

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3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 400～500km 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を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。

昨年度までに、GRACE 観測から全球重力場を推定する手法が開発された。今年度は、その手法を適用して得られた年平均全球重力場を基に当該地域の陸・海上重力データやアルチメトリーによる海域重力場モデルを統合した重力ジオイド・モデルの決定手法を開発し、その結果求められたジオイド・モデルについて精度を評価し、日本列島周辺における平均海面の力学高について議論する。

3. 得られた成果

本課題と一体的に実施している一般研究課題「日本周辺の絶対的ジオイド・モデルの構築に関する研究」で報告した、2005年のGRACE観測データからの推定された年平均全球重力場モデル（球面調和関数の120次・位完備）を基に、121～200次をGGM02C、201～360次をEGM96で連結した全球重力場モデルを参照モデルとして、日本周辺の改良ジオイド・モデルを決定する。まず、この参照モデルによるジオイド高とジオイド測量による日本の主要4島におけるジオイド高データを比較すると、中・長波長成分では有意な系統的誤差がみられない。そこで、中・長波長成分はこの参照モデルだけを利用し、JGEOID2004の構築に用いられた局所重力場モデルから短波長成分だけを取り出して当該域の重力場モデルを作成する手法をとった。局所モデルは陸・海上重力測定とアルチメトリーによる海域重力場モデルが統合されたものであり、これに半離散化二次元ウェーブレット解析／合成法によるハイパス・フィルター処理（カットオフ波長 4° ）を適用した。作成された日本周辺の重力場モデルから重力手法によりジオイドを決定した。

この改良ジオイド・モデルを主要4島におけるジオイド高データと比較すると、傾斜率0.18 ppmの回帰平面からの残差のRMS値は6.0 cm誤差である。これは、JGEOID2004の較差に比べ、傾斜率で約50%、回帰後の残差RMS値で約35%低減しており、有意な改善を示している。また、測地部では離島において、個別の験潮による平均海面位に基づく標高を用いたジオイド測量を実施しており、それらによるジオイド高データと改良ジオイド・モデルを直接比較すると、つぎの特徴がみられる（但し、水準原点近傍における平均較差約 -18 cmのバイアスを補正する）。改良ジオイド・モデルの較差は、①日本海の離島：約 -20 cm、②伊豆諸島：北部ではほぼ零、南ほど較差が大きく八丈島で約 -60 cm、③南西諸島：屋久島・種子島で約 -40 cm、奄美大島～沖縄島～石垣島で約 -90 cm、となっている。①は日本海沿岸の験潮場における平均海面位の水準標高が約 $+20$ cmであること、②と③は海洋学的調査による平均海面の力学高の較差分布（例えば、気象庁によるNEAR-GOOS計画の成果）、と整合し、両者が10 cm程度の精度で一致していることを示す。

4. 結論

GRACE観測からの全球重力場を復元する手法が開発された。その手法を適用して得られた年平均の全球重力場モデルを中・長波長成分の参照モデルとし、JGEOID2004 (Kuroishi and Keller, 2005) の構築に用いられた日本周辺の局所重力モデルにカットオフ波長を 4° とするハイパス・フィルターを適用して局所改善した重力場モデルを作成し、当該域の改良ジオイド・モデルを決定した。ジオイド高データとの比較から、このモデルはJGEOID2004に対し長、短波長成分とも大いに精度を向上していることが示された。このモデルを、独自の平均海面位を標高の基準とする離島部を含む全国のジオイド高データと直接比較すると、平均海面位が改良ジオイド・モデルに比べ、日本海の離島で約 $+20$ cm、黒潮の平均流軸の南北にある南西諸島で約 $+90$ cmの較差をもっており、日本周辺海域における海洋学的な平均力学高モデルと良く整合することが明らかになった。このモデルは当該地域の海洋力学研究に貢献すると期待される。

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）の課題とした。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

- 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.