

アラスカ南東部で観測された絶対重力変化の再検討 Re-examination of absolute gravity changes observed in Southeast Alaska

風間 卓仁^{1*}; 福田 洋一¹; 佐藤 忠弘²; 太田 雄策²; 三浦 哲²
KAZAMA, Takahito^{1*}; FUKUDA, Yoichi¹; SATO, Tadahiro²; OHTA, Yusaku²; MIURA, Satoshi²

¹ 京都大学 理学研究科, ² 東北大学 地震・噴火予知研究観測センター

¹ Graduate School of Science, Kyoto University, ² AOB, Tohoku University

地上重力観測は後氷期地殻変動および現代の氷河融解を理解する上で最も有効な方法の1つである。一方で、重力は陸水・大気・海洋といった環境擾乱にも敏感なので、重力観測データから目的のシグナルを抽出するにはこれら環境擾乱の寄与を定量的に評価し補正する必要がある。

例えば、アラスカ南東部では2006-08年の夏季に絶対重力測定が毎年実施され、後氷期回復および現代の氷河融解に伴う最大-5.6 micro-Gal/yearの線形的な重力減少が確認された(Sun et al., 2010)。しかしながら、2012-13年に得られた絶対重力値はSun et al. (2010)の回帰直線で予想される重力値よりも最大20 micro-Gal程度大きいことが分かった(Kazama et al., 2013)。この原因には2011-12年冬季の異常降雪に伴う積雪荷重変形が考えられ、異常降雪から1年以上経過した2013年夏季の時点でも荷重超過の状態が継続していたと示唆される。そこでKazama et al. (2013)では、衛星重力(GRACE)・地殻変動(GPS)の時系列から擬似的な地上重力連続データを作成し、実際に観測された地上重力変化の陸水成分を補正する試みがなされた。一方で、彼らは大気・海洋変動の寄与を考慮しておらず、環境擾乱補正が不十分であった可能性がある。

以上の先行研究を踏まえ、本研究はアラスカ南東部で観測された絶対重力データについて、陸水・大気・海洋変動に伴う重力擾乱を定量的に評価し、後氷期地殻変動および氷河融解に伴う重力減少レートを再検討する。具体的には、大気・海洋の全球モデルAOD1B(Flechtner, 2007)を用いて大気・海洋変動の寄与を、また重力衛星GRACEのデータや陸水モデル(例えばGLDAS: Rodell et al., 2004; G-WATER [3D]: Kazama et al., 2015)を用いて陸水変動の寄与を見積もる。その上で絶対重力観測データから後氷期地殻変動および氷河融解に伴う重力変化(2006-13年)を抽出し、先行研究(Sun et al., 2010)で得られた2006-08年の重力変化と比較する。

キーワード: 絶対重力, アラスカ南東部, 後氷期回復, 氷河, 積雪, 土壌水

Keywords: absolute gravity, Southeast Alaska, glacial isostatic adjustment, glacier, snow, soil moisture

Measuring the Difference between Two Local Vectors: the Gradient of Earth's Gravity Field and the Earth Surface Normal Measuring the Difference between Two Local Vectors: the Gradient of Earth's Gravity Field and the Earth Surface Normal

CHEN, Wei-jun^{1*}

CHEN, Wei-jun^{1*}

¹Carl Zeiss AG

¹Carl Zeiss AG

Even though concrete support is not yet available, it is widely believed or hoped, that earth quakes, which are generally accidental events on our Earth surface, could be predicted by analyzing historical signals from kinds of geodetic measurements. Directly or indirectly for such a purpose, many comparative analyses have been carried out for constructing an implicit or explicit correlation between the temporal variations of selected measurements and the recorded earthquakes. For instance, in [1] the locally co-seismic and post-seismic variations of the Earth's gravity field for three giant earthquakes (2004, 2010 and 2011) are compared, with a frustrating but just normal conclusion that the observed discrepancies of gravity changes reflect the difference in the settings of the studied earthquakes.

On another hand, based on the development of measurement techniques, geodetic measurements are continually reported with high quality. As an example, ITRF2008 [2] claims a believed origin accuracy at the level of 1 cm over the time-span of 26 year of SLR observations. Integrating four measurement techniques, ITRF2008 provides an accuracy of 8 mm over more than 20 years. With latest technical improvements, it is reasonable to expect even better accuracy in the coming release of ITRF2013 [3].

