

火山性地殻変動 (IV)

—冷水観測室における地殻変動観測—

江 頭 庸 夫

VOLCANIC CRUSTAL DEFORMATIONS (IV)

—On the Observations of Crustal Deformations
at the Hiyamizu Station—

By Tsuneo Eto

Synopsis

Besides the repeated precise geodetic levellings, continuous registrations of volcanic crustal deformations by means of Sassa type extensometers, horizontal pendulum type tiltmeters and a recording water tube tiltmeter were carried out at the Hiyamizu station near Volcano Sakurajima.

The analyses of two horizontal components of Sassa type extensograms during the period from 1963 to 1967 suggested the horizontal strain rate of 1.6×10^{-6} /year of extension in the N 14° W direction and 1.0×10^{-6} /year of contraction in the direction of N 76° E. The vector diagram of ground tilts observed with two components of horizontal pendulum type tiltmeters showed the mean tilting rate of $2.3''$ /year of dip in the direction of southwest during the period from 1962 to 1968.

Comparisons of amounts of secular changes of ground tilts in the W 14° S dip direction observed with the precise levellings, the recording water tube tiltmeter and the horizontal pendulum type tiltmeter during the period from 1963 to 1967 revealed the ground tilts of approximately $1''$, $3''$ and $9''$ in angle respectively to the same direction.

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では桜島火山の周辺に、袴腰、北岳、春田山、霧島及び冷水の5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1962年から1968年にかけて冷水観測室において得られた記録から火山性地殻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年に設置した自記水管傾斜計によって得られた傾斜量について論じた。最後に、冷水観測室周辺の精密水準測量の結果から求められた地殻の垂直変動量と、自記水管傾斜計および水平振り型傾斜計によって得られた所のほぼ同期間における傾斜変動量についての比較をこころみた。

2. 冷水地殻変動観測室

冷水観測室は現在活動中の桜島南岳火口の西北西約 11.5 km の鹿児島市冷水町にあった。Fig. 1 に冷水観測室の所在地を示した。その地理的位置は北緯 $31^{\circ}36'$ 、東経 $130^{\circ}33'$ であり、始良カルデラの周辺に広く

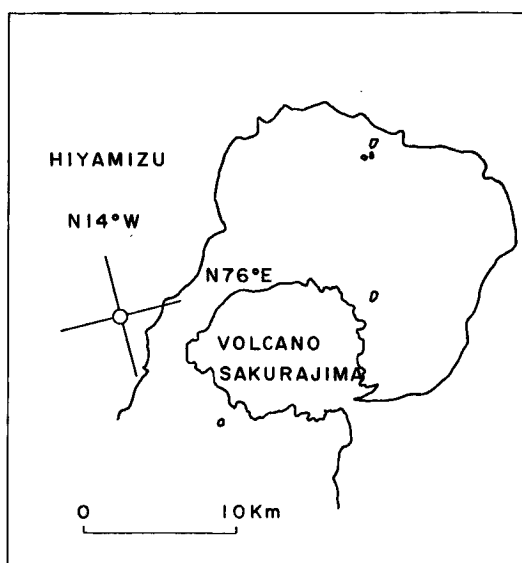


Fig. 1 Location of the Hiyamizu observation station near Volcano Sakurajima.

分布している火砕流，いわゆる“シラス”層の地下約 30m に掘られた地下壕を利用していた。観測室内の温度は年間を通じて鹿児島市の年平均気温に近い $16^{\circ}\sim 18^{\circ}\text{C}$ であり，観測室の一部で外部との隔離壁が不完全な所では気温の年較差が約 4°C 程度となっていた。

冷水観測室に設置した観測計器類のうちから地殻変動観測関係の計器の名称，観測方向，感度などをまとめて Table 1 に示した。冷水観測室は1956年11月に地殻変動の連続観測が開始されたが，1969年2月に至り大規模な土地造成工事のための山地切りくずしが冷水観測室附近にまでせまって来たために観測中止となった。

