

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—

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***

* 京都大学大学院理学研究科

** 九州大学大学院理学研究院

*** 国土地理院

要 旨

桜島火山および始良カルデラ周辺域において、2007年10月から12月の期間に一等水準測量を実施した。この測量結果を、1996年に実施された水準測量結果と比較した結果、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ことが確認された。茂木モデルに基づき圧力源の位置を求めると、始良カルデラ中央部地下に増圧源のあることが推定された。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現在も継続していることが分かる。

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、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)。

第10回桜島火山の集中総合観測の一環として、2007年10月—12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、この測量の概要および結果を示し、前回の第9回桜島火山の集中総合観測の一環として1996年10月に行われた水準測量結果と比較

して求めたこ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

今回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および島内西部山腹のハルタ山登山ルートに加え、昭和火口からの噴火活動に対応して2007年5月桜島東部黒神地区に新たに設置した桜島黒神ルート、また桜島外ではBM.2500(桜島口)からBM.J.2797(亀割峠)間の鹿児島湾東岸ルートおよびBM.J.2797からBM.2785(曾於市)の区間であり、総延長は99 kmである(Fig. 1)。これらの路線を、国土地理院(測量期間：2007年10月1日～11月6日)と大学合同測量班(測量期間：2007年12月3日～11日)とで分担して測量を行った。測量に使用した機材は、大学合同測量班が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)、国土地理院はデジタルレベル(Zeiss DiNi12)およびインバールバーコード標尺(Zeiss LD13)である。測量方法は、各水準点間の往復測量

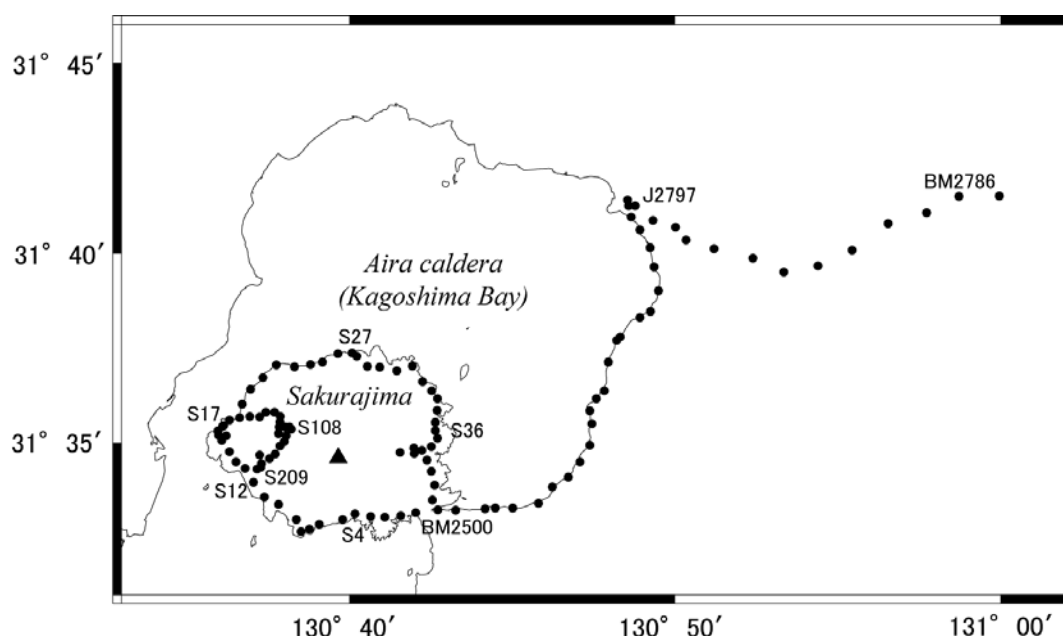


Fig. 1 Leveling bench marks measured in the 2007 survey (solid circles). Solid triangle indicates the location of the active summit crater of Sakurajima volcano.

