

令和元年6月4日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K17749

研究課題名(和文) マグマ質量移動に伴う短周期重力変化の検出：火山噴火プロセスの更なる理解に向けて

研究課題名(英文) Detecting short-period gravity changes associated with magma mass redistribution: toward further understanding of volcanic eruption processes

研究代表者

風間 卓仁 (Kazama, Takahito)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：20700363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では桜島南部の有村地域に可搬型相対重力計を設置し、火山活動に伴う重力加速度の時間変化を連続的に収録した。その結果、2015年8月15日の桜島急膨張イベントに際し-5.86マイクロガルの重力減少を観測した。この重力減少の主な原因は、火山性流体がダイクとして桜島直下に貫入し、重力観測点の地表が隆起したためである。本研究ではこの他にも、箱根火山・阿蘇火山・桜島火山で可搬型相対重力計による相対重力の繰り返し測定を実施し、火山活動に伴う長期の重力時空間変動について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2015年8月15日の桜島急膨張イベント時には、有村地域に設置した可搬型相対重力計によって-5.86マイクロガルという微小な重力変化を検出することに成功した。本研究結果は火山活動に関連する質量移動プロセスを直接的に観測したという意味において火山学的に重要な成果である。また、本研究結果は重力観測を用いた火山内部の質量変動監視システムの構築や、それを用いた高精度な火山活動予測を実現できることを示唆したものであり、防災・減災の観点からも意義のある成果である。

研究成果の概要(英文)：We installed a portable relative gravimeter at Arimura in Sakurajima Volcano to monitor temporal gravity variations associated with volcanic activities. We observed the small gravity decrease of -5.86 microGal during the rapid inflation event on 15 August 2015. The gravity decrease was caused mainly due to the dike intrusion under Sakurajima Volcano and resultant ground uplift at the Arimura gravity point. We also measured relative gravity values at gravity points in Hakone, Aso and Sakurajima Volcano to understand spatiotemporal gravity variations relating to long-term volcanic activities.

研究分野：火山物理学

キーワード：火山活動 重力変化 質量変化 桜島火山 阿蘇火山 箱根火山 マグマ ダイク

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

重力加速度 g は万有引力の鉛直成分にほぼ等しいので、重力加速度（重力値）を連続的に観測することにより、あらゆる質量の時空間分布を把握することができる。特に火山地域では、重力時空間変化を観測することで火山内部のマグマ質量移動を遠隔的・非破壊的に監視することが可能である。例えば 2004 年浅間山噴火では、私を含めた研究チームが約 2 ヶ月半の重力連続観測を実施し、周期 10~15 日、振幅 5 μGal （※ 1 $\mu\text{Gal} = 1 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ）の重力変化を検出した。これは、火道内部を準静的に上昇・下降するマグマ質量が、浅間山中腹に位置する重力計に万有引力をもたらしたためと考えられる（Kazama et al., 2015）。

しかしながら、現在重力観測で検出されている火山変動は時定数にして数日以上の中長期的な時間変動のみであり、時定数 1 日以内の短期的な重力変化は明確には検出されていない（e.g., Greco et al., 2014）。実際に 2004 年浅間山噴火時にも 10 秒間隔の重力観測を行ったものの、使用した重力計（絶対重力計 FG5）の観測精度の問題から、1 日以内の火山シグナルを検出することはできなかった（Kazama et al., 2015）。その一方で、地殻変動や地震動の観測によると、火山内部では最終的な火山表面現象（火山噴火や火砕流など）に先行して時定数数秒~数時間のマグマ移動現象が存在することが分かっている（e.g., Iguchi et al., 2008）。すなわち、火山起源の重力変動において時定数のより短い成分を検出できれば、最終的な火山現象様式を決定付けるマグマの密度・総質量の情報を直接知ることができ、しかも人間の実生活により近い時間スケールで火山活動を予測できるものと期待される。

