

1946 年南海地震前の四国太平洋沿岸の上下変動曲線

梅田康弘*・板場智史

Yasuhiro Umeda and Satoshi Itaba (2013) Vertical variation curves on the Pacific coast of Shikoku before the 1946 Nankai earthquake. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 64 (7/8), p. 201–211, 7 figs, 3 tables.

Abstract: The long term vertical variations including 1946 Nankai earthquake have been obtained on the Pacific coast of Shikoku. However, the time of the datum just before the main shock was undefined, because it was obtained by human witness. From tidal record, the time was estimated to be between two high tides of which were the former spring tide and the day before the main shock. Within this time width, we proposed a logarithmic function to represent the vertical variation until the main shock. The time width was also confirmed by the witness testimonies for decrease of well water. We convert the decrease of well water to uplift of the ground. From the data of the time required for well water decrease and of the uplift of the ground, a gradient of the logarithmic function was estimated. The time width was limited from the vertical variation curves which were obtained from the level data of the Geographical Survey Institute and the gradient of logarithmic function. Finally, as a median of the time width, the time of the datum obtained just before the main shock was adopted to be 6.7days before the main shock. On the Pacific coast of Shikoku, the vertical variation curves until the main shock and the logarithmic functions as an approximate formula were determined. According to the function, it is estimated that in one month before the main shock, land has to 0.3m raised at Susaki, Kochi prefecture. This is consistent with witness testimony to say sea level has been reduced in Susaki bay.

Keywords: 1946 Nankai earthquake, vertical variation curve, Shikoku, well water, witness testimony

要 旨

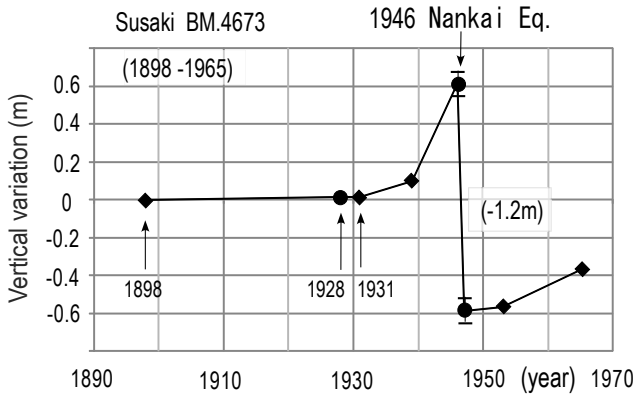
四国太平洋沿岸における 11 か所において、地理調査所（現在の国土地理院）による水準点測量成果と水路局（現在の海上保安庁海洋情報部）による資料を組み合わせ、1946 年南海地震直前までの地殻の上下変動曲線を求めた。水路局の資料のうち、「調査値」は地震時の上下変動量であるが、これは地震の前と後の潮位差を目視調査することによって得たもので、地震の前の何時の潮位と比べたかは不明である。本論では、この「調査値」の時刻を、潮位記録と目撃証言から推定した。後者については、目撃された井戸の水位低下量を土地の変動量に換算し、変動量の最大と最小から調査値の時刻の範囲を求めた。潮位記録から推定された時刻は、証言から求められた時刻の範囲内に収まることから、調査値の時刻は本震前日とその前の大潮時の満潮の間と推定した。最終的にはその中間の満潮時である 12 月 14 日 11 時（本震の 6.7 日前）を、本震前に調査値が得られた時刻と決定した。調査値の時刻が定められたことにより、本震直前までの上下変動曲線

を描くことができ、それを表現する近似関数も決定することができた。

1. はじめに

1946 年南海地震（以下、特に断らない限り本震と呼ぶ）に関係した地殻の上下変動は、地理調査所（現在の国土地理院）による水準測量結果が「測量成果」として公表されている（国土地理院, 2009）。四国太平洋沿岸において残されている同地震前後の測量成果は 1939 年と 1953 年のみであり、前後 7 年間のデータは無い。一方、水路局（現在の海上保安庁海洋情報部）では港湾・漁港などの水深測定のため、本震前とその直後に、最寄りの地理調査所の水準点を基準とした上下変動の測定を行っており、これを「測定値」として公表している（水路局, 1948）。また同局は、四国の太平洋沿岸部における測定を、本震前の 1927 年から 1928 年に行っている。

更に、港湾・漁港などにおいては、地震時の上下変動量を、本震の前と後の“同潮位時（例えば満潮時などの同じ潮位時）”の海水位の差を目視調査することによって求



第1図 高知県須崎市の水準点No.4673における長期間の上下変動グラフ(梅田・板場, 2011aから引用). 黒菱形印は国土地理院による測量成果. 黒丸印は水路局によるデータ. 南海地震前後の2つのデータは調査値で, 地震時に1.2 m沈降したことを示す.

Fig.1 Long-term vertical variation graph at the bench mark (BM) No.4673 of Geographical Survey Institute (GSI) at Susaki, Kochi prefecture. (after Umeda and Itaba 2011a). Solid circles and diamonds show the data of Hydrographic Bureau (HB) and the survey results by GSI, respectively. Two data before and after the 1946 Nankai earthquake show the survey values obtained by HB. 1.2 m in figure shows the amount of subsidence by the earthquake.

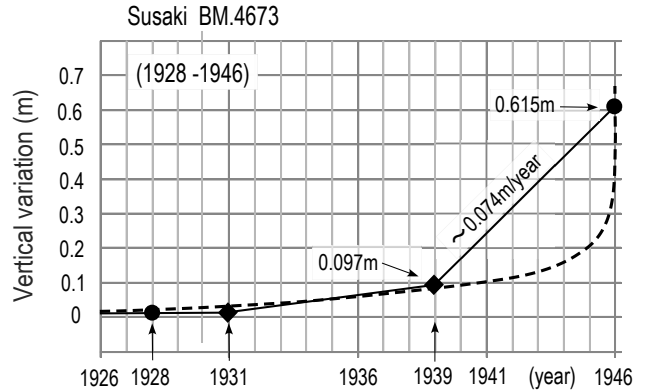
め, これを「調査値」として公表している(水路局, 1948). こうした公表資料には, 以下の2点の問題点が指摘されている. まず第一に, “同潮位時”と言っても本震の前日のそれと比べたのか, もっと前の潮位と比べたのかは分からず, 「調査値」が得られた時刻が不明な点である. 第二に, 調査値の振幅, すなわち地震時の変動量に関しては, 目視であることと長期間の海面変動などを考慮して0.3 mの誤差があるとされている点である(水路局, 1948).

本論では, 上記の問題点のうち, 特に前者の「調査値」において, 本震直前の値(以下では「本震直前の調査値」と呼ぶ)の時刻を, 潮位記録や目撃証言などを利用して特定することを試みる. 誤差付きであれ, 時刻が特定できれば「調査値」をデータとして扱うことができ, 地理調査所の測量成果と組み合わせることによって, 上下変動の時間変化を描くことが可能となる.

