

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SGD022-01

会場:201A

時間:5月23日 14:30-14:45

日本重力基準系 2010 (案) の提案 Proposal of Japan Gravity Reference System 2010

岡村 盛司^{1*}, 菅原安宏¹, 植田 勲¹, 千早昭二¹, 川原敏雄¹

Seiji Okamura^{1*}, Yasuhiro Sugawara¹, Isao Ueda¹, Syouji Chihaya¹, Toshio Kawahara¹

¹ 国土地理院

¹GSI of Japan

1. 概要

国土地理院は、日本における重力基準を全国どこでも均一に提供するために全国で重力測量を実施し、これまでに日本の重力基準網を2回公表している。最初の公表は、国際重力基準網 1971(IGSN71)の重力値を基準として1976年に公表した日本重力基準網 1975(JGSN75)である。このJGSN75は、現在も日本の重力基準として使用されている。2回目の公表は、1997年に公表した日本重力基準網 1996(JGSN96)である。

現在、蓄積された最新の重力測量データから3回目の重力基準網「日本重力基準網 2010(JGSN2010)」の構築を進めている。JGSN2010は、日本全土の重力値の分布の把握および日本の重力基準として、また、地球形状の決定、地殻構造など地球内部の物理的構造の究明などの分野に利用されることを目的に構築している。さらに世界の重力網との整合や、地上観測と衛星との関連など、宇宙分野の研究の基礎資料にも対応できることを目標としている。それには、JGSN2010をどのような基準系に準拠させるのが課題となってきた。

本発表では、JGSN2010が準拠する基準系と今後の計画について報告する。

2. 日本重力基準系の設定について

世界の重力分野の基準系は、統一された系としてPotsdam系からIGSN71系へと移行してきた。日本の重力基準網では、JGSN75がIGSN71に準拠した重力基準網であるが、JGSN96は準拠するものがない。1980年代後半にIAGが国際絶対重力基準網(IAGBN)の構築を提唱したが、世界規模での国際協力はあまり進展しなかった。現在、新たに国際重力基準網の構想が立ち上がっている。この重力基準網は、ITRFと関連付けて、ITRF構築に貢献できる網を構築する予定であるが、構築はまだまだ先の模様である。

一方、国内の重力基準網については、1992年に絶対重力計FG5を導入し32点の基準重力点において絶対重力測定を実施し、一等重力点にはラコスト相対重力計3台による相対重力測定を行い、高精度な重力網の構築が可能となった。その成果がJGSN2010である。しかし、国際的な重力網が完成していない、言い換えれば重力の国際基準系がない現状では、JGSN2010は準拠する基準系がないのが現状である。

そこで、現在進行中の国際重力基準網の構想などを参考に、日本独自の日本重力基準系 2010(案)を確立し、当分の間、この基準系に準拠した重力網の構築を行う計画である。日本重力基準系 2010(案)では、重力値算出に使用する補正情報などを国際的な標準で統一的行うことや、重力点の位置情報をGPS等で正確に求めることなどを規定し、国際的に通用する基準系とする予定である。

このことにより、IC-WG2.1とIGFSの共同プロジェクトで進められている絶対重力データベース(AGrav)への参加登録や、Global Geodetic Observing System(GGOS)等にも対応できるものとする。また、国内ではA Japan(製品評価技術基盤機構認定センター)が計量法に基づき実施する計測器等の校正で重力加速度を使用する際、計量法校正事業者の技術指針にJGSN2010を利用することが示される予定である。

キーワード: 重力基準網, 重力, JGSN, IAGBN

Keywords: Gravity Standardization Net, Gravity, JGSN, IAGBN

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SGD022-02

会場:201A

時間:5月23日 14:45-15:00

福岡県沖における海底重力調査 Sea Floor Gravity Survey of Offshore Area of Fukuoka prefecture

駒澤 正夫^{1*}, 大熊 茂雄¹

Masao Komazawa^{1*}, Shigeo Okuma¹

¹ 産業技術総合研究所地質情報研究部門

¹ Geological Survey of Japan, AIST

福岡県沖で浅部地下構造を広域的に把握するため2010年9月より1ヶ月かけて海底重力調査を行った。測定点はほぼ2km間隔に沖合5kmまでに配置され、総測点数は100点となった。また、離島でも重力測定を行い海底重力データと編集した。調査域における特徴的なブーゲー異常として、陸側に見られる急勾配構造が海側にもそのまま連続することが判った。但し、警固断層の海側への連続性は明瞭ではない。また、海底重力調査の成果として、船上重力でも見られた勾配構造が、より急勾配構造であることが判ったことである。2005年福岡県西方沖地震の震源域に局所的な低重力異常が見出され破碎構造が推定されることも判った。

キーワード: 海底重力, 福岡県沖, 福岡県西方沖地震, 警固断層

Keywords: Sea floor gravity, offshore of fukuoka prefecture, 2005 Fukuoka earthquake, Kego fault

SGD022-03

会場:201A

時間:5月23日 15:00-15:15

運搬体搭載用精密重力勾配計の開発 Development of a gravity gradiometer for precise on-board measurements

潮見 幸江^{1*}, 黒田 和明¹, 寺田 聡一², 坪川 恒也³, 西村 純⁴
Sachie Shiomi^{1*}, Kazuaki Kuroda¹, Souichi Telada², Tsuneya Tsubokawa³, Jun Nishimura⁴

¹ 東京大学宇宙線研究所, ² 産業技術総合研究所, ³ 真英計測, ⁴ ISAS/JAXA

¹ ICRR, The University of Tokyo, ² AIST, ³ Shin-ei Keisoku, ⁴ ISAS/JAXA

We have been developing a gravity gradiometer that could measure vertical gravity gradients on a moving vehicle, such as an aircraft and a ship, to a level of a few microgal. This target sensitivity of a few microgal is about two orders of magnitude better than the sensitivity of mechanical gravimeters, which are typically used on aircraft and ships. This gravity gradiometer would allow us to carry out on-board measurements in inaccessible areas, with an unprecedented high sensitivity.

