

箱根の地震による温泉湧出の変化

— 1994年10月25日の地震と温泉の関係 —

大山正雄^{*}、棚田俊収^{*}、伊東博^{*}

Change of Hot Spring Water Discharge due to an Earthquake
in the Hakone Caldera on October 25, 1994.

by

Masao OYAMA^{*}, Toshikazu TANADA^{*} and Hiroshi ITO^{*}

Abstract

A clear coseismic anomaly of hot spring water temperature was observed for a magnitude 4.8 earthquake that occurred on October 25, 1994.

The coseismic temperature anomaly was observed at Yumoto spa in the Hakone caldera, western Kanagawa prefecture. The distance between the hypocenter and observation station was about 10km. The depth of focus was about 6km.

The hot spring water temperature was 35.2 before the earthquake occurred. The temperature dropped of 31.5 after 21 minutes and then rose to 42.2 after 59 minutes. The maximum temperature of the coseismic temperature anomaly was 48.1. This anomaly lasted about 16 days.

The hot spring water ran dry up before the earthquake occurred. The discharge rate of hot spring water was 8.9 l/min(47.5) about 18 hours after the earthquake, and decreased with time. After 11 days, the discharge rate was 3.1 l/min(45.3), and 1.3 l/min(41.1) after 15 days.

This phenomenon is attributed to increasing stress in geothermal water chamber caused by the earthquake.

1 はじめに

箱根火山の外輪山南西部で地震が1994(平成6)年10月22日2時頃から31日にかけて発生した。特に、10月25日15時6分には箱根と小田原で震度4を記録した。温泉地学研究所が箱根とその周辺に設置している地震観測機器の計測結果によれば、10月25日15時6分の地震の震源は箱根外輪山の箱根峠の真下5.6km、マグニチュードは4.8である(伊東ほか,1995)。この地震で箱根カルデラ内の仙石原で直径2~3mの岩石が落石して国道138

号線は一時交通止めとなり、震源に近い元箱根で数カ所の寺の墓石が倒れたり、ずれたりした(棚田ほか,1995)。箱根の温泉では箱根火山の基盤岩類から湧出する箱根町湯本の自然湧泉に変化が確認された。本報告は1994(平成6)年10月の地震と湯本温泉の湧出変化との関係を考察したものである。なお、この一部は1996(平成6)年の春季日本地理学会学術大会で発表した(大山ほか,1996)。

^{*} 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市人生田 586
神奈川県温泉地学研究所報告, 第29巻, 第1・2号, 65-70 (1999)

2 箱根湯本の自然湧泉

箱根湯本温泉は箱根カルデラの東端に位置し(図1)、箱根火山の基盤岩類から湧出している。現在(1994年)、湯本温泉は84源泉から5,690l/min湧出している。この内、2源泉のみが自然湧泉であり、他は動力による揚湯泉である。

1994(平成6)年10月25日15時6分の地震で湧出変化の認められた温泉は温度を連続観測している自然湧泉である。湧泉源は箱根新期外輪山溶岩の下位の基盤岩類に掘削された横穴燧道の奥に位置している。この横穴燧道は枝状に延びており、総延長が約140mである。湧出は主に図2に示したNo.1~4の4箇所である。湧泉No.1の湧出は冬などの湯水期になると停止し、春などの多雨期になると開始する。温度は湧出を開始すると50以上になることがあるが、湧出が停止すると急速に低下する。湧出量は降水に敏感に反応して増減する。湧泉No.2は湧泉の中で最も高温(56~57)で高い塩化物イオン(Cl⁻)濃度を示している。温度と湧出量は年間を通して安定している。湧泉No.4とNo.5は、温度(45~46)とCl⁻濃度がNo.2よりも低い、湧出量が最も多い。湧出量は降水に敏感に反応して増減している(大山ほか, 1988)。

各湧泉水はパイプで集められ、隧道出口に設けられた集水槽No.7で合流している。湧出量は集水槽で定期的に測定している。

湧出温度は燧道内の湧泉No.1、No.2、No.3と隧道出口の集水槽での合流点No.7の計4箇所には白金抵抗体の温度センサーを設けて連続観測を行っている。各センサーからの測定値は集水槽の小屋から5mの所に設置してある観測小屋内の打点記録計(チノー製)で記録している。測定温度の分解能は0.1である。

3 1994(平成6)年10月の地震活動と湯本湧泉

1994(平成6)年10月22日から31日にかけて箱根地方で発生した地震の震源分布は芦ノ湖から箱根外輪山を越えて南北方向に配列し、震源の深さが4~6kmに集中している。この活動域は北伊豆活断層系の北端部に位置しており、箱根火山中央火口丘で発生している火山性群発地震活動域と異にしている。10月25日以降、有感地震は発生しなかった。余震活動は急速に低下して10月中にほぼ鎮静化した(図3、伊東ほか, 1995)