2. 長期間の変動グラフの描き方

地理調査所と水路局の資料を組み合わせた長期間の変動グラフは, 梅田・板場(2011a)によって四国太平洋沿岸の13か所で得られているが, ここでは高知県須崎市を例に, 梅田・板場のグラフの描き方を紹介した上, 問題点を述べる.

第1図は, 梅田・板場(2011a)によって示された, 1898



第2図 第1図の1926年—1946年を拡大した上下変動グラフ. 点線は目撃証言から予想される変動.

Fig.2 An extended graph of 1926-1946 in Fig.1. Dotted curve is expected by the witness testimonies of the inhabitants.

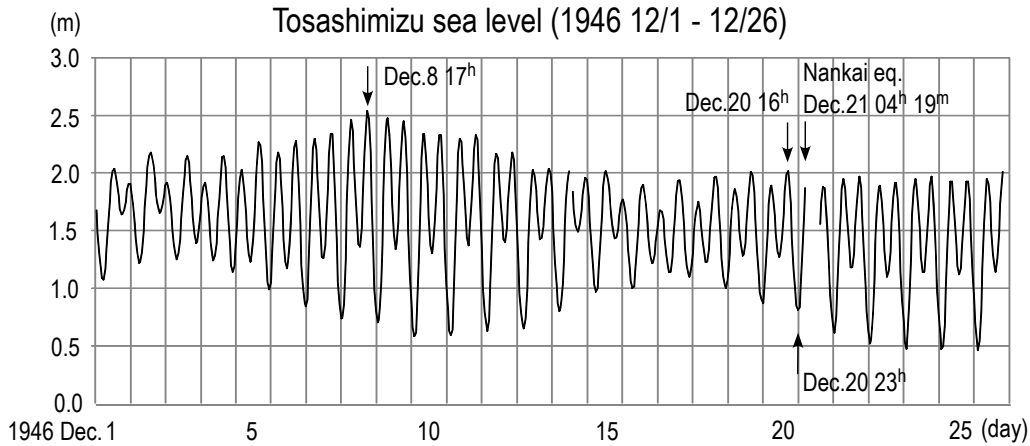
年から1965年における須崎市の上下変動を示したものである. 同図中菱形印は地理調査所による須崎市の水準点(BM.4673)における測量成果であり, 1898年の最初のそれを基準(ゼロ)としてプロットしている. 3つの黒丸印は水路局によるデータセットで, 1928年と本震後(1947年)のふたつの黒丸は改測から得られた測定値である. 本震の直前直後のふたつのデータは須崎湾における調査値であり, 本震時に須崎湾では1.2 m沈降した事を示している. 地理調査所のデータセットと水路局のそれは独立したものであるため, それらを結合させるため, 後者のデータセットを嵩上げて前者のそれに繋いでいる. すなわち地理調査所の1898年と1931年のふたつの成果から内挿された1928年の値に, 水路局の最初(1928年)の値を一致させている.

地理調査所の基準は東京湾の平均海面であるのに対して, 水路局のそれは各港湾(第1図は須崎湾)における平均海面である. また水路局の測定値は長期間の海面変動の補正がなされていない事, 調査値は目視である事なども考慮して, 誤差は最大で0.3 mとされている(水路局, 1948). 図ではこの誤差を, 本震の前と後とに0.15 mずつ振り分けてエラーバーを付している.

3. 変動曲線を近似する関数の提案

本論では, 本震直前の変化を詳しく議論するため, 第1図の1926年—1946年を拡大した(第2図). ただし, 第1図, 第2図とも図中の実線はデータを単に直線で結んだだけで, 必ずしも隆起が直線的に進行したわけではないので注意が必要である.

一般に非地震性の地殻変動では, 隆起速度が1 cm / 年を超えるような場合は異常隆起と考えられており(例えば, 力武, 1976), 第2図に示したように年間7.4 cmの



第3図 土佐清水における潮位記録(小林・他, 2002から引用).

Fig.3 The tidal data at Tosashimizu (after Kobayashi, et al., 2002).

隆起が7年間も続いていたとは考えにくい。1946年南海地震前の異常現象については、いくつもの目撃証言が残されているが、証言者が異常と感じたのは早くも本震の1週間程前、大半は前日か直前である(例えば、水路局, 1948; 高知県須崎市, 1995; 中村, 2009)。これらの事を考えると、隆起は第2図に点線で示したように、本震直前になってから大きく進展したものと考えられる。

この曲線を表現する近似関数としては、指数近似、対数近似、累乗近似などが考えられるが、データのフィテイングが比較的良好で、第2図の曲線に近い次の対数関数を、本論では提案したい。

$$D = -a \cdot \ln(t) + D_0 \quad (1)$$

時間を表す t の単位は日数(day)とし、本震の発生日(1946年12月21日)から過去にさかのぼる。

4. 潮位データを参考にした本震直前の調査値の時刻の推定

前節の近似関数を用いて変動曲線を描くには、本震直前の調査値はデータとして必要不可欠であるが、「はじめに」でも述べたように、水路局による本震直前の調査値の時刻は不明である。本節では、本震直前の調査値の時刻を特定するために土佐清水の潮位データを参考に、調査値の時刻の推定を行う。

土佐清水における1946年12月1日から同月26日までの1時間毎の潮位(小林ほか, 2002)を、第3図に示した。土佐清水と須崎市は75 kmほど離れており、天文潮位の時刻差は2012年1年間の平均で6分だけ須崎のほうが早い。本節のような議論では潮位の時刻差は無視できる程度と判断した。

ある事象を挟んだ前と後の潮位を比較する場合、通常は干潮時あるいは満潮時における比較を行うことが多い

ため、本震直前の調査値もそのどちらかにおける潮位を参照したと仮定した。本震直前の干潮と満潮を調べると、干潮時刻は12月20日23時頃、満潮時刻は20日16時頃である。前者は夜であり、当時を目撃された潮位としては後者の可能性が高いと思われる。本震前の大潮の満潮時は12月8日17時頃である。目視という観点からは、このふたつの日時、あるいはそれらの間の満潮時が推定時刻の候補としては可能性が高い。

