

## 人工衛星データを用いた南極氷床質量変動に関する研究 A study on Antarctic ice-sheet mass changes using satellite data

長崎 鋭二<sup>1\*</sup>, 福田洋一<sup>1</sup>, 山本圭香<sup>2</sup>  
NAGASAKI, Eiji<sup>1\*</sup>, Fukuda Yoichi<sup>1</sup>, Yamamoto Keiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学理学研究科, <sup>2</sup> オーストリア科学院 宇宙研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Space Research Institute, Austrian Academy of Science

南極氷床は地球全体の氷床の約90%を占めており、約60mの海面上昇に相当すると言われている。しかし、現場観測の難しさから人工衛星によるデータが得られるまでは南極全体の氷床質量変動を推定することは容易ではなかった。全球重力場の時間変化を観測する双子衛星 GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) の台頭後、南極全域の質量変化を推定することが可能となったが、GRACE は氷床の質量変動に加え、Glacial Isostatic Adjustment (GIA) の効果も含めた質量の積分値を観測しており、質量変化のソースを特定することができない。特に南極域においては、球面調和関数の低次項の誤差や、GIA モデル間の差異が GRACE データによる質量変動推定において大きな誤差源となってきた。

一方、ICESat (Ice Cloud and land Elevation Satellite) はレーザー高度計 GLAS (Geo-science Laser Altimeter System) を搭載した衛星で、氷床や雲・陸域の高さを観測することを目的としている。GRACE データと ICESat データを組み合わせることで、質量変動と体積変動の比較が可能であるが、実際には ICESat のデータは180日間隔、90日期間のデータセットであり、GRACE による各月毎のデータと比較が難しいという問題を抱えている。他方で、EnviSat (Environmental Satellite) に搭載されたレーダー高度計 (Radar Altimeter2) は、陸地、海域に加えて氷床の高度変化も観測している。RA2 レーダー高度計は GLAS のレーザー高度計ほど精度は高くないものの、GRACE とほぼ同じ期間から観測を開始しており、GRACE の月毎のデータに対して35日毎のデータが取得可能であることから、ICESat データの補完に有用である。そこで、本研究では従来の GRACE の重力データ及び ICESat の高度計のデータに加え、EnviSat の高度計データを用いて南極氷床の質量変動を推定することを目的として、南極全体及び南極の27の氷床流域において3つのデータセットの解析を行った。

本研究から得られた南極全体の氷床質量変動は -174 ~ -48.4 Gt/year であり、既存の研究と概ね一致する。GRACE によって得られた氷床質量変動のトレンドと ICESat によって得られた体積変動のトレンドは空間分布において良い相関を示し、Amundsen Sea Sector や南極半島において大きな質量欠損が見られる。観測精度の問題から EnviSat による体積変動の線形トレンドは GRACE や ICESat とはあまり一致しないが、南極全体、あるいは流域毎の時系列変化においては GRACE との高い相関が見られる。両者は特に、傾斜の小さな流域においてより良い相関を示すことから、EnviSat データが地表の勾配の小さな領域では氷床の体積変動を捉えていることが明らかになった。本研究から、南極氷床変動において ICESat では得られなかった短い時間スケールの変動を捉えることができるようになった。

キーワード: 宇宙測地, GRACE, ICESat, EnviSat, 衛星高度計, 南極氷床質量変動

Keywords: Satellite geodesy, GRACE, ICESat, EnviSat, Altimeter, Antarctic ice sheet mass change

## GOCE と地表重力データによる南極昭和基地周辺の重力場 Gravity field determination around Syowa station, Antarctica, by combining GOCE and in-situ gravity data

福田 洋一<sup>1\*</sup>, 野木 義史<sup>2</sup>, 松崎 和也<sup>1</sup>  
FUKUDA, Yoichi<sup>1\*</sup>, NOGI, Yoshifumi<sup>2</sup>, MATSUZAKI, Kazuya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>National Institute of Polar Research

2009年3月にESAが打ち上げられたGOCE(Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer)衛星は、高感度な重力偏差計の搭載と極めて低い軌道高度(250km)から観測により、特に短波長での静的な重力場の精度改善を目指しており、100km(1/2波長)の空間分解能で1mgalの重力異常、1cmのジオイド精度が得られると言われている。一方、船上、航空重力測定を含む地上での重力データは、重力計のドリフトやキャリブレーション、重力基準点の分布などの問題で、数10kmを超える長波長の領域では精度の低下が避けられない。特に、地表での重力基準点がほとんどない南極ではこの問題はより深刻である。日本の南極観測隊(JARE: Japanese Antarctic Research Expedition)では、長期にわたり昭和基地周辺地域での重力測定を行なっているが、これらの測定データも同様の影響で長波長重力場での精度が低下しており、結果として地球物理学的、測地学的応用への一つの障害となっている。そこで本研究では、長波長重力場としてGOCEによる地球重力モデル(EGM: Earth Gravity Model)を利用することで、長波長域におけるJAREの重力データの精度向上を目指した。

GOCEのEGMとしては、解法の違うdirect solution(DIR)、time-wise solution(TIM)、space-wise solution(SPW)の3つのモデルが公開されている。これらのモデル間の重要な差異は、DIR、SPWが重力モデルを決定する際にGOCE以外の情報も利用していることに対して、TIMはそのような先験的情報は使用せずGOCEの観測データだけを利用していることである。本研究ではGOCEデータの検証の意味からもTIMモデルを主に使用し、他のモデルやEGM2008なども比較対象として使用した。現在、TIMモデルはRL(Release)1から3の3つバージョンが利用できるため、講演では、昭和基地周辺での航空、船上、陸上データを利用したこれらのバージョン間の比較、また、RL-3に準拠した予備的な重力場の推定結果について報告する。

キーワード: GOCE, 重力モデル, 南極, 昭和基地

Keywords: GOCE, Gravity Model, Antarctica, Syowa Station

## Towards improvement of geoid model in Japan by GOCE data: Case study of Shikoku area

## Towards improvement of geoid model in Japan by GOCE data: Case study of Shikoku area

PATROBA ODERA<sup>1\*</sup>, Yoichi Fukuda<sup>1</sup>  
ODERA, PATROBA<sup>1\*</sup>, FUKUDA, Yoichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Kyoto University

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Kyoto University

The performance of the recently released global geopotential models (GGMs) based on 2, 8 and 12 months of data collected by the Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE) is evaluated using geoid undulations and free-air gravity anomalies over Japan. The evaluated GOCE and related GGMs include; direct solution (DIR, release 1, 2 and 3), time-wise solution (TIM, release 1, 2 and 3), space-wise solution (SPW, release 1 and 2) and Gravity Observation Combination (GOCO, release 1 and 2). Further evaluations are carried out in each of the four Japanese main islands. The performance of EGM2008 and GOCE-related GGMs over Japan is generally comparable indicating possible improvement of geoid model in Japan by GOCE data at the end of the mission. The comparisons over the four main islands reveal that EGM2008 performs better than GOCE and related GGMs in Hokkaido, Honshu and Kyushu. However, GOCE and related GGMs perform better than EGM2008 in Shikoku. GOCO02S, GOCE-DIR3 and GOCE-TIM3 have the best and similar performance in Shikoku. Given that GOCE-TIM relies exclusively on GOCE data, it is considered for geoid determination in Shikoku for further assessment. To evaluate the actual improvement of the geoid model in Shikoku area by GOCE-TIM3, the geoid over Shikoku is determined from EGM2008 and a combination of GOCE-TIM3 with EGM2008 (GOCE-TIM3/EGM2008). In both cases the same terrestrial gravity data sets are used and all the necessary reductions are applied. The Stokes-Helmert scheme in a modified form is adopted for the computations. The first improvement of geoid model over Japan by GOCE data is evident in Shikoku.

