

火星衛星サンプルリターンミッションの概要

Martian Moons eXploration (MMX)



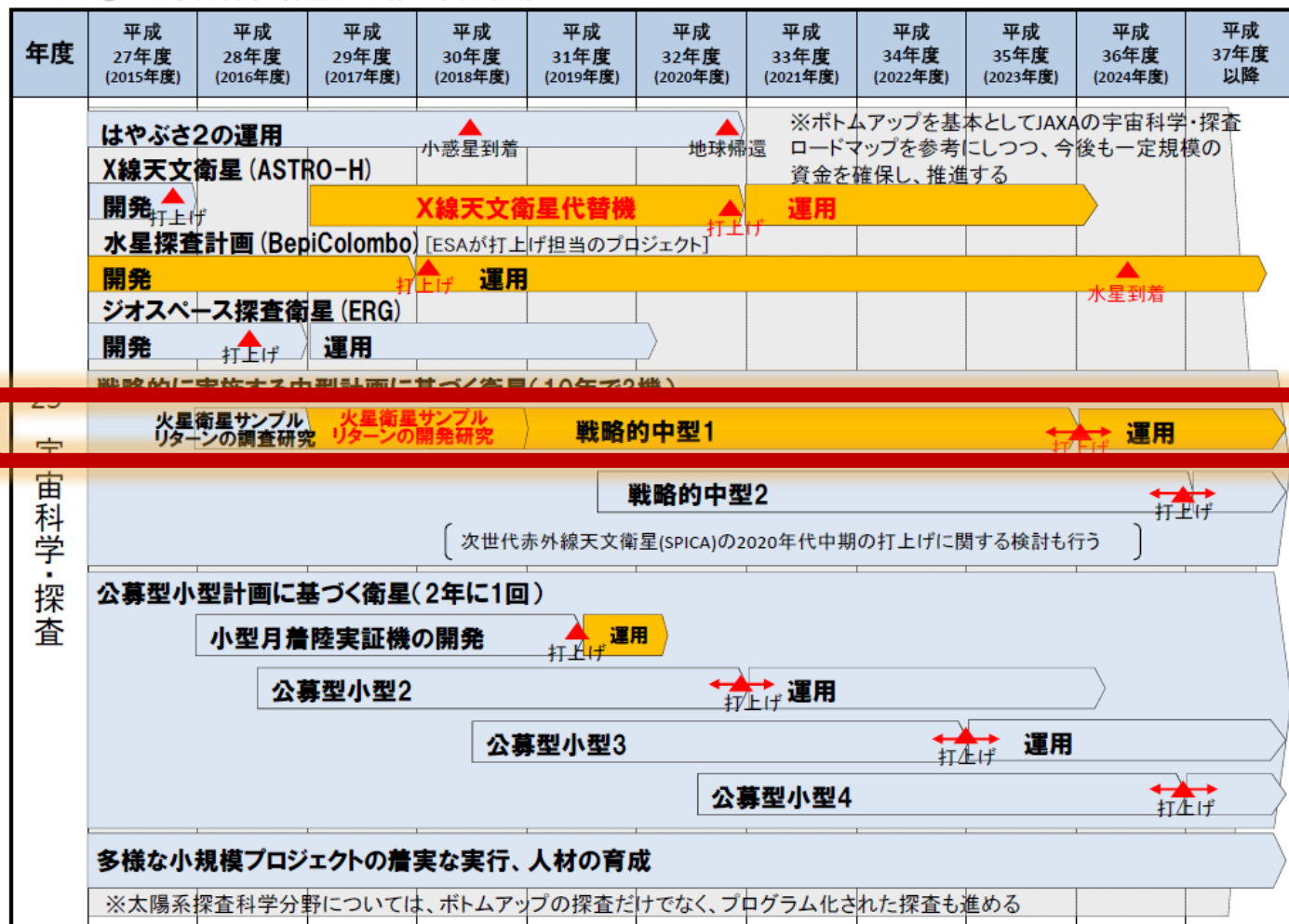
2017年4月10日（月）JAXA東京事務所

<http://mmx.isas.jaxa.jp>

宇宙科学・探査工程表と火星衛星サンプルリターンミッション

火星衛星サンプルリターンミッションは、宇宙科学・探査の工程表上、「戦略的中型計画1号機」につながる開発研究と位置付けられ、2024年度の打上げをターゲットに検討が進められている。

4. (2) ① ix) 宇宙科学・探査及び有人宇宙活動



ミッションの目的と意義

火星探査の目的と課題

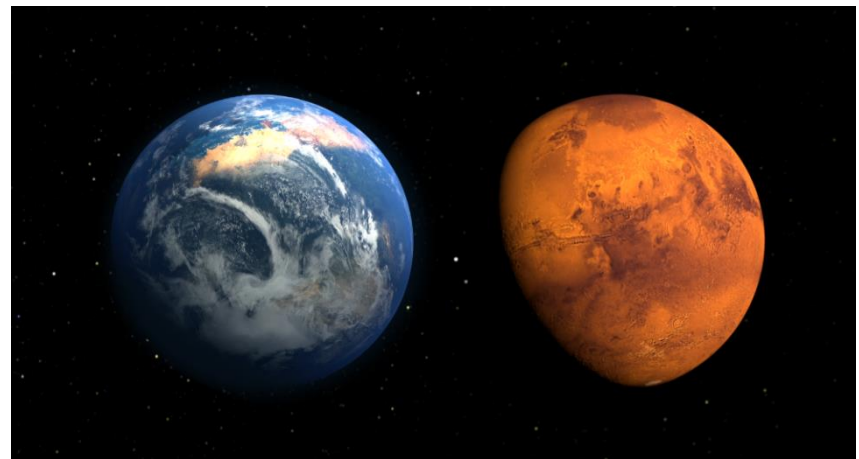
欧米を中心とする各国は、生命の痕跡を求め、火星本体の探査を進めている。主たる興味の対象は、過去の火星の表面環境であり、以下のようなミッション目的が設定されている。

