

火星衛星サンプルリターン計画とその科学

倉本 圭 [1]; 火星衛星サンプルリターン計画科学検討チーム 倉本 圭 [2]
[1] 北大・理・宇宙; [2] -

Mars satellite(s) sample return mission and its sciences

Kiyoshi Kuramoto[1]; Kiyoshi Kuramoto Mars Satellite Sample Return mission science team[2]
[1] CosmoSciences, Hokkaido Univ.; [2] -

A Mars satellite(s) sample return mission has been rapidly crystallized as the next strategic middle class space science mission of ISAS. This mission is planned to approach the Mars system, not yet reached by our country, by extending the heritage of asteroid sample return missions that have brought a unique advantage to Japanese space exploration. Mars has been recognized as a main target of future Japanese space exploration because its Earth-like surface environment provides us irreplaceable research field for the origin and evolution of habitable environment in the solar system. The Mars satellite sample return mission has a position as a door for future successive Mars exploration programs to be promoted in our country.

Origin of the Mars satellites Phobos and Deimos is still an enigma. The available surface reflectance spectra of them are similar to those of D-type asteroids, suggesting their capture origin from the outermost population of the main asteroid belt. On the other hand, both bodies have near-circular orbits above the equator of Mars. Such an orbit is difficult to be explained by the capture origin, but favors the formation from a circum-planetary disk created by a giant impact. If the giant impact origin is the case, each satellite is expected to be composed from igneous rocks due to impact shock heating. However, the reflectance spectra lack any signatures supporting such composition.

Since the composition of building material of a satellite depends on its source and satellite formation mechanism, compositional analyses of samples originated from bed rock may clarify the satellite origin. If a satellite is captured asteroid origin, it can be regarded as a survivor of building blocks of Mars, allowing us to deduce cosmochemical constraints for the starting condition of Mars through sample analysis. If giant impact origin is correct, satellite material likely contains components not only from the impactor but also from the crust and mantle of proto-Mars, which would provide geochemical constraints for the initial condition of Mars evolution. Application of isotopic chronology would reveal the timing of satellite formation, which would shed light also on the large scale evolution of the early solar system. The inner satellite Phobos is possibly contaminated by ejecta from large impact craters on Mars. If such materials are picked up from the returned sample, they may provide geochemical constraints for the evolution of the Martian surface environment.

In-situ observations are also important to constrain the origin of both satellites. If abundant structural water and/or organics are identified on fresh outcrops or boulders, captured origin becomes very favorable. Since both satellites are trapped by Mars, they have been kept cold enough to possibly preserve abundant water ice in their interiors. The presence of ice is likely if they are captured asteroids originated from the outer main belt. Such an ice rich satellite possibly has density profile concentrated with depth and also releases a small flux of water vapor. Thus measurements of density and compositional profile and also those of gas density, composition and motion around the satellite orbit are clue to diagnose the internal ice. Those gas measurements may also reveal the influence of gas flux to the satellite surface material and also the outflow mechanism of the Martian upper atmosphere.

Observations of the Martian atmosphere from the vicinity of a satellite are also valuable. Successive full disk imaging from the equatorial orbit at multiple wavelengths may provide unique data to clarify the global transport of water vapor and dust in the Martian atmosphere.

This mission covers broad scientific areas and is significant as the step toward the successive future Mars missions. We hope that many researchers, especially of young generations, will participate this attractive mission.