冷水観測室において得られた地殻変動観測記録のうち1957年から1960年に至る期間のものについては吉川¹⁾の記録解析がある。今回解析した記録は1962年より1969年2月に至る観測期間に得られたデータを主

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

Name of instrument	Direction of observation	Period or Span	Recording optical length	Sensitivity	Remarks
Sassa type Extensometer	N 14° W	20 m	2.0 m	1.3×10^{-8} /mm	slack wire and bifilar suspension
Sassa type Extensometer	N 76° E	20 m	2.0 m	1.5×10^{-8} /mm	slack wire and bifilar suspension
Horizontal pendulum type Tiltmeter	N 14° W	20.0 sec.	2.0 m	0.026 " /mm	made of super-invar
Horizontal pendulum type Tiltmeter	N 76° E	20.0 sec.	2.0 m	0.026 " /mm	made of super-invar
Recording water tube Tiltmeter	N 76° E	45 m	2.0 m	0.011 " /mm	optical recording and micrometer reading

として、これに鹿児島市周辺および桜島の精密水準測量の結果や鹿児島港および桜島桟橋港における検潮観測の資料をも考慮に入れて、冷水観測室周辺の最近の火山性地殻変動の様子などについて若干の検討を加えてみた。

3. 伸縮計による観測

観測に使用した計器は佐々式インバール線伸縮計水平2成分である。観測方向は $N 14^{\circ}W$ および $N 76^{\circ}E$ である。1963年より1968年に至る期間に冷水観測室において記録した伸縮計の経年変化曲線を Fig. 2 に図示した。

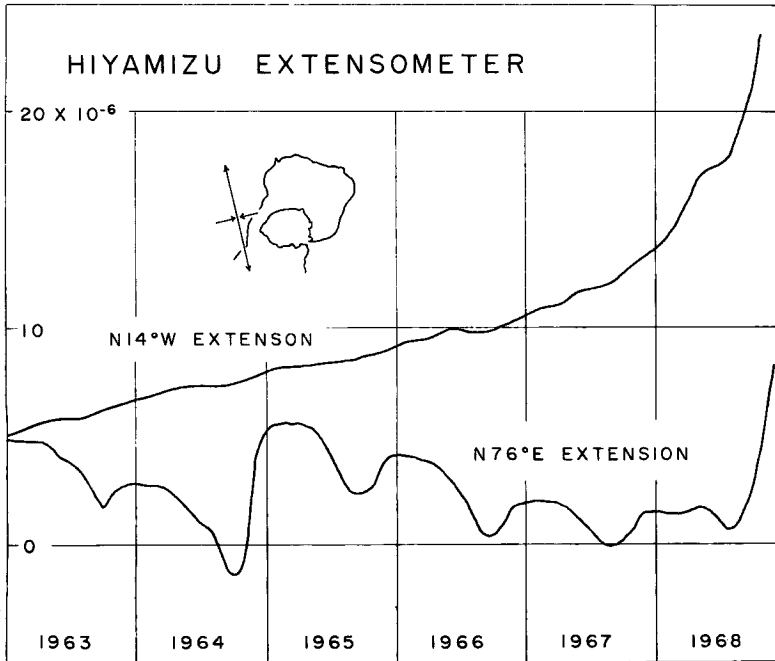


Fig. 2 Secular changes of the ground strains in the directions of $N 14^{\circ}W$ and $N 76^{\circ}E$ observed with Sassa type extensometers at the Hi Yamizu station.

