

発行人：惑星地質研究会 小森長生・白尾元理

事務局：〒193-0845 八王子市初沢町 1231-19-B-410 小森方

TEL & FAX: 0426-65-7128

E-mail: motomaro@ga2.so-net.ne.jp

郵便振替口座：00140-6-535608

再び火星隕石（火星起源隕石）について

矢内桂三 Keizo YANAI

1. はじめに

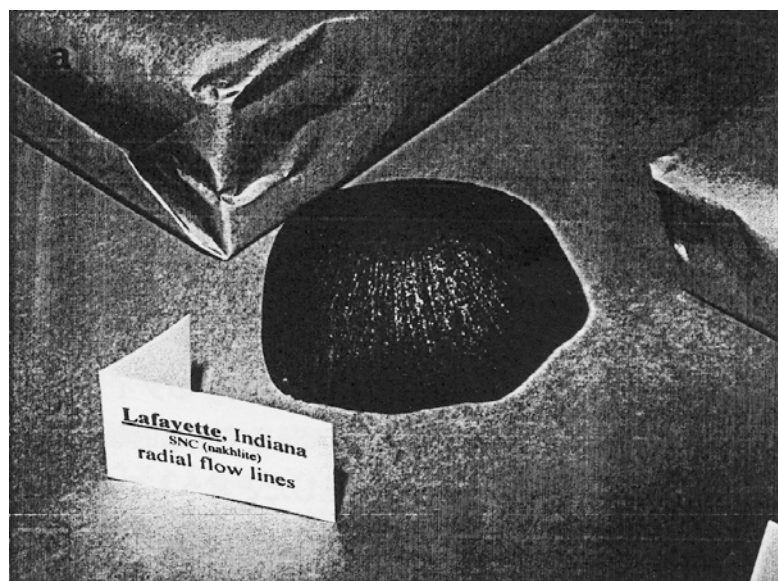
かつて本ニュース Vol. 8, No. 1 (1996年3月) に「火星起源 SNC 隕石について」のタイトルで火星隕石（火星起源隕石）の概要を紹介した。その直後の1996年8月に、NASA から衝撃的なニュースが流された。つまり南極産火星隕石の中から「生命活動の痕跡」を発見したと言うものである。証拠として出された一枚の電子顕微鏡写真には、イモムシみたいな“モノ”が今にも動き出しそうで迫力があつた。いろいろ事情はあるのだろうが、お国柄かアメリカはこのことに大統領が即座に対応、「アメリカは火星に人を送る」と。これがNASAの予算獲得や大統領の

表1. 火星隕石(火星起源隕石)一覧

1999年8月現在

隕石名	落下年 (発見年)	発見地	原重量(g)	岩石種 (岩質)	形成年代 (100万年)
ALH-77005	(1977年12月29日)	南極、アラン ヒルズ	482.5	レルゾライト	187±12 154±6
ALH84001	(1984年12月27日)	南極、アラン ヒルズ	1,930.9	斜方輝岩	4560
シャシニー	1815年10月3日	フランス	~4,000	ダンカンラン岩	1300
DaG 476	(1998年5月1日)	リビア、サハラ砂漠	2,015	玄武岩~粗粒玄武岩	-
DaG 489	(1997-98年)	リビア、サハラ砂漠	2,146	玄武岩~粗粒玄武岩	-
EETA79001	(1980年1月13日)	南極、エレファント モレーン	7,942.0	玄武岩(岩相A) 粗粒玄武岩(岩相B)	A: 173±10 B: 185±25
ガバナドール バラダレス	1958年	ブラジル	158.	単斜輝岩	1320-1360
ラファイエット	(1931年以前)	米国	~800	単斜輝岩	1270-1330
LEW88516	(1988年12月22日)	南極、ルイス クリフ	13.2	レルゾライト	183±10 166±60
ナクラ	1911年6月28日	エジプト	10,000?	単斜輝岩	1240-1370
QUE94201	(1994年12月16日)	南極、クィーン アレキサンドラ連峰	12.0	粗粒玄武岩	327±12 327±19
シャーゴッティ	1865年8月25日	インド	~5,000	ハンレイ岩	165
Yamato-793605	(1979年11月20日)	南極、やまと山脈	~16	レルゾライト	(4433, 212)
ザガミ	1962年10月3日	ナイジェリア	~18,000	ハンレイ岩	180-186 230
(1075*)	-	-	-	レルゾライト	-

ALH(Allan Hill), Chassigny, DaG(Dar al Gani), EET(Elephant Moraine), Governador Valadares, Lafayette,
LEW(Lewis Cliff), Nakhla, QUE(Queen Alexandra Range), Shergotty, Zagami (*印 現在同定中)



b

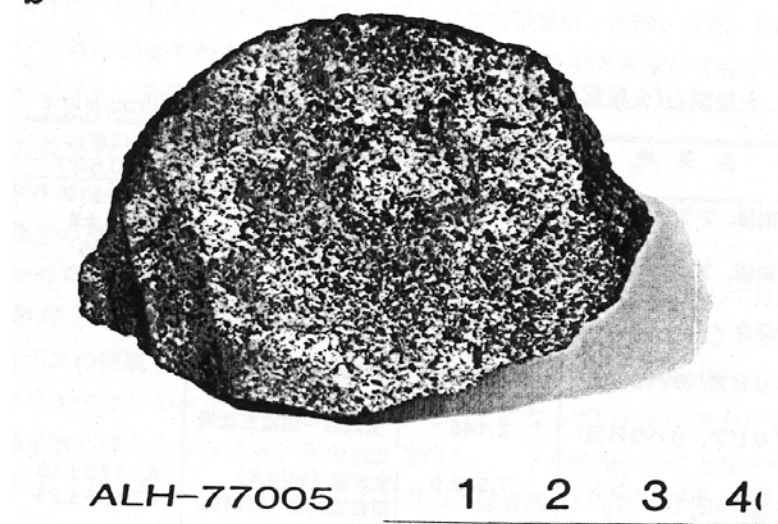


図1. 代表的な火星隕石

a : ラファイエット隕石 約800g、
代表的なナクライトの一つで単斜輝
岩。表面の流れ模様が特徴。

b : ALH-77005 隕石、212g、岩
質は超塩基性岩のレルゾライト。黒
い部分は衝撃により一部ガラス化し
ている（図2のaを参照）。
（スケールはcm）

