

火星の新しい研究と比較惑星学

V.I. Moroz, O.I. Korablev, and A.V. Rodin

現代の火星研究にとって、最も重要な突破口となったのは、1976年に火星に到着した2台の探査機、バイキング1号と2号であった。それぞれのランダーとオービターは、2火星年以上も作動しつづけ、初の詳細な火星面地図をつくりあげた。

その後打ち上げられた探査機は、いくつかの失敗がつづいたが、それらをのりこえて登場したマーズグローバルサーベイヤー (MGS)(1997年到着)とマーズオデッセイ (2001年到着)は、火星研究にふたたび新しい時代を開くことになった。

MGSに搭載されたTES (熱放射スペクトロメーター)は、3火星年以上にわたって、大気温度、エアロゾルや水蒸気の量を測定しつづけてきた。また、レーザー高度計は、高い精度で火星のグローバルな南北非対称形 (南半球が北半球よりも3~4km高い)を明らかにしたばかりでなく、局地的な地形のちがいも解明した。さらに磁力計は、火星地殻の岩石に残留磁気があることをつきとめた。

一方、マーズオデッセイに搭載されたロシア製のHEND (高エネルギー中性子探知器)などの観測によって、火星表層土の1~3mまでの深さの間に含まれる水 (H₂O 氷)の量は、極地域で35~50%、赤道近くの低緯度地域では5~10%であることがわかった。

これまでの観測によると、火星表面の気圧は4~10hPaである。気温は平均210Kであるが、緯度のちがいや1日の昼夜、季節によって大きな変動幅がある。すなわち、極地の冬の夜には145Kまで下がるが、中緯度における夏の正午すぎには290K以上に上昇する。このような、地球よりもはるかに大きな温度変化の幅や、最高気温が赤道地帯でなく中緯度で生ずるという事実は、火星大気の密度が低いことと、温度調節の役割をになう海洋がないこと、によって説明されうる。

火星の気候変化とその要因を追って

火星でおこる季節変化は地球のそれと似てはいるが、火星軌道の離心率が大きい ($e=0.09$) ことによって、地球の場合よりも複雑である。すなわち、南半球の夏は北半球の夏よりも期間が短く、しかもより暑い。反対に南半球の冬は北半球の冬よりも長い。

冬になると、火星大気の主成分であるCO₂は、その25%までが凝結し、固相となってCO₂氷の季節極冠を形成する。この季節極冠のほかに、極地にはH₂O氷からなる残留 (永久) 極冠が存在するが、その大きさは南北で大きく異なり、北極の残留極冠のほうがずっと大きいとみられてきた。南極冠の目に見える大部分は、熱放射スペクトルからその温度を判断すると、CO₂氷だと考えられる。



図1 火星の南極冠
この白く見えているところ
の大部分は CO_2 氷である。

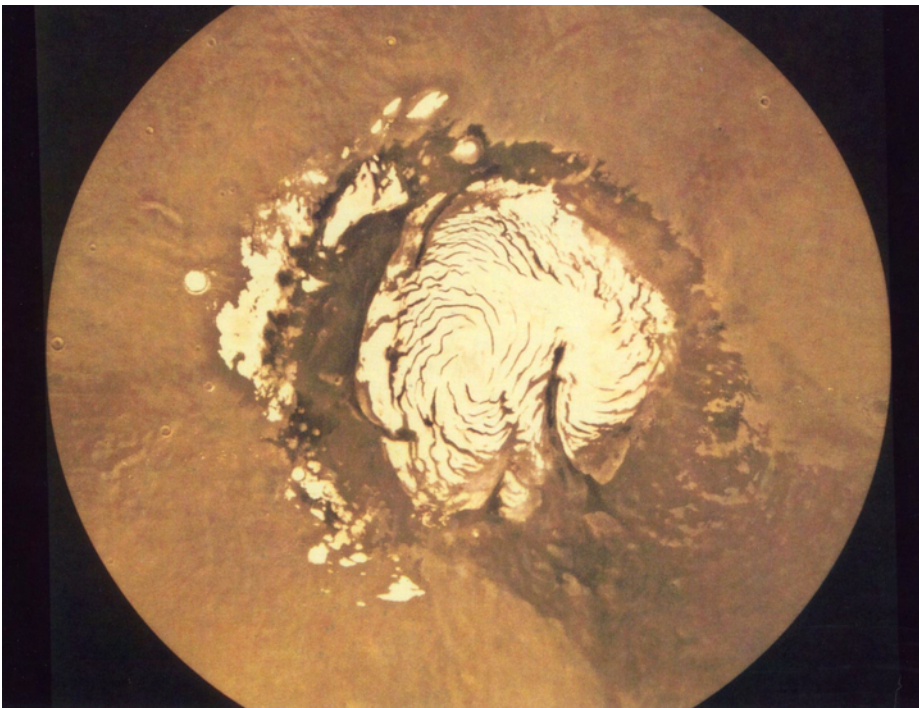


図2 火星の北極冠
表層部は CO_2 氷、その下
の主体は H_2O 氷である。

火星の水循環において主要な役割をはたしているのは、大気の大循環であることが、1990年代に明らかにされた。R.T. Clancy たち (1996) は、火星軌道の離心率の大きいことが、火星大気の大循環、したがって水循環に大きく影響しているという考えをのべた。火星では、太陽受熱量が最小となる（つまり惑星の温度が最低となる）遠日点の位置は、北半球の夏至点とほぼ一致している。このことが火星大気の大循環に影響してくるというのだ。

