

## 7. 紀伊半島南端部附近の地殻変動について

地震研究所 岡 田 惇

(昭和34年12月20日発表—昭和34年12月28日受理)

### § 1. Introduction

1946年12月21日に発生した南海道大地震の前後において、Fig. 1 に示すように紀伊半島、四国の全域にわたる広大な地域に、大きな地殻変動をもたらしたことは、多くの調査研究によつて明らかにされたところである<sup>1),2),3),4)</sup>。precise levelling の結果から垂直変動のいちぢるしく大きかつたのは紀伊半島南部と四国室戸岬および足摺岬の太平洋に突出する地方の1 m に達する隆起であつた。また一方これらの突出部に続く内海の海岸線では30~40 cm の沈降を示した<sup>5),6)</sup>。四国東南部の室戸岬の変動については地震発生直後から数年間測量を続けてその結果はすでに報告した<sup>7),8)</sup>。すなわち precise levelling の反復によつて隆起変動から次第に回復する傾斜変動を確認することができた。紀伊半島南端部串本附近においても同じような現象が起りつつあることは地理調査所で行なわれた1947年および1950年の levelling の結果からも明らかである<sup>9)</sup> (Fig. 3)。以来約10年の歳月が過ぎて、その間にどのような変動があつたかを調べる目的で紀伊半島南端部の串本から東北方約20 km 浦神に至る levelling route について検測を行なつた。また半島周辺の海岸線に幾つかの驗潮所があつて潮位の観測が気象庁や地理調査所によつて行なわれているが、幸にもこの levelling route の両端串本および浦神には気象庁の

1) Geographical Survey Institute, *Review*, No. 6, Jan. (1949) 4-6.

2) T. NAGATA, "Summary of the Geophysical Investigations on the Great Earthquake in Southwestern Japan on December 21, 1946", *Trans. Amer. Geophys. Union* **31** (1950) 1-6.

3) T. OKUDA, "On the Mode of the Vertical Land-Deformation Accompanying the Great Nankaidô Earthquake 1946", *Bull. Geogr. Surv. Inst.* **2** (1950) 37-60.

4) 永田武 "昭和21年12月南海大地震の調査研究から" *科学* **17** (1947) 163-171.

5) N. MIYABE, "Vertical Earth Movement in Nankai District", *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **4** (1955) 1-14.

6) N. MIYABE, "Vertical Earth Movements in Japan as Deduced from the Results of Rerunning the Precise Levels", *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **30** (1952) 127-162.

7) T. NAGATA, A. OKADA, "Land Deformation of Muroto Point before and after the Nankaidô Great Earthquake on Dec. 21, 1946", *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **25** (1948) 85-89.

8) A. OKADA, T. NAGATA, "Land Deformation of the Neighbourhood of Muroto Point after the Nankaidô Great Earthquake in 1946", *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **31** (1953) 169-177.

9) 地理調査所 昭和6年度一等水準点検測成果集録

地理調査所 一等水準点検測成果集録 第1巻 昭和30年3月

験潮所があるのでこれらの附属 bench mark に取付観測を行いこの約 10 年間の潮位の変化から得られる ground level の変動の様子と levelling survey から見た傾斜変動を比較考察した結果の報告である。

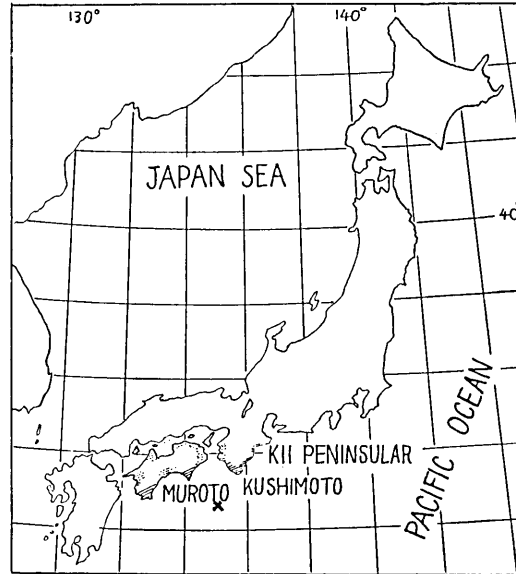


Fig 1. Location map of Nankaido Earthquake: Dec. 21, 1946, magnitude 8.1, depth 30 km.

