

火山性地殻変動 (V)

——桜島火山における地殻変動観測——

江 頭 庸 夫

VOLCANIC CRUSTAL DEFORMATIONS (V)

——On the Observations of Crustal Deformations at Volcano Sakura-jima——

By Tsuneo ETO

Synopsis

Crustal deformations accompanying with the recent volcanic activity in the vicinity of Volcano Sakura-jima are studied from the results of continuous instrumental registrations of crustal deformations and the repeated precise geodetic levellings.

The analyses of horizontal pendulum type tiltmeters during the period from 1964 to 1970 showed the mean tilting rate of $27''$ /year of dip to the NNW direction at Kitadake station and $3''$ /year of dip to the SE direction at Harutayama station. Secular variation of tiltgrams at Hakamagoshi station showed mean tilting rate of $7''$ /year of dip to the SSE direction during the period from 1962 to 1965, but $2''$ /year of dip to the west during the period from 1965 to 1970.

As a parameter of volcanic activity, three monthly total numbers of volcanic explosions at Minamidake crater were compared with the elevation change of B.M. 29 and B.M. 111. There were fairly close relations between the elevation change of B.M. 111 and the recent volcanic activity at Volcano Sakura-jima.

1. は じ め に

火山活動に伴って、あるいは前後して火山地域に起る地殻変動は、火山にしばしば発生する火山性地震などと同様に、火山物理学的に興味深い問題である。

防災研究所附属桜島火山観測所においては、桜島内に袴腰、北岳及び春田山の3地殻変動観測室を持ち、火山性地殻変動の連続観測を実施している。今回は1963年前後より1970年までの期間に上記3観測室において得られた記録より、火山性地殻変動の経年的変動の方向性と変動速度について解析をこころみた。次に、1964年より1970年までの期間に実施した、桜島火山における精密水準測量の結果から求められた地殻の垂直変動について、時間的、地理的变化と南岳の火山活動の盛衰とを対比して解析をこころみた。

2. 火山性地殻変動の連続観測

2.1 北岳観測室

北岳および春田山観測室において得られた傾斜変動の記録より、異常傾斜変化と桜島火山の爆発との関係について、解析をこころみた結果については以前に報告をした¹⁾。今回は北岳観測室に設置した水平振り型傾斜計による傾斜変動の記録より、1964年より1970年までの6年間の経年変化を調べた。桜島に設置してある地殻変動観測計器の感度等については、まとめて Table 1 に示してある。

北岳観測室の水平振り型傾斜計によって観測された傾斜変動の経年変化を Fig. 1 に示した。Fig. 1 に明らかなごとく、北岳観測室の1964年より1970年に至る期間の経年的傾斜変動は、北北西下りで平均傾斜速

Table. 1 The list of instruments for the observation of crustal deformations.

Station	Name of instrument	Direction of observation	Recording optical length	Sensitivity	Remarks
Kitadake	Horizontal pendulum type Tiltmeter	N - S	1.0 m	0.0263-0.0563"/mm	(1)
		E - W	1.0 m	0.0230-0.0541"/mm	(1)
Harutayama	Horizontal pendulum type Tiltmeter	N - S	1.2 m	0.0266-0.0327"/mm	(1)
		E - W	1.2 m	0.0270-0.0433"/mm	(1)
Hakamagoshi	Horizontal pendulum type Tiltmeter	N - S	2.0 m	0.0167-0.0260"/mm	(1)
		E - W	2.0 m	0.0167-0.0260"/mm	(1)
	Sassa type Extensometer	N74°E - S74°W	2.0 m	3.0×10^{-8} mm	(2)
		N17°W - S17°E	2.0 m	3.0×10^{-8} /mm	(2)

Remarks: (1) Made of super-invar.
 (2) Super-invar slack wire and bifilar suspension.

