

桜島火山周辺における水準測量（2010年11月）

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***

* 京都大学防災研究所

** 京都大学大学院理学研究科

*** 九州大学大学院理学研究院

要 旨

桜島火山周辺において、2010年11月に一等水準測量を実施した。この測量結果を、2009年11月および2010年4月に実施された水準測量結果と比較した結果、桜島北部の地盤の隆起現象が進行している事が確認された。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主マグマ溜りにおけるマグマの貯留が、昭和火口における噴火活動が活発化しつつある現在も継続していると考えられる。桜島北部の地盤における隆起速度は、2009年11月～2010年4月の期間に急激に増大した後、2010年4月～11月の期間は低下しており、噴火活動と共に今後の地盤変動の推移を注意深く見ていく必要がある。

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

1. はじめに

桜島火山周辺においては、1955年の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; 石原・江頭, 1978; 江頭ら, 1997）。それらの結果から、噴火活動に伴う地盤変動は、桜島北方の始良カルデラ地下の深さ約10 kmに推定される主マグマ溜りと桜島直下約3 kmの深さに推定される副マグマ溜り内のマグマの貯留と放出に伴う現象であるとして説明されている（江頭, 1989）。1990年代以降、山頂噴火活動静穏化に伴ってマグマの放出量が減り、主マグマ溜りの増圧によって桜島北部の地盤変動がそれまでの沈降から隆起に転じたことが1991年から1996年の測量により確認された（江頭ら, 1997）。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（山本ら, 2008, 2010）。噴火活動は、2006年6月から始まった昭和火口における活動が近年激化する傾向が見られ、2010年の1年間には1000回を超える爆発的噴火が発生した。

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、2009年11月および2010年4月の測量（山本ら, 2010）に引き続き、2010年11月に桜島火山周辺域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、2009年11月以降の期間の桜島火山周辺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

2010年11月に水準測量を実施した路線をFig. 1に示す。2009年11月に測量を行った桜島一周道路ルート（BM.S.17～BM.S.26～BM.S.36～BM.S.4～BM.S.17）および島内西部山腹の桜島ハルタ山登山ルート（BM.S.101～BM.S.108～BM.S.209）に加え、今回桜島の北部から中央部における地盤の上下変動をより詳細に把握することを目的として桜島北岳ルート（BM.S.104～BM.S.423）を新設し測量を行った。これら測量ルートの総延長は約56 kmであった。

