

## Mars Revealed by Scientific Spacecraft

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2023-04-18 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 下村, 知愛, 高橋, 典嗣 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://mu.repo.nii.ac.jp/records/2089">https://mu.repo.nii.ac.jp/records/2089</a>

---

Mars Revealed by Scientific Spacecraft

# 探査機により解明された火星の姿

下村知愛

高橋典嗣

*Shimomura Chie*

*Takahashi Noritsugu*



キュリオシティが撮影したエリシウム平原 (NASA)

## 火星の観測

火星は地球に接近すると赤く輝くことから、人類にとって太陽系の惑星の中でも魅惑的な星と目されてきました。16世紀のデンマークの貴族でデンマーク天文台長のティコ・ブラーエは、火星の動きを観測していました。図11は、象限儀を使って火星の位置を観測している様子を描いた壁画です。1601年に亡くなると、火星の観測データを譲り受けた助士のケプラーは、「火星軌道は太陽を焦点とする楕円であること（第1法則）」、「面積速度一定であること（第2法則）」を導き、1609年に発表しました。その後1619年に「公転周期の2乗は軌道長半径の3乗に比例すること（第3法則）」を導いています。天文学の天体力学の基本は、火星の観測から始まっていたのです。

1609年にガリレオ・ガリレイが天体望遠鏡をつくると、もちろんこの火星にも望遠鏡が向けられるようになりました。1659年にオランダの物理学者ハイゲンス (Christan Huygens) が図12のような火星の外観を最初にスケッチして記録に残しました。ハッブル宇宙望遠鏡による画像と比較してみましょう。火星面の様子がよく描かれていることがわかります。

さらに19世紀になると火星の特徴ある外観がわかるようになってきました。スキアパレッリ (Giovanni Schiaparelli) は、約10年間の観測から火星図をつくりました。図13はスキアパレッリのスケッチです。

このスケッチを見ると、火星表面には黒い筋が幾つも引かれていることから、これらは水路や運河ではないかと考えました。以降、半世紀に及び運河を巡り「火星と火星入」についての論争が続きました。

1964年に打ち上げられたマリナー4号が1965年7月15日、9844kmまで接近して火星表面を撮影した22枚の写真には、運河はなかったのです。科学探査衛星による観測が始まり、この論争に終止符が打たれました。

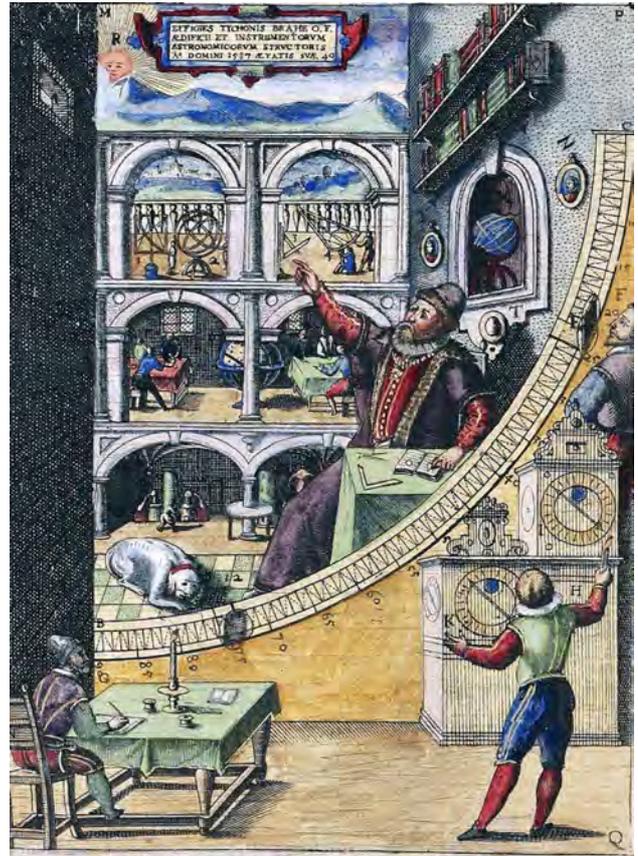


図11 ティコ・ブラーエの観測

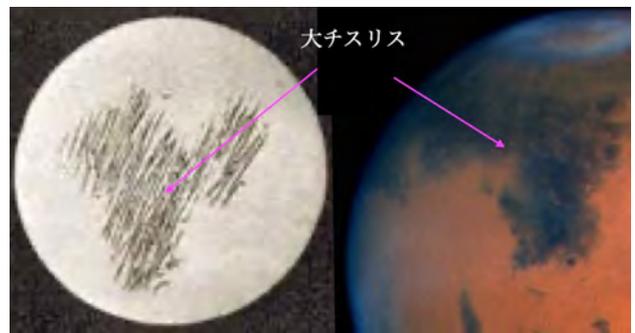


図12 ハイゲンスのスケッチ (左)  
ハッブル宇宙望遠鏡による画像 (右)

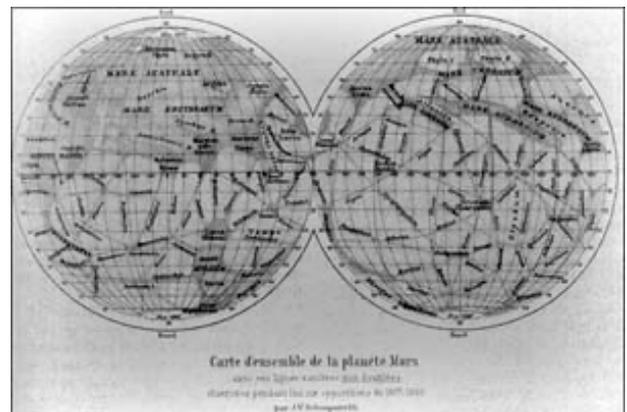


図13 スキアパレッリのスケッチ

## 科学衛星にとる火星の観測

マリーナ4号に続いて1969年にマリーナ6号・7号が数百枚の写真撮影、1971年にマリーナ9号は分解能が0.1~1kmの精度で火星面の写真を撮影し、これらの観測から精密な火星図が作製されました。そして、バイキング1号は1976年7月20日にクリュセ平原（北緯22.27° 西経47.97°）に、9月3日にはバイキング2号がユートピア平原（北緯57° 西経225.74°）にそれぞれ着陸し、火星の主要成分などの大量のデータを取得することができました。また、これら探査機から地球に送られた写真の総数は、約6万枚にも達しています。

しかし火星における生命の存在を完全に否定することはできませんが、火星人が造ったという運河は火星面になく、生物の存在を確認することはできませんでした。そんなときに、バイキング1号が撮影したエリシウス地域のメサ台地に図14のような直径1.6kmほどの人間の顔のような地形が写っていたのです。これは火星人が築いた文明の遺跡なのではないかと話題になりました。その後の探査で、人間の顔は遺跡ではなく、太陽の光を浴びてできた影がつく造形であったことがわかりました。



図14 人面像（バイキング1号）/ NASA

火星は地球とどう違うのか、火星の地質、火星に高濃度の大気は存在したか、海洋は何時まで存在していたか、気象変化、気候変動、有機物の存在、生命は誕生したか、生命の痕跡が発見できるか、と言った課題を解明するため、火星探査は行われてきました。

1997年には、マーズ・パスファインダーが着陸して探査機「ソジャーナ」で岩石を採取しました。2004年には「スピリット」と「オポチュニティ」、2008年には「フェニックス」、2012年には「キュリオシティ」、2018年には「インサイト」、2021年には「パーサヴィアランス」、2021年には中国の「祝融号」が、それぞれ着陸し、火星面をローバーで自走して探査活動を行ってきました。

日本は1988年7月4日に「のぞみ」を打ち上げましたが、2003年7月9日に通信が途絶、12月9日に火星軌道投入を断念しています。12月14日には火星から1000kmまで近づいたと考えられています。今後の計画として、2機のオービターとランダーによる気象観測、火星の衛星の探査が計画されています。

これまでの火星探査は、無人探査機により行われてきました。将来は人類の活動の領域を広げ、新たな知見を得るために火星に人を送る計画がアメリカ、ロシア、中国で進められています。図15はNASAの火星基地の構想図です。図16と表2に探査機の着陸地点とミッション名を示しました。