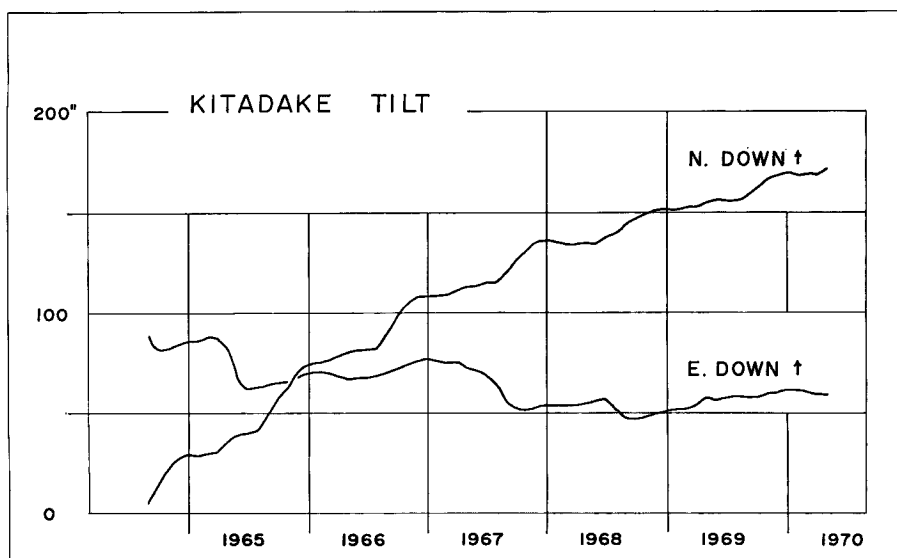


Fig. 1 Secular change of the ground tilts observed with the horizontal pendulum type tiltmeters at the Kitadake station.

度は $27''/\text{year}$ 程度となっている。この経年変化曲線の経過は、多少の凹凸はあるが比較的単調であるように見うけられる。ただし、傾斜速度がかなり速いのが注目すべき点である。

2.2 春田山観測室

春田山観測室に設置した水平振り型傾斜計によって得られた記録より、1962 年より 1970 年までの 8 年間における傾斜変動の経年変化曲線を Fig. 2 に示した。

春田山における上記期間の地殻の傾斜変動は、南東方向下りで、平均傾斜速度は約 $3''/\text{year}$ 程度と見うけられる。

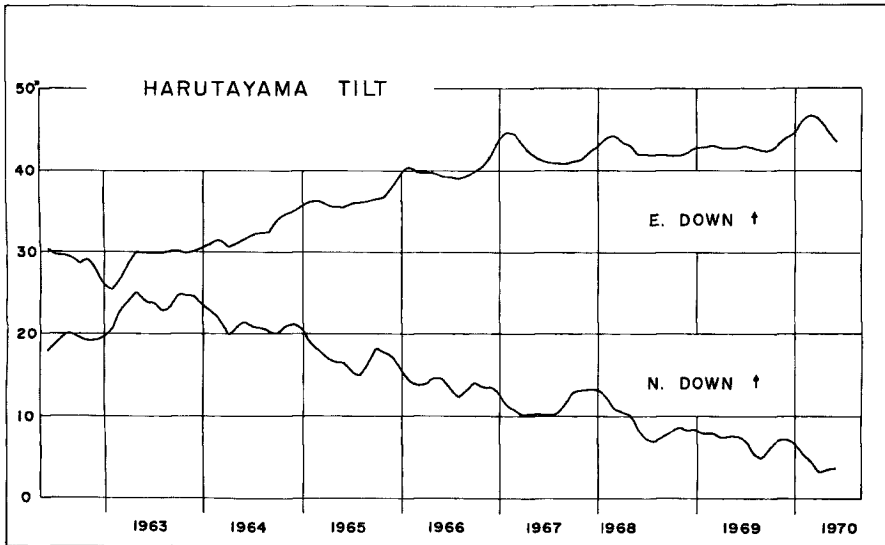


Fig. 2 Secular change of the ground tilts observed with the horizontal pendulum type tiltmeters at the Harutayama station.

2.3 袴腰観測室

袴腰観測室における水平振り型傾斜計の記録より、1962 年より 1970 年までの 8 年間における傾斜変動の

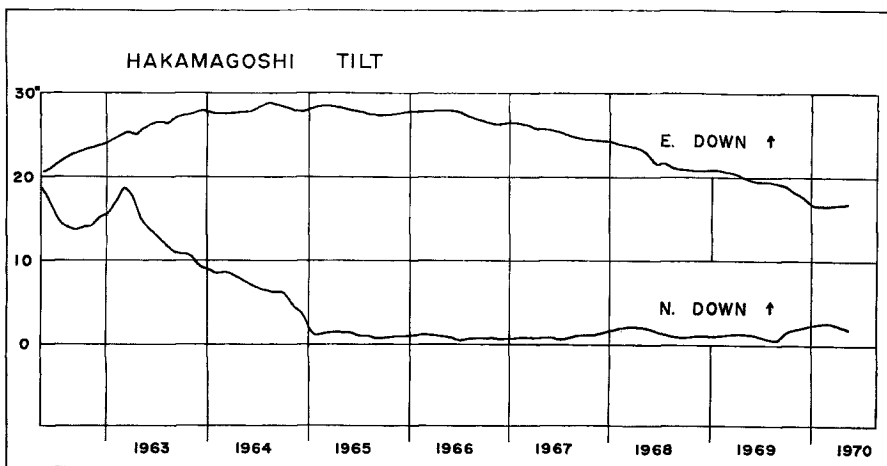


Fig. 3 Secular change of the ground tilts observed with the horizontal pendulum type tiltmeters at the Hakamagoshi station.