パフォーマンスであっても、夢があるのではなかろうか。もしも火星に生命体が存在したら（していたら）、人類の宇宙観も変わらざるを得ないであろう。生命とは何か、生命体はいつ、どこで、どのようにして発生したのか、なぜ生命体が誕生したのか。そしてこのことは、人類とは何かをも問い直すことになるのではなかろうか。

最近の研究によると他のいくつかの火星隕石からも“生命活動の痕跡”が発見されたとのことで、火星隕石の研究は過熱気味である。一方、火星探査機も次々に打ち上げられ、きわめて鮮明な火星表面の写真は火星に生命体存在の期待感を高めてくれるし、火星の石サンプルリターンもスケジュールに乗り、夢がふくらむばかりである。私は“生命”については素人なので詳しい話はできないが、これからますます“火星隕石－火星の石－火星－火星の生命”が話題になると予想される。火星の石サンプルリターンはまだ少し先のことなので、当面火星起源隕石の果たす役割の大きさは変わらないであろう。前回の報告から3年半が過ぎ、研究面の進展は言うまでもないが、新たな火星隕石の発見も続いているので、再度、火星隕石の概要と現状を紹介したい。

火星隕石の概要（かなり詳しい）は、Charles Meyer(1998) による Mars Meteorite, Compendium-1998 (1998, NASA 発行) にも述べられ、各隕石の研究についても同書の文献一覧にリストアップされているので活用されたい。

2. 火星隕石：いわゆる火星起源隕石

図1に代表的な火星隕石を示したが、火星隕石はかつて SNC 隕石 (Shergottites-Nakhlites-Chassignite の頭文字) と呼ばれた。このグループの最大の特徴は、その形成年代・固化年代（つまりマグマからの結晶化年代）がきわめて若いことである。1.5～2 億年を示す形成年代は他のどの隕石グループにもみられない一大特徴である。つまり、この隕石群は約1 億年前まで活動していた（生きていた）天体（隕石母天体）から由来したことになる。しかも南極産火星隕石 EETA79001 に含まれていた極微量の希ガス組成が火星探査機バイキングにより測定された火星大気の希ガス組成に非常に良く似ていた。この2 点が、これらの隕石が火星由来とされる最大の理由となっている。

表1に火星起源隕石の諸々のデータをまとめて示した。前回（1996 年）から新たに2 個が追加され、その他にも同定が進められている隕石もある。最近確認された火星起源 DaG (Dar al Gani) 隕石は、リビアのサハラ砂漠から回収されたもので、当地域としては初めての火星隕石である。同じように、サハラ砂漠からは2 個の月隕石（月起源隕石）も発見されている。

現在知られている火星隕石 14 個（あるいは 15 個）は、いずれもマグマ起源、つまり火成岩である。しかし、その岩相は多様で、図2に示すように深成岩—半深成岩—火山岩相当まで岩相変化に富み、岩質も超塩基性岩から塩基性の玄武岩質岩までである。また、個々の隕石にも岩相の変化が認められ、単に SNC 隕石と一括されるほど単純ではないようである。DaG 隕石については実物のごく一部を見ることができたが、薄片は見えていない。DaG 隕石は EETA79001 隕石（玄武岩質）に類似するとされている。一方、EETA79001 隕石の薄片は観察したが、実物を見る機会がなく、両隕石について岩相・岩質を比較する肉眼的鑑定は残念ながらできていない。

3. 火星隕石の鉱物組成について

Vol. 8, No. 1 の図2にも示したのと同様に、図3に火星隕石の鉱物組成を示した。鉱物の化学組成は表1に示された岩石種にも対応する。しかし、詳しく見れば同じ岩石種でも、鉱物組合せやその組成にばらつきが見られる。例えば EETA79001 隕石は玄武岩に分類されるが、岩相 A と岩相 B があり、両者には鉱物組合せやその組成にかなりの差があり、両者の組成にも大きな違いがある（図2の d）。当然のことながら、個体が異なれば同じ岩石種でも微妙な差異がある。このことはそれぞれの隕石が形成された環境の違い、例えばマグマの組成の違い、分化の差、形成の場等を反映していると考えられる。しかし、いずれも火星隕石はマグマの産物であることに変わりはない。

4. 火星の生命活動、“生命活動の痕跡” は本当なのだろうか

1997 年3月の月・惑星科学会議（ヒューストン）は“火星の生命”でもちきりであった。火星の生命活動の特別シンポジウムは一般市民も出席し、会場は超満員の盛況であった。一方、研究