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。

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1996年に行われた第9回桜島火山の集中総合観測の水準測量結果と比較した。なお、BM.J.2797~BM.2785の区間については、第9回桜島火山の集中総合観測では測量が行われていないため、1997年7月の国土地理院による水準測量結果と比較を行った。Fig. 2に、その結果求められた各水準点における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、1991年12月から1996年10月までの期間の上下変動量(江頭ら, 1997)も併せて示した。

桜島内の路線における上下変動量(Fig. 2の上段と中段)からは、この期間の最大の隆起域は、1991年~1996年の期間と同様に、桜島北部付近にあり、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比較して、特に変化した傾向は見られない。始良カルデラおよび桜島周辺の地盤は、桜島北方沖の始良カルデラ内部を隆起の中心域にして、1991年以降継続して隆起を続けている。1996年から2007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.27(西白浜)において測定された97.2 mmであった。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ことが分かる。

桜島外の路線における上下変動量(Fig. 2の下段)からは、BM.J.2797~BM.2785の区間において顕著に見られるように始良カルデラに近づくにしたがって地盤が隆起している様子が分かる。始良カルデラから最も離れたBM.2785から見ると、桜島と大隈半島の接続点付近にあるBM.2500はこの期間の隆起量が43.8 mmである。

4. 解析および議論

Mogi (1958) による球状圧力源モデルを適用し、江頭ら(1997)と同様な方法で1996・97年~2007年の桜島と始良カルデラ周辺の上下変動量から圧力源の位置と体積変化を求めた。計算された圧力源の諸要

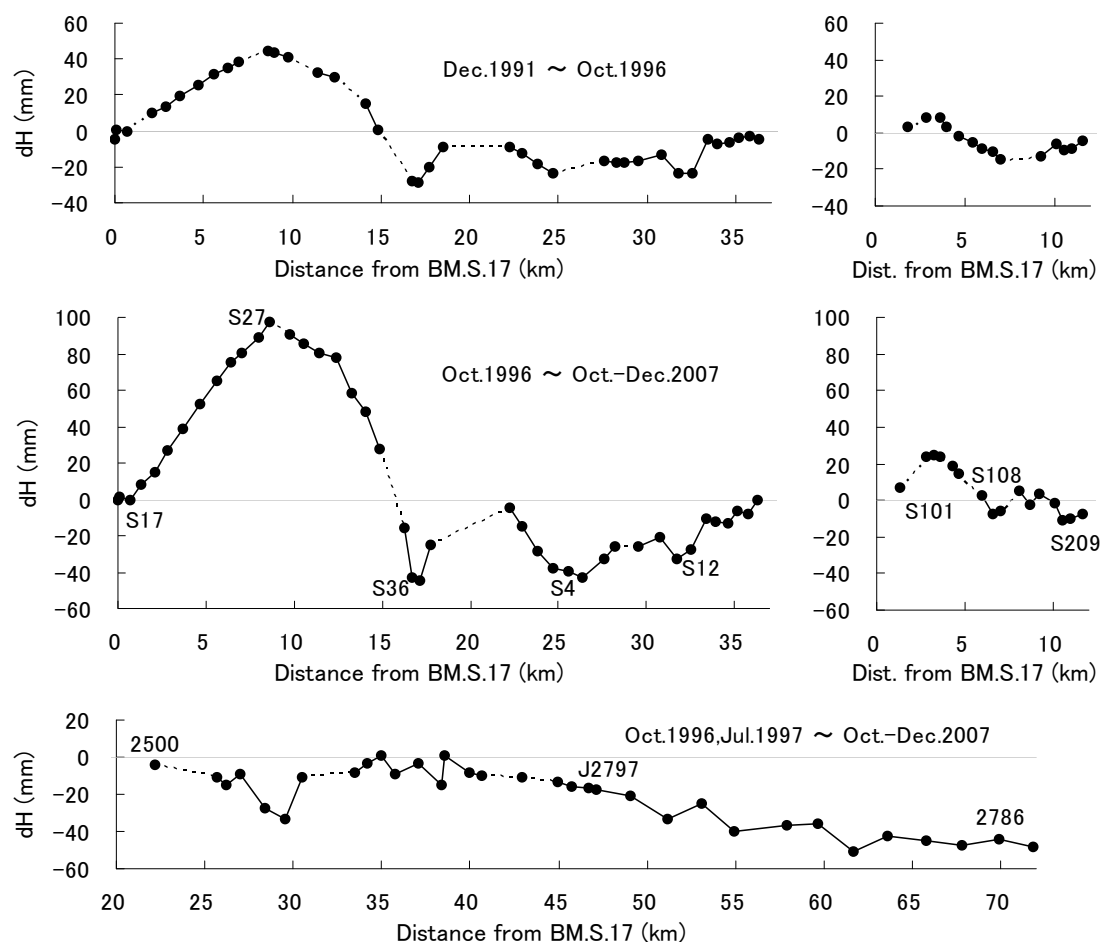


Fig. 2 Vertical displacements of bench marks in Sakurajima volcano and around the Aira caldera referred to BM.S.17 which is located at the western coast of Sakurajima. Upper: December 1991 ~ October 1996, Middle and Lower: October 1996, July 1997 ~ October – December 2007.

