

# 桜島に於ける水準測量結果について (第1報)

吉 川 圭 三

ON THE RESULT OF THE PRECISE LEVELLING

AT SAKURAJIMA (Part 1)

by Keizo YOSHIKAWA

## Synopsis

On the studies of crustal deformations accompanied by a volcanic activity, many investigators reported their interesting results. Above all, a large scale crustal deformation caused by the greatest eruption of Sakurajima Volcano in 1914, was one of the representations. But, before we set up the levelling route in Sakurajima (see Fig. 1) on the occasion of reopening the eruption in Oct. 1955, anyone had not been able to know the mode of the crustal deformation of Sakurajima itself.

In Feb. 1957 and in Feb. 1958, two successive precise levellings were carried out along the levelling route in Sakurajima. From these results, the mode of the crustal deformation of Sakurajima itself in the time of the active period was made clear.

The main results are as follows ;

- 1) The southern part of Sakurajima has sunk, while the northern part has elevated, in reference to the bench-mark No. 2500.
- 2) The bench-mark No. 12 and No. 28 show an abnormal relative settlement.
- 3) The block movement of Sakurajima was studied by utilizing Miyabe's method, the inclination of the block being

$$8.9 \times 10^{-6} \cos (\theta - 13^\circ)$$

where  $\theta$  is the azimuth in degree measured counter-clockwise from  $N$ .

## 1. 緒 言

火山活動に伴なつて生ずる地盤変動の研究は、今日まで多くの人々によつてなされており、各火山についてそれぞれ興味ある結果が報告されている。大正3年の桜島の大噴火の際に生じた大規模な地盤変動は、これらの中でも代表的なものであつて、錦江湾周辺部に設置されていた水準路線に沿つての精密水準測量が繰り返し実施され、その変動の様子がくわしく研究されている (Tsuboi, 1929, 1932, 宮部 1934, 茂木 1957)。併し最近まで桜島の内部には水準路線がなかつたため、桜島そのものゝ変動については、明確な様子がわからなかつた。

われわれは昭和30年10月より再活動を始めた桜島火山について、地震学的測地学的な研究に着手したが、その一つとして桜島の火山活動に伴なう桜島自体の地盤変動の様子をしらべるために、昭和31年12月に桜島口にある地理調査所の水準点 2500号を起点として、桜島の一週道路に沿つて水準点を新設した。そしてその第1回目の測量が昭和32年2月に岡田淳氏 (東大震研) によつて行われた。翌33年2月に第2回目の測量を行い、この両者の結果を比較する事によつて、この間の一年間に生じた桜島内部の地盤変動の様子が明らかになつたのでこゝに報告する。

## 2. 水準点及び使用器械について

昭和31年12月、桜島にある地理調査所的水準点2500号を起点として、有村、湯之、袴腰、西道、白浜を経て高免に至る約25 km. の間に29個の水準点埋設された。

(Fig.1 参照)。これらの水準点のうち、5, 6, 9, 11, 13, 17, 21, 23, 26, 27, 29の各号11個の水準点は花崗岩柱の水準点であり、他の18個の水準点はステンレス金属棒をコンクリート柱にうめこんだものである。

測量に使用した器械は Zeiss A 型水準儀と3米のインバ

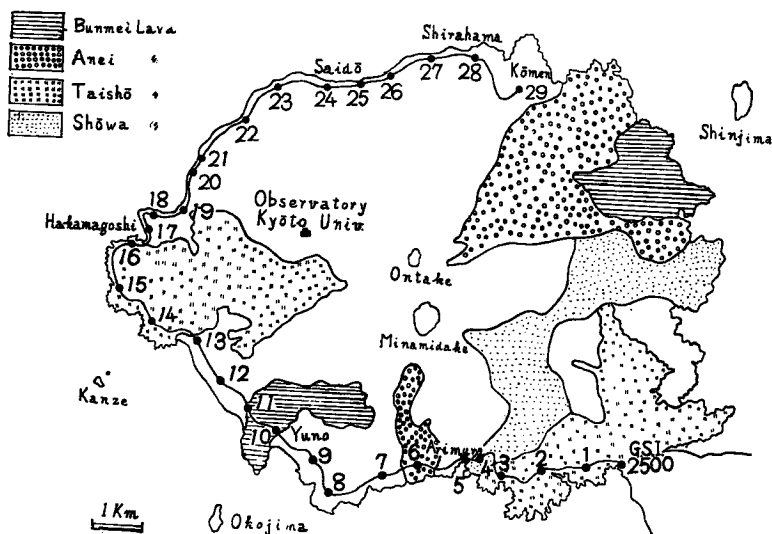


Fig. 1. Levelling route and distribution of bench-mark.

