

マーズ・サーベイヤー98計画 はじまる

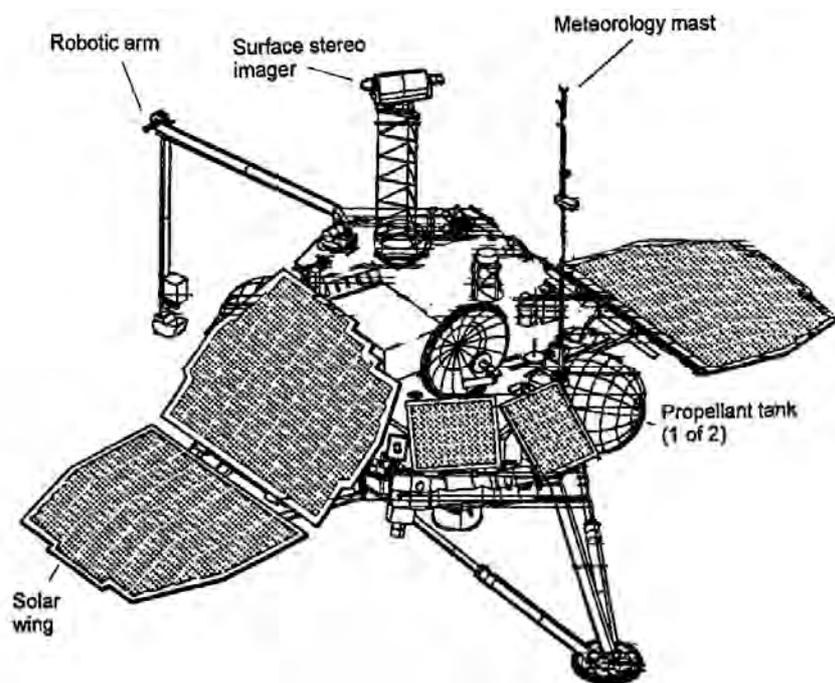
白尾元理 Motomaro SHIRAO

今年5月2日に火星は中接近を迎えるが、火星をめざす探査機の打ち上げも続いている。昨年12月10日、ケープカナベラルからデルタIIロケットによって打ち上げられたのはマーズ・クライメット・オービター、今年1月3日に打ち上げられたのはマーズ・ポーラー・ランダーである。いずれも総重量600kgのNASAの小型探査機で、マーズ・サーベイヤー98計画と呼ばれる探査の一環として打ち上げられた。

火星起源隕石によって火星の生命は一躍脚光を浴びたが、実はかつての火星がどのような気候であり、どのくらいの水があったのかはよくわかっていない。このための基礎データを集めるのが、マーズ・サーベイヤー98計画の大きな目的である。ここでは、それぞれの探査機の観測機器、観測計画などを中心に解説する。

1. マーズ・ポーラー・ランダー

マーズ・ポーラー・ランダー（図1）の科学目標は極地域の地表調査で、予定では今年12月3日、南極からわずか1000kmしか離れていない南緯74~77度の層状堆積物上に着陸する。ラン



ダーは火星大気への突入直前、ディープスペース2と呼ばれるバスケットボール大のミニ観測機2台を放出する。ポーラー・ランダー本体は着陸後、長さ2mのアームによって溝を掘って大量の水を含んだ層状構造の地質や気象現象などを3か月間観測をする。着陸地の層状堆積物は塵と氷がさまざまな割合で混じり合って層状構造をなしていると推定され、