- 火星の表面環境の歴史は？
- どのようにして火星大気は失われたのか？
- 何が気候変動を引き起こしたのか？



火星表面に水の証拠を発見したCuriosity

Credit: NASA, JPL-Caltech, MSSS, MAHLI



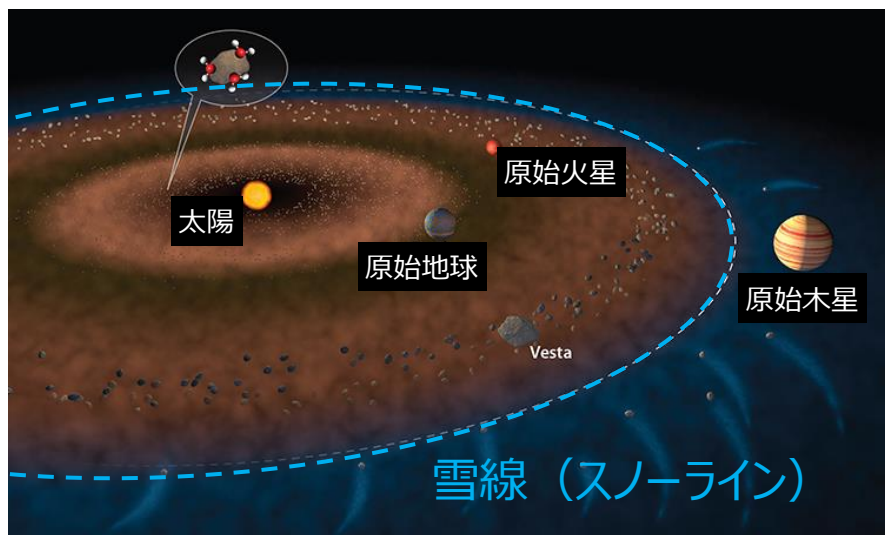
太古の火星（左）と現在の火星（右）

Credit: NASA's Goddard Space Flight Center

しかし、そもそも、なぜ火星に水・大気があったのか？

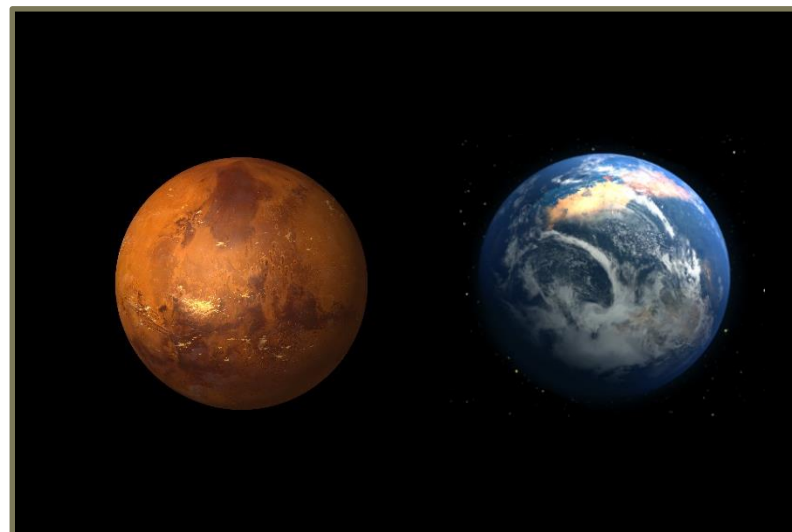
火星の水の起源？

しかし、そもそも、なぜ火星に水や大気があったのか？
太陽に近い高温領域で形成される地球型惑星では、水、有機物等の揮発性物質は失われ、カラカラに乾いた状態で形成されるはず。