火星大気のグローバルな循環は、地球大気の場合と異なっている。火星大気の大気対流セルは、赤道をこえて高緯度地帯まで広がっている。対流セルの上昇部は、つねにこの惑星の最も熱い地域のごく近くに発生する。つまり、夏の半球（北半球の夏至、南半球では冬至の前後）において最も太

陽高度が高くなる中緯度地帯である。ここから上昇する対流セルの移動の基本パターンは、地球のような赤道から熱帯へではなく、夏の半球から冬の半球への移動であり、それは極地までのびている。このようなパターンが生まれるのは、火星大気に含まれるダストとエアロゾルの存在によって、静力学的な安定性が高まっていることにも関係している。

火星が遠日点を通過するころ、北半球中緯度の対流セルの上昇部あたりでは、比較的冷たい湿潤な気候のもとで雲の帯が形成され、これが南半球への水分の移動をさまたげる。一方、近日点にくると、温度はより高くなるので雲はできにくくなり、大気中の全水蒸気は南半球に均等にばらまかれる。北と南の極冠の非対称性はこのようなことが原因になって生まれたと考えることができる。

長期的にみると、火星の近日点は約5万年の周期で移動する。現在の火星は冬至点が近日点の近くにあるが、移動周期の半分の約25000年前には、夏至点と近日点がほぼ一致していたことになる。これによって、南北両極冠の非対称性は、約25000年ごとに入れかわってきたと考えることができる。

もう1つ、火星のグローバルな形の非対称性、すなわち、南半球が北半球よりも数km高いことに原因を求める考えもある。北半球の夏になると、子午線方向のセルの流れは高地をのぼるように動く。そのため、子午線方向の水蒸気の移動は弱まり、北半球に水分がたまりやすくなる。逆に南半球の夏には、大気の流れは高地からすべり下りるように動き、子午線方向の移動がはげしくなるので、南半球の水分は少なくなる。こうしたしくみについての定量的な検討はまだなされていない。

火星では近日点通過のころに、しばしば大規模なダストストームが発生し、数週間後には火星全体がダストの雲（いわゆる大黃雲）におおわれてしまう。つまり、大気層中に不安定性が生じているのである。地球にはこのような現象はない。この現象にはまだ不明な点が多いが、不安定性をひきおこす引き金となるのは、極地の堆積物の昇華や、グローバルな大気循環における波動効果などであるかもしれない。そして、ダストストームの変わりやすさや、消滅の機構もまだよくわかっていない。

火星探査の課題のなかでも、水の問題はとくにくわしく解明されてきたので、次にこの問題に目をむけてみることにしよう。現在の火星面上では、気圧と気温が水の三重点の圧力と温度に近いので、水は液体の状態では存在しにくい。水のほとんどは地中の氷として、永久凍土の形で存在している。

バイキング探査の頃から、流水の作用でできたと考えられる多くの地形が火星面上に見つかったことは、研究者たちの想像をかき立ててきた。もし地質学的過去に、濃いCO₂大気によって温室効果が保たれ、液体の水がいたる所に存在していたとする仮説が正しいならば、このおだやかな気候環境は2億5000万年前に激変し、今日のきびしい環境になってしまったはずである。

火星の過去の気候が暖かく、地球に似た水圏が存在したのか、という問題は、長い間議論されてきた。バイキングの探査以来有力になってきた、“温暖で湿潤な初期の火星”の考えは、最近では少し分が悪くなってきている。代わって、火星の谷地形などは、その形態から、氷河の作用、あるいは土石流のようなカタストロフィックな流れでできたとという解釈も現れている。



図3 マーズエクスプレス

しかるにまた一方では、パフファインダー探査機（1997）の着陸地点では、流水活動の証拠がふたたび明らかになった。また、火星ローバーのオポチュニティ（2004）は、その形成にとって液体の水が必要な鉱物を見つけ出した。

このように、いろいろ異なった議論や発見があるにもかかわらず、火星では比較的近い過去に大きな変化が起こったことを、われわれは自信をもって主張することができる。その変化とは、火星の自転軸の傾きの角度が周期的に変わることによっておこる気候変動である。このような変動はすでに地球上ではよく知られており、それは約 100 年前にセルビアの科学者 S.ミランコビッチによって提唱されていた。現在の火星の自転軸は、公転軌道面の垂線に対して約 25° 傾いているが、その値は約 12 万 5000 年の周期で 45° まで、また数 1000 万年の周期では 60° までも変化する。

このことから、どのモデルにおいても、自転軸の傾きが大きくなると、水は極地から低緯度に移動し、水の分布の再配分がおこることが示される。こうした水の活発な移動は、火星の地質学的景観に大きな影響をおよぼしたであろう。その証拠は、最新の火星探査機マーズエクスプレスによっても多く得られている。