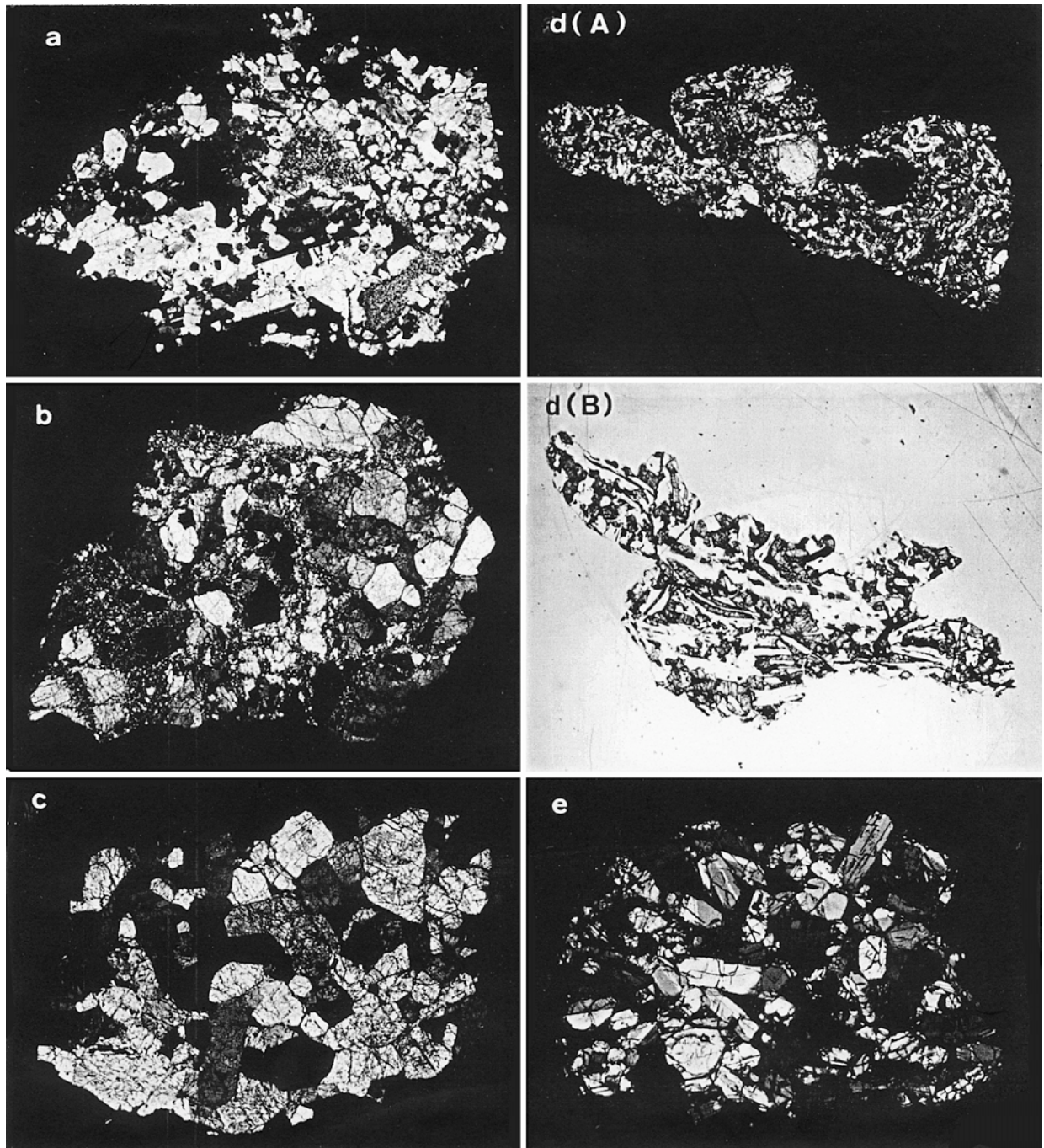


図2. 火星隕石の偏光顕微鏡写真

a : ALH-77005 隕石、典型的なポイキリチック組織を示す。微細な結晶からなるポケット状の部分は衝撃によりガラス化した部分（再結晶している）。幅 14mm。 b : ALH84001 隕石、ほとんどが斜方輝石からなる角礫岩。角礫状の輝石の隙間に生命活動の痕跡と思われる炭酸塩鉱物が見出された。幅 12mm。 c : シャシニー隕石、主に粗粒のカンラン石からなる超塩基性岩の一つダンカンラン岩。幅 9mm。 d (A) : EETA79001、A 岩相、カンラン石の捕獲斑晶（中央）をもつ玄武岩、火星の表面に流れ出した熔岩か。幅 14mm。 d (B) : EETA79001、B 岩相、流理構造を示す輝石と斜長石からなる粗粒玄武岩。幅 14mm。 e : ガバナドール パラダレス隕石、大型のオージャイト斑晶の間をガラスと細粒のメソシタシスが埋める。この組織は本岩が地表近く（か地表？）でマグマから固化したことを示しているかもしれない。幅 4mm。

者は原始生命の痕跡とは一体なんなのか、低温で形成されたとする生命体説（生命活動派）と高温で形成されたとする無機生成説（反生命活動説）に分かれ、激論が交され続けた。無機生成説がかなり優勢のようであったが、1999 年の第 30 回同会議では、他の隕石（ナクラ隕石とシャ

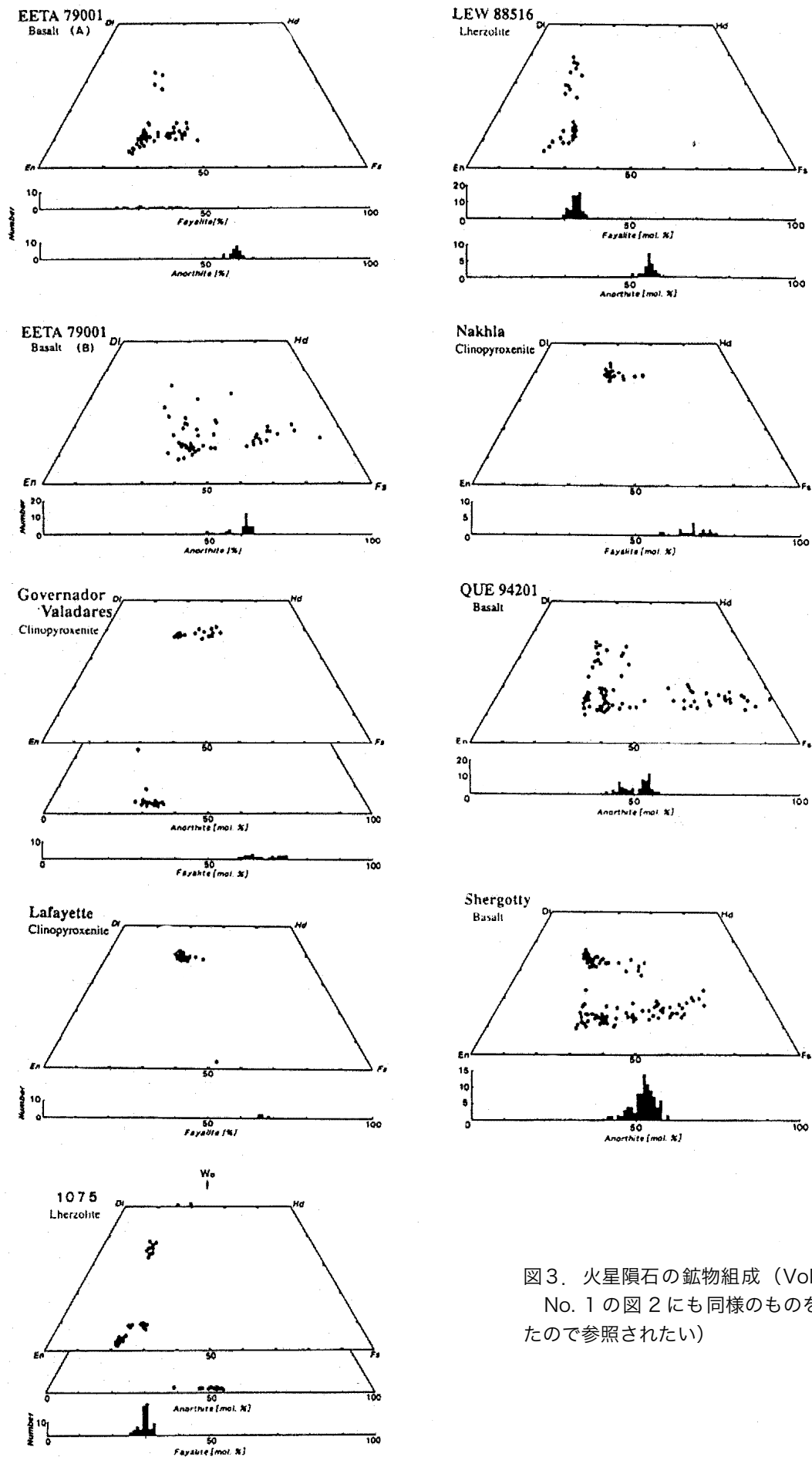


図3. 火星隕石の鉱物組成 (Vol. 8 ,
No. 1 の図 2 にも同様のものを示した
ので参照されたい)