形成初期の太陽系

Illustration by Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution



原始火星（左）と水に富む太古の火星（右）

（右図） Credit: NASA's Goddard Space Flight Center

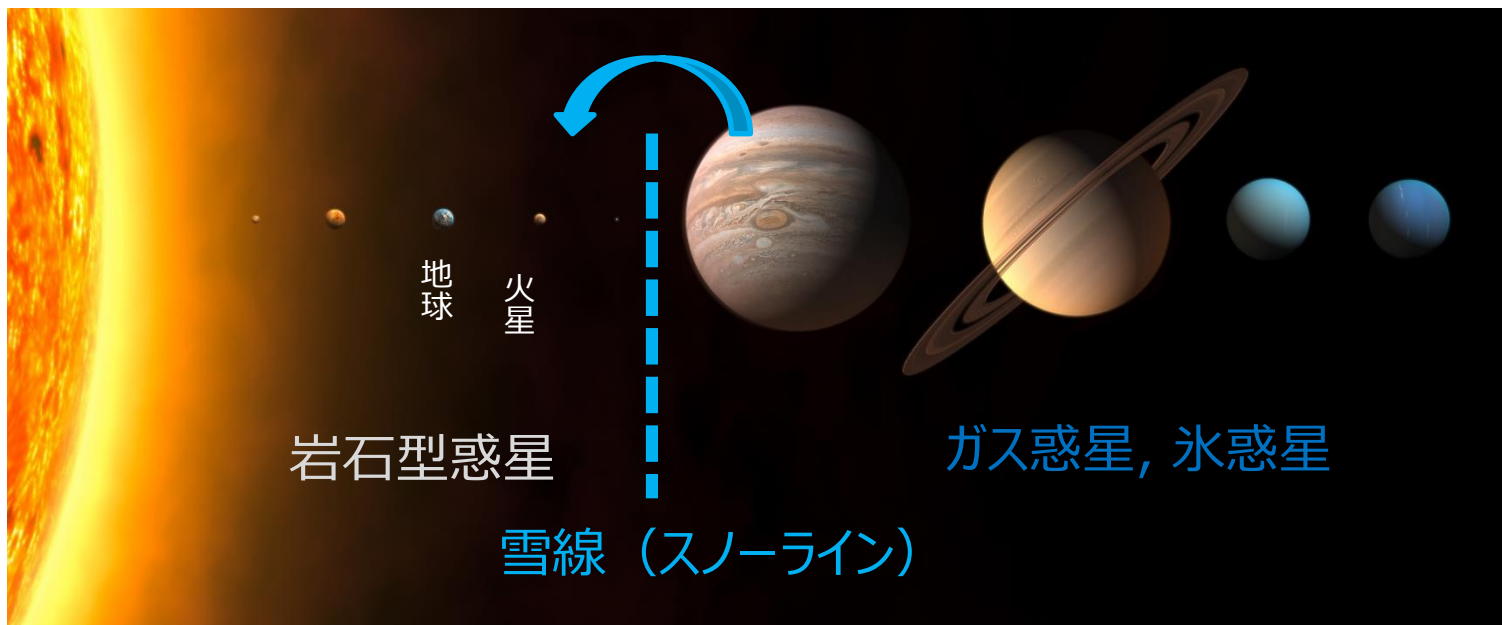
どのようにして火星に水が運ばれたのか？

どのように地球型惑星に水が運ばれ、生命居住可能な環境を作り上げたのか？

太陽系内での水の輸送

雪線（スノーライン）の外から運ばれた水、有機物等の揮発性物質が地球型惑星領域を生命居住可能な環境に変えた。これらの物質輸送には、**小惑星、彗星**、その破片、塵が重要な役割を果たしたと推測される。

初期太陽系の雪線周辺において小天体はどのように振舞ったのか？



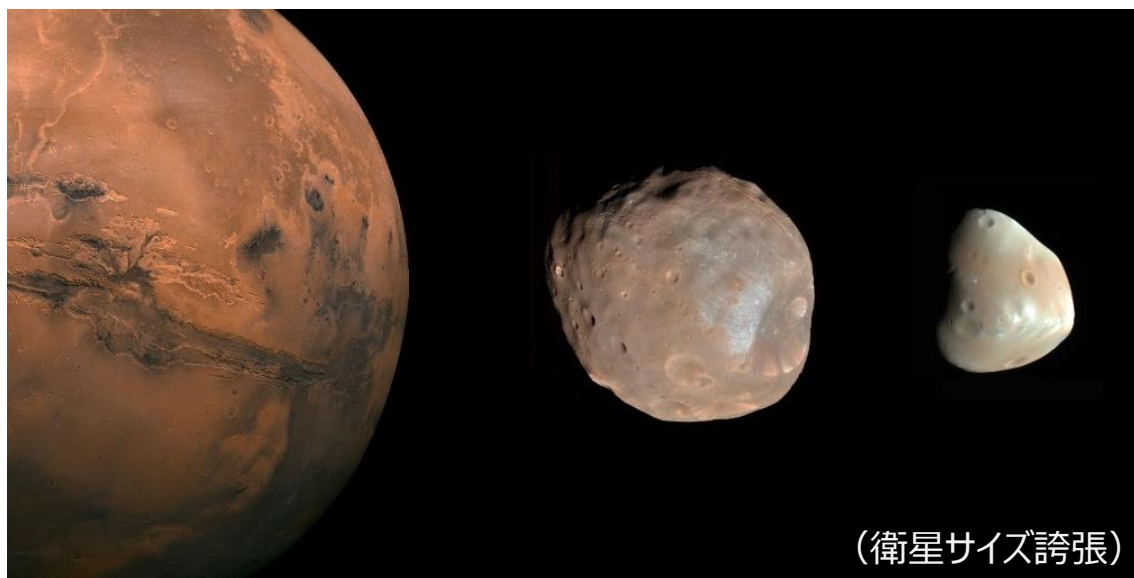
Credit: The International Astronomical Union/Martin Kornmesser

このプロセスを確認するためには、我々は、どこへ行くべきか？

火星衛星：火星を周回する小天体

火星は地球型惑星領域の入り口。その過程を目撃してきたはず。

火星の衛星はフォボス（直径23km）とダイモス（直径12km）。火星の周りに存在していなければ、ただの小惑星と認識されたであろう。



(衛星サイズ誇張)

