



原 著

1960年代に箱根強羅の温泉で観測された異常昇温現象

板寺一洋^{1)*}, 菊川城司¹⁾, 吉田明夫¹⁾

(平成25年2月7日受付, 平成25年3月8日受理)

Abnormal Temperature Increase of Thermal Waters in Gora Spa of Hakone during the 1960s

Kazuhiro ITADERA^{1)*}, George KIKUGAWA¹⁾ and Akio YOSHIDA¹⁾

Abstract

In 1967, a notable rise in temperature of hot spring waters was observed at wells in the Gora area in Hakone caldera (we call it the 1967 rising event in the following). The 1967 rising event is important because it was regarded as significant evidence to support the so-called Oki and Hirano model (1970) which explains formation of thermal waters in Hakone caldera synthetically. The rise in temperature started abruptly on May 23, 1967, at hot spring wells located in the west of Gora area. Thereafter, when equi-temperature contour maps at the point of one year before, three years after, and five years after the 1967 rising event were depicted, it was noticed that high temperature area extended toward east, and the observation was considered to show that the rising area itself migrated eastward. We performed a detailed research on the rise in temperature of hot spring waters in the 1960s to the 1970s using all available data. We found that (1) rising in temperature was most notable at wells on the eastern end of the study area, (2) the rise in temperature at those wells had started before the 1967 rising event and continued till the mid 1970s, and (3) the rise in temperature was most noticeable at wells of Type 2 in the new classification of hot springs by Kikugawa *et al.* (2011). These findings about the rising in water temperature in the Gora area in the 1960s and 1970s are concordant with the idea on the origin of hot springs proposed by Itadera *et al.* (2011).

Key words : Gora spa in Hakone, The 1967 rising event, Origin of hot spring waters

要 旨

1967年に、箱根カルデラ内の強羅地区で温泉水が急激かつ顕著に上昇するという現象が観測された。この温度上昇は、箱根カルデラ内の温泉の成因を論じた、いわゆる大木・平野モデル

¹⁾ 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. ¹⁾ Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, Iryuda 586, Odawara, Kanagawa Prefecture 250-0031, Japan.

*Corresponding author : E-mail itadera@onken.odawara.kanagawa.jp, TEL 0465-23-3588, FAX 0465-23-3589.

ル (Oki and Hirano, 1970) を支持する一つの有力な根拠とされたという点で、重要な意味を持つ。温度上昇は強羅地区にある源泉で 1967 年 5 月 23 日に突然始まった。その後、昇温が始まる 1 年前、始まって後 3 年および 5 年経過した時点での強羅地区の温泉の等温線図において、高温域が東側に拡大しているのは、温度上昇した範囲そのものが東へ移っていったことを示すとみなされた。この異常昇温現象について、われわれは、現在、手に入れることのできるすべての観測データを用いて詳細な検討を行い、以下の知見を得た。(1) 昇温は調査域の東端部の井戸でもっとも顕著だった。(2) それらの井戸での昇温は 1967 年以前に始まり、1970 年代、半ばまで続いた。(3) 昇温が目立ったのは菊川ら (2011) による新しい温泉分類でタイプ 2 に属する源泉だった。1960 年代から 1970 年代にかけて生じた昇温現象についてのこれらの新たな知見は、板寺ら (2011) によって提案された温泉水の起源に関する考え方と整合的である。

キーワード：箱根強羅温泉，1967 年異常昇温現象，温泉の成因

1. はじめに

1967 年 5 月 23 日、箱根強羅地域の一部の温泉が急激に上昇した。異常昇温の生じた日が 5 月 23 日と特定されているのは、強羅温泉翠光館源泉 (元宮城野村 50 号) と箱根温泉興業源泉 (元宮城野村 80 号) において、その日に温泉温度の顕著な上昇が観測されたからである (大木ら, 1968a)。この報を受けて 6 月初旬に温泉地学研究所と小田原保健所が箱根温泉で広く実施した調査によれば、温度上昇が生じたのは強羅、小涌谷地域に限られ、その中は大きなところで 10°C 以上に及んだ。ただし、多くは数度で、また、強羅地区の中でも昇温しなかった源泉もあった。大木ら (1968a) によれば、箱根温泉興業源泉では約一週間後に泉温がほぼ元に戻り、昇温後、温度の連続観測が行われた翠光館源泉では約 5 カ月後の 10 月に従前の泉温に戻ったということである。この異常昇温現象 (以下、本論では 1967 年昇温イベントと呼称) は、箱根の温泉の成因に関するいわゆる大木・平野モデル (大木ら, 1968b; Oki and Hirano, 1970) が提唱された際に、その主要な根拠の一つとされたという点で重要な意義を持つ。

