

# 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—

江 頭 庸 夫

## VOLCANIC CRUSTAL DEFORMATIONS (I)

Relations between the Recent Vertical Deformations and  
Volcanic Activities at Volcano Sakura-jima

By Tsuneo ETO

### Synopsis

The vertical deformations of the earth's crust in the vicinity of Volcano Sakura-jima accompanied with the recent volcanic activity are studied from the results of precise levelling surveys.

The vertical displacements of the ground surface at Volcano Sakura-jima were roughly explained as the elastic deformations which are caused by the increase or decrease of hydrostatic pressure of two spherical internal pressure sources or magma reservoirs. Those pressure sources were supposed to exist under the center of Aira Caldera and under the center of Volcano Sakura-jima. Contours of change in elevation between the time of the two successive surveys show the character of those crustal deformations.

As useful parameters of volcanic activity, yearly total number of explosions at Minamidake crater and the yearly total sum of the square of maximum amplitude of explosion-earthquakes recorded by S-50 seismograph at the Higashi-sakurajima station, were compared with the elevation change of B.M. 29 and B.M. 111. There were fairly close relations between the elevation change 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、その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とともに、火山物理学的に興味深い問題である。

1955年10月に始まった最近の桜島火山の活動は、9年経過した1964年11月現在もおお継続中である。1957年より年1回定期的に実施されて来た精密水準測量によって、桜島火山における地殻の垂直変動の様子が明らかにされつつある。特に桜島内部における垂直変動の時間的経過に注目して、南岳火山活動の盛衰との関係について、若干の考察を試みた。

### 2. 桜島における精密水準測量

#### (1) 水準点、水準路線

##### ☆ 桜島一周ルート

1956年12月に、桜島口の国土地理院一等水準点2500号を起点にして、湯之、袴腰、西道を経て高免に至る

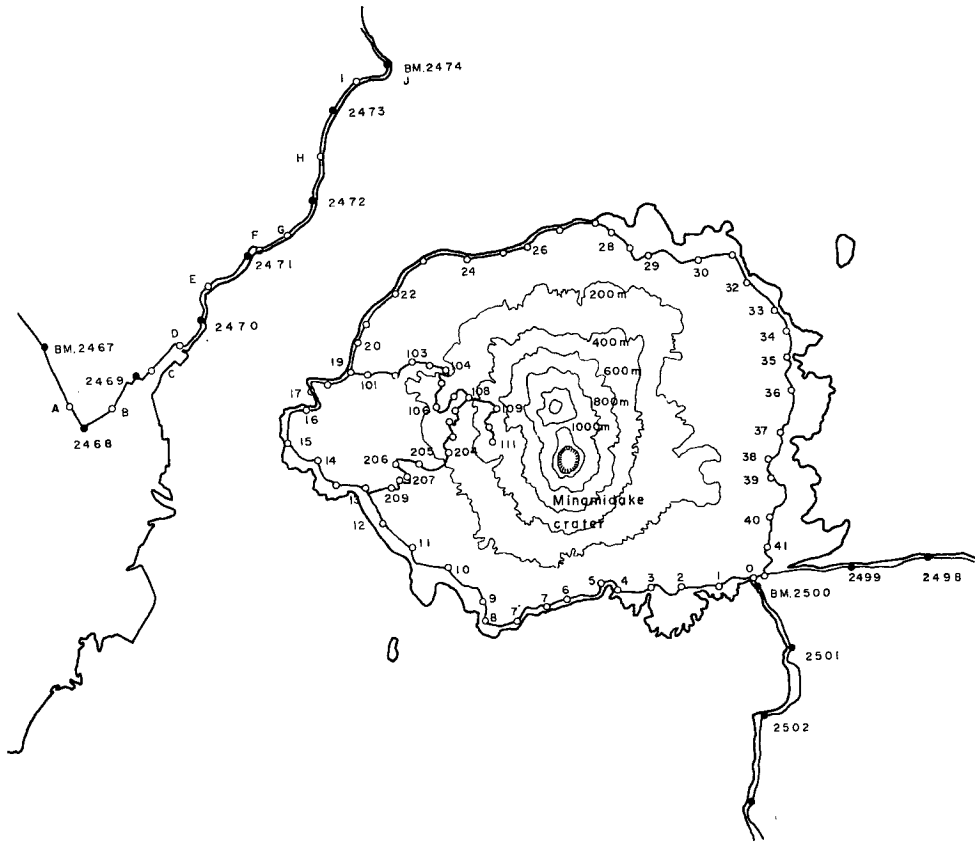


Fig. 1. Distribution of Bench Marks in the vicinity of Volcano Sakura-jima.