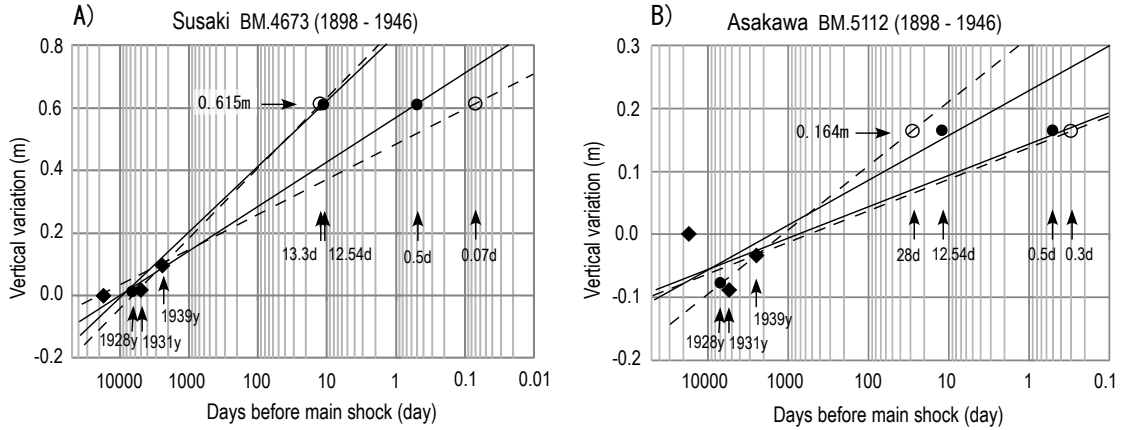
須崎市における第1図の南海地震前のデータを片対数グラフにプロットした図が第4図-Aであるが、本震直前の調査値(0.615 m)については、上記の議論により、20日16時(本震の0.5日前)と8日17時(本震の12.54日前)のふたつの場合を仮定し、黒丸印でふたつの時刻にプロットした。この2つのデータ(黒丸印)それぞれに、1939年以前のデータを加えて2組のデータセットとし、それぞれに(1)式を用いて最小二乗法で求めた曲線を図中に2本の実線で示した。

後述の浅川においても同様の方法で描いたグラフを第4図-Bに示した。なお、2012年1年間の浅川と土佐清水との天文潮位の差は平均で13分だけ浅川のほうが早い。須崎市の場合と同様に、浅川においても潮位の時間差は本論の議論では無視できる程度と判断した。

潮位に基づく時刻範囲の推定は、ひとつの方法ではあるが、その範囲でなければならないという必然的な理由に欠ける。例えば、本震の前の大潮時と言っても、上述のそれよりも更に前の大潮時の可能性を否定できない。

5. 目撃証言を参考にした本震直前の調査値の時刻の推定

この節では本震前に発生した井戸水の低下に関する目撃証言から、本震直前の調査値の時刻の推定を試みる。



第4図 本震前の調査値の時刻を推定するための曲線。横軸は1946年南海地震発生年からさかのぼった日数。1928年を除く黒丸と白丸は、潮位記録から推定された本震直前の調査値の時刻と、井戸水低下の証言から推定した時刻にプロットされている。縦矢印と横矢印付の数字はそれぞれ本震前の日数又は年数と本震直前の調査値。

Fig.4 The curves in order to estimate the time of the survey values just before the main shock. Abscissa axis shows the days before the 1946 Nankai earthquake. Solid and open circles excluding 1928y are plotted at the times estimated from the tidal data and the witness testimonies for the decrease of well water, respectively. The numerals with vertical and horizontal arrows indicate the day or year and the survey value just before the main shock, respectively.

本研究では、まず井戸水の低下量を地殻の上下変動量に換算した。次いで上下変動量の範囲(最大と最小)を仮定し、井戸水が低下した時間から上下変動の変動速度(変動勾配)の範囲を求めた。この勾配と国土地理院による測量成果とから時刻推定のための曲線を求め、推定される時刻の範囲を絞り込んだ。

5-1. 地下水位の低下量と土地の隆起量との関係

三角洲や砂州にある井戸の水位は、僅かな土地の隆起によっても大幅に低下するというモデルが、梅田ほか(2010)によって提案されている。このモデルを基に、地下水構造がわかっている場合については、土地の隆起量と地下水の低下量との関係式が導かれている(梅田・板場, 2011b)。本研究でもこの関係式を適用しようとしたが、研究地域の地下水構造がわかっていなかった。そのため、地下水構造が異なる場合の水位低下量と土地の隆起量の間関係を求めることにした。

地下水構造のわかっている高知県黒潮町佐賀地区では、土地の隆起量($h_i - h_j$)と地下水位の低下量(Δd)との関係式が2次元モデルで次式のように導かれている(梅田・板場, 2011b)。

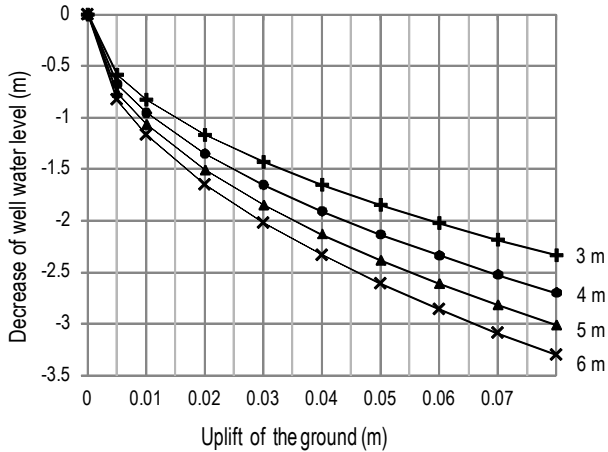
$$\Delta d^2 = 2\alpha (h_i - h_j) \cdot d \tan \phi_2 / \tan \theta \quad (2)$$

梅田・板場(2011b)の論文にある第3式では、土地の隆起量は Δh と表現しているが、本研究ではある時刻 t_i と t_j の間の隆起量という意味で($h_i - h_j$)に書き替えている。 α は海水の比重と淡水のそれとの比から求められる値であり、一般に40が採用されている。 d は帯水層の厚さ(深さ)で、佐賀地区の場合は4 mである。 ϕ_2 は陸地にお

ける地下水位の水位勾配である。三角洲や砂州のように地面の勾配が小さな所では、 ϕ_2 も小さな角度であり、佐賀地区の場合は実測の結果0.22度である。 θ は陸側に浸み込んでいる海水と、その上の淡水との境界面が水平面とのなす角度であり、一般的にだいたい1度かそれ未満である。佐賀地区の場合は0.76度であった。なお土地の隆起量($h_i - h_j$)、地下水位の低下量(Δd)、帯水層の厚み(d)の単位はm、角度は度(degree)である。

(2)式は佐賀地区の地下水構造を基に導かれたものであるが、海水と淡水とがバランスを取っている三角洲や砂州では、他の所でも成り立つと考えられる。なぜなら、同式のパラメータのうち、海水と淡水の比重が同じであれば α はどこでも同じであるし、 ϕ_2 、 θ も他の三角洲において大きく変わる事はないと思われるからである。場所によって異なるのは帯水層の厚さ(深さ) d であるが、そこで帯水層の厚さ(d)を変えて、(2)式から得られる土地の隆起量と井戸水の低下量の間関係を第5図に示した。帯水層の厚さ(d)以外のパラメータは上述のように佐賀地区での値を採用した。

(2)式が成り立つのは、水位の低下量(Δd)が帯水層の厚みに達するまでであり、それ以上に低下する場合は、土地の隆起量と水位の低下量はほぼ同じになる(梅田・板場, 2011b)。証言による井戸の水位低下は2 m ~ 3 mであることから、帯水層の厚みは薄い場合でも3 m程度はあったと考えられる。土地の隆起量、井戸水の低下量、帯水層の厚みの関係を示した第5図からもわかるように、帯水層は厚くなるほど、僅かな土地の隆起によっても井戸の水位は大きく低下するので、厚い帯水層の三角州又



第5図 本文中の(2)式による土地の隆起量と井戸水の低下量。各曲線の右の数値は帯水層の厚み。

Fig. 5 Decrease of well water against uplift of ground based on the equation (2) in the text. Attached numeral at each curve indicates the thickness of aquifer.