Figure 1 は、大木・平野モデルの概要を模式的に示したものである。大木・平野モデルは、箱根で見られる多様な温泉についてのそれまでの観測結果を集成して、中央火口丘付近で見られる噴気活動や箱根火山下の基盤構造、それに地下水頭や地温に関するデータ、更には中央火口丘下で発生している群発地震活動をも視野に入れて、様々な泉質を持つ温泉の空間分布の特徴を説明するとともに、それぞれの泉質の温泉の成因を論じた、いわば、箱根の火山活動と温泉の湧出機構に関する総合的なモデルということが出来る。そのモデルにおいて、箱根の温泉は第 I 帯、第 II 帯、第 III 帯、第 IVa、IVb 帯と分類された。第 I 帯の温泉は中央火口丘周辺に湧出する酸性硫酸塩泉で、その中に含まれる硫酸イオンは火山ガスの一つの主成分である硫化水素が地表付近で酸化されて生じたものとみなされた。第 II 帯の重碳酸塩硫酸塩泉は、硫酸塩に加えて炭酸物質を重碳酸塩の形で含むもので、その炭酸物質の供給源は箱根火山の噴出物中にはさみこまれた堆積時の有機物であろうと推定された。第 III 帯の温泉は高温高塩化物泉で、早雲山近辺の地下深部より上昇してきた塩化物に富む高温高圧の火山性水蒸気が地下水に付加されて、それが地下水流動によって地形斜面に沿いつつ下流に移動しながら枝分かれしたものとされ、箱根の温泉の中で唯一、直接にマグマ起源の成分が溶け込んでいると考えられた。そして、第 IVa 帯の温泉は第 II 帯と第 III 帯の混合、また第 IVb 帯の温泉は基盤岩中に湧出するもので箱根火山活動の直接的な関与はないと想定された (Oki and Hirano, 1970)。

大木・平野モデルでは、第 III 帯の高温高塩化物泉は早雲山直下を源として中央火口丘東麓へ流れ下るとされ、昇温が生じた源泉の分布は、その流路を表すものと考えられた (例えば Oki and Hirano, 1970)。1967 年の異常昇温の後、高温の温泉の分布域が次第に東側に広がっていった様子を示した

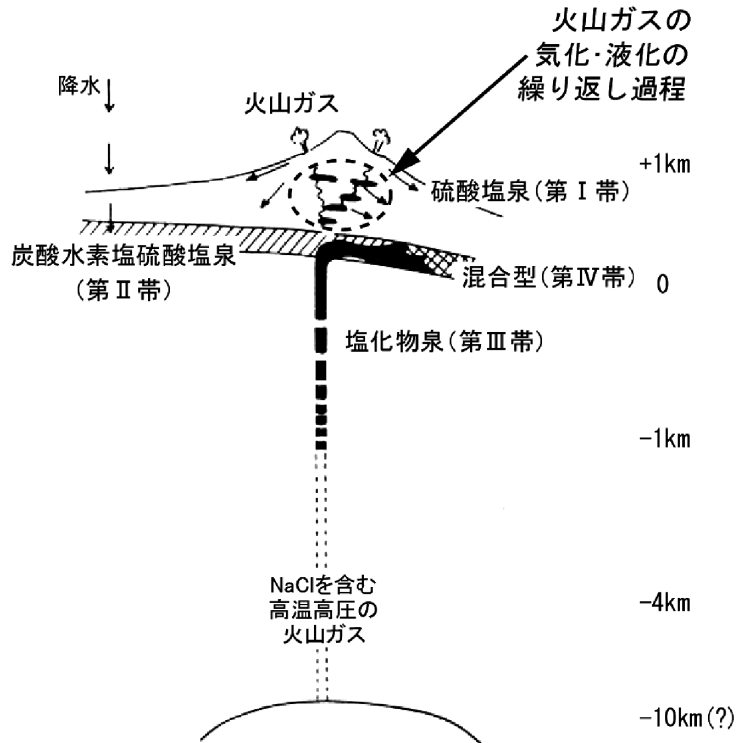


Fig. 1 Oki and Hirano model on the formation of hot springs in Hakone caldera. After Oki and Hirano (1970).

