

プラネタリウム番組「火星再接近」制作の報告

田中 里佳*

Surveys for the of planetarium program “RE-approaching of Mars”

Satoka Tanaka*

2020年10月に準大接近となった火星をテーマに、プラネタリウム番組の制作を行った。制作にあたり、火星の環境・地形・観測の歴史について事前調査を行った。調査結果、ならびに制作した番組の内容について報告する。また、地球の隣の惑星である火星に親しみを持ってもらおう目的で行った、番組内の独自の工夫点について述べる。

火星の接近

地球と火星は共に太陽のまわりを公転する太陽系の惑星である。地球の公転周期が約365日であるのに対し、一つ外側の軌道をもつ火星は約687日である。これらの公転周期の関係から、地球と火星の会合周期は約2年2カ月である。この時、接近する2天体の距離により、大接近や小接近と呼ばれる。2018年の接近時には5,759万kmまで近づき、大接近と呼ばれた。今回の最接近時の距離は6,207万kmと前回ほど近くはないが、次にこれ以下の距離まで近づくのは15年先である。

川崎市青少年科学館（以下、科学館）では、この火星をテーマにプラネタリウム一般番組「火星再接近」の制作を行った。“再”接近というタイトルには、表面で発生した大規模な砂嵐のためほとんど表面の様相を観察できなかった前回時を踏まえて、今回はリベンジを図るという意味が込められている。

火星の環境・地形・観測の歴史

番組の制作に先立ち、基礎知識として火星についての調査を行った。天文ゼミで共有した内容について、各項目別にまとめる。

(1) 基本情報

表1. 火星・地球の基本情報

	火星	地球
赤道半径	3,396 km (0.53)	6,378 km (1)
密度	3.93 g・cm ⁻¹	5.52 g・cm ⁻¹
相対質量	0.1074	1
相対赤道重力	0.38	1
自転周期	24時間37分	23時間56分
自転軸傾き	25.19°	23.44°
公転周期	687日	365日
地球との会合周期	780日(約2年2カ月)	-
軌道離心率	0.0934	0.0167
地表大気圧	約750 Pa	101.3 kPa

地球と比較した火星の基本情報について表1にまとめた。火星は地球と比べて約1/2の半径しかなく、重力も約1/3と小さい。そのため、大気を地表にとどめておくことができず、大気圧は地球の1/100以下しかない。組成は二酸化炭素(95.3%)、窒素(2.7%)、アルゴン(1.6%)などであり、わずかに存在する水(0.03%)は大気圧と気温(平均-50°C)の関係から、固体(氷)か気体(水蒸気)の状態でしか存在できない。

*川崎市青少年科学館（かわさき宙(そら)と緑の科学館)

Kawasaki Municipal Science Museum

わずかではあるが大気は存在するため、気象現象が観測される。オリンポス山にかかる白雲（水蒸気による雲）や、黄雲（大規模な砂嵐（ダストストーム）により発生する雲）が地球からも観測されている。

火星の軌道は大きな離心率を持ち、ほぼ真円に近い地球の軌道と比べて、大きく歪んだ楕円軌道である。そのため、会合時の最接近距離も約 5600 万 km（大接近時）から約 1 億 km（小接近時）と幅が大きく、地球からの見た目の直径や明るさも大きく変化する（表 2）。

地球と同じように自転軸が傾いているため、北半球と南半球それぞれで季節の変化が見られる。南北の極付近では、大気中の二酸化炭素と水蒸気が凍ることによってできる白い極冠を見ることができるが、季節変化に伴って極冠の大きさが変化する様子を観察することができる。

大接近前後の火星は、軌道上の位置と自転軸の傾きにより、北半球が秋～冬、南半球が春～夏となる。すなわち、南半球側を太陽に向けることになり、接近時の地球（火星から見て太陽側にある）からも南半球の極冠を観察する好機となる。逆に小接近前後では、北半球が春～夏、南半球が秋～冬となり、火星は北半球側を太陽に向けるため、北極の極冠が見やすくなる。

