

逢坂山における地かく変動の観測

小 沢 泉 夫

ON THE OBSERVATIONS OF CRUSTAL DEFORMATION AT OSAKAYAMA

by Dr. Sci. Izuo OZAWA

Synopsis

At Osakayama, the observations of changes in strains and tiltings of the ground have been constantly performed with extensometers and tiltmeters since the observatory was established in 1947. From the observation, the secular changes in the strains and the tiltings are analyzed and the long period's deflections from the secular changes are calculated analytically. According to the results, it seems that the anomalous changes in the crustal deformation in the period from 1952 to 1956, have had something to do with earthquakes.

1. 逢坂山観測所は1947年、佐々憲三教授によつて創設され、財団法人防災研究所と京都大学地球物理教室との協力によつて地かく変動の観測が行なわれていた。1951年京都大学防災研究所の観測所となつてから、その施設は急速に拡張、充実された。地かく変動の観測と地震との関連の研究はわが国では古くから始められていたが、近頃諸外国でも行なわれるようになり、その研究内容も堅実さを増してきている¹⁾。

この論文では逢坂山で観測した結果のうち比較的長い周期の(永年の)変化を主に述べようと思う。

2. 逢坂山観測所の位置は東経 $135^{\circ} 51.5'$ 、北緯 $34^{\circ} 59.6'$ で、観測室は長さ 670 m の坑道のほぼ中央付近に設けられており、地表面からの深さは約 100 m で付近の地層は主に粘板岩からなる古生層である。地盤が極めて強固であるので、交通機関による振動も地かく変動の観測にはほとんど影響なく、地理的にも便利な場所であるという好条件を備えている。また逢坂山はわが国地震学史上地震の多く起こりかつ近頃でも地震発生の分布の上から興味のある場所にある (Fig. 6 参照)。地形的にも南は伊勢湾、北に若狭湾、中に琵琶湖、西に大阪湾、東に飛騨高原というように研究上多くの魅力がある。

坑内の温度は京都の気温の年平均 14°C にほぼ等しく年変化の振幅は 0.4°C 以下、一日の温度差は一年を通じて 0.01°C 以下である。Fig. 1 に $1/10^{\circ}\text{C}$ 目盛の水銀柱寒暖計で測定した値の月平均値を上の曲線

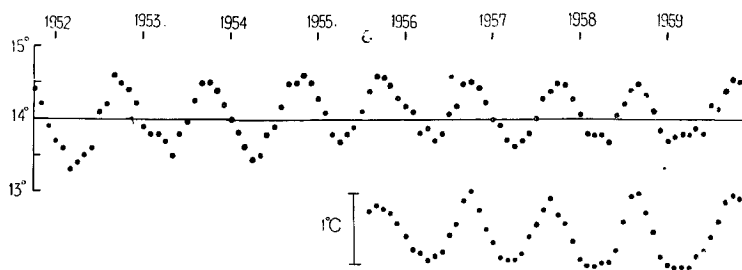


Fig. 1 Variation of temperature in the observing room at Osakayama

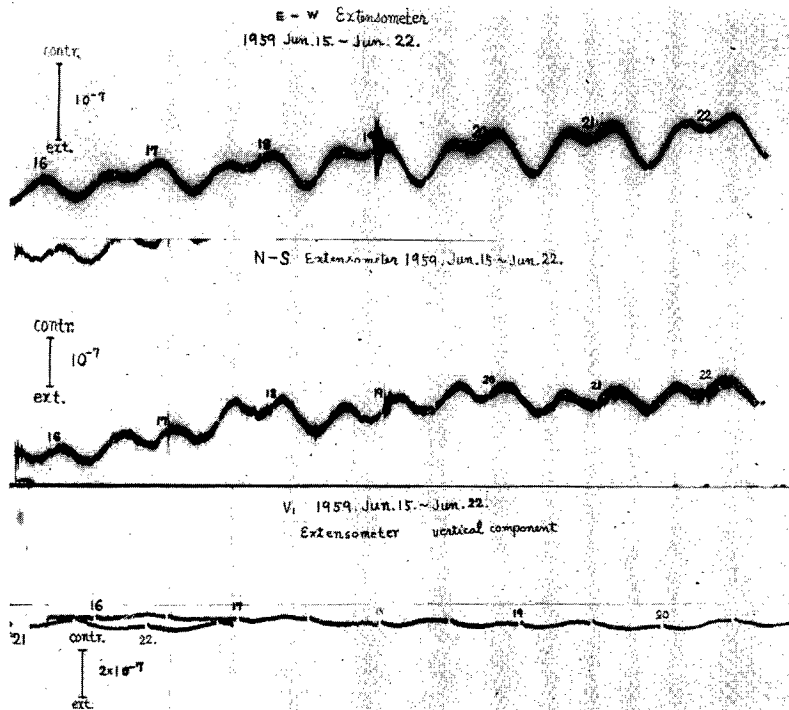
で、 0.01°C 目盛のベクマン相対寒暖計で観測した値の月平均値を下の曲線で示す。坑内温度は外界の気温の変化より約 2.5 ヶ月遅れ毎年 4 月に最低 13.6°C 、10 月に最高 14.4°C になる。この観測所に設けられてい

