

## 1944年東南海地震及び1946年南海地震時の海水位変化を利用した 紀伊半島沿岸部における上下変動時系列の推定

梅田康弘<sup>1,\*</sup>・板場智史<sup>2</sup>

Yasuhiro Umeda and Satoshi Itaba (2018) Estimation of time series of the vertical deformations using the sea level changes at the 1944 Tonankai and the 1946 Nankai earthquakes on the coastal area of Kii peninsula. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 69 (2), p. 81-89, 5 figs, 4 tables.

**Abstract:** On the coastal area of Kii peninsula, there is no leveling data just before the 1944 Tonankai and 1946 Nankai earthquakes, because the leveling by Geospatial Information Authority of Japan have been carried out around 1930 and 1947. Therefore, it has been impossible to separate the vertical deformations caused by each earthquake. The co-seismic vertical changes of both earthquakes were obtained from the sea level changes at the time of both earthquakes by the Hydrographic Bureau. The time series of the vertical deformations before and after both earthquakes were obtained by combining two kinds of data by two institutes. The southeastern area of Kii peninsula subsided at the time of the 1944 Tonankai earthquake and the subsidence continued until the 1946 Nankai earthquake. The upheaval by the 1946 Nankai earthquake recovered the amount of subsidence before the earthquake. Because the tide station of Kushimoto was broken by the 1946 Nankai earthquake, it was impossible to connect the sea level data before and after the earthquake. The vertical deformation was obtained by subtracting the long term change in mean sea level from the yearly average sea level. The continuous vertical deformation was obtained by superimposing the deformation thus obtained on the time series by the leveling at Kushimoto.

**Keywords:** 1944 Tonankai Earthquake, 1946 Nankai Earthquake, vertical deformation, Kii Peninsula

### 要 旨

紀伊半島沿岸部における国土地理院の水準測量時期は1930年前後と1947年であり、1944年東南海地震及び1946年南海地震の直前のデータは無いため、それぞれの地震による変動を分離できない。一方、水路局では精度は劣るものの両地震時の上下変動を海水位の変化から調査している。これら2機関による2種類のデータを組み合わせることによって、紀伊半島沿岸部における両地震前後の上下変動時系列を求め、それぞれの地震による変動を分離した。紀伊半島東南部では1944年東南海地震で沈降し、その後も1946年南海地震前までは沈降が継続していたこと、1946年南海地震では1944年の地震とそれに続く沈降量に匹敵する程度の隆起があったことがわかった。また、串本では1946年南海地震の津波により検潮所が倒壊し、潮位データが繋がっていなかったが、年平均潮位データから平均海面の長期変化を補正して推

定した上下変動を、水準測量から得られた上下変動に重ね合わせ、繋がりのある上下変動時系列を求めた。

### 1. はじめに

前回の南海トラフ地震の前に、地殻変動がどのように推移していったかを知ることは、次の南海トラフ地震の予測にも必要なことと考え、これまでに目撃証言なども検討して1946年南海地震の前及び直後の地殻変動を、四国太平洋沿岸部において求めてきた(梅田・板場, 2011)。紀伊半島では1944年東南海地震と1946年南海地震による地殻変動があったが、国土地理院による水準測量の実施は、2回の地震の前と後であったため、水準測量からは、それぞれの地震による変動が分離できない。

一方、各地の漁業会や役場などでは、目視による海水位の変化から両地震時の上下変化を推定しており、水路局(現在の海上保安庁海洋情報部)(1948)では、それらを

<sup>1</sup>産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 客員研究員 (Visiting researcher of AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology)

<sup>2</sup>産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology)

\* Corresponding author: Y. Umeda, Daigo Nishioji-cyo 128-10, Fushimi-ku, Kyoto, 601-1374, Japan, Email: umedaya@nike.eonet.ne.jp

第1表 地震に伴う上下変動の調査値。調査値の欄のFは漁業会，Oはその他町役場等，空欄は水路局による調査を示す。

Table 1 Survey values of vertical deformations due to earthquake. F, O and blank column in survey value means the survey by the fishery council, government office etc. and Hydrographic Bureau (HB), respectively.

No.	調査地	Survey area	調査値 (m)				水準点 番号 BM. No.
			Survey value (m)				
			1944 Tonankai		1946 Nankai		
1	鳥羽	Toba	-0.6	F	0.3	F	
2	尾鷲	Owase	-0.6	O	?	O	4777
3	三木浦(尾鷲市)	Mikiura (Owase C.)	-0.7	F	0.4	F	
4	泊(熊野市)	Tomari (Kumano C.)	-0.6	F	0.6	F	4798
5	新宮	Shingu	-0.6	O	?		
6	勝浦	Katsuura	-0.6	F	?	F	4973
7	浦神	Uragami	-0.6	F	0.6	F	4979
8	串本	Kushimoto	-0.3	F	0.9	F	9221
9	潮岬	Shionomisaki	?	O	0.6	O	
10	周参見	Susami	0	O	-0.6	O	
11	白浜	Shirahama	0	O	-0.3	O	
12	文里	Mori	0	F	-0.6	F	
13	田辺	Tanabe	—		-0.6	O	4928
14	印南	Inami	—		-0.6	F	
15	紀伊由良	Kii-yura	—		0		4905
16	下津	Shimotsu	—		0	F	
17	加太	Kada	—		0		279