表面の岩石が酸化鉄を多く含むため、全体的に赤っぽい色をしている。黒っぽく見えるところはマグマが固まってできた玄武岩の台地が広がっている。

赤い色が血を連想させることから、ギリシャ神話における戦いの神アレス（ローマ神話の軍神マールスと同一視）と結び付けられた。英語名の Mars はマールスを語源としている。

(2) 地形

火星の北半球には比較的平らな平原、南半球には過去の隕石衝突などによるクレーターが多数存在する高地が広がっている。

表 2. 火星最接近日一覧（2018 年～2035 年）

日付 (Year /Month/Day)	地心距離 (万 km)	視直径 (秒角)	明るさ (等)
2018/7/31	5,759	24.3	-2.8
2020/10/6	6,207	22.6	-2.6
2022/12/1	8,145	17.2	-1.8
2025/1/12	9,608	14.6	-1.4
2027/2/20	10,142	13.8	-1.2
2029/3/29	9,682	14.5	-1.3
2031/5/12	8,278	16.9	-1.7
2033/7/5	6,328	22.1	-2.5
2035/9/11	5,691	24.6	-2.8

オリンポス山は周囲の地表からの高さが約 27,000 m、裾野の広さは 700 km に及ぶ太陽系最大の楯状火山である。地球上で一番高い山であるエベレスト山（標高 8848.86 m）が縦に 3 つ並べられるほどの高さがある。また、オリンポス山から 1,200 km ほど離れたところにはタルシス三山（アスクレウス山、パヴォニス山、アルシア山）があり、いずれも高さ 15,000 m を超える火山である。

火星になぜこのような巨大な火山ができたのかについては、いくつかの理由が考えられる。まず一つは、地球では大規模なプレートの移動を伴うプレートテクトニクスが見られるのに対し、火星上ではプレートの移動が起こらず、長期にわたって同じ場所からマグマが噴き出し続けたためである。その結果、溶岩が同じ場所に堆積し、高い山が形成された。もう一つの理由としては、地球と比べて火星上での重力が小さいことが挙げられる。火口からの噴出物が高くまで噴き出し、広範囲に積もったことで巨大な火山となったと考えられる。

火星のほぼ赤道付近には、太陽系最大規模の峡谷であるマリネリス峡谷がある。全長 4,000 km にわたって、深さ 7 km、幅は最大で 200 km の割れ目が続いている。これは、地球のグラン

ド・キャニオン（全長 446 km、平均深さ 1.2 km、幅 6 km～29 km）に比べて遥かに大きな規模である。過去に起きた火星表面での地殻変動によって形成されたと考えられている。

最高地点（オリンポス山）と最低地点（ヘラス盆地）の標高差は約 30,000 m に及ぶ。地球の標高差が 19,700 m（エベレスト山～マリアナ海溝）であることを考えると、約半分の大きさである火星の表面は地球よりはるかに凹凸に富んだ場所であると言える。

(3) 観測の歴史

1877 年は火星大接近の年であった。イタリアの天文学者スキアパレッリは、口径 22 cm の屈折望遠鏡で火星の観測スケッチを行い、表面に線状の模様を多数発見した。それらをイタリア語で水路を意味する「カナリ」と名付けたが、後に英語に訳される際に、「チャンネル=人口の運河」と訳されたため、火星には運河を建設できるような知能を持った火星人がいるのでは、と大きく話題になった。

天体表面の明るさ・暗さによって分類した地形のことをアルベド地形という。スキアパレッリはアルベド地形に基づく火星表面の模様を大陸や海に見立てて次々と命名を行った。これらの地名はのちに探査機によって地形の詳しい調査が行われるまで使われた。代表的な地形の名称には、以下のものがある。

・大シルチス：火星赤道付近から北側に約 1,500 km、東西に約 1,000 km に渡って広がる台地。アルベドが低く、黒く見える。地球からも望遠鏡でその模様を観察することができる。シドラ湾（リビア）のギリシャ時代の呼称が語源。