る主な器械とその性能²⁾を Table 1 に示す。

Table 1

Name of instrument	Direction of observation	Span of observation	Recording optical length	Magnification of relative displacement	Sensitivity	Remark
Sassa type extensometer	N38°E	20 m	1.8 m	4 460	$1.12 \times 10^{-8}/\text{mm}$	slack wire & bifilar-suspension
Rod type extensometer	N38°E	19.4 "	4.0 "	4 000	1.28 "	rod & roller
Sassa type extensometer	N29°W	4.2 "	5.4 "	7 350	3.00 "	slack wire & bifilar-suspension
V-52 type extensometer	Vertical	4.4 "	4.0 "	12 500	1.82 "	slack wire & spring
H-53 type extensometer	N61°E	9.6 "	3.5 "	6 400	1.68 "	slack wire & spring
H-59 type extensometer	E—W	5.30 "	1.9 "	50 000	0.37 "	rod & horizontal pendulum
H-59 type extensometer	N—S	4.14 "	1.7 "	42 400	0.57 "	rod & horizontal pendulum
V-59 type extensometer	Vertical	4.4 "	2.0 "	25 000	0.91 "	wire & horizontal pendulum
Horizontal pendulum type tiltmeter	N	—	1.8 "	25 sec	0."018 /mm	made of super-invar
"	E	—	1.8 "	25 sec	0."018 /mm	made of super-invar
Water-tube tiltmeter	N38°E	28 m			0."07 /div.	

これらの器械による任意の同じ週間の観測記録を Photo. 1 に示す。



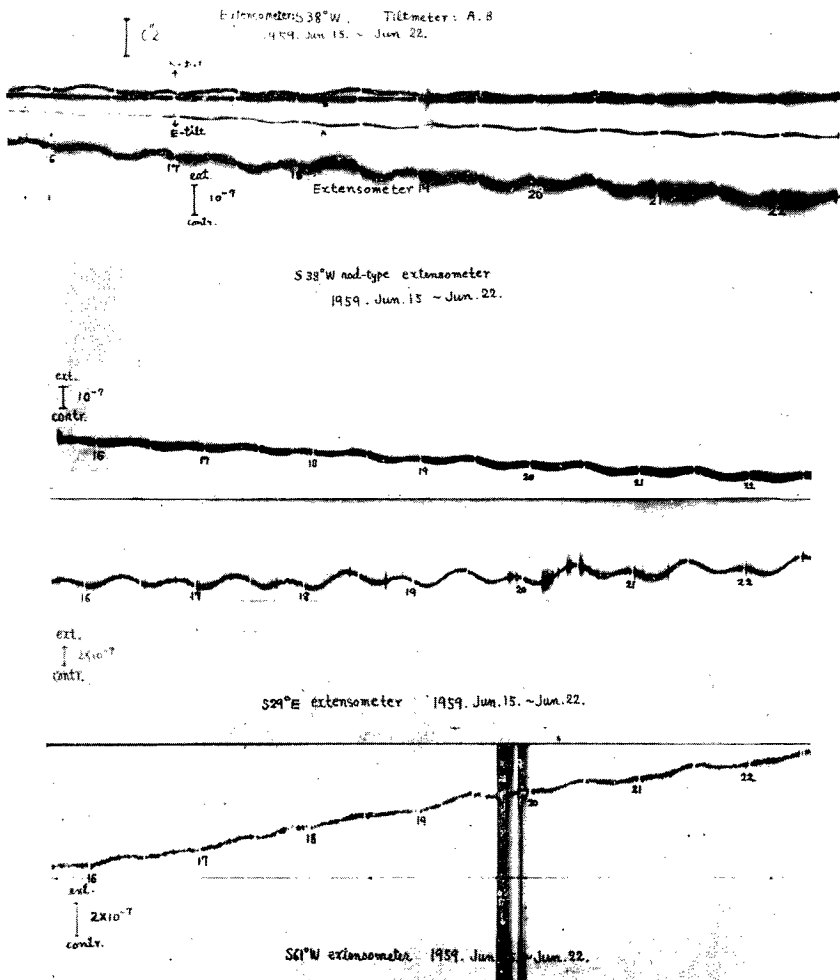


Photo. 1 Photographic records of a change in linear strain and tiltings of the ground at Osakayama