聞き取りによって取りまとめている。梅田・板場(2011)は、水路局がまとめた地震時の上下変動量と国土地理院による水準測量結果を組み合わせることによって、1946年南海地震による四国太平洋沿岸部の上下変動の時間変化を求めた。本稿では四国の場合と同様に、ふたつの機関による上下変動データを組み合わせ、紀伊半島沿岸部における両地震前後の上下変動時系列を求める。

## 2. 資料

### 2.1 水路局の資料

水路局では1946年南海地震発生の翌月(1947年1月)から太平洋沿岸の、主に港湾・漁港において、水深変化や土地の隆起・沈降を調査又は測定し、その結果を水路要報増刊号(水路局, 1948)の「地変及び被害編」に記載している。また同要報の付表No.4「地盤の昇降に関する調査並びに測定値」には数値データがリストアップされている。「測定値」は水準点などを基準とした前回の測定と地震後のそれとの差である。「調査値」は地震時の上下変動量を海水位の変化から目視によって得たもので、2回の地震とも聞き取り調査である。「測定値」はほとんどの地点で2回の地震の間に測定がなされておらず、データ数

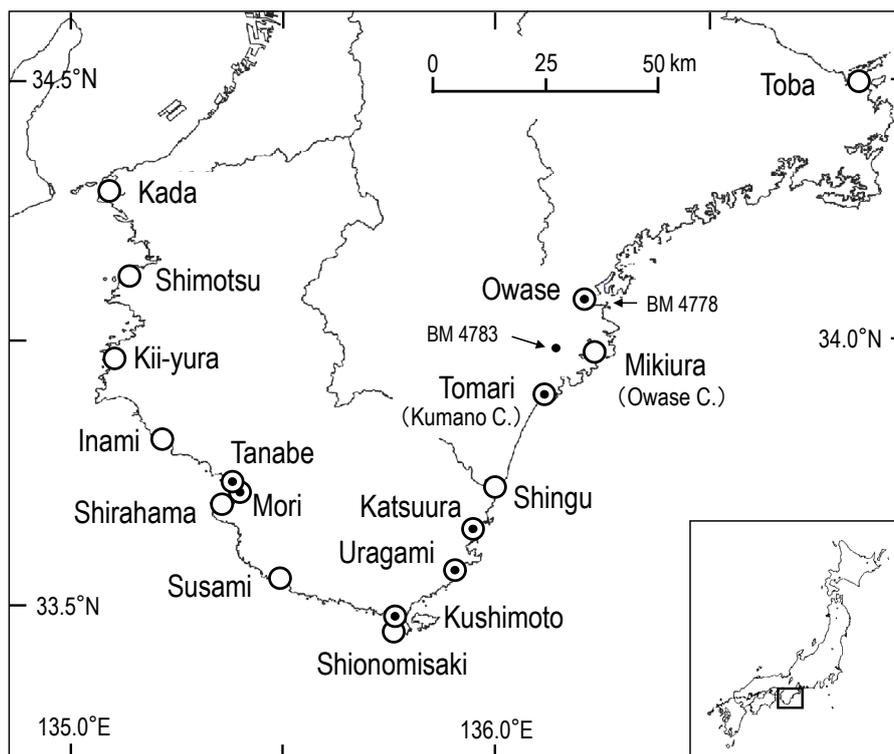
も少ないため、本稿では「調査値」を利用する。水路要報の付表から紀伊半島の「調査値」を抜き書きして第1表に示した。同表で、調査地は水路要報に記載されている地名であり、位置は第1図に示した。同表で、両地震の調査値の右に記した「F」は漁業会、「O」は町役場や港湾施設からの聞き取り、ブランクは水路局による調査であることを示している。

調査値と、次節で述べる国土地理院による水準測量の成果値と結ぶため、第1表の右端の欄に水準点番号を記した。この水準点番号は水路要報には直接記載されていないが、同要報の分図として各港湾・漁港の地図があり、その中に測定に利用した水準点が「地水点」または「陸水点」として記入されているので、その位置を国土地理院(2016a)の「基準点成果等閲覧サービス」によって確認して記載した。なお水路要報では「水準標」と記載されているが、本稿では国土地理院に合わせて「水準点」またはBMを用いる。

調査値の誤差は0.1～0.3mと水路要報に記されているが、本稿では0.3mを最大誤差として採用する。

### 2.2 国土地理院の資料

国土地理院による水準測量データは同院のホームペー



第1図 水路局による調査地点。●は近傍に水準点がある所。BM.4783とBM.4778は三木浦(尾鷲市)のレファレンス点。

Fig. 1 Survey points by the Hydrographic Bureau (HB). The symbol ● indicates the point where bench mark is near. BM.4783 and BM.4778 are the reference points of Mikiura (Owase C.).

