

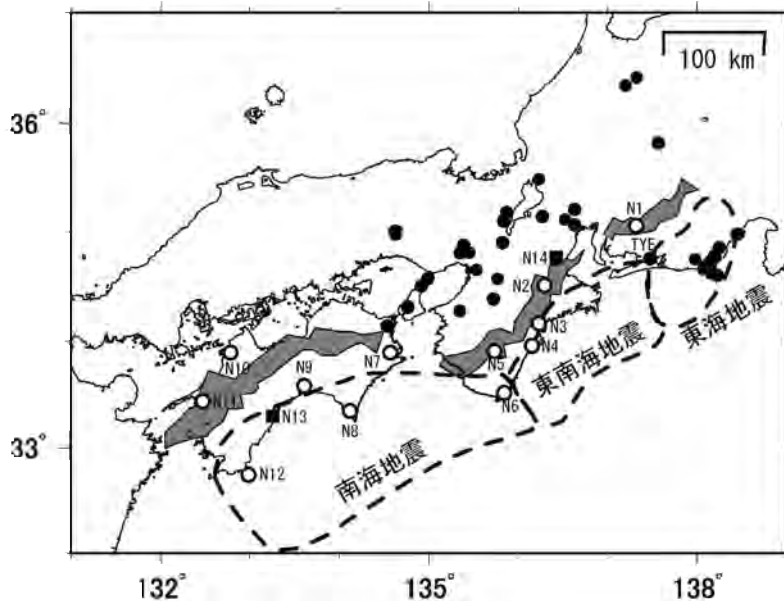
東南海・南海地震予測のための 地下水等総合観測点整備について

小泉尚嗣¹⁾・高橋 誠¹⁾・松本則夫¹⁾・佐藤 努²⁾・大谷 竜¹⁾・北川有一¹⁾・板場智史¹⁾・梅田康弘¹⁾
武田直人¹⁾・重松紀生¹⁾・桑原保人¹⁾・佐藤隆司¹⁾・今西和俊¹⁾・木口 努¹⁾・関 陽児³⁾・塚本 齊²⁾
山口和雄²⁾・加野直巳²⁾・住田達哉²⁾・風早康平²⁾・高橋正明²⁾・高橋 浩²⁾・森川徳敏²⁾・角井朝昭²⁾
下司信夫²⁾・中島 隆²⁾・中江 訓²⁾・大坪 誠²⁾・及川輝樹²⁾・干野 真^{1*)}

1. はじめに

東海～四国の沖合にある駿河～南海トラフでは、100-200年程度の間隔で、M8(マグニチュード8)クラスの巨大地震が繰り返し発生してきました。最近のものは、1944年東南海地震(M7.9)と1946年南海地震(M8.0)です。この2つの地震では、震源域が駿河トラフまで及んでいなかったため、駿河トラフでの巨大地震(いわゆる東海地震)が切迫していると言われ、大規模地震対策特別措置法が1978年に制定されて国による地震予知事業が始まりました。産業技術総

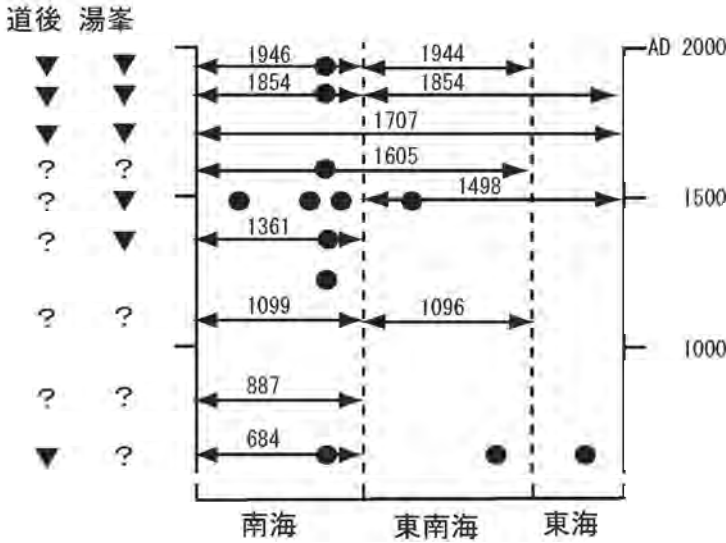
合研究所(産総研:旧工業技術院)は、当初から東海地方の地下水観測データを気象庁に提供し、東海地震の判定を行う地震防災対策強化地域判定会の説明者として国の地震予知事業を分担してきました。21世紀に入り、次の東南海・南海地震の切迫性が増すと、「東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法」が2003年に施行され、同地震に対する観測施設の整備が求められました。このような中、産総研は、東南海・南海地震予測のために、紀伊半島～四国周辺に地下水等観測施設を2006年度から順次整備し、2008年度末までに12点の整備を終



