

## 火星を目指す日本初の惑星探査機 PLANET-B

佐々木 晶 Sho Sasaki

### 1 PLANET-B とは

今年の7月4日早朝、日本は初めて惑星周回の探査機を打ち上げる。火星へ向かう PLANET-B (図1) で、宇宙科学研究所の新型ロケット M-V 2号機によって打ち上げられる。M-V の1号機は、昨年打ち上げられた宇宙電波天文台「はるか」である。当初、今春に飛ぶはずであった月探査機 LUNAR-A は、予定が変更されて来年の打ち上げとなる。

火星の探査はバイキングやマーズパスファインダーの観測により、かなり進んでいるように思われるが、上層大気の組成や構造、その時間変化に関する情報は地球や金星と比較するとかなり乏しい。磁場の弱い火星では、太陽からのプラズマ流である太陽風は直接に火星の上層大気に吹きつける。これにより、プラズマの加熱、大気運動の励起、さらには大気の散逸といった現象が発生するはずであるが、今まで長期間の定量的なデータは得られていない。PLANET-B の主要な科学目的は、火星の上層大気とその太陽風との相互作用を解明することにある。そのために、さまざまなプラズマ観測器や大気組成の観測器、さらには火星周囲のダスト環境の計測器、地表を撮像するカメラを搭載する。

### 2 PLANET-B の軌道と本体

太陽風と火星上層大気の相互作用という科学観測目的のために、PLANET-B は火星の周囲を長楕円軌道で逆行方向に公転する。太陽風が火星に直接吹き付ける昼間側の太陽直下点では、地表

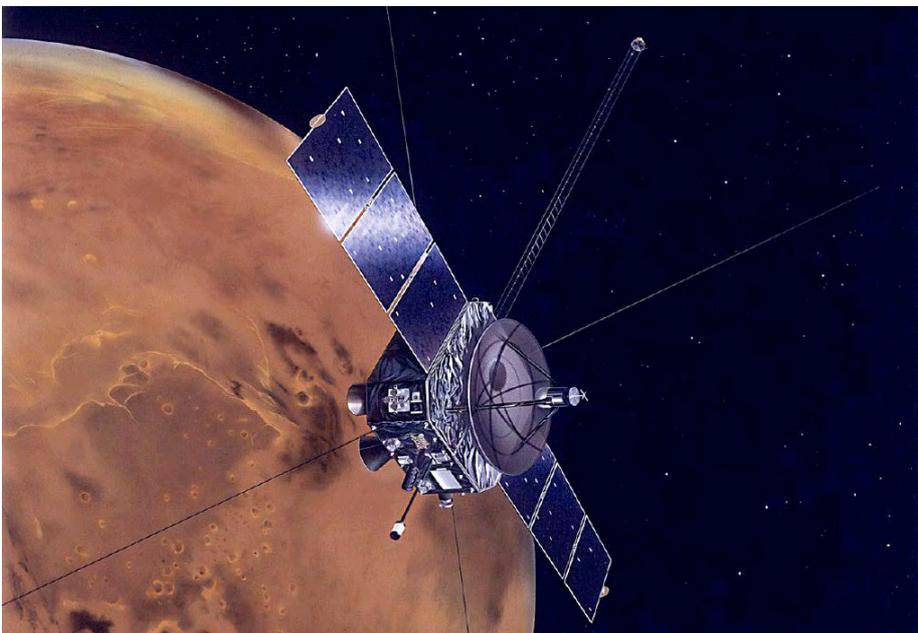


図1 火星探査機PLANET-B  
と火星 (想像図：ISAS提供)

