

30年後の地球化学

火星からのサンプルリターン

加藤 學*

(2013年5月3日受付, 2013年6月26日受理)

International Mars Sample Return Mission

Manabu KATO*

* Japan Aerospace Exploration Agency
3-1-1 Yoshinodai, Chuo, Sagamihara, Kanagawa 252-5210, Japan

Sample return from Mars must be carried out within future thirty years. Spacecrafts are sustainably sent to Mars to seek origin of life for these thirty years. Human Mars exploration is also considered as a final destination of human space exploration after completion of the International Space Station. International team is studying Mars sample return project as an international collaboration.

Key words: Mars Sample Return, iMARS, Planetary Science, Human Mars Exploration

はじめに

月惑星探査において探査機に搭載する観測機器の進歩は近年めざましいものがあるが、やはりサンプルの地上への回収によって実験室で分析する必要のあるものがある。月惑星から回収される試料の年代測定など微量元素の分析によるもの、あるいは微量な試料しか手に入らないような場合は地球に帰還するビークルによって回収される必要がある。月は1969年から3年間にアポロ計画で表側低中緯度領域から400 kgもの岩石試料が回収されており、今後未踏査領域からの試料の回収が行われることとなるが、バイオハザードに対する宇宙検疫の観点からは問題は無い。しかし火星からの試料回収では宇宙検疫は必須である。(小惑星からの回収試料の宇宙検疫は地上に落下した隕石と小惑星試料が同等であるとしてバイオハザード問題は無いとしている)火星探査では水、生命起源有機物の探査が盛んに行われているが、有人探査の前に岩石試料回収・宇宙検疫は必須であって国際的なサンプルリターン計画が策定されている。30年後には必ずや実施さ

れていると推測されているのでこの計画の概要を紹介する。

火星サンプルリターン計画の科学目的

NASAがサポートするMEPAG (Mars Exploration Program Analysis Group)が纏めた火星探査の科学目的(ND-SAG (2008))は、

- 火星の居住環境を過去において維持したと予想されるC, N, Sおよび関連化合物の化学・鉱物・同位体組成の決定
- 過去の生命や生命前駆物質の証拠を生命関連鉱物の形状や有機分子、同位体組成により評価
- 火星における水と岩石の相互作用の物理化学条件を解明
- 火星における堆積・続成・火成作用、レゴリス形成、熱水変成、風化、クレータ形成などの地質過程の絶対年代を決定
- 火星の古環境と表層水の歴史を堆積層の破碎性、化学組成、沈積過程の研究により解明
- 火星の惑星集積、分化による層構造を決定するメカニズムと時間を拘束
- 火星のレゴリスの形成過程と多様性の原因の解明
- 将来の有人火星探査におけるバイオハザード、毒

* 独立行政法人宇宙航空研究開発機構
〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1

性物質、ダストの危険性の抽出、およびその場で利用できる資源の評価

- ・現在の表土の深さ方向への酸化状態、浸透性などの評価により現存するかもしれない生命や前駆物質の保持能力を決定
- ・火星大気の初期組成、地質年代を通しての大気の獲得・散逸の割合とプロセス、大気と凝縮物質との間の元素（ガス）交換の割合とプロセスの決定であるとしている。（The MEPAG Next Decade Science Analysis Group, 2008）

この科学目的のために必要な試料として、堆積岩、熱水変成岩、低温変成岩、火成岩、レゴリス、大気、ダスト、深さ毎の岩石などが必要であるとされている。

今後の探査計画、大気探査 MAVEN、2020年打上予定の MSL 後継機など、National Research Council が纏めた 2013-2022 Planetary Science Decadal Survey (Committee on the Planetary Science Decadal Survey, National Research Council, 2011) に記載されている探査の成果などを通してサンプルリターン地点のプライオリティーが決定される。

火星サンプルリターン計画のベースライン

一度にすべての要求を満たすことは目的が多様であるが故に不可能であるが、ベースとなるミッション要求を要約すると、

- ・岩石、ダストやレゴリスの砂粒、大気を回収
- ・興味の対象の広さ、参加研究者の多さから最低 500 グラム程度の回収試料質量
- ・ローバー（移動探査車）の不具合も想定して着陸機のみでも試料を回収できることが必要
- ・大気遮断、複数試料の混合の無い試料封入カプセル
- ・現在活動中の Mars Science Laboratory ローバー（キュリオシティ）等このミッションに先立って活動したローバーに接近可能であれば、調査済み試料を回収
- ・多様な試料を回収するため 2.5 km 程度の範囲をローバーは移動可能であること
- ・着陸場所は中低緯度域、±30度以内を想定
- ・COSPAR (Committee on Space Research, 2011) が地球帰還に制限を求める Category V と認定しているので、宇宙検疫 (Planetary Protection) 施設が必須

