

1. 戦略的火星探査:国際宇宙探査計画と連動した火星宇宙天気・気候・水環境探査(MIM)計画 (前回提案:マスタープラン 2020 計画番号 96 学術領域番号 24-2)

2. 問い合わせ先

代表者名: 関 華奈子(東京大学大学院理学系研究科)

連絡先: [k.seki@eps.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:k.seki@eps.s.u-tokyo.ac.jp)

3. 計画概要

今後の太陽系探査の中で火星は、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、国際的にも重要な探査対象である。近年の先行火星探査における新発見も踏まえ、本計画の目的は、ハビタブル環境の持続性の理解に向けて、火星における宇宙天気・気候・水環境の探究と、着陸探査に向けた探査技術実証である。本計画は、国際協働宇宙探査に向けた我が国の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先行探査である国際 Mars Ice Mapper(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・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。

① 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。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。約 40 億年前の火星は湿潤な気候であったと推定される一方で、現在の火星は寒冷乾燥な気候をもつ。従って火星は、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 CO<sub>2</sub> 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、月から火星への有人探査を目指す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。火星においては、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、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ことができる。その中で、本計画では、「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「地下水の典型的な化学組成・還元剤を制約」に着目した探査を実施し、ハビタブル惑星環境の持続性の理解に貢献することを目指している。

多数の系外惑星が発見される中、主星の活動と惑星圏環境の関係を理解しようという宇宙気候探求の機運が高まっており、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・浅部地下水環境の把握は、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。本計画は、学術的な価値に加えて、人類の活動領域を火星へと拡大するために重要な探査である。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。

② 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ、我が国としての戦略性、緊急性

今後の太陽系探査において、太陽系における生命生存可能(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、上述のように国際的にも重要な探査対象

になっている。2030年代には国際協働による火星サンプルリターンが計画されており、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地下環境の共進化過程に着目した我が国独自の火星探査の実施が喫緊の要請である。本計画は、この要請に応えるため先行探査の成果を精査し検討された JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)の火星タスクフォース報告書にて、国際協働宇宙探査に向けた我が国の戦略的火星探査の MMX に続く次の重要なステップとして位置づけられ、日本学術会議のマスタープラン 2020 大型研究計画にも選定された MACO 計画を基盤としている。近年、さらに火星探査をとりまく状況に変化があった。米国主導の月から火星への有人探査を含むアルテミス計画が我が国も含めた国際協働により進展するとともに、はやぶさ2の成功を受け、それに続くサンプルリターン計画として火星衛星サンプルリターン計画 MMX がプロジェクト化された。こうした中、NASA から Mars Ice Mapper 計画への日本の参画が打診された。本計画は、前回提案である MACO 計画を基盤とし、国際協働による Mars Ice Mapper 計画と親和性のよい形に発展させた計画である。

### ③ 実施機関と実施体制

上述の Mars Ice Mapper 計画は、NASA(米国)、CSA(カナダ)、ASI(イタリア)、JAXA(日本)の4ヶ国の宇宙機関が協働で行う新しい形の国際宇宙探査計画であり、今後、ミッション審査プロセスを経て承認された場合には、JAXA(宇宙航空研究開発機構)が主要実施機関となるため、JAXA 宇宙科学研究所の大学共同利用システムを活用して、全国の共同研究者が参加できる体制が構築されている。なお、計画の科学検討や科学観測用の搭載機器の検討開発については、国内外 34 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。

### ④ 所要経費と年次計画、計画の妥当性と成熟度

上述のように、本計画は、複数の宇宙機関が協働で行う国際宇宙探査計画であり、各国の役割分担については、現在調整中で非開示情報であるため、所要経費の詳細の記載は控えさせていただくが、JAXA は衛星システムと sub-science payloads(科学機器と EDL 着陸機)を担当する方向で、2028 年の打ち上げを目指して検討が進んでいる。現状の想定スケジュールは以下の通りである。なお、本計画の主要部をなす科学機器については、前提案時からヘリテージのある機器が多く、現在は MIM の低軌道に合わせた最適化を行っている。EDL 着陸機については、新たに追加された項目であり、急ピッチで検討を進めている。

～2021 年度 システム検討、2022 年 3 月頃 ミッション定義審査(MDR)、2024 年 5 月頃 プロジェクト定義審査(PDR)、2025 年 12 月頃 詳細設計審査(CDR)、2025 年度～2026 年度 フライトモデル製造、2026 年度 日本側の機器の事前総合試験等、2027 年度～2028 年秋 フライトモデル総合試験、射場作業等、2028 年秋 打ち上げ、2029 年夏 火星到着、2029 年秋 科学観測開始、2032 年末 ノミナル科学観測終了

### ⑤ 社会的価値

宇宙科学・探査は、人類の英知を結集して、知的資産を創出し、宇宙空間における活動領域を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、太陽系探査への国民の期待と理解が高まっている。その中で、地球型生命の生存可能なハビタブル環境の持続性を探る我が国独自の視点を活かした国際協働火星探査の実施は、学術的な意義だけでなく、科学教育や科学啓蒙に有用な題材を提供できる。また、世界最先端の科学成果、技術実証を通じ、科学、工学、数学など、幅広い分野での人材育成が見込まれる。

また、本計画により明らかになる、現在の火星周辺の放射線環境、火星表層での液体の水の有無、および地表からアクセス可能な浅部地下帯水層の空間分布は、将来の有人探査にも重要な知見である。国際協働でのアルテミス計画への日本政府としての参画が2019年10月に決定され、月から火星へと広がる探査への民間参入の機運も高まっており、本計画は人類の活動領域の火星への拡大に貢献する。なお、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にも貢献することが可能である。