



Paper 3 JAPANESE

Exploring Mars with... Curiosity!

2012年8月6日、惑星探査機「キュリオシティ」を火星表面に向けて降下させるため、マーズ・サイエンス・ラボラトリー・ミッションの着陸船は始動しました。この稼働が8ヶ月を超える長い旅のしめくくりでした。この旅は、2011年11月にケープカナベラル（米国フロリダ州）から発射されて以来のものでした。

実際には、宇宙船が火星の大気に突入するその数分前から、エンジニアや科学者は、宇宙船との通信ができなくなりました。宇宙船は自動的に計画に従って、スピードを緩め、目標場所（ゲール・クレーターに向かって降下し、耐熱カバーを外し、ロケット噴射を開始し、探査機をスムーズにかつ確実に赤い星の上に降ろして火星探査計画を開始する準備が整ったことが、「恐怖の7分間」の直後に通信が回復してわかりました。

そのとき、パサデナ（米国カリフォルニア州）の司令室は、歓声と拍手で満たされました。探査機「キュリオシティ」は火星の表面に無事に降りました。そのことは最初の写真データを送ってきたことでわかりました！

この幸せな瞬間が、エンジニアや科学者の多くの活動の開始点となりました。火星の赤道上にあるゲール・クレーターの地質を研究するために、彼らは遠隔操作で探査車を運転しました。2年前のその日以来、探査車は数km移動する途中、あちこちで止まりながら、写真を撮り、サンプルを分析し、さまざまな環境パラメータを測定し、岩石コア試料を採取しました。



█████ ゲール・クレーター。(キュリオシティ撮影) MSL/JPL/NASA 提供

1. 図1のようなキュリオシティの画像は、火星は砂漠であるという過去のミッション（軌道船、着陸船、探査車）の観測を裏付けました。もしそうならば、キュリオシティによって撮影された画像中に見られると期待される地形はどれですか。

- | | |
|--------|---------|
| a) 砂丘 | c) 乾食盆地 |
| b) 扇状地 | d) モレーン |

2. 火星は寒冷な砂漠です。平均温度は摂氏0度以下です。また、キュリオシティ搭載の機器により測定された最低気温は摂氏マイナス80度でした。もし、火星の気圧が600Paであるとき、火星での水の安定な相はどれですか。

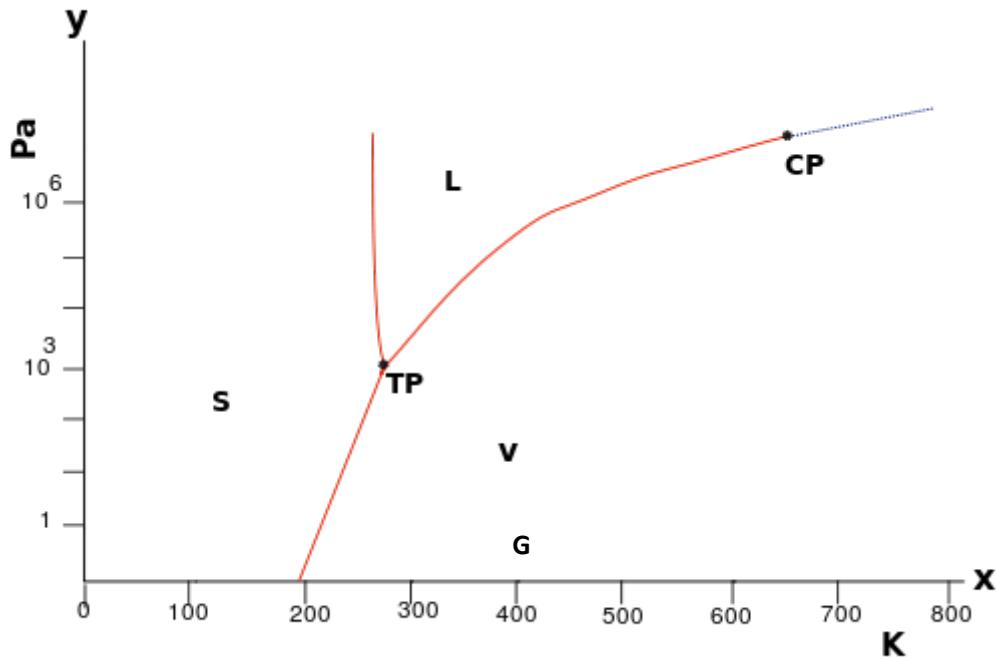


図2 水の相図 (S:固体、L:液体、V:気体、TP:三重点、CP:臨界点)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Water_phase_diagram.svg