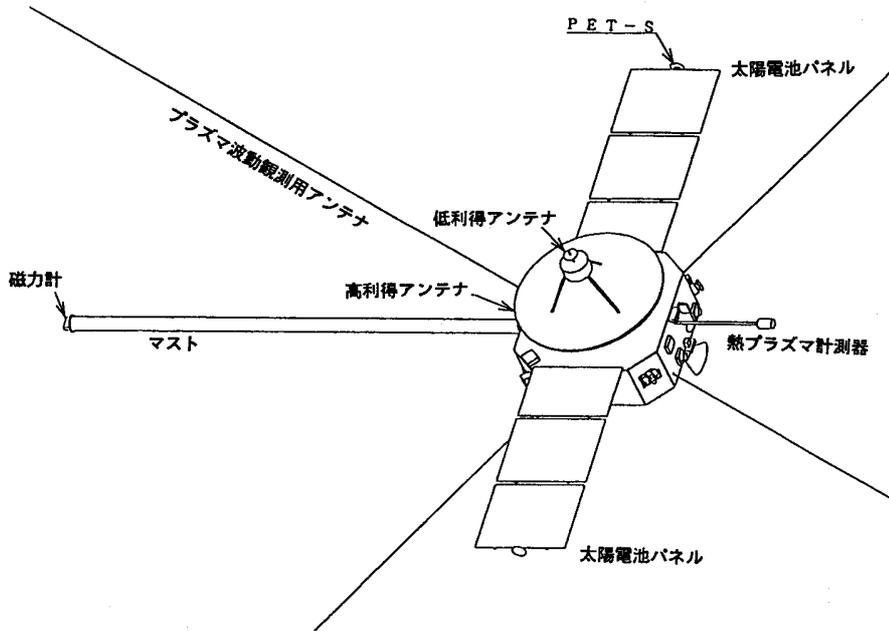


図2 PLANET-Bの構造

からの高度 150km まで近づく。太陽風圧力とのバランスの計算から予想される、相互作用領域の下限が 150km 程度で、またこの高さでは上層大気の組成を直接測定することができるからである。さらに、火星固有磁場の測定や電波による地表のサウンディングのためにも、高度が低い方がよい。しかし、近火点高度をあまり下げると、大気の摩擦のため衛星軌道が変化して、軌道修正のために燃料消費が大きくなる危険がある。実際に、大気摩擦を利用して軌道高度を下げる計画であった Mars Global Surveyor は、予測以上の抵抗を受けたため軌道計画の変更を余儀なくされた。

一方、旧ソ連の探査機 Phobos-2 は、夜側で火星大気のイオンが大量に流れ出していることを観測した。さらに詳しく観測するには、火星半径の 10 倍程度の空間を調べる必要がある。そのため、PLANET-B の遠火点は、火星半径の 15 倍に設定された（フォボスの軌道半径より大きい）。PLANET-B の軌道面はほぼ黄道面で、火星の周囲を逆行方向に公転する。このため、火星の赤道面を周回するフォボス、ダイモスとも接近遭遇の機会がある。

地球から火星へ探査機を送る機会（これを打ち上げの「窓」 launch window という）は、ほぼ 2 年に 1 度やってくる。PLANET-B は、当初、1996 年の窓を利用して打ち上げる計画であったが、M-V や PLANET-B そのものの開発計画の遅れにより、2 年後の 1998 年の打ち上げとなった。PLANET-B は、7 月打ち上げの後、月に 2 回接近して重力スイングバイによって加速され、最終的に 12 月に地球重力を離脱する。そして、約 10 か月の遷移軌道を経て、1999 年 10 月より 2 年間、火星周囲を観測する。

PLANET-B の総重量は 540kg で、このうちの約半分が燃料である。燃料を除いた重量は 261kg で、現役時の小錦関よりも軽い。14 種の科学観測機器の総重量は、わずかに 36kg にすぎない。PLANET-B のサイズは、主構体が  $1.6 \times 1.6 \times 0.6\text{m}$ 、太陽電池パネルを広げたときの差し渡し

6.2m、また5 mの磁力計マストのほか、サウンダー用の長さ25mのワイヤーアンテナ4本が伸びる(図2)。

### 3 観測機器

表1にPLANET-Bに搭載する観測機器をかかげた。おもな観測機器について説明する。

#### プラズマ計測器

火星大気上層部にはプラズマの電離層がある。火星に吹き付ける太陽風は、このプラズマとの相互作用を通じて、火星大気に影響をあたえる。そのため、電離層のプラズマの組成、温度、運動、時間変化を把握することが重要である。PLANET-Bではいくつかの電子、イオン測定機器により、低エネルギー(0.1~100eV)の熱プラズマから高エネルギー粒子(40~500keV)に至るまでの、さまざまなエネルギーの粒子の存在度、速度、分布を測定する。これにより、太陽風と火星電離層の圧力バランス、太陽風で励起される運動、太陽風によるイオンのピックアップなどを観測することができる。

#### 磁力計

磁場は電離層と太陽風の相互作用に深く関わっている。火星の周囲を太陽風が流れるとき、太陽風のもつ磁場が火星の電離層や固体部に引きずられて、火星の夜側に磁場の尾を形成することが考えられる。地球と同じような尾が形成されると、火星へ向かって流れ込む高エネルギー粒子が発生する可能性がある。また、火星の固有磁場の大きさ、方向を同定することも重要な役割である。他の機器からの干渉を避けるため、磁力計はPLANET-B本体から伸展させた5 mのマストの先に設置されている。すでに、Mars Global Surveyorは火星の固有磁場を観測したが、表面磁場は双極子磁場ではなく、残留磁場で決まっているようである。PLANET-Bは長期間にわたり、低い近火点で火星を観測するため、精度の高いデータが得られるはずである。

#### プラズマ波動観測器・サウンダー

PLANET-Bからは4本の長いワイヤーアンテナが伸びている。このアンテナから高周波の電波を発射して、反射シグナルの遅延時間から電離層の構造を調べる(サウンダー)。また受信部のみでも、プラズマ波動の観測から火星上層大気中の波や乱れを観測することができる。さらに、近火点においてサウンダーを使うと、火星表面までの距離を正確に測定することができる。いわゆる電波高度計の原理である。電波の反射は火星の表面状態に影響されるので、データを解析することによって表層のレゴリスの状態や場合によっては浅い地下構造を調べることができる。