第1図
産総研の地下水等観測網(●:従来の観測点, ○:新規観測点N1-N12, ■:現在整備を行っている観測点N13-N14)。四国～紀伊半島～愛知県内陸部の灰色の領域は、短期的ゆっくり滑りおよび深部低周波微動が定常的に発生していると考えられる地域。破線は、東から東海・東南海・南海地震の想定震源域を示します。表紙も参照してください。

1) 産総研 活断層・地震研究センター
2) 産総研 地質情報研究部門
3) 産総研 地圏資源環境研究部門
*) 現 応用地質株式会社

キーワード: 東南海地震, 南海地震, 東海地震, 地震予測, 地下水, 地殻変動, 南海トラフ



第2図
東海・東南海・南海地震の発生履歴と道後温泉・湯峯温泉の湧水量や水位の低下。▼は低下を表し、?は、古文書に変化の有無の記載がないことを示します。寒川(1992)に加筆。

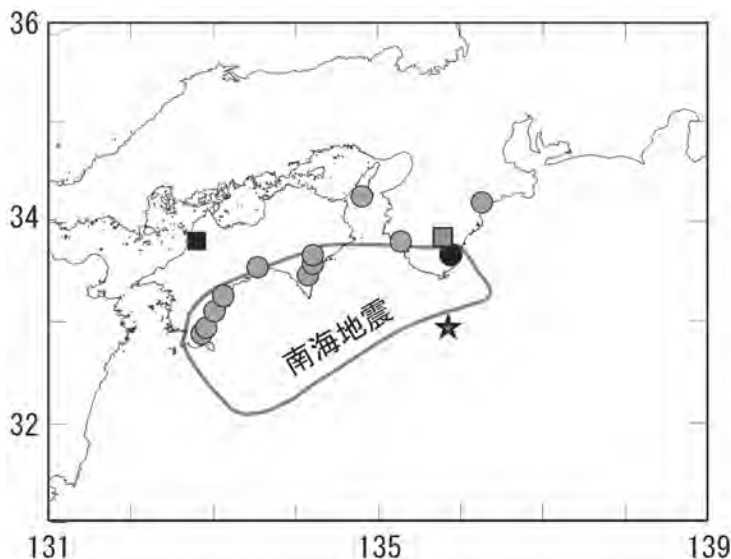
えました。また、東海・東南海・南海地震は一体として観測・研究すべきという観点に基づき、既存の東海地域の地下水観測点10点の高度化も行いました。四国～紀伊半島周辺においては、2009年度も引き続き新規観測施設の整備を行っているところです(第1図)。

観測施設の新規整備にあたっては、観測データの高度な解析のために、反射法地震探査を主とした構造調査、深さ600m程度までのコア採取・分析と検層等による地質調査、観測点および周囲の地下水・河川水の採取と分析による水文調査、コア法・水圧破碎法・応力解放法・浅部応力方位測定法等の種々の手法を用いた応力測定等を行いました。新規観測点からは多量のデータがリアルタイムで送られてくるので、それらを安定して取得し適切に解析するために新たなデータ通信・解析システムも構築しました。すでに観測を開始した12点からは、高精度の地下水・地殻変動・地震データ等が得られ、東南海・南海地震の震源域周辺のプレート境界で発生している深部低周波微動やゆっくり滑り(後述)に関する解析が進められています。以上の調査・観測の結果が、本号では多数紹介されています。

