

# 第一回 重量天体(月火星) 着陸探査シンポジウム

## 月有人活動を見すえた 月着陸科学探査

JAXA/宇宙研 太陽系科学研究系  
春山 純一

# 月有人活動を見すえた 月着陸科学探査

- ①「地球形成を、月を通して読み解く」  
～月のマグマオーシャンによる成層構造は成ったのか?～
- ②「月の火成活動のバリエーションを把握する」  
～月独特の火山様式はあるのか?～  
～月の火成活動に水の関与があるのか?～
- ③「月に、人類の宇宙への進出の橋頭堡を築く」  
～月に、人類の宇宙への進出の橋頭堡を築くことができるのか? そこに科学はどう貢献するのか?～

### ①「地球形成を、月を通して読み解く」 ～月のマグマオーシャンによる成層構造は成ったのか?～

**<背景>**  
●月地殻は全溶融しての成層構造なのか?  
・全溶融したい月地殻(?)  
・ブランケット効果(松井-阿部理論)の検証  
・計算機シミュレーションの制約条件  
=>温室効果?  
(サイズと構造だけでないファクタ?)  
=>内部構造進化=>主量星との共進化モデルへの制約=>生命誕生への制約

**<SELENE成果>**  
・斜長岩の発見、全球分布(Ohtake et al., 2009) (シリアルマグマテイズム?)  
・大きな進展: PANとカンラン岩との接触分布が同一深さにあることが明らかに(Yamamoto et al., 2012)

**<どこをどう調べるか?>**  
・SPデータ(Yamamoto et al., 2012)で見られ PAN+Olivine 分布領域で、層構造を、確認する。  
※地震探査で、層構造を確かめる=>広域探査、ネットワーク探査

**●有人探査への貢献**  
PAN(purest anorthosite)は、AIを多く有する  
↓  
(ISRU: in situ resource utility)  
純粋なケイ素=>太陽電池  
参加アルミ=>建材  
沸石(Zeolite) =>イオン交換材料、触媒、吸着材料

### ②「月の火成活動のバリエーションを把握する」 ～月独特の火山様式はあるのか?～ ～月の火成活動に水の関与があるのか?～

**<背景>**  
火山活動は、天体におけるエネルギー源。一方で環境破壊源。  
月の火成活動の噴出物質、噴出期間、噴出量、噴出間隔等を規定するのは何か?  
月の火成活動に揮発性物質(水など)はどうか寄与したのか?  
(火山研究の最先進国日本が主導する)

**<SELENE成果>**  
・海の年代把握=>若い時代(10億年程度)まで火山活動。周期的火山活動?  
+ (LROC画像から、1億年から数千万年前?) (GRAIL重力データから、亀裂構造)  
・縦孔発見 => (層構造を為す壁: 露頭として適する) (地下空洞の確認: 新鮮な物質提供場所)

**<どこをどう調べるか?>**  
1) 月の火山を巡り産状調査・元素分析、サンプル回収  
・Silica richに加えThも異常に存在する火山: Compton-Belcovich  
・Si-rich火山: Hansteenalfalfa, Gruithuisen-Gamma  
・OHが存在(?): Central hill of Bullialdus Crater  
・月最大級盾状火山: Marius Hill, 大規模火山: Mons. Rumker (時系列サンプル採取) 1億年前以内(?!)の火山活動  
Gruithuisen E-M region, Marius Hills, Mare Nubium, Ina, Hyginus, Sosigenes, Maskelyne 年代と元素組成。特に水。  
★着陸してのサンプル(岩・砂)元素組成調査

### ②「月の火成活動のバリエーションを把握する」 ～月独特の火山様式はあるのか?～ ～月の火成活動に水の関与があるのか?～

2) 月の地下空洞を求めて  
溶岩チューブ形成による遠距離溶岩運搬作用の存否を確認する。  
①どこまで続いているのか?いつ、作られたのか?=>地下や周辺表面を広域物理探査。  
②インフレーションを起こしたかどうか?ガスの寄与?空洞の形状把握。=>★着陸要  
(静の海、マリウスヒル、賢者の海の縦孔 死の湖、豊の海のpit)

3) 層構造・フレッシュな溶岩提供。=>★着陸要  
壁: 気泡の存否。(外部起源の水も?) (ダイナモ磁場の存否)  
床/空洞内: Tなどの物質/温度粘性の遷移情報。捕獲岩の取得。ガス成分取得