Credit:
NASA/JPL-Caltech
University of Arizona

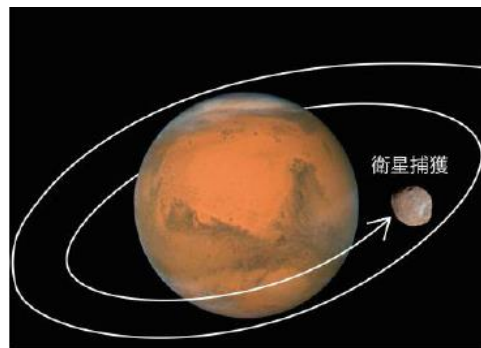
火星の衛星：フォボスとダイモス

火星衛星は、太陽系内での水の輸送を担ったカプセルではないか？

火星衛星の起源：太陽系内の水輸送カプセル？

火星衛星の起源はわかっていない。「捕獲小惑星説」と「巨大衝突説」の2つの説があるが、理論的には、どちらが優位とは言えない。

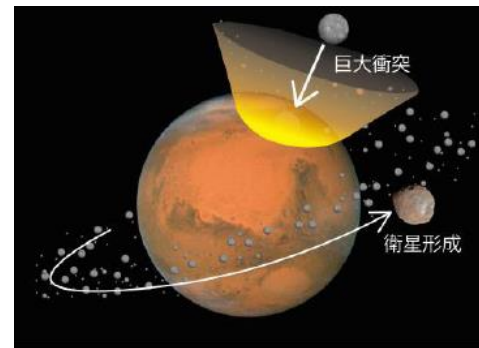
捕獲小惑星説



もともと遠方に存在していた小惑星が、他天体との衝突などにより軌道が変わって火星周辺に飛来し、火星重力に捕まった、とする説。

画像提供：
東京工業大学地球生命研究所
黒川宏之

巨大衝突説



火星に大規模な天体衝突が生じ、その破片が火星軌道に散らばった後で、これらが再集積して形成した、とする説。

火星衛星探査（MMX）では、火星衛星の起源論をリターンサンプルにより決着させる。

衝突前の水輸送カプセルの
サンプルを入手

水輸送カプセルの破片と、形成
期の火星の混合サンプルを入手。

ミッションの目的（惑星科学）

初期の太陽系、地球型惑星は、カラカラに乾いた状態で形成された。
どのように地球型惑星に水が運ばれ、生命居住可能な環境を作り上げたのか？
は、惑星科学の最重要課題である。

スノーラインの外から運ばれた水、有機物等の揮発性物質が地球型惑星領域を生命居住可能な環境に変えた。これらの物質輸送には、小惑星、彗星、その破片、塵が重要な役割を果たした。

地球型惑星領域の入口にある火星、その周りにある小天体フォボスとダイモス。
火星衛星は、太陽系内での水の輸送を担ったカプセルではないか？

火星衛星サンプルリターンミッション（MMX）は、

- ・ 火星衛星の起源論を決着させるとともに、
- ・ 火星そして地球型惑星における、生命居住可能な環境の形成過程に、新たな描像を与える。

副目的

火星衛星および火星表層の変遷をもたらすメカニズムを明らかにし、火星衛星を含めた“火星圏”の進化史に新たな知見を加える。

ISASの小天体探査戦略 (スノーラインの外で生まれた小天体)

スノーラインの外で生まれた小天体。最初は彗星的であり、その後、多様な姿に進化する。これらの天体が運ぶ水、有機物等の揮発性物質は、地球型惑星を生命居住可能にするために必須であった。

ISASは、シリーズ的に、これらの天体を探査する。

スノーラインの外

彗星

彗星
(水を氷として保持)



Credit: ESA/ATG medialab

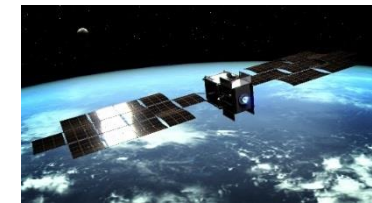
ROSETTA
(ESA)

始原的小惑星
(水を含む鉱物で保持)



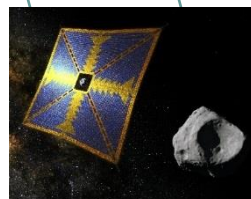
はやぶさ2
OSIRIS-Rex
(NASA)

DESTINY+ (検討中)



ダスト放出天体
(ダスト経由での有機物輸送)

木星トロヤ群
(彗星と小惑星の中間)



ソーラー電力セイル
(検討中)

LUCY (NASA、選定済み)

小惑星

天体の多様な進化

火星衛星

(水輸送カプセルが惑星に捕捉・衝突)



ダスト (宇宙塵)

火星衛星サンプルリターン
(MMX)

地球型惑星領域

これまでの火星衛星探査

火星衛星の調査は火星探査草創期から繰り返し行われているが、副次的なフライバイ観測にとどまる。火星衛星を目指した探査はいずれも到達に失敗。現時点で、実現見込みのある他国の火星衛星探査計画はない。



Data supplied by NSSDC

NASAのViking 1号軌道船が1978年に撮像したフォボス

反射スペクトルから炭素質小惑星との近縁性が指摘された。またクレーター密度から、天体の年齢が太陽系年齢と同程度であることが示唆される。

2011年に打ち上げられたロシアのフォボス探査機Phobos-Gruntは、打ち上げ直後の不具合により地球脱出に失敗。現時点で、再打ち上げの見込みはたっていない。

ミッションの目的と意義（太陽系探査技術）

本計画における宇宙工学の役割は、第一義的には、惑星科学ミッションの技術的実現を図ること。加えて、宇宙工学自身の使命、「より遠くへ、より自在に」の観点から、本ミッションで獲得する**太陽系探査技術**について、目標を設定している。

