

桜島および始良カルデラ周辺における GPS 観測

京都大学防災研究所 井口 正人・高山 鐵朗
山崎 友也・多田 光宏
北海道大学大学院理学研究院
鈴木 敦生
東北大学大学院理学研究科
植木 貞人・太田 雄策
鹿児島大学理学部 中尾 茂・前野 直
長尾 潤
鹿児島県土地家屋調査士会鹿児島支部
馬場 幸二
鹿児島県公共嘱託土地家屋調査士協会鹿児島支所
大重 吉輝
かごしま青年土地家屋調査士会
放生会正美

1. はじめに

1974 年以降, 桜島南岳山頂火口における爆発的噴火活動が活発であった時期には, 桜島火山および始良カルデラ周辺における地盤は, 沈降・収縮を示していたが^{1)~6)}, 1992~1993 年頃から隆起・沈降に転じ, 始良カルデラ下深さ 10km 付近においてマグマの再蓄積が始まったことが 1996 年集中総合観測において実施された水準測量により指摘されている⁷⁾。一方, 1995 年には桜島島内における GPS 連続観測網が整備され, 始良カルデラ・桜島北部を中心とする地盤の膨張が観測されている⁸⁾。地盤の膨張期と停滞期は交互に繰り返されており, 1997 年 11 月から 1999 年 10 月までの地盤膨張期の圧力源の位置は, 始良カルデラの中心に近い桜島北部の深さ 8~9km に求められている⁹⁾。1996 年の第 9 回集中総合観測において始良カルデラ周辺に繰り返し観測点を設置し, 初回の測定を実施した¹⁰⁾。それ以降, ほぼ 1 年おきに測定を繰り返してきた。2007 年の集中総合観測では連続観測点と既設繰り返し点に加え, 桜島島内に高密度繰り返し観測点を設置し, 測定を行った。本稿では, GPS 繰り返し観測によって得られた 1996 年から 2007 年までの桜島及び始良カルデラ周辺の地盤変動の特徴とその地盤変動を引