約 25 km の間に、29の水準点が埋設された。桜島東海岸沿いの道路の開通後、1958年11月に、高免から黒神を經由して桜島口に至る間にも水準点が埋設され、桜島一周の水準環が完成した。その距離は約 37 km で、補助点も含めて合計47の水準点が設置されている (Fig. 1)。

#### ☆ 引ノ平ルート

1960年3月に、BM. 19 (桜州小学校) から引ノ平登山道路に沿って、11の水準点が埋設された。BM. 19 より引ノ平の BM. 111 に至る距離は約 6.5 km である。1963年2月に補助水準点 BM. 103' を追加した。

#### ☆ 赤水ルート

1963年2月、春田山の水準点 BM. 108 より、赤水に至る道路に、9個の水準点を設置した。赤水ルートの水準路線は約 6.5 km である。

#### ☆ 磯街道

1963年9月、鹿児島市内の G.S.I. BM. 2467 より磯街道に沿って、大崎の鼻の G.S.I. BM. 2474 に至る間に、合計10の補助水準点を埋設した。

防災研究所附属桜島火山観測所によって埋設された水準点は、全てステンレス棒の水準点で、桜島火山の周辺に総計78の水準点を持ち、水準路線の総延長は、約 64 km である。

#### (2) 測量器械、測量方法

Table 1. Relative Vertical Displacements of B.M.s around Volcano Sakura-jima.

B.M. No.	A	B	C	D	E	F
2500	-15.4 mm	+ 1.2 mm				*
01	-12.1	*				*
02	-13.6	-17.5				+16.1 mm
03	-17.3	*				*
04	-16.6	-17.0				*
05	*	*				*
06	*	*				*
07	-11.0	-14.9				+14.9
08	-13.2	*				+22.5
09	-13.9	- 4.9				+20.6
10	-15.4	- 1.6				*
11	-15.1	- 0.2				+ 9.1
12	-11.7	*				+ 8.1
13	- 9.4	*	- 4.1 mm	- 4.6 mm	+11.7 mm	+ 3.0
14	*	*	*	+ 2.1	+11.5	*
15	- 1.0	- 3.2	- 2.5	- 1.7	+ 9.2	+ 5.0
16	+ 1.1	+ 1.3	- 0.7	+ 0.3	+ 2.8	+ 2.4
17**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	- 2.1	- 1.3	+ 1.2	- 0.7	+ 0.5	+ 1.0
19	- 4.2	*	*	+ 4.5	+ 0.7	*
20	- 4.4	+ 4.7	- 0.5	+ 7.7	+ 2.8	+10.0
21	-13.6	*	*	*	+ 2.1	*
22	+ 0.4	+ 3.2	- 3.1	+12.6	+ 3.7	+13.2
23	- 4.4	+ 4.4	- 4.7	+14.9	+ 3.5	+13.7
24	-20.7	*	*	+18.1	+ 4.0	*
25	-11.8	*	*	+17.8	+ 2.0	*
26	- 6.1	- 1.3	- 5.0	+14.0	+ 2.0	+11.0
26'	*	- 2.5	- 7.3	+19.1	- 0.7	+11.1
27	- 7.7	*	*	+16.9	- 0.8	*
28	- 5.5	*	*	+16.8	- 0.3	*
28'	*	-12.3	- 5.7	+21.6	- 1.4	+14.5
29	+ 1.7	- 7.6	- 4.6	+24.3	- 5.0	+14.7
30	- 2.5	- 9.7				+ 8.6
31	- 0.5	- 3.9				+ 7.4
32	+ 1.2	- 4.8				+ 8.2
33	*	*				+12.0
34	*	*				+10.9
35	- 6.4	-11.8				+ 4.5
36	-27.7	-40.5				-24.0
37	-19.6	-28.0				- 6.7
38	+ 0.7	-11.1				+18.8
39	-11.4	- 8.3				+18.9
40	-15.6	- 6.8				+15.2
41	-15.2	- 3.7				+17.1
42	-14.3	+ 1.6				*

\*\* B.M. 17 : supposed as an invariable point.

A : Mar, 1960-Mar, 1961.