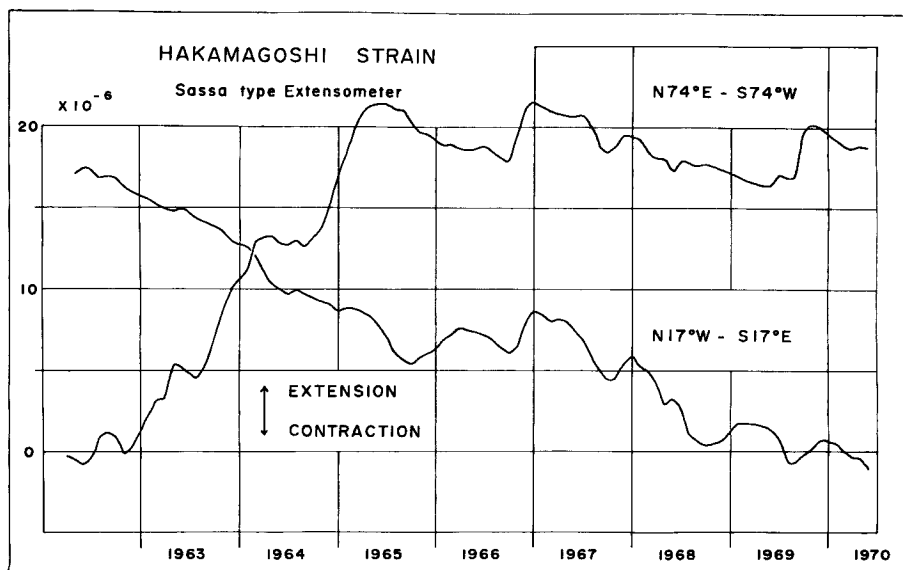


Fig. 4 Secular change of the ground strains observed with the Sassa type extensometers at the Hakamagoshi station.

経年変化曲線を Fig. 3 に示した。また、Fig. 4 には同観測室で記録した佐々式伸縮計による地殻の伸縮変動の経年曲線を示した。

Fig. 3 より、袴腰における傾斜変動は 1965 年附近を境にして、経年変化に転換があったように見うけられる。1962 年より 1965 年までの期間においては南々東下りに平均傾斜速度が約 $7''/\text{year}$ であった経年変化が、1965 年以降には西下りに平均傾斜速度が約 $2''/\text{year}$ 程度に変化している。

Fig. 4 に示したごとく、袴腰における佐々式伸縮計による地殻の伸縮変動の経年変化にも、同様な傾向が見られるようである。N74°E-S74°W 方向の歪変動を見ると、1965 年の中頃を境にして、それまでにあった $7 \times 10^{-6}/\text{year}$ 程度の“のび”の変動が見られなくなっている。N17°W-S17°E 方向の歪変動については、さほど顕著な変化はみとめられない。経年的には $2 \times 10^{-6}/\text{year}$ 程度の“ちぢみ”であるが、1965 年後半より 1967 年にかけて若干“のび”ているように見うけられる。

3. 桜島火山における地殻の垂直変動

1957 年より 1964 年 8 月までの期間における、桜島火山周辺の垂直変動と火山活動との関係については以前に報告をした²⁾。今回はその後実施した桜島火山における精密水準測量の反復測定によって、検出された垂直変動量のデータについて解析を行なった。

桜島における精密水準路線には桜島一周ルート、引ノ平ルート及び赤水ルートがあり、水準路線の総延長は 50 km である。桜島の水準点の総数はその後改埋や増設を行ない、1971 年 3 月現在において 70 点となっている。精密水準測量には Zeiss A 型精密水準儀 (Nr. 42287) を使用していたが、1970 年 3 月以降は Zeiss Ni. 2 型自動水準儀 (Nr. 59494) に 5m/m 平行平面マイクロメーターを取付けて測量を実施している。標尺は Zeiss の 3 m インバール水準標尺を使用している。測量方法は各水準点間の往復測量で、その測量誤差は一等水準測量の許容誤差以内である。

袴腰港検潮所の水準点 (B. M. 17) を不動と仮定すると、各年度における各水準点の比高の差から、それぞれの期間における各水準点の相対的垂直変動量が求められる。以下、各期間における桜島火山の垂直変動の

特徴について述べる。

3.1 1964 年 8 月～1965 年 3 月

1964 年 8 月の測量により、引ノ平の水準点(B. M. 111) が 1963 年 3 月よりも 75 mm 隆起したことが測定され、その後の変動状態が注目されていたが、1965 年 3 月の測量によって、桜島中央部に大巾な沈降がみとめられた。過去 7 カ月間に B. M. 111 は 80 mm 沈降した。このような大きい沈降量は、1960 年～1961 年の垂直変動量である 45 mm の沈降量以上に大きなものであった。