図1 マーズ・ポーラー・ランダー

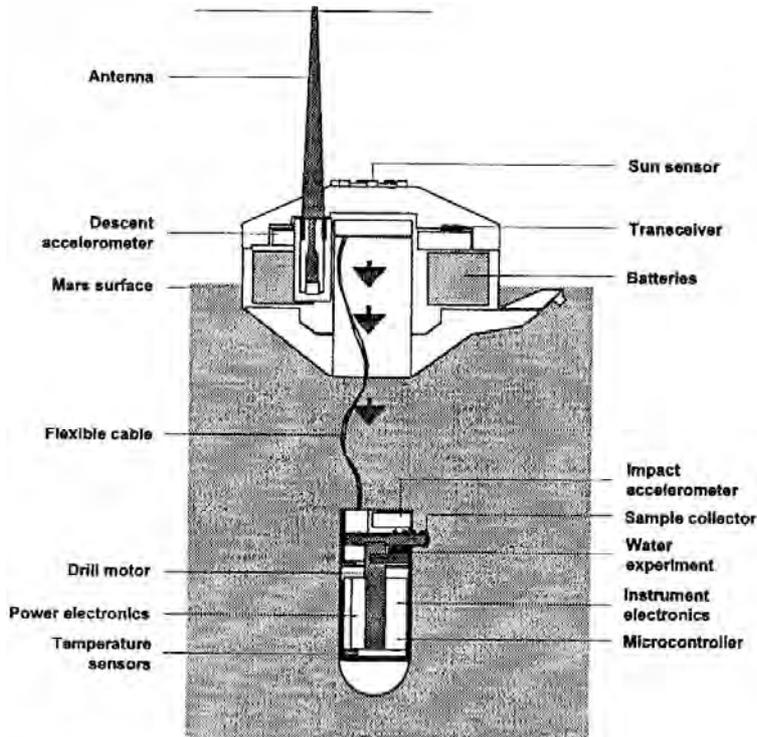


図2 ディープ・スペース 2

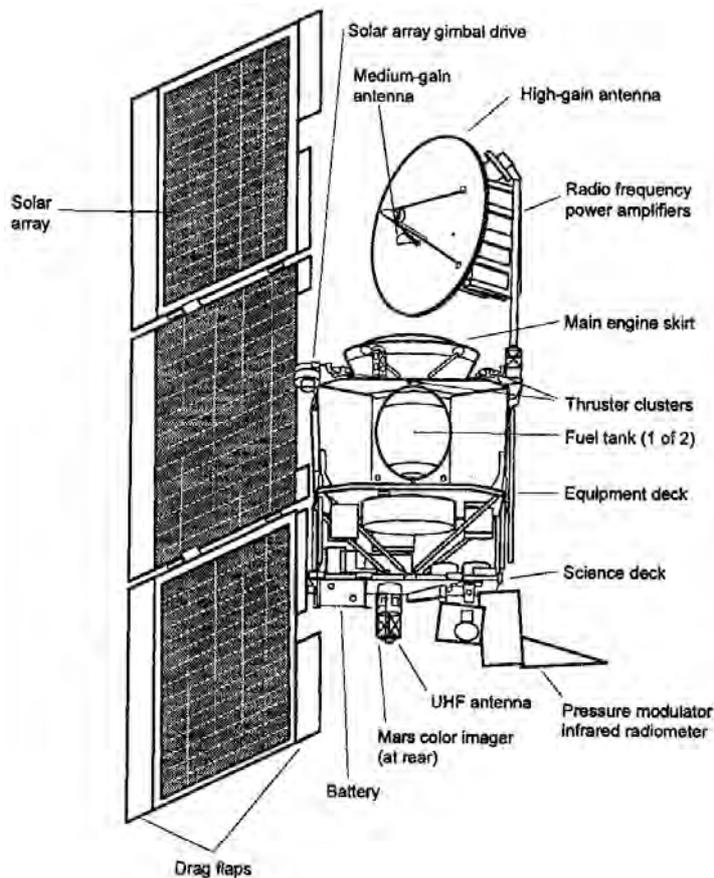


図3 マーズ・クライメイト・オービター

この堆積物に深さ数十 cm の溝を掘り、詳しく調べることは火星の最近数百万～数千万年間の気候とその変化を知る手がかりとなる。主な観測機器は次の通り。

マイクロ探査機（Mars Microprobe：別名 Deep Space 2）：バスケット大のエアロシェルをもつ衝突型のミニ観測機で、内部にはソフトボール大の観測機器が納められている（図2）。本来は、将来の科学探査に向けての新技术のテストであるが、もちろん観測もおこなう。2台のミニ観測機はポラー・ランダーの火星大気突入の5分前にランダーの巡航部分から切り離され、ランダーから 200 km 離れた地点に毎秒 200 m の速度で火星表面に衝突する。衝突の衝撃によって、円錐形のエアロシェルは破壊され、弾丸形の観測機器の前部は火星の地下 1～2 m に埋め込まれる。前部はケーブルによって地上に残された後部とつながっており、観測データは後部のアンテナによってオービターに送られる。観測項目は、大気の密度、表面のかたさ、土壌中の水分量などである。

降下カメラ（MARDI：Mars Decent Imager）：以下はランダー本体に搭載される観測機器である。降下カメラは高度 9 km（分解能 9 m）から高度 9 m（分解能 9 mm）までの降下中の火星表面のようすをとらえるもので、1000×1000

画素の10枚の画像が得られる。

表面ステレオカメラ (SSI : Stereo Surface Image) : 基本的にはパースペクティブカメラのステレオカメラと同一のカメラで、0.4~1.1 μm のいくつかの波長で観測する。着陸地周辺の一般情報や後述のRAやTEGAをサポートする。

ロボットアームとロボットアームカメラ (RA & RAC : Robotic Arm & Robotic Arm Camera) : RAは長さ2mの関節をもつアームで、先端にスコップ、カメラ (RAC)、温度計がついている。スコップで深さ数十cmの溝を掘り、カメラでmm以下の微細構造を観察し、温度計で層状堆積物の温度や熱伝導率を調べる。またスコップですくい上げた層状堆積物をTEGAまで運ぶ。

加熱ガス分析器 (TEGA : Thermal and Evolved Gas Analyzer) : 層状堆積物に含まれる水や鉱物に含まれる揮発性物質の量を測定する。

気象観測パッケージ (MET : Meteorological Package) : 高さ1.2mのマストの上に設置され、風向・風速、温度、水蒸気量、水と二酸化炭素の同位体比などを調べる。またこのマストには長さ0.9mの副マストが取り付けられており、表面の跳躍 (saltation) 層付近での風速や温度を測定する。気圧計はマストではなく本体内に設置されている。

光検出測距装置 (LIDAR : Light Detection and Ranging) : ロシアから提供された機器で、ほぼ垂直に向けて発射した波長0.88 μm のレーザーの反射を調べることによって、高度2~3 kmまでの火星大気中の水や塵の特性を調べる。

マイクロフォン (Mars Microphone) : アメリカの民間団体 The Planetary Society から提供された機器。手のひらサイズの小型マイクで、表面の風切り音やアームの作動音などを聞くことができる。地球の大気の1/100以下の希薄な火星大気で音が聞こえるかどうかは興味あるところだが、減圧チェンバーによる地上テストでは感度を上げれば聞こえるそうである。

このように魅力的な観測機器が満載され、観測機器が順調に作動すれば着陸後の3か月を過ぎても、しばらくは運用される予定である。

2. マーズ・クライメット・オービター

マーズ・クライメット・オービター (図3) は高度412 kmの極軌道をまわる探査機で、初期の目的はランダーとのデータ通信である。ランダーの主観測期間が終了する3か月後からは、火星の気象観測を重点的にこなす。このオービターは地方時午後4時半 (昼側) の上空を通過する軌道をまわる。現在火星軌道にあるグローバル・サーベイヤー (MGS : 2001年3月まで観測予定) は地方時午後2時の上空を通過する軌道をまわっているため、クライメット・オービターが観測時刻をずらすことによって、補完的で効率的なデータが得られる。搭載された観測機器はランダーと比べるとシンプルで、次の2機器からなる。

PMIRR (Pressure Modulator Infrared Radiometer) : 重量42kgのこの観測機器は、広い波長幅の可視光1バンドと熱赤外領域 (6~50 μm) 8バンドのスペクトルを測定することによって大気温度、ダスト量、水蒸気量、雲量を求め、火星大気の水平・垂直構造を明らかにする。PMIRRは、1993年8月火星到着寸前に消息を絶ったマーズ・オブザーバーにも積まれていた、いわくつきの観測機器である。