It seems that a gap between the high quality of geodetic measurements and the relatively less achievement by analyzing them does exist. Normally an accidental event like an earthquake is a local event which happens at a particular time moment covering a close neighborhood of its epicenter. Geodetic measurements are often suffering from densely sampling the dynamical behaviors on Earth. A typical velocity of plate tectonic movements which varies from 1-10 cm/year is indistinguishable from noise in most of daily measurement systems, if the time span is set to be seconds, minutes, or even hours; The system reference of geodetic observation is often set either as man-made satellites, or as natural space objects like lunar or extragalactic reference. These references help us constructing a global coordinate system for geodetic observations with great successes. But still, they are neither convenient nor flexible for densely local observations.

In this paper a new geodetic measurement concept is suggested for local and short time-span observations. Other than going to space pursuing a comparable scale than Earth radius, the suggested concept looks into the atomic scale, while a velocity of 1-10 cm/year is roughly equivalent to 317-3171 pm/s, which is the same scale for observing atomic structures. In this concept a microscope for nano scale observation, e.g., scanning tunneling microscope [4], is required. The observation arm and the sample holding arm are separately assembled as that the observation arm is fixed on the ground, and the sample holder is floating in the air. The sample holder is designed as a long pendulum which keeps pointing to the earth gravity center. The local earth surface normal, and the local gradient of the earth gravity field, are two vectors in the system. Within short time span like seconds it is possible to measure the different temporal variations between them, based on the different earth dynamics of lithosphere and earth mass distribution.

Without systematic ambiguities like non-modeled forces in space, signal delay in ionosphere, as well as the troposphere distortions, the suggested concept physically is promising for a new geodetic measurement.

References:

- [1] V. O. Mikhailov etc.: Comparative study of temporal variations in the earths gravity field using GRACE gravity models in the regions of three recent giant earthquakes, 2014;
- [2] Z. Altamimi etc.: ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame, 2011;
- [3] Z. Altamimi etc.: Status of ITRF2013 and early results, 2014;
- [4] C. J. Chen: Introduction to Scanning Tunneling Microscopy, 1993.

Japan Geoscience Union Meeting 2015

(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SGD21-02

会場:303

時間:5月28日 11:15-11:30

キーワード: Geodetic Measurement, Atomic scale, Plate movement, Velocity, Gradient of gravity field, Microscope
Keywords: Geodetic Measurement, Atomic scale, Plate movement, Velocity, Gradient of gravity field, Microscope

VLBI 周波数比較への応用と GALA-V システムの開発(V) VLBI application for Frequency Transfer and Development of GALA-V System (V)

関戸 衛^{1*}; 岳藤 一宏¹; 氏原 秀樹¹; 近藤 哲朗¹; 宮内 結花¹; 堤 正則¹; 川合 栄治¹; 長谷川 新吾¹;
瀧口 博士¹; 市川 隆一²; 花土 ゆう子¹; 小山 泰弘³; 渡部 謙一⁴; 鈴山 智也⁴; 福崎 順洋⁵;
小室 純一⁶; 寺田 健次郎⁷; 難波 邦考⁷; 高橋 留美⁷; 岡本 慶大⁷; 青木 哲郎⁷; 池田 貴俊⁸
SEKIDO, Mamoru^{1*}; TAKEFUJI, Kazuhiro¹; UJIHARA, Hideki¹; KONDO, Tetsuro¹; MIYAUCHI, Yuka¹;
TSUTSUMI, Masanori¹; KAWAI, Eiji¹; HASEGAWA, Shingo¹; TAKIGUCHI, Hiroshi¹; ICHIKAWA, Ryuichi²;
HANADO, Yuko¹; KOYAMA, Yasuhiro³; WATABE, Ken-ichi⁴; SUZUYAMA, Tomonari⁴; FUKUZAKI, Junyou⁵;
KOMURO, Jun-ichi⁶; TERADA, Kenjiro⁷; NAMBA, Kunitaka⁷; TAKAHASHI, Rumi⁷; OKAMOTO, Yoshihiro⁷;
AOKI, Tetsuro⁷; IKEDA, Takatoshi⁸

