

和歌山における局所地震前後の微細土地 変動の研究（第1報）

西村英一・岸本兆方・田中寅夫

STUDY ON RELATION BETWEEN THE LOCAL EARTHQUAKES AND THE MINUTE GROUND DEFORMATION AT WAKAYAMA (PART 1)

*by Dr. Sci. Eiichi NISHIMURA, Dr. Sci. Yoshimichi KISHIMOTO
and Torao TANAKA*

Synopsis

Observations of change of ground-tilt and ground-strain have been made at two observation stations of Oura and Akibasan in Wakayama City in Wakayama Prefecture since March 1960. The aim of these observations was to detect any minute ground deformation, if existing, connected with the occurrence of local earthquakes frequently occurred in this area. It was found from results of the observations in more than one and half year that the ground deformation observed was considerably affected both by oceanic tides of near sea and meteorological changes.

In this article the method of elimination of disturbing factor of oceanic tides and meteorological changes upon the ground deformation was introduced, and, after elimination, the residual, anomalous ground deformation which were considered to be related intimately with the occurrence of local earthquakes were discussed in detail.

緒 言

周知の通り和歌山地方においては、局所地震が頻発しており、これについて現在までに今村博士等を始めとして、多くの人びとにより研究が行なわれ、論文が発表されている¹⁻⁴⁾。

しかしながらこのような微小な局所地震と土地変動との関係についてはほとんど研究がなされておらず、わずかに、局所地震発生数の消長に従う土地の変動を、水準測定の結果⁵⁾、傾斜計による永年傾動変化の観測結果⁶⁾より論じたものがあるにすぎない。

局所地震についても、大地震の場合と同様な土地変動を観測することができるかどうかは非常に興味深い問題である。

局所地震と土地変動との間に、何らかの関係を見出すことができるならば、これを追求することによって、その発震機構の解明のみならず、さらに進んでは比較的研究機会の少ない破壊的大地震への応用とその予知達成への有力な手がかりを得ることが可能になると考えられる。

以上の目的をもつて、和歌山市周辺に起こる微小な局所地震と、その地方の土地変動の詳細な研究を行なうため、1960年3月以降、和歌山市大浦町及び同市関戸町秋葉山の二個所に、傾斜計、伸縮計、地震計等を

設置して観測を継続してきた。現在までに整理のできた、秋葉山の傾斜変化を中心に報告する。

1. 観測所及び観測器械

観測所は頻発している微小地震の震央に、できるだけ近い点という条件を考慮して、和歌山市西浜大浦町（東経 $135^{\circ} 09' 30''$ ，北緯 $34^{\circ} 11' 16''$ ）において1950年3月より観測を開始した。さらに大浦観測所を得た資料を比較検討する目的で、1960年7月14日より同市関戸町秋葉山（東経 $135^{\circ} 10' 23''$ ，北緯 $34^{\circ} 11' 48''$ ）でも観測をはじめた。大体の位置は Fig. 1 に示す通りである。

両観測所はともに結晶片岩，千枚岩等の変成岩よりなる基岩中に掘られた横坑を使用しているものである。大浦観測所は高津子山の北側山腹（海拔約 50 m にあり，地表下約 5 m の深さの地下室で，基岩は比較的風化が進んでいるのに対し，秋葉山観測所は周囲の平坦面とほぼ同じ高さにあり地下室も地表下約10m と大浦より深く，基岩も大浦ほど風化していない。ただ路面電車の通っている道路より 100 m も離れていないため，地震観測は不可能である。

設置した観測器械及び観測期間等は Table-1 及び 2 に示す通りである。

秋葉山では特に傾斜変化についての器械的な観測誤

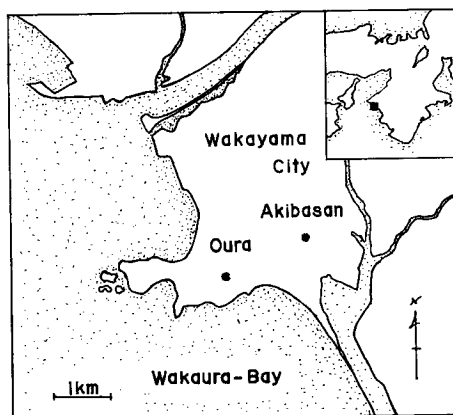


Fig. 1 Location of observation stations and their surroundings

Table 1 List of instruments at Oura

Instrument	Type	Azimuth	Sensitivity	Epoch of observation	Remarks
Tiltmeter	Horizontal pendulum	N-S	0.005"/mm	Mar. 26, 1960-Present	Oil-damper
		E-W	0.007"/mm	"	"
Extensometer	Benioff	N-S	5.0×10^{-9} /mm	Mar. 26, 1960-Present	
		E-W	2.8×10^{-9} /mm	"	
Seismograph	Variable reluctance	N-S	$T_p = 0.50$ sec	July 25-Nov. 27, 1960	Maximum magnification used with shunt. $V_{max} = 10000$
		E-W	$T_g = 0.33$ sec	Mar. 26-Nov. 27, 1960	
		U-D	$V_{max} = 80000$	Nov. 27, 1960-Present	
Variometer of Declination			0.44"/mm	Aug. 18, 1960-Present	
Barometer	Aneroid		0.18 mb/mm	Mar. 26, 1960-Present	
Thermometer	Bimetal		0.01°C/mm	Apr. 20-June 20, 1960	
				Dec. 5, 1960-Present	

Recorder speed (Tiltmeter and Extensometer)

180 mm/hour Mar. 26-Aug. 12, 1960
 30 mm/hour Aug. 12, 1960-Sep. 15, 1961
 7 mm/hour Sep. 15, 1960-Present

Recorder speed (Seismograph)

30 mm/min Mar. 26-June 22, 1960
 75 mm/min July 25-Nov. 25, 1960
 12 mm/min Nov. 25, 1960-Present