は砂州では、広い範囲で多くの井戸の水位が低下すると考えられる。しかし実際にはそうではなく、本震の前に井戸の水位が低下したという目撃証言があった集落においても、水位の低下に気付かなかったという井戸のほうが多く、2 m ~ 3 mも低下した井戸は希と言ってよいほどである。このことから帯水層の厚みは、佐賀地区における4 mと大幅には変わらず、最大でも6 m程度と仮定する。

5-2. 井戸水が低下した時間から推定される上下変動の速度(変動勾配)

水路要報(水路局, 1948)によれば、1946年南海地震の前に井戸の水位が低下したという証言は、四国の太平洋沿岸における8か所で報告されている。そのうち水位低下に関する時刻が推定可能なのは、高知県土佐市新居地区(本研究)と、徳島県海陽町奥浦地区(重富ほか, 2005)の2か所である(第6図)。本震発生日時は12月21日04時19分頃であるが、新居地区の証言によれば「本震発生前日の20日朝6時か7時頃は、自宅の井戸水(水深3 m)を汲むことができたが、夕方4時か5時には水がなくなっていた」そうである。一方、奥浦地区での証言では「自宅の井戸水をポンプで汲みあげていた。20日の昼頃までは異常なかったが、夕方から汲み上げにくくなり、20時頃には汲みあげられなくなった。21日午前0時頃、近くのつるべ式の共同井戸で水を汲もうとしたがロープが足りず2 mほど継ぎ足して汲んだ。汲んだ水は濁っていた」とある(重富ほか2005, 梅田ほか2010)。

新居地区の井戸の場合、本震の21時間~22時間前に

第1表 土地の隆起量($h_i - h_j$)に対して、本文中の(3)式から求められた変動勾配(a')。 D_0' と t' は本文中の(1)式から求められた値。

Table.1 The gradient (a') in equation (3) for each uplift ($h_i - h_j$) of the ground. D_0' and t' is obtained from equation (1).

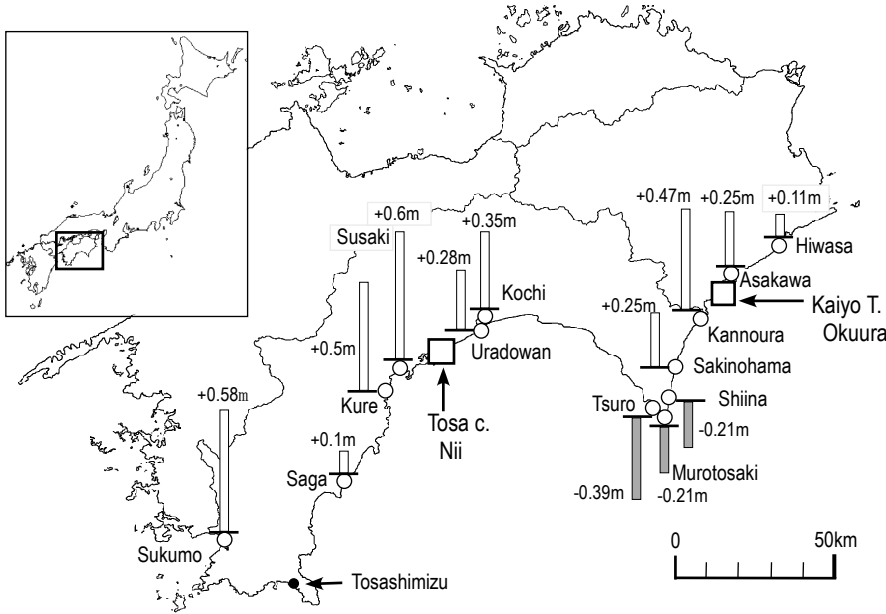
	Susaki		Asakawa	
$h_i - h_j$ (m)	0.03	0.06	0.03	0.06
a' (m/day)	0.049	0.098	0.022	0.043
D_0' (m)	0.483	0.869	0.138	0.308
t' (day)	0.07	13.3	0.3	28

は井戸水は汲めたそうだが、その時点で満水、つまり水深が3 mあったかどうかはわからない。生活用水に使われている浅井戸では降雨の多い時と渇水期とでは2 m以上の変化があることが知られているし(梅田ほか, 2010)、本震が発生した12月は渇水期でもあるので、満水状態でなかった可能性も考えられる。また、地震前の地殻変動の影響で、井戸の水位も徐々に低下しつつあったと思われるが、水が汲めていた時には気付かなかったということも否定できない。こうした不確定性を考慮し、ここでは本震前日の朝(本震の約22時間前)から夕方(約12時間前)までに2 mの水位低下があったと仮定した。同様に、海陽町奥浦地区の井戸では、証言により本震の約16時間前から4時間ほど前までに2 mの水位低下があったと推定された。

第5図から、仮に帯水層の厚さが3 mから6 mであった場合、水位が2 m低下すると土地は0.03 mから0.06 m隆起することが考えられる。このふたつの値が土地の隆起の最小と最大であると仮定し、証言された時間から、それぞれに対して土地の隆起速度を求めてみた。ここで言う隆起速度とは、変動量を単純に時間で除したものではなく、(1)式の係数(a)を指す事から、以下では変動勾配と呼ぶ事にする。すなわち仮定した対数関数の勾配である。

$$\text{時刻 } t_i \text{ と } t_j \text{ 間の対数関数の勾配}(a') \text{ は(1)式より,} \\ a' = -(h_i - h_j) / \ln(t_i / t_j) \tag{3}$$

である。ただし、最終的に提案する対数関数の勾配(a)と区別するため、ここで求める勾配にはダッシュ (')をつけてある。 t は本震発生前の日数(day)としているので、土佐市新居の証言による12時間前と22時間前はそれぞれ、 $t_i = 0.5$, $t_j = 0.92$ dayであり、徳島県海陽町奥浦地区については、20日の昼頃(本震の約16時間前)には異常なく、21日の午前0時(本震の約4時間前)には汲めなくなったということから、 $t_i = 0.17$, $t_j = 0.67$ dayである。新居地区と奥浦地区における土地の隆起量($h_i - h_j$)に対する変動勾配(a')を第1表に示した。



第6図 1931年から1946年南海地震までの上下変動量. 白丸は長期間の上下変動が求められた13地点,白四角は井戸水低下の時刻に関する証言が得られた2地点を示す. 数字を付した白抜きと影を付した棒は地殻の隆起と沈降の量を示す.

