

## 桜島および始良カルデラ周辺における重力変化

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\*\*\*

\* 北海道大学理学部

\*\* 東北大学理学部

\*\*\* 東京大学地震研究所

### 要 旨

1997年4月に桜島および始良カルデラ周辺で、9回目の精密重力測定を実施した。始良カルデラ周辺の測定点における重力変化傾向は、定性的には地盤変動から期待される重力変化に調和的であった。桜島中央部を中心とした1975年以降1992年まで続いた重力増加傾向は、前回(1992年)から今回の測定の間、それ以前に比べて鈍った。近年の山頂噴火活動の静穏化を反映しているのではないだろうか。

キーワード: 桜島, 精密重力測定, 地盤変動, 噴火活動

#### 1. はじめに

桜島および始良カルデラ(鹿児島湾)周辺域における精密重力測定は、1975年に開始され、桜島火山の集中総合観測の一貫として1992年までに8回繰り返されてきた(田島ら, 1975, 1977; 石原ら, 1980, 1982, 1986, 1988, 1989, 1995)。その結果、桜島および始良カルデラを中心とした重力値の単調な増加傾向が続いていることが明らかにされた。これは、定性的には、1975年以降の活発な山頂噴火活動に伴って継続してきた始良カルデラおよび桜島を中心とした緩やかな地盤沈降(江頭ら, 1997)に対応したものと考えられている。

ところで、桜島中央部での重力増加は、地盤沈降から

期待される値の数倍に達していることも明らかとなっている。桜島中央部地下では、山頂噴火活動期に地盤沈降と並行し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考えられている(石原ら, 1986; 石原, 1990; Yokoyama, 1989)。

近年、桜島は山頂噴火活動が穏やかな状態となっている。1993年以降火山灰の放出量は、それ以前の20年間の約4分の1に減少した。また、地盤変動の観測から、1974年以来継続して沈降していた始良カルデラの地盤が1991年から1996年の間に隆起に転じたことが明らかにされ、始良カルデラ地下のマグマ溜りへのマグマの貯溜が始まったことを示していると解釈されている(江頭ら, 1997)。

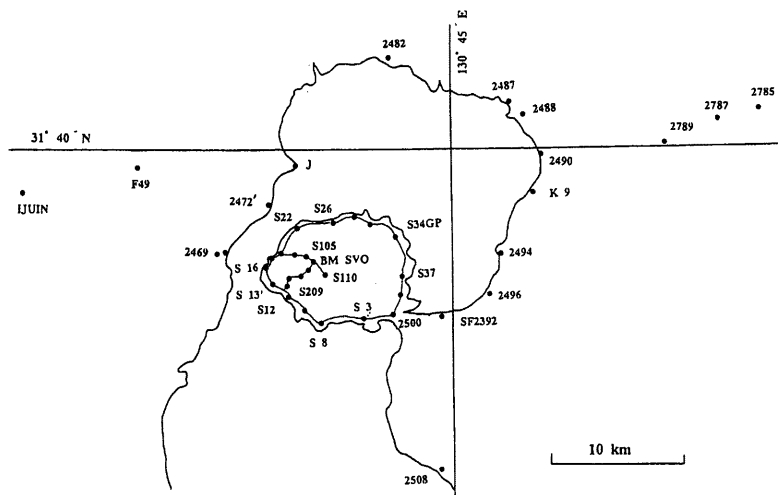


Fig. 1 Measurement points for precise gravity measurement (Apr. 1997).

こういった状況の中、1997年4月に、第9回桜島火山集中総合観測の一貫として、桜島および始良カルデラ周辺において9回目の精密重力測定を行った。本論では、この結果について述べ、最近の桜島火山の活動との関連について議論する。

## 2. 測定

今回の測定点を Fig. 1 に示した。前回 1992 年から今回の測定までの間に破損等により測定不能になった点が数点あったので、今回新たに幾つか測定点を追加した。測定には LaCoste & Romberg G 型重力計 (G31, G375, G682, G891, G1090) およびシントレックス (S235) の計 6 台を用いた。桜島島内を中心とした測定および桜島中腹のハルタ山と霧島山麓の測定点を結ぶ等重力測定は、北海道大学、東北大学および京都大学が担当し、G31, G375, G682, G1090, S235 の 5 台の重力計を用いた。また、鹿児島湾周辺の測定は、東京大学および京都大学が担当し、G31, G891, G1090 の 3 台の重力計を用いて測定を行った。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。