第2表 水準測量平均成果値。単位はメートル(m)。第2図に対応。

Table 2 Leveling result at each bench mark (BM.). Unit is meters (m). The table corresponds to Fig. 2.

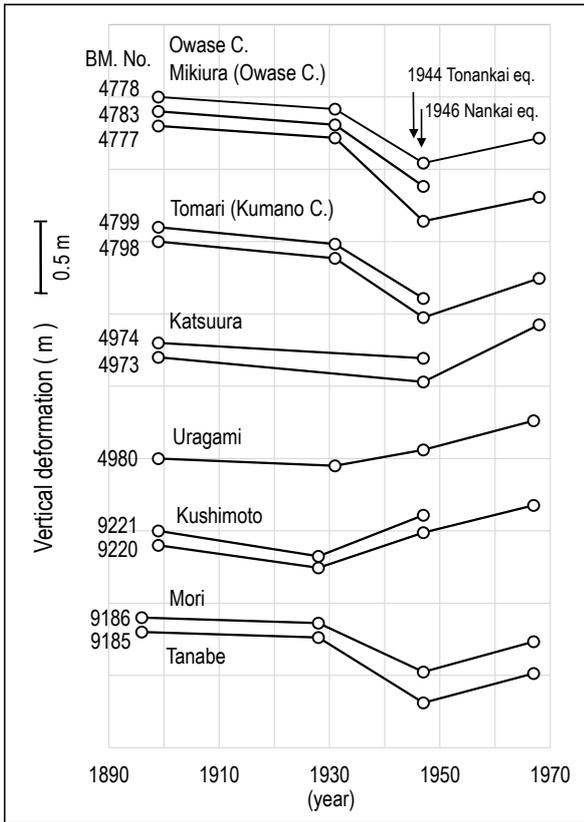
Area BM. No. year	Owase		Mikiura (Owase C.)	Tomari (Kumano C.)		Katsuura		Uragami	Kushimoto		Mori	Tanabe
	4777	4778	4783	4798	4799	4973	4974	4980	9220	9221	9186	9185
1896											0.000	0.000
1899	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
1926												
1928									-0.155	-0.176	-0.038	-0.037
1931	-0.082	-0.084	-0.092	-0.115	-0.117			-0.050				
1947	-0.659	-0.457	-0.518	-0.525	-0.493	-0.171	-0.107	0.060	0.088	0.108	-0.376	-0.489
1967								0.262	0.276		-0.167	-0.286
1968	-0.494	-0.285		-0.254		0.226						

ジ(国土地理院, 2016b)でも公開されているが, 本稿では日本水準原点を基準とした水準点平均成果(以降では「水準点成果」または単年度の数値を示す場合は単に「成果値」と呼ぶ)を, 国土地理院より謄本交付(例えば, 国土地理院, 2016c)によって入手した。水準点の移設や再設などの理由で成果値が繋がらない点もある。謄本にはそれらの履歴も記載されていることから, 第1表の水準点番号を中心に検索し, 繋がりが困難な場合は最寄りの

水準点成果も取得した。

用いた期間は最初の測量がなされた1890年代から1968年までである。各地点における水準点成果を第2表に, その時系列図を第2図に示した。図, 表とも, 最初の測量年の成果値を基準(ゼロ)としている。

尾鷲市三木浦付近には水準測量路線がないので第1表では空欄になっているが, 一番近い水準点BM.4783は西に8.3 km 離れている(第1図)。水路局の調査地と水



第2図 水準測量平均成果値による上下変動時系列. 左側の数字は水準点番号.

Fig. 2 Time series of vertical deformations by levering results at each bench mark. BM.No. in left side indicates the number of bench mark.

水準点の距離が離れすぎると異なった変動となる恐れがある。BM.4783の成果値は1947年までの3回分しかないが、同年までの変動については尾鷲の他の2つの水準点(BM.4777とBM.4778)もほぼ同じ変動をしており(第2図)、尾鷲周辺一帯はほぼ同じ変動だったと考えられる。

浦神と申本も隣接水準点を採用したが、水路部が測定した水準点からは、浦神で1.76 km、申本で1.6 km 離れている。第2図には、浦神を除く5か所の水準点について、隣接する水準点の変化も示したが、隣接点の場合はほぼ同じ変動を示していると考えてよい。

田辺は第1表ではBM.4928、第2表ではBM.9185と、水準点番号の数字は飛んでいるが、両者の直線距離は2.04 kmである。文里は第1表での水準点は空欄になっているが、水路要報(1948)の地図(分図No.15「文里」)で確認のうへ、文里の水準点BM.9186を第2表に記した。この水準点と田辺(BM.9185)とは同じ田辺湾の隣接点である。

第2図で全体の変動傾向を見てみると、1944年東南海地震以前の1930年頃までは緩やかな沈降傾向にあり、1946年南海地震以降はいずれも隆起傾向が見て取れる。

一方、両地震を含む1930年頃から1947年までの変動は地域によってまちまちである。

### 3. 上下変動時系列

#### 3.1 海水位変化を利用した上下変動時系列

前節で述べた水準点成果に、海水位の変化から求められた地震時の上下変化を繋いで上下変動時系列を作成する。そのためには1944年東南海地震の直前と、1946年南海地震直後の値が必要であるが、前者についてはそれ以前の水準点成果を外挿、同様に後者についてはそれ以降の水準点成果を外挿することによって求める。