Table 1 Results of the pressure source calculation. A and B: pressure source beneath the center of the Aira caldera and beneath the center of Sakurajima, respectively. The origin of the X,Y coordinates is at the center of the summit crater of Sakurajima volcano. Uref and Uzo are the vertical displacements at the reference bench mark and above the pressure source, respectively. ΔV_p is the deformation volume at the pressure source.

Leveling survey intervals	Dec.1991 ~ Oct.1996 (Eto et al., 1997)	Oct.1996, Jul.1997 ~ Oct.-Dec.2007 (This study)
Position of the pressure source		
A(X, Y)	A: 0.4 km, 9.0 km	A: 1.8 km, 9.7 km
B(X, Y)	B: cannot be found	B: cannot be found
Depth	A: 9.5 km	A: 8.8 km
Reference bench mark	BM.S.17	BM.2786
Uref	A: +37.5 mm	A: +9.3 mm
Uzo	A: +102.7 mm	A: +220.5 mm
ΔV_p	A: $+3.9 \times 10^7 \text{ m}^3$	A: $+7.2 \times 10^7 \text{ m}^3$

素を前期間である1991年～1996年の諸要素（江頭ら， 1997）と比較してTable 1に示した。

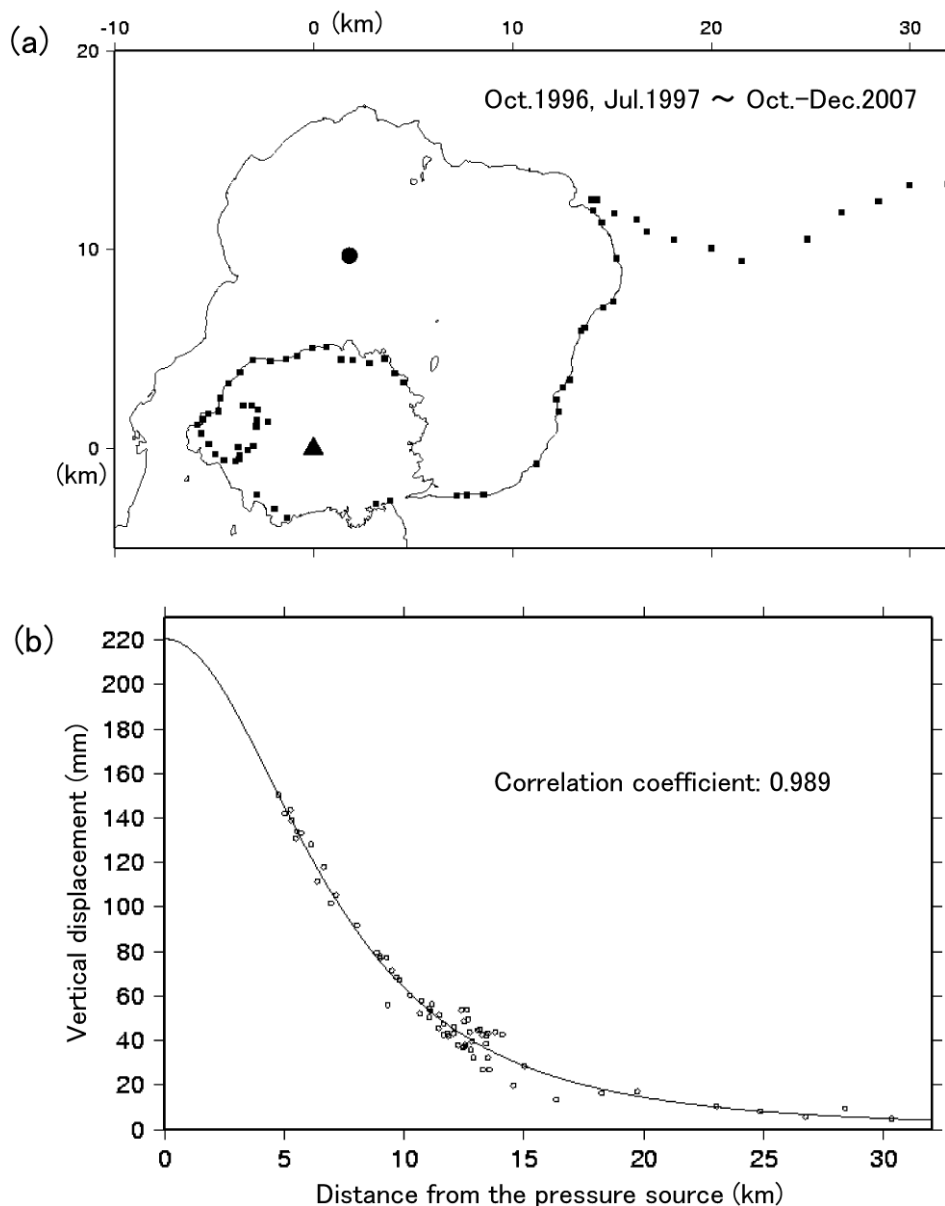


Fig. 3 (a) Horizontal location of the calculated pressure source (solid circle). Solid rectangles are the bench marks used for the calculation. Solid triangle indicates the location of the summit crater. (b) Comparison between measured vertical displacements (open circles) and theoretical vertical displacements (solid line) versus radial distance from the pressure source.

1996・97年～2007年の期間も前期間と同様に、始良カルデラ中央部地下（桜島北方沖）の主圧力源Aのみの1圧力源モデルで上下変動量が説明され、桜島中央部地下の副圧力源Bは見出せなかった。主圧力源直上の上下変動量（Uzo）は+220.5 mmであり、前期間と同様に主圧力源が増圧状態にあることが分かる。Fig. 3に、計算された圧力源の位置と上下変動量の測定値と理論値を図示した。1996・97年～2007年の期間の圧力源の容積変動量（ ΔV_p ）は、約7,200万立方

メートルの容積増加（マグマの貯留）と推定される。同期間中の観測降下火山灰量に基づくマグマの放出量（Dense Rock Equivalent）は約280万立方メートルと推定されるので、両者を合計して約7,500万立方メートルのマグマがマグマ溜りに供給されたものとみられる。この期間は、年間約680万立方メートルのマグマ供給率となり、Ishihara (1981) の指摘した噴火活動静穏期のマグマ供給率である年間約1,000万立方メートルに比較して約2/3であった。