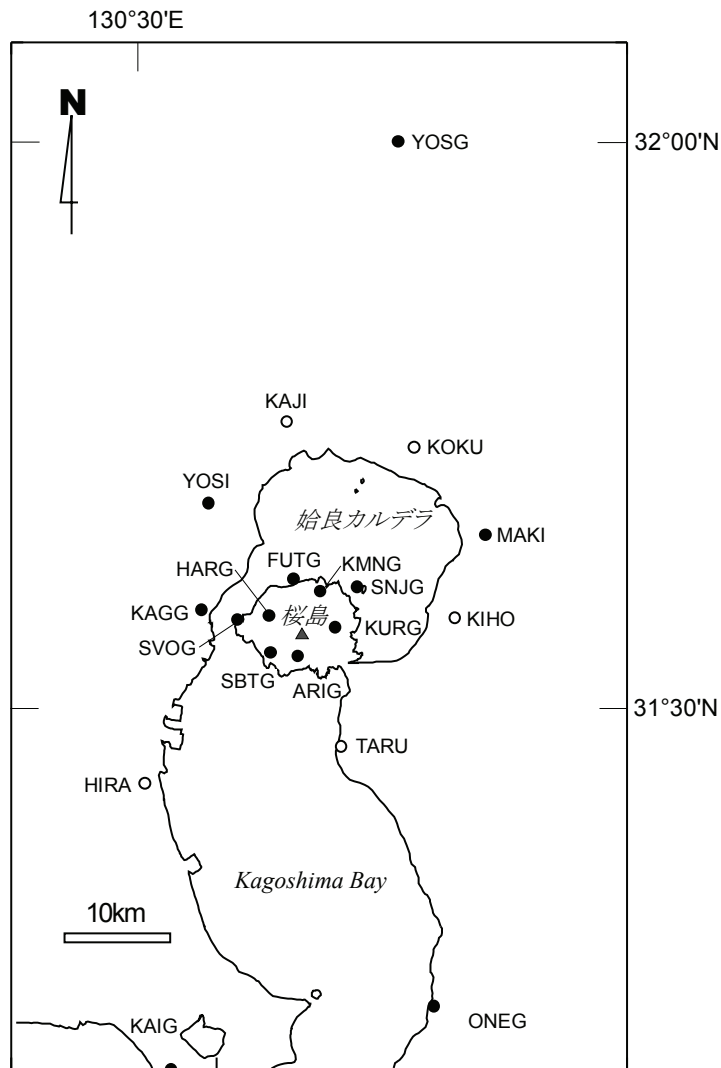


図 1. GPS 観測点の位置図。黒丸は連続観測点，白丸は繰り返し観測点を示す。

き起こした圧力源について述べるとともに、GPS 連続観測から推定される始良カルデラ下へのマグマ供給率の時間変化を明らかにする。最後に、最近の火山活動から推定されるマグマの動きと桜島島内における高密度観測網の必要性について述べる。

2. 観測

1996 年以降 2007 年まで連続および繰り返し観測を行ってきた GPS 観測点の位置を図 1 に示す。桜島島内および KAGG 観測点では 1995 年に設置した GPS 受信機 Leica SR299E は 2005 年 6 月に AX1200 に更新された。また、2006 年 4 月には桜島北部に KMNG と SNJG に観測点を新設し、Leica GMX902 を設置した。始良カルデラ周辺の KAJI, KOKU, KIHO と鹿児島湾南部の HIRA, TARU は繰り返し観測点である。今回の観測では GPS 受信機 Trimble

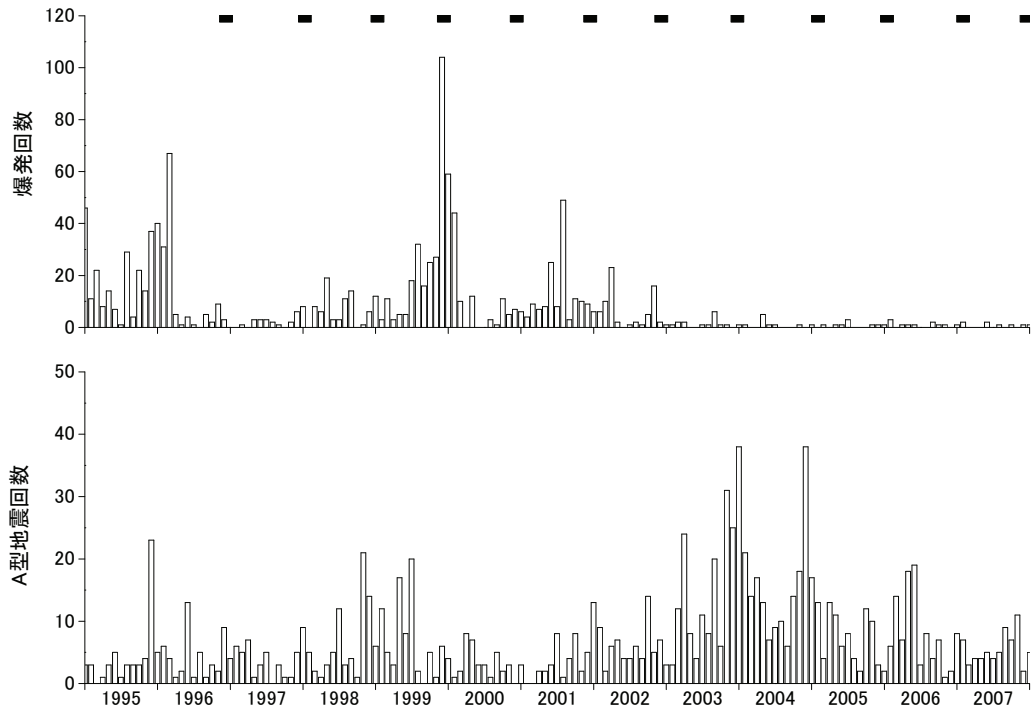


図 2. 1995 年から 2007 年までの月別爆発回数・A 型地震発生回数と繰り返し観測実施時期。繰り返し観測実施時期を上部に横線で示した。

4000SSI とアンテナ TRM23903.00 を使用した。YOSG, ONEG, KAIG, MAKI, YOSI では Leica SR299/399E を使用している。

