

# 丹沢山地中川温泉で観測されたコサイスミックな泉温変化

神奈川県温泉地学研究所  
棚田俊收・大山正雄

〒250-0031 神奈川県小田原市入生田586

(平成10年9月30日受付、平成10年11月11日受理)

## Coseismic Changes of Water Temperature Observed at the Nakagawa Hot Spring Well, Tanzawa Mountains Area

Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture  
Toshikazu TANADA and Masao OHYAMA

### ABSTRACT

In order to investigate relations between water temperature changes of hot spring and occurrences of earthquake, we have been conducting to monitor water temperature at a hot spring well in Tanzawa area since 1996. The monitoring well is located within Nakagawa Spa in the western part of the Tanzawa mountains, where quartz diorite and Miocene volcanic rocks of Tanzawa group are distributed. Nakagawa Spa is the nearest spa from a high seismic activity area in the eastern part of Yamanashi Prefecture.

The monitoring well is self-spouting and its depth is about 300m. A thermometer is installed in the well at 4m below the surface. The resolution of measurement is 0.03°C. Temperature recorded every 10 minutes is stored in a data-logger.

During observation periods, we found two cases with temperature change probably associated with earthquakes. Those coseismic changes in water temperature are inferred to two earthquakes(M4.7 and M4.9 respectively) occurred in the eastern part of Yamanashi Prefecture. The amounts of coseismic temperature changes were 0.2 and 0.3°C, respectively. Both hypocentral distances to the well are about 23 km. We considered that these changes could be caused mainly by the local strain release induced by the seismic waves.

Key words : Nakagawa Spa, seismic activity, coseismic change of water temperature

キーワード：中川温泉、泉温変化、コサイスミック、地震活動

### 1 はじめに

神奈川県内およびその周辺地域で地震発生前後に温泉の温度や湧出量などが変化した報告例がいくつかある。例えば、1923年の関東大地震(M7.9)前後では、熱海、伊豆、箱根温泉などで変化が報告されている(本間、1924；藤井、1924；中村、1925；平賀、1981)。丹沢山地周辺部では、山中湖の湖底湧水が数ヶ月前から濁り始めたことや、伊勢原で井戸水が2ヶ月前から減少し、地震後に回復したことも記載されている(中村、1925)。また、最近では1989年静岡県伊東沖での海底噴火に伴い、宇佐美温泉の水位が低下した事例が報告されている(黒川義男、1990；Notsu et.al.,1991)。箱根

では1966年の群発地震発生約1年後に強羅で泉温が20℃上昇した観測例がある(大木ら、1968)。1994年10月25日箱根外輪山で地震(M4.8)が発生したときには、コサイスマミックな泉温変化が箱根湯本で観測されている(神奈川県温泉地学研究所、1995；大山ら、1996)。

一方、神奈川県西部地域では近い将来M7クラスの地震発生が懸念されている(石橋、1994)。この地震の発生メカニズムを解明するために、神奈川県温泉地学研究所は県西部を中心に地震活動・地殻変動観測網を1989年度より再構築し、現在観測を継続している(伊東ら、1990)。この他に温泉活動の定期的な観測(例えば、杉山・鈴木、1993)を行っている。しかし、観測は箱根の温泉に限られているため、神奈川県西部全体の地震活動と温泉活動との関係を調べるには適していなかった。

そこで、地震活動と温泉活動の関係をより詳細に調査するため、温泉地学研究所は1996年度より箱根、湯河原、中川、厚木の4ヶ所で泉温の連続観測を開始した(大山・棚田、1997；棚田・大