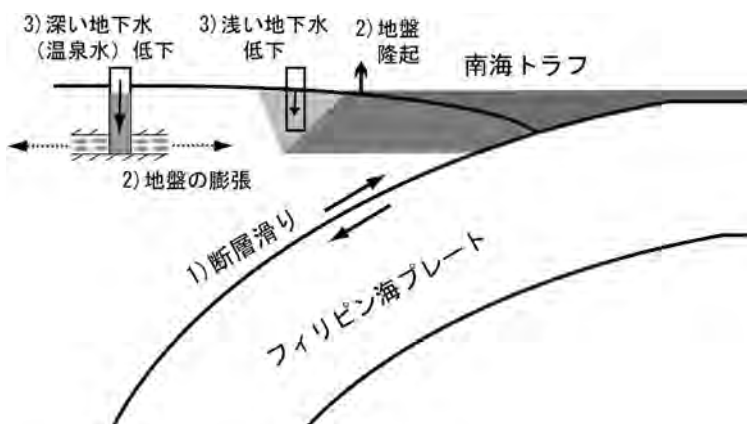
本論文では、2006年度からスタートした東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点整備の概要について述べます。

2. 過去の南海地震における地下水変化

四国～紀伊半島の沖で発生する巨大地震である南海地震は、古くから日本の都であった京都にも被害を与えたので、古文書によく記録が残っており、世界で最も発生履歴がよくわかっている巨大地震の一つです。古文書等の記録に基づけば、南海地震は過去8回発生しており、その中の最初のもは西暦684年に発生しました(第2図)。この8回の南海地震のうち、愛媛県松山市の道後温泉(第1図のN10付近)における水位や湧出量は4度、和歌山県本宮町湯峯温泉(第1図のN5付近)における水位や湧出量は4～5度、地震発生に伴い大きく低下しています(第2図)。ただし、それが地震前から起こっていたことなのか地震後からなのかはよくわかりません。また、1946年南海地震(M8.0)においては、紀伊半島～四国の太平洋岸の11カ所で浅い地下水(井戸水)の水位が、地震の直前～10日前に推定で数十cm以上低下したことが知られています(水路局, 1948, 第3図)。勝浦(第3図)では、温泉湧出量も地震の6時間前に低下しました。地下水水位や温泉湧出量が地震前に低下した地点は合計12カ所で、紀伊半島～四国の太平洋岸周辺に広範囲に存在します(第3図)。ただし、水路局による調査地域は160カ所以上で、出現率としてはごく低いこととなります。このような地震前の地下水位の低下は、1854年の南海地震前にも発生したことが知られてい



第3図
1946年南海地震前の地下水位等の低下。灰色の丸：浅い井戸水の水位が低下した11地点，黒丸：温泉湧出量が低下した勝浦地点，星印：1946年南海地震の震央，実線で囲まれた部分：南海地震の想定震源域，黒四角：道後温泉，灰色の四角：湯峯温泉。