キーワード: Geoid model, Gravity, EGM2008, GOCE, Shikoku

Keywords: Geoid model, Gravity, EGM2008, GOCE, Shikoku

## 衛星海面高度計 Jason-2 を用いた東北沖地震に伴うジオイド変化検出の試み Search for geoid height changes due to the Tohoku Oki earthquake (Mw9.0) by satellite altimeter Jason-2

北崎 大夢<sup>1\*</sup>, 古屋 正人<sup>1</sup>

KITAZAKI, Hiromu<sup>1\*</sup>, FURUYA, Masato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学理学研究院自然史科学部門

<sup>1</sup> Dept. Natural History of Sci., Hokkaido Univ.

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、日本での観測史上最大のモーメントマグニチュード (Mw9.0) を記録し、合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar : SAR) や GPS(Global Positioning System), そして GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment) 衛星などを用いた解析が、日々すすめられている。これらから得られる海底地殻変動や重力異常のデータに加え、地震時ジオイド変化が検出できたとすれば、震源直上の独立したデータが増えることになり、陸域に偏在するデータから得られた断層モデルを検証するための手段にもなる。しかしながら、その確定的な検出の事例はこれまで報告されていない。

ジオイド変動と海面高度変動には密接な関係があり、その海面高度変動を測るために有効な測地技術の1つに衛星海面高度計がある。本研究では、衛星海面高度計 Jason-2 の GDR(Geo Physical Record) SSHA(Sea Surface Height Anomaly) データを用いて、震源直上のデータから地震時ジオイド変化の検出を試みた。この試みに先立って、4月に国土地理院が発表した震源断層モデルを用いて、海底地殻変動や水の荷重による変動の影響は考えずに、第0近似的なモデル計算を行った。その結果、北緯38度付近で最大3.5cm程度の地震時ジオイド変化が期待され、その近傍を Jason-2 の pass238 が通過していることから Jason-2(測定精度:2~3cm) で検出できるかもしれないと考えた。地震時ジオイド変化を検出する際に問題となるのは、海流や潮汐などによって起きる海面高度変動であるが、海洋開発研究機構 (JAMSTEC) が行っている JCOPE2(Japan Coastal Ocean Predictability Experiment) 海洋大循環モデルを用いることで補正を試みた。この両者のデータを比較したところ、似通った傾向が見られ、両者の差の中に地震時ジオイド変動が潜んでいるはずである。そのため、本研究ではこの差についての比較検討を行った。

両者の差について、2009年から2011年の同時期のデータを地震前後で比較したところ、pass238については北緯38度付近で2.0cm程度のシグナルが見られたが、これは理論値とはかなりかけ離れた結果であった。これに対して High Pass Filter によるフィルタリングを行ったが、ここからあまり有効な結果を得ることはできなかった。

本研究では海水の荷重や海底地殻変動による、ジオイド変動への影響を考慮していないため、今後課題が残る結果となった。実際、モデル計算の結果、海底地殻変動が局所的には10mを超える場所もあると考えられ、さらに Jason-2 pass238 から得られたデータによれば、平均海面高度も、北緯38度付近では5m程度とかなり変動していることが判明した。今後はこれらも考慮していくことが課題となるだろう。また、ノイズの性質を他のパス上でも調べるために、Jason-2 の従来機である Jason-1 のデータを使用していくことも視野に入れている。

## 2010年チリ地震のポストサイスミック重力変化のGRACEによる観測 Postseismic gravity changes of the 2010 Chilean earthquake from GRACE gravimetry

田中 優作<sup>1\*</sup>

TANAKA, Yusaku<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院

<sup>1</sup>Dept. Natural History Sci., Hokkaido Univ.

地震に伴う重力の変化は、古くからその存在が理論的に予測されていた。これはさらに地震時の瞬間的な重力変化（地震時重力変化）と、地震後のゆっくりとした重力変化（地震後重力変化）に分けられる。地震時重力変化は、断片的ではあるが、2003年十勝沖地震に際して地上の精密重力観測で検出に成功した (Imanishi et al., Science 2004)。さらに、2002年に重力の精密計測の為に打ち上げられた GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) と呼ばれる人工衛星のデータから、2004年12月26日のスマトラ・アンダマン地震の地震時重力変化を初めて二次元的に観測した (Han et al., Science 2006)。

本研究では、GRACE衛星から得られたデータから、2010年2月27日に発生したチリ（マウレ）地震に伴う重力変化を取り出した。その結果、重力は地震時に減少し、地震後にゆっくり回復した事を見いだした。地震時重力変化は最大で4マイクロガル程度の減少であり、地震後の回復は数マイクロガル程度で、回復に一年程度の時間を要した。なお地震時の重力変化に関しては既に Heki and Matsuo (GRL, 2010) によって報告されている。

地震後重力変化には、「ゆっくり地震」「岩石の粘性緩和」「間隙水の拡散」の三通りの原因が考えられる。しかし、まず「ゆっくり地震」は地震時重力変化を進行させる為、地震時重力変化の回復を示す今回の観測結果とは合わない。岩石の粘性緩和は、地震時重力変化を回復させる点は観測と調和するものの、上部マントルのマクスウェル時間は今回観測された地震後変動の時定数よりかなり長い。ゆえに、上記のメカニズムの中では間隙水の拡散が今回観測された地震後重力変化の原因の有力候補と考えられる。間隙水の拡散は、半年から一年程度の時間で、重力を回復させる方向に進行する為、今回の観測結果と矛盾しない。2004年スマトラ・アンダマン地震の地震後にも同様の重力変化が見いだされており、その原因は間隙水の拡散であると結論づけられている (Ogawa and Heki, GRL 2007)。本研究も、その結果を支持するものである。尚、地震後重力変化の量と時定数は、チリ地震とスマトラ・アンダマン地震の間で良く似ていた。

本研究ではさらに、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震における地震時および地震後の重力変化も比較検討した。この地震は、発生後約1年しか経過しておらず、地震後重力変化は進行中である可能性が高い。GRACEデータは本要旨執筆時において2011年10月分までしか公開されていない。この為、2011年東北沖地震の地震後重力変化の議論は時期尚早である。なお地震時の重力変化は既に論文となっている (Matsuo and Heki, GRL 2011)。実際、地震後の重力増大域が地震時でも重力の増加を示す点がチリ地震やスマトラ地震と異なっている。今後時間の経過とともに推移を見守る必要があるが、現時点では大局的にはチリ地震やスマトラ地震と同じようなゆっくりとした重力の回復が地震後に見いだされている。

キーワード: 地震時重力変化, 地震後重力変化, 2010年チリ地震

Keywords: coseismic gravity changes, postseismic gravity changes, 2010 Chile earthquake

## 衛星レーザー測距による地球重力場低次項の決定 Determination of earth gravity field from SLR analysis

大坪 俊通<sup>1\*</sup>, 関戸 衛<sup>2</sup>, ホビガー トーマス<sup>2</sup>, 後藤 忠広<sup>2</sup>, 久保岡 俊宏<sup>2</sup>

