

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1年次）

実施期間 平成30年度～平成33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（Satellite Laser Ranging：以下「SLR」という。）が40年以上に渡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により、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

本研究の前身である科研費基盤研究（c）「低軌道衛星の精密軌道決定が拓く全球規模の測地学」では、SLR から導出される低次重力場変動解の高度化に取組み、次数6までの重力解を1994-2015年までの期間で導出した。本年度は、この重力解を用いて全球質量収支の定量推定を試みた。推定手法は、Tikhonov 正則化最小二乗法（Baur and Sneeuw, 2011）であり、以下のような式で表現される。

$$m = (G'G + \alpha I) \setminus G'd$$

G は球面調和関数から相当水厚変化に変換するグリーン関数（Wahr et al., 1998）、 α は Tikhonov の正則化変数（Tikhonov, 1963）、 d は SLR から導出される次数6までの重力解である。なお、Tikhonov の正則化変数は L-curve Criterion にて決定した。

本手法では次数6までの低次項のみを使用するため、理論上、推定可能な空間領域は半波長で約3000km程度である。そこで、質量変化の推定領域を、南極・グリーンランド・アジア・ヨーロッパ・ロシア・アフリカ・オセアニア・北米・南米、の9つの陸域と、太平洋・インド洋・大西洋、の3つの海域とし、これらの領域を質点とみなしてその質量収支の時間推移を定量的に推定した。なお、大気質量変化と後氷期回復の影響はモデルによって事前に補正を行った（Flechtner et al., 2008; Geruo et al., 2013）。その結果、1994-2015年の期間において、南極では約150Gt/yrの質量減、グリーンランドでは約200Gt/yrの質量減、アジアでは約100Gt/yrの質量減、その他の大陸では総量で約100Gt/yrの質量減、太平洋では質量変化はほぼ均衡しており、インド洋では約50Gt/yrの質量増、大西洋では約500Gt/yrの質量増が推定された。

3. 結論

SLR から導出される次数 6 までの低次重力項の時間変動解を用いて、1994-2015 年の全球質量収支を推定した。その結果、陸域では総量で約 550Gt/yr の質量減少傾向が見られ、海域では総量で約 550Gt/yr の質量増加傾向が見られた。陸域の質量減少のうち、南極とグリーンランドにおける減少傾向は、他の地球観測でも確認されているように地球温暖化に伴う大陸氷床の縮退を反映しているものと考えられる。その他の大陸における質量減少は、重力衛星 GRACE などの観測によると灌漑などの農業活動に伴う地下水減や地球温暖化に伴う山岳氷河の縮退、また気候変動に伴う降雨分布の変化などが考えられる。海域では、大陸からの水の流入に伴って質量の増加傾向が見られるが、太平洋でほぼ均衡、インド洋で僅かな増加、大西洋で大きな増加という不均一な質量増加の傾向が見られた。現段階では、この不均一な傾向の原因は不明であるが、今後、気候データ等を用いて解釈を深める予定である。また、推定された質量変化は、1994-2000 年の期間で極めて誤差が大きかったため、今後 SLR 解析戦略の高度化にも取り組み、さらに高精度な質量変化の推定にも試みる予定である。

参考文献

- Baur, O. and N. Sneeuw (2011): Assessing Greenland ice mass loss by means of point-mass modeling: A viable methodology. *J. Geodesy*, 85, 607-615.
- Flechtner, F., M. Thomas and R. König (2008): A long-term model for nontidal atmospheric and oceanic mass redistributions and its implications on LAGEOS-derived solutions of Earth's oblateness, Scientific Technical Report STR08/12, Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ., 24.
- Geruo A., J. Wahr, and S. Zhong (2013): Computations of the viscoelastic response of a 3-D compressible earth to surface loading: an application to glacial isostatic adjustment in Antarctica and Canada. *Geophys J Int* 192,2,557-572.
- Tikhonov A.N. (1963): Regularization of incorrectly posed problems. *Soviet Math. Dokl*, 4, 1624-1627.
- Wahr, J., M. Molenaar, and F. Bryan (1998): Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE. *J. Geophys. Res.*, 103, 30205-30229.