

国際宇宙探査と連携した戦略的火星探査

① ビジョンの概要

本提案は、国際協働により人類のフロンティア拡大が格段に進む今後約 20 年を見据えて、MMX、MIM(学術研究構想提案)、本格着陸探査の 3 つの火星探査計画を戦略的に連続実施することにより、水の起源・分布・進化、そして生命環境に着目した独自の科学成果を挙げるとともに、有人探査の本格化に向けて強みとなる、高精度着陸や高斜面走破性ローバー技術を獲得する「火星戦略的探査」に関する中長期研究戦略である。

② ビジョンの内容

アルテミス計画に象徴されるように、これからの 20-30 年間は、国際協働により月から火星へ人類のフロンティア拡大が格段に進もうとしている。世界各国が火星探査を計画・実施しており、科学分野では、欧米は今後 15 年程度、太古の火星環境や生命を調べる火星サンプルリターンという超大型計画に集中する見込みである。こうした動きに対して、日本は火星周回への軌道投入、軌道間輸送、重力天体への着陸・踏査の実績に乏しく、十分に参画できていないのが現状である。こうした現状を打破し、段階を踏んで独自の科学および技術実証探査を実施することで、2040 年代の火星有人探査時代の科学探査や人類活動において、我が国が国際的に主要な役割を担うことは、科学外交や安全保障の観点からも重要であると考えられている。本ビジョンは、そのために重要となる今後約 15 年間の間に戦略的に火星探査を実施するための具体的な構想を示すものである。科学的には、火星サンプルリターン計画が太古の火星に注目しているのに対し、国際的に手薄になっている現在の火星での水に関する循環、環境、化学、そして現存生命の探査といった重要な課題に、国際宇宙探査の機会も活かした独自の科学探査の実現によって取り組む構想となっている。水の起源・分布・進化、そして生命環境に着目した独自の科学成果を挙げるとともに、火星有人探査の本格化に向けても強みとなる、高緯度地域へのピンポイント着陸技術や踏破性能の高いローバー技術を獲得する構想となっている。

③ 学術研究構想の名称

戦略的火星探査：国際宇宙探査と連動した火星宇宙天気・気候・水環境探査(MIM)計画

④ 学術研究構想の概要

本計画の目的は、生命生存可能(ハビタブル)惑星成立の条件は何なのか、という人類の根源的な問いに対し、国際協働による火星探査によって挑むことにある。火星は、過去にハビタブルな環境を保持し進化の過程でそれを失った太陽系内天体として、今後の太陽系探査の中で国際的にも重要な探査対象である。火星には、生命活動に重要な役割を果たした可能性のある過去の海洋水が、現在でも凍土や含水鉱物として地下に存在している可能性がある。すなわち、地下水圏、大気圏、宇宙環境の相互作用の帰結としての水環境進化を実証的に調べるので

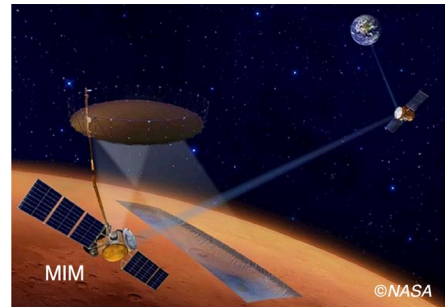


図1 国際 Mars Ice Mapper 計画の概要(NASA 提供)。

ることができる惑星であり、本計画では、水の貯蔵と散逸過程に着目し「惑星大気進化に重要な大気上下結合、宇宙環境影響の理解」と「地下浅部を含めた H₂O の動態と揮発性物質の起源の制約」を目指した探査を実施し、ハビタブル惑星環境の持続性の理解に貢献する。この目的実現のため、国際 Mars Ice Mapper (MIM) 計画において、周回機に搭載する 2 つの科学機器パッケージと小型着陸実証機を担当することを計画している。

学術の中長期研究戦略「国際宇宙探査と連携した戦略的火星探査」の中で本計画は、工学的には次の本格着陸探査に向けた探査技術実証を達成するという目的も持つ。国際宇宙探査と連携した戦略的火星探査の重要なステップとして位置づけられており、我が国の宇宙基本計画の太陽系探査のプログラム化の方針とも合致している。マスタープラン 2020 で採択された MACO 計画を発展させ、アルテミス計画の火星有人探査に向けた重要な事前探査である国際 MIM 計画との相乗効果を目指した提案となっており、宇宙放射線環境や表層・地下浅部水環境など、将来探査に不可欠な知見を提供することで、人類の活動域拡大にも貢献する。

⑤ 学術的な意義

ハビタブル惑星成立の条件は何なのか。この人類の根源的な問いに対し、今後の太陽系探査において、太陽系におけるハビタブル環境の形成と進化の探求が重要な科学目標となっている。その中で火星は、過去に