広田・栗屋 (1973) の解析結果や, 泉温の上昇した温泉で NaCl 成分が増加したことを示した平野ら (1968) による分析結果は, そうした考えを支持する事実と見なされた. また, 高温高塩化物泉は早雲山地下の深所にあるマグマに由来し, 大涌谷直下で観測される地震はそのマグマから蒸発する火山ガスによって誘発されているという考えから, 前年に発生した群発地震活動と昇温現象との関連も推定された.

しかし, その後, 箱根強羅地区において1960~2000年の期間に得られた地下水位データの水理水頭分布を精査した町田ら (2007) は, 地下水流動は地形傾斜方向の成分を多少持つものの, 全体としては下向き成分が卓越しており, 地下水は深部へ浸透しているとみられるとする解析結果を報告している. 彼らは, この結果を基に, 高温高塩化物泉の分布する西北西—東南東走向のゾーンは地下水流動の方向とは関係がなく, 深部からの熱や NaCl 成分の供給源が分布する区域を表しているのではないかと推定した. 1967年の昇温現象において, 400mほど離れた2地点で同日に昇温が観測され, また, そのほかの温泉でもすべて同年に昇温が生じていることも, 昇温現象の出現と流動とは関係がないことを示唆すると述べている. 昇温現象についての町田ら (2007) の見方は, Oki and Hirano (1970) の解釈と大きく異なる. そしてその当否は温泉成因論の根幹にも関わることから, 昇温現象の実態を明らかにすることは火山性熱水を含む箱根の温泉の湧出機構を考察する上で重要な意義を持つと言える. われわれは, 先に, 強羅地区に湧出する温泉に含まれる主要イオンや温泉水の酸素同位体比を調べて, それを基に, 大木・平野モデルにおける第II帯, 第III帯, 第IV帯に代わって, タイプ1からタイプ6に分ける新しい分類を提案するとともに, それぞれのタイプの

温泉の成因について考察した(菊川ら, 2011; 板寺ら, 2011). 1960~70 年代の昇温現象の解釈が, 大木・平野モデルにおいて重要な役割を果たしたのと同様に, 昇温現象の実態の解明は, われわれの新しい温泉分類モデルにとっても, その妥当性を判断するうえで重要な鍵となる. 本研究ではこのような問題意識のもとに, 現在入手できるすべてのデータを用いて, 1960 年代から 1970 年代にかけての昇温現象の詳細な検討を行った. 本報では, 最初に, 次節で用いたデータについて, 次いで第 3 節でその解析結果について述べ, 最後に第 4 節で, 今回得た結果が箱根の温泉の成因論に対して持つ意義について論じる.

2. データ

箱根温泉を管轄する小田原保健福祉事務所では, 温泉台帳に登録されているすべての源泉を対象として立ち入り調査(実態調査)を実施している. この立ち入り調査は, 源泉の吐出口において温泉の温度, 静水位, 導電率, 揚湯量などを実測するもので, 最も古いデータは, 揚湯量と温度が 1925 年, 導電率が 1973 年, 静水位が 1956 年のものである. 調査の頻度は, 地区ごと, あるいは源泉ごとに異なるが, 概ね, 1960 年代までは数年に一度, 1970 年代から 1990 年代前半までは毎年, それ以降は 3 年に 2 度の頻度で実施されている. 本論で検討したのは, 実態調査による箱根強羅地域の源泉の温度データである. 検討の対象とした源泉の位置を Fig. 2 に示した.

温度の測定は, 小田原保健福祉事務所の職員が携帯型の温度計によって行ったものである. 現時点で, 各測定時の使用機器の精度や, 器差について吟味することは不可能であるが, 温度データの精度は, 温度計の分解能である 0.1°C 程度であると考えられる.

