

# 火星複合探査計画 MELOS における着陸探査

○宮本英昭, 並木則行, 山岸明彦, 橘省吾, 石原吉明, 藤田和央, 鈴木宏二郎, 大山聖, 佐藤毅彦, 久保田考, 岡田達明, MELOS 火星着陸機検討グループ

## なぜ火星は赤いのか?

## 系として火星の理解を目指す

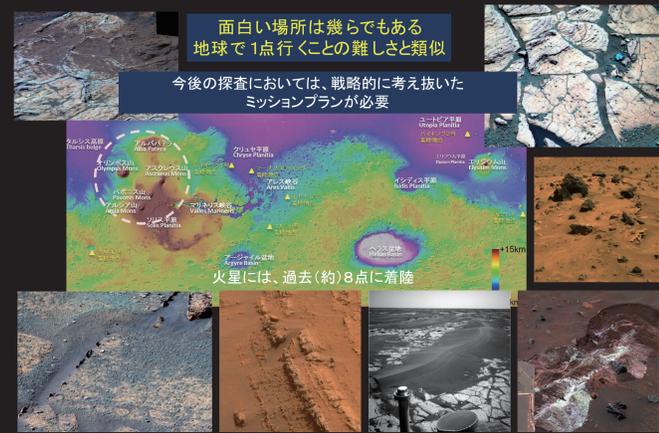
## 火星を知ることは地球を知ること

地球と類似した構造  
地球と類似した赤層プロセス  
地球と類似した生命?

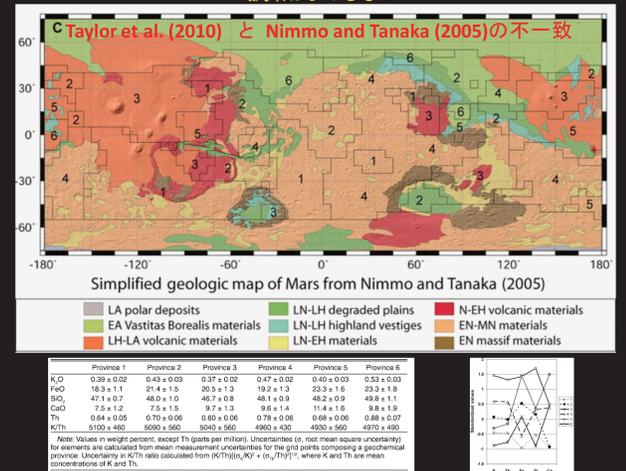
## 最近明らかにされた火星の面白さ

<b>地質の複雑性</b> 長時間にわたり複雑な地質進化	<b>大量の水</b> 長時間存在していたことが確実。生命の可能性。	<b>現在の氷</b> 水は地下に大量に存在し、今も水の果たす役割は大
<b>気候変動</b> 火星軌道の不確実性により、ごく最近も気候が変動する	<b>磁場</b> ダイナモ駆動の磁場が存在し、気候に影響を与えていた	<b>メタン</b> 特定の場所でメタン現在の活動で作られている
<b>現在の活動</b> 地表面は現在も変動しつつあり、大気と相互作用がみられる	<b>地殻厚の差</b> 単一プレートだが2分性	<b>Syrtis Major</b>

MELOS 着陸機検討グループでは、火星を探査する目的は地球をより深く理解するためである、という認識を持ちつつ、MELOS 計画としてどのような着陸探査が適正であるか検討を行った。諸外国の動向もあわせ、火星をシステムとして理解する方向性が望ましいとする結論に達し、具体的には表面地質探査、生命探査、空中探査、内部探査の4方向の案を検討した(その内容を下にまとめたが、詳しくは個々のポスターを参照されたい)。また一般向けの展示会も開催し、広く意見を集めた。ここで一般来館者に対し、アンケートを行った結果(有効回答率約1割)、生命探査がもっとも多い32%の票を集めたが、残りの案も22~17%を集め、大きな偏りはなかった。



