

## 桜島西部におけるGPS地殻変動観測

著者	最勝寺 俊秀, 田中 穰, 寺家 孝明, 小林 亜由美, 吉島 陽子
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	27
ページ	173-187
別言語のタイトル	GPS Observations on Volcanic Crustal Deformation in the Western Part of Sakurajima Volcano
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10232/00000483">http://hdl.handle.net/10232/00000483</a>

## 桜島西部における GPS 地殻変動観測

最勝寺俊秀<sup>1)</sup>, 田中 穰<sup>1)</sup>, 寺家孝明<sup>1)</sup>, 小林亜由美<sup>2)</sup>, 吉島陽子<sup>1)</sup>

### GPS Observations on Volcanic Crustal Deformation in the Western Part of Sakurajima Volcano

Toshihide SAISHOJI, Minoru TANAKA, Taka-aki JIKE, Ayumi KOBAYASHI  
and Yoko YOSHIJIMA

#### Abstract

To study the relationship between present volcanic activities in Sakurajima Volcano and its local crustal deformation, Laser distance measurements and GPS observations between Faculty of Science, Kagoshima University and Yunohira, Sakurajima Volcano have been carried out since August in 1992. Moreover, new two volcanic observation points were established to form triangulation networks and compare the long distance change with the short distance change. The repetitional observations by GPS interferometry have been continued since August in 1993.

From the data obtained so far, it was found that secular variation of distance between Kagoshima University and Yunohira, shows contraction of  $31 \pm 14$ mm/yr. and  $4 \pm 8$ mm/yr. during the periods from August, 1992 to July, 1993 and from July, 1993 to June, 1994, respectively. Moreover, it was found that the fluctuating pattern in this linear secular variation during the period from August, 1993 to March, 1994 agrees well with the secular pattern of the daily variation of eruption and explosion, including the effect of atmospheric variation.

From this result, it can be pointed out as follows. The increasing pressure source in shallow part in the Minamidake is compressed by the increasing local strain field around the crater before the eruption, which shows the elongation in distance and the upheaval near the crater. Moreover, eruption occurs at the threshold point beyond the eruption limit of the pressure source to release the increasing compressing field energy and finally, the pressure source just after eruption, changes immediately from deflation phase to slow inflation phase, which shows the contrac-

---

<sup>1)</sup> 鹿児島大学理学部地学教室 〒890 鹿児島市郡元1丁目21-35  
Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto,  
Kagoshima 890, Japan

<sup>2)</sup> アジア航測株式会社計測技術部 〒243 神奈川県厚木市田村町13番16号  
Asia Air Survey Co., Ltd., 13-16 Tamura-cho, Atsugi, Kanagawa 243, Japan

tion in distance and the subsidence near the crater.

**key words:** GPS interferometry, Sakurajima Volcano, Crustal movement, Volcanic eruption, Magma activity

## 序 論

火山体地域における精密距離観測は、日本では主に国土地理院によって実施されており、特に伊豆半島中部の手石海丘周辺での観測では、水平・上下の変動を検出する複合連続観測の意義が指摘されている (Yoshimura et al., 1991). また最近の例では長崎県島原半島の雲仙岳周辺において水準測量及び GPS 測量, 連続 GPS 観測が実施され, 火山活動に伴う地殻変動が検出され, 併せて火山体地域における GPS 連続観測の有用性が確認されている (小牧, 1992).

鹿児島県錦江湾のほぼ中央に位置している桜島は, 有史以来度々大きな噴火を伴う活動をしてきた. 大正大噴火とそれ以後の活動については, 始良カルデラ周辺の測量データから, この地域の大きな地殻変動は始良カルデラの地下約10km にある圧力源の活動によるもの (Mogi, 1958; Yokoyama, 1986) であり, 活動期の桜島の山頂噴火活動は南岳の直下約3 km の圧力源と密接に関係している (石原・他, 1978; 江頭・他, 1985; 京大防災研, 1988; 多田・橋本, 1988) ことが報告されている.

最近の桜島周辺の地殻活動は, 南九州全体に影響を及ぼすほどの広域地殻変動を示しており (田中, 1993), 桜島付近は長期的には沈降を示している (国土地理院, 1992). この火山活動と地殻変動との関係を明確にし, 噴火の長期予知に関する研究を行うため, 火山学講座では手始めとして1992年8月から鹿児島大学理学部と桜島・湯之平との間で光波測距儀及び GPS (Global Positioning System) による精密距離観測を実施した. この結果, 1992年8月から1993年7月までの湯之平展望台屋上点と鹿児島大学理学部屋上点間 (約8.5km) での光波測距観測による基線長の経年変化から, 桜島がこれまでの収縮ないし定常状態から膨張期に変化したらしいことが田中・他 (1993) により示唆された. 一方, 観測期間中の1993年4月8日から同年10月26日まで山頂の爆発的噴火 (以後爆発と称する) も休止し静穏な状態が続いていたが, この間に桜島島内の観測点と鹿児島大学理学部屋上点とを結ぶ基線で GPS 観測を実施すると共に, これを調査するには更に観測基線を増やすことが望まれており, 今回桜島湯之平四等三角点 (SA02), 建設省大隅工事野尻川砂防観測所展望台点 (NOJI), 桜島火北来四等三角点 (KAPR) と鹿児島大学理学部屋上点 (KUV1 or KUV2) とに測辺数を増やし, GPS によりほぼ月1回の観測を, 引き続き1993年8月より実施した.

本論では, これらの観測結果について報告する. 更に今回新しく得られた観測データの経年変化の中でその変化分と火山活動との関係が明瞭にみられることや季節変化と思われる変化も検出されているので, これらについても併せて報告する.

## 使用観測機器

GPS 受信機は、GP-R1 Ver. 6M (Pコード対応), GP-R1DY (Yコード対応) (Ashtech 製) を、解析には DynaBook (東芝製), Contura (COMPAQ 製) 等 DOS/V 機にインストールされた Ashtech 製のソフト MP (Multi-Site Mission Planning System) 及び GPPS (Geodetic Post Processing System) をそれぞれ用いた。

光波測距儀は、RANGE MASTER II (K+E 製) と DISTMAT DI3000 (WILD LEITZ 製) を用いた。仕様・性能は表 1 に示す。またこの時使用したミラーは、ミラー定数が 40mm の 7 素子コーナーキューブ (AGA 製) である。

偏心測定には、トータルステーション (Nikon 製) 及びミラー定数が 0 mm の 3 素子コーナーキューブ (Nikon 製) を用いた。

気象測定機器は、乾湿球温度計は隔測通風乾湿計 TAH-1 型 (タマヤ計測システム製) とアスマン型通風乾湿計, 気圧計は光波測距用気圧計 OT-408, アルチメーター OT-409 (大田商事製) と気圧自記記録計 NS II -BQ (佐藤計量器製作所製) を用いた。

表 1 光波測距儀の仕様・性能  
Table 1 Specification and performance of EDM.