#### 紫外分光撮像

火星の周囲には水素、酸素原子が広がったコロナが存在する。さらにこれらの火星重力圏からの流出が議論になっている。紫外分光撮像では、水素、重水素、酸素原子の出す紫外線を観測することで、水素コロナ、酸素コロナの広がりとその時間変化を明らかにする。また、Phobos-2は、火星から大量の酸素イオンが流出していることを観測した。1億年で火星大気全体が散逸してしまうほどの勢いである( $3 \times 10^{25}$ ton/s)。この酸素イオン流出の機構はまだ解明されていない。

紫外分光と他の機器のデータが、この問題に答えをあたえるであろう。

また、極端紫外分光器は、大気中のヘリウムの出す光を観測することにより、火星大気中のヘリウム4の存在度を測定する。この存在度が高いことは、火成活動や地下水の循環などにより内部のU、Thの崩壊から発生した放射性起源のヘリウム4が大気に供給されている、つまり現在の固体火星に何らかの活動がある証拠となる。

### 中性ガス質量分析

PLANET-Bの近火点は150kmになるので、上層大気の中性分子・原子の組成を直接測定できる。PLANET-Bには、Pioneer Venus探査機やGalileo Probeに搭載されたのと同じ中性ガス質量分析器が搭載され、質量数1から60までの大気分子種を測定する。火星では、地表大気の組成はバイキングで計測されているが、上層大気の詳細データはない。

### ダスト計測器

火星周囲にはフォボス、ダイモスという2つの小衛星があり、表面はレゴリスで覆われている。脱出速度が10m程度であるため、微小隕石の衝突で表面のレゴリス粒子が放出される。放出粒子の離心率は、太陽放射圧と火星の扁平度による散乱を受けて増大する。そのため、衛星の軌道に沿ってダストリングが存在する可能性がある。しかし、これまで火星周囲でのダストの直接計測はない。PLANET-Bは、火星の周囲を長楕円軌道で逆行に公転するため、順行公転するダストとの間には相対速度が生まれる。そのため衝突電離型のダスト計測により、ダストの数だけではなく質量、速度を計測することができる。

このダスト計測器(MDC)は、私(佐々木)が搭載を提案した。ドイツのミュンヘン工科大学のグループにより製作され、重量はわずか730gの観測機器である。MDCは他の観測機器と異なる

表1 PLANET-B 搭載科学機器

電子分析器	(ESA : Electron Spectrum Analyzer)
イオン分析器	(ISA : Ion Spectrum Analyzer)
高エネルギー電子イオン分光器	(EIS : Electron and Ion Spectrometer)
イオン質量分析器	(IMI : Ion Mass Imager)
熱プラズマ分析器	(TPA : Thermal Plasma Analyzer)
プラズマ波動観測・サウンダー	(PWS : Plasma Wave and Sounder Experiment)
低周波波動分析器	(LFA : Low Frequency Wave Analyzer)
磁力計	(MGF : Magnetic Field Measurement)
電子温度計	(PET : Probe for Electron Temperature)
紫外分光撮像器	(UVS : Ultraviolet Imaging Spectrometer)
極端紫外撮像器	(XUV : Extremely Ultraviolet Imager)
中性質量分析器	(NMS : Neutral Mass Spectrometer)
ダスト計測器	(MDC : Mars Dust Counter)
可視カメラ	(MIC : Mars Imaging Camera)

このほかに電波の掩蔽観測から火星大気の構造を調べる計画があり、発信器(USO : Ultrastable Oscillator)が搭載される。

り、地球周回、地球から火星への遷移軌道においても、太陽系内ダストや星間起源ダストを観測する計画である。また、PLANET-Bがちょうど地球重力圏の外縁部にいるとき、11月18日のしし座流星群と遭遇するため、彗星起源粒子によるストリームを初めて観測できるかも知れない。

### 可視光カメラ

PLANET-Bはスピン衛星であるため、カメラの撮像は1次元CCDを用い、スピンの利用して2次元撮像を行う。赤、緑、青の撮像のためには3スピンが必要である。そのため、近火点では最高60mの解像度が得られるが、撮像位置がずれてしまう。また、カメラの方向を動かすジンバルはないため、PLANET-Bのスピン軸に対して垂直方向の撮像のみ可能である。方向が合えば、遠火点付近では火星全体を視野に入れることができる。

このカメラの科学目標としては、大気中の雲、霧、ダスト層の観察とその時間変化、砂嵐のモニター、低太陽高度時のクレーター、風成地形などの撮像などが提案されている。Mars Global Surveyor (MGS)は極軌道でマッピングを行い、高解像度カメラの最高解像度は1.4mである。また広視野カメラも搭載している。MGSのマッピングが1年先延ばしになったため、PLANET-Bと観測期間が重なる。そのために、PLANET-Bは低太陽高度撮像、スピン衛星の特徴を活かしたりム撮像などを行うことにより、MGSでは得られない情報を取得する必要がある。

また、PLANET-Bは2年間のうちに、フォボスとダイモスに接近する。このときの衛星撮像も重要な目標で、カメラの感度も衛星撮像を考えて暗い対象を撮るモードも設定されている。