これに反して桜島北部一帯にはわずかな変動しかみとめられず、二反河原の水準点 (B. M. 29) において 4.2 mm の沈降であった。Fig. 5 に上記期間の垂直変動量分布図を示した。

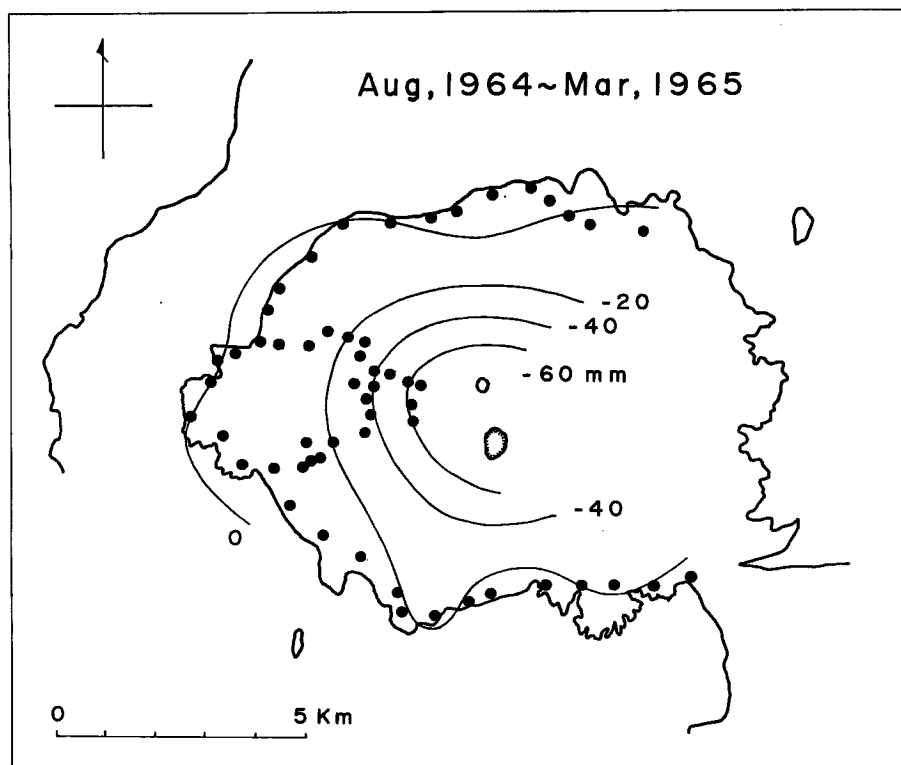


Fig. 5 Contours of vertical deformations. Elevation change was determined by precise levelling surveys.

3.2 1965 年 3 月～1966 年 3 月

この期間は前年にくらべて、変動量としては少ないおだやかな期間であった。B. M. 111 は前年に引き続き 6.2 mm の沈降を示した。桜島北部一帯の変動は 1960 年以來横ばい状態を示していたが、この時期から次第に隆起をしはじめるきざしを見せ、B. M. 29 は同期間に 8.5 mm の隆起を示している。Fig. 6 に上記期間の桜島火山の垂直変動量分布を示した。

3.3 1966 年 3 月～1967 年 3 月

Fig. 7 に上記期間における垂直変動量分布図を示した。この期間も比較的変動の静かな一年間であった。この期間に B. M. 111 は 8.2 mm の隆起を示し、B. M. 29 は前年にひきつづき 14.9 mm の隆起を示した。

3.4 1967 年 3 月～1970 年 3 月

1968 年度及び 1969 年度は水準測量を実施しなかったが、三年ぶりに 1970 年 3 月に水準測量を行なった。**Fig. 8** に 1967 年より 1970 年にかけての桜島火山における垂直変動量分布図を示した。この期間を通じて桜島中央部の変動量は比較的少なく、B. M. 111 において 14.3 mm の沈降が測定された。しかし、桜島北部一帯には 1957 年～1960 年以来の大巾な隆起が認められ、B. M. 29 において 106.7 mm の隆起量が測定された。この間、桜島は B. M. 29 において約 35 mm/year の隆起速度で北側隆起の変動をしていたことになるが、1957 年～1960 年の 3 年間における B. M. 29 の隆起速度が約 31 mm/year であったことを考えるとほぼ同速度であり興味深いものがある。

