

和歌山市大浦における地殻変動連続観測の結果 (1960-1972年)

田 中 寅 夫

RESULTS FROM CONTINUOUS OBSERVATIONS OF THE CRUSTAL MOVEMENT AT OURA, WAKAYAMA (1960-1972)

By Torao TANAKA

Synopsis

Secular changes of the ground tilt and strain observed at Oura, Wakayama City, during the period from 1960 to 1972 are reported. Numbers of local shocks in the neighbourhood of the city listed in the Seismological Bulletins of the Japan Meteorological Agency are gradually decreasing since 1966. Peculiar eastward tilting movements observed in 1963 and 1967 may be related to two noticeable local shocks occurred at April 13, 1963 and March 30, 1968. An abrupt extension and the following recovery can be seen in the Eno component of strain (N 18°E-S 18°W) before and after the latter shock.

1. ま え が き

和歌山市大浦(34°11.′3N, 135°9.′5E)における地殻変動の連続観測は、1960年3月に開始して以来、短期間の中断は数回あるものの現在まで継続しており、いわゆる経年変化に関しても、1965年までの結果については、これまでに発表してきている¹⁾。今回は、それ以後の観測資料を合わせて、1972年までの12年間の結果をまとめ、同地方の局発性地震活動との関係を調べることを試みた。ただ種々の事情により、観測の保守が完全でなく、欠測のため明確な議論ができないことをあらかじめお断りしておきたい。

2. 観 測 結 果

観測室の状況、観測計器などについては、すでに報告した通りである²⁾ので、ここでは省略する。1960年から72年までの傾斜とひずみの観測結果を Fig. 1 に示す。 A_0 , B_0 は傾斜成分であり、それぞれ E18°S, S18°W 方向への傾きを正に、また E_{E0} , E_{N0} はひずみ成分であり、それぞれ N69°W, N18°E 方向ののびを正として示してある。 T_0 は観測坑道内の温度を示す。最下段には、気象月報に発表された和歌山地方気象台における各月毎の総雨量を実線で、その月の最大日雨量を点線で示してある。伸縮計の感度が降雨時などのノイズレベルに比較して高すぎたため、特に欠測が多く、経年的な変化についてはほとんど議論できないが、長期的な降雨量の変化と、傾斜あるいはひずみ変化の間には目立った相関はなさそうである。いいかえれば、個々の降雨に対応しては、たとえば B_0 に明瞭に見られるように、観測室が浅いために大きい傾斜、ひずみ変化を生ずるが、これは一時的のものであって、時間の経過とともに回復していることを示すものである。

あとでもふれるが、和歌山市周辺で1963年4月13日にマグニチュードが約4.8の、68年3月30日には、

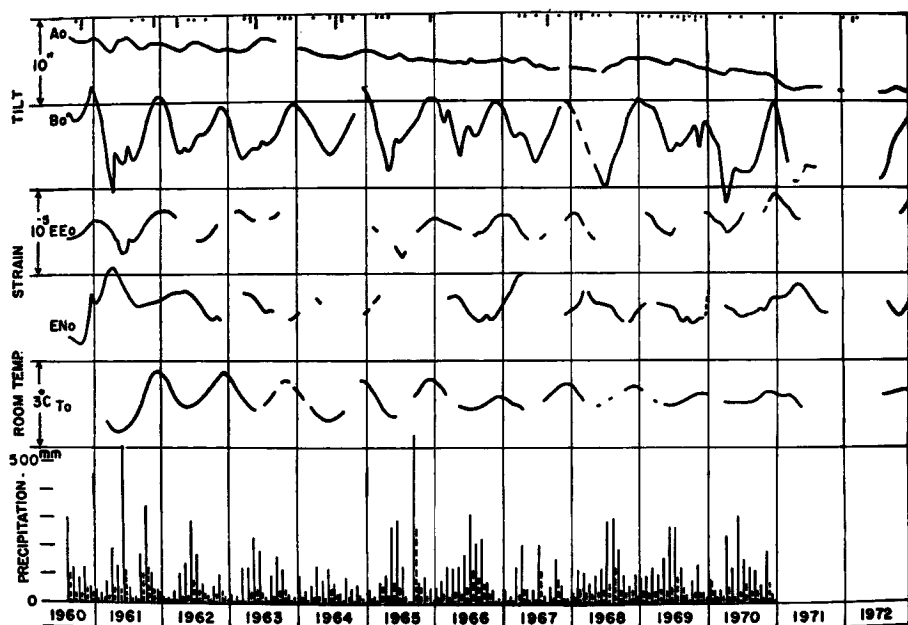


Fig. 1 Secular tilts and strains observed at Oura, and monthly amounts of precipitations at the Wakayama Meteorological Observatory.

