

この3地点の堆積物の柱状断面(部分)とその対比を図2に示す。図にみるように、堆積物はその層相と含有化石の特徴からI~VI (V)のユニットに区分されている。このうちII以下の堆積物が衝突の影響を受けており、衝突放出物(ejecta)はIIIの最上部からIIにみられる。とくにIIの最下部10~20cmにおけるejectaの集積度は20%に達する。ejectaは主として多孔質のインパクトメルトからなるが、数%は非溶融の隕石片である。ejectaのほとんどは粒径0.5~5 mmの微小なものであるが、PS2704-1のIIIの直上では、直径1.5cmの非溶融の隕石片と9 mmの多孔質粒子が採取された。

堆積物の各ユニットの年代は、化石(放散虫、有孔虫、石灰質ナノ化石)にもとづく生層序学と、古地磁気層序学の方法によって決められた。衝突に一番深く関係するユニットでejectaを含むIIは、古地磁気年代尺度のレユニオンイベント(C2r.1n, 2.14~2.15Ma)に最も近く、これらを根拠に、エルタニン隕石の落下年代を215万年前と決定した。

PS2704-1、PS2708-1、PS2709-1の各地点で堆積したejectaの量は、それぞれ500、830、670mg/cm²と見積もられる。これを加えて、周辺にまき散らされたejecta全体の量の見積もりから考えると、エルタニン小惑星の直径の下限は1 km、上限は4 kmと推定され、その爆発エネルギーは10⁵~10⁷メガトンTNTと推算される。

