

## 11 - 17 南海地震の前の井戸水の減少について

### On the decrease in the well water prior to the Nankai earthquake

京都大学 防災研究所

DPRI, Kyoto Univ.

#### 1. はじめに

昭和南海地震 (M8.0) の前に、紀伊半島から四国の太平洋沿岸の地下水位に異常が見られたことが、当時の水路局 (現在の海上保安庁海洋情報部) の聞き取り調査の結果として報告されている (水路局, 1948) <sup>1)</sup>。地震の前に異常が報告されたのは第 1 図に示すように 15ヶ所あり、その内 11ヶ所は井戸水が減少、3ヶ所は井戸水の濁り、温泉湧出量の減少が 1ヶ所である。第 1 図の縦棒は何日前に異常が現れたかを示している。早いところで 1週間前、尾鷲の温泉は地震の 6時間前に湧出が止まっている。

この現象を次の南海地震の予知につなげるためには、井戸水減少のメカニズムや、この現象が繰り返して起きるかという再現性についても検討しなければならない。メカニズムを考える上で、少なくとも次のいくつかの疑問を解決する必要がある。

本震時にすべる領域よりやや深いプレート境界で、プレスリップがあったと仮定した場合、紀伊半島から四国の太平洋沿岸部で期待される土地の隆起域、または膨張域は井戸水が減少した地域とほぼ一致し、分布パターンとしてはよく合うことが示された (橋本, 2003) <sup>2)</sup>。しかしその量は上記のプレスリップが本震時の滑りの 10% あったとしても、地表では高々数 cm の隆起、10 - 7 程度の膨張にすぎない (橋本, 2003) <sup>2)</sup>。この程度の変化で井戸の水位が目に見えて低下した、あるいは涸れたことを量的に説明できるかどうか。

また、異常が報告された地域は 15ヶ所であるが、水路局が調査した地域は 160ヶ所以上ある。人口も多く、当時はまだ多くの井戸が使われていたと思われる都市部での報告が全く無い。井戸水の減少が報告されたのは、いずれも小さな集落であり、その中でも限られた井戸の水位が減少したことが現地調査でわかった。このように井戸水が減少した地域もきわめて限定されているうえ、同じ集落内でもさらに限定されていることの説明も必要である。

#### 2. 井戸水減少のメカニズム

15ヶ所の集落はすべて、三方が山に囲まれた小さな三角州であることが現地調査でわかった。このような三角州の地下水分布を第 2 図に模式的に示した。海水が陸地の透水層 (砂層・砂礫層) にしみ込んでおり、その上に淡水が浮かんでいる。海水と淡水のバランス関係はガイベン・ヘルツベルグの法則と呼ばれ、淡水の密度を  $\rho_f$ 、海水の密度を  $\rho_s$  とすると、 $\rho_s gH = \rho_f g(H+h)$  である。ここで  $\rho_f = 1.000$ 、 $\rho_s = 1.025$  とすると、 $H/h = 40$  となる。この関係は水に浮かぶ氷と同じである。水面上の氷が少し高くなるためには、その何倍もの下支えの氷が必要なと同様に、隆起によって地下水面 (淡水の上面) が  $\Delta h$  上昇するためには、隆起上昇分の 40 倍 ( $\Delta H = 40 \Delta h$ ) の高さの淡水が下支えのために必要になる (梅田, 2003) <sup>3)</sup>。

高知県佐賀町では利水のために水理地質構造調査が行われ、帯水層の厚さや海水と淡水の境界面 (内部境界面) が実測された。その資料を基に同町の南北方向の地下水断面を第 3 図に示した。同図は縦方向を強調して描いているが、内部境界面と水平線とのなす角 ( $\theta$ ) は  $1^\circ \sim 2^\circ$  である。帯水層の厚さは 5m、境界面の下端は海岸線より 380m 付近に達している。海岸からこの付近まではガイベン・

ヘルツベルグの法則によって地下水面（淡水の上面）としみ込んだ海水とがバランスしている。これより山手（図の右手）の400mから800mの間の不透水層と地下水面は実測ではなく模式的に描かれているが、この間の淡水の下支えは海水ではなく不透水層である。不透水層は海水よりはるかに密度が高いため、充分下支えする事ができ、地下水面は山手に向かって図のように上昇する。このことすなわち山手ほど地下水位が水平線より高くなっていることは、浅田等(2004)<sup>4)</sup>によって実測された。

地震前に土地が $\Delta h$ 隆起したとすると、前述のようにそれを支えるための多量の淡水が第3図に示したように山手の地下水面の高い方から下方に流れる。そうすれば、同図ではNo.4の井戸は涸れ、No.3の井戸の水位は減少する。No.2の井戸の水位の減少は少ないため気づかないかもしれない。No.1の井戸は変化なしということになる。

