

# 惑星科学の視点からの ロードマップ

北海道大学・大学院・理学研究院/理学院 宇宙理学専攻

倉本 圭

# 惑星科学会の探査検討の経緯

- 1989 宇宙研相模原に移転
  - さきがけ・すいせいの成功(1985)
  - 月, 小惑星, 惑星大気探査の立案(80年代)
- 1992 日本惑星科学会創設
- 1996 日本惑星科学会将来計画委員会報告書
  - M-Vロケットによる月, 小惑星, 火星大気探査計画の推進
  - 探査に閉じず, 新しい学問を展開するための諸提言
- Lunar-A, のぞみ, SELENE, はやぶさの苦闘と成功
  - この間JAXA発足(2003), コミュニティによる新探査立案はやや停滞
- 2009 日本惑星科学会 月惑星探査の来る10年活動の開始
  - 2014 最終報告として月年代学・火星生命・トロヤ群の探査ミッションコンセプトを提案
- 2014 宇宙研より「研究領域の目標・戦略・工程表」(RFI= Request For Information) 募集
  - 2015 日本惑星科学会会長からRFIを提出
- あかつき, はやぶさ2 実施中, Beppi Colombo, JUICE準備中

# 月惑星探査の来る10年活動 実働 2010～2014

<https://www.wakusei.jp/news/activities/decade/>

[https://www.wakusei.jp/~decade\\_sec/wiki/open/](https://www.wakusei.jp/~decade_sec/wiki/open/)

- 目的: 惑星科学コミュニティの力量を自覚し, 探査将来計画を自主的に企画する
- 第一段階: トップサイエンスの抽出
- 第二段階: ミッション提案と実現のための再構成
- 第三段階: 科学的価値・面白さと実現可能性の裏打ちのあるミッション提案の創出
  - 日本の惑星科学推進の中期ビジョンを共有し, そこに位置づけられた「惑星探査ミッション」の統合的で説得力のある「ミッション・コンセプト」を作り上げる
- 提案・コメントを各段階で公募
  - 各段階のパネラ・委員による集約, 再構成, フィードバック

地球型惑星  
固体探査パネル

木星型惑星・氷衛星・  
系外惑星探査パネル

パネルの構成



	水星	金星	月	火星	小惑星	彗星	木星型惑星	氷衛星	系外惑星
内部構造探査	○	○	SELEN E-2, -X	MELO S	Hayabusa-2	○	○	○	---
地質調査	○	○ 1	SELEN E-2, -X	MELO S	はやぶさ	○		○	
サンプルリターン	○	○	SELEN E-X	MELO S	はやぶさ Hayabusa-2	○ 3	○	○ 4	
大気観測		あかつき		MELO S			○	○	○
磁気圏探査	MMO/Bepi-Columbo	○ 2	かぐや	MELO S		○	JMO/EJSM		
アストロバイオロジー			○	MELO S	○ 5	○	---	○	?

地球型惑星大気・  
磁気圏探査パネル

小天体探査パネル

アストロバイオロジー  
パネル 4

# 第三段階

- 大テーマ1: 月惑星の構造と進化の比較学
- 大テーマ2: 生命に至る宇宙物質の進化学
  - 大気・プラズマ科学については地球惑星圏学会 (SGEPSS) における検討を尊重
- 今後10年程度の戦略的中型ミッション候補
  - 火星着陸機・ローバ生命探査を主とする複合科学探査  火星着陸探査技術実証
  - ソーラー電力セイル探査機によるトロヤ群小惑星探査  外惑星領域の航行技術, 探査技術, 及び未踏の科学領域の開拓
  - その場年代計測装置による月惑星年代学探査

ISAS公募(本年2月)への工学提案

# RFIと来る10年：違い

- 2013年10月 宇宙研「宇宙科学・探査ロードマップ作成の基本となる考え方」
  - 太陽系探査科学分野については、「最初の約10年を機動性の高い小型ミッションによる工学課題克服・技術獲得と先鋭化したミッション目的を立て、10年後以降の大型ミッションによる本格探査に備える」
- RFI募集もこの基本となる考え方に基づく
  - 来る10年とは前提条件が異なり、抜本的な再検討が必要
  - ただし来る10年活動で培った科学検討には意義があり、これを活かす

# 惑星科学会版RFIの作成

- 総勢十数名の検討・情報収集チーム(全国の中堅・若手層)により作成
  - 期間が二か月未満と短いために提案の公募は行わず、来る10年検討で培った人的資源を最大限に活用した
- 作業過程は会員に随時メール報告し、質疑・コメントにも対応
- 運営委員会にて承認, 会長案として宇宙研へ提出