今回の測定値を、前回までの測定値とともに、始良カルデラ周辺については Table 1 に、桜島島内および等重力測定については Table 2 にそれぞれ示した。前回までの

結果は、鹿児島地方気象台に設置してある一等重力点 (K-FGS) を基準点としていたが、鹿児島地方気象台移転に伴い、今回はこの点の測定を行えなかった。このため、始良カルデラ周辺の測定値に対しては、桜島および始良カルデラから十分離れている、過去および今回 9 回のすべての期間において測定がなされている、等の理由で BM2508 を、また桜島島内の測定値に対しては、9 回すべての期間に測定がなされ、それぞれの測定期間内においても複数回測定がなされている S16 を基準点として、各測定点の相対重力値を示している。また、これらの値は、それぞれの重力計で得た相対重力値を平均したものである。IJUN から桜島東端の BM2500 までの間の 7 点では島内および島外の測定班がそれぞれ測定しているが、両班の測定値の較差は、最大  $13 \mu\text{gal}$ 、平均  $7 \mu\text{gal}$  であった。各測定点における複数台の重力計の測定値の較差も考慮すると、測定値に見込まれる誤差は  $\pm 20 \sim \pm 30 \mu\text{gal}$  程度である。

## 3. 桜島および始良カルデラ周辺における重力変化

始良カルデラ周辺の主な測定点における重力変化の推移を 1975 年の第 1 回の測定から 1997 年の今回の測定までについて Fig. 2 に、また桜島島内の主な測定点における重力変化の推移については Fig. 3 に、それぞれ

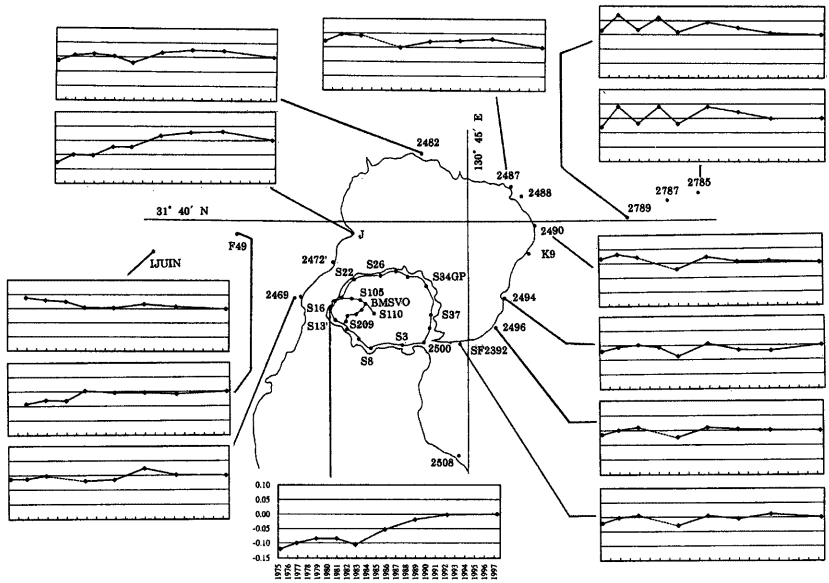


Fig. 2 Relative gravity change at measurement points around Aira caldera.

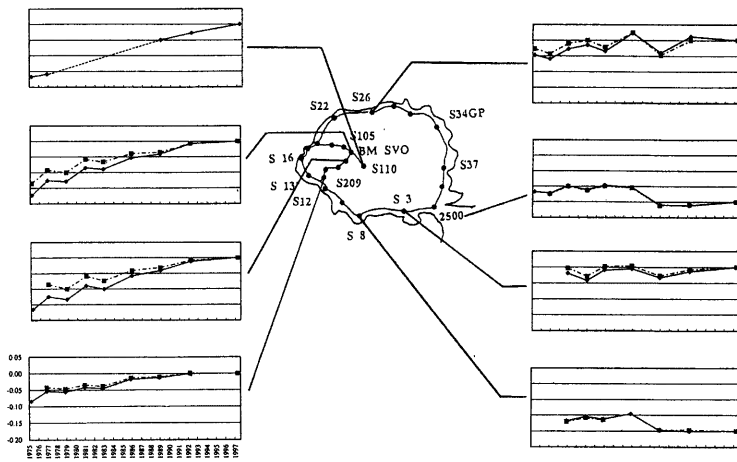


Fig. 3 Relative gravity change at measurement points in Sakurajima.