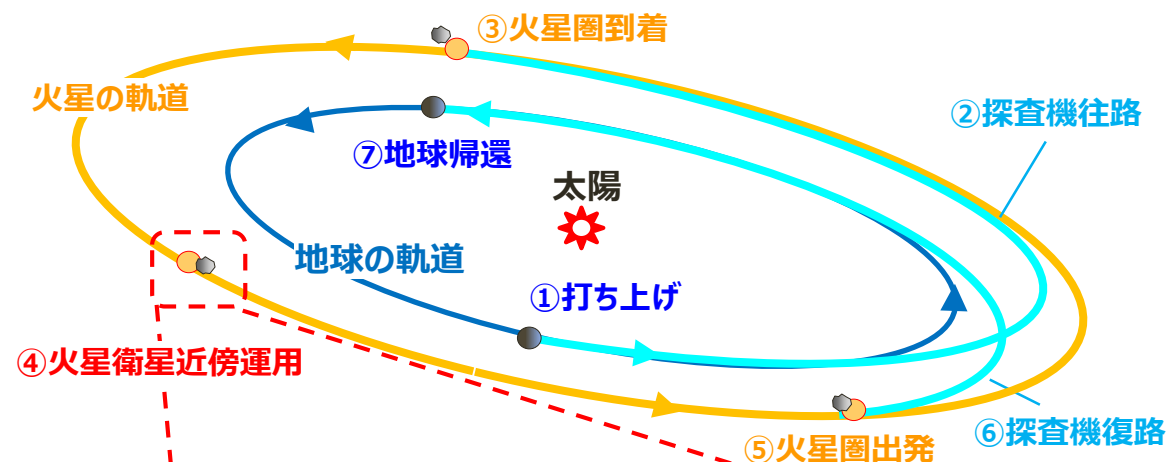
1. 火星圏への往還技術および惑星衛星圏への到達技術を獲得する（**宇宙航行**）。
2. 火星衛星表面への到達技術・滞在技術および天体表面上での高度なサンプリング技術を獲得する（**ロボティクス**）。
3. 新探査地上局との組合せた高速通信技術を獲得する（**深宇宙通信**）。

これらの技術は、小惑星探査と火星探査をつなぐものであり、「はやぶさ」「はやぶさ2」で日本が培ってきた得意技術を更に深化する機会となる。非重力天体と重力天体の中間として技術開発の適切な中間ステップであり、将来の火星周回・着陸探査に向けた布石ともなり得る。

ミッションの概要

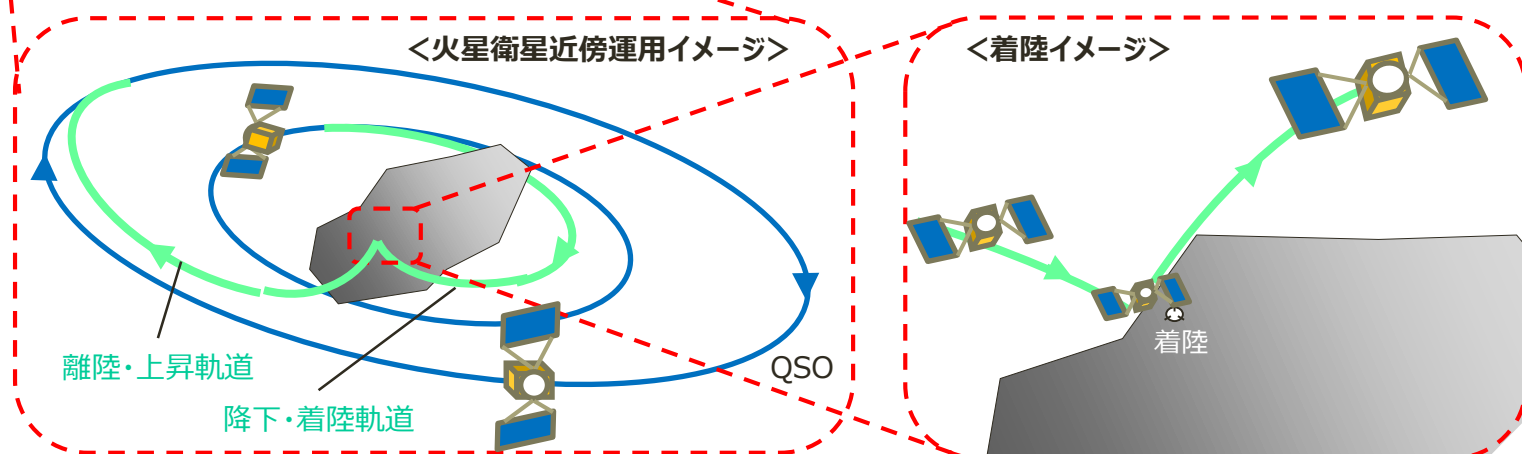
ミッション・プロフィール

惑星間の飛行期間（片道）は往路・復路とも1年弱。全ミッション期間は、火星衛星近傍での観測・運用期間を考慮し、約5年と想定している。2024年度の打上げをターゲットに検討を進めている。



