

## 東北地方太平洋沖地震の影響による神奈川県内の 温泉・地下水の変化

菊川城司<sup>1)</sup>, 板寺一洋<sup>1)</sup>, 代田 寧<sup>1)</sup>

(平成 24 年 1 月 26 日受付, 平成 24 年 2 月 14 日受理)

### Changes in Hot Spring Waters and Groundwater Observed in Kanagawa Prefecture after the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

George KIKUGAWA<sup>1)</sup>, Kazuhiro ITADERA<sup>1)</sup> and Yasushi DAITA<sup>1)</sup>

#### 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (M9.0) は, 岩手, 宮城, 福島をはじめ東日本の広い地域に深刻な被害をもたらした. この地震発生の直後から, 震源域周辺だけでなく, 関東や中部地方にいたる広い範囲で地震活動が活発化した (気象庁, 2011a; 明田川, 2011) ほか, 大規模な断層運動によって広域にわたる地殻変動が生じた (国土地理院, 2011). さらに, 日本列島の各地の火山においても活動の活発化が報告されている (気象庁, 2011b).

温泉に関しても, この地震の影響と見られる温度や水位, 揚湯量の変化が各地で観測されている. たとえば秋田ら (2011) は, 北海道内の観測井において, 地震波に伴って水位が振動・ステップ状に変化したことや, 地震直後から引き続いて水位の上昇・低下のあったことを報告している. また大塚ら (2011) は, 下部温泉 (山梨県) において, 地震発生後に泉温, 水位および導電率が上昇したことや, 複数の温泉地における地震後の水位上昇事例を報告している.

神奈川県内には, 箱根火山の活動に由来する箱根温泉や湯河原温泉をはじめ多数の温泉地が分布しているほか, 近年では大深度温泉の開発も進められている (板寺ら, 2010). これらの温泉の中にも, 東北地方太平洋沖地震の影響とみられる温度や揚湯量の変化が認められたものがある. 本稿では, 板寺ら (2012) による箱根地域における現地調査に依りながら, その後の情報収集の結果も加えて, 東北地方太平洋沖地震前後の神奈川県内の温泉・地下水の変化について概要を報告する. 図 1 に現地調査および情報収集を行った地域を示した.

<sup>1)</sup> 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586 番地. <sup>1)</sup> Hot springs research institute of Kanagawa Prefecture, Iryuda 586, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan.

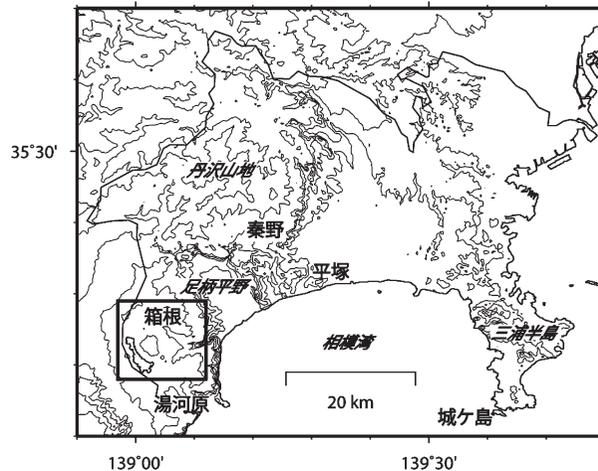


図 1 神奈川県内で情報収集および現地調査を行った地域 (矩形は図 2 の範囲を示す.)

## 2. 箱根温泉における変化

箱根火山においては、東北地方太平洋沖地震の発生直後に地震が誘発され (行竹ら, 2011), その後 1 か月にわたって群発地震活動が活発化した (原田ら, 2012). 温泉についても、本震後に温度が上昇したとの情報が、源泉所有者などから神奈川県温泉地学研究所に寄せられた. これを受けて、地震前後の温泉の温度や揚湯量の変化について現地調査を行った (板寺ら, 2012).

調査は 2011 年 3 月下旬から 4 月中旬にかけて実施した. 調査対象として、過去の調査結果 (たとえば菊川ら, 2011) および、調査への協力の得やすさなどを考慮し、箱根地域全体でおよそ 350 ある源泉から 27 源泉を選定し、現地において温泉温度および揚湯量を測定した.

調査対象源泉は主に箱根湯本地区と強羅地区に分布している. 対象源泉の掘削深度の範囲は箱根湯本地区では 0m (自然湧泉) から 1,100m (平均 499m) であり、強羅地区では 176m から 1,000m (平均 484m) であった.

