

水準測量によって測定された桜島火山の地盤上下変動 —2014年11月測量の結果—

Vertical Ground Deformation in Sakurajima Volcano Measured by Precise Leveling Survey Conducted in November 2014

山本圭吾・吉川慎⁽¹⁾・松島健⁽²⁾・大倉敬宏⁽¹⁾・横尾亮彦⁽¹⁾・井上寛之⁽¹⁾・三島壮智⁽¹⁾・
内田和也⁽²⁾・園田忠臣・関健次郎・小松信太郎・堀田耕平⁽¹⁾・藤田詩織⁽²⁾

Keigo YAMAMOTO, Shin YOSHIKAWA⁽¹⁾, Takeshi MATSUSHIMA⁽²⁾, Takahiro OHKURA⁽¹⁾,
Akihiko YOKOO⁽¹⁾, Hiroyuki INOUE⁽¹⁾, Taketoshi MISHIMA⁽¹⁾, Kazunari UCHIDA⁽²⁾,
Tadaomi SONODA, Kenjiro SEKI, Shintaro KOMATSU, Kohei HOTTA⁽¹⁾ and Shiori FUJITA⁽²⁾

(1) 京都大学大学院理学研究科

(2) 九州大学大学院理学研究院

(1) Graduate School of Science, Kyoto University, Japan

(2) Faculty of Sciences, Kyushu University, Japan

Synopsis

We conducted the precise leveling survey in Sakurajima volcano in November 2014, in order to evaluate the vertical ground deformation associated with the recent eruptive activity. The measured survey data are compared with those of the previous survey, resulting in the relative vertical displacements during the period from November 2013 to November 2014. The results show that no remarkable vertical displacements are seen at bench marks around the northern part of Sakurajima, where the ground uplifts have been observed since around 1993. It is suggested that the magma storage at the magma reservoir beneath Aira caldera is less progressing. The resultant displacements also indicate the ground subsidence near the central part of this volcano, reflecting the deflation of the magma reservoir located beneath Minamidake (or Showa) crater, caused by the recent increase of the volume of ejected magma associated with the eruptive activity at Showa crater.

キーワード: 桜島火山, 始良カルデラ, 精密水準測量, 地盤上下変動

Keywords: Sakurajima volcano, Aira caldera, precise leveling survey, vertical ground deformation

1. はじめに

桜島火山および始良カルデラ周辺域においては、1955年から始まった山頂噴火活動活発化以降、桜島の火山活動に伴う地盤の上下変動を測定するための水準測量が繰り返されてきた (Yoshikawa, 1961 ; 江

頭, 1967, 1971, 1989) .

1990年代以降においては、山頂噴火活動の静穏化に伴ってマグマの放出量が減り、始良カルデラ地下の深さ約10 kmに推定されるマグマ溜りの増圧によって桜島北部の地盤がそれまでの沈降から隆起に転じたことが1996年の水準測量により確認された(江

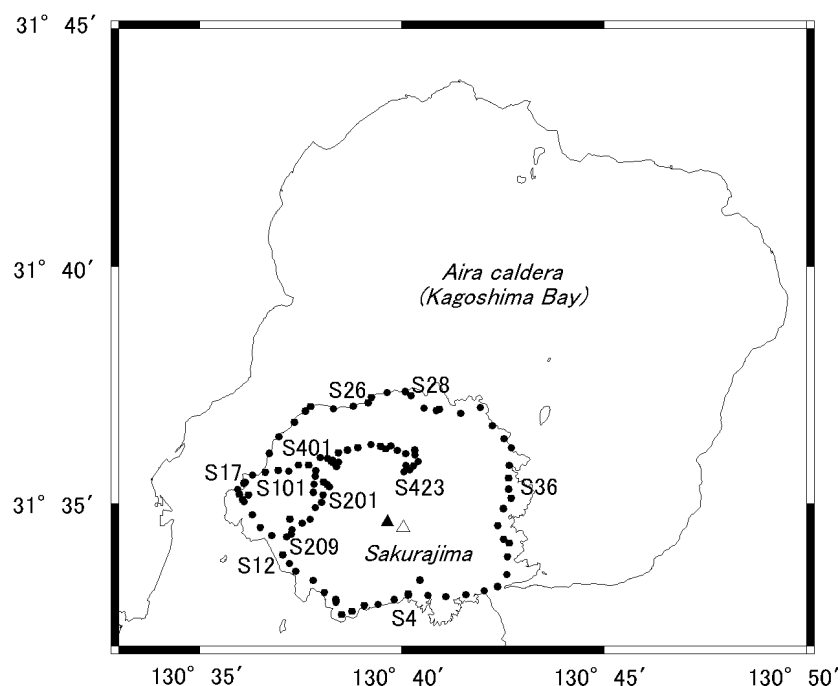


Fig. 1 Leveling bench marks measured in the November 2014 survey (solid circles). Solid and open triangles indicate the locations of Minamidake and Showa craters of Sakurajima volcano, respectively.