・ユートピア平原：北半球中緯度に位置する、火星最大の広大な盆地。アルベドが高く、望遠鏡ではとなりの大シルチスの黒さと対比して赤い模様として観察される。

プラネタリウム一般番組「火星再接近」

科学館のプラネタリウム一般向け投影では、従来は毎月テーマを変えて投影を行っていた。2020 年度は、新型コロナウイルス感染症拡大の影響を受け、プラネタリウム投影を再開した 6 月以降は投映回数・座席数を制限して運用を行った。このために減少した観覧機会を補うため、テーマ番組を再開した 9 月以降は、1 つのテーマの投影期間を 2 カ月に延長して対応を行った。火星をテーマに取り上げた「火星再接近」は、最接近日である 2020 年 10 月 6 日を含む、9 月～10 月に投影を行った。番組のシナリオは表 3 にまとめた。

番組制作にあたり、テーマの趣旨として下記の 3 点を設定した。

- (1) 地球との比較を通して火星についての理解を深め、となりの惑星という親近感を持ってもらうこと。
- (2) 火星接近にタイミングを合わせて打ち上げられる探査機の情報盛り込み、火星探査の最前線の情報にふれること。
- (3) 地球と火星の接近は今回だけでなく、会合周期の約 2 年 2 カ月ごとに起こること。

このうち、(1) と (2) は番組内で観覧者に伝わるよう、演出の工夫を行った。(3) に関しては、番組内のコンテンツとして盛り込むことが難しかったため、投影では口頭で説明するにとどめ、別途、おうちでプラネタリウム 第 6 回「赤い惑星 最接近」として解説動画を作成し、科学館ホームページで公開を行った。

(1) に関して、番組内（表 3, ⑤）で火星の全体像が見える位置に移動した後、隣に地球の画像を並べて表示し、見た目の違いを直接見比べることができるようにした（図 1）。火星の直径は地球のほぼ半分であること、また、火星表面の赤い色に対して、地球には青・緑・白など様々な色が見られることを視覚的に示すことができた。この違いを踏まえて、地球よりも小

表 3. プラネタリウム一般番組「火星再接近」概要

投影内容	プラネタリウム演出
① 日の入、当日の星空解説	当日の日の入、星空の解説。
② 火星の紹介	星空の中に輝く火星をポインターで指して紹介。
③ 太陽系俯瞰	地球から離陸して宇宙空間へ。 惑星の軌道面に対して垂直方向から太陽系を俯瞰し、太陽とその周りをまわる8つの惑星を紹介。
④ 地球-火星接近の周期、接近時の距離の比較	前々回（2016年）、前回（2018年）、今回（2020年）の地球-火星最接近時を、惑星の公転の様子を見ながら順に再現し、惑星同士の接近が起こる仕組み、接近時の地球-火星間距離の違いを説明。
⑤ 火星に接近	太陽系俯瞰から離れ、火星全体の様子が俯瞰できる位置まで火星に接近。 地球の画像を並べて表示し、大きさ・大気圧・大気組成・表面の色の違いなどについて、地球と比較しながら説明。
⑥ 火星を周回	火星表面の地形の様子が見える位置まで接近。 距離を保ったまま火星の周りを1周し、代表的な地形を説明。
⑦ オリンポス山に接近	オリンポス山上空から山全体が見える位置まで接近。 富士山と大きさを比較。
⑧ 火星に着陸	さらに火星に接近し、表面へと着陸。 火星表面の実写画像をスカイラインに表示し、赤い地表が広がる様子を観察。
⑨ 火星探査の歴史とこれから	これまでに活躍した探査機、そして2020年に打ち上げられた探査機の画像を、火星地表と上空に表示して紹介。
⑩ 地球に帰還、日の出	火星から離陸し、地球へと帰還。 川崎（翌朝3時）に着陸。日の出へ。

③～⑩：宇宙空間の描写はUniview上で行った。

さな火星の表面では重力がおよそ 1/3 しかなく、大気も地球の 1/100 以下しか存在しない環境であることを説明した。また、酸化鉄由来の赤い台地の広がる火星には、海の青、陸地の緑、雲の白などの地球上に見られる環境はなく、隣の惑星でありながら地球のような生命が豊かな自然環境は存在しない場所であることを効果的に伝えることができた。