地球化学的区分は、地質区分や年代と一致しない調和的でもない



## Plan A 表面探査

一火星探査ローバーを利用して、火星表面の地質調査を行う

火星生命探査と環境変動  
火星における最初の生物探査はバイキング計画によって実施され、現在では火星表面は生命にとって非常に過酷な環境であることが明らかにされている。科学的に重要な、かつ独自性の高い戦略を考えるためには、生命探査に限らず、火星の科学全体に視野を広げるべきである。とりわけ、過去の火星は温暖湿潤な環境であったのかそれとも現在のような寒冷乾燥な環境であったのかという気候進化の問題は生命探査のみならず地球環境の視点からも重要である。そこでここでは、火星探査用移動ロボット(探査ローバー)を利用して、火星表面の地質調査を行うことを提案する。具体的な探査目標としては、以下が挙げられる。

堆積岩調査  
堆積岩とは、堆積物が累積し続成作用を受け固結することのできる岩石である。火星においても堆積岩は報告されている。例えば、ピクトリア・クレーターの壁面の露頭では、みことな斜交層理が発達した砂丘堆積物が観察できる。水が長期間存在していたとすると、生命が持続的に存在可能だったかもしれない。したがって堆積岩中に有機物として生命の痕跡が保存されている可能性がある。火星の気候進化過程を解明するためには、二酸化炭素や水の行方、および表層の酸化還元状態や酸性度といった表層環境の変遷を明らかにする必要がある。

火山岩調査  
火星の気候進化過程を理解するためには、表層環境の変遷を明らかにするだけでは不十分である。火星大気は火星内部からの脱ガスに強く影響され、表層と火星内部の酸化還元状態は強く結び付いている。火星気候進化を解明するためには気候システムそのもの理解に加えて、システムへの流入・流出をコントロールする火成活動と散逸メカニズムの究明もまた重要である。火山岩から、地殻とマントルの温度圧力勾配・化学組成(揮発性成分を含む)・酸化還元状態といった物理化学的情報を明らかにし、火星気候進化と火山活動のリンクを明らかにすることができるかもしれない。

ロボット技術の必要性  
ローバーを使ったローカルな地質学は、火星全体のグローバル地質を俯瞰する視点と、サンプルの微視的観察をつなぐために必要不可欠である。軌道上からのリモートセンシング観測データは惑星全体をカバーしているため、火星環境が進化してきた歴史を大まかに理解することが出来る。一方、着陸地点ではローバーによって数kmの範囲を踏査しながら、数cmの解像度で表層物質を調査することで、サンプルの重要性が明らかになる。



## Plan B 生命探査

一火星探査ローバーを利用して、火星にいるかもしれない生命を直接探す

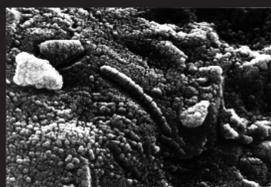
火星に生命がいるかもしれないというのは誰もが抱く夢である。しかし生命探査が科学研究として成立するためには、次の二つに対する答えが必要である。1. 火星に生命が存在しうるか? 2. それを検出することができるか? 両方の答えとも Yes と我々は考えている。

生命生存可能性  
地球に比べて火星は重力が小さく、気圧も低い。しかし、これらは生命の生存にとっては問題にならない。平均温度は低いが赤道付近では20℃になるので生存可能である。非常に強い紫外線が降り注ぎ、地球型の生物は瞬時に死滅する。しかし、数cmも地下にもくれば紫外線の影響はまったく無い。生命には水とエネルギーが必要であるが、火星にはまだ膨大な量の水が残されている。エネルギー源として火星にメタンが発見された。メタンをエネルギー源として利用できる微生物ならば、火星に十分生育可能である。そこで私たちは、火星でいまでも生き残っていると考えられる生命を、ローバーを用いて探し回り、確認するという探査を提案する。