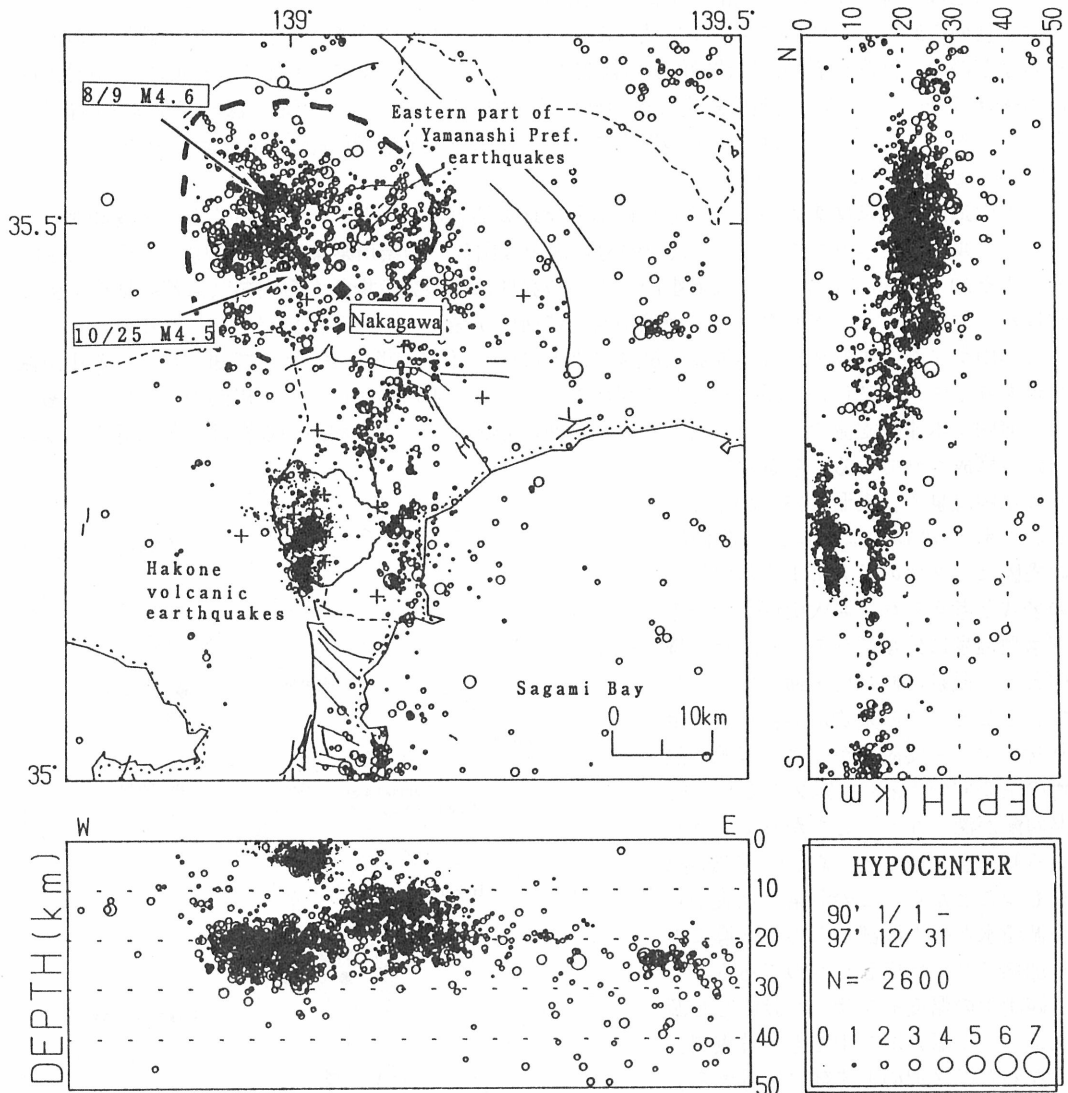


Fig.1 Hypocentral distribution determined by Hot Springs Res. Ins. Nakagawa water temperature observation point (◆); seismic observation point(+); solid and broken lines show active faults and prefecture boundary, respectively. The area surrounded by the thick broken curve corresponds to the seismicity in the eastern part of Yamanashi Prefecture.

山、1997)。これらの温泉の成因は、箱根・湯河原が火山性、中川・厚木が非火山性と異なっている(大木ら、1983)。箱根地域には火山性の地震が、湯河原地域には伊豆半島東方沖の群発地震が、また、中川温泉の近くでは山梨県東部の地震活動がそれぞれ発生しており、地震活動と温泉活動との関係を調査するのに適した地域である。本報告では、この調査結果のうち、山梨県東部の地震活動に伴う中川温泉で観測されたコサイスマミックな泉温変化と地震による歪量との関係について報告する。

## 2 観測の方法

### 2.1 観測点の概要と泉温・気温観測

丹沢山地は、神奈川県西北部に位置し、東西約30km、南北約20kmの広がりを持つ。この山地は中新世の海底火山の活動によって堆積した厚さ1万メートル以上の中新世の火山角礫岩や凝灰角礫岩などの火山性堆積岩類(丹沢層群)から構成されており、そのほぼ中央部には石英閃緑岩(丹沢深成岩体)が分布している。石英閃緑岩は火山性堆積岩類を貫いたマグマが地下深部で冷却・固結したものであり、その周辺部はマグマの貫入により生成した変成岩類(丹沢変成岩)が取り巻いている(杉山・丹沢研グループ、1986)。

