

桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定 (2013年10月および11月)

Precise Gravity Measurements in Sakurajima Volcano and around Kagoshima Bay (October and November 2013)

山本圭吾⁽¹⁾・大島弘光⁽²⁾・前川徳光⁽²⁾・及川純⁽³⁾・園田忠臣⁽¹⁾
大久保修平⁽³⁾・田中愛幸⁽³⁾・今西祐一⁽³⁾・渡邊篤志⁽³⁾
坂守⁽³⁾・風間卓仁⁽⁴⁾

Keigo YAMAMOTO⁽¹⁾, Hiromitsu OSHIMA⁽²⁾, Tokumitsu MAEKAWA⁽²⁾, Jun OIKAWA⁽³⁾,
Tadaomi SONODA⁽¹⁾, Shuhei OKUBO⁽³⁾, Yoshiyuki TANAKA⁽³⁾, Yuichi IMANISHI⁽³⁾,
Atushi WATANABE⁽³⁾, Mamoru SAKA⁽³⁾ and Takahito KAZAMA⁽⁴⁾

(1) 京都大学防災研究所

(2) 北海道大学大学院理学研究院

(3) 東京大学地震研究所

(4) 京都大学大学院理学研究科

(1) Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

(2) Graduate School of Science, Hokkaido University

(3) Earthquake Research Institute, University of Tokyo

(4) Graduate School of Science, Kyoto University

Synopsis

The 15th precise gravity measurements were conducted in Sakurajima volcano and around Kagoshima Bay in October-November 2013 by using the LaCoste gravimeters. At each measurement point of the LaCoste gravimeters, the absolute gravity value was obtained by referring to the station of FG5 absolute gravimeter. Observed gravity changes around the central region of the volcano during the recent 5 years including measurements in 2013 are evaluated after the application of the hydrological disturbance correction. As a result, no remarkable gravity changes are detected in comparison with the gravity in 2007 and that during the period of the decreased volcanic activities in 1990s, except the large temporary gravity decrease in 2009 whose causes are not resolved at this time. It is suggested that the gravity increase observed during the period of active stage with continuous summit eruptions in 1970s and 1980s still stops, in spite of the recent increase of the eruptive activity at Showa crater.

キーワード: 桜島火山, 精密重力測定, 火山活動, 地下水擾乱補正

Keywords: Sakurajima volcano, precise gravity measurement, volcanic activity, hydrological disturbance correction