$N 14^{\circ}W$ 方向はほとんど年変化が見られなく、ゆるやかな経年変化を示している。これに反して $N 76^{\circ}E$ 方向の記録は観測室内の温度変化あるいは湿度変化に原因すると思われる年変化を受けている。1968年7月頃から以後は土地造成工事のために伸縮計二成分とも“のび”の方向に大きな影響が出はじめている。このような山体の切りくずし工事のために生じるいわゆる地盤変動については稿を新ためて述べたいと思う。

1963年より1967年に至る期間の佐々式伸縮計の経年変化曲線より冷水観測室における地殻の直線ひずみとして、 $N 14^{\circ}W$ 方向は5年間に 8×10^{-6} 程度の“のび”を示し、ひずみの変動速度として $1.6 \times 10^{-6}/\text{year}$ の“のび”の値が得られる。 $N 76^{\circ}E$ 方向の直線ひずみは5年間に 5×10^{-6} 程度の“ちぢみ”を記録しており、平均して $1.0 \times 10^{-6}/\text{year}$ の“ちぢみ”の変動速度が得られる。 $N 76^{\circ}E$ 成分は1964年5月頃より10月頃にかけて年変化を若干上まわる“ちぢみ”を示し、11月頃より“のび”に転じて1965年2月までに 8×10^{-6} 程度の変動を記録した。さしひき同期間に 4×10^{-6} 程度の“のび”が起ったものと考えられるがこの原因はよくわからない。

4. 水平振子型傾斜計による観測

1962年以降、冷水観測室において観測された水平振子型傾斜計の記録より、傾斜の経年変化曲線を後述の自記水管傾斜計のデータとともに Fig. 5 に、水平振子型傾斜計による傾斜の vector diagram を Fig. 3 に図示した。

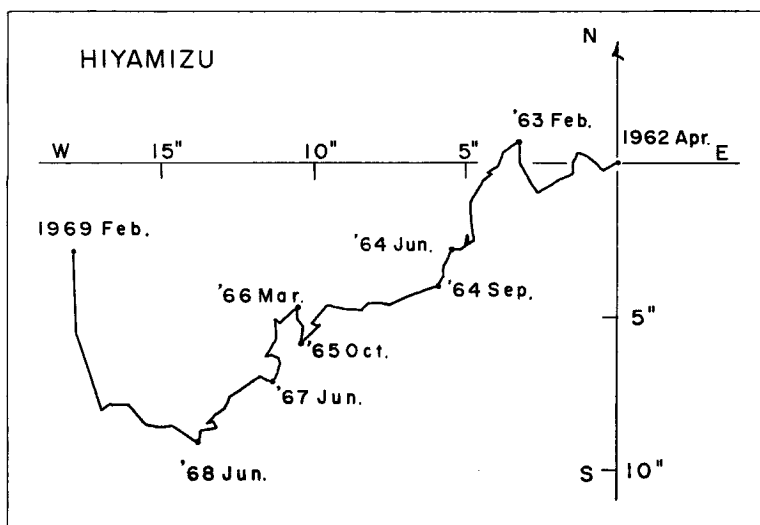


Fig. 3 Vector diagram of the ground tilts observed with horizontal pendulum type tiltmeters at the Hi Yamizu station.

Fig. 3 より冷水観測室における経年的傾斜方向はほぼ南西方向下りであり、1962年より1968年に至る観測期間の平均的傾斜速度は南西方向下りに $2.3''/\text{year}$ 程度となる。南西方向下りの経年的傾斜方向は、後述の鹿児島市周辺の精密水準測量により求められた地殻の垂直変動分布と比較する際、興味深いものがある。1968年5月頃からは土地造成工事の影響が急激にあらわれている。Fig. 3 のごとく、南西方向下りの経年的傾斜変動は直線的でなく、西下りおよび南南西下りの二系列の傾斜変動の合成されたものと見られるようである。傾斜方向の変転が1963年2月、1964年9月、1966年3月頃行なわれたように見うけられる。1963年2月から1964年9月頃までは南南西下りに傾斜変化が進行している。同時期、桜島の火山活動は前年よりも活発であった。桜島における精密水準測量の結果、引ノ平の水準点 (B.M. 111) は袴腰の水準点 (B.M. 17) を不動としたときに1963年3月より1964年8月にかけて 75.2 mm の隆起をしており、地殻内の活動も活発であったことを示している⁸⁾。1964年9月から傾斜方向はほぼ西下りに転じている。そして1966年3月頃まで西下りの変動が続いている。この間、火山活動は比較のおだやかであった。B.M. 111 は1964年8月から1966年3月にかけて 86.1 mm の急激な沈降を示したことが水準測量によって確認されている。1966年3月から傾斜方向は再び南南西下りに転じ、火山活動は前年よりも活発になっている。B.M. 111 は1967年3月までに 8.2 mm 隆起をしている。1968年6月からは傾斜速度が速くなり、北北西から北下りに転じているが、これは前述の土地造成工事によるものであろう。