2. 研究の目的

以上の学術的背景を踏まえ、本研究の最終目標を以下のように設定する。すなわち、本研究は火山近傍で相対重力計による高精度・広帯域の重力連続観測を実施し、火山噴火に直接関わる時定数 1 日以内の短期的重力変化を検出することで、火山噴火の直前直後における火山内部のマグマ質量移動過程を解明する。そこで本研究は、具体的に以下の方策によって本目的を実現する。

3. 研究の方法

- (1) 可搬型相対重力計による重力連続観測の実施：日本国内で噴火活動の活発な火山を選定し、そこに相対重力計を設置する。この際、火山内部の質量分布を 3 次元的に把握できるよう、その火山の周囲 3 ヶ所程度に重力観測点を設ける。その後、広帯域の重力連続観測を開始し、研究室から常時遠隔監視する。
- (2) 短周期重力変化の抽出：観測される重力データを 1 日ごとに回収し、直線・周期関数の回帰により環境擾乱（潮汐・陸水など）の寄与を補正する。その後、擾乱補正後の重力データを気象庁の噴火履歴データと照合し、噴火前後の期間に渡る重力変化を高い時間分解能で抽出する。
- (3) 質量移動過程の解明：前項で得られた短期的重力変化を、逆解析の手法によって火山内部のマグマ質量時空間変化に変換する。その上で、他の火山学的データと比較しながら、噴火の直前直後におけるマグマ質量移動プロセスを時空間的に高い解像度で理解する。
- (4) 可搬型相対重力計による相対重力繰り返し測定の実施：上記(1)-(3)で着目した時定数の短い質量変動現象のほかにも、火山内部における長期の質量変動プロセスを把握するため、複数の火山の周辺において可搬型相対重力計による重力繰り返し測定を実施する。その上で、各火山の長期的な重力時空間変動を把握し、火山内部の質量変動を逆解析する。

4. 研究成果

研究開始当初に想定していた上記の研究背景・目的・方法をもとに、本研究では桜島火山・阿蘇火山・箱根火山で重力観測を実施した。各火山での研究成果を以下の通り列挙する。

(1) 桜島火山における重力連続観測

桜島火山では有村観測坑道局舎（南岳火口の南約 2 km）に可搬型相対重力計 Scintrex CG-3M を設置し、1 分間隔で相対重力値の連続観測を実施した。その結果、2015 年 8 月 15 日の急膨張イベントに際し、-5.86 μGal の重力減少を検出することに成功した。従来可搬型相対重力計の観測精度は 10 μGal 程度とされていたが、本研究は時間的に高分解能

な連続観測を実施していたため、この観測精度よりも小さな重力変化を検出できたと考えられる。また、この急膨張イベントではCG-3M 重力計によって 55.9 micro-radian の傾斜変化も捉えることに成功した。本来 CG-3M の傾斜計は器械傾斜に伴う見かけ重力変化の自動補正に用いられているが、本イベントでは山体膨張に伴う地面傾斜が大きかったため、CG-3M 重力計が可搬型傾斜計として機能したと言える。

膨張イベント時の重力変化-5.86 microGal の主な変動要因は、桜島直下にダイクが貫入したことで重力観測点の地表が隆起したためと考えられる。しかしながら、Okada (1992) および Okubo (1992) のソフトウェアを用いた数値計算によると、地表隆起によって説明できるのは-4.6 microGal 程度であり、残りの約-1.3 microGal はダイク内部に 1.0 g/cm³ 程度の物質が貫入したことで説明可能であることが分かった。すなわち、本イベント時に貫入した物質はメルトよりも十分小さな密度を有していて、例えばマグマが減圧発泡していた可能性が示唆される。

以上のような成果を受けて、2018 年には有村の他に黒神観測室に CG-3M 重力計を設置し、複数点による重力連続観測を実施した。また、これら 2 点の重力観測データを 1 時間おきに転送・解析し、重力変化を自動描画するシステムを自作した。これにより、桜島で今後同様のイベントが発生した際には、質量移動に伴う重力変化を時空間的に高分解で、かつリアルタイムに把握できると期待される。