Table 2 List of instruments at Akibasan

Instrument	Type	Azimuth	Sensitivity	Epoch of observation	Remarks
Tiltmeter	Horizontal pendulum	N-S	0.004"/mm	July 15, 1960-Present	Oil-damper
		S-N	0.007"/mm	"	No-damper
		E-W	0.004"/mm	"	Oil-damper
		W-E	0.007"/mm	"	No-damper
Extensometer	Benioff	F-S	2.3×10^{-9} mm		
		E-W	3.1×10^{-9} mm		
Barometer	Aneroid		0.11 mb/mm		
Thermometer	Bimetal		0.01°C/mm	Jan. 17, 1961-Present	

Recorder speed

180 mm/hour

July 15-Aug. 12, 1960

30 mm/hour

Aug. 12, 1960-Sep. 15, 1961

7 mm/hour

Sep. 15, 1961-Present

差を検討する意味で、油制振器付及び制振器なしの二組の傾斜計を同一観測台上に設置して比較観測を行なっている。

2. 地震観測とその結果

観測を開始した1960年3月26日から1961年7月末日までの期間で、記録された地震数は約5000個、有感地震は約100個余り大浦で感知され、そのうち約20個の地震はかなり大きなものであつた。ただしこの数は和歌山地方気象台においての有感地震の数と同じではない。これはおのおのの場所の地震波に対するレスポンスの相違よりもむしろこの地方の局所地震の有感半径が小さいためで、その小規模性を示しているものと考えた方が妥当であろう。

さて、大浦において変磁束型地震計(R_1)⁶⁾を設置して観測を行なっているが3成分観測を行なつた1960年7月より11月末までの期間でも、震央を決定することは不可能である。

元来地震計を設置した目的は、発震時、地震の大体の大きさと震央距離を知るためのものであるから無理もないのであるが、上記の期間について得た結果について二、三述べてみる。

Fig. 2 にみられる如く大浦で観測さ

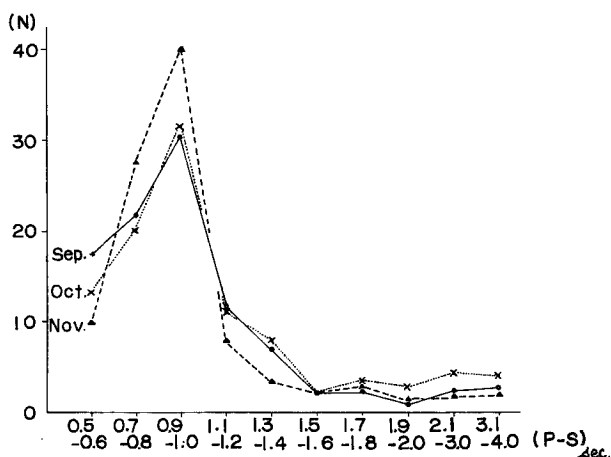


Fig. 2 Frequency distribution of P-S at Oura (Sept.-Nov., 1960)

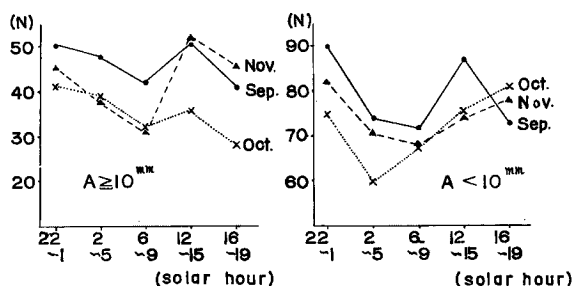


Fig. 3 Frequency distribution of time of earthquake occurrence (Sept.-Nov., 1960)

A : Maximum trace amplitude in mm

れた大部分の地震は P-S 時が 1.0 秒前後のものであり宮村博士の求めた係数⁷⁾ 6.8 km/sec に従えば、大浦観測所より半径約 7 km 足らずの半球面付近に生じるものが多いことを意味する。

次に地震発生時刻（太陽時）と回数との関係を示したものが Fig. 3 である。

比較的大きい地震も小さい地震も夜中と午過ぎに最も多く発生する傾向があることを示している。

地震発生と潮汐との関係を表わしてみると Fig. 4 のようになる。半日潮の大きい時と、一日潮の大きい時とに分けて発生数の頻度分布を見ると一日潮の大きい時は特別の関係があるとは言えないが半日潮の大きい時は何らかの関連があるようにみえる。

なお地震発生と潮汐との関係は1960年3月29日より6月20日まで及び8月19日から9月30日までの地震について調べた結果である。

9月、10月、11月の3カ月間における1日の地震発生数について、平均地震数よりの増減を示すと Fig. 5 のようになるが、両者とも消長を繰返しているようであり $A \geq 10$ なるものと $A < 10$ とでは増減の様相が異なっている傾向がみられる。

Fig. 6 は最大記録振幅と地震数との関係を示したものである。両者の間には一般に石本一飯田の関係が成り立つといわれているが、その係数として $m=1.91$ を得た。これは宮村博士の報告と大体一致している⁷⁾。

以上の結果についての立ち入った議論はさらに詳しく検討の上報告することにして、現在では一応計算の結果のみを記するにとどめておく。

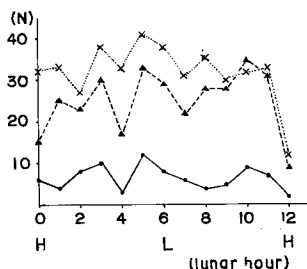


Fig. 4(a) Frequency distribution of earthquake-occurrence for the period in which semi-diurnal tides were predominating

× ; Maximum trace amplitude < 10 mm H ; High water
 ▲ ; " " ≥ 10 L ; Low water
 ● ; " " ≥ 30

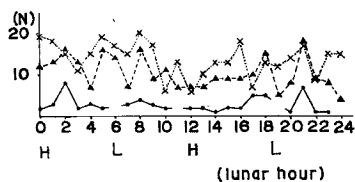


Fig. 4(b) Frequency distribution of earthquake-occurrence for the period in which diurnal tides were predominating

