

日本列島の重力変化と上下変位 Gravity variations and vertical displacements over the Japanese islands

松尾 功二^{1*}; 宗包 浩志¹; 畑中 雄樹¹
MATSUO, Koji^{1*}; MUNEKANE, Hiroshi¹; HATANAKA, Yuki¹

¹ 国土地理院
¹ GSI of Japan

日本列島は積雪によって冬季に地面が沈降することが知られている (e.g. Heki, 2001)。その積雪により、冬季には重力場が強められることが予想される。Heki (2010) は、重力衛星 GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) のデータを用いることで、東北日本の重力場が、夏季と比べ冬季の方が僅かに強いことを示した。しかしながら、当時の GRACE データの限られた精度では、東北日本の年周変化を辛うじて抽出できる程度で、各地方の重力変化の特徴やその年々変動を捉えるまでには至らなかった。本研究は、最新の GRACE データと解析技術を導入し、日本列島の重力時間変化をより詳細に導出し議論する。

使用した GRACE データは、フランス国立宇宙研究センター (CNES) が提供する GRACE solutions RL03-v1 である。従来の GRACE 重力場解 (例えば CSR RL05 解など) と比べると、大気・海洋の折り返し雑音を補正するためのモデルが格段に良くなっている。また、海洋潮汐を補正するためのモデルも古いバージョン (FES2004) から最新のバージョン (FES2012) へと更新されている。このデータの空間分解能は約 250 km で、従来のもの (約 333km) よりも良くなっている。

周囲の海域からの漏れこみ誤差やランダム誤差の影響を抑えるため、スレピアン関数を用いた空間局在化処理 (Slepian localization) を施す (Wieczorek & Simons, 2005)。Slepian localization とは、球面調和場に対するウェーブレット解析の一種で、対象となる空間領域 (ここでは日本列島) のみのシグナルを適切に抽出する手法である。この処理においては、主成分分析の概念も利用するため、ランダム誤差を多少軽減する効果もある。以上の処理を行ったのち、日本列島の各地点の重力時間変化を導出する。なお、ここで示す重力変化は、質量変化によるもので、高さ変化によるものは含まない。

解析結果、日本列島の各地方で明瞭な重力季節変化が検出された。東北地方では、積雪融解期の直前である 3 月に重力の最大ピーク、7 月に最小ピークが見られた。これは、先行研究とも一致している。観測された重力異常値 (標準値からのズレ) は、最大で約 $4.8\mu\text{Gal}$ 、最小で約 $-1.1\mu\text{Gal}$ であった。また、北海道でも同じく、3 月に重力の最大ピーク、7 月に最小ピークが見られた。先行研究では、東北地方と北海道のシグナルは一続きに見えていたが、本解析では両者のシグナルは明瞭に分離できており、それぞれ区別して議論することが可能である。観測された重力異常値は、最大で約 $4.1\mu\text{Gal}$ 、最小で約 $-2.7\mu\text{Gal}$ であった。重力異常の最小値は、東北地方と比べると北海道の方が小さい。これは、北海道が梅雨の影響を受けづらいことに起因する。一方で、西日本では、これら東日本とは異なった特徴が見られた。重力の最大ピークは 9 月に見られ、最小は 2 月に見られた。東日本とはほぼ正反対の位相である。これは、西日本では冬季の積雪がほとんどなく、夏季の降雨による土壌水分量の変化が顕著であることを反映する。観測された重力異常値は、最大で約 $1.7\mu\text{Gal}$ 、最小で約 $-2.9\mu\text{Gal}$ であった。

このような季節変化に加えて、年々変化も確認された。例えば、東北日本では、2006 年の冬と 2011 年の冬に、例年よりも大きな重力変化を示しており、それぞれ最大で約 $6.8\mu\text{Gal}$ と約 $9.1\mu\text{Gal}$ の重力変化が検出された。これは、例年の約 $4.8\mu\text{Gal}$ と比べて、おおよそ 1.5 倍から 2 倍の大きさである。このような重力の異常増加は、記録的な豪雪が観測された時期と良く一致していた。

以上の結果を検証するために、地殻の上下変位を解析する。ここでは、国土地理院が展開する稠密 GNSS 観測網 (GEONET) のデータを用いる。国土地理院がルーチン解析 (F3) で使用しているソフトウェア (Bernese5.0) は、大気遅延効果を補正するためのマッピング関数にやや古いモデル (Niell, 1996) が用いられており、上下変位に季節的な誤差が含まれていることが分かっている (Munekane, 2010)。そこで本研究では、オープンソースの GNSS 測位プログラム RTKLIB v2.4.2 (Takasu, 2010) を用いることで、最新のマッピング関数を導入しつつ、単独精密測位 (PPP) 観測によって上下変位を推定する。本講演では、その比較検討の結果についても報告する。

キーワード: 重力時間変化, 地殻変動, GRACE, GNSS, 雪氷, 陸水

Keywords: time-variable gravity, vertical displacement, GRACE, GNSS, cryology, hydrology

キネマティック PPP 解析における対流圏遅延パラメータと座標推定値の分離精度についての検証 Verification of the separation precision between tropospheric and coordinate parameters in kinematic PPP analysis