生命検出法  
生命の検出には顕微鏡を用いる。顕微鏡でただ観察するだけでは専門家でも鉱物と微生物の区別はつかない。そこで、様々な蛍光色素を組み合わせて生命の定義に従って検出を行う。生命の定義として、1. 細胞が外界と特別されること、2. 複製すること、3. 代謝を行うこと、が知られている。まず、細胞を取り囲む膜があるかどうかを蛍光色素で見分ける。つぎに、遺伝物質を検出する。火星の微生物がDNAを遺伝物質として持っているかどうかは分からない。しかし、DNAと同じような構造を持つ遺伝物質をもつ可能性は十分ある。それを検出できる蛍光色素を用いる。最後に触媒を検出する。細胞内では何らかの化学反応が触媒しているはずである。触媒反応を検出できる蛍光色素を用いる。膜に囲まれて細胞が存在し、遺伝物質は複製に必要であり、代謝には反応の触媒が必要である。三つの条件がそろったとき、その微粒子は生命である可能性が高いと判断できる。

生命検出第2段階  
さて、その微粒子は本当に火星の生命であろうか。もし、生命らしき微粒子が見つかったら、第2段階の分析が必要になる。ここでは、アミノ酸を分析する。地球の生物は20種のアミノ酸を持っている。火星の微粒子を分析して、地球生物と異なるアミノ酸の組み合わせが検出されたとき、それはその微粒子が火星生命であることを意味している。

最後の疑問  
さてしかし、火星で生命は誕生したのであろうか。火星誕生初期には海も火山もあった。生命誕生の条件は整っていた。生命が誕生しているにもかかわらず、それを確かめるのが生命探査の目的である。



## Plan C 空中探査

一火星大気をかすめてサンプルを採り(MASC)、多様な火星を見る(FS-Lander, 飛行機)

火星は地球と同様に非常に多様な天体である。この多様性は地域的なものでなく、時間的にもあてはまる。つまり火星の表層環境は、大きく変動しつつ、場所により大きく異なる複雑な天体として深化してきたのだ。このような多様性に対し、従来のように限られた場所を詳しく調査するのではなく、大雑把であるかもしれないが一気に全体像をとらえようとする狙いを持って、いわば前人未踏型とも呼べる挑戦的な2種類の探査を行おうというのが、この提案である。

無着陸サンプルリターン(MASC—Mars Aeroflyby Sample Collection)  
着陸機に搭載できる機器で、複雑に風化を受けた堆積物を綿密に調査することは技術的に難しい。しかしもしサンプルを地球に持ち帰ることができれば、地上における最新鋭の研究設備を用いることで、非常に多くの情報を引き出すことが可能となる。火星からのサンプル取得は、火星科学を飛躍的に進歩させるための、最も重要なステップの一つと考えられているのだ。

しかしこれには技術的な障壁が高い。経験豊かなNASAやESAであっても、火星からのサンプルリターン探査は2020年代に行えるかどうか、検討している段階である。しかもこれがうまくいったとしても、ある地点における特定のサンプルを取得することになるため、上に述べたような多様性に対するような配慮ができるか、これがどれほど現実的に行えるかどうか、現段階では不透明な部分も多い。

本提案(火星無着陸サンプルリターン計画, MASC)は発想を転換し、最も難しい着陸・離陸をあきらめることで、遙かに簡単に、しかも世界で初めて火星のサンプルを取得しようとする野心的な計画である。具体的には、火星大気に飛行機を突入させて上空35-40kmに浮遊するダストおよび大気を回収し、そのまま地球帰還軌道に入りサンプルを持ち帰ろうというものである。