- a) 液体+気体
- b) 液体+固体
- c) 固体+気体
- d) 液体+固体+気体

3. (少なくともこの日は) 寒冷な砂漠の画像は、火星の表面が、所々は橙色になつた赤みを帶びた色をしていることを示しています。火星の表面の色を説明できるのは、次のうちのどの鉱物と考えられますか。

- | | | |
|---------|----------|--------|
| a) 自然硫黄 | c) かんらん石 | e) 赤鉄鉱 |
| b) 黄鉄鉱 | d) 磁鉄鉱 | f) 石英 |

4. 風成堆積物は、表面すべてを覆ってはいません。探査車の多眼カメラで撮像されたこの画像中に露岩が少なからず見いだされ、そのうちのいくつかは明瞭な地質構造を伴っています。この観察によると、図3の岩石の種類は何ですか（画像の幅は約1m）。

- a) 玄武岩
- b) マイロナイト
- c) 砂岩
- d) はんれい岩

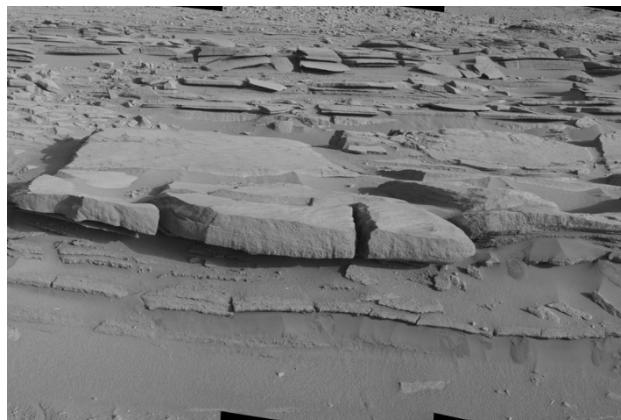


図3. ゲール・クレーター.キュリオシティ探査車撮影
MSL/JPL/NASA 提供

5. さて、ゲール・クレーターの構成物は、かなり風化・侵食されているように見えます。キュリオシティのカメラによる詳細な画像は、地球の岩石に似ているように見えます（図4右）。この岩石の種類を同定しなさい（画像の幅は約1m）。

- a) 炭酸塩岩
- b) 粘板岩
- c) 磯岩
- d) 珪岩
- e) 大理石
- f) 玄武岩
- g) 砂岩

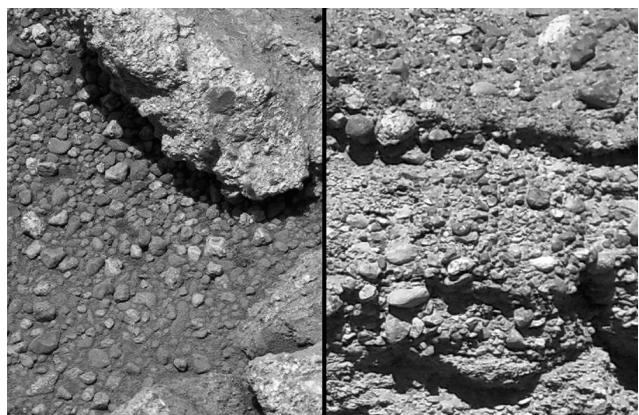


図4. ゲール・クレーター.キュリオシティ探査車撮影
MSL/JPL/NASA 提供

6. 図 5 の画像は、この地域の地表に水がかつてあった証拠となる地形を示しています。図 5 に見られるパターンを述べたものとして、どの種類の河川系が最も適切ですか。