マーズエクスプレスの成果から

ヨーロッパ宇宙機関（ESA）の探査機「マーズエクスプレス」は、2004 年 1 月以来、火星周回軌道上からの観測をつづけている。先に失敗に終わったロシアの「マルス 96」の後継機となるこの探査機の実現は、ヨーロッパ諸国とロシアの大きな成果である。この探査機には、7つの科学観測機器が搭載されているが、これらの機器の製作と運用にはロシアの科学者が大きく貢献している。

すでに多くの観測結果が得られているが、そのなかで注目されるのは、PFS（Planetary Fourier Spectrometer）と SPICAM（Spectroscopy for Investigation of the Atmosphere of Mars）によってなされた、地表から高度 100~150km までの大気圏の、精度の高い諸観測である。PSF は高度

50～55km までの大気層の温度断面をつくりあげ、同時にダストとエアロゾル粒子の含有量も測定した。また、大気中に含まれる水蒸気とオゾンの量の同時測定も初めてなされた。

15～20km 以上の高度では、オゾンの光分解によって発光現象がおこっている。この発光現象は、PFS、SPICAM、および OMEGA スペクトロメーターのすべてにおいて観測されている。OMEGA の $1.27\mu\text{m}$ における画像は波動構造をもち、同様な画像は、 H_2O の氷や CO_2 氷の雲にも見られる。これは浮力の内部波であり、このようにわかりやすい形で観測されたのは初めてである。SPICAM はまた、火星ではこれまで観測されなかった（金星では知られているが）、一酸化窒素(NO) の発光を明らかにした。高度 70～100km までの火星大気層を満たしている、きわめて細かい μm サイズのエアロゾル粒子の存在も明らかにされている。

従来の観測によれば、火星の南極冠のスペクトルでは、 CO_2 氷の吸収帯と、 H_2O 氷とダストの混合物の吸収帯が同一視されてきた。しかし、高い精度の 1～3km の解像度をもつ OMEGA スペクトロメーターのデータによって、南極では H_2O 氷の地域が CO_2 氷の広い地域の周辺部に広がっていることが判明した。マーズグローバルサーベイヤー (MGS) の高解像度画像データとあわせて検討すると、 CO_2 氷層の厚さは数mをこえることはなく、その下にはおそらく、北極冠の永久氷冠と同等な分厚い H_2O 氷の層が埋もれていると結論することができる。

2004 年末における北極冠の探査によると、夏至を過ぎたころの北極冠の組成は、少量（1%以下）のダストが混入した H_2O 氷であることが確認された。OMEGA スペクトロメーターは、火星表面の鉱物組成が多様性に富むことを明らかにしているが、それにもかかわらず、炭酸塩の存在は十分明らかになっていない。

もう1つ注目されるのは、火星大気中のメタン (CH_4) の発見である。メタンは事実上ほぼ同時に、3つのグループによって独立に発見された。このうち、マーズエクспレスの PFS は $3.3\mu\text{m}$ の弱い吸収帯から、平均含有量 $10\pm 5\text{ ppb}$ のメタンが存在することを明らかにした。メタンの含有量には地域差があり、実際は 0～30ppb の幅がある。

メタンは大気中での光分解によって破壊されやすいので、いくら微量とはいえそれが火星大気中に存続するためには、300t/年オーダーの補給が必要である。火星での内因的な地質活動は、現在では不活発であるが、火山活動の名残りのような、何らかの地熱放出活動があるかもしれない。マーズオデッセイ搭載の THMIS (熱放射スペクトロメーター) は、熱源探知のすぐれた性能をもっているが、いまのところまだ何も明らかにしていない。

火星面への隕石や彗星の落下は、わずか 2～4% のメタンを供給するにすぎない。風変わりな考えではあるが、次の可能性も否定できない。すなわち、地球の地下深くに存在するエコシステムに似たものが、火星にもあるかもしれないという仮説である。地下 2km の深さまでのびており、ろうクリオスフェア (氷地殻) の下限には、メタンハイドレートの層が存在したり、メタンを生成するバクテリアが生存しているかもしれないのである。

地球と他の惑星を結ぶ比較惑星学

これまでとりあげてきた、興味深いいろいろな事実は、単なる好奇心をみたすだけのもののなの

か。あるいはもっと深い、実際上の意味があるのだろうか。

惑星科学と地球科学を結びつける環が、「比較惑星学」とよばれる学際的分野である。金星や火星、そして土星の衛星タイタンの大気中でおこるいろいろな過程は、地球上でおこる諸過程と比較して論ずることが可能である。

惑星における生命の存在にとって最も重要な要素は、温度や圧力の条件、液体の水が存在するか否か、そして大気の組成などである。

地球の地質時代におこった気候変化の歴史は、地層や堆積岩の中に記録されており、それらを読みとくことによって、地球の過去をのぞき見ることができる。そして、生命がどんなきっかけで誕生したのかを知る手がかりにも迫れるようになる。しかし、時代をさかのぼるほど、困難さは増大する。

このようなとき、他の惑星がどんな歴史をたどったか、その情報を得ることは、地球の過去をさぐるうえで大きな助けになってくれる。さらに、他の惑星との比較研究は、地球の過去ばかりでなく、未来の姿ものぞかせてくれることになるだろう。