3.5 1965 年 3 月～1970 年 3 月

1965 年 3 月以来測量を行なっていなかった桜島の南部ルートにつき、1970 年 3 月に精密水準測量を実施した。その結果、5 年ぶりに桜島南部一帯の垂直変動量が明らかとなった。**Fig. 9** に上記期間内の桜島における垂直変動量分布を示した。桜島の南部一帯は北部にくらべて変動の少ない地域であったが、過去 5 年間に於いて桜島口から有村附近の大正及び昭和溶岩流域において最大 52 mm に達する沈降をしていることが明らかとなった。

4. 桜島における火山性地殻変動と火山活動との関係

始良カルデラを含む桜島火山周辺の地殻変動力源のモデルについては、主として垂直変動量分布から考察

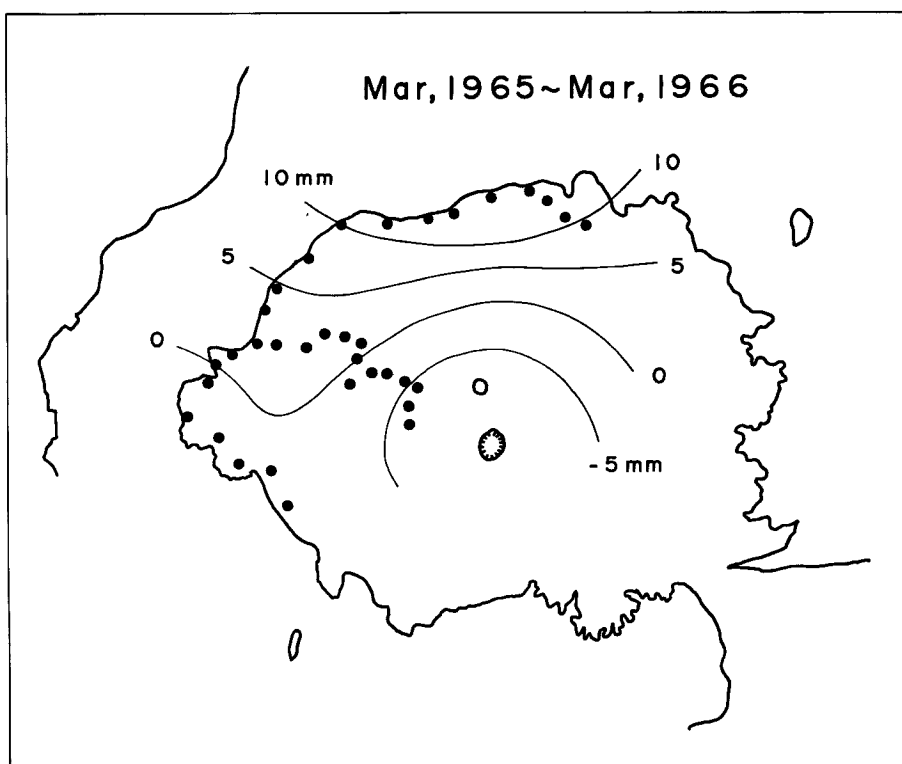


Fig. 6 Contours of vertical deformations. Elevation change was determined by precise levelling surveys.