頭ら, 1997). この桜島北部の地盤隆起傾向は, 1996 年以降も最近まで継続している (Yamamoto et al., 2013; 山本ら, 2008, 2014). 一方で, 噴火活動としては, 2006年6月から始まった昭和火口における噴火活動が近年激化する傾向が見られ (井口ら, 2011; 井口, 2014; Iguchi et al., 2013), 2010年から2013年には年間に800回を超える爆発的噴火が発生, 2014年も年間の爆発回数が500回近くになるなど活発な状態が続いている.

平成21年度から平成25年度に実施された「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の一環として, 2009年11月および2010年4月 (山本ら, 2010), 2010年11月 (山本ら, 2011), 2011年11月 (山本ら, 2012), 2012年11月・12月 (山本ら, 2013), 2013年10月・11月 (山本ら, 2014) と水準測量を行ってきた. 平成26年度からは「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」における課題「桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究」が開始され, この一環として前計画に引き続き, 2014年11月に桜島火山において一等水準測量の繰返し観測を実施した. 本稿では, この測量の概要および結果を示し, 最新の桜島火山における地盤の上下変動量について報告する.

2. 水準測量の概要

2014年11月に水準測量を実施した路線をFig. 1に示す. 2013年11月の前回測量 (山本ら, 2014) で実施した路線のうち, 海岸線に沿って桜島を一周する桜島一周道路ルート (BM.S.17~BM.S.26~BM.S.36~BM.S.4~BM.S.17), 桜島西部山腹のハルタ山登山ルート (BM.S.101~BM.S.108~BM.S.209) および桜島北部山腹の北岳ルート (BM.S.401~BM.S.423) において水準測量を実施した. これらの測量ルートの総延長は約56 kmであった.

これらの路線を, 大学合同で3測量班を構成し, 2014年11月5日~20日の日程で測量に当たった. 測量に使用した機材は, 自動読み取りデジタルレベル (Leica DNA03, ソキアSDL1X)およびインバーバルコード標尺 (Wild GPCL3, ソキアBIS30A)である. 測量方法は, 各水準点間の往復測量で, その往復差は水準点間距離をL kmとしたときの一等水準測量の許容誤差である $2.5 \times \sqrt{L}$ mm以内を, また水準環を形成する路線においては水準環閉塞誤差が水準環路線距離をS kmとしたときの一等水準測量の許容誤差である $2.0 \times \sqrt{S}$ mm以内を満たすようにした. 実際の測量における誤差は, 1 km当りの平均自乗誤差が桜島一周道路ルート, ハルタ山登山ルートおよび北岳ルー

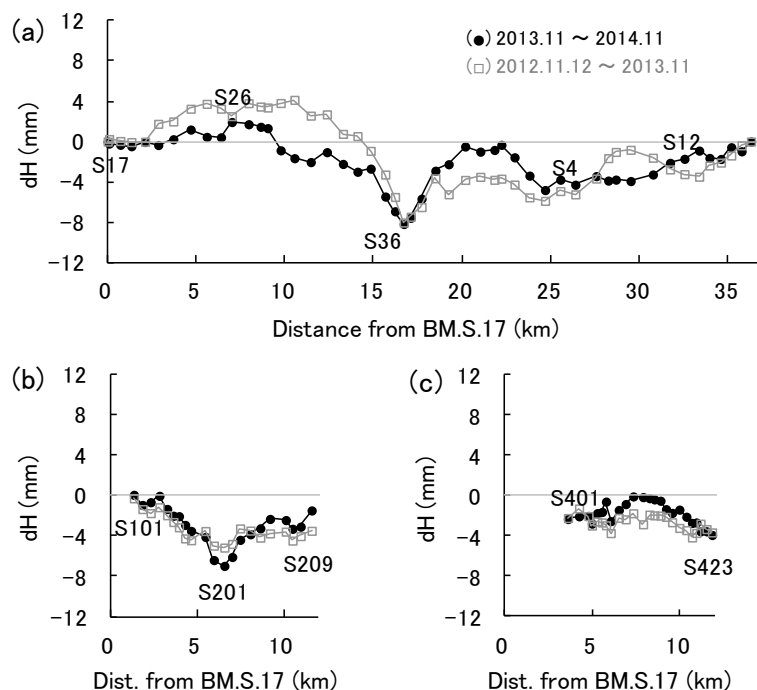


Fig. 2 Vertical displacements of the bench marks in Sakurajima volcano referred to BM.S.17 which is located at the western coast of Sakurajima during the period from November 2013 to November 2014 (solid circles). Vertical displacements during the period from November-December 2012 to November 2013 (gray open rectangles) are also plotted for comparison. (a): Sakurajima coast route, (b): Sakurajima western flank (Harutayama) route, (c): Sakurajima northern flank (Kitadake) route.