図 2 にこれまでの繰り返し観測の実施時期を最近の爆発回数, A 型地震の発生回数と併せて示した。繰り返し観測は 1996 年 12 月の初回の観測からほぼ 1 年おきに冬季に実施してきた。爆発回数は 1999 年 12 月に 104 回に達して以降, 減少傾向にあり, 2005 年以降は年間爆発回数は 10 回以下である。一方, A 型地震の活動は 2003 年から 2004 年にかけて活動的となった。

今回の観測は, 2007 年 12 月 18, 19, 20 日に行った。観測時間は 60 時間以上であり, サンプリング間隔は YOSG, ONEG, KAIG, MAKI, YOSI では 15 秒であるが, それ以外はすべて 1 秒である。記録されたデータは RINEX 形式に変換し, 基線解析は SKI-Pro バージョン 2.5 を用いて行った。

3. 観測結果

図 3 に 1996 年 12 月から 2007 年 12 月までの期間において観測された連続観測点および繰り返し観測点における水平変位ベクトルを示した。大隅半島南部の ONEG を固定として示してある。水平変位ベクトルは桜島の北部, 始良カルデラの中央部を中心に放射状に外側に変位

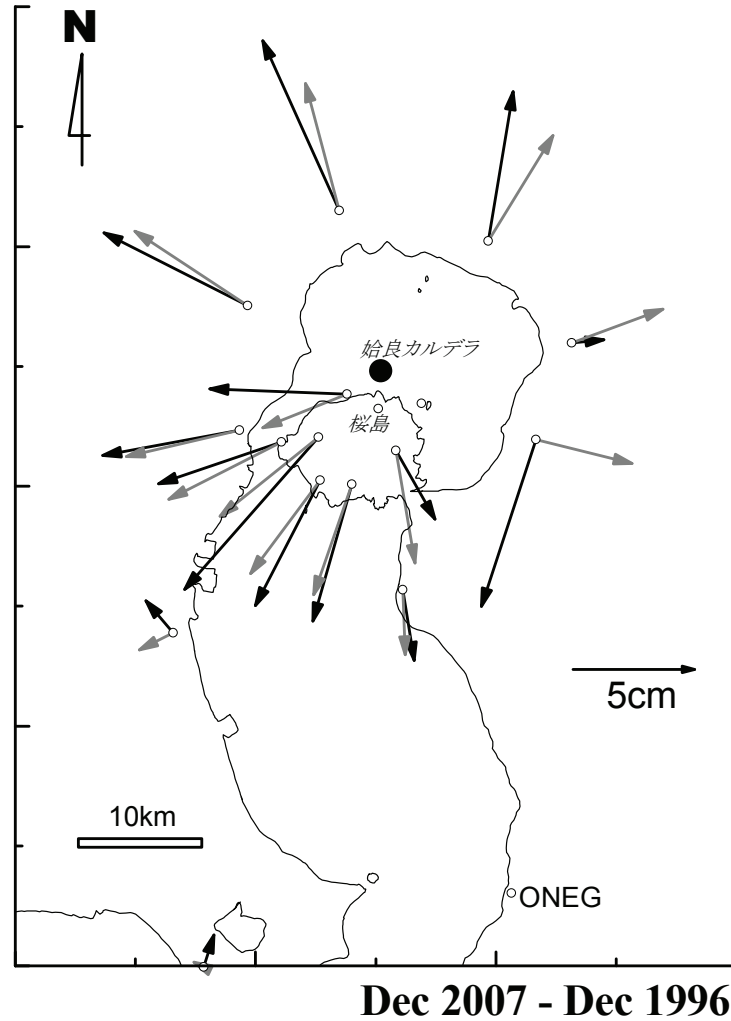


図 3. 1996 年 12 月から 2007 年 12 月までの水平変位ベクトル。黒色の矢印が観測値を示す。始良カルデラ中心の黒丸は茂木モデルを仮定した求めた圧力源の位置であり、灰色の矢印は水平変位ベクトルの理論値である。