- a) 平行
- b) 放射状
- c) 網状
- d) 角のある
- e) 網目状
- f) 樹枝状

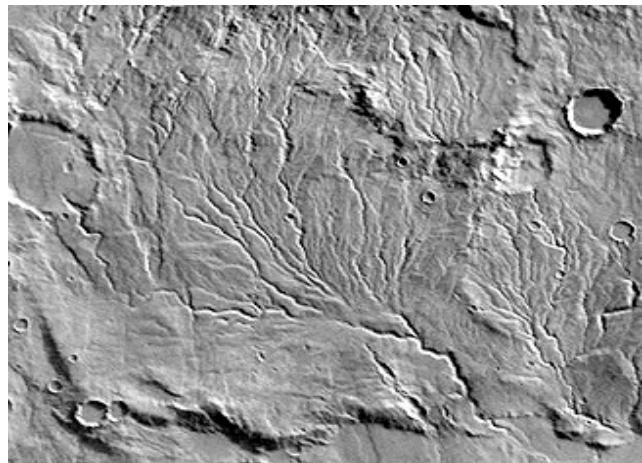


図 5. Warreao Vallis. Viking/JPL/NASA 提供

7. 図 6 に示された流路の蛇行指数(SI) を計算し、蛇行の度合いを分類しなさい。想像力をはたらかせ、この問題を解くために自分自身で手段を考えなさい。これは実際の研究ではよくあることです。

- a) $SI < 1.05$: ほぼ直線
- b) $1.05 \leq SI < 1.25$: 屈曲
- c) $1.25 \leq SI < 1.50$: 曲がりくねった
- d) $1.50 \leq SI$: 蛇行



図 6. 火星の未命名の流路. THEMIS/JPL/NASA 提供

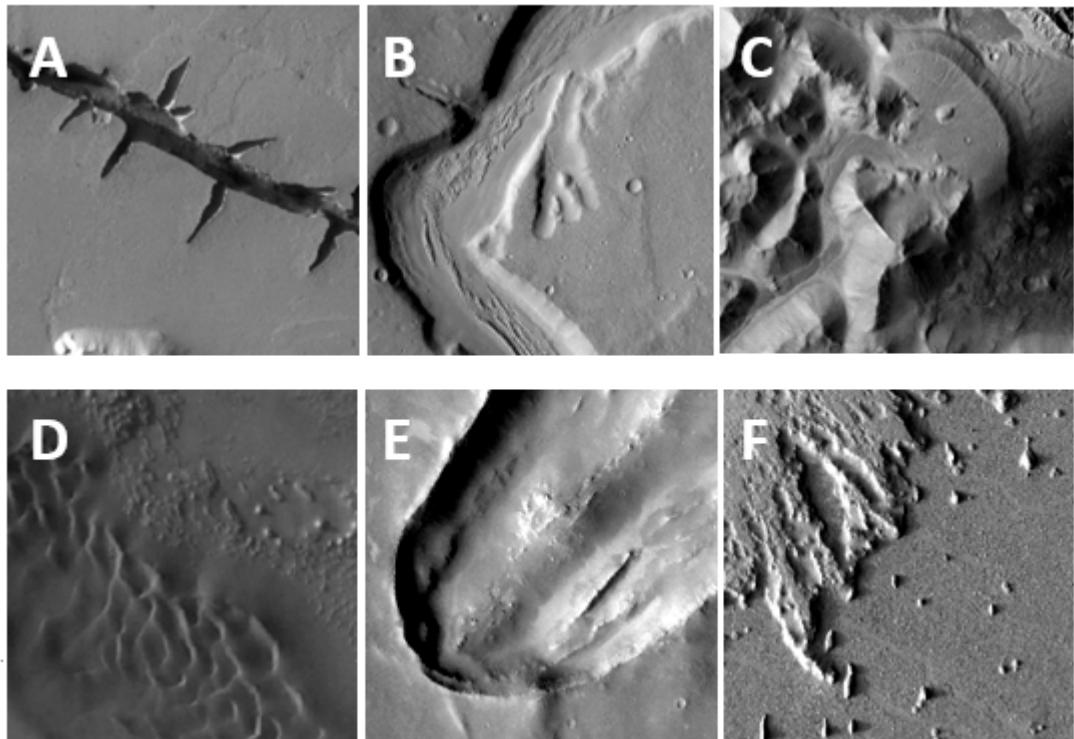


図7. 火星の画像. THEMIS/JPL/NASA 画像

図7を参考にして、問8～10を解きなさい。

8. 断層に最も近いと思われる地質学的特徴のある画像はどれですか。
[解答用紙の A-F から選びなさい。]

9. 河川流路に最も近いと思われる地質学的特徴のある画像はどれですか。
[解答用紙の A-F から選びなさい。]

10. 砂丘地域に最も近いと思われる地質学的特徴のある画像はどれですか。
[解答用紙の A-F から選びなさい。]

11. 過去、火星には川や海があったのみならず、氷河時代には火星の赤道から高緯度にかけてのほとんどが氷河に覆われていました。以下のどのプロセスが、火星に氷河時代が存在したことについての最も適切な説明でしょうか。

