

ミッションコンセプト

課題名：その場年代計測装置による月惑星年代学探査

■A. 科学目的

本提案は月面着陸によるその場年代測定にもとづいて月面クレータ記録に絶対的時間軸を入れることにより、太陽系内側の天体衝突史を復元するものである。現状、岩石試料の欠落のために 39 億年前以前と過去 30 億年間の天体衝突史が不確定であるが、本提案では下記の太陽系力学進化に関わる問題の解明の重要性和国外ミッションとの競合性・相補性を考慮し、特に過去 30 億年の天体衝突史の復元を対象とする。

(A) 月の熱的進化史の復元による月形成モデルの検証

月は地球型惑星形成の最終段階に生じたとされる「巨大衝突」の実体に迫りうる唯一無二の天体である。巨大衝突仮説の予測によると月は全熔融から始まったとされる。その場合、高温の初期状態はその後の熱進化を大きく左右し、月は 20 億年以上もの長期間、マントル熔融域を保持できたと考えられる。一方で、クレータ年代学で決定された月のマグマ噴出年代から見積もられるマントル熔融域の保持期間は、クレータ年代学のモデルに大きく依存し、衝突率一定モデルでは約 25 億年もの間保持されていたことになり、月が高温でつくられたことを強く示唆するが、衝突率減少モデルに従うと 15 億年程度であり、初期の高温状態を必要としない。本提案では、衝突史の復元によってクレータ年代学の高精度化を達成し、マントル熔融域が長期間保持されたかを検証することで、月の初期温度状態を決定する。

(B) 小天体のサイズ分布進化の復元

微惑星から現在の太陽系小天体への力学進化は、巨大惑星の形成と大移動の歴史を知る上での鍵であり、太陽系形成から現在の太陽系構造へとつなぐ第一級の重要問題である。小天体の力学進化過程を探る上で重要な情報は小天体のサイズ分布である。メインベルト天体の観測から 100~1000km サイズの天体数が卓越している事が知られているが、これがもともとの微惑星形成時の特徴的なサイズを反映しているものか、現在の太陽系小天体が経験している衝突カスケードによる副産物であるのかはよく分かっていない。本提案では月表面に見られる太陽系天体衝突の時間変化から小天体質量の減少速度を初めて観測的に定量化し、衝突破壊強度などの基礎量をおさえることで、衝突カスケードが 100km サイズ天体の分布まで影響しているかを評価し、小天体のサイズ分布の問題に決着をつける。

更に本探査で獲得されるその場年代決定技術や試料選別のスキーム、月面移動地質調査技術の経験は、将来の月面サンプルリターン計画や火星探査計画に継承されるものである。

■B. 概要・特徴

1. 衛星軌道

周回機・ランダー・小型ローバー

- ・ランダー：マニピュレータ、LIBS-QMS システムを搭載、マニピュレータ先端にコア抜きドリル（または研磨装置）、分光カメラ（SELENE-2 搭載候補機器 LMUCS / LUMI 相当）を設置
- ・小型ローバー（オプション）：マニピュレータ、分光カメラを搭載、マニピュレータ先端にコア抜きドリル

ル（または研磨装置）を設置

・運用イメージ

- 1) Aristillus クレータフロアにある新鮮な小クレータの周囲に~100mの精度でのピンポイント着陸
- 2) ランダー周辺の岩石を採取し、岩石表面を研磨、またはコア抜きし、分光カメラで表面の岩石組織を観察
- 3) 岩石が角礫岩ではなく、固化時の組織が保存されていることを確認
- 4) ランダー内の年代計測装置に試料をセットし、年代を計測

バックアップとして、小型ローバーにより周辺（数十mの範囲）の岩石採取も行う。

2. 搭載研究装置のリスト

- (A) 年代決定装置：LIBS-QMS システム
- (B) 分光カメラ：SELENE-2 搭載候補機器 LMUCS / LUMI 相当
- (C) コア採取機（または研磨装置）

3. 重量・サイズ

- (A) LIBS-QMS システム ~12 kg (既存品*積上げ~10kg + マージン 20%) (TBD)
- (B) 分光カメラ LMUCS, LUMI それぞれ ~2 kg
- (C) コア採取機（または研磨装置） ~1 kg
- (D) 小型ローバ ~20kg