トにおいてそれぞれ ± 0.32 mm/km, ± 0.31 mm/km, ± 0.25 mm/km, 水準環閉塞誤差は桜島一周道路ルートおよびハルタ山登山ルートにおいて時計回りにそれぞれ2.3 mm (一周約36 km; 許容誤差12.1 mm), 2.2 mm (一周約15 km; 許容誤差7.6 mm) であり高精度の一等水準測量であった。

3. 測量結果

これまで行われてきた水準測量と同様, 桜島西岸の水準点BM.S.17 (袴腰検潮室) を不動点 (基準) とし, 各水準点の比高値を計算した。計算された各水準点における比高値を前回の2013年11月に行われた水準測量結果 (山本ら, 2014) と比較した。Fig. 2に, その結果求められた各水準点における2013年11月から2014年11月の期間の上下変動量を水準点BM.S.17からの路線距離に対してプロットして示した (黒丸)。また, 同図には比較のために, 2012年11月・12月から2013年11月の期間の上下変動量 (山本ら, 2014) も併せて示した (灰四角)。

2013年11月~2014年11月の期間における桜島一周

道路ルート of the 上下変動量 (Fig. 2a中の黒丸) からは, 桜島北部付近の地盤上下変動量は2 mm以内であったことが確認される。桜島北部の地盤においては, 1993年頃からの山頂噴火活動の静穏化に伴い再開した始良カルデラ地下のマグマ溜りにおけるマグマの貯留 (江頭ら, 1997) を反映すると考えられる地盤隆起が観測されてきた (Yamamoto et al., 2013; 山本ら, 2014)。Fig. 2a中の灰四角のプロットに見られるように, 2012年11月・12月~2013年11月の約1年間に桜島北部において測定された最大の隆起量は4.1 mmと, 隆起速度が桜島北部の地盤において始良カルデラ増圧期に平均的に見られる隆起速度に比べて半分程度と比較的小さかった (山本ら, 2014) が, 2013年11月~2014年11月の1年間ではさらに小さくなり, 地盤隆起がほぼ停滞した状態となっている。始良カルデラ下のマグマ溜りにおける増圧傾向 (マグマの貯留) は, この1年間停滞している可能性がある。なお, これまでの水準測量で確認されてきたBM.S.36 (東部, 黒神) およびBM.S.4 (南部, 有村) 付近で認められる局所的な地盤沈降 (例えば, 江頭ら, 1997) は, この期間の測量結果においても見受けられる。