B : Mar, 1961-Aug, 1962.

C : Aug, 1962-Mar, 1963.

D : Mar, 1963-Mar, 1964.

E : Mar, 1964-Aug, 1964.

F : Aug, 1962-Aug, 1964.

Table 2. Relative Vertical Displacement of B.M.s along Hiki-no-hira Route.

B.M. No.	A	B	C	D	E	F
17**	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
18	+ 0.2	0.0	- 0.1	- 0.7	+ 0.5	- 0.3
19	+ 1.3	*	*	+ 4.5	+ 0.7	*
101	*	*	*	+ 4.6	+ 0.8	*
102	- 5.3	+ 8.2	- 5.1	+ 8.6	+ 3.2	+ 6.7
103	- 6.2	+10.3	- 2.4	+12.5	+ 5.0	+15.1
103'	*	*	*	+ 8.9	+ 6.7	*
104	- 9.3	*	*	+23.8	+ 9.3	*
105	-11.4	+ 8.0	- 8.2	+26.1	+ 9.7	+27.6
106	-10.8	+ 7.5	- 9.0	+35.5	+ 9.4	+35.9
107	-14.8	+ 7.1	- 9.0	+42.1	+ 7.9	+41.0
108	-19.7	*	-12.5	+48.4	+ 9.8	+45.7
109	-34.8	+ 2.7	-17.9	+54.5	+11.3	+47.9
110	-40.0	+ 6.3	-16.5	+60.0	+13.1	+56.6
111	-44.5	+ 6.9	-16.9	+62.4	+12.8	+58.3

\*\* B.M. 17 : supposed as an invariable pont.

A : Apr, 1960-Apr, 1961.

B : Apr, 1961-Jan, 1962.

C : Jan, 1962-Mar, 1963.

D : Mar, 1963-Mar, 1964.

E : Mar, 1964-Aug, 1964.

F : Jan, 1962-Aug, 1964.

Table 3. The Elevation of B.M.s in August, 1964.

B.M. No.	m cm mm	B.M. No.	m cm mm	B.M. No.	m cm mm
2500*	16 42 7.8	21	07 46 8.3	101	28 23 3.6
00	21 90 1.1	22	02 85 1.5	102	59 10 4.5
01	42 25 5.7	23	02 78 8.5	103	94 26 4.8
02	53 42 5.5	24	05 17 6.6	103'	148 65 9.1
03	63 48 0.9	25	08 18 1.6	104	181 96 3.6
04	31 28 9.9	26	03 71 7.6	105	217 04 6.7
05	—	26'	03 54 1.8	106	283 49 4.6
06	19 19 0.3	27	03 26 9.8	107	336 90 8.6
07	32 95 0.0	28	13 83 8.4	108	385 26 2.3
07'	52 05 8.5	28'	67 35 7.1	109	461 15 5.9
08	55 78 7.7	29	86 83 9.1	110	518 69 2.4
09	44 31 3.5	30	76 31 4.2	111	535 79 5.3
10	38 65 6.9	31	29 85 2.6		
11	16 27 0.2	32	12 83 0.6		
12	20 12 8.5	33	38 12 2.0		
13	11 02 1.4	34	21 55 5.9		
13'	28 11 7.3	35	46 39 5.2		
14	23 41 8.0	36	28 01 8.3		
15	11 59 2.2	37	36 33 2.7		
16	04 98 8.3	38	74 90 8.4		
17	02 16 7.4	39	56 91 0.9		
18	04 06 8.6	40	37 97 1.1		
19	04 90 0.3	41	44 35 9.7		
20	03 88 1.5	42	24 42 3.6		

\* G.S.I. B.M. 2500 : +16 m 42 cm 7.8 mm. (1960)

Table 4. The Relative Elevation of B.M.s.