図15 NASAが構想する火星有人基地。NASAのJPL（ジェット推進研究所）が監修した3Dの火星より

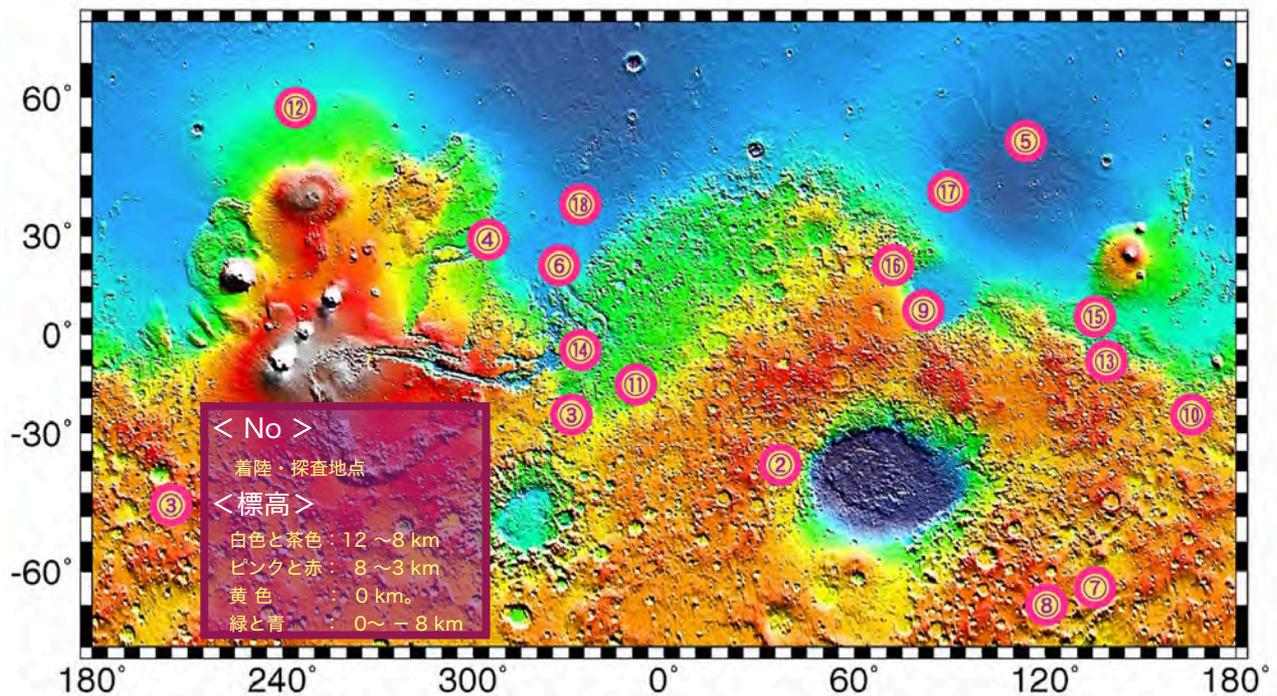


図 16 探査機の地点 (マーズグローバルサーベイヤーによる標高図より) NASA / JPL - Caltech

表 2 探査機

地図番号	着陸年	ミッション名・ローバー名称	国名	着陸・探査地点
①	1971年	マルス2号 (Mars 2)	ソ連	
②	1971年	マルス3号 (Mars 3)	ソ連	シレナム大陸
③	1973年	マルス6号 (Mars 6)	ソ連	マルガリティファー大陸
④	1976年	バイキング1号 (Viking 1)	NASA	クリッセ平原
⑤	1996年	バイキング2号 (Viking 2)	NASA	ユートピア平原
⑥	1997年	マーズ・パスファインダー・ソジャーナ (Sojourner)	NASA	レス峡谷
⑦	1999年	マーズ・ポーラー・ランダー (Polar Lander Ultimi Scopuli)	NASA	
⑧	1999年	(Deep Space 2 Ultimi Scopuli)	NASA	
⑨	2003年	ビーグル2 (Beagle 2)	NASA	イシディス平原
⑩	2004年	スプリット (MER-A) Spirit	NASA	グセフクレーター
⑪	2004年	オポチュニティ (MER-B) Opportunity	NASA	メリディアニ平原
⑫	2008年	フェニックス (Phoenix)	NASA	北部低地 (グリーンバレー)
⑬	2012年	キュリオシティ (Curiosity)	NASA	ゲールクレーター
⑭	2016年	スキアパレリ EDM (Schiaparelli EDM)	NASA	メリディアニ平原
⑮	2018年	インサイト (InSight)	NASA	エリシウム平原
⑯	2021年	パーサヴィアランス (perseverance)	NASA	シルチス大地ジェゼロクレーター
⑰	2021年	天問一号・「祝融号 (じゅうな)」	中国	
⑱	2023年	ロザリンドフランクリン (Rosalind Franclin)	ESA	

# 3

## ローバーによる探査

火星の環境や地質、資源、生命の存在などを調べるためには、火星周回軌道からの観測と着陸地点でのデータだけでは不十分です。着陸地点を起点として広範囲を移動して探査するために無人の自走探査機、ローバーが使われました。図 17 は、主な火星探査ローバです。

### ◆ マーズ・パスファインダー・ソジャーナ

1997年7月にマーズ・パスファインダーが着陸し、「ソジャーナ」と名づけられたローバーで岩石の採取を行いました。ロケットによる軟着陸ではなく、エアバッグで火星面に突入してバウンドしながら着陸するという方法が採用されました。

### ◆ スピリット

火星探査車スピリットは、マーズエクスプレッションの2台の探査機の内1号機(MER-A)です。2004年1月3日にグセフクレーター

に着陸し、メリディアニ平原は玄武岩でできていて、橄欖石、輝石、斜長石、磁鉄鉱の鉱物で構成されていることを明らかにしました。アクシデントが重なりながら、2010年3月22日まで探査が続けられました。

### ◆ オポチュニティ

オポチュニティ (MER-B) は、2004年1月25日に赤道付近のメリディアニ平原にあるイーグルクレーター内に着陸しました。ここで移動しながら土壌分析を行いました。その中で、図 18 のようなブルーベリーボールと呼ばれる小さな球粒が群生している場所を発見しました。分析すると赤鉄鉱が多いことから、酸化、変質する過程で必要な水が火星にはかつて豊富に存在していた時期があったことを示しています。図 19 は、2011年11月7日にエンデバークレーターの西縁で岩石中に貫入した長さ45cm、幅3cmの鉱物・白い石膏の鉱脈で、ホー

