

# 人工衛星の軌道の揺らぎから紐解く地球の質量分布の時空間的な変動 (第3年次)

実施期間

平成30年度～令和3年度

地理地殻活動研究センター

宇宙測地研究室 松尾 功二

## 1. はじめに

地球上の水は、太陽熱をエネルギー源として、氷・水・水蒸気と姿を変えながら陸・海・氷床間を移動する。地球システムが安定的に機能すれば、水は規則的に循環するが、実際には、太陽活動や人間活動等に起因する環境変動の影響を受けることから、このサイクルは僅かに乱れる。その結果、陸・海・氷床で貯蔵される水の量（質量）は時間とともに変化する。つまり、陸－海－氷床の質量分布の時間推移は、地球環境変動の変遷を反映する。

地球上の質量分布の時間推移は、重力の時空間変化を計測することで観測できる。重力変化を広範的かつ連続的に捉えるには、人工衛星を用いた計測手法が効果的であり、これは人工衛星の軌道と速度の変化を精密に計測することで行われる。本研究では、衛星レーザ測距 (SLR; Satellite Laser Ranging) が40年以上にわたり収集を続ける人工衛星の軌道データを用いて、陸・海・氷床との間で取引される水の移動量（質量収支）の時間変化を追跡する。そして、重力観測衛星 GRACE や海面高度計衛星といった他の衛星測地データを併用するとともに、大気再解析データや陸水貯留量データといった気候データとも照らし合わせることで、質量移動の原因となった地球物理現象の解明に臨む。

## 2. 研究内容

SLR から導出される低次重力場変動解の高度化を図るため、これまで、(1)軌道推定誤差時に経験的加速度の定数項と周期項を導入、(2)各 SLR 観測局のデータ重量の最適化、(3)背景重力場モデルの更新、(4)SLR 局の座標系の更新 (ITRF2008 から ITRF2014 へ)、(5)SLR 衛星に作用する大気抵抗の補正モデルの導入などに取り組んできた。平成30年度は、導出された SLR 重力解を用いて全球質量変化のインバージョン解析を行い、陸域に関しては他の観測事実と整合する妥当な結果が得られた一方で、海域に関しては他の測地観測結果と不整合な結果が得られた。導出された SLR 重力解を精査したところ、重力成分帯球項である C20 項と C40 項で大きな乱れを持つことが分かり、これが海域での重力誤差の一因となったと考えた。令和元年度は、C20 項と C40 項の乱れを解消するため SLR 重力解析の推定次数を5次までで打ち切り、高次帯球成分の推定で生じる誤差を低減させることで、C20 項と C40 項の改善を試みた。その結果、C20 項と C40 項の乱れは改善し、その時系列変化は他の解析機関の重力解や重力観測衛星 GRACE による重力解とも整合するようになった。

本年度は、これまでの SLR 解析戦略をもとに、SLR から地球の重心変動の推定を試みた。SLR データの期間は1994–2014年であり、データ解析には一橋大学の「大坪俊通教授らが開発した宇宙測地データ統合解析ソフトウェア”c5++” (大坪ほか, 2010) を使用した。解析設定は、これまでとほぼ同様であるが、昨年度の研究結果を踏まえ、同時に推定する地球重力場の次数は5次までとした。また、SLR 局位置と重心変動は同時に推定することはできないため、SLR 局位置は ITRF2014 座標に固定することで重心変動を推定した。

### 3. 研究結果

図-1 に、SLR から推定された 1994 年–2014 年の地球の重心変動を示す。X 軸は子午線と赤道の交わる方向、Y 軸は東経 90 度の経線と赤道の交わる方向、Z 軸は自転軸の北緯 90 度の方向を表す。2000 年以前は、SLR 衛星の追尾データが十分に存在しないため、推定結果がやや乱れているが、2000 年以降は明瞭な季節変化や経年変化が見て取れる。季節変化の振幅は、X 軸で約 2mm、Y 軸で約 4mm、Z 軸で約 6mm である。季節変化は主に、大気質量や陸水質量の空間分布変化を捉えているものと推測される。そのため、主に海域で占められる X 軸方向では季節変化が小さく、主に陸域で占められる Y 軸方向では季節変化がやや大きく、北半球–南半球間の質量分布の差を反映する Z 軸方向では季節変化が大きいものと推測される。経年変化は、X 軸で約 0.4mm/yr、Y 軸で約 0.5mm/yr、Z 軸で約 0.6mm/yr である。経年変化は主に陸水、海水、陸氷の長期変化によるものである。特に、2008 年以降で経年変化率が急速に変化しているのは、グリーンランドや南極の加速的な氷床消失によるものと考えられ、重力衛星 GRACE では同時期にそれらの領域で顕著な重力減少を捉えている (Velicogna et al., 2014)。

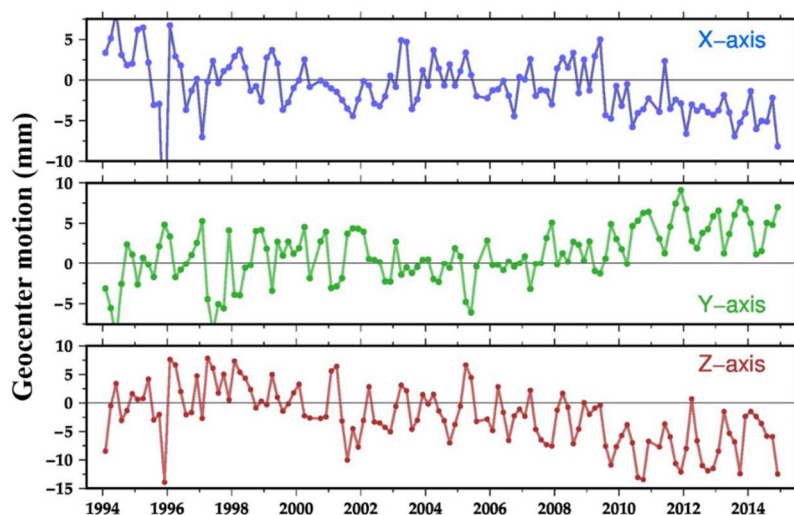


図-1 SLR から推定された 1994 年–2014 年の地球の重心変動。上段は X 軸（子午線と赤道の交わる方向）、中段は Y 軸（経度 90 度の経線と赤道の交わる方向）、下段は Z 軸（自転軸の北緯 90 度の方向）を示す。

### 4. 結論

これまでの SLR 解析戦略をもとに、SLR から地球の重心変動の推定を試みた。その結果、季節的・経年的な重心変動が捉えられ、定性的に地球の質量分布の時間変化で説明可能な特徴を示した。今後は、SLR の重力解に加え、SLR の重心変動解も併用することで、全球質量分布のインバージョン解析を試みる予定である。

#### 参考文献

大坪俊通, HOBIGER Thomas, 後藤忠広, 久保岡俊宏, 関戸衛, 瀧口博士, 竹内央 (2010) : 宇宙測地技術解析ソフトウェア c5++ の開発, 日本測地学会第 114 回講演会要旨集, 114th, 3-4.

Velicogna, I., Sutterley, T. C., van den Broeke, M. R. (2014): Regional acceleration in ice mass loss from Greenland and Antarctica using GRACE time-variable gravity data, *Geophysical Research Letters*, 41(22), 8130-8137.