Ao: Tilt (E18°S down), Eno: Strain (N18°E-S18°W extension)

Bo: Tilt (S18°W down), Eeo: Strain (E21°S-W21°N extension)

To: Room temperature in the tunnel

Solid line: Precipitation (monthly amount)

Dashed line: Precipitation (maximum amount per day in the month)

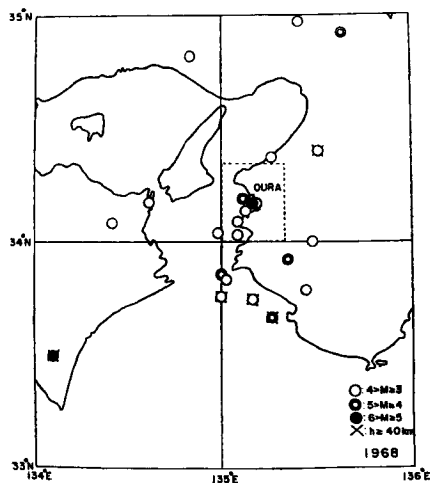


Fig. 2 Geographic distribution of the epicenters of earthquakes in 1968 listed in the Seismological Bulletins of the Japan Meteorological Agency (Supplementary Volume No. 4, Regional Catalogue of Earthquakes in and near Japan (1961-1970)). The seismic activity in the area surrounded by the dashed line (34°N-34°20'N, 135°E-135°20'E) has been investigated in this report especially.

5.0の地震が発生している。Fig. 2 には、気象庁発行の地震月報別冊「日本付近の地域別地震表」に示された1968年の地震のうち、 $33^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ と $134^{\circ}\sim 136^{\circ}\text{E}$ の区域内に震源が求められているものをプロットした。図から明らかなように、同年3月30日の地震(●印)は大浦の極く近くで発生しており、また同地方に起る局発性地震のマグニチュードの最大限は、5.5程度であろうと推定される³⁾ことからみても、これは第一級の地震であったと考えられる。残念なことには、電源の故障によりこの地震の約20時間前から欠測しており、直前直後の変化については観測の機会を逃してしまったが、Fig. 1 のひずみの E_{N0} 成分を見ると、地震前に急激な伸び、後にちぢみというかなり特徴的な変化がみられる。雨量を見ても、その前後に比べてとくに変化がないことから、あるいは地震に関係したひずみ変化ではないかと考えられる。また同じ E_{N0} 成分において、1966年の終りから67年の始めにかけて大きい伸びの変化がみられる。年変化として現われるのびの量としては、前後の年と比較して大きすぎるようであり、あとでのべるように、1966年は目立った地震がこの地方に発生しておらず、翌年から活動がやや活発化して、前述の68年の地震に到っていることからみて、この変化は、あとにつづく活動期への前ぶれの変動ではなかったかとも考えられる。

個々の地震と傾斜、ひずみとの関連性については、また別の機会にゆずることにして、以下においては比較的欠測の少ない傾斜変化と地震活動との関係について多少の検討を試みる。

3. 地震活動と傾斜変化との関係について

最初に、気象庁発行の地震月報から数えた和歌山地方の局発性地震の月別個数を Fig. 3 に示す。点線は、和歌山のみで観測された地震と和歌山付近と記されている地震、および震源が決定されているもののうち、

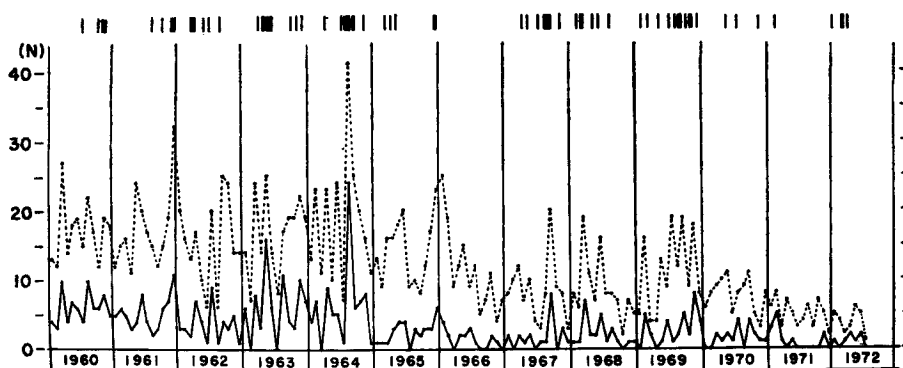


Fig. 3 Monthly numbers of local shocks listed in the seismological Bulletins by JMA, which occurred near Oura. The dotted line shows the total numbers, and the solid line shows the numbers excluded the numbers of shocks observed at the Wakayama Meteorological Observatory only. Short solid lines of the uppermost part in the figure show the occurrence of shocks, the epicenters of which are listed in the Bulletins.