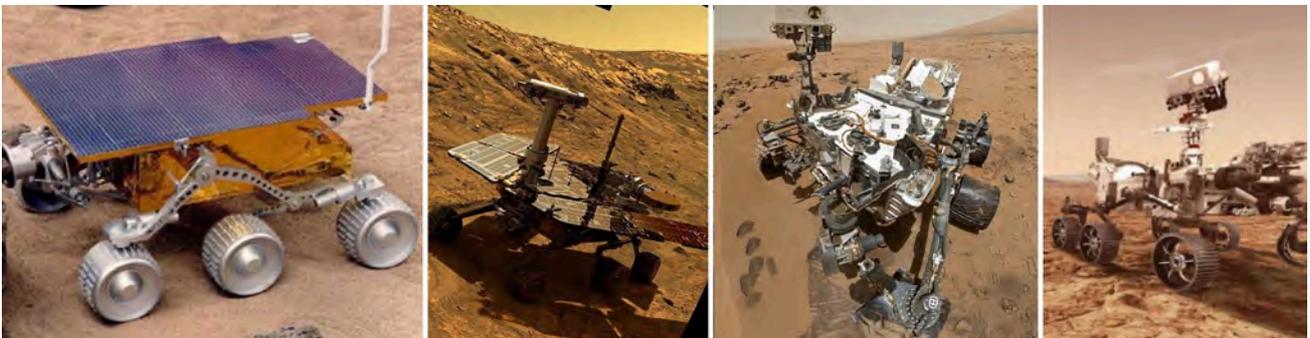


図 17 火星探査ローバー / NASA  
左から、ソジャーナ、オポチュニティ、マーズ・サイエンス・ラボラトリー、パーサヴィアランス



図 18 ブルーベリーボール / NASA

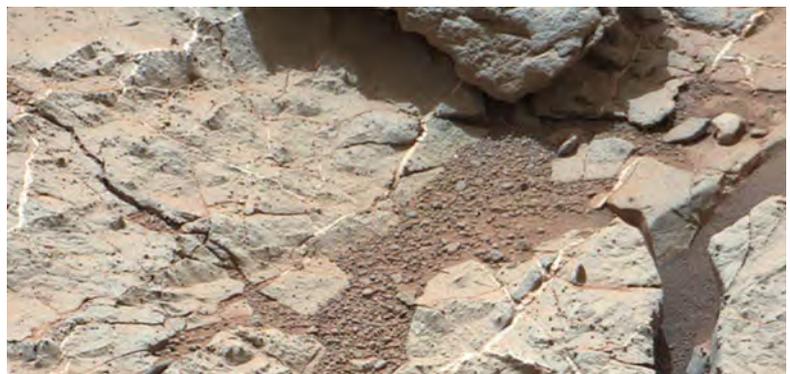


図 19 ホームスティック / NASA



図 20 42.195 km地点・マラソンバレー / NASA

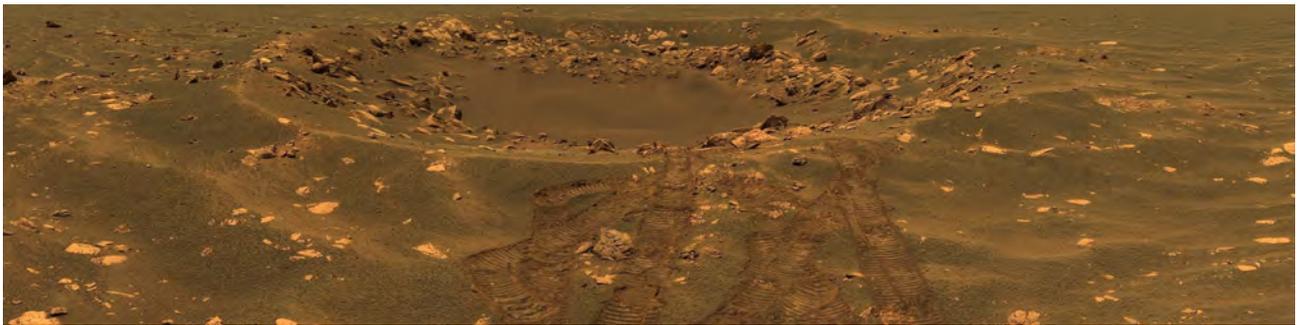


図 21 フラムクレーター的全貌 / NASA

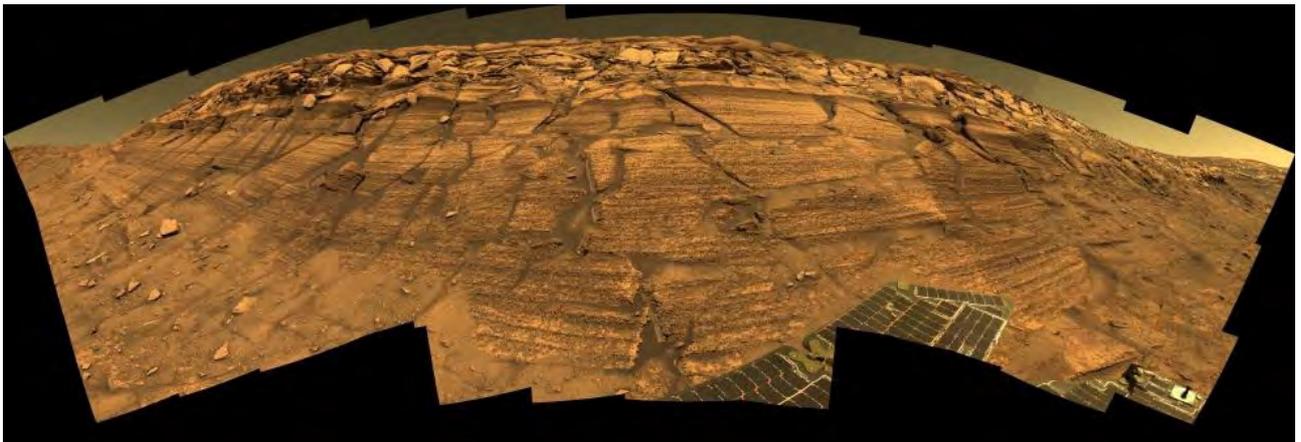


図 22 エンディンデュランスクレーターの内側の露頭 / NASA

ムスティックと呼ばれています。石膏もまた生成過程で水が必要となります。またビクトリアクレーターの外縁部の内側では、粘土鉱物が発見されています。

2015年3月24日にオポチュニティの走行距離は、42.195kmに達しました。この時に撮影した地点は、マラソンバレーと命名されました。図20はマラソンバレーの風景です。その後、2019年2月12日に砂嵐で太陽電池の充電ができなくなり通信が途絶、ミッションは終了しました。走向距離は、45.16kmでした。15



図 23 火星で最初に発見されて隕石（鉄隕石） / NASA

年間オポチュニティは、火星の素顔をたくさん地球に届けました。図 21 は 2004 年 4 月 23 日にパノラマカメラで撮影した直径 8 m のフラムクレーター、図 22 は 2004 年 11 月 13 日～20 日に撮影したエンディンデュランスクレーターの内側の露頭、図 23 は 2005 年 1 月 19 日に火星で最初に発見された隕石（鉄隕石）です。

#### ◆ キュリオシティ

2012 年 8 月 6 日、宇宙船「マーズ・サイエンス・ラボラトリー」(MSL) から分離した「キュリオシティ」は、火星の赤道付近にあるゲールクレーターに着陸しました。ゲールクレーターの中央にあるシャープ山（アイオリス山）の山麓を約 29km 走行し、着陸地点から標高にして 625m 登り、10 年間探査を続けています。その間、岩石と砂のサンプルを 41 個分析しました。また、火星の雲や衛星フォボスとダイモスの太陽面通過を観測したり、有人火星探査に備えて火星表面の放射線量の測定を行いました。2022 年 4 月にキュリオシティのミッションを 3 年延長することが決定されています。

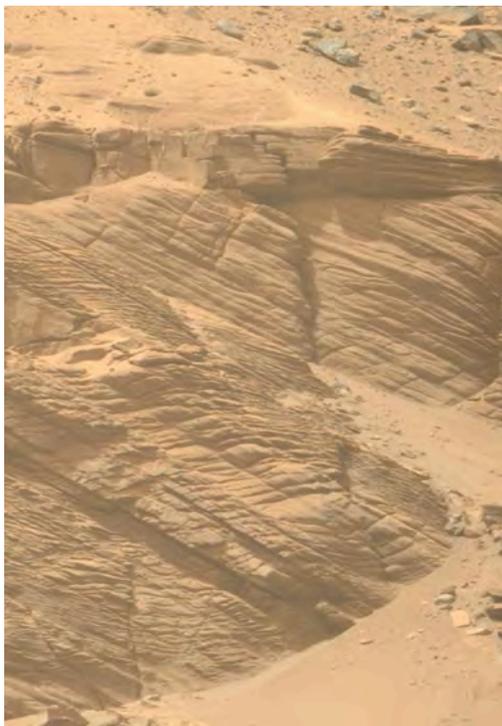


図 24 パーサヴィアランスによる画像 / NASA  
2022 年 11 月 24 日撮影

#### ◆ インサイト

2018 年 11 月 26 日に探査機インサイトは、エリシウム平原に着陸し、画像を送っています。

#### ◆ パーサヴィアランス

2020 年 7 月 30 日に打ち上げられ、2021 年 2 月 18 日に「パーサヴィアランス」は、火星の大シルチス大地にある直径約 49km のジェゼロクレーターに着陸しました。ここは、火星の初期のころに湖だった場所で、生命誕生の証拠がみつかるのではないかと期待される場所です。

7 つの科学機器と 19 台のカメラと 2 つのマイクが搭載されています。また重量 1.8 kg で太陽電池で動くドローンも搭載されていて、上空からの撮影も行っています（図 24～図 26）。

#### ◆ 天問一号「祝融号」

中国が打ち上げて、2021 年 5 月 15 日火星に着陸した最初の探査機が天問一号、ローバーの名称は「祝融号（しゅくゆうごう）」です。

#### ◆ ロザリンドランクリン

ESA による探査ローバーです。微生物が生息したと考えられる古環境を調査します。



図 25 パーサヴィアランスのドローン始動 / NASA



図 26 パーサヴィアランスの地中コア / NASA

概観

図 27 は、アメリカ NASA のマーズ・グローバル・サーベイヤーのレーザー高度計のデータから作成した火星図です。火星表面の地形が北半球と南半球とでは大きく異なっていることがわかります。

北半球は低地になっていて、表面はなめらかになっています。これは、巨大な盾状火山から流出した玄武岩によって火山性の平原となり、比較的新しい表層で構成されているからです。

南半球は高度が高く、かなり古い表層で、クレーターが密集しています。しかも河床によって細かく区切られているといった特徴がみられます。また、北半球の地殻に比べて南半球の地

殻は厚くなっています。

このように全球を二分するような地殻の違いは、地球や金星には見られません。また、地球の表層はどうなっているかということ、火山性平原は約 65% に対して古い表層が占める割合は極端に少なくなっています。月では逆にクレーターからなる古い表層が 70% を占め、火山から流出した玄武岩がつくった比較的新しいところは 17% しか存在しません。

