

1946 年南海地震前の四国太平洋沿岸の上下変動

梅田康弘^{1,*}・板場智史¹

Yasuhiro Umeda and Satoshi Itaba (2011) Vertical Crustal Movements along the Pacific Coast of Shikoku before the 1946 Nankai Earthquake. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 62(5/6), p. 243-257, 10 figs, 9 tables.

Abstract: The vertical crustal movement before the 1946 Nankai earthquake was obtained by the leveling of the Geographical Survey Institute(GSI). In Shikoku district, however, the leveling was carried out 7 years before the earthquake. The Hydrographic Bureau(HB) surveyed the co-seismic vertical changes and measured the difference between the measurement of last and just after the earthquake, on the bench mark of GSI or HB. The leveling data of GSI were obtained the Japanese vertical datum origin as a standard, on the contrary, the measurements of HB were obtained based on the mean sea level at each point. The error of latter values has +/-0.10m against that of GSI. The data of co-seismic vertical change have an error of +/-0.15m, because the vales were obtained by viewing of the HB staffs. In the case that the measurement value and co-seismic change are greater than above errors, it is effective to use them with the leveling data. We combined the data of GSI and HB, and obtained the vertical variation curves at 13 points in Shikoku, between 1898 and 1969. The co-seismic upheaval region has subsided in a long term before the earthquake. The co-seismic subsidence region has up heaved gradually about 15 years before the earthquake. It seems that the upheaval speed was accelerated just before the earthquake. The variation curves of vertical crustal movement in a long term will become a base when we assume a prediction curve for the next Nankai earthquake.

Keywords: Nankai earthquake, vertical crustal movement, Shikoku, earthquake prediction

要 旨

1946 年南海地震前後の地殻の上下変動は地理調査所(現在の国土地理院)の水準測量によって求められている。しかしながら、四国における水準測量は本震の前後 7 年間には行われていないため、地震直前と直後の地殻変動は不明であった。これに対し、水路局(現在の海上保安庁海洋情報部)は地震時を含む長期の上下変動量と地震時のそれとのふたつの値を求めている。前者は港湾などに設置された水路局の基本水準標や最寄りの国土地理院の水準点を利用して測定されたもので、地震前と地震後との差が測定値として求められている。後者は港湾などで目視によって得られた調査値である。地震時の上下変動量である調査値は最大で 30cm の誤差があるとされているが、変動量がそれを上回る地点では有効な値と考え、水路局の得た測定値と調査値とを地理調査所による水準測量の成果値と結合させた。その結果、四国の 13 地点において本震の前後を含む詳しい上下変動曲線を年スケールで描くことが出来た。

1. 本研究の背景と目的

南海トラフにおける巨大地震の再来が懸念されるなか、産業技術総合研究所では東南海、南海地震予測のための観測施設を整備しつつある。平成 18 年度から 21 年度までに東海から四国にかけて 14 観測点を設置し(小泉他, 2009)、スロースリップ(ゆっくり滑り)を捉えるなどの成果を上げつつある。東海地方や紀伊半島直下で発生したいくつかのスロースリップについては、それぞれのスリップ面の位置や形状、スリップ量などの推定を行った(北川他, 2009; Itaba *et al.*, 2010)。それらによれば、スロースリップは深さ 25km ~ 40km 付近のプレート境界で、間欠的に発生していること、移動を伴う場合があること、規模は最大でも Mw=6 程度であることなどがわかっている。

スロースリップはトラフ沿いの巨大地震に先行すると想定されており(小泉他, 2009; 大谷他, 2009; 梅田他, 2010)、高精度の観測が地震予知につながるものと期待されている。しかし実践的な地震予知となると、スロースリップの拡大進展に伴って観測される歪や地下水変化がどのくらい大きくなれば巨大地震発生に至るのか、と

¹ 活断層・地震研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active fault and Earthquake Research Center)

* Corresponding author: Y. UMEDA, Nakoji 3-11-46, Amagasaki Hyogo 661-0974, Japan. Email: umeda-y @aist.go.jp

いう目安がなければ、それぞれの時点でどのくらい本震が切迫しているのか、という判断がつかない。気象庁は、想定東海地震に関してはモデルに準拠した予測シミュレートを行っており、歪があるレベルに達すれば観測情報を、またある条件を満たせば注意情報を出す(気象庁,2003), というように地震発生に至るまでの歪の変動曲線を用意している。南海地震についても、東海地震と同様な予測シミュレートを行うためには、地殻変動の予測曲線というべきものが必要になる。

本研究では、次の南海地震に向けた予測曲線作成の際の出発モデルとして、前回の1946年南海地震前の地殻の上下変動を四国の太平洋沿岸部において可能な限り

詳しく描くことと、その空間分布を求めるを試みる。1946年南海地震前後の四国地域における地殻の上下変動は、地理調査所(現在の国土地理院)の水準測量によって求められているが、地震前の水準測量は1898年及び1930年代のはじめと終わり頃の、合わせて3回のみである。地震後も1953年まで7年間の測量成果はない。Miyabe(1955)は地震前3回の測量成果値を用いて地震直前までの変動曲線を外挿したうえ、相隣あう水準点成果値の差を取り、空間的に滑らかにするなどの工夫によって四国全域の地震前と地震時の上下変動のコンターマップを描くことに成功した。しかし、Miyabe(1955)には1930年代から本震直前までの外挿方法が明記されて

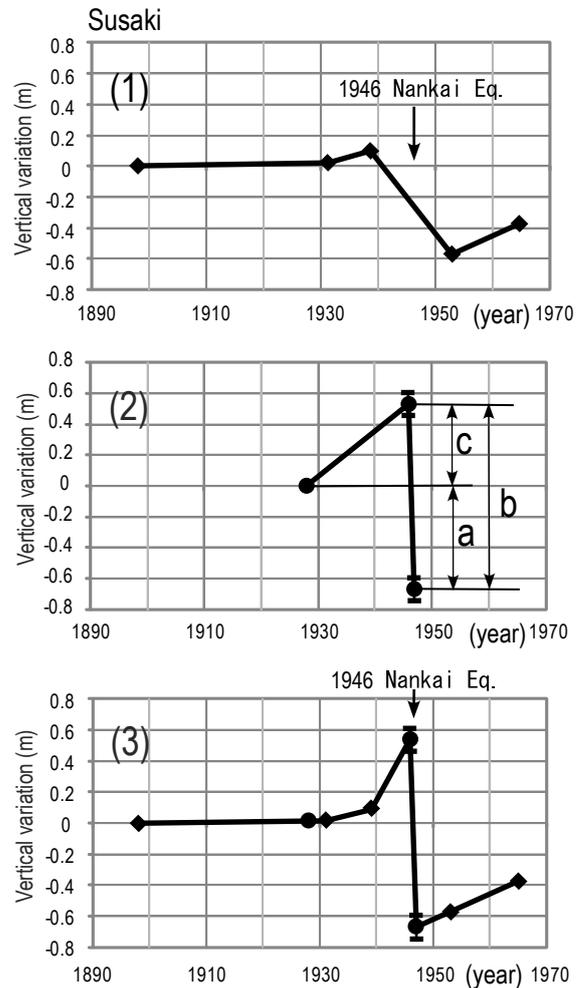
第1表 第1図の数値表。表(1),(2),(3)は第1図-(1),(2),(3)に対応している。表(2)の中の(a),(c)は第1図-(2)のそれらに対応している。表(3)は表-(1)と-(2)を結合させて得られた1898年を基準とする上下変動値。

Table.1 Numerical tables of Fig.1. Table 1-(1),(2),(3) corresponds to that in figure 1-(1),(2),(3), respectively. (a) and (c) in table(2) corresponds to that in figure 1-(2). Table(3) was obtained by combined with the results in table(1) and (2) as a zero with the value of 1898.