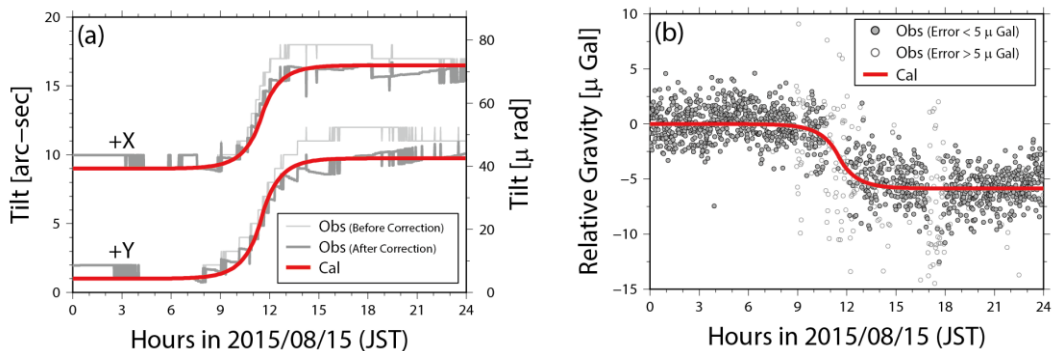


図 1：桜島火山で 2015 年 8 月 15 日に観測された傾斜変化 (左) と重力変化 (右)。風間ほか (2015) より抜粋。

(2) 桜島火山における重力繰り返し測定

桜島火山の周辺では可搬型相対重力計 LaCoste を用いた相対重力の繰り返し測定を年 4 回程度の頻度で継続した。2006 年～2018 年に桜島島内で観測された相対重力データを整理し、各重力点で重力値が時間に対して線形的に変化すると仮定すると、桜島の中央部で重力値が最大 5 microGal/year 経年的に増加していることが分かった。また、桜島島内の重力経年変化を桜島直下の点質量によって再現すると、北岳直下の海拔下 3 km 付近に 1.9×10^{10} kg/year の質量増加を置けば桜島島内の重力変化を説明できることが分かった。この質量増加は地下空洞におけるマグマの蓄積を示唆している可能性があり、物理探査結果との比較や今後の継続的な重力測定が必要である。

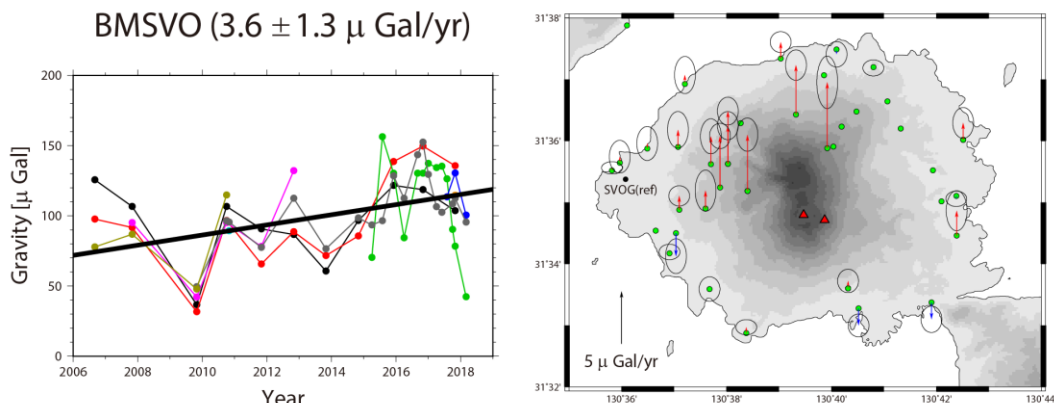


図 2：桜島火山の重力点 BMSVO で観測された重力経年変化 (左)、および桜島火山の各重力点における重力経年変化速度 (右)。風間ほか (2018) より抜粋。