具体的な例を浦神について記述すると(第3表と第3図のUragamiを参照)、前節で述べた1899年から1931年までの水準測量による変動傾向が1944年まで続いていたと仮定し、その勾配で1944年東南海地震前まで外挿する。その値が第3表、Uragamiの1944 Be行の-0.070 mであり、第3図では左側のグレーの丸印になる。水路局の調査によって1944年東南海地震時には0.6 m沈降している(第1表)ので、地震直前の値から沈降量を引いたものが地震後の値で、第3表の1944年Afの行に示した-0.670 mであり、第3図では左側の黒丸である。

1946年南海地震直後の値は、成果値のある1947年から1967年の勾配を、時間軸では逆に1946年まで1年外挿し、第3表の1946 Af 行の0.050 mを得、第3図では右側のグレーの丸印となる。1946年南海地震時には0.6 m隆起している(第1表)ので、地震前の値は隆起量を引いた-0.550 mとなり、第3表では1946 Beの行、同図では右側の黒丸である。1944年東南海地震の直後から1946年南海地震直前までの上下変動は余効変動のため緩和的かもしれないが、観測値がないためここでは直線で結んだ。

以上の方法を適用するには、2回の地震それぞれの変動がわかっている必要があるが、第1表に示したように、どちらかの地震の変動が不明な尾鷲、勝浦、田辺には適用できない。残る5地点について、上記の方法を適用し上下変動の時系列を求め、第3表及び第3図に示した。同図で白丸は成果値、グレーの丸は外挿によって求めた推定値である。グレーの丸と黒丸との間の長さが地震時の変動量であるが、目視による調査値であることから0.3 mの誤差棒を黒丸の方に付けてある。

紀伊半島の東岸では1944年東南海地震時には沈降しているが、その沈降量に匹敵するくらい、2年後の1946年南海地震では隆起したことがわかる。紀伊半島の西側の文里が他の地点と異なる変動時系列図になっているのは、1944年東南海地震では変化が認められず、1946年南海地震で沈降したためである。

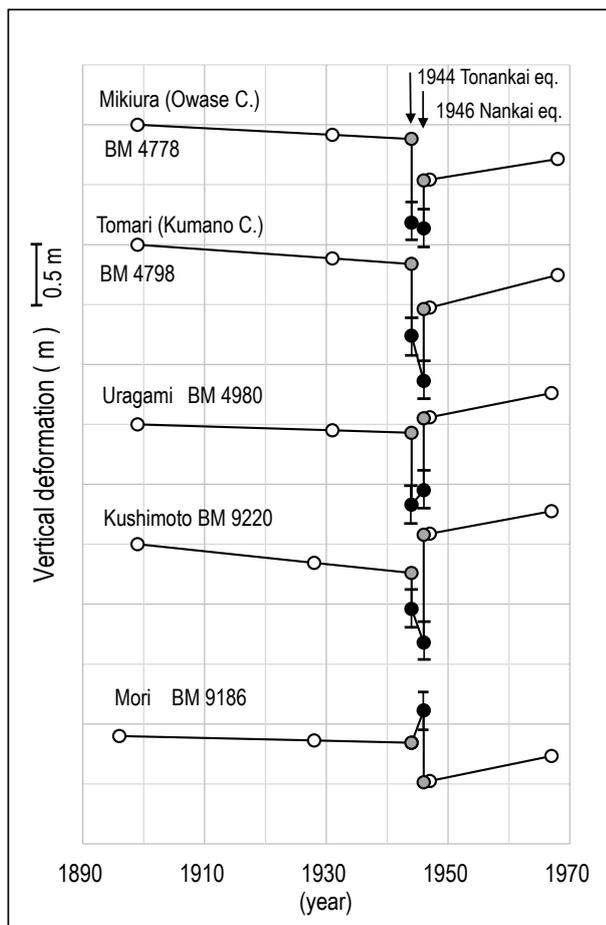
#### 3.2 上下変動時系列の修正

前節では東南海地震直前と南海地震直後の値を、前

第3表 地震時の変化を考慮した上下変動時系列値. 単位はメートル(m). 1944 Be と 1944 Af は1944年東南海地震の前と後, 1946 Beと1946 Afは1946年南海地震の前と後を示す. 第3図に対応.

Table 3 Time series values of vertical deformations considering co-seismic changes. Unit is meters (m). 1944 Be, 1944 Af and 1946 Be, 1946 Af indicates before and after of the 1944 Tonankai and 1946 Nankai earthquake, respectively. The table corresponds to Fig. 3.