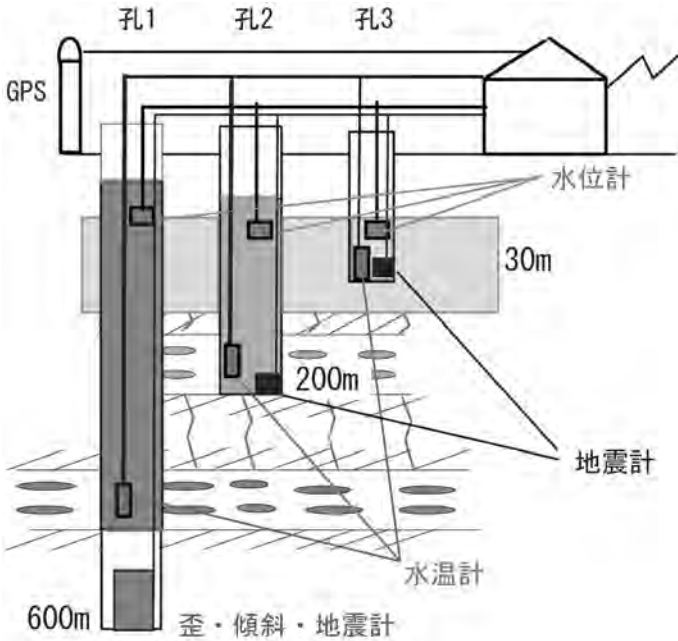
第4図
南海地震前後の地下水変化を説明する模式図。

ます(重富ほか, 2005)。

現在、地震の前兆現象として最も有望視されているのは、地震の数日前に本震の震源域周辺で生じるとされる「ゆっくり滑り」(プレスリップまたは前兆滑り)に伴う地殻変動(地盤の隆起・沈降、伸縮等)であり(気象庁, 2003)、それに基づいて上記の現象を考えてみます。第4図に示すように、南海トラフのプレート境界で逆断層型の滑りが生じれば、四国や紀伊半島の太平洋岸では広い範囲で地盤が隆起し膨張します。プレスリップがあれば地震前にその変化が生じることになります。したがって、四国や紀伊半島の太平洋岸の(海面とつりあっている)浅い地下水の水位は、地震前に、地盤の隆起量と同程度に相対的に低下しますし、温泉水等の深い地下水の水位や湧出

量も地盤の膨張によって低下するでしょう。なお、深い地下水は、一般に、地盤の伸縮に対して敏感に水圧を変化させます。道後温泉や湯峯温泉の地震後の変化については、第4図のモデルによってある程度定量的にも説明できます(小泉ほか, 2005)。

他方、浅い地下水の地震前の変化については、京大防災研(2003)のプレスリップモデル(1946年南海地震の断層の一部で、本震の10%程度の滑りが地震前に生じたとするモデル)によって定性的には説明できますが、予測される隆起量が最大でも数cm程度なので、上述した数十cm以上という水位低下の振幅は説明できません。他方、同じモデルによる地盤の膨張は大きく、深い地下水の水位ならば数十cm以上の低下も可能です(小泉ほか, 2005)。しかし実際には、1



第5図

新規地下水等総合観測点(N1-N14)における典型的な観測システム。200mの所に歪計を置いている点もあります。表紙も参照してください。

カ所の勝浦の温泉を除いて、浅い地下水と考えられるものの水位が大きく低下しています。したがって、第4図のモデルで1946年南海地震前の地下水変化を説明するためには、プレスリップによる微小な地殻変動があることに加えて、それによって浅い地下水が大きく変化する何らかの特殊なメカニズムが必要となります。深い地下水が先に水位を低下させた後、浅い地下水から深い地下水へ水が移動し、浅い地下水も水位が低下するというのあり得る一つのメカニズムです。このような特殊なメカニズムの存在する場所が限られているために、1946年南海地震前の地下水位低下の出現率は低いのかもかもしれません。

3. 最近発見された深部低周波微動と短期的ゆっくり滑り

最近の地震研究の進展で、東海・東南海・南海地震の想定震源域であるプレート境界の深部延長(深さ30km前後)で、通常地震より低周波数の波を出す地震が発生していることがわかりました。この地震を深部低周波地震または深部低周波微動と呼んでいます(Obara, 2002)。さらに、この深部低周波微動と同期して、ほぼ同じ場所のプレート境界で、ゆっくりした滑りが年に数回程度の頻度で生じていることもわ

かってきました(第1図, Obara *et al.*, 2004)。この「ゆっくり滑り」は、継続時間が一般に数日程度で、規模がマグニチュード5.5～6程度と、上述したプレスリップに非常に似た現象で短期的ゆっくり滑りと呼ばれます。プレスリップは、岩石破壊実験やそれに基づくシミュレーションによって想定されている現象ですが、まだ実際に観測されたことはなくその実体はよくわかっていません。一つの可能性として、この短期的ゆっくり滑りが、想定震源域に通常より近い側で発生したり、深部側で生じていたゆっくり滑りがより浅い側(想定震源域側)まで拡大した時に大地震を誘発するといったことが考えられます。また、想定震源域にエネルギーが蓄えられてきて破壊(大地震)が近づいてくると、その深部側で発生する深部低周波微動や短期的ゆっくり滑りの発生パターンが変化することも考えられます。したがって、この短期的ゆっくり滑りや深部低周波微動のモニタリングが東南海・南海地震の予測のために重要であると考えられます。