このようなことから、火星の地形は、ちょうど地球と月の中間の様相をそなえた惑星ということが出来ます。

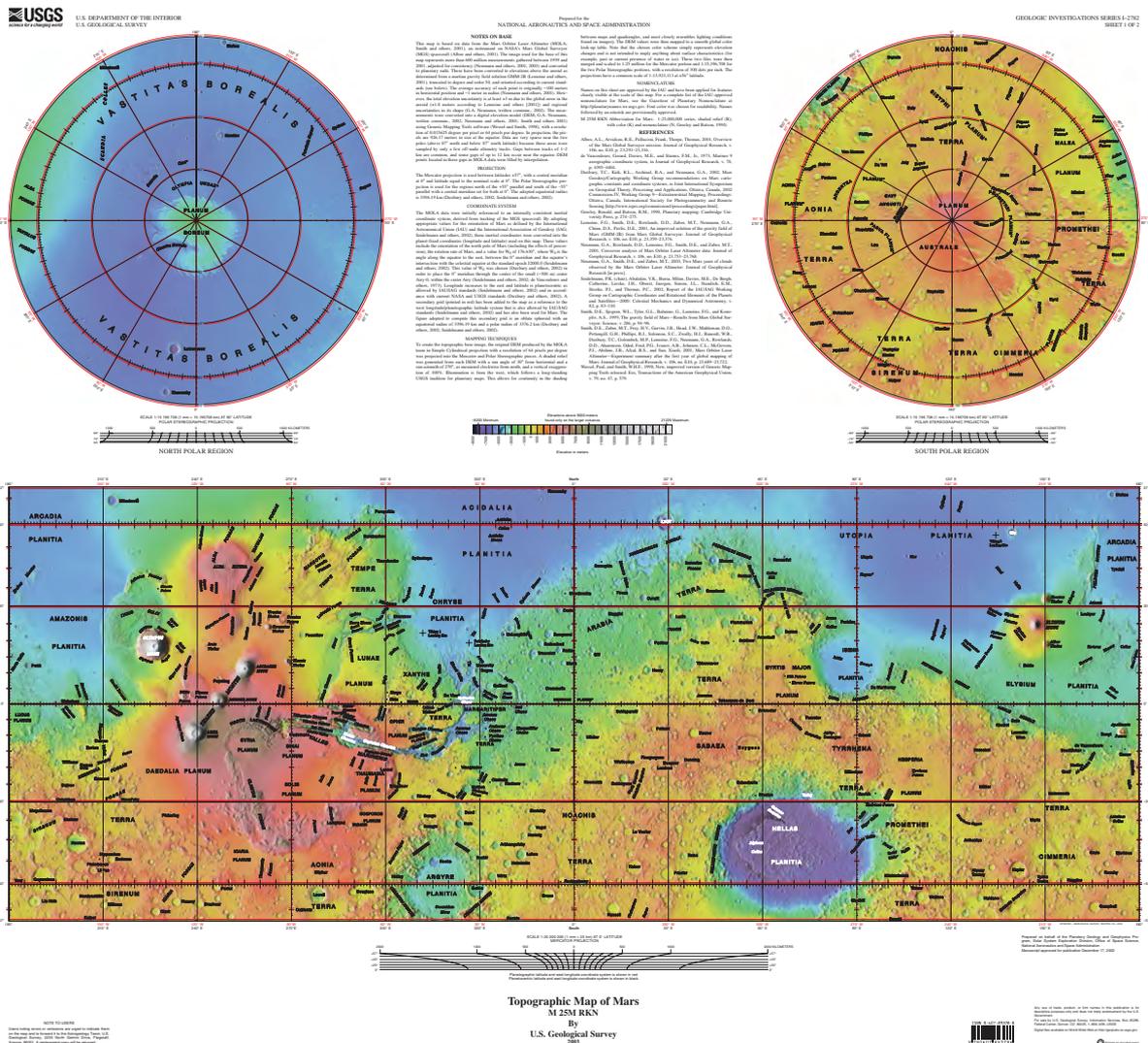


図 27 火星図 (NASA, USGS)

# 5

## 気象

火星の自転軸が公転面の法線に対して 25.19°傾いていることから、火星にも地球と同様の四季の変化が見られることは容易に想像することができます。実際に極冠の年変化 (火星の 1 日で数えると 1 年は約 669 日) は、このことを物語っています。

しかし単純に地球と同じと考えることは危険です。なぜなら大気成分は 95.3% が二酸化炭素で以下、窒素が 2.7%、アルゴンが 0.16%、酸素が 0.13%、一酸化炭素が 0.07%、水蒸気が 0.03% とまったく地球の成分と違っていません。さらに大気圧は、2.1~8.9hPa で、1 気圧 (1013hPa) に比べて極めて低くなっていて、季節変化がみられることです。このような大気での季節変化は、冬には、大気の主成分である二酸化炭素が凍り、ドライアイスになって極地方の極冠を形成するために、その時期に大気圧は下がると考えられています。

また、北緯 22.27 度、西経 47.97 度に着陸したバイキング 1 号による気温の測定では、日の出時に最低気温  $-86^{\circ}\text{C}$  を示し、地方時の 15 時頃に最高気温  $-31^{\circ}\text{C}$  を示しました。さらに南半球の冬に南極点での赤外線による観測から輝度温度を求めると  $-138^{\circ}\text{C}$  を示し、火星の大気圧下で二酸化炭素がドライアイスになる凝固点  $-127^{\circ}\text{C}$  よりも低くなっていることが確かめられました。このように気温が低いのは、二酸化炭素やメタンガス、水蒸気などの温室効果ガスがほとんどないためです。

こうした気象環境を持った火星の大気の循環にも特徴がみられます。地球ですと図 28 のように赤道付近で暖められた空気は高緯度に向かうのですがコリオリの力を受けてすぐに緯度に平行になってしまいます。そして同様の現象がいくつもあり、気候帯を形成しているわけです。これは、受ける熱量が緯度によってちがうのに対して、海が輻射をだいたい一定にするはたらきをしているからなのです。ところが海がない火星では図 29 のように、同一の緯度にお

ける火星面が受ける熱量と輻射量が比例しています。このため大気は、赤道から火星面を回りながら両極に向かう対称的な流れになっているのです。

この様子は、地上から望遠鏡を使った火星面に現われる白雲黄雲霧の観測からも知ることができます。また図 30 は、火星の地表で起きた竜巻のような現象で、ダストデビルと呼ばれています。

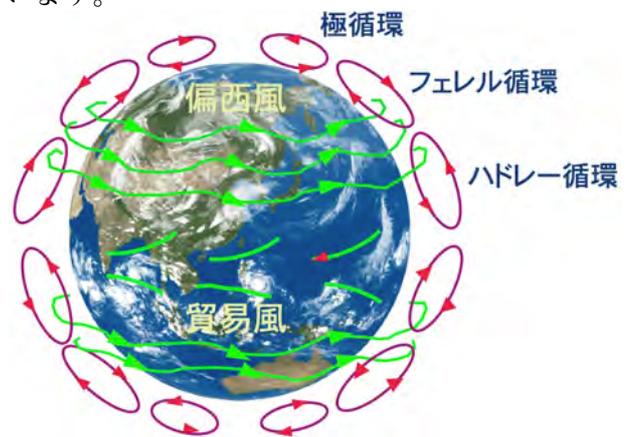


図 28 地球の大気循環

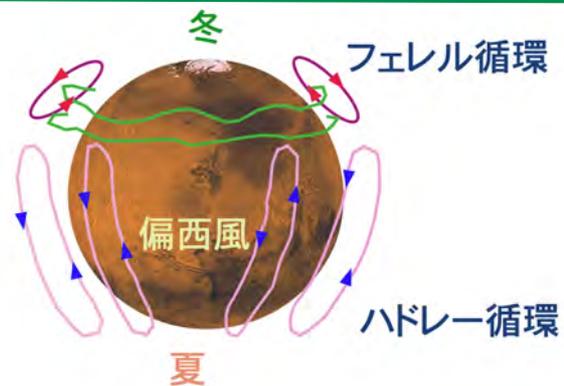


図 29 火星の大気循環



図 30 ダストデビル 火星の地表で起きた砂嵐 / NASA (2006 年 5 月 30 日にスピリットが撮影)

# 6

## 火山

火星のタルシス高原、エリシウス高原、ヘラス盆地などの火山性平原は、巨大な盾状火山の噴火によって流出した玄武岩が周囲の低地を埋めつくして溶岩台地を形成しています。

火星で最大の火山はタルシス高原の北西端に位置するオリンポスです。直径が約 700 km、高さは 25 km もあり太陽系最大の火山です。

地球最大の火山はハワイのマウナロアで、海底から測っても直径 120 km 高さ 9 km しかありません。図 31 に地球の火山と大きさを比較してみました。オリンポス (図 32) がいかに大きな火山であるかがわかると思います。

この他にタルシス高原には、アスクレス・パボニス・アルシアと一直線に並ぶ三つの大きな盾状火山 (図 33) とアルバ・パテラ などがある

ります。これらの火山の山頂部には、火山活動による中央火口が陥没してできたカルデラや断層が、また火山のスロープには溶岩流によって生じた谷などが見られます。

火星には、どうしてこのような大規模な火山が発達したのでしょうか。それは地殻の構造に起因すると考えられています。すなわち、地球では表層の地殻あるいは岩石圏は海嶺・海溝・トランスフォーム断層によって区切られる数枚のプレートに分かれています。そして、それぞれのプレートはマントル対流によって長い時間尺度 (地質時代) でみると流体のように移動します。図 34 には、ホットスポットの上でつくられた火山島がプレートの移動とともにハワイ諸島が形成される仕組みを示しています。



