

衛星高度計を用いた海面形状の高精度決定に関する研究（第3年次）

実施期間 平成 28 年度～平成 30 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

人工衛星搭載の海面高度計（以下「衛星高度計」という。）の台頭により、地球上のあらゆる海域の表面形状を効率的かつ高精度に計測できるようになった。衛星高度計とは、衛星直下にマイクロ波を照射し、地表で反射して再帰するまでの時間を計測することで、衛星－地表間の高度を測る計測機器である。その精度は、海面変動が穏やかな海域であれば 1～2cm に達する。しかしながら、海面変動が激しい海域や沿岸地域では、照射したマイクロ波の反射波形が乱れてしまい、計測精度が大きく低下してしまう。また、衛星の回帰周期が周期的な海面変動と同期してしまうと（例えば K_1 分潮）、エイリアシング（折り返し雑音）が生じ、計測精度が低下することもある。

海面変動は、質量再分配や地殻荷重変位を通じて、地上の測地観測データ（GNSS、水準、重力）に顕著な影響を及ぼす。そのため、地震や火山活動に関連した微細な地殻・重力変動を捉えるためには、その影響を正確に補正する必要がある。日本周辺の海面変動は、これまで主に験潮観測で計測されてきたが、観測点数は数十点と限られているため、これのみで全容を把握することは不可能である。

そこで本研究では、衛星高度計を活用し、日本周辺の海面変動を高精度かつ網羅的に計測することを試みる。最新の衛星高度データに最先端の解析手法や物理補正モデルを適用することで、沿岸部を含む全ての海域の海面変動を高い精度で導出する。そして、そのデータに基づき、海面変動が測地データに及ぼす影響を詳細にモデル化すること試みる。また、得られた海面高データをもとに、日本周辺の海面変動の原因について、地球物理的な考察を行い、その特徴とメカニズムの解明を試みる。

2. 研究内容

本年度は、衛星高度計とアルゴフロートデータを用いて海洋質量変化に起因した海面変動を導出し、その海面変動が地殻の荷重変位として日本列島の測地基準座標系に与える影響について調査を行った。海面変動は、海水の熱膨張と塩分濃度の増減に伴う体積変化成分（ステリック成分）と、海水の流入出に伴う質量変化成分（ユースタティック成分）から成る。衛星高度計は、2 つの成分の和である海面高変化を捉えるもので、そのデータのみから 2 つの成分を分離することは不可能である。そこで、海中に設置された観測機器（アルゴフロート）が計測する水温データと塩分濃度データを用いてステリック成分を推定することで、衛星高度計のデータから 2 つの成分を分離する。

本研究では衛星高度計による海面高データとして、オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）が解析処理を行ったものを使用した。データ期間は 2001 年 1 月から 2017 年 12 月までで、時間分解能は 1 ヶ月、空間分解能は 1 度×1 度である。電離層、乾燥大気、湿潤大気によるマイクロ波の伝搬遅延の影響は、それぞれ、2 重位相差による線形結合、ECMWF 大気モデル、衛星搭載のラジオメータのデータを用いることで補正している。また潮汐の影響は、海洋潮汐と荷重変位については GOT4v8 モデルによって、極潮汐と固体潮汐については Geophysical Data Record に含まれる補正データを用いて除去した。Inverse barometer（IB）と風応力の影響は、ECMWF モデルと MOG2D 海洋モデルによって補正されている。後氷期回復の影響は、Geruo et al. (2013) による粘弾性モデルを用いて補正した。

海洋変動のステリック成分を補正するためのアルゴフロートデータは、(国研)海洋研究開発機構(JAMSTEC)が解析処理を行った水温及び塩分濃度データを使用した。水温及び塩分濃度変化に伴う海水の密度変化を密度ポテンシャル変化に換算し(Hosoda et al., 2008)、これを鉛直積分することでステリックな海面高変化を導出する(Chen et al., 2013)。なお、考慮する海水の深さは表層から水深 2000m までである。データ期間と時空間分解能は、衛星高度データとほぼ同じであるが、線形補間することで時空間情報を完全に一致させた。

図-1 に、衛星高度計データとアルゴフロートデータから導出された日本周辺における海洋質量変化の 2 次元分布図と時系列変化を示す。線形トレンドの最大は関東沿岸域で約 6mm/yr、夏季変化の最大は西日本周辺で最大約 200mm であった。北海道や日本海、九州周辺海域では、夏に海洋質量の増加、冬に減少という明瞭な季節変化が確認される。これは、降雨や陸からの水の流入が夏季に増加し、冬季に減少することを反映する。一方、関東沿岸域では、季節変化が不明瞭であるが、顕著な年々変動が確認される。その振幅は最大で約 100mm であり、その時間推移は黒潮の活動度と良く一致した。すなわち、関東沿岸域は、季節的な水の流入出よりも黒潮の活動度の変化に伴う数年周期の海流質量の移動の影響が大きいことが分かる。