カラーイメージャー (MARCI: Color Imager) : 視野 140° の超広角カメラ (WA) と標準視野カメラ (MA) の2台から構成される。それぞれのカメラは6×6×12 cm、重量2.2 kgと小型軽量なものである。それぞれの受光部は、一次元 CCD とその直前に貼り付けられたカラーフィルターからなり、オービターの移動によって2次元画像を得るプッシュブルーム方式を採用している。超広角カメラは紫外2バンド、可視5バンドの7バンドの観測波長をもち、定常的な運用では7.2km/画素の分解能を、交信状態のよい場合には1 km/画素の分解能が得られる。一方、標準視野カメラは視野角6°、40km幅の視野をもち、40 m/画素の分解能をもつ。425~1000nmに10バンドの観測波長をもち、大気中の現象と地形が区別しやすくなっている。

グローバル・サーベイヤーの望遠カメラは分解能1.5mで、クライメット・オービターの標準視野カメラよりもはるかに優れているが、0.5~0.9nmの1バンドしかなく、地形の撮影に目標を絞ったものである。またグローバル・サーベイヤーの超広角カメラの仕様は、クライメット・オービターの超広角カメラ(9バンド)と似ているが、青と赤の2バンドしかもたない。これらの違いから、クライメット・オービターのカメラが、火星大気の日変化や季節変化を調べることに適したものであることがわかる。クライメット・オービターの観測期間は火星の1年(2年3か月)で、その後はマーズ・サーベイヤー2001計画のオービターとランダーに引き継がれる。

3. 2000~2010年の火星探査計画

今後2010年までに20機(現在運用中のものを含めて)もの火星探査機が計画されている。この背景には、8億4500万ドルを費やして多数の観測機器を搭載し、結局1993年8月火星到着寸前で消息を絶ったマーズオブザーバーのような高価な万能型の探査機の時代は終わり、「開発期間が短く、シンプルで安上がりな」探査機が主流となってきたためである。

アメリカは2001年以降も約2年ごとに巡ってくる打ち上げの好機ごとに、火星探査機を送り込む。2001年にはオービターとランダーを打ち上げ、ランダーを火星の赤道付近に着陸させる。ランダーにはパス・ファインダーに搭載されたミニ・ローバー、ソジャーナのバックアップ車が搭載される。2003年にはランダーのみを打ち上げ、搭載したローバーによって岩石と土壌サンプルを採取して小缶に詰め、火星軌道上に打ち上げる。2005年にも同様のランダーを打ち上げ、岩石と土壌サンプルを採集し、火星軌道上に打ち上げる。2005年、フランスはアリーナ5型ロケットによってオービターを打ち上げ、2003年と2005年のアメリカのランダーが採取した火星軌道上にある合計40個の岩石・土壌サンプルを回収し、地球には2008年に送り届けられる。このフランスのオービターには4つのミニ着陸機 (netlander) も搭載され、火星の地震や物性が調べられる。

アメリカは2003年、ライト兄弟の飛行機初飛行100周年を記念して、火星の赤道にあるマリナー峡谷に小型飛行機を飛ばし、その谷壁に露出する層状構造の組成を分析する。このミッションは、ライト兄弟の飛行機にちなんでKitty Hawkと名付けられている。

ところで2010年までに予定されている「のぞみ」以外の火星探査機は、すべて火星の地質、内部構造、気象などを観測の主眼においたものである。2004年1月到着予定の「のぞみ」は火星の高層大気の観測を主目的としており、「のぞみ」が異なった視点から火星のベールをあばくことを期待したい。

論文紹介

マーズグローバルサーベイヤーが見た火星の北極冠

Zuber, M.T. ほか 20 名, 1998, Observations of the North Polar Region of Mars from Mars Orbiter Laser Altimeter. Science, 282, 2053-2060.

1997年9月12日に火星に到着したマーズグローバルサーベイヤーは、いよいよ1999年3月から本格的な火星表面のマッピングに入るが、それまでの軌道調整の期間中にもすでに多くの観測をおこない、注目すべき成果を上げている。この論文は、そのなかの1つ、火星の北極冠と周辺地帯の探査結果のレポートである。

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ー高度計 (MOLA) は、火星の北半球について多くのデータをもたらしたが、その中には火星の北半球の200余の地形断面が含まれている。

火星の北半球の高緯度には、いくつかの地質単元に分けられる (図1)。北極冠を構成する残留氷 (residual ice, Api) と成層堆積物 (layered terrain, Apl)、極冠氷のかつての広がりを示す外周層 (outliers)、一連の砂丘堆積物 (Adl と Adc)、そしてこれらを取りまくマントル平原 (mantled plains, Hv) などである。これらの地質単元の分布地域は、これまでの探査機の電波えんぺい観測などによって、周辺地帯よりも数 km ほど高く、88° N、120° E と 83° N、10° E あたりの2か所に高度の極大があることがわかってきた。今回の MOLA による測定は、従来の2倍以上の精度で北極地域の地形をとらえることに成功した。

北極冠地帯の地形と水循環

北極冠の高度は南限の80° N付近から極に向かってしだいに増大し、極冠の最高点 (北極冠から数 km 以内) は赤道の平均高度に対して-1950±50mの高度をもっている。極冠の周辺地帯の高度は-4800~-5200 mなので、極冠の比高はほぼ2950±200 mである。