## 4 国際協力

PLANET-Bは、宇宙科学研究所が打ち上げる探査機である。しかし、広範な科学目標を少ない搭載機器重量で達成するためには、国際協力に基づいて海外の優れた機器を搭載することが必要である。搭載機器のうち、イオン質量分析器はスウェーデン、熱プラズマ分析器はカナダ、中性質量分析器はアメリカ、ダスト計測器はドイツのグループが製作した。また、電波科学のための発信器はアメリカから、可視カメラの画像圧縮チップはフランスから供給されている。このため多くの海外科学者もPLANET-B計画に参加しており、科学データを共有し、協力して火星の謎に挑むこととなる。

## 5 おわりに

PLANET-Bは現在、宇宙科学研究所の鹿児島島の打ち上げ基地で、衛星本体やロケット本体だけでなく、各観測機器の最終チェックも行っているはずである。ここにきて、ロケットの打ち上げ能力の見積もりから、衛星の搭載燃料を約5 kg増加できる可能性が出てきた。もし、火星周回軌道で余分な燃料があれば、PLANET-Bの寿命を火星周囲で長くすることができる。また、軌道を変更することにより、夜側の観測を詳細に行うことも検討されはじめている。

予定通りだと、7月4日の早朝、PLANET-Bは轟音とともに宇宙旅行を開始するはずである。そして、1年後に火星のこれまでにわからなかった情報を、われわれに伝えてくれるに違いない。

(東京大学理学系地質学教室・惑星科学)

## 論文紹介

### 宇宙古生物学と火星

Jack farmer and Dave Des Marais

微生物の化石の記録には、細胞の遺骸、ストロマトライト（細かく成層した生物性堆積物）、生物体の組織や微細な生痕化石、生体鉱物、化学化石などといったものを含む、幅広い情報が秘められている。化石の保存様式は、物理学的、化学的、生物学的要因に依存しており、それらが特別な環境のなかでたがいに影響しあって、最終的に岩石中における化石のタイプを決定する。

化石がどのような場所でできるかを知るためには、過去の時代の堆積環境を復元することが重要である。この作業はなかなかむずかしく、堆積物の形態や内部構造、それらの鉱物学や地球化学などの、いろいろな地質学的情報を総合していかなければならない。

火星の場合には、軌道から撮影されたこの惑星の表面地形の画像をもとに、研究に適した場所を選び出すことが、最初の科学的出発点となる。しかしこれらの場所についてのわれわれの理解は、まだ限られたものである。これからの探査では、火星の揮発性成分や気候、水文学などの歴史を明らかにすることが主たる目標であり、これらの情報をもとに、過去に生物がすんでいた可能性のもっともたかい場所が、着陸地点として選ばれることになるだろう。

火星表面のサンプル採集地点の選定にあたっては、軌道上からの鉱物学的マッピングが、基本的に重要な役割をはたすと考えられる。現在火星を周回中のマーズグローバルサーベイヤー (MGS) には、熱放射スペクトロメーター (TES) が搭載されており、この器械が2年間にわたって、中間赤外域での火星全面のマッピングをおこなう。その開始は1999年3月に予定されている。TESの空間解像度は約3 km/pixelで、火星表面の鉱物組成について、初のくわしいデータをもたらすはずである。このデータは、2001年以降の火星探査における着陸地点の選定に、大きな影響をあたえるであろう。

#### 化石が形成されるための条件

過去の生物の証拠をさぐるにあたって地球上のわれわれの経験からいえることは、生物学的情報が化石として長期間保存されるための地質学的条件は、きわめてせまい範囲に限られるということである。碎屑物の堆積機構においては（岩石の物理的破壊で生成した物質から砂岩、泥岩、頁岩などができるような場合）、もっとも理想的な化石の保存は、細粒の粘土に富む堆積物によって急速に埋められる、という条件のもとでおこる。一方、化学的堆積機構では、岩塩などの蒸発岩堆積物とか温泉地帯の堆積物の例のように、岩石の風化で溶け出した物質が堆積する。このような化学的堆積環境での保存は、上にのべたような細粒の化学的沈殿物中でおこる急速な埋没によって促進される。

しかしながら、微化石が長期間保存されるための最も重要な要因は、鉱物の組成にあるといえる。母岩は、化学的に安定で、埋没後におこる膠結、溶解、再結晶のような、化学的、物理的変化に耐えるものでなければならない。理想的には、保護する鉱物が化石のまわりに、しっかりとした不浸透性のマトリックスを形成する必要がある。それによって化石となった生物痕跡は隔離

され、埋没後岩石に浸透する流体によってひきおこされる酸化やその他の化学的変質から保護されるわけである。このような状況で、岩石はシリカ（めのうの主成分鉱物）、磷酸塩（骨や歯をつくる鉱物）、炭酸塩（石灰岩の主成分）、粘土分に富む頁岩（極細粒の不浸透性堆積岩）といった、かたくて抵抗性のある物質になり、化石化した遺物が最も良好な状態で保たれるのである。これらの鉱物は、地球の地殻にはきわめて長い期間存在し、古い岩石系列の多くに普通にみられるものである。地球では、微生物化石のほとんどは、こうした種類の堆積物に保存されている。

