

火星衛星サンプル リターン計画の概要

倉本 圭

火星衛星サンプルリターン計画科学検討チーム



内容

- どのようなコンセプトの計画案か
- 宇宙研における検討・選定の経緯
- 太陽系探査将来構想の中の位置づけ
- ミッション定義（中間報告）

計画のコンセプト

火星・小天体・月をつなぐ

- 火星衛星の成因論争をリターンサンプルにより決着させる
 - 始原的小惑星の捕獲説 vs. 火星への巨大衝突による破片円盤での集積説
 - 鍵を握るのは衛星試料の精密化学／同位体分析
 - 衛星系の比較形成論の構築が可能となる
- 解明される成因論に応じた惑星形成期の情報が抽出できる
 - 捕獲説なら、高温に晒されていない始原性の高い惑星材料物質が入手できる
 - 巨大衝突説なら、形成期の火星物質を入手でき、形成過程の理解が進む
- 火星に寄り添った衛星のメリット
 - 45億年間の天体衝突による火星のさまざまな地点からの放出物が堆積し、また火星から流出した大気成分が打ち込まれていると期待され、火星表層環境の進化が制約できる可能性がある
 - 衛星軌道は赤道面となるため、そこからの火星大気観測もユニーク
- これまでの火星探査と相補的

選定の経緯(抄)

• 宇宙研における選定理由

- 惑星科学コミュニティにおいて、有望なミッション案に位置づけられている(惑星科学会長RFI回答の宇宙研分析)
- 火星衛星SR探査の成立性の評価
- 宇宙基本計画の工程表遵守
- 太陽系探査の戦略性・プログラム性の観点
- AO提案ミッションの評価、境界条件

• RFIとは

- 2014年11月 宇宙研から宇宙科学各研究領域の目標・戦略・工程表・ミッション情報提供依頼 (Request for Information)
- 2015年2月1日 惑星科学会会長からは会長諮問委案として宇宙研にRFI回答提出(幹事=並木則行)
- 太陽系探査の今後20年の大目標 CHASE-PBEE
- 10年後以降に打ち上げることを念頭にした、中型探査を複数提案. その一つに火星衛星SRを位置付けている

CHASE-PBEE

- 惑星科学100年の大目標
 - 生命に至る惑星系・惑星の起源と進化
 - 生命保有惑星の条件と普遍性・特殊性

Continuous HAbitable Solar system Environment

- 今後20年の太陽系探査の目標
 - 太陽系における前生命環境の進化—生命圏の誕生・持続に至る条件の解明

PreBiotic Environmental Evolutions

- 前生命環境=生命が関与しない有機反応ネットワークをもつ(広い意味での)天体環境

CHASE-PBEEに対する 宇宙科学的アプローチと関連天体

C1 生命前駆物質の形成・進化

彗星, 始原的小惑星, 惑星間塵

C2 惑星材料物質・生命前駆物質
の分布・移動, 天体への供給

月, 小惑星, 水星

C3 地下熱水環境: 鉱物—水—有
機物反応系

火星, 氷衛星, 始原的小惑星

C4 大気(海洋)散逸・光化学反応

火星, 金星, タイタン, 系外惑星
(大気)

C5 惑星・衛星の形成・初期分化

月, 水星, 火星, 分化小惑星
(ベスタ, E型小惑星など)

これらを総合することによって
CHASE-PBEEの解明が進む

ミッション科学検討

全体計画立案チーム長		川勝(工), 藤本(理)	
科学検討チーム	形成論	玄田・関根	各サブテーマ 検討 関連研究者の 協力
	サンプル	橘・臼井・澤田	
	リモセン	亀田・中村智	
	内部構造	宮本・松本	
	火星・火星圏	今村・寺田	
	とりまとめ	尾崎・早川	理学-システム 間すり合わせ 成案作成
	座長・事務局	倉本・渡邊 和田・小川和	

大学連携拠点
CPS

コミュニティ

科学目的・目標案(2015年8月25日MDR1)