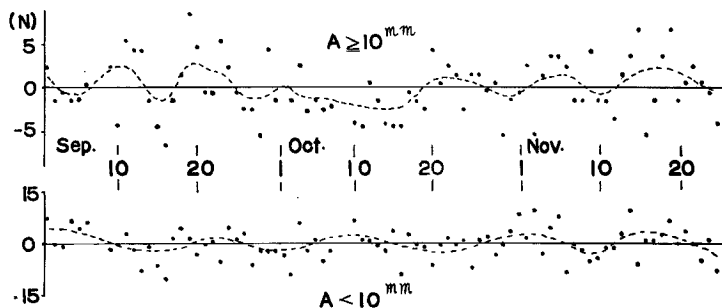


Fig. 5 Deviations of frequency from mean number of local earthquakes for a day at Oura (Seismicity) A ; Maximum trace amplitude

3. 秋葉山, 大浦観測所の傾斜, 伸縮変化の概略

両観測所の傾斜所の傾斜及び伸縮変化の大体の様子と, 有感地震及び降雨量を Fig. 7 に示したが観測室が非常に浅いため降雨により大きな変化が記録されている。これは雨の荷重による影響もさることながら, 地下水の増加及びそれに伴う観測室内への流入とそれによる温度変化及び観測室内の状態の変化が大きく作用しているものと考えられる。

秋葉山の傾斜, 伸縮変化は1960年11月頃まで器械設置のための影響が残存しているが, それ以後においては器械も安定し, 概して, 大浦に較べて気象影響を受ける量が少ないことがわかる。

永年変化の中には, 年周変化, 比較的長周期の気圧, 気温などの変化及び前述の降雨の影響などが含まれているので, これらの擾乱要素について殆んど不明の現在, 永年変化に関する考察, または局所地震数の増減との関連などの問題には一切ふれないことにする。

4. 潮汐及び気象要素の影響

傾斜計, 伸縮計等により観測される地殻変動は, 一般に非常に多数の複雑な要素から成立っている。地殻及び海洋潮汐, 気圧降雨気温日射などの気象の要素により引き起こされる土地の

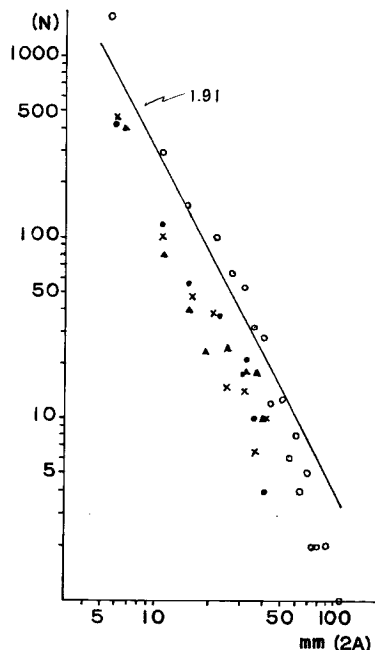


Fig. 6 Frequency distribution of maximum trace amplitude at Oura
○ ; Sept.-Nov. 1960
● ; Sept. × ; Oct. ▲ ; Nov.

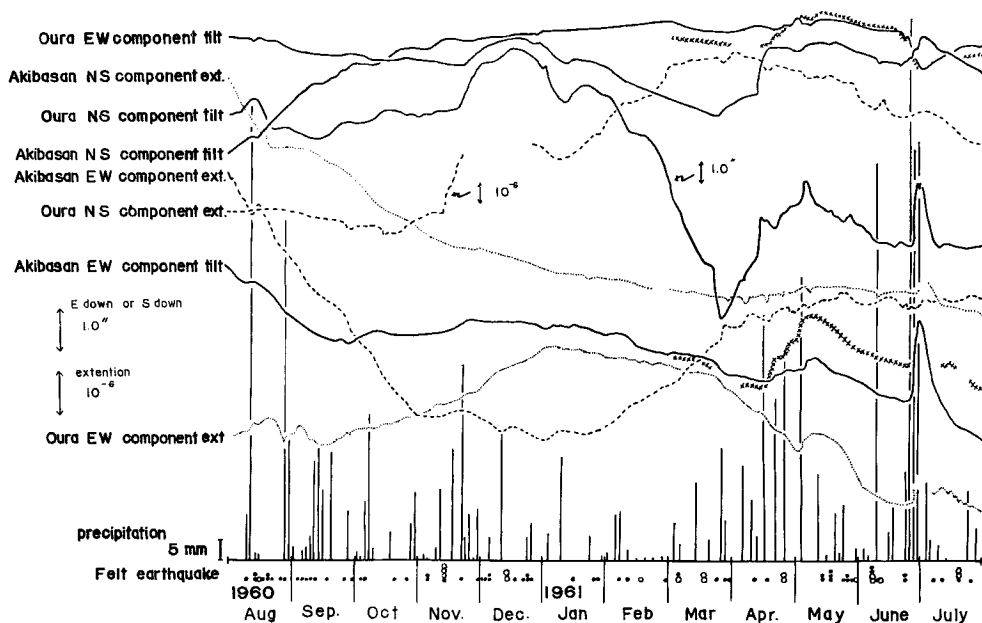


Fig. 7 Tilting motions and variations of linear strains observed at Oura and Akibasan
○ ; Remarkable local earthquake ● ; Felt local earthquake Vertical line ; Precipitation

運動、地下水の影響、観測点附近の極く局所的な土地の変形（人工的なものを含む）、さらに観測器械そのものにより生じる誤差、そしていわゆる地震などに伴う地殻変動などがその主なものとして数えられる。

実際の観測においては気象的な影響を受けることを少なくするため普通地下約 100 m 程度の場所に器械を設置するのが適当とされている⁸⁾が、和歌山では上のような条件にかなう場所が得られず、両観測所共 1. で述べた如く地表下 10 m 足らずの横坑であることにより気象影響を非常に大きく受けている。

