

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 後に EDL 工学実証(STEP1)、本学術研究構想提案(STEP2)、本格着陸探査(STEP3)の3つの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・進化と生命環境に着目した独自の科学成果を挙げるとともに、高精度着陸や高斜面走破性ローバ技術を獲得する「戦略的火星探査」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、今後 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・実施する中、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。2026 年に打ち上げ予定の火星衛星探査計画 MMX は、水の起源と供給過程を明らかにするとともに火星圏への往還技術などの獲得を目指しており、我が国の火星圏探査への本格的な参画の端緒となると期待されている。本ビジョンは、MMX の先の火星本星の本格的着陸探査を見据え、そのために重要となる今後約 15 年間に戦略的に火星探査を実施するための具体的な構想であり、国際的に手薄な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う重要な課題に、国際宇宙探査の機会も活かした独自の科学探査で取り組む。

具体的には、ここで提案する戦略的火星探査は、3つの探査計画を連続して実施する3ステップ構想である(図1)。第1ステップは、我が国独自のエアロシェル技術による小型着陸実証機であり、小型軽量機器による理学観測の実績を積むことも重要な要素である。第2ステップは、今回学術研究構想として提案する「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: Mars Ice Mapper)計画」である。MIM計画は、NASA、CSA、JAXA、ASI等の宇宙機関が協力して科学と探査のシナジーを目指した火星探査計画(<https://www.isas.jaxa.jp/topics/002581.html>)として検討が進んでいたが、昨今の国際情勢の変化もあり、実施形態としては日本主導もしくは別の形態の国際協力の形も選択肢となっている。MIM計画では、科学的にはハビタブル環境の持続性の理解に向けた火星宇宙天気・気候・水環境の科学観測を実施し、水の分布・輸送・散逸に焦点をあてて明らかにするとともに、第3ステップに向けた目標点への高精度着陸実現のための技術実証を行う。さらに第3ステップでは、月探査技術なども活かし、高緯度地域への高精度着陸技術や踏破性能の高いローバ技術を獲得し、地下水圏と生命指標探査により現在の火星がハビタブルかどうかの解明を主目的にしており、生命が現存する可能性のある地点をターゲットとした独自の科学探査を展開する構想となっている。

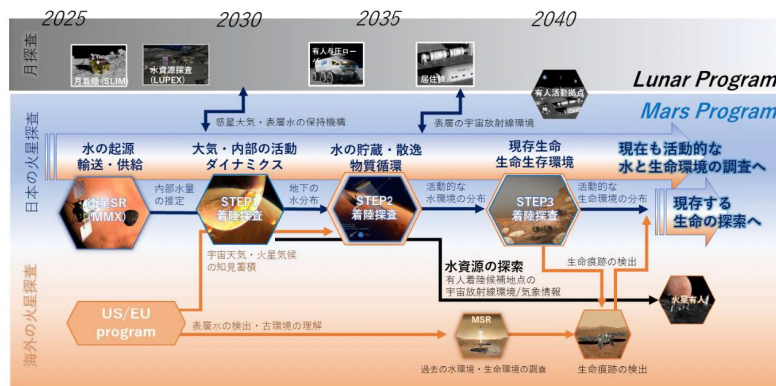


図1 3STEP 火星着陸探査プログラムの位置づけと科学目標(JAXAによる日本の国際宇宙探査シナリオ案 2025 より引用)

③ 学術研究構想の名称

戦略的火星探査：国際宇宙探査と連携した火星宇宙天気・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。かつてハビタブル環境を持っていた火星には、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「浅部地下を含めた H₂O の動

態と揮発性物質の起源を制約」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、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。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。本戦略の前身（未来の学術振興構想 2023 年版戦略 No. 149）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を目指した提案となっており、宇宙放射線環境や表層・浅部地下水環境など、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

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問いに対し、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となっている。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天体であり、その大規模な気候変動を理解するためには、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た過程、特に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である。また火星の放射線環境や気象の理解は有人探査の観点から重要で、火星には、もしかしたら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凍土や含水鉱物として地下に存在している可能性があり、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ができる。MIM 計画では、有人探査に向けた事前探査として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を達成目標とし、水の貯蔵と散逸課程の解明のため「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「浅部地下を含めた H₂O の動態と揮発性物質の起源を制約」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。さらに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とともに、宇宙放射線環境や表層・浅部地下水環境の把握は、将来の着陸探査や有人探査に不可欠であり、工学的にも重力天体突入・降下・着陸に関する航空宇宙工学、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

太陽系探査では、ハビタブル環境の形成と進化の探求が主要科学目標となっており、火星は国際的に重要な探査対象である。国際協働により人類の活動域が火星圏に広がろうとしている現在、日本が主導的役割を果たすためには、太陽の影響を受ける大気と浅部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 の宇宙技術戦略 2025 にて、3STEP で実施する戦略的火星探査プログラムの STEP 2 として位置づけられ、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）にも記載され、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、国民の期待が高まっている。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、STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) 教育に有用な題材を提供し、科学成果と技術実証を通じて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浅部地下帯水層の分布は、将来の有人探査に必須であり、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。また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、小型・低コストシステムによる火星へ高精度着陸技術の獲得は民間企業参加の促進にもつながり、SDGs にも貢献しうる。

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、2035 年度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（東京大学先端科学技術研究センター）