ハビタブルな環境を保持し、進化の過程でそれを失った地球外太陽系天体として、ハビタブル環境の持続性を調べるために国際的にも重要な探査対象となっている。火星がハビタブル環境を失った際の大規模な気候変動を引き起こすには、多量の水と CO₂ 大気が地下に貯蔵もしくは宇宙空間に流出して表層環境から取り除かれる必要がある。その中で、過去の激しく変動する太陽条件下での宇宙空間への水や大気の散逸機構の解明が、喫緊の要請となっている。また、アルテミス計画など国際宇宙探査が活発化する中、火星の放射線環境や気象の理解が人類のフロンティア拡大の関連から重要課題となっている。一方で、将来の有人探査に向けた事前探査としての MIM 計画の達成目標は、基地の候補地となりうる中低緯度域の表層から深さ 10m 以内に存在する氷床のマッピングであり、そのための主要搭載機器は合成開口レーダー(SAR)、衛星軌道は高度約 300km の太陽同期低軌道で高軌道傾斜角に設定されている。こうした軌道と SAR の特性を活かして、科学と探査の相乗効果を高めるため、本計画では、水の貯蔵と散逸過程に着目し「惑星大気進化に重要な大気上下結合、宇宙環境影響の理解」と「地下浅部を含めた H₂O の動態と揮発性物質の起源の制約」に着目した科学観測を実施し、ハビタブル惑星環境の持続性の理解に貢献することを目指している。

多数の系外惑星が発見される中、本計画で得られる知見は、系外惑星がどのような大気と表層環境を持ちうるか（ハビタブル環境を持つか否か）を推定する知的基盤を提供する。また、本計画で実現する宇宙放射線環境や表層・地下浅部水環境の把握は、将来の着陸探査や国際協働による火星有人探査に不可欠な知見を提供する。さらに工学的には、重力天体突入・降下・着陸に関する着陸探査に向けた航空宇宙工学、ロボット工学等の幅広い発展が促され、総合的な技術の体系的な獲得が可能となる。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

今後の太陽系探査において、太陽系におけるハビタブル環境の形成と進化の探求が重要な科学目標となっている。その中で火星は、国際的にも重要な探査対象になっている。国際協働による火星サンプルリターンや有人探査が計画され、人類の活動域が火星圏に広がろうとしている現在、そこで日本が主導的な役割を果たすためにも、太陽の影響を受ける大気と浅部の地下環境の共進化過程に着目した我が国独自の火星戦略探査の実施が喫緊の要請である。本計画は、JAXA の火星タスクフォース報告書にて、MMX 計画に続く重要なステップとして位置づけられていたマスタープラン 2020 の MACO 計画（計画番号 96 学術領域番号 24-2）を、国際宇宙探査の中で親和性の高い MIM 計画と連携する形で発展させた計画である。また、太陽地球惑星圏研究領域の工程表(SGEPSS)と惑星科学／太陽系科学研究領域の工程表(日本惑星科学会)に記載され、日本学術会議の地球惑星科学分野における科学・夢ロードマップ 2020 の重点課題のうち、「生命をはぐくむ環境の普遍的理解」と「太陽地球・惑星系の理解と普遍化」の両方にまたがる分野横断的探査計画となっている。

⑦ 社会的価値

宇宙科学・探査は、知的資産を創出し人類の活動領域を宇宙に拡大するものであり、はやぶさ2などの我が国独自の探査の実施により、国民の期待と理解が高まっている。その中で、ハビタブル環境の持続性を探る我が国独自の火星探査の実施は、学術的な意義だけでなく、STEM 教育に有用な題材を提供できる。また、科学成果創出、技術実証を通じ、理工学の幅広い分野で人材育成が見込まれる。本計画で得られる宇宙放射線環境や地表からアクセス可能な地下浅部帯水層の分布は、将来の有人探査にも重要な知見である。2040 年代の火星有人探査時代の科学探査や人類活動において我が国が国際的に主要な役割を担うことは、科学外交や安全保障の観点からも重要であり、本計画はそのための火星戦略探査ビジョンの第 2 ステップである。重力天体への探査技術実証には、高度な総合工学技術が要求されるため、宇宙用ロボットの防災・減災への応用など、多様な産業シーズを包含しており、SDGs にも貢献可能である。経済的・産業的な観点からは、小型・低コストシステムによる火星へ高精度着陸技術を獲得することにより、民間企業参加の促進が期待される。

⑧ 実施計画等について

本計画は、国際協働により行う火星探査計画となっており、スケジュール詳細は国際調整中であるが、2030 年度(2031 年初頭)の探査機打ち上げを目指している。日本担当分は JAXA(宇宙航空研究開発機構)が実施主体であり、科学検討や搭載機器開発等には、国内外研究機関から約 90 名(学生を除く)の研究者が参画している。総経費：380 億円 ※ただし、予算規模は一例であり、日本の貢献規模については複数の解を検討中である。

⑨ 連絡先

関 華奈子（東京大学大学院理学系研究科）