Fig.6 Amount of vertical variations from 1931 to 1946 Nankai earthquake. Open 13 circles and 2 squares indicate the points where were obtained the long-term vertical variations and the information of the time for well water decrease, respectively. Open and shaded bars with numerals indicate uplift and sinking values of the crust, respectively.

5-3. 井戸水低下に関する証言から調査値の時刻を絞り込む

前節で求めた変動勾配を用い, 須崎を例として本震直前の調査値の時刻の絞り込みを行う. 証言の得られた土佐市新居地区と須崎市は18 km弱離れているが, 変動の時間に関して大きな違いはなかったとする. すなわち変動勾配(a')は新居と須崎で同じと仮定する. 変動勾配(a')と, ある時刻(t')における値(D')が決まれば, (1)式は一義的に決定される.

地理調査所による須崎市(BM.4673)における本震前の測量成果($0.0974 \text{ m} = D'$)は, 本震発生の2555日前(1939年)($t' = 2555 \text{ day}$)に得られている. 本論の(1)式を用い, これらの値と, 第1表に示された2つの場合の変動勾配(a')から, それぞれの D_0' を決定して t' を求めた(第1表). 同表から, 須崎市における変動勾配が新居地区と同じく0.049ないし0.098であった場合, 本震直前の調査値が目視で得られた時刻は0.07日前(1.7時間前)ないし13.3日前だったと推定される. 第4図-Aには, 須崎における本震直前の調査値(0.615 m)がふたつの t' の位置に白丸でプロットされている. 図中の点線は白丸と1939年の値を結んだものである.

須崎市と同様の方法で, 海陽町奥浦の井戸に関する目撃時刻を, 奥浦から5.5 km離れている浅川のデータに適用し, 本震直前の調査値が得られた時刻の絞り込みを行った(第1表, 第4図-B). それによれば, 浅川の変動勾配が奥浦と同じ0.022ないし0.043であった場合, 本震直前の調査値(0.164 m)が目視で得られた時刻は0.3日前

(7.2時間前)ないし28日前だったと推定される.

この節で議論した井戸水に関する証言からの絞り込みは, 仮定が多く絞り込んだ時刻にもかなりの幅がある. 一方で, 須崎市と浅川において得られた値により, 潮位から推定した時刻が更に長くならないような拘束条件を与えている.

本研究では, 本震前の調査値の時刻は, 潮位記録から推定されたふたつの時刻の範囲内にあるものとし, その中間の時刻に近い満潮時刻を採用する事にした. 中間の時刻は12月14日15時30分であるが, それに最も近い満潮時刻は同日の11時頃であり, 本震発生の6.7日前である. この日時を本震直前の調査値が得られた時刻と決定する. 誤差の範囲は大潮の満潮時である12月8日15時(本震発生の12.54日前)から前日の満潮時の12月20日16日(本震発生の0.5日前)までとし, 変動グラフの時間軸にはこの日数をエラーバーとして付ける事にする.

6. 測量成果と証言から求められた変動曲線

四国の太平洋沿岸では長期間の変動を示すグラフが, 第6図の白丸印で示した13か所で求められている(梅田・板場, 2011a). 全点について, 前節の議論によって得られた本震直前の調査値の時刻を含むデータセットを第2表に示した. これらを片対数グラフ上に描いたのが第7図の左側の図である. 縦軸は1898年を基準とした上下変動量, 横軸は1946年南海地震発生年から過去にさかのぼった日数である.

昭和南海地震前の地殻の上下変動 (梅田・板場)

第2表 1898年から1946年南海地震までの上下変動. GとHは地理調査所と水路局のデータである事を示す. かつこ付の年の水路局のデータは地理調査所のデータに一致させた値.

Table. 2 Vertical variations from 1898 to 1946 Nankai earthquake. G and H indicate the data from Geographical Survey Institute (GSI) and Hydrographic Bureau (HB), respectively. Data of HB in the year with the parenthesis imply the shifted data to combine with that of GSI.

	GSI or HB	days before eq.	Sukumo BM.4620	Saga BM.4644	Kure BM.4668	Susaki BM.4673	Uradowan BM.5002	Kochi BM.5003	Tsuro BM.5142	Murotosaki BM.5140	Shiina BM.5136	Sakinohama BM.5131	Knnoura BM.5121	Asakawa BM.5112	Hiwasa BM.5101
1898	G	17520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(1927)	H	6935									-0.219	-0.1635	-0.084	-0.0758	-0.224
(1928)	H	6570		-0.0094	0.0108	0.0154	-0.0148	-0.0185	-0.2715	-0.2813					
1931	G	5475		-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	G	5110	0.0161												
(1936)	H	3650	0.0447												
1939	G	2555	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	H	6.7	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

第3表 2つの期間における本文中(1)式の係数(a)と定数(D₀).

Table.3 Coefficient (a) and constant (D₀) in equation (1) in the text for two periods.

period (year)		Sukumo BM.4620	Kure BM.4668	Susaki BM.4673	Uradowan BM.5002	Kochi BM.5003	Tsuro BM.5142	Murotosaki BM.5140	Shiina BM.5136	Sakinohama BM.5131	Knnoura BM.5121	Asakawa BM.5112
1898 - 1946	a (m/day)	0.08	0.069	0.083	0.037	0.047	-0.074	-0.05	-0.031	0.022	0.067	0.029
	D ₀ (m)	0.733	0.637	0.764	0.333	0.415	-0.85	-0.64	-0.427	0.836	0.539	0.205
1931(*) - 1946	a (m/day)	0.086	0.072	0.088	0.039	0.05	-0.065	-0.037	-0.02	0.035	0.079	0.036
	D ₀ (m)	0.757	0.65	0.784	0.343	0.43	-0.809	-0.587	-0.382	0.136	0.587	0.234