Table 1-(1)		
測量年	成果値(m)	成果値の差(m)
Leveling year	Leveling result (m)	Difference value (m)
1898	5.5546	0
1931	5.5715	0.0169
1939	5.652	0.0974
1953	4.9874	-0.5672
1965	5.184	-0.3706

Table 1-(2)		
測定年	測定値の差(m)	かさ上げ後の値(m)
Measurement year	Diff. of measurement (m)	Shifted value (m)
1928	0	0.015
1946	(c) 0.53	0.545
1947	(a) -0.67	-0.665

Table 1-(3)	
年	結合値(m)
Year	Combined value(m)
1898	0
1928	0.015
1931	0.0169
1939	0.0974
1946	0.545
1947	-0.665
1953	-0.5672
1965	-0.3706



第1図 須崎を例に方法を示す図。(1)地理調査所による成果値(◆), (2)水路局による測定値(a), 調査値(b)(●), (3)(1)と(2)を結合させた上下変動図。

Fig.1 A figure showing the method as an example of Susaki. (1)Leveling result by the Geographical Survey Institute (◆), (2)Measurement value(a) and survey value(b) by the Hydrographic Bureau (●), (3) Vertical variation curve combined with the results in (1)and (2)

おらず、おそらく図中目の子で曲線を描いたものと思われるが、この点に関してはやや客観性に欠ける。本研究では水路局（現在の海上保安庁海洋情報部）による本震直後の調査及び測定データにより、本震直前の変動量を決定することに成功した。このデータと地理調査所の測量成果値と結合させることによって、従来よりも詳しい上下変動曲線を描くことが出来た。

2. 方法

高知県須崎^{すさき}を例にして方法を述べる。第1表- (1) に須崎市にある地理調査所の水準標（ベンチマーク (BM)）番号 4673 の測量成果値を測量年とともに示した。1898 年の最初の成果値を零として、以降の上下変動をグラフにしたのが第1図-(1)である。1898年に続いて1931年、1939年が地震前の測量成果であり、地震後は7年後の1953年である。

須崎における地震時の変動量は水路局（1948）によって調査されている。変動量の推定方法は3-2節で詳しく述べるが、須崎では地震時に1.2m沈降したことが示されている。また水路局では海底地形の変化を把握するため、須崎など主要な港湾には基本水準標を設置し、当該港湾の平均海面を基準とした測定を行っており、測定年とともに前回の測定値との差を知ることができる。須

崎における水路局の地震前の測定は1928年、地震後は1947年であり、この18年間の測定値の差は-0.67m、つまり67cmの沈降である（表1-(2)）。18年間の沈降水量 a(-0.67m)と、地震時の沈降水量 b(-1.2m)との差 (a-b=+0.53m)は、第1図1-(2)に示すように須崎における18年間の隆起量と考えることが出来る。ふたつの機関によって得られた第1図-(1)と同図-(2)を重ね合わせるために、水路局の1928年の値を、地理調査所の1898年と1931年の成果値の差を内挿した値に高上げた（第1表-(2)）。ふたつの機関のデータを結合させた結果を第1図-(3)と第1表-(3)に示した。このようにして、横軸は年単位ではあるが地理調査所のみでの上下変動曲線（第1図-(1)）にくらべて、より詳しい上下変動曲線（第1図-(3)）を描くことが可能となった。なお、須崎における水路局の基本水準標 (HBM) は須崎港東岸にあり、地理調査所の BM4673 とは 900m ほど離れている（第2図）。本節における測定値は水路局の基本水準標での測定値を用いたが、基本水準標は須崎のような主要港湾にしか設置されておらず、それ以外の漁港等では最寄りの地理調査所の水準標での測定値が得られている。3-1節で述べるように、後者における測定値のほうが測定数が多いことから、以降では後者すなわち地理調査所の水準標での測定値を採用する。



第2図 須崎周辺の地図。数字付の四角印は地理調査所の、2重四角は水路局の基本水準標位置を示す。基の地図は（財）日本地図センター、25000段彩陰影画像による。

Fig.2 Map showing Susaki area. Squares with numerals and double square indicate the points of bench mark of the Geographical Survey Institute and the Hydrographic Bureau, respectively. Map quoted from the colure image map of the Japan map center.

3. 四国太平洋沿岸部の上下変動曲線

3.1 測定値と調査値

国土地理院の測量結果は、地理調査所の時代も含めて、水準点毎に「水準点平均成果表」として公表されている(国土地理院,2009)。この表には改測年毎の水準点の標高のほか水準点の移設なども記載されている。水路局の資料は水路要報増刊号(水路局,1948)に詳しく記載されているが、同冊子は第五管区海上保安本部海洋情報部によって復刻版が出版されると共に、同情報部のホームページにも掲載されている。水路要報中の「地変及び被害編」には関東・東海から四国・九州の太平洋沿岸部における南海地震時の隆起・沈降量が地点毎に文章で記載されると共に、表(同要報中の附表No.4)にもまとめられている。これらの中から調査地点など本研究に必要な部分を第2表にまとめた。この中で「調査値」は地震時の変化を、「測定値」は前回の測定と地震後のそれとの差を、いずれもメートル単位で表している。たとえば須崎の場合、前節でも述べたように地震時に-1.2mの変化に対して、水路局の基本水準標における前回測定との差は-0.67m、地理調査所的水準標(No.4673)を利用した前回との測定差は-0.60mであることも同時に示されている。

2節でも述べたように、水路局の基本水準標は須崎や浦戸湾といった比較的大きな港湾には設置されているが、漁港などの多くは最寄りの地理調査所的水準標を利用している。後者における測定値は15か所あり、前者の7か所に比べると2倍以上あることから、本論では地理調査所的水準点での測定値を主に採用することにした。ただ水準標のない清水、古満目では基本水準標または水上岩での値を、水準標はあるが測定値の無い久礼では水上岩での値を採用した。

水路要報の中の附図「各港湾の分図」には、水路局が測定に利用した地理調査所的水準標の位置が、測定値と共に記されている。第2表の「水路局が測定した水準標番号」は、「各港湾の分図」に記された水準標の位置と、地理調査所的水準標番号とを対応付けたものである。後者については、国土地理院(2010)のホームページ「基準点・測地観測データ」の中の「基準点成果閲覧」に記載されている。水準標番号のうち津呂、久礼、上川口については附図「各港湾の分図」にその位置が記載されていないが、津呂は津路港の水準標5142を採用した。久礼、上川口については測定された水上岩・干出岩に近い水準標を採った。なお本文中の水準標は現在では水準点と呼ばれているが、ここでは水路要報の中の呼称である水準標を記述することにする。

3.2 測定値と調査値の誤差、及び両者の評価

水路局の測定はそれぞれの港湾等における海面を基

準にしている。前回の測定と地震後のそれとの差が第2表の測定値であるが、気象などによる海面変化は除去できていないことから、誤差は0.1m~0.2mあると水路要報には記載されている。本論では最大誤差をプラス・マイナスに振り分け、 $\pm 0.1\text{m}$ と表記する。

四国で調査値のある28か所のうち15か所は水路局による調査、8か所が漁業会、5か所が町役場等による調査となっている。それぞれの調査方法は明記されていないが、水路要報には「おもに海岸線の海陸の境界付近における目標物等による具体的事実による信頼性のあるもののみについて採用した」とある。例えば日和佐の場合「一般に見る時従来の満潮面時の潮高の位置からして約0.2メートル程度の沈下が行われたものと思われる」とあり、おおくは岸壁における潮高面から調査値を得ている。ただ満潮面時の潮高と言っても大潮と小潮とでは大きな違いがあるので、おそらく地震の前と後のほぼ同じ潮位時の潮高を比較したものと推定される。また、日和佐のように漁業会の報告値を採用する場合も「当調査班の実地踏査および他の報告等を検討の上採録した」と水路要報に記されているように、水路局調査班が確認したうえ調査値として採用している。

須崎のようにひとつの港湾で複数の調査値が得られた場合は、それぞれの地点での調査値を記載したうえ「一般的に見る時岸壁付近の沈下量は比較的大きく約1.2メートル沈下」と判断している。須崎湾内だけでなく周辺の野見や安和(第2図)でも調査が行われ、野見では「海岸の状況からして野見岸壁付近で1.2メートルぐらい沈下し」、安和では「潮高面からして約1.2メートル程度沈下したもののようである」とあり、この地域全体が1.2m沈降したことがわかる。このようにして求められた調査値ではあるが、あくまで目視による値であることから誤差は0.1m-0.3mとしている。本論では最大誤差0.3mを、 $\pm 0.15\text{m}$ と表すことにする。

水路要報には、誤差を考慮したためか「調査値と測定値は大差ないようである」と記載されている。しかし両者には系統的に有意な違いがあるというのが筆者たちの見解である。第2表で、調査値と測定値の両方とも報告があり、前者についてはその誤差 $\pm 0.15\text{m}$ を超え、後者についてはその誤差 $\pm 0.1\text{m}$ を超える15地点について、それぞれの値を第3図に棒グラフで示した。佐喜ノ浜を除く14地点は、前回の測定との差をとった測定値より、地震時の変化を示す調査値のほうが大きい。このような系統的な差は単なる誤差ではなく、2節で述べたように前回の測定年から地震発生までの地殻の変動量を現わしていると考えらるべきである。すなわち地震時に沈降した地域では地震発生までは隆起しており、逆に地震時に隆起した地域ではそれまでは沈降していたと考えるべきである。佐喜ノ浜は地震前も隆起しており、地震時もさらに隆起したと考えられる。