機 種	RANGE MASTER II	DI3000
光源	He-Neレーザー	GA-AL-ASレーザーダイオード
実効波長 ( $\mu\text{m}$ )	0.6328	0.865
分解能 (mm)	1	1
測距範囲 (km)	最大60	8~13
精度 (Dは基線長)	$\pm 5\text{mm} + D \cdot 1\text{ppm}$	$\pm 3\text{mm} + D \cdot 1\text{ppm}$
機械定数 (mm)	135	不明

## 観測方法

図 1 に観測基線網と観測点の標高断面を示す。光波測距観測では KUV1 (鹿児島大学理学部屋上点) を基点として Y. Laser (桜島・湯之平展望所屋上点), SA02 (湯之平四等三角点), NOJI (桜島・野尻川展望台点) を結ぶ 3 基線を、GPS 観測では KUV1, SA02, NOJI, KAPR (桜島・火北来四等三角点) の各点を結ぶ 6 基線を用いた。また、主に GPS 観測のための点として KUV2 (鹿児島大学理学部屋上 GPS 点) を新たに設置し、光波測距観測における異機種同時比較観測や光波測距観測と GPS 観測との同時観測を行うためにも適宜使用した。

観測期間は、中野 (1993MS) に引き続き、ほぼ月 1 回の測定間隔で 1994 年 6 月まで行った。

筆者らは、KUV2 の KUV1 に対する偏心要素の測定をトータルステーション及び GPS を用いて KADI (鹿大四等三角点) ~KUV1~KUV2, KAPR~KUV1, KAPR~KUV2 の各基線で行った。同様に SA01 (桜島・湯之平展望所屋上偏心点) の SA02 に対する偏心要素の測定を GPS を用いて KUV1 ~ SA01, KUV1 ~ SA02 の各基線で行った。

観測期間中、1993 年 9 月には湯之平展望所は改築のため取り壊され、これにより Y. Laser 及び SA01 は使用不可能となったが、逆に KUV1 ~ SA02 の視通が可能となり、1993 年 9 月 28 日にこの基線では初めての直接観測を行った。

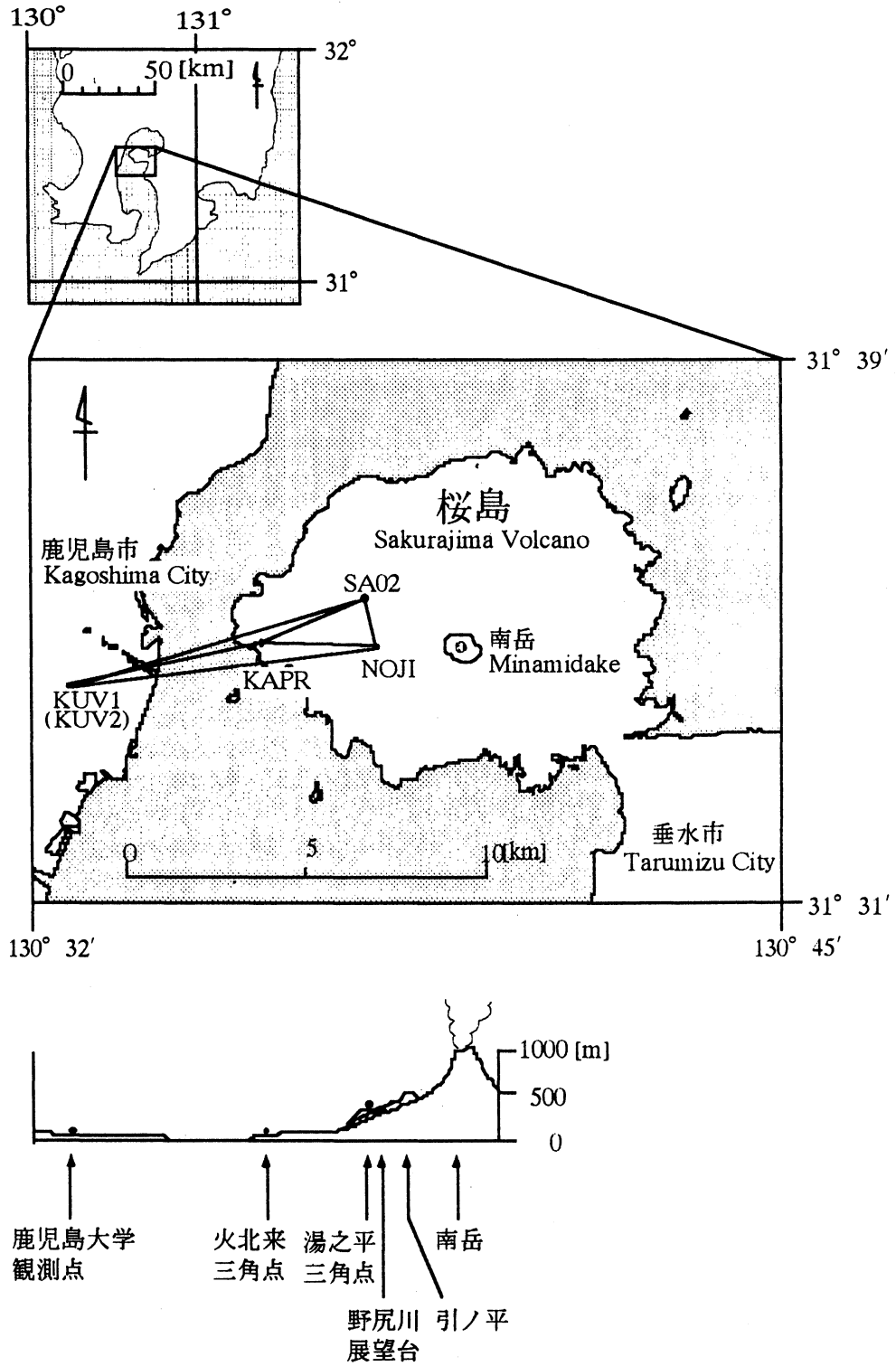


図1 桜島西部の観測基線網図(上)とその標高断面図(下).  
 Fig. 1 Location map of baselines (upper) and the terrain profile (bottom) in the western part of Sakurajima Volcano.