また、火星上で一番高い山であるオリンポス山を紹介するにあたり、日本人にとって最も身近な、かつ日本で一番高い山である富士山を比較対象とした。具体的には、まずオリンポス山への接近時（表 3、⑦）、山頂のカルデラが天



図 1. 火星と地球の比較

頂付近にくるよう、ドーム中央にズームアップした（図 2）。続いて、富士山の山頂上空からの航空写真を天頂付近に表示し（図 3）、オリンポ

ス山のスケールに合うよう大きさを縮小させた。その結果、富士山はオリンポス山のカルデラにすっぽりと収まった(図4)。オリンポス山は裾野の直径が約700 km(直線距離ではほぼ東京-広島間に相当)、カルデラの直径が約70 kmであり、富士山の直径約40 kmの裾野はカルデラ内部に完全に収まる大きさである。普段なら雄大さを感じる富士山が、オリンポス山の前では小さな存在となることから、火星の地形がもつ壮大なスケール感を視覚的に実感してもらうことができたと考える。

(2)に関して、2020年7月に相次いで打ち上げられた3機の探査機(表4)の情報を番組内に取り入れた。番組内で火星表面へと着陸した際、NASAの探査機キュリオシティが撮影した火星表面の実写画像をスカイラインに360度表示し、実際の火星表面から景色を眺めているという臨場感が感じられる演出を行った(表3, ⑧)。続いて、火星表面で現在も探査を続けている既存の探査機(キュリオシティ、2012年着陸)、かつて火星表面へと降り立ち活躍をした探査機(ソジャーナ(マーズ・パスファインダー計画)、1997年着陸)の2機に加えて、新たに打ち上げられた探査機(表4の3機+インジェニュイティ)をそれぞれ画像で表示し、火星の地表と上空それぞれからの探査が行われる様子を示した(表3, ⑨)。

これまでの火星探査の結果、過去に水が存在した痕跡については見つかっているが、生命の痕跡となる複雑な有機物はまだ見つかっていない。パーサヴィアランスが着陸する予定のジェゼロクレーターは、約38億年前は湖だったと考えられている場所であり、流れ込んでいた河川によって扇状の三角州が形成されている場所である。かつての湖の底に堆積した粘土鉱物を詳しく調査することにより、火星環境の変化の歴史に関する新しい知見が得られることが期待される。パーサヴィアランスは多様な分析装置を搭載しており、火星の地表物質に対し