3.3 水路局による前回の測定年

2節で述べた方法で長期の変動曲線を描くには、各地点の測定年を確定する必要がある。水路局による地震後の全体調査は1947年1月から5月上旬となっているが、土地の隆起・沈降や港湾の水深などは1月10日から約1ヶ月間実施されており、ここで引用する地震後の調査や測定は後者の期間内に行われたと思われる。地震前の測定年に関しては、水路要報の附表No.3に「南海大地震における地盤変動区域中測定に使用した海図の測量年次表」に記載があり、この年次が前回の測定年である。調査地点29か所のうち海図の作成（改訂）のために測量が行われたのは14か所あり、第2表の「前回の測定年 | 水路要報」にまとめた。

水路要報の表では、佐喜ノ浜から高知までの前回の測定年は記されていないが、測定値があるので必ず前回の

測定年もわかるはずである。海上保安庁海洋情報部海の相談室では「平均水面および基本水準面一覧表」を閲覧することができた。しかし原本と思われるこの冊子には多数の付箋が付けられており、ページを見開いても元に戻すのが困難だった。幸いなことに「日本水路史 1871-1971」（海上保安庁水路部，1971）には調査報告が要領よくまとめられていた。第2表の中で「前回の測定年 | 日本水路史」は、その年に測定地名が記載されていた年である。

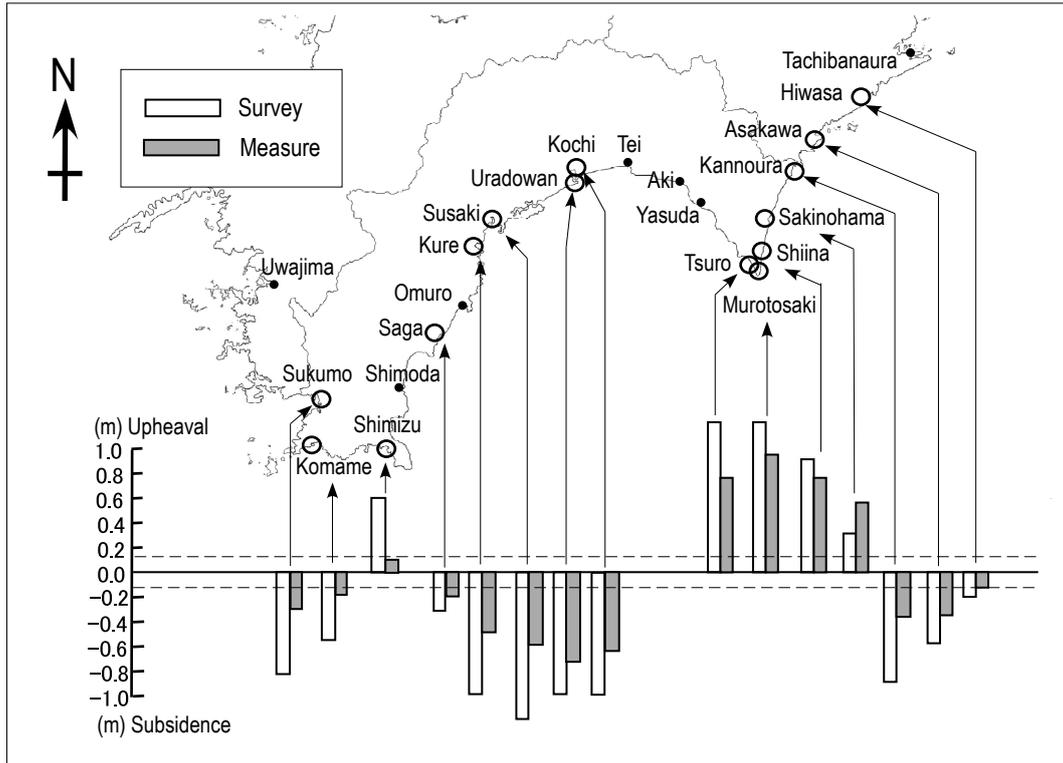
撫養から高知まで13か所のうち7か所は判明したが、残る6か所は測定年と地名の1対1の対応は無い。しかし「日本水路史 1871-1971」の169ページの表には以下の記載がある。「昭和2年(1927) | 海岸測量 | 由良至日和佐・橋浦至室戸埼(各全)・・・以下略」,「昭和3年(1928) | 海岸測量 | 室戸埼至子ノ首埼(全)・浦戸湾至高知(1/2)

第2表 各調査地点における調査値，測定値及び前回の測定年

Table.2 Survey value, measurement value and year of last measurement at each survey point.

No.	調査地名	Survey point	調査値(m) Survey value (m)	測定値 (m) Measurement value(m)			水路局が測定した水準標番号 Bench mark No. measured by Hydrographic bureau	前回の測定年 Last measurement year	
				基本水準標 Hydrographic bench mark	水上岩 / 干出岩 Rock above water / Rock which covers and uncovers	地理調査所水準標 Geographical bench mark		水路要報 Hydrographic bulletin	日本水路史 Hydrography in Japan
1	撫養	Muya	-0.1 O			-0.04	302		
2	小松島	Komatsujima	? O		-0.2 / -0.3			1927(s2)	
3	橋浦	Tachibanaura		-0.24	-0.1			1943(s18)	1927(s2)
4	日和佐	Hiwasa	-0.2 O			-0.12	5100		1927(s2)
5	浅川	Asakawa	-0.6 F		-0.9 / -0.6	-0.36	5113	1927(s2)	
6	甲浦	Kannoura	-0.9 F	-0.44	-0.3 / -0.4	-0.38	5121	1943(s18)	
7	佐喜ノ浜	Sakinohama	0.3 F			0.53	5131		
8	椎名	Shiina	0.9 F			0.77	5136		
9	室戸埼	Murotosaki	1.2 H			0.96	5140		1928(s3)
10	津呂	Tsuro	1.2 F			0.78	* 5142		
11	安田	Yasuda	0 O			-0.27	5157		
12	手結	Tei	-0.7 F						
13	高知	Kochi	-1 O			-0.65	5003		1928(s3)
						-0.68	5004		
						-0.69	5005		
14	浦戸湾	Uradowan	-1 F	-0.72	-0.6 / -0.7			1928(s3)	1928(s3)
15	新宇佐	Shin usa	-0.9 F						
16	須崎	Susaki	-1.2 H	-0.67		-0.6	4673	1928(s3)	
17	久礼	Kure	-1 H		-0.5 / -0.5		* 4668	1928(s3)	
18	小室	Omuro	-0.9 H						
19	佐賀	Saga	-0.3 H			-0.2	4644		
20	上川口	Kamikawaguchi	-0.9 H		0		* 4641	1928(s3)	
21	下田	Shimoda	0.6 H						
22	下ノ加江	Shimonokae	0.6 H						
23	以布利	Iburi	0.6 H						
24	清水	Shimizu	0.6 H	0.1	0.2 / 0.3 / 0.4			1912(T1)	
25	古満目	Komame	-0.6 H		-0.2			1928(s3)	
26	宿毛	Sukumo	-0.9 H	-0.31			4619	1944(s19)	1936(s11)
27	宇和島	Uwajima	-0.6 H			0.06(*)	4589	1928(s3)改	
28	吉田	Yoshida	0 H		-0.2			1928(s3)改	
29	八幡浜	Yahatahama	0 H	-0.23	0			1928(s3)改	

- ・ 調査値の右の列で、Fは漁業会、Hは水路局、Oはその他町役場等による調査を示す。
- ・ 水準標番号のうち * の水準標の位置は水路要報の附図に記載されていないため、地名または測定された水上岩 / 干出岩に最も近い水準標を採用した。
- ・ 測定年のTは大正、Sは昭和年号。改は海図改訂年を示す。



第3図 調査地点を示す地図。○印の地点では調査値と測定値を棒グラフで示す。グラフの中の細い点線は調査値の誤差 (+/-0.15m) を示す。佐喜ノ浜以外は測定値より調査値のほうが大きいことに注目。

Fig.3 A map showing the survey points. Two kinds bar at open circle(○) show the survey and measurement value, respectively. Thin dotted lines indicate the error level (+/-0.15m) of survey value. It is noticed that the survey values are greater than the measurement values, except that of Sakinohama.

第3表 前回の測定年が判明した調査及び測定地点。表中(a),(b),(c)は、第1図-(2)のそれらと同じ。

Table.3 Survey and measurement points that the last year of measurement are able to estimated. (a), (b), (c) in the table corresponds to that in figure 1-(2).