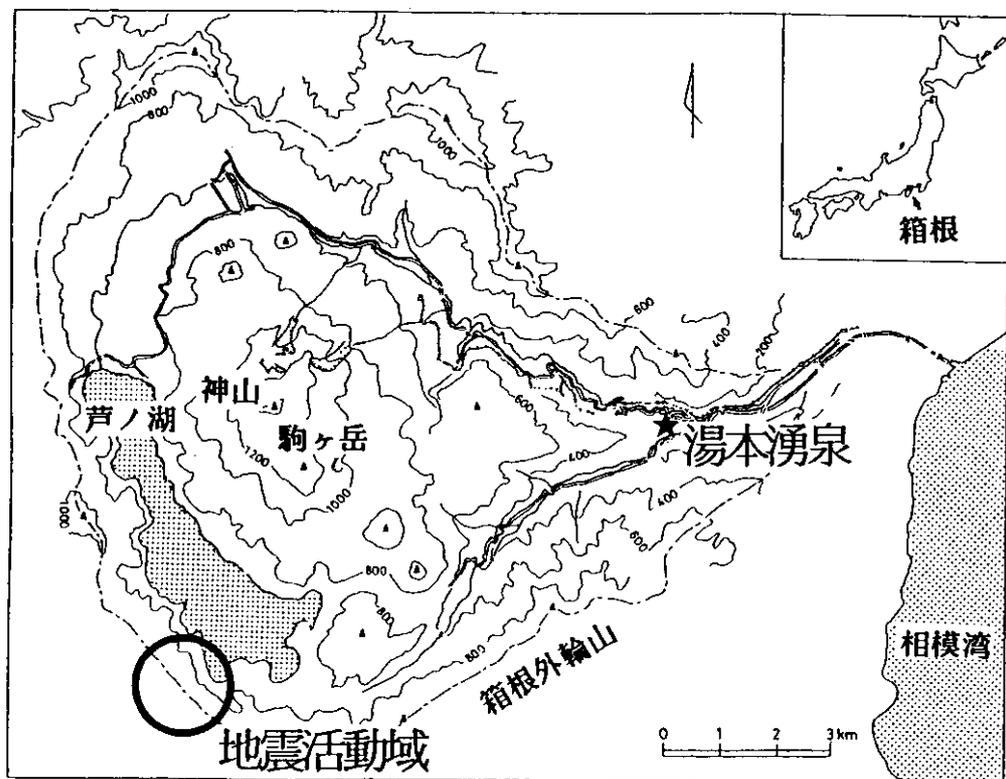


図1 箱根外輪山震央域と湯本湧泉

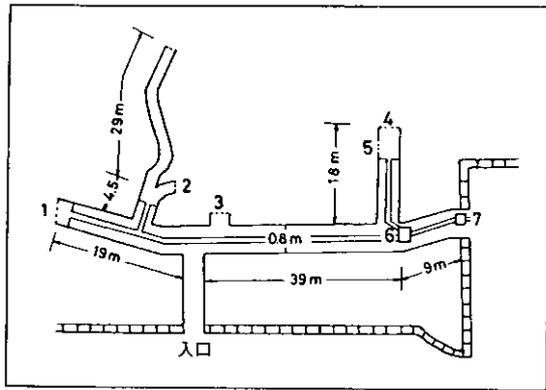


図2 湯本横穴湧泉（湯本第3号）

湯本の横穴湧泉の連続観測によれば、自然湧出している亀裂の内、最高温度を示している No.2 と湧出量の多い No.4 に変化は認められない。しかし、湯水時に洞湯し、多雨期に湧出する No.1 の湧泉の温度と湧出量に変化が現れた（図4）。地震直前の温度は 35.2 であったが、地震発生直後に低下し始めた。温度は 21 分後に 31.5 まで低下してから急上昇に転じ、59 分後の 16 時に 42.2 を示した。その後、温度は緩やかに上昇し、翌 26 日 0 時に 47.0、28 日 0 時に 48.1 まで達した。

温度は 29 日 4 時以降から急速に低下を始め、11 月 10 日から 11 日にかけて 40 から 30 になっている。

地震による温度上昇の期間は 16 日間となる。

湧泉 No.1 の温度は、地震発生前には微動しているが、地震発生後には安定している。10 月 12 日の調査では No.1 に湧出が認められなかった。しかし、温度は 14 mm の降水