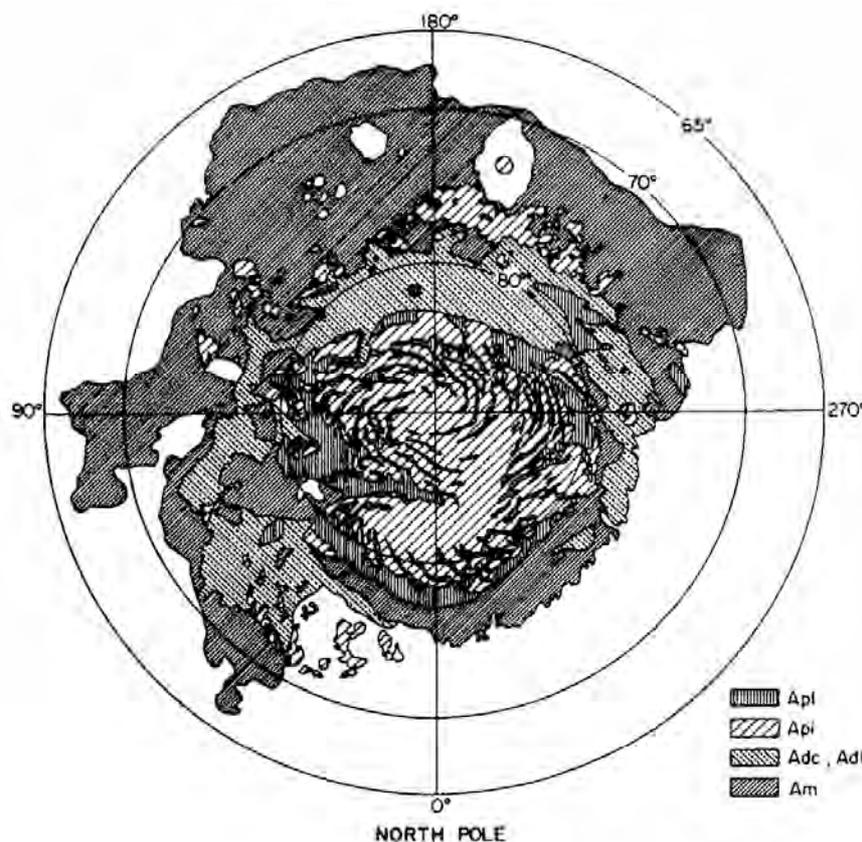


図1 火星の北極冠周辺の地質単元区分 (「Mars」 Univ. Arizona Press, 1992 より)

Apl 成層堆積物
 Api 残留永久氷
 Adc, Adl 砂丘地帯
 Am マントル平原

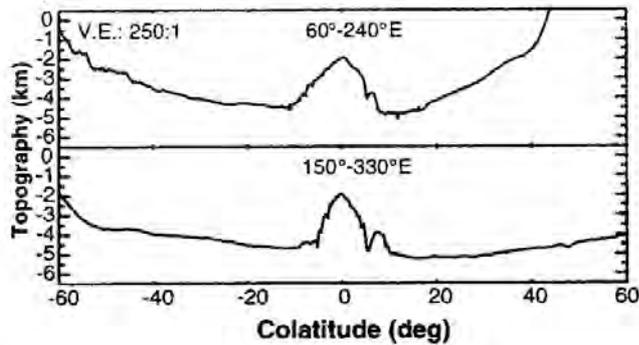


図2 北極冠を中心とした北半球の地形断面（北緯 30° 以北の部分）

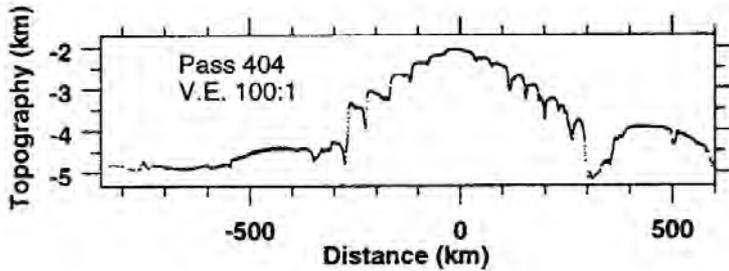


図3 北極冠の地形断面の一例

火星の北極冠の表面はどの経度でも極地に向かってゆるく下がっていく（図2）ので、局地的な例外を除いて、液体の水はすべて北方の高緯度地帯へ流れて行くだろう。以前は、極冠の基底部の融解などで生じた液体の地下水が、北極から赤道へ向かって流れ、これが火星の長期的な水循環に影響をあたえたとするモデルもあったが、もしそうだとすると、極冠の基底が赤道の平均面よりも 5 km 低いという MOLA のデータからみて、極から赤道へ水が流れるためには非常に大きな静水圧が必要となる。地下の滞水層システムの実態と、それが火星の長期的水循環や気候変動にどう影響しているかは今後の探求課題である。

成層堆積物

成層した氷堆積物は北極冠の最も特徴的な構成部分である。極冠をよこぎる地形断面（図3）で見ると、その外縁は約 1000 m も急勾配で落ちこんでいる。マーズオービターカメラ（MOC）の画像では、解像度ぎりぎりの 10 m 以下の厚さの層が何枚も重なっている。この明るい層と暗い層のくり返しは、季節変化や気候変動による氷と塵の堆積作用の記録を示すものだと考えられる。氷冠の頂部のほとんどは比較的平坦で、数 10 km にわたってほぼ 0.2° の傾斜しかないが、場所によっては階段状の地形を示すところもある。

谷地形

極冠はうず巻状のトラフや谷によって刻み込まれている（図4）（これに似たものは地球上の極氷や氷河にはない）。その深さは 1 km 内外、あるものは周辺地帯の高度レベルまで掘り下げられている。谷底の反射率はまわりよりも 1.064 μ m ほど低く、風の作用で塵が堆積しているものと思われる。谷の多くは氷冠の中心から東向き（左回り）でのびているが、現在の火星の気象条件では、氷冠から吹き下りる風はコリオリの力によって 80° N あたりまでは西向き（右回り）にうずを巻きやすい。したがって谷地形の形成は、吹き下りる風によるアブレーション（ablation、削剥）だけでは説明できそうもない。とはいえ、谷壁の傾斜は 15° ~ 20°、ときには 45° に達するけわしいものもあり、アブレーションがこうした地形の特徴をコントロールしてきたことはまちがいないさそうである。

最大の谷地形のボレアレ峡谷（Chasma Boreale）は、300° E 付近で北極冠中へ大きく切り込んでいく。その長さは 600 km、幅は出口で約 150 km もある。この谷は、極冠の氷床の下でとけた水がカ

タストロフィックに放出されて生成したものと考えられるが、風の浸食でできたという考えも否定できない。MOLAの高度データによると、谷の床面はかなりの起伏をもっており、谷頭に向かって単調に床面が高くなっているわけではない。この特徴からみると、風の作用も何らかの形でかかわっていると考えられる。