図 31 火山の大きさの比較

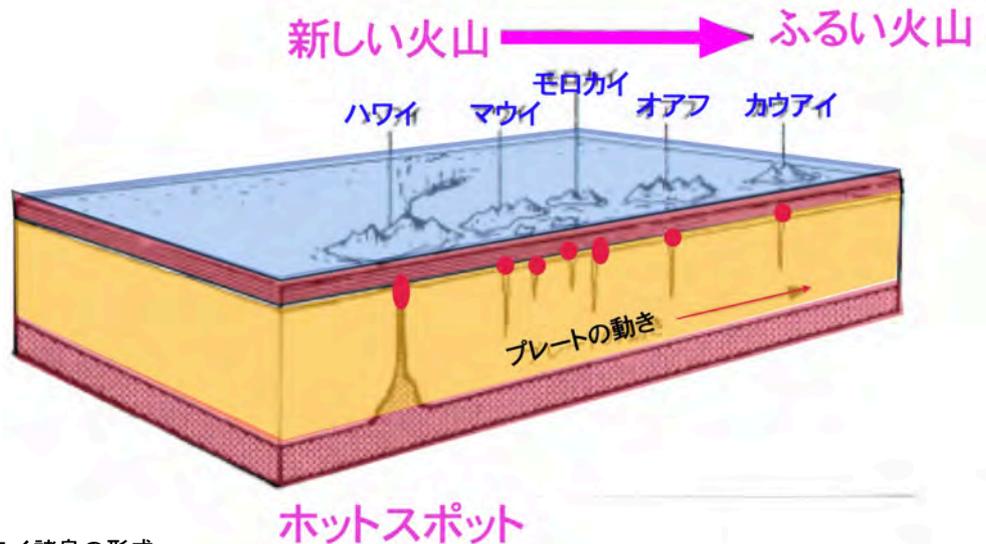


図 34 ホットスポットとハワイ諸島の形成

地球では、プレートの移動にともない、一つの火山の寿命が決まってしまう。ところが火星の表層は一つで、しかも地殻が厚いために地殻の移動が起きません。このため、マグマ源があると消滅するまで火山活動は同じ場所で続くことになります。このような理由でオリンポスは約 10 億年もの歳月を経て、太陽系最大の火山に成長したのです。

また、こうした火山活動によってできたタルシス高原の東端には、アフリカ東部にみられる

よりも大きな巨大な地溝帯、図 35 のマリネリス峡谷があります。アメリカのグランドキャニオンのような大峡谷に見えたことから峡谷の名称がつけられましたが、調べて見ると峡谷の中心部には水による侵食の痕跡がありません。火山活動にともなうタルシス高原の隆起に対してマリネリス峡谷の両側を走る地溝断層（正断層）に挟まれた幅 100 km、長さ 4000 km も続く細長い部分が深さ 3 km~7 km も陥没し、巨大な地溝帯をつくっていたのです。



図 32 太陽系最大の火山・オリンポス / NASA



図 33 タルシス平原にある火山群 / NASA

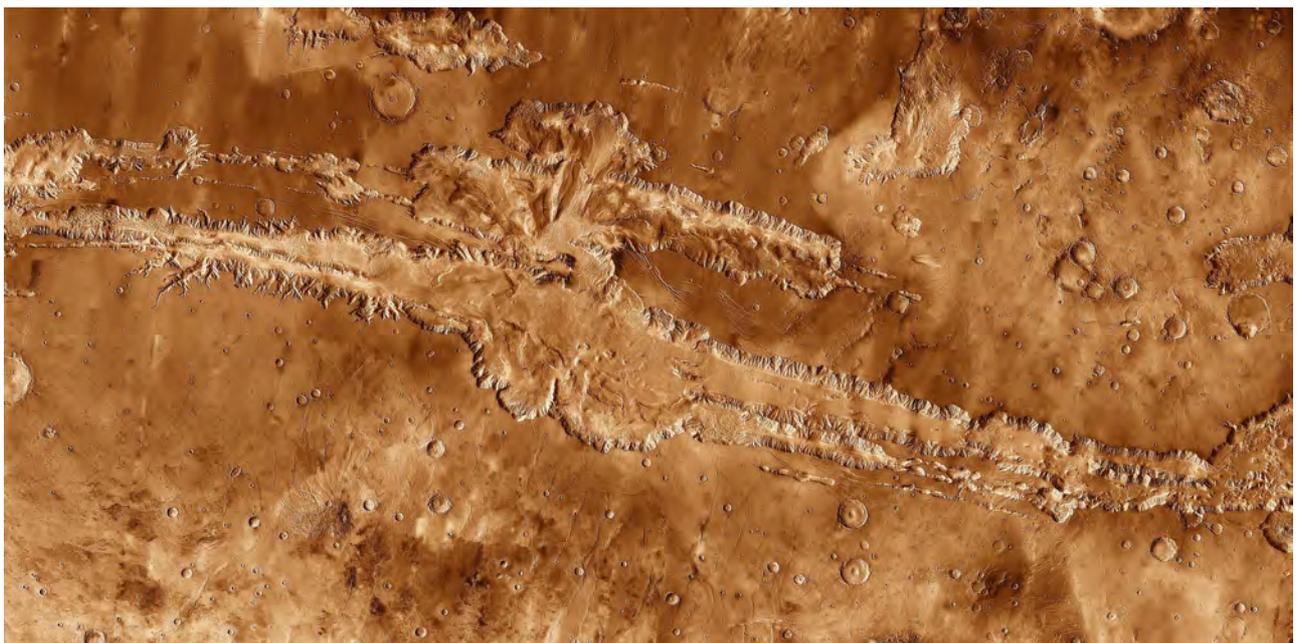


図 35 マリネリス峡谷（マーズオデッセイ） / NASA

## 河床・溪谷

火星のいたるところでみられる河床と溪谷は、かつて流れていた流水の侵食作用によって形成されたものです。

南半球の高地からクリュセ平原の北西を通り、たくさんの支流を作って北半球の低地まで約 1000 Km も続くような大型の河床がみられます。図 36 は、総延長 164km のオスガ溪谷の中央部分を 2013 年 12 月 7 日にマーズ・エクスプレスが撮影した画像です。大量の水が強い流れで形成された地形であることがわかります。それでは水はどこからきたのでしょうか。河床の源は火山活動などによる熱で地下にあった氷が溶けてできた帯水層が一気に地表に湧き出て流れ、河床や溪谷を形成したと考えられます。

マーズ・エクスプレスは、2005 年に北極域のボレアレス地域にある直径 35km、深さ 2 km のクレーターの内部が氷の湖になっていることを発見しました（図 37）。この地域には他にも北に面した南斜面が日射量が少ないため、白い氷に覆われているクレーターが発見されています。クレーター内だけでなく、火星の地下には

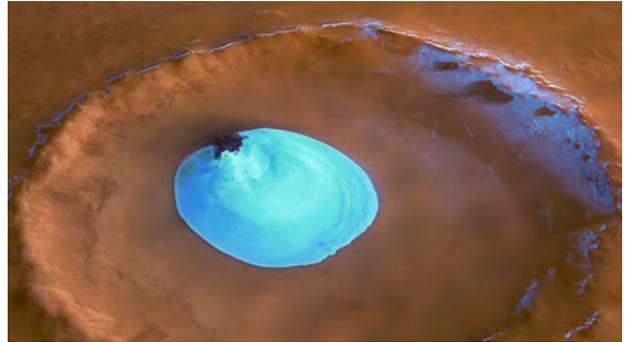


図 37 内部が氷の湖になっているクレーター / NASA

大量の氷や水を貯蔵している場所があると推察されます。

こうした大量の地下水などが流出して表面に水が流れたのであれば、侵食された土砂は運搬されて行くはずですが、土砂が堆積したような地形はみあたりません。これは、河床が流水によってできたとする、水の循環の仕組みが地球とはちがっているということになります。つまり気圧の低い火星では、降雨があったとしてもすぐに蒸発してしまうので山の斜面を流れて V 字谷を形成するというようなことはな