Real line : uplifted area

Dotted line: subsided area

x : epicenter, latitude 33°N, longitude 135.6°E

## § 2. Levelling Survey

Instrument は Fig. 2 に示すような Zeiss-Opton Automatic Level Ni 2 (with plane plate micrometer) を使用し, field work において従来の Zeiss および Wild precise level とその性能について比較観測を行なった結果 plane plate micrometer および invar precise staff を使用するならば first order precise levelling として優秀な器械であることが分つた。本器に関する論文は幾つかある<sup>10), 11), 12), 13)</sup>。日本で plane plate micrometer 使用についてその測量成果の報告は未だ発表されていないようである。

10) M. DRODOFSKY, "Neue Nivellierinstrumente", *Zeitschrift für Vermessungswesen*, **5** (1951), 225-231.

11) K. HERRMAN, "Messungen mit dem Zeiss-Opton Nivellier Ni 2", *Vermessungstechn. Rundschau*, Nrs. **6, 7** (1951).

12) E. WEGENER, "The Level Ni 2 Zeiss-Opton experiences and results as well as a comparison with the Zeiss Level B with plane-plate micrometer", *Zeitschrift für Vermessungswesen*, **5** (1951), 137-146.

13) 地理調査所 "Ni 2 による吉野地方水準測量成果について" 地理調査所時報 **16** (1953), 20-21.

Automatic levelling up という能率的なこと、一回の観測時間の短縮は標尺台の沈下移動等による不定誤差の導入を防ぐこととなつて精度も向上すると思われる。しかし、本器附属として輸入された invar staff は常数が決定されていないので、現在は補正常数の分つている古い Zeiss の invar staff を使用している。何となれば比較観測の結果から標高差が小さいときは誤差の範囲で一致しているが大きくなると当然 staff constant が効いてくるからである。これらのことはまた別の機会に報告する。

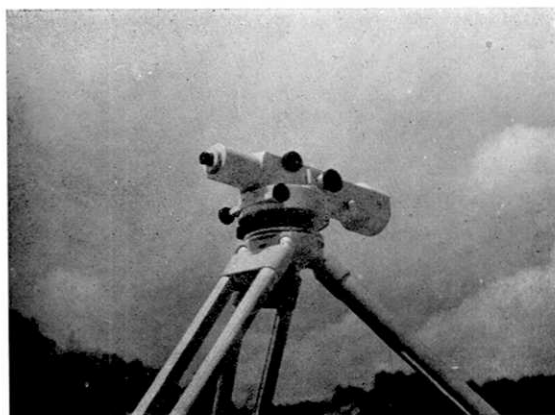


Fig. 2 The Zeiss-Opton precise level Ni 2 with automatic levelling up.

Survey にあつては Fig. 3 に示すような区間すなわち串本町袋 JMA mareograph 附属 BM より浦神にある同附属 BM までその間 GSI BM 11 点について検測を行なつた。器械は上述のように Zeiss-Opton Ni 2 を用い、invar precise staff を使用した。

1959 年 9 月 26 日に当地方を襲つた伊勢湾台風直後のため levelling route である紀伊半島海岸線国道にも多くの土砂崩れや波浪による道床流出が散見されたが、この区間の bench mark には損傷はなかつた。しかし浦神湾内の JMA 験潮所は台風当時湾内に避難船が錯綜し、そのために験潮儀収容建物が破壊され 11 月上旬現在観測設備は未だ復旧されていない状態であつた。Fig. 3 の下には levelling route に沿う海岸線附近の geology を示した。主に Tertiary からなりほぼ東西に走る Neogene の成層構造が見られその間と南端部には潮岬の突出部および大島等 intrusive rock が露出しかついくつかの断層線に区切られるやや複雑な地質構造と考えられる。しかしこの地方の立地条件が四国南部室戸岬、足摺岬等と全く類似していることは吾人の眼で観察できることである。また個々の bench mark および験潮所の位置と地質構造との対応は Fig. 3 で分るよう No. 4980, 4981, 浦神験潮所は Kumano acidic rock (Ka) の上に、No. 4982, 4983 と、No. 4984 以南串本までは、それぞれ Neogene の Oguchi formation (T1, Tu) の上にあつて代表していると考えられる。ただ実際には海岸線に沿う国道の路傍あるいは山際の標高 2~10 m 附近の極く浅い deposits の上に設置されてあつて地質構造を代表する露頭に直接構築されてある場合は少ない。

