

世界の中の日本の測地学-衛星重力ミッション GRACE  
Presence of Japanese geodesy in the satellite gravity mission GRACE

#宗包浩志<sup>1</sup>

1:国土地理院

Hiroshi Munekane<sup>1</sup>

1:Geospatial Information Authority of Japan

### 衛星重力ミッションGRACE

GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment)は、米国航空宇宙局(NASA)とドイツ航空宇宙センター (DLR)により共同で実施されている衛星重力ミッションである。2002年3月の打ち上げ以来、当初のミッション期間5年を大幅に超えて運用され、今なお多くの成果を生み出している。

GRACE衛星は2つのほぼ同一の衛星からなり、双方に24GHzと32GHz(K-band)の送信装置が設置され、互いに測距している。その精度は距離変化に直して $0.3 \mu \text{ m/s(RMS)}$ 程度と非常に高い。衛星間の距離(その変化)は、それぞれの衛星位置での重力ポテンシャルの差と関係付けられ(e.g., Han et al., 2006)、そのデータから精密な重力ポテンシャルおよびその時間変化が推定される。

GRACEの登場する前は、主に衛星レーザー測距(SLR)技術を用い、衛星の軌道を精密に分析することで重力ポテンシャルを推定していた。SLR衛星の高度は非常に高く、得られる重力ポテンシャルの空間分解能が低かったのに対し、GRACEの軌道は地球に十分近いため、それまでとは比べ物にならない感度で重力ポテンシャルが求まるようになり、静的な重力ポテンシャルだけではなく、重力ポテンシャルの時間変化までも高分解能で推定できるようになった。

打ち上げ前のGRACEに寄せる地球科学者の期待は、福田(2000)に詳しい。それから12年たった現在振り返ってみて、期待のほとんどが実現していることに改めて驚かされる。すなわち、海洋における熱・質量輸送、全球的な水収支および海水準変動など (e.g. Chambers et al., 2006; Willis and Chambers, 2008; Syed et al., 2009)、氷床や氷河の消長 (Chen et al., 2006, 2009)、氷河後退後のアイスタシー回復に伴う重力変化 (Paulson et al., 2007) などである。さらに、地震・余効変動に関連した重力変化の検出(e.g. Han et al., 2006, 2008)等の、当初想定していなかった成果も次々に上がっている。

このように、GRACEを用いて非常に多くの科学的成果が出たわけであるが、それを後押しした要因のひとつに、積極的なデータ公開がある。GRACEの生データ(衛星間距離変化など)は、ミッション実行グループである、テキサス大学宇宙研究センター(UTCSR)およびドイツ地球科学研究センター(GFZ)およびNASAのジェット推進研究所 (JPL)において処理される。そして、生データを一次処理したLevel-1Bデータ、月毎の重力ポテンシャル変化の球面調和係数であるLevel-2データが一般に公開されている(最新のバージョンはRL5)。一方、測地学になじみのない一般の研究者向けに、重力ポテンシャル変化の球面調和関数を格子上の等価水圧変化に換算したものが、Level-3データとしてGRACE Tellus, コロラド大学ボルダー校、GFZ 国際地球モデルセンターなどから公開されている。また、フランス国立宇宙研究センター(CNES)、ボン大学では、Level-1データから独自にさらに時間的に高分解能の重力ポテンシャル変化を推定し、一般に公開している。

## 日本からの貢献

GRACEを用いた研究には、1) Level-1データから重力ポテンシャル変化を推定する手法の研究、2) Level-2データから地球物理学的シグナルを分離する手法の研究、3) Level-2、Level-3データを用い、含まれる地球物理学的シグナルを解釈する応用研究、に大別されるが、日本からの貢献は、ほとんどが3)に限られている。

水収支に関連しては、Morishita and Heki (2008)がエルニーニョ、Matsuo and Heki (2012)が北極振動に伴う降雨パターンの変化に伴う重力変化を調査し報告している。また、Yamamoto et al. (2007)はインドシナ半島における水の質量変化について議論している。また、Ogawa et al. (2011)は、全球の貯水量の時間変化、特に時間の2次微分成分について議論している。

氷河・氷床に関してはYamamoto et al. (2008)が南極Enderby Landの質量変化を議論している。また、Matsuo and Heki (2010)は、アジア山岳地帯の氷河で質量が失われていることを示した。

地震に関連した重力変化を捉えた研究としては、Ogawa and Heki (2007)はスマトラ地震の余効的な重力変化、Matsuo and Heki (2011)はチリ地震に伴う重力変化を報告している。

地球表層流体による荷重変形の影響に関しては、Munekane (2007)がグローバルGPS解析を組み合わせて荷重変形から地球重心運動を推定した。また、Munekane et al. (2008, 2010)ではGPS高さ時系列に含まれる荷重変形成分の補正を行っている。

## 今後に向けて

論文の引用数などから見ても、上であげた日本の研究者による一連の研究は、国際的な評価を得ていると思われる。しかしながら、公開されているGRACEのLevel-2(3)データを用いた地球物理学的な応用研究は、他国の研究によっても膨大な数があるため、世界の研究者に「日本」の存在を意識させるものではないであろう。

私見だが、今後衛星重力の分野で主導権を握るためには、独自のミッションを立ち上げて世界に向けデータを発信するか、少なくとも既存のデータセンターを凌駕する解析技術を考案して、解を公開することが有効だと考える。つまり、今のUTCSR, GFZ, JPLないしはボン大学、CNESの役割を担うということである。そうすることで、個々の研究の何倍、何十倍もの新規の研究を誘引することができ、国際的な認知度が増すことであろう。ただし、発表者がUTCSRに留学中に痛切に感じたことは、そのような役割を担うためには、論文化しにくい解析ソフトウェア開発や泥臭い評価作業などを担う「縁の下に力持ち」が必要であり、その人達をどうサポートできるかが課題となると考える。

ところで、仮に独自のミッションの立ち上げを考えるなら、どのような科学的目標がありうるだろうか？ GRACEの継続ミッション (GRACE follow-on)は、JPLを中心として2017年の打ち上げを目指して準備が進められている。従って独自ミッションとしては、それと重複しないか、それを超える目標を立てることが必要である。GRACE follow-onで得られるものよりさらに詳細な空間分解能を目指し、スロースリップに伴う流体移動(Tanaka et al., 2010)などの局所的な現象をターゲットとするならば、衛星ではなく、地上の重力連続観測網を整備するなどの方法もあるかもしれない。本セッションで、将来の日本の(衛星)重力ミッションとして何が考えられるか、積極的な提言、ご議論をいただければ幸いである。