更に、1993年10月には新しい湯之平展望所の建築が始まったため、KUV1～SA02 の視通が不可能となった。これに伴い、この基線での光波測距観測も不可能となり、以後 GPS 観測のみとなった。

観測日時は、光波測距観測では薄曇りもしくは晴れて風が一定量継続して吹き、ミラー設置点への視通が良い日の日没を挟んで前後約1時間30分（計約3時間）を選ぶこと（須田、1970；木股・他、1979）、GPS 観測では GPS 衛星より送られてくる航法メッセージ中のアルマナックデータをもとに MP を用いて将来の衛星軌道予測計算を行い、GPS 衛星が基線に対して平行に上空を通過し（木股・他、1991）、且つ DOP（Dilution of Precision）ができるだけ小さくなるような衛星配置を示す日時を選ぶ（黒石・他、1988）ことがそれぞれ必要である。今回の観測網では観測点の設置条件から東西方向基線が多く、南北方向より若干精度が劣る（村上・他、1988；藤森・他、1992）ため大半はこれに従った。

また、1日の観測時間は光波測距観測では、国土地理院精密測地網一次基準点測量作業規程に従った。気象要素はセット前後で測定した。GPS 観測では衛星配置に留意すれば任意の時間帯で観測が可能であるが、機器の搬送、人員配置などの事情もあり昼間の2～4時間行った。気象要素は15～30分おきに測定した。

## 解析方法

### 光波測距観測

国土地理院精密測地網一次基準点測量計算式で定められている補正の方法により、各測距儀及びミラー固有の値（標準屈折率、使用レーザー光線の実効波長、機械定数、ミラー定数）とそれぞれの基線の両端点で観測された気象要素を用いて補正式に代入すると、その時々々の読定値に対する大気補正值が得られる。この補正後の値を測距値とする。

また、トータルステーションで Y. Laser ～ SA01 ～ SA02 の三辺測量を行った（中野、1993MS）結果と筆者らが行った SA02 の偏心要素の測定結果から1993年1月までの KUV1 ～ Y. Laser 測距値を KUV1 ～ SA02 測距値として採用した。

### GPS 観測

GPS 受信機で得られたデータは GPPS を用いて、広報暦によって基線解析を行った。

座標パラメータとして、吉島（1994MS）が1993年の KNY（気象庁鹿屋地磁気観測所内・国土地理院 GSI 人工衛星軌道追跡局偏心点）、G（錦江湾公園・鹿児島 VLBI 局 G 点）、GC（錦江湾公園・鹿児島 VLBI 局 GC 点）、KUV1、SA02 を用いた観測において KNY を固定既知点とした基線結果に寺家（1993）が作成した三次元自由網平均プログラムを用いて網平均を施した。その結果得られた KUV1 の座標値（ITRF89 系に準拠）を使用し、これを固定既知点として代入した。

今回用いた観測網の基線長は長くて約8.5km 程度であり、電離層の影響による電波伝搬遅延の補正は必要ない（加藤・他、1986）と思われるため L1 帯のみを用いた1周波解析を行った。

対流圏電波遅延補正パラメータとしての気象要素については、観測値を代入し解析を行った場合、観測点の標高がほぼ同じであるような観測では基線長の RMS はデフォルト値（Dry Temp.=20℃, Atm. P.=1010hPa, Hum.=50%）を使用した結果より多少良くなったが、KUV1 と SA02 など標高差（約350m）が大きいような観測ではほとんどの場合劣化した。そのため解析

条件を統一するためにも気象観測値は用いず、デフォルト値を使用した。しかしこの場合、日本のように明瞭な四季のある大気下では、地上付近の夏季、冬季の平均的大気状況はデフォルト値に比べて大きく異なっており、田中（1986）によればデフォルト値を用いた場合の補正量は水蒸気ラジオメーターやラジオゾンデ等の観測から得られた補正量とは異なっている。このため、1年間を通した観測では解析結果（ベクトル、基線長、座標）に大気によるみかけ上の季節変化が基線長に比例して若干現れる（木股・他、1993）。

### 観測結果

これまでに行われた光波測距観測及び GPS 観測で得られたデータを解析した結果、各基線について次のような基線長の変化がみられた。

先ず、光波測距観測と GPS 観測とを同じ基線で行った KUV1 ~ SA02, KUV1 ~ NOJI について測定値の比較を行うと表 2 より光波測距値から GPS 観測値を引いたとき、同日に観測された値の差は、KUV1 ~ SA02 では1992年10月26日が $-36\text{mm}$ 、1993年7月17日が $-26\text{mm}$ 、1日違いの観測であった1993年7月27日と28日とでは、その間での桜島の変動は無視できるものとし比較が可能とすると $+16\text{mm}$ 、KUV1 ~ NOJI では同様に1993年11月2日が $+19\text{mm}$ 、1993年12月18日が $+36\text{mm}$ 、1994年1月21日が $+32\text{mm}$ である。ここで特に偏心計算を介していない KUV1 ~ SA02 における27日、28日の両者の値が RMS を考慮した上で概ね正しい値であるとすればこの値は器差とみなすことができる。この値をオフセット値とすることで光波測距値と GPS 観測値との補間が可能であり、7月27日までの光波測距値を GPS 観測値とみなすことができ、期間を通しての基線長の変化を吟味することができる。しかし、7月27日以外の測距値は偏心計算を介した結果であり、この偏心計算を行うための偏心要素には若干測定誤差が含まれている可能性もある。そこで光波測距観測については7月の観測を境として、観測値の変化量のみについて考えることにした。

1992年8月から1993年7月までの観測値について、光波測距観測値と GPS 観測値それぞれでの最小二乗法を用いた経年変化値は伸びを正として KUV1 ~ SA02 において $-31\text{mm/yr.}$  ( $-3.6\text{ppm/yr.}$ )、 $-24\text{mm/yr.}$  ( $-2.8\text{ppm/yr.}$ ) と両者はほぼ平行にあり変化の傾向は一致している（図 2 上）。