Table 1 Results of precise gravity measurement around Aira caldera

Obs.Site	Mar-75	Nov-76	Nov-78	Dec-80	Nov-82	Nov-85	Dec-88	Mar-92	Apr-97
	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal
IJUIN		13.535	13.527	13.522	13.501	13.500	13.514	13.505	13.497
F49		1.193	1.206	1.204	1.239	1.232	1.232	1.228	1.237
K-FGS	6.696	6.707	6.716	6.703	6.699	6.711	6.722	6.724	
KTGS									6.743
BM2469	7.859	7.860	7.871		7.853	7.857	7.896	7.874	7.873
BM2472	1.778	1.795	1.803		2.143	2.157	2.175	2.185	2.187
J	-4.777	-4.750	-4.753	-4.723	-4.724	-4.683	-4.672	-4.669	-4.700
BM2482	-7.748	-7.729	-7.724	-7.732	-7.755	-7.719	-7.710	-7.712	-7.734
BM2487	8.909	8.933	8.929		8.887	8.908	8.912	8.918	8.888
BM2488	3.380	3.397	3.406	3.392	3.018	3.069	3.046	3.048	3.051
BM2490	12.744	12.759	12.748		12.706	12.749	12.732	12.734	12.727
K9	6.383	6.397	6.409		6.358	6.372	6.359	6.342	6.343
BM2494	7.435	7.449	7.457	7.448	7.417	7.461	7.439	7.436	7.456
BM2496	4.638	4.653	4.663		4.629	4.663	4.657	4.654	4.653
SF2392	3.017	3.036	3.044		3.010	3.043	3.034	3.050	3.039
BM2500	-4.258	-4.227	-4.222	-4.219	-4.232	-4.197	-4.181	-4.177	-4.174
S16	-7.224	-7.203	-7.188	-7.188	-7.209	-7.157	-7.122	-7.105	-7.103
S17A								-7.444	-7.451
BM2508	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BM2789	-47.443	-47.387	-47.440	-47.396	-47.448	-47.412	-47.432	-47.450	-47.457
BM2787	-46.260	-46.184	-46.259	-46.197	-46.256	-46.207	-46.228		-46.280
BM2785	-41.087	-41.016	-41.074	-41.016	-41.076	-41.017	-41.035	-41.057	-41.056

|| : Renewal of bench mark

示した。両図とも、縦軸はすべてフルスケールで 0.25 mgal で、今回の値が 0 になるようにプロットした。Fig. 2 に示されている値は、BM2508 が基準点、Fig. 3 は、S16 が基準点である。また、Fig. 3 については、S110 を除き、一等水準測量から得られている各水準点の比高変化(江頭ら、1997) から期待される重力変化(フリーエアア勾配:  $-3.086 \mu\text{gal}/\text{cm}$  を仮定)を差し引いたものプロットした(図中の一点鎖線)。

Fig. 2 からは、始良カルデラ周辺の測定値は、BM2508 に対して測定誤差内でほぼ重力変化がなく推移してきたことが読み取れる。ただし、測定点 J については、過去 8 回は重力が増加してきたこと、1992 年の前回の測定から今回の測定までの間は重力が減少したこと、また鹿児島湾北岸の BM2482, BM2487 でも前回から今回の測定にかけて重力が減少したこと、などがわかる。江頭ら (1997) によると、1975 年以降、活発な山頂噴火活動に対応して始良カルデラおよび桜島を中心として緩やかに地盤が沈降していたが、前回から今回の集中観測までの期間にこれが始良カルデラを中心とした地盤隆起に転じたことが明らかにされている。この地盤隆起の変動中心に近い測定点 J, BM2482, BM2487 で得られた重力減少の傾向は、これらの地盤隆起から期待される重力変化と調和的である。

桜島島内の S16 は、BM2508 に対して重力値が増加してきたが、前回と今回の測定の間は、ほとんど増加していない。

桜島島内の重力変化については、Fig. 3 より、桜島一周道路沿いの測定点においては S16 に対してそれほど顕著な重力変化がなく推移してきたことがわかる。一方、桜島中心部に向かうルートの測定点(S209 ~ S110)では、石原ら (1995) によって指摘されている桜島中央部の重力増加傾向が前回から今回の測定の間も依然継続してきたように見える。しかし、その増加率は前回から今回にかけて鈍っているようである。