し、HARG において最も大きく 8.5cm であった。始良カルデラの中央部から 20km 以上離れる HIRA や KAIG では変動は顕著ではなかった。得られた水平変位から茂木モデルを仮定して圧力源の位置を求めた。圧力源の位置は始良カルデラの中央部、深さ 11km に求められた(図 3)。また、体積変化量は $8 \times 10^7 \text{m}^3$ となった。予測される水平変動ベクトルは、ほぼ観測された水平変位ベクトルと一致しているが、始良カルデラ東側の観測点において食い違いが大きい。得られた圧力源の位置は 1991 年から 1996 年までの桜島および始良カルデラ周辺の上下変動から求められた圧力源の位置⁷⁾とほぼ同じである。

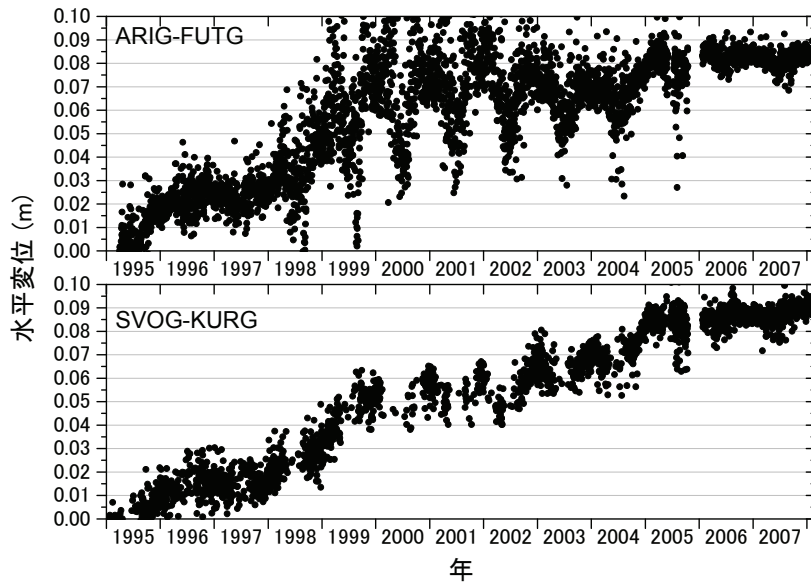


図 4. 1996 年 12 月から 2007 年 12 月までの桜島を南北 (ARIG-FUTG) および東西 (SVOG-KURG) に横切る測線の水平変位量

