

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05205

研究課題名(和文) ニュージーランドでの絶対重力測定による南アルプスの成因とテクトニクス研究

研究課題名(英文) Absolute Gravity Measurements in New Zealand for the tectonic studies in Southern Alps and establishing absolute gravity net

研究代表者

福田 洋一 (Fukuda, Yoichi)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：30133854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：ニュージーランドで新たに絶対重力計測定を実施し、ニュージーランドでの絶対重力基準点網の強化・拡充を行った。その結果、南アルプスでの重力変化については、テクトニクスな運動に起因するとするBilhamら(2016)の結果を支持するものであった。一方、クライストチャーチでの重力変化については、2011年のクライストチャーチ地震後も経年的な重力の減少が続いているらしいことを示し、これはGIA (Glacial Isostatic Adjustment) に起因する可能性を示唆した。さらに、2016年に発生したカイコウラ地震に伴う重力変化と高さ変化の関係を調べ、その関係に地域的な差のある可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ニュージーランドでの絶対重力測定を実施することで、同国の重力に関連したさまざまな研究や社会的にも重要な度量衡・測量の基準となる絶対重力基準点網の強化に寄与した。さらに、南アルプスのテクトニクスに関連した重力変化や、クライストチャーチ地震やカイコウラ地震に伴う重力変化を検出することで、学術的に重要なその変動のメカニズムに関する知見を与えた。

研究成果の概要(英文)：To enhance and extend the absolute gravity network, we have newly conducted absolute gravity measurements in New Zealand. As a result, we supported the result obtained by Bilham et al. (2016) about the gravity change in the Southern Alps. On the other hand, we showed that the trend of gravity decreases after the 2011 Christchurch earthquake was probably as same as that of before the earthquake. Furthermore, we revealed the gravity changes caused by the 2016 Kaikoura earthquake and showed that the regional differences in the relationship between the gravity changes and the height changes possibly depended on the tectonic characteristics of the regions.

研究分野：測地学，地球物理学

キーワード：絶対重力測定 重力変化 テクトニクス ニュージーランド 南アルプス カイコウラ地震

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 絶対重力測定役割

地球上の重力は、地球の形状や高さの基準となる最も基本的な物理量の1つである。また重力は時間的にも変化し、近年、精密重力測定の応用研究は、地震・火山活動、氷床融解や陸水変動など、幅広い分野で積極的に進められている。特に、長さや時間の物理量測定の基本原理に立脚し絶対重力測定は、長期間、安定なモニタリングが必要な地殻変動や環境変動などの監視に最適な手法の1つと考えられている。しかしながら、重力の絶対値を測定する絶対重力計は、世界的にもまだまだ普及しておらず、特に、アジア・大洋州では、我が国のほか、中国、オーストラリアが保有している程度である。このため、我々のグループでは、これまで、国際共同研究としてアジアを中心に絶対重力計を保有しない国での絶対重力測定を行うことで、さまざまな応用研究を進めてきた。

(2) ニュージーランドでの絶対重力測定

ニュージーランドも絶対重力計は保有しておらず、これまでに同国で実施された絶対重力測定はすべて国外の研究機関との共同研究によるものである。この内、2000年に米国の研究者との共同研究として実際された南アルプスでの測定(Bilham et al., 2000)は、3000mを超えるニュージーランド南アルプスの成因の解明を目指した意欲的なものであるが、その後、長らく再測定は行われておらず、重力の時間的変化を調べることはできていない状況であった。ニュージーランドでは、このほか、南極への空路があるクライストチャーチの重力基準点で、各国が南極観測として絶対重力測定を実施する往復路での機会を利用し、複数回の絶対重力測定が実施されており、その結果、重力の減少傾向が見られていた。しかし、同地域では2011年にクライストチャーチ地震が起こり、地震に伴う重力変化や地震前後での重力の経年的な変化等については明らかにされていなかった。また、ニュージーランドでの絶対重力測定は、これまで、すべて南島で実施されたものであり、北島では、首都ウェリントンを含め、全く実施されていなかった。

このため、本研究では、当初、ニュージーランドの南島での絶対重力測定を実施することで、南アルプスの隆起・変動メカニズムの解明、クライストチャーチの重力変化に関する研究を実施するとともに、北島で新たに絶対重力測定を実施することで、ニュージーランドでの絶対基準点網の強化・拡充を行うことを目指していた。

(3) カイコウラ地震の発生

以上に加え、本研究の実施期間中の2016年11月にニュージーランド南島でM7.8のカイコウラ地震が発生し、大規模な地殻変動が生じた。この地震発生に伴い、ニュージーランドの研究協力者とも検討を行った結果、同地区での重力測定を実施することは同地域のテクトニクスの研究にとって極めて重要であるとの共通認識を得るに至った。このため、H28年度以降、カイコウラ地震に伴う重力変化の研究も視野に入れ、研究を進めることとした。