現在地球では、人間活動による気候の変化が社会不安をひきおこしている。大気中の CO₂ 含有量の増大は、ほんとうに温室効果を増大させ、生命の存在条件に危機的状況をもたらすのだろうか。このような問題にたいする答をさがし求めるためにも、他の惑星の気象、気候条件との比較研究が役に立つだろう。われわれの研究によって得られた知識は、未来の世代にとって頼りになるのである。

(市川輝雄訳、小森長生校訂リライト)

〈編集者付記〉

本稿は次の論文の抄訳である。

V.I. Moroz, O.I. Korablev, and A.V. Robin, 2005, Novie issledovaniya Marsa i sravnitelinaya planetorogiya. Priroda, 2005 年 9 月号, 25-33. (ロシア語を英字で表記)

著者のワシリー・イワノビッチ・モロズ (1931~2004) はロシア惑星科学界の大御所で、ロシア科学アカデミー惑星物理学および太陽系小天体部門の教授を 30 年間つとめた。ソ連時代からの火星、金星探査などでも指導的役割をはたした。オレグ・イゴレビッチ・コラブレフは科学アカデミー惑星物理学部門の副管理者。アレクサンドル・ビャチェスラボビッチ・ロディンはモスクワ物理技術大学応用物理学助教授。いずれもいくつかの惑星探査機の観測と実験に参加している。

翻訳にあたっては、ふたたび市川輝雄氏のお世話になった。あつくお礼申しあげる。ただし、原著はまわりくどい言い回しや難解な部分が多く、このままでは読者にわかりづらいと思われたので、私の責任で大幅に意識してリライトし、全体の半分近くの量に圧縮した。それでも不十分、不完全なところがあればすべて私の責任であり、お許しいただきたいと思う。

本論文の内容には、すでにご存知のことも多いと思われるが、ロシア学派の書いたものはふだんほとんど目にふれる機会がないので、ここに紹介したしだいである。

(小森長生)

論文紹介

短期間におこったデカントラップの噴火

Seu, G., Borges, M., and Marsh, B.D., 2006, A case for short duration of Deccan Trap eruption. *Eos*, Vol.87, No.20 (16 May 2006), 197, 201.

長い地球の歴史において、大陸や海洋の広大な面積にあふれ出した洪水玄武岩 (flood basalt) の噴出は、きわめて特徴的なできごとであった。それらは、地質時代の主要な年代境界や、生物の大量絶滅事件とも、しばしば対応している。

これら洪水玄武岩地域のなかで、よく研究されているものの1つが、インドのデカントラップである。この洪水玄武岩は、6500 万年前の白亜紀 / 第三紀 (K/T) 境界に噴出したもので、インド半島西半分の 50 万 km² の面積 (日本列島の総面積約 37 万 km² よりも広い) を覆っている (図 1)。溶岩流全体の厚さは西方では約 3km に達し、50 万 km³ 以上の溶岩が噴出したと推定されている。溶岩流の 1 枚ごとの厚さは平均 35 m ほどであるが、そのなかには 100km 以上にわたって水平方向に連続するものがある。このことは、割れ目噴火であふれ出した、きわめて流動性の高い溶岩流であることを物語っている。岩質は、大部分がソレアイト質玄武岩である。

さて、デカン玄武岩の正確な噴出時期については、アルゴン同位対比 (⁴⁰Ar/³⁹Ar) の研究などから求められてきたが、それは 65±0.9Ma と、66~67.4±0.9Ma という、2つの異なった結論に分かれている。放射性同位体やその他の方法にもとづく現代の年代測定技術では、残念ながら、デカン玄武岩ほどの古さの岩石の年代精度は ±0.9my までに限られる。したがってこの精度では、噴出事件がどのくらいの長さつづいたのか (5000 年だったのか、50 万年かかったのか)、といったことまではわからない。

本論文で著者たちは、デカン玄武岩がきわめて短期間に (おそらく 1000 年のタイムスケールで) 噴出しただろうと予測し、従来の年代測定法とは別の方法で、噴出期間の長さを見積もることを試みた。それ



図1 (左) デカン洪水玄武岩の分布

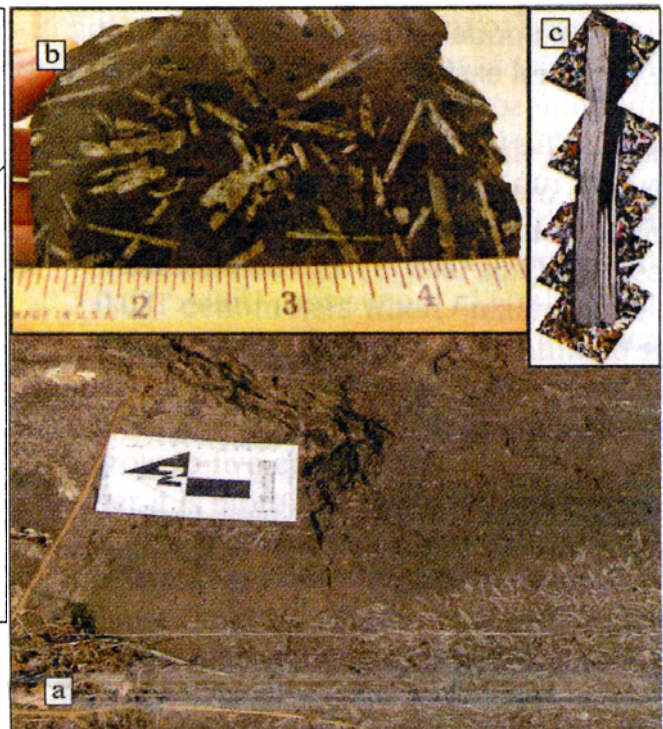


図2 (右) giant plagioclase basalt の写真。a : 野外の産状 b : 薄片でのようす c : 1つの斜長石のコンボジットした顕微鏡写真 (直交ニコル)。スケールはいずれもインチ。

