

# The planetary police

## 太陽系の微生物往来を取り締まる

Eric Hand Nature Vol.459(308)/21 May 2009

火星探査などで要注意なのは、地球の微生物を誤って火星に持ち込んでしまうことだ。興味ある場所に自由に宇宙船を送り込んで調査できるよう、惑星科学者は新しい滅菌法を模索している。

1975年に相次いで火星に送り込まれたバイキング1号と2号の着陸船には、徹底的な滅菌処理が施された。火星の土に微生物がいる可能性が少しでもある中で、ケープカナベラルの発射台から小さな密航者を運んでしまうような失態があってはならないからだ。米国航空宇宙局(NASA)の元の惑星保護官であるJohn Rummelは「火星まで行ってフロリダの微生物を観察したら、しゃれにもなりませんから」と笑う。

しかし、バイキングの徹底的な滅菌措置は、結果的には不要だった。バイキングが見た火星は、冷たく乾燥した、死の惑星だったからである。その結果、地球の微生物を火星に持ち込まず、逆に火星の微生物を地球に持ち込まないための惑星保護規則は、緩和されることになった。その後の火星着陸船は、クリーンルームで建造され、アルコールで拭き清められたが、全体を焼いて滅菌するところまでは求められなかった。

ところが技術者たちは今、再びバイキング並みの徹底的な滅菌措置の必要性に迫られている。NASAの宇宙船の多くを建造しているジェット推進研究所(米国カリフォルニア州パサデナ)の科学者たちは、今年、高温で焼く滅菌法の代わりに、低温の過酸化水素蒸気を用いた第2の滅菌法の導入を推奨する文書をNASAに提出する予定だ。このプロトコルが採用されれば、技術者たちはより簡単に、完全に滅菌された宇宙船を設計・管理していくこと

地球上の極限環境微生物	
高温の温泉からヒマラヤの氷河、さらには原子炉の中まで、地球上のあらゆる場所で生物が発見されている。こうした極限環境微生物は、火星に生命がいる可能性を高めると同時に、惑星保護を困難にしている。	
性質	例
高温 (好熱性生物)	古細菌株 121 (121°C)
低温 (好冷性生物)	ヒマラヤのユスリカ (-18°C)
高 pH (好アルカリ性生物)	<i>Alkaliphilus transvaalensis</i> (pH 12.5)
低 pH (好酸性生物)	<i>Ferroplasma acidarmanus</i> (pH 0)
高塩分濃度 (好塩性生物)	ハロバクテリウム科の細菌 (海水の10倍の濃度の飽和溶液)
低酸素 (嫌気性生物)	メタン生成菌
乾燥 (好乾性生物)	地衣類、シアノバクテリア
放射線 (放射線耐性生物)	<i>Deinococcus radiodurans</i> (ヒトの致死量の1,000倍の放射線量に耐えられる)
高圧 (好圧性生物)	絶対好圧菌株 MT41 (1,000気圧)
真空耐性	緩歩動物 (クマムシ)、昆虫、種子
長寿命	2億5000万年前の塩の結晶から分離された細菌