- ・多くの人的・経済的リソースが必要であるため国際協力による実施が必須
- ・有人火星探査以前の実施が必須と認定している。

火星サンプルリターンの ミッションシーケンスと要素技術

Fig. 1 はミッションシーケンスと主要要素技術を示している。2種類の飛行要素、ランダー要素とオービター要素があることと、地上設備としてミッションオペレーション要素とサンプル回収分析分配要素があることが大きな特徴である。ランダー要素は地球から火星への遷移と火星への着陸、ローバーの展開、サンプルコンテナカプセルの打ち上げから構成される。最近の MSL のピンポイント着陸技術の習得が大きな技術進歩をもたらした。サンプルコンテナの打ち上げは未経験である。ローバーとしては MSL のキュリオシティ程度の性能に加え、サンプルコンテナへの試料封入とコンテナカプセルの打ち上げ機能が想定されている。

オービター要素は、サンプルコンテナカプセルの火星軌道での回収、地球軌道への帰還、地球エントリーカプセルの放出技術からなる。「はやぶさ」や「STARDUST」ミッションの技術の延長線上にある。ここでは2機の同時または連続的な打ち上げが想定されているが、着陸したローバーからの通信機能を持ったオービターが火星周回にある（現在は複数のオービターが火星周回にあってローバーからの地球への通信を引き受けている）場合には別の打ち上げ機会の利用が可能である。地球から火星への打ち上げに好機があると同様に火星から地球への帰還にもエネルギー上の好機があり、ミッション期間がこれにも依存する。ATLAS-V や Ariane-5 のような重量級打ち上げロケットが使用される。

地上からのミッションオペレーション、データ収集は地球上の大型アンテナの整備拡充をともなって進歩しているのでこのミッションで特別に開発する要素は少ない。

地上でのサンプルカプセルの開封、初期分析では宇宙検疫 Category V の対応が必要となる。Bio Safety Level 4 (BSL 4) のファシリティが必要である。日本にはまだ設置されていないバイオハザード対応の設備である。完全なロボットマニピュレーションと外気遮断の設備である。