は、デカン溶岩中に見られる斜長石の巨大斑晶がマグマだまりに存在した時間を計算し、これから噴出期間を推定する方法である。

斜長石の巨大斑晶をもつ玄武岩

デカントラップの玄武岩層は、その化学組成の特徴から、3つのサブグループ、すなわち（下位から上方へ）Kalsusbai、Lonavala、Wai に分けられている。それぞれのサブグループは、さらにいくつかの層（formations）に分けられる。

Kalsubai サブグループは、Giant plagioclase basalt (GPB) とよばれる、ひじょうに特徴的な玄武岩を伴っている。この溶岩には、長さ 1~5cm（平均 2~2.5cm）、幅 0.05~0.2cmの細長い板状の斜長石結晶が、巨大斑晶として含まれている（図 2）。

GPB 溶岩流は、Kalsubai をつくる個々の層（formations）にかぶさっており、それらは化学組成の特徴から、対比のさいの鍵層としても役立っている。GPB 溶岩流はまた、formations のなかで最も分化の進んだメンバーである。斜長石の巨大結晶は、マグマだまりのなかで、比較的早いうちにつくられたと考えられる。それらはマグマのメルトよりも比重が小さいので浮力で上昇し、マグマだまりの天井近くに濃集した。これらの斑晶は、それがメルト中に再溶融してしまわないうちに噴出したのであろう。以上のようなプロセスが、何度か連続的に起こったものと考えられる。

デカン溶岩の形成時間を知る方法

マグマの中で、結晶が時間とともにどれくらい生成し、どれほどのサイズになるかを見積もるために、次のような Jonson-Mehl-Avrami (JMA)の式を用いて計算した。

$$f=1-\exp[-\pi/3JoGo^3 t^4]$$

ここで f はマグマ中で結晶が占める割合、Jo は結晶核形成の割合（ $10^{-3}\text{cm}^3/\text{s}$ ）の値で一定だと推定される）、Go は $10^{-10}\text{cm}/\text{s}$ のコンスタントな成長率）、t は時間（B.D. Marsh, 1996 による）。

また、結晶のサイズは、次の単純な関係からみちびき出せる。

$$t = L / Go \quad (L \text{ は斜長石結晶の長さ。cm})$$

結晶をまったく含まないマグマの 1 ライフサイクルでは、斜長石の結晶核形成はすばやくはじまり、結晶のサイズ L は、f が 1 に達した（結晶が 100% になった）とき、0.031cm となる。したがって、5cm もの巨大結晶ができるためには、マグマだまりに何回も新鮮なメルトが連続的に供給される必要がある。

GPB 溶岩中の巨大斑晶含有率は最大 25% (f=0.25) ほどなので、この値で 1 サイクルのマグマ中で成長する結晶のサイズは 0.013cm であろう。したがって、f が 0.25 の状態で結晶が 5cm に成長するためには、マグマだまりへの新鮮なマグマの供給は 384 サイクルも必要となろう。そして、結晶がこのサイズに成長するまでの時間は 1538 年となる。5cm というサイズは、観察された中では最大の大きさなので、それが成長するに要した時間も最長だったと考えてよいだろう。

デカン玄武岩の形成期間を考える

マグマだまりの中での結晶の成長の割合は、結晶成長の進行とともに低下していくのがふつうであるから、結晶の成長率が一定であるとするモデルには、疑問をもつ向きがあるかもしれない。しかし今回のモデルでは、マグマだまりの中に次々と新鮮なメルトが供給されていくという考えに立っているため、結晶のコンスタントな成長を考えることは理にかなっている。

もし、マグマだまりにおける GPB 結晶の存在時間が、そのマグマだまりのライフサイクルにほぼ相当するものとすれば、それはまた、GPB 結晶をもつ溶岩層（formation）の噴出・形成期間と見なしてもよいだろう。

このようなことから、Kalsubai サブグループ中の Igepiri formation と Jawhar formation という2つの代表的な溶岩層の形成期間は、ともに約1500年と計算される。この2つの溶岩層の層厚はそれぞれ150 mと225 mなので、これらの形成期間で割ると、溶岩の堆積率はそれぞれ0.10 m/年、0.15 m/年となる。

もし、2つの堆積率の平均(0.125 m/年)を、kalsubai サブグループの他の formations にも適用するならば、kalsubai (全層厚1025 m) は約8200年間かかって形成されたことになる。