シニー隕石)にも“生命活動の痕跡”を確認したとのことで、生命体説が復活したかのようでもあった。しかし、まだ決着はついていない。最終的には多分火星の石サンプルリターン後に決着するか、さもなくば誰かが火星に行って確かめることになるであろう。このように“火星の生命”が話題となる中で、火星隕石の研究にも一層の拍車がかかってきた。ところが、この世界も需要と供給のバランスが成り立つらしく、火星隕石1gにウン千万円の値段がついた。月隕石1g 200万ドルに比べれば格安であるかもしれないが・・・隕石の経済的効果は果たしてあるのだろうか。

5. 再び火星隕石と ALH84001 隕石

火星隕石は隕石の中ではもう少数派ではなくなった。月隕石も20個近くが確認されてもはや少数派ではない。今でも少数派はシデロファイヤー(1個のみ)、ロドラナイト(数個)、アングライト(3個)などである。しかし、火星隕石や月隕石はその母天体が特定された点で他と大きく異なるし、しかも、その母天体が実在し、サンプルリターンも含め直接探査ができる点にある。とは言っても隕石の価値がなくなるわけではなく、逆に隕石の重要性がますます高まっていくことは疑いないであろう。

ALH84001隕石がなげかけた“火星に生命活動の痕跡”は、隕石科学ー惑星科学再生のインパクトだったかも知れないし、その波及効果は他の分野(研究分野に限らず)にも大きな影響を与えた。隕石発見に携わった立場からすると、1個の隕石の真の重みはその重量との比ではないようである。あの時ALH84001隕石を発見できたのにとの気持ちが、私の中には今でも残っている。最後にALH84001隕石に関わる話を紹介したい。

火星起源ALH84001隕石が発見されたAllan Hills(ALH)は、今ではやまと山脈に次ぐ氷上の隕石産地である。私は1977年12月から翌年の1月にかけて日米共同南極隕石探査隊を指揮し、この地にキャンプした。アランヒルズは標高2,000m、気温マイナス30℃、氷上でのテント生活は厳しさを乗り越えていた。マイナス90℃近くになる南極の内陸に比べればしのぎやすい所かもしれないが、二重の登山靴でも歩き始めの1時間ぐらいいは指の感覚が全くない。青氷の表面を音もなく流れる地吹雪、あまりの寒さに思わず風下を向いてしまうと、自分の風下だけ地吹雪が途切れ、視界が広がってゆく。そこに突然黒いものが浮かび上がってくる。それが“隕石”なのだ。

ALH84001隕石もこのようにして発見されたはず。1977-78年の探査は毎日が歩きで、若かった私でさえも、あの寒さの中、1日に10時間も歩き回れば、ウンザリである。日本から運び込んだスノーモビルを現地に運んでくれるように何度も何度もお願いした。しかし、米国の南極観測を実施しているN.S.F.(全米科学財団)にはどうしても聞き入れてもらえなかった。もしスノーモビルが使えていたら、あのALH84001隕石だってその時発見できたはず、月隕石ALH81005だって。今にして思えば残念でならない。それでも1977年12月に南極初の火星起源ALH-77005隕石(図1b)を私がその近くで発見できたのだから、よしとしなければならないのかもしれない。1個の地球外固体物質(隕石)が我々の宇宙観をも変えてしまう。そのようなことが、この地球にはまだまだ沢山隠されているような気がする。誰がそれを見い出すのか。それには運もあるのだろうが、その近道は運を呼ぶための一途な努力のようにも思える。(岩手大学工学部)

オーストリアでみた皆既日食

小松 吾郎 Goro KOMATSU

何度も見た部分日食、メキシコで一度だけ見た金環日食、となると次に見たいのは皆既日食である。今世紀最後の皆既日食が、ヨーロッパのど真中で見られるというのは前から知っていた。通常はかなり人里離れた辺境で起こることの多い皆既日食が、これだけ人の多い所で見られる。話題になりそうなイベントである。ぜひ見たいと思っていたが、ちょうどタイミング良くヨーロッパで新しい惑星地質学の拠点の立ち上げに私が関わることになり、今はイタリアに住んでいる。問題は天候である。いろいろな情報を総合してまず考えたのはトルコ。晴れる確率が黒海沿岸を除いて80~90%、前から行きたかった国だったが、残念ながら皆既日食のゾーンにあまり大きな都市がない。眺める場所を探すのに時間がかかりそうだったので諦めた。そこで決めたのがオーストリア。ここならばついでに興味のあるアルプスの氷河地形を見ることがもできる。晴れの確率は50%ほどだが、見られれば運命、見られなくても運命ということで諦めもつく。皆既日食は水ものである。

今回の旅は、私の働いている大学の地質学専攻の学生5人、アンジェロ、アナ・グラツィア、ミルコ、アレッサンドロ、マウロと行くことになった。皆いかにもイタリア人らしく気のいい若者である。私の住んでいるアドリア海沿岸の町ペスカーラから、夜行を使って約11時間でインスブルックに着く。そこからウィーン行きの列車で約2時間で目的地のザルツブルクに到着。ここに決めた理由の一つは、この町が私の好きな映画“サウンドオブミュージック”の舞台であったということだ。美しく活気のある町で一目で気に入った。私たちが行った時は、皆既日食と有名なザルツブルク音楽祭の開催が重なり、観光客で満杯であった。安ホテルは取れなくて学生たちとキャンプすることにした。その夜はトンでもない嵐がやってきた。町の中心の丘の上に立つホーエンザルツブルク城が稲妻の光に浮かび上がり、まるで怪奇映画の一シーンのようである。



図1 オーストリアで見た8月11日の皆既日食

私の長いキャンプ生活経験の中でも最悪の嵐の一つであった。次の日は南のウオーフェンという町へ行き、石灰岩洞窟の中にある夏でも溶けない氷を見たり、氷河地形を観察したりしてアルプスを楽しんだ。ちょうどペルセウス座流星群の時期だったので、夜は空を見て過ごした。