Area BM. year	Mikiura (Owase C.) BM 4778	Tomari (Kumano C.) BM 4798	Uragami BM 4980	Kushimoto BM 9220	Mori BM 9186
1896					0.000
1899	0.000	0.000	0.000	0.000	
1928				-0.155	-0.038
1931	-0.084	-0.115	-0.050		
1944 Be	-0.118	-0.162	-0.070	-0.241	-0.057
1944 Af	-0.818	-0.762	-0.670	-0.541	-0.057
1946 Be	-0.865	-1.138	-0.550	-0.822	0.214
1946 Af	-0.465	-0.538	0.050	0.078	-0.386
1947	-0.457	-0.525	0.060	0.088	-0.376
1967			0.262	0.276	-0.167
1968	-0.285	-0.254			



第3図 地震時の変化(水路局による調査値)を考慮した上下変動時系列. 白丸は水準測量平均成果値, グレー丸は外挿値, 黒丸は調査値. 調査値の黒丸には0.3 mの誤差棒が付けてある.

Fig. 3 Time series of vertical deformations considering co-seismic changes (survey values obtained by the Hydrographic Bureau (HB)). Open, gray and closed circle indicates leveling result, extrapolated and survey value, respectively. Error bar of 0.3 m is attached to each closed circle which is the survey value.

後の変動勾配から単純に外挿によって求めたが、両地震の後には緩和的な余効変動が指摘されている(例えば、Thatcher and Rundle, 1979). 1947年から1967/68年の平均的な変動勾配をもとに外挿した場合、地震直後の急激な余効変動を過小評価する恐れがある。

浦神については小林ほか(2002)が、串本については壇原(1970)が潮位記録をもとに、両地点の地殻変動を議論しているため、それらを参考に前節の変動時系列の修正を試みる。

修正結果は第4表と第4図に示したが、それら図表に基づいて、まず浦神の修正方法を説明する。壇原(1970)は平均海面の永年変動を補正して1890年から1942年までの串本の沈降速度を求めた。それを基に小林ほか(2002)は、浦神における1930年から1944年東南海地震直前までの14年間の変動を、5 cm の沈降と推定した。前節で外挿した1931年から1944年東南海地震直前までは、この変動勾配(-0.05 m/14 y)で進行していたとし、1899年を基準として地震直前の値-0.096 mを求めた(第4表のUragamiの1944 Beの行、第4図で左のグレーの丸)。この値から水路局による1944年東南海地震時の沈降量0.6 mを引いたのが同地震直後の値 -0.696 m(同表の1944 Afの行、同図で左側の黒丸)である。

1946年南海地震以降について、小林ほか(2002)は同地震の余効変動により地震直後から1947年の水準測量までに、浦神では0.25 m 程度の隆起があったと推定している。この値を採用すれば、1946年南海地震直後の値は、1947年の水準点成果値から0.25 mを引いた -0.19 mとなる(第4表の1946 Afの行、第4図右のグレーの丸)。水路局の調査では1946年南海地震時に0.6 m隆起しているため、地震直前の値は、地震直後の値から隆起量を引いた-0.79 m(同表の1946 Beの行、同図の右の黒丸)となる。

前節の第3図と比較すると、1944年東南海地震前までの沈降はほとんど変わらない。地震直前の値は、前節では-0.070 m、修正した本節では-0.096 mで、その差は0.026 mと僅かである。一方、東南海地震以降、南海地震までの2年間は、前節では隆起だったのが、修正後は沈降と、大きく変わっている。これは南海地震後の余効変動を考慮したためである。

串本についても浦神と同様の方法で修正を行った。1944年東南海地震以前は、壇原(1970)が求めた串本の沈降速度(-4.2 mm/y)で1928年から同地震直前まで沈降が進行していたとして、地震直前の値 -0.222 m(第4表のKushimoto の1944 Beの行、第5図では左のグレーの丸)を求めた。

残念ながら串本の検潮場は南海地震の津波によって破壊されたため、地震直後から1947年の水準測量までの余効変動を知る潮位データはない。本稿では小林ほか(2002)による浦神での1947年までの余効変動量として、0.25 m の隆起を串本についても採用する。串本は浦神か

ら約15 km 離れており、震源域にも近いので、この採用には問題があるかもしれないが、この点については後の5節で議論することとし、ここでは1946年南海地震直後の値は、1947年の水準点成果値から0.25 mを引いた-0.162 m(第4表の1946 Afの行、第4図の右のグレーの丸)とする。

1944年東南海地震直後と1946年南海地震直前の値は、それぞれの地震の直前と直後の値から、水路局の調査による前者は沈降量(0.3 m)を、後者は隆起量(0.9 m)を、いずれも差し引いた値となる(第4表の1944 Afと1946 Beの行、第4図で左右ふたつの黒丸)。

前節の時系列図(第3図)と比較すると、1944年東南海地震前までの沈降は浦神同様、わずかな修正にとどまっており、直前の値である1944 Be の修正前と後の差は0.019 m に過ぎない。一方、東南海地震以降の沈降量(第4表で1944 Af と1946 Be の差)は、南海地震後の余効変動を考慮したため、前節で推定された沈降量0.28 m(第3表で1944 Af と1946 Be との差)の2倍近い0.54 mと、大きな沈降量が推定された。