This gravity gradiometer employs the concept of the free-fall interferometer, developed for tests of the Weak Equivalence Principle. Two test bodies are put in free fall and their differential displacements during the free fall are monitored by a laser interferometer. Unlike the tests of the Equivalence Principle, the centres of mass of the test bodies are separated along the vertical direction before free falls. This separation allows us to obtain the vertical difference in the gravitational fields. Because of the differential measurements, the obtained gravity gradients are, in principle, insensitive to the motion of the vehicles on which the measurements are carried out.

We will introduce the concept of the gradiometer and present the current status of the development.

キーワード: 重力勾配計

Keywords: Gravity gradiometer

SGD022-04

会場:201A

時間:5月23日 15:15-15:30

海中のハイブリッド重力測定用重力計の開発 Development of a gravimeter for underwater hybrid gravimetry

藤本 博己^{1*}, 金沢 敏彦², 篠原 雅尚², 新谷 昌人², 山田 知朗², 望月 公廣², 石原 丈実³, 飯笹 幸吉⁴, 大美賀 忍⁵
Hiromi Fujimoto^{1*}, Toshihiko Kanazawa², Masanao Shinohara², Akito Araya², Tomoaki Yamada², Kimihiro Mochizuki²,
Takemi Ishihara³, Kokichi Iizasa⁴, Shinobu Omika⁵

¹ 東北大学 理学研究科, ² 東京大学 地震研究所, ³ 産業技術総合研究所 地質情報研究部門, ⁴ 東京大学 新領域創成科学研究科, ⁵ 海洋研究開発機構 海洋工学センター

¹Graduate School of Science, Tohoku Univ., ²Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, ³Inst. Geol. Geoinf., AIST, ⁴Grad. Sch. Front. Sci., Univ. Tokyo, ⁵Marine Technology Center, JAMSTEC

重力探査は地震探査とともに重要な物理探査手法である。例えば、日本国内の高密度重力測定により、重力の急変帯は活断層に対応しているということが認められている。日本では海岸近くの海底でいくつか被害地震が発生しており、隠れた活断層を見つけるために、海底重力計を用いた測定が浅海において行われている。しかしそのような重力測定方法で詳しい重力図を作成するにはかなりの時間を要する。船上重力計は約 1 mgal (= 10⁻⁵ ms⁻², 10⁻⁶ G) の精度で連続的に重力測定できるが、このような調査には 0.05 ~ 0.1 mgal の精度が必要である。このように、船上重力測定より 1 桁より精度で重力の連続測定を行うために、海中の探査機に搭載した重力測定システムが求められてきた。

我々は、文部科学省から東大生産研への研究費の下で開発されたディーゼル機関を動力源とする大型の自律航行型無人探査機に搭載した海中重力計の開発をかって試みた。基本的な方針は、少し改造した Scintrex CG-3M という静止測定用の重力計を、ジャイロ信号を用いて鉛直に保つということである。海域実験の機会が少なかったということの他に、ジャイロの性能や装置の機械的剛性の不足により、その装置は完成に至らなかった。我々は 2009 年にその装置の問題のある部分を交換し、ピッチングとローリングの他に震動の影響まで模擬実験できる試験台に載せてその性能を調べた。重力センサーはそのまま用いた。改良したその装置は、ピッチ軸およびロール軸の傾きが周期数秒で振幅 3 度というややきびしい条件下でもかなりよく働き、ローパスフィルターをかけて平均した重力値は約 0.2 mgal の精度で測定された。ただし、強制ジンバル機構の剛性が不足しているために、重力センサーの傾きは理論値より約 20% 大きく、重力値の平均値は 0.2 mgal 程度のふらつきを示した。強い振動については、防振材を 2 段にすることによりその影響を除去することに成功した。

我々は 2010 年に文部科学省から東大地震研への新たな研究費を得て、ハイブリッド重力測定システムの新規開発を開始した。その装置は海中測定用の重力計と重力偏差計からなっている。重力計の役割は海底下の密度異常の分布を定量的に求めることであり、偏差計は密度変化を検出する感度は重力計より優れている。ハイブリッドシステムは、両方の特徴を生かすことにより、重力計のみの場合より精密に海底下の密度構造を推定することができる。重力偏差計は、絶対重力計用に開発された高精度加速度計 2 台からなっている(新谷・他, 本大会)。両方のセンサー部はそれぞれのジャイロを用いて鉛直に保持される。近い将来に、JAMSTEC の AUV "うらしま" に搭載して、実海域試験を行えると期待している。

そのハイブリッドシステムの新しい海中重力計は、前年に行われた古い重力計の試験結果を考慮して製作された。設計の基本は古いタイプと同じで、ジャイロを用いた強制ジンバル機構により重力センサーを鉛直に保持することであるが、測定精度を向上させるために、その重力計は新型の動的な重力センサーと、高精度ジャイロ、剛性を強化したジンバル機構を採用している。システムのセンサー部は電池とともにチタン球の耐圧容器の中に収納され、記録部は別の小さな耐圧容器に収納されている。全体のシステムの組み上げが進んでおり、古い重力計と同じようにまずは室内で試験観測を行う予定である。

キーワード: 重力計, 海中, ハイブリッド重力測定, 重力偏差計, 強制ジンバル, 自律航行型無人探査機

Keywords: gravimeter, underwater, hybrid gravimetry, gradiometer, forced gimbals, AUV