5. 自記水管傾斜計による観測

自記水管傾斜計は recording pot の水面変化を光学的に拡大して記録紙上の観測感度 $0.011''/\text{mm}$ 程度

の連続記録を得ると共に、マイクロメーターによる水面変化の読取も可能な傾斜観測装置である。筆者は1962年逢坂山観測所に、1964年冷水観測室に、それぞれ一成分ずつの自記水管傾斜計²⁾を設置した。

1964年より1968年にかけて冷水観測室において得られた観測データより、自記水管傾斜計の記録の観析法と水平振子型傾斜計との傾斜観測の比較について調べてみた。自記水管傾斜計の自記記録は、recording potの水面変化を記録するのであるが、一端観測の場合この水面変化は地殻変動および観測室内の気象的变化などの影響を受けているものと考えられる。Fig. 4には、自記水管傾斜計の自記記録のみの経年変化曲線、マイクロメーターによる両端の水面変化の差として検出された傾斜変動の経年変化、1967年の観測室内で水管傾斜計の設置場所の温度および鹿児島市の気温の月平均値を図示した。

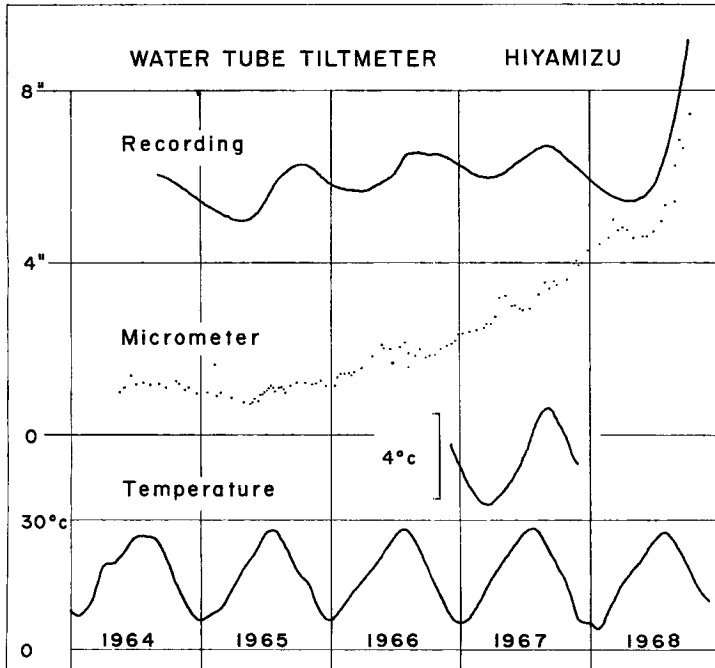


Fig. 4 Comparison of the ground tilt between the optical recording tiltgram and the results of micrometer readings observed with the recording water tube tiltmeter at the Hi Yamizu station.