#### 4. 串本の潮位データを上下変動時系列に重ねる

前節でも述べたように串本の検潮場は南海地震によって破壊されたため、同地震の前と後の潮位データは繋がらなくなっている。この節では、地震前と後の潮位データを上下変動に変換したうえで、前節で得られた串本の上下変動時系列図に重ねることによって、繋がりのある変動時系列図を作ることを試みる。

##### 4.1 平均海面水位の長期変化を除去し上下変動を求める

観測された潮位データは、気象や海況など様々な要因による海面変動の影響を受けているが、ある海域の複数の潮位データに共通する長期間の変動は気象や海況などによる「平均海面水位の長期変化」と考えられ、それを除去することによって、ある検潮場の上下変動を知ることが可能とされている(津村, 1963)。加藤・津村(1979)は、1950年以降の潮位データに10年の Low Pass フィルターをかけて気象や海況による共通偏差を除去した後、全国の検潮所における地盤の長期変化を推定した。

気象庁(2018)によれば、日本沿岸の海面水位の長期変化傾向には、10年から20年周期の変動があることが指摘されている。ここでは串本の潮位データから気象庁(2018)の「日本沿岸の海面水位の長期変化傾向」の5か年移動平均値を差し引くことによって、海面水位の長期変化を除去することとする。

串本の年平均潮位データは、気象庁(2016)からは1925年以降が公表されているが、海岸昇降検知センター(2016)では1896年からの報告があるので、同センターのホームページからダウンロードした。なお1969年はデー

第4表 1944年東南海地震前後(1944 Be, 1944 Af)と1946年南海地震前後(1946 Be, 1946 Af)の値が修正された浦神と串本の上下変動時系列値。単位はメートル(m)。第4図に対応。

Table 4 Time series values of vertical deformations which the values of the 1944 Tonankai earthquake (1944 Be, 1944 Af) and the 1946 Nankai earthquake (1946 Be, 1946 Af) are corrected at Uragami and Kushimoto. Unit is meters (m). The table corresponds to Fig. 4.

Area BM. year	Uragami BM 4980	Kushimoto BM 9220
1899	0.000	0.000
1928		-0.155
1931	-0.050	
1944 Be	-0.096	-0.222
1944 Af	-0.696	-0.522
1946 Be	-0.790	-1.062
1946 Af	-0.190	-0.162
1947	0.060	0.088
1967	0.262	0.276

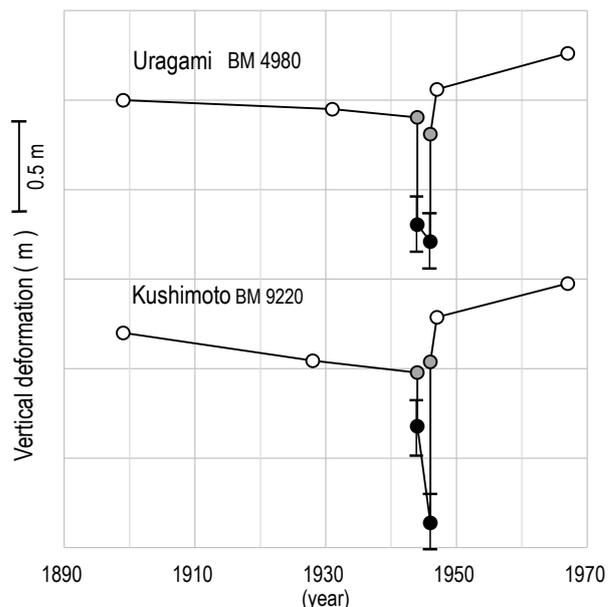
タが無いので、この年のみ気象庁(2016)のデータを利用した。

日本沿岸の海面水位の長期変化傾向は気象庁(2018)のホームページから各年の平均偏差値をダウンロードした。この偏差値の5か年の移動平均をとり、串本の年平均潮位データから差し引き、海面水位の長期変化が除去されたデータセットとした。この操作は、長期変化傾向が1959年以前と1960年以降とで、採用された検潮場の数が異なることから、前半と後半のふたつの期間で別々に行った。

以上の操作によって、長期的な海面水位の変化はある程度は除去されるが、5年以下の短い周期の変動は除去できない。次節以降では短い周期の変動は無視することとし、本節で得られた潮位データセットを上下反転させ、串本における上下変動とする。この変動を、第5図中では細い実線で繋いだ小さな黒丸で示した。

#### 4.2 時系列図に重ねる

前節で得られた串本の上下変動をシフトさせて、第4図の串本の上下変動時系列に重ねる。その際、前節で述べたように潮位から求めた上下変動は短周期の変動が大きいので、予め5年の移動平均をとり、水準測量が実施された年の成果値と、その年の移動平均値との差だけ全体をシフトさせる。