OTSUBO, Toshimichi<sup>1\*</sup>, SEKIDO, Mamoru<sup>2</sup>, HOBIGER, Thomas<sup>2</sup>, Tadahiro Gotoh<sup>2</sup>, KUBOOKA, Toshihiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>一橋大学, <sup>2</sup>情報通信研究機構

<sup>1</sup>Hitotsubashi University, <sup>2</sup>National Institute of Information and Communications Technology

現在開発中の宇宙測地技術解析ソフトウェア c5++ (Otsubo, et al, JPGU, 2011) に、地球重力場を推定する機能を追加し、試験解析を行った。衛星レーザー測距 (SLR) データは地球重力場の受けるが、SLR 衛星によってその度合いは異なってくる。地球基準座標系や地球回転パラメータに対しては、2つの LAGEOS 衛星がもっぱら用いられるが、地球重力場に対しては、あじさい・STARLETTE・STELLA といった低軌道の SLR 衛星も有用であり、複数の衛星を組み合わせることが効果的である。J2 以下、次数・位数 2 ~ 3 程度までの球面調和関数の係数について、その長期的・周期的変動を紹介する。

キーワード: 衛星レーザー測距, 地球重力場, 宇宙測地

Keywords: satellite laser ranging, earth gravity field, space geodesy

## 海底探査用重力偏差計システムの開発 2

## Development of a gravity gradiometer system for submarine gravity prospecting 2

新谷 昌人<sup>1\*</sup>, 金沢 敏彦<sup>1</sup>, 藤本 博己<sup>2</sup>, 篠原 雅尚<sup>1</sup>, 山田 知朗<sup>1</sup>, 飯笹 幸吉<sup>3</sup>, 石原 丈実<sup>4</sup>

ARAYA, Akito<sup>1\*</sup>, KANAZAWA, Toshihiko<sup>1</sup>, FUJIMOTO, Hiromi<sup>2</sup>, SHINOHARA, Masanao<sup>1</sup>, YAMADA, Tomoaki<sup>1</sup>, IIZASA, Kokichi<sup>3</sup>, ISHIHARA, Takemi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東大地震研, <sup>2</sup> 東北大理, <sup>3</sup> 東大新領域, <sup>4</sup> 産総研地質情報

<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ., <sup>3</sup>GSFS, Univ. Tokyo, <sup>4</sup>Inst. Geol. Geoinf., AIST

Gravity surveys are useful in profiling the underground density structure. We propose a hybrid gravity survey method using gravimeters and gravity gradiometers to detect submarine ore deposits. This paper describes the development of a submersible gravity gradiometer for this purpose. As compared to a gravimeter, a gravity gradiometer is sensitive to localized density structure, and hence it is well suited to survey on concentrated source such as ore deposits. The required resolution is estimated to be finer than approximately 10E ( $=1 \times 10^{-8}/s^2$ ), considering typical dimensions of submarine ore deposits and survey altitude from the seafloor. To attain the required resolution, we newly developed a gravity gradiometer comprising two vertically-separated accelerometers with astatic reference pendulums. Because any common noise to the gravity sensors, such as translation acceleration and thermal drift, is canceled by taking the differential signal, the gravity gradiometer is preferable as an onboard instrument in the underwater vehicle.

The instrument should be installed on a gimbal to reduce rotational motion when the gradiometer is mounted in an underwater vehicle to survey around the seafloor. We have demonstrated a one-dimensional forced gimbal on which the orientation is precisely controlled to be vertical referred to both a fiber-optic gyroscope and a tiltmeter. Laboratory measurements show that the gravity gradiometer attains the required resolution and the forced gimbal reduces expected rotational disturbances to required level. By combining the gravity gradiometer with a two-dimensional gimbal based on this experiment, detectability of the typical ore deposit can be obtained.

A sea trial observation is scheduled in Suruga Bay using an AUV in September, 2012. Details of the design, the instrument performance, and the trial plan are presented.

Keywords: ore deposit, gravity survey, gravity gradiometer, gimbal, AUV

## gPhone 重力計による陸水応答検出 -地表, 地表下 100m, 地表下 300m- Hydrological gravity response detection using a gPhone -aboveground, and 100- & 300-m belowground-

田中 俊行<sup>1\*</sup>, 浅井 康広<sup>1</sup>, 石井 紘<sup>1</sup>  
TANAKA, Toshiyuki<sup>1\*</sup>, ASAI, Yasuhiro<sup>1</sup>, ISHII, Hiroshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東濃地震科学研究所

<sup>1</sup> TRIES, ADEP

陸水変動は地下深部の密度変化をモニターする「重力モニタリング」にとって最もやっかいな擾乱源である。これを除去する手法として我々は重力計アレイ法を提唱している。すなわち、自由地下水面の上下で重力連続観測を行い、単純にはそれらのデータを足し算すれば、降雨等の影響は相殺されるはずである。

我々は一台の相対連続観測重力計 gPhone を地表（御岳山山麓）、地表下 100m（瑞浪超深地層研究所）、地表下 300m（瑞浪超深地層研究所）にて連続観測を行って来た。地表下 300m のデータは解析中であるが、地表及び地表下 100m では振幅 1?4microGal の明瞭な陸水変動起源の重力変化が観測された。地表での観測は人工擾乱が少ない事もあってか、降雨量及び積雪深度の変化で重力変動を説明出来る。しかし、地表下 100m はそれだけでは説明出来ない未知もしくはセンサーの非線形ドリフト起源の重力変動が残った。地表下 300m は瑞浪超深地層研究所坑内の中でも各種振動発生する機器から離れた環境を求めて地表下 100m から移設したが、掘削発破の多い時期ではむしろ発破源に近いためデータ品質は向上していないようである。

絶対重力計の並行観測は相対連続観測の検定を兼ねて、それ単独でも降雨応答検出を目指していた（田中ほか、連合大会要旨、2011）。しかし、通常の運用方法（100 ドロップ/時、10 秒間隔ドロップ）では時間雨量 20mm を越える降雨でも検出出来なかった。

以上のことから、降雨応答検出及び補正は地表と地下それぞれに設置する 2 台の相対連続観測重力計に任せ、絶対重力計はそれらの検定用として大気・海洋変動が静穏な時期を選んで時々実施するのが、「重力モニタリング」の手法としては現実的ではないだろうか？

謝辞：本研究は資源エネルギー庁の深地層研究施設整備促進補助金によって行われている。また、田中と浅井は東大地震研救助の特定共同研究(B)の支援を受けている（独）日本原子力研究開発機構 東濃地科学センターの浅井秀明（現前田建設）、堀内泰治、熊田宏治、橋詰茂の各氏には gPhone 設置・維持及び降雨データに便宜を頂いた。

キーワード: 重力連続観測, 重力計, 陸水変動, 地下水, 降雨, 積雪深度

Keywords: continuous gravity measurement, gravimeter, inland water variations, groundwater, rainfall, snow depth



## 高精度連続重力観測から見た琉球弧の長期的スロースリップ Long-term slow slip events along the Ryukyu Trench as seen from high-precision continuous gravity observations

田中 愛幸<sup>1\*</sup>, 今西 祐一<sup>1</sup>, 大久保 修平<sup>1</sup>, 名和 一成<sup>4</sup>, 岡村 盛司<sup>2</sup>, 中村 衛<sup>3</sup>