*Sukumoは1932-1946

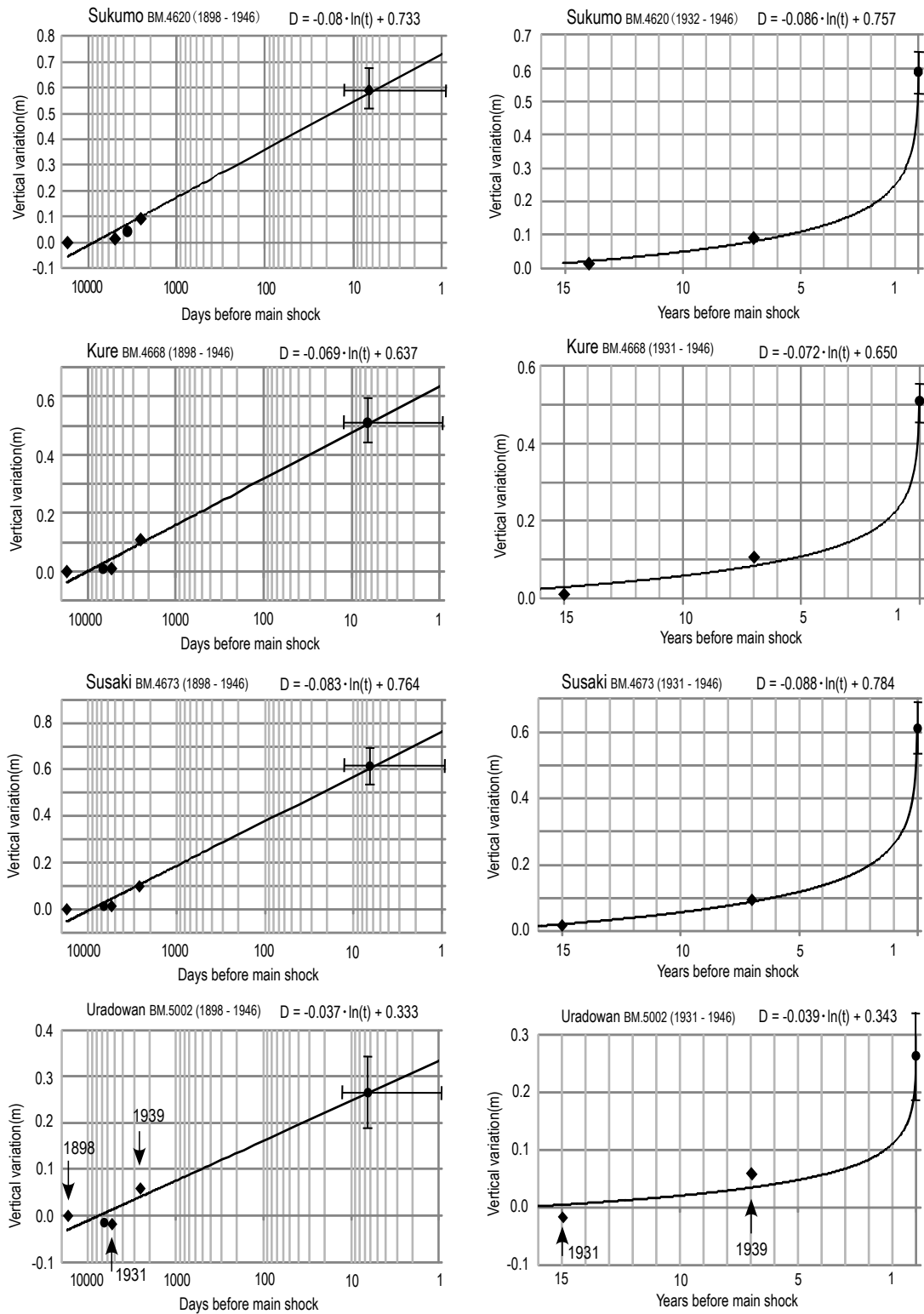
第6図には1931年から本震直前までの隆起と沈降が棒グラフと数値で示されているが、佐賀と日和佐の変動は0.1 m程度と変化が小さく、誤差0.15 mの範囲内であるため第7図のグラフには示していない。全期間(1898年-1946年)のデータから求められた各地における対数関数の勾配(a)とD₀は第3表にまとめて記した。5節では(1)式を、調査値の時刻を推定するために利用したので、勾配(a)やD₀にはダッシュを付していたが、本節以降では本来の目的である地殻の上下変動曲線を近似する関数のパラメータであるのでダッシュはつけていない。

第2表で、年号に括弧を付した年の値は、2節でも述べたように、水路局のデータを地理調査所のデータに結合させるために、1898年と1931年のふたつの測量成果から内挿された1928年の値に、人為的に一致させた値である。この値を除くと、1931年(宿毛は1932年)以前で有意な値は、本震発生の33年前の1898年のそれになるが、本震直前の変動を見るには、期間が余り離れた値を用いて近似するよりは、本震に近い有意な3つの値を用いたほうがよいと考え、1931年以降のデータを用いて求めた変動曲線も第7図の右側に線形グラフで示した。この図においても縦軸の基準(変動値のゼロ)は1898年とし、横軸は本震発生前から過去にさかのぼった年数をとってある。1931年(宿毛は1932年)以降の3つのデー

タから(1)式によって求められた各地における勾配(a)とD₀は第3表に記した。

第6図または第7図で、本震時に隆起した室戸岬付近では地震前は沈降しており、逆に本震時に沈降した領域では地震前までは隆起していたことがわかる。本震前に最も隆起量の大きかった須崎と、沈降量の大きかった津呂について、第7図右側の各グラフの上を示された式を用いて時系列を見てみる。本震の10年前の1年間の変化は須崎では0.009 mの隆起、津呂では0.007 mの沈降である。10年前の1年間の差は(1)式により、10.5年と9.5年の(1)式のDの差である。本震の5年前の1年間(4.5年と5.5年のDの差)では須崎は0.018 mの隆起、津呂は0.013 mの沈降、同様に1年前では前者は0.1 mの隆起、後者は0.07 mの沈降と、隆起・沈降共に本震に近づくにしたがって変化が急速に大きくなる。