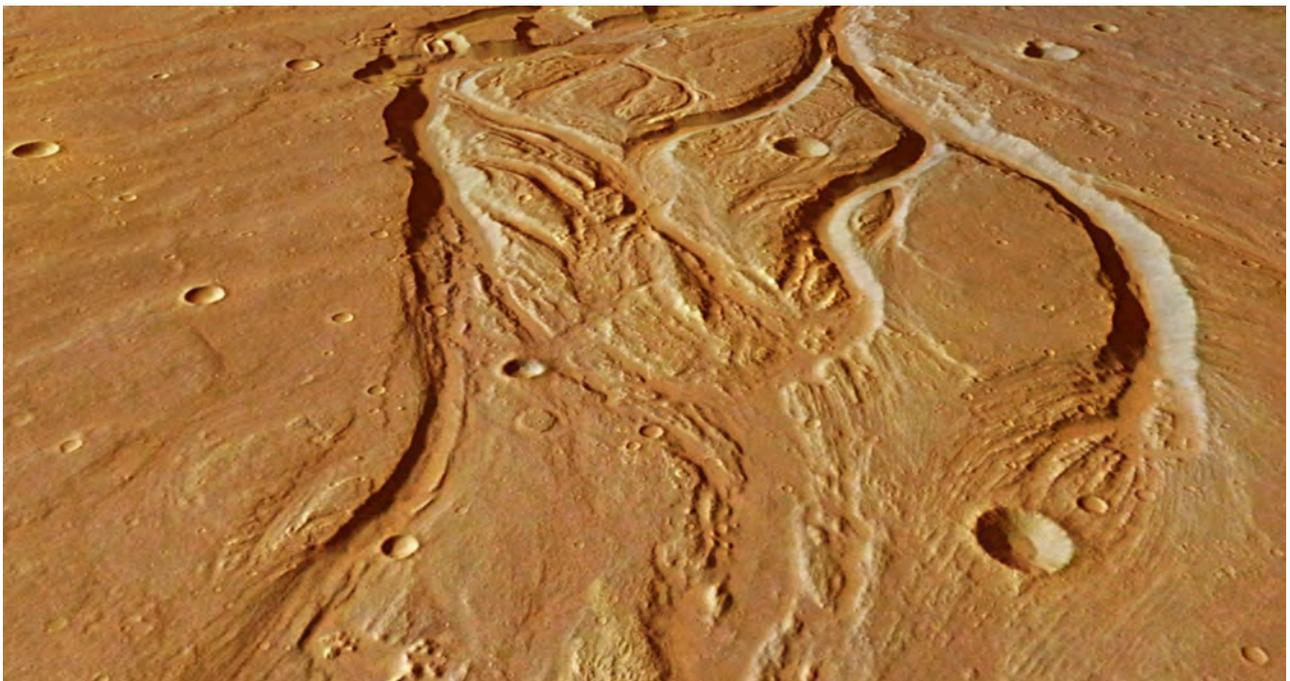


図 36 オスガ溪谷に見られる水の侵食地形（マーズ・エクスプレス） / NASA



図 38 大量の水によってできた割れ目 / NASA

く、すぐに蒸発してしまうか、砂漠にまいた水が染み込んでしまうように消えてしまうのです。

図 38 は、キュリオシティが撮影した画像です。これは比較的最近の地殻変動で大量の水が地中に染み込む時につくられた地形ではないかと考えられます。

また、図 39 のように樹木の枝のような形をした小型の河床が南半球の高地などにたくさんみられます。これらは、その分布が広範囲にわ

たっていることから比較的最近の気候変動によってもたらされた降雪が溶けて地中に染み込む時につくられたのではないかと考えられます。大量の水が地下に染み込み、また低い気圧下で大量の水が蒸発してできたのです。

このような河床がつくられた頃の火星の気象を類推すると、今よりも多少温暖で大気も今ほど希薄ではなかったと考えられます。こうした環境の中で水によってつくられた河床や溪谷は、一変した現在の火星環境を支配する風によって少しずつ形を変えてきています。風化した砂が河床につもり砂丘ができ、砂で埋まった小型の河床は逆に盛り上がり尾根のようになってしまったものもあります。そして一たび砂嵐が発生すると、まいあがった塵が黄雲となり、火星全面を隠してしまうことさえあります。

現在の火星には、かつて人類が想像した運河をみたくような水はなく、広大な砂漠の惑星なのです。

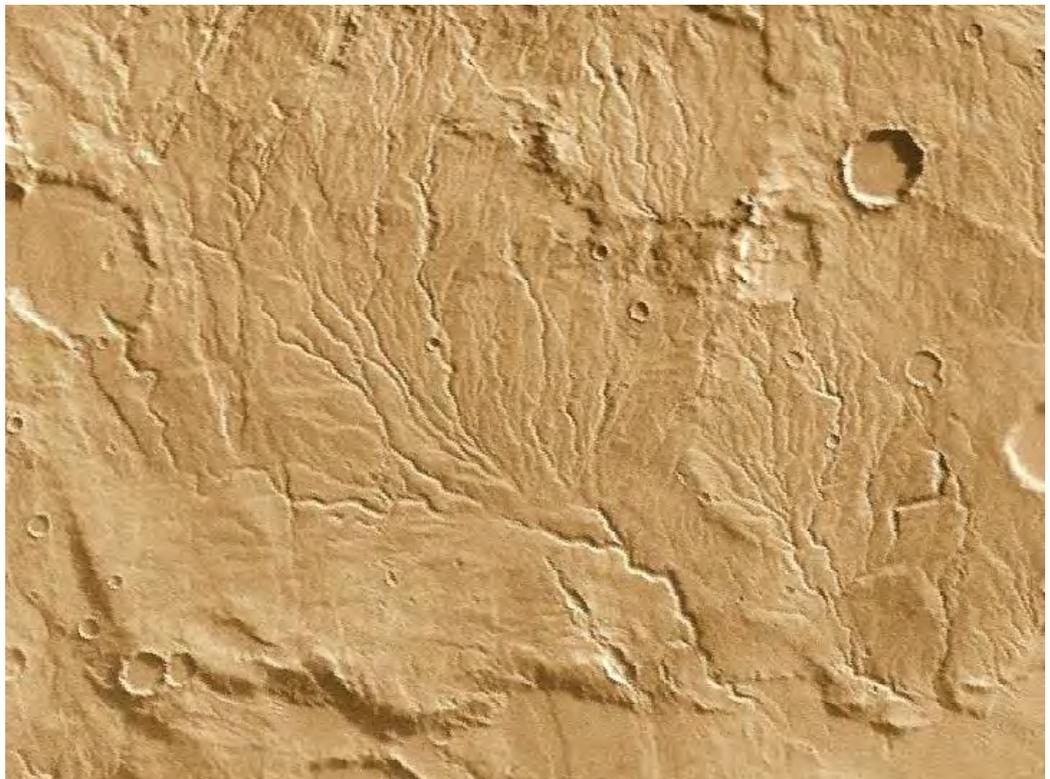


図 39 樹木の枝のような河床地形  
NASA/JPL

## 極冠

火星の北極と南極に輝く極冠は、まるで砂漠のオアシスのように思えてきます。もし、水が多量に存在するとしたら、この極冠の中で凍りついていることでしょう。実際に極冠の縮小期に残る永久極冠は氷であることが赤外線による観測で確認されています。

永久極冠は、図40のように渦巻のように塵と氷が層状になっています。また、この周囲には巨大な砂丘が広がっています。極地方にみられるこのような塵や砂は、砂嵐で巻き上げられたものが風によって運ばれてきたのです。

水でできた永久極冠が最も縮小するのは夏の終わり頃で、秋分を過ぎると新しい極冠がではじめます。時には一瞬に大きな極冠が形成されることもあるのですが、この頃に極地方に発生する極霧のために、極冠の形成過程や最も成長した冬の極冠を地球から観察することができません。そして春になると極霧が急に晴れ上がり、極冠が再び姿を現すのです。

こうした季節変化にともない冬期に極冠は拡大していきます。理由は、永久極冠が氷であるのに対し、極霧が発生するころの極地方の温度は火星の大気圧下で二酸化炭素がドライアイスになる  $-127^{\circ}\text{C}$  に達して、大気中の二酸化炭素が急に凍って二酸化炭素がドライアイスになる

からです。

そして、春になると極冠は図41のように急速に縮小していきます。温度が上昇して再び  $-127^{\circ}\text{C}$  になると、今度はドライアイスが昇華して大気中の二酸化炭素に戻るとともに極霧は晴れ上がるのです。

こうしたことから考えると夏の極冠は氷で、冬の極冠は氷とドライアイスとからできていることとなります。さらに極冠の大きさは北極冠で直径が  $5000\text{ km} \sim 300\text{ km}$  の変動がありますが、南極冠では最大時に  $6000\text{ km}$  と北極冠より大きく、縮小期には逆に小さくなって消失することさえあります。これは火星近日点距離と遠日点距離の違いによって引き起こされるもので、南半球の夏と冬はそれぞれ近日点付近と遠日点付近で起きるために、夏は暑く冬は寒くなるのです。北半球ではもちろんこの逆になっています。