また、1993年7月から1994年6月までの観測値についての経年変化値（かっこ内は直線歪の年率を表す）は KUV1 ~ SA02 において $-4 \pm 8 \text{ mm/yr.}$  ( $-0.4\text{ppm/yr.}$ ) で変化はあまりみられないが、KUV1 ~ NOJI において $-10 \pm 9 \text{ mm/yr.}$  ( $-1.2\text{ppm/yr.}$ ) の縮み、KUV1 ~ KAPR において $-3.7 \pm 9 \text{ mm/yr.}$  ( $-0.7\text{ppm/yr.}$ ) で殆ど変化無し、KAPR ~ SA02 において $+28 \pm 1 \text{ mm/yr.}$  ( $+9.3\text{ppm/yr.}$ ) の伸び、KAPR ~ NOJI において $-8 \pm 9 \text{ mm/yr.}$  ( $-2.6\text{ppm/yr.}$ ) のやや縮み、SA02 ~ NOJI において $+2 \pm 4 \text{ mm/yr.}$  ( $+1.4\text{ppm/yr.}$ ) で殆ど変化無し、とそれぞれ求められた（図 2, 図 3）。また1994年1月から同年6月までは、全体として縮みの傾向（圧力源の膨張）がみられる。

次に、GPS では基線長以外に特定の準拠楕円体上における観測点の楕円体高を求めることができる。図 4 に、桜島島内の観測点それぞれの楕円体高の変化を示す。GPS の原理として水平方向（緯度経度）と比較して高さ方向は精度が劣り、10km程度の測定では標高に応じて最大 $\pm 2 \text{ cm}$  ( $2 \sigma$ ) 程度の誤差を含んでいる。このため観測回数が少なかった1992年の10月の観測値は参考値として採用した。観測回数が多くなった1993年7月から1994年1月にかけて各点とも数





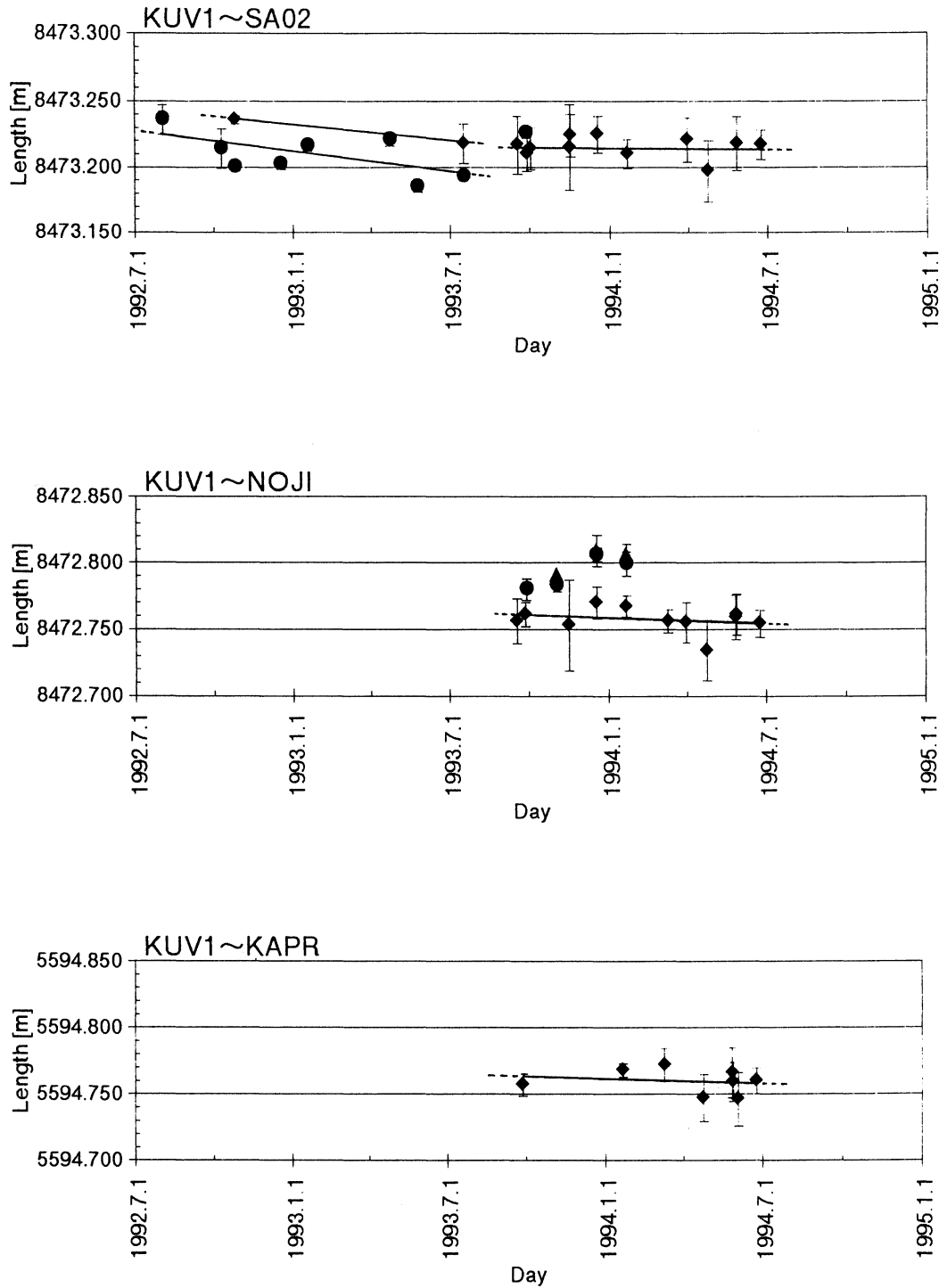


図2 鹿児島大学-桜島基線における基線長経年変化  
 鹿大-湯之平基線 (上), 鹿大-野尻川展望台基線 (中), 鹿大-火北来基線 (下).  
 ● : RANGE MASTER II, ▲ : DI3000, ◆ : GPS

Fig. 2 Secular changes in baseline length of Kagoshima Univ.-Volcanic observation points in Sakurajima Volcano.  
 Kagoshima Univ. (KUV1)-Yunohira (SA02) baseline (upper), Kagoshima Univ. (KUV1)-Sight seeing tower of Nojirigawa (NOJI) baseline (middle), Kagoshima Univ. (KUV1)-Kapera (KAPR) baseline (bottom).