B.M. No.	m cm mm	
17*	00 00 0.0	
201	344 16 9.8	1) Akamizu Route.
202	295 15 9.0	2) Levelling : Mar, 1963.
203	261 04 8.8	3) B.M. 17 was supposed as 0.0 m.
204	221 29 7.1	
205	189 41 7.7	
206	161 30 2.2	
207	114 79 8.2	
208	86 29 8.1	
209	46 60 8.0	
13	08 84 6.9	
G.S.I. 2467*	00 00 0.0	
A	-01 42 4.5	1) Iso Route.
2468	—	2) Levelling : Oct, 1963.
B	-02 31 1.8	3) B.M. 2467 was supposed as 0.0 m.
2469	—	
C	-04 48 2.9	
D	-03 24 6.4	
2470	00 22 9.1	
E	-03 96 0.9	
2471	—	
F	05 76 4.8	
G	02 79 4.9	
2472	04 84 5.0	
H	02 59 6.7	
2473	-01 85 3.4	
I	01 03 4.3	
J	02 25 6.0	
2474	—	

桜島における精密水準測量には、次の器械で測量を実施している。

◦ Zeiss A 型精密水準儀 (Nr. 42287)

◦ 3 m. invar 水準標尺 (2839, 2840)

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。なお、1957年度の測量は、東大地震研究所岡田博士によるものである。1958年以後は防災研究所附属桜島火山観測所によって、実施されて来た。

### (3) 相対的垂直変動量、及び比高

1957年より1960年までの桜島における垂直変動量については、吉川の報告<sup>1)</sup>があるので、1960年以後についての測量結果を報告する。

袴腰港検潮儀室の水準点 (BM. 17) を不動点とすると、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。桜島一周の各水準点の相対的垂直変動量を **Table 1** に、引ノ平ルートについては、**Table 2** に示した。

G.S.I. BM. 2500号の標高を +16 m 42 cm 7.8 mm (1960年測量値、国土地理院既発表値) として、1964年8月までに BM. 2500 に垂直変動がなかったものとして、同上の値を採用すれば、1964年8月測量時における桜島の各水準点の標高は、**Table 3** に表わせる。

1963年3月の測量から、BM. 17 を0としたときの赤水ルートの各水準点の比高、及び1963年10月の測量から、G.S.I. BM. 2467 を0としたときの磯街道の各水準点の比高を **Table 4** に示した。

### 3. 桜島火山における垂直変動量分布

垂直変動量の地理的な分布を知るために測量結果を利用して、等隆起、等沈降曲線で図示した。(Fig. 2,3)

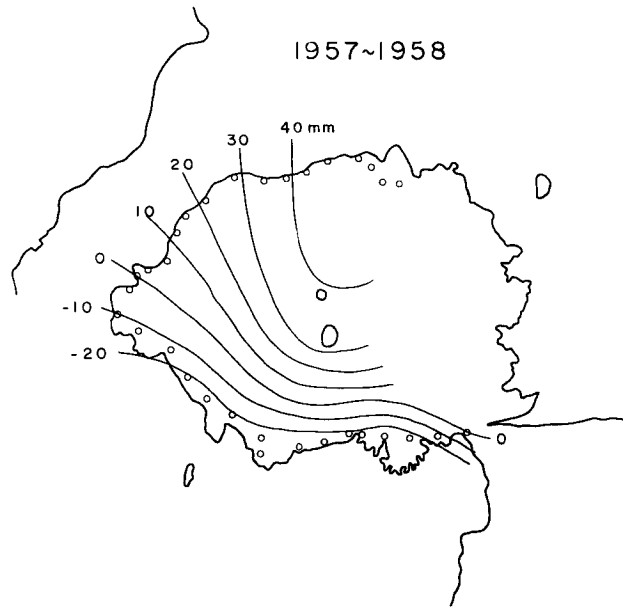


Fig. 2

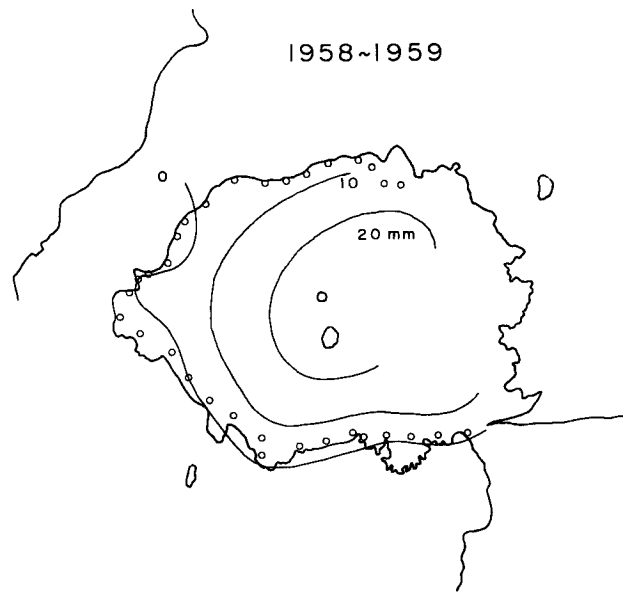


Fig. 3

Contours of change in elevation between the times of the two levelling surveys.