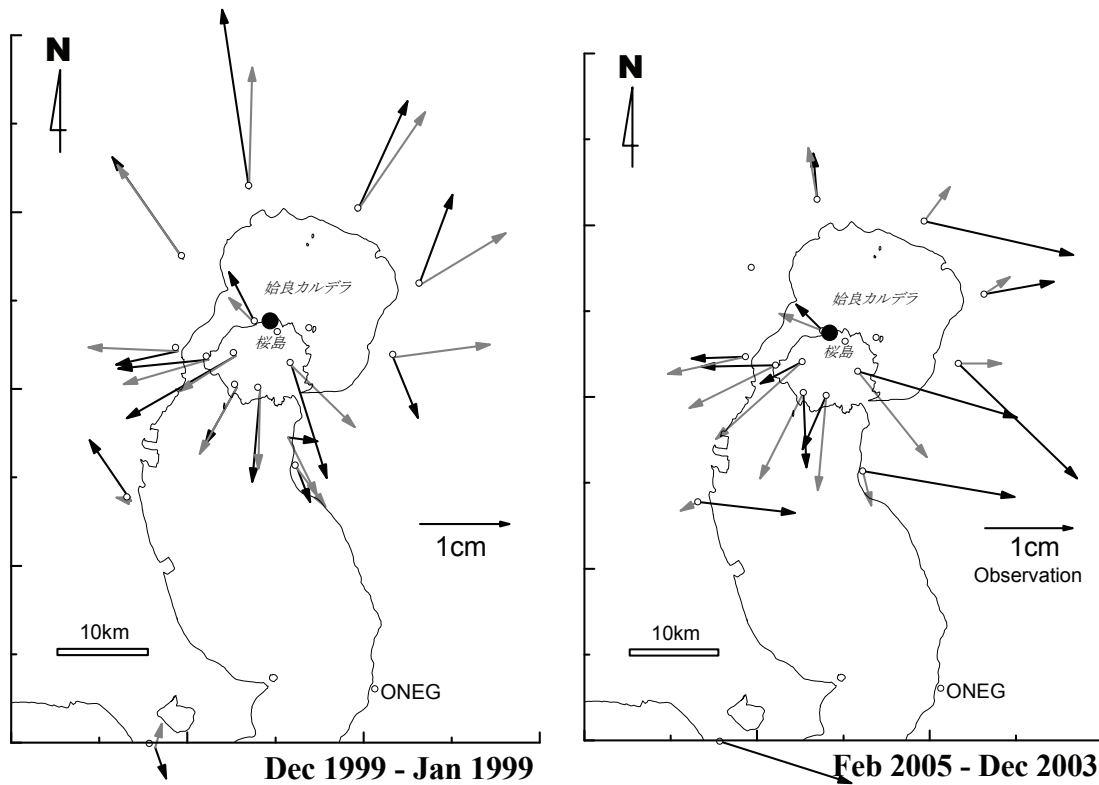


図 5. 1999 年 1 月から 12 月まで (左), 2003 年 12 月から 2005 年 2 月までの水平変位ベクトル。黒色の矢印が観測値を示す。始良カルデラ中心の黒丸は茂木モデルを仮定した求めた圧力源の位置であり、灰色の矢印は水平変位ベクトルの理論値である。

図 4 に桜島を南北 (ARIG-FUTG) および東西 (SVOG-KURG) に横切る測線における 1995 年から 2007 年までの水平変位量を示す。1 日毎の解析結果を示す。これによると、南北および