をもたらした 10 月 21 日の翌日の 22 日に 30.2 から 42.3 に、23 日に 44.9 と上昇した後に 24 日から低下し、25 日 15 時には 35.2 となっている。湧出は 10 月 21 日の降水で翌日の 22 日から再開したが、24 日から湧出量が減少し、25 日の地震直前には微量になったか、あるいは停止していたと考えられる。不安定な温度表示は横穴内の大気温度の影響によるものと推定される。

No.1 の湧泉は 25 日 15 時 6 分の地震発生から約 18 時間後の 26 日 9 時 20 分に温度 47.5 の湧泉を 8.91/min 湧出していた。地震発生後の安定した温度と温度上昇は湧出量の増加を示すものである。その後、湧出量は 11 月 4 日に 3.11/min(45.3)、11 月 10 日に 1.31/min(41.1) に減少している。湧出温度は湧出量の減少とともに低下している。

4 考察とまとめ

1994（平成 6）年は降水量の少ない年であった。湯本横穴湧泉から東に約 300m に位置する箱根町消防本部湯本分署の観測によれば、湯本の 1980～1994 年の 15 年間における年平均降水量は 2,418mm であるが、1994（平成 6）年にはその 70%の 1,697 mmにすぎなかった（箱根町消防本部, 1980～1994）。このため No.1 に湧出が認められるのは 4 月 14 日～5 月 6 日、5 月 21 日～8 月 3 日、10 月 1 日～11 月 10 日の 3 期間である（図 5）。この 3 期間の湧出はいずれも多降水量の直後に始まっており、降水と湧出との関係が明瞭に現れている。