# 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

- 世界的な潮流とも合致

- 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

# 提案のポイント①

- 火星, 小惑星, 月をおさえる
  - 小型から中型へ, ステップアップ的アプローチが可能
  - C1~C5まで相補的にカバーする
- 限りのあるリソースのなかで進めるには、火星と小惑星の融合探査が効果的
  - 火星衛星着陸・サンプルリターンミッションを2020年代半ばのマイルストーンの戦略的中型枠に置く
  - 始原的炭素質小惑星としての価値だけでなく、火星大気進化過程の記録媒体、火星大気観測点としても期待できる
  - はやぶさ2など先行ミッションの経験を応用する
  - 同時期の戦略的中型枠オプションとして「のぞみ後継機」もあり得る

# 火星衛星サンプルリターン探査

2026ごろを想定

- 表面スペクトル=D型, C型小惑星, 炭素質隕石と同様の組成
- 現時点で未踏
  - Phobos 1, 2 (1989) 通信途絶
  - Phobos Grunt (2011) 地球軌道離脱失敗



フォボス(左:直径20km)とダイモス(右:直径12km). ほぼ赤道を周回している. 起源論に捕獲説と集積説がある.

## 表層・内部構造探査＋サンプルリターン＋(火星)リモートセンシング

- (1) 衛星の起源と歴史(捕獲説なら太陽系初期進化・生命前駆物質の情報, 円盤説なら火星材料物質と集積・変成過程)
- (2) 火星環境を支配する天体衝突史・大気散逸史の制約
- (3) 火星大気・表層環境のモニタリング

多くの研究者をひきつけ, 効率的な推進が可能

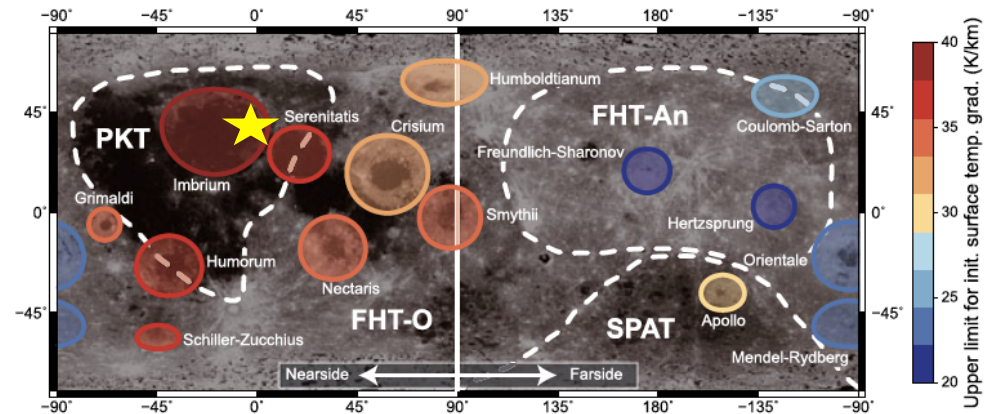
## 提案のポイント②

- 月内部構造・月物質探査を推進し、「かぐや」が拓いた原始月地殻の科学の包括的展開を図る
  - ペネトレータ等、技術開発に長年の経験
  - ピンポイント軟着陸技術(SLIM・縦穴探査(小型3号機), SELENE-R), 硬着陸技術(ペネトレータ技術実証探査)を着実に実証し, その場観測技術(月KREEP物質・年代探査)を経て, 重力天体のSR技術(月裏側地殻SR探査)まで段階的に進展
  - 火星着陸, 火星衛星SR探査の先鞭にも位置付ける
- 特色ある科学を伸ばし, 2030年代に火星地下水圏・地下生命圏探査を目指したい
  - ただし規模が大きく、現状の枠組みでは政策的支援が必要

# 月面その場観測によるKREEP物質 年代測定探査

2026年頃を想定

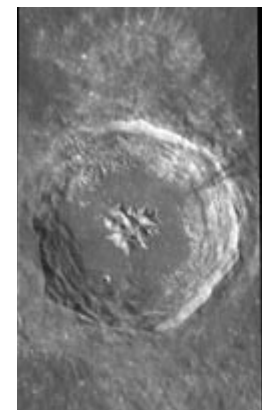
- 月の表側のPKT (Procellarum KREEP Terrane) にマグマ濃集元素が集中
- 放射性元素に富み、月の熱史に影響
- 年代計測が相対的に容易
  - 同様の計画は他にない