測定及び調査地点 Measure and survey point	測定値(a) 単位:m Measurement value(a) unit:m	調査値(b) 単位:m Survey value(b) unit:m	c=a-b	地理調査所 水準標番号 Geographical survey BM Number	前回の 測定年 Last year of measurement	地震までの 期間(t)年 Year untill main shock
Hiwasa	-0.12	-0.2	0.08	* 5101	1927	19
Asakawa	-0.36	-0.6	0.24	* 5112	1927	19
Kannoura	-0.38	-0.9	0.52	5121	[1927]	[19]
Sakinohama	0.53	0.3	0.23	5131	[1927]	[19]
Shiina	0.77	0.9	-0.13	5136	[1927]	[19]
Murotosaki	0.96	1.2	-0.24	5140	1928	18
Tsuru	0.78	1.2	-0.42	5142	[1928]	[18]
Kochi	-0.65	-1	0.35	5003	1928	18
Uradowan	-0.72	-1	0.28	5002	1928	18
Susaki	-0.6	-1.2	0.6	4673	1928	18
Kure	-0.5	-1	0.5	4668	[1928]	[18]
Saga	-0.2	-0.3	0.1	4644	[1928]	[18]
Shimizu	0.1	0.6	-0.5	—	1912	34
Komame	-0.2	-0.6	0.4	—	1928	18
Sukumo	-0.31	-0.9	0.59	* 4620	1936	10

* 日和佐・浅川・宿毛の水路局測定の水準標は移転または改埋されたため、ひとつ隣の水準標での成果値を採用

・ 前回の測定年の[]内の年代は推定した年

…以下略」。これらを見ると1927年（昭和2年）には橋浦（たちばなうら）から室戸崎まで、四国の東海岸を測量していることから、第2表で地名の出でこなかった佐喜ノ浜や権名の前回の測量は1927年だったと推定される。1928年（昭和3年）は、室戸崎から子ノ首崎となっているが、子ノ首崎は現在の地形図にも昭和初期の地形図にも見当たらない。しかし同年には浦戸湾から高知を、また水路要報によれば浦戸湾から西のほぼ全域が1928年の測量となっていることから、室戸崎と浦戸湾の間に位置する津呂、安田、手結も1928年の測定と推定される。

第2表「前回の測定年 | 水路要報」に記載されている甲浦(1943)と宿毛(1944)は、「日本水路史 1871-1971」には当該年度の記載はない。甲浦は橋浦と室戸崎の間にあり、佐喜ノ浜や権名と同様1927年と推定した。宿毛については昭和11年（1936年）の海岸測量の記載中に「四国西岸宿毛港付近」とあるので、測定値は1936年との差と推定される。以上の資料を基に前回の測定年を第3表にまとめた。そのうちカッコ付は上述のように推定した年度である。

3.4 誤差及び地理調査所の水準標

測定年度、測定値 (a)、調査値 (b) の3つが分かれば、第1図-(2)に示した図を描くことができる。しかし測定値において最大0.2 m (+/-0.1m)、調査値において0.3m (+/-0.15m)は誤差とされているので、各値がそれ以下の地点は作図からは除外することにした。また当時の地理調査所の水準路線は清水、古満目を通っていなかったため、この2か所については第1図-(1)を描くことができず、この2点も除外せざるを得ない。

第2表に示した水準標は、日和佐、浅川においては1929年に、宿毛は1938年に、それぞれ移転または改埋されているため、第3表では改埋などがなされていない隣接の水準標における成果値を採用した。このことは、水路局の測定値が第2表に記載された水準標で得られた値にもかかわらず、地理調査所の成果値は第3表に示した別の水準標で得られた値ということであり、上記3地点については異なった地点の値を結合させたことになる。しかし、それぞれの水準標番号を第2表と第3表で比較すれば分かるように、いずれも隣接の水準標であり、一般に水準測量の路線距離にして2kmしか離れていない。この程度の距離であれば誤差を超える違いはないと思われる。実際、高知では隣接する3つの水準標での測定値が得られているが（第2表）、相隣り合う水準標で得られた測定値は0.03m、0.01mしか違ってない。

津呂で採用したBM5142とその周辺の水準点は1931年の測量の翌年の1932年に改埋設されている。水準点が変わった場合は、その年の測量成果値を零として、それ以降の変動曲線を描くことになる。それまでの変動曲

線と繋ぐためには欠測期間の値を何らかの方法で推定しなければならない。津呂のように1年後に測量されたような場合は、それ以前の曲線か以降の曲線を1年間外挿しても大きな誤差は生じないと考えられる。ここでは1898年-1931年の変動を1年外挿し1932年の値とし、それ以降の変動曲線と繋いだ。

3.5 上下変動曲線

前節までに述べたいくつかの条件を満たして、第1図-(3)に相当する図を描くことができるのは第4表に示した13個所であり、これを第4図に示した。地震時に大きく隆起した室戸岬付近の権名、室戸崎、津呂の3地点では、1930年代に一時的に隆起するものの、全体として地震前までは大きく沈降している。この沈降傾向は四国東岸の日和佐、浅川、甲浦など地震時の沈降域においても共通してみられる。佐喜ノ浜の地震時の変動は室戸岬付近の3地点と同じく隆起だが、地震前の傾向は北側の3地点、すなわち地震時の沈降域の変動曲線に似ている。ヒンジラインに近い佐喜ノ浜での上下変動の時系列は、本震前のスロースリップの空間分布を推定する際の重要な拘束条件となると思われる。高知以西の6地点においては、四国東部で見られた長期間の沈降傾向は見られない。一方1930年代初めからの隆起は、変化の小さい佐賀を除いて四国東部の浅川、甲浦によく似ている。

すべての地点に共通して見られるのは1930年代の隆起である。この隆起を示す1930年代のふたつのプロットは地理調査所の成果値であり、水準測量における累積誤差の懸念が持たれる。この点に関しては4-2節でチェックする。室戸岬の3地点と変動の小さい日和佐、佐賀を除けば、1930年初めからの隆起は1940年代には非常に大きくなっている。隆起が大きくなったことは事実だが、その速度については4-4節で改めて議論する。

本節で得られた13地点の1898年から1946年の地震直前までの累積上下変動量を地図上に示したのが第5図-(1)である。また変動が大きく進展したとみられる1939年から地震直前までの変動量を示したのが第5図-(2)である。空間分布全体を見ると、室戸岬付近など地震時の隆起域では地震前は沈降しており、逆に地震時の沈降域では地震前には隆起域となっていることがわかる。第5図-(1)の日和佐は周辺とセンスが異なるが、第4図を見てわかるように、1930年までの沈降量が、それ以降地震直前までの隆起量より大きいためである。

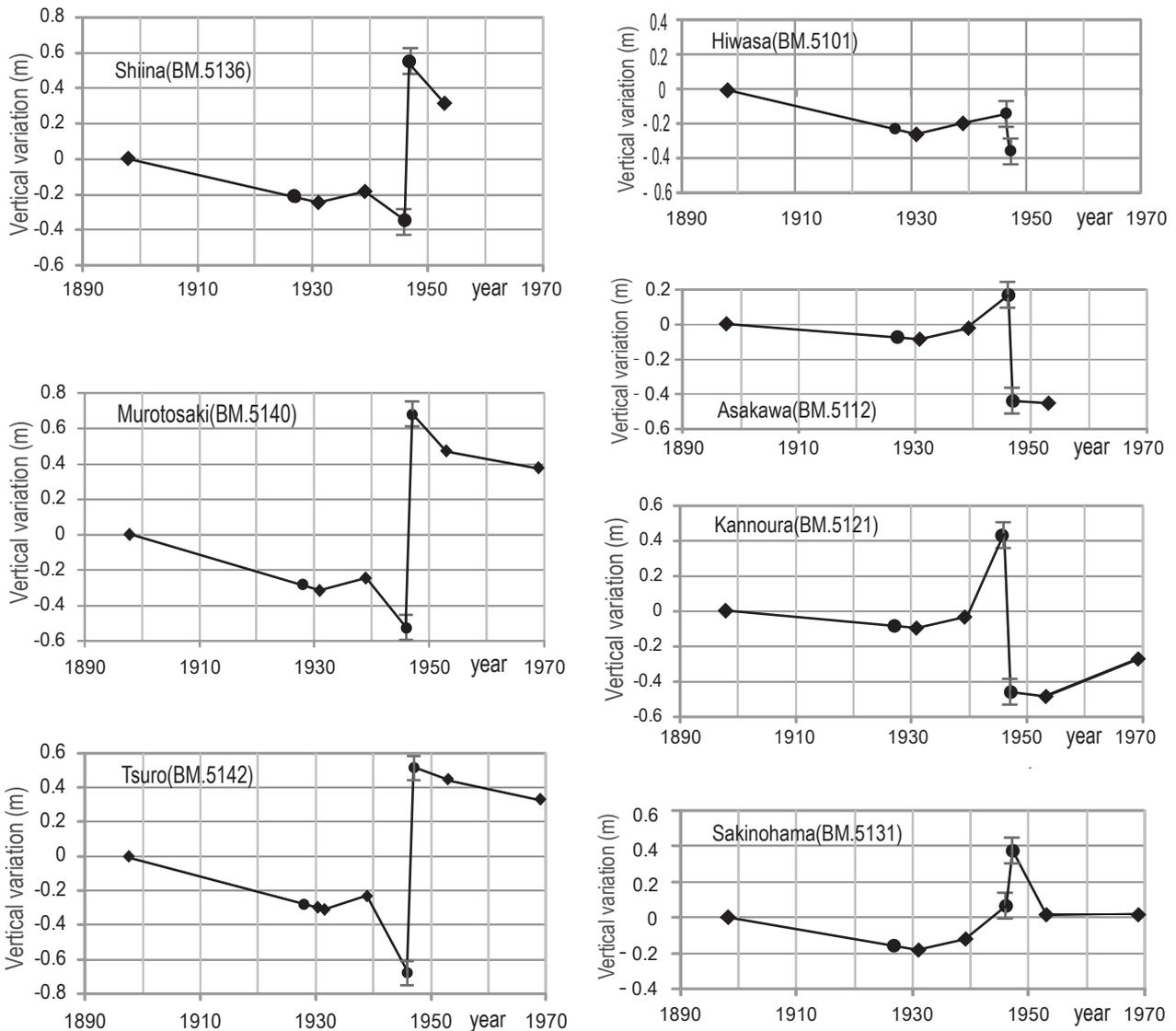
第5図の基になった数値を第5表に示した。地理調査所の成果値は小数点以下4桁まで記載されているので、第4表ではそれに習ったが、本研究ではmm以下の精度は無いので、第5表では小数点以下3桁まで表示している。以下も同様に地理調査所の成果値に関する表では小数点以下4桁まで、それ以外は小数点以下3桁までを記載している。