Wai (層厚1400 m) と Ionavala (同465 m) の各サブグループは、GPB 溶岩流をもっていないが、仮にこれらの溶岩層の堆積率も Kalsubai の場合と同じだとすれば、全体で厚さ3000 m近くもある全溶岩層は、22800年以内に形成されたことになるだろう。この22800年という見積もり値は、アルゴン同位対比などによる年代精度($\pm 0.9\text{my}$)をはるかにこえるものである。

〈紹介者付記〉

久しぶりに地球上の話題である。著者の Gaulian Seu と Melray Borges はフロリダ国際大学地球科学部、Bruce D. Marsh はジョンスホプキンス大学地球惑星科学部の研究者。

デカン高原の玄武岩台地は、科学者達の間ではよくデカントラップとよばれている。トラップは地質学の用語としてもいろいろな使われ方があるが、ここでは急崖に囲まれたメサ型の台地状地形をさす言葉としてもちいられていると解してよい。スウェーデン語の階段状の形を意味する trappa に由来する。もちろん、玄武岩のような暗い細粒の火成岩をさす、トラップのもう1つの意味も含まれているとも考えられる。

さて、ここでデカン玄武岩の話題をとりあげたのは、洪水玄武岩の噴出という現象が、惑星地質学にとってきわめて重要な研究課題の1つであると考えからである。

地球上における洪水玄武岩の噴出は、地質時代のいろいろな時期に、地球上の各地におこっている(表1参照)。そして同様なできごとは、月の海の形成はいうにおよばず、火星、金星、水星などにも広く知られるようになってきた。いまや、洪水玄武岩の噴出は地球固有の現象ではなく、少なくとも地球型惑星にとって共通の、普遍的現象としてとらえるべきことがわかってきたのである。洪水玄武岩マグマの生成と噴出が、地球型惑星の進化の上でどういう意味をもち、どんな役割を演じてきたか、これは、惑星地質学にとっても重要で魅力的なテーマである。

本論文で、デカン玄武岩はきわめて短期間に(もちろん地質学的タイムスケールでのことではあるが)形成されたであろうことを示唆する、新しい研究の試みがのべられている。地球型惑星の洪水玄武岩問題を考えるうえで参考になる点が多いと思われる。

(小森長生)

表1 世界の主な洪水玄武岩の時代と面積

Province	Age	Original Dimensions, km ²
Lake Superior	Precambrian	125,000
Siberia	Permo-Triassic	2,500,000
Karoo, S. Africa	Jurassic	2,000,000
Parana, Brazil	Cretaceous	2,000,000
Ontang-Java	Cretaceous	1,500,000
Brito-Arctic	Eocene	200,000
Deccan, India	Eocene	500,000
Columbia River	Mid-Miocene	163,000

Note: The original dimensions of pre-Tertiary examples are very conjectural. The submarine Ontang-Java Plateau is in the Southwestern Pacific between New Guinea and the Marshall Islands. The Brito-Arctic Province encompasses parts of Eastern Greenland, Ireland, Scotland, and the Faeroe Islands.