帯水層の淡水は河川からの伏流水として供給されているが、地震の前に井戸水が涸れた地域の河川は小さく、伏流水としての淡水の供給は乏しい。周りを山に囲まれているため、淡水のほとんどの移動は三角州内に限られていたと考えられる。

以上のように僅かな土地の隆起によっても井戸水は涸れる、あるいは減少することが第2図、第3図に示したメカニズムで説明された。また井戸水が涸れた、あるいは減少したのは、大きな河川の流域にあって淡水の供給が豊富な都市部ではなく、大きな河川もなく三方を山に囲まれ淡水の供給が乏しい地形のところだったこともわかり、上述のふたつの疑問は解決された。

### 3. 次の南海地震の前にも井戸水は涸れるか

昭和の南海地震の前には井戸水が涸れたが、次の南海地震の前にも同じことが起こるかどうかは、次の地震が起るまでわからないが、過去にさかのぼって再現性を確認することは可能である。

和歌山県有田郡湯浅の住人、古田庄右衛門が書いた「安政聞録」には、「不思議なことに、今日、ところによって井戸水がすっかり涸れた家がある。井戸水が減少した家もあるが、変化の無い井戸もあって、まちまちだ」と記載されている。安政聞録は広川町の養源寺に所蔵されている。

いなむらの火で有名な浜口梧陵は「安政元年海嘯の実況」で「(地震当日の)午後村民二名馳せ来たり、井水の異常に減少せるを告ぐ。予之に由りて地異の將に起こらん事を懼る。はたして七ツ時ごろに至り大振動あり」と記述している(重富國宏,2003)<sup>5)</sup>。

高知県土佐清水市中浜の住人、池道之助が書いた「今昔大變記」には、1854年安政南海地震の前には井戸水の涸れたことが記載されている(重富國宏,2003)<sup>5)</sup>。井戸水の涸れるのは地震の前であり、人々は気付かないという理由から、彼は墓石のようなモニュメントにそのことを刻んだ。モニュメントは土佐清水市街から中浜に至る峠に現存する。

以上のふたつの地域における3つの記述は、いずれも安政南海地震の前に井戸水が減少または涸れたことを示している。安政南海地震の場合は、その32時間前に安政東海地震が起きており、津波が押し寄せたと思われるが、古田庄右衛門や浜口梧陵の記述している井戸水の減少は安政東海地震から1日経過しており、津波の影響はすでに無かったと思われる。

### 4. 南海地震の予知

井戸水が涸れる、または減少するメカニズムとして、プレスリップを前提に、ひとつのモデルを示した。この現象は安政南海地震の前にも起こっていることから繰り返し起こる可能性が高いことも示した。