3. 逢坂山の最初の観測は 1947 年 9 月にまず $N38^{\circ}E$ 方向の土地の直線ひずみの観測から始められた。Fig. 2 にその観測曲線を示す。図中の点を毎月 1 日, 11 日, 21 日の記象の読取値を示し, 実線はその月の平均値と, その前後 6 カ月づつ (13 カ月ごと) の直線的 (移動) 平滑法によつて求めたもので両端 6 カ月の点線は両端の (固定した) 13 カ月の値から求められている。この平滑法は緩慢な永年変化を求めるには好都合であるが, 加速度の大きな変化を求めるには好ましくなく, その結果変化の山や谷が崩されたり埋められたり, 見掛けの前駆現象や後続現象が現われるので, 段違いの変化があると思われる所では, 段違いの始まつたと思われる所を境に前の部分と後の部分とに切り離して, そのそれぞれについて移動平滑法を行ない, 最後にその段違いの平滑曲線を観測値を考慮に入れて, 適当な長さの過渡期間を挟んで結び合わせる方法を用いた。その曲線は鎖線で示されている。例えば吉野地震のときは 1952 年 2 月以前の部分と 1952 年 4 月以後の部分とに分けてそのそれぞれについて平滑曲線を求め, 2 月から 4 月までの過渡期間は直線で結んだ。また 1953 年 11 月を頂点とする塔状の変化があるが, この場合は異常変化が始まつたと思われる 1953 年 9 月以前の

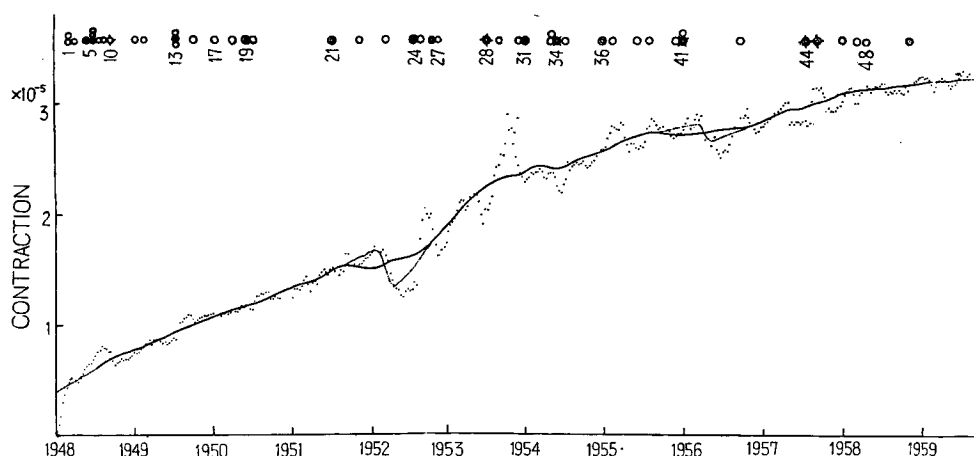


Fig. 2 Change in linear strain in a direction of N38°W. Black points are reading values of the ground strain. Full and broken line is smoothed curve. Chain line is amended curve of the smoothed curve
Earthquake, ○ : $2 \leq m < 4$, ⊙ : $4 \leq m$, ⊗ : deep focus.

部分と、その変化が平常に復したと思われる1954年1月以後の部分に分けて平滑法を行ない、山の高さは各年の11月11日の観測値の平滑曲線からの偏りの平均値を求めて、その値を1953年11月11日の観測値に補正した所を平滑曲線の山の頂点として、それと1953年9月の平滑曲線（点）と1954年1月の平滑曲線（点）とを線で結んだ。このような平滑曲線も更に長い目で見ても、1952年2月から1957年1月までを直線で結ぶと、1948年から1959年まではほとんど同一の直線的变化で表わされる。そしてこの11年余の間の1年の平均収縮率