Fig. 4 に示したように自記記録の年変化は振幅約1秒角程度に記録されている。しかし、経年変化の変動量はマイクロメーターの読取りによって観測された傾斜量よりも少ない。水面変化の読取りはマイクロメーターによって0.5ミクロンまで読取ることになっていた。しかし、実際には読取の際にマイクロメーターに接近する観測者の荷重による傾斜がかなり効き、読取精度としては5～10ミクロン程度までとなる。これを傾斜角になおすと両端のマイクロメーターの読取誤差として ± 0.1 秒角程度となる。このようにマイクロメーターの水面読取りによって求められた経年変化曲線は、自記記録にくらべて感度が落ちるので点がばらつく。温度など観測室内の気象的变化による水面変化は両端の差をとることで消去されてしまい、傾斜変動の経年変化が検出されている。経年変化を観測する立場からみれば、マイクロメーター読取による測定の方が確実性があると考えられる。原理的には自記記録とマイクロメーター読取による経年変化量は同じ値を出すはずであるので、自記水管傾斜計の光学的記録方式が浮子と滑車を使っている点に何かしら問題がありそう

である。

冷水観測室内の自記水管傾斜計を設置した場所は外部との隔離壁が一重であり、1967年の自記温度計の記録によると3月が最低で 13.9°C 、9月が最高で 18.1°C であり室温の年較差は約 4°C となっている。水管傾斜計の自記記録も室温と同時期に山と谷のある曲線をたどることから、室温の変化が自記水管傾斜計におよぼす影響を計算した。水管傾斜計内の水の見かけ上の体積熱膨張を計算してみると、年較差 4°C のときに 44.6 cm^3 の見かけ上の水の体積熱膨張があることになる。これは recording pot の水面変化にして 0.218 mm に相当する。これを光学的に427倍に拡大すると、記録紙上で 93.1 mm となり、傾斜角にして 0.85 秒に相当する。すなわち、自記記録に現れる年変化の大部分は室温変化による水管傾斜計内の水の見かけ上の体積熱膨張として説明されるようである。観測室内は湿度が高いので、そのほかに湿度による影響も若干あるかも知れないと思われる。

自記水管傾斜計の自記記録にマイクロメーター読取りによる経年変化量の補正を加えた傾斜変動のデータを、水平振り型傾斜計の経年変化曲線とともに Fig. 5 に示し比較した。1964年9月より1967年12月までの $N76^{\circ}\text{E}$ 方向の傾斜変動量を比較してみると、水平振り型傾斜計では $W14^{\circ}\text{S}$ 下りに約9秒角、自記水管傾斜計では $W14^{\circ}\text{S}$ 下りに約3秒角となっていて水平振り型の方が3倍大きく観測されている。

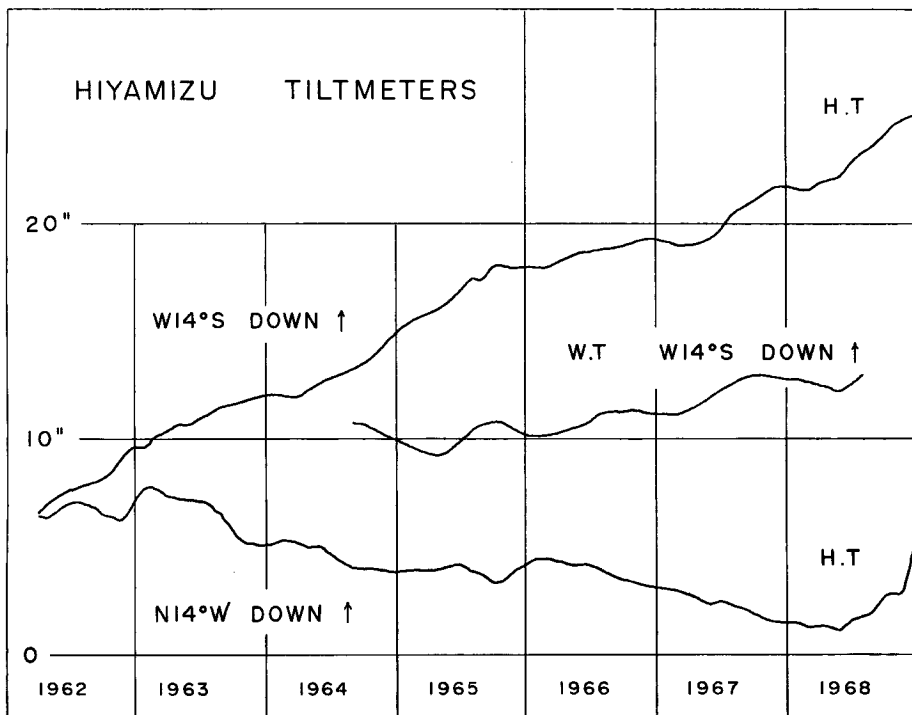


Fig. 5 Secular changes of the ground tilts observed with the horizontal pendulum type tiltmeters (H.T) and the recording water tube tiltmeter (W.T) at the Hi Yamizu station.