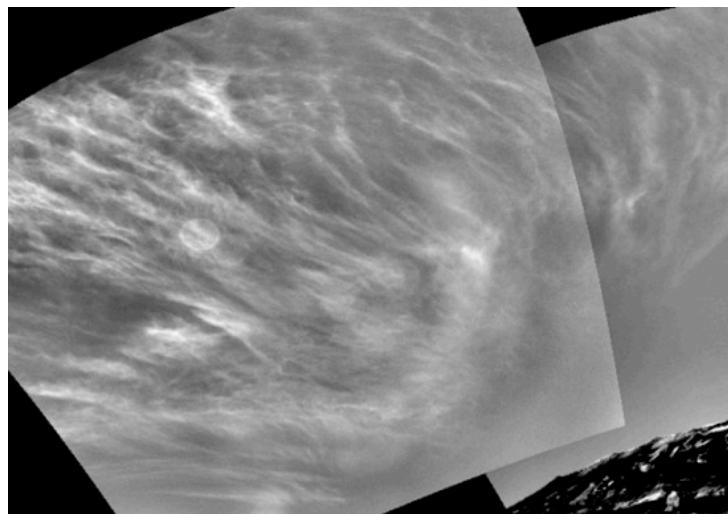
| | |
|-----------------|----------------|
| a) 太陽エネルギー入射の減少 | c) 火星自転軸の角度の変化 |
| b) 火山活動の減少 | d) 太陽までの距離の減少 |

12. 火星大気には水蒸気が非常に少ない一方、温室効果ガスとして大きな影響のある二酸化炭素は多くあります。（地球と同様に）火星大気中の温室効果ガス濃度を自然のはたらきとして増加させうるのは、次のどのプロセスでしょうか。

| | |
|------------|---------|
| a) 生命の不存在 | c) 火山噴火 |
| b) 物質の酸化作用 | d) 太陽風 |

13. 火星の空の写真から雲があることがわかります。地球の雲の分類に基づくと、図8中の雲の種類はどれですか。

- a) 積雲
- b) 層雲
- c) 乱層雲
- d) 卷雲



14. 火星大気中の酸素濃度は約0.15%であり、これは地球大気の濃度（約21%）に比べて非常に低くなっています。火星大気中で酸素濃度が低いことの最も有力な説明は次のどれでしょうか。

- a) 生命の不存在
- b) 物質の酸化作用
- c) 火山噴火
- d) 太陽風

15. 図9は火星と地球の気温の鉛直構造

（気温の高度変化）を表しています。
地球と火星の温度構造はどちらに一致しますか。

- a) Aが地球大気、Bが火星大気
- b) Bが地球大気、Aが火星大気
- c) AとBはどちらも地球大気の異なる場合を示しうる
- d) AとBはどちらも火星大気の異なる場合を示しうる

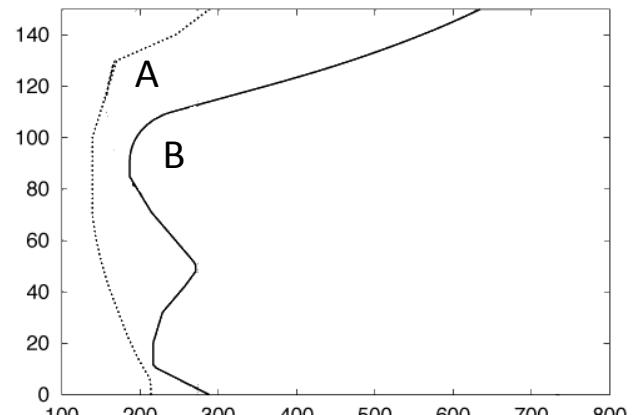


図9 二つの惑星の大気の温度構造
横軸は温度(K)、縦軸は高度(km)