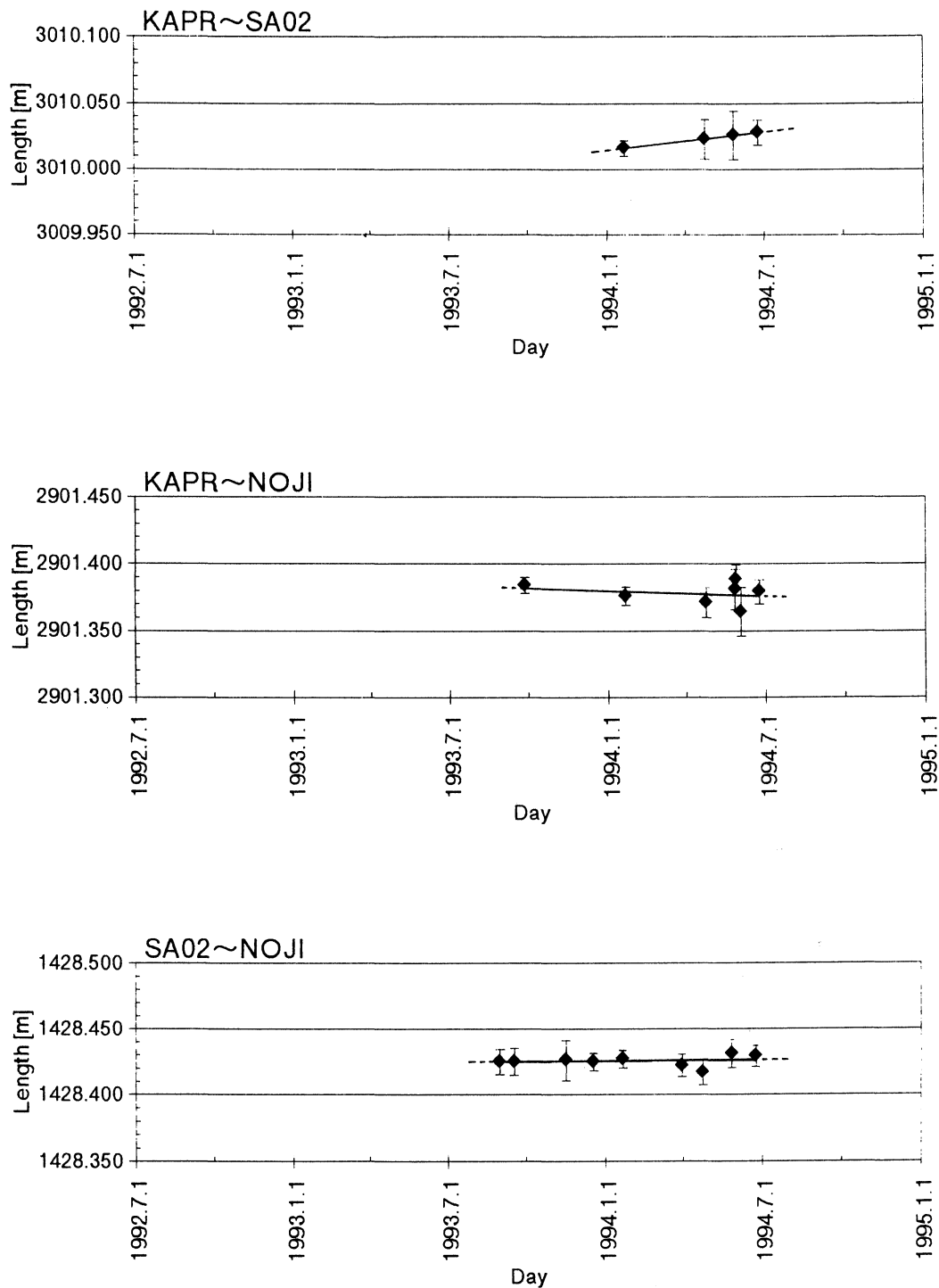


図3 桜島島内の基線における，GPS 観測による基線長経年変化。  
火北来-湯之平基線（上），火北来-野尻川展望台基線（中），湯之平-野尻川展望台基線（下）。

Fig. 3 Secular changes in baseline lengths by GPS observations in Sakurajima Volcano.  
Kapera (KAPR)-Yunohira (SA02) baseline (upper), Kapera (KAPR)-Sight seeing tower of Nojirigawa (NOJI) baseline (middle), Yunohira (SA02)-Sight seeing tower of Nojirigawa (NOJI) baseline (bottom).