$34^{\circ}0'\sim 34^{\circ}20'\text{N}$, $135^{\circ}0'\sim 135^{\circ}20'\text{E}$ (Fig. 2 の点線で囲んだ矩形領域内)に入る地震の月別総個数を示し、実線は、そのうちから和歌山のみで観測された地震を除いた残りの個数を示している。上の領域を選んだ理由は、大浦がほぼこの区域の中央に位置しており、かつ10 km以浅に群発する一かたまりの地震発生域がこの付近に存在していることが金森・津村⁴⁾によって明らかにされているが、この区域を考えることにより、ほぼそれをカバーしうるものによるものである。また同じ図の上端の縦線は震源が決定されている地震の発生時を示しており、これは比較的大型のものの分布を示すと考えてよい。

この図から、66年以降地震数は目立って減りはじめており、68～9年にややもろかえしがみられるもの

の、70年以後急に減少していることが分る。しかしながら、震源が決定できる程度の地震は、それほど減少が目立たない。ただ66年には震源が決定されている地震が1個もないが、これは68年～9年の活動期を迎えるための準備期間のようにも解釈できる。

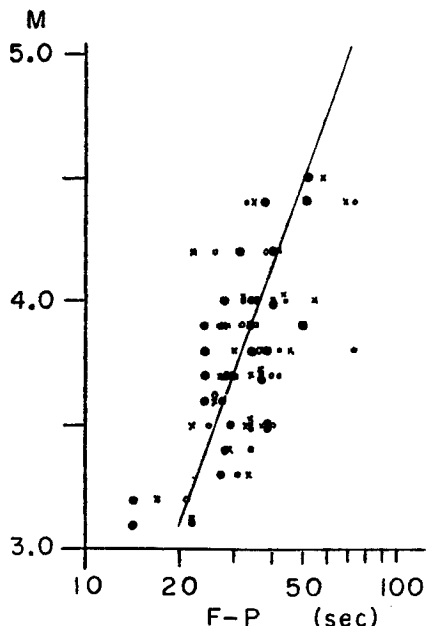


Fig. 4 Relation between magnitudes of local shocks determined by JMA and F-P times reported in the "Taikyū-Chigaku".

さて、地震活動度を調べるためにはマグニチュードを知ることが必要であるが、上記の地域別地震表には64年以前の地震についてはほとんどマグニチュードが与えられていない。そこで $F-P$ 値によって、64年以前の地震のマグニチュードを計算してみた。耐久高等学校地学部発行の「耐久地学」には、0.1秒石本式加速度計による耐久高等学校での $F-P$ 読取値が掲載されているので、まず、この $F-P$ 値と、地域別地震表のマグニチュードを、65年以降の地震について調べた。その結果が Fig. 4 に示してある。 $F-P$ 値の対数とマグニチュードが直線関係にあるとして、フリーハンドで直線を引き、勾配を求めてみると2.8となる。津村⁵⁾によれば、2.85と求められていることから、一応の目安を得るためには、この直線関係が使用できるものとして64年以前の地域別地震表の地震のマグニチュードを、耐久地学の $F-P$ 値から求め、その結果をもとに Gutenberg-Richter の式

$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

によって地震エネルギーを求めて積算した。その結果は Fig. 5 の通りである。60年から72年までのエネルギーの平均値として、上記の結果から 7×10^{18} erg/year という値が得られる。前にのべたように、発生