TANAKA, Yoshiyuki<sup>1\*</sup>, IMANISHI, Yuichi<sup>1</sup>, OKUBO, Shuhei<sup>1</sup>, NAWA, Kazunari<sup>4</sup>, OKAMURA, Seiji<sup>2</sup>, NAKAMURA, Mamoru<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 国土交通省国土地理院, <sup>3</sup> 琉球大学理学部, <sup>4</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>2</sup>Geospatial Information Authority of Japan, <sup>3</sup>Faculty of Science, University of the Ryukyus, <sup>4</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

環太平洋地震帯のプレート沈み込み帯で長期的スロースリップイベント (SSE) が観測されている。過去の研究から、沈みこむ海洋プレートから供給される高圧流体により SSE が引き起こされることが明らかになっている。SSE の繰り返し間隔は場所によって異なる。一般に、プレート運動による経年的な応力蓄積速度とプレート境界上の摩擦特性が地震の繰り返し間隔を制御するため、SSE の発生間隔の違いもそれらの違いによって起きていると考えられる。しかしながら、流体圧の変化が起きた場合でも、有効法線応力が変化するので発生間隔の変化が生じるであろう。そのような変化は Sibson(1992) の地震サイクルモデルの中で扱われている。これまで、SSE に関連する流体圧の変化がフィールド観測により捉えられたことはない。もし大規模な流体圧の変化が起きれば、地下の密度再配分による重力変化が捉えられる可能性がある。東海地域では、2000 年から 2006 年ごろまで SSE が発生しており、Tanaka et al. (2010) では 2004 年から 2009 年までに観測された重力変化が流体移動で説明しうることを示した。しかし、扱った重力データはキャンペーン観測で取得したものであるため時間分解能が低く、また、SSE の一サイクルの一部の期間しか観測を行っていない。したがって、流体圧の変化を検出したという明確な証拠はこれまで提出されていない。本研究は、SSE のサイクルの全期間にわたる重力変化を捉えるため、Heki and Kataoka (2008) が指摘した琉球海溝沿いで半年に一度発生する SSE を対象とし、石垣島、西表島で絶対重力計及び超伝導重力計を用いた連続観測を実施した。SSE のメカニズムを解明するためのこのような高精度連続重力観測は、技術的な困難さからこれまで世界でも実施されたことがない。この発表では、まず絶対重力計による観測結果を報告する。

キーワード: スロースリップ, 沈み込み帯, 重力, 地殻変動, 測地学, 地震学

Keywords: slow slip, subduction zone, gravity, crustal deformation, geodesy, seismology

## 八丈島の温泉地域における gPhone-109 重力計を用いた連続観測 Continuous gravity observation using a gPhone-109 at a hot spring area of Hachijojima, Japan

名和 一成<sup>1\*</sup>, 杉原 光彦<sup>1</sup>, 西 祐司<sup>1</sup>, 當舎 利行<sup>1</sup>, 石戸 経土<sup>1</sup>, 阪口 圭一<sup>1</sup>

NAWA, Kazunari<sup>1\*</sup>, SUGIHARA, Mituhiko<sup>1</sup>, NISHI, Yuji<sup>1</sup>, TOSHA, Toshiyuki<sup>1</sup>, ISHIDO, Tsuneo<sup>1</sup>, SAKAGUCHI, Keiichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> AIST

重力計は地下の質量変化を検出するのに有用な物理探査ツールである。我々は温泉地域における地下水の状態をモニタリングする目的で、八丈島の中之郷地区で重力連続観測を開始した。新たに導入した gPhone 重力計の性能評価、観測点のノイズレベル評価を目的として、2011年2月から3月にかけて島内各所で試験観測を実施した(名和・杉原、日本測地学会講演会、2011)。観測井横に新設した重力計室における観測は、前回1か月間だったが、今回、2011年11月から2012年2月までのおよそ4か月間の観測を実施した。この期間、gPhone のドリフト(みかけの重力変化)を補正するために、同じ重力計室内で FG5 絶対重力計による測定も実施した。それに加え、重力データの補正や解釈に必要な、気圧、降雨、土壌水分などの気象データと水位、水温などの観測井モニタリングデータを同時に取得した。観測データの予備的な解析の結果、12月下旬に通常の変動幅より大きな1程度(注)の水温低下と、その約3日後の5  $\mu$  Gal 程度の重力減少が捉えられた。水位変化は気圧変化による比較的短周期の応答が顕著で、ゆっくりとした重力変化との対応は見えづらいが、重力変化に表れていることから、この水温の低下は周辺の地下水の移動を伴うものであることが示唆される。その他にも、観測期間中、数  $\mu$  Gal の重力変化が捉えられている。降雨の影響や潮位変化の影響などを考慮することで、地下水変化に起因する重力変化を抽出したいと考えている。

本研究は環境省委託事業の地球温暖化対策技術開発事業として実施されました。

キーワード: 温泉, 地熱発電, 地下水, モニタリング

Keywords: hot spring, geothermal power, groundwater, monitoring

## 東南極沿岸における絶対重力測定 (序報)

### Absolute gravity measurement in coastal region of East Antarctica ? A preliminary report

土井 浩一郎<sup>1\*</sup>, 風間卓仁<sup>2</sup>, 東敏博<sup>3</sup>, 早河秀章<sup>1</sup>, 大園伸吾<sup>4</sup>, 福田洋一<sup>2</sup>, 西島潤<sup>5</sup>, 青山雄一<sup>1</sup>

DOI, Koichiro<sup>1\*</sup>, Takahito Kazama<sup>2</sup>, Toshihiro Higashi<sup>3</sup>, Hideaki Hayakawa<sup>1</sup>, Shingo Osono<sup>4</sup>, Yoichi Fukuda<sup>2</sup>, Jun Nishijima<sup>5</sup>, Yuichi Aoyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 京都大学理学研究科, <sup>3</sup> 合同会社テラグラブ, <sup>4</sup> 株式会社衛星測位技術, <sup>5</sup> 九州大学工学研究院

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>Kyoto University, <sup>3</sup>TerraGrav LLC., <sup>4</sup>GNSS Technologies Inc., <sup>5</sup>Kyushu University

南極地域観測隊第53次隊において、東南極に位置するプリンスオラフ海岸から宗谷海岸にかけての沿岸露岩地帯で絶対重力測定とGPS測定を行うプロジェクトを開始した。本観測の目的は、南極域重力場の精密決定およびGlacial Isostatic Adjustment (GIA)に伴う地殻変動の推定である。

当初、絶対重力計A10を用いて昭和基地も含めた9点で測定を実施する予定であったが、南極観測船しらせが接岸できず、野外観測のためのヘリコプター使用が制限されたために、昭和基地と宗谷海岸北部のラングホブデの2点のみでの測定となった。しかしながら、日本の南極地域観測において野外での絶対重力測定は初めての試みであり、実施にあたり数多くのノウハウが得られた。今回の観測経験は、今後の南極域での野外絶対重力測定に役立つことが期待される。

ラングホブデで得られた暫定的な絶対重力値は982 535 584.57micro-Galであり、標準偏差は2.4micro-Galであった。講演では、プロジェクトの概要を示すとともに、ラングホブデおよび昭和基地での測定の詳細や周辺での相対重力測定の結果についても示す。