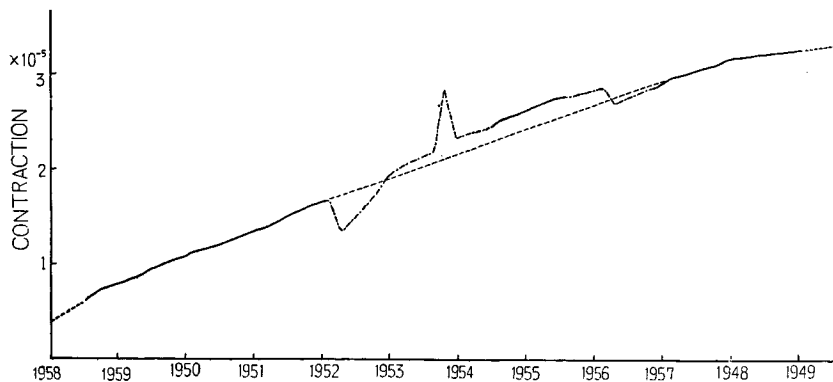


Fig. 3 Secular change in the ground strain and deflection from the linear secular change

は 2.6×10^{-6} になる。これを Fig. 3 に示す。この図によると1952年—1956年の変化は1952年に始まった一連の異常変化と見ることもできる。

Fig. 4 は1951年8月以降の水平振子型傾斜計の観測値（点）と区間13カ月の直線の移動平滑法による曲線を示す。観測値には一年週期的変化が卓越して見られ、坑内の温度の年変化と時季を同じくしている。しかし坑内温度の年平均値がほとんど年によって変化がないのに較べると、傾斜変化の平滑曲線は非常に大きく変化している。伸縮変化が1952年—1956年が一連の異常区間であつたことを考えると、傾斜変化の方も19

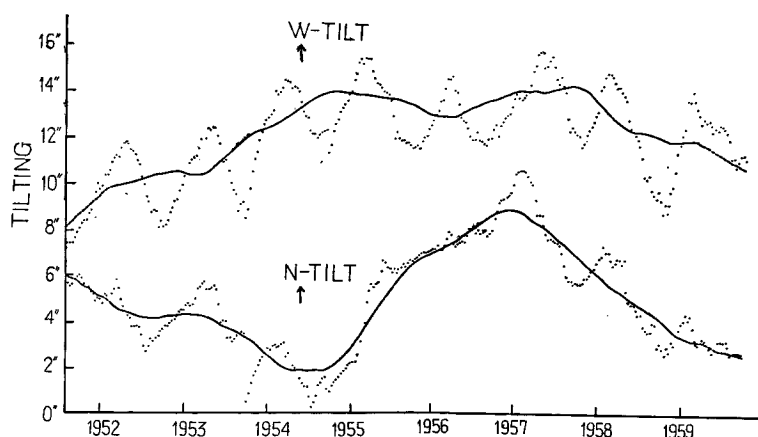


Fig. 4 Variation of the ground inclination. Black points are reading values.
Full and broken line is the smoothed curve.

52年—1956年と1957年以後の期間とではその様子が違っていることが明瞭にわかる。また観測器械、観測方法その他観測業務に関する限りはその期間を通じて異常は認められないから器械的な原因とは認め難い。

次に水平の $N29^{\circ}S$ 及び $N61^{\circ}W$ 方向と垂直ひずみ, e_{xx}, e_{yy}, e_{zz} を使って, $e_{xx}+e_{yy}+3e_{zz}=\Delta+2e_{zz}$ (Δ は体積ひずみ) を求めて, e_{zz} と一緒に Fig. 5 に示した $\Delta+2e_{zz}$ は Lamé の常数 λ, μ が等しければ

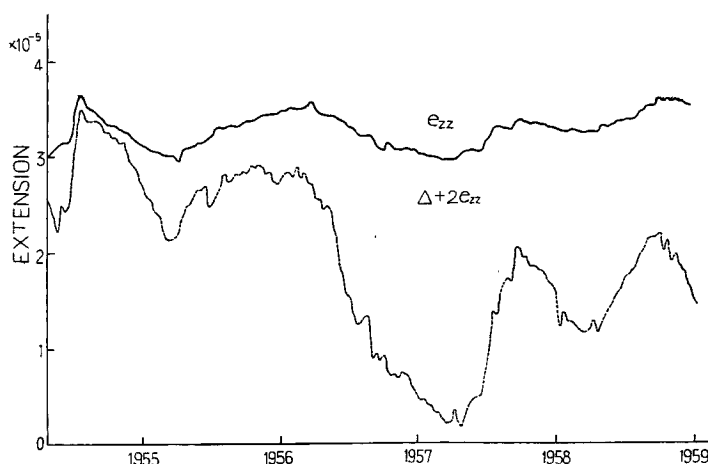


Fig. 5. Change in vertical strain e_{zz} and $\Delta+2e_{zz}$

垂直ひずみ力に比例する量で、自由表面では0になる量である。この量はもちろん深さを考慮に入れると土地が静水圧平衡にあると仮定したときの静水圧よりは1桁小さい範囲で変化している。1954年7月～8月には垂直ひずみ e_{zz} と $\Delta+2e_{zz}$ とは同じ桁で変化をしているが、1956—1957の大きな変化は e_{zz} には比較にならぬ程の大きさでしか現われていない。言い換えると面積変化の方が垂直ひずみよりも圧倒的に大きい。