また、海岸に近い主として紀伊水道北部の海洋潮汐の影響が著しい。

これとは逆に局所地震に伴う地殻変動は、上記の量に比べて、より小さい量と考えられ、大体傾斜量としては $0.01''$ 以下、ひずみ量で 10^{-8} 或いはそれ以下の変化と推定されるので、得られた資料より潮汐及び気象変化などによる擾乱を除去することが必要となる。しかしながら、この操作を厳密に行なうことはもちろん不可能であるから適当な仮定のもとで近似的手段を採用するより仕方ない。

そこで簡単な場合として次式が成立すると仮定する。

$$A(t) = \sum f_i(t)$$

ここに、 $A(t)$ は観測された土地の傾斜伸縮などの地殻変動の量、 $f_i(t)$ は上に述べたような諸要素により惹起された傾斜伸縮等の量を表わす。

両観測所においても上式が適用できるものと仮定して以下順次主な擾乱要素について検討する。

(a) 潮汐影響とその除去

1961年5月10日より6月8日までの期間について、気象庁和歌山港検潮所の検潮記録と、秋葉山及び大浦の傾斜変化とを調和解析して得た分潮の振幅と位相は次の通りである。

和歌山港検潮所

M_2 45.9 cm $60^\circ 00'$

秋葉山 N-S 成分傾斜

M_2 0.0087'' $57^\circ 00'$

秋葉山 E-W 成分傾斜

M_2 0.0168'' $47^\circ 00'$

大浦 N-S 成分傾斜

M_2 0.0049'' $9^\circ 30'$

大浦 E-W 成分傾斜

M_2 0.0114'' $50^\circ 20'$

これらの値は昭和12年より13年にかけて別府市において観測された値とほぼ等しい大きさを持つており、よく知られているように海洋潮汐による項、とくに海洋の荷重負荷による傾斜変化がその大部分を占めているものと考えられる⁹⁾。したがってその荷重中心が一定の点にあつて移動する事なく点荷重を与え、海水面の昇降はすべての有効海域内で和歌山港潮位に等しいと仮定するとき、上述の M_2 分潮の値より求められる振幅比によつて、海洋潮汐影響を傾斜変化より除去することが近似的に可能となる。

この場合分潮ごとに、潮位と傾斜変化との位相差は異なるが、計算を簡単にするためすべての分潮が M_2

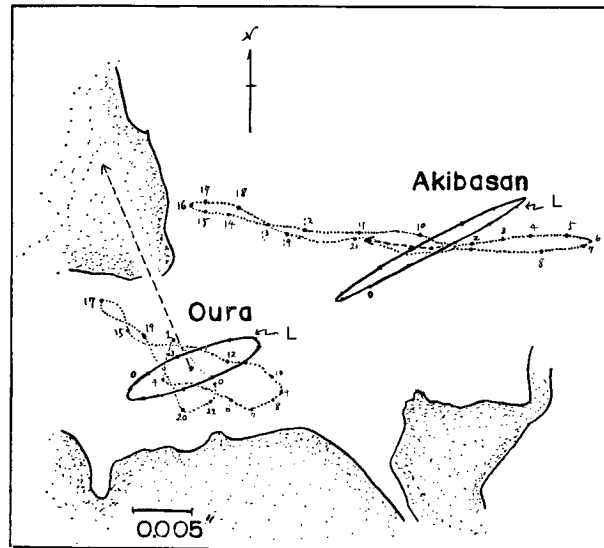


Fig. 8 Tilting diagram for M_2 -component tide, pressure variation and daily variation at Akibasan and Oura
 -●- ; Tilt for M_2 -component tide (L ; Time of low tide of M_2 -component at Wakayama Harbour Tide-station)
 -...- ; Tilt for daily variation
 <--- ; Tilt for 1 mb pressure variation

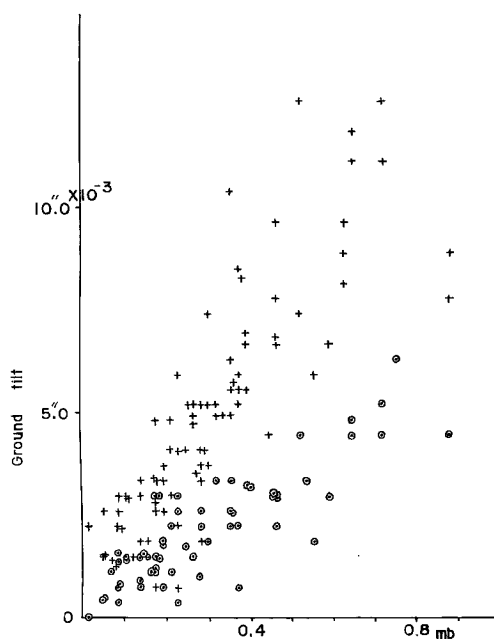


Fig. 9(a) Relations between the ground tilts and pressure variations

○ ; Oura E-W component tilt
+ ; " N-S "

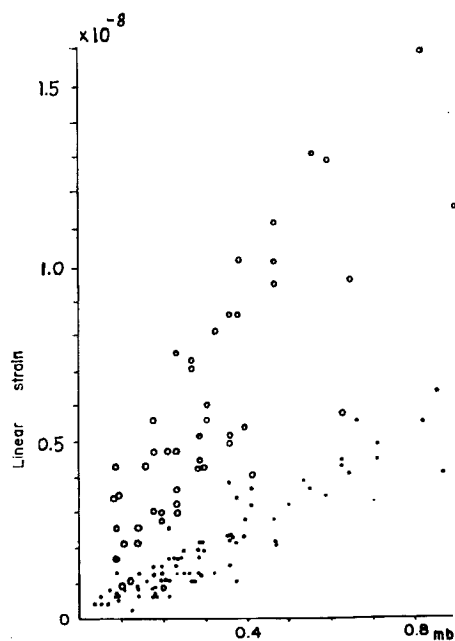


Fig. 9(b) Relations between linear strains and pressure variations

○ ; Oura N-S component strain
● ; " E-W "