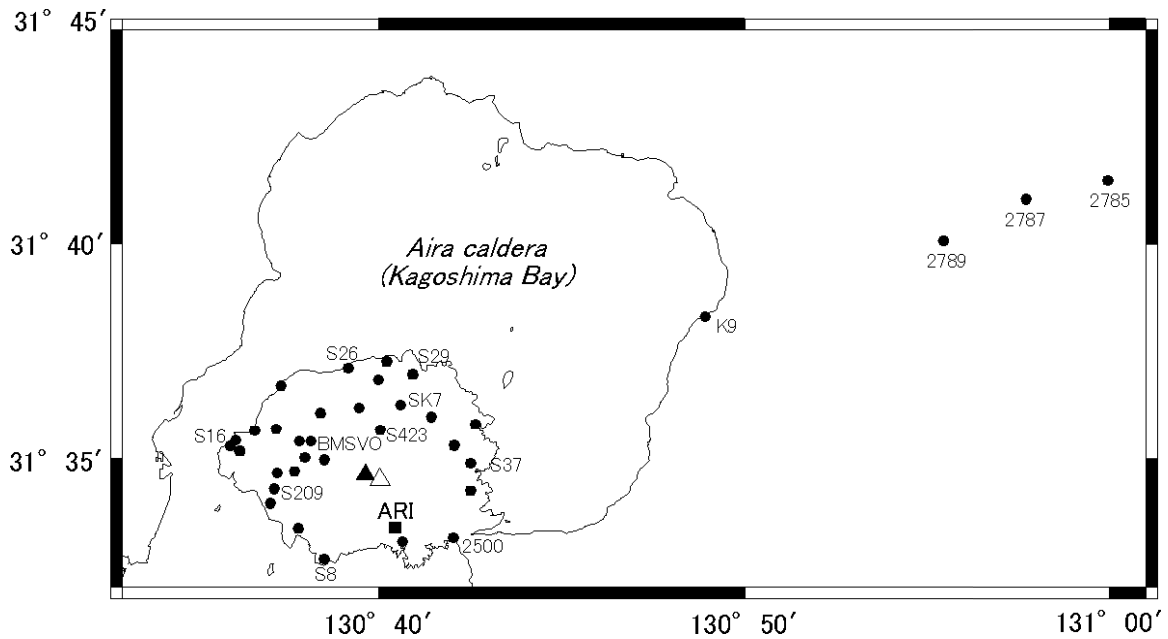


Fig. 1 Location map of the stations of precise gravity measurements in October and November 2013 (solid circles). Solid square denotes the FG5 absolute gravity station (ARI). Solid and open triangles indicate the locations of the summit and Showa craters of Sakurajima volcano, respectively.

1. はじめに

桜島および鹿児島湾周辺域では、ラコスト重力計を用いた精密相対重力測定が1975年に開始され、桜島火山の集中総合観測の一環として2007年までに10回繰り返されてきた(田島ら, 1975, 1977; 石原ら, 1980, 1982, 1986, 1988, 1989, 1995; 山本ら, 1998, 2008)。その結果, 1970年代後半から1980年代にかけての山頂噴火活動活発期に、桜島および鹿児島湾を中心とした重力の増加傾向が継続してきた事が明らかにされ、桜島中央部地下において密度および質量の増加現象が進行してきた事を示すものと解釈された(石原ら, 1986; 石原, 1990; Yokoyama, 1989)。一方, 1990年代以降の山頂噴火活動静穏化後である1998年からは、ラコスト重力計による精密相対重力測定に加えてmicro-g社製FG5絶対重力計を用いた絶対重力測定が開始され、過去に観測されていた桜島中央部における重力増加がほぼ停止した事が指摘された(山本ら, 2003)。

平成21年度より開始された「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」における課題「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」の一環として、これまで行われてきた集中総合観測における重力測定を引き継ぐ形で、

2009年10月から桜島および鹿児島湾周辺において、ラコスト重力計を用いた精密相対重力測定が行われている(山本ら, 2010, 2011, 2012, 2013a)。今回, 2013年10月および11月に15回目の再測定を実施した。本稿では、この測定の概要および測定結果について報告する。また、この課題研究の5カ年の測定によって得られた桜島中央部付近の重力変動についても述べる。

2. 重力測定

今回の測定点をFig. 1に示した。これらの測定点のうち、桜島内の測定点については前回である2012年10月・11月に実施された重力測定(山本ら, 2013a)における測定点と同一である。鹿児島湾周辺の測定点については、今回は測定を実施しない予定であったが、測定期間内に多少の時間的余裕が生じたため、K.9, BM.2789, BM.2787, BM.2785の4点において測定を行った。

精密相対重力測定にはLaCoste & Romberg G型重力計を使用した。測定は、北海道大学、東京大学および京都大学が担当し、2013年10月28日～10月31日(桜島内の測定)および11月1日(鹿児島湾周辺の測定)に、G31, G375, G891, G892の4台の重力計を用い