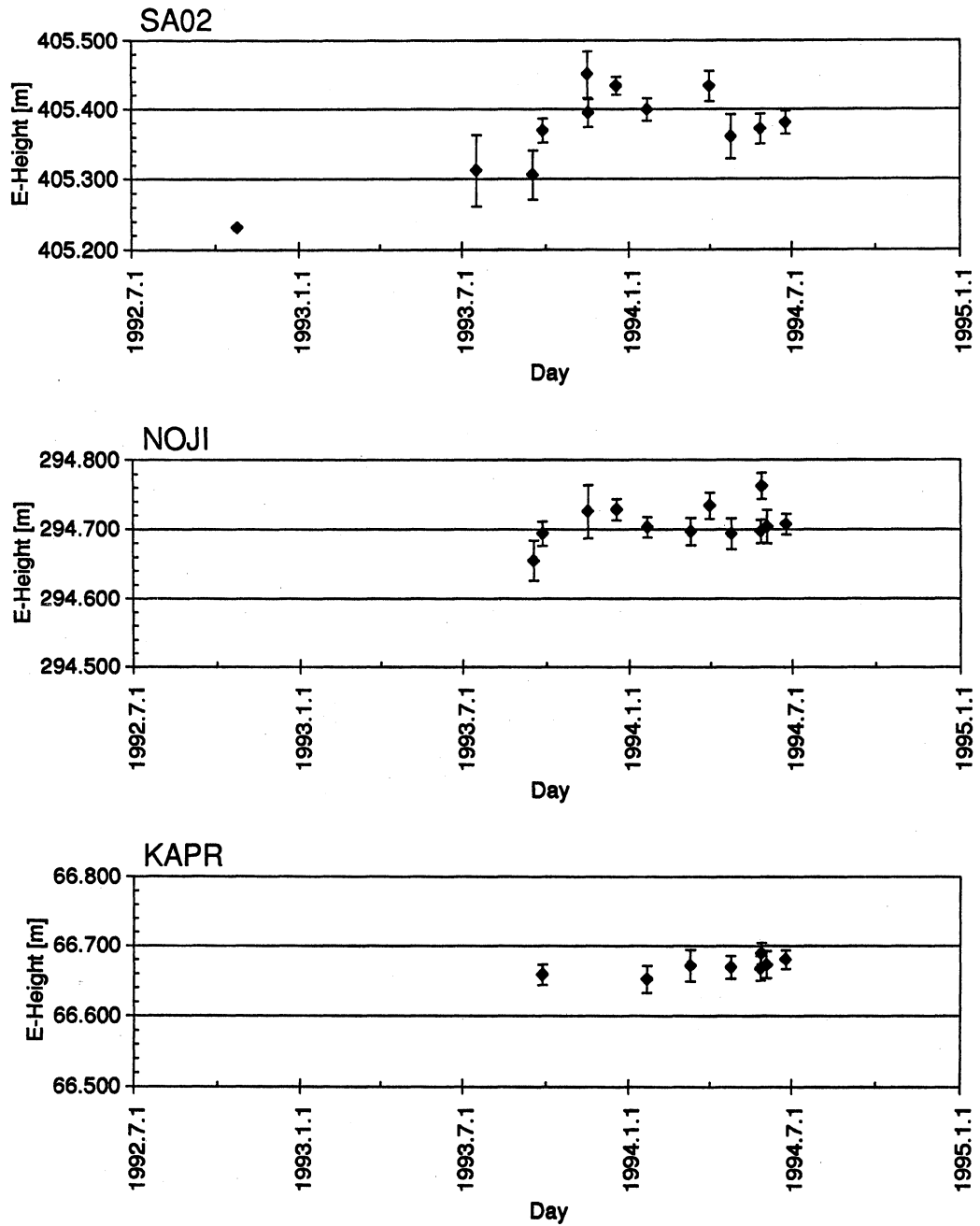


図4 鹿児島大学観測点に相対的な桜島島内の観測点の楕円体高変化 (ITRF89系に準拠). 標準偏差は  $2\sigma$ . 湯之平 (上), 野尻川展望台 (中), 火北来 (下).  
 Fig. 4 Secular changes in ellipsoidal heights of observation points in Sakurajima Volcano relative to Kagoshima Univ. (KUV1) referred to ITRF89. Standard deviation shows  $2\sigma$ .

値が増加する傾向がみられる。これは、高さに応じた季節変化も示唆する。1月から6月まではいずれも緩やかな減少を示している。南国での桜島特有の季節変化とも思われるが、変動分が量的にも大きく噴火・爆発の時期とも一致しており、地殻変動とは別のみかけ上の季節変化を観測により分離し確かめていくことが今後必要である。

## 考 察

鹿大―野尻川展望台間における1993年9月～1994年1月の基線長の大きな変化は、これまでの結果から RANGE MASTER II, DI3000, GPS による3観測値ともほぼ同じ変化の傾向を呈していることが分かった。光波測距儀のレーザー光が通過する大気境界層と GPS 衛星からの電波が通過する自由大気との大気状態の時間的空間的ゆらぎは異なるため、大気補正後の各観測値は本来なら同一であることはない。それにも関わらずこのような系統的变化を示すことはこれらの各観測値がみかけ上の基線長変化ではなく、桜島の火山活動に関する地殻変動による基線長変化であることを示唆する。噴火前後の地殻変動は噴火の強さではなく火山灰などの噴出物の量、噴火の総エネルギーに比例している(石原, 1988)が、ここでは噴火活動のひとつの状態を示す爆発回数とそれを含む噴火(以後噴火と称する)回数と基線長変化とを比較してみる。図5に桜島南岳における爆発回数と噴火回数の日別変化を示す。1993年4月から201日間山頂爆発が休止し、10月末から再び活発化したことから、1993年10月以後の噴火及び爆発回数に注目したところ、基線長変化との比較では噴火回数と良い関係がみられた。このため、各観測結果との比較は噴火回数のデータを用いる。

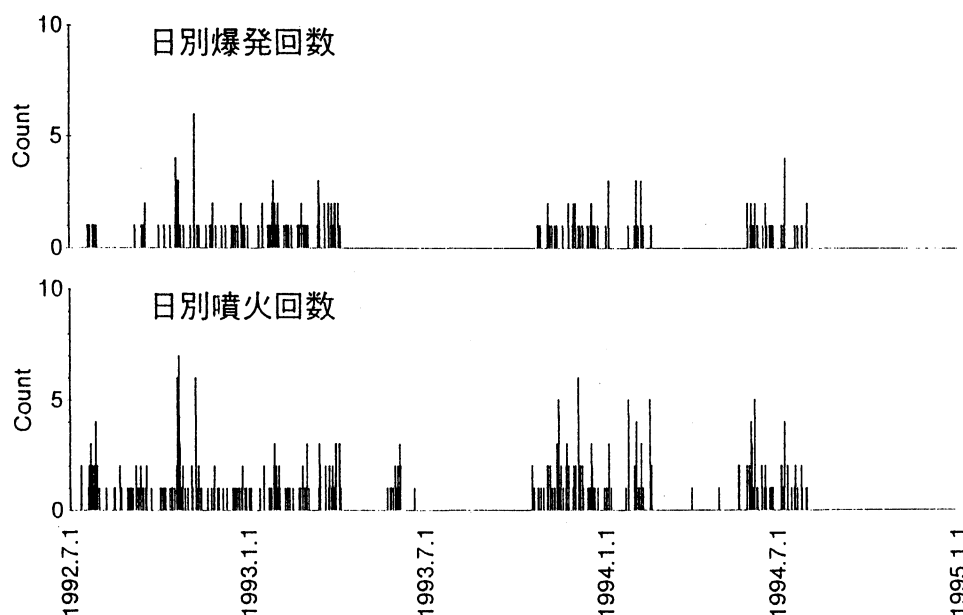


図5 桜島南岳における日別爆発と噴火回数の比較

Fig. 5 Daily variation of explosion (upper) and eruption (bottom) in Sakurajima Volcano.

日別噴火回数の変化と基線長の変化の傾向は、回数が増加すると基線長も長くなるという関係が鹿大―野尻川展望台間ではみられる(図6)。鹿大―湯之平間ではそれほど明瞭な関係はみられない(図7)。しかし、ほぼ同時期に野尻川展望台点、湯之平三角点の楕円体高は上昇してい