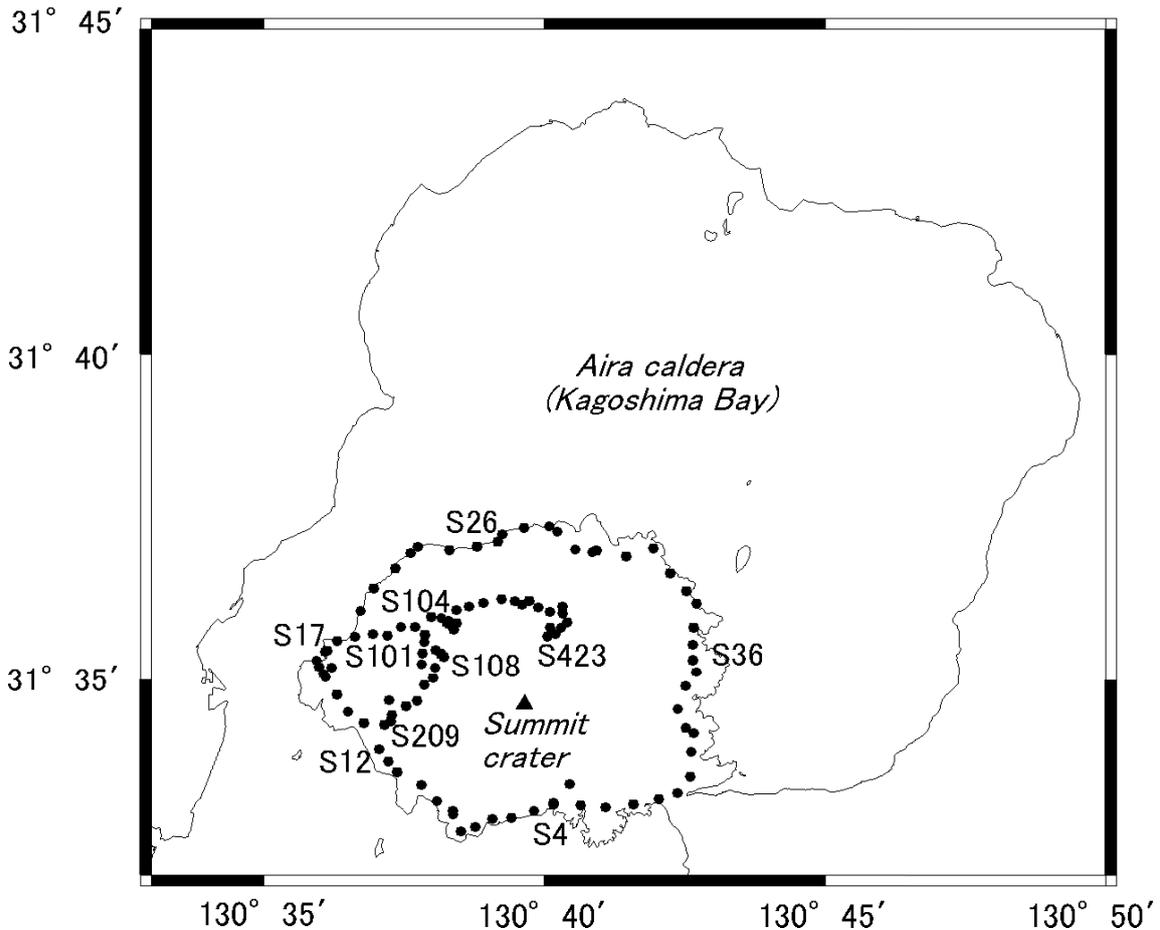


Fig. 1 Leveling bench marks measured in the November 2010 survey (solid circles). Solid triangle indicates the location of the active summit crater of Sakurajima volcano.

これらの路線を、大学合同で3測量班を構成し、2010年11月1日～13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 (Wild NA3003, NA3000) およびインバールバーコード標尺 (Wild GPCL3) 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 以内を満たすようにした。今回の測量における1km当りの平均自乗誤差は、桜島一周道路ルート、桜島ハルタ山登山ルートおよび桜島北岳ルートにおいてそれぞれ ± 0.43 mm/km, ± 0.41 mm/km, ± 0.41 mm/km であり高精度の一等水準測量と言える。ところで、水準環を形成する路線においては水準環路線距離を S km としたときの一等水準測量の水準環閉塞誤差の許容誤差が $2.0 \times \sqrt{S}$ mm であるが、今回の測量における誤差は桜島一周道路ルートおよび桜島ハルタ山登山ルートにおいて時計回りにそれぞれ 2.5 mm

(一周約36 km; 許容誤差12.1 mm) および 8.4 mm (一周約15 km; 許容誤差7.6 mm) となり、桜島ハルタ山登山ルートにおいては許容誤差を 0.8 mm 超えてしまう結果となった。

3. 測量結果

これまで行われてきた水準測量 (例えば、山本ら, 2008, 2010) と同様に桜島西岸の水準点 BM.S.17 (袴腰検潮室) を不動点 (基準) とし、計算された各水準点の比高値を2009年11月および2010年11月のそれぞれに行われた水準測量結果で比較した。Fig. 2 (下段の黒丸) に、その結果求められた各水準点におけるこの測量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。なお、桜島ハルタ山登山ルートの2010年11月の測量結果については、前述の通り水準環閉塞誤差が 8.4 mm と大き