### 微生物が生息する地下の環境

火星の歴史を通して、地下に水がずっと存在してきたとするならば、このような環境の場所で生命はいつでも発生しえたのではないかと考えられる。ひとつの可能性としては、衝突事件のような外因的な、あるいは火山活動のような内因的な過程でひきおこされた気候変化によって、また、表面に液体の水が存在できるような火星の大気密度の増大によって、生命は周期的に発生したかもしれない。

最近、興味深い新しい生物 chemotrophic species（化学的刺激によって活動する微生物）が、ワシントン州コロンビア川高原に分布する台地玄武岩深部の、水で満たされたすき間に発見された。この生物は、地下水に溶けている二酸化炭素（ $\text{CO}_2$ ）と水素（ $\text{H}_2$ ）のような無機物質から有機化合物を合成することによって生存できるのである。 $\text{CO}_2$ と $\text{H}_2$ は、火星では一般的な岩石タイプだと考えられている玄武岩の、無機的な風化によって作り出される。地球上におけるこのような発見は、火星での地下生命存在の可能性について、重要な新しい展望を開くものである。

火星の地下に生命の存在しているところがまだあるとしても、そのような場所にアクセスするためには、数 km の深さのボーリングが必要である。しかしたとえ深部ボーリングが技術的に可能であっても、人間の火星着陸前にそれが実現できるとは思われない。現在の段階では、火星の



図1 深い峡谷の壁の下にひろがる崖くずれ堆積物（マリネリス峡谷の北西端をつくるオフィールキャズマの例、NASA、USGS）

表面にある古い堆積層の中から化石を見つけ出すことのほうが、ずっと容易な作業であろう。

### 火星表面での化石探査

火星の地下環境のもとでできた化石を地表でさがすにあたっては、いろいろな地質学的状況から、次のようなところを調べるのが適切だと考えられる。すなわち、衝突クレーターからの放出物、深い峡谷の壁の下に広がる扇状地状の堆積物（図1）や破碎された岩石のエプロン、アウトフローチャネルの堆積物、などである。

地下の環境で形成された水成の鉱物堆積物のなかで、微生物の化石がひそんでいるかもしれないと考えられるものには、碎屑性堆積岩の中にみられる膠結物、火山岩の中の空洞や割れ目を満たしている低温鉱物、生命にとっての上限温度である約130°C以下で生成した熱水堆積物、などがある。しかし、これらの物質の分布は細かく散らばっていて、母岩に対して占める割合は低いことが多く、このことが実際の探査を困難にする。マーズグローバルサーベイヤー搭載のTESによってもたらされる鉱物学的情報も、火星におけるこれらの物質の存在を予測することはむずかしいかもしれない。

### 表面にあらわれている熱水堆積物

火星ではその歴史の初期に、熱水システムが広く存在していたと考えられ、火星表面には、熱水堆積物が露出していると思われるような地質構造の場所がいくつも存在する。しかしながら、これらの堆積物は規模が小さく、見つけ出すのはむずかしいと思われる。地球上では熱水噴出泉のマウンドの露出地域はたいてい数km<sup>2</sup>で、TESの解像度よりも小さい。しかし、このような堆積物は地球上の火山地帯にはひじょうに豊富で、火星でも同様ではないかと考えられる。

たとえば、地球上で最大の火山であるイエローストンカルデラ（直径70km×40km）の床面の15-20%は、熱泉堆積物でおおわれていると見積もられている。これほどの分布があれば、火星表面の熱泉堆積物はTESをもちいて十分探知できるだろう。これら熱水システムの地下の浅い部分は、地上に露出している部分よりも大きい（おそらく数十km<sup>2</sup>）にちがいない。とはいえ、先にのべたように、表面システムの地下への延長部は、基盤岩の中へ細かく分散されており、リモートセンシングによる探査は困難になるとと思われる。

### 古い湖盆の堆積物をさぐる

火星には多くの古い湖の盆地があり、これらは衝突クレーターや火山のカルデラを含めて、バイキングの画像から認められてきた。古い湖の堆積物は、最も大きく、そして最もたやすく軌道上から確認できる宇宙古生物学的対象物である。いく人かの研究者たちは、火星の北半球の平原に、かつて古代海洋が存在したと考えてきたほどである。しかしながら、探査機の電源を太陽電池にたよる関係から、2001年から2003年に予定されるミッションでは、軌道上からの観察は、赤道の南北15°の緯度範囲に限定されるはずである（ローバーを送るミッションで電源に放射性熱源をもちいる計画はいまのところなさそう）。火星の多くの古い大湖盆は、赤道の南北15°以上の高緯度にあるので、われわれとしては、低緯度にあるより小さな水のはけた盆地に焦点をあてるのが一番よい方策だろう。