運命の8月11日、朝起きると空は全面雲である。しかし山の天気は変わりやすい。曇りから晴れに変わることもある。ザルツブルクではこの日、皆既日食の前後数時間、バスなどの交通が運休し、オフィスなども閉まるそうである。運転手や従業員たちも皆既日食



図2 準備に余念がない私たちのグループ。左端が筆者

を楽しめるようにとの配慮である。私たちは町を見下ろす丘に登り、のんびりと待つことにした。ホーエンザルツブルク城が真中に見え、絶好の観察場所である。周囲の風景はまるで“サウンドオブミュージック”、エーデルワイスの歌が聞こえてきそうである。天空には鷹が何羽も飛んでいる。肥やしの臭いなども時々漂ってきていかにも農業国だ。学生のうち2人は、本格的に望遠レンズや特殊なフィルターなどを用意していて、準備に余念がない。私は寝っ転がって神様、女神様などに雲間が開くのを祈る。あまり期待はしていなかったが、なんとなんと11時頃から雲が切れ、太陽も時々見え始めてきた。太陽光から眼を守るめがねかけて太陽を見つめる。11時半頃、部分日食が始まる。時々雲に隠れるが大丈夫そうである。太陽がどんどん欠けるにつれ、気温が下ってくるのがはっきりわかる。私たちの周りにも他の人々が集まってきた。私の隣に来た老夫婦はこの町出身で、この丘には毎日散歩に来るそうである。でも彼らにとって今日はいつもとちょっと違うはずである。

12時半頃、ついに皆既日食が始まる。その瞬間太陽が暗くなり、コロナが輝き、黒い太陽が現れる。なんという光景であろう。異様である。後ろを振り向くとザルツブルクの町が夜ではないか。皆既日食の凄さは、日常にはない空間がフッと出現することにあるのではないか。町の周りの山々も真っ黒である。面白いことに町の中に無数のカメラのフラッシュが光っている。冷たい風が吹き始め、Tシャツ一枚だった私は寒さに身がすくむ。急いでジャケットをはおる。皆既日食をバックに皆で記念写真を撮る。また太陽を見ているとダイヤモンドリングが出現。この世のものとは思えない美しさである。あまりのうれしさに思わず涙が出そうになる。思わず周りの人々と肩をたたきあい、握手する。町では花火があちこちで上がり歓声が聞こえる。想像していたよりもはるかに強烈な印象だ。皆既日食が終わり、皆ほっとした。“精神的皆既日食”のために用意しておいたオーストリアのビールを飲む。実にウマー。空を見上げるとハンググライダーが舞い、熱気球が浮かんでいる。空からの眺めはどうだったのであろう。

皆既日食の後は、町を見物したりオーストリアの名物ソーセージを食ったり、のんびり休日を楽しんだ。ザルツブルクの自然史博物館は一見の価値あり。いろいろ工夫がしてあり、博物館にありがちなただ展示してあるだけというのとはだいぶ違う。インスブルックの町を經由して、思い出を胸に太陽の国イタリアに戻った。英国の新聞タイムズによると、イギリスからインドにかけて約20億人の人たちが今回の日食を見たそうだ。そんなにたくさんの人間が経験を共有できるなんて素晴らしい宇宙の贈り物だ。皆既日食の魅力に取り憑かれ、世界各地に出かけていく友人がいるが、彼の気持ちが今ならわかる。もちろん科学知識のない古代、中世の人間が見たら仰天するであろうことは想像がつく。中東の一部の国ではまだ迷信が強く、政府の教育宣伝にも関わらず皆既日食は危険ということで、かなりの人々が家に隠れていたそうである。世界は広い。私たち惑星科学に関わる者にとっては当然の知識も、場所によってはまったく関係がないみたいである。

将来の皆既日食も見に行きたいが、2008年8月のものは特に興味がある。これはシベリアからモンゴル南西部を通って中国北部で見られる皆既日食だ。モンゴル南西部は私が1998年の夏、モンゴル・ロシア・アメリカ共同考古学遠征隊の一員として野外調査を行った場所で、遊牧民たちとの交流が印象深かった。皆既日食を見たら彼らはなんと考えるのであろう。

(ダヌンツィオ大学 国際惑星科学研究大学院；ペスカラ、イタリア)

論文紹介

火星のグローバルな地形と表面の進化

Smith, D.E., 他 18 名, 1999, The global topography of Mars and implications for surface evolution. Science, 284, 1495-1503.

マーズグローバルサーベイヤー (MGS) に搭載されたマーズオービターレーザ高度計 (MOLA) による測定で、火星全体の地形の起伏が高い精度で明らかにされた。空間解像度は 1° (赤道部分で 59 km の分解能)、垂直方向には 13 m の精度である。これは二乗平均で地球の大陸よりも精度が高い。

火星のグローバルな形

火星の赤道半径と極半径の差はほぼ 20km、偏平率は $1/169.8$ で、この楕円体が火星の基本的な形を示している (表1 参照)。この形は主に火星の自転に起因するが、赤道に近いタルシス高地の形成もいくぶん関係がある。火星の地形は、地球型惑星では最大の 30 km の dynamic range をもつ。古い衝突盆地や大型のシールド火山の形成は、大きな地形的偏りを生み出しているが、この惑星のかたい外殻 (リソスフェア) は、これらの構造物によって生ずる大きな応力を支えることができる。火星の形は実際的には三軸楕円体として表現できる (表1)。もっともよく適合する楕円体は、質量の中心 (COM) から z 軸にそって -2986 m ずらすことで決められる。すなわち、形の中心 (COF) は COM とは一致しておらず、このことによって南極は北極よりも 6 km 高度が大きくなり、それは南から北に向かって 0.036° の系統的な下りスロープをなすことに相当する。三軸楕円体はまた、タルシス高地方向の y 軸にそって -1428 m ずれている。

表1 MOLA による火星の形と大きさの値

Parameter	Value	Uncertainty
Mean radius (m)	3,389,508	± 3
Mean equatorial radius (m)	3,396,200	± 160
North polar radius (m)	3,376,189	± 50
South polar radius (m)	3,382,580	± 50
Triaxial ellipsoid		
a (m)	3,398,627	
b (m)	3,393,760	
c (m)	3,376,200	
1/flattening	169.8	± 1.0
Directions of principal ellipsoid axes		
a	1.0°N, 72.4°E	
b	0°N, 342.4°E	
c	89.0°N, 252.4°E	
Ellipsoid offset of COF from COM		
Δx (m)	-233	
Δy (m)	-1,428	
Δz (m)	-2,986	
Volume of north polar cap (10 ⁶ km ³)	1.2 to 1.7	
Volume of south polar cap (10 ⁶ km ³)	2 to 3	