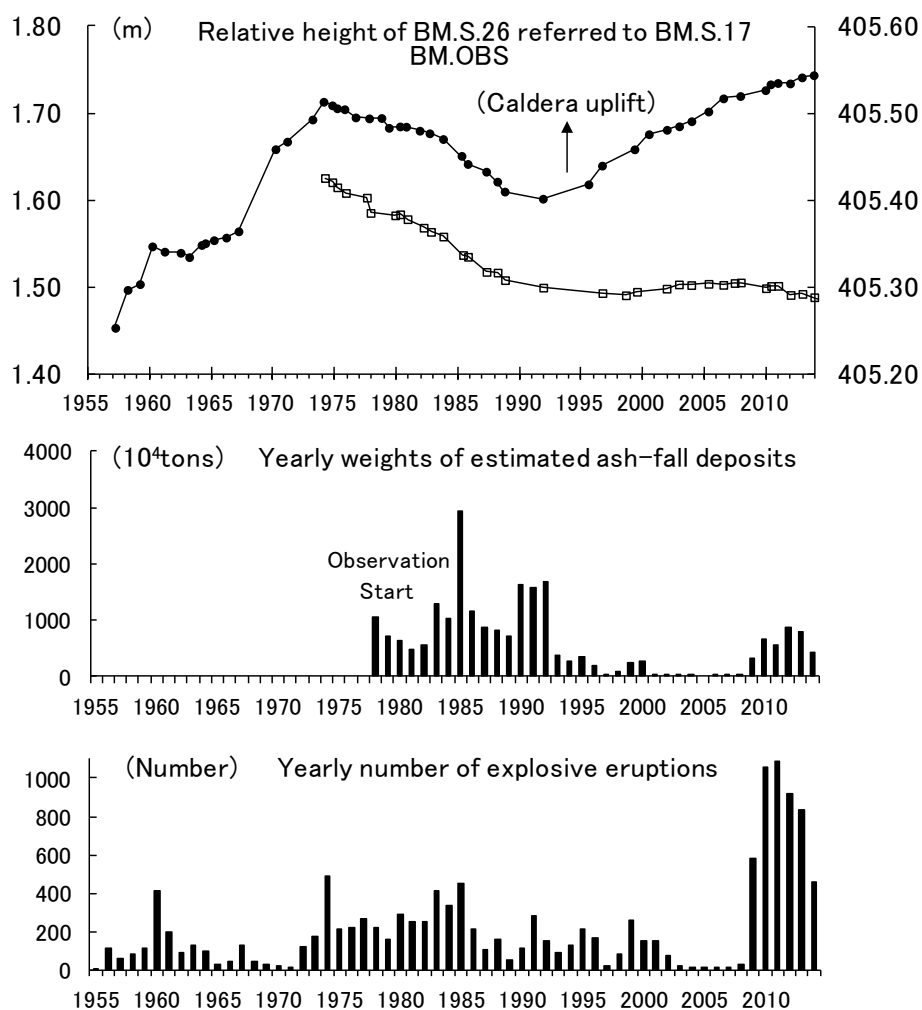


Fig. 3 Relation among secular change of relative heights of BM.S.26 (solid circles: refer to the left-hand side vertical axis) and BM.OBS (open rectangles: refer to the right-hand side vertical axis) referred to BM.S.17, yearly weights of estimated volcanic ash-fall deposits and yearly number of explosive eruptions at the summit and Showa craters of Sakurajima volcano.

一方で、桜島中央部に近いハルタ山登山ルートおよび北岳ルートの水準点においては、最大で7.0 mm (BM.S.201) におよぶ地盤の沈降が確認された (Figs. 2b and 2c). 桜島中央部付近における地盤沈降は、2012年11月・12月～2013年11月の期間 (Figs. 2b and 2c の灰四角) においても比較的同様の変動パターンで見られているが、2007年10月・12月～2009年11月および2010年11月～2011年11月の期間においても確認されている (山本ら, 2010, 2012). これらは、南岳 (昭和火口) 直下のマグマ溜りにおける減圧、すなわちマグマの放出量が供給量を上まっただことを示唆しており、近年の昭和火口における活発な噴火活動を反映しているものと考えられる。

4. 地盤上下変動の経年変化

Fig. 3に、BM.S.17 (袴腰検潮室) を基準にした桜島北部のBM.S.26 (松浦神社) および桜島中央部に近いBM.OBS (ハルタ山観測室) の1957年以降の比高変化、山頂火口および昭和火口から放出された降下火山灰の推定年間総量および山頂火口および昭和火口における年間の爆発的噴火回数を示した。

2009年以降、昭和火口における噴火活動が激化し、それに伴い降下火山灰量の推定年間総量 (マグマの放出量) も増加傾向であることがFig. 3から見て取れる。このような状況のなか、桜島北部における地盤隆起は継続し、2014年11月時点において地盤沈降の兆しは見えていない。BM.S.26の隆起状態は、1970

年代後半および1980年代の活発な山頂噴火活動の開始期である1973・74年頃の隆起状態を2006年にほぼ回復した後も更に隆起が継続した状態となっている。

一方で、桜島中央部付近の地盤は、2007年以降、沈降の傾向がより明瞭になってきたように見える。南岳（昭和火口）直下のマグマ溜りにおいてマグマの放出量が供給量を上まってきたことを示しており、これがさらに進行すれば、山本ら（2014）で指摘されたように始良カルデラ地下のマグマ溜まりにおいてもマグマの放出が卓越する状態となる可能性があると考えられる。

5. おわりに

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」における課題「桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究」の一環として2014年11月に桜島火山において一等水準測量の繰返し観測を実施した。測量結果の検討から得られた知見は次の通りである。

