

# 北西太平洋域におけるジオイドと重力場変動の衛星重力観測を用いた 高精度決定手法開発（第1年次）

実施期間 平成17年度～平成19年度  
地理地殻活動研究センター  
宇宙測地研究室 黒石 裕樹

## 1. はじめに

地球の重力場とその時間変化を全球的に直接観測する人工衛星として2002年3月に打ち上げられたGRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) による観測が、地球のダイナミクス研究の推進剤として、測地学を始めとする多くの研究者の注目を集めている。GRACE 観測による月ごとの長波長の重力場モデルで得られる時間変化より、特に地球表層にある液相・気相物質の大規模な質量の空間的移動を捉えることができるからである。その成果として、Tapley et al. (2004) と Wahr et al. (2004) はアマゾンなどの大きな流域における陸水移動の季節変化に対応した重力場変化の抽出に成功した。

他方、人類共通の課題である気候変動の長期予測においては、相互作用を持つ大気-海洋系の大循環の機構を明らかにすることが必要であり、三次元的に高密度の観測を十分実行できない海洋のダイナミクスを明らかにすることが大きな課題の一つである。海洋表面の流れについては人工衛星アルチメトリーによる海面位変動の高精度で継続的な観測から幾何学的に細かく分かっており、海洋大循環を明らかにするためには、海面力学高（海面形状）の絶対量を求め、その力学高変動をもたらす原因を海水の温度・塩分濃度等による密度変化による効果と物質移動を伴う総量変化に分離することが必要になる。海面力学高の基準面はジオイドであり、海域におけるジオイドの絶対位置を高精度で決定する必要がある。

プレート収斂境界にあって地形起伏が激しい日本周辺は重力場とジオイド形状が複雑で大きく変動している。また、日本列島南沖は、黒潮が海洋から大気への大きな熱供給源の一つであり、七島-硫黄島海嶺を障壁として深層流を変化させるなど海洋ダイナミクスが大きく、その解明と気候変動研究への応用を推進するため、海洋力学の基準面であるジオイドの高精度決定が求められている。そこで、日本を含む北西太平洋域に特別な焦点をおき、重力衛星観測からの地域的重力場決定手法を開発し、それに基づいて海域ジオイドの絶対位置を10cm未満の高精度で決定し、海洋ダイナミクスに伴う重力場の変動を抽出するための技術開発を目的とする。

## 2. 研究内容

重力衛星 GRACE は、高度 400～500 km のほぼ極・円軌道を周期約 90 分で周回し、その軌跡は地球表面をゆっくりずれながら移動して約 1 ヶ月で地表面全体を計測する。このサンプリングの限界は、大気や海洋等で起こる質量再配分がもたらす重力場の時間変化によるエイリアシングの問題を抱えており、1 ヶ月より短い期間に起こる重力場の変化の影響を十分考慮する必要がある。また、日本周辺に特化した重力場・ジオイドの高分解能の平均場を求めるには、数年間の衛星重力観測と当該地域の陸・海上重力測定データや人工衛星アルチメトリーによる海域重力場モデル等から、それぞれの信号・誤差の局在化特性を分析して統合する手法が必要である。

初年度においては、1) 重力衛星 GRACE のデータを用いた全球重力場モデル決定手法の開発、2) 重力衛星データからの全球重力場モデル決定におけるエイリアシング低減手法の開発、に取り組む。

## 3. 得られた成果

GRACE 観測データからの重力場復元手法は、Lutcke et al. (2006) に準じて開発した。エイリアシング低減のために、米国ゴダード宇宙飛行センターから公開されている大気・海洋の短周期質量変動を重力場係数に変換したデータを用いる。このモデルでは、NCEP 再解析による大気圧場と IB 応答を仮定した海洋変動を含めて求められた球面調和係数が 6 時間間隔で与えられる。解析には 50 次・位までの係数を用いる