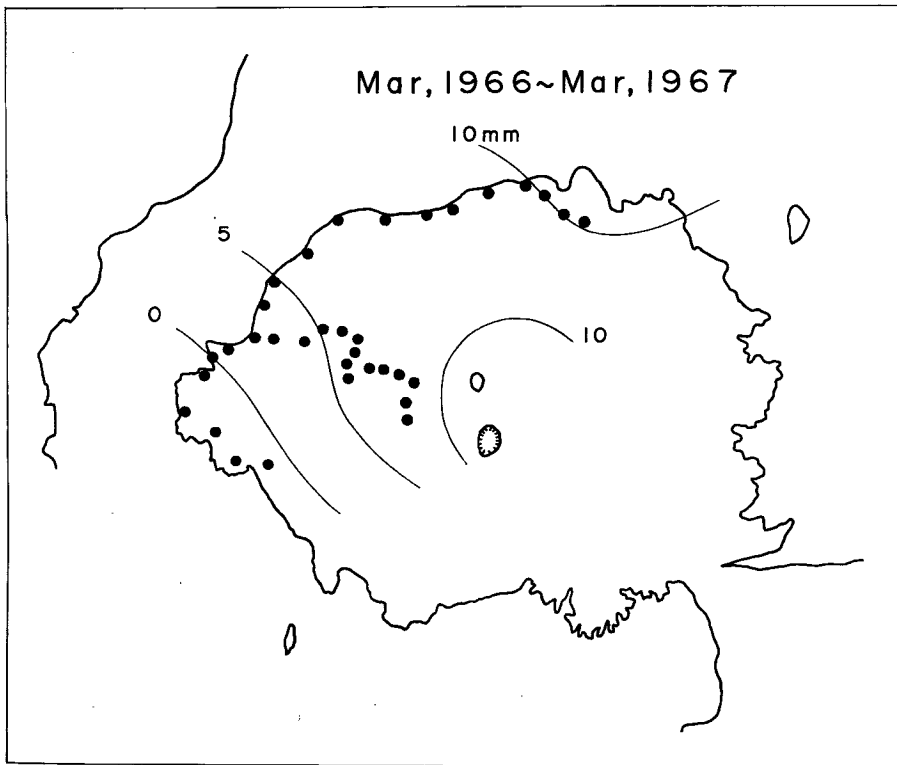


Fig. 7 Contours of vertical deformations. Elevation change was determined by precise levelling surveys.

した機構について報告をした²⁾³⁾。1964年8月より1970年3月迄の桜島における垂直変動量分布の解析結果を見ても、前回と同様なモデルを考えても、さほど矛盾なくこれらの現象を説明できるようなのである。前回の報告をしてから5年が経過し、新しいデータもふえてきたので、あらためて桜島の火山性地殻変動と火山活動との関係について考察してみたい。

始良カルデラ中心部地下と桜島火山中心部地下とにこれらの地域における火山性地殻変動の力源となるような、たとえば magma reservoir のようなものの存在するモデルを考える。B. M. 17 を基準にとった場合、モデルとして考えた2つの内部力源に最も近く、しかも力源の方向に最もよく向いていると思われる B. M. 29 と B. M. 111 の比高の時間的変化と、表面にあらわれた火山活動の指針として南岳の火山爆発回数⁴⁾の3カ月間ごとの総和とを Fig. 10 に図示した。ただし同図において B. M. 111 のデータは、引ノ平ルートの水準測量が始まった1960年以降について示してある。B. M. 29 及び B. M. 111 の比高は、いずれも袴腰港検潮所の水準点 (B. M. 17) を不動と仮定した場合の値で、各年の精密水準測量によって測定されたものである。

Fig. 10 は、噴火現象を広い意味の火山活動における最終段階の現象と考えるときに、南岳の爆発によって消費される火山活動エネルギーと、B. M. 29 と B. M. 111 の比高によって代表される、火山活動の前段階として、2つの内部力源にひそむ潜在的火山活動エネルギーとの相互関係をあらわしたのと考えられる。B. M. 111 の比高の時間的変化と爆発回数によってあらわされている南岳の火山活動の盛衰との関係は、時期によって多少の凹凸はあるが、かなり似かよった傾向が見うけられる。現在の南岳の火山活動は、1955

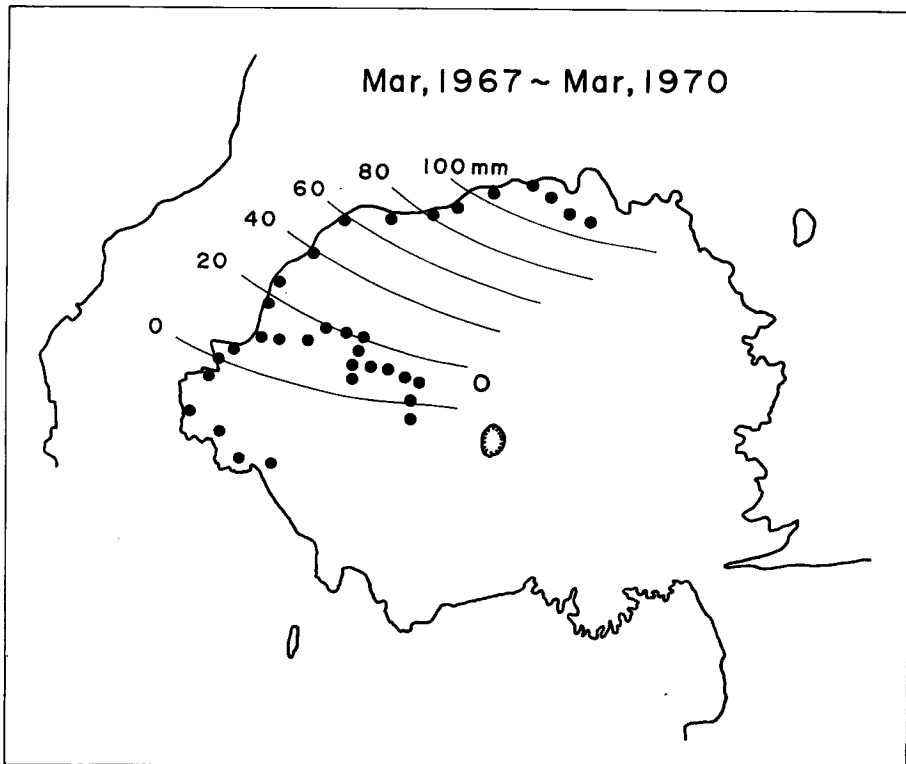


Fig. 8 Contours of vertical deformations. Elevations change was determined by precise levelling surveys.