第4図 余効変動などを考慮した浦神と串本の上下変動時系列。白、グレー、黒丸の意味は第3図と同じ。

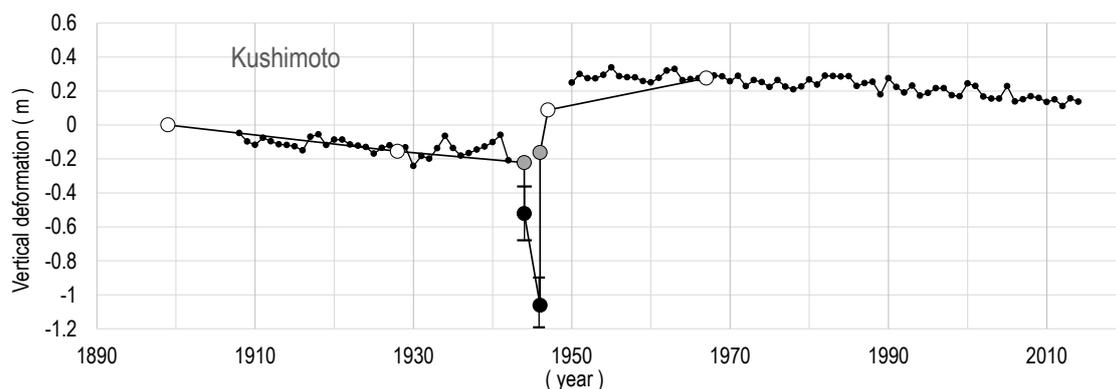
Fig. 4 Time series of vertical deformations considering co- and after seismic changes at Uragami and Kushimoto. The meaning of open, gray and closed circle is the same as in Fig. 3.

1944年東南海地震以前の上下変動時系列は、水準点成果値のある1928年の値-0.155 m(第4表の1928年の行)に合わせ、1950年以降の上下変動は、1967年の成果値0.276 m(第4表の1967年の行)に合わせた。このようにして得られたのが第5図である。大きな黒丸及びグレーと白丸の意味は第3図や第4図と同じである。

地震時の変動に0.3 mの誤差があり、この図からはあまり定量的なことは言えないが、1946年南海地震直後から1950年頃まで顕著な余効変動が続いていたようである。誤差については後述するとして、本節で述べた方法によって、2回の地震を含み潮位から推定された上下変動が繋がられたことには意味があると考えられる。

## 5. 議論

本稿では、水路局による調査値の誤差として、水路要報に記載されている0.1~0.3 mの最大値をとった。目視誤差の評価は難しいが、浦神と下津では1946年南海地震時の潮位記録があり、検証が可能である。小林ほか(2002)は潮位記録から、浦神は0.5 mの隆起、下津は0.2 mの沈降と推定した。水路局の調査値(第1表)は前者が0.6 mの隆起、後者は0 mだから、潮位記録から求められた値との差は、浦神で0.1 m、下津で0.2 mである。2地点ではあるが水路要報に記載されている誤差の範囲に



第5図 潮位データから推定された串本の上下変動(細い線で繋いだ小さい黒丸)を、第4図の串本の上下変動時系列図に重ねた図。白、グレー、黒丸の意味は第3図と同じ。

Fig. 5 Vertical deformation estimated from tidal data of Kushimoto (small closed circles connected by thin line) was superimposed on the time series of vertical deformation of Kusimoto in Fig. 4. The meaning of open, gray and closed circle is the same as in Fig. 3.

収まっている。

3.2節で、串本の南海地震後の余効変動量を小林ほか(2002)が求めた浦神のそれと同じと仮定したが、地震時の串本の隆起量(調査値)は浦神の1.5倍であることから過小評価している恐れがある。一般には地震時の変動量が大きければ余効変動も大きいと考えられるが、その割合は不明であること、串本に近い潮岬の調査値は浦神のそれと同じ0.6 mの隆起(第1表)であることから、必ずしも余効変動量を調査値に合わせて浦神の1.5倍にするわけにはいかない。もし余効変動量がもっと大きければ、南海地震直後の値が小さくなり(第4図の串本と第5図の右側の灰色と黒丸が下に下がり)、東南海地震後の沈降量がさらに大きくなる。

第3図及び浦神と串本については修正された第4図を見てわかるように、紀伊半島東岸では1944年東南海地震以降、すべての地点で沈降しているが、これは同地震の余効変動と考えられる。串本では余効変動が特に大きく2年間の沈降量は0.54 mにも達している。このような大きな沈降が継続していたらしいことを示唆する目撃証言もある。当時の串本国民学校の矢倉教官は、南海地震前の串本海岸の状況を「・・・地盤が次第に沈下し東海岸では砂浜が殆ど無くなり、満潮の時は波が県道まで達した」と証言しており(吉村, 1948; 和歌山県, 1963)、串本では1944年東南海地震以降も沈降が進行していたことをうかがわせる。

4.1節では、潮位データから平均海面水位の長期変化を除くことによって上下変動を求めたが、この手法が適切かどうかの検証は難しい。将来はGNSSによる上下変動と潮位とを比較することによって手法の検証、あるいは新しい手法が開発されることが望まれる。

紀伊半島東岸では1944年東南海地震時の沈降量の0.5～3倍も1946年南海地震時には隆起した。水準測量時期は2回の地震の前と後であることから、水準測量データだけを見ると2回の変動量が相殺されて、いずれの地震の変動も過小評価される恐れがある(例えば、Miyabe(1955)のFig.4)。特に1946年南海地震の隆起域は、少なくとも志摩半島の鳥羽まで達しており(第1表)、同地震の破壊過程を考える上で重要な事実といえよう。