Table 1.

| 水準点  | H <sub>1</sub> |     |     | H <sub>2</sub> -H <sub>1</sub> | 水準点   | H <sub>1</sub> |     |        | H <sub>2</sub> -H <sub>1</sub> |       |
|------|----------------|-----|-----|--------------------------------|-------|----------------|-----|--------|--------------------------------|-------|
|      | m.             | cm. | mm. |                                |       | m.             | cm. | mm.    |                                | mm.   |
| 2500 |                |     | 0   | 0                              | 15    |                |     |        |                                |       |
| 1    |                |     |     |                                | 16    | -15            | 54  | 1.1    | -15 54 3.8                     | - 2.7 |
| 2    | +32            | 92  | 6.4 | +32 90 2.3                     | -24.1 | 17             | -16 | 72 9.8 | -16 72 9.8                     | 0     |
| 3    |                |     |     |                                | 18    |                |     |        | -16 44 3.8                     | -     |
| 4    |                |     |     |                                | 19    | -15            | 67  | 8.9    | -15 67 1.4                     | + 7.5 |
| 5    | +13            | 34  | 8.5 | +13 32 2.1                     | -26.4 | 20             | -16 | 67 7.2 | -16 66 4.7                     | +12.5 |
| 6    | -00            | 03  | 0.7 | -00 05 8.4                     | -27.7 | 21             | -13 | 37 4.4 | -13 35 9.4                     | +15.0 |
| 7    |                |     |     |                                | 22    | -17            | 73  | 3.3    | -17 71 0.2                     | +23.1 |
| 8    |                |     |     |                                | 23    | -17            | 80  | 8.8    | -17 77 9.2                     | +29.6 |
| 9    | +23            | 79  | 6.6 | +23 77 0.9                     | -25.7 | 24             | -16 | 01 7.0 | -15 98 6.1                     | +30.9 |
| 10   |                |     |     |                                | 25    | -16            | 09  | 0.5    | -16 05 5.0                     | +35.5 |
| 11   | -04            | 25  | 1.0 | -04 26 2.2                     | -11.2 | 26             | -16 | 90 0.7 | -16 85 7.0                     | +43.7 |
| 12   | -01            | 51  | 5.2 | -01 54 1.1                     | -25.9 | 27             | -16 | 15 1.8 |                                |       |
| 13   | -09            | 53  | 6.1 | -09 54 4.1                     | - 8.0 | 28             | -07 | 42 6.5 | -07 41 0.4                     | +16.1 |
| 14   |                |     |     |                                | 29    | +66            | 21  | 5.0    | +66 25 6.9                     | +41.9 |

H<sub>1</sub>; Relative height of the bench mark in 1957H<sub>2</sub>;

"

in 1958

ール標尺で、測量は各水準点間の往復測量で、その誤差はいつでも一等水準測量の許容誤差以内である。

### 3. 測量結果について

地理調査所的水準点 2 500 号を基準点として、その標高を 0 とした場合の第 1 回及び第 2 回の測量結果より得られた各水準点の標高と、水準点 2 500 号を不動点と見なした場合の各水準点の一年間の変動量は Table 1 の通りである。

Table 2. Azimuth in degree measured counter-clockwise from N.