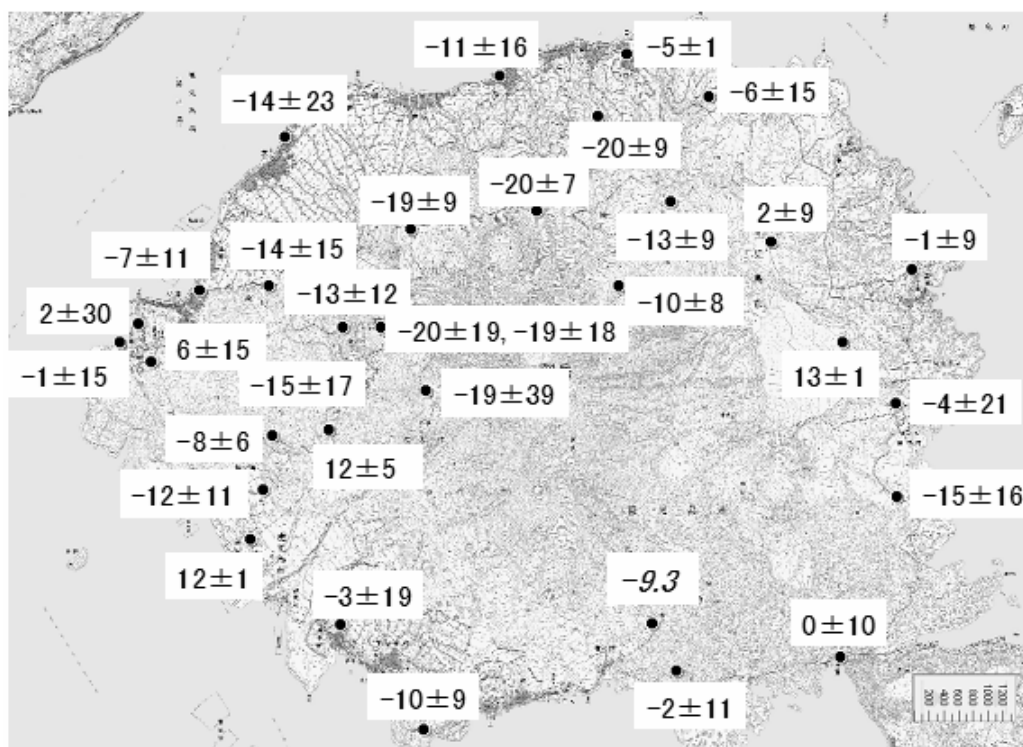


Fig. 2 Absolute gravity changes at stations in Sakurajima during the period from October-November 2012 to October 2013. The absolute gravity change at ARI (denoted by italic number) is calculated by using the data of FG5 absolute gravimeter. The unit of gravity changes is in microgal.

て測定を行った。測定はすべて往復測定で、測定値には計器高補正、地球潮汐補正およびドリフト補正を施した。

ラコスト重力計を用いた相対重力測定に際しては、2009年、2010年、2011年および2012年の測定と同様、今回の測定においてもFG5絶対重力計による絶対重力連続観測(Okubo et al., 2013; 大久保ら, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014)が行われている桜島南部の国土交通省有村観測坑道の絶対重力測定点(Fig. 1中のARI)との接続測定を考慮し、ラコスト重力計による全ての測定点において絶対重力値が求まるようにした。

3. 測定結果および地下水擾乱補正

今回2013年10月・11月の測定値と前回2012年10月・11月に実施された精密重力測定(山本ら, 2013a)の測定値を比較し、この期間の重力変化量を見積もった。山本ら(2010, 2011, 2012, 2013a)と同様に、前回・今回の測定で共通に使用したラコスト重力計について(桜島内の測定についてはG31, G375, G892の3台)、重力計ごとに各測定点の絶対重力値を前回

と今回で比較し、それらの重力差を測定点ごとに平均することで重力変化量を見積もった(Fig. 2)。図には、それら重力差の標準偏差も示した。なお、鹿児島湾周辺の測定点(K.9, BM.2789, BM.2787, BM.2785)については、交通量の多い場所に存在し、測定に際して大型自動車等の通行に伴う擾乱の影響を受けることが多いが、前回・今回の測定で共通に使用した1台の重力計G892の測定誤差が大きく、議論に堪え得る精度の重力変化量は得られなかった。

Fig. 2を見ると、各点における重力差の標準偏差はおおむね±20マイクロガル以下であり、測定重力値中の誤差は±20マイクロガル程度であると考えられる。得られた重力変化量を見ると、絶対重力値が減少した点が多く見られる傾向があることが分かる。測定誤差と考えられる20マイクロガルを有意に超えるような大きさの重力変化ではないものの、山体中央部に近い山腹の測定点においては、その重力減少量が大きくなる傾向が見受けられる。

風間ら(2014)や山本ら(2012, 2013a)によると、桜島で2007年から2012年の期間にラコスト重力計を用いて観測された山腹付近の大きな重力変動の大部