### 3. Result of Observation and Tilting Motion

南海道大地震後の紀伊半島における海岸線に沿う田辺—新宮間についての水準点の垂直変動は Fig. 4 に示すような結果で田辺市 BM 9184 号を不動とした時の様子である<sup>14)</sup>。1928 年 1931 年の観測

に対し地震直後の 1947 年と 1950 年の比較結果から見ると串本を頂点として半島東西両部がほぼ対称的に変動していることが分る。かつ 1947 年から 1950 年の変動は串本附近でわずかながら明瞭なくぼみがあり、両側にかすかなふくらみが見られる。

Fig. 4 図中点線でかこんだ部分が今回検測調査した区間でその結果は Table 1 に表わしてある。Table 2 はこの区間、すなわち浦神 (BM. No. 4980) —串本 (BM. No. 9221) 間の 1899 年以來の変動量を浦神を不動と仮定したときの値である。

先きに述べたような四国室戸岬では最大傾斜の方向が South  $2^{\circ}$ ~ $10^{\circ}$  West を示したのであるが、この地域では地形的に最大傾斜軸の方向を決定するには困難であるので、Fig. 4 に見られるように半島南端を頂点とする全く東西対称な変動と仮定して South-North 軸上の傾斜変動を考えるならば、これに投

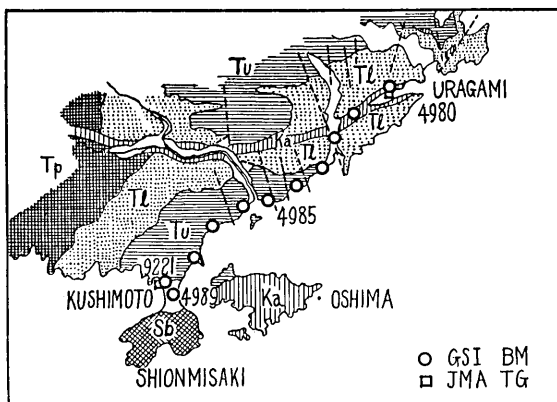
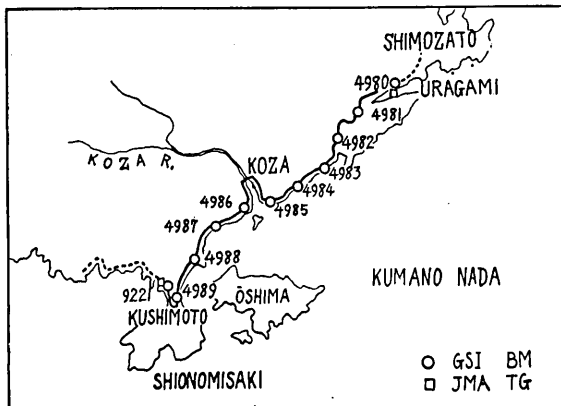


Fig. 3 The maps of the levelling route and geology neighbourhood of the southern part of the Kii Peninsula.

- |                                |                    |
|--------------------------------|--------------------|
| Tu: Oguchi formation (upper)   | } Tertiary.        |
| Tl: Oguchi formation (lower)   |                    |
| Tp: Muro beds (older Tertiary) | } intrusive rocks. |
| Ka: Kumano acidic rcks         |                    |
| Sb: Shionomisaki basic rocks   |                    |

(after Wakayama Pref.)

影して Table 2 の結果を一まとめに plot すると Fig. 5 に示すようになる。Fig. 5 から浦神を不動としたときの 1899 年以來約 60 年間の傾斜変動が良く分り、これは全く室戸岬の変動と類似している。

14) *loc. cit.*, 9)