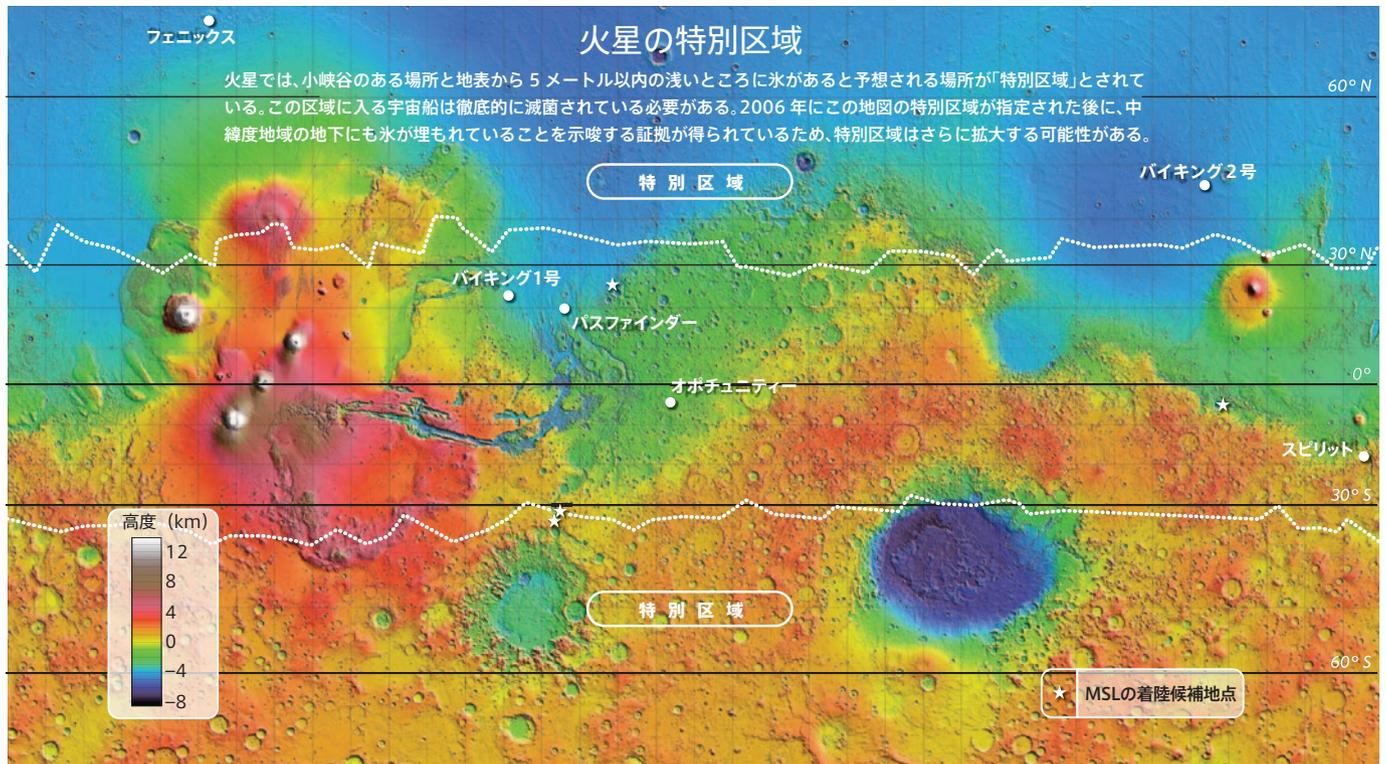
が可能になる。NASAの現在の惑星保護官であるCatharine Conleyは「今後の惑星探査計画のことを考えて、簡単に滅菌できるようにしたい」と語る。

### しぶとい微生物に要注意

ここ数十年の間に、地球上でおそろしく丈夫な微生物が次々と発見され(「地球上の極限環境微生物」参照)、また火星では、多くの場所で水が発見されている。つまり、地球上の微生物と同じようにしぶとい

微生物が、火星のどこか、おそらくは水分が残っている地中に生息している可能性がますます高まってきた。実際、米国研究会議(NRC)は今年5月に出した報告書の中で、「火星の岩石サンプルを地球に持ち帰ろうとするなら、最高のセキュリティシステムを備えた最新の生物学的封じ込め施設に保管して、どんなものも逃げ出す可能性がないようにする必要がある」と再確認している。

惑星保護のための取り組みの大半は、



地球の微生物が、将来、太陽系のほかの天体を汚染する可能性に対して策定されている。宇宙空間研究委員会（COSPAR）は、宇宙船の滅菌に関する国際的なガイドラインを定めるにあたり、宇宙生物学者が関心をもっていない天体への接近飛行から、ほかの天体から採取したサンプルの地球への持ち帰りまで、ミッションを大きく5つに分類した。さらに、火星や、氷で覆われた海をもつ木星の衛星エウロパなど、強い関心が寄せられている天体へのミッションについては、より細かい分類がなされた。その上で、各グループのミッションに従事する宇宙船に許容される汚染レベルを、「80°Cの熱に15分間さらされた後に培養される孢子の個数」という形で厳しく定義した。