丹沢山地の西側は関東周辺の中でも特に活発な地震活動が発生しており、古くから地震観測のテストフィールドとされてきた(岡田ら、1975)。震源は山梨・神奈川県境付近に集中し、その深さはおおよそ20~30kmに分布している(図1)。この地震群はその発生場所から山梨県東部の地震活動と呼ばれ、マグニチュード6クラスの地震が過去に何度か発生している(国立天文台、1998)。

この山梨・神奈川県境付近の地震活動域の直上には、「信玄の隠し湯」として知られている中川温泉があり、中世の時代から温泉場として利用されてきた。中川温泉は、神奈川県山北町中川にあり、河内川本流や支流の湯ノ沢に沿った狭い範囲に分布している。周辺の地質は石英閃緑岩や変成岩から構成されている。泉質はアルカリ性単純温泉で、泉温は25~40℃である。大木ら(1967)によれば、この温泉の成因はマグマの貫入による熱水作用の名残と考えられ、非火山性の深層地下水型温泉に分類されている。その理由として温泉は割れ目を通して湧出していること、その泉質は溶存物質を余り含まず、主要成分がマグマ起源の熱水の主要成分(NaCl)と異なること、地温勾配が深くなるにしたがって小さくなる傾向をもつこと、高pHの泉質起源をもつことから、この温泉は地表からの循環水が地下深部からの熱伝導により加熱されて生成したものである。

観測用の温度センサーを設置した源泉は、中川温泉場の中でも一番東側、すなわち湯ノ沢の上流部に位置する。井戸の深さは約300mで、自噴井である。1985年の調査では自噴量は56リットル/分で、泉温は39.6℃、pHは9.8で

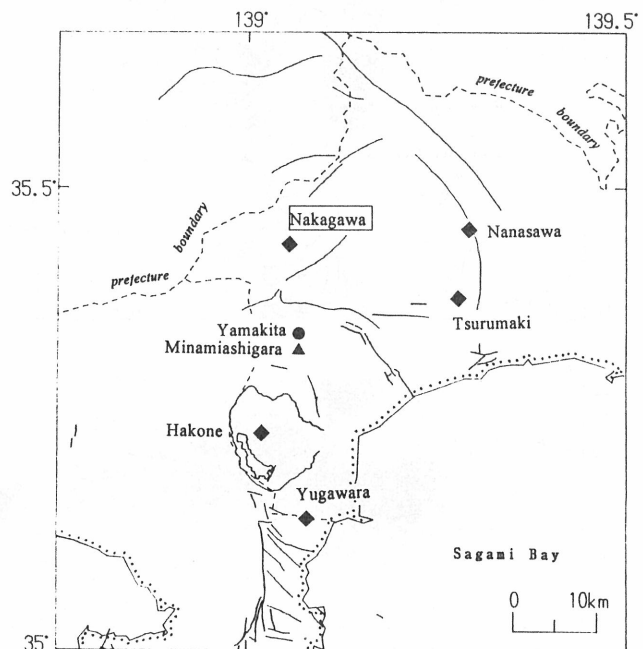


Fig.2 Location of observation points. Water temperature(◆); atmospheric pressure and amount of rainfall(▲); strong motion observation point(●).

あった(神奈川県温泉地学研究所、1997)。図2に中川観測点を含む温泉地学研究所の泉温観測点の位置を示した。

温度センサーは自噴している井戸中につり下げ、その深さは地表面から約4m下にある。センサーはサーミスタ式で、その精度は $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、分解能は $0.03^{\circ}\text{C}$ である。また、地表では同時に気温を測定している。測定はともに10分間隔である。観測点付近には商用電源および電話回線がないため、データはデータロガー(ジェイエムエス社製、SR-1 PLUS型)に蓄え、約2ヶ月ごとに回収した。

## 2.2 降水量・気圧および地震データ

泉温変化と比較検討したデータは次のものを利用した。降水量と気圧のデータは、足柄平野に設置された南足柄地下水水位観測点(図2)での観測値である。この観測点は、中川温泉より南約13kmにある。図3の降雨量は1時間ごとの積算値、気圧は正時の瞬時値である。

震源要素は、気象庁の地震月報や温泉地学研究所の震源カタログを用いた。また、震度に関しては、防災科学技術研究所の強震計ネットワークの山北観測点(図2)で得られた加速度データの換算値を用いた。この観測点は、中川温泉より南約10kmにある。