個数は目立って減少しているが、エネルギーについての結果をみるとそれほど減少は目立たない。ついでながら、体積 V の弾性体からは

$$E_s = (k/2) \mu \varepsilon^2 V$$

の波動エネルギーを放出しうる。ここで k はひずみエネルギーから波動エネルギーへの変換効率を表わし、 k とマグニチュードとの間には

$$0.5M = \log k + 4.5$$

なる関係式が成立する⁶⁾とされている。 $34^\circ 0' \sim 34^\circ 20' N$, $135^\circ 0' \sim 135^\circ 20' E$ の領域において、地震は10 km以浅に集中していることから、深さを10 kmとしてこの体積中にたくわえ得るひずみエネルギーは、 $\mu = 7 \times 10^{11}$ dynes/cm², $\varepsilon = 10^{-4}$ とすれば、 10^{23} erg となり、このひずみエネルギーが地震波動として放出されるには $1.5 \times 10^4 \times k$ 年かかることになる。マグニチュードが5, 4, 3の地震でこれが開放されるとすれば、それぞれ約150年, 50年, 15年かかることになり、和歌山地方の局発地震活動はその開始以後エネルギーの供給を受けているのでなければ、数十年、せいぜい100年足らずのうちに終るものであると考えられる。和歌山市周辺の地震活動が活発化したのは1920年頃である⁷⁾から、現在みられる発生個数の減少は、ほぼ起震エネルギーを消費しつくした結果とも考えられるが、もしふたたび活発化するようであれば、エネルギーの供給が続いているものと推定することができよう。

Fig. 5 の上部には、Fig. 1 から年周変化や短周期の変動を除いて単純化した傾斜成分 A_0 , B_0 の変化の様子を並べて示した。もちろん、 A_0 , B_0 についても、とくに変動の大きい降雨時などに少なからぬ欠測があり、経年変化の様相も欠測の推定のしかたしだいでの結果とは多少異なったものになりうる可能性もあ

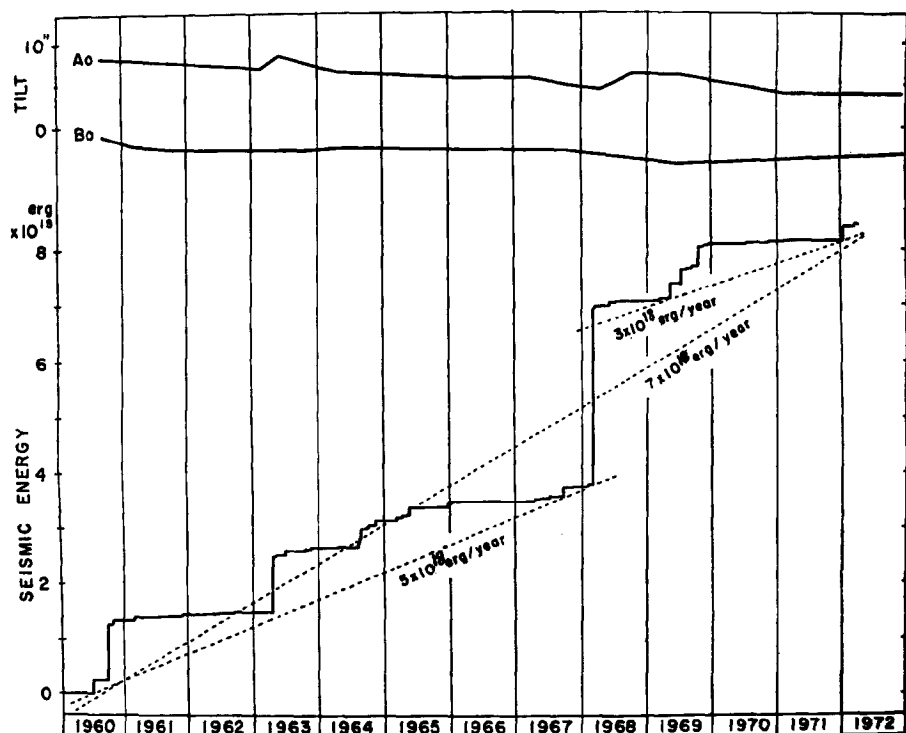


Fig. 5 Simplified tilting movements and released seismic energy in the square region defined in Fig. 2. Peculiar changes of the A_0 component in 1963 and 1968 may be related to the occurrence of local shocks at April 10, 1963 and March 30, 1968 which preceded the following active periods, respectively.

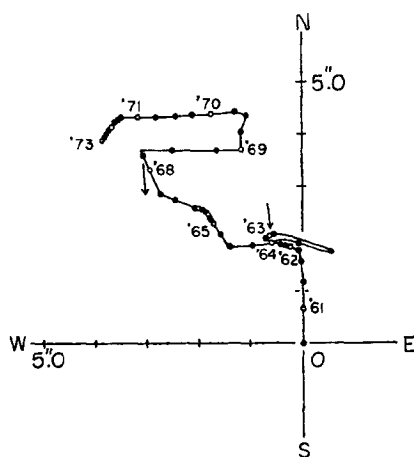


Fig. 6 Vector diagram of the ground tilt observed at Oura. The arrows show the occurrence of the two noticeable local shocks and the directions from Oura to their epicenters.