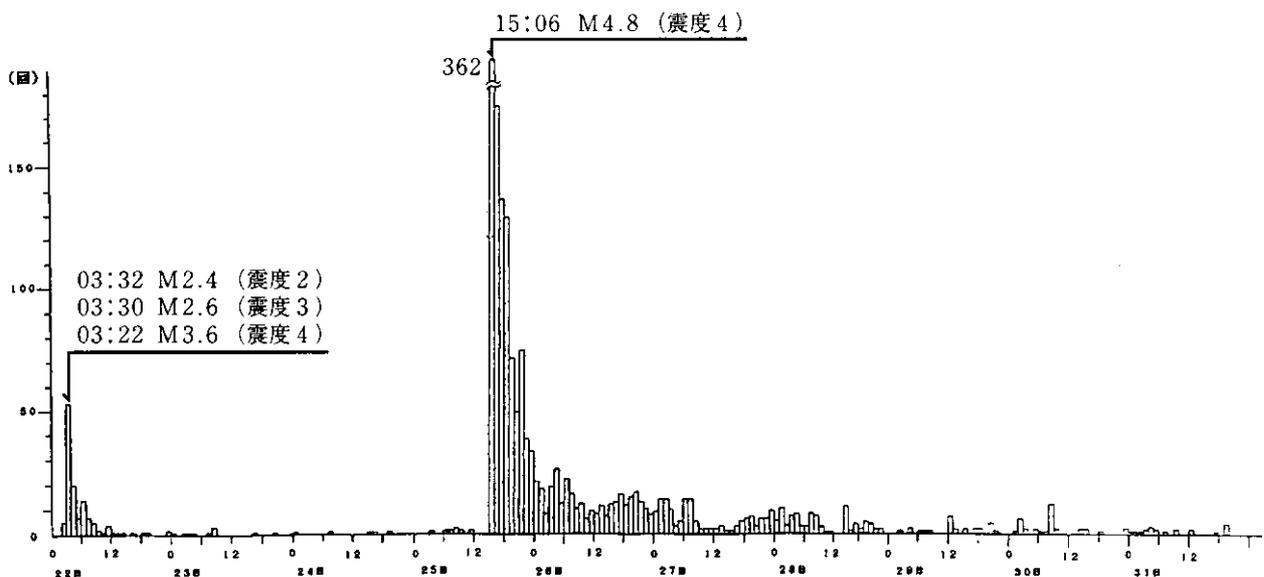


図3 箱根火山駒ヶ岳観測点における時間別頻度分布（1994年10月22日～10月31日）

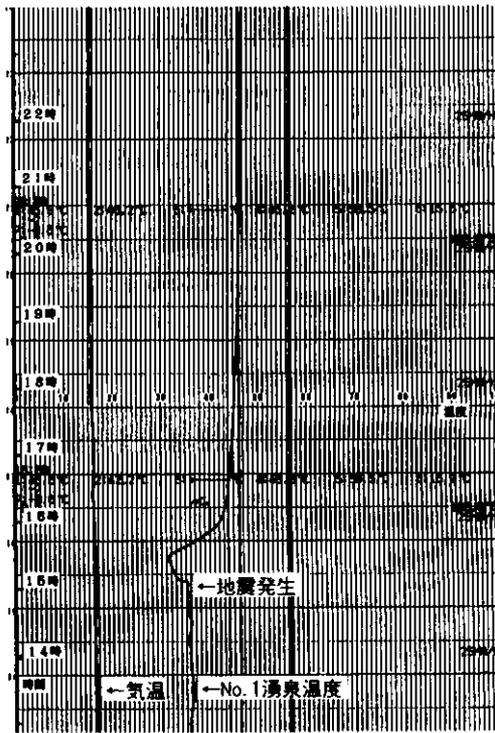


図4 湯本横穴湧泉の温度記録

しかし、湧出開始後の湧出状況を見ると、10月1日～11月10日の湧出は前2期間の場合に比べて断続的であって、降水と湧出との間の関係が不明瞭である。特に、10月21日以降において無降水にもかかわらず、湧出が25日15時6分のマグニチュード4.8の地震直後に開始し、あるいは増加している。

地熱開発等による深部掘削データや温泉の生成に関する研究が集積するにつれて多くの地熱・温泉地域の地下深所には熱水貯留層の存在が明らかになってきている。箱根湯本の基盤岩類からの温泉は地下深部の熱水溜まりから湧出する図6のモデル(大山ほか,1988)が考えられる。温泉は地下深所の熱水溜まりから割れ目を通して上昇している。熱水は上昇する過程で浅層地下水の混入を受ける。浅層地下水の混入の様式や割合は割れ目によって異なる。

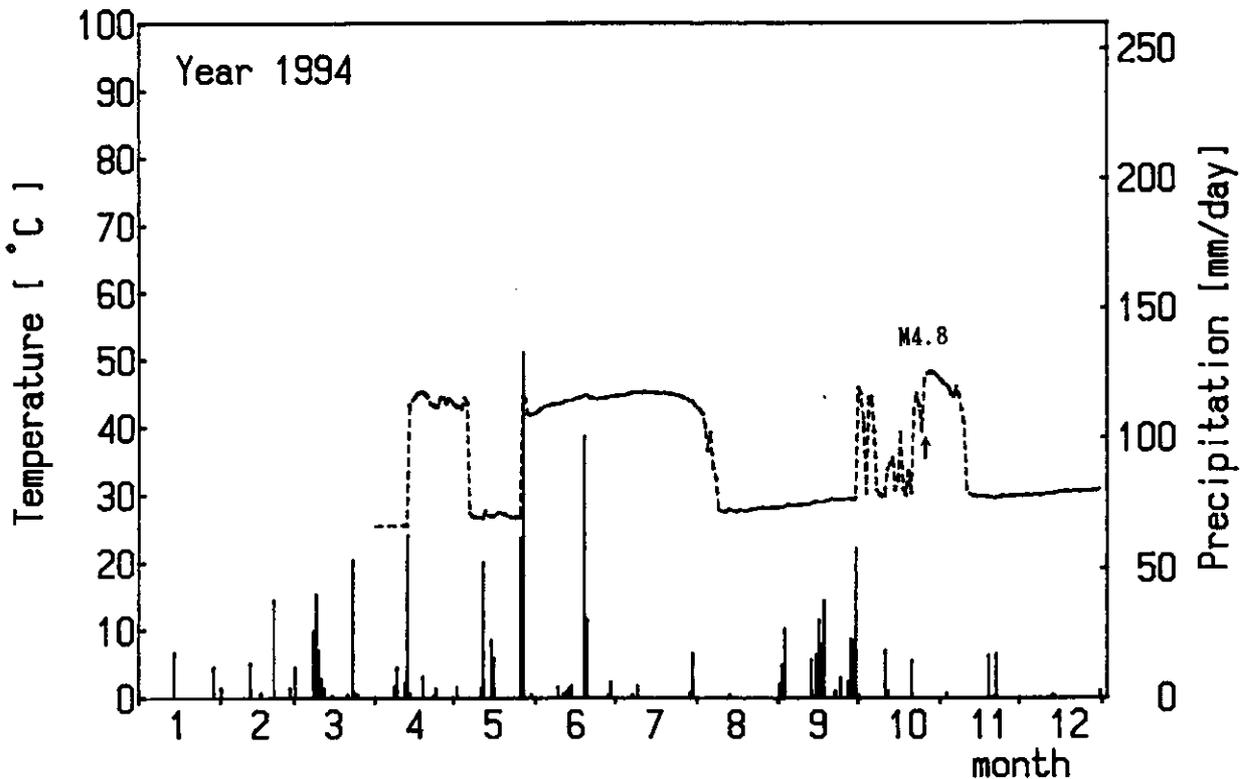


図5 湯本横穴湧泉No. 1の温度変化(1994年)

