

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）

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**

* 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

桜島火山および始良カルデラ周辺域において、2009年11月および2010年4月に一等水準測量を実施した。これらの結果と、2007年までに実施された水準測量結果とを比較した結果、始良カルデラを中心とした地盤の隆起現象が進行している事が確認された。桜島北部の地盤における隆起速度は、1996年から2007年の期間の平均的な値と比較して、2007年10月－12月から2009年11月の期間ではその半分以下と比較的小さい、一方2009年11月から2010年4月の期間ではその倍以上とかなり大きい。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現在も継続しており、特に2009年11月から2010年4月の期間内において急速な貯留が生じたものと推定される。

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が、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として説明されている（江頭, 1989）。1973・74年以降の活発な噴火活動によりマグマの放出量が増え、主・副マグマ溜りの減圧によって桜島の北東部から内部にかけての地盤の沈降が継続していたが、1991年～1996年の測量により、噴火活動静穏化に伴って桜島北部の地盤が隆起に転じた事が確認された（江頭ら, 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（山本ら, 2008）。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活動が近年激化する傾向が見られる。

「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月に桜島火山および始良カルデラ周辺の水準測量路線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、これらの測量の概要および結果を示し、前回の測量である2007年10月－12月に第10回桜島火山の集中総合観測の一環として行われた水準測量（山本ら, 2008）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

2009年11月に水準測量を実施した路線は、桜島内では海岸線に沿って桜島を一周する桜島一周道路ルート、島内西部山腹のハルタ山登山ルートおよび島内東部の黒神ルート、また桜島外ではBM.2469（旧鹿児島県庁）からBM. 2474・J（大崎鼻）間の鹿児島湾西岸ルートであり、総延長は65 kmである（Fig. 1）。これらの路線を、大学合同で3測量班を構成し、2009年11月9日～20日、11月30日および12月3日の日程で測量に当たった。測量に使用した機材は、自動