(3) 阿蘇火山における重力繰り返し測定

阿蘇火山の周辺では可搬型相対重力計 CG-5 および CG-6 を用いた相対重力の繰り返し測定を年 3-4 回の頻度で継続した。その結果、①2011 年～2014 年前半では阿蘇中岳火口周辺で年周期的に重力変化していたこと、②2014 年後半～2016 年では年周期的な重力変化がほぼ消失したこと、および③2016 年～2018 年では火口付近の重力値が上昇していたことが分

かった。この原因としては、それぞれ①火口直下における熱水質量の年周変化、②火山活動活発化に伴う熱水質量の損失、および③火口西部深部のマグマだまりや火口直下の熱水だまりの質量増加、などが考えられる。

なお、2019年に入ってから阿蘇火山の活動が再び活発になっており、火山活動に関連した質量変動を重力観測の観点から監視する必要がある。今後も定期的な相対重力繰り返し測定が必要であり、火口付近での相対重力連続観測も検討すべきである。

(4) 箱根火山における重力繰り返し測定

箱根火山では2015年に活発な火山活動が確認されたが、その前後では重力観測が十分になされておらず、質量変動の観点から2015年の火山活動を議論することは十分に出来ていなかった。そこで本研究では2018年7月に箱根火山周辺で重力点を選定し、可搬型相対重力計 LaCoste による相対重力測定を初めて実施した。また、2019年1, 3月にも同じ重力点で相対重力測定を繰り返し実施した。現時点では火山活動に伴う重力変化は見出されていないものの、今後火山活動が活発化した際には本研究の重力測定データが火山活動前の重力値として有効活用されるものと期待できる。

また、箱根火山の大涌谷において相対重力連続観測を実施するために、神奈川県温泉地学研究所の所有する LaCoste 重力計 D202 の保守作業や連続試験観測を実施した。今後 D202 が連続観測に問題なく使用できることを確認した後に、大涌谷周辺に D202 を常設する予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 風間卓仁, 山本圭吾, 平良真純, 大島弘光, 前川徳光, 岡田和見, 園田忠臣, 井口正人 (2018): 桜島火山における繰り返し相対重力測定 (2017年5月~2018年2月). 京都大学防災研究所年報, 61B, 330-336. (査読なし)
<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no61/ronbunB/a61b0p11.pdf>
- ② 風間卓仁, 栗原剛志, 山本圭吾, 井口正人, 福田洋一 (2016): 2015年8月15日桜島膨張イベント時に CG-3M 重力計で観測された相対重力および傾斜の連続的な時間変化. 火山, 61(4), 593-604. (査読あり)
https://doi.org/10.18940/kazan.61.4_593

[学会発表] (計 26 件)