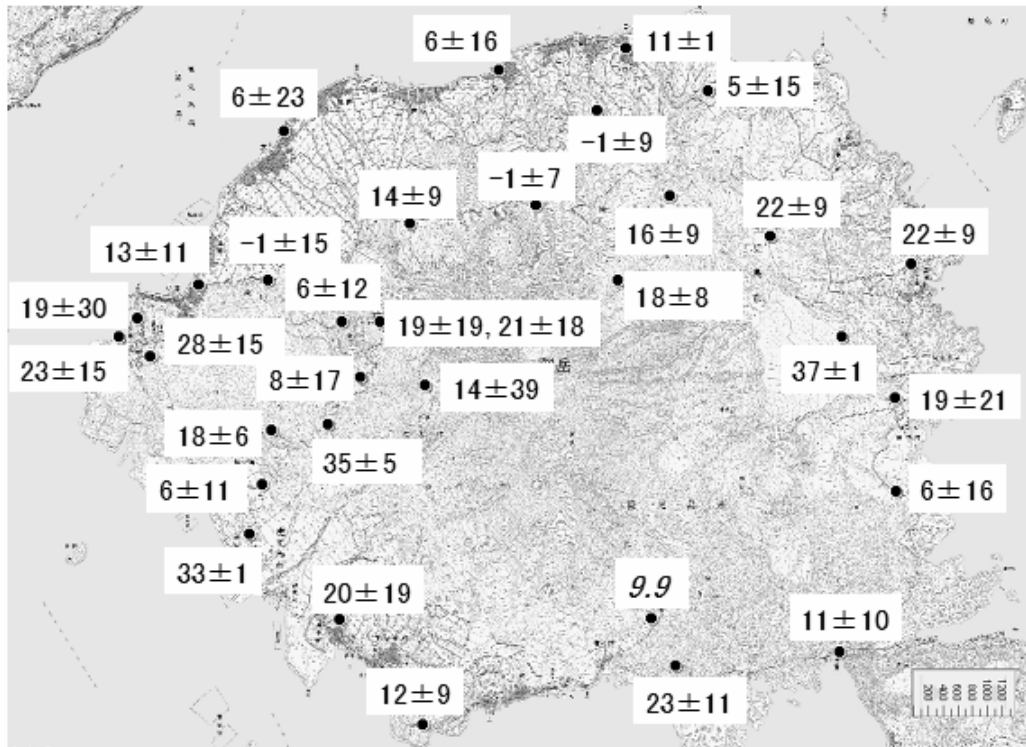


Fig. 3 Same as Fig. 2, but the absolute gravity changes are corrected by the hydrological disturbance correction.

分が地下水擾乱に伴う重力変動によるものであることが明らかとなっている。そこで、山本ら（2012, 2013a）と同様に、風間ら（2014）の手法で計算される地下水擾乱補正をFig. 2の結果に適用してみた（Fig. 3）。

計算された2012年10月・11月から2013年10月の期間の各重力測定点における地下水擾乱補正量は、最大で40マイクロガル（重力減少）に及んだ。Fig. 3を見ると、地下水擾乱補正を施した結果、重力増加を示す点が多く見られる傾向となった。重力増加量は多くの点で測定誤差と考えられる20マイクロガル以下であるが、これを超える重力増加が生じているように見える点も少なからず存在し、また、その地理的分布傾向は、地域性があまり見られず、ほぼ桜島全域にわたり分布しているように見受けられる。

水準測量結果の解析によると、今回の重力データの解析期間とほぼ同期である2012年11月・12月から2013年10月・11月の期間における地盤上下変動量は、始良カルデラ中央部地下約8.7 kmの深さに存在する増圧源および桜島中央部地下約3.0 kmの深さに存在する減圧源によって説明される（山本ら, 2014）。これらの圧力源から期待される重力変化は、桜島北部の測定点において2マイクロガル程度の重力減少、

また桜島中央部付近の測定点においては最大で1マイクロガル程度の重力増加である。この圧力源解析は、桜島内の水準測量データに基づいて行われたものであるが、桜島外である鹿児島市街地を基準点とした場合の桜島内の地盤上下変動量を見ても1 cm（フリーエア勾配を用いて重力変化に換算すると約3マイクロガル）以下であり、Fig. 3に見られるような桜島全域にわたる重力増加が、火山活動に伴う地盤変動や質量変化によって生じることは考えにくい。測定誤差と考えられる20マイクロガルを超える大きさの重力増加を示す点が少なからず存在することも考え合わせると、Fig. 3における地下水擾乱補正量はやや過大に見積もられている可能性があり、高精度に火山活動に関する重力変動を抽出するためには地下水擾乱補正法をさらに高精度化する必要があるように思われる。