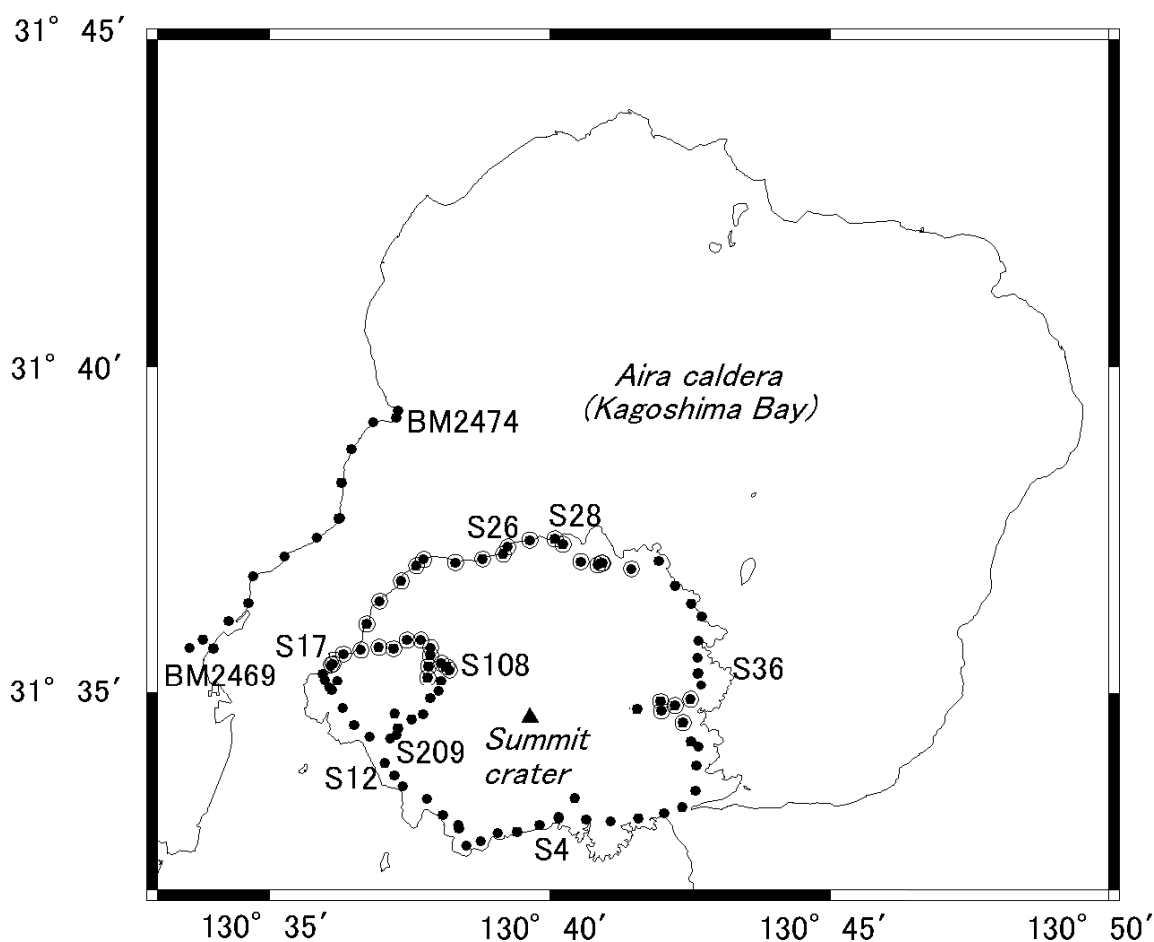


Fig. 1 Leveling bench marks measured in the 2009 survey (solid circles). The 2010 survey measured a part of the bench marks of the 2009 survey, which are marked by the open circles in addition to the solid circles. Solid triangle indicates the location of the active summit crater of Sakurajima volcano.

読み取りデジタルレベル (Wild NA3003, NA3000) およびインバーバルバーコード標尺 (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、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。実際の測量誤差は、1km 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鹿児島湾西岸ルートにおいてそれぞれ ± 0.38 mm/km, ± 0.36 mm/km, ± 0.30 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 -0.6 mm (一周約 36 km), -0.9 mm (一周約 15 km) であり高精度の一等水準測量と言える。

2010年4月の測量では、桜島内の測量路線の内、桜島一周道路ルート、ハルタ山登山ルートおよび黒神ルートのそれぞれ一部区間において水準測量を実施

した (Fig. 1 中に二重丸で示した水準点)。これらの路線を、大学合同で2測量班を構成し、2010年4月13日～20日の期間測量に当たった。測量誤差は、1km 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においてそれぞれ ± 0.54 mm/km, ± 0.57 mm/km であった。

3. 測量結果

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 2007 年 10 月～12 月、2009 年 11 月および 2010 年 4 月のそれぞれに行われた水準測量結果で比較した。Fig. 2 に、その結果求められた各水準点における各測量間の 1 年あたり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。同図には比較のために、1996 年 10 月から 2007 年 10 月～12 月までの期間の上下変動量 (山本ら, 2008) も 1 年あたりの変動量