こととした。

全球重力場の復元はつぎの手法を用いることとした。1) 1日をアーク長として、GRACE観測の加速度計、衛星姿勢データ、双子衛星間距離変化率データと衛星搭載のGPS観測に基づく精密軌道暦を用い、参照重力場モデルとしてGGM02Cを採用する。2) はじめに、GGM02Cに重力場を固定して軌道の力学積分処理を行い、精密軌道暦に適合するように加速度計の3軸成分それぞれのバイアスとスケールを検定する。3) 検定された加速度計のパラメータを用い、衛星姿勢データと衛星間距離変化率データからの軌道積分処理において参照モデルからの重力場のずれを推定して、全球重力場を求める。その場合、重力場の次数分散をKaulaの経験則に基づく重力場モデルと仮定し、71次以上の係数について正則化を適用する。

加速度計の検定パラメータとして、動径方向と飛行方向のバイアスと飛行方向の1周回ごとの周期変化成分を3時間ごと、他のバイアスとスケールを1日ごとに設定し、2003年4月と9月のそれぞれの1ヶ月平均重力場を求めた。それらのGGM02Cモデルからの残差をジオイド高として図-1に示す。なお、相関長1000kmのガウス型等方性平滑化処理を施した。アマゾン水域、アフリカ、南アジアにおいて季節変化が1cm程度の振幅でみられる。

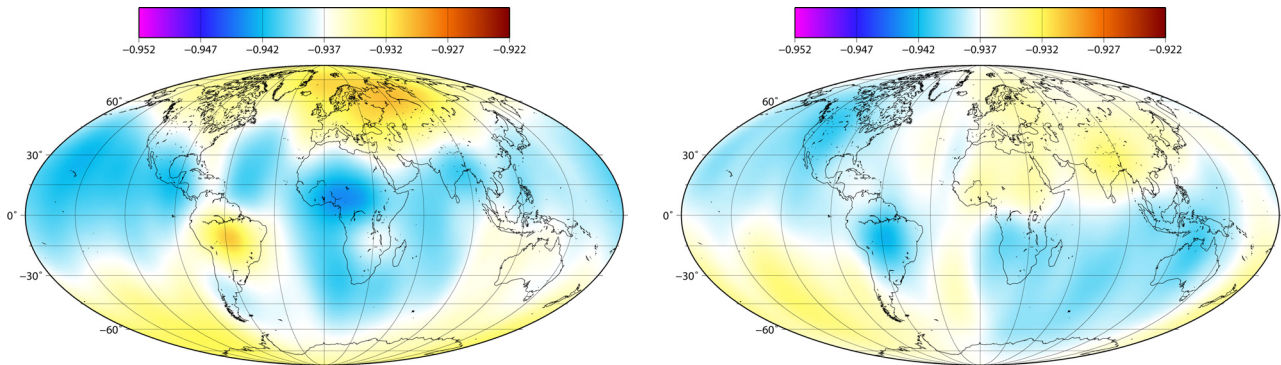


図-1 GRACE データから求められた月平均のジオイド残差。(左) 2003年4月、(右) 2003年7月。

#### 4. 結論

GRACE観測から全球重力場を復元する基本的な手法が開発された。今後は、日本周辺域における地域的な重力場の復元手法を開発し、その結果を陸・海上重力測定データやアルチメトリーによる重力異常モデルと最適結合する手法を開発する。

なお、本研究は(独)日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究(C)の課題として実施するものである。また、解析に用いたソフトウェアGEODYN2/SOLVEは本研究についてゴダード宇宙飛行センターから使用許可を得たものである。便宜を図っていただいた同センター(許可当時)のBenjamin F. Chao博士に感謝いたします。

#### 参考文献

- Luthcke, SB, DD Rowlands, FG Lemoine, SM Klosko, D Chinn, JJ McCarthy (2006): Monthly spherical harmonic gravity field solutions determined from GRACE inter-satellite range-rate data alone, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L02402, doi:10.1029/2005GL024846.
- Kuroishi, Y, W Keller (2005): Wavelet approach to improvement of gravity field-geoid modeling for Japan, *J Geophys. Res.* 110, B03402, doi:10.1029/2004JB003371.
- Tapley, BD, S Bettadpur, JC Ries, PF Thompson, MW Watkins (2004): GRACE Measurements of Mass Variability in the Earth System, *Science* 305, 503-505.
- Wahr, J, S Swenson, V Zlotnicki, I Velicogna (2004): Time-variable gravity from GRACE: First results, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L11501, doi:10.1029/2004GL019779.