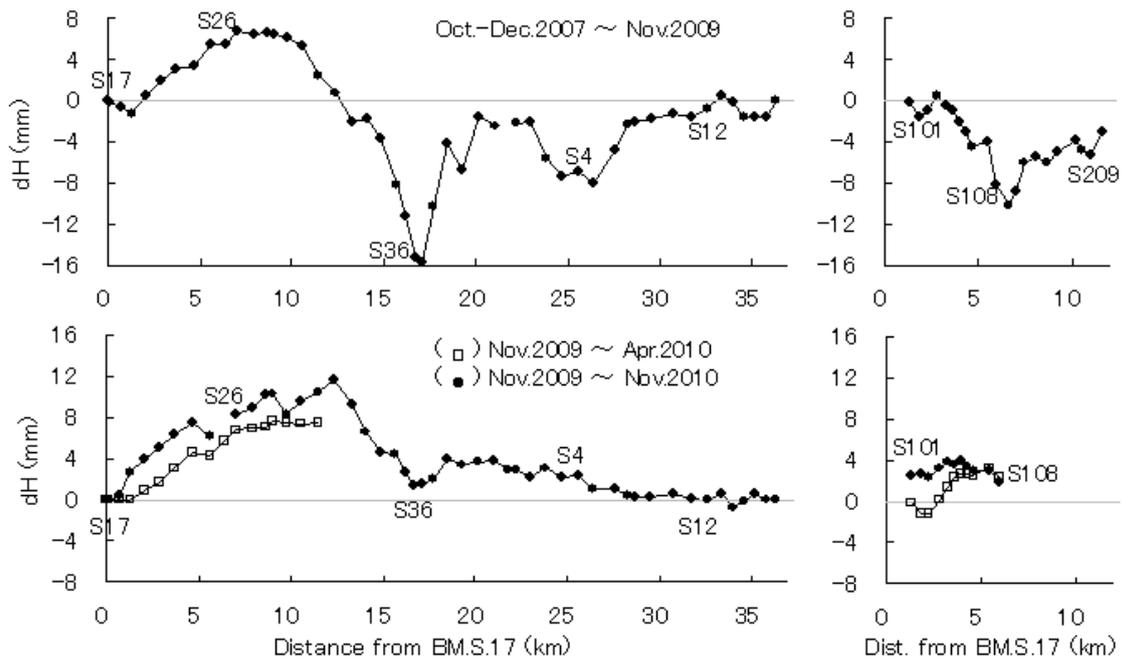


Fig. 2 Vertical displacements of bench marks in Sakurajima volcano referred to BM.S.17 which is located at the western coast of Sakurajima. Upper: October – December 2007 ~ November 2009, Lower: November 2009 ~ April 2010 ~ November 2010.

かったため今回は水準環としての誤差配分処理を行わず、2009年11月の測量時と同一の標尺を使用しデータの高精度な比較が可能と考えられるBM.S.101からBM.S.108の区間をプロットし表示した。また、同図には比較のために、2007年10月–12月から2009年11月（上段の黒丸）および2009年11月から2010年4月（下段の白四角）までの期間の上下変動量（山本ら、2010）も併せて示した。

2009年11月から2010年11月の期間における桜島一周道路ルートの上変動量（Fig. 2の下段）からは、この期間の最大の隆起域が、2007年10月–12月~2009年11月の期間（Fig. 2の上段）と同様に、桜島北部付近にあることが確認される。ただし、その隆起分布のパターンは2007年から2009年の期間に得られているパターンと多少異なるように見受けられ、増圧源の位置が若干異なることが示唆される。2009年11月から2010年11月の期間における桜島北部の隆起量は最大で10 mm程度であるが、2009年11月から2010年4月の期間の上下変動量を見るとこの期間にその隆起量の約8割程度が生じていることが分かる。すなわち、2009年11月から2010年11月の期間においては、2010年4月までに桜島北部で急激な隆起が生じた（山本ら、2010）後、隆起速度が低下した。なお、2007年10

–12月から2009年11月の期間では顕著に確認される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（江頭ら、1997）は、2009年11月から2010年11月の期間においては少量でほとんど見受けられない程度のものであった。一方、桜島中心部に近いハルタ山登山ルート上の2009年11月から2010年11月の期間における地盤変動は、4 mm程度以内であり顕著な地盤上下変動は観測されなかった。