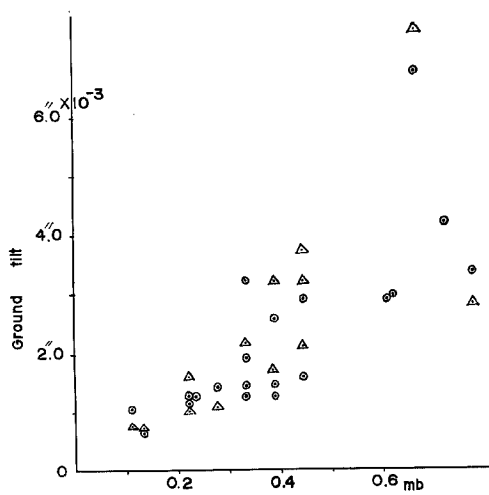


Fig. 10(a) Relations between the ground tilts and pressure variations

○ ; Akibasan E-W component tilt (Tilt-meter with damper)
△ ; Akibasan W-E component tilt (Tilt-meter without damper)

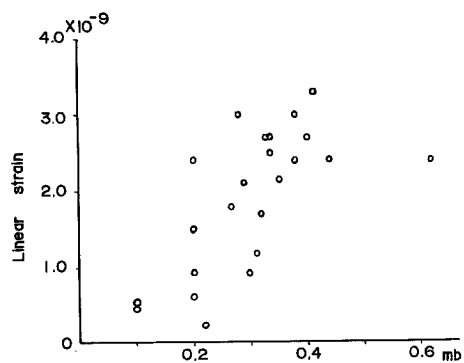


Fig. 10(b) Relation between the linear strain and pressure variation

○ ; Akibasan N-S component strain

分潮についてと同じ位相差であると仮定する。よつて大浦 E-W 成分, N-S 成分, 秋葉山 E-W 成分はそれぞれ1時間, 3時間, 及び1時間と和歌山港潮位を進めて除去操作を行なう。ただしこの M_2 分潮の振幅比の中には, 第1次項すなわち地殻潮汐による M_2 分潮の項も含んでおり, M_2 分潮に関しては第1次項も除去できることになるが, 他の分潮については位相が M_2 分潮の場合と一般には異なっているため, 逆に第1次項についての誤差を導入することになる。 M_2 分潮の振幅比を使用しないで, 後述するように気象影響とともに最小自乗法によつて, 除去のための係数を決定することもできるが, 現在の段階では上の方法が簡単でしかもよい近似を与えていること, M_2 分潮が分潮中で一番大きいことも考慮して, M_2 分潮振幅比を採用することにした。この点については今後さらに検討を加えて行きたい。

なお, 大浦と秋葉山の M_2 分潮の振幅をみると大浦の値が, 海岸により近いにもかかわらず小さく出ている (Fig. 8)。

現在の段階では詳細に議論することはできないが, 大浦観測所が丁度と和歌浦湾の中に突き出た部分に位置している関係上, 海洋潮汐荷重による傾斜変化がある程度相殺されているものとも考えることも可能であろう。

(b) 気圧影響と気圧勾配影響

大浦, 秋葉山両観測所で得た 傾斜, 伸縮記録は, 1mb 足らずの振幅をもち数分ないし数十分の周期で変動している気圧変化に酷似した傾斜, 伸縮変化を示しており両者の間の時間的なずれは認めることができない。

このような気圧変化のうち比較的大きい部分を選らび出し, これに対応する傾斜, 伸縮変化をあらわしたものが Fig. 9a, 9b 10a, 10b である。大体直線の関係が成立しているとみなし, 気圧変化と傾斜, 伸縮の関係を表わす係数として

大浦 N-S 成分傾斜 $-0.017''/\text{mb}$

大浦 E-W 成分傾斜 $-0.0076''/\text{mb}$

大浦 N-S 成分伸縮 $-1.8 \times 10^{-8}/\text{mb}$

大浦 E-W 成分伸縮 $-7.0 \times 10^{-9}/\text{mb}$

を得た。(上の数字の符号は, 気圧の上昇に対して傾斜, 伸縮が正の場合それぞれ南下り東下り及び伸びを表わす。)

特に大浦 N-S 成分傾斜について数日にわたり数 mb の大きさの気圧変化との関係を調べたところ, $-0.0165''/\text{mb}$ なる値を得たが, これは相当大きなそして長期間の気圧変化についても係数が一定, すなわち傾斜と気圧の関係が直線的であることを示すものである。

大浦 N-S 成分の傾斜は最も気圧影響が大であり, 秋葉山 N-S 成分の傾斜は 1mb 程度の気圧変化ではほとんど変化せず, 読取りの限界内にあるので省略した。気圧影響に関して言うならば, この秋葉山 N-S 傾斜計が最も好ましい状態にあることになる。