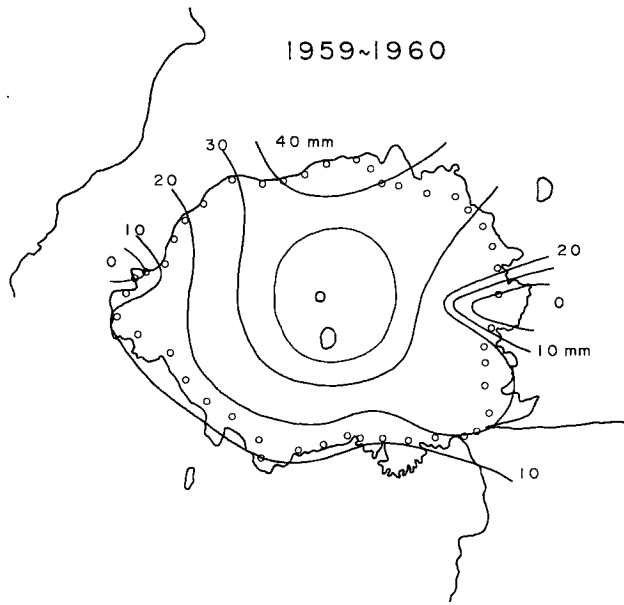


Fig. 4

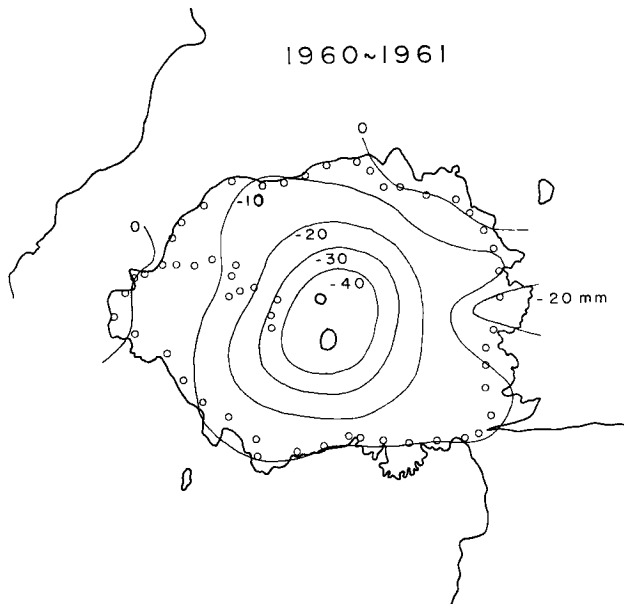


Fig. 5

Contours of change in elevation between the times of the two levelling surveys.

