

## SELENE 搭載レーザ高度計(LALT)による月面測距点のクロスオーバー解析

## Crossover analysis of ranged positions on the moon by SELENE-LALT

# 荒木 博志[1], 河野 宣之[1], 高根澤 隆[2], 坪川 恒也[3], 大江 昌嗣[1]

# Hiroshi Araki[1], Nobuyuki Kawano[2], Takashi Takanezawa[3], Tsuneya Tsubokawa[4], Masatsugu Ooe[5]

[1] 国立天文台・水沢, [2] 総研大・数物科学・天文科学, [3] 天文台・水沢観測センター

[1] NAO, Mizusawa, [2] Div. Earth Rotation, NAO, [3] Dep. Astro. Sci., School of Math. & Phys. Sci., Grad. Univ. for Adv. Studies, [4] NAO, Mizusawa, [5] Div. Earth Rotation, Natl. Astronomical Obs.

SELENE-LALT ミッションで得られる高度データ、衛星位置データ等を用い、LALT による月面測距点のクロスオーバー解析によって測距点の絶対位置を求める方法を検討している。これは LALT のようなフットプリントの小さいビームで測定された高度データを用いて、衛星高度だけでなく横方向の位置及び姿勢の決定をする事を目的としている。

予備的な検討結果によるとクロスオーバー点付近の地形もよるが、LALT 測距位置（衛星位置の誤差込みで）を 100m 前後の誤差で求められる可能性がある。さらに平均的な衛星姿勢が月重心を向いていることを利用すれば姿勢と軌道の誤差を統計的に分離でき、衛星姿勢情報を 2 ~ 3 倍改良できる可能性もある。

SELENE-LALT ミッションでは、月周回軌道から測距誤差 5m 以下、フットプリント直径約 30m のレーザ測距によって月地形高度の高精度計測を行い、グローバルかつ高精度な月面地形高度図を作成する。周回衛星上の時刻、位置、測距方向があらかじめ高精度でわかっているならば測距点の絶対位置が求められ、月面地形高度図に経緯度線（月中心座標）を入れることは容易にできるが、現状では衛星の時刻誤差、位置誤差、指向誤差が RSS で最大 1km に達するため、経緯度線の絶対位置も同程度の誤差があると見込まれている。昨年度の合同学会では LALT の測距データと、地形カメラ(LISM)の立体視画像から合成される Digital Elevation Map (DEM) と LALT データの照合シミュレーションを行い、両者のずれを数十m以内に追い込めることを報告したが、DEM に経緯度情報を精度よく書き込むためには、LALT が測距している月面上の絶対位置を決定しなければならない。そこで我々は LALT によるクロスオーバー測距点の 3 次元位置解析によって測距点の絶対位置を求める検討を進めている。この方法はビームのフットプリントが小さく、地形プロファイルを把握しやすいレーザ高度計の特徴を生かすことができ、Mars Global Surveyor の軌道・姿勢決定でも試みられている(Rowlands et al., 1999)。

ここではまず現在検討中の LALT クロスオーバー点解析は概略どのようなものかを説明する。周回衛星の姿勢は、14 時間ないし 28 時間ごとにリアクションホイール(RW)のアンローディングでランダムにジャンプするので、軌道および LALT データはこれを境に分割し、互いに数日離れている軌道および LALT のデータ 2 セット A と B (長さはいずれも 14 ~ 28 時間)を考える。A、B それぞれでは姿勢は一定とみなせる。交差角を 90° 前後にして解析精度を上げるために 7 日前後離れている組み合わせが最もよい。A と B のクロスオーバー点はほぼ 100 以上あり、A、B それぞれの測距方向(LA、LB)の可能性を絞るために以下の(1)~(4)の処理を各クロスオーバー点で行う。(1) 衛星運用系から得られる衛星時刻・軌道・姿勢データに LALT データを組み合わせると軌道クロスオーバー点付近での 3 次元測距位置データ(3 次元曲線)を 2 セット作成する。(2) 2 つの 3 次元曲線の距離が最小になる位置(LALT 計測時刻)をそれぞれ求め、LALT データのどこがクロスオーバー点に相当するのかを求める(TA、TB)。(3) TA と TB における LALT データと衛星位置データを用いて LA と LB を数値的に求め、他のクロスオーバー点においても同様に LA と LB の関係を求めた上で統計的に最適な関係を定める。(4) A と約 7 日離れた C ( B ) について同様に LA と LC の関係を数値的に求め、LA と LB の関係と連立させて LA を決定し、同様に次々に姿勢決定を行っていく。

次に上記の処理で誤差は主に(2)の TA と TB を求めるときと(3)の LA と LB の関係を数値的に求めるときに入ってくる。TA と TB の決定誤差は、LALT の計測誤差を 5 m としクロスオーバー点付近の起伏を約 5 度とすれば月面上に換算して数十mと見込まれる。さらに LA と LB の関係は月面上に換算して数百mになるが、100 個以上のクロスオーバー点の統計的平均を取れば数十m以下にすることは可能であり、総合して 100m 前後の位置誤差になることが予想される。もちろん軌道・LALT データの内挿が適切に行われていることが前提になる。

これまでの説明では与えられる衛星の時刻・軌道は正しいと仮定してきた。これが正しければ(1)~(4)で求めた測距方向は月重心方向を中心にランダムに分布しているはずである。この分布中心にずれがあれば、衛星位置のずれを反映したものと考えられ、衛星軌道補正を何らかの形でパラメータ化して(例えば初期位置、速度をパラメータとして)平均測距方向を月重心方向にもっていくというプロセスを通じて、軌道(時刻)姿勢を分離する事ができる。現状では簡単なモデル解析の段階であるが、発表では、クレメンタインによるグリッド高度データ等を使った解析シミュレーションをもとにここで述べた解析法の実現可能性を論ずる。

以上のように、クロスオーバー点付近の地形もよるが、LALT 測距位置（衛星位置の誤差込みで）が 100m 前後の

誤差で求められ、さらに平均的な衛星姿勢が月重心を向いていることを利用すれば姿勢と軌道を統計的に分離し、衛星姿勢精度を2～3倍改良できる可能性がある。この方法はLALTと相対DEMと組合わせて月全体の絶対DEMを作る際に重要な役割を果たす事が期待される。さらにLALT測距点の絶対位置を明らかにすることはSELENE-VRAD/RSAT観測から得られる高精度重力場との解析を通じて月内部構造を探る事にも貢献するものである。