¹ 情報通信研究機構 時空標準研究室, ² 総務省情報通信国際戦略局技術政策課, ³ 情報通信研究機構 国際連携推進室, ⁴ 産業技術総合研究所 計量標準総合センター 周波数システム研究室, ⁵ 国土地理院, ⁶ 情報通信研究機構 社会還元促進部門 研究開発支援室, ⁷ 情報通信研究機構 社会還元促進部門 情報システム室, ⁸ 情報通信研究機構 ネットワークアーキテクチャ研究室

¹National Institute of Information and Communications Technology, Space-Time Standards Laboratory, ²Global ICT Strategy Bureau Technology Policy Division, The Ministry of Internal Affairs and Comm., ³National Institute of Information and Communications Technology, International Relations Office, ⁴AIST, National Metrology Institute of Japan, Frequency Measurement Systems Section, ⁵Geospatial Information Authority of Japan, ⁶NICT, Outcome Promotion Department, Development support Section, ⁷NICT, Outcome Promotion Department, Information System Section, ⁸National Institute of Information and Communications Technology, Network Architecture Laboratory

1. はじめに

NICT は、遠隔周波数比較技術の一つとして広帯域 VLBI を使った周波数比較技術の開発を進めている。このプロジェクト (GALA-V) は、遠距離に置かれた複数のアンテナを使って 3-14GHz の電波星からの電波を受信し、複数のアンテナ間の原子時計の周波数差を精密に比較する計画である。VLBI 周波数比較は、既にある周波数比較技術としての衛星双方向に比べて、多地点の比較が一度に可能で通信衛星の有無に依存せず、GPS を使った方法に比べて衛星の軌道情報の誤差に影響されないなどの利点がある。広帯域観測という点では次世代の測地 VLBI 技術の国際標準仕様として各国が開発をすすめている VGOS (VLBI2010 Global Observing System) に準拠しており、周波数比較だけでなく精密測地学にも利用できる。NICT は広帯域フィードと受信機を独自に開発して 34m アンテナに搭載し、小型の VLBI アンテナをつくばの産業技術総合研究所 (以下、産総研) と、東京小金井市の NICT に設置し、NICT の維持する日本標準時である NICT の UTC[NICT] と産総研の維持する UTC[NMIJ] との比較実験を行っている。測地学への寄与としては、国内の VGOS 局として完成した国土地理院の石岡測地観測局との試験観測を実施し、世界初となる 8 GHz 帯域幅の超広帯域信号の合成に成功した。これにより VLBI の遅延計測精度が格段に向上することが期待される。また米国 MIT の Westford 局との 9500 km の基線で広帯域 VLBI システムを使った初の国際観測を実施して、MIT と NICT それぞれの相関処理でフリンジを検出し、システムの互換性の調整確認を実施している。

2. 産総研-NICT 小金井間の周波数比較 VLBI 実験

GALA-V 周波数比較プロジェクトでは、日本標準時を維持する NICT と原子周波数標準を開発している産総研に小型 VLBI アンテナを設置し、VLBI 技術を使った周波数比較のテストベッドとして UTC[NICT] と UTC[NMIJ] の比較実験を行っている。8GHz の周波数で 1GHz 帯域幅を使った観測では、GPS とほぼ同程度の比較ができることを確認した。今後、長期の周波数比較試験や、以下に述べる広帯域の受信システムへ帯域幅を広げた実験を行っていく予定である。

3. 国土地理院石岡局との超広帯域の VLBI 試験観測

国土地理院が 2014 年に石岡測地観測局に完成した VGOS 仕様の口径 13m の広帯域 VLBI アンテナ (以下「石岡 13m アンテナ」) は、鹿島 34m アンテナに次いで国内で 2 番目に大きな広帯域観測が可能な VLBI 観測局である。我々は 2014 年末から 2015 年はじめに掛けて、NICT 鹿島 34m アンテナと石岡 13m アンテナの基線で試験観測を実施した。電波星から来る 6-14GHz の周波数帯域の電波を、6つのバンド (バンド幅 1GHz) でデータ取得し、相関処理した結果すべてのチャンネルでフリンジを検出した。更に広帯域のバンド幅合成ソフトによって 6つのバンドのトータル 8GHz 帯域幅の位相を合成することに成功した。このような超広帯域の VLBI 計測は世界初であり、理論的には数十フェムト秒の遅延計測精度となる。しかし実際にはさまざまな誤差要因により精度は低下するため、今後実際の計測精度検証を進めていく。