4. 最近5カ年の桜島中央部付近の重力変動

Fig. 4は、桜島西端のBM.S.16を基準点とし、山頂火口に最も近い重力測定点の一つであるBMSVOにおける重力変化と水準測量による比高変化（例えば、山本ら, 2013b）の関係を示した図である。今回の測

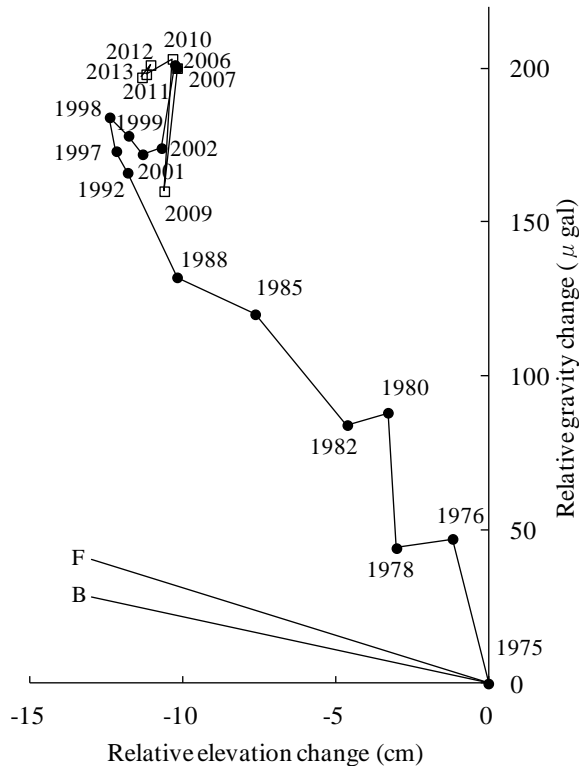


Fig. 4 Relation between relative gravity change and relative elevation change at BMSVO, taking the reference point of BM.S.16 located in western coast of Sakurajima (solid circles). Open rectangles denote the data of recent 5 years, which are corrected by the hydrological disturbance correction.

定結果を含む最近5カ年の重力変化について地下水擾乱補正を施し、山本ら (2008) の図3にこれらを加えて表示した (図中の白四角)。図中の直線Fはフリーエア勾配 ($-3.086 \mu \text{ gal/cm}$) を、直線Bは地下の岩石密度を 2.2 g/cm^3 とした場合のブーゲー勾配 ($-2.160 \mu \text{ gal/cm}$) を示している。1992年頃まで、活発な山頂噴火活動に伴う緩やかな地盤沈降と並行して桜島中央部で重力増加が進行してきたが (石原ら, 1986; 石原, 1990; Yokoyama, 1989), それ以降、山頂噴火活動静穏化に対応して、重力増加がほぼ停止してきている事が指摘されている (山本ら, 1998, 2003, 2008)。

2007年以降では、若干の地盤沈降傾向の中、2009年には2007年と比較して40マイクロガルの重力減少を生じた後2010年には43マイクロガル重力が増加、その後は5マイクロガルを超えるような変動は見られない。2009年の大きな重力変化の主な原因として、

風間ら (2014) は、(1) 陸水補正後の重力データに火山起源の変動が含まれている可能性、(2) 相対重力データそのものに誤差が含まれている可能性、(3) 陸水擾乱補正が不十分である可能性、の3つを指摘している。現時点で、これらのうちのどれが主原因なのかは解明できてはいないが、これらの要因が複合しているものと考えられ、今後陸水擾乱補正のさらなる高精度化から研究を進め解明の糸口を探る予定である。2010年以降については、 ± 20 マイクロガル程度と考えられる測定誤差を考慮すると、1990年代後半の山頂噴火活動静穏期や2007年の重力値からほとんど変化していないと考えられ、昭和火口における噴火活動が活発化してきている状況の中、依然として過去に観測されてきた重力増加がほぼ停止していることが示唆される。