第4表 1898年を零とした各地点の各年の上下変動値. 第1表-(3)に対応する.

Table.4 The vertical value at each point in each year, which is assumed as a zero with the a value of 1898. The table corresponds to the table 1-(3)

year	Sukumo BM.4620	Saga BM.4644	Kure BM.4668	Susaki BM.4673	Uradowan BM.5002	Kochi BM.5003	Tsuro BM.5142	Murotosak iBM.5140	Shiina BM.5136	Sakinohama BM.5131	Kannoura BM.5121	Asakawa BM.5112	Hiwasa BM.5101
1898	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1927									-0.219	-0.1635	-0.084	-0.0758	-0.224
1928		-0.0094	0.0108	0.0154	-0.0148	-0.0185	-0.2715	-0.2813					
1931		-0.0103	0.0119	0.0169	-0.0163	-0.0203	-0.2986	-0.3094	-0.2492	-0.1861	-0.0955	-0.0863	-0.2547
1932	0.0161						* -0.3076						
1936	0.0447												
1939	0.0944	0.064	0.1069	0.0974	0.0594	0.0551	-0.2431	-0.2447	-0.1856	-0.1236	-0.0354	-0.0315	-0.1995
1946	0.592	0.0906	0.5108	0.615	0.2652	0.332	-0.6915	-0.5213	-0.349	0.0664	0.436	0.164	-0.144
1947	-0.265	-0.209	-0.489	-0.585	-0.7348	-0.668	0.5085	0.6787	0.551	0.3665	-0.464	-0.4358	-0.344
1953	-0.1801	-0.1878	-0.6403	-0.5672	-0.6349	-0.6411	0.4374	0.4802	0.3103	0.0185	-0.4806	-0.4489	
1965	0.0229	0.0244		-0.3706									
1969	-0.0962	-0.0935				-0.6258	0.3362	0.3771	1.1377	0.0135	-0.2747		

* 津呂の1932年の値は外挿値



第4図 四国太平洋沿岸13カ所の上下変動曲線.

Fig.4 Vertical variation curves at 13 points on Pacific coast in Shikoku.

4. 議論

4.1 調査地点と水準標の位置

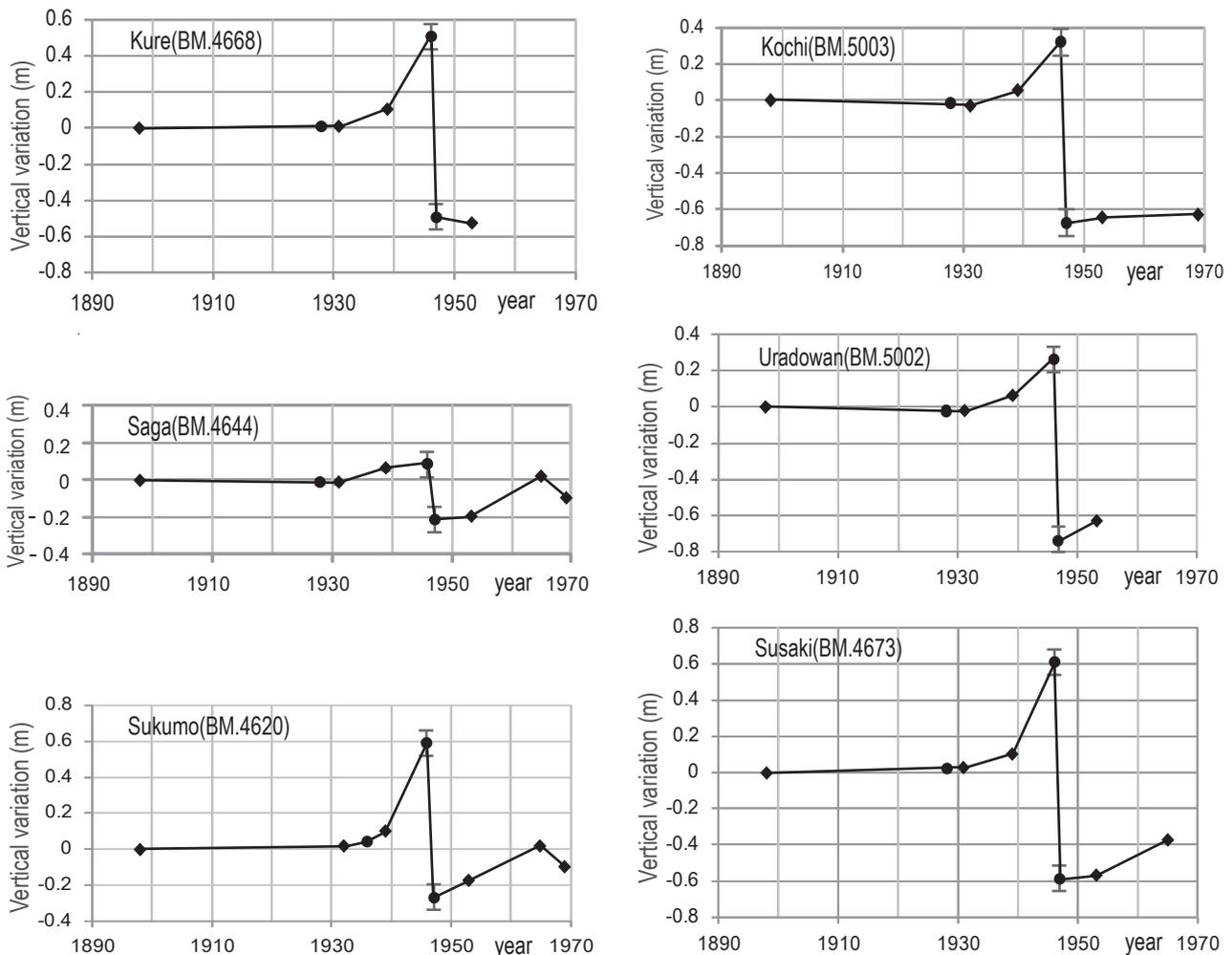
測定値を得た水準標は、第2図に示した須崎の例のように、各港湾において最も海に近いところが採用されている。しかし浦戸湾に関しては地理調査所的水準標は海からかなり離れている（第6図）。水路局による調査地は御豊瀬であり、測定値も同地の基本水準標（HBM）で得られている（第2表）。これを地理調査所的水準標の成果値と結合させるために約6.5km離れた水準標5002の値を採用した。高知の変動曲線（第4図）と比べて著しい相違はないことから、同じ変動傾向を示す地域（隆起域または沈降域）内ならば、この程度の距離があっても結果に大きな影響は及ぼさないものと思われる。

高知に関しては3つの水準標（第6図）での測定値（第2表）が水路要報に示されている。地震時の変化を示す調査値は「港の奥部の岸壁等の状況からして-1メートル」と同要報に記載されているが、この記述から調査地