平田 雄一郎¹; 太田 雄策^{1*}
HIRATA, Yuichiro¹; OHTA, Yusaku^{1*}

¹ 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター
¹ RCPEVE, Gradual School of Science, Tohoku University

短い時定数の地殻変動場を捉えるための手法として近年一般的になりつつあるキネマティック GNSS 解析では座標値パラメータと対流圏遅延パラメータ等、未知パラメータ間の相関が高く、両者の分離精度が低い。そのため、座標値推定精度が日座標値を推定する際のスタティック GNSS 解析と比較して低いという問題点があった。そのため本研究では、湿潤大気遅延量に着目し、座標値との分離精度に関して検討を行ったのでその結果を報告する。

用いたデータは 2011 年 3 月 10 日における GEONET 1,221 点の GPS データである。解析ソフトウェアには GIPSY OASIS II Ver. 6.3 を用いた。解析においてヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) が生成する全球数値気象モデルから期待される 6 時間毎の天頂湿潤大気遅延量 (WZTD) を先験情報とした場合と、用いない場合のそれぞれについてキネマティック GNSS 解析を多数観測点において実施し、その効果を検証した。解析の際には 30 秒毎の WZTD と座標値を推定した。WZTD に対してはランダムウォークの確率過程を、座標値についてはホワイトノイズの確率過程をそれぞれ仮定して推定を行った。さらに WZTD 推定時のプロセスノイズの値を様々な値 (1×10^{-8} , 1×10^{-7} , 1×10^{-6} (単位は $\text{km}/\sqrt{\text{sec}}$)) に変え、その影響を評価した。WZTD の初期値を考慮したモデルを A と表し、モデル A の中で WZTD 推定時のプロセスノイズを 1×10^{-8} , 1×10^{-7} , 1×10^{-6} (単位は $\text{km}/\sqrt{\text{sec}}$) としたモデルをそれぞれ A1, A2, A3 と表し、WZTD の初期値を用いない場合はモデル N とし、プロセスノイズの値によって N1, N2, N3 とする。これら 6 種類のパラメータを用いてそれぞれ解析を行った結果、以下のような結果を得た。まず WZTD の初期値を仮定した場合と仮定しない場合の WZTD 推定値にオフセットが生じるということがわかった。これは WZTD の初期値の導入によって、推定される座標値の絶対値もオフセットを持ちうることを示唆する。また、推定された座標値の 3 成分それぞれの標準偏差は WZTD の初期値の有無に因らず、プロセスノイズを小さくすると標準偏差も小さくなることが明らかになった。たとえば、0430 (今治) 観測点では、東西成分の標準偏差が A1, A2, A3, N1, N2, N3 モデルでそれぞれ 8.4, 8.4, 8.7, 8.4, 8.4, 8.7 (単位は mm) となり、上下成分の標準偏差がそれぞれ 20.9, 26.0, 44.2, 20.8, 26.0, 44.2 (単位は mm) となった。発表では確度・精度の高いキネマティック PPP 解析時系列を得るための、より最適なプロセスノイズ値の提案を、より多数のデータセットから行う予定である。

キーワード: GPS, キネマティック PPP 解析, 対流圏遅延, 測位精度
Keywords: GPS, kinematic PPP analysis, tropospheric delay

地球の赤道楕円の扁平率の形成 The formation of equatorial flattening of the Earth

角田 忠一^{1*}
KAKUTA, Chuichi^{1*}

¹ なし
¹ none

Pangea 超大陸形成 (330Ma) から分裂する約 100My 間、Africa 大陸の上昇まで、地球の赤道は球関数の次数 1 の構成であった。その後 Africa 大陸の成長に伴い、球関数次数 2 の地殻が誕生した (Zhong et al.,2007;Zhang et al.,2010)。この次数 2 は現在も赤道楕円として、Pacific および Africa superplume として存在する。この次数 1 から 2 への進化は mantle の下方流が上昇流に転向するものである。ここでは Africa 大陸下方の CMB(core-mantle boundary) および ICB(inner core-outer core boundary) の東半球 (40 deg.E-180 deg.E) を通して Fe に比較して軽い FeO が OC(outer core) に拡散すると考えて、赤道楕円形成の説明を試みる。mantle および IC(inner core) の次数 1 の質量の損失は地球重心に対し非等質な質量分布となり、西半球 (180 deg.W-40 deg.E) 側に重心が移動し、地球に次数 2 の重力ポテンシャルを発生する。外核は流体であるから回転軸に対称な質量分布となる。長時間平均から CMB および ICB で赤道楕円扁平率を生ずる。自転速度は mantle の加速、IC は成長による減速、OC は主に mantle からの質量流入により減速となる。また CMB および ICB において OC は安定成層となり、温度勾配が大きくなり、mantle への熱輸送が増加する。

キーワード: Pangea 超大陸, Africa 大陸, FeO 拡散, 地球赤道扁平率, 自転速度, 熱輸送

Keywords: Pangea supercontinent, Africa continent, FeO diffusion, Earth's equatorial flattening, rotational speed, thermal transport