#### 4. 桜島中央部における重力変化について

Fig. 4 に、等重力測定として牧園町高千穂小学校(MKZ)を基準点としたハルタ山観測室の水準点(BMSVO)の重力差の推移をプロットした。ここでも、1976 年の測定開始から前回 1992 年の測定まで、桜島中央部で一貫して重力値が増加してきたこと、前回から今回までの期間は重力値の増加傾向が鈍ったこと、が明瞭に読み取れる。

石原ら (1995) の図 3 に今回の測定結果を加えたもの

Table 2 Results of precise gravity measurement in Sakurajima

Obs.Site	Mar-75	Nov-76	Nov-78	Dec-80	Nov-82	Nov-85	Dec-88	Mar-92	Apr-97
	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal
IJUI		20.724	20.724	20.707	20.707	20.685	20.599	20.624	20.587
F49		8.387	8.416	8.392	8.427	8.410	8.332	8.312	8.346
K-FGS	13.923	13.901	13.908	13.904	13.891	13.893	13.831	13.833	
KTGS									13.849
BM2469									14.980
S16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S17A								-0.340	-0.342
S19	-2.385	-2.378	-2.360	-2.370	-2.365	-2.346	-2.385	-2.378	-2.719
S22	-3.326	-3.329	-3.292	-3.321	-3.296	-3.366	-3.395	-3.380	-3.374
S26	-17.634	-17.647	-17.615	-17.602	-17.622	-17.564	-17.627	-17.575	-17.587
S28	-23.657	-23.669	-23.626	-23.644	-23.621	-23.611	-23.619	-23.630	-23.639
S29		-39.479	-39.491	-39.463	-39.489	-39.458	-39.454	-39.455	-39.535
S34GP						-27.978	-28.031	-28.021	-28.022
S37	(-21.628)	-21.611	-21.580	-21.560	-21.578	-21.576	-21.621	-21.616	-21.606
S39	(-17.336)	-17.294	-17.292	-17.286		-17.279	-17.313	-17.312	-17.156
BM2500	2.951	2.946	2.970	2.958	2.972	2.965	2.908	2.906	2.918
S03			-14.580	-14.603	-14.570	-14.566	-14.594	-14.575	-14.561
S08			-21.259	-21.246	-21.254	-21.237	-21.289	-21.293	-21.291
S10	(-12.204)	-12.207	-12.177	-12.207	-12.166	-12.167	-12.031	-12.018	-12.016
S12	(-6.551)	-6.553	-6.546	-6.570	-6.545	-6.749	-6.754	-7.109	-6.717
S13'	(-5.728)	-5.728	-5.723	-5.718	-5.722	-5.752	-5.777	-5.797	-5.802
S102	(-16.280)	-16.268	-16.254	-16.250	-16.248	-16.241	-16.238	-16.225	-16.244
S105			-57.339	-57.296	-57.318	-57.289	-57.297	-57.277	-57.593
BMSVO	-95.484	-95.437	-95.440	-95.396	-95.400	-95.364	-95.352	-95.318	-95.311
S202	(-66.379)	-66.338	-66.347	-66.303	-66.314	-66.271	-66.254	-66.225	-66.213
S204	(-48.082)	-48.069	-48.065			-48.017	-47.989	-47.971	-47.111
S206	(-36.321)	-36.329	-36.316	-36.294	-36.303	-36.268	-36.286	-35.971	-35.956
S209	(-12.643)	-12.613	-12.615	-12.601	-12.604	-12.576	-12.571	-12.559	-12.559
S110	(-120.393)	-120.385					-120.275	-120.253	-120.226
MKZ		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMSVO		-2.363	-2.367	-2.336	-2.323	-2.270	-2.197	-2.118	-2.093

|| : Renewal of bench mark  
 ( ): Measured by one gravimeter

を Fig. 5 に示す。なお、S16 に対する BMSVO の比高変化については江頭ら (1997) によった。図中の直線 F はフリーエア勾配 (-3.086  $\mu$  gal/cm) を、直線 B は地下の岩石密度を 2.2 g/cm<sup>3</sup> とした場合のブーゲー勾配 (-2.160  $\mu$  gal/cm) を示している。測定された重力変化の勾配が直線 B および F から予想されるより数倍大きいことから、石原ら (1995) は、桜島中央部地下では地盤が沈降しつつ地下の密度および質量が増大する現象が進行していると結論した。今回の測定結果を見ると、地盤変動に対する重力変化の傾きが前回までとそれほど変わっていないことから、上記の密度および質量の増加プロセスは依然として続いているようである。しかし、先に述べたように、時間的な重力増加率は前回から今回の期間鈍っており、密度および質量の時間的な増加率は鈍っているのではないかと考えられる。