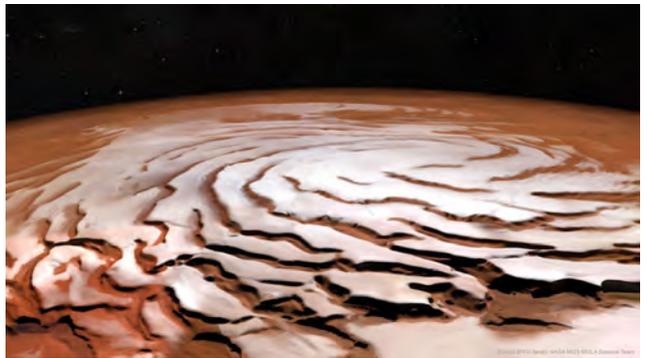


図40 氷の極冠（マーズ・エクスプレス）/ NASA

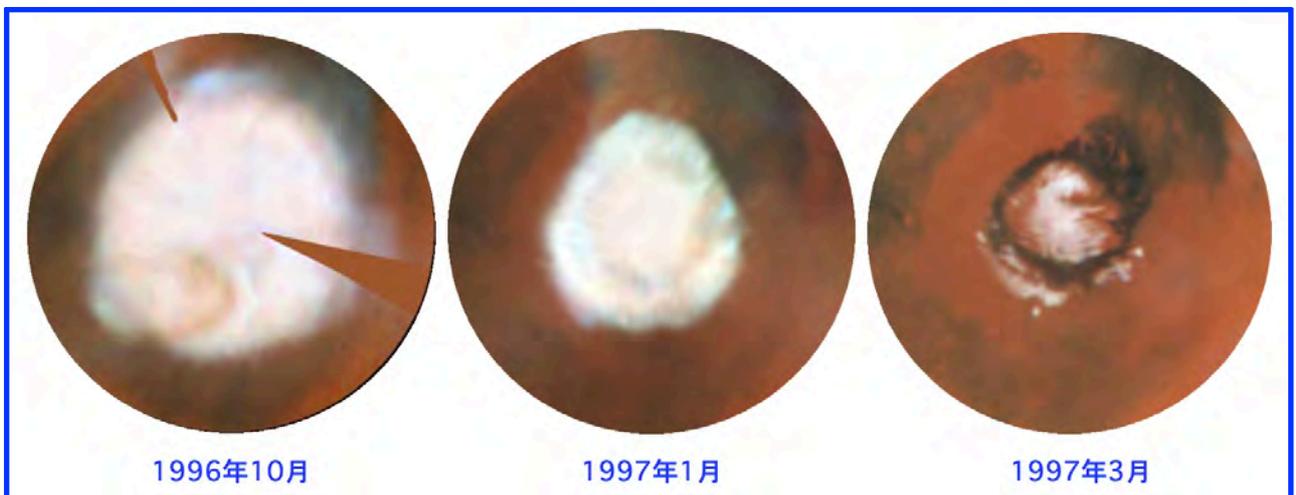


図41 北極冠の縮小経過（ハッブル宇宙望遠鏡）/ NASA

# 9

## 豊富に存在する氷

2001年マーズオデッセイに搭載された中性子分光計により火星の表面に存在する水と氷(H<sub>2</sub>O)の割合が明らかになりました。

図42は極地域の氷の分布を、図43は全域の氷の分布と存在する濃度を示しています。

緯度70度の極地域では、氷の濃度はほとんどすべての場所で25%を超えています。また、極では100%に近づいていて、豊富な氷が存在しています。

一方緯度60度以下では、極域よりは水の存

在量は少なくなりますがエリュシオン火山周辺、テラサバエア、テラシレナムの北西などの地域に集中して氷が存在しています。これらの地域の地下の氷の濃度は、最大18%になっています。

火星の表面は、赤く不毛の砂漠になっていますが、地下には豊富な氷が存在しています。氷が集中して存在する場所の地下に、水の状態で存在する領域があれば、生命活動の痕跡が見つかるかもしれません。

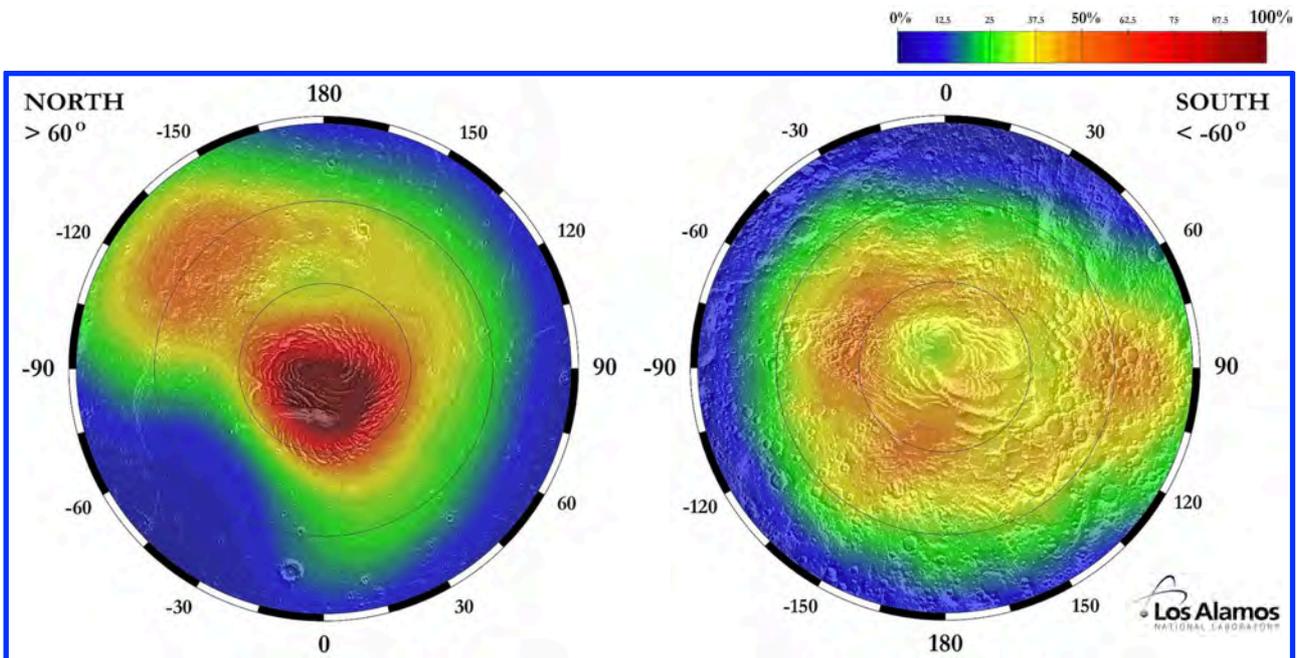


図42 極地域のH<sub>2</sub>Oの分量 (マーズオデッセイ)

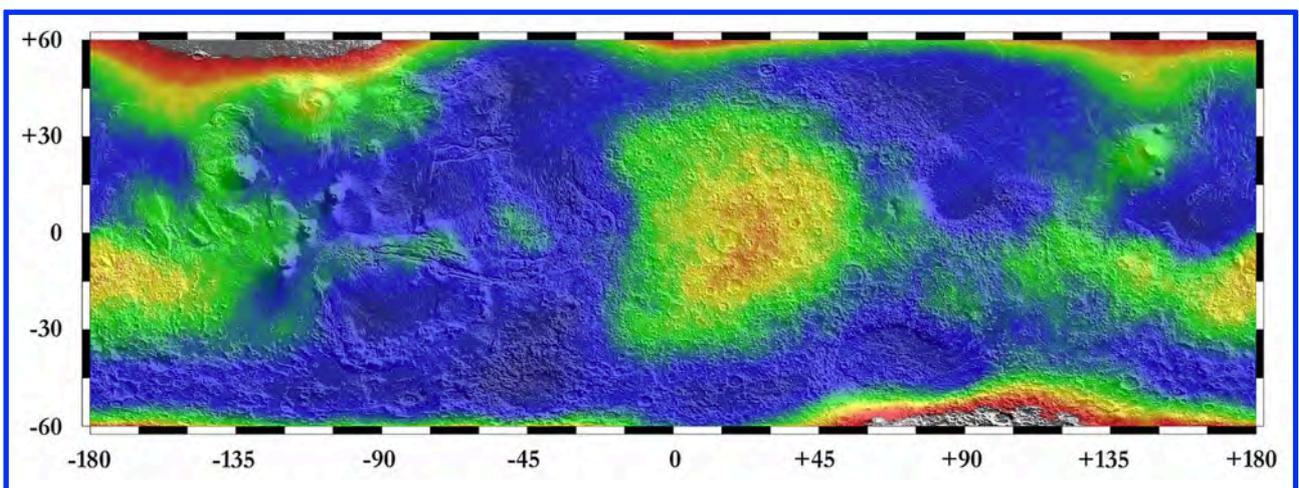


図43 地表のH<sub>2</sub>O分布 (マーズオデッセイ)

## 内部構造

2018年11月27日にエリシウム平原に着陸したインサイト (InSight) は、火星の内部構造を調べるための高感度の地震計 (SEIS: Seismic Experiment for Interior Structure) を搭載しています。図44がインサイトと地震計のイメージ図です。2019年4月に最初の火星地震 (火震: Marsquake) を検出しました。図45は、2022年5月4日に起きたマグニチュード5を記録した火震を記録した波形です。これまでに検出した中で最大のものでした。2022年6月までに1300回の火震を検出しています。これらの火震の震源は、当初オリンポス火山や3つの巨大火山が並んでいるタリシス地域で発生するのではないかと考えられていました。しかし、この地域で火震は起こりませんでした。火震は観測地点から1600 km離れた同ジエリシウム平原にあるケルロベス・フォッサやサーベラス・フォッサと呼ばれる地域に集中していました。この地域は、数百万年前から火山活動が活発な活火山地帯です。図46はケルロベス・フォッサで、5万3000年前から新しい火山活動が始まり割れ目噴火を起こした場所です。割れ目の底は玄武岩ですが、その上を覆った砂が、同じ横方向に風によって形成された風紋が写しだされています。エリシウム平原は、ホットプルームが上昇してくるマントルの上に位置していて、その中心にケルベロス・フォッサがあります。

マグニチュード3~4の35回の火震データを解析することにより、火星の内部構造が明らかになってきました。火震波は、伝搬速度が速いP波 (縦波) が観測された後にS波 (主要動・横波) が到達します。S波とP波の到達時間の差 (初期微動継続時間) から、震源までの距離が求められます。また火星の内部で反射されて伝搬してくるエコーの速度を解析することで、内部の密度や反射体、核とマントルの境界までの距離を求めることができます。