5. まとめ

2013年10月および11月に桜島火山および鹿児島湾周辺域において、ラコスト重力計を用いた15回目の精密重力測定を実施した。また、FG5絶対重力計による絶対重力測定点との接続測定を行うことにより相対重力測定を行った全ての地点の重力値を絶対値で求めた。

2012年10月・11月 (前回) の測定結果と比較を行い、2013年10月・11月までの期間の絶対重力変化量を計算した。その結果、絶対重力値が減少した点が多く見られ、測定誤差を有意を超えるような大きさの重力変化ではないものの、山体中央部に近い山腹の測定点において、その重力減少量が大きくなる傾向が見受けられた。この重力変化量に、地下水擾乱補正を施したところ、その補正量は最大で40マイクロガルに及び、重力増加を示す点が多く見られる傾向となった。重力データの解析期間とほぼ同期間で行われた水準測量結果も考慮すると、この地下水擾乱補正量はやや過大に見積もられている可能性があり、高精度に火山活動に関する重力変動を抽出するためには地下水擾乱補正法をさらに高精度化する必要があることが指摘される。

最近5カ年の桜島中央部付近の重力変化について地下水擾乱補正を施したところ、2009年に大きな重力減少が検出された。これが何に起因するものなのか、現時点では解明できてはいないが、2010年以降については、1990年代後半の山頂噴火活動静穏期間や2007年の重力値からほとんど変化していないと考えられ、昭和火口における噴火活動が活発化してきている状況の中、過去の噴火活動活発期に観測されてきた重力増加が依然としてほぼ停止している状態であることが示唆される。

謝 辞

重力測定に際して、いろいろな面でお手伝いいただいた京都大学防災研究所附属火山活動研究センターの皆様には感謝いたします。本研究は文部科学省による「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の支援を受けました。

参考文献

石原和弘 (1990) : 地盤変動・重力等の測定によるマグマ活動の検知, 火山, 第34巻, pp. S235-S246.
石原和弘・大島弘光・横山泉・田島広一 (1980) : 桜島および鹿児島湾周辺における重力の精密測定, 第3回桜島火山の集中総合観測, pp. 34-40.
石原和弘・大島弘光・前川徳光・植木貞人・沢田宗久 (1995) : 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定, 第8回桜島火山の集中総合観測, pp. 37-44.
石原和弘・沢田宗久・大久保修平・植木貞人・宮町宏樹・前川徳光 (1989) : 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定, 第7回桜島火山の集中総合観測, pp. 33-39.
石原和弘・宮町宏樹・横山泉・田島広一・沢田宗久 (1988) : 桜島および鹿児島湾周辺における重力の精密測定, 第6回桜島火山の集中総合観測, pp. 47-53.
石原和弘・横山泉・前川徳光・田島広一 (1982) : 桜島および鹿児島湾周辺における重力の精密測定, 第4回桜島火山の集中総合観測, pp. 39-45.
石原和弘・横山泉・前川徳光・田島広一 (1986) : 桜島および鹿児島湾周辺における重力の精密測定, 第5回桜島火山の集中総合観測, pp. 33-40.
大久保修平・風間卓仁・山本圭吾・井口正人・田中愛幸・菅野貴之・今西祐一・渡邊篤志・坂守 (2011) : 桜島火山における絶対重力観測 (2), 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度分報告書, pp. 55-60.
大久保修平・風間卓仁・山本圭吾・井口正人・田中愛幸・菅野貴之・今西祐一・渡邊篤志・坂守 (2012) : 桜島火山における絶対重力観測 (3), 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成23年度分報告書, pp. 65-70.
大久保修平・菅野貴之・風間卓仁・山本圭吾・井口正人・田中愛幸・孫文科・高山鐵朗・坂守・松本滋夫 (2010) : 桜島火山における絶対重力観測, 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成21年度分報告書, pp. 65-71.
大久保修平・山本圭吾・田中愛幸・井口正人・今西

祐一・渡邊篤志・坂守 (2013) : 桜島火山における絶対重力観測 (4), 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成24年度分報告書, pp. 65-69.