突入天体の直径が1 kmとしても、南米と南極大陸へは20~40 mのオーダーの巨大津波が押し

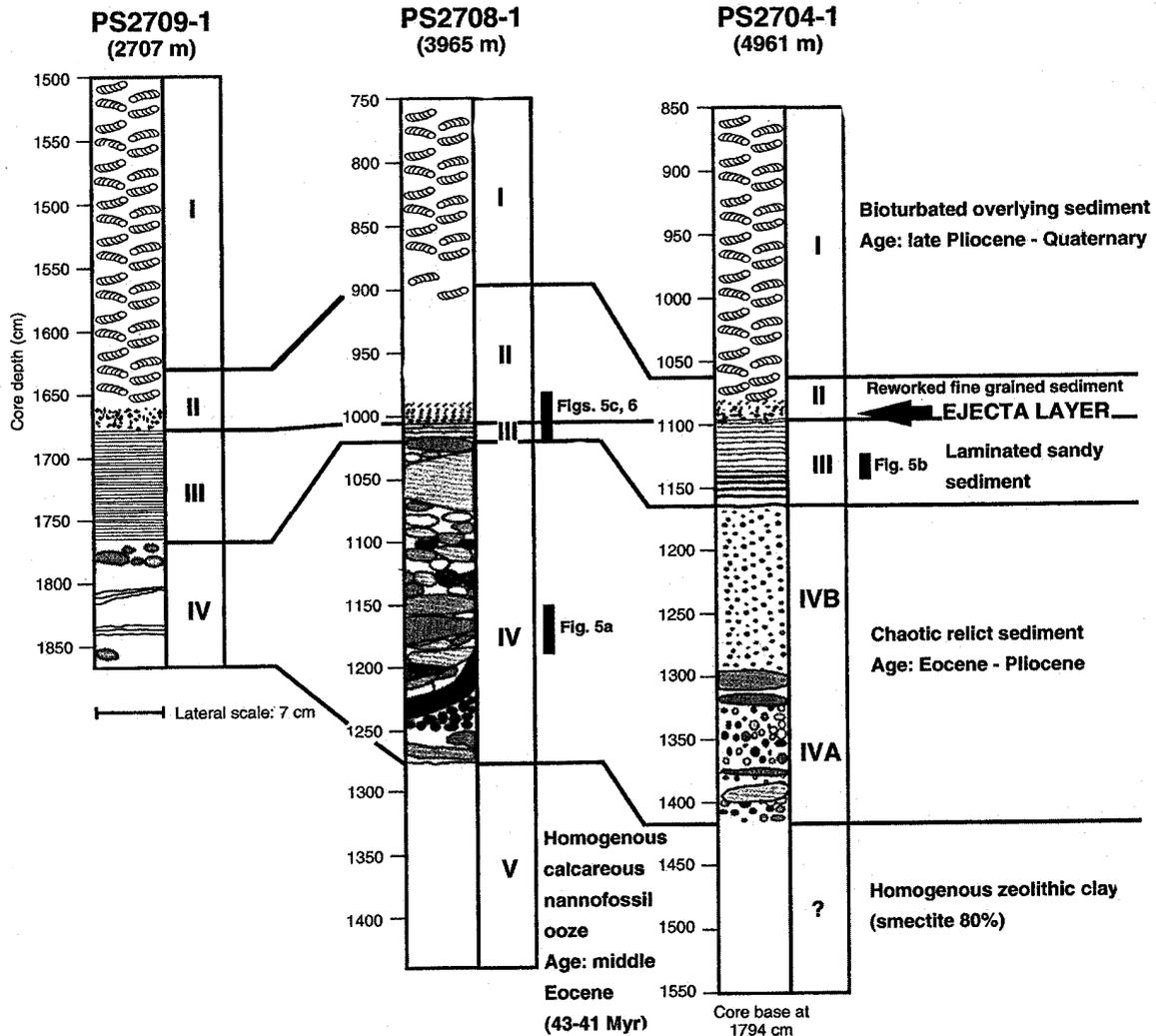


図2 3か所のコアサンプル柱状断面図とその対比

寄せたであろうし、深層水の振幅5~10 mの波動は北太平洋までも広がっていったに違いない。ペルー海岸のピスコ近くでは、海生と陸生の哺乳類化石を含む鮮新世後期の異常堆積物がみられるし、南極大陸の東海岸には、現在の海水準よりも数10 m高い所に鮮新世後期の異地性海成堆積物が存在する。これらはおそらく津波堆積物だろう。また衝突の影響は全地球的規模におよんだと思われるが、海生生物の絶滅などの異変はいまのところはつきりわかっていない。

エルタニン衝突の放出物は、氷のない南極横断山脈にも存在するかもしれない。この地域の始新世~鮮新世後期の氷河性堆積物(シリウス層群)からは、海生珪藻や放散虫、石灰質ナノ化石などの微化石が発見されている。これらは従来、氷河の融解による水流で運ばれ堆積したものとされていたが、エルタニン衝突の放出物として空中から飛来し堆積した可能性も考えられる。シリウス層群の生物群集は、コアサンプルのユニットIIとIIIの生物群とよく一致するからである。

地球の表面の約70%は海洋でおおわれており、これまでに海に落ちた小惑星(隕石)は膨大な数にのぼるはずであるが、これらの調査研究はまだほとんど手がつけられていない。海底の隕石探査には多くの困難がともなうとはいえ、今後の魅力あるテーマであり、その意味においてこの論文は興味深いものといえよう。

(小森長生)

論文抄録

マーズパスファインダーミッションの概観

Golombek, M.P., ほか 13 名, 1997, Overview of the Mars Pathfinder Mission and assessment of landing site predictions. *Science*, 278, 1743-1748.

パスファインダーの打ち上げから着陸までの経過、火星表面での活動の状況、ランダーとローバーの観測で明らかになった地形、地質、土壌と岩石の化学組成、磁氣的性質、大気と気象などの概略のまとめ。あわせて着陸前の予想と、着陸後の観測で明らかになった事実との対比が示されている。(K)

電波追跡からわかった火星の内部構造と質量分布の季節変化

Folkner, W.M., ほか 4 名, 1997, Interior structure and seasonal mass redistribution of Mars from radio tracking of Mars Pathfinder. *Science*, 278, 1749-1752.

パスファインダーとバイキングランダーからの電波信号のドプラー追跡の比較検討によって、火星の自転軸の方向とその変化がくわしく調べられた。火星の精密な歳差定数は -7576 ± 35 ミリアークセコンド角/年、極の慣性モーメントは 0.3662 ± 0.0017 である。これらから、火星内部には半径 1300~2000 kmの密度の高いコアが存在すると考えられ、また自転の年変化は、大気と極冠の間でおこるCO₂の季節的質量交換モデルとよく一致する。(K)

火星の大気圏の構造と気象観測の成果

Schofield, J.T., ほか 8 名, 1997, The Mars Pathfinder Atmospheric Structure Investigation / Meteorology (ASI/MET) experiment. *Science*, 278, 1752-1758.