これらの結果をまとめると図47のように、

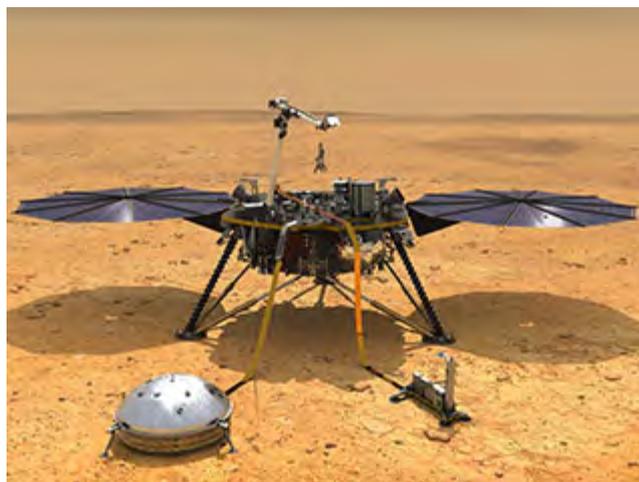


図44 インサイトと地震計 / NASA

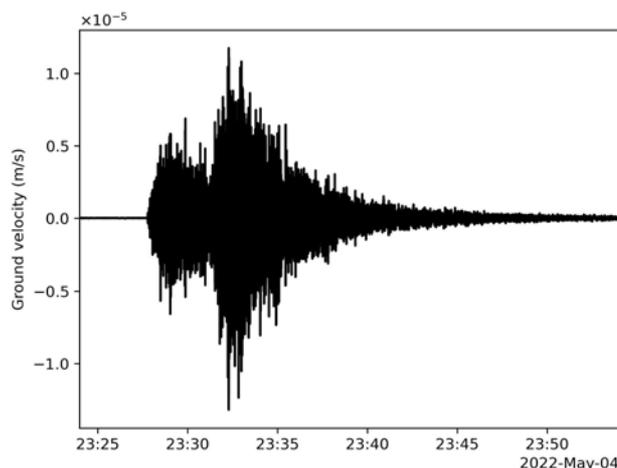


図45 観測された最大の火震波 / NASA  
マグニチュード5



図46 ケルベロス・フォッサ / NASA  
(マーズリコネサンスオービター)

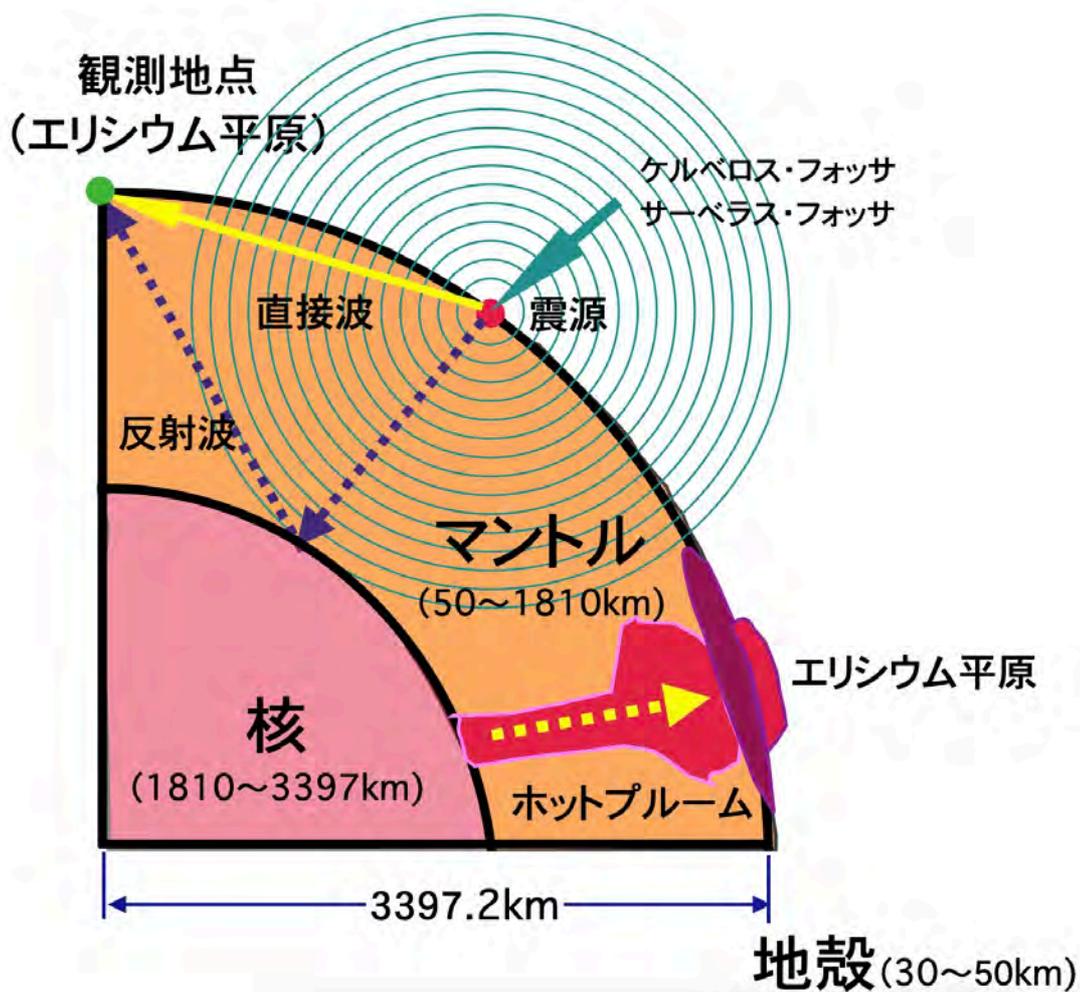


図 47 内部構造とプルーム上昇

地殻の厚さは 37 km、マントルは 1560 km、火星の直径は 3390 km なので、核の半径は 1830 km となります。また、中心部で S 波が伝搬していないことから、核の外側部分は鉄とニッケルが融解していて液体になっていることがわかりました。P 波は個体と液体中も伝搬しますが S 波は液体中を伝搬することはできないからです。さらに推定されていた核の密度が僅かに低くなっていたことから、核の中心は個体の鉄とニッケルですが、核の外側は薄い液体の層になっていると推察されます。

これまでに、小惑星衝突による隕石落下によると考えられる火震が 4 回記録されています。その内、2021 年 9 月 5 日に記録された火震では、火星大気圏に突入した小惑星が上空で分裂



図 48 小惑星衝突により形成されたクレーター / NASA

して火星面に落下しました。その後にマーズリコネサンスオービターが推定される落下地点で図 48 のような 3 つのクレーターが形成されていることを発見しました。これが火震により発見することができた最初の小惑星衝突によって形成されたクレーターです。

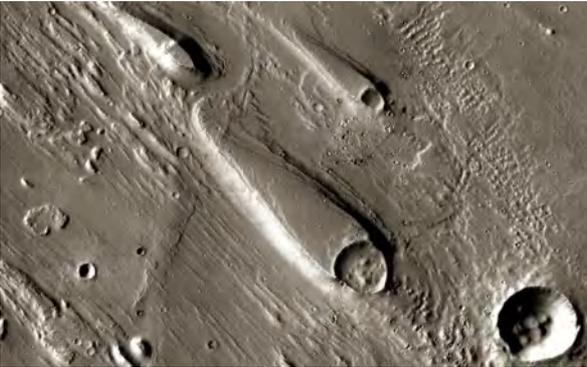


図 49 マーズ リコネサンス オービターが 2009 年 2 月 9 日にアレス渓谷のクレーターを撮影。洪水で流されないでクレーターが残っている。



図 51 キュリオシティが 2022 年 5 月 19 日に撮影した斜葉理。浅い海で堆積したことがわかる。



図 50 マーズ リコネサンス オービターがヘラス平原に水が流れて 1~10 m の幅の溝は、水の侵食により形成された。



図 42 パーサヴィアランスが 2022 年 6 月 12 日にジェゼロクレーターで撮影したバランスロック。



図 53 キュリオシティが 2022 年 3 月 23 日に撮影、風で侵食した硬い砂岩の礫層。

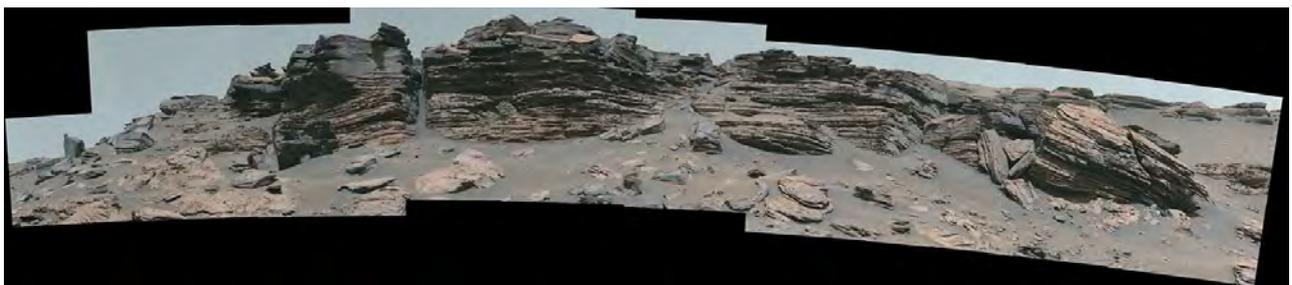


図 54 パーサヴィアランスが 2022 年 2 月 24 日にロッキートップと呼ばれる露頭を撮影。