桜島北部の地盤隆起は、始良カルデラ地下の主マグマ溜りにおける増圧を反映していると考えられ、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主マグマ溜りにおけるマグマの貯留（江頭ら、1997）が、昭和火口における噴火活動が活発化しつつある現在も継続しているものと推定される。

4. 地盤変動の経年変化

Fig. 3に、BM.S.17を基準にした桜島北部のBM.S.26（松浦神社）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

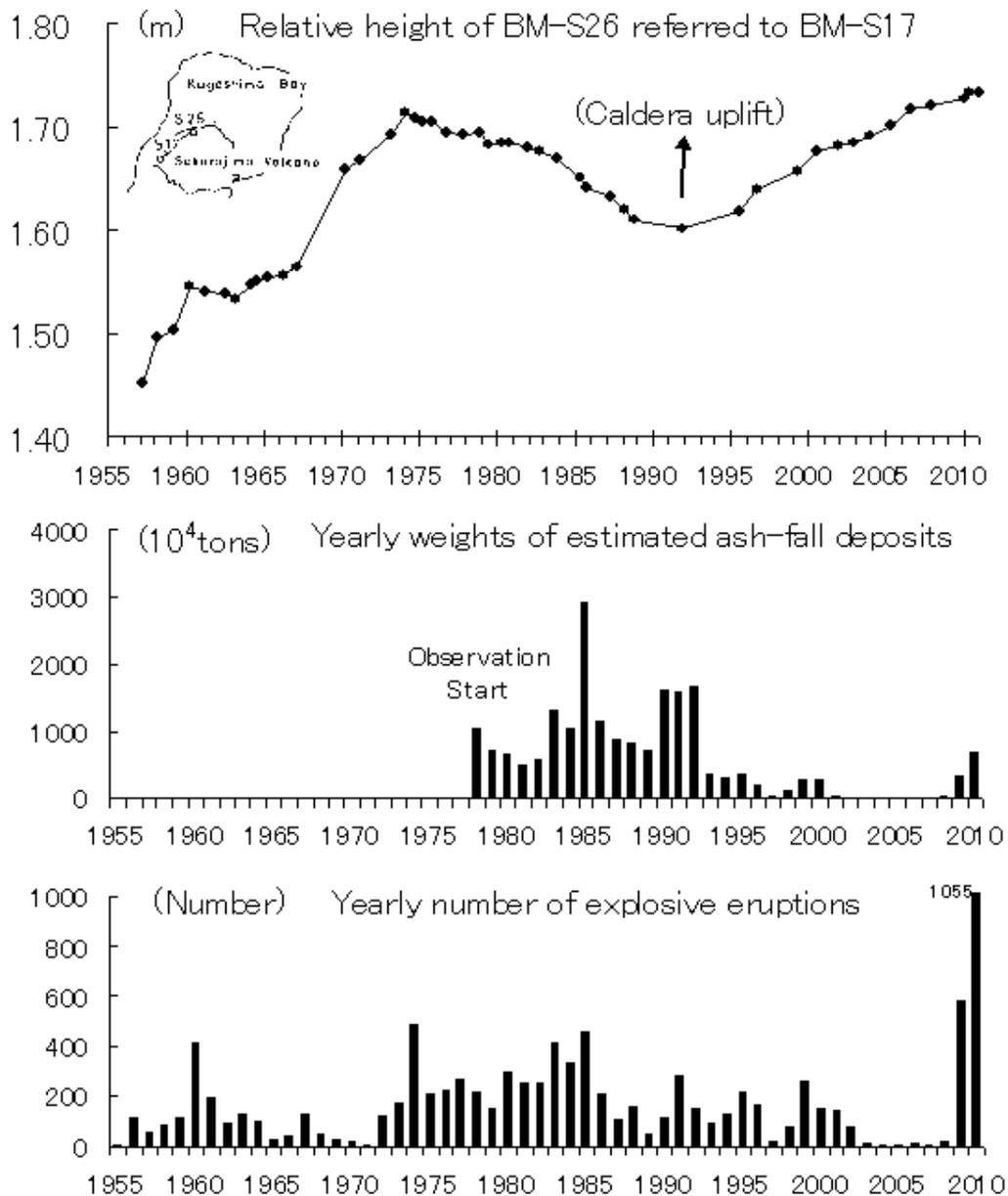


Fig. 3 Relation among secular change of relative heights of BM.S.26 referred to BM.S.17, yearly weights of estimated volcanic ash-fall deposits and yearly number of explosive eruptions at the active summit and Showa craters of Sakurajima volcano.