- [1] 桜島北部における地盤上下変動量は、2013年11月～2014年11月の期間において2 mm以内であった。1990年代以降桜島北部では、始良カルデラ地下のマグマ溜りにおけるマグマの貯留を反映すると考えられる地盤隆起が観測されてきたが、地盤隆起量は前期間（2012年11月・12月～2013年11月）よりさらに小さくなり、地盤隆起がほぼ停滞した状態となっている。
- [2] 桜島中央部に近い水準点では、最大で約7 mmにおよぶ地盤沈降が確認された。このような桜島中央部付近における地盤沈降は、昭和火口の噴火活動が活発化してきた2007年～2009年、2010年～2011年および2012年～2013年の期間における水準測量結果においても確認されている。
- [3] これらの結果は、2013年11月～2014年11月の期間、始良カルデラ地下のマグマ溜りにおける増圧傾向（マグマの貯留）は停滞している可能性があることを示唆する。一方で、桜島中央部沈降（収縮）の傾向はより明瞭になってきたように見え、昭和火口の噴火活動を反映した南岳（昭和火口）直下のマグマ溜りにおけるマグマの放出量の増大を示唆しているものと考えられる。

謝 辞

水準測量の実施に際しては、防災研究所附属火山活動研究センターのスタッフ諸氏にお世話になりました。また、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所および鹿児島森林管理署には、測量時の道

路通行に際してお世話になりました。ここに厚く感謝の意を表します。本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」における「桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究（課題番号1908）」の支援を受けました。

参考文献

- 井口正人（2014）：桜島火山の噴火活動—2013年7月～2014年6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25年度報告書，pp. 1-9.
- 井口正人・太田雄策・植木貞人・為栗健・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫（2011）：2010年桜島火山活動を考える，京都大学防災研究所年報，第54号B，pp. 171-183.
- 江頭庸夫（1967）：火山性地盤変動（III）始良カルデラ周辺の地盤変動と桜島の火山活動，火山，12，pp. 80-88.
- 江頭庸夫（1971）：火山性地盤変動（V）桜島火山における地殻変動観測，京都大学防災研究所年報，第14号A，pp. 97-106.
- 江頭庸夫（1989）：噴火活動に伴う桜島火山および始良カルデラ周辺の地盤変動，京都大学防災研究所年報，第32号B-1，pp. 29-39.
- 江頭庸夫・高山鐵朗・山本圭吾・Muhamad Hendrasto・味喜大介・園田忠臣・松島健・内田和也・八木原寛・王彦賓・木股文昭・宮島力雄・小林和典（1997）：始良カルデラの地盤の再隆起—1991年12月～1996年10月—，京都大学防災研究所年報，第40号B-1，pp. 49-60.
- 山本圭吾・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫・大倉敬宏・吉川 慎・井上寛之・松島 健・内田和也（2010）：桜島火山周辺における水準測量（2009年11月および2010年4月），京都大学防災研究所年報，第53号B，pp. 227-232.
- 山本圭吾・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫・大倉敬宏・吉川 慎・井上寛之・横尾亮彦・松島 健・内田和也・中元真美（2011）：桜島火山周辺における水準測量（2010年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22年度報告書，pp. 29-34.
- 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・堀田耕平・松島 健・内田和也・中元真美（2012）：水準測量による桜島火山の地盤上下変動（2010年11月～2011年11月），京都大学防災研究所年報，第55号B，pp. 155-161.
- 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・神蘭めぐみ (2013) : 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・高山鉄朗・山崎友也・多田光宏・大倉敬宏・吉川 慎・松島 健・内田和也・中元真美・平岡喜文・塩谷俊治・根本盛行 (2008) : 水準測量による桜島火山および始良カルデラ周辺の地盤上下変動—1996年10月から2007年10月—12月まで—, 京都大学防災研究所年報, 第51号B, pp. 247-252.
- 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) : 水準測量によって測定された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月および11月測量の結果—, 京都大学防災研究所年報, 第57号B, pp. 116-124.
- Iguchi, M., Tameguri, T., Ohta, Y., Ueki, S. and Nakao, S. (2013): Characteristics of volcanic activity at Sakurajima volcano's Showa crater during the period 2006 to 2011, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 58, pp. 115-135.
- Yamamoto, K., Sonoda, T., Takayama, T., Ichikawa, N., Ohkura, T., Yoshikawa, S., Inoue, H., Matsushima, T., Uchida, K. and Nakamoto, M. (2013): Vertical ground deformation associated with the volcanic activity of Sakurajima volcano, Japan during 1996-2010 as revealed by repeated precise leveling surveys, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 58, pp. 137-151.
- Yoshikawa, K. (1961): On the crustal movement accompanying with the recent activity of the Volcano Sakurajima (part 1), Bull. Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., 48.

(論文受理日 : 2015年6月11日)