3. 解析結果

Figure 3 は, 横軸に 1967 年昇温イベント前の 1960 年から 1966 年までの各源泉の平均温度, 縦軸にその平均温度と昇温イベント後の 1975 年までの期間の最高温度との差 (ΔT) をとってプロットしたものである. 多くの源泉で温泉温度が上昇したことが見てとれるが, 下がったものもある.

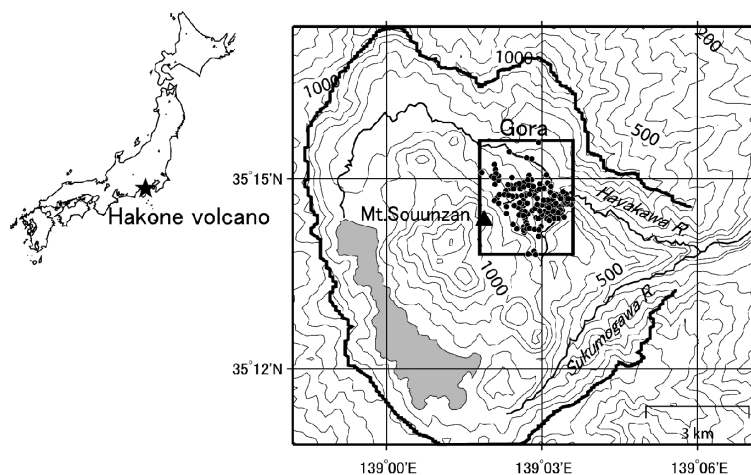


Fig. 2 Location map of hot spring wells in the Hakone Gora area. Thick line in the right map shows the rim of Hakone caldera.

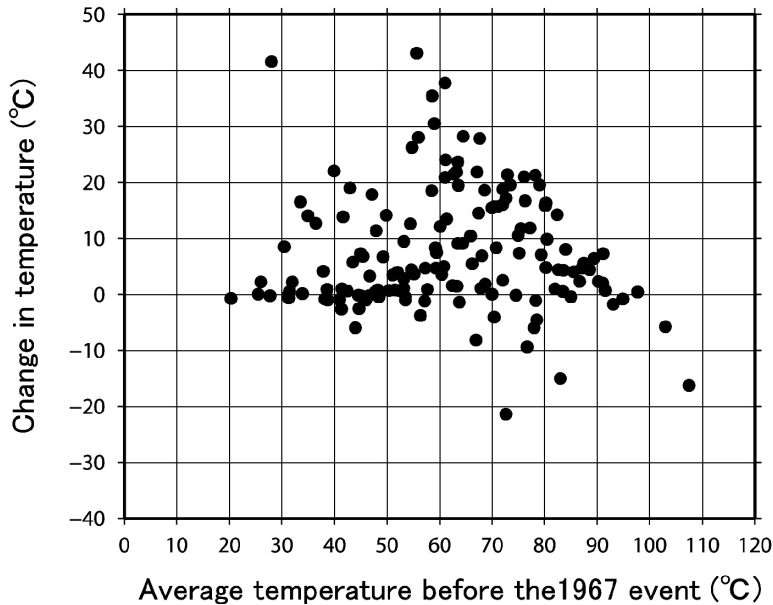


Fig. 3 Scatter plot between the average temperature before the 1967 rising event and change in the temperature after the event.

大きく下がったのは平均温度が65°C以上の高温源泉に目立ち、一方、昇温した源泉の温度は高温から低温まで様々である。Figure 4は、これらの源泉の昇温する前の平均温度を、温度によって濃淡を変えてプロットし、その空間分布を見たものである。また、Figure 3で ΔT が正となっている源泉について、その昇温の大きさによって濃淡をつけてプロットしたのがFig. 5である。Figure 4から、平均温度の高い源泉は調査区域の中央部に比較的少なく、中央火口丘に近い西側と、それから東の蛇骨川中流域に多く分布していることがわかる。一方、Figure 5からは、昇温の顕著だった源泉が、調査した強羅地域の中央部から西にかけてよりも、むしろ東側の蛇骨川流域に多く分布していることが見てとれる。