古生物学的見地からみると、もっとも興味ある場所は、水が流れ込んだことはあるが流れ出すことのなかった最末期の古い湖盆である。このようなタイプの盆地は、主として塩水湖とアルカリ湖である。ある大気進化モデルによると、こうした蒸発岩からなる湖盆は、かつては火星に広く存在したであろうと考えられる。最末期の湖盆がもっている条件は、微生物の化石化の条件として重要であった、広範な化学的堆積作用を考えるうえで好都合である。この湖盆の中の岩石で、微生物化石を含んでいる可能性のあるものは、炭酸塩やいろいろな蒸発岩鉱物、頁岩のような細粒堆積岩、マール（細粒の石灰岩）、水中堆積の火山灰などである。

### これからの探査に役立つ堆積盆地の例

火星にある古い熱水堆積物の探査戦略をすすめるにあたって、われわれは、有用鉱物（たとえば熱水性の金銀鉱床）を探査するために地球で開発された方法から、多くを学ぶことができる。熱水堆積物は鉱物学的には単純であるため、しばしばリモートセンシング法による探査が可能である。一般に熱水堆積物の鉱物組成は、シリカや炭酸塩、そしていろいろな金属酸化物や硫化物を含んでいる。しかしまた、火山岩や他の母岩の変質によってつくられた粘土鉱物を含む珪酸塩鉱物も多く存在する。これらの熱水鉱物は、特有のスペクトルを示すので、高解像度の赤外リモートセンシング法による火星周回軌道上からの探査ができる。

プラヤ（干上がった湖）の地域では、蒸発岩堆積物は、しばしば同心円状の"bull's eye"パターンを形成する。それらは、盆地の縁辺にそって堆積した炭酸塩と、その内部にむかって分布する硫酸塩とハロゲン化合物の鉱物から成り立っている。White RockやBequeral Craterなどの火星の衝突クレーターの床面には、炭酸塩を含む蒸発岩と思われる堆積物がみられる。蒸発岩鉱物もまた、赤外域で特有のスペクトルを示すので、高解像度リモートセンシング法をもちいて、軌道上からその存在を確かめられる。

火星における太古の環境の性質を知るためには、鉱物学の知識がどうしても必要である。マーズグローバルサーベイヤーのTESデータは、宇宙古生物学に適した場所を選ぶために、きわめて重要である。これらのデータは、2001年と2003年のミッションにおいて、着陸地点を最終的に決定するために役立つものとなるだろう。それはまた、現在2005年に打ち上げが計画されている火星サンプルリターンミッションにとって、最適の着陸場所を選ぶためにも役立つにちがいない。

**訳者付記：**この論説は次の原著から訳出したものである。

Jack Farmer and Dave Des Marais, 1998, *Exopaleontology and Mars. Mars Underground News*, Vol.10 (First Quarter 1998), 3-5.

2人の著者はNASA エームズ研究センター宇宙生物学部門の研究者。また掲載誌「Mars Underground News」はThe Planetary Societyが発行している季刊のニューズレターである。なおこの論説は「Journal of Geophysical Research」誌に近く掲載予定の2人の共著論文「Exploring for a record of ancient martian life」を、著者自身の手で要約したものであるとのことである。火星の生命探査の基本的問題が要領よくのべられていて有益だと思われるので、ここに紹介したしだいである。

(小森長生訳)

## 論文抄録

### 金星の地質学的進化

Phillips, R.J., and Hansen, V.L., 1998, Geological evolution of Venus: Rises, Plains, Plumes, and Plateaus. *Science*, 279, 1492-1497.

金星の地殻にみられる主要な大地形の高地と火山体は、金星の地質学的進化を知るための鍵であり、この惑星の地殻の形成と熱的進化のモデルをあたえる。高地は、薄いリソスフェアの下でうまれた大規模なマントルブルームによって形成された。高地にみられるリボン状のトラフをもつ古い構造は、初期におこった隆起と引っぱりの結果である。広大な火山平原は、高地の形成を通しておこった広範囲のマントル上昇流によってつくられた。独立した火山体は高地の形成よりも若く、リソスフェアが厚くなる段階で形成された。二大地形の成因と形成過程のちがいは、約10億年前にマントル対流の様式が変化したことを物語っている。(K)

### 衝上断層によるイオの山地の形成と大規模マスムーブメント

Schenk, P.M., and Bulmer, M.H., 1998, Origin of mountains on Io by thrust faulting and large-scale mass movement. *Science*, 279, 1514-1517.

ボイジャー1号が1979年に撮影したイオのエウボアエ山 (Euboea Montes) のステレオ画像解析の結果、この山は、巨大な地殻ブロックが約6°の傾きで、10.5km隆起して形成されたことがわかった。この隆起によって山塊の北西斜面に大きな崩壊がおこり、太陽系最大のデブリエプロンができた。崩壊物は厚さ2kmにおよぶ未固結の物質からなり、少なくとも11kmの厚さをもつかたい地殻をおおっている。イオにおける山地の形成は、地殻の垂直方向の運動に由来する、根の深い衝上断層と地塊の回転が原因になっていると考えられる。(K)

### 2つの色グループに分かれるカイパーベルト天体

Tegler, S.C., and Romanishin, W., 1998, Two distinct populations of Kuiper-belt objects. *Nature*, 392, 49-51.