点は、国分川と鏡川との合流付近（第6図で逆三角印で示した付近）と推定される。本論では調査地に最も近い水準標5003での値を採用した。第2表に記載されているように5003の測定値に対して5004,5005のそれとの差は0.03m, 0.04mしか変わらず、第4図の変動曲線に関しては充分、誤差の範囲内である。なお第6図で、逆三角印の南にある南北に長い島は、水路要報の図によれば1947年当時は干潟だったようである。

4.2 地理調査所の基準点

地理調査所の成果値の誤差は、一般的に水路局による調査値の誤差（ $\pm 0.15\text{m}$ ）に比べてずっと小さいと考えられている。しかし3-5節でも触れたように、1930年代の変動は、地震時の隆起域・沈降域にかかわらず、13カ所すべてで隆起している。地理調査所的水準標における成果値は東京の日本水準原点を基準にしており、広域にわたって同じ傾向の変動があることは累積誤差の懸念が持たれる。累積誤差をチェックするためには1930年



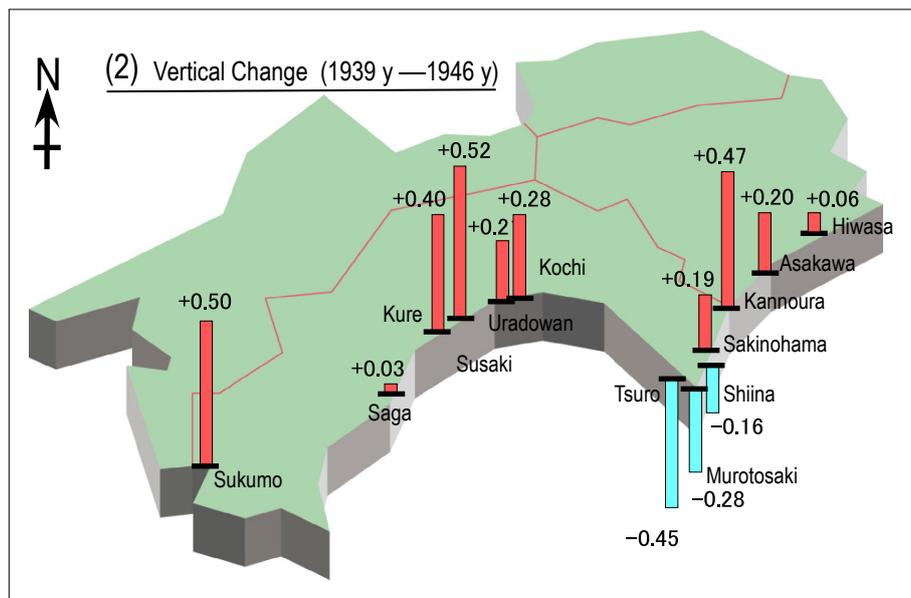
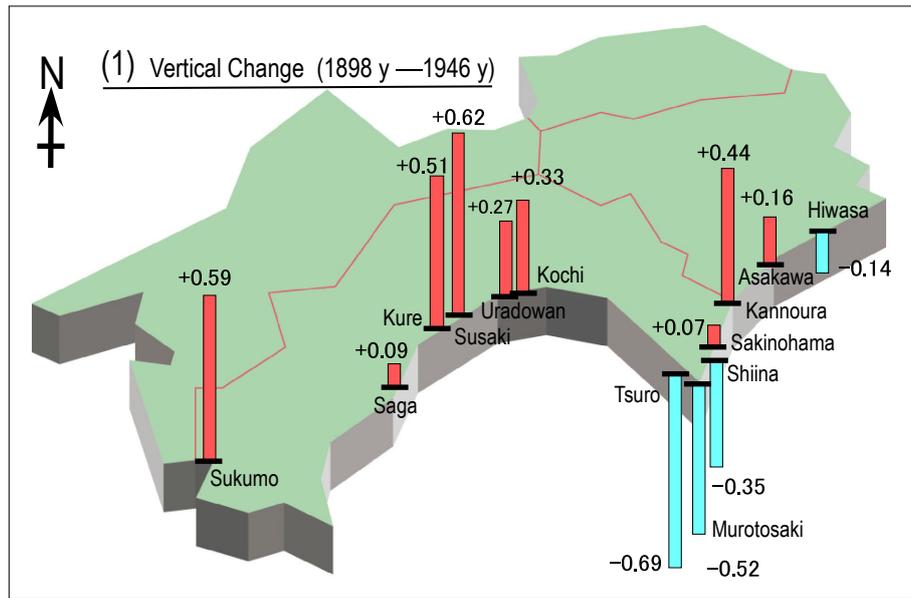
第4図 続き.

Fig.4 Continued.

第5表 1898年—1946年と1939年—1946年の各地点の上下変動値

Table.5 The values of vertical changes during (1)1898-1946 and (2)1939-1946 at each point.

	Sukumo BM.4620	Saga BM.4644	Kure BM.4668	Susaki BM.4673	Uradowan BM.5002	Kochi BM.5003	Tsuro BM.5142	Murotosak iBM.5140	Shiina BM.5136	Sakinohama BM.5131	Kannoura BM.5121	Asakawa BM.5112	Hiwasa BM.5101
Difference Value of 1898- 1946	0.592	0.09	0.511	0.615	0.265	0.332	-0.692	-0.521	-0.349	0.066	0.436	0.164	-0.144
Difference Value of 1939- 1946	0.498	0.027	0.404	0.518	0.206	0.277	-0.448	-0.277	-0.163	0.19	0.471	0.196	0.056



第5図 (1)1898年—1946年と(2)1939年—1946年の上下変動値を示す地図。

Fig.5 A map showing the values of vertical changes during (1)1898-1946 and (2)1939-1946.

代に変動のなかった地点を基準とした四国当該地域の変動を見るのが適当と考えられるが、本論では四国太平洋沿岸部の測量成果に基づいた議論をしているので、その範囲内で可能なチェックを試みる。

地震時に大きく隆起した室戸埼と、逆に大きく沈降した高知市のほぼ中間に位置し、地震時には変動しなかったとされる安芸市を基準に1930年代の上下変化を検討する。安芸市のBM5163は調査値がゼロであり、3-4節の初めに述べた条件、すなわち調査値がその誤差(+/-0.15m)を超えていないため、日本水準原点を基準とした変動曲線図(第4図)には採用していないが、第7図、第6表にそれを示した。地震時のみならず他の期間

全体を見ても安芸の変動は小さいことがわかる。第4図で1930年代の隆起が目立った椎名、室戸埼、津呂の3地点について、安芸BM 5163を基準とした変動曲線と数値表をそれぞれ第8図、第7表に示した。第4図に見られた1930年代の隆起は、第8図では横ばいになっているが、変動曲線全体としては、第4図の椎名、室戸埼、津呂のそれらによく似ている。1931年以前の沈降傾向が、同年を境にそれまでと違い、やや反転するような変動があったことは確かである。このことで上述の累積誤差の懸念を払拭したことはないが、この年代にそれまでの変動が変化したことは確かと思われる。



第6図 高知及び浦戸湾周辺の地図。数字付の四角印は地理調査所の、2重四角は水路局の基本水準標位置を示す。逆三角印は水路要報(1948)の記述から推定した調査地点。基の地図は(財)日本地図センター、25000段彩影画像による。

Fig.6 Map showing Kochi and Uradowan area. Squares with numerals and double square indicate the points of bench mark of the Geographical survey and the Hydrographic Bureau, respectively. A reverse triangle shows the survey point estimated from the description in the hydrographic bulletin(1948). Map quoted from the colure image map of the Japan map center.