## 3 観測結果

解析した期間は、1996年6月16日から1997年4月15日までの約10ヶ月である。図3に示したように、気温の最大変化は $10^{\circ}\text{C}/\text{日}$ 、最大気圧変化は低気圧通過に伴う $5\text{ hPa}/\text{時}$ 、24時間最大降水量は $146.5\text{ mm}$ であったが、これらの気象現象と泉温変化との関連は認められなかった。また、潮汐に関連する周期的な泉温変化も観測されなかった。

この期間中に神奈川県西部および周辺では、次のような顕著な地震活動が発生した。山梨県東部では、1996年8月9日03時16分にM4.6、その40秒後にM4.1の地震がともに深さ約21kmで発生した(図1)。泉温観測点との震央距離は約11kmであった。山北の震度は4であった。また、同年10月25日12時25分にはM4.5、21時06分にはM4.0の地震が発生した(図1)。震源の深さは23kmと18kmで、震央の位置は8月9日M4.6の地震とは異なっていた。震央距離は約5kmで、山北の震度は4と2であった。これらM4.6(8月9日)とM4.5(10月25日)の発震機構は、北西-南東に主圧力軸を持つ逆断層型と報告されている(気象庁地震予知情報課、1997)。

これらの最大地震に対し、コサイスマミックな泉温変化が2回観測された。M4.6のときには $0.2^{\circ}\text{C}$ 、M4.5のときは $0.3^{\circ}\text{C}$ 上昇した(図4)。これらの泉温変化量は地震後の極大値から地震直前の値を差し引いた値である。泉温はおおよそ1日かけてかなり急に上昇するが、その後緩やかな上昇に変わった。地震発生前の泉温に戻るには約1ヶ月要した。なお、M4.6の地震のときには約40秒後に、M4.5の地震のときは約9時間後にそれぞれM4クラスの余震があったが、泉温変化は認められなかった。また、前兆となるような変化も観測されなかった。なお、箱根、湯河原、厚木七沢、秦野鶴巻の各温泉における泉温観測点(図2)では、これらの地震に対するコサイスマミックな泉温変化は観測されていない。

伊豆半島東方沖では、1996年9月15日~10月下旬と1997年3月3日~4月中旬に2回活発な群発地震活動が発生した。1996年の群発地震活動での最大地震は10月16日22時58分のM4.1であった。震源の深さは数kmと浅く、中川泉温観測点までの震央距離は52kmであった。このとき山北の震度は強震情報ネットワーク上には報告されていなかったのもので不明である。1997年の群発地震活動では、3月4日12時51分にM5.7の地震が発生した。震源の深さは2kmと浅く、中川泉温観測点までの震央距離は52kmであった。山北の震度は2であった。これらの群発地震活動に対して、中川泉温観測点ではコサイスマミックな泉温変化は観測されなかった。