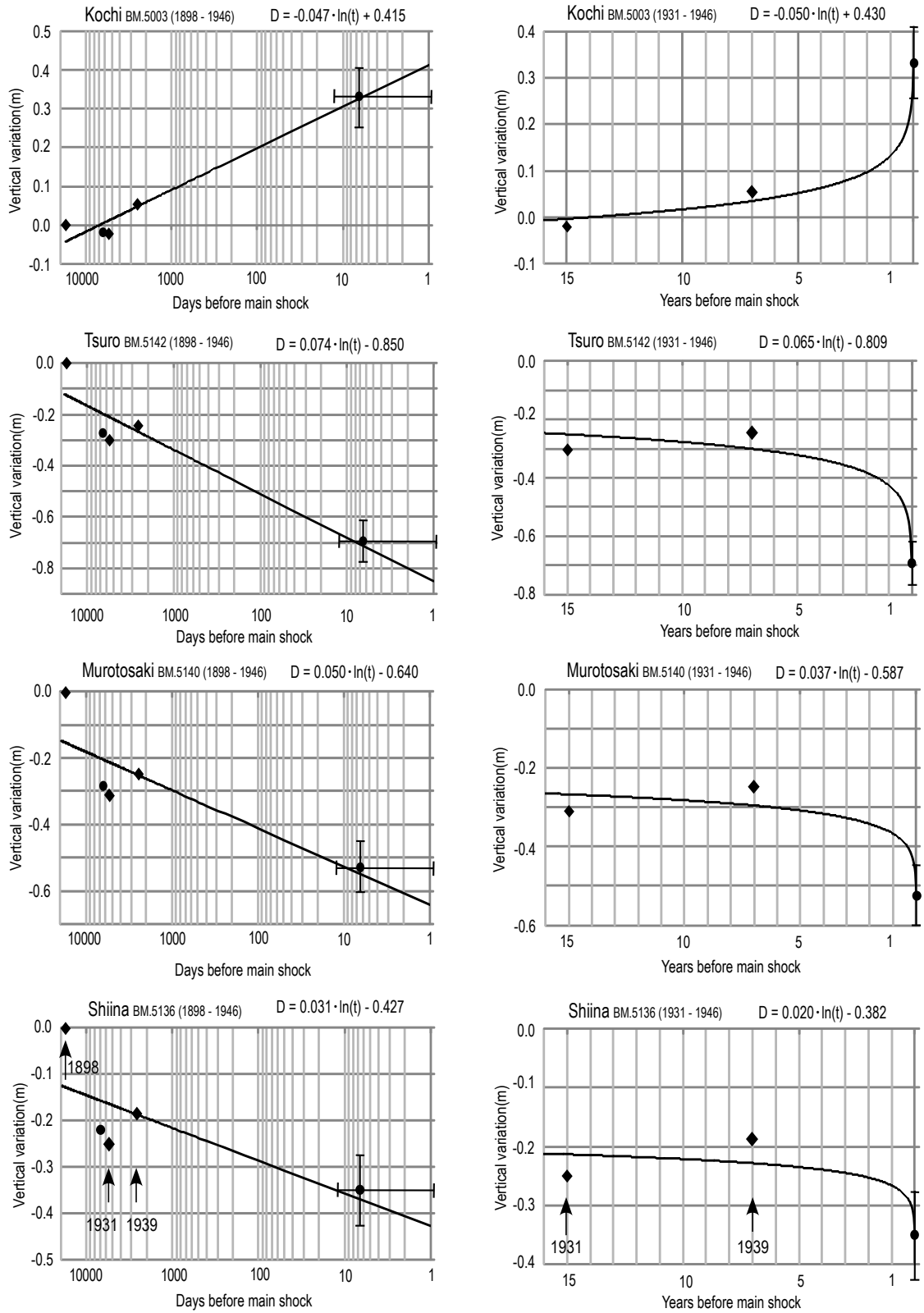
数日前の変化についても議論したいが、(1)式は関数の性質上、本震直前では発散してしまうので、あまり直前までは外挿できない。ここでは1日前(12月20日04時)の値(D)と比較することにする。1か月前と比べると須崎では0.3 mの隆起、津呂では0.22 mの沈降、1週間前との比較では前者は0.17 m隆起、後者は0.13 m沈降である。須崎のように、1ヶ月で0.3 mも隆起すると、海水位の低下に気付く人もあるだろう。事実、須崎湾の一部である



第7図 上下変動曲線と曲線を近似する対数関数. 左側のグラフ：片対数グラフに示した長期間(1898-1946)の変動曲線. 右側のグラフ：線形グラフに示した短期間(1931-1946)の変動曲線. 両側のグラフ共、縦軸は1898年を基準とした上下変動量、横軸は1946年南海地震発生年から過去にさかのぼった日数または年である。

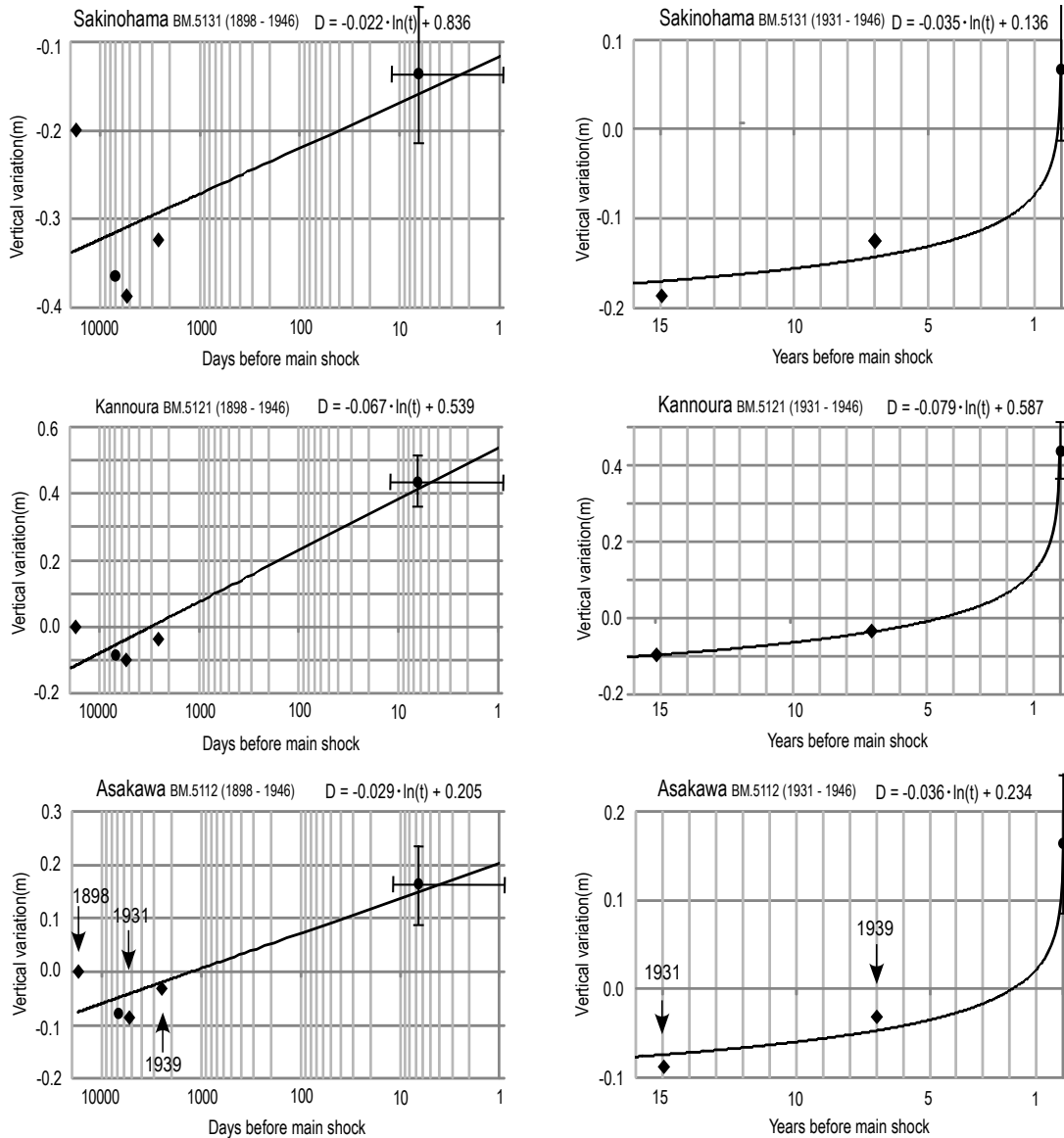
Fig.7 Vertical variation curves and the logarithmic functions that approximate the curve. Graphs in left and right side show the long(1898-1946) and short (1931-1946) term vertical variation curves shown in semi-logarithmic and in linear graph, respectively. Each datum on the vertical axis, in both graphs, is plotted relative to that of 1898. Horizontal axis represents the days or years going back to the main shock occurred.