ミッション・プロフィール

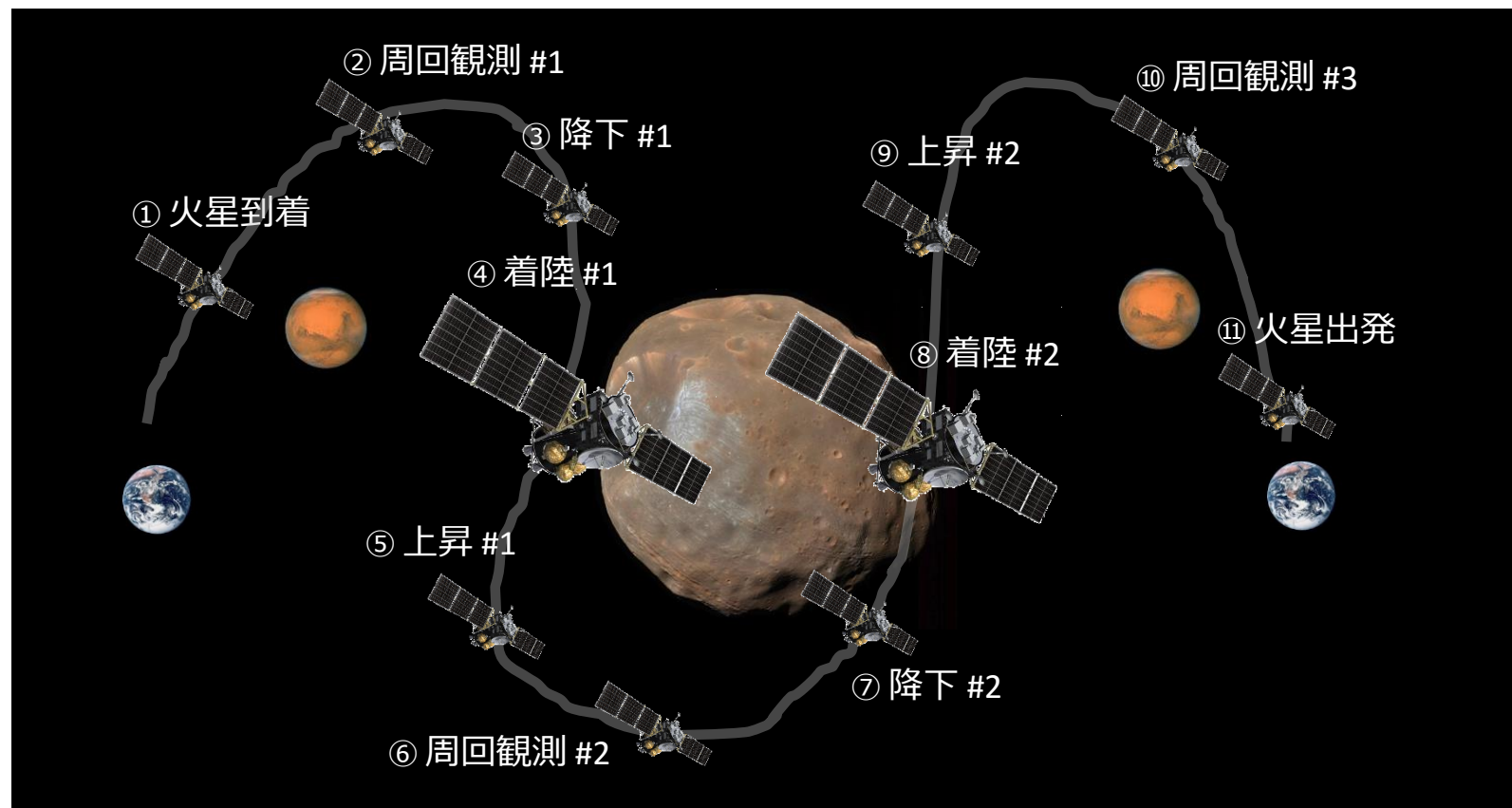
打ち上げ	2024年9月
火星圏到着	2025年8月
火星圏離脱	2028年8月
地球帰還	2029年9月



(以上は検討の一例であり、今後、変更の可能性はある)

火星衛星近傍での運用

火星衛星近傍では、衛星観測、衛星表面への着地、サンプリング等を実施する。運用プロセスを想定して、必要な運用期間を見積った結果、火星衛星近傍での滞在期間を約3年としている。



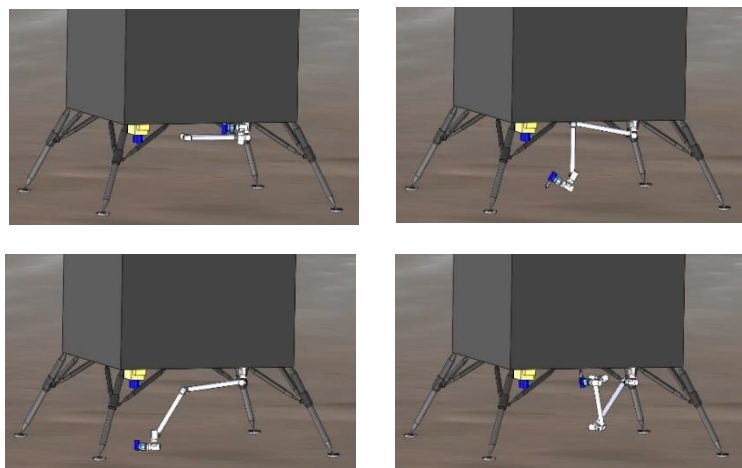
火星衛星近傍でのミッションプロフィール

(以上は検討の一例であり、今後、変更の可能性がある)

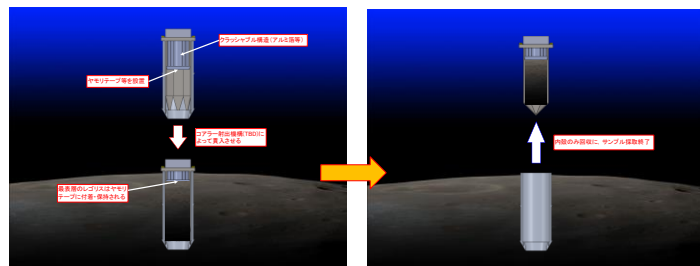
ミッション機器

高度なサンプリング要求に対応するためのサンプリング装置、サンプルリターンカプセルを搭載する。また、サンプル採取地点の選定や、周辺の特性を把握するための観測機器も搭載する。