年開始よりすでに 15 年を経過しているが、有史以来はじめての山頂火口の活動が現在もお続いている。南岳のような活動様式の場合、地下の火山活動エネルギーの増減につれ、桜島中心部の地殻はその影響による歪をうけ、B. M. 111 の比高の変動となって測定されているのであろう。

B. M. 29 の垂直変動は、Fig. 10 に示したごとく、B. M. 111 の比高の変化とはかなり異なった変動を示している。B. M. 29 は 1957 年より 1960 年まで約 31 mm/year の変動速度で隆起を続けた。1960 年より 1965 年までは顕著な変動がなかったが、1965 年以降再び隆起をしはじめている。1967 年より 1970 年にかけての B. M. 29 の隆起速度は約 35 mm/year である。このような経過をたどり、1970 年 3 月における B. M. 29 の比高は、1957 年の値よりも 227.1 mm 高くなった。桜島北部にかぎらず、始良カルデラ中心部に中心を持つ同心円状の地殻の垂直変動については 1914 年以降何回か報告されている。^{4) 5) 6)} 最近の桜島北部一帯の大巾な隆起運動も同様な現象のあらわれであろう。ただし B. M. 29 の 1960 年より 1965 年にかけての変動は、この隆起運動が上記期間だけ若干おとろえたかのように考えられる。そして、1965 年以降再び隆起運動を開始している。この間の現象については、まだ推論の域を出ないが、あるいは、1960 年より 1964 年にかけての活発な南岳の火山活動によって消費された火山活動エネルギーの補給のために、その供給源と推定される始良カルデラ中央部の内部力源から火山活動エネルギーの補給があったためかも知れない。1964 年にみとめられた B. M. 111 の異常な隆起量は、このような事情を物語る一現象であるのかも知れない。1967 年以降の桜島北部一帯の大巾な隆起運動は、始良カルデラ中央部地下にあると推定されている火山活動の内部力源が次第にエネルギーを蓄積しつつあることによって起る現象であると考えられる。

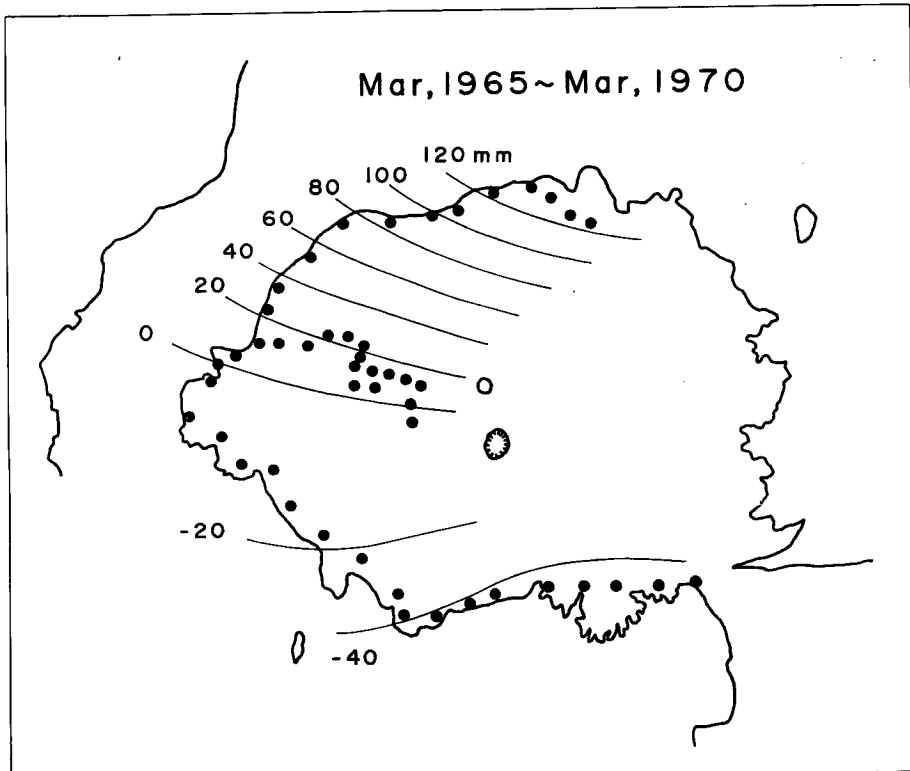


Fig. 9 Contours of vertical deformations. Elevation change was determined by precise levelling surveys.