キーワード: 絶対重力測定, GPS 測定, 南極域重力場, Glacial Isostatic Adjustment, A10

Keywords: absolute gravity measurement, GPS measurement, gravity field of Antarctic region, Glacial Isostatic Adjustment, A10

## 南極昭和基地における絶対重力計 (A10 および FG5) 10MHz 原子時計の周波数校正 Frequency corrections of 10MHz atomic clocks in absolute gravimeters (A10 and FG5) at Syowa Station, Antarctica

風間 卓仁<sup>1\*</sup>, 東 敏博<sup>2</sup>, 早河 秀明<sup>3</sup>, 岩波 俊介<sup>4</sup>, 土井 浩一郎<sup>3</sup>, 青山 雄一<sup>3</sup>, 福田 洋一<sup>1</sup>, 西島 潤<sup>5</sup>  
KAZAMA, Takahito<sup>1\*</sup>, HIGASHI, Toshihiro<sup>2</sup>, Hideaki Hayakawa<sup>3</sup>, Shunsuke Iwanami<sup>4</sup>, Koichiro Doi<sup>3</sup>, Yuichi Aoyama<sup>3</sup>,  
Yoichi Fukuda<sup>1</sup>, Jun Nishijima<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 京都大学理学研究科, <sup>2</sup> 合同会社テラグラブ, <sup>3</sup> 極地研究所, <sup>4</sup> 苫小牧工業高等専門学校, <sup>5</sup> 九州大学工学研究院  
<sup>1</sup> Kyoto University, <sup>2</sup> TerraGrav LLC, <sup>3</sup> National Institute of Polar Research, <sup>4</sup> Tomakomai National College of Technology,  
<sup>5</sup> Kyushu University

絶対重力観測では落下体の落下距離と落下時刻を高精度に観測することにより、重力絶対値を得ることができる。このうち落下時刻については 10MHz 原子時計によって計測されることが多く、正しい重力絶対値を得るためには時計周波数の絶対値を高精度に知っておく必要がある。しかしそれぞれの時計周波数は 10MHz からわずかにずれていることが多く、時間的にドリフトすることもある。したがって、正しい重力絶対値を得るには 10MHz 原子時計の周波数校正が不可欠であり、そのためには 10MHz 程度の周波数を発振する基準時計が必要となる。

そこで我々は、第 53 次日本南極地域観測隊として南極昭和基地を訪れた際に、絶対重力計の 10MHz 原子時計の周波数校正を実施した。校正を実施した時計は (1) 絶対重力計 A10 (#017) のルビジウム時計、(2) 絶対重力計 FG5 (#210) のルビジウム時計、および (3) 絶対重力計用の予備ルビジウム時計である。また、10MHz の基準時計として (4) セシウム時計、および (5) 水素メーザーを使用した。具体的には、校正時計と基準時計の正弦波信号を同時にオシロスコープに映し出し、校正時計の正弦波がずれて行く様子を動画で撮影した。その後、動画解析により基準時計に対する各校正時計の周波数ずれを求めた。我々はこのような校正作業を 2012 年 1~2 月の 2 ヶ月間で定期的に行い、各校正時計の周波数絶対値の時間変化を得た。

その結果、(1) A10 ルビジウム時計の周波数は 10MHz から約 +0.15Hz ずれており、-0.0018Hz/day の一定速度で時間変化していることが分かった。これらの周波数ずれは、約 +30micro-gal および -0.36micro-gal/day の重力絶対値の見かけのずれに相当する。A10 重力計の観測精度は 10micro-gal なので、この重力値ずれは A10 重力計で検出できるほど大きいことが分かる。一方、(2) FG5 ルビジウム時計、および (3) 予備ルビジウム時計に関しては、10MHz からの周波数ずれは  $\pm 0.002\text{Hz}$  (重力値換算で  $\pm 0.4\text{micro-gal}$ ) 以内に収まっており、これらの絶対重力計で検出できる重力変化よりも有意に小さいことが分かった。

我々は今回の時計周波数校正結果をもとに、南極で観測した重力絶対値に補正を施す予定である。また絶対重力値の最終結果については、当日のポスター発表で明記したいと考えている。

キーワード: 絶対重力計, 10MHz 原子時計, ルビジウム時計, セシウム時計, 水素メーザー, 南極

Keywords: Absolute gravimeter, 10MHz atomic clock, Rubidium clock, Cesium clock, Helium maser, Antarctica

## 陸上 1m メッシュDEM を用いた重力異常地形補正計算システムの改良と能登半島北部地域への適用について Improvement of the calculation system of the terrain corrected gravity anomaly using 1m mesh DEM and its application

澤田 明宏<sup>1\*</sup>, 平松 良浩<sup>1</sup>, 浜田 昌明<sup>2</sup>, 本多 亮<sup>3</sup>

SAWADA, Akihiro<sup>1\*</sup>, HIRAMATSU, Yoshihiro<sup>1</sup>, HAMADA, Masaaki<sup>2</sup>, HONDA, Ryo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学理工研究域, <sup>2</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科, <sup>3</sup> 北海道大学地震火山研究観測センター

<sup>1</sup>College of Science and Engineering, Kanazawa Univ., <sup>2</sup>Natural Science and Technology, Kanazawa Univ., <sup>3</sup>ISV, Hokkaido Univ.

重力異常に関する研究の目的の一つとして、直接的に見ることのできない地下構造に関する情報を得ることがある。これにより、地下の基盤構造や活断層の位置や大きさを推定することが可能となり、地球科学分野および防災分野などの基礎情報として利用されている。

重力異常についてのデータは、現地での詳細な測定の外に、様々な補正計算処理を行うことによって、利用が可能となる。補正計算を行うために地形標高データおよび表層物質の密度データが必要となるが、これらの情報が誤差を含んでいると、正しい重力異常値を得ることができない。そのため、標高値や密度値などの参照データの精度を高めることは、多くの地点で重力測定を行うことと同様に、より正確な重力異常分布を得るために重要である。

地形補正に用いる標高値のデータについて、本多・河野 (2005) は海陸でシームレスな格子間隔約 50m の地形データを作成し利用してきた。陸域では国土地理院が公開している 50m メッシュデータを用い、海底地形については日本海洋データセンターが提供している J-EGG500 データセットを陸域と同じ格子構成で補間している。

しかし最近になって航空機によるレーザー測量によって得られた格子間隔 1m の地形データが入手できるようになった。能登半島地域では、北陸電力(株)により陸上 1m メッシュDEM が作成されている。これらを使用できるように地形補正計算システムを改良することは、重力異常データの精度向上に大きく貢献できると考えられる。

本研究では、地形補正計算に用いる地形データを、上記の最新データを使用できるように改良し、能登半島周辺のより高精度な重力異常分布を得ることを目的とする。その際、本多・河野 (2005) の地形補正計算システムの変更を最小限にとどめることにより、これまでの資源を有効に活用できるように考慮する。その後、システム改良によって得られた重力異常分布データを従来のものと比較することによって、格子間隔 1m の地形データの有効性について考察を行う。