大目的 1 火星衛星の起源を明らかにし、内外太陽系接続領域における惑星形成過程と物質環境に制約を与える

中目的 1.1 火星衛星の起源が、惑星捕獲なのか巨大衝突なのかを明らかにする

目標 1.1.1 衛星の形成過程に関する記録を保持する衛星固有物質を同定し、その特徴を記載し、衛星起源を強く制約する

目標 1.1.2 内部構造に関して、氷の存在に留意して質量分布等に関する情報を取得し、衛星起源に目標 1.1.1 とは独立に制約を与える

中目的 1.2a【起源が小惑星捕獲の場合】地球型惑星領域へ供給される始原物質の組成とその移動過程を解明し、火星表層進化の初期条件を制約する

目標 1.2a.1 初期太陽系での始原物質の形成およびスノーライン周辺領域での始原天体形成環境に、試料分析から制約を与える

目標 1.2a.2 衛星捕獲年代を推定することで、初期太陽系での天体移動過程と火星表層進化の初期条件に制約を与える

中目的 1.2b【起源が巨大衝突の場合】地球型惑星領域における巨大衝突と衛星形成過程を理解し、火星の初期進化過程に及ぼす影響を評価する

目標 1.2b.1 衛星固有物質中に、巨大衝突で飛び散った原始火星成分(火星起源成分)と衝突天体起源成分を特定し、その記載をする

目標 1.2b.2 巨大衝突規模と年代を推定し、初期太陽系の地球型惑星領域における天体移動と形成過程に制約を与える

大目的 2 火星衛星を含む火星圏の変遷をもたらす駆動メカニズムを明らかにし、進化史に制約を与える

中目的 2.1 火星圏における衛星の進化過程を解明する

目標 2.1.1 小惑星と比較しながら、火星衛星に特有の表層風化・進化過程を特定する

中目的 2.2 火星表層変遷史に制約を与える

目標 2.2.1 回収試料中に衛星形成後に火星から飛来した物質(火星飛来物質)を特定し、火星表層の化学状態やその変遷に制約を与える

目標 2.2.2 火星史を通じた大気散逸量に、現在の散逸大気の組成比・速度分布・空間分布から制約を与える

中目的 2.3 火星気候の変遷に関わる火星大気物質循環のメカニズムに制約を与える

目標 2.3.1 火星大気中および大気-地表間のダストの輸送過程にダストの全球分布の時間変化から制約を与える

目標 2.3.2 火星大気中および大気-地表間の水の輸送過程に水蒸気と雲の全球分布の時間変化から制約を与える

ミッション要求(科学 2015年8月25日MDR1)

1. 捕獲起源を強く示唆する含水鉱物に留意しつつ、衛星構成物質の表面分布を空間分解能30m以下で明らかにする(目標1.1.1)
2. 回収試料中に衛星形成時の構成物質である衛星固有物質を特定し、その特徴を記載する(目標1.1.1)
3. 衛星質量の5%以上の氷の局在化による密度構造の不均質性があるか調べる。また、内部氷からの想定分子放出率(10^{22} 分子/s)以下の下限値で分子放出率を計測する(目標1.1.2)

【起源が小惑星捕獲の場合】

- 4a. 初期太陽系物質進化を制約するために、回収試料中の衛星固有物質について、低温環境由来物質に注目しつつ、鉱物/有機物、組織、元素/同位体組成ならびにそれらの不均一性(粒子内・粒子間)、形成・変成年代の分析を行う(目標1.2a.1)
- 5a. 回収試料の分析から衝突変成年代分布を1億年の精度で求め、捕獲以前の履歴を記載する。同時に、衛星の捕獲時期を制約するために、衛星表面のクレーター密度を決める(目標1.2a.2)

【起源が巨大衝突の場合】

- 4b. 原始火星と衝突天体を構成する物質の組成を制約するために、回収試料中の衛星固有物質について、火星起源成分が含まれることに注目しつつ、鉱物/有機物、組織、元素/同位体組成ならびにそれらの不均一性(粒子内・粒子間)、形成・変成年代の分析を行う(目標1.2b.1)
 - 5b. 回収試料粒子の衝突変成度と衝突年代の分布から巨大衝突の規模を制約する。同時に、衛星の特徴的領域におけるクレーター密度を求め、火星圏における天体衝突率を得る(目標1.2b.2)
6. 表層進化過程を知るために、周衛星環境の観測がもたらす制約に留意しつつ、衛星の地質構造(陥没構造、巨礫、層序構造など)を全球空間分解能30m以下で把握し、また回収試料の宇宙風化・変成状態を明らかにする(目標2.1.1)
 7. 回収試料中に衛星形成後に火星から飛来した物質(火星飛来物質)がないか調べる。存在する場合にはその性質を明らかにする(目標2.2.1)
 8. (オプション)火星から散逸する大気を捉え、主要成分の組成比および同位体比を50%以内の精度で求める(目標2.2.2)
 9. (オプション)高高度の赤道周回軌道から火星大気中のダストストーム、氷雲、および水蒸気のグローバルな分布を時間分解能1時間以内で連続観測する(目標2.3.1, 2.3.2)

成功基準(理学)案(2015年8月25日MDR1)