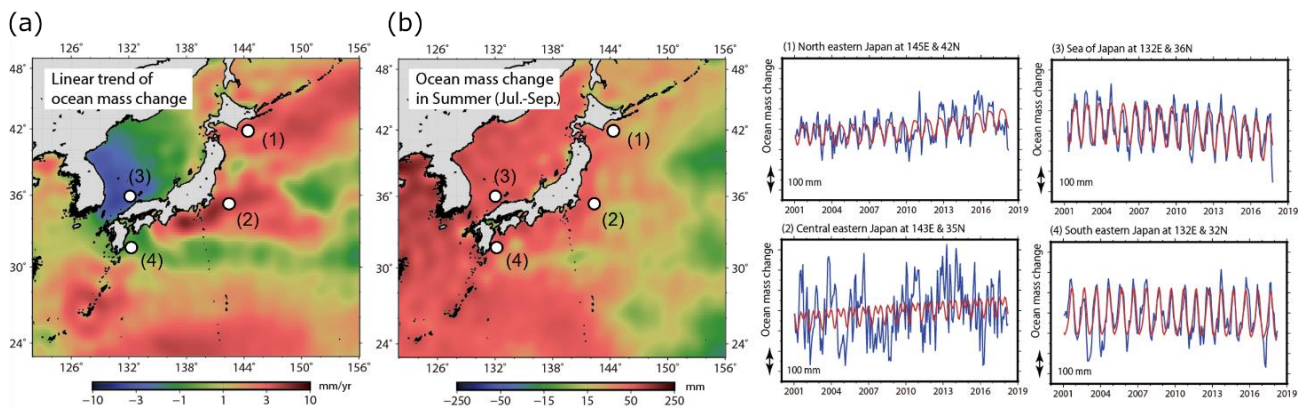


図-1 衛星海面データとアルゴフロートデータから導出した日本周辺における海洋質量変化の経年変化(a)と夏季(7月～9月)の変化(b)の 2 次元分布図。(1)は北海道沿岸域、(2)は関東沿岸域、(3)は日本海、(4)は九州沿岸域の海洋質量変化の時系列である。

Farrell (1972)による半無限媒質の弾性変形理論に基づき、海洋質量変化に伴う日本列島の地殻の荷重変位を導出した。図 2 に、その 2 次元分布図と時系列を示す。線形トレンドの最大は西日本沿岸域で約 0.13mm/yr、夏季変化の最大は西南日本沿岸域で最大約 3.8mm であった。荷重変位の振幅は、北になるほど小さくなり、南になるほど大きくなる傾向にある。これは、南部ほど全体的に降水量が多いことを反映しているのであろう。関東沿岸域では、海洋質量変化でも見られたように、荷重変位としても顕著な年々変動の傾向が見られ、黒潮の活動が最も活発であった 2015 年と不活発であった 2008 年との間で約 10mm の荷重変位差が見られた。

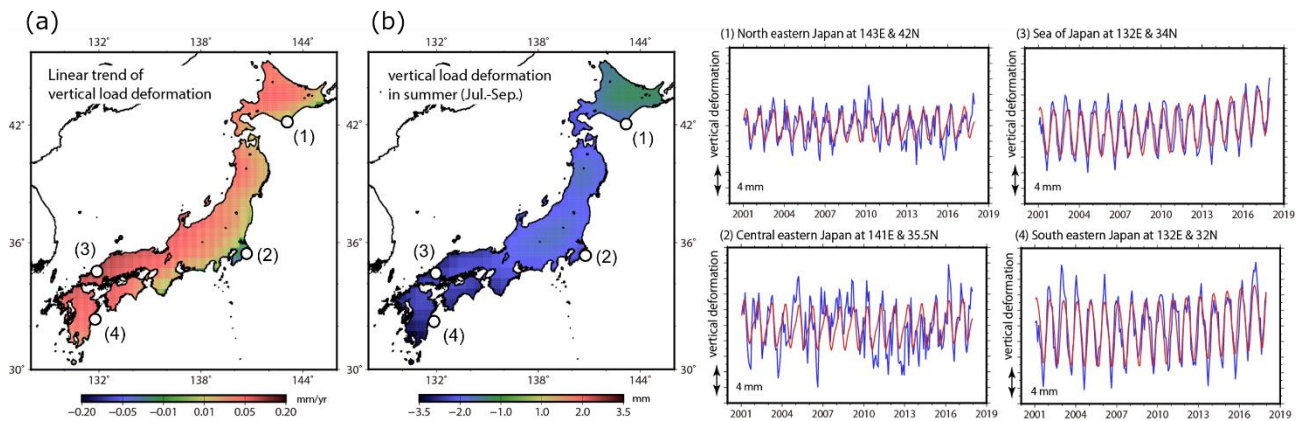


図-2 海面高度データとアルゴフロートデータから Farrell (1972)の理論をもとに推定された日本列島の海洋質量変化に起因した地殻荷重変位. (a)は荷重変位の経年変化, (b)は夏季(7月~9月)の変化の2次元分布図を表す. (1)は北海道沿岸域, (2)は関東沿岸域, (3)は日本海, (4)は九州沿岸域の荷重変位の時系列である.

3. 結論

衛星高度計データとアルゴフロートデータを用いて, 日本周辺の海洋質量変化に伴う地殻の荷重変位と, これが日本の測地基準座標系に及ぼす影響について調査を行った. その影響は, 季節変化としては西南日本で最も大きく, 振幅が約 3.8mm であることから夏季と冬季の間で約 7.6mm の荷重変位差が生じる. 一方, 年々変化としては関東沿岸域で最も大きく, 黒潮の活動度の変化が大きかった 2008年と 2015年の間で約 10mm の荷重変位が見られた. これらの影響は, 地震や火山活動に起因した微細な地殻変動を検出するうえで, 無視できない大きさである. より精密な地殻変動監視と測地基準系の実現のため, 地殻変動の監視に用いる場合には, これらの影響を GNSS 定常解析解から正しく補正することが望ましいだろう.

参考文献

Chen, J. L., C. R. Wilson and B. D. Tapley (2013): Contribution of ice sheet and mountain glacier melt to recent sea level rise, *Nature Geoscience*, 6(7), 549-552.

Farrell, W. E. (1972): Deformation of the Earth by surface loads, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 10(3), 761-797.

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.

Hosoda S., T. Ohira and T. Nakamura (2008): A monthly mean dataset of global oceanic temperature and salinity derived from Argo float observations, *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, 8, 47-59.