2010 年の実態調査結果によれば、一分間あたりの揚湯量は、箱根湯本地区では 13.8 から 192.5L (平均 80.2L), 強羅地区では 39.0 から 107.0L (平均 61.0L) であった. また、ゆう出時の温度は、箱根湯本地区では 29.0 から 82.3℃ (平均 55.1℃), 強羅地区では 40.8 から 94.4℃ (平均 69.9℃) であった.

これに対して今回の調査結果では、一分間あたりの揚湯量は、箱根湯本地区では 21.4 から 245.9L (平均 98.5L), 強羅地区では 42.0 から 95.0L (平均 65.0L) であった. また、ゆう出時の温度は、箱根湯本地区では 29.2 から 83.9℃ (平均 55.9℃), 強羅地区では 39.8 から 94.7℃ (平均 71.3℃) であった.

今回の調査結果と 2010 年の実態調査の結果を比較した結果 (図 2), 箱根湯本地区および強羅地区のどちらにおいても、揚湯量が増加した、または温度が上昇した事例が多かったことがわかる.

図 3 は、今回の調査結果と 2010 年の実態調査の結果から算定した揚湯量の変化と温度変化の関係を示したものである. これから見てとれるように、両者の間に明瞭な関係性は見出だせない. 温度の変化は  $-1.5^{\circ}\text{C}$  から  $5^{\circ}\text{C}$  の範囲であった. 揚湯量については概ね 0 から 30L/分の増加で、箱根湯本地区の一部の源泉で大きな増加が認められる.

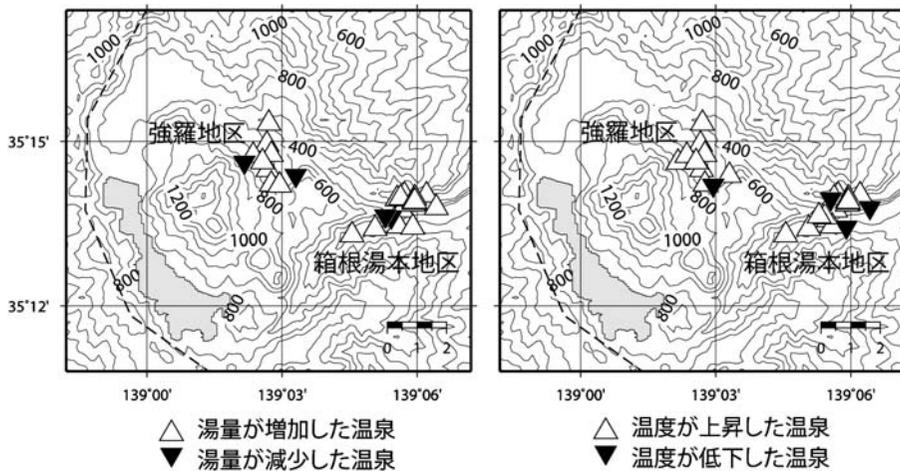


図 2 箱根温泉における東北地方太平洋沖地震前後の揚湯量 (左), および温度 (右) の変化 (2010 年の調査結果との比較による).

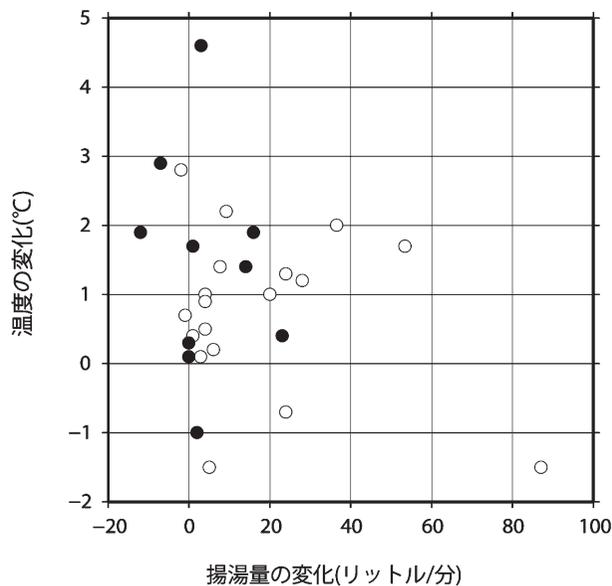


図 3 地震前 (2010 年) と 2011 年 3 月の地震直後における揚湯量の変化と温度変化の関係 (○は箱根湯本地区, ●は強羅地区の源泉を示す.).