SGD21-03

会場:303

時間:5月28日 11:30-11:45

4. 広帯域 VLBI システム初の国際 VLBI 実験

NICT の進める GALA-V プロジェクトでは、ダイレクトサンプリング方式の新しい独自のデータ取得系を開発するのと並行して、VGOS との共同観測も視野に入れたデータ収集システムの開発を進めている。2015 年 1 月には、米国 MIT の Haystack 観測所の Westford18m アンテナと鹿島 34m アンテナとの間で世界初となる、広帯域 VLBI システムを使った 9500km 基線の国際 VLBI 観測を成功させた。Haystack 観測所と NICT それぞれの取得データは JGN-X, APAN, Internet2 の高速インターネット回線を通して交換され、検証のため両機関でデータ処理を行ってフリッジが確認された。

5. まとめ

GALA-V 周波数比較プロジェクトでは、広帯域 VLBI 観測システムを使って、国土地理院石岡測地観測局との広帯域観測や、米国との試験観測に成功し、VGOS システムとの互換性を考慮しつつ、新しい広帯域の VLBI 観測システムの整備を進めている。2015 年度はこのシステムを使って広帯域化の効果を確認し、長期の周波数比較実験等を行って VLBI 周波数比較の精度検証を進める。

キーワード: 超長基線電波干渉計, 時刻周波数比較

Keywords: Very Long Baseline Interferometry, Time and Frequency Transfer

測距基線沿いの温度場の時空間推定による海底間音測距精度向上の試み Improvement of the accuracy in seafloor acoustic ranging by estimating the spatio-temporal temperature variation

山本 龍典^{1*}; 木戸 元之²; 長田 幸仁¹
YAMAMOTO, Ryusuke^{1*}; KIDO, Motoyuki²; OSADA, Yukihiro¹

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 東北大学災害科学国際研究所

¹ Graduate School of Science, Tohoku University, ² International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

海底間音響測距は、海底の地殻変動を検出する手段として普及しつつある。その原理は、海底の2点に設置したトランスデューサーとトランスポンダー間で音波の送受信を行い、音波の往復にかかった時間に音速を掛けることで、その相対距離をモニタリングするものである。音速は、水温・水圧・塩分の3要素の関数であり、海底では水温の影響を最も受ける。このため、海底での温度場の推定が精度向上の鍵となる。

これまでの研究では、基線両端の温度の平均値をとった一様温度場を仮定し、基線上の温度場の不均質は考慮していなかった。そのため、特に温度が急変する時間帯で、見かけ基線長の時系列変化に所々飛びが見られた。また、実際の基線両端の温度場の時間変化を見ると、一定の時間遅れをもってコヒーレントな挙動を示す場合が多く、半日潮に対応する往復運動が卓越することがわかった。そこで、基線両端の温度変化に温度場の移動モデルを適用して、温度場の時空間変化を推定し、より厳密な音速推定による測距精度向上を試みた。

時間依存する関数で定義される速度に則って温度場が移動しているとき、基線両端で計測された温度データを用いて、線形に内挿及び外挿を施すことのできる式を考えた。この式は、位置 x と時刻 t に依存する関数として表される。速度の関数は、温度場の変化が潮汐に起因すると仮定し、半日周期の単振動とした。ただし、振幅については場合により異なるので、慎重に検討する必要がある。この式は、温度が時間的・空間的に線形変化していると仮定して近似したものである。2点で温度の変わり方が若干異なっても線形近似することができる。このアルゴリズムの検証として、任意の温度場を設定し、そこから基線両端の温度データを抽出、それらを入力として式に代入すると、与えた温度場をよく再現した。また、3点の温度データがあれば、温度場が線形に変化していると仮定することにより、式を2次元空間に拡張できることもわかった。