広田・粟屋(1973)は、1967年昇温イベントの1年前と、3年後、5年後の、それぞれの時点での、箱根火山東斜面における泉温分布図をつくって、それを基に昇温域が次第に東へ移動していったと推論した。しかし、Figure 4に見るように、西側地域はもともと高温源泉が分布しているところなので、その時々時点での泉温の等値線図を比べて新たに昇温した区域の変遷を見るのは難しい。そこで、本当に昇温現象が西から東に及んできたのかどうかを確かめるために、東西方向に4つのゾーンで切って、各ゾーン内の源泉の経年的な泉温変化を重ねてプロットして示したのがFig. 6である。ここには、1967年昇温イベント前の平均温度と1970年代の最高温度の間で3°C以上の差がある源泉についてのみプロットされている。この差が負の源泉も存在するが(Fig. 3参照)、ここでは昇温現象に注目することとし、そうした源泉は除いた。Figure 6には、1967年昇温イベントのところを太い破線で示してある。これから、調査地域のもっとも東側のDゾーンでは、1960年代の前半期、すなわち破線よりも前の時期に、すでに温度の上昇が始まっていた源泉があったことが見てとれる。破線を挟んだ期間では、AからDのすべての領域で昇温した源泉がある。興味深いのは、1967年昇温イベントよりも後の1970年前後になってからも温度の上昇している温泉が、特に東のDゾーンで多く見られることである。こうした、昇温の時間的経緯についての空間的な

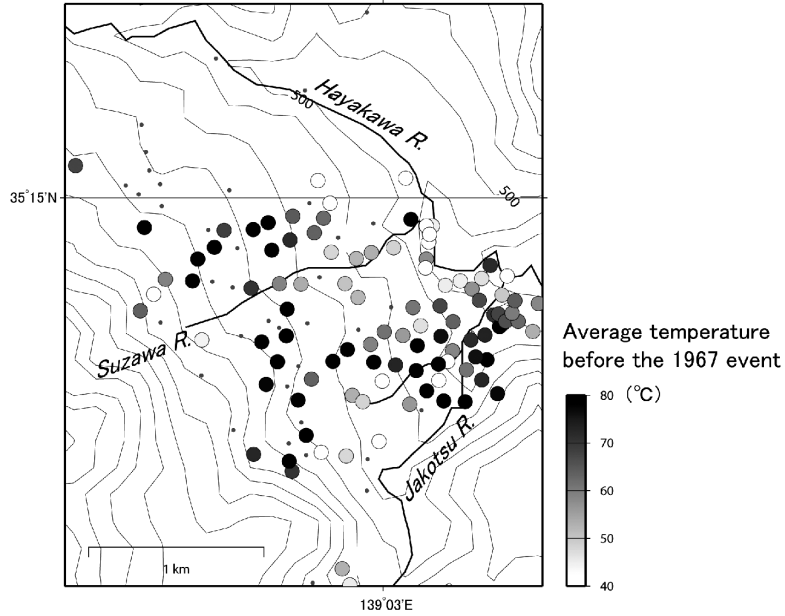


Fig. 4 Location of hot spring wells where the average temperature before the 1967 rising event is shown by light and shade of the black color. Small dots indicate wells where the average temperature could not be calculated.

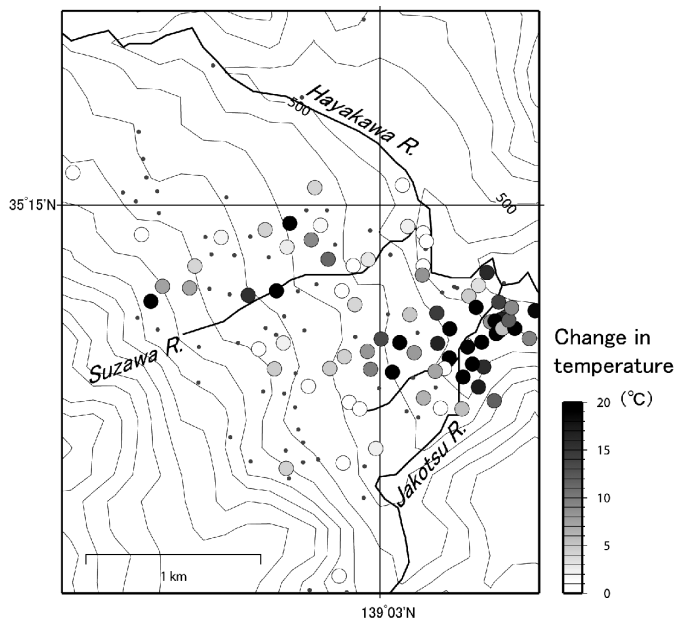


Fig. 5 Location of hot spring wells of $\Delta T \geq 0$. Magnitude of the temperature increase is graded by light and shade of the black color. Small dots indicate wells where the change in temperature could not be calculated.