キーワード: 重力異常, 地形補正, 1m メッシュDEM, 能登半島

Keywords: Gravity anomaly, Terrain correction, 1m mesh DEM, Noto peninsula

## 日本重力基準網と東北地方太平洋沖地震について Japan Gravity Standardization Net and Tohoku Region Pacific Coast Earthquake

岡村 盛司<sup>1\*</sup>, 宮崎隆幸<sup>1</sup>, 河和宏<sup>1</sup>, 海老名頼利<sup>1</sup>

OKAMURA, Seiji<sup>1\*</sup>, MIYAZAKI Takayuki<sup>1</sup>, KAWAWA Hiroshi<sup>1</sup>, EBINA Yoritoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国土地理院

<sup>1</sup> GSI of Japan

国土地理院では、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う重力変化を検出するために、ハイブリッド観測（絶対重力測定 + 相対重力測定）を仙台、奥州、八戸地区で実施した。仙台及び八戸地区は、国土地理院の業務計画の一環である地殻変動の活発な地域を5年以内の周期で観測する計画に基づき、地震発生の前半年前に重力測定していた。その観測データと地震後の観測データを比較すると絶対重力値に変化が見られた。

この変化が、国土地理院で公表している日本重力基準網（JGSN75及び96）の重力値に影響するか検証を行った。

さらにこの地域は、地震により地盤沈下が検出されているにも関わらず、地震前よりも重力値が小さくなっている観測点があった。この変動をディスロケーション理論に基づいた重力変化（大久保修平，1994）のモデル計算で検証を行う予定である。

本発表は、日本重力基準網の影響について検証した結果と、モデル計算によって導きだされた結果についての報告である。

キーワード: 重力, 重力基準網, 2011 東北地方太平洋沖地震

Keywords: Gravity, Gravity Standardization Net, Tohoku Region Pacific Coast Earthquake

## 投げ上げ方式による絶対重力計の小型化

### Miniaturization of absolute gravimeter by means of the throw-up method

酒井 浩考<sup>1\*</sup>, 新谷 昌人<sup>1</sup>

SAKAI, Hiroataka<sup>1\*</sup>, Akito Araya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

火山におけるマグマ移動のフィールド調査をする上で、重力変化はとても重要な情報を提供する。本講演は、その測定装置である絶対重力計の小型化に関する研究である。

絶対重力計は重力加速度の値を8~9桁の精度で測定する装置である。その絶対重力計は静的な重力場の観測のみならず、地下水の移動の観測、そして火山活動に伴うマグマの移動を検知し、噴火の推移を予測する上で重要な情報をもたらしてくれる。絶対重力計は非常に高精度であるが、装置が大型であり、重量もあるため野外観測で直接用いるには労力を要する。たとえば火山の観測でよく用いられる手法として、絶対重力測定をふもとの基準点で行い、相対重力計を携帯して基準点と観測点を往復することで重力値を測定する。そのため、観測に手間がかかり、時間精度が悪く、また火山活動時には、観測地点での測定に危険が伴う。そのような中で、新谷ら(2007年)は、これらの状況を改善するために小型絶対重力計の開発を行ってきた。この小型絶対重力計が完成し火山体に設置されれば、火山活動時でも継続的にデータを取得できるメリットがある。また、絶対重力計を複数配置した多点ネットワークで絶対重力計で同時に観測することにより、面的な重力変化がわかればマグマの活動が精密に分析できるだろう。他にも深層ポアホールやプレート沈み込み帯の深海底に設置することができれば、地下深部の地震活動やプレート運動を、重力を使って調べることができる。これらのことから、絶対重力計の小型化は、野外観測研究への様々な応用を可能にし、従来とは異なった重力観測手法を提供してくれるだろう。現在の装置では、落下式のため短時間で繰り返し測定ができない等の問題があるので、投げ上げ装置部分の研究を行った。

投げ上げ装置は拡大機構を備えたピエゾ駆動式上下動ステージを用いることで、約3mm落下鏡を投げ上げることができる。この投げ上げ装置を採用することのメリットとしては、投げ上げる距離が短く、モーターを使用していないため発生する振動が小さくなる。また従来は落下させる地点まで数10cm持ち上げるのに時間がかかっていたが、この方式ではそのような必要がないため、短時間で繰り返し測定が可能になるなどがある。これらを実現するためには、正確に連続して真上に投げ上げる装置の開発が必要であり、落下鏡の回転具合を調べ、そのデータを基に投げ上げ装置の改良を行った。

キーワード: 絶対重力計, 投げ上げ式, 小型化, 重力, 火山, マグマ

Keywords: absolute gravimeter, throw-up method, miniaturization, gravity, volcano, magma

## 甲府地域重力構造図について Gravity tectonic map of Kofu district

駒澤 正夫<sup>1\*</sup>

KOMAZAWA, Masao<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

甲府盆地の低重力異常は、富士川を北上し、諏訪盆地にいたる糸魚川 - 静岡構造線の東側に存在する低重力異常帯の一部である。盆地の西縁と南東縁は急勾配になっており逆断層的な構造に対応している。特に、盆地の南の出口である鰍沢（かじかさわ）町付近は富士川沿いの低地ではなく数 km 西の丘陵地で重力が最小になっており、低密度物質が丘陵の下に積み込まれているような構造をしている。甲府盆地内の重力基盤は全域が海水準下（深度は 250m 以上）で地形と相関しているが、海拔-2000m より深い最深部は、盆地の中央部ではなく盆地西縁の市ノ瀬台地の麓にあたる南アルプス市大師と盆地南東縁の首根丘陵の麓の中央市にあり断層縁辺部が断層で画されていることと盆地の深部構造が複雑であることを示している。

キーワード: 甲府盆地, 重力構造図, 糸魚川 - 静岡構造線, ブーゲー異常, 重力基盤

Keywords: Kofu basin, gravity tectonic map, Itoigawa-Shizuoka tectonic line, Bouguer anomaly, gravity basement



## 大阪市立大学重力基準点における重力測定とその経年変化 A Gravity Measurement at the Reference Station of Osaka City University and its Variation

領木 邦浩<sup>1\*</sup>

RYOKI, Kunihiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 近畿職業能力開発大学校産業化学科

<sup>1</sup>Department of Industrial Chemistry, Kinki Polytechnic College

### 1. はじめに

都市防災のための基盤構造解析を進める上で重力探査は有効な手段である(例えば、領木, 2011)。比較測定によって重力探査を行う際には重力基準点と測定点の重力値の比較を行うが、ドリフトに対する環閉合誤差の補正や作業効率の観点から、この基準点は測定点に近いことが望まれる。大阪市立大学には従来から重力探査や学生実習のための基準点が設置されているが、今般、校舎改築に伴い移設を余儀なくされた。今回、移設に伴う基準点上の重力値の比較測定を行う機会を得たので、その値を報告するとともに、以前の測定値からの経年変化について報告する。

### 2. 測定の概要

今回、比較測定によって点上重力値を求めたのは、大阪市立大学理学部玄関前にある水準点(以後、A点と呼ぶ)および、同大学で旧教養部地区と称されている総合教育地区北端の新重力基準点(B点)である。併せて領木(2010)、領木(2011)で使用された近畿職業能力開発大学校内および八田荘地球学研究所内の仮設重力基準点(C点およびD点)での点上重力値の測定をそれぞれ行った。比較のための基準点は京都FGSである。また、参考のためにFG-5絶対重力測定が行われている京都Aでの測定も行った。使用した重力計はLaCoste & Romberg G-308である。