SGD022-05

会場:201A

時間:5月23日 15:30-15:45

海底探査用重力偏差計システムの開発

Development of a gravity gradiometer system for submarine gravity prospecting

新谷 昌人^{1*}, 金沢 敏彦¹, 藤本 博己², 篠原 雅尚¹, 山田 知朗¹, 飯笹 幸吉³, 石原 丈実⁴

Akito Araya^{1*}, Toshihiko Kanazawa¹, Hiromi Fujimoto², Masanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Kokichi Iizasa³, Takemi Ishihara⁴

¹ 東京大学 地震研究所, ² 東北大学 理学研究科, ³ 東京大学 新領域創成科学研究科, ⁴ 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

¹Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, ²Graduate School of Science, Tohoku Univ., ³Grad. Sch. Front. Sci., Univ. Tokyo, ⁴Inst. Geol. Geoinf., AIST

重力探査は地中の密度分布を検知し、とくに海底下など掘削が困難な場所の資源探査をする際に有力な手法となる。われわれは重力計と重力偏差計を組み合わせたハイブリッド重力測定手法の研究をすすめている。そのうち、本講演は海底探査用重力偏差計システムに関するものである。

重力偏差計は重力計とくらべて、重力場の空間的变化が大きい場合の検知能力が高く、密度分布が局在化した鉱床などの探査に適していると考えられる。測定装置は、重力検知部を垂直に2台配置した構造をしており、その差の信号から重力偏差が得られる。並進加速度や温度係数など両検知部にコモンのノイズは差し引かれるため、移動体での測定に有利である。一方、装置の回転は誤差要因となるため、重力計と同様に姿勢制御する必要がある。

海底探査用に開発中の重力偏差計の構成・検出性能とともに、AUV搭載時に装置の姿勢を保つ制御システムについて紹介する。

キーワード: 重力偏差計, 重力探査, 重力計, 海中, 自律航行型無人探査機, ハイブリッド重力測定

Keywords: gravity gradiometer, gravity prospecting, gravimeter, underwater, AUV, hybrid gravimetry

SGD022-06

会場:201A

時間:5月23日 15:45-16:00

GOCE 衛星重力偏差計データによるローカル重力場推定の試み An attempt of the local gravity field estimation using GOCE satellite gradiometer data

福田 洋一^{1*}

Yoichi Fukuda^{1*}

¹ 京大院理

¹ Graduate School of Science, Kyoto Univ.

2009年3月にESA(European Space Agency)が打ち上げたGOCE(Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer)は、主に短波長での静的重力場の改善を目的とした衛星で、低い軌道高度(250km)に加え、短波長で感度が高い重力偏差計(Gradiometer)を備えることで、空間スケール(半波長)100kmで、重力異常にして1mgal、ジオイド高にして1cmの精度を目指している。GOCEのデータは2010年になり、ESAへのProposalベースで一般公開が始まったところで、今後、全球的な重力場研究と共に、その特性を生かした局所的な重力場決定の研究も盛んに繰り広げられるようになると予想される。

GOCEはその打ち上げ後、約半年のCAL/VAL期間を経た後、2009年9月より979周回/61日の繰り返し軌道に移り本格的な測定モードに入っている。その後、2010年5月にはLevel 1Bデータが、また、2010年7月にはLevel 2データが、それぞれ公開されている。

GOCEは、HL-SST(High-Low Satellite to Satellite Tracking)による精密軌道追跡データと、重力偏差計による重力ポテンシャルの6個の2階微分成分の計測から重力場を決めるように設計されており、Level 1Bデータ(GOCE.EGG.NOM_1b)には、偏差計座標系での重力偏差、SST、およびStar Trackerによる衛星姿勢データ等が含まれている。一方、Level 2データでは、Level 1Bデータの処理結果として、偏差計座標系での重力勾配と各種補正量(EGG.NOM_2)に加え、地表座標系での重力偏差(EGG.TRF_2)、衛星の精密軌道(SST.PSO_2)、また、球面調和関数係数としての重力場データ(EGM.GOC_2)などが提供されている。

これらのデータセットの内、Level 1Bデータは、一般的な応用ではそれを用いる必要性は低いと考えられるので、今回は、Level 2データの球面調和関数係数(EGM)ならびに地表座標系での重力偏差データ(EGG.TRF)を用い、特に、ローカルな重力場推定への応用の見地から、それぞれの特長やデータ利用・処理上の問題点などを調べた。2011年1月現在、EGMとしては、2009年11-12月の2カ月のデータを用いた計算方法の異なる3つのモデル(direct solution, time-wise solution, space-wise solution)が、また、EGG.TRFとしては、2009年9月から2010年4月までのデータが公開されている。

EGMの内、direct solutionは先験的な情報としてEIGEN5Cモデルを用いているが、space-wise solutionでは、先験的な情報としてGOCEのquick-look modelが用いているだけであり、また、time-wise solutionでは、先験的な情報は何も利用されていない。これらのモデルから実際に計算した重力異常を比較すると、現状では先験的な情報を用いたdirect solutionが最大240次までの係数を用いた場合でも最もノイズが少ないように見えるが、space-wise, time-wise solutionも、それぞれの最大次数210次、224次の係数を利用した場合にも、十分、誤差は抑えられているように思われる。これらはGOCEのわずか2カ月間のデータだけを用いた重力モデルということ考えると、最終的なGOCEの重力モデルの精度に大きな期待が寄せられる。