以上に述べた気圧影響が, 器械的なものでないことは, 秋葉山の二組の傾斜計が気圧変化に対し, 方向及び量とも, は

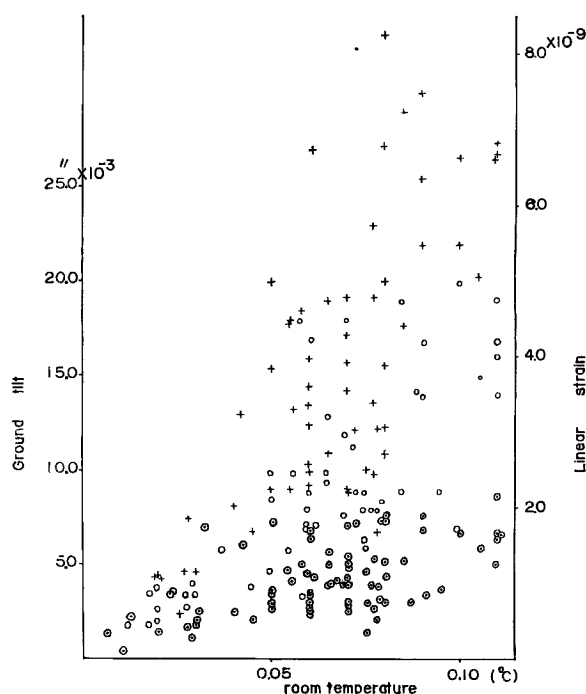


Fig. 11 Relations between ground tilts, linear strain and room temperature

⊙ ; Oura E-W component tilt
+ ; " N-S "
○ ; Oura N-S component strain

ば等しい変化を示し、さらに大浦の傾斜計も振子部分は少なくとも数十分の気圧変動に関しては気密を保っている事実より、地表近くの極く局所的なものであるにせよ、地面の運動としか結論できないことから明らかであり、またこの量は D.H. Darwin により提唱され¹⁰⁾、R.Tomaschek ら¹¹⁾によつて議論されている気圧の影響機構によつても充分説明できるものである。

気圧の直接的な影響の他に、気圧勾配が傾斜、伸縮変化を生ぜしめることは石本博士らによつても研究されているが¹²⁾、後述するように、気圧勾配の代りに $\partial p / \partial t$ を用いて、秋葉山の傾斜変化について調べたところ気圧の直接項の数分の 1 しか影響を与えないという結果を得たので、今回は気圧勾配については省略することにする。しかし、Fig. 9, 10 などの点のばらつきも気圧勾配を考慮に入れる事により説明出来る可能性もあり、 $\partial p / \partial t$ では恐らく気圧勾配を充分表現できていないと考えられるので、機会があれば詳しく調べるつもりである。

(c) 気温と日射との影響

傾斜、伸縮変化から (a)、(b) で得た係数もちいて潮汐影響と気圧影響を除いてみると、明瞭な日変化を示す。そしてこの日変化の量は晴天のときに大きくなり曇天の場合の数倍に達することもある。

(b) で述べた気圧係数により気圧影響を除いているから一応気圧の日変化による影響ではないと考えられ、このような日変化を与える原因として、気温、日射量、地下水位、湿度、あるいは坑内の温度の日周変化等があげられる。

そのうち日射量については数量的取扱いの便法の見出せないまま、地下水位およびその他のものについては恐らく、相当の考察が必要とは思われるが次の機会にゆずり、気温によつてどの程度まで日変化が説明できるかを調べてみた。

(d) 観測室内温度影響

大浦観測所は地表に近いので、地下水量の変化によつて生じると思われる不規則な坑内温度変化がしばしば観測され、これによつて観測器械が影響を受けている。特に激しい温度変化の場合を選び出して、その関係を示したものが Fig. 11 である。

大浦観測所はこのように温度変化の点でも、複雑な様相を示すが、秋葉山はこのような温度変化は降雨の時を除きほとんど見られないので、秋葉山傾斜変化の検討にあつては、温度変化を考慮に入れなかつた。秋葉山でも、観測室温度の年周変化の一部分としての温度上昇あるいは下降が存在していることはもちろんであるが、2～3 日程度の期間を取るならば直線の変化とみなすことができる。

(e) 降雨影響

両観測所とも降雨により非常に大きな、長期間にわたる変動を示すことは Fig. 12 よりみても明かであり、この変動は数日に及ぶ土地変動を取り扱う場合には十分に検討されなければならぬ問題であるが、局所地震に伴う土地変動を 2～3 日以内のものであると仮定して、降雨の時の変化は全く除外し、降雨後であれば 2～3 日間の降雨後の影響は直線的であるとみなすことにした。

しかしながら、永年変化の考察の場合に降雨影響は考慮しなければならないから早急に適当な補正方法を導入したいと思つている。

以上大浦、秋葉山両観測所について微細土地変動の観測を妨げる主な原因について考察してきた。これで明かになつたように、秋葉山 N-S 成分傾斜が擾乱が一番受けにくく、大浦は坑内温度変化の補正が必要のため、取扱いが複雑である。

5. 潮汐及び気象影響の近似的除去

4. に述べた如く、潮汐、気象影響の要因を $g_i(t)$ なる関数で表現するとき、

$$f_i(t) = c_i(t)g_i(t)$$

なる関係が近似的に成立つことが明らかになり、 $c_i(t)$ がどのような関数で表わされるかは大きな問題であ

るが、一応近似的には時間にも無関係な定数とみなすことができる。よつて、

$$A(t) = \sum c_i g_i(t)$$

なる式が近似的に成立し、すべての要因 $g_i(t)$ と、 i と同数あるいはそれ以上の A の値を知ることができれば、未定係数法により c_i を知ることが原理的には可能となる。

秋葉山 E-W 成分の傾斜変化の1961年5月10日より6月8日までの30日間の平均日変化を求め、和歌山港検潮記録の同じ期間の平均日変化に 4. (a) で得た係数を乗じて前者より減じ、その差が、気圧、気温、気圧勾配より成るものとして、24個の値について最小自乗法でそれらの係数を求めた。気圧は大浦観測室内の気圧計、気温は大浦に於て臨時的に設置している中型七日巻自記温度の読取値を使用した。その結果は次のようになる。

$$A_{E-W} = c_2 \cdot g_2(t-1) + c_3 \cdot g_3(t) + c_4 \cdot g_4(t)$$

$$c_2 = -1.503 \pm 0.052, \quad c_3 = -0.2978 \pm 0.0034, \quad c_4 = -0.007 \pm 0.054$$

ここで $g_2(t)$ は大浦気温 ($^{\circ}\text{C}$)、 $g_3(t)$ は大浦気圧計読取値 (mm)、 $g_4(t)$ は気圧時間勾配 $= (\frac{1}{2})\{g_4(t+1) - g_4(t-1)\}$ を表す。

ただし $g_2(t-1)$ は大浦気温を一時間遅らすことを意味するものとする。この気温についての位相の決定は順次1時間ずつ気温をずらして係数を決定して、最も平均自乗誤差の小なる場合のものを採用した。