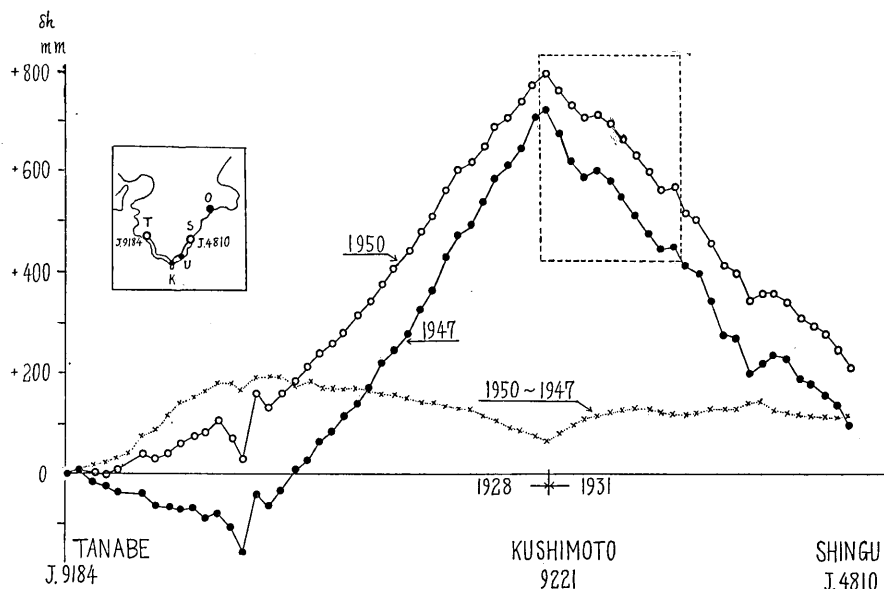


Fig. 4 Change in the heights of bench marks on the route from Tanabe (No. J. 9184) to Singu (No. J. 4810) along the coast line (after G. S. I).

大地震ではね上った傾斜が漸次再び下り始めるという傾斜変動の推移は、いわゆる回復運動(rebound theoryによる)と見るべきであろう。そしてこれが1931~1899年のSouth方向へのゆるやかな傾動に相当するものであるかどうかは今後の問題であるが、この傾斜変動の特性は四国室戸岬の場合と一致している。以上の関係をさらに定量的に考察したのがS-N方向の傾斜角の変遷であつてFig. 6に示したような結果である。上には比較のために室戸岬の結果を示したもので地震直後の反復測量によつて傾斜量の変化がexponentialに減少して行く様子が良く分る。

室戸岬に対して下には紀伊半島南部を示したもので観測回数が少ないけれど、特性は全く同じであると考えて差支えないようである。これから全く同一の傾動を辿りつつあることは証明されよう。換言すれば南海道地震の震央に対して両者がほぼ等距離にあること、海洋底を含めて地質構造および地形学的形成の相似等すべての条件に極めて高い相関にあることを意味しているのであろう。

#### § 4. Relations Between Mean Sea Level and Ground Level

海岸地帯における局所的な地盤沈下を含めて地殻変動が進行する時、つねに問題になるのはmean sea levelとground levelとの関係である。四国地方全域についてはすでに南海道地震後詳しい報告があり、<sup>15)</sup>また日本列島周辺の平均潮位の差と地殻変動の関

15) 河角 広・表俊一郎・越川善明 “驗潮記録より知らるる四国地方の地盤変動” 四国地方地盤変動調査専門委員会 第三輯・第六輯。

Table 1. Result of Levelling Survey.

BM. No.	Loc.	$\Delta H$ in	$\Delta H$ in	$\Delta H$ in	$H$ in
		1950 July obs.	1959 March	1959 Nov. obs.	1950 obs. 1953 adj.
T. G. Fix	Uragami	—	+0.405 <sup>m</sup>	+0.4045 <sup>m</sup>	1.956**
4980		+7.8189 <sup>m</sup>		+7.8158	2.3607
4981		-6.5156		-6.3521	10.1801
4982*		+2.1521		+1.9861	3.8297
4983		+1.4839		+1.4838	5.8178
4984		-1.5410		-1.5421	7.3024
4985	Koza	+1.8074		+1.8073	5.7621
4986		-1.7439		-1.7449	7.5702
4987		-3.1252		-3.1278	5.8269
4988		+1.1625		+1.1565	2.7023
4989		-1.0281		-1.0335	3.8655
9221		+0.2747		+0.2743	2.8379
F. 41		—	-0.928	-0.9284	3.1126
T. G. Fix	Kushimoto	—			2.185**

[GSI]

[JMA]

[ERI]

[GSI]

\*: 1959 Jan. reestablished, new-old = -0.1645.  
 \*\*: 1959 JMA obs.