16. 火星には地球と同じように季節（春夏秋冬）があります。次のどのプロセスが火星に季節が存在することについて最も適切な説明でしょうか。

- a) 楕円率
- b) 太陽までの距離
- c) 自転軸の角度
- d) 歳差運動
- e) 2つの月の存在
- f) 一年の長さ

17. キュリオシティ搭載の気象観測機器は紫外線放射を測定します。初めて明らかになった結果によると、地表面での紫外線放射は、地球の地表面と比べ大きな値でした。この結果を基に、地球大気と比べて火星大気についてどんなことが推論できますか。
- a) 5倍の厚さ
 - b) 磁場が無い
 - c) 窒素が少ない
 - d) オゾンが少ない
 - e) 10分の1の厚さ
18. キュリオシティは、地球以外の岩石の絶対年代を測定できる初めての探査車です。一方、これまでの惑星探査においても、岩石の相対年代を求めるために、惑星地質学者は岩石構造の観察結果や地質学の基本原理を用いてきました。火星や地球で相対年代決定のために使える地質学の基本原理を選びなさい。
- a) 放射性元素の崩壊
 - b) 原初垂直性
 - c) 冷却率
 - d) 地層累重の法則
 - e) 交差切りの関係
 - f) 宇宙線
19. 一般的に、惑星地質学者はどちらの物質が新しく、どちらが古いかを判断するのに交差切りの関係を用いています。図10に見られる地形区分を古いものから新しいものに順に並べると、どのような順番になりますか。
- a) A-B-C
 - b) C-B-A
 - c) A-C-B
 - d) B-C-A
 - e) C-A-B
 - f) B-A-C

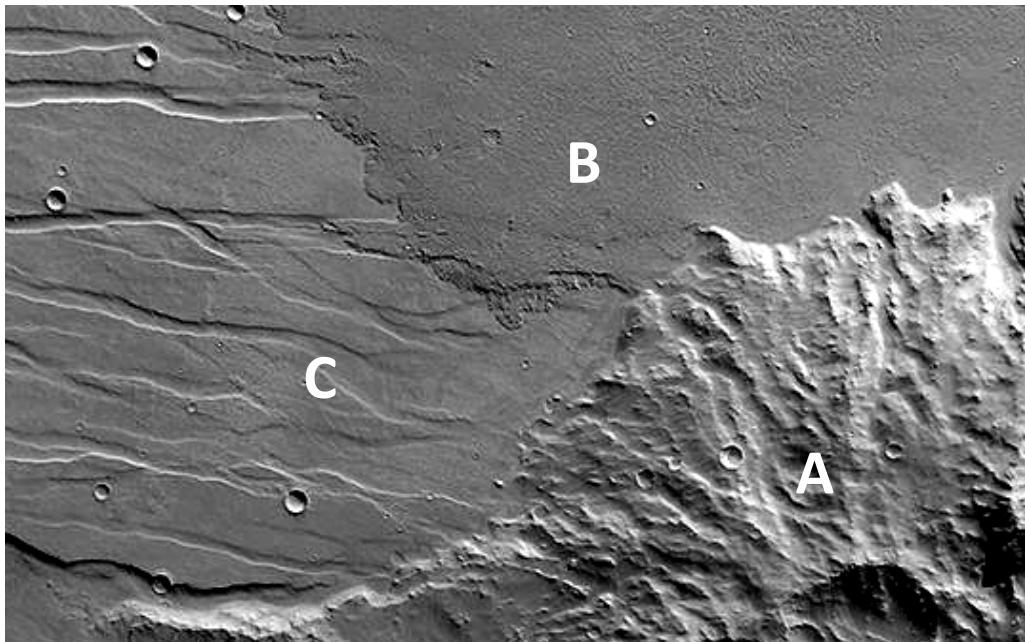


図10 Claritas Fossae. HRSC/MEx/ESA 提供

20. 岩石露頭は直近の環境に関する重要な情報を提供してくれます。図 11 に見られる地形の成因として最も適切なものはどれですか。写真中に写っている探査車の左前輪の幅は約 50cm であることを考慮しなさい。

- | | | |
|----------|------------|------------|
| a) 断層 | c) 氷河による侵食 | e) 乾燥による亀裂 |
| b) 多角形地形 | d) 河川による侵食 | f) 変成劈開 |