測定は2011年8月12日に行われ、D点からC、A、B点をこの順に経て、京都FGSと京都Aでの測定を行った後、帰路B、A、C、D点の再測を行い、起・帰時のD点での測定値を同一と看做してドリフトに対する環閉合誤差の補正を施した。

### 3. 測定結果

京都FGS(35°01'45"N, 135°47'01"E)で2003年5月12日に測定された絶対重力値979707.68 mgal(国土地理院, 2004)を基準として得られた比較点上重力値は、A点:979707.69 mgal、B点:979707.91 mgal、C点:979688.49 mgal、D点:979699.18 mgal、である。これらの位置はそれぞれ、34.59397°N, 135.50748E、34.59362°N, 135.50555°E、34.42690E、135.42848°N, 135.42811°E、34.52811°N, 135.47867°E、であり、高度はそれぞれ、11.567 m、11.380 m、102.2 m、29.2 m、である。A~D点の位置は電子国土地図から読み取った。また、A、B点の高度は三田村(2011)による水準測量であり、C、D点の高度は電子国土地図から読み取ったものである。

### 4. A点における経年変化

A点において1973年3月~4月にかけて測定された重力値は、1930ポツダム系で979721.86 mgal(中川・里村, 1973)であり、この値は1967正規重力系に換算すると979708.03 mgalである。また、1981年7月30日の測定では979707.59 mgalである。前者の高度は10. mと記載されており、正確な水準測量は行われていないようである。後者では1982年1月21日に水準測量が行われ、その高度は11.475 mとなっている。

2011年の測定値を基準として1981年の値および1973年の値を比較すると、重力値はそれぞれ - 0.10 mgal, + 0.34 mgal であり、高度は後者では、-0.092 m である。

### 5. 考察とまとめ

A点における高度は1981年頃から現在までに9.2 cm 上昇し、重力値は0.10 mgal 増加している。この程度の高度変化の場合、重力の変化が高度の変化によるものであれば、ほぼブリーエア補正量に依存すると看做せるので0.03 mgal 程度重力値は減少すべきであるが、測定値は増加している。高度の増加は大阪平野全域における地盤沈下対策の結果と考えられるが、A点における重力値の増加は近傍を通る上町断層帯などの活動予兆を含めより詳しく検討すべき課題である。

### 参考文献

国土地理院(2004): 重力点の記, 京都.

三田村宗樹(2011): 市大重力基準点水準測量成果, 私信.

中川一郎・里村幹夫(1973): 等重力点における重力測定について(第2報), 測地学会誌, 19, 42-49.

領木邦浩(1982): 重力から見た大阪平野の基盤構造について, 大阪市立大学理学部地学科1981年度特別課題研究報告,

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SGD24-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 13:45-15:15

p.p. 93. (M.S.).

領木邦浩 (2010) : 岸和田市丘陵地区周辺における都市地盤構造解析のための重力測定, 近畿能開大ジャーナル (近畿職業能力開発大学校紀要), 18, 87-92.

領木邦浩 (2011) : 和泉市西北部 - 中央部での都市地盤構造解析のための重力測定, 近畿能開大ジャーナル (近畿職業能力開発大学校紀要), 19, 22-27.

キーワード: 重力基準点, 京都 FGS, 比較測定, 地盤沈下, 基盤構造, 重力探査

Keywords: gravity station, KyotoFGS, reference method, ground subsidence, basement structure, gravity survey

## 石垣島における超伝導重力計観測

### Gravity observation using a superconducting gravimeter at Ishigakijima, Japan

今西 祐一<sup>1\*</sup>, 名和 一成<sup>2</sup>, 田村 良明<sup>3</sup>, 池田博<sup>4</sup>, 宮地竹史<sup>3</sup>, 田中 愛幸<sup>1</sup>, 宮島力雄<sup>5</sup>, 奥田 隆<sup>6</sup>, 伊藤 武男<sup>6</sup>  
IMANISHI, Yuichi<sup>1\*</sup>, Kazunari Nawa<sup>2</sup>, Yoshiaki Tamura<sup>3</sup>, Hiroshi Ikeda<sup>4</sup>, Takeshi Miyaji<sup>3</sup>, Yoshiyuki Tanaka<sup>1</sup>, Rikio Miyajima<sup>5</sup>,  
Takashi Okuda<sup>6</sup>, Takeo Ito<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所, <sup>3</sup> 国立天文台, <sup>4</sup> 筑波大学研究基盤総合センター低温部門, <sup>5</sup> 東濃地震科学研究所, <sup>6</sup> 名古屋大学・地震火山研究センター

<sup>1</sup>ERI, The University of Tokyo, <sup>2</sup>AIST, <sup>3</sup>NAOJ, <sup>4</sup>University of Tsukuba, <sup>5</sup>TRIES, <sup>6</sup>EVRC, Nagoya University

西表島・石垣島地域で発生するスロースリップに関係した重力変化を検出することを目的として、国立天文台 VERA 石垣島観測局（沖縄県石垣市）に超伝導重力計を設置した。この重力計（シリアルナンバー CT36）は、約 10 年にわたって名古屋大学の犬山観測所に置かれていたものである。これを再利用して、石垣島に移設することとした。観測計画全体の趣旨については田中ほか（本セッション）を、犬山および筑波において行った装置の調整・修理については池田ほか（本セッション）を参照されたい。

石垣島における重力計の設置作業は、2012 年 1 月 30 日から 2 月 4 日にかけて行なわれた。VERA 石垣島観測局の一室には重力計用の基台（2m x 1.5m）が用意されており、その半分ほどのスペースを使って重力計本体を置いた。基台のもう半分のスペースは、今後絶対重力計による測定を行うためにあけてある。重力計の脚にあたる花崗岩のブロックは、ゴムシートの上に置いたうえで L 型金具を用いてアンカーボルトで基台に固定した。冷凍機を支えるフレームは基台に固定せず、位置と角度の調整のみ行った。エアコンの風が直接あたらないように、重力計本体は遮蔽ブースの中に入れてある。コントローラーおよびデータ収録システムは基台の外側に置いた。空冷式コンプレッサーを導入し、局舎の外に新たに建てた小屋の中に設置した。敷地内には土壌水分計を埋設したほか、雨量計などの気象測器を順次追加する予定である。

観測開始直後の状態では、VLBI アンテナの駆動にともなうノイズが混入するなど、電氣的な要因による不具合があることを確認している。今後、さらに調整を行い、記録の質の向上をめざす。講演の際は、信号の特徴やノイズレベルなどについて議論するとともに、2012 年 3 月ごろに起きると予想されているスロースリップの記録についても紹介する予定である。

キーワード: 超伝導重力計, スロースリップ, 石垣島

Keywords: superconducting gravimeter, slow slip, Ishigakijima

## 筑波大学における超伝導重力計 (CT36) の再立ち上げ 犬山から石垣島への移設 Refurbishment of the SG-CT36 at University of Tsukuba for a new challenging observa- tion at Ishigakijima, Japan

池田博<sup>1</sup>, 名和 一成<sup>2\*</sup>, 今西 祐一<sup>3</sup>, 田村 良明<sup>4</sup>, 奥田 隆<sup>5</sup>, 伊藤 武男<sup>5</sup>, 宮島力雄<sup>6</sup>, 田中 愛幸<sup>3</sup>