Fig. 6 に、江頭ら (1997) による、桜島西岸の水準点 S17 を基準にした桜島北岸の水準点 S29 の比高変化および火山灰放出量、爆発噴火回数との関係を表す図を示した。

1974 年以降の活発な山頂噴火活動に伴って、S17 に対し S29 が沈降 (始良カルデラを中心とした地盤の沈降) を続けてきていたが、近年 (1991 年から 1996 年の間) 沈降から隆起に転じたことが見て取れる。また、近年は爆発回数こそそれほど少なくないが、1993 年以降桜島の山頂噴火活動が低調になり火山灰放出量が減少していることがわかる。この状況下において、桜島中央部直下における重力値の増加傾向が、前回 (1992 年) の測定から今回 (1997 年) の測定の間鈍ったことは興味深い。桜島中央部直下における重力値の増加は、噴火活動に伴い始良カルデラから桜島直下へ貫入してきたマグマが脱ガスを生じ、その結果密度の高くなった残余マグマが付加蓄積することにより生じるのではないかと考えられている。この視点に立つと、重力値の増加傾向が鈍ったことと山頂噴火活動の静穏化は調和的である。もちろん、前回から今回の測定までの間は、重力変動・地盤変動ともにその変化量が小さく、特に重力測定値の誤差を考えると、今回の結果だけで結論を出すには注意を要するであろう。今後繰り返される

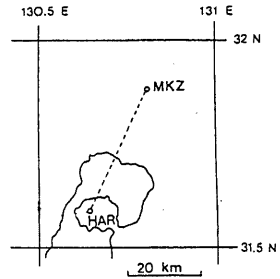
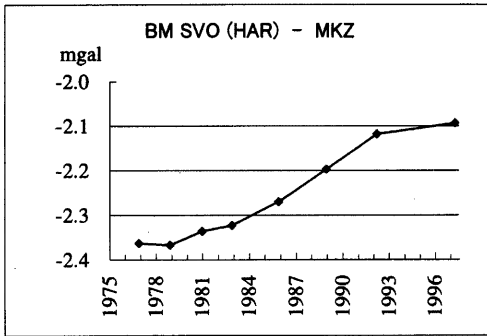


Fig. 4 Relative gravity change at BMSVO located on western flank of Sakurajima volcano, to the reference point of MKZ.

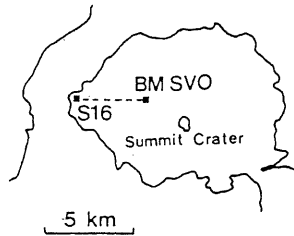
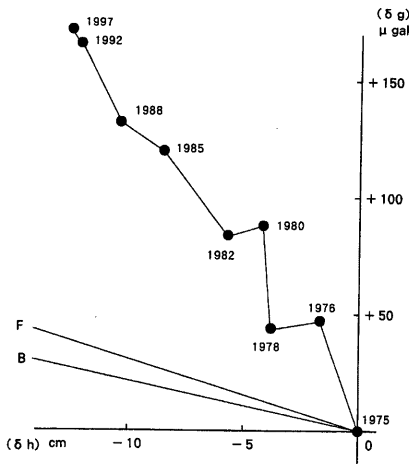


Fig. 5 Relation between relative gravity change and relative vertical displacement at BMSVO, taking the reference point of S16 located in western coast of Sakurajima.