項目	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
火星衛星の起源が小惑星捕獲なのか巨大衝突なのかを明らかにする(中目的1.1)	衛星表層の特徴的な領域について、詳細な地形と表面物質情報を取得するとともに、衛星の重力場を推定することで、衛星の起源に制約を与える	衛星表層の地形・組成マップを作成し、それを参照しながら火星衛星の少なくとも1地点からの試料を回収する。回収試料の分析から衛星固有物質を特定し、衛星表面での物質分布と対応づけすることで、衛星の起源を強く制約する	衛星表層の地質の異なる2地点以上からの回収試料の分析、それらの衛星表層の地形・組成マップとの対応づけ、衛星内部の氷の存在と内部密度構造の制約から、衛星の起源を確定する
【起源が小惑星捕獲の場合】地球型惑星領域へ供給される始原物質の組成とその移動過程を解明し、火星表層進化の初期条件を制約する 【起源が巨大衝突の場合】地球型惑星領域における巨大衝突と衛星形成過程を理解し、火星の初期進化過程に及ぼす影響を評価する(中目的1.2a, 1.2b)		捕獲起源の場合、分光学的に隕石試料との対応が未確定な、スノーライン周辺領域で形成された始原天体の物質科学的特徴を明らかにする。巨大衝突起源の場合には火星起源成分と衝突天体起源成分を識別し、それぞれの性質を明らかにする	捕獲起源の場合には、初期外部太陽系における始原物質の生成とその地球型惑星領域への移動過程を制約する。巨大衝突起源の場合には衝突イベントの物理条件に制約を与える。また、回収試料粒子の衝突変成年代分布を求め、クレーター密度の情報と組み合わせることで、衛星捕獲年代あるいは巨大衝突年代に制約を与える
火星圏における火星衛星の進化過程を解明する(中目的2.1)	高空間分解能で広域撮像を行うとともに、特徴的領域について衛星表層の風化・変成度ならびに不均質性に制約を与える	衛星レゴリス層に関する情報を取得し、回収試料の宇宙風化・変成状態を分析することで、衛星表層の更新過程に制約を与える	衛星レゴリス層、周衛星粒子環境、回収試料の情報を統合し、近地球型小惑星表層地質活動と比較しながら、火星圏における衛星表層進化過程を明らかにする
火星表層環境変遷史に制約を与える(中目的2.2)		回収試料の分析から、衛星形成後に堆積した火星物質(火星飛来物質)の有無を明らかにし、存在した場合にはその供給源を制約する	火星飛来物質が十分に存在する場合には、その性質を明らかにし、火星地殻を含む火星表層環境の進化過程に制約を与える。また、火星散逸大気的主要成分組成比および同位体比を求めるとともに、火星史を通じた火星大気散逸量を推定し、火星大気変遷史に制約を与える
火星気候の変遷に関わる火星大気物質循環のメカニズムに制約を与える(中目的2.3)			高高度の赤道周回軌道から火星大気中のダストストーム、氷雲、および水蒸気のグローバルな分布の時間変化を高時間分解能で明らかにし、火星大気物質循環過程に制約を与える

工学目的の設定

工学目的・目標案(2015年8月25日MDR1)

大目的 将来の深宇宙探査に資する航行・探査技術を獲得する

中目的 1.1 火星圏への往還技術を獲得する

目標 1.1.1 火星衛星近傍に到達し, 3 か月(T.B.D.)以上滞在する

目標 1.1.2 火星圏を離脱して地球圏に到達し, 地上でペイロードを回収する

中目的 1.2 天体表面上での高度なサンプリング技術を獲得する

目標 1.2.1 火星衛星表面上のサンプリング地点に接地する

目標 1.2.2 接地点周辺の試料をサンプリングする

目標 1.2.3 火星衛星表面上でサンプリング装置の動作とサンプル採取を確認する

中目的 1.3 新探査地上局との組合せに最適な通信技術を獲得する

目標 1.3.1 「はやぶさ2」技術をベースとする内容を上回る通信伝送能力を実現する

目標 1.3.2 火星圏探査活動において, 海外機関に匹敵する通信伝送能力を実現する

【オプション】中目的 1.4 将来の深宇宙探査に資する工学実験に機会を提供する

目標 1.4.1 リソースが許す範囲で, 提供された工学実験機器を搭載し, その運用を支援する

- 打ち上げ後, 万一科学目的が達成できない状況に陥っても, 工学的チャレンジとしてミッションを継続できる仕掛け

ミッション定義の検討

- 意義, 目的, ミッション要求, サクセスクリテリア, 根拠資料
- 高い科学意義
- 実現性の裏打ち
 - この段階では目的の実現に必要な物理量を提示
 - 観測技術や手順は特定しないが, 準備や想定が必る
- 多様な専門性の突合せが不可欠
 - コンソーシアムの枠組みが必須



図1