現在の火星の物質循環は地球ほど活発でないために、太古からの環境を保持したダストが採取できる可能性が高い。しかも全火星的に平均化した表面物質を一気に取得できるはずだ。採取したダスト試料と大気試料を地球で高精度分析をすることによって、かつての海や表層環境、生命活動の有無や、年代に関する詳細な情報が得られると期待される。また、大気は主成分、微量成分組成、希ガス同位体の精密な同定によって、近年の火成活動、生命活動の有無の検討や火星史にわたる大気進化への制約を与えることができると考えられる。このような表層環境変動に関わる情報は特に同位体比の変動に残され、それは地上での高精度分析によってのみ明らかにすることができる。サンプルリターンこそが火星表層環境変動の解明には重要である。

飛行探査(分散型着陸機・火星飛行機)  
火星は地球にも匹敵するような地域的な多様性を持つにもかかわらず、人類はこれまでに6点しか着陸探査に成功していない。しかも着陸の安全性を考慮して、高度が低く起伏が小さい場所が選ばれてきた。火星の多様性を正しく正面から把握するには、従来のこうした形の探査に加えて、何か革新的な手法で大雑把であっても全体像を知るための工夫が必要であろう。そのために私たちは、分散型着陸機(FS-Lander)と火星飛行機を提案する。

分散型着陸機(FS-Lander)は、これまでの探査の考えと完全に逆で、移動距離を完全にあきらめて、限られた機能しか持たない小型のプロブを開発する。しかしこれを大量に火星上にばらまくことで、火星の全体像を理解しようとするものである。普通の着陸機では着陸が難しい場所も含め、一挙に数十カ所に着陸・探査を行うことができるであろう。

もう一つの提案、火星飛行機は、意外に思われるかもしれないが理論的に実現可能である。火星には薄いながらも大気があるからだ。飛行機を飛ばすことができれば、観測衛星よりも高解像度で、かつ、ローバーよりも広範囲の地表観測を行うことができる。そのため将来的には、この技術は広く利用されていくに違いない。現段階の提案では、まず技術的実証に重きを置いて、たとえばローバーや観測衛星では観察しにくい深谷の崖(露頭)の観測や、広範囲・高解像度の磁場・重力場観測に特化した探査を行うことを計画している。

## Plan D 内部探査

一複数の着陸機を火星表面に降ろし、ネットワーク探査を行い内部構造を知る

これまでの火星探査は、基本的に生命探査を主眼としてきた。そのため水のありかを調べようとしてきた。そのため多くの火星着陸機が送り込まれているにもかかわらず、火星がどのような内部構造を持っているのか、よくわかっていない。

内部構造探査の意義  
火星がどのように形成され、そしてどのように進化し、現在の姿に至っているのかを知るためには、火星がどのような熱的な歴史をたどってきたのか、知る必要がある。このためには、火星の内部構造を知ることが必須である。また火星生命を見つけるためにも、内部構造を知ることが意外に近道かもしれない。たとえば現在の火星表面は、生命にとって有害な荷電粒子が降り注いでいるが、かつて火星に固有磁場が生じていた時期は、これは効率的に防がれていた。この磁場の存在時期を詳しく知るには、内部構造の大きさや組成を知る必要がある。というのも、固有磁場は火星の中心にある金属核のダイナモによって誘起されているからだ。つまり生命を維持できる環境が、火星の歴史の中でどこで、いつ、どれくらい保たれたのか知るためには、内部構造の知識が重要になるのだ。

内部構造探査  
そこで火星上に2機以上の着陸機を降ろし、少なくとも1火星年(およそ2地球年)にわたり多角的な地球物理学観測をおこなうことで、火星の内部構造を明らかにすることを提案する。具体的には、たとえばスイカを叩いて中身が詰まっているかを調べるように、超高性能な広帯域地震計で火星の自由振動を計測して内部構造を推定する。さらに卵を回転させて生卵か茹で卵かを判断するように、着陸機の位置を宇宙航法の技術で精密に測定して火星の回転変動を精密に計測して中心核の状態を推定する。そして種々の地球物理学的探査データを組み合わせることで、火星の内部構造を透視し、正確で信頼に足る火星の内部構造モデル(Preliminary Reference Interior Model on Mars: PRISM)を得ることを目標とする。