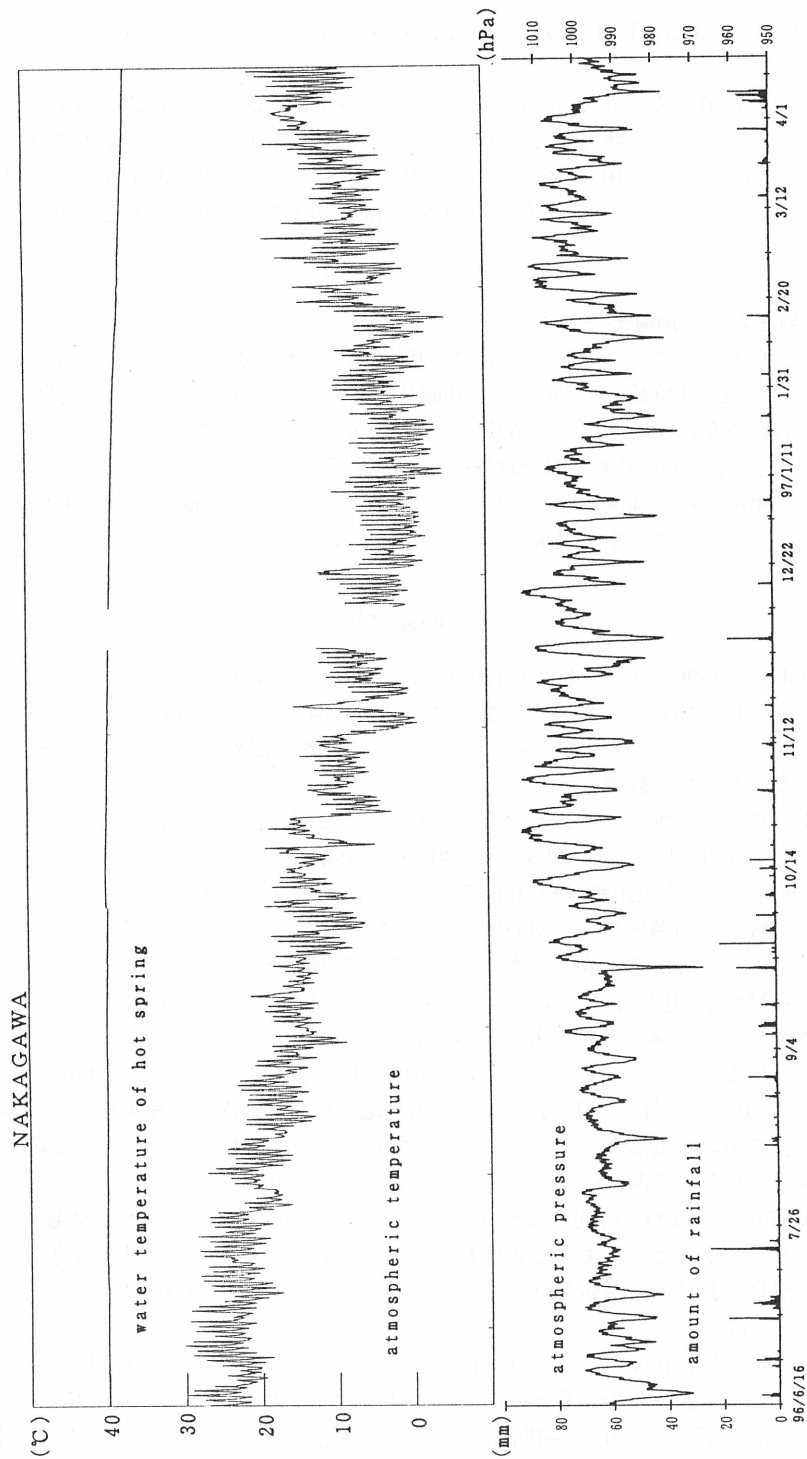


Fig.3 Results of observation (1); water temperature of hot spring and atmospheric temperature(upper), atmospheric pressure and amount of rainfall(lower).