2007年に熊野海盆で行われた海底間音響測距の試験観測データ [Osada, Y., M. Kido, and H. Fujimoto, *Ocean Engineering*, 2012] に上記の温度場の時空間推定を適用したところ、見かけ基線長変化の飛びを軽減させることに成功した。潮汐変化を十分に表現できる30分~1時間程度の温度の計測頻度があれば、バッテリー消費やデータ保存容量のコストの高い音響測距の頻度は必ずしも上げる必要はないため、今後の観測形態に反映することが期待される。

今後の課題として、より多くの時間帯での温度場の移動速度ベクトルの推定方法の検討が挙げられる。現時点では、基線両端の温度変化の時間差などから推定しているが、明瞭な変化がない時間帯は推定不能である。基線沿いに高密度温度観測を行うことが最も有効である。一方で、温度場の移動は必ずしも海水の流れと同義ではないが、流速計の併設、あるいは装置自体の傾きの変化からの流速の推定なども補助的な情報となり得る。また、視点を変えて、JCOPE-T(日本全周部予測情報; 提供: 海洋研究開発機構) などの高精度な海洋モデルから用いて、ローカルな温度場の変化を推定するのも手段の1つであると考えられる。

キーワード: 海底測地学, 音響測距, 海中温度, 潮汐流, 海底間音響測距

Keywords: Seafloor geodesy, Acoustic ranging, Seafloor temperature, Tidal current, Extensometer

精密可動台を用いた海底地殻変動観測のためのキネマティック GNSS 時系列のノイズ評価

Noise assessment of the kinematic GNSS analysis for GPS/Acoustic observation by precisely controlled movable table data

太田 雄策^{1*}; 木戸 元之²; 出町 知嗣¹; 日野 亮太¹

OHTA, Yusaku^{1*}; KIDO, Motoyuki²; DEMACHI, Tomotsugu¹; HINO, Ryota¹

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 東北大学災害科学国際研究所

¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

The seafloor geodetic observation techniques are extremely important for understanding of the spatial and temporal heterogeneity of the interplate coupling. Especially, GPS/Acoustic (hereafter GPS/A) techniques have been developed for practical use in the past ten years, which allowed offshore measurement just above the expected strong coupling region in the plate boundary. The conventional observation style of the GPS/A is campaign style, which repeatedly observed by the research vessel. Recently, several groups have proposed continuous style GPS/A observation based on the moored buoy system.

The one of key technique of GPS/A observation is high-rate sampling precise/accurate positioning of floating section (e.g. research vessel, moored buoy) based on kinematic GPS analysis. A required precision/accuracy is typically smaller than several tens mm in the horizontal components even though it depend on the required precision by user. On the other hand, true position of such moving body is generally unknown.

Based on these backgrounds, we developed the precisely controlled movable table for the assessment of the precision/accuracy of the kinematic GPS (GNSS) analysis. The developed precise movable table consists of uniaxial small electric actuator device and its control unit. The maximum movable stroke of the actuator is 200mm, and the resolution of moving step is 0.1mm/pulse. We implemented a several moving pattern to the developed table. One of the moving patterns is modeled upon the research vessel. We used the velocity data obtained by 10Hz GPS Doppler measurement in the actual research vessel. We applied high-pass filtering after the integration of velocity data to the displacement. Obtained displacement strongly reflects the ship rolls and/or pitches, so we used this data as true value of the moving body. Based on the developed movable table, we tested the precision of the kinematic GPS analysis. We used the dual-frequency GNSS (GPS and GLONASS) receiver with 10Hz sampling for the test. For the test, we compared with real-time kinematic PPP time series and known movable table motion. As a preliminary result, obtained 10Hz time series by real-time kinematic PPP time series shows the good agreement with known movable table motion during the short period of time (<several hundred seconds). In contrast, the large discrepancy clearly appeared between both time series in the long period of time. It caused by the high noise level of kinematic PPP time series in the low frequency band. These experiments should be important for understanding of the noise property of the kinematic GNSS analysis for the moving body.

