

8 - 5 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

On the decrease of the well water prior to the Nankai earthquake - A mechanism of the amplification -

京都大学 防災研究所 地震予知研究センター
RCEP, DPRI, Kyoto University

昭和南海地震（1946年, M8.0）の前に、紀伊半島から四国の太平洋沿岸で地下水、特に井戸水の水位が低下したという報告がある。当時の水路局、現在の海上保安庁海洋情報部が地震後に聞き取り調査を行ったもので、水路要報（1948）に詳しく記載されている。この現象を、次に想定されている南海地震の予知に役立たせるために、我々は1）現地調査と井戸の水位の連続観測、2）モデルおよびメカニズムの研究、3）再現性の検証を行っている。ここでは主に井戸の水位減少のメカニズムについて述べる。

地震前に変化のあった地域を第1図に示す。井戸の水位が低下したあるいは涸れたところは11ヶ所、井戸水の濁ったところ3ヶ所、温泉の湧出量の減少した所1ヶ所である。これらの変化は本震の1週間前から数時間前に認められている。15ヶ所の地形の特徴は、海に面した小さな三角州で、周りを山に囲まれていることである（第2図）。

本震前に異常変化が生じるためには、震源で何らかの前駆的変動があったと思われるが、最も一般的に考えられているのは断層深部での前駆的滑り（プレスリップ）である。本誌別稿で橋本が詳しく述べているが、プレスリップを仮定することにより、地表で期待される膨張域や隆起域は、第1図に示された地下水減少域の分布をうまく説明することができる。しかし、量的にはかなり小さく、本震時のすべり量の10%のプレスリップがあったとしても、地表での膨張は0.1ppm程度、隆起量は数cmにすぎない。井戸の水位は、降雨によって数10cm上昇し、渇水期には数10cm下がるため、井戸水が涸れたり、目で見てわかるほど水位が下がるためには、膨張量や隆起量に対して水位の減少が大幅に増幅される効果がなければならない。

第3図-aに三角州の海岸付近の地下水断面を示した。海岸付近では海水が陸の下の透水層に浸透しており、淡水は海水の上に比重のちがいで浮いている。この関係はガイベン・ヘルツベルグの法則と呼ばれ、淡水の密度を f 、海水の密度を s とすると、 $sgH = fg(H + h)$ で釣り合っている。この関係は、高さ $(H + h)$ の淡水の柱の質量が、高さ H の海水の柱の質量と等しいことを示している。ここで $f=1.000$ 、 $s=1.025$ とすると、 $H/h=40$ となる。隆起によって地下水面（淡水の上面）が h 上昇すると（第3図-b）、新たな釣り合いのために、隆起上昇分の40倍（ $H=40h$ ）の高さの淡水が下支えのために必要になる。このことが増幅効果のもとになることを示唆している。

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、帯水層の厚さや内部境界面が実測されている。それを基に同町の南北断面を第4図-aに示した。帯水層の厚さは5m、内部境界面と水平線とのなす角（ θ ）はおおよそ 1° であり、境界面の下端は海岸線より380m付近に達している。従って、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）が規定されている。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。この間の淡水の下支えは不透水層であり、水に比べて密度が高いため、地下水面は山手に向かって図のように上昇しているものと考えられる。

地震前に土地が h 隆起したとすると（第 4 図-b），前述のようにそれを支えるための多量の淡水は，まずは図に示したように山手の地下水面の高い方から供給されるだろう。そうすれば，同図では No.1 の井戸は涸れ，No.2 の井戸の水位は減少する。No.3 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.4 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供給されるが，地震の前に井戸水が涸れた地域の河川は小さく，また地震の起こった 12 月は渇水期でもあったことから河川からの淡水の供給は乏しかったと考えられる。第 2 図でもわかるように，回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。むしろ，そういう条件のところにある井戸の水が地震前に減少したり涸れたと言えるだろう。

地震時にはさらに大きな隆起があり，水平線より上部の淡水は，下支えのための供給源となると同時に海にも流れ出す。こういう状態では No.1, No.2 の井戸水は涸れ，No.3, No.4 の井戸水は減少する。しかし地下水面が水平線に近いところまで下がってしまうと，ガイベン・ヘルツベルグの法則が示すように，内部境界面は逆に上昇してバランスをとる。そうすると，ごく海岸線に近いところの内部境界面は水平に近づくため，No.4 のように海岸に近いところの井戸水には海水が入り，辛味をおびることになる。