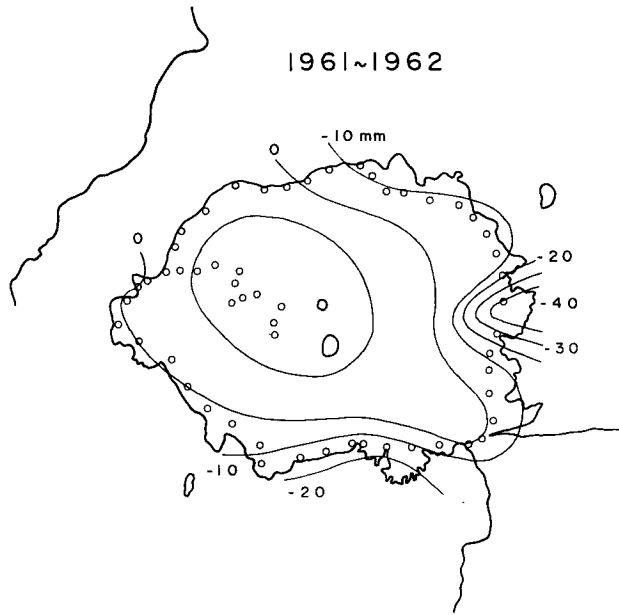


Fig. 6

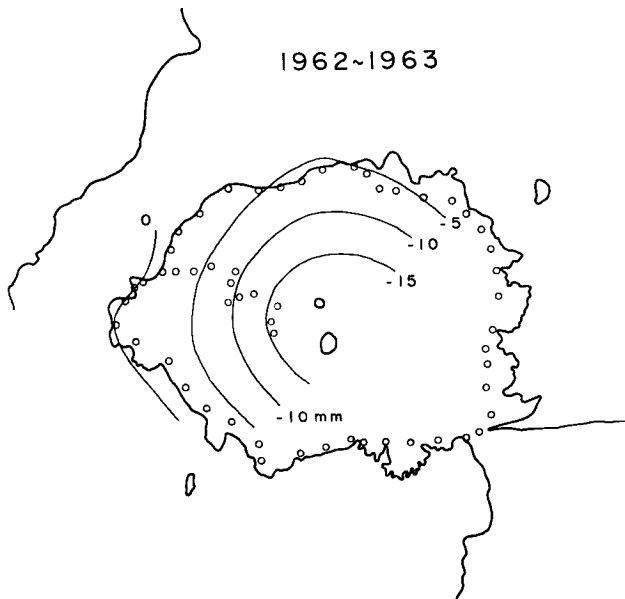


Fig. 7

Contours of change in elevation between the times of the two levelling surveys.



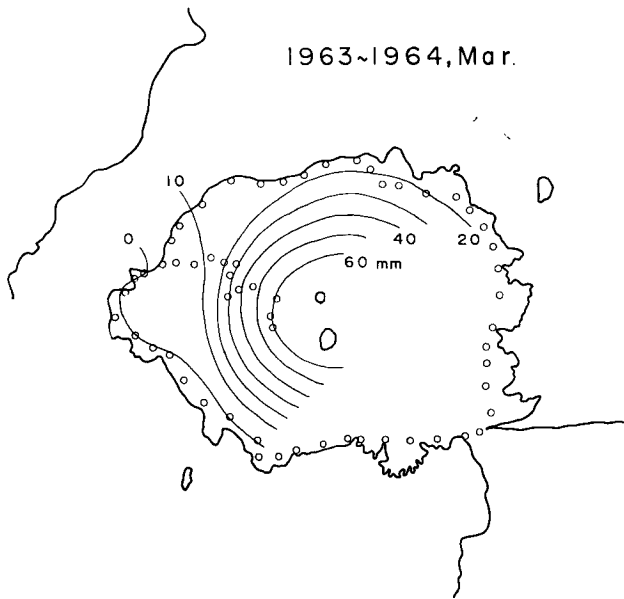


Fig. 8

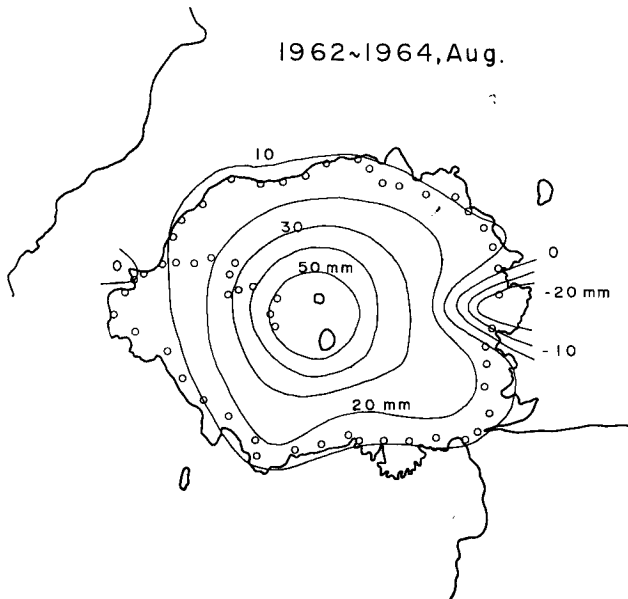


Fig. 9

Contours of change in elevation between the times of the two levelling surveys.