主な地形的特徴

グローバルに見た火星の地形的特徴できわ立っているのが、低い北半球と高い南半球の、約 5 km におよぶいちじるしい高度差である(図1)。この半球的に 2 分する非対称性は、南半球が古くてクレーターが多く、北半球が若くて火山活動などで表面が更新されているという、表面地質のちがいにほつきり現れている。このなめらかな北半球と粗い南半球の境界は、メサや小丘、介在する平原などによって特徴づけられ、300 km から 1300 km の距離にわたって 4km に達する高度変化が観察さ

れる。この高度変化がけわしい場所では、境界は急崖のようになっている。

火星の基本的な形態からはずれた地形として、タルシス高地とヘラス盆地がある。タルシスは 2 つの広い高地からなっている。南方の大きな高地は 220° E~300° E、50° S~20° N にまたがって、約 10⁷km² の面積を占め、アスクレウス、パボニス、アルシアの 3 大火山がある。北方の小さな高地は上記とほぼ同じ経度幅で 60° N まで広がり、アルバパテラ火山がある。オリンパス山はタルシス高地からはずれているようにみえるが、起源的にはタルシスの隆起活動と結びついている。

ヘラス盆地は火星最大・最深の衝突盆地で、深さは 9 km に達する。盆地のへりは放出物のつくる環状山地でとりまかれ、2300 km の直径をもつとされてきた。しかし、MOLA のデータによると、さらにその外側にも、高さ 2 km の環状の高まりが、盆地の中心から直径 4000 km まで広がっていることがわかった。このような巨大衝突盆地の形態や構造は、月の南極-エイトケン盆地(直径 2500 km) ときわめてよく似ている。ヘラスから放出された物質は火星の南半球の地形的高まりをかなりの程度説明しうるかもしれない。

南北の非対称構造の成因と地殻の進化

火星の南北両半球二分性の成因については、マントル対流による北半球の地殻の薄化、初期におこったテクトニックなプレート更新、北半球での 1 回(または複数回)の大衝突による地殻のはぎとり、などの仮説がある。

この問題をとく 1 つの鍵は、両半球の高度差が長波長の惑星の形にどれだけ原因しているかをさぐることである。先にあげた COM と COF の差の z 成分は、南北両半球の高度差にほぼ等しく、これを差し引くと両半球の高度差は(タルシスとヘラスを除いて)ほとんどなくなる。つまり COM と COF のずれは両半球の高度差の大半をうまく説明し、半球的な高度差が本来長波長効果によることを示している。

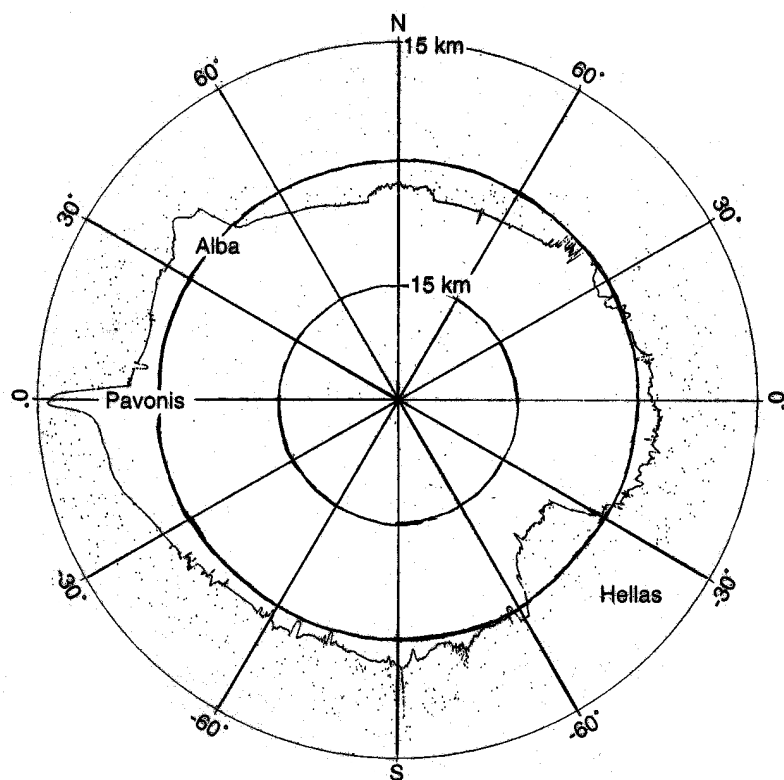


図1 MOLAの高度測定による火星の南北断面図。52° Eと247° Eを通る断面を示す。垂直方向は100倍に拡大してある。

北半球の低地帯とまわりの高地との境界は、円形構造をしているわけではなく、半球スケールの単一衝突がおこった証拠はない。多重衝突による低地帯の形成も考えることはできるが、すくなくとも地形の観察からははっきりしない。MGSの重力データによると、ヘラスのような大衝突盆地では正の重力異常を示すが、北半球低地帯では局地的な例外を除いてこのような異常は認められない。以上の点からみて、北半球の低地帯は内的プロセスによってつくられたと考えられる。ただし、それがマントル対流によるのか、プレート更新の結果なのかについては、今後の研究が必要である。

MGSの磁力計による最近の観測で、南半球の高地の古い地殻に高い強度の磁気異常が見つかった。このことから、初期の火星の中心核では活発なダイナモの作用があったと推察される。この初期ダイナモ説は、活発なマントル対流が初期におこったという考えとよく合う。

極冠と現在の氷の量

火星の南北での高度差は、火星の歴史の早い時期にできたと考えられる。このことが、その後の歴史をとおして火星上の水の移動と分布を支配してきたにちがいない。

火星表面で現在揮発成分をもっとも多くたくわえているのは、北と南の極冠である。みかけ上、南極冠は北極冠よりも小さいが、南極の成層堆積物は氷冠の外側に大きく広がり、北極冠地域に比べると非対称的分布を示す。年間の季節変化を通して存続する残存氷は北極冠の1/3程度で、その中心は現在の自転の極からはずれており、最高点は87° S、10° Eにある。氷に富む物質の分布は、画像からわかる残存氷の部分を超えて大きく広がり、氷冠のかなりの部分がダスト物質の下にかくされていると考えられる。