著者らは、アリゾナ州キットピークにあるスチュワード天文台の口径2.3m望遠鏡にとりつけたCCDカメラで、カイパーベルト天体 (KBO's) に対してB (450nm)、V (550nm)、R (650nm) の3色測光観測をおこなった。その結果、11個のKBO'sと、類似のケンタウルス族小惑星5個、あわせて16個の天体が、色光度の異なる2つのグループに分かれることがわかった。1つはB-V等級が1.2等前後の赤いグループ (実際の色は灰色がかった褐色)、もう1つはB-V等級が0.6-0.8等程度の青いグループ (実際の色は太陽に近い) である。この色の差が何を意味するかはまだ不明で、今後の観測と研究に待たなければならない。(K)

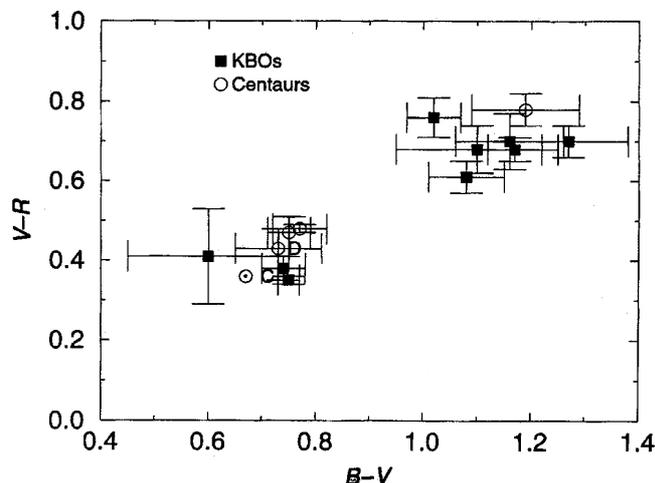


図 KBO'sとケンタウルス天体の色光度観測したものうちKBO's 9例、ケンタウルス天体4例をしめす。CはC型小惑星、DはD型小惑星の平均色光度。また、白ぬき丸の中心に点のある記号は太陽 (B-V 0.67、V-R 0.36)をしめす。

### 火星における氷の流動と岩石氷河

Colaprete, A., and Jakosky, B.M., 1998, Ice flow and rock glaciers on Mars. *Jour. Geophys. Res.* 103, E3, 5897-5909.

火星の表面には、岩石氷河が存在したことを示すいくつかの地質学的形態がみられる。それは、舌状の岩屑のエプロン、クレーターを埋める同心円状の物質、谷の底を埋める線状の堆積物などである。これらは粘性のたかい氷のクリープによって岩屑が運ばれた結果できたものと考えられ、その規模（岩石氷河の幅）は5~20kmにわたる。現在の火星の環境下での氷と氷-岩石混合物の流動の可能性を考えると、220K以下の温度では氷はかたくなりすぎて流れにくく、5 kmの長さの氷河はできないだろう。そこで現在の中緯度の平均温度（210K）よりも20-40K高く、80%以上の氷の含有量があれば、火星で考えられるサイズの岩石氷河の形成が可能である。 (K)

### フォボスの表面物質の測光学的性質

Simonelli, D.P., Wisz, M., Switala, A., Adinolfi, D., Veverka, J., Thomas, P.C., and Helfenstein, P., 1998, Photometric properties of Phobos surface materials from Viking images. *Icarus*, 131, 52-77.

バイキング画像の解析によると、フォボスのアルベドは表面の場所による地域差があり、0.06~0.10の幅がある。最も明るい場所はスティクニークレーターの北東リムで、溝（grooves）が一番集中している部分である。グローバルにみると、表面はアルベドの差から次の3つの地域に分けられる。①スティクニーの東と南の明るい物質の地域。可視/近赤外比が最も青い。②スティクニーの西の最も暗い物質の地域。可視/近赤外比が中間的。③スティクニーの反対半球の中間的明るさの物質の地域。可視/近赤外比が低く赤味がかかった灰色。また、太陽光度の変化による表面のアルベド変異は孤立した小区域に限られる。フォボス表面のレゴリス分布はクレーター形成の影響を受けたが、水平方向には混じりあっていないと考えられる。 (K)

### クレメンタインの高度計で調べた月のバインの深さ

Williams, K.K., and Zuber, M.T., 1998, Measurement and analysis of Lunar basin depths from Clementine Altimetry. *Icarus*, 131, 107-122.