測定の結果を、注意深く見守っていきたく考えている。  
 また、このような議論の確度を上げるため、高精度の絶対重力測定を、従来の精密重力測定と並行して行っていきたく考えている。

5. まとめ

1997年4月に桜島および始良カルデラ周辺で、9回

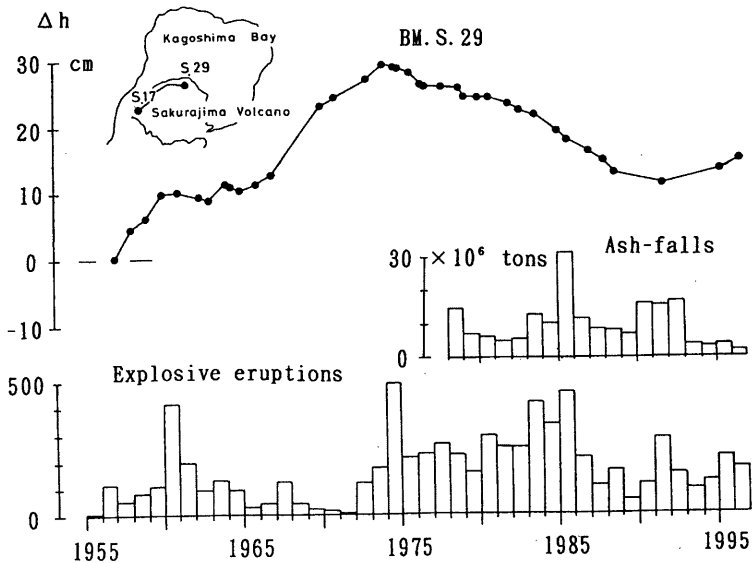


Fig. 6 Relations among secular change of relative heights of bench mark S29, yearly weights of estimated volcanic ash-fall deposits and yearly number of explosive eruptions at the active crater of Sakurajima volcano (after Eto et al., 1997).

目の精密重力測定を実施した。

(1) 前回(1992年)から今回の測定までの期間、始良カルデラ周辺の測定点における重力変化は、BM2508 に対し大きくは変動していない。しかし、始良カルデラ中心部に近い測定点では重力値が減少した点がいくつかあった。一等水準測量の結果によると、始良カルデラを中心とした地盤変動は、1991年の測定から1996年の測定までの間に沈降から隆起に転じたことがわかつている。地盤変動傾向は変わったが、定性的には測定された重力変化傾向は地盤変動から期待される重力変化に調和的であることは、これまでと同様である。

(2) 桜島中央部を中心とした1975年以降の重力増加傾向は前回から今回の測定の間も依然として続いていたようである。またその重力増加は、これまでも指摘されてきたように、地盤の沈降による比高変化から期待される値より数倍大きい。桜島中央部地下では、密度及び質量が増加するプロセスが依然として続いていたようである。しかし、重力値の時間的な増加率は、前回から今回の測定の間、それ以前に比べて鈍っている。桜島中央部地下の密度および質量の時間的な増加率は減少したものと推定される。

近年の山頂噴火活動の静穏化を反映しているのではないだろうか。

#### 謝辞

重力測定に際し、桜島火山観測所の所員の方々にはいろいろな面でお手伝いいただいた。測定点となっている伊集院高校および高千穂小学校には、測定を快く許可していただいた。本研究に要した経費の一部は、京都大学防災研究所特別事業費研究プロジェクト「桜島及び雲仙岳における火山活動の総合評価に関する調査研究」より賄われた。以上、記して御礼申し上げます。

#### 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,Vol.34,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重力精密測定, 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重力精密測定, 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精密測定, 第 5 回桜島火山の集中総合観測, pp.33-40.
- 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月一, 京都大学防災研究所年報, 第 40 号 B-1, pp.49-60.
- 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.
- Yokoyama, I. (1989): Microgravity and height changes caused by volcanic activity: four Japanese examples, Bull. Volcanol., Vol. 51, pp.333-345.

#### Trend of gravity change in and around Sakurajima volcano

Keigo YAMAMOTO, Tetsuro TAKAYAMA, Kazuhiro ISHIHARA, Hiromitsu OSHIMA\*, Tokumitsu MAEKAWA\*, Sadato UEKI\*\*, Munehisa SAWADA\*\*\* and Jun OIKAWA\*\*\*

\* Faculty of Science, Hokkaido University

\*\* Faculty of Science, Tohoku University

\*\*\* Earthquake Research Institute, University of Tokyo

#### Synopsis

The 9th precise gravity measurement was conducted in and around Sakurajima in Apr. 1997. The trend of gravity changes around Aira caldera is in harmony with that expected from the ground deformation. Successive gravity increase observed around the center of Sakurajima since 1975 seems to slow down between the last (1992) and the present measurements. It may reflect the low activity of summit eruption of Sakurajima since 1993.

**Keywords:** Sakurajima, precise gravity measurement, ground deformation, eruptive activity