4) 月の火成活動に、周期性があるのかを調べ。  
ホットブリューム仮説の検証を目指す。  
⇨重力増傾斜による亀裂構造(?)  
・外郭亀裂(マントル物質?) @水の海など  
・内郭亀裂(?)  
20億年以上の噴出時期の様々な溶岩地域。特に、アリストコス南東部、フラムステード、マリウス丘噴れの海の周辺部  
・内外郭と異なった亀裂? ツオルコフスキークレータ、モスクワの海  
着陸(できればサンプルリターンして)の年代測定が要=>★着陸要

### ③「月に、人類の宇宙への進出の橋頭堡を築く」 月に、人類の宇宙への進出の橋頭堡を築くことができるのか? そこに科学はどう貢献するのか?

**<背景>**  
3.11: 地球は、人類に必ずしも優しい環境を呈するものではない。数千万年に一度の破壊的な隕石衝突も、いつ起こるか分からない。月へ、宇宙へ、人類が出て行くことを軸にした月探査、惑星探査が求められる。  
月は、放射線被曝・微小隕石・温度変化の問題から、人類が恒久基地を作るには問題があった。

**<SELENE成果>**  
・極域  
水: 月南極点のシャクルトンクレータに水は露出していない。  
(LEND等から)あっても数10~数100ppm。(数%の水存在を言うLCROSSデータやMini-SARデータは要視する研究者が多い。)  
永久日照域: 無い。(SELENE高度計データから)  
そもそも1-2mの砂では放射線は有効遮蔽できないのでには恒久基地建設のハードルが高い

**<どこをどう調べるか?>**  
●人類の恒久的基地建設の可能性を科学的に調査する。  
- 縦孔/地下空洞  
放射線遮蔽環境、隕石遮蔽、熱サイクル、岩盤厚、揮発性物質(水がたまっている可能性もある)  
資源調査: IPKT 極域でチタン濃集がある地域の縦孔  
科学観測基地  
天文台として適する高側の縦孔 (将来の火星地下空洞内基地建設の準備)  
- ミニ気圏(放射線遮蔽、ダスト集積調査)  
Reiner gamma, Descart anomaly, Mare Ingenii 等

●失われし水を求めて。  
- 極域永久凍土(水の貯蔵と、空動プロセスの理解)  
まずは、水の検知。D/Hの測定。水分子の移動検知。  
LCROSSの水検知の追跡: Cabeus craterの永久凍土  
LEND観測からの水素濃集領域での水調査:  
Haworth (Shoemaker and Faustini) craterの永久凍土  
高感度カメラで地形の詳細観測。  
物体衝突、エネルギー照射  
=>質量分析器で、揮発性物質などを検知  
(40K極低温環境での作業能力開発)  
●長期のエネルギー確保。  
- 極域長期日照観測

・縦孔、地下空洞  
放射線被曝を免れるなど極めて利点が多い

## 月有人活動を見すえた 月着陸科学探査 まとめ

20世紀の米ソ月探査によって得られた大量のデータに加え、今世紀に入って、特にSELENE(かぐや)データによって成果・知見から、更に多くの研究課題が明らかになってきた

### ①「月の内部構造」

～月のマグマオーシャンによる成層構造は成ったのか？～

### ②「月の火成活動のパリエーションを把握する」

～月独特の火山様式はあるのか？～

～月の火成活動に水の関与はあるのか？～

その場解析、サンプリングなど、人が行くメリットは大きい。しかしコストも高つくだろう、無人/ロボット探査などとの連携が必要

一方で、人が月に進出することを今から考えていくべきで、拠点としての極・地下空洞・ミニ磁気圏下などの科学的な知識を蓄積していくことが必要

### ③「月に、人類の宇宙への進出の構想を築く」

～月に、人類の宇宙への進出の構想を築くことはできるのか？ そこに科学はどの貢献するのか？～

## 月有人活動を見すえた 月着陸科学探査 まとめ

将来に向けて、是非、理工一体となって進めていくべき課題

### 1) 軟着陸(安全で精度良い着陸)

どこに降りたいか、どこが安全か⇨確実性(精度、環境)

### 2) 長期的な活動(越夜:特に極低温となる極域)

長期観測の必要性、温度などの環境⇨越夜システム

### 3) 広域探査(長駆できる移動体)

長距離移動その場観測の必要性・移動ルート

⇨移動距離、移動方法

### 4) 裏側探査

裏側観測の場所・観測期間・移動の要否⇨裏側リレーシステム

### 5) サンプルリターン

サンプルリターンの要否・帰還サンプルの保存状態⇨帰還技術