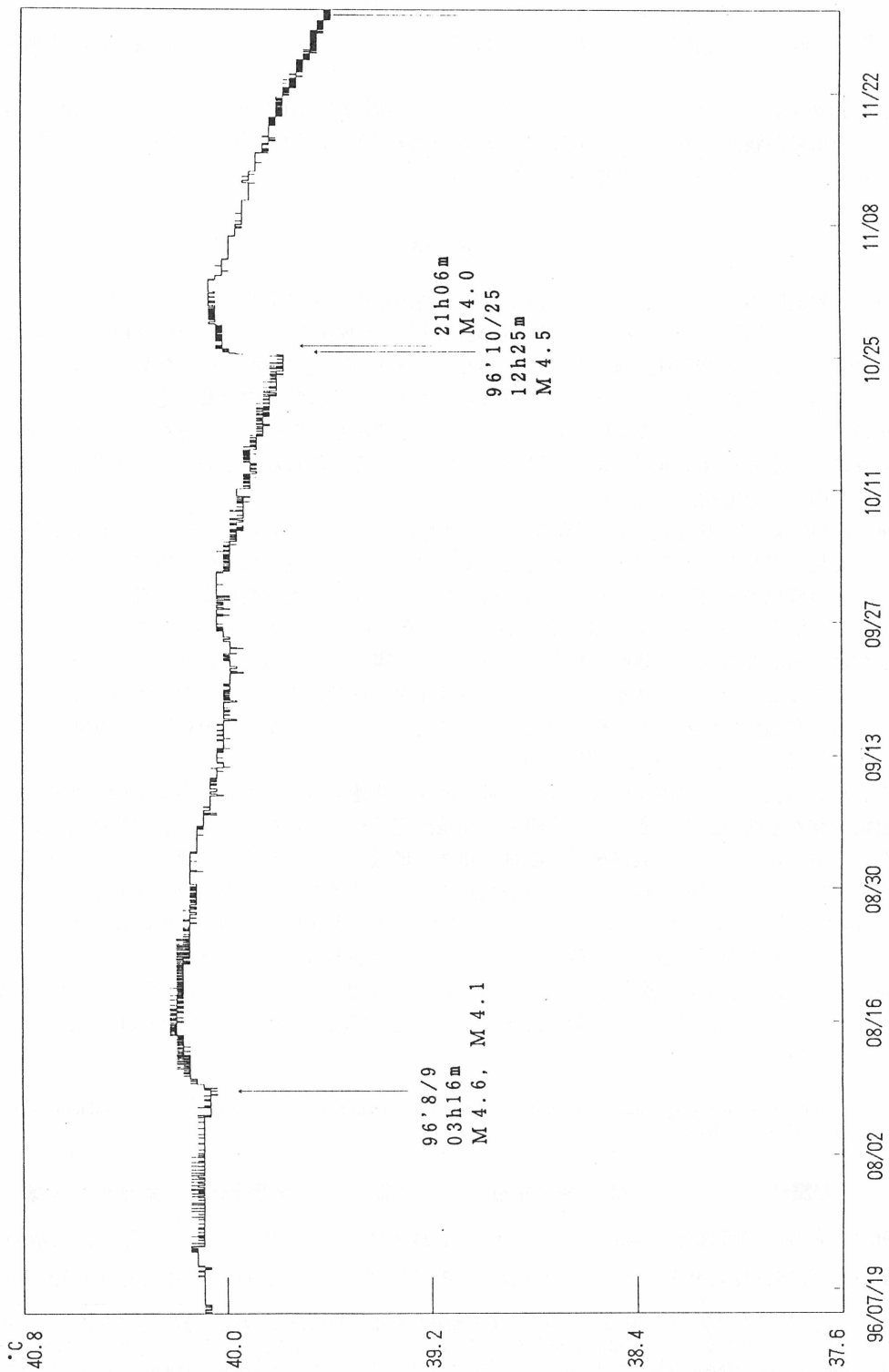


Fig.4 Results of observation (2) ; coseismic changes of water temperature indicated by arrows due to the earthquake activities in the eastern part of Yamanashi Prefecture.

上記で述べた地震活動以外で、山北で震度3以上を観測したことはこの期間中無かった。山北で震度2以下を観測した地震に対しても、中川泉温観測点ではコサイスマックな泉温変化は観測されなかった。

また、解析期間中M6.0以上の地震は日本列島及びその周辺では10個あった。これらの地震の震央距離は中川泉温観測点から197~907kmで、最大の地震はM6.6であった。いずれにもにおいても明瞭なコサイスマックな泉温変化は観測されなかった。

#### 4 考 察

一般に、地震時のコサイスマックな泉温変化は、湧出量の増減に関連していると考えられている(脇田、1978)。地震時のコサイスマックな水位変化が生じる理由としては、(1)地震動による影響と(2)地殻の歪変化による空隙圧の変化によるものなどがある(脇田、1978)。残念ながら、コサイスマックな泉温変化が観測されたときには、中川泉温観測点では自噴量の連続測定は行っていなかった。そのためコサイスマックな泉温変化に対する要因を湧出量と関連付けて考察することは難しいが、計算により求められる地震による歪量との関係から、今回得られた2回のコサイスマックな泉温変化の原因について検討してみる。

小泉ら(1995)は、鳥取県湯谷温泉で震度1以下の地震に対してもコサイスマックな水温変化が生じることを見いだした。その変化は1ヶ月程度で回復したが、震度3以上の地震に伴うコサイスマックな水温変化の回復は遅かった。彼らは震度が大きくなると地震動による水温変化の影響が大きくなり、水温変化が回復しない(または、遅れる)と述べている。今回得られたコサイスマックな泉温変化は、山北で震度4を観測したときだけ発生し、震度2以下の地震に対しては観測されなかった。このことは今回のコサイスマックな泉温変化が地震動によって生じた可能性を示している。しかし、泉温変化は約1ヶ月程度で元の泉温に戻っており、小泉ら(1995)が得た現象(震度3以上の場合、温度回復が遅い)とは異なっていた。

一方、地殻の歪による空隙圧の変化は自噴量の増減に関連する。中川泉温観測点のコサイスマックな泉温変化が観測されたときには、自噴量の連続測定は行っていなかったが、源泉所有者に対する聞き込み調査によれば、地震前後で自噴量が顕著に増減したという事は無かった。しかし、丹沢山地の南に位置する足柄平野の地下水位観測点では、コサイスマックな水位変化があったことが板寺ら(1998)によって報告されている。このことから中川泉温観測点で自噴量観測が行われていれば、コサイスマックな湧出量変化が確認されていた可能性がある。