キーワード: キネマティック GNSS, 移動体

Keywords: kinematic GNSS, moving body

降雪が GEONET 測位解に及ぼす影響について (2) The effect of snowfall on the solution of GEONET (2)

今給黎 哲郎^{1*}; 宗包 浩志¹; 佐藤 雄大¹
IMAKIIRE, Tetsuro^{1*}; MUNEKANE, Hiroshi¹; SATO, Yudai¹

¹ 国土地理院

¹Geospatial Information Authority of Japan

国土地理院が運用する GNSS 連続観測網 GEONET の観測データと定常解析結果である「日々の座標値」(F3 解)は、インターネットを通じて公開されており、測量などの実務から、地球科学の諸分野に至るまでの基本的データとして広く利用されている。F3 解には様々な原因によって実際の観測点の変位ではない擾乱が生じるが、2014 年秋の日本測地学会講演会では、2014 年 2 月の大雪の際に山梨県内の観測点で見られた測位解の異常について、降雪・着雪が原因であるという検討結果を報告した。その後、同時期に他の複数の観測点において同様な現象を確認した事例および、それらの観測点において別の顕著な降雪があった日付の測位解異常値についても検討を行い、降雪時の気象データと、測位解の時系列を比較することで、降雪がどのように測位解の変動に影響したかを考察した。今回の講演ではそれらの結果を報告する。

キーワード: GEONET, GNSS, 測位, 誤差, 降雪

Keywords: GEONET, GNSS, positioning, error, snowfall

マルチ GNSS による高精度測位技術の開発ー測量におけるマルチ GNSS の利活用に向けてー

Development of a new precise positioning technique using multi-GNSS signals

鎌苅 裕紀^{1*}; 古屋 智秋¹; 万所 求¹; 辻 宏道¹; 田中 和之¹; 宮川 康平¹; 佐藤 雄大¹; 畑中 雄樹¹;
宗包 浩志¹; 川元 智司¹

KAMAKARI, Yuki^{1*}; FURUYA, Tomoaki¹; MANDOKORO, Motomu¹; TSUJI, Hiromichi¹; TANAKA, Kazuyuki¹;
MIYAGAWA, Kohei¹; SATO, Yudai¹; HATANAKA, Yuki¹; MUNEKANE, Hiroshi¹; KAWAMOTO, Satoshi¹

¹ 国土交通省国土地理院

¹ GSI of Japan

国土地理院では、平成 23 年度より、国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な国土管理のための複数の衛星測位システム（マルチ GNSS）による高精度測位技術の開発」（平成 23～26 年度）として、これまで GPS 測量が困難であったビル街等を含め、国土管理に必要な高精度測位の効率的な実施のため、米国の GPS をはじめ、日本の準天頂衛星、ロシアの GLONASS、EU の Galileo、中国の Beidou といった各国の衛星測位システムのデータを統合的に利用するマルチ GNSS 高精度測位技術の開発及び標準化に向けた検討を実施した。

平成 26 年度は、受信機の各衛星系回路間の遅延差に起因して発生する受信機ハードウェアバイアス（ISB）について、Beidou と他の衛星系間における検証を実施した。検証の結果、Beidou と他の衛星系間では受信機のファームウェアの違いや受信機の再起動によって ISB が大きく変動することが判明した。また、Beidou には GEO、MEO、IGSO の異なる 3 種類の衛星軌道があり、GEO と MEO、IGSO 間に 1/2 サイクルのバイアス（ISTB）が存在することが判明した。

また、Galileo を含むマルチ GNSS の観測および L5 信号の受信が可能な受信機を利用して、日本全国 5 地区（北海道、群馬、つくば、東京、神奈川）において GNSS 衛星の試験観測を行い、それら観測点を組み合わせてできる様々な基線について、Galileo を含む GNSS 衛星で測量をする場合、L1、L2、L5 帯の 3 周波数帯で測量をする場合、L5 帯を含めた 2 周波数帯で測量をする場合の各場合において解析を実施し、Galileo、L5 信号の効果や課題を評価した。特に東京地区においては、観測条件の厳しい複数の箇所で観測を実施し、都市部におけるマルチ GNSS、L5 信号の可能性を評価した。

なお、プロジェクトの実施にあたっては、外部有識者委員会を開催し、大学や関係機関のアドバイスを得ている。

（プロジェクトホームページ：http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/gnss_main.html）

キーワード: GNSS, 測量, Beidou

Keywords: GNSS, Geodetic Survey, Beidou

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付属地震・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方な質量分布となり、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