爆発的噴火回数を示した。桜島火山の噴火活動の盛衰に伴う桜島北部の地盤上下変動が観測されてきたが（例えば、江頭ら（1997）参照），最近においては1991年以降の噴火活動静穏化に伴った桜島の北部の地盤の再隆起現象が明瞭に確認される。BM.S.26の隆起状態は、2006年に1973・74年頃の隆起を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。山本ら（2010）で指摘されている通り、現在は、1970

年代以降に生じた活発な山頂噴火活動と同様な活動を起こすポテンシャルをすでに持っている状態であると推測される。

2009年および2010年の年間爆発回数が増大したのは昭和火口における噴火活動の活発化によるものであるが、それに伴い降下火山灰量の推定年間総量も1980年代にまでは及ばないものの増加傾向であることが見て取れる。一方で、桜島北部の地盤隆起は、2010年4

月から2010年11月の期間においてその隆起速度が鈍化しており、噴火ポテンシャルの評価においても今後の噴火活動の変化に伴う地盤変動の推移に注意を払っていく必要がある。

5. おわりに

「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2010年11月に一等水準測量を実施した。測量結果の検討から得られた知見は次の通りである。

- [1] 2009年11月までの測量結果に引き続き、2009年11月から2010年11月の期間においても桜島北部の地盤の隆起が確認された。一方、桜島中央部付近の地盤は、この期間あまり顕著な地盤上下変動が見られない。
- [2] 1993年以降、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主マグマ溜りにおけるマグマの貯留は、昭和火口における噴火活動が活発化しつつある現在も継続していると考えられる。
- [3] 桜島北部の地盤上下変動を詳細に見ると、2009年11月～2010年4月に急激な隆起を生じた後、2010年4月～11月はその隆起速度が低下した。噴火活動と共に、今後の推移を注意深く見ていく必要がある。

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った。また測量作業の一部については、東京大学地震研究所の大湊隆雄氏、渡邊篤志氏に協力いただいた。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「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・江頭庸夫（1978）：桜島火山近傍の垂直地盤変動と山頂噴火活動の関係について、京都大学防災研究所年報，第21号B-1, pp. 153-162.
- 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・高山鐵朗・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・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），「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. 41-46.
- 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.

Precise Leveling Survey around Sakurajima Volcano (November 2010)

Keigo YAMAMOTO*, Tadaomi SONODA*, Tetsuro TAKAYAMA*, Nobuo ICHIKAWA*,
Takahiro OHKURA**, Shin YOSHIKAWA**, Hiroyuki INOUE**, Akihiko YOKOO**,
Takeshi MATSUSHIMA***, Kazunari UCHIDA*** and Manami NAKAMOTO***

* Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

** Graduate School of Science, Kyoto University

Synopsis

We conducted the precise leveling survey around Sakurajima volcano in November 2010. The obtained survey data are compared with those of the November 2009 and the April 2010 surveys, indicating the ground uplifts around the northern part of Sakurajima. It is suggested that the magma storage at the primary magma reservoir beneath the Aira caldera, which is thought to begin since around 1993 when the eruptive activity of Sakurajima volcano was gradually decayed, is progressed during the study period. The rate of ground uplifts at the northern part of Sakurajima during the period from November 2009 to April 2010 is relatively larger, while that from April to November 2010 is smaller than the typical uplift rate. Considering the recent activity of Showa crater, it is needed to care about the future change of the ground deformation associated with the volcanic activity.

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