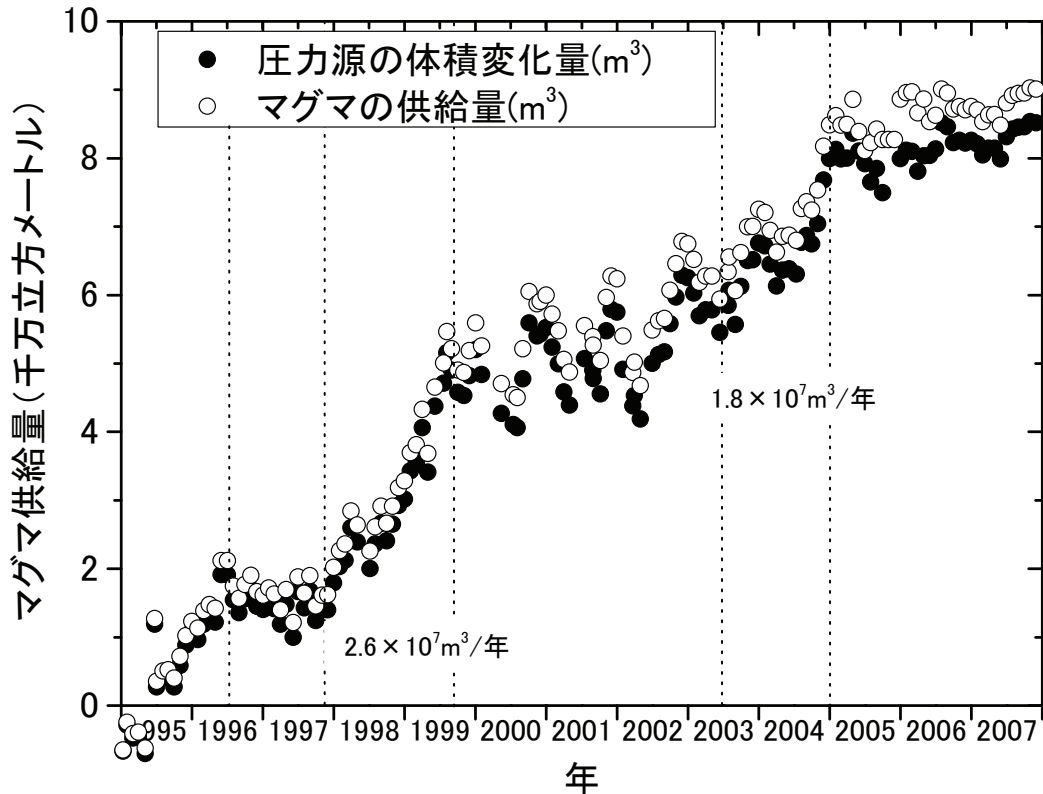


図 6. 1995 年から 2007 年までの桜島北部の圧力源における体積変化量とマグマの積算供給量の時間変化

東西の測線とも 11 年間に約 9cm の水平変位が検出された。最も、変動量が大きかったのは 1997 年 11 月から 1999 年 10 月までの期間であり、南北に約 5cm、東西に約 4cm の変動がみられた。また、2004 年 10 月から 2005 年 2 月にかけても顕著な変化が検出された。そこで、これら 2 つの期間に対応する繰り返し観測期間、1999 年 1 月から 12 月までと 2003 年 12 月から 2005 年 2 月までの期間における地盤変動の水平変位ベクトルを ONEG を固定として図 5 に示した。いずれの期間でも桜島北部から始良カルデラ中央部を中心とする放射状の水平変位ベクトルがみられる。同様に茂木モデルを仮定して圧力源の位置を求めてみた。1999 年 1 月から 12 月までの期間では桜島の北岸付近の深さ 9km に求められた。また、2003 年 12 月から 2005 年 2 月までの期間では、圧力源の水平位置は同様に桜島の北部の海岸線付近であったが、深さは 6km に求められた。1996 年から 2007 年までの平均的な圧力源の位置と比べ、やや桜島に近い場所に求められる傾向がみられる。

1996 年から 2007 年までの水平変位量から圧力源の位置は始良カルデラ中央部の深さ 11km に求められ、桜島を東西に横切る測線 SVOG-KURG の相対的水平変位量 (Δh) と体積変化量 (ΔV) には