従来、南極冠の表面露出部分は、観測からCO₂組成と判断され、南極冠の主成分はCO₂氷だと考えられてきたが、MGSのステレオ画像とCO₂氷のレオロジーの実験結果から、南極冠の主

成分も H_2O 氷であることが確実となった。著者は、南極冠の体積を $2 \times 10^6 \sim 3 \times 10^6 \text{ km}^3$ 、その分布面積を $1.44 \times 10^6 \text{ km}^2$ 、周辺からの平均比高を約 815 m と見積もった。ただし、氷に混入しているダストの量は決められないので、体積の見積もり値で示される氷の量は上限値と考えなければならない。

北極冠についての以前の見積もり値（注：これはすでに別の論文で報告されており、本誌で紹介した。Vol.11, No.1, March 1999, p.7~8）とあわせると、火星表面の氷の総量は $3.2 \times 10^6 \sim 4.7 \times 10^6 \text{ km}^3$ となり、これは火星全体を 22~33 m の厚さでとりまく量に相当する。またこの量は、両極冠が純粋な H_2O 氷の組成をもつとした場合、火星の初期に存在したと考えられる水の量の下限値を示すだろうが、このような表面の水は、現在地下に大量にたくわえられている水ほんの一部を表すものかもしれないとも考えられる。

（小森長生）

論文抄録

ガニメデの周囲にひろがる衝突起源の塵雲

Kruger, H., Krivov, A.V., Hamilton, D.P., and Grun, E., 1999, Detection of an impact-generated dust cloud around Ganymede. *Nature*, 399, 558-560.

塵は太陽系全体に広く分布しており、とくに大惑星の環や、惑星軌道面にそって（黄道光をつくる塵雲として）集中している。個々の塵粒子は、衛星のような大きな天体から衝突で放出された物質に由来すると考えられる。この衝突放出の直接の証拠は従来の観測では得られていなかった。著者は木星の衛星ガニメデの周囲に μm 以下のサイズの微粒子があることをガリレオ探査機の観測から確かめた。これらの塵粒子は、ガニメデ表面への惑星間塵の超高速衝突によって放出されたものである。塵はまた、カリストやエウロパ近くにも集中しているように見え、これらの衛星も供給源になっているらしい。（K）

NEAR のフライバイで得られたエロスの画像

Veverka, J., 他 25 名, 1999, Imaging of asteroid 433 Eros during NEAR's flyby reconnaissance. *Science*, 285, 562-564.

1998 年 12 月 23 日のエロスのフライバイ時に、NEAR 探査機は 222 枚のエロス画像とスペクトル観測を得た。最良の画像は約 400 m/pixel の解像度をもち、エロス本体の 2/3 の部分を見せていた。20km 以上のびる線状構造やクレーターのある細長い形をしており、直径は $33 \times 13 \times 13 \text{ km}$ あった（図参照）。質量と体積の見積もり値から得られた平均密度は $2.5 \pm 0.8 \text{ g/cm}^3$ であった。密度が比較的高いことと、長い線状構造が存在することなどから、エロスは構造的に堅くしまった天体だと考えられる。

（K）

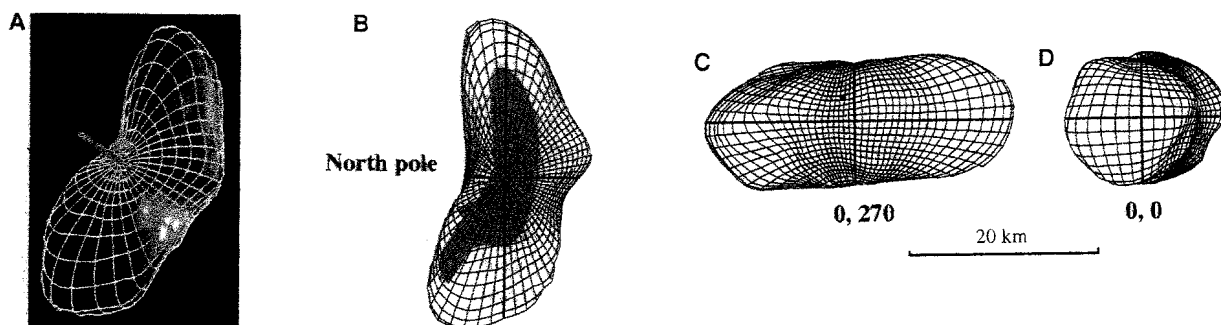


図 エロスの形態

A：MSI（multispectral imager）の画像から決めた自転軸の極の位置。 B：極から見下ろした形
C：経度 270° （図 B の左方）からみた形。 D：経度 0° （図 B の下方）からみた形

NEAR による 433 番小惑星エロスの質量測定

Yeomans, D.K., 他 14 名, 1999, Estimating the mass of asteroid 433 Eros during the NEAR spacecraft flyby. Science, 285, 560-561.

NEAR 探査機 (The Near Earth Asteroid Rendezvous) は 1998 年 12 月 23 日、433 番小惑星エロスから 3830km 以内の距離を通過した。このときの電波のドップラー偏移とエロスの画像解析から、エロスの質量が $(7.2 \pm 1.8) \times 10^{18} \text{g}$ と見積もられた。また、画像からの体積見積もりをもとに得られたエロスのバルク密度は $2.5 \pm 0.8 \text{g/cm}^3$ であった。自転軸の極の位置は赤経 $15.6 (\pm 3.7)^\circ$ 、赤緯 $16.4 (\pm 1.8)^\circ$ にあり、NEAR 画像からの決定は地上観測からの推定と一致する。 (K)

小惑星 1998KY26 のレーダーと光学による観測

Ostro, S.J., 他 19 名, 1999, Radar and optical observations of asteroid 1998KY26. Science, 285, 557-559.

1998 年 6 月 1 日に発見された近地球小惑星 1998KY26 は、きわめて特異な天体である。光学とレーダー観測によると、直径約 30 m の細長くて平べったい球殻状の形をしており、その組成は炭素質コンドライトに似る。自転周期はわずか 10.7 分で、これまでに知られた太陽系のどの天体よりも短い。最ももらい炭素質コンドライトの組成をもちながら自転が速いこのような小惑星は、比較的新しい時代に、より大きな小惑星におこった衝突で、表層部が球殻状にはがされてできた破片かもしれない。 (K)

エウロパ表面のサイクロイド曲線構造の成因

Dornheim, M.A., 1999, Tidal forces may cause Europa cycloids. Aviation Week & SpaceTechnology. Vol.150, No.25 (June 21, 1999), 58-59.