Table 2. Change in the Heights of Bench Marks  
(Assum. BM. No. 4980 fixed)

BM No.	1931-1899	1947-1899	1950-1899	1959-1899
4980	0.0 <sup>mm</sup>	0.0 <sup>mm</sup>	0.0 <sup>mm</sup>	0.0 <sup>mm</sup>
81	- 10.3	+ 18.9	+ 26.7	+ 23.6
82	- 25.6	+ 40.4	+ 46.3	+ 42.2
83	- 19.0	+ 83.5	+ 79.4	+ 74.0
84	- 31.6	+101.2	+ 96.6	+ 91.0
85	- 34.8	+118.8	+111.0	+104.3
86	- 36.8	+105.6	+101.8	+ 95.0
87	- 43.2	+127.4	+114.5	+106.7
88	-103.8	+118.7	+ 92.6	+ 82.2
89	- 68.3	+206.7	+162.6	+146.2
9221	- 70.6	+187.0	+144.8	+123.0

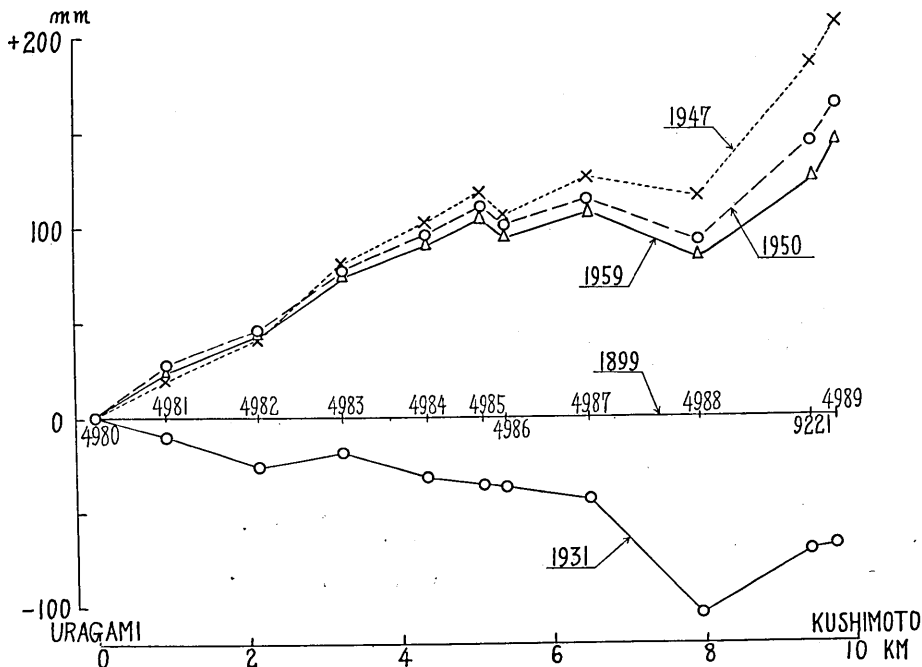


Fig. 5 Change in the heights of bench marks on the route from Uragami to Kushimoto. (projected on a vertical plane in N-S component)

係についての究研がある。<sup>16)</sup>この調査では狭い地域とはいえ前述のように両端に JMA の mareograph が設置されてあるので験潮記録と比較検討するにはなほ好都合であった。西南日本の験潮記録から得られる mean sea level より、串本、浦神両験潮所の潮位について 1950-1952, 1956 以後にやや乱れがあることはすでに指摘されている<sup>17)</sup>がいまここでは両験潮所間の levelling survey から見た変動とあわせて mean sea level の変化の関係を考察して見よう。

Fig. 7 には串本、浦神および紀伊半島東部の尾鷲の三験潮所の monthly mean sea level の結果を気象要覧よりそれぞれ plot したものである。点線と白丸は annual mean sea level の変化を示したもので straight line はそれぞれの期間の mean value である。Fig. 7 からつぎのことに気がつくであろう。

- (1) 串本で 1951-1952 および 1955 年に異常がある。
- (2) 浦神では 1952 年にやや異常がある。
- (3) 以上をそれぞれ異常と考へるならば串本ではこの期間内に secular variaton が見えないが、浦神、尾鷲では 1955 年を境として変化の様子が異なる。

16) 津村建四郎 “平均潮位の差から求めた地殻変動の研究” 地震 [ii], 10 (1957), 67-78.

17) H. YOSHIZAWA, “On the variation of the monthly mean sea level in the western parts of Japan”, *Umi to Sora*, 33 (1957), 34-38.