| from<br>to | 2    | 5   | 6   | 9   | 11  | 13  | 16  | 17  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 29  |
|------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2          | —    | 99° | 85  | 89  | 101 | 108 | 116 | 119 | 124 | 128 | 131 | 138 | 143 | 148 | 152 | 158 | 176 |
| 5          | 279° | —   | 67  | 84  | 100 | 111 | 120 | 123 | 129 | 134 | 137 | 145 | 151 | 157 | 162 | 168 | 188 |
| 6          | 265  | 247 | —   | 93  | 110 | 120 | 127 | 131 | 137 | 141 | 144 | 153 | 158 | 165 | 170 | 175 | 195 |
| 9          | 269  | 264 | 273 | —   | 128 | 135 | 138 | 143 | 151 | 155 | 158 | 167 | 172 | 180 | 185 | 190 | 208 |
| 11         | 281  | 280 | 290 | 308 | —   | 144 | 142 | 150 | 161 | 166 | 169 | 179 | 184 | 192 | 198 | 203 | 221 |
| 13         | 288  | 291 | 300 | 315 | 324 | —   | 141 | 153 | 172 | 176 | 179 | 191 | 195 | 205 | 210 | 215 | 232 |
| 16         | 296  | 300 | 307 | 318 | 322 | 321 | —   | 230 | 240 | 224 | 220 | 222 | 222 | 230 | 234 | 237 | 248 |
| 17         | 299  | 303 | 311 | 323 | 330 | 333 | 50  | —   | 245 | 222 | 217 | 220 | 221 | 230 | 235 | 237 | 249 |
| 19         | 304  | 309 | 317 | 331 | 341 | 352 | 60  | 65  | —   | 194 | 198 | 212 | 215 | 226 | 233 | 236 | 250 |
| 20         | 308  | 314 | 321 | 335 | 346 | 356 | 44  | 42  | 14  | —   | 203 | 219 | 221 | 233 | 239 | 242 | 254 |
| 21         | 311  | 317 | 324 | 338 | 349 | 359 | 40  | 37  | 18  | 23  | —   | 225 | 225 | 238 | 244 | 246 | 258 |
| 22         | 318  | 325 | 333 | 347 | 359 | 11  | 42  | 40  | 32  | 39  | 45  | —   | 225 | 247 | 254 | 254 | 264 |
| 23         | 323  | 331 | 338 | 352 | 4   | 15  | 42  | 41  | 35  | 41  | 45  | 45  | —   | 267 | 269 | 263 | 271 |
| 24         | 328  | 337 | 345 | 0   | 12  | 25  | 50  | 50  | 46  | 53  | 58  | 67  | 87  | —   | 271 | 261 | 271 |
| 25         | 332  | 342 | 350 | 5   | 18  | 30  | 54  | 55  | 53  | 59  | 64  | 74  | 89  | 91  | —   | 254 | 272 |
| 26         | 338  | 348 | 355 | 10  | 23  | 35  | 57  | 57  | 56  | 62  | 66  | 74  | 83  | 81  | 74  | —   | 277 |
| 29         | 356  | 8   | 15  | 28  | 41  | 52  | 68  | 69  | 70  | 74  | 78  | 84  | 91  | 91  | 92  | 97  | —   |

Table 1 の一年間に生じた各水準点の変動量を図示したものが Fig. 2 である。この図を見れば明らかな如く、水準点 2 号が約 2.4 cm 程沈降しており、水準点 16 号までの各水準点は全部沈降している。そして水準点 17 号は変動量 0 で、それから後の水準点はいずれも隆起している。換言すれば大隅半島に比較して桜島の方が、その接合部において比較的大きな沈降をしており、桜島口の地理調査所的水準点 2 500 号と袴腰の水準点 17 号を結ぶ線より南側の各水準点はいずれも沈降し、北側の水準点はいずれも隆起している。又水準点 12 号と 28 号以外の水準点が比較的連続的な変動をしているのに対し、この両水準点のみが特異な変動を示している。この事は桜島の地質構造と密接な関係を有していて、今回の噴火活動による地盤変動の一つの興味ある事実かとも考えられる。しかし孤立した点の変動だけで種々の解釈を試みるのは早軽であると思われるので、本年 6 月に更にこれら 2 水準点附近に補助水準点を設置した。これによつて今後の測量結果より何らかの解答が得られるものと期待している。

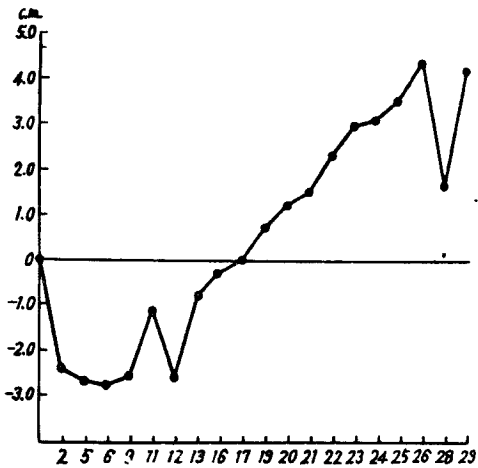


Fig. 2. Vertical displacement of each bench-mark during 1957~1958.