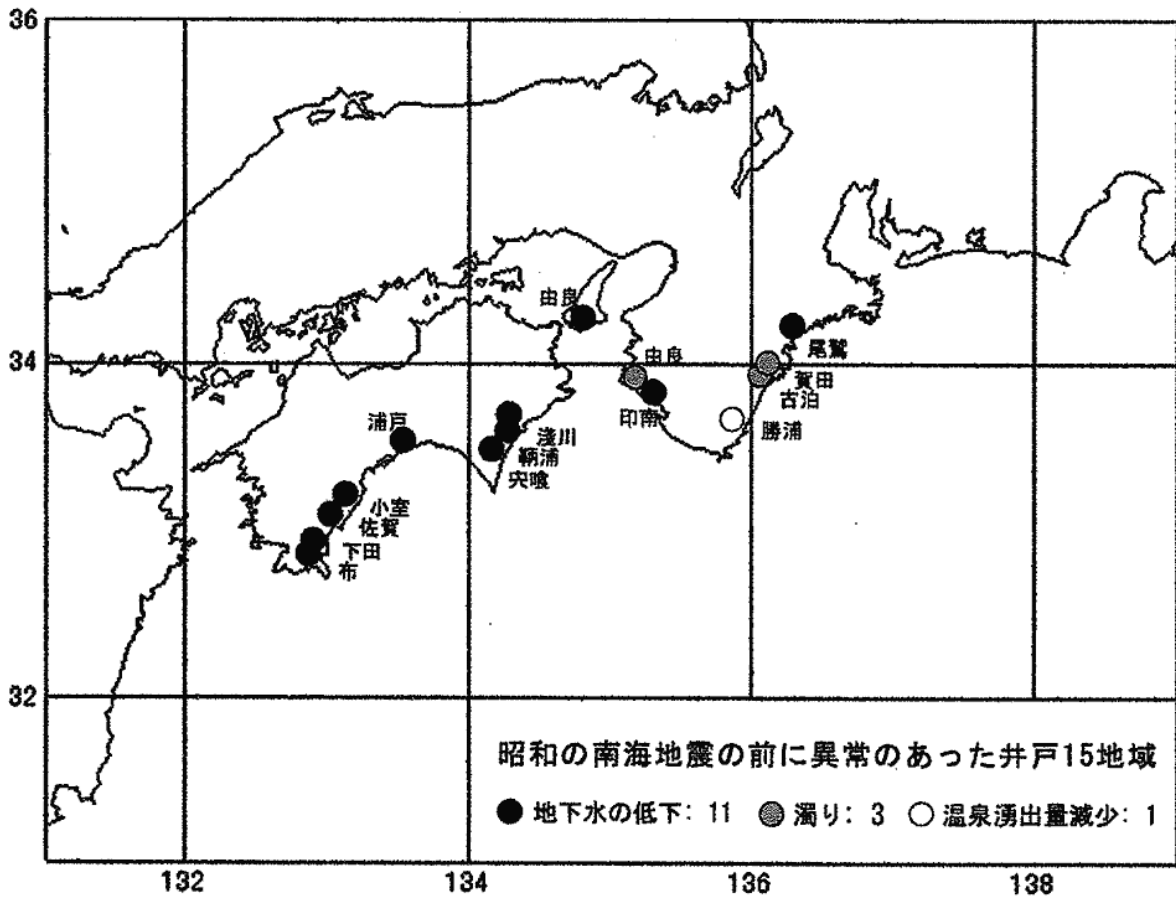
地震後は河川を通じて三角州以外から徐々に淡水が供給され，どの井戸の水位も完全にもとの水位に戻る。隆起分だけ標高は高くなるが井戸の水位，つまり地表からの水位は地震前と全く変わらない。従って，次の南海地震でも同じことが起こりうる。

以上，地震前のわずかな土地の隆起によって井戸水が大幅に減少することを説明するひとつの仮説を述べた。ここでは地震前から地震後までを段階に分けて考えたが，いずれもその時点での静的なバランスを考えている。次の段階に移る過渡的な現象は考えていない。内部境界面が海岸付近の地表と交差する付近の過渡的な形状はもっと複雑にちがいない。潮汐を含む海面変動による地下水変化は，土地の隆起によるそれとは全く逆になる。すなわち前者の変動は，ガイベン・ヘルツベルグの法則に従えば $1/40$ になると予測される。