以上のことから中本一浦神(K-U)および浦神一尾鷲(U-O)のそれぞれ差を取つて見るとその関係がはつきり分る。Fig. 8にはK-UとU-Oを示したものである。U-Oはほぼ constant と見ても差し支えないようであるがK-Uはやや事情が異なる。Fig. 8の

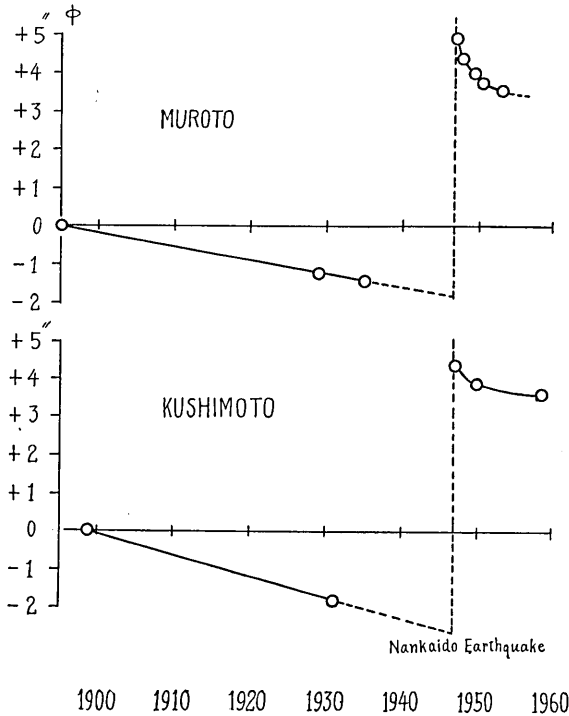


Fig. 6 Amount of tilt during 60 years.

Upper: Muroto Point, Shikoku Isl. into the southerly dip.

Lower: Southern Part of the Kii Peninsula into the southerly dip.

ならば tide の方に seasonal な変動があつても mean sea level より推定される傾斜変動の傾向は一致していると考えられる。ただ傾斜量が問題で levelling から得られた量の数倍の振巾をもつて変動している。この振巾は何を意味しているのであろうか。

海水の温度、気温、気圧等の関係も大きな factor であろう<sup>18), 19), 20)</sup>。しかしさらにもと大きな要素がこの接近した 15 km 足らずの潮候に影響しているのではなからうか。

18) S. YAMAGUTI, "Abnormal Change of Mean Sea-Water Temperature, during the period of 52 years (1900-1951)" *Science Reports of the Gumma University*, **3** (1954), 1-10.

19) S. YAMAGUTI, "On the Changes in the Heights of Mean Sea-Levels, before and after the Great Earthquakes", *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **33** (1955), 27-31.

20) S. YAMAGUTI, "On the Change in the Height of Bench Mark referred to Mean Sea-Level", *Bull. Japan Geodetic Society*, **3** (1957), 69-71.

点線と白丸は Fig. 7 と同様それぞれ変化の annual mean と直線は全期間の mean value である。K-U からは 1954, 1955 年を境としてかなり乱れているがその傾向はほぼ相反していることは事実である。これは大変興味深い現象と考えねばならない。

今 mean sea level から見た地殻の傾斜変動と levelling から得られた変動量を比べるために両験潮所を結ぶ直線上で両者の傾斜変動量を求めたのが Table 3 と Fig. 9 である。

1950~1958 年間の両験潮所の mean sea level を constant と考えた場合 ground level の変化は Fig. 9 の実線(黒丸)のような傾向になり、一方 levelling から測定された傾動は破線(白丸)のような関係になる。これを見ても分るように 1951 年の異常を除いて両者を比べる