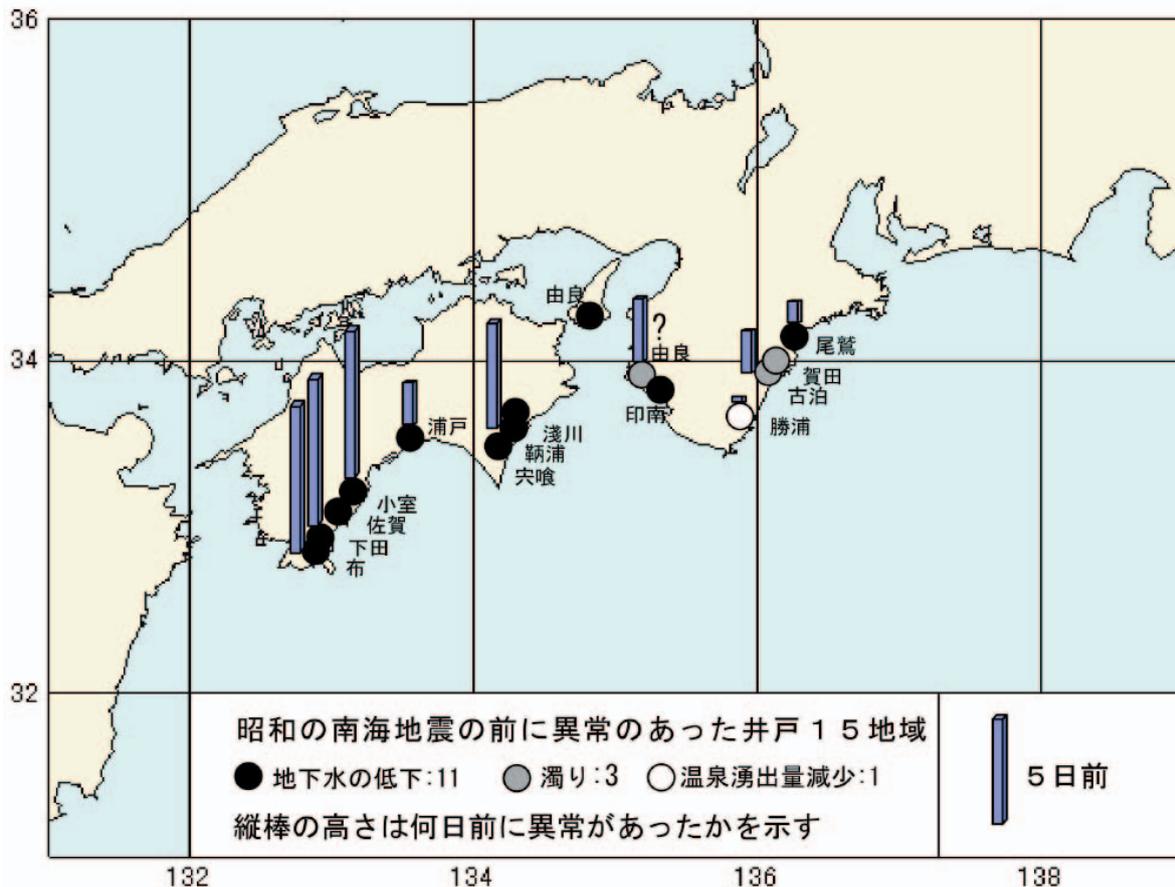
地震予知に向けた観測として、言うまでも無く井戸水の変化はノイズが大きく不適切である。可能な限りプレスリップを直接観測することが望まれるが、それが困難ならば、地表または地表近くでの隆起・沈降あるいは膨張・収縮の高精度な観測が望まれる。本震の滑りの10%のプレスリップとい

うのは、まさに本震直前であろう。もっと早い段階では、一桁小さい数 mm の隆起・沈降、歪変化も  $10^{-8}$  以下であろうから、S/N を上げた高精度の連続観測をする必要がある。隆起量の 40 倍変化する内部境界面（塩水と淡水の境界面）の観測は有望と思われるが、その挙動についてはさらに知見を深める必要がある。

本震に至るまでのプレスリップの時間的推移は、Time-to-failure function で近似されるが、1 週間前に井戸水が減少した地域もあることを考えると、単純な一方向の変化ではなく、Periodic time-to-failure function を考えなければならないだろう。そうだとすれば、ここで述べたモデルも静的ではなく、動的モデルを考えていく必要がある。（梅田康弘）