クレメンタイン探査機のLIDAR（レーザー高度計）によって、月の29個の大クレーターとバイン（直径77kmのキングから2500kmの南極-エイトケンバインまで）の地形高度断面が得られた。クレーターとバインの深さ/直径比（ $d/D$ ）の変化は、大クレーターからバインへの形態的推移に対応しており、その関係は、 $\log_{10}(d)=0.41 \times [\log_{10}(D)]^{0.57}$ （ $d$ は深さ、 $D$ は直径、いずれもkm）と求められる。すなわち、直径が増すにつれて相対的な深さは減少する。このことは、直径が大きなものほど、クレーターの基本形が二次的な変形を受けたことを示すと思われる。 (K)

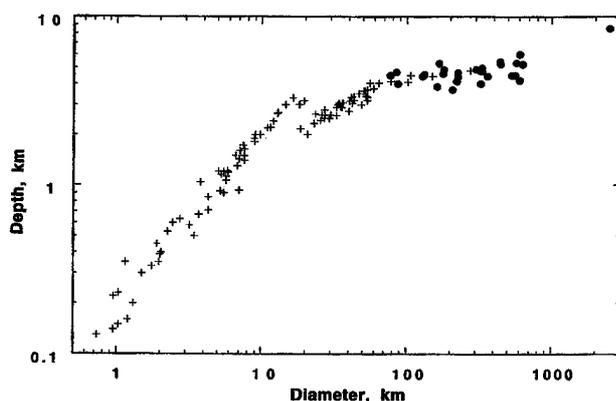


図 月のクレーターとバインの深さと直径の関係  
+印は R.A. Pike, 1976 のデータによる。黒丸印はクレメンタインの測定データ。

### フォボスとデイモスのクレーター放出物の分布

Thomas, P.C., 1998, Ejecta emplacement on the Martian satellite. *Icarus*, 131, 78-106.

フォボスの大クレーターのスティクニーをとりまく放出物の非対称的分布は、フォボスが現在よりもいくぶん火星から遠い距離にあったとすれば説明できる。すなわち、自転と潮汐の影響でクレーターの東方数 km に物質が少しおそい速度でひろがったと考えればよい。スティクニーの放出物は、溝の分布パターンや周囲の斜面での物質の移動には関係していない。一方デイモスの南極近くの大クレーターからの放出物は、主に重力の影響で物質が周りの斜面をクリープしたようにみえる。その厚い放出物とデイモスをゆるがした地震動が、フォボスとの外観のちがいをつくったように思われる。 (K)

### 金星の衝突クレーターのパラボラ型放出物

Schaller, C.T., and Melosh, H.J., 1998, Venusian ejecta parabolas: Comparing theory with observations. *Icarus*, 131, 123-137.

マゼランのレーダー画像から、金星表面に約60個の暗いパラボラ型の模様が存在することがわかった。これらはいずれも衝突クレーターから西方に開いた形でひろがっている。その形成機構のモデル研究の結果、この模様は衝突で放出された細粒物質（直径1 cm～1 μm）がつくる形であると結論した。この考えは、地球上の例でチクシュルーブクレーターからの細粒放出物の分布形態とよく一致する。この結果はまた、金星表面の細粒物質が大気の運動によってどの程度運ばれるのかを見積もるのにも役立つと思われる。 (K)

---

## INFORMATION

---

### ●ルナープロスペクターが月の南北極に氷を発見

今年3月5日、NASAはルナープロスペクター探査機が月の南極と北極に氷が存在する証拠をみつけたと発表した。月の南極に氷が存在する可能性があることは、1996年11月にクレメンタイン探査機と地上のアンテナ間のレーダー実験で推定されていたが、今回のルナープロスペクターの探査では、南極だけでなく北極にも氷が存在すること、また氷の量などについても見積もられている。

氷の存在は、氷の検出のために搭載された中性子スペクトロメーターによって確かめられた。月の表層部の氷は、太陽光が当たると蒸発して宇宙空間に逃げてしまう。極軌道衛星のプロスペクターでは、両極の永久に太陽光があたらないクレーター内部が重点的に調べられた。氷の分布面積は北極が1万～5万平方 km、南極が5千～2万平方 km で、レゴリス中に0.3～1%含まれると推定される。表層部の深さ0.5mに氷が含まれるとすると、月全体では1000万トンから3億トン、深さ2mまで含まれるとするとこの4倍の4000万～12億トンの氷が存在することになる。日光の中禅寺湖にたたえられた水の量が12億トンだから、月にある氷の量は多めに見積もって中禅寺湖の水量程度ということになる。

### ●第31回月・惑星シンポジウム

月・惑星の起源、進化、環境などに関連した研究成果が報告されます。

期日：8月5日（水）～8月7日（金）

場所：宇宙科学研究所本館2階会議場

問い合わせ先：宇宙科学研究所 水谷 仁 (TEL: 0427-59-8193 FAX:0427-59-8193)

編集後記：本号では佐々木晶さんに、7月4日打ち上げられる日本初の惑星探査機 PLANET-B の解説をしていただきました。“Faster, Better, Cheaper”を目指したアメリカのディスカバリー計画の探査機、マーズグローバルサーベイヤーとルナープロスペクターが着々と成果を上げていますが、それに負けない活躍を期待したいものです。 (S)