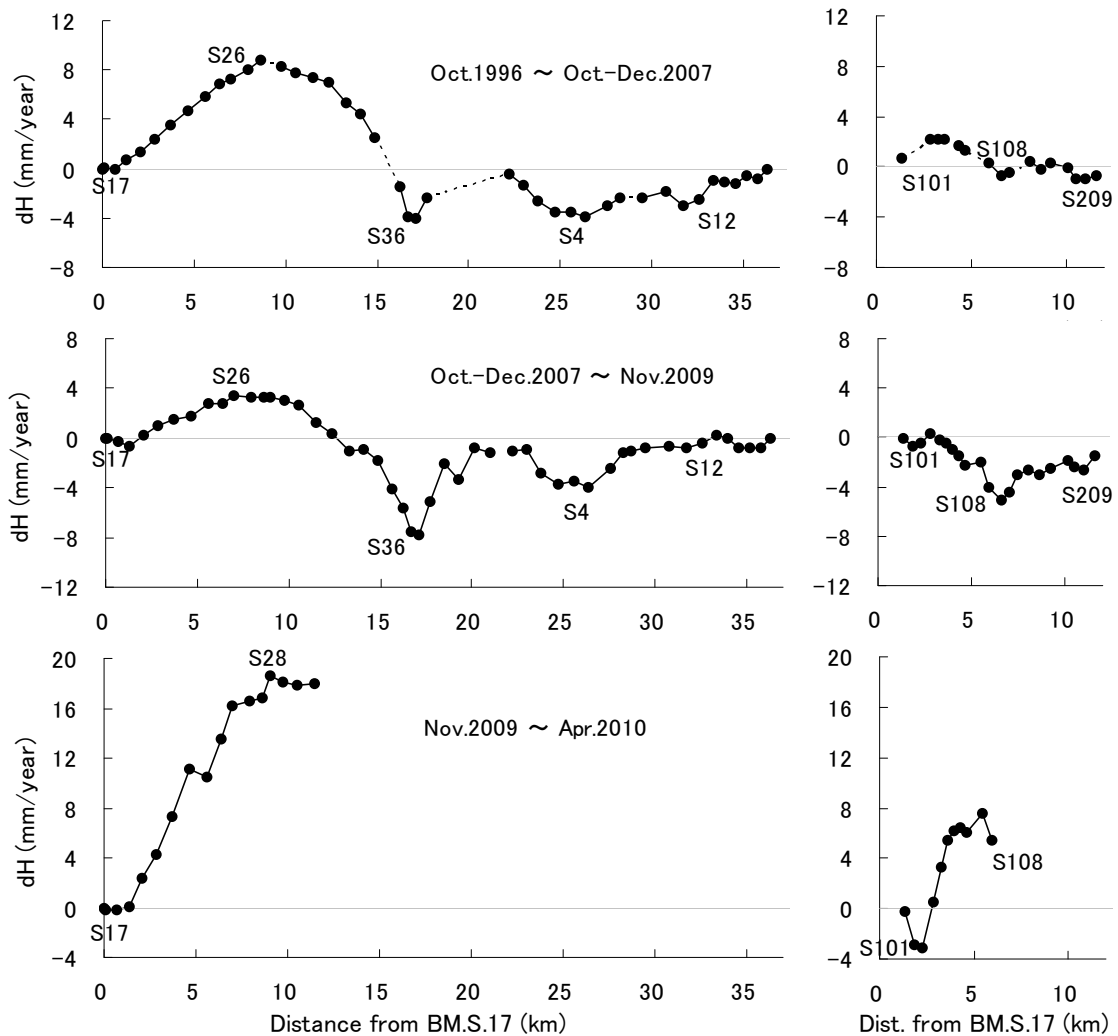


Fig. 2 Vertical displacement rates of bench marks in Sakurajima volcano referred to BM.S.17 which is located at the western coast of Sakurajima. Upper: October 1996 ~ October – December 2007, Middle: October – December 2007 ~ November 2009, Lower: November 2009 ~ April 2010.

に換算し、併せて示した。

2007年10月–12月から2009年11月の期間における桜島一周道路ルートの上下変動量 (Fig. 2 の中段) からは、この期間の最大の隆起域が、1996年10月~2007年10月–12月の期間と同様に、桜島北部付近にあることが確認される。その隆起分布のパターンも前回の期間に得られているパターンと概ね似通っているが、2007年から2009年の期間における最大の隆起量は、桜島北部の水準点BM.S.26 (松浦神社) において測定された6.8 mmであり、その隆起速度は前回の期間に比べて半分程度以下と比較的小さい。なお、BM.S.36 (東部、黒神) およびBM.S.4 (南部、有村)、BM.S.12 (南西部、赤水) 付近で認められる局所的な地盤沈降の原因は、それぞれ東部昭和溶岩流、南部

昭和溶岩流および野尻川土石流堆積物を除去して積み上げた人工的な堆積丘の荷重による地盤の圧密沈下であると考えられている (江頭ら, 1997)。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) が現在も継続しているものと推定される。一方で、桜島中心部に近いハルタ山登山ルート of 水準点においては、この期間、地盤の沈降が確認された。これは、桜島直下の副マグマ溜りにおいて、マグマの放出量が供給量を上まったことを示唆しており、昭和火口における活発な噴火活動を反映しているのではないと思われる。