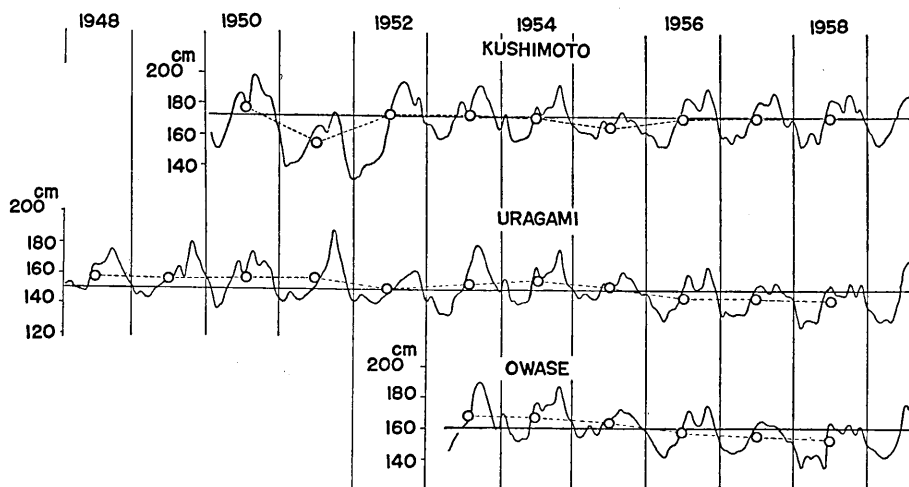


Fig. 7 Variations of monthly mean sea levels at three stations

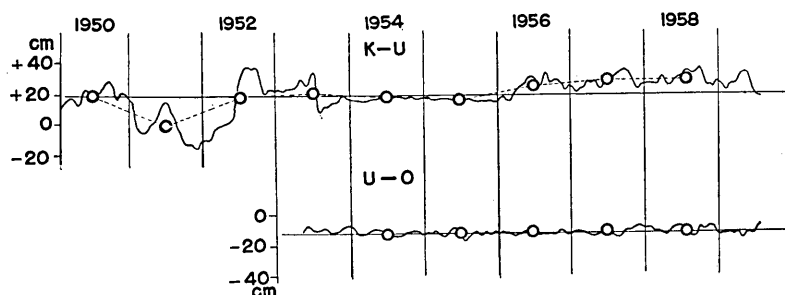


Fig. 8 Differences of monthly mean sea levels between each two stations.  
K: Kushimoto U: Uragami O: Owase

levelling の結果から判定する傾斜量がある期間の平均的なものであるに対し mean sea level が示すのはより短週期であるにしても、しかしここでは同じ傾向を示して mean sea level の永年変化の説明にいささか寄与していることである。

Table 3. Tilting Angle of the Ground

From levelling		From mean sea level	
1947	0.00	1950	0.00 (Assumed)
1950	-0.60	1951	+2.78
1959	-1.04	1952	+0.47
		1953	0.00
		1954	+0.45
		1955	+0.54
		1956	-0.77
		1957	-1.10
		1958	-1.51

Direction: S 52° W dip.  
Distance: 14.5 km.

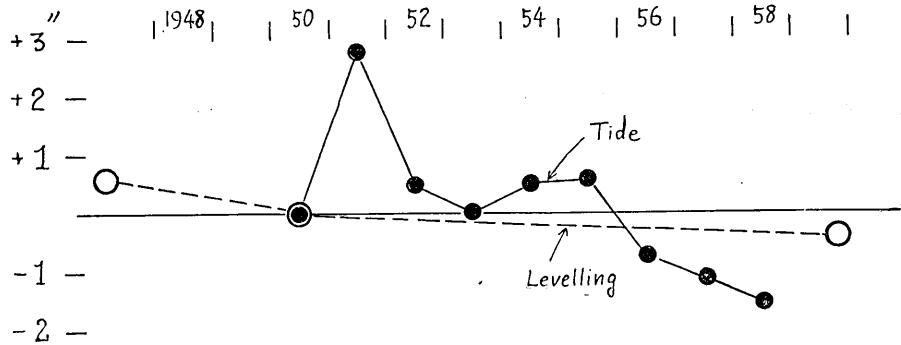


Fig. 9 Tilting of the ground in the straight line from Uragami to Kushimoto.  
(Assumed 1950 fixed)

Direction : South 52° West dip.

Full line : from mean sea level.

Broken line: from levelling.