EGG.TRFには、軌道に沿っての1秒毎の補正済み重力勾配、GPS時計、地心座標による軌道位置(緯度、経度、高度)などの情報が含まれている。6成分の重力勾配の内最も直感的である T_{zz} 成分(鉛直方向の2階微分)の全球的なプロットをみると、プレートの沈み込みやヒマラヤなど大規模な構造がよく表れている。一方、1秒毎のデータは、ばらつきが大きく、現状ではそのまま用いることは困難なようである。しかし、適切な処理が可能となれば、これらの高サンプリングデータは、特に極域など重力データの乏しい地域での重力場の空間分解能改善に大きく寄与する可能性が期待される。

キーワード: GOCE, 衛星重力偏差計, ローカル重力場

Keywords: GOCE, satellite gradiometer, local gravity field

SGD022-07

会場:201A

時間:5月23日 16:00-16:15

GRACE, ICESat および EnviSat データを用いた南極氷床変動の推定 Estimation of ice-sheet trend over Antarctica using GRACE, ICESat, and EnviSat data

長崎 鋭二^{1*}
Eiji Nagasaki^{1*}

¹ 京都大学理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kyoto Univ

南極氷床は地球全体の氷床の約 90 % を占めており、その量は約 60m の海面上昇に相当すると言われている。しかし、現場観測の困難さから、南極氷床全体の質量変動を推定することは容易ではなかった。GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment) は、全球重力場の時間変化を観測するための衛星であり、その成果の一つとして、南極全域の質量変化を見積もったことが挙げられる。ところで GRACE は氷床の質量変動に加え、Post Glacial Rebound (PGR) の効果も含めた積分値を観測するが、南極においては PGR の影響が大きいにも関わらずそのモデル精度は高くなく、GRACE データ解析の大きな誤差源となっている。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、南極域の氷床高度を測定している。ICESat による氷床高度変化と GRACE による質量変化の観測値を組み合わせることで、原理的には PGR モデルを改良することが可能である。しかし、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。このような ICESat の欠点を補完する目的で、本研究では、EnviSat(Environmental Satellite) のレーダー高度計データを利用することにした。EnviSat のレーダー高度計は、ICESat のレーザー高度計ほど精度は高くないが、GRACE と同じ期間の各月毎のデータが取得可能であること、また、南極の海岸部において高密度のデータが得られることなどから、ICESat データの補完に有用である。本研究では、ICESat と EnviSat の高度計データおよび GRACE データを組み合わせたデータ処理ならびにその解析結果について報告する。

キーワード: 南極, 氷床変動, 高度計, GRACE, ICESat, EnviSat

Keywords: Antarctica, ice-sheet change, altimeter, GRACE, ICESat, EnviSat

SGD022-08

会場:201A

時間:5月23日 16:30-16:45

A10 絶対重力計を用いた地下流体モニタリング Underground fluid flow monitoring using a A10 absolute gravimeter

西島 潤^{1*}, 福田 洋一², ヤヤン ソフヤン², 藤光 康宏¹, 谷口 真人³

Jun Nishijima^{1*}, Yoichi Fukuda², Yayan Sofyan², Yasuhiro Fujimitsu¹, Makoto Taniguchi³

¹九州大学大学院工学研究院, ²京都大学大学院理学研究科, ³総合地球環境学研究所

¹Faculty of Engineering, Kyushu Univ., ²Graduate School of Science, Kyoto Univ., ³Research Institute for Humanity and Nature

地下水を長期間にわたり安定的に利用していくためには、帯水層に見合った規模での揚水と適切な地下水帯水層の管理を行う必要がある。また、大量の地下水揚水は、地盤沈下など周囲の環境への影響も考慮する必要がある。このため、地下の流体挙動を正確に把握する事が重要であり、その手段として各種のモニタリング方法が考案されてきた。本研究は、従来のミクロ的な帯水層管理手法を補完し、より総合的な地下水帯水層管理を実現するために、精密重力測定に着目し、帯水層管理のためのモニタリング手法確立の可能性を検討することを目的として、2008年よりいくつかの地域において Micro-g LaCoste 社製 A10 絶対重力計を用いた重力変動観測を行っている。

このような背景で本研究では九州大学伊都キャンパスにおいて本重力計のテスト及び地下水位変化検出を目的とした測定を開始した。この結果振幅約 20 micro gal の重力の季節変化が観測された。観測された重力変化と観測点から約 200m 離れた地下水位観測井の水位データと比較を行ったところ非常に良い相関が見られた。このため、地下水の帯水層を無限平板と仮定し、有効空隙率を 10 % として地下水位変化による重力変化量を計算すると、観測された重力変化を地下水位の季節変化で説明することが可能であることが明らかになった。

その後、大分県滝上地域において 2008 年 2 月より 4 観測点（生産地域 3 ヲ所、還元地域 1 ヲ所）で測定を開始した。2008 年 4 月には定期点検のため地熱流体の生産・還元が約 2 週間停止した。この定期点検前後で生産地域において 4.4 micro gal の重力増加、還元地域において 19 micro gal の重力減少が観測された。その後、2008 年 4 月と 12 月の間の変化では生産地域において最大 32 micro gal の重力減少、還元地域において 26 micro gal の重力減少が観測された。このように地熱流体の生産・還元の一時停止に伴う影響と考えられる重力変化が観測された。

また、2008 年 7 月からはインドネシアのジャカルタ、バンドン、カモジャンなどで観測を開始した。これらの地域は地下水の過剰揚水のため大きな地盤沈下が生じている地域である。地盤沈下に関してはバンドン工科大学による GPS 観測で年間最大約 20cm の沈下量が観測されている。インドネシアの観測では気温・湿度が高いことによるイオンポンプや計測に使用しているパソコンの不調、交通量の多さや軟弱な地盤などから来るノイズなど、測定に問題が多かったことから 2008 年はデータを十分に取ることができなかった。その後、イオンポンプの増設や測定を工夫することによって 2009 年以降は十分なデータを取ることが可能になった。2009 年から 2010 年までのジャカルタの重力変化量は +30 ~ 50 micro gal が観測されており、特に地盤沈下量の大きな沿岸部において重力増加量が大きい傾向が見られた。本講演ではこれらの結果および、地盤沈下、地下水変化と重力変化の関係について報告を行う。