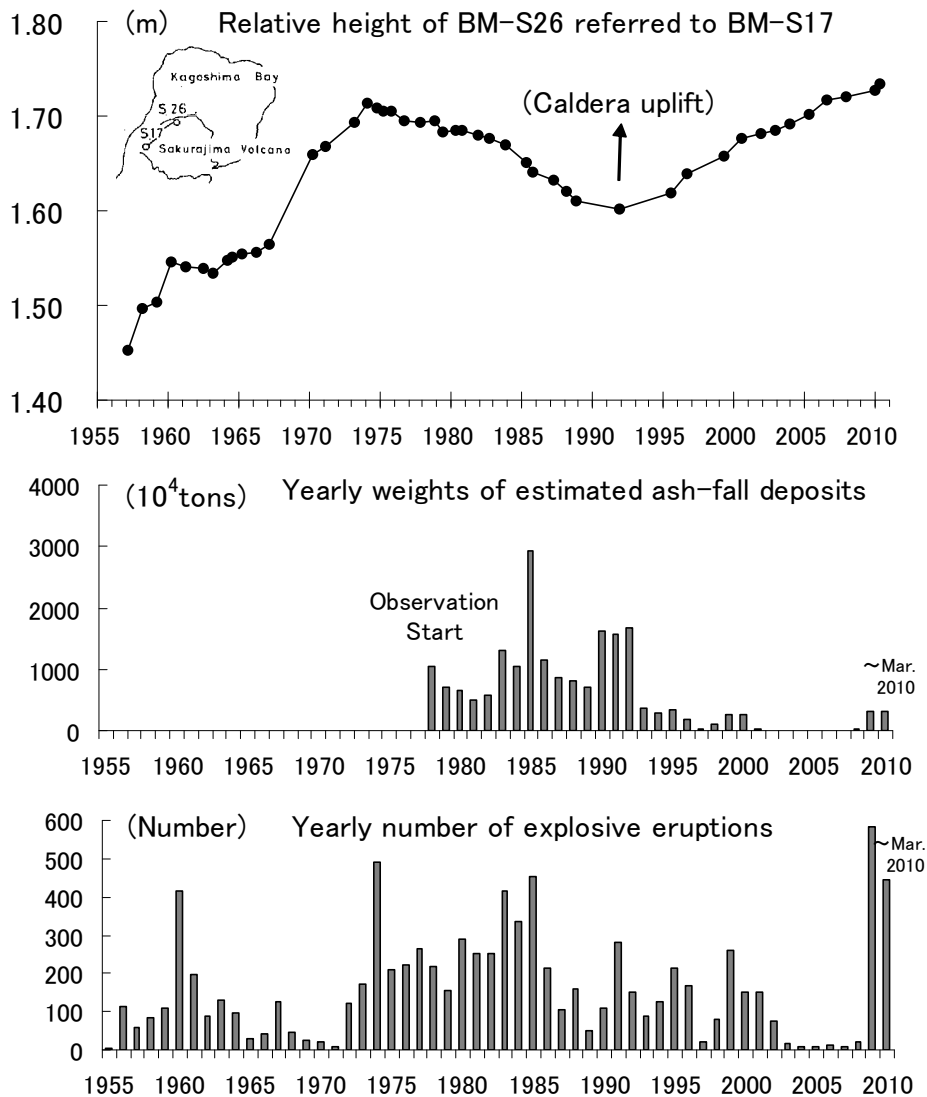


Fig. 3 Relation among secular change of relative heights of BM.S.26 referred to BM.S.17, yearly weights of estimated volcanic ash-fall deposits and yearly number of explosive eruptions at the active summit and Showa craters of Sakurajima volcano.

2009年11月から2010年4月の期間における桜島一周道路ルートの上下変動量 (Fig. 2の下段) から、この期間の最大の隆起域が、桜島北部付近にあることが確認される。この期間における最大の隆起量は、桜島北部の水準点BM.S.28 (白浜) において測定された7.7 mmであり、その隆起速度は始良カルデラ増圧期の典型例と考えられる1996年～2007年の期間 (Fig. 2の上段) と比べて倍以上とかなり大きい。桜島火山周辺において行われているGPS観測によって捉えられた始良カルデラの地盤の急激な膨張とも調和的であり、始良カルデラ地下の主マグマ溜りにおけるマグマの急速な貯留が進行したことが示唆される。一

方、桜島中心部に近いハルタ山登山ルートの水準点においても、この期間、地盤の隆起が認められる。

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爆発的噴火回数を示した。1967年頃からの噴火活動静穏化に伴った主圧力源内の増圧 (マグマの貯留) による桜島北部の地盤隆起、1973・74年以降の活発