1948年以降の近畿地区の主な地震のうち最大有感半径が震央距離に比べて2倍以上のものを選んで Fig. 6 にその震央の位置を書いた³⁾。図中 ⊙ は顕著地震, ○ は小区域地震, ⊗, ⊘ は深発地震である。また (最大有感半径) / (震央距離) = m のうち $4 > m \geq 2$ のものを○, $m \geq 4$ のものを⊙で Fig. 2 に記入した。Fig. 6 によると逢坂山で m の大きな地震の震央は、城崎—剣尾山—三国丘付近と、白浜 (和歌山県中部)

一奈良県中部—三重県北西部に沢山ある。逢坂山観測所はその交点に近い所にある。また逢坂山付近を交点として北東—南西、北西—南東を結ぶ二つの直線で四つの象限に分けたとき地震はほとんど北と南の象限に起こっている。

以上に述べたことで、地震との関連はと問われても言葉に詰まり、観測期間の長さからいっても明答は到底できないが、何か関連があるように思われる。もし地震が地かく内部の物質状態の急激な変動にともなうものであるならば、緩かな地かく変動は必ずしも地震を伴いなくてもよいかもしれないが、異常な地かく変動と地震とが時を同じくして現われることには深い意味がある。このような考えで Fig. 3 の観測曲線を見ると、1952年—1956年の変化は意味があるもののように思われる。

末筆ながらこの研究に絶大な御指導を賜わった佐々憲三教授、西村英一教授、また観測に対して多くの御便宜を与えられた方々、この研究に多大の努力を傾けておられる防災研究所に対して心から感謝致します。

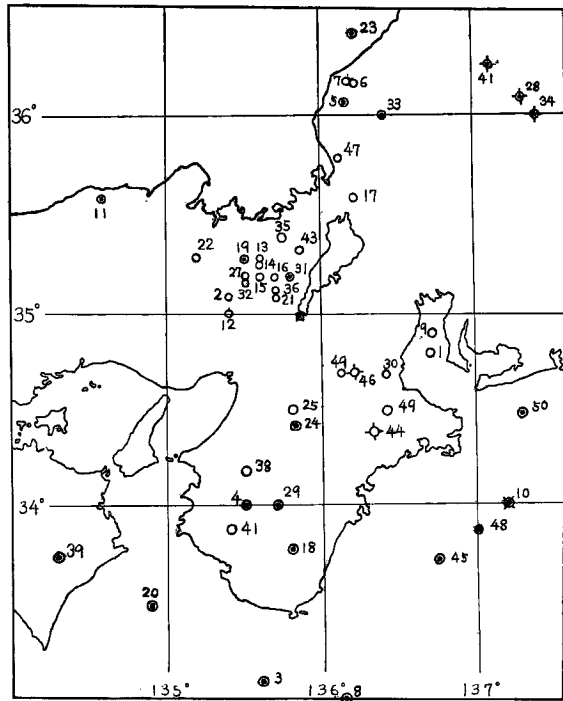


Fig. 6. Distribution of epicenters in the period from 1948 to 1956. ● is a remarkable earthquake. ○ is a earthquake of small felt area. ⊙ is a deep focus earthquake. ⊠ is Osaka

参 考 文 献

- 1) 佐々憲三：地震予知に関する2, 3の問題(I), 防災研究所創立5周年記念論文集, (1956), pp. 3~7.
Sassa, K. and Nishimura, E. : On Phenomena Forerunning Earthquakes, Transactions of the American Geophysical Union, Vol. 32, (1951), pp. 1~6.
小沢泉夫：逢坂山に於ける地殻の歪の観測, 財団法人防災研究所研究報告, 第2巻, (1949), pp. 115~121.
Nishimura, E. : On the Earth Tide, Transactions of the American Geophysical Union, Vol. 31, (1950), pp. 357~376.
Caloi, P. : About Some Phenomena Preceding and Following the Seismic Movements in the Zone Characterized by High Seismicity, Contributions in Geophysics in Honor of Benno Gutenberg, Vol. 1, (1958), pp. 44~56.
- 2) 小沢泉夫：伸縮計による地殻潮汐の観測, 測地学会誌, 第2巻, 第2号, (1955), pp. 54~58.
- 3) 気象要覧(気象庁)及び地震月報(気象庁)による。