パスファインダーのASI/MET観測の結果、火星表面から高度 160 kmまでの大気層の密度、気圧、気温の垂直断面構造と、83 ソル間の表面気象が解明された。大気層の構造と気象現象は、バイキング1号ランダーの観測結果とよく似ているが、上層大気は夜間により冷たく、逆に地表では10~12K暖かい、などの相違点もみられる。気圧と風向と気温の変化から、局地旋風(ダストデビル)の発生も確かめられた。(K)

パスファインダーのカメラからみた火星表面

Smith, P.H., ほか 25 名, 1997, Results from the Mars Pathfinder Camera. *Science*, 278, 1758-1765.

ランダーのカメラImager for Mars Pathfinder (IMP)による観察の結果、着陸地点の表面は、流水と風と衝突現象によって運ばれた岩石でおおわれた、リッジやトラフのある複雑な形状をもっていることがわかった。画像のスペクトル分析によると、岩石は3タイプ、土壌は4タイプに分けられる。また、夜明け前の空の画像には、H₂Oの氷晶からなる薄く青みがかった雲がみられた。雲粒子は半径約1 μm、大気中の水蒸気量はコラムで約10 μm程度である。(K)

ローバーの観察でわかった火星表面堆積物の性質

Rover Team (Matijevic, J.R., ほか 28 名), 1997, Characterization of the Martian surface deposits by the Mars Pathfinder Rover, Sojourner. *Science*, 278, 1765-1768.

ローバーのソジャーナは、火星表面上と、堆積岩起源と思われる岩石中に中礫(ペブル)サイズのまるとい岩石を見出した。表面にみられるペブルは、アレス洪水の水流で円磨されたか、礫岩から風化によって分離したものと思われる。礫岩の存在は、アレス洪水以前にどこか他の場所に水が存在していたことを意味する。土壌のような堆積物のほとんどは、地球上の平均的な密度の土壌に類似する。(K)

ランダーによる磁性ダスト粒子分析の予備的結果

Hviid, S.F., ほか 12 名, 1997, Magnetic properties experiments on the Mars Pathfinder Lander: Preliminary results. *Science*, 278, 1768-1770.

火星大気中には多くの磁性ダストが浮遊している。その平均磁化率は約4アンペア/m²/kgである。粒

子は Fe_2O_3 などの鉄酸化物で固められた粘土状の集合体で、マグヘマイトを含む。マグヘマイト ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) は、基盤岩から液体の水によって Fe^{2+} イオンが溶出し、地表にあふれ出した水からそれらがフリーズドライ式に凝結したものと考えられる。一方、磁性粒子は玄武岩質岩石から直接もたらされたもので、パラゴナイト中のチタノマグネタイトだという考えもある。(K)

APXS 分析で明らかになった火星の土壌と岩石の化学組成

Rieder, R., ほか 7 名, 1997, The chemical composition of Martian soil and rocks returned by the Mobile Alpha Proton X-ray Spectrometer: Preliminary results from the X-ray mode. *Science*, 278, 1771-1774.

ローバーに搭載されたアルファプロトン X 線スペクトロメーター (APXS) の X 線モードによる、着陸地点の 6 つの土壌と 5 つの岩石の分析結果の報告。土壌の組成はバイキングの分析値とほぼ一致する。岩石はダストをかぶっているものもあるが、組成はどれも基本的には似ていて SiO_2 が多く、地球の安山岩に相当する。地球の地殻の平均化学組成にも近い。土壌は岩石の風化から直接できたものとは考え難く、Mg、Fe の混入や、岩石と火山ガスの反応生成物の付加を考えなければならない。(K)

NEAR の追跡データから求めたマチルドの質量

Yeomans, D.K., ほか 12 名, 1997, Estimating of the mass of asteroid 253 Mathilde from tracking data during the NEAR flyby. *Science*, 278, 2106-2109.

1997 年 6 月 27 日、NEAR 探査機が 253 番小惑星マチルドに 1200 km まで接近した際の、重力による軌道変化の解析から、マチルドの質量が $1.033 (\pm 0.044) \times 10^{20} \text{g}$ と見積もられた。NEAR が撮影したマチルドの形と大きさから体積を見積もり、平均密度を求めると 1.3g/cm^3 しかないことがわかった。マチルドはきわめて多孔質の天体ではないかと考えられる。(K)

C 型小惑星の特徴をしめすマチルド

Veverka, J., ほか 16 名, 1997, NEAR's flyby of 253 Mathilde: Images of a C Asteroid. *Science*, 278, 2109-2114.