キーワード: 地下水位モニタリング, A10, 絶対重力計

Keywords: Groundwater level monitoring, A10, Absolute gravimeter

SGD022-09

会場:201A

時間:5月23日 16:45-17:00

地表下 100 メートルに設置した gPhone 重力計による降雨応答検出 Detection of rainfall response by a gPhone gravimeter installed at 100 meters under the ground

田中 俊行^{1*}, 浅井 康広¹, 石井 紘¹
Toshiyuki Tanaka^{1*}, Yasuhiro Asai¹, Hiroshi Ishii¹

¹ 東濃地震科学研究所

¹ TRIES, ADEP

絶対重力測定は原理的にオペレーターや装置の世代が代わっても地下の密度変化を継続して監視可能な計測手段である。しかし、microGal オーダーの議論においては、大気海洋と陸水変動起源の擾乱がそれを容易にマスクする振幅を持っている。この内前者は広域物理モデルの進歩により microGal オーダーが議論可能になって来たが、後者は個々の観測点での工夫が必要である。そこで、我々は(独)日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所施設を利用し、地下・地上同時重力測定により降雨による重力擾乱を除去する手法の確立に取り組んでいる。その初期段階として、gPhone 重力計(シリアル番号 90)を瑞浪超深地層研究所の深度 100m 予備ステージに設置し、降雨による重力変化検出を試みた。既存の間隙水圧計データから、地表に近い瑞浪層群明世累層主要部内の間隙水圧データは明瞭な降雨による水圧変化を示す一方で、gPhone 設置深度(瑞浪層群土岐夾炭累層主要部)では降雨による水圧変化は生じない事がわかっている(ここでの水圧変動の主要因は地震地下水応答である)。したがって、この gPhone は、降雨があれば頭上に過剰質量が発生するために、重力減少を観測するはずである。

第一期(2010年7月)の観測では、振幅 1microGal 前後のいくつかの降雨応答の検出に成功したが、gPhone の設置環境の問題点(床面の不安定性や気温変化)に起因するノイズとの分離、バネセンサー宿命の非線形ドリフトの評価などの課題も明らかになった。今後計画中の第二期では、gPhone 設置床面の工夫および地上の絶対重力計との降雨応答の同時検出をめざす。本手法の有効性が明らかになった暁には、長期運用可能なポアホール重力計の開発を促し、重力測定における陸水補正のインフラとして提唱したい。

謝辞:(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 設置の便宜を頂きました。

キーワード: 重力連続観測, 重力計, 陸水学

Keywords: continuous gravity measurement, gravimeter, hydrology

SGD022-10

会場:201A

時間:5月23日 17:00-17:15

松代における地下水の重力への影響 (その2) Effect of underground water on gravity at Matsushiro, Japan (part 2)

今西 祐一^{1*}, 名和 一成², 小池 哲司³

Yuichi Imanishi^{1*}, Kazunari Nawa², Tetsuji Koike³

¹ 東京大学地震研究所, ² 産業技術総合研究所, ³ 気象庁精密地震観測室

¹ERI, Univ. of Tokyo, ²AIST, ³JMA

長野県松代(気象庁精密地震観測室)の超伝導重力計観測点は、舞鶴山(560m)の支尾根の中に掘られた坑道内にある。ここでは、降雨のあとに重力が減少するという特徴的な応答が観察されている。Imanishi et al. (2006)によってモデル化された応答は、(i) 重力は降水量に比例して減少する、(ii) 地下水による重力の変化分は、時間的に一定のレートで減衰して元のレベルに戻る、という2つの要素からなる。このモデルは、重力計が設置されている坑道の上側に位置する地下水の影響を経験的に表現したものであり、短期的な影響の補正に関しては一定の成功をみているが、なぜ重力がこのような応答を示すのか、また重力の減衰レートを決めているものは何か、という問題は未解決のままであった。

重力計が設置されている坑道の中は、どこもたえず湿っているが、水は天井のあたり一面から垂れてくるのではなく、きまった地点から滴下する傾向にある。そのような地点の一つ(地表からの深さは約90m)に雨量計が設置され、滴下する水の量が測定されている。そのデータを、地上(坑道の外)の雨量と比較することにより、次のようなことがわかった。(i) 坑道内では水は降雨開始の約3時間後に滴下し始める。(ii) 滴下のレートはほぼ一定である。(iii) 滴下する水の量は、地上の降水量にだいたい比例する。

山体中を地下水が一定の速度で降下するとすれば、その速度は1時間あたり30m程度となる。一方、舞鶴山頂上付近で土壌水分計による観測を行った結果、土壌中の浸透の速度はこれより1けた程度遅いことがわかった。土壌の厚さははっきりしないが、山頂付近でたかだか数十cm程度、尾根の末端付近ではほとんどゼロと見込まれる。また、山体中の水の降下を鉛直方向の円形の管を流れるハーゲン・ポワズイユ流と見なして、滴下量から管の半径を求めると、およそ0.5mmという値が得られた。

以上のことを総合すると、地表付近に薄く存在する土壌が、水をためるタンクの役割をしており、そこからしみ出す水が、キャピラリとしての岩石のすきまを通過してほぼ一定の流量で降下する、という描像にいきつく。Imanishi et al. (2006)のモデルはこのイメージで説明され、重力の減衰レートはキャピラリ中の流速で決まっていると考えられる。くわしく見ると、坑道内の滴下量と地上の降水量とが正比例から系統的にずれていることもわかり、降水の一部は地下に浸透せずに、蒸発散により系外に失われていると考えられる。