砂丘、外周層、衝突クレーター

北極の砂丘地帯は70万km²の面積を占め、最も広い地域は80°～85°N、140°～240°Eにわたって極冠を扇状にかこむオリンピア平原である。MOLAデータによると、この地域は極に向かってゆるい上り斜面(0.15°)をなし、直線状の峰をもつ砂丘列(峰の高さ24±9m、峰の間隔2.4±1.3km)におおわれる。砂丘堆積物の体積は10000±3000km³(最大15000km³はこえない)と見積もられる。砂丘地帯とマントル平原の間には、極冠をとりまく外周層(outliers)が分布する。その広がり地形的特徴から、これはかつての極冠堆積物の残存物と考えられる。

MOLAは北極地域に100以上の衝突クレーターを見つけた。その多くは内部がかなり埋められており、極冠に近いものほど埋め立ての程度が大きい。このことは、かつての極冠の前進拡大に関係しているとみられる。

極冠の組成と氷の流動

火星の表面はどこでも、気温が150K以下になるとCO₂の霜が下りる。気温がこれ以上に上がると霜は急速に昇華し、極冠の水の氷が露出する。北半球の夏の気温が205Kまであがるとこんどは水の氷が昇華し、極冠の温まった部分はアブレーションをうける。単純な放射モデルによると、極冠の南限は水の氷の昇華とともに後退し、ほぼ10⁶年の間に現在の氷の形と広がりができたと思われる。またその間のある部どーのわずかな(2%)減少とともに深い谷がつけられたのだろう。

従来の考えでは、氷冠の粘塑性流動(viscoplastic flow)はなかったとみられていたが、火星の北極の気圧に相当する圧力下での氷のレオロジーの実験データからみると、北極冠でも氷の流動がおこったと考えられる。流動の速度は冬よりも、夏の気温較差が大きいときに大きかったであろう。氷冠表面のなめらかな、あるいはゆっくりうねった地形は、厚い氷が流動したことを示していると思われる。H₂O氷のレオロジーからみて、氷の流動速度はきわめてゆっくりしたもの(<1mm/火星年)だったにちがいない。火星大気の主成分で冬季に極冠に加わるCO₂は、氷冠の形態を説明するにはレオロジー的に不十分である。

北極冠をつくる氷の量

北極冠をつくる永久氷の量の見積もりは、火星全体の現在の水の量を知るうえで重要な耳をもっている。この見積もりには氷冠基底の地形データが必要であるが、それに関する情報はいまのところない。そこで一番単純な方法として、周辺の地形から氷冠の下の基盤地形を外挿して氷冠の体積を求めた。その結果、北極冠は1.04×10⁶km²の面積にわたって1.2±0.2×10⁶km³の体積をもち、平均の厚さは1030mである。この見積もりには、氷冠表面での数10mの平均誤差と、推定基盤面での数100mの平均誤差が含まれる。こうして求められた氷の体積は火星全面を9mの厚さで覆う氷の量に相当する。もし北極冠が全部とけたとしたら、液体の水は北半球を-4680mの等高線まで満たし、4.5×10⁶km²の地域を平均270mで覆う海ができる。それは南方のクリュッセ盆地にある干上がったアウトフローチャンネルにつながるだろう。ただしこの水量は、MOLAデータから求めた、最も若い海岸線地形から下の体積に比べると1けた小さい。

上にのべて極冠の氷の量を地球上の氷と比較してみよう。グリーンランドをおおう氷は1.67×10⁶km²の面積で2.99×10⁶km³の体積をもち、平均の厚さは1.79kmある。南極大陸の氷は12.0×

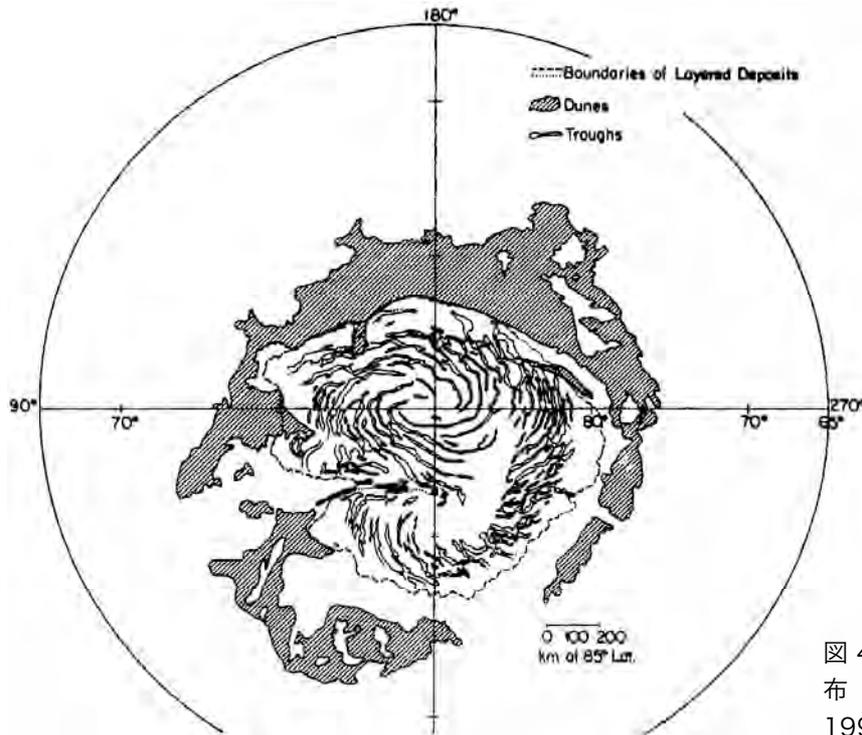


図4 北極冠に刻まれた谷地形の分布（「Mars」 Univ. Arizona Press, 1992より）

10⁶km²の面積で29.3±2.5km³の体積があり、平均の厚さは2.44kmである（海に浮かぶ棚氷も加えるとさらに0.7×10⁶km³ふえる）。これらからみると、火星の北極冠の氷の量はグリーンランドのその40%ほどである。