- ① 風間卓仁 (2019/03/11): 火山地域における相対重力観測の重要性. 平成 30 年度国立極地研究所共同利用研究集会「測地学に基づいた地球表層から内部のダイナミクス」, 05, 東京都立川市 (oral).
- ② 風間卓仁, 山本圭吾, 大島弘光, 岡田和見, 大柳諒, 園田忠臣, 井口正人 (2019/02/20): 桜島火山における相対重力の繰り返し測定および連続観測(2018年度). 平成 30 年度防災研究所研究発表講演会, A35, 京都府宇治市 (oral).
- ③ 風間卓仁, 大倉敬宏, 吉川慎, 宮内佑典, 横尾亮彦, 西島潤, 藤光康宏, 福田洋一 (2018/10/18): 阿蘇地域における相対重力変化: 火山活動活発化(2011-2016年)に伴う影響. 日本測地学会第 130 回講演会, 69, 高知県高知市 (oral).
- ④ 風間卓仁 (2018/09/27): 重力観測を用いた火山性流体移動プロセスの把握およびその高精度化に関する研究. 日本火山学会 2018 年度秋季大会, S01, 秋田県秋田市 (oral).
- ⑤ 風間卓仁, 吉川慎, 大倉敬宏 (2018/05/23): 平成 28 年熊本地震の前震時に南阿蘇村で観測された相対重力連続データ. 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, SGD01-P05, 千葉県千葉市 (poster).
- ⑥ 風間卓仁, 山本圭吾, 平良真純, 大島弘光, 前川徳光, 岡田和見, 園田忠臣, 井口正人 (2018/05/22): 繰り返し相対重力観測で明らかになった桜島火山における 1970 年代以降の重力時空間変化. 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, SVC41-36, 千葉県千葉市 (oral).
- ⑦ 風間卓仁 (2018/03/02): 相対重力連続データの準リアルタイム解析. 平成 29 年度地殻変動研究集会, 01, 東京都文京区 (oral).
- ⑧ 風間卓仁, 山本圭吾, 平良真純, 大島弘光, 前川徳光, 岡田和見, 園田忠臣, 井口正人 (2018/02/20): 桜島火山における相対重力の連続観測および繰り返し測定. 平成 29 年度防災研究所研究発表講演会, B04, 京都府宇治市 (oral).
- ⑨ 風間卓仁, 山本圭吾, 井口正人 (2017/05/22): 桜島火山で観測されている相対重力連続データの準リアルタイム解析. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SVC47-P28, 千葉県千葉市 (poster).
- ⑩ 風間卓仁 (2017/02/27): 相対重力観測による広帯域火山活動モニタリング: 阿蘇山および桜島における事例. 研究集会「阿蘇山の噴火活動・マグマ水蒸気爆発を理解する」, 09, 熊本県熊本市 (oral).
- ⑪ 風間卓仁, 小林千夏, 栗原剛志, 福田洋一, 吉田賢司, 名和一成 (2016/10/19): 石岡および

京都における相対重力計 CG-3M の連続試験観測. 日本測地学会第 126 回講演会, 21, 岩手県奥州市 (oral).

- ⑫ 風間卓仁, 山本圭吾, 井口正人 (2016/05/24): 桜島有村における相対重力連続観測: ダイク貫入イベント時の傾斜・重力変化. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SVC47-04, 千葉県千葉市 (oral).
- ⑬ 風間卓仁, 栗原剛志, 山本圭吾, 井口正人, 大久保修平 (2016/05/22): 桜島有村における相対重力連続観測: 傾斜および重力データの擾乱補正. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SGD22-02, 千葉県千葉市 (oral).
- ⑭ 風間卓仁, 大倉敬宏, 吉川慎, 横尾亮彦, 西島潤 (2015/10/14-16): 阿蘇火山の火口底地形変化に伴う重力変化の見積もり. 日本測地学会第 124 回講演会, P25, 福岡県福岡市 (poster).
- ⑮ 風間卓仁, 大倉敬宏, 吉川慎, 横尾亮彦, 西島潤 (2015/09/28-30): 阿蘇火山の火口底地形変化に伴う重力変化の見積もり. 日本火山学会 2015 年度会秋季大会, P50, 富山県富山市 (poster).

〔図書〕(計 0 件)

該当なし

〔産業財産権〕

該当なし

〔その他〕

- ① 日本火山学会 研究奨励賞 「重力観測を用いた火山性流体移動プロセスの把握およびその高精度化に関する研究」(2018/05/22)

6. 研究組織

(1) 研究分担者

該当なし

(2) 研究協力者

- ① 研究協力者氏名: 山本 圭吾
ローマ字氏名: (YAMAMOTO, Keigo)
- ② 研究協力者氏名: 宮内 佑典
ローマ字氏名: (MIYAUCHI, Yusuke)
- ③ 研究協力者氏名: 大柳 諒
ローマ字氏名: (OYANAGI, Ryo)
- ④ 研究協力者氏名: 栗原 剛志
ローマ字氏名: (KURIHARA, Tsuyoshi)
- ⑤ 研究協力者氏名: 平良 真純
ローマ字氏名: (HIRAYOSHI, Masumi)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。