次に先に述べた如く桜島の南半分が沈降し、北半分が隆起しており、しかも水準点12号及び28号以外の各水準点が比較的連続的な変動を示していることから、桜島が大きくみて一つの地塊として運動しているのではないかという事が予想される。そこで桜島内部の各水準点のうち12号及び28号を除外したものについて、宮部の方法を適用して、その運動の様子をしらべてみた。Table 2 は一つの水準点から他の水準点を見た場合の方向を、北から時計廻りに計った方位角で、Table 3 は一つの水準点と他の水準点との変動量の差を、その水平距離で割る事によつて得られた二点間の傾斜変動量を弧度で表わしたものである。この両者より方向角を横軸に、傾斜変動量を縦軸にとつて、Plot すると Fig. 3 の如くなる。これらの各点をできるだけ満足するような余弦曲線を求めると実線で示されたようになり、これを

Table 3. Gradient in  $10^{-6}$

| from<br>to | 2    | 5    | 6    | 9    | 11   | 13   | 16   | 17   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25    | 26    | 29   |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| 2          |      | +1.4 | +1.5 | +0.3 | -2.2 | -2.3 | -2.4 | -2.8 | -3.6 | -4.1 | -4.4 | -5.3 | -6.0 | -6.5 | -7.3  | -8.4  | -9.2 |
| 5          | -1.4 |      | +1.2 | +0.2 | -3.4 | -3.3 | -3.0 | -3.5 | -4.7 | -5.2 | -5.4 | -6.3 | -7.0 | -7.6 | -8.4  | -9.5  | -9.8 |
| 6          | -1.5 | -1.2 |      | -1.0 | -4.6 | -4.0 | -3.5 | -3.9 | -5.2 | -5.6 | -5.8 | -6.6 | -7.2 | -7.6 | -8.4  | -9.3  | -9.2 |
| 9          | +0.3 | -0.2 | +1.0 |      | -8.0 | -5.3 | -4.0 | -4.5 | -5.9 | -6.3 | -6.4 | -7.0 | -7.5 | -7.7 | -8.3  | -9.0  | -8.2 |
| 11         | +2.2 | +3.4 | +4.6 | +8.0 |      | -2.1 | -2.2 | -2.8 | -4.7 | -5.2 | -5.4 | -6.1 | -6.4 | -6.6 | -7.1  | -7.8  | -6.5 |
| 13         | +2.3 | +3.3 | +4.0 | +5.3 | +2.1 |      | -2.2 | -3.3 | -6.1 | -6.5 | -6.5 | -7.0 | -7.3 | -7.1 | -7.5  | -8.1  | -6.3 |
| 16         | +2.4 | +3.0 | +3.5 | +4.0 | +2.2 | +2.2 |      | -4.9 | -7.7 | -8.2 | -7.9 | -7.5 | -7.7 | -6.8 | -7.0  | -7.5  | -5.4 |
| 17         | +2.8 | +3.5 | +3.9 | +4.5 | +2.8 | +3.3 | +4.9 |      | -9.4 | -9.6 | -8.7 | -8.0 | -8.0 | -7.0 | -7.2  | -7.7  | -5.4 |
| 19         | +3.6 | +4.7 | +5.2 | +5.9 | +4.7 | +6.1 | +7.7 | +9.4 |      | -7.7 | -7.0 | -7.1 | -7.4 | -6.5 | -6.8  | -6.5  | -4.9 |
| 20         | +4.1 | +5.2 | +5.6 | +6.3 | +5.2 | +6.5 | +8.2 | +9.6 | +7.7 |      | -5.9 | -6.6 | -7.1 | -5.9 | -6.3  | -7.1  | -4.4 |
| 21         | +4.4 | +5.4 | +5.8 | +6.4 | +5.4 | +6.5 | +7.9 | +8.7 | +7.0 | +5.9 |      | -6.8 | -7.4 | -5.8 | -6.2  | -7.2  | -4.2 |
| 22         | +5.3 | +6.3 | +6.6 | +7.0 | +6.1 | +7.0 | +7.5 | +8.0 | +7.1 | +6.6 | +6.8 |      | -8.1 | -4.9 | -5.6  | -6.9  | -3.5 |
| 23         | +6.0 | +7.0 | +7.2 | +7.5 | +6.4 | +7.3 | +7.7 | +8.0 | +7.4 | +7.1 | +7.4 | +8.1 |      | -0.1 | -3.7  | -6.0  | -2.5 |
| 24         | +6.5 | +7.6 | +7.6 | +7.7 | +6.6 | +7.1 | +6.8 | +7.0 | +6.5 | +5.9 | +5.8 | +4.9 | +0.1 |      | -6.8  | -9.0  | -2.8 |
| 25         | +7.3 | +8.4 | +8.4 | +8.3 | +7.1 | +7.5 | +7.0 | +7.2 | +6.8 | +6.3 | +6.2 | +5.6 | +3.7 | +6.8 |       | -10.6 | -2.0 |
| 26         | +8.4 | +9.5 | +9.3 | +9.0 | +7.8 | +8.1 | +7.5 | +7.7 | +6.5 | +7.1 | +7.0 | +6.9 | +6.0 | +9.0 | +10.6 |       | +0.7 |
| 29         | +9.2 | +9.8 | +9.2 | +8.2 | +6.5 | +6.3 | +5.4 | +5.4 | +4.9 | +4.4 | +4.2 | +3.5 | +2.5 | +2.8 | +2.0  | -0.7  | --   |