新刊紹介

月のきほん

白尾元理 2006 年、誠文堂新光社、ISBN 4-416-20621-6、1600 円（税別）

The Moon Book

Kim Long 1998 年、Johnson Books、ISBN 1-55566-230-7、12.50US\$

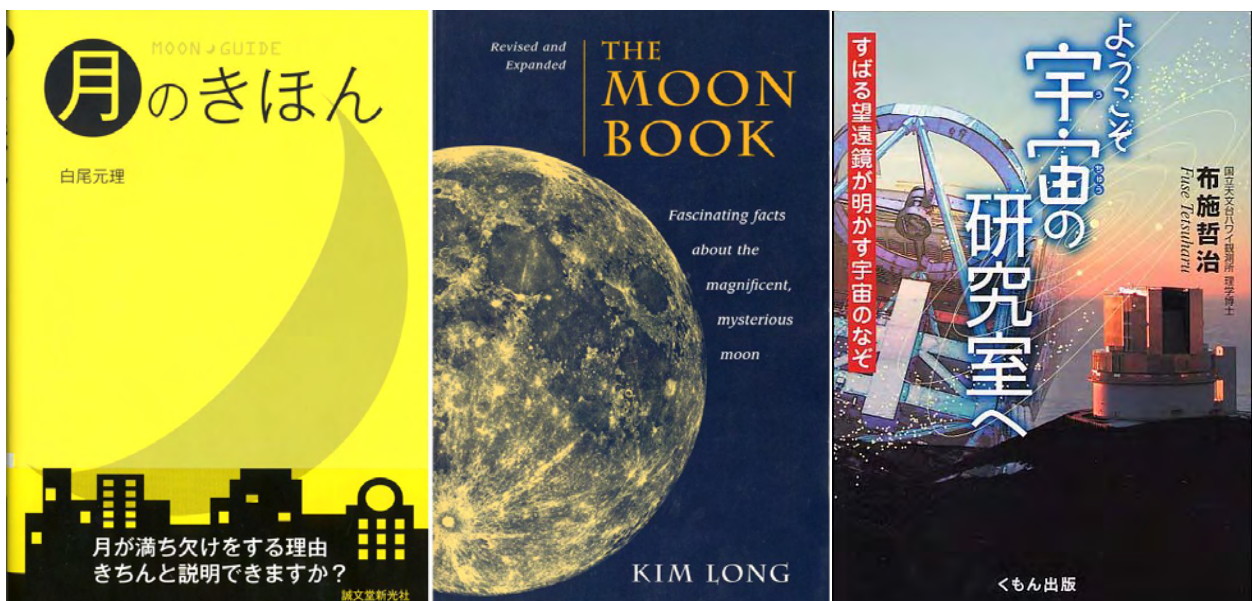
ようこそ宇宙の研究室へ

布施哲治 2006 年、くもん出版、ISBN 4-7743-1167-7、1200 円（税別）

最初の 2 冊は月をざっくりと理解するのに打ってつけの要約本である。小さくて持ちやすく、イラストと表を多用し、何がどこにあるかをページをめくってすぐに探し出せる適度な薄さ。月探査機 SELENE が 2007 年夏打上げを前に秒読み段階に入ったこの時期、入門者にとってもベテランにとっても非常に便利な常備薬ならぬ常備本となるだろう。月に関して類書を見ない。

『月のきほん』は、2006 年夏の新刊で、黄色く非常に目立つ装丁である。そして、その構成も面白い。原則として見開きで 1 トピック、65 項目をビジュアルにまとめている。ポイントを押さえていてなかなか分かりやすく、小学生から大人まで広く楽しめる内容でかつ手頃な価格だ。望遠鏡をお持ちの御家庭はもちろん、そうでなくても楽しみながら勉強できる。月の満ち欠けの理由や、なぜ月の裏側を地球から見るできないのか、など月に関するたくさんの疑問についてとりあげており、本書を読めば、月がいかに地球と密接に関係した大切な天体であるかが分かるだろう。プラネタリウムや図書館などにも勧めたい。

『The Moon Book』（洋書）は、1988 年に一度出版されたものが改訂・増補されたものである。実は、白尾氏が上述の『月のきほん』を和書として執筆する気にさせたのがこの本で、一般の人に分かりやすく絵解きしてみせる方向性は同じである。世界における太陰暦（月に基づく暦）や地球照などの話題は白尾氏の本にない部分であり、地名のスペルをちょっと確認しようという時にも便利である。英語も易しいので、中学生の読み物としてもちょうど良いだろう。もちろん、



白尾氏の本はこの和訳ではなく、日本固有の話題や最近の探査機の情報を上記の代わりに加え、さらに詳しく調べる人のための参考資料（文献やウェブサイト）も充実させている。

『ようこそ宇宙の研究室へ』は、月とは直接関係しないが、是非取りあげたい良書である。漢字に振り仮名をつけた口語体の丁寧な作りで、小中学生向けの入門書である。「すばる望遠鏡が明かす宇宙の謎」という副題が付いてはいるが、すばるの紹介だけにとどまらない内容で、より身近な太陽系科学に興味を持ってもらうのに良い本だ。すばるや探査機の活躍で発展中の太陽系科学の良いレビューとして、初学者が押さえるべきポイントも網羅されており、侮れない内容である。元素周期律表から入って、星座の見え方と惑星を紹介しつつ太陽系の構造・起源を示し、各天体にも光をあてる。すばる望遠鏡と太陽系外縁部における成果を2章にわたって解説し、太陽系外・銀河や宇宙の起源に迫る未来も描くというもの。この辺りは著者の面目躍如といったところで、これが惑星の定義を迫る dwarf planets（矮／準惑星、仮称）となったのは耳に新しい。

しかし本書はこれで終わりではなく、さらに『これからの宇宙科学』という一章と、より詳しく勉強したい人向けの解説コラムがあるのが実に良い。現在こつこつと準備中のものは教科書に載りにくいし、ウェブにある進行中情報は多すぎて溺れそうになる。こうしたまとめは、子供や初学者への助けになるだけでなく、良い刺激にもなるだろう。この本を読むような子供達が大きくなった時は、取りあげられた電波望遠鏡や惑星探査機の成果を足掛かりに次が考えられる時代だと想像するのも、なかなか楽しい。私たちは何を残してあげられるだろうか。（出村裕英）

INFORMATION

●タイタンは生きているか

タイタンは現在でも、地質学的には生きているかもしれない、という興味深い観測事実が、2006年10月8～13日カリフォルニア州パサデナで開かれたアメリカ天文学会惑星科学部会（DPS）で報告された。