6. 火山性地殻変動と冷水における観測

伸縮計や傾斜計による地殻変動の連続観測の結果と、観測室を含む比較的広範囲な地域で測地学的に検出

される地殻変動との間の関係は、かなり興味深い問題である。

鹿児島市附近より国土地理院の水準点 B.M. 2474 のある大崎の鼻の間は火山活動に伴う地殻の垂直変動の大きい地域として知られている。1914年の桜島噴火に前後して起った地殻変動に関しては大森³⁾、坪井⁴⁾、宮部⁵⁾の研究がある。坪井、宮部は主として地塊運動の立場から調べているが、坪井によると B.M. 2463 より鹿児島市を經由して B.M. 2474 に至る地塊は1891年から1914年の間に N 57°40'E 下りに傾斜角 12 秒の地塊運動を示した。茂木⁷⁾は弾性論の立場から鹿児島湾ぞいの地殻の垂直変動について論じ、鹿児島湾中心部地下の圧力源によって、変動の機構を説明している。また、桜島における精密水準測量の結果より桜島中心部地下にも地殻変動の圧力源となるものの存在が推定されている¹⁾⁸⁾。

冷水観測室における地殻変動の連続観測とともに、鹿児島市より大崎の鼻に至るルートに補助水準点を設置して、水準測量による地殻の垂直変動の測定をこころみた。このルートの測量は1963年10月および1967年3月に B.M. 2469 を基準として行なわれている。桜島の水準測量より1963年3月と1967年3月のデータを用いて、B.M. 2469 を不動としたときの1963年3月～1967年3月の鹿児島市および桜島西部の地殻の相対的垂直変動の等変動曲線を Fig. 6 に示した。ただし鹿児島市と桜島袴腰との間には、両所の検潮観測より算出された各月平均潮位の差をとり⁶⁾、1963年3月と1967年3月との両検潮所の月平均潮位差 +21 mm を鹿児島市に対する袴腰の隆起量として、不動点とした B.M. 2469 と袴腰検潮場の水準点 B.M. 17 との間の変動量とした。