2. 研究の目的

以上を踏まえ、本研究の具体的な研究目的は次のとおりである。

- 1) 南アルプスの既存重力点での絶対重力計と相対重力計を用いたハイブリッド重力測定による2000年以降の重力変化の検出
 - 2) 重力変化とGNSS (Global Navigation Satellite System)データの比較によるアルパイン断層の右横ずれ運動と南アルプスの隆起の関係やそのメカニズムの解明
 - 3) クライストチャーチの重力基準点での絶対重力測定による重力変化の検出
 - 4) 新たな絶対重力測定の実施によるニュージーランドの絶対重力点網の強化
- さらに、本研究期間中にカイコウラ地震が発生したことに伴い、
- 5) カイコウラ地震に伴う重力変化の検出とその原因解明
- も、主要な目的に追加した。

3. 研究の方法

本研究において、最も重要な点は、ニュージーランドでの絶対重力測定を成功裏に実施することである。本研究で使用した絶対重力計は、現在、世界的に標準に用いられている Micro-G LaCoste 社製の FG-5 である。FG-5 は測定精度が極めて高いため輸出入貿易管理令該当物品で輸出許可が必要であり、また、高価なため免税手続きも必要となる。さらに、大変精密な機械であるため、輸送中の取扱いにも十分な配慮が必要である。このため、十分な事前準備と、トラブルに備えた冗長性を持った測定計画を立て、H27年度の最初の絶対重力測定を南半球の夏場(1~3月頃)にあたる2016年1月と3月の2度に分け、北島のワークワースから南島のダニーデンまで、全8点での絶対重力測定を実施した。また、H28年度には絶対重力測定は実施せず、南アルプスの山頂を中心に相対重力計による相対重力測定を実施した。その際、カイコウラ地震発生後、まだ3~4か月しかたっていない早い時期に、同地域で、地震後初のテスト的な相対重力測定を実施し、大きな重力変化が生じていることを確認した。

H28年度のカイコウラ地震域での測定結果を受け、H29年度にはニュージーランドの研究協力者の全面的な協力を得、2017年9月に同地域での相対重力測定に加え、新たに設置した2点で絶対重力測定を実施した。さらに2018年4-5月には、再度、同地域での相対重力測定ならびに

絶対重力測定を実施した。

地震に伴う重力変化の解析を行うためには、測定点での高さ変化のデータが重要である。カイクウラ地震域での高さ変化については、LINZ (Land Information New Zealand)がGNSSによる測量を実施しており、本研究は、H31年度まで1年間の繰り越しを行い、その結果も利用した解析を行った。

4. 研究成果

(1) ニュージーランドでの絶対重力測定

本研究の提案時には、ニュージーランドでの絶対重力測定は南島でも長らく実施されておらず、特に北島では全く実施されていない状況であった。しかしながら、本研究開始直前の2015年1月から3月にかけて、Stagpool et al. (2015)は、オーストラリアの協力を得、北島での新たな重力点を含めた測定を実施した。さらに、Bilham et al. (2016)も、同時期にBilham et al. (2000)の再測定として、南アルプスでの絶対重力測定を実施した。このため、本研究では、これらの測定結果を踏まえ、その検証も含め、2017年1~3月に既設の絶対重力点7点および、新設の絶対重力点1点での測定を実施した。これらの結果はFukuda et al. (2017)に報告したが、いずれもStagpool et al. (2015)およびBilham et al. (2016)で得られている重力値とよい一致を示している。

一方、カイクウラ地震の発生を受け、2017年9月に南島の同地域の2点で、また、2018年4-5月には、これらの2点に1点追加し、計3点での絶対重力測定を実施した。さらに、カイクウラ地震では破壊の到達しなかった、北島のヒ克蘭ギ海溝沿いでの将来の地震発生に備え、北島の同地域に、新たに2点の絶対重力測定点を設置し、絶対重力測定を実施した。これらの結果は、GGHS2018 (Fukuda et al., 2018)で報告した。

(2) 南アルプスでの重力変化

南アルプスの重力変化については、上述のとおり、Bilham et al. (2016)が再測定を実施しているが、本研究の測定値は基本的にBilham et al. (2016)と良好一致を示している (Fukuda et al., 2017)。従って、南アルプスでの重力変化は、基本的にはBilham et al. (2016)で述べられたテクトニクスな要因に起因するブーゲー勾配に従う高さ変化の影響と考えられるが、その他、陸水変動の影響や山地での測定に伴うさまざまな要因による誤差の影響も大きいと予想されることから、今後、野外用の絶対重力計を利用するなど、より高頻度での再測定が望まれる。