宇宙科学研究所の次期戦略的中型科学探査として、火星衛星サンプルリターン計画が急速に具体化しつつある。この計画は、小惑星サンプルリターンという日本の太陽系探査科学の強みを伸ばしつつ、我が国では未踏の惑星火星に、ユニークなアプローチを試みる。地球に最も類似した表層環境を持つ火星は、生命保有可能環境の形成と進化に迫ることのできる格好の研究対象であり、我が国の将来の太陽圏探査の主目標天体の一つとみなすことができる。この火星衛星サンプルリターン探査は、将来的に我が国が独自の火星探査を展開してゆくための布石と位置付けられる。

火星の衛星フォボスとダイモスの起源は今のところ謎に包まれている。表面の反射スペクトルの特徴はD型小惑星に似ており、ここからは衛星の起源としてメインベルト外側に由来する小惑星の捕獲が支持される。他方、両衛星は火星赤道をほぼ円軌道で公転しており、このような軌道は一般に捕獲では説明しにくい。軌道を説明するには、地球の月同様に、火星への巨大衝突とそれによる放出破片円盤からの衛星集積のほうがより考えやすい。この場合は、衛星材料物質は高温を経験し、火成岩的な組成になることが期待される。しかしこれまでに獲得されている表面スペクトルにはそのような兆候は見いだされていない。

起源によって衛星の材料物質は異なるので、代表的なサンプルを持ち帰って組成分析を行えば、衛星の起源を解明できる。もしも衛星が捕獲小惑星起源であった場合、それは火星を作り得た材料物質の生き残りともみなすことができ、火星形成の宇宙化学的な境界条件について制約できると考えられる。反対に巨大衝突起源であった場合には、そこに衝突

天体だけでなく火星岩石圏の成分も混在していることが期待され、火星進化の地球化学的初期状態について制約できる可能性がある。またいずれの起源説であっても、同位体年代学を適用すれば、衛星形成のタイミングや、初期火星への物質輸送のタイムスケールが制約でき、木星など巨大惑星の大移動とそれによる小天体の散乱を伴ったとされる初期太陽系の構造進化に対して、一定の証拠を提示できる可能性がある。また特に内側を公転するフォボスには、火星上の衝突クレータからの放出物が混入している可能性があり、これらを選別して多角分析できれば、揮発性物質の同位体組成進化など、火星表層環境の変遷に迫ることも期待できる。

他方、両衛星への接近観測からも両衛星の起源に迫ることができる。新鮮な露頭や岩体について適切なりモートセンシング調査を行えば、例えば構造水や有機炭素の濃度が制約でき、これらがある程度の濃度で検出されれば捕獲説が有利になる。さらに両衛星は、火星重力圏に捕まり、近地球小惑星のように太陽に接近することなく、低温の状態に保持されている。したがって衛星が捕獲起源であれば内部に現在も氷が存在し、深部ほど質量集中した密度構造を持つと同時に、いまなお微量の水蒸気を放出している可能性がある。重力や電磁波探査から衛星内部の密度分布を制約することに加え、衛星周辺空間でのガスの濃度、組成、運動などを測定することで、衛星内部の水の有無に手がかりを得ることができる。一方、こうしたデータは、衛星表面物質の外来ガス成分による改質や、火星大気の流出を捉える意味でも有益と考えられる。

両衛星が火星赤道を公転することから、衛星軌道からの火星大気観測も有益である。従来の火星探査機の多くは極軌道を取っており、全球像を得ることが難しかった。赤道軌道から火星フルディスク画像を連続的に得ることで、地方時に依存したダストや水の循環過程の解明が期待できる。火星大気の流出に迫るデータの取得と併せて、これを火星大気進化の駆動機構として位置付ける視点が、この探査計画を有機的なものとするために重要であろう。

現時点では、科学目標とシステム要求のすり合わせが開始されたところであり、機体・機器の構成や探査シナリオには自由度が残されている。ちなみに、火星衛星を目指した探査計画には、ロシアと旧ソ連による複数のフォボス探査の試みがあったが、いずれも失敗に終わってきた。いまのところ火星衛星のサンプルリターン探査を目指す計画が現実性を持っているのは我が国のみである。この計画は幅広い分野の研究者が集うことのできる魅力を持っており、またその先の火星探査の先鞭としての役割も大きい。ぜひ多くの方々、特に若手の参入をお願いしたい。