昭和南海地震前の地殻の上下変動 (梅田・板場)



第7図 続き.

Fig.7 Continued.



第7図 続き.

Fig.7 Continued.

野見湾では、「(地震の前前日の) 19日頃から干潮時には海水がいつもより引いていた」と言う証言がある(須崎市, 2012). 須崎湾や宇佐湾(第6図のTosa C. Niiの約2 km西)では, 本震の数時間前には「帰港した漁船が接岸できないほど海水位が低下していた」と言う証言も複数あり, 第7図のように須崎付近での隆起は, 本震発生に向けて急速に進展したものと思われる.

7. 議論

目撃証言から本震直前の調査値の時刻を絞り込むための曲線は, 第4図の点線に示されているが, データのフィッティングを見るかぎり, 得られた結果に大幅な不

都合はなさそうである. 須崎は13.3日前, 浅川は28日前を通る点線は比較的よく合っている. このことは逆に, 証言から時刻推定までのいくつかの仮定には大きな誤りはなかったとも言える.

変動を近似する際に対数関数を採用したが, このような単調な関数は, 常に隆起傾向にある四国西部の宿毛, 久礼, 須崎ではよく近似できる. しかしながら浦戸や高知では, 1898年-1931年は僅かに沈降傾向であり, 四国東部の椎名, 甲浦, 浅川ではその傾向がいっそう顕著になるため, 長期間になるとデータのフィッティングは悪くなる(第7図左側参照). また, 本震前には沈降傾向であった津呂, 室戸崎, 椎名での1939年の一時的な隆起も表現できない. このような変動を表現するためには,

ゆるい振動項を持つような関数の提案も、将来は必要と思われる。

本研究で得られたのは1946年南海地震の前の上下変動曲線であるが、これを次の南海地震の予測曲線の出発モデルとして利用することが望まれる。想定東海地震に関しては、気象庁はシミュレーションによる歪曲線を採用し、情報の発表基準を設けているが(例えば、宮岡・横田, 2012; 気象庁, 2013), 南海地震についてもいずれ予測曲線と呼ばれるような物差しが必要になる。本論で求められたのは、各地点での地表における上下変動曲線ではあるが、変動の主な原因はフィリピン海プレートと陸のプレートとの相互作用の一環と考えられ、相互作用(例えば固着域の広がりや固着の程度など)をモデル化すれば、水平変位や歪にも変換でき、応用範囲は広がるものと期待される。

8. まとめ

1946年南海地震に至るまでの地殻の上下変動曲線を描き、それを表現する近似式を提案した。本研究以前に、同地震を含む長期間の上下変動は、地理調査所の測量成果と水路局の測定値及び調査値を組み合わせることによって、四国の太平洋沿岸の13か所で得られていた。本震時の変動である調査値は、本震前と後の同じ潮位の海水位の差から得られたものであるが、本震前の「何時」と比較したのかは不明だった。本論では、潮位データ及び目撃情報を基に、本震直前の調査値の時刻を推定することにした。

本論で検討した結果、潮位から推定した時刻範囲の中央に近い満潮時、12月14日11時(本震の6.7日前)を調査値の時刻と推定できた。この結果を用い、四国の太平洋沿岸部において変動量が誤差(0.15 m)を超える11か所で、本震直前までの変動曲線を描くことができた。またそれを表現する近似式を提案した。この近似式によれば、須崎では本震発生前の1ヶ月から1日前までの間に0.3 mの隆起があったと推定される。この隆起量は海水位低下に関する証言を裏付けると思われる。

謝辞: 目撃証言の収集に同行し、支援していただいた土佐市宇佐町の中村不二夫氏、貴重な証言をいただいた同市新居の松岡繁喜氏にお礼申しあげます。編集委員の澤井祐紀氏並びに査読者の行谷佑一氏のコメントと指摘は論文改善に非常に有効でした。本研究を支援していただいた産総研活断層・地震研究センターの小泉尚嗣主幹研究員、同センター地震・地下水チームの松本則夫チーム長はじめチームの皆様へ感謝します。

文 献

- 気象庁(2013 5/7) 東海地震に関連する情報の発表基準。
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/tokai_info_criterion.html (2013年5月7日参照)
- 小林昭夫・真砂礼宏・吉田明夫・檜垣将和(2002) 1944年東南海地震前の潮位変化と当時の潮位資料. 験震時報, **65**, 1-43.
- 高知県須崎市(1995) 海からの警告—南海地震・チリ地震津波録一. 須崎市企画課編集, 須崎市, 151p.
- 高知県須崎市(2012) 海からの警告 第二集. 須崎市, 256p.
- 国土地理院(2009) 水準点平均成果表. 国土地理院情報サービス館, つくば.
- 重富國宏・梅田康弘・尾上謙介・浅田照行・細義信・近藤和男・辰巳賢一 (2005) 資料・証言にみる南海地震前の井水涵れ及び異常潮位. 京都大学防災研究所, 48-B, 191-195.
- 中村不二夫 南海地震は予知できる(2009). 高知新聞企業文化出版, 高知市, 301p.
- 宮岡一樹・横田 崇(2012) 地殻変動検出のためのスタッキング手法の開発—東海地域のひずみ計データによるプレート境界すべり早期検知への応用—. 地震 ii, **65**, 205-218.
- 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, 2004年復刻版, 第五管区海上保安本部 海洋情報部, 神戸, 117p.
- 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.
- 梅田康弘・板場智史(2011a) 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.
- 梅田康弘・板場智史(2011b) 1946年南海地震前の井戸水の減少から推定される土地の隆起量 —高知県黒潮町佐賀地区を例に—. 地質調査研究報告, **62**, 455-459.
- 力武常次(1976) 地震予知論入門. 共立出版, 東京, 65p.
- (受 付 : 2013年5月14日 ; 受 理 : 2013年8月21日)