図 4 に, 本震前後の揚湯量および温度の変化と井戸深度の関係について示した. 箱根湯本地区では深度 500 m 程度よりも浅い源泉において揚湯量の増加が目立つ. これに対して強羅地区で揚湯量が増加した源泉の深度は 400 m よりも深く, それよりも浅い源泉では変化が認められないか, むしろ減少している. 一方, 温度については, 両地区とも深さが 500 m 程度よりも浅い源泉において上昇している事例が見られる,

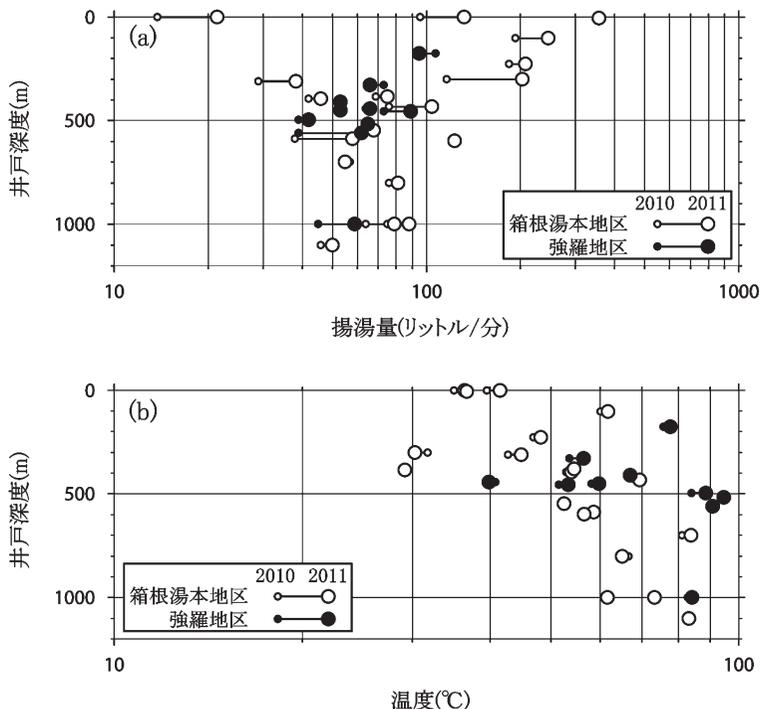


図 4 2つの調査時期における (a) 揚湯量および (b) 温度と井戸深度の関係.

### 3. 神奈川県その他の温泉地における状況

神奈川県内各地の温泉を担当する行政機関（県保健福祉事務所等）によれば、箱根以外の地域については、湯河原温泉の幾つかの源泉において、地震後に温泉井の水位が上昇し、その後もその傾向が継続したが、その源泉の温度には顕著な変化はみられなかったとのことである。また、県中央部の平塚市や秦野市の源泉（いずれも深度は数百 m 以上）や丹沢周辺の自然湧泉において、地震の直後から顕著な水位上昇や自噴量の増加が確認されている。事例は限られるものの、揚湯量が顕著に減ったとか、温度が低下したといった相談が温泉地学研究所に対して寄せられていないことなどから、上記の調査結果と合せて、神奈川県内の温泉は、東北地方太平洋沖地震の影響により概ね水位（量）や温度が上昇（増加）する変化を生じたものと推定される。

図 5 は、神奈川県温泉地学研究所が実施している地下水位連続観測における平成 23 年 3 月 11 日から 10 日間の観測結果を示したものである（原田・板寺, 2012）。これによれば、神奈川県西部の足柄平野周辺の 6 箇所に設けられた観測点のうち南足柄、二宮、小田原、大井の 4 箇所において、本震後に数十 cm 程度水位が低下したことがわかる。このほかにも、県東部の三浦半島の城ヶ島において湧水が枯渇したとの相談が寄せられるなど、県内の浅層地下水に関しては、水位が低下した事例が多かったものと推定される。