4, 5, 6, 7, 8, 9)。

測量の時間的間隔は、約一年であるので、これらの曲線は、ほゞ桜島火山における地殻の垂直変動速度 (mm/year) 分布とみてさしつかえない。各期間における特徴は、次の通りである。

(1) 1957年~1958年

- (イ) 桜島は、北部隆起の傾向をはっきりと示している。白浜、高免附近では一年間に約 40 mm の隆起を示した。
- (ロ) 島の東側は、水準点がなかったもので、変動量は不明 (Fig. 2)。

(2) 1958年~1959年

- (イ) 前年にひきつづき、桜島東側は水準測量が1959年から始められたので、変動量は不明。
- (ロ) 島の北東部から中央部にかけて、約 10~20 mm の隆起があったものと推定される (Fig. 3)。

(3) 1959年~1960年

- (イ) 桜島一周、2回目の測量が行なわれ、東部の垂直変動が明らかとなった。
- (ロ) 北部は、約 40 mm の隆起。
- (ハ) 中央部も若干の隆起があったものと推定される。
- (ニ) 桜島の東西に異常変動をみせる所が現れた。西側は BM. 16~18 附近で、東側は BM. 36,37 附近の昭和の lava flow をはさむ地点である。東部の黒神附近の沈降は、以後年々続いていて、かなり注目すべき現象と考えられる (Fig. 4)。

(4) 1960年~1961年

- (イ) 桜島火山中央部の垂直変動の様子が、引ノ平ルートの測量によってはっきりした。引ノ平 (BM. 111) は、この1年間に 44.5 mm の沈降を示した。
- (ロ) 南岳の爆発回数など、火山活動は、1955年以来最大。
- (ハ) 黒神附近は、異常沈降 (Fig. 5)。

(5) 1961年~1962年

- (イ) 1957年以来続いていた桜島の北側隆起の傾向がなくなり、かえって白浜、高免附近では、約 10 mm の沈降となった。

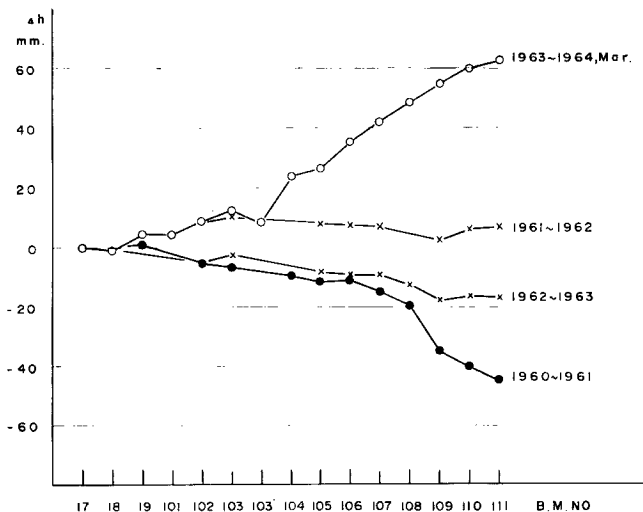


Fig. 10. Relative vertical displacement of B.M.s. along Hiki-no-hira route.

- (ロ) 中央部は約 10 mm 位隆起。  
 (ハ) 黒神附近の異常沈降は、いぜんとして続いている (Fig. 9)。  
 (6) 1962年～1963年  
 (イ) 桜島海岸線から中央部に行くほど沈降水量が増加して、BM. 111 では、16.9 mm の沈降。  
 (ロ) 桜島全体にわたって沈降。  
 (ハ) 東側は測量を行なわなかったので、変動量は不明 (Fig. 7)。  
 (7) 1963年～1964年 3月  
 (イ) 引ノ平ルートの水準点が大巾な隆起を示した。BM. 111 の、この 1 年間における隆起量は、62.4 mm である (Fig. 10)。  
 (ロ) 桜島東側は測量を行なわなかった (Fig. 8)。  
 (8) 1962年～1964年 8月  
 (イ) 1964年 8月に桜島一周、及び引ノ平ルートの再測を行なった。  
 (ロ) 引ノ平ルートの水準点は、3月以来も隆起を続けている。  
 (ハ) 黒神附近は相変わらず異常沈降 (Fig. 9)。

#### 4. 桜島火山における垂直変動と火山活動との関係

##### (1) 桜島火山附近の地殻変動の機構

1914年、桜島の噴火ののち、鹿児島湾一帯は大規模な土地の沈降がみとめられた<sup>2)</sup>。その同心円状の沈降の中心は、蛤良カルデラの中心にほぼ一致している。噴火に伴った火山ガス、熔岩、軽石などの地表への噴出によって、蛤良カルデラ中心部地下の magma reservoir の内部圧力が減少して、それに伴って地殻が弾性変形を起し、鹿児島湾沿いの沈降となって現れた。(茂木<sup>3)</sup>)。