以上、主として垂直変動量と火山活動との関係について解析をしてみた。桜島における地殻変動の連続観測の結果について色々と解析をしてみたが、3地殻変動観測室の経年変化を見ても理解できるように、観測室の場所によってかなり異なった経年変化を示している。これらの観測結果は、前回報告した冷水観測室における比較観測結果⁷⁾と相違して、桜島における火山特有の複雑な地下構造を物語るものであろう。

5. お わ り に

桜島における火山性地殻変動の観測結果から、主として垂直変動量の時間的地理的变化と火山活動との関係について若干の解析をこころみた。

おわりに、長期間にわたり地殻変動連続観測記録の交換及び読取に御協力をいただいている防災研究所桜島火山観測所の諸氏、及び御討論をしていただいた古川圭三教授に厚く御礼を申し上げます。なお、桜島における精密水準測量に要した費用の一部に、昭和 45 年科学研究費奨励研究 A、課題番号 4059 を使いましたことを付記致します。

参 考 文 献

- 1) 江頭庸夫：火山性地殻変動 (II) 桜島火山の爆発に伴う異常傾斜変化について、京都大学防災研究所年報，第 9 号，昭 41. 3, pp. 83-98.
- 2) Yoshikawa, K.: On the Crustal Movement Accompanying with the Recent Activity of the Volcano

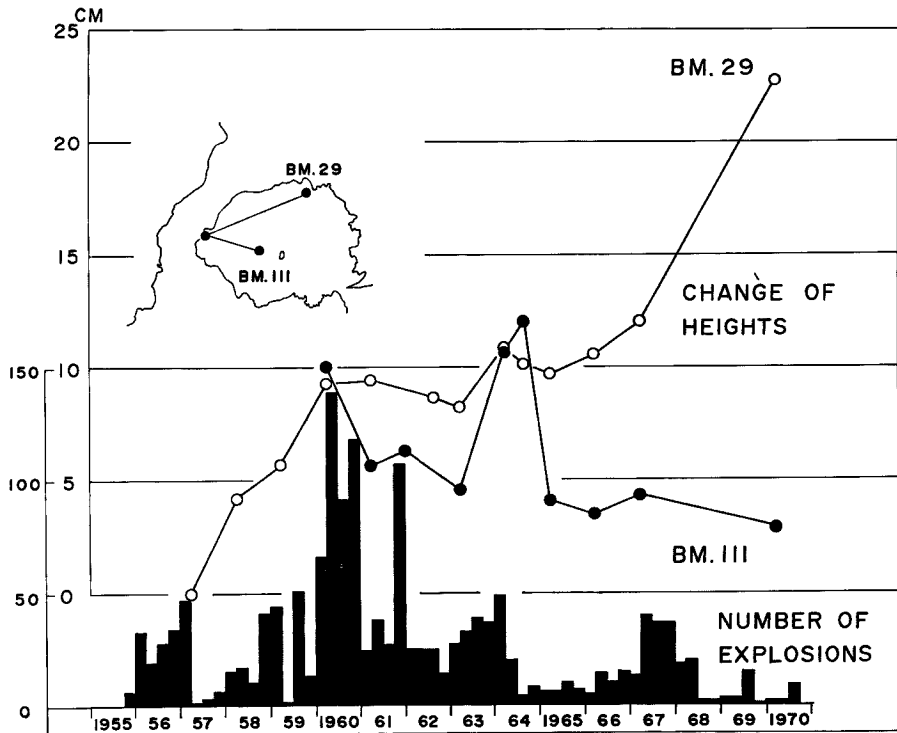


Fig. 10 Relations among the change in elevation of B. M. 29, B. M. 111 and three monthly total number of volcanic explosions at Minamidake crater.

Sakura-jima (Part 1), Bull. Dis. Prev. Res. Inst., No. 48, 1961, pp. 1-15.

- 3) 江頭庸夫：火山性地殻変動（I）最近の桜島火山における垂直変動と火山活動との関係，京都大学防災研究所年報，第8号A，昭40. 3，pp. 71-82.
- 4) Omori, F.: The Sakura-jima Eruptions and Earthquakes, IV, Imp. Earthq. Inv. Comm., Vol. 8, No. 4, 1920.
- 5) Mogi, K.: Relations between the Eruptions of Various Volcanoes and the Deformations of the Ground Surface around Them, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 36, 1958, pp. 99-134.
- 6) 江頭庸夫：火山性地殻変動（III）始良カルデラ周辺の地殻変動と桜島の火山活動，火山第2集，第12巻，2号，昭42. pp. 80-88.
- 7) 江頭庸夫：火山性地殻変動（IV）冷水観測室における地殻変動観測，京都大学防災研究所年報，第13号A，昭45. 3，pp. 41-48.