このような厳しい規制に対する抵抗感は、基本的に科学者の間にはみられない。道具がクリーンになるほど、より正確な測定が可能になるからだ。しかし技術者は

別で、コストと複雑さゆえに、完全な滅菌には消極的である。例えばバイキング1号と2号のミッションには、当時の金額にして総額8億米ドル（800億円）の費用がかかったが、焼いて滅菌する費用は実にその10%、現在の金額にして約3億2000万米ドル（320億円）かかったのである。そこで彼らは滅菌の優先順位をつけ、地球以外の天体の表面と接触する可能性のある装置のみを滅菌する方法を選んだわけだ。

例えば2008年夏に火星の北極地方に広がる平野の付近に着陸したNASAの宇宙船フェニックスは、移動の間、滅菌されたロボットアームとスコップを「バイオバッグ」の中に格納していた。これは、火星の表土を削り取って氷を探す際に、地球の微生物を置いてきてしまう可能性を最小限に抑えるためである。しかし、着陸船が降り立った地点では、着陸時に逆推進ロケットが数ミリメートルの氷を露出させた。そ

のため一部の研究者は、氷の上を覆っていた表土中の潮解性の塩が、着陸時にまき上げられ、塩水の液滴がフェニックスの脚に付着したかもしれないと指摘する<sup>1</sup>。着陸船に地球の微生物が付着していた場合、彼らはこの環境を比較的快適なものと感じるであろう。

「着陸船の脚は滅菌しておいてほしかった」とConleyは言う。しかしフェニックスは、ロボットアームだけを滅菌すればよいと判断され、クリーンであると認められたのであった。

### 「火星の特別区域」は特別扱い

火星の「特別区域」への着陸を予定する宇宙船は、すべて熱による滅菌を必要とする。特別区域とは、表面付近に氷または水があると考えられ、地球からきた微生物が増殖できる程度の温度がある場所である。米国研究会議は、2006年に発表した報告書において、火星の多くの場所

で一時的に水が存在している可能性があることを考えると、それが科学的に否定されないかぎり、火星の全体を「特別区域」として扱うべきだと提案している。しかし、その提案はあまり浸透しなかった。「明らかに、科学コミュニティは火星全体を特別区域とすることを望まなかったのです」と Conley は指摘する。

同じ年に、火星研究者たちはモデルと火星周回機からのデータを用いて、表面付近に氷がありそうな区域と、そう遠くない過去に水があった可能性のある小峡谷を特定し、これらを「特別区域」に指定した。北緯 30 度から南緯 30 度までの地域は特別区域にはあたらないとされた<sup>2</sup> (地図参照)。しかしその後、中緯度地域でも、地中に埋もれた氷河<sup>3</sup>や、最近の小惑星の衝突によって削り取られた場所の小さな氷だまり<sup>4</sup>が発見され、特別区域の範囲は現在より広がる可能性がある。

2011 年の打ち上げをめざしている 23 億米ドル (2,300 億円) のマーズ・サイエンス・ラボラトリー (MSL) スーパーローバーは、放射性元素を熱源として利用する。そのため、表土のすぐ下に氷があるような場所で衝突や事故が起こると、長期間にわたって氷を溶かしてしまう可能性がある。このような理由から、ミッション・マネージャーたちは、特別区域の調査を回避することに決めた。浅いところに氷がなければ、汚染のおそれは小さくなるからだ。MSL はメタンなどの有機分子を検出することができるものの、技術的には生命探査ミッションとは考えられていない。生命探査ミッションにしてしまうと、徹底的な滅菌が必要とされ、装置を完全に焼かなければならないからである (Conley によると、フェニックスと MSL のミッション・マネージャーが、その目的を「生命探査」ではなく「居住可能性の調査」であると理由の 1 つは、厳しい要求を課されないようにするためだったという)。

