

SELENE2 測地及び地震観測による月内部構造モデルの改善 Improvement of lunar interior model by SELENE2 geodetic and seismic observations

山田 竜平^{1*}, 松本 晃治¹, 菊池 冬彦¹, 野田寛大¹, 小林 直樹², 佐々木 晶¹

YAMADA, Ryuhei^{1*}, Koji Matsumoto¹, Fuyuhiko Kikuchi¹, Hiroto Noda¹, Naoki Kobayashi², Sho Sasaki¹

¹ 国立天文台 RISE 月探査プロジェクト, ² 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

¹National Astronomical Observatory of Japan RISE project, ²Institute of Space and Astronautical Science/Japan Aerospace Exploration Agency

現在、SELENE-2 月面着陸機ミッションでは地球物理学的な観測手法により月の内部構造を探查する事が計画されている。特に、SELENE-2 では測地観測と地震観測の両方が計画されており、これらは共に月内部物質の弾性的特性や密度を調べる上で有用であるため、両観測のデータを組み合わせて使用する事で内部構造に対してより良い制約を与える事が期待される (e.g., Garcia et al., 2011)。

SELENE-2 の測地観測としては VLBI (Very Long Baseline Interferometry) 観測と LLR (Lunar Laser Ranging) 観測が計画されている。VLBI 観測では着陸機と月周回衛星との両方に電波源を搭載し、各々から発した電波を二つの地上局で観測する (同一ビーム VLBI)。この場合、電波源の一方が月面に固定された基準点となるので、SELENE の時よりも月表側で精密に周回衛星の軌道を決めることができる。この観測で周回衛星の平均高度を比較的高く設定して、低次重力場係数やラプ数 k_2 の精度向上を狙う。LLR 観測では、着陸機にレーザー逆反射板を搭載して地球から発信したレーザーを受光、反射させることで地球-月間の距離を $\sim 1\text{cm}$ の精度で測定する。地球-月間距離の精密な測定からは月の回転運動や潮汐変形といった月の内部構造に依存した運動を検出する事ができ、月内部の弾性特性やコア-マントル境界の扁平率等の情報を得ることができる。この VLBI と LLR の観測結果を組み合わせる事により最終的に慣性モーメントと 2 次の潮汐ラプ数 (h_2, k_2) に対して SELENE で得られた結果よりも 30-70% 程度の誤差の改善を図ることが期待できる。

SELENE-2 の地震観測では広帯域地震計 (VBB (Very Broad Band)) と短周期地震計 (SP (Short-Period)) の 2 種類の地震計が軟着陸機により設置される。SELENE-2 では 1 点観測であり、観測波形のみから独立して震源位置を決定できないため、過去に行われた Apollo 地震探査で震源位置が決定されている深発月震 (e.g., Nakamura et al., 1982) や地上観測から衝突発光を検出して位置決定できる隕石衝突の波形等が観測対象となる。地震観測では、これらのイベントからコアからの反射波やモホ面での屈折変換波等を検出して月のコアサイズや着陸点付近での地殻厚さを精密に決める事が重要な課題となっている。

本研究では、上述した SELENE-2 の測地観測と地震観測で期待される結果を組み合わせることによりこれまでの月内部構造モデルがどの程度改善されるかシミュレーションを行った。このシミュレーションでは測地データとして慣性モーメント、月質量、潮汐ラプ数、地震データとして地震波走時データを用い、線形逆問題を解いて得られる内部構造モデルパラメータの a posteriori errors を評価している。現在までのシミュレーションの結果では、測地データを用いる事で特に地震波が伝搬しにくいマントル深部の S 波構造の決定精度をより大きく改善できる事を示す事ができている。また、コアサイズ、地殻厚さが地震観測で精密に決定できれば、SELENE-2 の測地データより、月地殻、マントル、コアの各平均密度を高精度で決定でき得る予備的な見解を得ている。本発表では、実行した評価結果を報告すると共に、特に SELENE-2 の測地データを利用する事による利点についての議論も行いたい。

キーワード: 月探査, 月内部構造, 重力観測, 月レーザー測距, 地震観測, VLBI

Keywords: Lunar exploration, Lunar interior structure, Gravity observation, Lunar laser ranging, Seismic observation, VLBI