(3) クライストチャーチでの重力変化

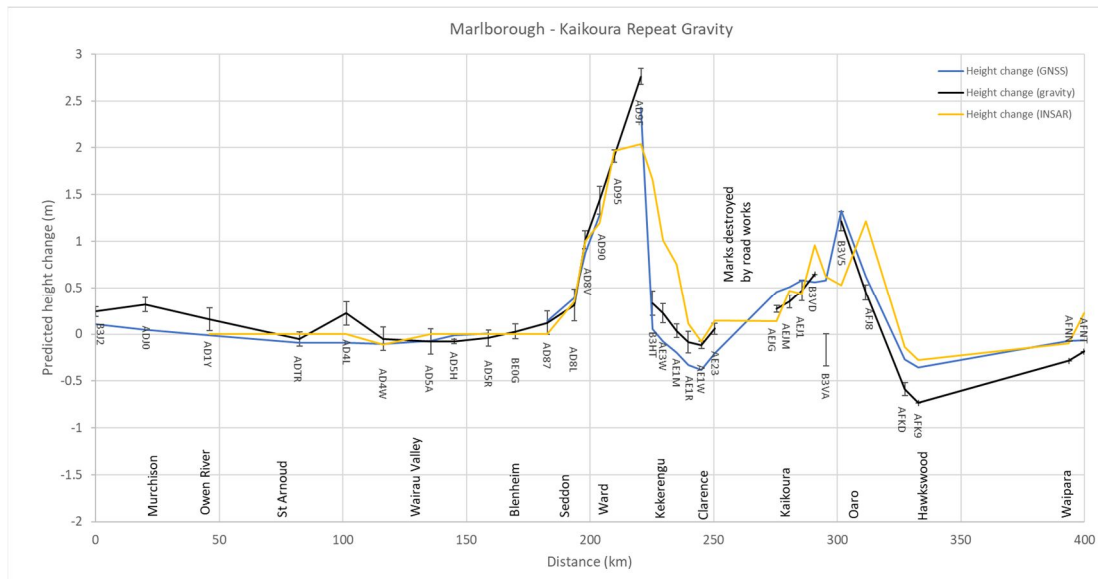
クライストチャーチのGodley Headの重力基準点では、1995年のSassagawa(1995)によるニュージーランドで初の絶対重力測定以降、長期間にわたり、最も頻繁に絶対重力測定が実施されている。同地域では2011年2月にクライストチャーチ地震が起こったが、Bilham et al. (2016)は、2015年に実施された絶対重力測定値と過去の測定値との比較から、クライストチャーチ地震で約7.5 μ galの重力の減少があったと推定した。さらに、クライストチャーチ地震後の重力変化の勾配などから、同地点での長期間の重力変化はほとんどない可能性を指摘した。これは、同地域ではGIA(Glacial Isostatic Adjustment)により重力が減少しているのではないかという、従来の予想とは矛盾する結果である。一方、今回の結果では、2011年以前の測定を含め、一定の勾配で重力が減少している可能性が示され、これはGIAの影響を示唆するものである (Fukuda et al., 2017)。しかしながら、測定誤差と比較して重力の変化量が小さいことから、正確な勾配値を得るためには、今後、さらに長期にわたり測定を実施することが望まれる。

(4) カイクウラ地震に伴う重力変化

カイクウラ地震域での相対重力測定は、我々が実施した2017年3月、9月に加え、ニュージーランドの研究協力者らも2018年1月に実施しており、さらに、2018年5月には、共同でより広範囲な水準点などでの測定を実施した。カイクウラ地震後の測定時期の違いによる重力変化は無いと仮定し、これら利用できる測定データをすべて用いた上で、地震前の重力値として、IGSN'71 (International Gravity Standardization Net 71)に準拠したニュージーランドの重力基準点網の値を用い、その差から、カイクウラ地震によって生じた重力変化を求めた。一方、高さについては、LINEによる地震後の水準点でのGNSS測量による値と、1960~1980年代の水準測量成果との比較から変化量を求めた。

図は、重力と高さ変化を示したものである。ただし、図では重力変化と高さ変化がよい相関を示すことから、その回帰係数を用い、重力変化は高さ変化に換算した。図では、ケケレンゲ断層より北の測定点で重力と高さ変化がよく一致しているのに対し、ケケレンゲ断層以南の地域で両者に系統的な差が認められる。この差は、データ処理等に起因する可能性も否定できないが、断層を境にして顕著なことから、地質やテクトニクスの違いに起因する可能性が考えられる。

今回、地震に伴う重力変化を、比較的古い過去の重力データとの比較から検出でき、さらに、断層を境に変動の様式に違いがある可能性を示唆する結果を得られたことは大きな成果である。本研究では、同地域や北島のヒ克蘭ギ海溝沿い地域で新たに絶対重力測定を実施しており、これらのデータは、将来の地震に伴う重力変化の基準データとしての役割を果たすものと期待している。



図：重力変化と高さ変化の比較．重力変化は密度 2.52 g/cm^3 を仮定し高さ変化に換算．

< 引用文献 >

Bilham R, Crawford R, Niebauer T (2000): Gravity measurements in South Island New Zealand February 2000, Report prepared for Land Information New Zealand.