得られた係数のうち気圧影響の係数は 4. (b) で求めたものとよく一致している。このことは気圧影響の気圧に対する直線性ととも、上式が近似的に成立することを示しているものと言える。

結局潮汐影響項 $g_1(t)$ を加えて

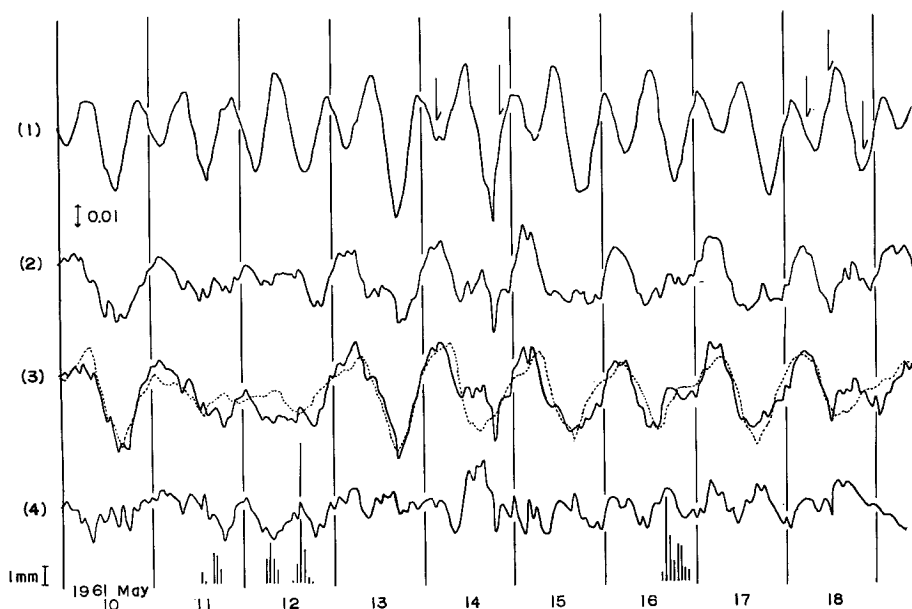


Fig. 12 An example of correction for tidal and meteorological effects

- (1) Original record of Akibasan E-W component tilt
 - (2) Akibasan E-W component tilt corrected by oceanic tide
 - (3) Akibasan E-W component tilt corrected by oceanic tide and pressure effect
 - (4) Akibasan E-W component tilt corrected by oceanic tide, pressure effect and daily variation dotted line ; Atmospheric temperature at Oura
- ↓ ; Felt local earthquake Vertical line ; precipitation

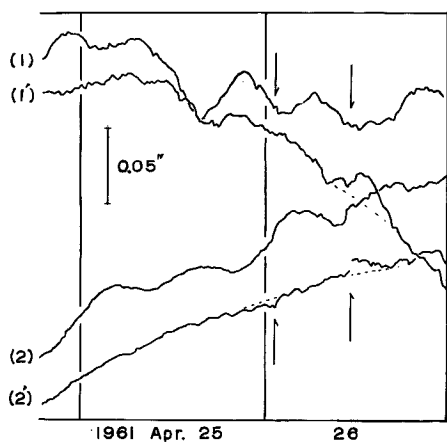


Fig. 13 Remarkable local earthquakes on Apr. 26, 1961

(1); Akibasan E-W tilt (original)
 (1'); " (corrected)
 (2); Akibasan N-S tilt (original)
 (2'); " (corrected)
 ↓; Remarkable local earthquake

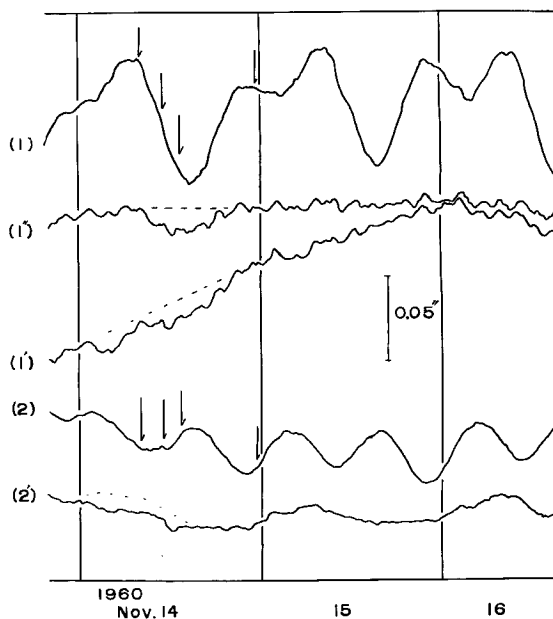


Fig. 14 Remarkable local earthquakes on Nov. 14, 1960
 (1), (2); original (1'), (1''), (2'); corrected

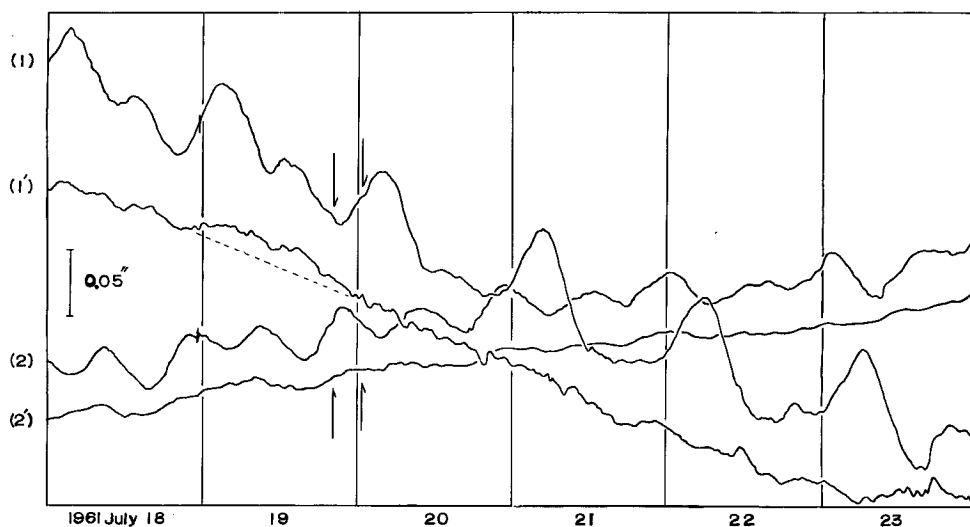


Fig. 15 Remarkable local earthquakes on July 19 and 20, 1961
 (1), (2); original (1'), (2'); corrected

$$\text{Akibasan E-W component tilt} = -0.00036 g_1(t+1) - 0.0055 g_2(t-1) - 0.0011 g_3(t)$$