キーワード: 超伝導重力計, 地下水

Keywords: superconducting gravimeter, underground water

SGD022-11

会場:201A

時間:5月23日 17:15-17:30

ハイパーハイブリッド重力観測 - 浅間山2004年・桜島2010年のケーススタディ Hyper-hybrid gravity measurements: case studies on volcanic activities of Asama 2004 and Sakura-jima 2010 events

大久保 修平^{1*}, 風間 卓仁², 山本 圭吾³, 田中 宏幸¹, 田中 愛幸¹, 今西 祐一¹, 福田 洋一², 井口 正人³
Shuhei Okubo^{1*}, Takahito Kazama², Keigo Yamamoto³, Hiroyuki Tanaka¹, Yoshiyuki Tanaka¹, Yuichi Imanishi¹, Yoichi Fukuda², Masato Iguchi³

¹ 東大地震研, ² 京大院理, ³ 京大防災研

¹Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo, ²Graduate School of Science, Kyoto Univ., ³Disaster Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.

[1] はじめに

長期にわたる活発な火山活動には、山体下から火道内にかけてのマグマの移動が頻繁に起こっていると考えられる。とりわけ、火道内マグマの頭位変動は、火山の表面現象（噴火の頻度、爆発強度、火山ガス放出など）と密接に関連していると考えられる。したがって物理学的な頭位推定法の開発は、火山学的見地や防災の見地から非常に意味がある。本講演では、固体地球科学的な質量移動を求める手法として、「ハイパーハイブリッド重力観測」の考えを提示し、浅間山の2004年の活動と、2010年以降の桜島火山に適用した結果について報告する。

[2] ハイパーハイブリッド重力観測とは（火山の場合）

降雨・地下水等の環境起源の重力擾乱がないときには、絶対重力値の変動は、火山活動ときわめて良い対比ができる（大久保 「火山」2005）。しかし、ひとたび、台風や集中豪雨などで数百 mm の累加雨量があるときなどは、それらが引き起こす 10 マイクロガルを超える重力擾乱によって、火山起源の重力シグナルはマスクされてしまう。この問題は Kazama and Okubo (JGR 2009) によって取り上げられ、土壌水分や不圧地下水層の頭位を数値シミュレーションで求めることにより、解決（軽減）することができる。現状では、この方法によって見積もられる重力補正精度は数マイクロガル程度まで向上している。したがって、「固体地球内部起源の重力変動」も、数マイクロガル程度の Accuracy で抽出できるようになったといえる。

その一方、重力変動データから固体地球内部ダイナミクスを探るとき、「ポテンシャル逆問題の解の非一意性」という本質的な問題を克服しなければならない。それには、物質の移動経路を幾何学的に拘束することが肝要である。実際の火道の幾何学的な拘束は、一定の条件下で、ミュオン・ラジオグラフィによって、高い解像度で与えられる。火道の位置、形状、サイズ等が拘束できれば、マグマの移動経路が曲ったチューブとして与えられる。マグマの頭位はチューブ内の「高さ」という 1 パラメータで記述できる。

以上のことから、次の 3 要素を兼ね備えた手法が、有効であることがわかる。すなわち、(1) 高精度な絶対重力の連続観測、(2) 陸水シミュレーションによる重力擾乱補正、(3) ミュオン・ラジオグラフィによる流体移動経路の拘束である。3 つの技術を総合運用した測定を、「ハイパーハイブリッド重力測定」と称することにする。

[3] 浅間山及び桜島火山への適用

桜島火山は 2006 年に主として昭和火口からの噴火活動を再開し、2009 年の爆発回数は年間 548 回、2010 年は約 900 回に達している。2010 年 5 月以降、桜島南麓の有村（昭和火口から約 2km）に絶対重力計と土壌水分計などを設置し、前述のハイパーハイブリッド法で、マグマ頭位を決定した。また、古いデータの見直しとして 2004 年の浅間山の活動についても、前述のハイパーハイブリッド法で、マグマ頭位の時間変動を決定した。これらの結果と火山活動との対応について、報告する予定である。

キーワード: 重力, マグマ頭位, ミュオン・ラジオグラフィ, 浅間山, 桜島

Keywords: gravity, magma head, muon radiography, Asama, Sakurajima

SGD022-12

会場:201A

時間:5月23日 17:30-17:45

最適な海洋潮汐モデル (TPXO7.2) で補正した重力潮汐ファクターによる FCR パラメータの計算

The estimation of FCR parameters by the gravimetric tidal factors corrected through optimal ocean tide model, TPXO7.2

キム テヒ^{1*}, 渋谷 和雄², 土井 浩一郎², 青山 雄一², 早河 秀章²

Tae-Hee Kim^{1*}, Kazuo Shibuya², Koichiro Doi², Yuichi Aoyama², Hideaki Hayakawa²