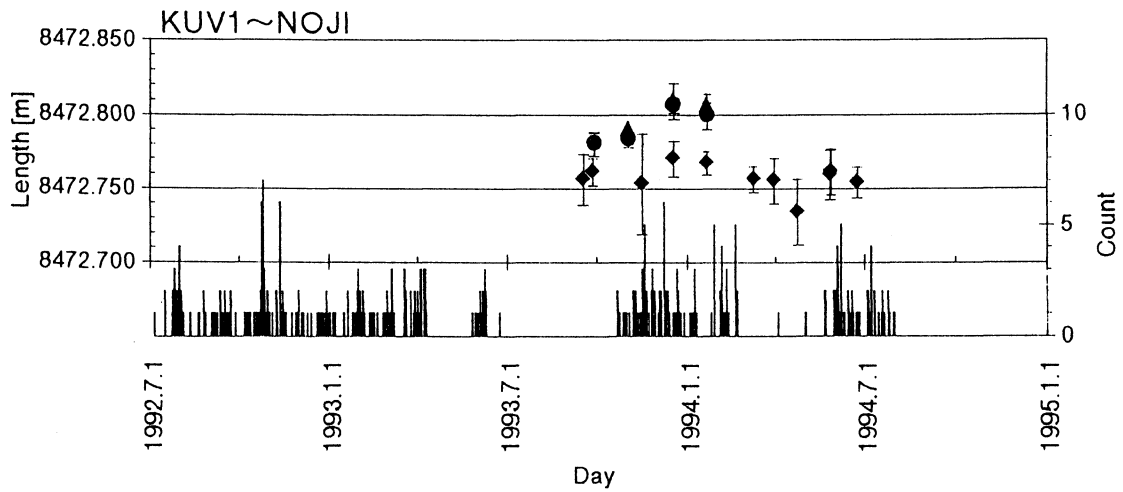


図6 鹿児島大学—野尻川展望台間の基線長変化と桜島日別噴火回数.

Fig. 6 Secular changes in baseline length between KUV1 and NOJI and occurrence of daily variation of eruption at Minamidake, Sakurajima Volcano.

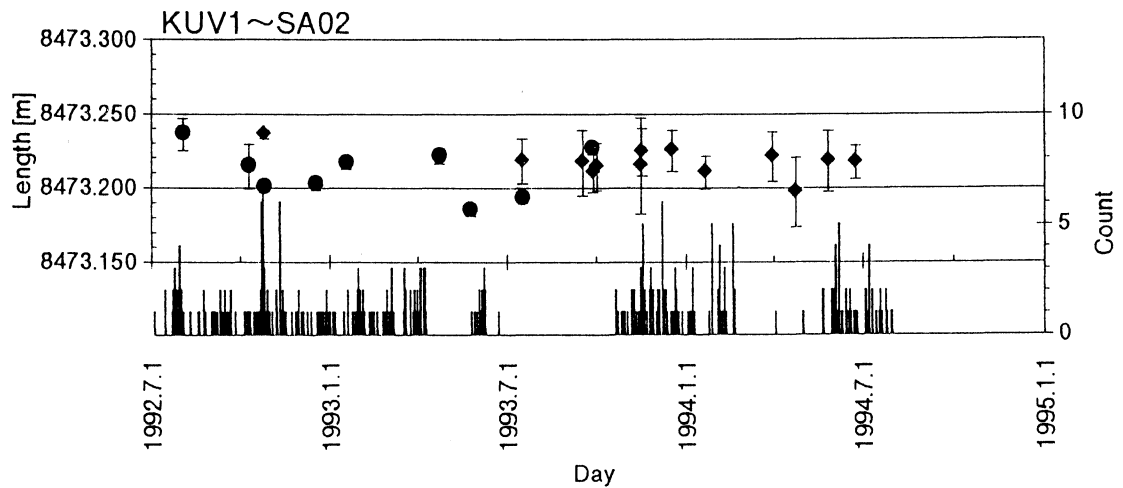


図7 鹿児島大学—湯之平間の基線長変化と桜島日別噴火回数.

Fig. 7 Secular changes in baseline length between KUV1 and SA02 and occurrence of daily variation of eruption at Minamidake, Sakurajima Volcano.

る。これは、1つずつの噴火に対応した地盤の隆起沈降は、山頂の真下のマグマ溜まりの上部付近での圧力増大、噴火エネルギーの蓄積によって引き起こされた(石原, 1988)と思われるが、基線長との関係からは次のようなことがいえる。長期的には圧力源の膨張(我々の観測では距離の縮みに対応)過程の中で噴火・爆発の直前には火口周辺の局所的な歪の蓄積増加によって、南岳地下の浅い部分にある圧力源は圧縮される。これにより基線長は伸び、火口付近は隆起する。さらに圧縮場の増大によって、圧力源は噴火の限界を越えた点で噴火・爆発が起こる。そしてまとまった噴火・爆発の現象の直後、圧力源はすぐに収縮から長期的な膨張に転じる。これにより観測回数の少ない基線長変化からみると基線長は縮み、火口付近は沈降する。また楕円体高との関係からは、噴火の始まりより少し早く上昇が始まり、噴火活動のピークを越すと沈降の傾向に入る。

他の4基線については有意な関係はあまりみられなかった。これは、観測間隔が月に1回であ

るため日々の活動状態を忠実に示していないと思われる。次に、月別噴火回数との比較を行ってみた。この場合、鹿大-桜島基線では各基線ともほぼ対応しているが、桜島島内の基線ではやはり明瞭な関係はみられなかった。

この日別、月別の関係の違いは、噴火・爆発の規模が今回の観測期間中にみられた程度のものであれば、火口に近い野尻川展望台付近（火口から約 2 km）では小規模の活動でも地殻が大きく変動したが、逆に湯之平（火口から約 3 km）や火北来（火口から約 5 km）ではあまり地殻に大きな変化を与えなかったとみられる。つまり各観測点の南岳火口からの水平距離の違いに大きく依存していることが分かった。これは、Mogi (1958) の圧力源が浅かったことによると考えられる。また、爆発に関係する高圧ガスチェンバーの膨張-収縮による変化 (Iguchi, 1994) の過程を GPS 観測から一部検出している可能性もあるが、今後の検討が必要である。

また、湯之平-野尻川展望台間では基線長の経年変化で +2 mm/yr. と観測誤差の範囲内に収まり、鹿大-野尻川間での基線長変化と比較してあまり変化がみられなかったが、これは南北に伸びるこの基線が東西に伸びる鹿大-桜島基線に対し、基線長が約 1/6 でありほぼ垂直に配置されているため、地殻変動が生じて平行移動或いは回転するのみで基線長変化に影響を及ぼさなかったとみられる。

以上のことから、鹿大-桜島間の基線長測定から見出された地殻変動は、季節変動を含むものの火山活動に伴う変動との相関が見られることが示された。GPS 観測によるこの地域の季節変化については、年周パターンがまだ見つけられていないため今後観測を継続し、検出する予定である。

## 結 論

1992年8月より始められた鹿大-桜島・湯之平間の精密距離観測の約2年間の定期観測により1993年7月を境として変化の傾向が経年変化で -31mm/yr. から -4mm/yr. と変化する結果を得た。また、1993年7月から1994年6月までの鹿大-桜島・野尻川における観測では経年変化で -10mm/yr. という値を得た。このことは、桜島の活動と大きく関わっていると考えられる。今回噴火及び爆発回数との比較を試みたところ期間内で多少のずれはあるものの明らかな対応がみられそうである。