4. 四国～紀伊半島の地下水等総合観測点

過去の南海地震前後の地下水変化と最近の深部低周波微動および短期的ゆっくり滑りの研究を考慮して、新規観測点は第5図のようなシステムにしまし

た。深部～浅部間の地下水の移動があり得るので、一つの観測点に深さの異なる三つの井戸を掘削し、水位だけでなく水温も測定します。地殻変動測定のために井戸の中に歪・傾斜計も設置し、微動測定のための地震計も設置します。近くに国土地理院のGPS観測点がない場合はGPSも設置します。観測データはリアルタイムで産総研に送ります。データは「地震に関連する地下水観測データベース“Well Web”」(<http://www.gsj.jp/wellweb/>)で公開されています。

新規観測点の設置場所としては、東南海・南海地震の想定震源域に近い陸地と短期的ゆっくり滑り・深部低周波微動が定常的に発生している地域(第1図)および過去の南海地震で地下水変化を生じている地域(第3図)の中から選びました。2007年度に第1図のN4とN5の2点で、2008年度にはN1-N3およびN6-N12の10点で観測を開始しました。現在、N13とN14の2点で新たな観測施設を構築中です。

5. 東南海・南海地震および東海地震の予測へ

東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測は、12点の観測点整備を終え、今やデータが蓄積されつつあります。同観測施設を整備し観測データを解析することで、東南海・南海地震の予測精度向上に役立つと考えています。また、東南海・南海地震と東海地震が連動する可能性も考慮すれば、東海地震の予測精度向上にも役立つと考えられます。

謝辞: 新たな観測施設の整備、および、従来の観測点の維持管理に関しては、国・自治体・民間の多くの関係者に協力をいただいています。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 気象庁(2003): 東海地震に関する新しい情報発表について、
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/tokai/20030728tokai.pdf>
小泉尚嗣・高橋 誠・松本則夫・佐藤 努・大谷 竜・北川有一
(2005): 水文学的手法による地震予知研究-地下水変化から地震前の地殻変動を検知する試み-, 地震2, 58, 247-258.
京大防災研(2003): 地下水変化に対する前駆的すべりの断層モデル, 地震予知連絡会会報, 70, 402-403.
Obara, K. (2002): Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, Science, 296, 1679-1681.
Obara, K., Hirose, H., Yamamizu, F., Kasahara, K. (2004): Episodic slow slip events accompanied with non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone, Geophys. Res. Lett. 31, L23602, doi: 10.1029/2004GL020848.
寒川 旭(1992): 地震考古学, 中央公論社, 251pp.
重富國宏・梅田康弘・尾上謙介・浅田照行・細 善信・近藤和男・辰巳賢一(2005): 資料・証言にみる南海地震前の井水漏れ及び異常潮位, 京都大学防災研究所, 48-B, 191-195.
水路局(1948): 水路要報増刊号, 201, 117pp.

KOIZUMI Naoji, TAKAHASHI Makoto, MATSUMOTO Norio, SATO Tsutomu, OHTANI Ryu, KITAGAWA Yuichi, ITABA Satoshi, UMEDA Yasuhiro, TAKEDA Naoto, SHIGEMATSU Norio, KUWAHARA Yasuto, SATOH Takashi, IMANISHI Kazutoshi, KIGUCHI Tsutomu, SEKI Yoji, TSUKAMOTO Hitoshi, YAMAGUCHI Kazuo, KANO Naomi, SUMITA Tatsuya, KAZAHAYA Kohei, TAKAHASHI Masaaki, TAKAHASHI Hiroshi, MORIKAWA Noritoshi, SUMII Tomoaki, GESHI Nobuo, NAKAJIMA Takashi, NAKAE Satoshi, OTSUBO Makoto, OIKAWA Teruki and HOSHINO Makoto (2009): Integrated groundwater observation stations for forecasting the Tonankai and Nankai earthquakes.

<受付: 2009年8月10日>