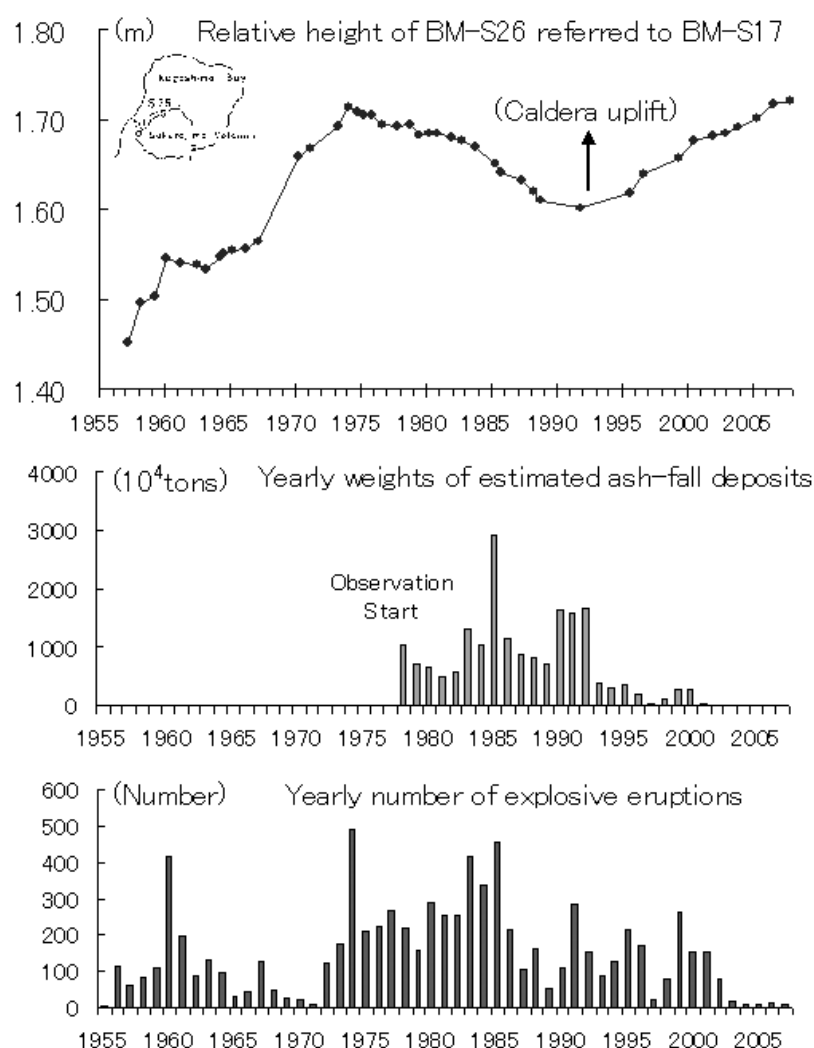


Fig. 4 Relation among secular change of relative heights of BM.S.26 referred to BM.S.17, yearly weights of estimated volcanic ash-fall deposits and yearly number of explosive eruptions at the active summit crater of Sakurajima volcano.

Fig. 4には、BM.S.17を基準にして、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の年間の爆発的噴火回数を示した。図中には、1996年から2007年までの期間中、桜島内の一部の路線において行った水準測量の結果も併せてプロットした。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。2007年におけるBM.S.26の隆起状態は、1973・74年頃の隆起をほぼ回復した状態と

なっている。

5. 結論

第10回桜島火山の集中総合観測の一環として2007年10月 - 12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] 桜島および始良カルデラ周辺の地盤は、前回までに引き続き、桜島北方沖の始良カルデラ内部を中心にして隆起している。隆起分布のパターンは、前回の期間からほとんど変化が無い。
- [2] 1991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ことが分かる。

- [3] 茂木モデルに基づき, 1996年から2007年までの上下変動量の地理的分布から圧力源の位置を求めると, 桜島北方約4~5 kmの始良カルデラ中央部地下約8.8 kmの深さに増圧源のあることが推定される。
- [4] 圧力源における容積増加量の見積もりにこの期間の降下火山灰量を加えて推定すると, 主マグマ溜りへのマグマ供給率が年間約680万立方メートルとなる。Ishihara (1981) の指摘した噴火活動静穏期のマグマ供給率である年間約1,000万立方メートルに比較して約2/3であった。

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。

参考文献

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.

Ishihara, K. (1981): A quantitative relation between the ground deformation and the volcanic material ejected, Abstract, 1981 IAVCEI Symposium –Arc Volcanism–, 143.

Mogi, K. (1958): Relations between the eruption of various volcanoes and deformations of the ground surfaces around them, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 36, pp. 99-134.

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.

Vertical Ground Deformation in Sakurajima Volcano and around Aira Caldera Revealed by the Precise Leveling Survey – October 1996 ~ October-December 2007 –

Keigo YAMAMOTO, Tetsuro TAKAYAMA, Tomoya YAMAZAKI, Mitsuhiro TADA,
Takahiro OHKURA*, Shin YOSHIKAWA*, Takeshi MATSUSHIMA**, Kazunari UCHIDA**,
Manami NAKAMOTO**, Yoshifumi HIRAOKA***, Toshiharu ENYA*** and Moriyuki NEMOTO***

* Graduate School of Science, Kyoto University

** Faculty of Sciences, Kyushu University

*** Geographical Survey Institute

Synopsis

We conducted the precise leveling survey in Sakurajima volcano and around the Aira caldera during the period from October to December 2007. The obtained survey data are compared with those of the 1996 survey, resulting in the ground uplifts around the Aira caldera. From the analysis according to Mogi's model, the inflation source is located beneath the center of the Aira caldera. It is found that the magma storage at the primary magma reservoir beneath the Aira caldera is progressed during the study period. The magma storage is thought to begin since around 1993 when the eruptive activity at the summit crater of Sakurajima volcano was gradually decayed.

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