

月重力場推定のための SELENE 周回衛星の軌道接続

Arc continuation of SELENE main orbiter for an analysis of the lunar gravity field

岩永 一成[1]; 並木 則行[2]; 松本 晃治[3]

Kazunari Iwanaga[1]; Noriyuki Namiki[2]; Koji Matsumoto[3]

[1] 九大・理・地惑; [2] 九大・理・地球惑星; [3] 国立天文台地球回転研究系

[1] Dept. Earth Planet. Sci., Kyushu Univ.; [2] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ.; [3] NAO

RSAT/VRAD ミッショングループは SELENE 計画において月重力場推定を実施する。惑星重力場解析は探査機の軌道の揺らぎをレンジ(距離測定)とレンジレート(ドップラー周波数変化)から解析する。重力場解析のためには月周回衛星に軌道の制御を行わない期間(アーク)が24時間以上続くことが望ましい。しかし、SELENE は三軸制御の衛星であるため、12~18 時間に一回、姿勢制御用モーメントムホイールのアンローディングを行わねばならない。アンローディングではスラスタの噴射によって非偶力の外力が周回衛星にかかり、軌道が変化する。このため、アンローディング毎にアークを区切って解析を行わなければならない。松本らのシミュレーションから、現状のアーク長でも月重力場は解析可能であることがすでに分かっているが、アーク接続によってより長いアークを合成することが可能となれば、係数分離の精度向上が期待できる。そこで、本研究ではアンローディング時のテレメトリデータを用いてアンローディングの際に生じる軌道変化をモデル化し、アーク接続にともなう推定誤差の評価を行う。

入手可能なテレメトリデータは、10秒毎に12~25回のスラスタの噴射時刻、および各軸のモーメントムアンローディング量である。噴射時刻は計画時刻と1秒毎のテレメトリデータから、正確に決定することが可能である。モーメントムのアンローディング量からは25回のスラスタ噴射による速度増分総和を推定することができる。この速度増分推定は衛星システムが実施し、ミッショングループに伝達される。平均的な速度増分の総和とその推定誤差はロール、ピッチ、ヨー各方向について15、2、2 mm/s、および1.2、0.23、0.23 mm/sである。また、各インパルス噴射では噴射量に20%程度のバラツキがあることを考慮している。

アンローディング時の軌道変化は、3通りにモデル化する。速度増分を無視する(0インパルスモデル)、1回のインパルスで全速度増分を与えると近似する(1インパルスモデル)、速度増分の平均値を実際と同じ回数噴射する(複数インパルスモデル)である。また、計算においては簡単のために、月重力場以外の外乱(太陽輻射圧など)を無視し、且つ、月重力場もJ2項による永年摂動のみと仮定している。初期軌道はSELENE計画のノミナル初期軌道6要素を用いる。ただし、比較のために昇交点経度を85.5度(ノミナル値)、45度、0度に変化させている。レンジとレンジレートの観測誤差は1kmと1mm/sと仮定している。J2項と初期軌道要素の推定にはカルマンフィルタを用い、J2項の変化が 10^{-10} 以下となるまでイタレーションを行う。一つのアーク長は30時間として、最初と最後の6時間にのみレンジ・レンジレートの観測を行っている。J2項の推定はアーク毎に行う。

計算からは規格化されたJ2(-0.91×10^{-4})に対して、0インパルスモデルでは 10^{-4} ~ 10^{-5} の誤差が生じる。1インパルスモデルでは 10^{-5} ~ 10^{-6} 、複数インパルスモデルでは 10^{-5} ~ 10^{-8} である。0インパルスモデルに比べて1インパルス、複数インパルスモデルの方が精度が良いが、1インパルスモデルと複数インパルスモデルの相違は少ない。250秒という長いアンローディング実行時間を考えると、この結果は意外である。次に、昇交点経度による精度の比較を行うと、0度の場合が最も精度が高く85.5度の場合が最も精度が低い。これは永年摂動が主に近点引数と平均運動の摂動として観測されるためである。SELENE周回衛星は極軌道をとるため、昇交点経度の摂動は近点引数と平均運動の摂動に比べて、2桁小さい。従って永年摂動は軌道面内での楕円長軸の回転として認められる。軌道面と視線方向がほぼ垂直となる昇交点経度85.5度のケースではこの回転はレンジ、レンジレート観測データに表れない。一方、昇交点経度0度のケースでは視線方向がほぼ軌道面内にあり、近点引数の変化が観測しやすい。ただし、いずれのケースにおいても本研究での推定精度は現状の月重力場モデルLP100Jの誤差($\sim 10^{-8}$)を上回っており、アーク接続による推定精度向上はない。

これらの結果から、アーク接続における重力場推定では速度増分総和の推定誤差が支配的であると考えられる。しかし、限られたテレメトリデータからの速度増分総和の推定は、今後精度が上がることは期待できない。一方、月重力場係数を共通パラメータとして、複数のアークを同時解析することにより速度増分総和の推定誤差を平均化して減少させることが可能となるかも知れない。今後は推定アルゴリズムの改善を行う。