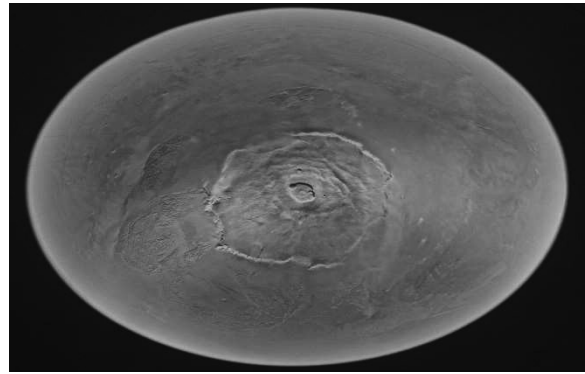


図2. オリンポス山へ接近

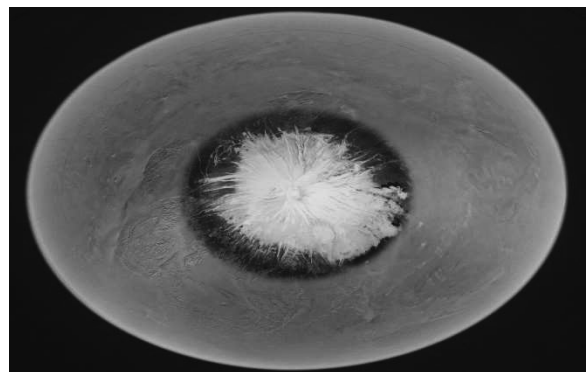


図3. 富士山を重ねて表示

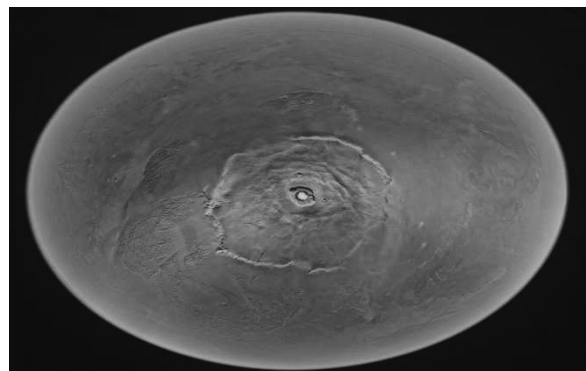


図4. オリンポス山のカルデラにすっぽり
おさまる富士山

て、蛍光X線による元素組成分析や、共鳴ラマン分光による有機物や鉱物の同定を行うことができる。さらに、過去に微生物が存在しうる環境で生成された岩石や、生命の痕跡につながる有機物質が含まれる可能性の高い岩石を採取し、将来の火星サンプルリターン計画に向けての先駆けとなるミッションを行う予定である。

表 4. 2020 年に打ち上げられた火星探査機

探査機	ミッション名	所属機関(国)	打上日	打上場所 (ロケット)	構成	到着予定日	着陸予定地
アル・アマル (Al Amal, HOPE(英))	Emirates Mars Mission	MBRSC (アラブ首長国 連邦)	2020年 7月20日	種子島 宇宙センター (H-IIA)	周回機	2021年 2月中旬	(火星上空 から大気 の観測)
天問一号 (Tianwen-1)	天問	中国国家 航天局 (中国)	2020年 7月23日	文昌航空発射場 (長征5号)	周回機・着陸機 ・探査機	2021年 2月中旬	ユートピア 平原
パーサヴィア ランス (Perseverance)	Mars 2020	NASA / JPL (アメリカ 合衆国)	2020年 7月30日	ケープ カナベラル 空軍基地 (Atlas V)	着陸機・探査機 ・技術実証機 ヘリコプター 「インジェニユ イティ(Ingenuity)」	2021年 2月18日	ジェゼロ クレーター

番組内では探査機の画像を表示するに留め、探査の内容については口頭で説明を行った。スカイラインに広がる、火星表面の乾燥した赤い台地の様子を見ながら、過去の火星には水が存在していたこと、その当時に生命が存在したかを調べるための調査が進められていることを説明した。新たに打ち上げられた探査機が火星へと到着し、実際に火星での探査が進むことで新しい知見が得られるのを楽しみに待つと共に、地球以外の惑星に過去に生命がいたかもしれないという期待感を感じてもらえたと考える。

おわりに

火星接近をはじめとした、リアルタイムの天文現象とリンクしたプラネタリウム番組を制作し投影することで、観覧者の興味を引き、実際の空で見てみようという行動につながることを期待できる。空で天体を見つけ、そこに広がる、地球と異なる環境を想像することで、宇宙に存在する天体の多様性、宇宙の広さを実感する時間となることを期待する。

参考文献

渡部潤一・渡部好恵, 2016. 最新 惑星入門. 朝日新聞出版.

Online Available from Internet

国立天文台, 火星の接近.

<https://www.nao.ac.jp/astro/basic/mars.html> (accessed on 2021-Jan.-4).

国立科学博物館, 宇宙の質問箱 火星編.

<https://www.kahaku.go.jp/exhibitions/vm/resource/tenmon/space/mars/mars00.html> (accessed on 2021-Jan.-6).

かわさき宙と緑の科学館, おうちでプラネタリウム 第6回「赤い惑星 最接近」.

<https://www.facebook.com/watch/?v=330803551585035> (accessed on 2020-Dec.-15).

Mars 2020 Mission Perseverance Rover.

<https://mars.nasa.gov/mars2020/> (accessed on 2021-Jan.-4).

Emirates Mars Mission.

<https://www.emiratesmarsmission.ae/> (accessed on 2021-Jan.-4).

三菱電機 DSPACE. We are from Earth アストロバイオロジーのすゝめ.

<http://www.mitsubishielectric.co.jp/me/dspace/astrobiology/03.html> (accessed on 2021-Jan.-4).