（梅田康弘）

参 考 文 献

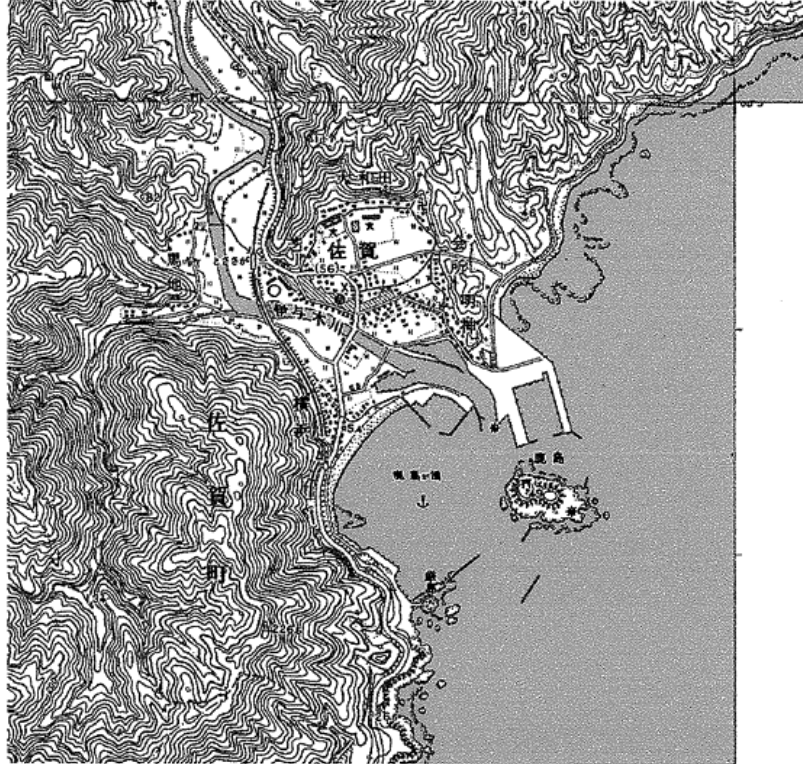
- 1) 水路局，昭和 21 年南海大地震調査報告 地変及び被害編 ，水路要報増刊号，1948，1-117



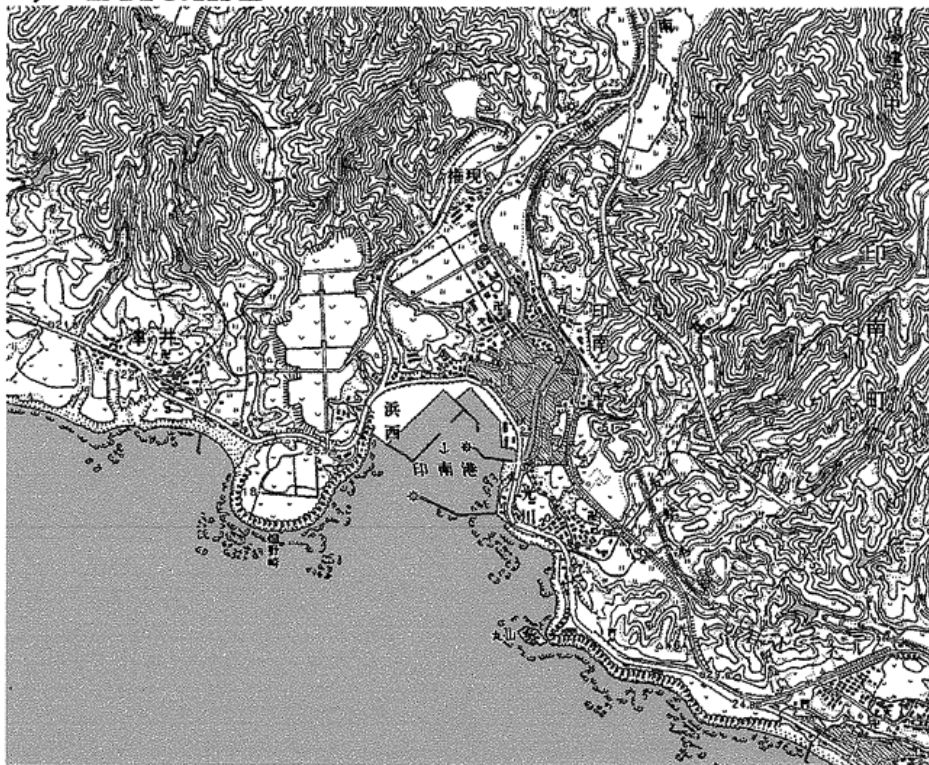
第1図 昭和南海地震の前に地下水の異常が報告された15地域

Fig.1 The figure shows the 15 regions where the abnormality of the groundwater was reported prior to the Showa Nankai earthquake.