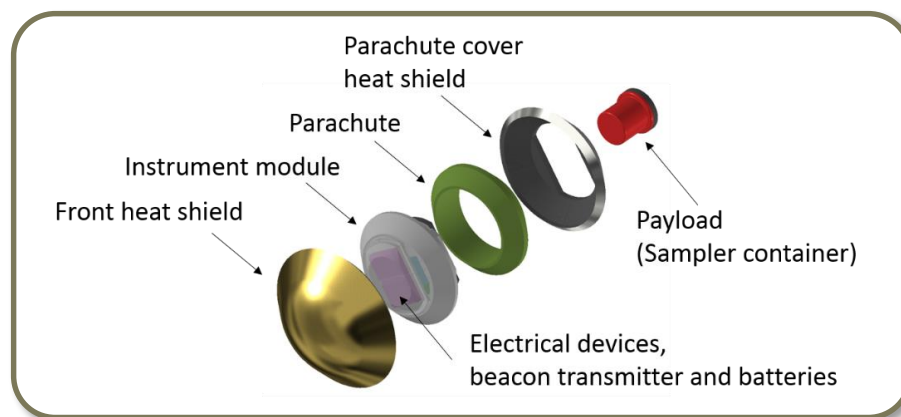
マニピュレータを用いたサンプリング



コアラー機構



サンプルリターンカプセル



搭載観測機器

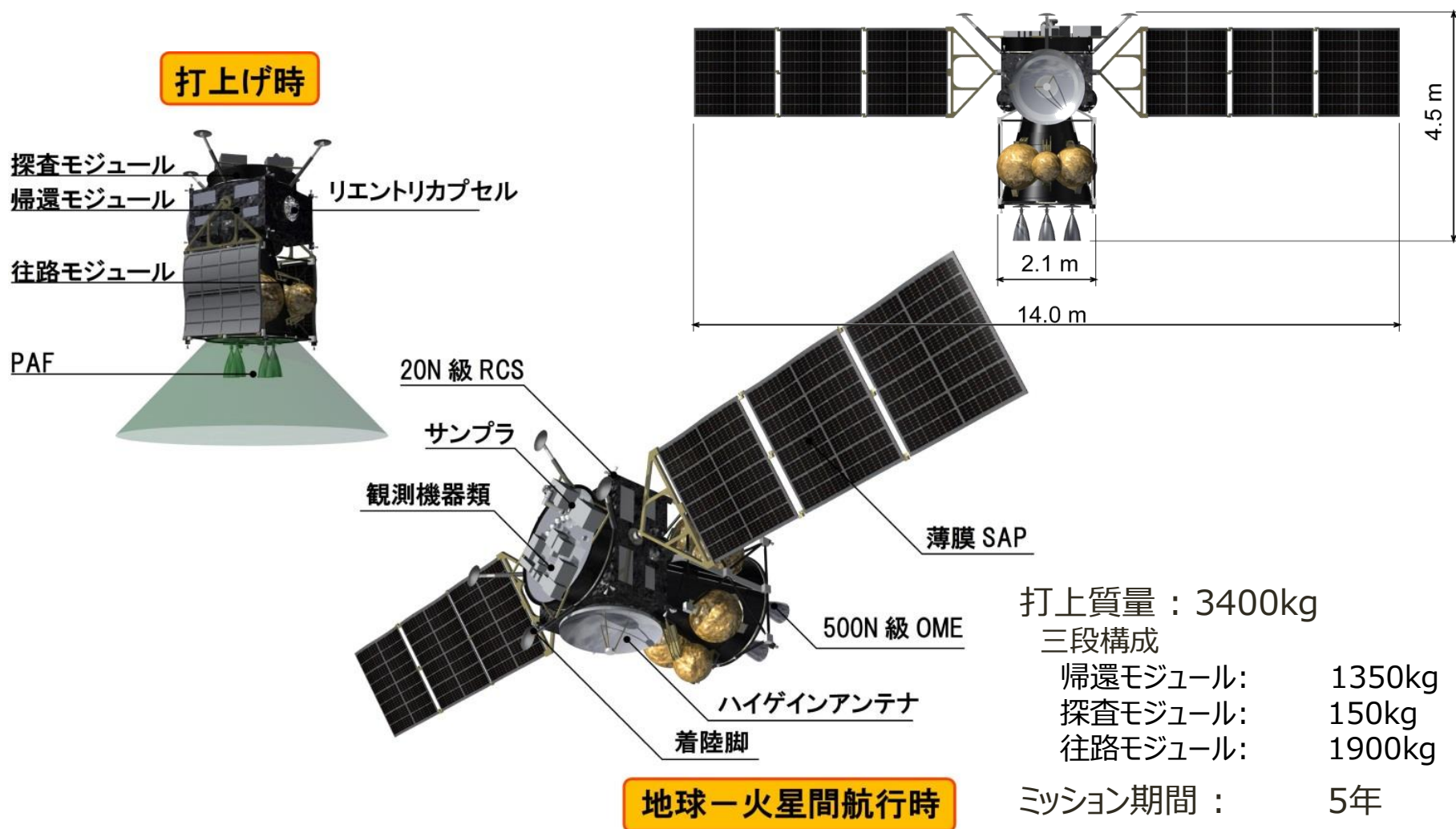
- ・ 望遠単色可視カメラ
- ・ 可視広角多色カメラ
- ・ 近赤外分光計 (*1)
- ・ 中性子線・ガンマ線分光計 (*2)
- ・ レーザ高度計
- ・ イオン質量分析器
- ・ ダストカウンタ