る。今の場合は、とにかく欠測は直線的な外挿が成り立ちうるものとして補正を行なった結果である。

A₀成分の年変化は小さく、また経年変化もそれほど大きくない。B₀成分は年変化がほぼ10秒に達するほどであるが、12年間の経年変化は5秒を超えていない。同じ結果をFig. 6にベクトル図で示してあるが、63年にはじまり64年のはじめに終る東下りののち西下りの傾動と、68年にはじまり70年で終わっている同じような傾動が明瞭に現われている。Fig. 1の降雨量を見ると63年から64年にかけてはやや降雨量が少なく、68年から70年にかけてについては、それほど他の年に比べて異常があるようにもみえない。63年2月頃から5月にいたる、急激な東下りの傾動を示した期間の降雨量は、他の期間に比して特別な値を示しておらず、直接にこれらの傾動が降雨に関係しているとは考えられないようである。他方、地震活動の方に目を転ずると、63年の4月には前にのべたようにマグニチュード4.8程度と推定される地震が発生しており、また68年3月には5.0の地震が起り、69年には比較的大粒の地震が連続して発生し、一つの活動期を形成している。このような地震活動の状況を見ると、上にのべた東下りののち西下りの傾動のパターンは同地方の局発性地震活動の活発化と関連があるようにみえる。塩野⁸⁾によれば、同地方の局発性地震の発震機構はほぼ東西の主圧力の存在を示しており、断層モデルを採用すれば、大部分の地震の破かい面は傾き、thrust fault 型か、それと strike slip fault 型とが結合した型であるとされている。断層面が東下りの thrust 型の断層運動を考え、大浦は、その上部ブロックに在ると考えると、地震活動の活発化に伴う東下りの傾動は一応説明できることになろう。さらに、Fig. 6のベクトル図から比較的明瞭にみられる65~66年頃および71年以降の傾動運動の停滞は地震活動度の低下に関係していると推定される。なお、1960年11月には、やはりマグニチュード4.8程度と推定される地震が起っているが、これについての東下りの傾動は観測開始の初期に当たっているため明らかでない。

4. あ と が き

以上、最近までの大浦における地殻変動の連続観測の結果と、局発性地震活動との関係を簡単に検討してきた。周知の通り、地表近くの傾斜、ひずみの観測には、種々のノイズが入り込んでいるため、前節において推論した地震活動の活発化と東下りの傾動、あるいは地震活動度の低下と傾動運動の停滞という現象については、必ずしも現在の段階で確定的な結論とする訳にはいかないだろう。72年以降は地殻変動の観測体制を、器械の感度を充分下げて、欠測なく経年変化のみを忠実に追跡できるよう変更してきており、また和歌山市周辺で光波測量による反復距離測量を実施している⁹⁾ので、今後の資料の蓄積をまって、上にのべた両者の関連性についての当否が判明することになるだろう。

終りにあたって、終始変らぬ御指導を給わった高田理夫教授に深甚の謝意を表するとともに、観測に直接たずさわっていただいた山田勝技官、資料整理を手伝っていただいた舟橋多津氏、観測記録取替などについて多大の労をわずらわした渡辺和夫、林美智男、阪田堅一郎、永井伸、石村英勝、糸川敏、吉村郁夫、別所孝範、山本弘士の各氏、ならびに種々の御便宜を計っていただいた和歌山大学地学教室の各位に厚く御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) Tanaka, T.: Study on Meteorological and Tidal Influences upon Ground Deformations, Special Contributions of the Geophysical Institute, Kyoto University, No. 9, 1969, pp. 29-90.
- 2) 1)に同じ。
- 3) Kanamori, H. and K. Tsumura: Spatial Distribution of Earthquakes in the Kii Peninsula, Japan, South of the Median Tectonic Line, Tectonophysics, 12, 1971, pp. 327-342.
- 4) 3)に同じ。
- 5) Tsumura, K.: Determination of Earthquake Magnitude from Total Duration of Oscillation, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 45, 1967, pp. 7-18.

- 6) Iida, K.: Earthquake Magnitude, Earthquake Fault, and Source Dimensions, The Journal of Earth Sciences, Nagoya University, Vol. 13, 1965, pp. 115-132.
- 7) Kanamori, H.: Relation between Tectonic Stress, Great Earthquakes and Earthquake Swarms, Tectonophysics, 14, 1972, pp. 1-12.
- 8) 塩野清治：微小地震観測網から求めた和歌山地方の地震の発震機構（第2報），地震，第2輯，第23巻，1970，pp. 253-263.
- 9) 高田理夫・田中寅夫・尾上謙介・山田 勝・藤田安良・大谷文夫：光波測量による地殻水平ひずみの観測（第1報），京都大学防災研究所年報，第14号 A, 1971, pp. 33-40.