

ローバを利用した月面探査計画：月の進化の証拠を求めて

Lunar surface exploration using a rover, searching for evidence of the evolution of the moon

佐々木 晶[1], 久保田 孝[2], 岡田 達明[3], 佐伯 和人[4], 武田 弘[5], 黒田 洋司[6], 國井 康晴[7], 長谷部 信行[8], 大竹 真紀子[9], 春山 純一[10], 平田 成[11], 杉原 孝充[12], 金森 洋史[13], 佐々木 健[12], 秋山 演亮[14], 寺園 淳也[15], 月ローバ研究グループ 佐々木 晶

Sho Sasaki[1], Takashi Kubota[2], Tatsuaki Okada[3], Kazuto Saiki[4], Hiroshi Takeda[5], Yoji Kuroda[6], Yasuharu Kunii[7], Nobuyuki Hasebe[8], Makiko Ohtake[9], Jun'ichi Haruyama[10], Naru Hirata[11], Takamitsu Sugihara[9], Hiroshi Kanamori[12], Takeshi Sasaki[9], Hiroaki Akiyama[13], Jun-ya Terazono[14], Lunar Rover Group Sho Sasaki

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 宇宙研, [3] 宇宙研・惑星, [4] 秋田大・工学資源・研究施設, [5] 千葉工大・付属研, [6] 明大・理工・機械, [7] 中央大・理工・電気, [8] 早大・理工総研, [9] NASDA, [10] NASDA・先端ミッション, [11] 科技団, [12] 宇宙開発事業団, [13] 宇宙開発事業団・技本・先端・月利用, [14] 東大・理・地惑, [15] (財)日本宇宙フォーラム

[1] Earth and Planetary Sci., Univ. Tokyo, [2] ISAS, [3] Div. Planet Sci., ISAS, [4] Research Inst. Materials and Resources, Akita Univ., [5] Chia Inst. of Tech., [6] Sci. and Tech., Meiji Univ., [7] Dept. of EECE, Chuo Univ., [8] Adv. Res. Inst. for Sci. and Eng., Waseda Univ., [9] NASDA, [10] AMRC,NASDA, [11] JST, [12] Lunar Mission Lab., R&D, NASDA, [13] Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ, [14] JSF

<http://www-space.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~sho>

月の起源・進化の解明の上で、月を構成する物質の起源の解明のために、月面での直接探査が不可欠である。理学と工学の研究者が協力して、月面での無人ローバ直接探査の検討を行ってきた。月の起源・進化の研究において、地殻形成・火成活動の初期と最終段階はまだ未解明である。そのため、クレータ中央丘の物質を直接観測することで、月の地下物質の組成を同定し、マグマオーシャンからの成層構造形成モデルに制約を与える探査、海の玄武岩火成活動の後期に進行した火山体形成を調べることで、マグマ進化の最終段階の情報得る探査が重要である。SELENE-B 計画へのローバ搭載を目指して、シナリオ検討、科学機器開発を行っている。

月の起源・進化の解明を目指して、SELENE 計画がはじまり、極軌道衛星による月全体のリモートセンシング探査が行われる。しかし、月を構成する物質がどのように形成されたのかを知るためには、月面での直接探査が不可欠である。我々は1年半前より、理学と工学の研究者が協力して、ローバを使った月面での無人直接探査の検討を行ってきた。これまでに、(i)クレータ中央丘探査による月内部物質の同定、(ii)地殻の薄い場所にあるクレータ底の探査、(iii)クレータ内部の探査、(iv)高地地域探査、(v)海の溶岩流・ドーム探査、(vi)月極域の氷探査を検討してきた。この中では

- 1 クレータ中央丘探査による初期地殻・マントル物質の探査
- 2 海地域の年代の新しい火山活動のスタイルの探査

が重要であるという結論に達した。月の起源・進化の研究において、地殻形成・火成活動の初期と最終段階はまだ未解明である。前者の探査では、クレータ中央丘の物質を直接観測することで、月の地下物質の組成を同定し、マグマオーシャンからの成層構造形成モデルに制約を与えることができる。後者では、海の玄武岩火成活動の後期に進行した火山体形成を調べることで、マグマ進化の最終段階の情報が得られる。

月面探査で着陸船(ランダ)だけによる探査を行う場合は、表面試料の直接観察対象はアームなどを使用したとしても、周囲数mが限界である。ローバを利用すると、広範囲の目標に対し、物質科学的特徴を知るための1次分析、サンプルの採取が可能である。ランダのみの探査や有人探査が困難な地域(影、急傾斜地、崩壊地)の探査が可能になる。詳細分析が必要な場合は、ランダに戻り高感度・精度の分析機器を使用したり、さらにサンプルリターンを行えばよい。特にローバ・ランダの直接交信による高いデータ伝送量を保つためには、ローバの移動距離が数100m程度に制限されるため、ローバ・ランダの協調ミッションが現実として重要になる。いずれにせよ、月・惑星探査の将来ビジョンではサンプルリターンは重要な目標となる。その基礎技術としてローバは不可欠である。

ここで、月の火山地形探査を例に、具体的な探査シナリオを考えてみたい。マリウス丘群(Marius hills)はOceanus Procellarum(嵐の大洋)にある比較的小規模な(数km~十数km)ドーム、コーンの集合体である。マリウスの場合、ドームは円形はしているものの複雑に入り組んだ地形をしている。コーンは、ドームと比較して開口率の高い、馬蹄形の火口らしき地形をもち、スコリア丘的なものと考えられている。

そこで以下の探査シナリオを考えている。

1. コーンとドームが隣接している、着陸しやすい地域にランダーを着陸させる。

2. コーンについて遠景から分光撮像（ランダ搭載のカメラも使用して、周囲の立体視画像も取得）
3. コーンに接近。接近する過程で随時分光撮像する。山麓で崖錐として存在する山体構成物質および基盤岩との関係を単バンドおよび分光観察する。線分析（X線分析）も行う。
4. サンプルを採取してランダに持ち帰り、詳細分析を行う。
5. 別ルートでドームへ移動し、コーンの場合と同様な観測・サンプル採取・ランダへの帰還・分析を行う。

ローバ・ランダ協調観測においては、ローバに分光カメラ、線分光、サンプル採取・運搬機構の搭載、ランダに望遠カメラ、マイクロ連続分光カメラ、X線蛍光分析・回折、岩石研磨装置の搭載が考えられる。今後の着陸地点の検討で数100mの移動距離でドーム、コーンの双方の観察が可能な地域が発見できれば望ましい。工学グループはすでに踏破性能の高い5輪ローバ(MICRO-5)開発している。さらにカメラ付アームを搭載したモデルも存在する。今後は、月面仕様の設計（真空、熱、重力、電力、通信、搭載機器）が課題である。短距離ランダ協調観測では、観測対象から数100m以内にランダが着陸する必要がある。着陸の軌道制御は、100mを切る精度が望ましい。

現在進行中の月探査計画は、日本のLUNAR-A（内部地震探査）、SELENE（全球探査）、ヨーロッパのSMART-1（極域の撮像・分光）のみである。NASAのディスカバリー計画に、南極イートケン盆地のサンプルリターン、極域探査計画が提案されたが選択されていない。日本では、SELENEで当初予定されていた月着陸試験機を独立した別ミッションとして、月の表側に着陸実験を行う計画がある。このSELENE-B（仮称）では、数10kgのサイエンスペイロードが搭載される可能性があり、我々のグループは、是非ローバを搭載して、中央丘もしくは火山地形の探査を行いと考えている。今後は搭載を前提とした科学機器の開発・シナリオの検討を継続していく。