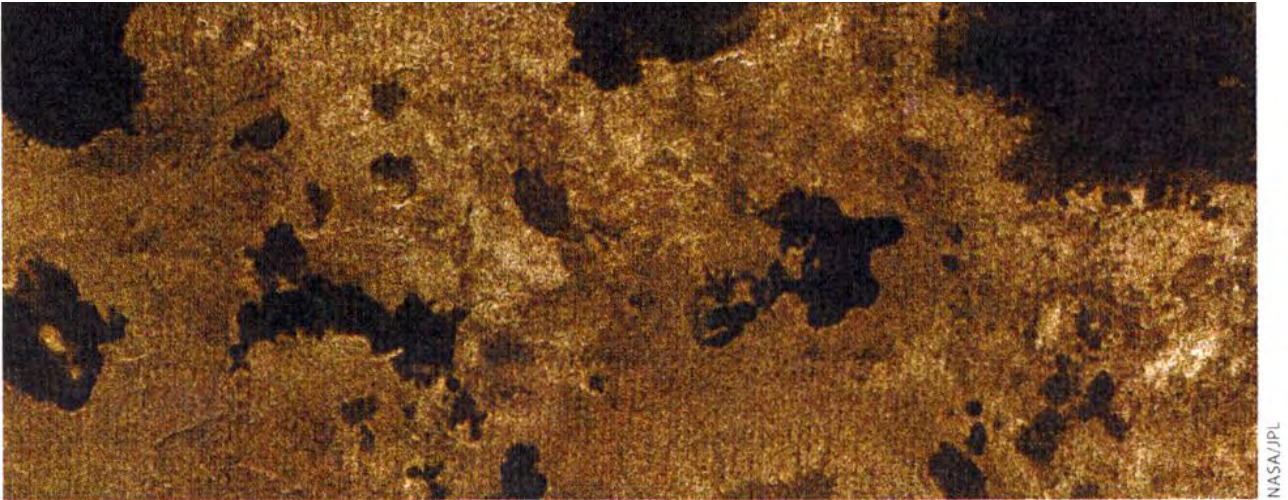
2004年7月になされた、カッシーニの最初のタイタンフライバイ時に、探査チームのメンバーは、タイタンの南半球中緯度に、明るいスポットを発見した。それは70000km²もの明るい部分だった。このスポットは2005年3月には明るさも大きさも2倍になった。しかしその年の11月にはおとろえた。その後2006年3月までの間に、これと同じサイクルの現象がくり返された（以上、チームメンバーの1人、JPLのRobert Nelsonの報告）。

この明るいスポットは、大気中に浮かぶ雲などではなく、タイタン内部から放出されたガスなど、内因的なものと考えられる。この現象は一種の火山活動で、水とアンモニアの混合ガスの噴出かもしれない。タイタンは現在も、何らかの地質活動がつづいている可能性がある。（「Science」314, 27 Oct. 2006, 589-590. による）

●タイタンの極地にメタンの湖

土星を周回しながら観測をつづけているカッシーニ探査機は、2006年7月21日、第22回目のタイタンフライバイ時におこなったレーダー観測で、メタンの湖が存在する確かな証拠をついに発見した。

湖と判断されたものは、レーダー画像で暗く、なめらかで、きわめて均一な様相の広がりを見せている（写真参照）。多くは卵形や、曲がった幅の広いダム湖のように見え、クレーターを液体が満たしているようなものもある。大きなものは直径30kmに達する。チャンネル地形とつながっているように見えるもの



タイタン北極地方の暗い、のっぺりしたパッチはメタンの湖だと考えられる。この画像は、カッシーニのレーダー画像から作成されたもので、 80°N 、 92°W を中心とした幅 420km の地域である。

もあり、液体がチャネルを通して湖に流れ込んでいるようだ。

これらの湖は、北極に近い北緯 $75^{\circ} \sim 80^{\circ}$ の地域に分布することが大きな特徴である。2005 年 6 月には、南極近くでも同様な、暗くてなめらかな地域が見つかっており、メタンの活動的な雲が南極地域に発生することとあわせて考えると、メタンの雨で湖が形成されているものと推察される。

スペインの R. Hueso & A. Saucuez-Lavega が「Nature」2006 年 7 月 27 日号に発表した大気循環モデルによれば、タイタン大気圏では、夏に高緯度地帯でモンスーンが発生して、72km/時に達する風が吹き、レーズン大のメタンの雨が降るといふ。このモデルは、タイタンでおこる実際の気象現象を、かなりよく説明しているようだ（くわしくは、Hueso, R. & Saucuez-Lavega, A., 2006, Methane Storms on Saturn's moon Titan. Nature, 442 (27 July 2006), 428-431.を参照）。

本誌前号で紹介したように、赤道にそう低緯度地帯には、砂丘群が広がるドライな地域がある。一方極地は、湖をもつ、いわばウェットな地域である。タイタンの世界にも、気候帯の区分のようなものがあるのだろうか。さらなる観測成果が期待される。

●おわびと訂正

本誌前号 (Vol. 18, No.3) P.29 の論文紹介に誤りがありました。正しい記述は次のとおりです。

- ・本文 4～5 行目：これは、長さ約 10km の東西にのびる線状地形で、それらが 1～2km の間隔で南北方向に配列していた。

- ・本文 12 行目： 東西に長くのびた線状砂丘が、何本も南北に……。

以上、私の感ちがいで、東西と南北の方向をとりちがえたミスでした。つつしんでおわびし、訂正させていただきます。

(小森長生)

編集後記：火星にイトカワにタイタン、本誌創刊以来の探査ブームです。米露欧に加えて来年からは日中印も加わって第 2 次月探査ラッシュに。良い時代を迎えました。来年夏打上予定の月探査機 SELENE に因んで、皆様の御名前とメッセージを月に送り届けるキャンペーンが始まりました。1 月末がメ切です。御家族・御友人の皆様とぜひ下記サイトをお訪ね下さい。(D)

<http://www.planetary.or.jp/selene/pc/index.html>