$$\Delta V = 9.64 \times 10^8 \Delta h$$

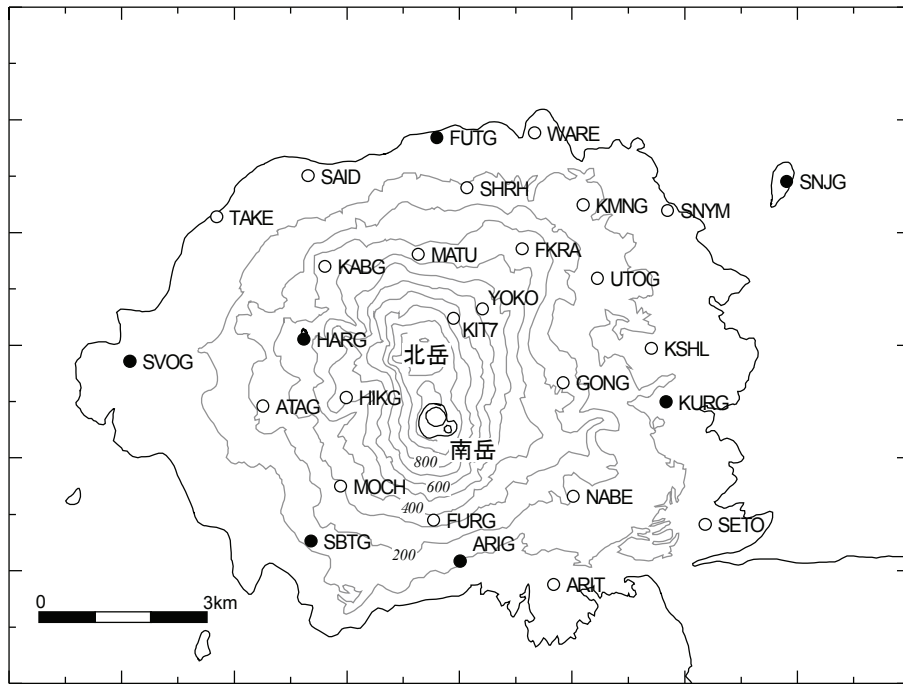


図 7. 桜島島内に増設した GPS 観測点の位置図(白丸)。黒丸は連続観測点。

となる関係がある。1996 年から 2007 年までの期間では圧力源の位置の多少の変化はみられるものの桜島の北部から始良カルデラの中央部に圧力源の位置があるものと考えられるので、桜島を東西横切る測線における水平変位の日々の値から上記の関係を用いて圧力源における体積変化量の変化を推定した。1995 年から 2007 年までの期間における圧力源の体積変化量および火山灰放出量を考慮したマグマの供給量を図 6 に示した。1995 年から 2007 年までの 11 年間で約 $8 \times 10^7 \text{m}^3$ の体積増加が見積られ、マグマの供給量としては約 $9 \times 10^7 \text{m}^3$ となる。年間平均値は $0.8 \times 10^7 \text{m}^3$ となり、これまでに見積もられているマグマの供給率 $1 \times 10^7 \text{m}^3$ ¹¹⁾ とほぼ同等かやや少ない程度である。先に述べた水平変位速度の大きい時期、1997 年 11 月から 1999 年 10 月までの期間および 2004 年 10 月から 2005 年 2 月までの期間ではマグマの供給率はそれぞれ、 $2.6 \times 10^7 \text{m}^3$ と $1.8 \times 10^7 \text{m}^3$ となり、平均的なマグマ供給率に比べ 2 倍程度大きい。一方、1996 年 2 月から 1997 年 10 月までは地盤変動は検出限界以下であり、火山灰放出もほとんどみられず、始良カルデラへのマグマの供給は一時的に停止していたと考えられる。また、2000 年から 2003 年にかけても変動量が小さい。始良カルデラへのマグマの供給は一定ではなく、供給期と停止期を 2~3 年の間隔で繰り返しているように見える。

4. 今後の予測とまとめ

1996 年に実施された水準測量・辺長測量によって示されたように始良カルデラの再隆起・膨

張が 1992～1993 年ごろから始まった⁷⁾。今回の観測により、桜島火山ではその北岸から始良カルデラの中央部を中心とする顕著な地盤の膨張が検出されており、桜島は本格的なマグマ蓄積期に入ったと判断できる。桜島では最近の噴火は南岳山頂火口およびその山腹において発生しており、顕著な噴火の前には多量のマグマが始良カルデラ下のマグマ溜りから南岳に向けて移動することが予想される。Hidayati et al. (2007)¹²⁾は 2003 年 11 月に桜島の南西域において発生した地震活動について、始良カルデラ下に蓄積されたマグマが桜島の北東海域の新島付近から南西方向にのびる開口割れ目に沿って移動し、その結果として開口割れ目先端において地震活動が活発化したものと解釈した。同時に、水準測量と GPS 観測から桜島北部に求められる膨張圧力源から割れ目に沿ってマグマが南岳に向かって貫入してくる可能性も指摘している。いずれにしても桜島へマグマが貫入してくれば、始良カルデラを中心とする圧力源だけでは説明できない地盤の変動があるはずであり、それを検出するためにはより稠密な観測網を構築する必要がある。今回の集中総合観測において桜島島内に 20 点の繰り返し観測点を増設し、初回の観測を行った。使用した GPS 受信機は Leica AX1200, SR520, SR399, Trimble NetRS で、サンプリングはすべて 1 秒とした。桜島では 2006 年 6 月に昭和火口において 58 年ぶりに噴火が発生し、2008 年 2 月には火砕流も発生するなど、これまでの南岳山頂火口の活動とは異なる様式の活動が現れ始めている。GPS の稠密観測を実施することによりマグマの移動に伴う詳細な地盤変動が検出できる可能性がある。