a) Saga



b) Inami

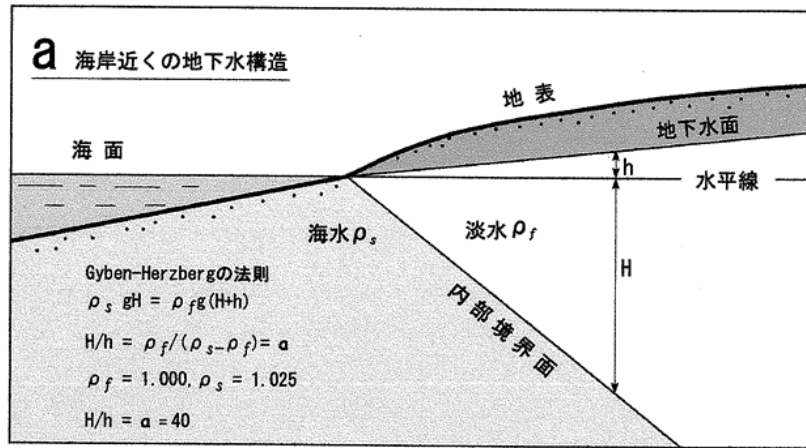


第2図 地震前に井戸水が低下した地域のほとんどは山に囲まれた小さな三角州である。

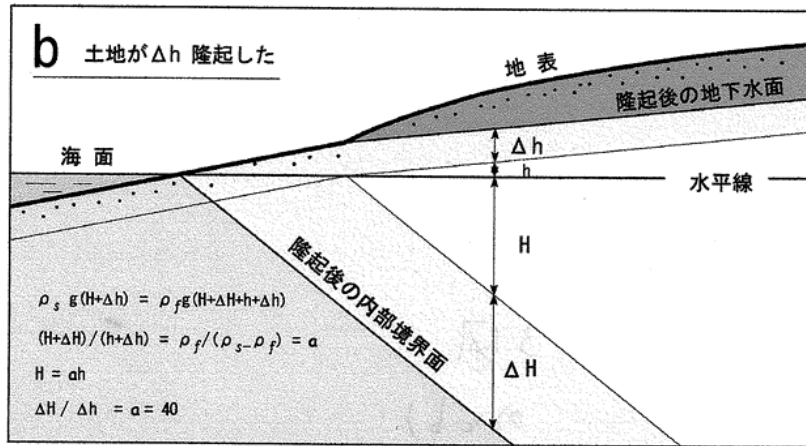
a) 高知県佐賀町 b) 和歌山県印南町

Fig.2 Most regions where the well water decreased prior to the Nankai earthquake are a small delta surrounded by the mountain.

a) Saga, Kochi prefecture b) Inami, Wakayama prefecture



- ・海岸近くでは、海水がクサビのように陸地内部の透水層にしみ込んでいる。
- ・海水と淡水の境界は「内部境界面」と呼ばれ、淡水はこれより上に浮いている。
- ・カイベンヘルツベルグの法則と、海水・淡水の密度(ρ_s, ρ_f)から、 $H/h=40$ 。



- ・土地の隆起 Δh によって、地下水面も Δh 上昇する。
- ・淡水の上昇分を支えるために、内部境界面は ΔH 下がる。 Δh の40倍。
- ・その分の淡水の供給が必要。