## § 5. Conclusion

一般に 10 年間以内のような比較的短い期間の mean sea level の変動が、ただちに地殻変動を示すかどうかは、特別の場合たとえば大地震の前後の急激な隆起あるいは沈降を除いて、判定するのに困難なことが多い。しかし非常に相接近した二つの驗潮結果から得られる差を求めて、これに表われてくる変動の説明は地殻変動が大きな役割を果たしているであろうと思われた。しかし結果は consistent には一致を見ないで mean sea level の変化の方がはるかに大きい。陸地の方がこの期間中にこんなに大きく動いていると考えるよりは、海洋潮汐の方に何か他の原因があると考えの方が順当のように思われる。たとえば台風接近による気圧低下から起る潮位上昇は 950 mb 以下の超 A 級台風で monthly mean sea level におよぼす影響は約 4 cm である。また海況の変化殊に冷水域の発達移動あるいは上昇から起る海水の温度変化による unbalance が、いわゆる isostatic compensation のため潮位変化を起すであろう。この量はあるいは数十糎に達することもあり得る。他にももつといろいろな factor が重なり合っているであろうが、この浦神、串本のような至近距離にあつて同時に影響を受ける可能性はきわめて強く、差を検出することは困難である。ただ後者は 1950~1952 年頃熊野灘に発達した冷水域の影響が何れかを支配したかも知れない。いづれにしても津村氏の述べる本邦太平洋岸の月平均潮位の変化は紀伊半島南端附近で著しい不連続を示すことに関係があるようである。

Levelling の検測と mean sea level から見た地殻変動の關係の一例を示したのであるが、もつと永い眼で見るならば、海洋潮汐の諸問題の解明と相俟つて説明ができると思われる。また前に述べたように構造地質の立場から見た場合もそれぞれの構造間には顕著な変化は見出すことができなかつた。

終りに本調査にあたっては宮村撰三助教授が現地調査の機会を与えて下さった。また潮汐の問題では高橋竜太郎教授山口生知教授よりそれぞれ有益な御指導を得た。驗潮記録については気象庁田口竜造技官、水準測量成果は地理調査所から多くの教示をいただき、現地作業には和歌山県土木部の御援助を得た。ここにそれぞれの方に謝意を表する次第である。

### 7. *Land Deformation of the Southern Part of the Kii Peninsula, Southwestern Japan.*

By Atsushi OKADA,  
Earthquake Research Institute.

Land deformation of the southern part of the Kii Peninsula was investigated by means of the precise levelling survey and by comparing the results of the survey with the variations of the mean sea level in the same district.

(1) Levelling resurvey:

Precise levellings of the Kii Peninsula, Wakayama prefecture, were carried out four times during the past seventy years by the Geographical Survey Institute, and a remarkable land deformation represented by the uplifting of about 72 cm of the southern point of the peninsula has been ascertained as occurring on the occasion of the Nankaido Earthquake. (Dec. 21, 1946)

In Nov., 1959, the writer repeated a precise levelling of the route, about 20 km in distance from Uragami to Kushimoto in the southern part of the peninsula. The tiltings of the ground of the area as revealed by the survey are as follows.

Year	Mean value
1899	0.00(Assumed)
1931	-1.74
1947	+4.28
1950	+4.12
1959	+3.80

N-S component of tilting  
+: southerly dip

These values are consistent with the tiltings of the Muroto Point, Shikoku Isl. and show a slight recovery after the large uplifting by the great earthquake of 1946. (Fig. 6)

(2) Mean sea level:

Fig. 7 shows the monthly mean sea levels observed at three stations on the peninsula during ten years after the great earthquake of 1946, and Fig. 8 their differences. The annual mean sea level is shown by the dotted line. The difference of the sea level at Uragami and Owase is constant, while that at Kushimoto and Uragami is irregular.

As already pointed out by some investigators, these differences may be considered as due to the hydrographic condition of the sea and also to some long period tides, but it is noticeable that the tiltings of the ground calculated from the differences of the sea level

show a tendency corresponding to those obtained by means of the levelling resurvey in the past ten years.

Thus the tilting of the ground in a straight line from Uragami to Kushimoto is shown Fig. 9, and the tilting angles are as follows.

From levelling		From mean sea level	
1947	0.00 (Assumed)	1950	0.00 (Assumed)
1950	-0.60	1951	+2.78
1959	-1.04	1952	+0.47
		1953	0.00
		1954	+0.45
		1955	+0.54
		1956	-0.77
		1957	-1.10
		1958	-1.51

Direction: S 52° W dip

Distance : 14.5 km

Excepting for the amplitudes of long period tidal oscillations (3-4 years), the curve (full line) in Fig. 9 seems to show a southwesterly tilting of the ground, in the same manner as revealed by the levelling survey (broken line). The tilting may be regarded as representing a continuous subsidence of the southern part of the Kii Peninsula in recent years.