歪量(\*)と泉温変化量を比較するために、岡田(1992)の方法に基づいて、コサイスマックな泉温変化が生じた2回の地震に対して歪量を計算し、泉温変化/歪量を求め、それぞれ0.17、0.35°C/10<sup>-8</sup>strainを得た(表1)。

Table 1 List of origin time, magnitude, hypocentral distance, local strain release, temperature changes and temperature change/local strain release

発震時	M	震源距離	歪量	泉温変化	泉温変化/歪量
1996年 8月 9日03時16分	4.6	23.6km	1.21×10 <sup>-8</sup>	0.2°C	0.17°C/10 <sup>-8</sup> strain
1996年10月25日12時45分	4.5	23.5km	8.65×10 <sup>-9</sup>	0.3°C	0.35°C/10 <sup>-8</sup> strain

(\*)ここで述べている歪量とは、任意の地震が、ある距離で発生した場合に、特定の観測点で期待される地殻変動(歪量)を意味する。この値は、地震断層モデルに基づいて理論的に計算できる。1.0×10<sup>-8</sup>の歪量とは、単純化すると100kmの長さが1mm変化したことを意味する。単位は1mm÷100kmなので、無次元で表される。

(\*\*)体積歪-水温変化換算係数とは、地下の岩盤の膨張・収縮と水温変化との関係を示す係数である。この係数は体積歪計と水温計の観測値から得られる。1.0°C/10<sup>-8</sup>strainとは、10<sup>-8</sup>の歪量に対し、温度が1.0°C変化することを意味する。

小泉ら(1995)は、鳥取県の湯谷温泉において、地球潮汐による体積歪-水温変化換算係数(\*\*)が、 $1.10\text{m}^{\circ}\text{C}/10^{-8}\text{strain}$ になることを示した。また、Furuya and Shimamura(1988)は、東海地方において精密水温計と体積歪計による観測値の比較を行い、地球潮汐による体積歪変化が原因と思われる水温の変化を検出した。さらに、水温-歪の振幅比が $1.1\times 10^5\sim 6.6\times 10^6\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{strain}$ になることを見いだした。

中川温泉観測点で得られた地震時の歪量に対する泉温変化量(0.17、 $0.35\text{m}^{\circ}\text{C}/10^{-8}\text{strain}$ )は、小泉ら(1995)が求めた地震による体積歪-水温変化換算係数( $1.10\text{m}^{\circ}\text{C}/10^{-8}\text{strain}$ )、Furuya and Shimamura(1988)の水温-歪振幅比( $1.1\times 10^5\sim 6.6\times 10^6\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{strain}$ )より1けたから3けた近く大きいことが分かった。小泉ら(1995)は、地震によるコサイスマミックな水温変化の歪に対する感度は気圧変化・潮汐による水温変化の歪に対する感度より1000倍以上も大きくなることから、地震による水温変化と気圧変化・潮汐による水温変化とはメカニズムが異なると述べている。彼らはこの原因を(1)潮汐と地震の周期の違いに依存した歪に対する応答の違いか、(2)泉温観測点近傍の歪が地震波の伝播によって大きく解放されたためと考えている。今回我々が得た結果も、歪に対する泉温変化の大きさから考えてこのような原因によって生じた空隙圧の変化を反映しているものかもしれない。

## 5 まとめと今後の課題

- (1)中川温泉観測点における泉温は気圧、降雨量、気温、潮汐との相関は無かった。一方、1996年6月から1997年4月の観測期間中に、コサイスマミックな泉温変化が2回の山梨県東部地震(M4.6とM4.5)に対して観測された。その際泉温はそれぞれ $0.2\text{C}$ と $0.3\text{C}$ 上昇した。両変化とも地震発生後1日のうちに、泉温はかなり急に上昇し、約1ヶ月後に元に戻った。これら地震活動に対して、箱根、湯河原、厚木七沢、秦野鶴巻の泉温観測点ではコサイスマミックな変化は観測されなかった。
- (2)今回得られた中川温泉観測点でのコサイスマミックな泉温変化は、地震動による影響を完全には否定できないが、地震時の歪量に対する空隙圧の変化が主な原因であった可能性がある。

今後は自噴量の観測を追加したり、中川温泉の別の源泉での同時観測を行い、泉温変化のメカニズムを解明していく予定である。

## 謝 辞

井戸所有者及び管理者の方々には、観測に快く協力していただいた。また、この研究を進めるに当たり、温泉地学研究所の연구원の方々には貴重な助言をいただいた。2名の匿名査読者には原稿の改善に極めて有益なコメントをいただいた。以上の方々には心から感謝いたします。なお、本研究は平成9年度神奈川県重点基礎研究費の一部を利用した。