第6表 日本水準原点を基準とした安芸 (BM.5163) の上下変動値

Table.6 Vertical variation value at Aki(BM.5163) which referred to the Japanese vertical datum origin.

year	Combined value (m)
1898	0
1928	-0.063
1931	-0.0693
1939	0.0004
1946	-0.333
1947	-0.333
1953	-0.257
1969	-0.2178

第7表 安芸 (BM5163) を基準とした椎名, 室戸崎, 津呂の上下変動値

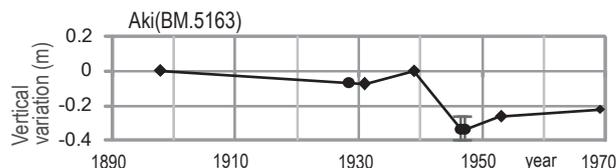
Table.7 Vertical variation value at Shiina, Murotsaki and Tsuru which assumed Aki(BM.5163) as a standard.

year	結合値(m) Combined value(m)		
	Shiina BM.5136	Murotsaki BM.5140	Tsuru BM.5142
1898	0	0	0
1928	-0.164	-0.218	-0.208
1931	-0.18	-0.2401	-0.229
1939	-0.186	-0.2451	-0.244
1946	-0.294	-0.458	-0.448
1947	0.606	0.742	0.752
1953	0.567	0.7372	0.694
1969	—	0.5949	0.554

4.3 海水面の変動

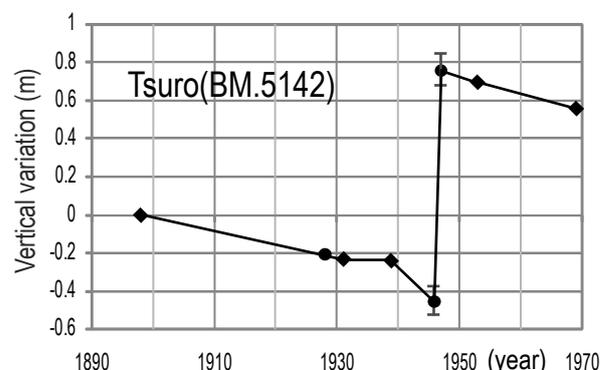
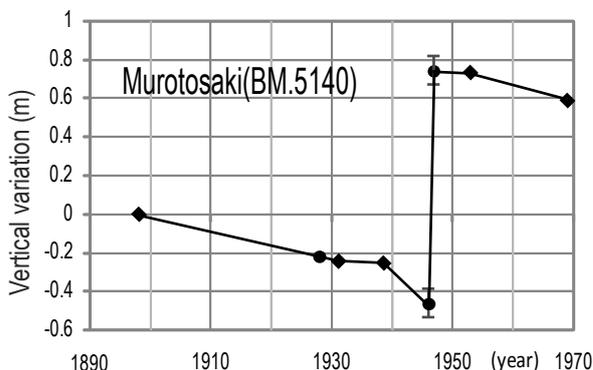
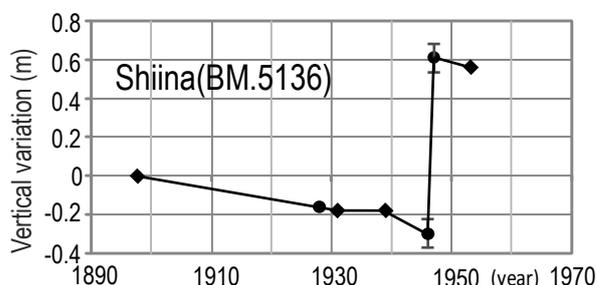
水路局の測定値は各港湾や漁港における海水面を基準としている。地理調査所の成果値は前述のように日本水準原点を基準としているが、原点は東京湾平均海面が基準となっている。2節の方法で述べたように、変動曲線は水路局が得た値を嵩上げすることによって地理調査所の成果値に結合させて描いている。この操作は水路局の測定値も東京湾平均海面を基準としたことに他ならない。調査値を成果値に乘せるための嵩上げ量は誤差の範囲内として扱ってきたが、基準を変えているという点ではデータの取扱上、大きな違いがある。

地理調査所が地震直後から安芸を基準として室戸岬周辺の変動を測量していたことにより、陸上の測量から得られた同調査所による本震直後の隆起量と、水路局による海水面を基準とした調査値や測定値から得られた室戸岬のそれとの比較ができる。地理調査所と本研究の共通、あるいは隣接する測定点は津呂、室戸崎、椎名、佐喜ノ浜及び甲浦の5か所ある。地震予知連絡会報第78巻「9-3. 中国・四国地方の地殻変動」の第4図(国土地理院,



第7図 日本水準原点を基準とした安芸 (BM.5163) の上下変動曲線

Fig.7 Vertical variation curve at Aki(BM.5163) which referred to the Japanese vertical datum origin.



第8図 安芸 (BM5163) を基準とした椎名, 室戸, 津呂の上下変動曲線

Fig.8 Vertical variation curve at Shiina, Murotsaki and Tsuru which assumed Aki(BM.5163) as a standard.

第 8 表 本研究と地理調査所による本震直後の変動値の比較. いずれも安芸 (BM.5163) を基準として得られた変動値.

Table.8 A comparison of the vertical variation value obtained by this study and Geographical Survey Institute. Each value was obtained just after the 1946 Nankai earthquake, as a standard at Aki(BM.5163).

St. / BM.No.	Tsuru		Murotosaki	Shiina		Sakinohama	Kannoura
	5142	5141	5140	5136	5137	5131	5121
This study (m)	0.75		0.74	0.61		0.42	-0.4
Geographical survey (m)		0.62	0.74		0.61	0.29	-0.21

2007 年) から読み取った地震直後の 5 か所の値と本研究でのそれを水準標番号と共に第 8 表に示した. 津呂と椎名は水準標がずれているが, 4-1 節で述べたように相隣る水準標における成果値の違いは本節での議論においても問題ないと考える.

室戸崎と椎名は同じ値を得ており, この 2 点だけを見ると海面変化の影響は受けていないばかりか, 水路局の測定値や調査値は非常に精度が高いように見える. しかしながら, 津呂と佐喜ノ浜はいずれも 0.13 m だけ本研究の隆起量が大きく, 甲浦は逆に 0.19m だけ本研究の沈降量が大きい. このように近接地点において両者の差が, 隆起または沈降のいずれか一方にずれていないことは, ずれの原因が海面変化の影響だとしても, 共通のつまり広域の海面変動ではなく, 港湾ごとの極めて局所的な海面変化に起因するものと思われる.

以上は室戸岬周辺での結果だが, 四国太平洋沿岸全域での長期間での海面変動はどのくらいあったのだろうか. 1890 年代から潮位記録が得られているのは四国の近くでは, 串本 (和歌山県串本町) と細島 (宮崎県日向市) がある. ここでは第 4 図 (第 4 表) と同じ期間について, 細島の験潮記録を海岸昇降検知センター (2010) のホームページからダウンロードし, 第 9 図, 第 9 表に示した. 水路局が得た調査値と測定値は, いずれも南海地震の翌年の 1947 年を基準としているので, 同年の海面と他の年のそれとを比較する必要がある. 前年の 1946 年の海面との差 0.078m がもっとも大きい. この差は一見南海地震の影響のように見えるが, 小林・他 (2002) が本震前後の毎時間の潮位を調べたところ, 津波の影響がなくなった本震の半日後には潮位が元に戻っていることから, 地震時の地殻の上下変動は無かったか, あったとしても数 cm 未満としている. 従って, この潮位差が本論で議論している四国の太平洋沿岸部でもあったとすれば, 変動曲線 (第 2 図, 第 4 図) において 1946 年のプロットはすべて, 0.078m だけ上方にシフトさせる必要がある.

しかしながら, もともと海面変動に関連した測定値 (a) では $\pm 0.1\text{m}$, 目視による調査値 (b) では $\pm 0.15\text{m}$ の誤差を見込んでおり, 変動曲線図で 1946 年と 1947 年の

データに付した $\pm 0.15\text{m}$ のエラーバーの範囲内に上述の 0.078m が入ること, 細島における海面との差 (0.078m) が四国の太平洋沿岸に適用できるのかどうか, 我々は判断するだけの知識を持っていない, などから本論では上述の補正はしないこととした.

測定値 (a) についても同様のことが言えるが, 1947 年の海面に対して 1927 年, 1928 年, 1936 年との水位差はそれぞれ, 0.035m, 0.008m, 0.015m である. これらの水位差は, いずれも 3-2 節で述べた水路局の測定誤差 0.1m ~ 0.2m にくらべて充分小さく, 補正の必要はないと思われる.

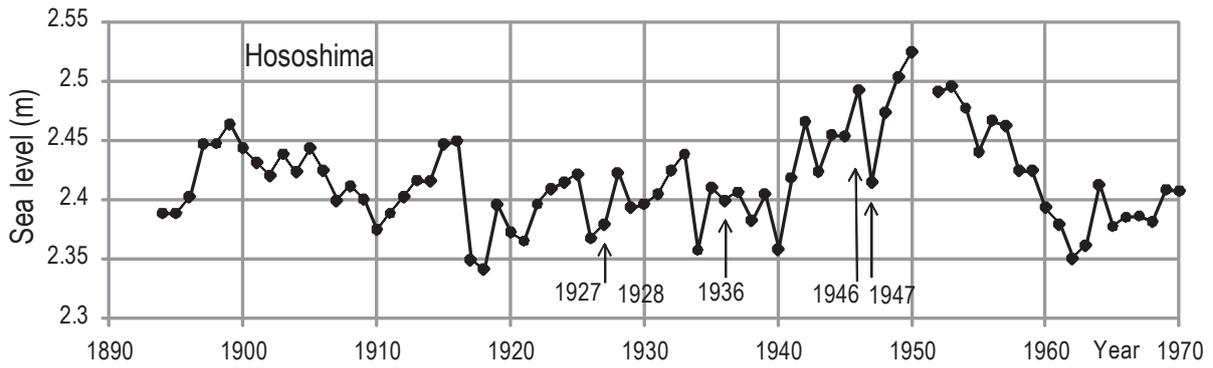
4.4 上下変動の加速

長期間の上下変動曲線を描いた第 4 図では, 1939 年から 1946 年間の変動も直線で結んであるが, その勾配はいずれも急であり, 変動速度が非常に大きいように見える. 須崎の場合, この 7 年間の隆起量は 0.518m だが, 隆起速度に換算すると 0.074m/年という大きな隆起速度になってしまう. 年間 7cm 余りも隆起すれば, 当然漁業関係者は気付くはずである. しかし実際に多くの住民が異変に気付いたのは本震の直前である.