NEAR がフライバイ時に画像にとらえたマチルドは、直径 $66 \times 48 \times 64 \text{ km}$ で 3 軸不等のいびつな形をなし、表面には多くのクレーターをもつ。表面のアルベドは $0.035 \sim 0.050$ で暗く、色は CM 炭素質コンドライトに似ている。平均密度の 1.3g/cm^3 は CM コンドライトの約半分でしかなく、このことから多孔質の内部構造をもつと考えられる。(K)

エウロパの地下に海が存在する証拠

Carr, M.H., ほか 22 名, 1998, Evidence for a subsurface ocean on Europa. *Nature*, 391, 363-365.

木星の衛星エウロパは、ボイジャーの探査以来、氷の薄い外殻と内部の珪酸塩核の間に液体の水の層(地下の海)があると考えられてきたが、ボイジャー画像の解像力不足 ($> 2 \text{ km/pixel}$) で十分確認できなかった。しかし、新たに得られたガリレオによるエウロパの高解像度画像 (54 m/pixel) から、動くアイスバーグの存在が明らかになり、地下の浅所に液体の水があることがかなり確実になった。この事実はエウロパの広い地域で認められる。(K)

エウロパの氷殻における固体の対流の地質学的証拠

Pappalardo, R.T., ほか 10 名, 1998, Geological evidence for solid-state convection in Europa's ice shell. *Nature*, 391, 365-368.

ガリレオ探査機で得られた高解像度画像によって、エウロパ表面には、ピット、ドーム、スポットなどいろいろな円形地形がみられることがわかった。これらは、地下から浮力で上昇する、比較的暖かい氷のダイアピルがつくる地形だと解釈できる。地下の液体の水の層をおおう氷の外殻では、内部からの熱流によってひきおこされるソリッドステート対流が生じていると考えられる。(K)

エウロパ表面におけるプレートの分離と裂け目の充填

Sullivan, R., ほか 12 名, 1998, Episodic plate separation and fracture infill on the surface of Europa. *Nature*, 391, 371-373.

エウロパ表面にみられる暗いくさび状のバンド構造は、表面の氷プレートが移動しお互いに回転した結果できたものと解釈されてきた。ガリレオの高解像度画像 (420m/pixel) にもとづく検討によると、暗いくさび状バンドの内部は、平行する線状構造の集まりがバンドの中央から両側に対称的に分布し、氷のプレートが中央軸からエピソード的に分離したことを示している。このテクトニックスタイルは地上の海洋底拡大などとよく似た活動様式である。おそらく、プレートの下から上昇する氷か水が、裂け目を充填しながらおし広げていったのであろう。 (K)

書籍紹介

惑星科学百科事典

Shirley, J.H. and Fairbridge, R.W. (eds.) 1997, *Encyclopedia of Planetary Sciences*. Chapman & Hall, 1050pp, 28.5×23×5cm, ISBN 0-412-06951-2, \$199.

惑星科学は、天文学、物理学、化学、地質学などの広範な知識が必要とされる学際科学の典型ともいえる学問分野である。しかし、関連分野の正確な知識を得ることはなかなか難しく、読みやすさが重視される一般書では肝心の方法論や厳密さが省略されていることが多いし、大部の専門書は畑違いの研究者には理解しがたいことが多かった。そのような隙間を埋め、必要な知識が短時間で要領よく得られる本、それが本書である。

本書は約 450 の大項目からなる百科事典で、第一線で活躍している研究者約 200 人によって執筆されている。項目は惑星・衛星・彗星などの天体ごと、衝突クレーター・火山・大気・重力・磁気・浸食などの事項ごと、年代学・画像解析・地図学などの方法論、探査機、人物などが ABC 順に並べられている。構成は 1 ページ 2 段組で、人物などは 20 行程度の簡単な記載が多いが、火星の 34 ページを筆頭に重要項目には 10 ページ以上が割り当てられているので、まとまった知識を得ることができる。さらに詳しく調べたい場合には、各項目末尾の文献欄が役に立つ。大項目主義を採用したために、必要項目を探すのに巻末索引をこまめに利用しなければならないというのが本書のわずかな欠点といえる。本書中の写真を補うために、約 200 の惑星画像を収録した Planetary Images という CD-ROM (Mac と IBM-PC コンパチブル) が付録となっている。