北極冠の氷の体積を大まかに10⁶km³とし、平均密度が水の氷にほぼ等しい（1000kg/m³）とするならば、氷冠の質量は10¹⁸kgである。そこで北極冠がアイソスタシー的に非均衡ならば、10⁶km²の面積に存在する10¹⁸kgの質量は約50 mGalの重力異常を生み出すだろう。したがってMGSの探査では、この値に匹敵するほどの異常は観測されていない。したがって北極冠はアイソスタシー的にほぼ均衡していると考えられるが、まだ今後の検討余地がある。

MOLAのデータから得られた北極冠の氷の量からみると、火星の現在の水量は、過去にあったと考えられる水量に比べてはるかに少ない。南極冠にも水の氷は存在するらしいが、北極冠に比べるとかなり少なく、それほど量は期待できない。火星の歴史における水の損失のメカニズムは今後の重要な研究課題である。

ところで、火星の北極冠の頂部までの北極半径は3376.24±0.05 km、極冠の基底までの推定北極半径は3373.3±0.2kmとし、アイソスタシー的に非均衡であるならば、北極冠の存在はこの惑星の質量分布に影響をあたえ、慣性モーメントを変えるかもしれないと予想される。もしも存在する10¹⁸kgの質量の氷冠を直ちにとり去ったとして、火星赤道の慣性モーメント（A、B）の極の慣性モーメント（C）にタイする比は10⁶の範囲で変化し、慣性モーメントの差の比[C/(C-A)]は10³内で変化するだろう。しかしこれらの変化は、現在知られている火星の慣性モーメントの誤差よりも小さなものなので、火星の自転軸の歳差運動を大きく変えるようなことはおこらないだろう。ただし、北極冠が大きく広がっていたであろう過去のある時期には、火星の自転運動に必然的な影響が現れただろう、ということとは考えられる。

〈お断り〉原著には火星の北極冠のカラー図版で示されているが、本誌面では複製できないので、別書の図版を借用した。できれば原著も見たい。（小森長生）

太平洋底の K-T 境界から見つかった隕石

Kyte, F.T., 1998, A meteorite from the Cretaceous / Tertiary boundary. *Nature*, 396, 237-239.

白亜紀-第三紀 (K-T) 境界の堆積物は現在世界各地に広く知られており、それらは小惑星あるいは彗星の衝突事件を記録している。そしてこの衝突のおこった場所が、メキシコのユカタン半島にあるチクシュルーブクレーターであると信じられるようになった。本論文は、太平洋底の K-T 境界層から発見された小岩片が、このクレーターをつくった隕石の破片であることを結論づけたものである。

問題の岩片は、深海掘削計画の DSDP Hole 567 (32° 21.4' N、164° 16.5' E) 地点の K-T 境界層から見つかった。イリジウム異常のみられる K-T 境界層の基底部から採集したコアサンプル (Hole 576 の core8, section1, 50-52m) には、深海底の暗褐色粘土中に明褐色粘土の 4 mm 大の包有物が含まれていた。これを分離乾燥して割ったところ、直径 2.5 mm の岩片が現れた。この岩片は多様な粒子と微細なマトリクスからなる角礫岩状のものであった。

内部構造を調べるためにこの岩片の研磨セクションをつくって観察すると、1~250 μ m 大の酸化鉄 (ヘマタイト) が多く存在し、これらを含む粘土化した領域は、カンラン石の置換仮像と解釈できる。ヘマタイトには通常 1% 以下、ときには 2~7% の NiO や Ni 硫化物が含まれる。酸化鉄のない比較的純粋な粘土の部分には MgO と FeO が濃集し、MgO は 6~10% (ときには 15%) も含まれる。これら粘土質の部分構成するのは海緑石 (glauconite)、スメクタイト (smectite)、サポナイト (saponite) など、いずれも珪酸塩鉱物の変質作用で生じた粘土鉱物である。

中性子放射化分析の結果によると、この岩片は Ir、Au、Cr などの親鉄元素や、As、Sb などの親銅元素にとみ、Cs、La、Sm、Th のような親石元素は枯渇している。

以上のように、この岩片は長期間海底に埋没していたために、化学的変質作用をいちじるしく受けているが、Ir、Fe、Cr などの存在量はコンドライトのそれに近く、Ni や Co が少ないのは続成変質作用の間に失われたとして説明できる。これらのことから、この岩片はもともとコンドライト質隕石であったと考えられ、とくに CV、CO、CR 炭素質コンドライトに最も近い化石隕石だといえる。なお、DSDP Hole576 の西方 500km にある 577 地点の K-T 境界層からも、コンドライトに近い Ir 濃集や流星塵に似た溶融粒子が報告されている。

DSDP576 地点は 6500 万年まえには北太平洋海盆の中央部にあり (図 1)、チクシュルーブクレーターからは 9000 km、もっとも近い大陸からでも数 1000 km 離れていた。しかし、この地域の K-T 境界層にはいちじるしいイリジウム異常や衝突石英粒などが発見されており、化石隕石片もふくめてこれらがチクシュルーブ起源であることは確かだと思われる。

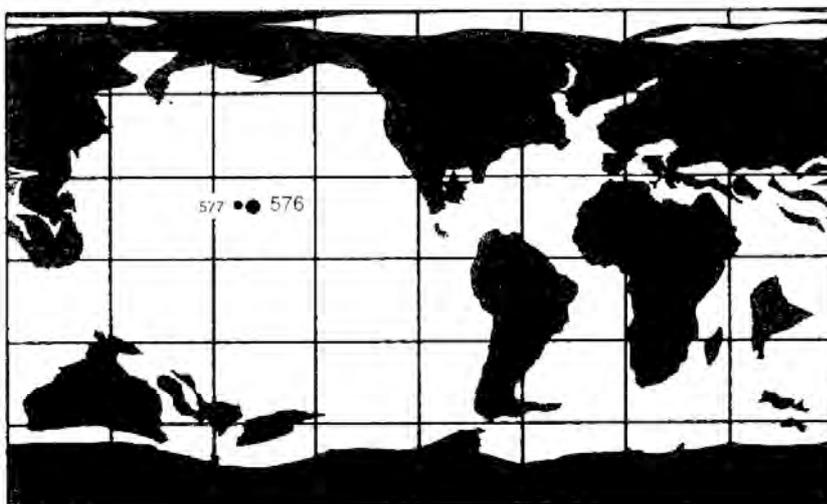


図1 DSDP 地点 (●印) とチクシュルーブクレーター (★印) の位置。
(大陸の形と分布は白亜期末の状態に示してある)

一つの問題は、衝突天体が溶融蒸発をまぬがれてどの程度生き残れるかということであるが、斜め衝突の場合ほど多くの物質が生き残る可能性が高い。今回得られた化石隕石は、その起源を推定するのに十分役立つ初のサンプルだ、と著者はのべている。 (小森長生)

ISO 衛星が得た木星型惑星の新情報

Bezard, B., Encrenaz, T., Lellouch, E., and Feuchtgruber, H., 1999, A New Look at the Jovian Planets. *Science*, 283, 800-801.