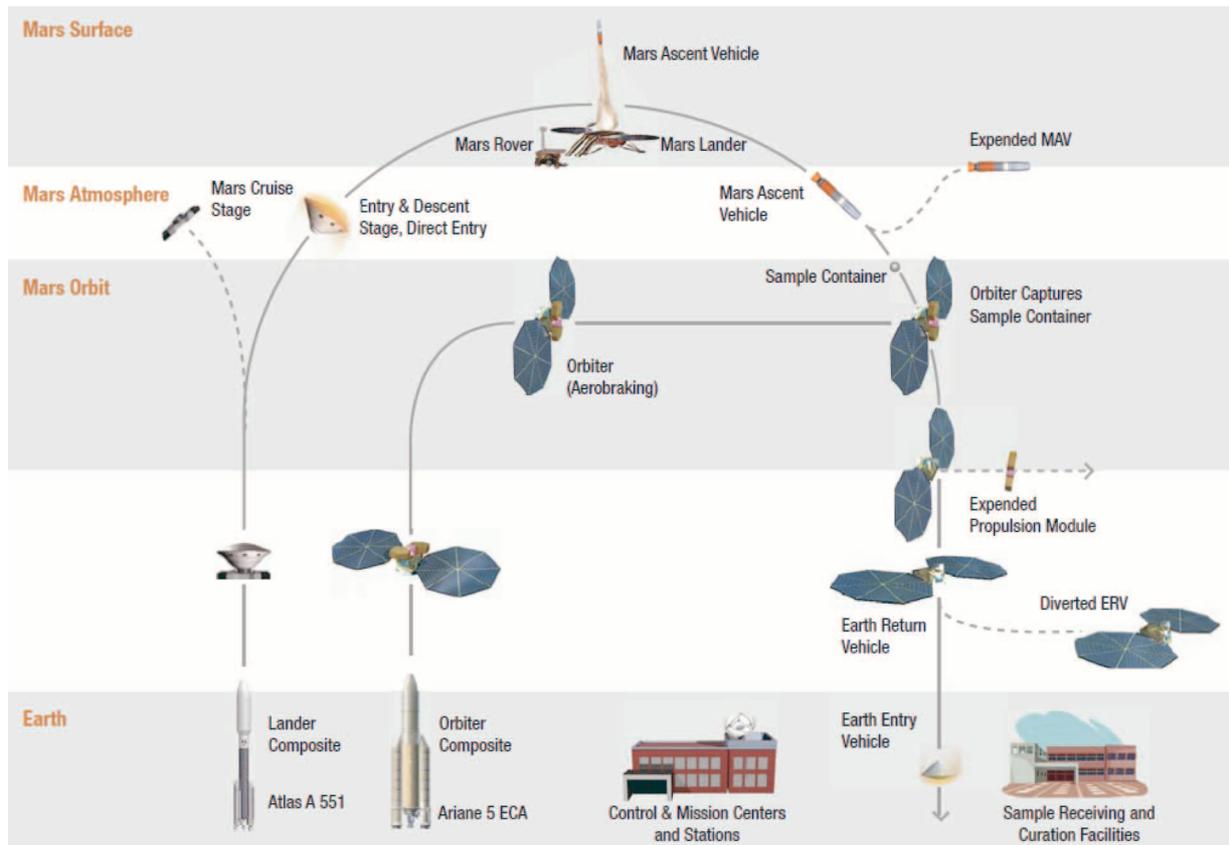


Fig. 1

検疫済みサンプルは地球物質から汚染されることのない状態で施設に保管された後、一定のルールにしたがって世界中の研究者に分配される。

火星サンプルリターンミッションの開発実施スケジュール

Fig. 2は火星サンプルリターン計画のスケジュールの一例を示している。オービターは設計と段階的な製作、組み立て、試験を経て打ち上げまで8年を必要とする。着陸機は打ち上げ好機をずらして2年遅れて打ち上げられる。サンプル受け入れ施設はBSL 4のものであり、設計、建設に加え、技術の習熟、トレーニングと試験を厳格に実施するため13年という期間が設定されている。欧米にあるBSL 4の医学研究施設

への併設も考えられている。この大型計画の遂行をマネージするためInternational Mars Sample Return Science Institute, IMSIの設置が必要である。

おわりに

国際火星サンプルリターン計画の策定に参加する機会があった筆者が、数年前に発表した要約に最近の火星探査成果を加筆した。主に財政上の理由から宇宙探査計画の実施は遅延するのは日常のことであるが、国際的に方向性を持って進歩しているのは事実である。サンプルが身近にあるから、持ってきてくれたから分析するのではなく、こういうサンプルが必要だからここへ行って採ってきてくれという姿勢を期待したい。

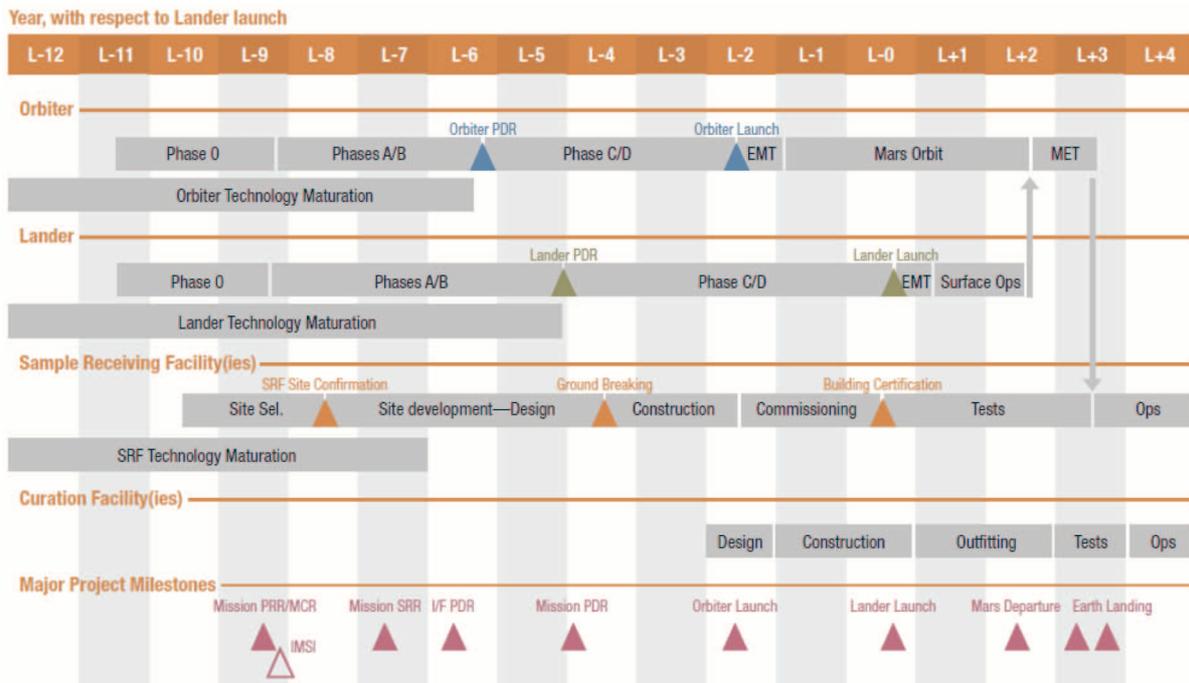


Fig. 2

引用文献

Committee on the Planetary Science Decadal Survey; National Research Council (2011) *Vision and Voyages for Planetary Science in the Decade 2013-2022*. The National Academies Press, Washington, D.C.

COSPAR (2011) COSPAR Planetary Protection Policy (20 October 2002; As amended to 24 March 2011). <https://co->

sparhq.cnes.fr/sites/default/files/pppolicy.pdf (2013.7.1)

The iMARS Working Group (2008) *Preliminary Planning for an International Mars Sample Return Mission*. http://mepag.jpl.nasa.gov/reports/iMARS_FinalReport.pdf (2013.7.1)

The MEPAG Next Decade Science Analysis Group (2008) Science priorities for Mars sample return. *Astrobiology*, **8**, 489–535.