温泉を自然湧出させる駆動力には、冷水と熱水の密度差による浮力、かん養域と湧出域の標高差（水頭差）による圧力が考えられる。この内、多降水期には温泉量が多くなることから水頭差が温泉湧出の主力となる。また、地震発生で震源周辺の岩盤に歪を生じさせると、この歪みが四方に波及して熱水溜まりを圧迫（圧縮）することになる。この結果、熱水溜まりからの高温熱水の湧出量を増加させることも考えられる。

地震発生後に生じた湧泉 No.1 の温度上昇と湧出、あるいは湧出量の増加は、降雨に関係なく起きていることから水の密度差による浮力や水頭差による圧力変化によるものでなく、地震による熱水溜まりの圧縮によるものであるといえる。

5 今後の調査

温泉は地下の変化に対するセンサーでもある。湧出する温泉の温度、湧出量、成分を精度の高い計測器で連続観測をするならば、地震や火山活動の予知も期待できる。温泉地学研究所は地震予知研究の促進を目的として 1996（平成 6）年度から丹沢山地の非火山地域と箱根と湯河原の火山地域の温泉の温度観測を開始した。

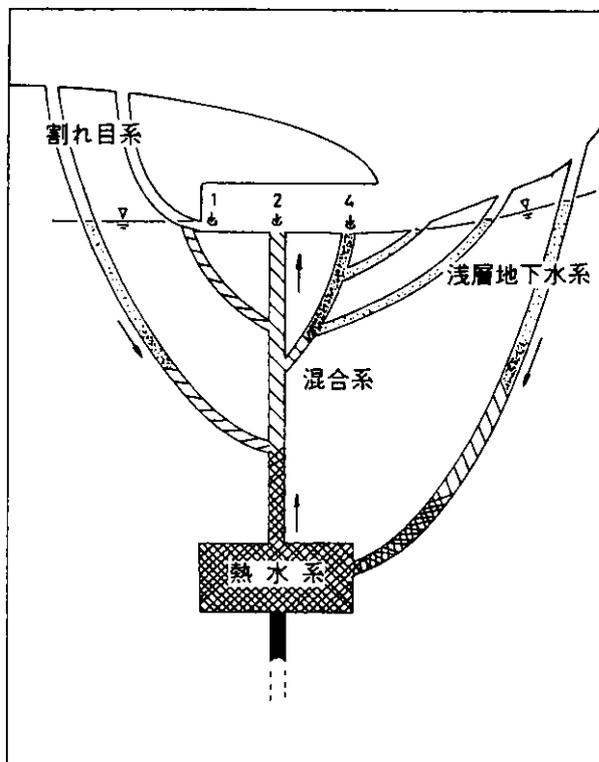


図 6 湯本湧泉の湧出機構の模式図

謝 辞

本調査にあたり、箱根湯本第 3 号の所有者の福住淑子氏には現地調査の便宜をはかっていただいた。温泉地学研究所の平野富雄前所長には有益な助言を、長瀬和雄所長をはじめ管理課の方々には調査が円滑に進むように配慮をしていただいた。以上の方々には厚くお礼を申し上げます。なお、この調査は神奈川県温泉地学研究所温泉資源調査費によった。

参考文献

- 箱根町消防本部、気象月報（1980～1994）
- 伊東博、棚田俊収、八巻和幸、大山正雄（1995）1994 年 10 月 25 日箱根外輪山に発生した M4.8 の地震について、神奈川県温泉地学研究所報告、Vol.26, No.3, 33-38.
- 棚田俊収、杉原英和、八巻和幸、伊東博（1995）1994 年 10 月 25 日箱根外輪山に発生した地震の震度分布、神奈川県温泉地学研究所報告、Vol.26, No.3, 39-44.
- 大山正雄、鈴木正明、平野富雄（1988）箱根湯本福住湧泉の湧出機構について、神奈川県温泉地学研究所報告、Vol.19, No.3, 111-128.
- 大山正雄、伊東博、棚田俊収（1996）1994 年 10 月の箱根外輪山の地震と温泉との関係について、日本地理学会予稿集、49, 172173.



写真1 元箱根付近に古期外輪山と芦ノ湖



写真2 湯元温泉場の遠景（中央部は新期外輪山湯坂山）