¹ 総合研究大学院大学 極域科学専攻, ² 国立極地研究所

¹SOKENDAI Department of Polar Science, ²National Institute of Polar Research

Superconducting gravimeters at Metsahovi, Strasbourg, Sutherland, Canberra and Syowa Stations were used to estimate the FCR (Fluid Core Resonance) parameters using the Bayesian method (Tarantola and Valette, 1982) with an priori information. We obtained the probability density function with the most probable value by integrating the probability for a reasonable parameter range (Florsch and Hinderer, 2000). One of the primary motivations of this study was to find the effectiveness of optimal ocean tide model for each station located globally on the estimated FCR parameters. From a statistical test on the error in K1, PS11 and PH11 waves, increasing the percentage error of the imaginary part of gravimetric factor in each wave separately, we found that the PS11 wave was most sensitive to the correlation between the quality factor and imaginary component of the resonance strength, and to the standard deviation of quality factor. The ocean loading effect was estimated using TPXO7.2, which gave the smallest combined misfit for every station in diurnal bands. The obtained results are as follows: the quality factor of Metsahovi, Sutherland and Syowa stations were found to diverge, i.e., non-symmetric probability density functions (PDFs). The quality factor at Strasbourg and Canberra showed the symmetric PDFs and the most probable values by integration were 37762 ± 4452 and 3311 ± 607 , respectively. Strasbourg was the only station which showed the good correlation between quality factor and imaginary part of resonance strength. Eigenperiods of 430 ± 5 and 428 ± 1.6 days at Metsahovi and Strasbourg, are close to the result of the theoretical prediction by Mathews et al. (2002) and the observed values at Europe by Rosat et al. (2009) within the margin of error. However, the results of eigenperiod of 435 ± 8 days for Sutherland, 432 ± 6 days for Canberra, and 433 ± 43 days for Syowa have discrepancies as compared with the most probable value of 430.2 ± 0.28 days by Mathews et al. (2002). Employing the stacking method, the parameters of FCR were found to have a normally distributed PDF: the mean values were 432 ± 2 days for the eigenperiod, $0.6362 \pm 0.006 \text{ degree} \times 10^{-3} \text{ degree/h}$ for the real component of resonance strength, $-0.1967 \pm 0.0236 \text{ degree} \times 10^{-4} \text{ degree/h}$ for the imaginary component of resonance strength, and 35897 ± 4230 for the quality factor.

Keywords: FCR parameters, ocean tide model, Superconducting gravimeter, Syowa Station, ocean loading effect

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SGD022-13

会場:201A

時間:5月23日 17:45-18:00

High-resolution gravimetric geoid model for Japan from EGM2008 and local gravity data High-resolution gravimetric geoid model for Japan from EGM2008 and local gravity data

PATROBA ODERA^{1*}, Yoichi Fukuda¹, Yuki Kuroishi²
PATROBA ODERA^{1*}, Yoichi Fukuda¹, Yuki Kuroishi²

¹Department of Geophysics, Kyoto Univ., ²Geospatial Information Authority of Japa

¹Department of Geophysics, Kyoto Univ., ²Geospatial Information Authority of Japa

A high-resolution geoid model covering four main Japanese islands (Hokkaido, Honshu, Shikoku and Kyushu) has been developed on a 1 by 1.5 arc-minute grid from EGM2008 and terrestrial gravity data over Japan. The Stokes-Helmert Scheme in a modified form is applied for the determination of the geoid using an empirically determined optimal spherical cap and Kriging technique is used for gridding residual gravity anomalies. Comparisons between the gravimetric and geometric geoid undulations are carried out using 816 GPS/levelling points. In comparison with the previous geoid model for Japan (JGEOID2008), there is a slight improvement in the standard deviation from 8.44 cm to 8.29 cm. The standard deviation reduces to 5.81cm about a mean of 0.00 cm after planar fit.

Comparisons between the gravimetric and GPS/levelling geoid undulations are also carried out in each of the main islands except Honshu which is divided into three parts (North Honshu, Central Honshu and West Honshu) because of its size and geometry. The following is a summary of the comparisons in each area: Hokkaido 163(6.71), North Honshu 171(6.41), Central Honshu 163(7.34), West Honshu 158(5.16), Shikoku 56(8.69) and Kyushu 105(5.58), where the numbers outside the brackets represent the number of GPS/levelling points while bracketed ones are the corresponding standard deviations in cm. It is noted that although the determined gravimetric geoid represents the geoid over Japan fairly well, there is still need for more gravity data especially in the northern part of Japan to obtain a precise geoid model.

キーワード: geoid model, gravity, Kriging, EGM2008, GPS/levelling

Keywords: geoid model, gravity, Kriging, EGM2008, GPS/levelling

SGD022-14

会場:201A

時間:5月23日 18:00-18:15

GPS 気象学的アプローチでジオイドの傾きを測る Measuring local tilts of Geoid with a GPS meteorological approach

吉田 清人^{1*}, 日置 幸介¹
Kiyoto Yoshida^{1*}, Kosuke Heki¹

¹ 北海道大学理学院自然史科学専攻
¹Dpt. Natural History Sci. Hokkaido Univ.

GPS データ解析において局位置とともに推定される天頂大気遅延 (ZTD) は、気象学的に有意な情報であることが知られている。われわれは国土地理院の運用する 1000 点以上観測点が存在する GEONET の F3 解を用いて天頂湿潤遅延 (ZWD) の情報から、過去 12 年間の大気中の水蒸気の気候学的なふるまいを調べた。ZWD は可降水量 (PWV) に変換することができ、その長期変動はエルニーニョ南方振動 (ENSO) のような年々変動や太平洋十年規模振動 (PDO) のような長期変動に由来する気候学的シグナルを含んでいることを昨年春と秋に学会報告した。今回は大気遅延の非等方性に起因する大気遅延勾配に注目して報告する。われわれは 2004 年～2010 年の大気遅延勾配について調べ、(1) 全期間で平均した勾配には～1mm の南向き成分が卓越し、(2) 南向きの勾配は冬により強くなること、を明らかにした。(1) は単純に南方がより高温である (より水蒸気が多い) ことを反映しており、(2) は日本列島では冬季の方が南北の気温差が大きくなることを示唆する。大気遅延勾配をもたらす要因は大気遅延と同様、水蒸気と乾燥大気の双方にある。Miyazaki et al (2003) は大気遅延勾配が ZTD 推定に与える影響を評価しており、ZTD の空間的な傾きと大気遅延勾配の間に水蒸気のスケールハイト H を介した線形関係があることを示した。これを用いて天頂乾燥大気遅延 (ZHD)、ZWD それぞれの空間的な傾きから乾燥大気、水蒸気のもたらす大気遅延勾配を見積もった。その結果乾燥大気は主に東西の空間勾配を示し、それによる大気遅延勾配の大きさも観測値より一桁程度小さい。一方水蒸気分布には南向きの空間勾配が卓越し、大きさも大気遅延勾配の観測値とおおむね一致する。