4. その他の特徴

着陸地点の優先順位：

- (1) Aristillus クレータのフロア
- (2) 若い溶岩流（Procellarum 中央部）
- (3) Copernicus クレータのフロア

着陸精度要求：

Aristillus クレータ内部にある小クレータ（直径~200m 程度）の放出物上、~100m の範囲内に着陸

■C. 体制・経費・スケジュール

1. 推進体制（国際共同？）

開発・科学検討体制（現状メンバーでの体制、随時声かけ中。）

提案代表：諸田智克（名古屋大）

システム検討：小林直樹（JAXA）、渡邊誠一郎（名古屋大）、小川和律（JAXA）

アドバイザー：向井利典、橋本樹明、田中智（JAXA）

ローバー開発：國井康晴（中央大）、大槻真嗣（JAXA）

分光カメラ開発：杉原孝充（JAMSTEC）、大竹真紀子（JAXA）、佐伯和人（大阪大）、
本田親寿（会津大）、諸田智克（名古屋大）

K-Ar 年代計測装置開発：長勇一郎（立教大）、杉田精司、三浦弥生（東京大）、亀田真吾（立教大）、
齋藤義文、笠原慧、小川和律、吉岡和夫（JAXA）、岡崎隆司（九州大）、

並木則行, 荒井朋子, 小林正規, 石橋高, 大野宗祐, 千秋博紀, 和田浩二 (千葉工大),
橘省吾 (北海道大)

研磨・コア抜きドリル開発: 長勇一郎 (立教大), 杉田精司, 三浦弥生 (東京大), 大竹真紀子 (JAXA),
本田親寿 (会津大)

運用検討: 諸田智克 (名古屋大), 本田親寿 (会津大)

ソフトウェア開発: 石原吉明 (JAXA), 鎌田俊一 (北街道大), 小林進悟 (放医研)

データ解析, 科学検討:

鉱物学・岩石学: 大竹真紀子, 唐牛譲 (JAXA), 杉原孝充 (JAMSTEC), 佐伯和人 (大阪大),
武田弘 (東京大), 荒井朋子 (千葉工大), 小林進悟 (放医研)

年代: 三浦弥生 (東京大), 長勇一郎 (立教大), 杉田精司 (東京大), 杉原孝充 (JAMSTEC),
寺田健太郎 (大阪大)

リモートセンシングデータとの結合: 本田親寿 (会津大), 諸田智克 (名古屋大), 石原吉明 (JAXA)

理論: 渡邊誠一郎, 古本宗充 (名古屋大), 鎌田俊一 (北街道大), 小林直樹 (JAXA)

2. 大雑把な経費

科学目標の達成度とコストのトレードオフ検討の結果を下記に示す。ペイロード >50 kg では、それ以上の年代計測精度の大幅な向上は見込めない。そのため 300 億円 (ペイロード 50 kg) を想定する。

	予算	ペイロード	規模	科学成果	機器構成	運用方法	評価
A-1	100*	1 kg	小型 (SLIM規模)	着陸点の岩石の元素・ 鉱物組成を決定する。	(周回機) (着陸機) マニピュレータ, 分光カメラ	着陸機周辺 (数m) の岩石を 分光カメラにより観察する。	科学目標が未達成
A-2	300*	50 kg	中型 (SELENE-B規模)	着陸点の岩石の元素・ 鉱物組成, 形成年代を その場測定により10% の精度で決定する。	(周回機) (着陸機) LIBS-QMSシステム, 分光カメラ, マニピュレータ, 研磨装置 (ローバ: 30kg) 分光カメラ, マニピュ レータ	着陸機のマニピュレータで 周辺の岩石を採取する。採 取した岩石を着陸機搭載の LIBS-QMSシステムにより年 代計測する。オプションと して, ローバ搭載分光カメ ラにより試料選別を行い採 取した試料を着陸機に持ち 帰る。	ミニマム, ノミナルサクセ スの達成が可能 フルサクセスの達成の可能 性あり
A-3	370*	100 kg	中型-大型 (SELENE-2ミニマム (ローバ: 移動す る) だけ or 越夜 (地 震計) だけ))		(周回機) (着陸機) LIBS-QMSシステム, 分光カメラ, マニピュレータ, 研磨装置 (ローバ: 80kg) 分光カメラ, マニピ ュータ, 研磨装置		
A-4	500*	300 kg	大型 (SELENE-2規模)		(周回機) (着陸機) 分光カメラ, マニピュレータ (ローバ: ~200kg) 分光カメラ, マニピ ュータ, 研磨装置, LIBS-QMSシステム	ローバ搭載の分光カメラ, LIBS-QMSシステムにより試 料選別, 年代決定を行う。	

* 予算は SELENE-B, SELENE-2 検討時の概算を参考にした

3. 大雑把な年次進行計画 (目標)

WG 立上げ: FY2016

MDR : FY2018

打ち上げ : ~FY2023

以上