第3図 海岸付近の地下水断面。海水が陸地の下の透水層にクサビのように浸透しており、淡水は海水の上に浮いている。

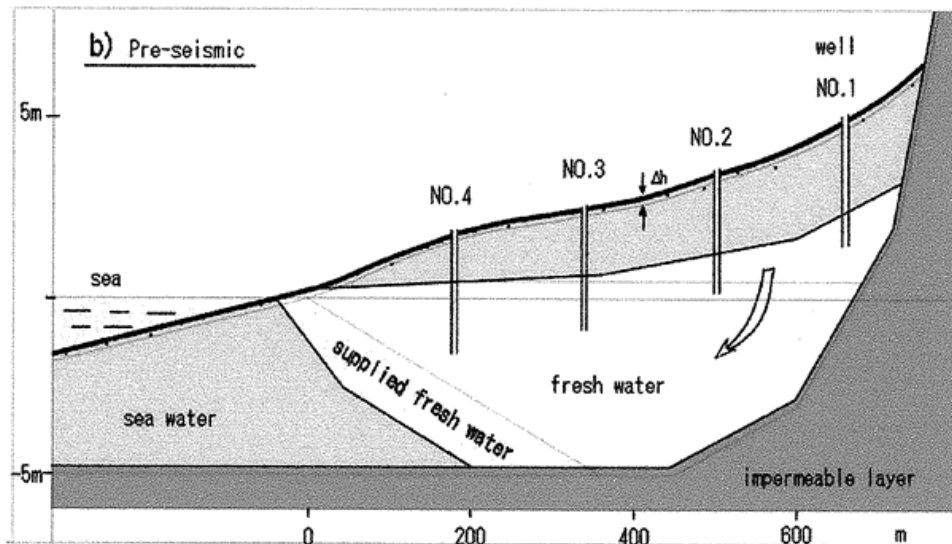
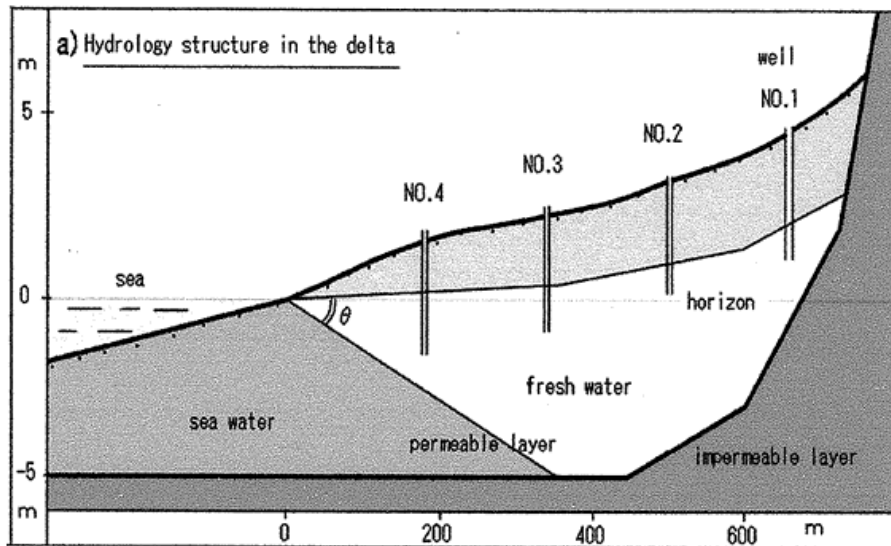
a) ガイベンヘルツベルグの法則は、高さ $(H+h)$ の淡水の柱の質量が、高さ H の海水の柱の質量と等しいことを示している。 ρ_s, ρ_f は、海水と淡水のそれぞれの密度、 g は重力加速度。密度を図の中のように仮定すると $H/h=40$ となる。

b) 土地の隆起に伴って、地下水面も 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 h の40倍下がる。それを補うため、多量の淡水が必要になる。

Fig.3 Schematic cross section of groundwater near the coast. The sea water permeates like a wedge in permeable layer. The fresh water floats over sea water

a) Gyben-Hertzberg's law shows that the mass of the fresh water of height $(H+h)$ equal to that of the sea water of height H . The fresh water floats over sea water according to the Gyben-Hertzberg's law. ρ_s, ρ_f is a density of sea and fresh water, respectively. g is gravity. It is $H/h=40$, when each density is assumed like the figure.

b) With the uplift of the land, the groundwater table is also increased by h . The boundary surface between sea and fresh water drops by ΔH in order to balance with rising of fresh water table. The fresh water correspond to 40 times of h is necessary.



第4図 a) 佐賀町をモデルにした三角州の地下水構造。 1°

b) 地震の直前の段階(土地が h だけ隆起した)

土地の隆起に伴って、地下水面も 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 h の40倍下がる。それを補うため、多量の淡水が地下水面の高いほうから流れ込む。井戸水は涸れたり減少するが、変化のない井戸もある。

Fig.4 a) Schematic hydrology structure in the delta on the model of Saga town.

b) Pre-seismic stage (land heaved only h).

With the uplift of the land, the groundwater table is also increased by h . The boundary surface between sea and fresh water drops by H in order to balance with rising of fresh water table. The fresh water correspond to 40 times of h is necessary. The much water must be supplied from the place where the groundwater table is high, as shown in figure. Well water of No.1, No.2 and No.3 dries up, decreases and slightly decreases, respectively. Well water of No.4 is no changes.