大久保修平・山本圭吾・田中愛幸・井口正人・今西祐一・渡邊篤志・坂守 (2014) : 桜島火山における絶対重力観測 (5), 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成25年度分報告書, (本報告書) .

風間卓仁・山本圭吾・福田洋一・井口正人 (2014) : 相対重力データに対する陸水擾乱補正の重要性: 桜島火山を例に, 測地学会誌, 第60巻, pp. 73-89.

田島広一・伊筒屋貞勝・大島弘光・大川史郎・横山泉・石原和弘 (1977) : 桜島および鹿児島湾周辺における重力の精密測定, 第2回桜島火山の集中総合観測, pp. 45-56.

田島広一・萩原幸男・大川史郎・横山泉 (1975) : 桜島および鹿児島湾周辺における重力精密測定, 桜島火山の総合調査報告, pp. 50-57.

山本圭吾・大久保修平・古屋正人・新谷昌人・松本滋夫・高山鐵朗・石原和弘 (2003) : 桜島火山における絶対重力測定 (1998年~2002年), 京都大学防災研究所年報, 第46号B, pp. 827-833.

山本圭吾・大島弘光・前川徳光・植木貞人・及川純・園田忠臣・大久保修平・田中愛幸・今西祐一・渡邊篤志・坂守・風間卓仁 (2013a) : 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定 (2012年10月および11月), 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成24年度分報告書, pp.59-64.

山本圭吾・園田忠臣・高山鐵朗・大島弘光・前川徳光・植木貞人・及川純・大久保修平・菅野貴之・風間卓仁・田中愛幸・孫文科 (2010) : 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定 (2009年10月), 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成21年度分報告書, pp.59-63.

山本圭吾・園田忠臣・大島弘光・前川徳光・植木貞人・及川純・大久保修平・今西祐一・田中愛幸・菅野貴之・坂守・渡邊篤志・風間卓仁・福田洋一 (2011) : 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定 (2010年9月および10月), 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度分報告書, pp.49-53.

山本圭吾・園田忠臣・大島弘光・前川徳光・植木貞人・及川純・大久保修平・今西祐一・田中愛幸・武多昭道・坂守・渡邊篤志・風間卓仁 (2012) : 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定 (2011年10月), 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成23年度分報告書,

pp.59-64.

山本圭吾・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫・大倉敬宏・横尾亮彦・吉川慎・井上寛之・諏訪博之・松島健・藤田詩織・神薊めぐみ (2013b) : 水準測量によって測定された桜島火山周辺域の地盤上下変動—2012年11月および12月測量の結果—, 京都大学防災研究所年報, 第56号B, pp.187-195.

山本圭吾・高山鐵朗・石原和弘・大島弘光・前川徳光・植木貞人・沢田宗久・及川純 (1998) : 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定, 第9回桜島火山の集中総合観測, pp. 47-55.

山本圭吾・高山鐵朗・山崎友也・大島弘光・前川徳光・植木貞人・松本滋夫・菅野貴之・及川純 (2008) : 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力および絶対重力測定, 第10回桜島火山の集中総合観測—2007年6月~2008年3月—, pp. 63-68.

山本圭吾・松島健・吉川慎・大倉敬宏・横尾亮彦・相澤広記・井上寛之・三島壮智・内田和也・園田忠臣・関健次郎・小松信太郎・堀田耕平・高橋温志・豊福隆史・浅野晴香・成田次範 (2014) : 桜島火山

および始良カルデラ周辺域の地盤上下変動 : 2013年10月・11月実施の水準測量結果, 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年5月1日, 横浜市.

Okubo, S., Kazama, T., Yamamoto, K., Iguchi, M., Tanaka, Y., Sugano, T., Imanishi, Y., Sun, W., Saka, M., Watanabe, A. and Matsumoto, S. (2013): Absolute gravity variation at Sakurajima volcano from April 2009 through January 2011 and its relevance to the eruptive activity of Showa crater, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 58, pp. 153-162.

Yokoyama, I. (1989): Microgravity and height changes caused by volcanic activity: four Japanese examples, Bull. Volcanol., Vol. 51, pp. 333-345.