## 6. まとめ

紀伊半島において、1944年東南海地震による変動と1946年南海地震によるそれとを分離した上下変動時系列を求めた。国土地理院による水準測量は両地震の前と後だったため、それぞれの地震の変動は分離できなかったが、水路局では目視による海水位の変化から両地震時の上下変動を推定しており、これら2機関による2種類のデータを組み合わせることによって、両地震を含む前後の上下変動時系列が求められた。目視から求めた上下変動は誤差も大きく、水準測量と繋ぐことには問題もあるが、ある程度の誤差評価をしたうえ、それを上回る変動ならば有意と考えられた。

上下変動の時系列は5か所で得られた。そのうち浦神と串本については小林ほか(2002)と壇原(1970)による研究結果を利用して補正した。その結果、紀伊半島東岸では1944年東南海地震時に沈降した以降も沈降が継続していたことがわかった。この継続的な沈降は同地震の余効変動と考えられた。

串本では1896年から潮位観測が行われていたが、検潮場が1946年南海地震の津波によって破壊されたため、

同地震前後のデータが繋がっていなかった。この年平均潮位データから日本沿岸の海面水位の長期変化を除き、上下反転させて串本における上下変動とし、先に求めた串本の上下変動時系列に繋いだ。誤差が大きく定量的な評価はできなかったが、不定だった串本の潮位データを、上下変動として繋げたことには意味があると思われる。

紀伊半島東岸では、1944年東南海地震時に沈降したことはよく知られているが、2年後の南海地震による隆起はあまり評価されていないようである。両地震を挟んだ水準測量データは、沈降と隆起とを相殺させていることも原因のひとつと思われる。南海地震時の隆起は少なくとも志摩半島にまで及んでおり、同地震の破壊過程を考える上で重要な点であることを指摘した。

**謝辞：**国土地理院地理空間情報部情報サービス課では水準測量平均成果について、また同院海岸昇降検知センターでは串本の潮位データについて、それぞれ貴重なご教示をいただいた。気象庁気象研究所の小林昭夫氏には論文改善に有効な査読を、また鈴木 淳編集委員長には原稿の最終チェックをしていただいた。ご協力いただいた各位に感謝します。

## 文 献

- 壇原 毅(1970) 日本における平均海面の永年変化とそれともなう問題点について. 測地学会誌, **16**, 1-8.
- 海岸昇降検知センター (2016) 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> (2016年3月10日参照).
- 加藤照之・津村建四郎(1979) 潮位記録から推定される日本の垂直地殻変動(1958～1978). 地震研究所彙報, **54**, 559-628.
- 気象庁(2016) 歴史的潮位資料+近年の潮位資料, [http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/sea\\_lev\\_var/sea\\_lev\\_var\\_his.php](http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/sea_lev_var/sea_lev_var_his.php) (2016年3月10日参照).
- 気象庁(2018) 日本沿岸の海面水位の長期変化傾向, [http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/a\\_1/sl\\_trend/sl\\_trend.html](http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/a_1/sl_trend/sl_trend.html) (2018年1月25日参照).
- 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.
- 国土地理院(2016a) 基準点・測地観測データ 基準点成果閲覧サービス, <https://sokuseikagis1.gsi.go.jp/top.html> (2016年3月10日参照).
- 国土地理院(2016b) 一等水準点検測成果集録 水準点変動図閲覧ページ, <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/level/KENSOKUSYUROKU/> (2016年3月10日参照).
- 国土地理院(2016c) 基準点測量成果等の謄本交付申請, <http://www.gsi.go.jp/MAP/HISTORY/kijyuntenkoufu.html> (2016年3月10日参照).
- Miyabe, N. (1955) Vertical earth movement in Nankai district, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, Vol.5, 1-14.
- 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号, 1-117. <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN5/> (第五管区海上保安本部海洋情報部 → 防災・環境保全情報 → 水路要報(昭和南海地震調査報告)復刻版(2018年1月26日参照)).
- Thatcher, W. and Rundle, J. B. (1979) A Model for the Earthquake Cycle in Underthrust Zones, *Jour. Geophys. Res.*, **84**, 5540-5556.
- 津村建四郎(1963) 日本沿岸の平均海面およびその変動の研究(I) - 潮位変化の地域分布 -, 測地学会誌, **9**, 49-79.
- 梅田康弘・板場智史(2011) 1946年南海地震前の四国太平洋沿岸の上下変動. 地質調査研究報告, **62**, 243-257.
- 和歌山県(1963) 和歌山県災害誌, 389p.
- 吉村 守(1948) 昭和紀伊洪浪の記「二, 地震直前と地震中の記録」. 同胞援護会和歌山県支部, 203p. <http://tsunami-dl.jp/document/053> (2015年6月30日参照).

( 受 付 : 2017年5月22日 ; 受 理 : 2018年4月27日 )