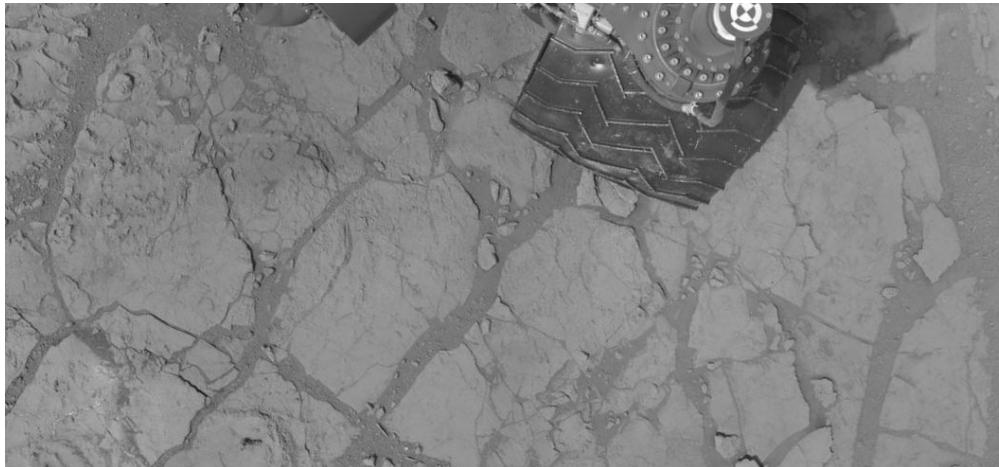


図 11 ゲール・クレーター MSL/JPL/NASA 提供

21. もし火星にプレートテクトニクスが存在するとしたら、火星の表面に認められると予想される地形は次のうちのどれですか。

- | | |
|---------------|---------------|
| a) 山脈 | d) 断層が存在しないこと |
| b) 古いテレーン | e) 火山帶 |
| c) 細長い沈降帯（地溝） | |

22. 火星の内部構造をより詳しく知るために、将来の探査計画には地震計が用いられるでしょう。ところで、波長がそれぞれ 5km、50km、500km で周期が 1 秒、10 秒、100 秒の 3 つの地震波を検出したとします。この地震波の伝播速度はいくらですか。

- | | | |
|-------------|-------------|------------|
| a) 2.5 km/h | d) 2.5 m/h | g) 5 km/s |
| b) 5 km/h | e) 5 m/s | h) 10 km/s |
| c) 10 km/h | f) 2.5 km/s | |

23. タルシス山とエリシウム山は火星にある 2 つの巨大な火山で、その直径はいずれも 2000km を超えています。火星にプレートテクトニクスの証拠はないので、このような巨大な火山領域が存在する説明として適当なものはどの作用ですか。

- | | | |
|------------|-------------|--------|
| a) 衝突クレーター | d) 底盤 | g) 太陽風 |
| b) ホットスポット | e) ダイアピル | |
| c) 沈み込み作用 | f) マグマの結晶作用 | |

24. 火星のいくつかの火山は約 3 億 5000 万年前に噴出しました。この時期、地球はどの地質時代でしたか。

- | | | |
|-------------|-------------|-----------|
| a) デボン紀後期 | d) 石炭紀後期 | g) ジュラ紀後期 |
| b) 三疊紀中期 | e) カンブリア紀中期 | h) シルル紀中期 |
| c) カンブリア紀前期 | f) 白亜紀前期 | i) 完新世前期 |

25. これまでの探査車のいずれもが、過去に火星の海底であった地点に着陸しても、火星で化石やその他の生物の証拠を見つけていません。地球の場合、過去の海洋に生命が存在していた証拠となるものはどれですか。

- | | | |
|-----------|-------------|-------------|
| a) ベレムナイト | d) ハイペリオン | g) ティラノサウルス |
| b) ロボク | e) マンモス | h) ウミユリ |
| c) ウマ類 | f) ストロマトライト | i) フウインボク |

26. 火星表面の探査中、キュリオシティは科学者チームが隕石だと解釈したこの石を撮影しました（図 12）。起源として最も適切なものはどれですか。

- | | |
|-----------|---------|
| a) 月 | e) 水星 |
| b) 地球 | f) 木星 |
| c) 小惑星帯 | g) 太陽 |
| d) オールトの雲 | h) タイタン |



図 12 ゲール・クレータ
MSL/JPL/NASA 提供

27. 火星では探査車の位置や軌跡を知るためにコンパスや全地球測位システム(GPS)を使うことはできないので、技術者達は位置や軌跡を知るために星の位置を用いています。火星の空で主たる星は太陽で、距離は 1.5AU です。また地球での太陽の視直径は 0.5° です。火星での太陽の視直径はいくらですか。

- | | | |
|----------|----------|------------------|
| a) $40'$ | d) $10'$ | g) 0.4° |
| b) $30'$ | e) $5'$ | h) 0.5° |
| c) $20'$ | f) $1'$ | i) 0.6° |