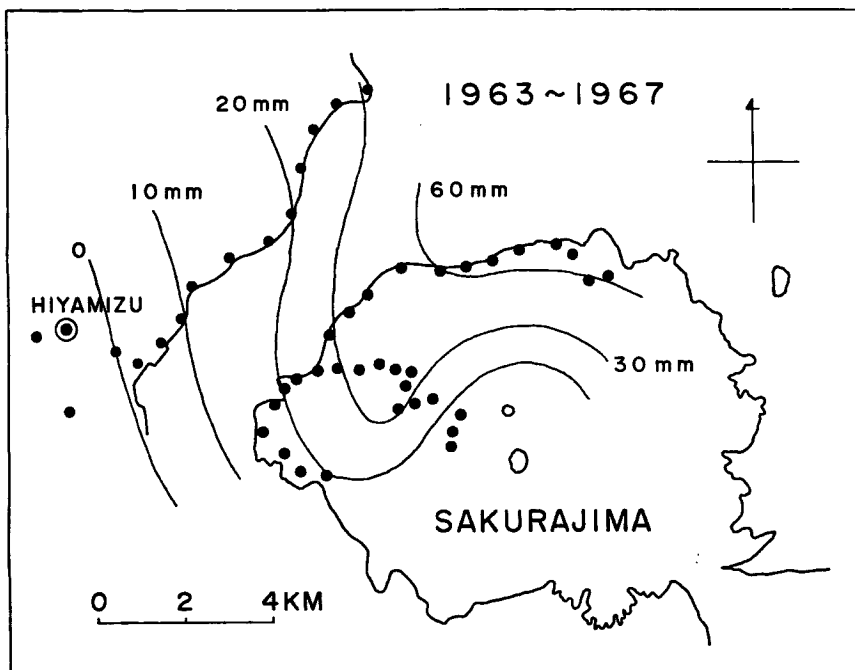


Fig. 6 Contours of vertical deformations. Elevation change was determined by precise levelling surveys and tidal observations.

Fig. 6 には前述の二つの圧力源の影響と思われる垂直変動のパターンが見うけられる。桜島の中心部には1964年の隆起ののち1965年の大きな沈降のあとがうかがえる。桜島北部の二反河原の水準点 B.M. 29 は B.M. 17 を不動としたときに1957年から10年間で 120 mm の隆起をしている⁸⁾。平均して 12 mm/year の

隆起速度である。一方、大崎の鼻附近は1963年より1967年にかけて約 30 mm の隆起をしている。

Fig. 6 より、冷水附近の変動量は 4 km につき約 20 mm 程度であり、傾斜角になおして約 1 秒となる。この変動量の最大傾斜方向は西南西下りであり、水平振子型傾斜計の vector diagram に見られる南西方向下りにほぼ一致している。次に、精密水準測量、自記水管傾斜計および水平振子型傾斜計の三観測方法で得られた所の同期間の傾斜変化量を比較して Table 2 に示した。観測方法によりかなり差があることが分り、水管傾斜計が水平振子型傾斜計よりも信頼性の高い計器であることが理解できる。自記水管傾斜計自体にもまだ改良、解決すべき問題をかかえているが、水準測量と水平振子型傾斜計の中間型の観測方式として、あらためて認識すべき点が多いのではないと思われる。

Table 2 Comparisons of amounts of secular changes of the ground tilt observed by three methods in and around the Hi Yamizu station.

Method of measurement	Amount of ground tilt	Direction of tilt	Period of observation
Precise levelling	1"	W S W down	Oct. 1963 - Mar. 1967
Recording water tube Tiltmeter	3"	W 14° S down	Sep. 1963 - Dec. 1967
Horizontal pendulum Tiltmeter	9"	W 14° S down	Sep. 1963 - Dec. 1967

7. お わ り に

冷水観測室において得られた地殻変動観測記録より火山性地殻変動量について解析をこころみた。また精密水準測量、自記水管傾斜計および水平振子型傾斜計による地殻変動量と方向を比較してみた。

おわりに鹿児島港の検潮データを提供して下さった鹿児島地方気象台にあつく御礼を申し上げます。長期間にわたり冷水観測室の記録交換、読取りに御助力をいただいた園田忠惟氏、御討議をしていただいた吉川圭三教授にあつく感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Yoshikawa, K.: On the Crustal Movement Accompanying with the Recent Activity of the Volcano Sakurajima (Part 1, 2), Bull. Dis. Prev. Res. Inst., No. 48, 50, 1962.
- 2) Eto, T.: A Recording Water Tube Tiltmeter, Bull. Dis. Prev. Res. Inst., Vol. 15, No. 98, 1966.
- 3) Ōmori, F.: The Sakura-jima Eruptions and Earthquakes, IV, Bull. Imp. Earthq. [Inv. Com. Vol. 8, No. 4, 1920.
- 4) Tsuboi, C.: Block Movements as Revealed by Means of Precise Levellings on [Some Earthquake Districts of Japan, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 7, 1929.
- 5) 宮部直巳：桜島近傍における地殻の変動について, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 12, [1934.
- 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, 12巻2号, 1967.
- 7) Mogi, K.: Relations between the Eruptions of Various Volcanoes and the Deformations of the Ground Surfaces around Them, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 36, 1958.
- 8) 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.