謝 辞

鹿児島県土地家屋調査士会鹿児島支部、鹿児島県公共嘱託土地家屋調査士協会鹿児島支所、かごしま青年土地家屋調査士会につきましては代表者のみを著者としてあげさせていただきましたが、会員の多くの方に観測に参加していただきました。厚く御礼申し上げます。また、GPS 基準点の新設および既設基準点の使用につきましては下記の方々にお世話になりました。

鹿児島市役所安心安全課、同道路整備課、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所、鹿児島森林管理署、鹿児島県教育委員会、鹿児島県立青少年研修センター総務課、鹿児島県立福山高等学校、鹿児島県立錦江湾高等学校、加治木町教育委員会および同町立永原小学校、霧島市役所都市計画課、輝北町役場総務課、名古屋大学太陽地球環境研究所附属鹿児島観測所。

参 考 文 献

- 1) 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, 29-39.

- 2) 江頭庸夫・中村貞美(1986):桜島火山周辺における地盤変動—1974年-1982年—,第5回桜島火山の集中総合観測(昭和57年10月-12月),11-21.
- 3) 江頭庸夫(1988):桜島火山周辺における地盤変動—1982年-1985年—,第6回桜島火山の集中総合観測(昭和60年10月-12月),15-19.
- 4) 江頭庸夫(1989):桜島火山周辺における地盤変動—1985年-1988年—,第7回桜島火山の集中総合観測(昭和63年10月-12月),13-19.
- 5) 江頭庸夫(1995):桜島火山周辺における地盤変動—1988年-1991・92年—,第8回桜島火山の集中総合観測(平成3年10月-平成4年3月),15-21.
- 6) 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-1,29-39.
- 7) 江頭庸夫・高山鐵朗・山本圭吾・Muhamad Hendrasto・味喜大介・園田忠臣・木股文昭・宮島力雄・松島健・内田和也・八木原寛・王彦賓・小林和典(1997):桜島火山周辺における水準測量結果について—1991年12月~1996年10月—,第9回桜島火山の集中総合観測,15-29.
- 8) Kamo, K, Iguchi, M. and Ishihara, K. (1997) : Inflation of volcano Sakurajima detected by automated monitoring system of GPS network, Program manual '97 IUGG IAG International Symposium on Current Crustal Movement and Hazard Reduction in East Asia and South-east Asia November 4-7, 1997, Wuhan, China, p.38
- 9) Kriswati, E. and Iguchi, M(2003): Inflation of the Aira caldera prior to the 1999 eruptive activity at Sakurajima volcano detected by GPS network in South Kyushu, Ann. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No.46B, 817-826.
- 10)井口正人・江頭庸夫・高山鐵朗・山本圭吾・他(1998):桜島および始良カルデラ周辺におけるGPS観測,第9回桜島火山の集中総合観測,39-46.
- 11)Ishihara, K. (1981) : A quantitative relation between the ground deformation and the volcanic material ejected, Abstract, 1981 IAVCEI Symposium -Arc Volcanism-, 143.
- 12)Hidayati, S., Ishihara, K. and Iguchi, M. (2007) : Volcano-tectonic earthquakes during the stage of magma accumulation at the Aira caldera, southern Kyushu, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol. 52, 289-309.

(Received on April 4, 2008)