式で表わすと次のようになる。

$$8.9 \times 10^{-6} \cos(\theta - 13^\circ)$$

ここに  $\theta$  は北から時計廻りに計られた方位角である。すなわち桜島を一つの地塊として、その運動をしらべると、走向  $E 13^\circ S$  で南落ちに  $8.9 \times 10^{-6}$  傾斜したことになる。

#### 4. 結 び

昭和32年2月より昭和33年2月に至るちょうど1年間に、桜島に生じた地盤変動の様子を水準測量の結果より求めた。それによると、

- 1) 水準点2500号を不動点と見なした場合、桜島の南半分が沈降、北半分が隆起している。
- 2) 水準点12号及び28号が異常な変動をしている。
- 3) 桜島を一つの地塊としてあつかった場合、走向  $E 13^\circ S$  南落ち  $8.9 \times 10^{-6}$  の傾斜運動をしたことになる。

なお最近桜島の一周道路が完成したので、この道路に沿つて水準点29号より黒神を経て水準点2500号に至る間にも水準点を設置した。これによつて完全に桜島一周の水準路線ができ上つたので、今後更に測量を定期的実施して、桜島の地盤変動の様子をくわしく考究するつもりである。

本稿を結ぶに際し、終始御教示御批判を戴いた佐々憲三教授に厚く御礼申上げる。また第1回目の測量に従事して下さい岡田淳氏及び第2回目の測量に共に従事して下さい中村俊造君に感謝する。

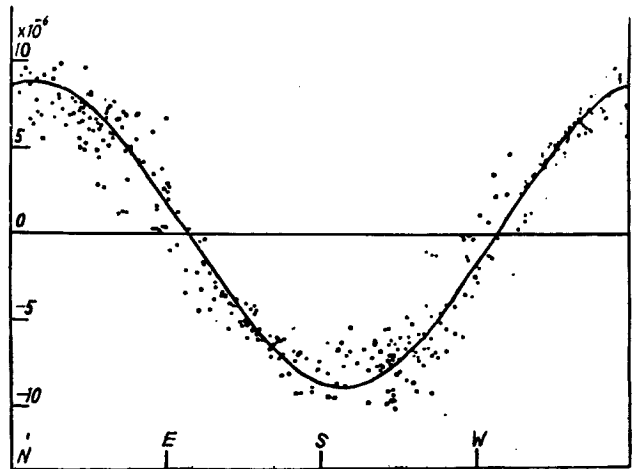


Fig. 3. Sine curve determining the mode of the tilt of Sakurajima block.