### 4. 地震が温泉へ影響を及ぼしたメカニズムについて

本震の発生による地殻変動は、大局的には日本列島を東西に伸長させるものであった。この場合、

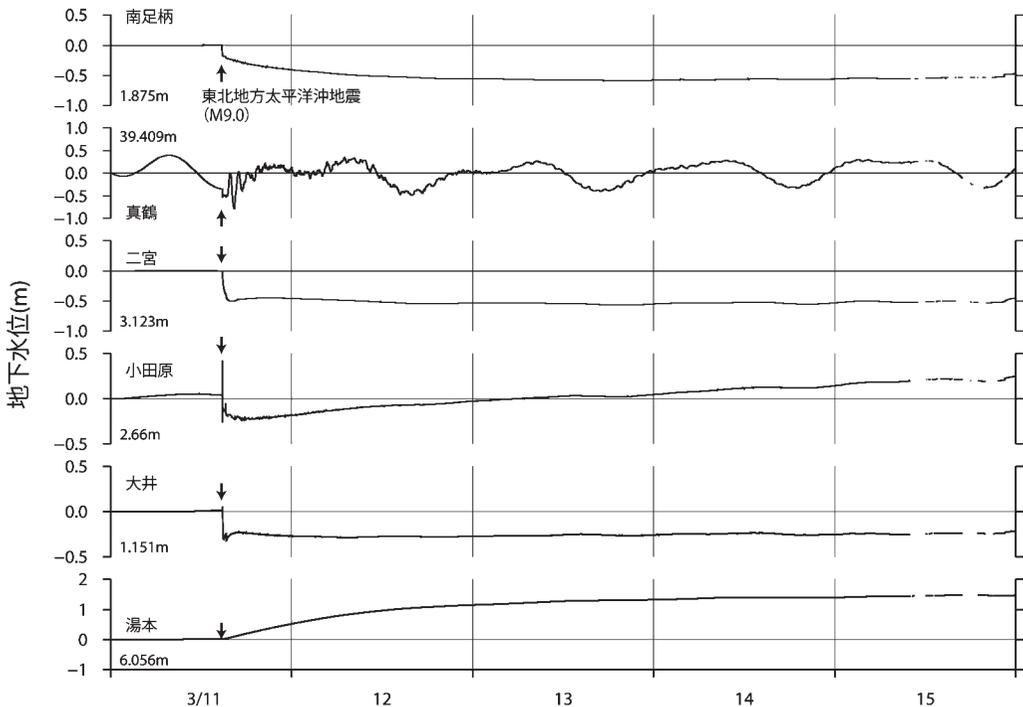


図 5 神奈川県西部の足柄平野周辺における 2011 年 3 月 11 日～15 日の地下水位変化 (原田・板寺, 2012).

ごく単純なケースとしては、温泉や地下水を含む帯水層の膨張により、温泉あるいは地下水の水頭が低下し、それに伴い水位（量）が低下（減少）することが予想される。実際に、各地で温泉あるいは地下水の水位低下が観測されている（たとえば、産業技術総合研究所活断層・地震研究センター, 2011）。

神奈川県内の浅層地下水については、本震後に水位が低下したという事例が多く、大局的な地盤の伸長傾向と整合的である。これに対して、温泉については、箱根の強羅地区や湯本地区をはじめとして、他地域においても、本震後の水位上昇（揚湯量増加）が報告されており、地盤の伸長傾向とは整合しない。今回の調査に依って、神奈川県という限られた範囲に限定しても、温泉・地下水に対する東北地方太平洋沖地震の影響の現れ方は単純ではなく、地域によって、また深度によっても異なっていたことが明らかとなった。

板寺ら（2012）は、箱根湯本地区の自然湧泉の温度と、その近隣に設置された観測井の地下水位が、いずれも本震直後から上昇し、その後数日かけて横ばい傾向に転ずる似通った推移を示したことから、温泉の変化が、箱根火山の活動活発化によるのではなく、東北地方太平洋沖地震による強い地震動やそれに伴った地殻変動により生じたと推定している。

図 6 は、箱根湯本地区の同一の源泉における揚湯量と温泉温度の推移を示したものである。これから、本震が発生した 3 月 11 日を挟んで、揚湯量、温度とも顕著に増加（上昇）したことが見てとれる。温泉の量と温度が同時に変化したことは、地殻変動による単一の帯水層の変形とそれに伴う温泉の水頭変化だけでは説明が難しく、板寺ら（2012）が言及しているように、温度の異なる複数の帯水層間における温泉水・地下水の移動を考慮する必要がある。