1995年11月にヨーロッパ宇宙機関 (ESA) が打ち上げた赤外線宇宙天文台衛星 (Infrared Space Observatory, ISO) は、2年半の寿命の間に惑星や彗星の観測に大きな成果を上げた。ISOの2つの分光器が2.3~180 μm の波長域でおこなった観測のうち、木星型惑星に関する成果を紹介する。

木星と土星の大気中のD/H比は原始太陽系星雲の組成を表すものとされてきた。ISOの測定によると惑星のD/H比は約 2×10^{-5} で、この値はガリレオプローブの測定値とほぼ一致し、原始星雲についての見積もり値に近い。一方、天王星と海王星は質量の半分以上が氷とみられるので、星雲中で起こったイオン-分子反応などによって重水素に富んでいることが予想される。ISOの測定では天王星と海王星のD/H比は約 6×10^{-5} でやや高く、これは惑星形成の現代のモデルとよく合う。この値から、天王星と海王星の核をつくった氷のD/H比は約 1×10^{-4} と推定される (この値は彗星のD/H比 3×10^{-4} よりもすこし小さい)。

木星型惑星の大気では、最も量の多い炭化水素のメタン (CH_4) の光分解によって、いろいろな炭化水素が生成していると考えられる。すでにエタン (C_2H_6) やアセチレン (C_2H_2) の存在は知られていたが、ISOは今回初めて、土星にメチルアセチレン ($\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}$) とジアセチレン (C_4H_2) を、木星と土星にベンゼン (C_6H_6) を探知した。天王星では C_2H_2 は探知されたが、どういうわけかメタンは探知されなかった。また土星と天王星では、メタンの光解離で生じるメチル基 (CH_3) があることもわかった。

4つの大惑星の成層圏には、水蒸気も探知された。 H_2O は一般に対流圏のほうが多いが、低温のために氷になっていると考えられる。上層大気にどうして水が運ばれているかそのメカニズムは不明である。木星・土星・海王星では CO_2 の微候もみられる。 CO_2 は H_2O とともに彗星核などから供給されたとも考えられるが、それだけでは不十分のようで、COとOH基 (H_2O の光分解で生ずる) の反応でできるのかもしれない。天王星で CO_2 が検知されないのは、COが他の惑星よりも少ないためなのだろう。

今回のISOの成果にはまだ検討を要するものもあるが、惑星の研究にとって赤外線天文学が大きな役割を果たしてくれることをしめしたものといえるだろう。 (小森長生)

論文抄録

330万年前にアルゼンチンでおこった衝突とその影響

Schultz, P.H., Zarate, M., Hames, W., Camilion, C., and King, J., 1998, A 3.3-Ma impact in Argentina and possible consequences. *Science*, 282, 2061-2063.

アルゼンチンのブエノスアイレス南部には、0.2~25 cm大 (ときにmサイズ) の多孔質ガラス塊 (現地語でescorias) とレンガ状破片 (tierras cocidas) が、レス状堆積物 (パンパス累層) の特定層準から産出する。これらは330万年前 (鮮新世中期) の衝突事件で生成したものである。衝突地点 (クレーター) はまだ明らかでない。この事件によって、オオアルマジロ、ナマケモノなどの固有動物種が絶滅した。衝突による環境変化は、大西洋と太平洋底のコアサンプルの酸素同位体分析から求めた海水温の低下 (2°C) にほぼ対応している。 (K)

ガリレオ探査機のプローブによる木星観測結果の概要

Young, R.E., 1998, The Galileo probe mission to Jupiter: Science overview. *Jour. Geophys. Res.*,

103, E10,22775-22790.

JGR のこの号には、ガリレオ探査機から木星大気圏に放出された小型プローブによる観測結果についての15編の論文が特集されている。この論文はその総説的序論であるが、とりあえずはこれを読めばプローブによる探査結果の概要がつかめる。観測は成功裡に終わり、木星大気圏の貴重なデータが得られた。プローブは気圧1バールレベルから22バールの深さまで約1000 km 降下し、大気の組成、雲の性質、熱構造、風、電磁氣的性質などを調べた。このうちで最も興味深い発見は、大気層下部（少なくとも18バールの深さ）でH₂O量が予想よりもずっと少なく、アンモニアが多いことなどであった。（K）

火星のヒドロオテスカオス地帯の複雑な堆積システム

Ori, G.G., and Mosangini, C., 1998, Complex depositional systems in Hydraotes Chaos, Mars: An example of sedimentary process interactions in the Martian hydrological cycle. *Jour. Geophys. Res.*, 103, E10, 22713-22723.

火星のヒドロオテスカオスは、マリネリス峡谷の東の谷地帯とクリュッセ盆地の間にある複雑な形態の盆地である。何回もの堆積過程の時間的空間的相互作用が、この地帯の地質学的歴史を特徴づけている。盆地の形成はノアキス代中期後で、デルタや湖沼がつくられた。それに適した液体の水が存在できる気候条件は何度か間欠的にくり返した。湖沼堆積作用の証拠は(1) 段丘、(2) 何重にも重なった湖岸線、(3) 盆地底をおおく堆積物の存在、などである。ノアキス代後期からアマゾン代にかけて水はティウ谷などへ放出された。（K）

マリナー峡谷で明らかにされた火星初期の巨大火山活動

McEwen, A.S., Malin, M.C., Carr, M.H., and Hartmann, W.K., 1999, Voluminous Volcanism on early Mars revealed in Valles Marineris. *Nature*, 397,584-586.