1979 年にボイジャー 2 号が撮影したエウロパ画像に、サイクロイド状の曲線構造 (Flexus) が発見され、ガリレオ探査機の撮影でさらに鮮明な画像が得られた。アリゾナ大学月惑星研究所の G.V. Hoppa と B.R. Tufts によると、このサイクロイド構造は木星の潮汐力によってできるという。エウロパの氷地殻下の海の潮汐変形によって氷地殻に張力が生じ、それと直角方向に割れ目ができる。エウロパの公転につれて潮汐力は 85 時間周期で変動するので、氷地殻にはたらく張力も大きさと方向が変わり、割れ目は曲線状に発達する。このくり返して、65~200km (平均 157km) 間隔で連なった弓形曲線の鎖ができていく (図参照)。 (K)

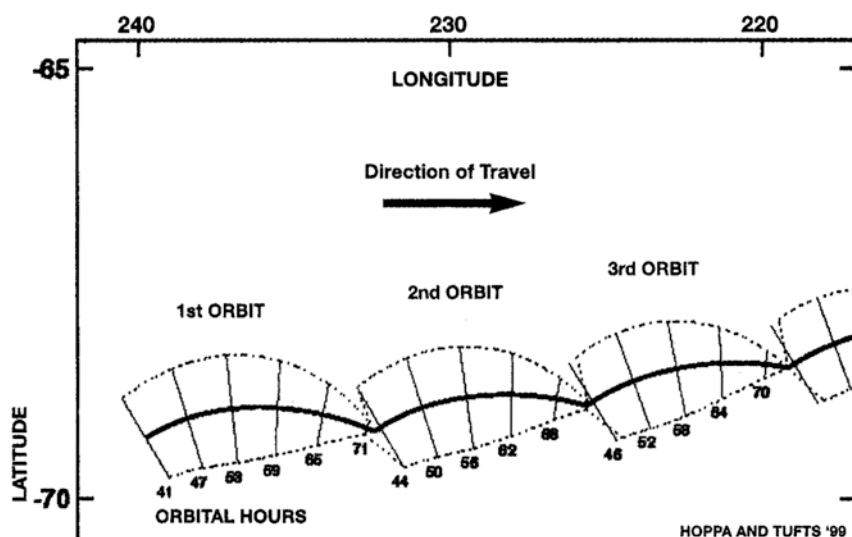


図 サイクロイド割れ目の形成。割れ目に直交する細線は張力の方
向と大きさを示している。数字は
近木星点通過後の時間 (単位は時)

INFORMATION

●マーズグローバルサーベイヤーの火星マッピングに難題

火星探査機マーズグローバルサーベイヤー (MGS) の火星マッピングは今年3月から開始され、目下進行中である。MGSのマッピングの軌道要素は、火星表面からの高度377~454km (軌道長半径3775km)、傾斜角 92.866° 、離心率0.007、周期118分、近火星点緯度 90.0° である。当初は首尾よく進行するかにみえたが、4月中旬1.5m主アンテナが何らかの原因である角度以上回転しなくなった。もし2000年2月までに直らなければ、MGSはマッピングを一時中断し、データを送るために地球に向けて本体を回転させなければならなくなる。それまでは、地球と火星の位置関係は、アンテナの動きの可能な角度範囲内にあるので、当面の観測はつづけられる。

●水星探査機「メッセンジャー」計画発進

米国の低コストミッション、ディスカバリー計画の1つとして、水星に探査機を送る「メッセンジャー」計画が選ばれた。これが実現すれば、1974~75年のマリナー10号以来2度目の水星探査機の登場となる。計画では、メッセンジャーは2004年春に打ち上げ、金星を2回フライバイしたあと2008年1月と10月に水星をフライバイし、最終的には2009年9月30日から水星周回軌道にのって少なくとも1年間の探査をつづける。メッセンジャー (Messenger) の名は、Mercury Surface, Space Environment, Geochemistry and Ranging を縮めてつくられた。その名が示すように、観測項目には表面のマッピングと化学分析、内部、大気、磁気圏などの探査が予定されている。マリナー10号の探査でわかった水星表面の様子は全体の45%程度にすぎず、まだ未知の部分が多く残されている。メッセンジャー探査機の実現は大いに期待される。

●彗星探査機「スターダスト」から「ディープインパクト」へ

NASAが今年2月に打ち上げた彗星探査機スターダストは、2004年1月にウィルド2 (Wild 2) 彗星に接近し、この彗星の尾の塵を採取して2006年に地球に持ち帰る予定である。これに続いて2002年6月には、コントア (Contour, Comet Nucleus Tour) 探査機が、3つの彗星への接近をめざして打ち上げられることになっている。さらに2004年1月にはディープインパクト探査機がテンペル1 (Tempel 1) 彗星に向けて打ち上げられる予定である。これは予算の問題で中止されたシャンプオリオン (Champollion) 計画が新たに姿を変えて登場したものである。シャンプオリオンではテンペル1彗星に軟着陸することになっていたが、それはとり止めになり、ディープインパクトでは彗星核に弾丸を撃ち込み、氷の放出物のスペクトルを調べるなどが計画されている。テンペル1彗星へは2005年7月に到着する。なお、これら3つの探査機はいずれもNASAのディスカバリー計画の一環である。

●彗星探査機「ロゼッタ」計画が進行中

ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) は1986年、ハレー彗星探査機ジョットを成功させ、大きな成果をあげたが、その経験をふまえて新しい彗星探査機ロゼッタ (Rosetta) の計画にとりくんでいる。ロゼッタは2003年1月に打ち上げが予定されている。打ち上げ後、地球と火星をスイングバイして、2007年ヴィルタネン (Wirtanen) 彗星 (公転周期5.5年) へ向かう軌道にのる。2011年末にこの彗星とランデブーし、2012年5月20日に最接近して核をまわる軌道に入り、核表面をマッピングしながらランダーを核に降ろす。ランダーは約1か月かかっていろいろな観測 (核の密度、組織、熱的性質、有機物、ガスの放出など) をおこなうという意欲的なものである。この探査は2013年7月まで続けられる予定だという。

編集後記：今夏の東京は猛暑つづきで、机に向かってもさっぱり頭がはたらきません。とはいいいながら、ちょっぴり増ページの本号ができ上がりました。今回は新情報をふまえた火星隕石の再レビューを矢内さんから、また皆既日食のホットな見聞記を小松さんからいただきました。火星の生命論争も相変わらずつづいているようですが、サンプルリターンが早く実現してほしいものだと思います。21世紀の惑星地質学の発展を願いつつ。

(K)