吉川<sup>4)</sup>は最近の桜島火山における地殻動源の機構について論じ、最近の桜島の北側隆起は、茂木によって指摘されている蛤良カルデラ中心部地下の圧力源の内部圧力の増加によって生じた弾性変形であると考えた。さらに、桜島中心部地下にも小圧力源があることを推定している。

桜島火山を含む蛤良カルデラには、鹿児島湾中心部地下と、桜島火山中心部地下とにそれぞれ主と副の内部力源(magma reservoir)があって、その内部圧力の増減によって、鹿児島湾から桜島一帯の地殻の垂直変動が生じると考えると、最近の桜島における垂直変動量分布が、定性的にほぼ説明出来るものと思われる。しかし黒神地域の異常沈降は、これだけではまったく説明出来ない性質のものである。

##### (2) 火山活動との関係

2つの内部力源に最も近い水準点と思われる BM. 29 (高免) と BM. 111 (引ノ平) の比高の時間的变化と、火山活動状態の指針として、南岳の爆発回数の年間総和 (N)、及び東桜島湯之地震計室の S-50 地震計 (NS) に

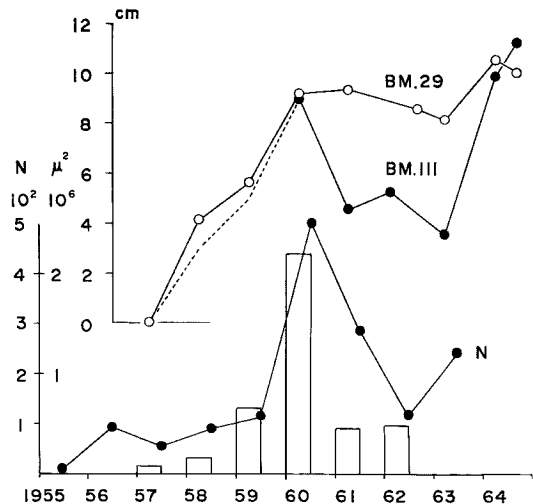


Fig. 11. Relations among the change in elevation of B.M. 29, B.M. 111, the yearly total number of explosions (N), and the yearly sum of the square of maximum amplitude of explosion-earthquakes ( $\mu^2$ ).

記録された爆発地震の最大振巾の自乗の年間総和 ( $\mu^2$ ) を Fig. 11 に示した。

BM. 29 及び BM. 111 の比高は、1957年を基準として、BM. 17 を不動点と考えたときの値である。1959年に BM. 17 が改埋されている為、若干の誤差が入っている可能性があるが、それは数 mm 位までである。BM. 111 の1960年測量以前の値は、桜島一周ルートの水準測量の結果から推定したものである。

Fig. 11 は、噴火現象を広い意味の火山活動の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、BM. 29 及び BM. 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ものと考えられる。

1963年までは、両者の間にほぼ正の相関があることがわかる。疑問なのは、1964年3月に明らかになった桜島中心部の大巾な隆起量 (BM. 111 で +62.4 mm) である。これが今後の火山活動にどう結びつくかは、今後の興味ある問題である。以上時間の単位を1年位にとって、比較的長期間の目でみた場合の火山性地殻変動と、火山活動との相互関係について解析してみた。

## 5. お わ り に

この研究について、終始御指導を戴いた佐々憲三京大名誉教授及び吉川圭三助教授に厚く御礼申し上げます。又水準測量に共にたづさわって下さった京大理学部地球物理学教室の学生諸君に対して、厚く感謝の意を表します。

尚水準測量は文部省特別事業費で実施されていることを附記致します。

## 参 考 文 献

- 1) 吉川圭三：桜島における水準測量結果について (第1報)，防災研究所年報第2号，pp. 140~144, 昭和33年。  
：桜島における水準測量結果について (第2報) および桜島における地盤変動観測について (続報)，防災研究所年報第4号，pp. 21~35, 昭和36年.
- 2) F. Ōmori : The Sakura-jima Eruptions and Earthquakes. IV., Bull. of the Imper. Earthq. Investi. Comm. Vol. 8, No. 4, 1920.
- 3) K. Mogi : Relations between the Eruptions of Various Volcanoes and the Deformations of the Ground Surface around Them, Bull. of the Earthq. Res insti., Vol. 36, 1958.
- 4) K. Yoshikawa : On the Crustal Movement Accompanying with the Recent Activity of the Volcano Sakura-jima (part 1). Bull. Dis. Prev. Res. Inst., No. 48, Aug., 1961.