探査機の着陸を指揮する技術者たちは、ほかの理由からも高緯度地域を避け

たがっており、MSL の着陸地点候補となっている 4 地点はいずれも赤道地域にある。けれども、地上を走行するローバーの前に思いがけないものが立ちはだかる可能性もある。例えば、熱水噴出孔や、地表に近いところに埋もれている氷だまりなどである。場合によっては、科学者たちは規則に従いローバーを引き上げざるをえないこともあるだろう。ジェット推進研究所の火星プログラムの惑星保護官である Karen Buxbaum は、「前進することが科学的に意義深い場合であっても、また望ましい場合であっても、引き上げなければならないのです」と言う。

科学者たちは、興味深い場所に踏み込むことなく、よりクリーンな探査機が到着するまで何年も待つことができるだろうか? 「その点については問題ないと思います」と、ブラウン大学 (米国ロードアイランド州プロビデンス) の地質学者で、NASA の火星探査諮問委員会の委員長である John Mustard は言う。「大雑把に観察すればよいと思っていたものが、詳細に解剖すべきものであることがわかったら、それにふさわしい器具が手に入るまで、踏み込んでいく意味はないからです」。

欧州宇宙機関 (ESA) が 2016 年に打ち上げようとしている火星宇宙生物学ローバー ExoMars は、バイキング以来、最も徹底的に滅菌された火星探査ミッションとなる予定である。ところが昨年、ESA は ExoMars も特別区域を避けて着陸させることを決定した。ESA の惑星保護官である Gerhard Kminek によれば、特別区域に着陸しないなら宇宙船の全体を焼く必要がなくなり、生命検出装置だけを滅菌すればよいからである。小峡谷などの地形がある区域は、たしかに興味深いが、その近くに ExoMars を着陸させることは困難だろうと彼は言う。「特別区域を避けることは、コスト面のみならず技術面からも現実的なのです」。

Rummel によると、科学者たちはすでに汚染の影響を受けやすい区域の探査を

自制しはじめているという。NASA のガリレオ探査機による木星探査ミッションの宇宙管制官たちは、2003 年、ガリレオの寿命が尽きる前に木星に落下処分した。探査機をそのままにしておくと、制御できなくなったときに、エウロパとその氷で覆われた海に衝突するおそれがあったからである。現在、イーストカロライナ大学沿岸科学政策研究所 (米国ノースカロライナ州グリーンビル) の所長である Rummel は、「エウロパを保護するために、ガリレオを殺す必要があったのです」と言う。

### 密航者を把握する

Conley らは今、地球から宇宙に出ていくすべての宇宙船にどんな生物が乗っているか、把握できるようにしたいと考えている。彼女は、惑星保護技術の現代化の一環として、宇宙船の汚染レベルの測定に新しい技術を導入しようとしている。数十年来とられてきたのは、細菌の数を数えることで、あらゆる種類の微生物の総数を指標として把握する方法だ。これに加えて、生化学的手法とポリメラーゼ連鎖反応法 (PCR) を用いることにより、微生物がいるとしたらどのような種類のものがあるのか、より具体的な目録を作成できるようにするのが目標である。この流れに沿った最近の研究から、宇宙船の組み立てを行うクリーンルームの表面に、数種類の古細菌がどのようにしがみついているかが明らかになった<sup>5</sup>。

今日の技術でも、科学的探査と惑星の保護が両立しえないことはない、と Conley は指摘する。「立入禁止の場所はないのです」と彼女は言う。「十分にクリーンに行けば、それでよいわけですね」。(三枝小夜子 訳)

1. Renno, N. O. et al. 40th Lunar Planet. Sci. Conf. www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2009/pdf/1440.pdf (2009).
2. Beaty, D. et al. *Astrobiology* **6**, 677.732 (2006).
3. Holt, J. W. et al. *Science* **322**, 1235.1238 (2008).
4. Byrne, S. et al. 40th Lunar Planet. Sci. Conf. www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2009/pdf/1831.pdf (2009).
5. Moissel, C. et al. *ISME J.* **2**, 115.119 (2008).