箱根湯本地区の地下水位観測井では、2007 年 10 月 1 日の神奈川県西部の地震（M4.9）や 2009

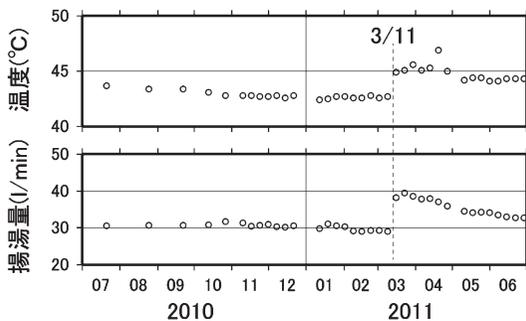


図 6 箱根湯本地区の同一源泉における温度 (a) および揚湯量 (b) の推移 (2010 年 7 月から 2011 年 6 月まで)。

年 8 月 11 日の駿河湾の地震 (M6.5) の直後にも、今回と同様に、地震直後に急上昇した水位が数日かけて横ばい傾向となる変化が観測されている (原田ら, 2008; 原田・板寺, 2010)。いずれの観測結果も、地震の影響による水位上昇は緩和的であり、その時定数は 1 日程度であった。箱根火山に隣接する足柄平野において観測された地下水位の変化も、変化の向きこそ逆だが、同様に緩和的であった (図 5)。本震後のこのような水位変化は、上述のように複数の帯水層間における温泉水・地下水の移動を示唆しているものと考えられる。

### 5. おわりに

本稿では、東北地方太平洋沖地震前後における神奈川県内の温泉・地下水の変化について、現地調査と情報収集した結果を報告した。紹介できたのは、ごく限られた事例であるが、温泉・地下水に対する東北地方太平洋沖地震の影響の現れ方は、地域によっても、また源泉の深度によっても異なることが明らかとなった。箱根地域の温泉では、複数の帯水層間の水の移動について考慮する必要があることが示唆された。温泉の温度や量の地震に対する応答の仕方は、その温泉水の生成機構とも関連している可能性があると考えられることから、今後も検討を進めることとした。

### 謝 辞

本稿をまとめるにあたり、神奈川県内各地の温泉行政担当者から、東北地方太平洋沖地震前後の温泉の変化についての情報を提供いただきました。また、源泉所有者の方には、震災後間もない時期であったにもかかわらず、快く調査の機会を提供していただきました。以上の方々に、心より感謝申し上げます。

### 引用文献

明田川保 (2011) : 東北地方太平洋沖地震後の内陸地震活動の活発化. 神奈川県温泉地学研究所報告, 43, 13-21.

秋田藤夫, 柴田智郎, 高橋徹哉 (2011) : 平成 23 年度東北地方太平洋沖地震によって観測された北海道内の温泉変動. 日本温泉科学会第 64 回大会要旨集, p. 97.

原田昌武, 明田川保, 伊東博, 本多 亮, 行竹洋平, 板寺一洋, 吉田明夫 (2012) : 2011 年東北地方太平洋沖地震によって誘発された箱根火山の群発地震活動. 地震, (印刷中).

原田昌武, 板寺一洋, 伊東 博 (2008) : 神奈川県西部地域における 2007 (平成 19) 年の地殻変動

- 観測結果. 観測日より, 58, 41-48.
- 原田昌武, 板寺一洋 (2010): 神奈川県西部地域における 2009 (平成 21) 年の地殻変動観測結果. 観測日より, 60, 41-48.
- 原田昌武, 板寺一洋 (2012): 神奈川県西部地域における 2011 (平成 23) 年の地殻変動観測結果. 温泉地学研究所観測日より, 61, 53-62.
- 板寺一洋, 菊川城司, 小田原啓 (2010): 神奈川県の大深度温泉水の起源. 温泉科学, 59, 320-339.
- 板寺一洋, 菊川城司, 代田 寧 (2012): 東北地方太平洋沖地震の影響による箱根温泉の変化. 神奈川県温泉地学研究所報告, 43, 39-43.
- 菊川城司, 板寺一洋, 吉田明夫 (2011): 箱根強羅潜在カルデラ内に湧出する温泉の新しい分類. 温泉科学, 60, 445-458.
- 気象庁 (2011a): 「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」について (第 39 報).
- 気象庁 (2011b): 第 120 回火山噴火予知連絡会 全国の火山活動の評価.
- 国土地理院 (2011): 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動について. [http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi\\_tohoku.html](http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_tohoku.html).
- 大塚晃弘, 高橋孝行, 益子 保 (2011): 東北地方太平洋沖地震に伴ういくつかの温泉の変化. 日本温泉科学会第 64 回大会要旨集, p. 101.
- 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター (2011): 地震後の地下水・温泉水の変化. <http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/Tohoku/chikasui.html>
- 行竹洋平, 本多 亮, 原田昌武, 明田川保, 伊東 博, 吉田明夫 (2011): 2011 年東北地方太平洋地震で誘発された箱根火山地震活動の精密震源分布. 日本火山学会 2011 年度秋季大会要旨集, p. 132.