火星初期の衝突クレーター、火山活動、浸食、堆積の比率は、いままでよくわかっていなかった。今回マーズグローバルサーベイヤーの望遠カメラによって、最大深さ8 km、全長4000 kmのマリナー峡谷の谷壁を約20 mの高分解能画像16枚で調べた。谷壁の大部分はノア代後期のもので、厚さ5～50 mの水平層が露出しており、最下部まで連続している。もし衝突による巨大角礫(magabreccia)でできているならば層状構造に乏しい地層となるはずで、このような水平層をつくるのは堆積岩か洪水玄武岩でに限られる。水平層の形態、スペクトル特性、厚さなどから、谷壁は洪水玄武岩でできている可能性が高い。火星のノア代後期における火山活動の噴出量は、従来 $8 \times 10^6 \text{ km}^3$ 程度と見積もられていたが、マリナー峡谷と同様の洪水玄武岩が火星全体に広がっていたとすれば $5 \times 10^8 \text{ km}^3$ 、マリナー峡谷付近だけに限られたとしても $4 \times 10^7 \text{ km}^3$ に達する。火星初期の火山活動は従来推定されていたよりも遥かに活発で、排出されたCO₂は、火星の気候に大きな影響を与えたかもしれない。（S）

クレーター計数による火星の最近の火山活動の証拠

Hartmann, W.K., Malin, M., McEwen, Carr, M., Soderblom, L., Thomas, P., Danielson, E., James, P., and Veverka, J., 1999, Evidence for recent volcanism on Mars from crater counts. *Nature*, 397,586-589.

衝突クレーター計数は、惑星表面の年代を推定する手がかりになる。しかし火星では従来、画像の分解能が不足していたために直径数百mまでの衝突クレーターしか適用できずに、新しい年代推定には不向きであった。ここではマーズグローバルサーベイヤーの望遠カメラによって、直径16mの衝突クレーターにまで適用し、アルシア山の溶岩流の年代を求めた。カルデラ内の溶岩流のクレーター頻度は月の海のその2～10%しかなく、山腹はカルデラ内の3～10倍のクレーター頻度をもつ。月と火星での衝突クレーターの生成計数比を1/2とすると、カルデラ内の溶岩流の年代は4000万年～1億年と推定される。この数字は火星の歴史のわずか1～2%で、現在でも火星の火山活動はある可能性が高い。（S）

INFORMATION

●火星の安山岩はアイスランダイト

1998年10月26～28日、カナダのトロントでアメリカ地質学会の年会が開かれ、惑星地質学の分野でも興味深い講演がなされた。その模様を R.A. Kerr が「Science」誌 (282, 4 Dec. 1998, 1807-1809) でのべているが、そのなかの1つ、火星の岩石に関する議論を紹介する。

マーズパスファインダーのローバー「ソジャーナ」による分析で、すくなくとも着陸地点周辺の岩石は基本的に安山岩質岩石であると発表された（「惑星地質ニュース」Vol.10, No.1, March 1998 参照）。しかし、この結果をさらにくわしく検討したテネシー大学の H. McSween たちによると、分析結果に最もよく合うのはアイスランダイト (icelandite) であるという。アイスランダイトは、アイスランド、ハワイ、ガラパゴス諸島などの火山地域に少量みられるソレアイト系列の火山岩である。日本をはじめ環太平洋地域に大量にみられるふつうのカルクアルカリ系列の安山岩に比べて、 Al_2O_3 に乏しく FeO に富み、 FeO/MgO 値が高いのがアイスランダイトの特徴である。パスファインダーの分析データは、 SiO_2 量などからみて確かに安山岩質を示しているが、 FeO 量が多いことなどが注目されていたから、アイスランダイトにより近いことは確かである。

McSween らによると、火星ではプレート運動がないので、地球上の島弧よりも海洋島での安山岩の生成と似たことがおこったのではないかという。つまり地球の海洋島のように、 Fe にとむ玄武岩質マグマの長期にわたる固結と再溶融のくり返しによって、火山活動の末期にシリカが濃集した結果だというのである。また、ブラウン大学の M. Minitti と M. Rutherford は、火星起源隕石に似た岩石に少量の水を加えた溶融実験によって、パスファインダーのアイスランダイトに近い物質をつくり出したとのことである。いずれくわしい論文が発表されることを期待しよう。

●1999年地球惑星科学関連学会合同大会

会 場：国立オリンピック記念青少年総合センター

会 期：6月8日（火）～11日（金）

火星、月、衝突、惑星の形成など惑星地質関連の多数の発表があります。くわしくは合同学会のホームページ (<http://mc-net.jtbcom.co.jp/earth99/>) でご覧になれます。

●Popigaiクレーターへの巡検

アメリカのロイ・ガラント氏が今夏7月末～8月上旬の15日間、Popigaiクレーターへの巡検を計画しています。Popigaiクレーターは直径80～100 kmの大クレーターで、衝突年代が3500万年前という比較的新しいクレーターです。しかし、シベリア北部のツンドラ地域（北緯71° 30′、東経111° 0′）に位置するために、交通も生活条件も非常に不便で、普通ならちょっと行きにくい場所です。ロシア側の手配はクラスノヤルスク在住のエカチェリーナ・ロソフスカヤさんです。興味のある方は下記宛にご連絡ください。

(情報提供：篠田皎)

Roy Gallant P.O.Box 228 Ranglely, Main 04970 USA

e-mail: rgal@megalink.net

編集後記：「惑星地質ニュース」は昨年末発行の Vol.10, No.4 で創刊満10周年となりました。多くの皆様のお力ぞえでここまで続けてこられたことを、あらためて厚くお礼申し上げます。惑星探査も新しい時代に入り、惑星地質学をとりまく状況は10年前に比べて大きく変わってきましたが、その一方でまだ道遠しの感があることも否定できないように思います。本号は気持ちを新たに第一歩です。これまでも増して皆様のご支援をどうかよろしく願いいたします。 (K)