Bilham R, Niebauer T, Pearson C, Molnar P (2016): Changes in absolute Gravity 2001-2015, South Island, New Zealand, New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 59, 176-186, DOI: 10.1080/00288306.2015.1108922.

Fukuda, Y, H. Takiguchi, T. Kazama, J. Nishijima, S. Gulyaev, T. Natusch, M. Amos, V. Stagpoole, C. Pearson (2017): New Absolute Gravity Measurements in New Zealand. In: International Association of Geodesy Symposia, 148, Springer, Berlin, Heidelberg, 95-101. https://doi.org/10.1007/1345_2017_18.

Sasagawa G (1996): Absolute Gravity observations at Godley Head, New Zealand, Report prepared for Land Information, New Zealand. 10p.

Stagpoole VM, Dando N, Caratori Tontini F, Black J, Amos M (2015): Absolute gravity observations at principal New Zealand stations 2015. Lower Hutt, N.Z.: GNS Science. GNS Science report 2015/46 iii, 48 p.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fukuda Yoichi, Takiguchi Hiroshi, Kazama Takahito, Nishijima Jun, Gulyaev Sergei, Natusch Tim, Amos Matt, Stagpoole Vaughan, Pearson Christopher	4. 巻 47
2. 論文標題 New Absolute Gravity Measurements in New Zealand	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Association of Geodesy Symposia	6. 最初と最後の頁 95 ~ 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/1345_2017_18	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 McCubbine J C, Stagpoole V, Caratori Tontini F, Featherstone W E, Garthwaite M C, Brown N J, Amos M J, Fukuda Y, Kazama T, Takiguchi H, Nishijima J	4. 巻 220
2. 論文標題 Evaluating temporal stability of the New Zealand quasigeoid following the 2016 Kaikoura earthquake using satellite radar remote sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 1917 ~ 1927
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1093/gji/ggz536	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yoichi Fukuda, Takahito Kazama, Hiroshi Takiguchi, Jun Nishijima, Vaughan Stagpoole, Grant O'Brien, Fabio Caratori Tontini
2. 発表標題 Gravity changes due to the 2016 Kaikoura earthquake
3. 学会等名 GGHS2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田 洋一, 瀧口 博士, 西島 潤, 風間 卓仁, Stagpoole Vaughan, O'Brien Grant
2. 発表標題 2016年カイコウラ地震による重力変化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田洋一, 瀧口博士, 西島潤, 風間卓仁
2. 発表標題 2016年カイクウラ地震による重力と高さ変化
3. 学会等名 日本測地学会第130回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田 洋一, 瀧口 博士, 西島 潤, 風間 卓仁, Stagpoole Vaughan, Gulyaev Sergei, Natusch Tim, Amos Matt
2. 発表標題 Absolute gravity measurements in New Zealand (2nd report)
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoichi Fukuda, Hiroshi Takiguchi, Jun Nishijima, Takahito Kazama, Vaughan Stagpoole, Sergei Gulyaev, Tim Natusch, Matt Amos
2. 発表標題 Gravity Measurements At Absolute Gravity Points In New Zealand
3. 学会等名 AOGS 14th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福田 洋一, 瀧口 博士, 西島 潤, 風間 卓仁, Vaughan Stagpoole, Matt Amos
2. 発表標題 2016年カイクウラ地震による重力変化
3. 学会等名 日本測地学会第128回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福田 洋一, 瀧口 博士, 風間 卓仁, 西島 潤, Gulyaev Sergei, Natusch Tim, Atmos Matt
2. 発表標題 ニュージーランドでの絶対重力測定
3. 学会等名 地球惑星科学連合2016年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoichi Fukuda, Hiroshi Takiguchi, Takahito Kazama, Jun Nishijima, Sergei Gulyaev, Tim Natusch, Matt Amos, Vaughan Stagpoole, Christopher Pearson
2. 発表標題 New absolute gravity measurements in New Zealand
3. 学会等名 International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

AUT home to rare science equipment http://www.news.aut.ac.nz/news/homepage/homepage-main-news/aut-home-to-rare-science-equipment

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	滝口 博士 (Takiguchi Hiroshi)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	西島 潤 (Nishijima Jun)		
研究協力者	風間 卓仁 (Kazama Takahito)		