今後、南岳火口周辺または地下での局所的な地殻変動の力学的メカニズムを明らかにするため、季節変化の影響の調査を実施すると共に測量データ、地震データ等から更に精細な火山活動と地殻変動との関連を調べてみる必要がある。

一方、現在のところ観測基線が少なく錦江湾における山体の全体的な動きなど不明瞭な点も多いことから、桜島全体を網羅するような測地観測網を桜島島内及び錦江湾周辺に整備し、定期的な観測あるいは連続的な観測を長期にわたり行っていくことが今後の火山活動を知る上で重要と思われる。

## 謝 辞

本研究を進めるに当たり、鹿児島大学理学部附属南西島弧地震火山観測所の観測機器の借用に対し謝意を表します。また、後藤和彦助教授、平野舟一郎技官には GPS 固定連続観測点の観測データを提供していただきました。

ニコンジオテックス株式会社鹿児島営業所には、トータルステーション、ミラー一式を御借りしました。

鹿児島地方気象台観測課の方々には折に触れ気象観測機器のチェック、気象データの提供をしていただきました。

建設省九州地方建設局大隅工事事務所桜島砂防出張所には、桜島島内の火山観測点の設置に関し御協力をいただきました。

国土地理院地殻調査部中野博美氏、小白井亮一氏には、湯之平三角点の設置等について色々な御指導、御助言をいただきました。

この研究は、財団法人東京海上記念財団の助成の一環として行われました。

ここに今回の研究で御世話になった関係機関の方々に感謝の意を表します。

#### 文献及び資料

- 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, 153-162.
- 石原和弘, 1988. 地殻変動連続観測による山頂噴火の直前予知. 鹿児島国際火山学会議1988論文集, 197-200.
- Iguchi, M. 1994. A Vertical Expansion Source Model for the Mechanisms of Earthquakes Originated in the Magma Conduit of an Andesitic Volcano: Sakurajima, Japan., *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **39**, 49-67.
- 江頭庸夫・中村貞美, 1985. 桜島火山における地殻変動. 第5回桜島火山の集中総合観測(昭和57年10~12月)(観測代表者 加茂幸介), 11-21, 京都大学防災研究所附属桜島火山観測所.
- 加藤照之・村田一郎・土屋 淳, 1986. Differential GPS における電離層の影響. 測地学会誌, **32**, 174-180.
- 木股文昭・山内常生, 1979. 豊橋市二川における精密光波辺長測量. 測地学会誌, **25**, 79-90.
- 木股文昭・佐々木嘉三, 1991. 異なる衛星配置下における GPS 干渉測位の短期再現性. 測地学会誌, **37**, 359-361.
- 木股文昭・廣瀬由美・佐々木嘉三, 1993. GPS 基線解水平成分における対流圏の影響. 測地学会誌, **39**, 317-319.
- 京都大学防災研究所附属桜島火山観測所, 1988. 噴火活動にともなう桜島火山および始良カルデラ周辺の地殻変動. 鹿児島国際火山学会議1988論文集, 278-281.
- 黒石裕樹・村上 亮・辻 宏道, 1988. GPS 干渉測位方式における位置決定についてのシミュレーション. 測地学会誌, **34**, 137-149.
- 国土地理院, 1992. 九州・沖縄地方の地殻変動. 地震予知連絡会報, **47**, 436-442.
- 小牧和雄, 1992. 雲仙岳周辺における測地測量. 国土地理院時報, **75**, 3-11.
- 寺家孝明, 1993MS. 鹿児島 VLBI 局の位置決定. 鹿児島大学理学部地学教室・特別研究 B, 1993. 私信
- 須田教明, 1970. 光波測距儀による距離測定における気象補正法に対する考察. 測地学会誌, **16**, 137-147.
- 須田教明, 1971. 電磁波測距儀, 238pp. 森北出版, 東京.
- 多田 堯・橋本 学, 1988. 最近の始良カルデラ周辺の地殻変動と桜島火山の活動について. 鹿児島国際火山学会議1988論文集, 270-277.
- 田中寅夫, 1986. 冬季における大気中の水蒸気の地域的分布とマイクロ波の伝播遅延. 測地学会誌, **32**, 167-173.
- 田中 穰, 1993. 九州南部地方の地震・火山テクニクス. 火山の総合的研究の展開法に関する調査研究報告書—火山と地域産業—(研究代表者 田中 穰), 73-90, 鹿児島大学.

- 田中 穰・他, 1993. 桜島湯の平—鹿児島大学理学部間の距離の経年変化, 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), no26, 103-108.
- 土屋 淳・今給黎哲郎, 1992. GPS 測量と基線解析の手引, 334pp. 日本測量協会, 東京.
- 中野 博, 1993MS. 鹿大—桜島間の精密距離測定. 鹿児島大学理学部地学科平成4年度・特別研究B.
- 日本測地学会編著, 1986. GPS —人工衛星による精密測位システム—, 263pp. 日本測量協会, 東京.
- 藤森邦夫・山本剛靖・田中寅夫・土居 光, 1992. GPSの連日観測とその誤差・月刊地球, 14, 420-425.
- 村上 亮・辻 宏道・黒石裕樹, 1988. GPS 干渉測位の幾何学的考察. 測地学会誌, 34, 125-135.
- Mogi, K. 1958. Relations between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them. *Bull. Earthq. Res. Ins.*, 36, 99-134.
- 横山 泉, 1992. 岩波地球科学選書 火山. 横山 泉・荒牧重雄・中村一明 (編) : 火山活動, 51-57, 岩波書店, 東京.
- Yokoyama, I. 1986. Crustal deformation caused by the 1914 eruption of Sakurajima volcano, Japan and its secular changes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 30, 283-304.
- 吉島陽子, 1994MS. 錦江湾周辺における GPS 観測による地殻変動の検出. 鹿児島大学理学部地学教室 特別研究 B
- Yoshimura, Y., Hori, H., Baba, Y. and Tanaka, M. 1991. On Hybrid Observations of Crustal Deformation in Eastern Izu Peninsula. *Bull. G.S.I.*, 36, 79-88.
- 鹿児島地方気象台, 定期火山情報 (桜島) 平成4年6月~平成6年8月.
- 気象庁, 平成2年度災害対策総合推進調査費, 日本活火山総覧 (第2版) (1992), 370-389.