ZWD の分布から予測される勾配と方位が有意に異なるケースが関東平野を始めとするいくつかの地域で見られた。GPS 解析ソフトウェアでは衛星の仰角を準拠楕円体に基づいて計算している。しかし実際の大気はジオイド面に平行に成層している。そのため、ジオイドの準拠楕円体に対する傾き (鉛直線偏差) は大気遅延勾配の永年的なバイアスとなる (日置, 1999)。例えば関東平野の平均的な大気遅延勾配は南から時計周りにずれているが、この地域はジオイド高の傾きが大きい地域である。ジオイド高の傾きを国土地理院のジオイド高内挿プログラムを用いて求め、それらがもたらす見かけ上の大気遅延勾配を見積もったところ、関東から北海道にかけての太平洋岸では～0.3mm に達することがわかった。

文献

Iwabuchi, T., S. Miyazaki, K. Heki, I. Naito, and Y. Hatanaka, An impact of estimating tropospheric delay gradients on tropospheric delay estimations in the summer using the Japanese nationwide GPS array, *J. Geophys. Res.*, 108(D10), 4315, doi:10.1029/2002JD002214, 2003

日置幸介, 宇宙測地学: 大気遅延誤差と局位置誤差の関係, 月刊地球, 号外 25,73-77,1999

キーワード: ジオイド, GPS 気象学, 大気遅延勾配

Keywords: geoid, GPS meteorology, atmospheric delay gradient

海の玄武岩の高度データから40億年前の月ジオイドを復元する試み Reconstruction of the selenoid 4 billion years ago using altimetry data in lunar maria

小川 達彦^{1*}, 日置 幸介²

Tatsuhiko Ogawa^{1*}, Kosuke Heki²

¹ 北大・院・理学院自然史科学専攻, ² 北大・院・理学研究院自然史科学研究部門

¹Dept. Nat. Hist. Sci., Hokkaido Univ., ²Dept. Nat. Hist. Sci., Hokkaido Univ.

日本初の大型月探査衛星「SELENE」(「かぐや」)の観測により、重力場や地形などの月に対する測地学的研究は大きく前進した(Namiki et al., 2009; Araki et al., 2009)。一方未解決の問題として、月の二次の形状のいびつさが挙げられる。月地球系の同期自転が維持されてきたとすると、自転による遠心力ポテンシャル、地球による潮汐ポテンシャルの比は1:3という簡潔な比になり、2次の係数 C_{20} ($-J_2$)と C_{22} も $C_{20}:C_{22}=10:3$ という尽数関係となることが理論的に示される。しかし実測値は $J_2/C_{22}=9.09$ (Namiki et al., 2009)であり、 J_2 が C_{22} に比べて大きすぎる。Garrick-Bethell et al.(2006)は月が過去に水星のような2:3の共鳴軌道をとっていたことを示唆したが、彼らの議論は現在の二次の係数が2割程ずれても破たんする危ういものである。

二次の係数はいわゆる化石パルジとして議論されるが、本研究では現在の二次の成分のうち後天的かつ偶然的成分が占める大きさを、1)カウラの法則からの類推、2)実際の月に存在する様々な衝突盆地の形成が二次の係数に与えた影響、の二つのアプローチから調べてみた。しかし、いずれのアプローチも現在の二次の係数の2-3割はランダムな成分であることを示しており、Garrick-Bethell et al.(2006)の主張は根拠に乏しいことが示される。

本研究ではさらに過去のセレノイド(等ポテンシャル面)の復元を試み、それによって地球-月系の進化について議論する。かぐやのレーザ高度計(LALT)による観測と地形カメラ(TC)による観測の結果、月の全球的局地的地形が高精度化した。まずマスコン盆地を埋めている玄武岩溶岩に注目し、LALTの地形グリッドデータ(Araki, et al., 2009)から溶岩表面の傾斜を推定した。玄武岩溶岩は粘性が低いため、この溶岩表面の傾斜は溶岩が冷え固まった当時のセレノイドを記憶している可能性がある。今回は溶岩が一樣に広がっており、かつ表面の凹凸が比較的少ない雨の海、晴の海、湿りの海、神酒の海の4つのマスコン盆地の高度断面について最小二乗法を用いて傾斜を求め、それらを満足する二次の係数の組み合わせを求めた。これを現在の重力場・地形の二次の係数と比較すると、同期自転衛星の理想的な C_{20}/C_{22} 比(10/3)に近い値を示した。さらにTC地形データとsinuous rilleの流れ方向を解析して現在と過去のセレノイドの相違の有無を議論する予定である。

References

Araki, H. et al. 2009, Lunar global shape and polar topography derived from Kaguya-LALT laser altimetry, *Science*, 323, 897-900.

Garrick-Bethell, I., Wisdom, J., Zuber, M. T. 2006. Evidence for a past high-eccentricity lunar orbit, *Science*, 313, 652-655.

Namiki, N. et al. 2009, Farside gravity of the Moon from four-way Doppler measurements of SELENE (Kaguya), *Science*, 323, 900-905.