本書は惑星科学の研究者ばかりでなく、惑星科学を志す学生が惑星科学の全体を見渡すために最適の百科事典といえる。私は本書を日本橋の書店で見つけたが約 5 万円と高価だったので購入をためらい、あらためて Sky & Telescope 誌の通信販売を通じて約 3 万円 (送料込み) で手に入れた。インターネットを利用できる方は、Sky & Telescope 誌の通販やホームページ (<http://www.skypub.com/>) を通じて簡単に購入できる。 (白尾元理)

太陽系の景観

Hamilton, C.J.(ed.) 1997, *Views of the Solar System* (CD-ROM). National Science Teachers Association, \$21.95.

上に紹介した *Encyclopedia of Planetary Sciences* が重量 3 kg のヘビー級だとすれば、こちらは CD-ROM 1 枚のライト級太陽系百科事典である。NSTA とはアメリカ理科教師連合 (National Science Teachers Association) のことで、中学校理科授業に生徒自身が操作しながら学べるように作ったのがこの CD-ROM で、マイクロソフト製の ホームページブラウザ Internet Explorer (このソフトは CD-

ROMに内蔵、MacとIBM-PCコンパチブル)で見られるようにできている。もっともブラウザはCD-ROMの表示に使うだけなので、パソコンがインターネットに接続してある必要はない。

太陽系関連の情報源としてはNASAをはじめとして、JPL、USGSなど多くの優れたホームページがあるが、実際に知りたい情報を得るためには時間がかかることが多い。とくにメガサイズの画像では、データを得るまでに数分もかかってしまい、いらいらすることがある。最新の情報を得るという点では劣るものの、このCD-ROMは文字やボタンをクリックするとメガサイズの画像でさえ数秒後には表示され、すばやく情報を得ることができる。

CD-ROMには600MB以上のデータが格納されており、画像情報ばかりでなく、分かりやすいテキストによる解説にも重点がおかれている。難しい専門用語は、内蔵の惑星科学辞書で調べることができる。トップページにはイントロダクション、太陽、9惑星、彗星、隕石、歴史、人物のボタンがあり、クリックを繰り返すことによって目的のページにたどり着くことができる。解説は最初は簡単に、そしてクリックを続けることによってかなり詳細な事項にまでたどり着くことができる。たとえば月では、アポロ探査の着陸地点が選定された理由や地質観察の結果までがまとめられているし、2003年の日本の月周回探査まで触れられている。豊富な内容と使いやすさに加えて22ドル弱と廉価なので、中学生から一般天文ファン、教師、学生、研究者まで利用できるだろう。このCD-ROMはEncyclopedia of Planetary Scienceと同様にSky & Telescope誌の通販やホームページ(<http://www.skypub.com/>)を通じて購入できる。
(白尾元理)

INFORMATION

●1998年地球惑星科学関連学会合同大会

日時：5月26日(火)～29日(金)

会場：東京オリンピック記念青少年センター(渋谷区代々木神園町3-1)

交通：小田急線「参宮橋」駅下車 徒歩7分、地下鉄千代田線「代々木公園」下車12分

惑星科学関連のセッションとして「月の起源と探査」「火星の観測と理論」「太陽系小天体と隕石の科学」他がおこなわれます。詳しいプログラムは大会組織委員会のホームページ(<http://gakkai.stp.isas.ac.jp>)でみることができます。

●第23回南極隕石シンポジウム

日時：6月10日(水)～12日(金)

会場：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 curator@nipr.ac.jp

●郵便番号の変更

今回から郵便番号を新しい7桁表示に変更しました。しかし固有の郵便番号をもつ機関までは届きませんので、間違いがあればE-mailやファックスなどでお知らせ下さい。

編集後記：前号で98/99年度の会費納入をお願いしたところ、さっそく多数の方々からご協力をいただきました。ありがとうございます。早いもので、本誌も今年で10年目に入りました。惑星探査も新しい時代を迎え、これからの惑星地質学のますますの発展が期待されます。私たちも微力ながらがんばりたいと思っておりますのでどうかよろしく。(K)