Hiroshi Ikeda<sup>1</sup>, NAWA, Kazunari<sup>2\*</sup>, IMANISHI, Yuichi<sup>3</sup>, TAMURA, Yoshiaki<sup>4</sup>, OKUDA, Takashi<sup>5</sup>, ITO, Takeo<sup>5</sup>, Rikio Miyajima<sup>6</sup>, TANAKA, Yoshiyuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学研究基盤総合センター低温部門, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所, <sup>4</sup> 国立天文台, <sup>5</sup> 名古屋大学地震火山研究センター, <sup>6</sup> 東濃地震科学研究所

<sup>1</sup>University of Tsukuba, <sup>2</sup>AIST, <sup>3</sup>ERI, The University of Tokyo, <sup>4</sup>NAOJ, <sup>5</sup>EVRC, Nagoya University, <sup>6</sup>TRIES

スロースリップイベントの検出を目的とした石垣島での超伝導重力計 (SG) による観測を開始するにあたり、10年以上の間、名古屋大学犬山観測所で使用していた超伝導重力計の再生作業を実施した。具体的には、冷凍機のオーバーホール、冷凍機用圧縮機の空冷式への更新、常温からの再立ち上げを実施した。その結果、液体ヘリウムの調達や頻繁なアクセスが容易ではない、離島での観測に耐えうる重力計システムに再生することができた。本発表では主に、筑波大学研究基盤総合センター低温部門で実施した、センサを常温に戻してから再立ち上げ作業を中心に報告する。石垣島移設後の初期の SG 観測結果については今西ほか (本連合大会) の発表を、また絶対重力測定を含む全体の観測計画については田中ほか (本連合大会) の発表を参照されたい。

本研究は科研費 (23340125) の助成を受けたものである。

キーワード: 超伝導重力計, 液体ヘリウム, スロースリップ

Keywords: superconducting gravimeter, liquid helium, slow slip

## 黒潮蛇行による八丈島での重力変化

### Gravity changes at Hachijo island caused by the displacement of the Kuroshio current

杉原 光彦<sup>1\*</sup>, 名和 一成<sup>1</sup>

SUGIHARA, Mituhiko<sup>1\*</sup>, NAWA, Kazunari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> AIST/GSJ

我々は温泉地域における温泉水・地熱流体・地下水の挙動把握の目的で、八丈島南部の中之郷地区で重力モニタリングを実施している。重力モニタリングは g Phone による連続測定と CG5/FG5 による繰り返し重力測定を併用している。連続測定の目標は 1 マイクロガルの分解能の記録を得て約 10 相当の水位変化を検出可能とすることである。八丈島での重力モニタリングにおいては黒潮に伴う海面高差が黒潮蛇行によって変動することの影響が考えられる。2010 年 2-3 月に防災研究所による F-net の八丈島観測点に g Phone-119 をセットして 34 日間の連続記録を得た。この記録から潮汐成分と気圧応答成分を差し引くと最大振幅 20  $\mu$  Gal の成分が残った。海上保安庁によれば、この観測期間内に黒潮流軸が八丈島の北西沖にあった状態から南東沖に移行した。この影響を見積もると観測された重力変動成分は説明できる。この黒潮蛇行の影響を差し引くことで本来の目的の温泉水・地熱流体・地下水の挙動把握が可能となる。

本研究は環境省委託事業の地球温暖化対策技術開発事業として実施されました。重力観測のために防災研究所による F-net の八丈島観測点を利用させていただきました。記して謝意を表します。

キーワード: 八丈島, 黒潮, 重力変化

Keywords: Hachijo island, Kuroshio current, gravity change, gPhone, dynamic topography

## ハイブリッド重力測定を用いた九州大学伊都キャンパス周辺における重力変化 Gravity changes around Ito campus, Kyushu University by using hybrid gravity measurement

西島 潤<sup>1\*</sup>, 甲斐裕紀<sup>2</sup>, 福田 洋一<sup>3</sup>

NISHIJIMA, Jun<sup>1\*</sup>, Hiroki Kai<sup>2</sup>, FUKUDA, Yoichi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院工学研究院, <sup>2</sup>九州大学大学院工学府, <sup>3</sup>京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Kyushu University, <sup>2</sup>Graduate school of engineering, Kyushu University, <sup>3</sup>Graduate school of Science, Kyoto University

九州大学伊都キャンパス周辺では、新キャンパス造成に伴う地下水位変化をモニタリングするために30本の地下水位観測井を用いて造成前より観測を行っている。また、本地域ではキャンパス造成前にScitrex社製CG-3Mを使用した繰返し重力測定が行われており、地下水位変化と重力変化の間に概ね良い相関が見られた。本研究ではキャンパス造成後の2009年よりScintrex社製CG-5重力計を用いて繰返し重力測定を開始した。しかし、新キャンパス造成工事に伴い以前使用していた観測点がほとんど使用できなくなっていたため、地下水位観測井近傍で測定が良い場所を選定し、12点の観測点で観測を行った。

観測の基準点は、伊都キャンパス内のウエスト2号館111号室内の観測点IBM1を用いた。過去の観測で問題になっていた基準点自体の重力変化を観測するため、Micro-g LaCoste社製A10絶対重力計を導入し2008年1月より観測を開始した。IBM1の重力変化は梅雨時期に重力が増加し(最大25マイクロガル)、秋から冬にかけて重力が減少する季節変化が見られた。この重力変化とIBM1より約200m離れた観測井の地下水位データ(九州大学新キャンパス計画推進室)との比較を行ったところ、非常に良い相関が見られた。そこで、観測された重力変化と地下水位変化の関係を定量的に評価するためにGwater-1D(風間ほか, 2010)を用いて地下水分布変化に伴う重力変化の計算を行った。本計算で用いる土壌パラメータは、観測井近くの土壌サンプルの土質試験から決定した。この結果、観測された重力変化は地下水分布変化でほぼ説明できることが分かった。このことから、基準点の重力変化は降水量と地下水位変化より予測することが可能となり、A10絶対重力計の欠測期間中もGwater-1Dを用いることによって補正することが可能となった。

基準点の重力変化をCG-5重力計の観測結果に補正後、地下水位観測データ(九州大学新キャンパス計画推進室)との比較を行った結果、12観測点中8観測点で地下水位変化と重力変化の間に良い相関が見られた。相関が見られなかった観測点は、降水の影響を大きく受けて短時間に大きく水位が変化するものが多かった。また、地下水位変化と逆相関が見られる観測点もあった。この観測点近傍には観測点より標高が高い位置にため池があり、観測された逆相関はこの水位変化の影響を受けていると考えられる。

なお、本キャンパスでは移転工事が継続中であり、工事に伴う地形改変や水理構造の変化が観測結果に少なからず影響を与えていることも考えられる。今後、造成工事の影響も含めて考察することで、重力変化と地下水位変化との関係を明らかにすることが可能になると考えられる。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、総合地球環境学研究所のMicro-g LaCoste社製A10絶対重力計を使用させて頂きました。また、地下水位観測データは九州大学新キャンパス計画推進室より御提供頂きました。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

風間卓仁・田村良明・大久保修平(2010)地下水流動計算プログラムGwater(版)について、日本測地学会第114回講演会要旨集, 133-134.

キーワード: A10絶対重力計, ハイブリッド重力測定, 地下水位変化, 重力変化

Keywords: A10 absolute gravimeter, Hybrid gravity measurement, Groundwater level change, Gravity changes