

# 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2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

前研究にて、SLR から導出される低次重力場変動解の高度化に取り組み、次数6までの重力解を1994-2015年までの期間で導出した。平成30年度は、この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、太平洋で均衡、大西洋で大規模な質量増加という、他の観測事実とは不整合な結果が得られていた。そこで、本研究の重力解を球面調和関数展開し、各スペクトル成分の時系列変化を調べたところ、帯状重力成分 C20 項と C40 項に大きな乱れが存在することが分かった。これらの成分は、特に赤道域の重力変化の推定に顕著な影響を持つことから、海洋域の重力誤差の主な原因となっている可能性がある。C20 項と C40 項の乱れは、おそらく SLR のデータ量が不十分で、高次の帯状重力成分との分離ができていないことが要因と考えられる。

そこで令和元年度に実施した本研究では、SLR 重力解析の推定次数を5次までに打ち切り、高次帯状重力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。改善効果の評価は、テキサス大学宇宙研究センター（CSR）が提供する SLR 重力解との比較によって行う。CSR 解でも、次数を5次までに打ち切って推定しているため、同じ条件下での比較検証が可能である。また、2002年以降の期間については、重力観測衛星 GRACE による重力解との比較を行う。なお、SLR データの解析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。以下、本ソフトで算出された SLR 重力解を c5++ 解と呼ぶことにする。

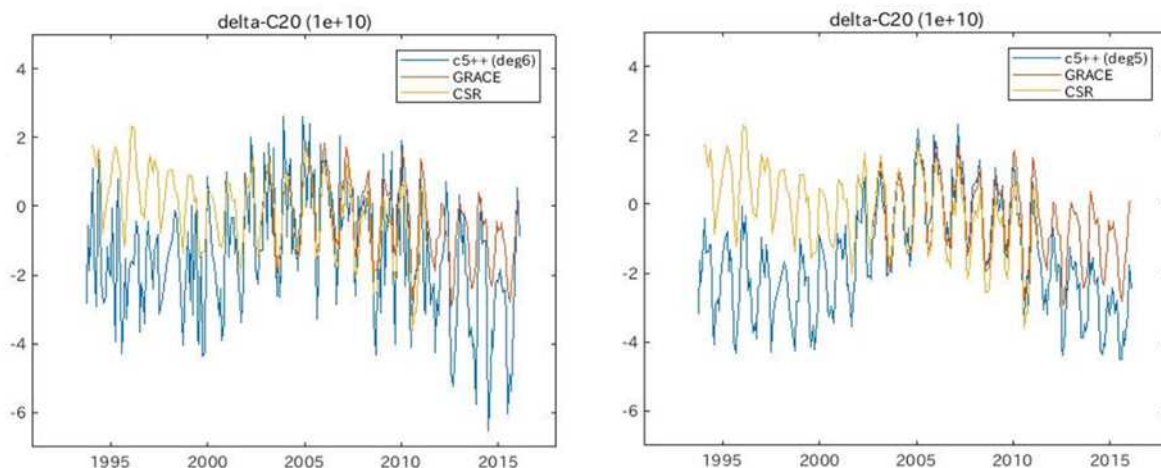


図-1 (左) 打ち切り次数 6 で計算された C20 項の時系列変化。青線が c5++解、赤線が GRACE 解、黄線が CSR 解を示す。(右) 打ち切り次数 5 で計算された C20 項の時系列

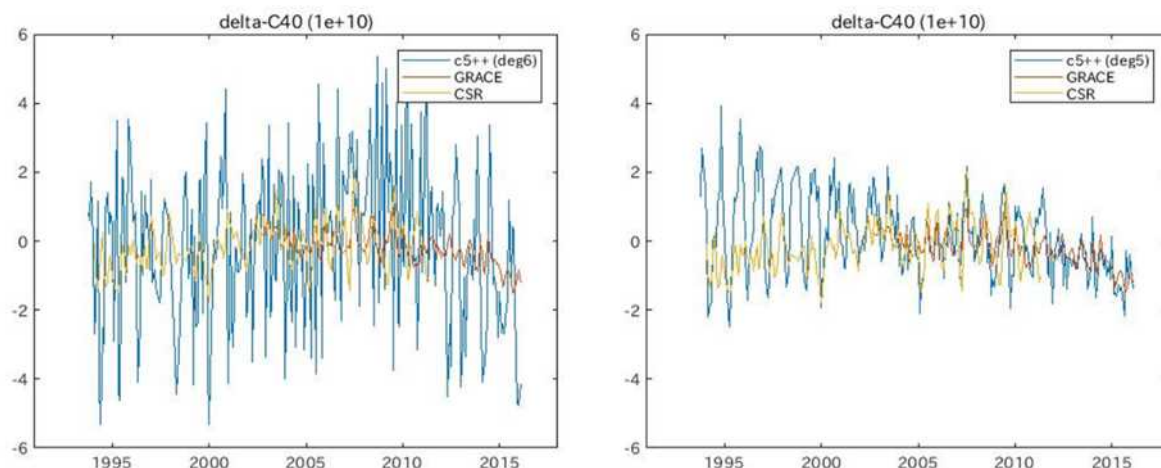


図-2 (左) 打ち切り次数 6 で計算された C40 項の時系列変化。青線が c5++解、赤線が GRACE 解、黄線が CSR 解を示す。(右) 打ち切り次数 5 で計算された C40 項の時系列

### 3. 研究結果

図-1 に、打ち切り次数 6 と打ち切り次数 5 で計算された C20 時系列の図を示す。打ち切り次数 6 で計算された c5++解の C20 時系列は、GRACE 解や CSR 解と比べると短波長な乱れが見られる。一方、打ち切り次数 5 で計算された時系列では、短波長な乱れが解消している。しかしながら、どちらの打ち切り次数においても、c5++解の C20 時系列では GRACE 解や CSR 解では見られない 18~19 年周期のうねりが見られる。この原因については今後調査する必要がある。続いて、図-2 に、打ち切り次数 6 と打ち切り次数 5 で計算された C40 時系列の図を示す。この成分は、打ち切り次数の影響が顕著であり、打ち切り次数 6 では卓越した短波長な乱れが見られるが、打ち切り次数 5 では短波長な乱れが解消している。打ち切り次数 5 の C40 時系列(図-2 右)を見ると、2005 年以降は c5++解、GRACE 解、CSR 解ともに良い一致を示すが、2005 年以前の c5++解には CSR 解には見られない大きな年周変動が見られる。このような年周変動は、2005 年以降には見られないことから、解析手法に由来した計算誤差の可能性が高い。これについても、今後調査を行う必要がある。

#### 4. 結論

これまでの研究で得られた SLR 重力解には、帯状重力成分である C20 項と C40 項の時系列に大きな乱れが見られていたが、重力推定の打ち切り回数を変えることで、その乱れを解消することができた。本研究によって短波長な乱れは解消することができたが、C20 時系列では 18~19 年周期の不自然なうねりが見られており、C40 時系列では 2005 年以前の期間で計算誤差に起因した年周変動が見られる。次年度は、これらの問題の解消に取り組むとともに、新たな SLR 重力解を用いて全球質量変化のインバージョン推定を行う予定である。

#### 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.