「本震の 1 週間前に井戸水が空になった, あるいは前夜から直前にかけて海水が大きく引いた」と言う証言は, 証言集 (例えば, 高知県須崎市 (1995), 中村不二夫 (2009)) 等に多く見られる. これらの証言は, 異常な隆起が数年前から直線的に進行したというより, 第 10 図に模式的に点線で示したように直前に急激に加速して行ったことを強く示唆している. 我々の次の重要な課題は, 上下変動に関連する目撃証言を収集し, 可能な限り定量化すること. それを本論で得られた長期の変動曲線と結合させ, 直前までの上下変動曲線を完成させることである.

5. まとめ

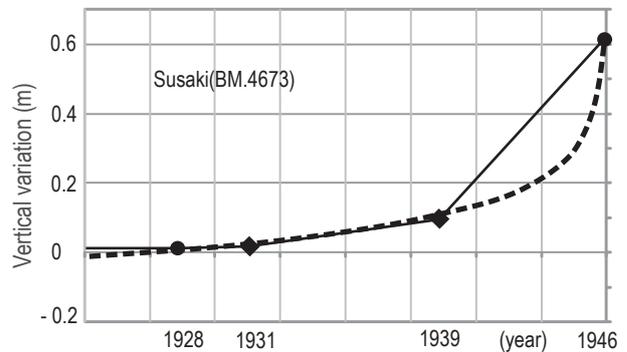
1946 年南海地震前の四国太平洋沿岸での地殻の上下変動を, 地理調査所の測量成果値と水路局の調査値及び測定値を結合させることによって求めた. 陸上における測量は南海地震の前後ともに 7 年間はなされていなかったが, 本論で提唱した方法によって本震の直前直後の



第9図 細島における潮位の経年変化
Fig.9 Secular variation of sea level at Hososhima.

第9表 細島の潮位
Table.9 Sea level at Hososhima.

year	sea level (m)
1898	2.448
1927	2.38
1928	2.423
1931	2.405
1932	2.425
1936	2.4
1939	2.405
1946	2.493
1947	2.415
1953	2.496
1965	2.378
1969	2.409



第10図 須崎における1928年から1946年までの上下変動曲線。直線的に変化したのではなく、点線で示したように、上下変動は直前に加速したと思われる。
Fig.10 Vertical variation curve from 1928 to 1946 at Susaki. The vertical movement did not change linearly, but it might be accelerated just before the 1946 Nankai earthquake as shown by dotted line.

データを加えることが出来た。ただ水路局の調査値は地震時の変動量を目視によって得たものであり、最大で0.3m(+/-0.15m)の誤差がある。また地理調査所の測量成果値は日本水準原点を基準とした値であるのに対し、水路局の測定値は該当する地点での海面を基準としている。後者を前者に結合させたことは、後者の基準点を前者の基準点に合わせたことになる。海面の変動に関しては細島(宮崎県日向市)の驗潮記録を基にチェックしたが、調査値の誤差(+/-0.15m)および測定値の誤差(+/-0.1m)を超えるものではなかった。

上下変動の曲線図は四国太平洋沿岸の13地点で求められた。変動曲線図全体を見ると、室戸岬付近など地震時の隆起域では地震前は沈降しており、逆に地震時の沈降域では地震前には隆起域となっている。ヒンジラインに近い佐喜ノ浜の変動は興味深く、地震時は室戸岬付近の3地点と同じく隆起だが、地震以前はむしろ北側の地震時沈降域の変動に似ている。得られた変動曲線図の全地

点で見られた1930年代の隆起については日本水準原点からの累積誤差が懸念された。地震時に変動のなかった安芸を基準として描いた室戸岬の3地点の変動曲線にも同年代に変動の変化が見られ、累積誤差の量的評価はできなかったものの、この時期にそれまでと異なった変動が始まっていたことは確認できた。

室戸岬付近の3地点と、変動の小さい日和佐、佐賀を除けば、地震前に隆起速度が加速している。ただ本論で描いた図は1939年と1946年の値を単純に直線で結んでいるだけで、その直線の勾配が変動速度を表すものではない。変動が大きく加速したのは年単位ではなく、1週間前から、あるいは数日前からのようである。地震直前の地下水の異常低下や海面の変化に関する証言を基に、1週間前から数時間前までの変動曲線を描き、本論の長期間の上下変動曲線に繋ぎたいと考えている。このようにして得られる変動曲線は、次の南海地震前の予測曲線を描く際に重要な基礎資料になると考えている。

謝辞：国土地理院情報サービス館では基準点成果閲覧など、多くの便宜をはかっていただいた。海上保安庁海洋情報部海の相談室では海図の閲覧や測定年代について多くのご教示をいただいた。第五管区海上保安本部海の相談室においても水路要報の記述などについてのご教示をいただいた。編集委員並びに査読者行谷佑一氏のコメントと指摘は文章改善に非常に有効でした。本研究を支援していただいた地震・地下水チームの小泉尚嗣チーム長はじめチームの皆様へ感謝します。

文 献

- Itaba, S., Koizumi, N., Matsumoto, N. and Ohtani, R. (2009) Continuous Observation of Groundwater and Crustal Deformation for Forecasting Tonankai and Nankai Earthquakes in Japan. *Pure Appl. Geophys.*, **167**, 1105-1114
- 海岸昇降検知センター (2010) 日本列島沿岸の年平均潮位 (1894～) = 数値表。
<http://cais.gsi.go.jp/cmdc/center/annual.html>
- 海上保安庁水路部 (1971) 日本水路史 1871-1971. 日本水路協会発行, 97-237.
- 気象庁 (2003) 東海地震に関する新しい情報発表。
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/20030728tokai.pdf>
- 北川有一・板場智史・武田直人・小泉尚嗣 (2009) 地殻歪観測による短期的ゆっくり滑りのモニタリング。地質ニュース, **662**, 55-59.
- 高知県須崎市 (1995) 海からの警告—南海地震・チリ地震津波録—。須崎市企画課編集, 151p.
- 小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫・佐藤務・大谷竜・北川有一・板場智史・梅田康弘・武田直人・重松紀生・桑原保人・佐藤隆司・今西和俊・木口務・関陽児・塚本斉・山口和雄・加野直巳・住田達哉・風早康平・高橋正明・高橋浩・森川徳敏・角井朝昭・下司信夫・中島隆・中江訓・大坪誠・及川輝樹・星野真 (2009) 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点整備について。地質ニュース, **662**, 6-10.
- 国土地理院 (2007) 中国・四国地方の地殻変動。地震予知連絡会報, **78**, 527-532.
- 国土地理院 (2009) 水準点平均成果表。
- 国土地理院 (2010) 基準点・測地観測データ 基準点成果閲覧。<http://sokuservice1.gsi.go.jp/datums/>
- 小林昭夫・吉田明夫・真砂礼宏 (2002) 潮位記録から推定される 1946 年南海地震時およびその後の地殻変動。測地学会誌, **48**, 259-270.
- 中村不二夫 (2009) 南海地震は予知できる。高知新聞企業, 301p.
- Miyabe N. (1955) Vertical earth movement in Nankai district. *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **5**, 1-14.
- 大谷竜・板場智史・北川有一・佐藤務・松本則夫・高橋誠・小泉尚嗣 (2009) 産総研地下水等総合観測網による東南海・南海地震の仮想的プレスリップの検出能力の評価。地質調査研究報告, **60**, 511-525.
- 水路局 (1948) 昭和 21 年南海大地震調査報告 (地変及び被害編)。小向良七編, 水路要報増刊号 **201**, 1-117.
- 梅田康弘・重富國宏・尾上謙介, 浅田照行・細義信・近藤和男・橋本学・木村昌三・川谷和夫・大村誠 (2010) 南海地震前の井戸水の低下について一次の南海地震の予知に向けて—。地震 ii, **63**, 1-10.

(受付: 2010 年 9 月 21 日; 受理 2011 年 3 月 11 日)