衝突盆地の地形の緩和度から推定した初期地殻熱流量. PKTの地下は高温だったことが示唆される. (Kamata+ 2013)

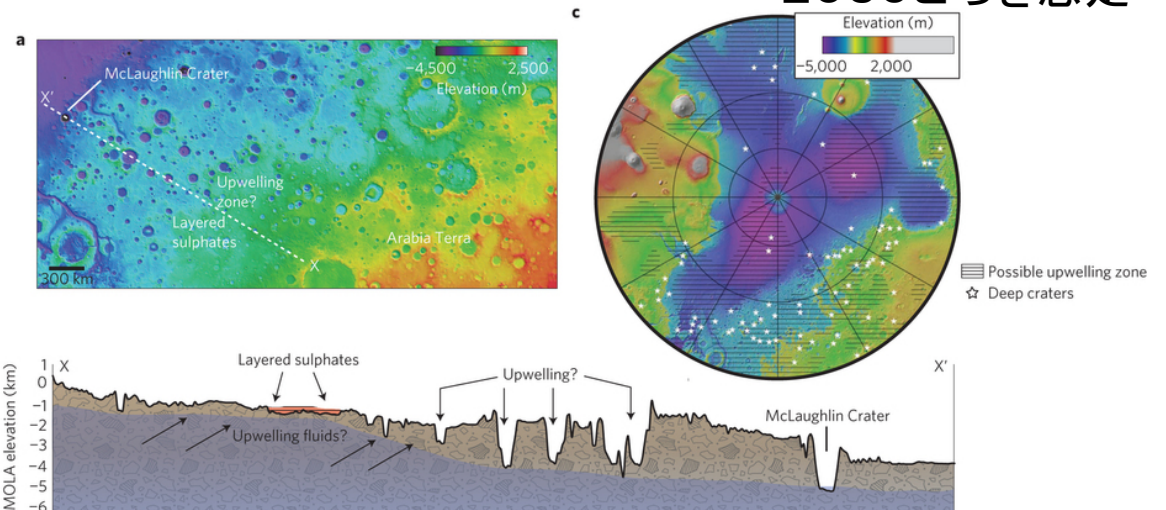
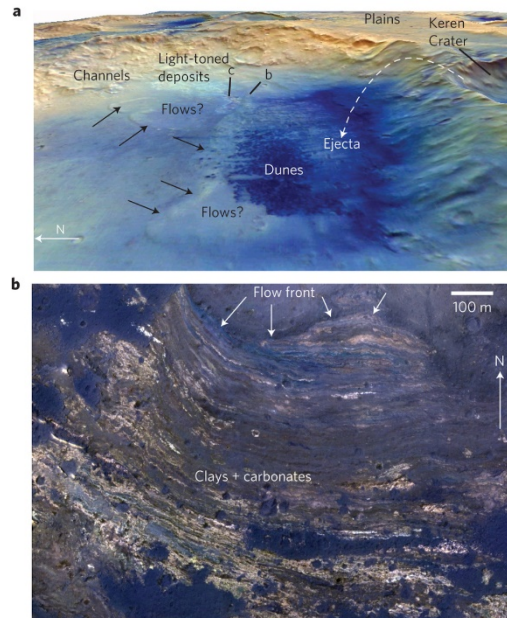
## 若いクレータ(Aristillus)に着陸, その場放射性年代・元素成分測定

- (1)インパクトメルトの固化年代から同クレータ形成絶対年代を求めらることで、クレータ年代学を高精度化し、隕石重爆撃の時間進化を知る.
- (2)液層濃集元素量の測定により月全球の熱源元素量を推定し、月の熱史を制約する.
- (3)未変質KREEPの年代測定によりマグマオーシャンの固化終了時期を特定する