(*1) CNES提供予定。(*2) NASA提供予定

(以上は検討の一例であり、今後、変更の可能性がある)

探査機システム

探査機の主推進系としては、往路・復路とも化学推進系を採用する。
大きな軌道速度を効率よく得るために、多段式の構成とする。



(以上は検討の一例であり、今後、変更の可能性がある)

フランス国立宇宙研究センター（CNES）との協力

CNESとの協力

JAXAとCNESは、火星衛星サンプルリターンミッション(MMX)の開発研究フェーズにおいて、以下の3項目について、共同検討を行う。

近赤外分光計 (MacrOmega)

サンプル採取地点の選定や周辺観測のための搭載観測機器の一つ。波長4 μ m帯までの近赤外線で分光観測を行い、衛星表面の含水鉱物・水関連物質・有機物を主たる観測対象とする。CNESの元で検討をおこなうIASは、欧州の火星探査機ExoMarsに搭載される近赤外分光計ExOmegaを開発した。

IAS : フランス宇宙天体物理学研究所

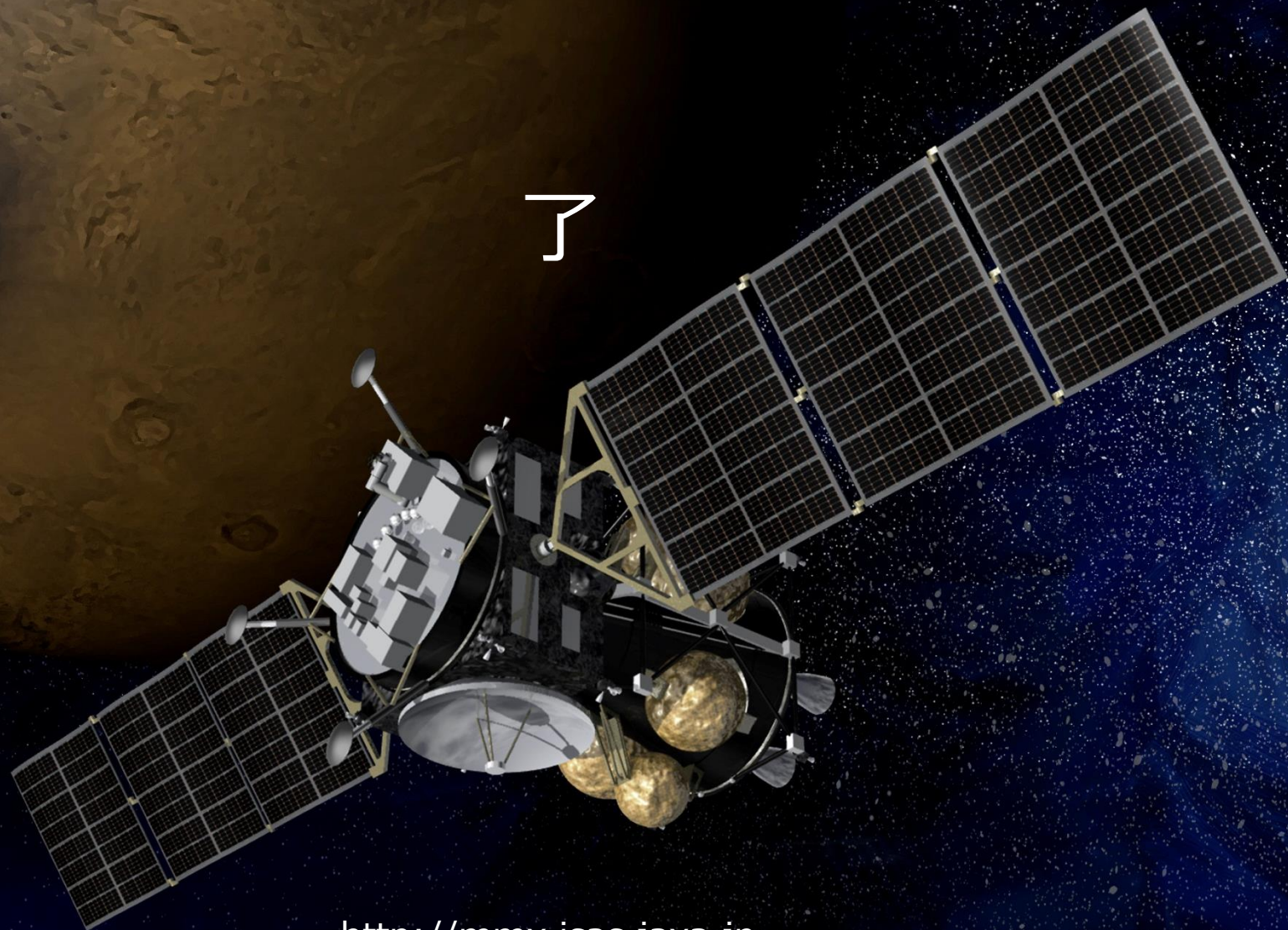
フライトダイナミクス

火星衛星周辺での探査機の飛行力学。惑星を周回する微小な衛星周辺の軌道力学は複雑で、最先端の研究課題の一つである。CNESは、欧州の彗星探査機Rosettaに搭載された着陸機Philaeの着陸軌道解析を担当した。

小型着陸機の搭載可能性検討

サンプル採取地点周辺を観測することを主たる目的として、着陸点周辺の移動探査を行う小型着陸機の搭載可能性を検討する。CNESは、はやぶさ2に搭載されている小型着陸機MASCOTの開発に参加している。

了



<http://mmx.isas.jaxa.jp>