## 参考文献

- Furuya, I and H. Shimamura, H. (1988) Ground-water microtemperature and strain, *Geophys. J.*, 94 : 345-353.
- 平賀士郎(1981) 地震前兆現象としての温泉・地下水異常記録一大正12年9月1日, 関東大地震一, 神奈川県温泉地学研究所報告, 12(4) : 144-146.
- 本間不二男(1924) 関東大地震の二三の破壊的結果に就いて, *地球*, 1(1) : 56-59.
- 藤井毅太郎(1924) 熱海温泉の成分, *地球*, 2(1) : 183-189.
- 石橋克彦(1994) 大地動乱の時代, 234, 岩波新書, 東京.
- 板寺一洋、宮下雄次、横山尚秀(1998) 神奈川県西部地域における地下水位観測 結果(1997). 温泉地学研究所報告観測だより, 48, 13-18.



- 伊東 博、小鷹滋郎、棚田俊收、荻野喜作、長瀬和雄、横山尚秀、平野富雄、大木靖衛(1990) 温泉地学研究所の地震・地下水観測システムについて、神奈川県温泉地学研究所報告,21(3):71-86.
- 神奈川県温泉地学研究所(1995) 1994年10月25日箱根外輪山の地震(M4.8)について、地震予知連絡会会報,53:255-266.
- 神奈川県温泉地学研究所(1997) 神奈川県温泉地学研究所報告,28(2):1-277.
- 気象庁地震予知情報課(1997) 山梨県東部の地震.地震予知連絡会会報,57:141-142.
- 小泉尚嗣、北川有一、佃 為成、矢部 征(1995) 鳥取県湯谷温泉におけるコサイスマミックな水温変化について、地震2,48:315-329.
- 国立天文台(1998) 日本付近のおもな被害地震年代表、理科年表,794-825,丸善株式会社,東京.
- 黒川義男(1990) 宇佐美温泉で観測された1989年伊豆東方沖群発地震と海底噴火の前兆,神奈川県温泉地学研究所報告,21(2):39-46.
- 中村左衛門太郎(1925) 関東大震災調査報告,震災予防調査会報告,第100号甲,67-140.
- Notsu, K., Wakita, H., Igarashi, G. and Sato, T. (1991) Hydrological and geochemical changes related to the 1989 seismic and volcanic activities off the Izu Peninsula, J. Phys. Earth, 39:245-254.
- 岡田義光、島村英紀、古屋逸夫、石橋克彦、浅田敏(1975) 西丹沢における極微小地震臨時観測,地震 第2輯,28(1):105-106.
- 岡田義光(1992) 地震断層による地殻変動の期待値、地震学会講演予稿集,2,240.
- 大木靖衛、田口健志、広田茂、荻野喜作、平野富雄、守矢正則(1967) 中川温泉の地下温度構造、神奈川県温泉地学研究所報告,1(5):23-34.
- 大木靖衛、荻野喜作、平野富雄、広田茂、大口健志、守矢正則(1968) 箱根強羅温泉の温度異常上昇とその水理地質学的考察,神奈川県温泉地学研究所報告,1(6):1-20.
- 大木靖衛、荻野喜作、平野富雄、小鷹滋郎、栗屋徹、杉山茂夫、大山正雄(1983) 神奈川県温泉誌,神奈川県温泉地学研究所報告,14(4):99-216.
- 大山正雄、伊東 博、棚田俊收(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,49:172-173.
- 大山正雄、棚田俊收(1997) 神奈川県西部地域における温泉の連続観測—温泉による地震調査—、日本温泉科学会講演要旨集:24.
- 杉山明、丹沢団研グループ(1986) 丹沢山地,日本の地質『関東地方』編集委員会編『関東地方』,94-101,共立出版株式会社,東京.
- 杉山茂夫、鈴木正明(1993) 箱根温泉の温度と湧出量の観測(1987~1989)、神奈川県温泉地学研究所報告,24(2):61-76.
- 棚田俊收、大山正雄(1997) 神奈川県西部における温泉温度の連続観測、日本地震学会予稿集,2:P127.
- 脇田 宏(1978) 地下水の水位・化学組成変化,浅田敏編著『地震予知の方法』,146-166,東京大学出版会、東京.