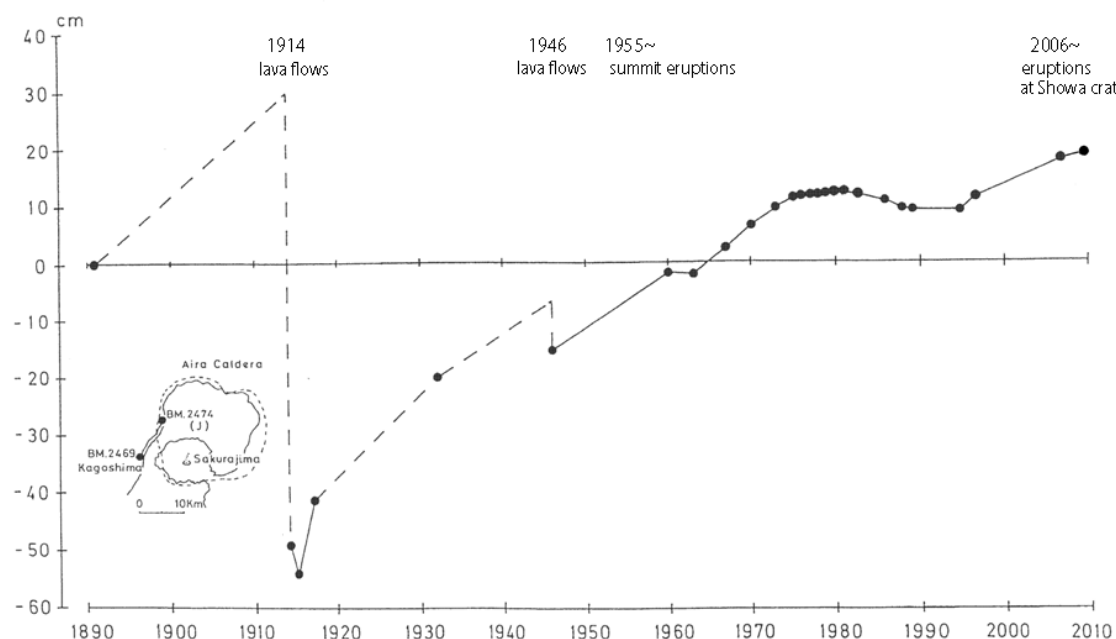


Fig. 4 Secular changes of relative heights of BM.2474 referred to BM.2469 and volcanic activity at Sakurajima (modified from Fig. 1 in Eto et al., (1997)).

な噴火活動（マグマの放出）に伴った主・副圧力源内の減圧による桜島北部の地盤の沈降，および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。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と言えよう。

鹿児島湾西岸ルートにおいては，1996年に大学合同測量班，1997年に国土地理院がそれぞれ水準測量を行った後はしばらく測量が行われておらず，2006年9月に国土地理院が測量を行ったのに続き，大学合同測量班としては2009年11月の測量が13年ぶりの実施であった。Fig. 4に，BM.2469（旧鹿児島県庁）を基準としたBM.2474（大崎鼻）の比高の経年変化を示した。1891年から120年近くの長きに渡り水準測量データが存在しており，途中1914年の桜島大正大噴火や1946年の昭和大噴火の溶岩流出を経験している。1990年代以降の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に伴ったBM.2474付近の地盤の隆起が進み，2009年11月の時点では，大正大噴火の直前において推定されている比高の7割程度を回復した状態となっている。

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2009年11月および2010年4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] 前回である2007年までの測量結果に引き続き，桜島北部の地盤の隆起が確認された。隆起分布のパターンは，前回までの期間の分布に概ね似通っている。
- [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が現在も継続していると考えられる。
- [3] 桜島北部の地盤における隆起速度は，1996年10月から2007年10月－12月の期間と比較して，2007年10月－12月から2009年11月の期間ではその半分以上と比較的小さい，一方2009年11月から2010年4月の期間ではその倍以上とかなり大きい。
- [4] 2009年11月から2010年4月の期間内において，始良カルデラ地下の主マグマ溜りにおいて，マグマが急速に貯留されたものと推定される。

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った。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.

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 Surveys in and around Sakurajima Volcano (November 2009 and April 2010)

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

* Graduate School of Science, Kyoto University

** Faculty of Sciences, Kyushu University

Synopsis

We conducted the precise leveling surveys in Sakurajima volcano and around the Aira caldera in November 2009 and in April 2010. The obtained survey data are compared with those of the 2007 and the previous surveys, resulting in the ground uplifts around the Aira caldera. The rate of ground uplifts at the northern part of Sakurajima during the period from Oct.-Dec., 2007 to Nov., 2009 is relatively smaller, while that from Nov., 2009 to Apr., 2010 is relatively larger than the typical uplift rate. 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 periods, especially with the rapid rate during the period of Nov., 2009 - Apr., 2010.

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