次の文章を読み、図 13 を注意深く調べなさい。

「科学者達は NASA の火星探査車キュリオシティに搭載した、化学組成分析と写真撮影ができる装置(ChemCam)を使って、2014 年 6 月に火星の石「shell」を調査しました。この対象物は約 1 インチ (2~3cm) の大きさで、細粒の基盤の中にあり、内部はダストが詰まった空洞になっています。この図（図 13）は、「Winnipesaukee」と名付けられた対象物の画像と、直線にならんだ測定点でのこの岩石、周辺の基質、空洞を充填している物質の、ChemCam のレーザー分光分析結果を組み合わせたものです。」

（制作：NASA/JPL-Caltech/LANL/CNES/IRAP/LPGNantes/CNRS/IAS/MSSS）

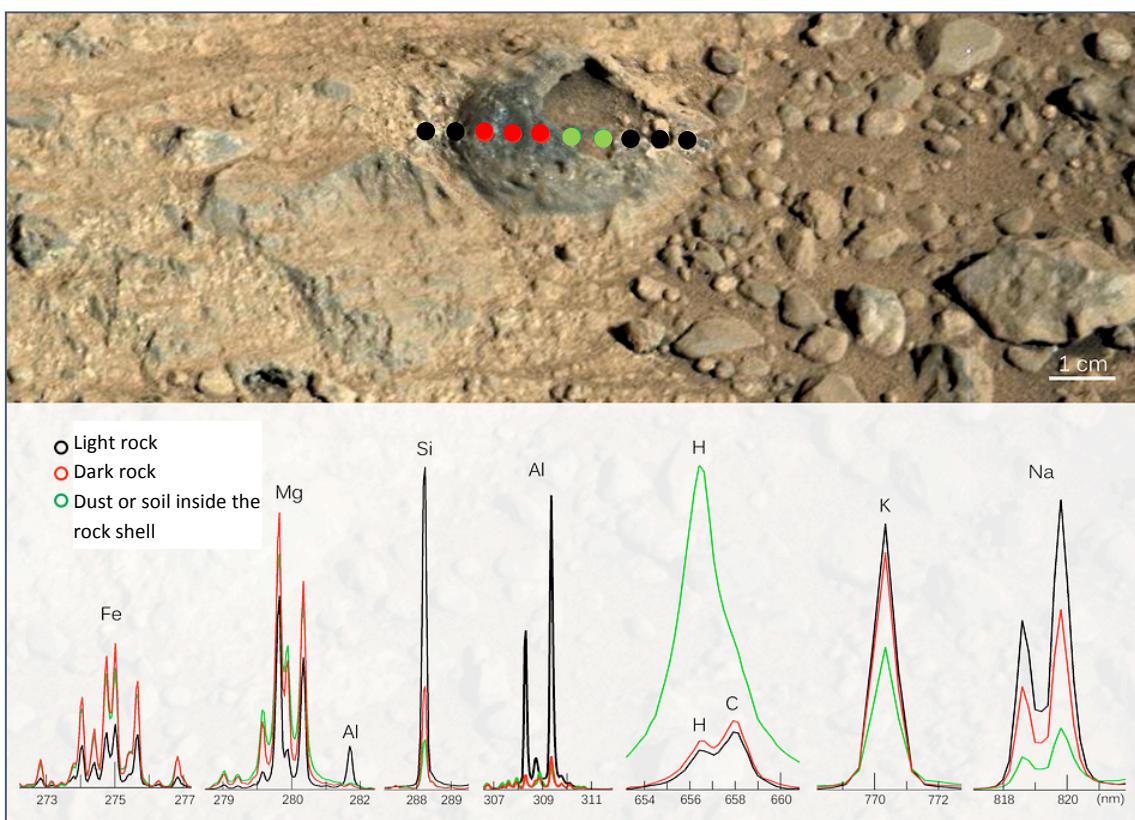


図 13. ChemCam の画像と解析結果. 制作: NASA/JPL-Caltech/LANL/CNES/IRAP/LPGNantes/CNRS/IAS/MSSS.

28. Mg と Fe を高濃度で含み、画像に見られるように暗い色を呈するのは、地球ではどの岩石ですか。

- | | |
|--------|---------|
| a) 玄武岩 | e) 花こう岩 |
| b) 黒雲母 | f) 斑れい岩 |
| c) 碉岩 | g) 片麻岩 |
| d) 粘土 | h) 砂岩 |

(11 ページのあとがきは省略)