# 火星地下水圏・生命圏の着陸探査

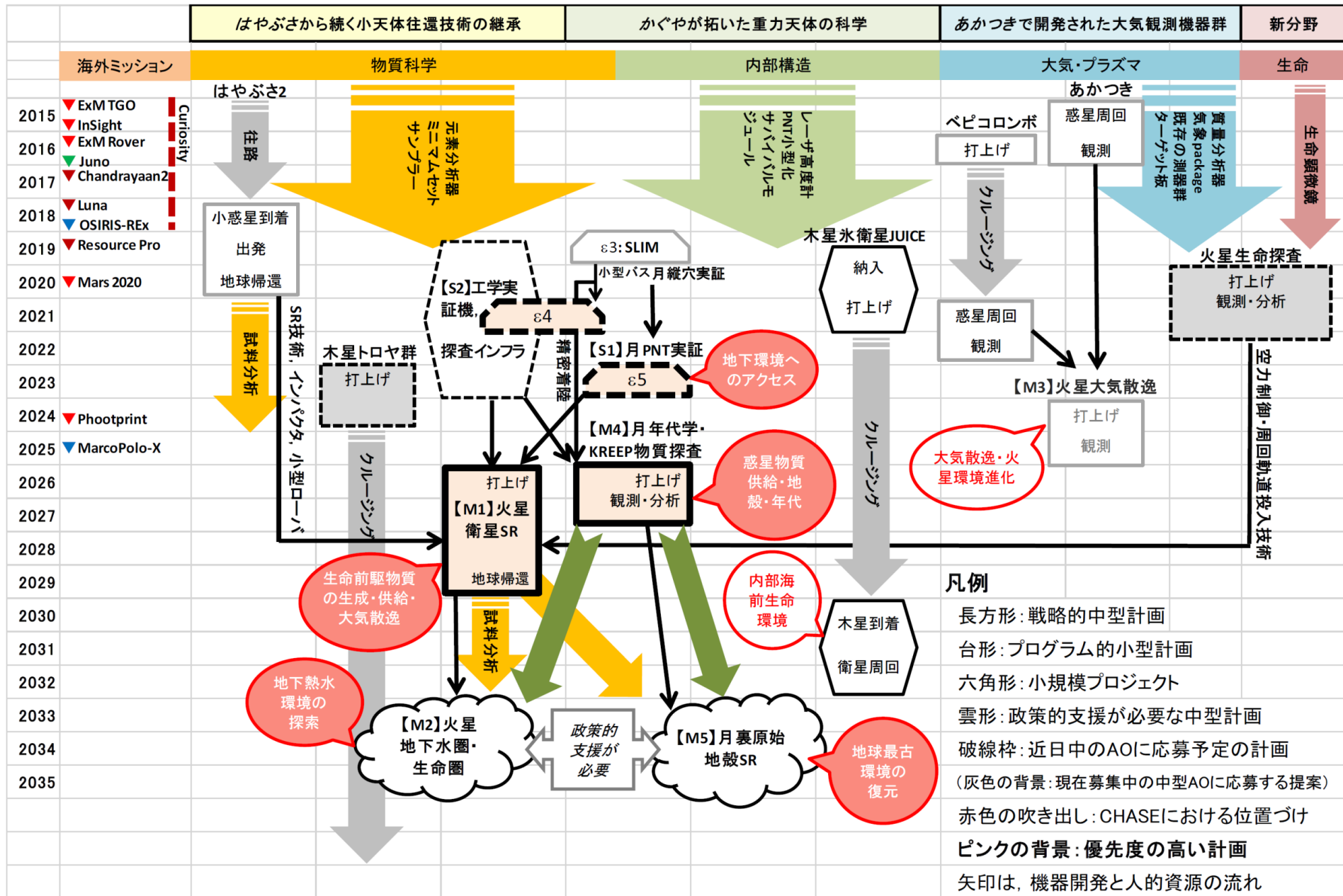
2030ごろを想定



火星最初期に地下水が湧出していた証拠が最近MROのデータから発見された。クレータ底に蛇紋岩や炭酸塩岩が堆積している (Michalski+, 2013).

## 化学岩・変成岩のその場調査(ローバ+元素・同位体組成分析)

- (1) 火星地下水の化学的キャラクタリゼーションと化学合成生物のハビタビリティの理解(水溶液組成, pH, 酸化還元ポテンシャルの推定),
- (2) 初期火星温暖化機構の制約(大気CO<sub>2</sub>分圧の推定),
- (3) 炭素の表層リザーバサイズと水散逸史の制約(炭素・水素・酸素同位体化学)



# 推進体制

## 研究教育ネットワークが必要

- 惑星科学は後発のため、全国に研究者が散在し、横断的な研究教育の支障になっている
- 本質的に学際分野. 天文学, 地球科学, 太陽惑星圏科学, 宇宙探査工学等にまたがる
  - とりわけ, 太陽系探査等大型研究の立案と実施には, 学際的な取り組みが必要
- 惑星科学コンソーシアムの設立を構想
  - 学術会議マスタープラン2014に「太陽系生命前駆環境の実証的解明のための統合研究プログラム」の実行組織として提案
  - 予算措置の努力を継続中, 現状は手弁当



# 惑星科学研究コンソーシアムの概要