と表現できる。上式左辺の傾斜角の単位は秒である。 $g_1(t+1)$ は和歌山港潮位 (cm) を1時間進めることを意味するものとする。

同様に秋葉山 N-S 成分傾斜については、 $c_2 = -0.361 \pm 0.047$, $c_3 = -0.0439 \pm 0.0030$, $c_4 = -0.018 \pm 0.055$ より

$$\text{Akibasan N-S component tilt} = 0.00019 g_1(t) - 0.0011 g_2(t) - 0.00014 g_3(t)$$

を得た。なお両傾斜成分共に気圧の時間勾配の項は他の項に較べて小さいので省略した。

Fig. 12 に各々の影響を除去する場合の実際の模様を示した。

気圧変化に対する大浦，秋葉山の傾斜変化及び日変化（大浦の日変化は 4. の値を使用して決定した）は **Fig. 8** に示してある。

6. 有感地震と土地微変動との関係

さてこのようにして求めた係数を使用して比較的大きい有感地震の前後の，秋葉山傾斜変化を二，三調べてみた。

Fig. 13 及び **Fig. 14** に示した 1961 年 4 月 26 日，1960 年 11 月 14 日の地震については記録取替，降雨等のため地震前後に充分の日数を取ることができなかつた。

なお **Fig. 14** 及び **Fig. 15** の N-S 成分 (2') は 5 で求めた気温の項の係数がよい結果を与えなかつたので日変化を含んだまま記しておいた。

Fig. 14 の (1'') の曲線は秋葉山 E-W 成分傾斜の原記録 (1) を潮汐補正し，気圧変化についての補正は行わずに，14 日，15 日，16 日の 3 日間が大体同様の天候であつたことより，15 日の日変化を規準にとり，14 日及び 16 日の日変化の除去を試みた。(1') はにさらに気圧補正を加えたものである。

Fig. 15 の秋葉山 E-W 成分傾斜 (1') は潮汐，気圧補正後この 6 日間の平均日変化を求め，それをこの 6 日間の日変化型と仮定し補正したものである。

Fig. 14 の (1') では，気圧補正操作により，長い周期の気圧影響が逆に入り込んでしまっている。係数の不良かあるいは大浦 N-S 成分傾斜のような直線的関係が成立しないためかは結論できないが，いずれにせよこのような大体の補正では不十分で，より適切な方法が必要であることはいうまでもない。

上記三例に局所地震前後の異常変化らしく思われる部分を一応点線で示したが，これらは器械的な誤差あるいは補正の不備などの原因より生じたものとも考えることができ，さらに地震とは全く関係のない土地変動であるかどうかの区別も不可能である。

結 語

秋葉山傾斜変化について，潮汐，気圧，気温などの補正の一方法を示しその例を示したが，また多くの問題が残っている。特に日射量などを考慮した有効な温度影響の表現型を決定すること，気圧についてさらに検討することが必要である。もちろん局所地震前後の土地変動についてこれだけの結果より結論を導き出すことはできない。伸縮変化及び大浦の資料についても整理でき次第報告するつもりである。

終りに臨み数多くの貴重な資料を提供して頂いた和歌山地方气象台に感謝の意を表わしたい。

参 考 文 献

- 1) A. Imamura, T. Kodaira and H. Imamura : The Earthquake Swarms of Nagusa and Visinitr, Bull. Earthq. Res. Inst., 10, 1932, p. 636.
- 2) Earthq. Res. Inst : General report of research on earthquake swarms in Wakayama District, 1955.
- 3) S. Miyamura : Local Earthquakes in Kii Peninsula, Central Japan. (Part II), Bull. Earthq. Res. Inst., 37, 1959, p. 593.
- 4) T. Mikumo : A consideration on Generation Mechanism of Local Earthquakes, Mem. Coll. Sci., Kyoto Univ., A 29, 1959, p. 221.
- 5) 新屋兼次郎 : 紀伊半島の地殻変動についての研究, 耐久, Vol. 9, 1, 1959. p. 37.

- 6) E. Nishimura : Study on some phenomena foretelling the occurrence of destructive earthquakes, Bull. Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 6, 1953, p. 40.
- 7) S. Miyamura : Local Earthquakes in Kii Peninsula, Central Japan. (Part III), Bull. Earthq. Res. Inst., 37, 1959, p. 609.
- 8) K. Hosoyama : On the observation of secular phenomena of the tilting motion of the ground, Mem. Coll. Sci., Kyoto Univ., A 28, 1957, p. 253.
- 9) E. Nishimura : On earth tides, Trans. Amer. Geophys. Union, 31, 1950, P. 357.
- 10) G.H. Darwin : On Variation in the Vertical due to Elasticity of the Earth's Surface, Coll. Pap. I. , Cambridge, Univ. Press, 1907, p. 444.
- 11) R. Tomaschek : Schwankungen tektonischer Schollen infolge barometrischer Belastungsänderung, Freiburger Forschungshefte, Heft C 60, März 1959, S. 35.
- 12) M. Ishimoto : Observations sur les variations de l'inclinaison de la surface terrestre à Miyazu-mati et Kawabé-mura après le grand tremblement de terre de Tango, Bull. Earthq. Res. Inst., 4, 1928, p. 203.