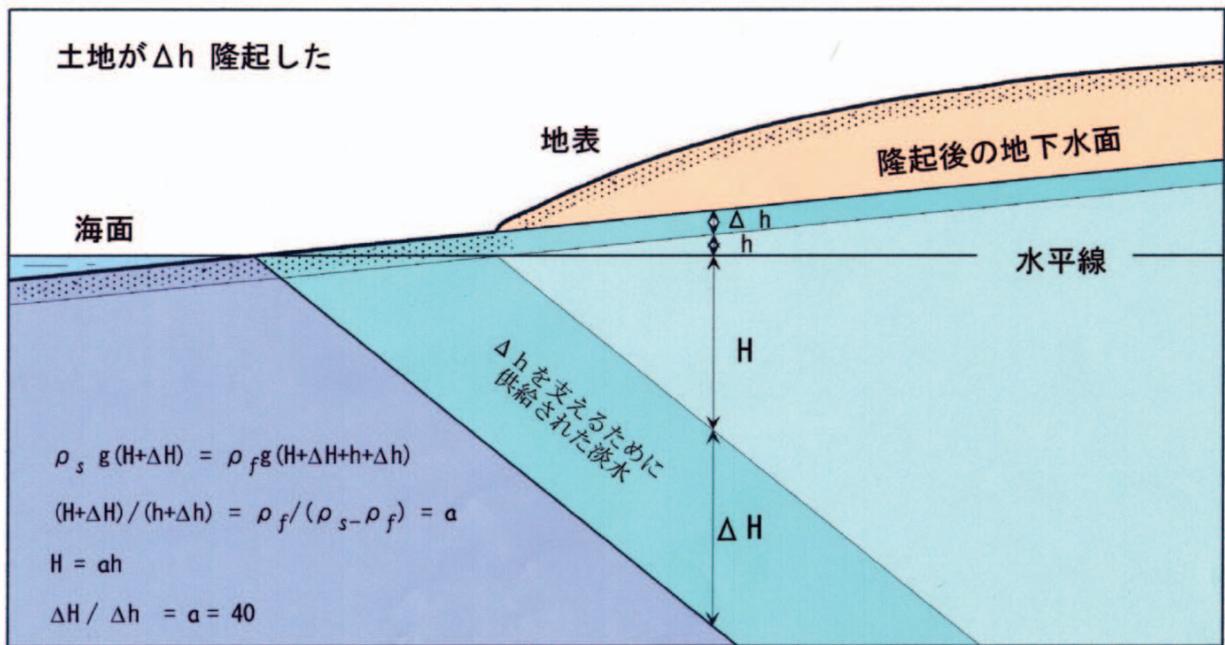
参考文献

- 1) 水路局,1948,昭和 21 年南海大地震調査報告—地変及び被害編—。水路要報増刊号 1-117
- 2) 京都大学 防災研究所 地震予知研究センター（橋本 学）,2003,地下水変化に対する前駆的滑りの断層モデル,地震予知連絡会報 70 巻,402-403
- 3) 京都大学 防災研究所 地震予知研究センター（梅田康弘）,2003,南海地震の前の井戸水の減少について—増幅のメカニズム—,地震予知連絡会報 70 巻,423-428
- 4) 浅田照行・他,2004,高知県佐賀町における地下水のアレー観測,京都大学防災研究所年報 第 47 号 B,721-724
- 5) 京都大学 防災研究所 地震予知研究センター（重富國宏）,2003,安政南海地震の前の井水の減少,地震予知連絡会報 70 巻,421-422



第 1 図 昭和南海地震 (M8.0) の前に地下水の異常が報告された 15 地域

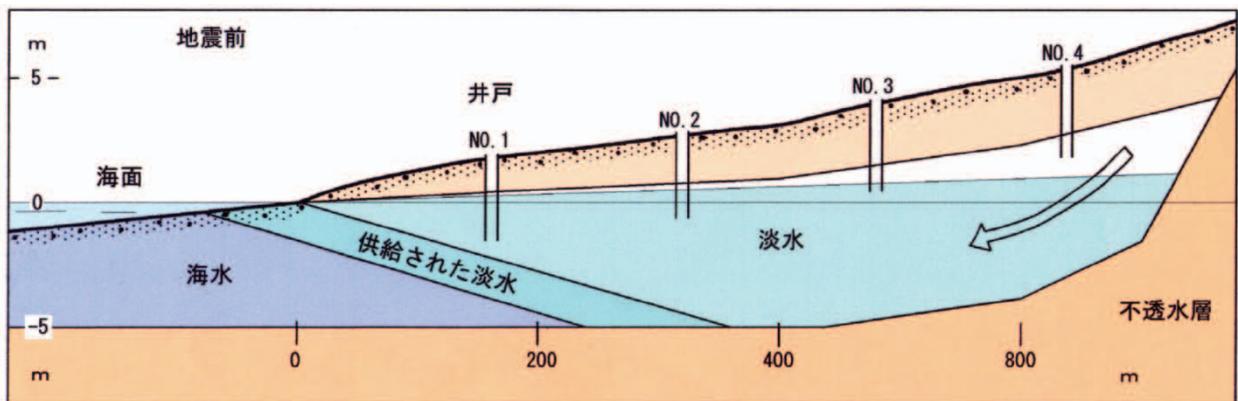
Fig.1 The abnormal changes of well water or hot spring prior to 1946 Showa Nankai earthquake(M8.0) were reported from 15 villages or towns.



第2図 土地の隆起に伴って、地下水面も  $\Delta h$  だけ持ち上げられる。それとバランスをとるため、内部境界面は  $\Delta H$  下がる。

Fig.2 With the uplift of the land, the groundwater table is also heaved by  $\Delta h$ .

The boundary surface between sea and fresh water drops by  $\Delta H$  in order to balance with rising of fresh water table.  $\Delta H$  equal to 40  $\Delta h$ .



第3図 高知県佐賀町をモデルにした三角州の地下水構造。

地震の直前の段階（土地が  $\Delta h$  だけ隆起した）：土地の隆起に伴って多量の淡水が地下水面の高いほうから流れ込む。NO.4の井戸水は潤れ、NO.3の井戸水は減少し、NO.2では少し減る。NO.1の井戸水は変化なし。

Fig.3 A groundwater structure on the model of Saga delta in Kochi prefecture.

Pre-seismic stage (land heaved only  $\Delta h$ ): With a slight uplift of the land, much fresh water must be supplied from the place where the groundwater table is high. Well water of No.4, No.3 and No.2 dries up, decreases and slightly decreases, respectively. Well water of No.1 is no changes.