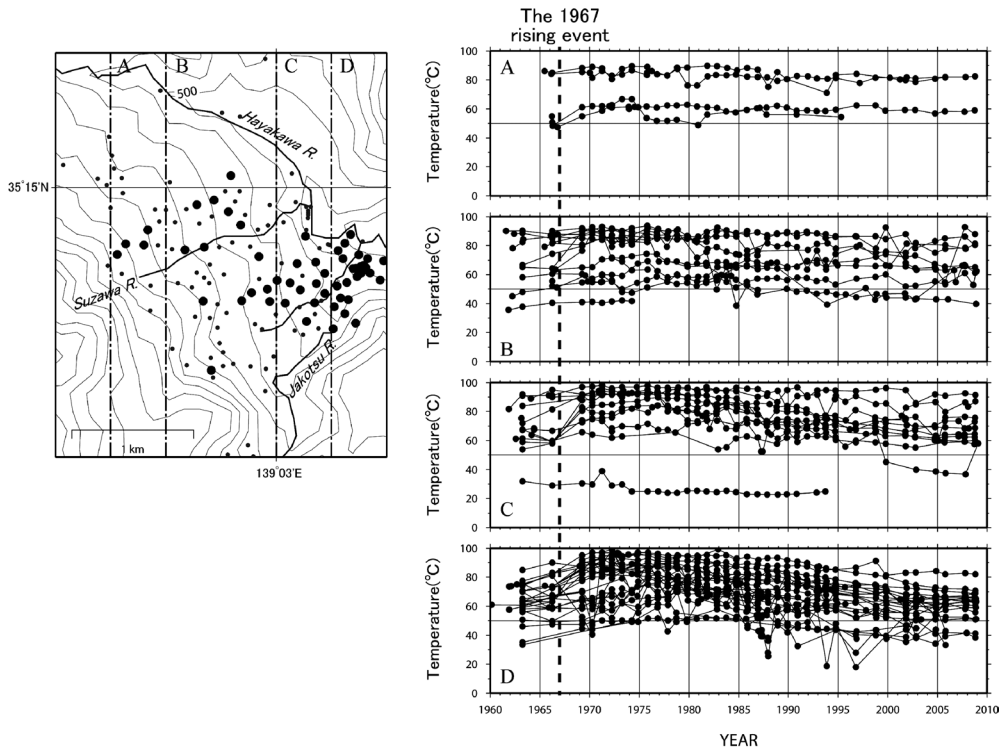


Fig. 6 Change in temperature of hot springs over the years from 1960 to 2009 for wells in four zones A to D from the west. The zones are indicated in the left map. Small dots in the map indicate wells where the change in temperature could not be depicted.

差違の特徴をはっきりと見るために、1967年昇温イベントよりも前の1962～1966年、1967年昇温イベントを挟む1966～1969年、1967年昇温イベントの後の1969～1972年のそれぞれの期間に温度上昇の見られた源泉の分布を、昇温の規模で色分けしてFig. 7に示す。これらの図から、1967年昇温イベントよりも前の時期にすでに昇温していた源泉が存在すること、特に東の蛇骨川流域では、そうした早い時点で昇温が始まった源泉が多く存在すること、その後の1970年前後になってもまだ昇温が続いていたことがわかる。この比較的長期にわたる温度上昇の結果、最初は60～70℃だった源泉の多くが、1970年代に入って80℃以上の高温になった。広田・栗屋(1973)が、1967年昇温イベント前後の各時点における泉温等値線図を比べて、高温領域が次第に東に拡大してきた様子が見られることをもって、昇温現象そのものが東に移動してきたと推論したのは、高温源泉の分布域が広がってきたことと昇温が生じたことが混同されてしまったためではないかと推定される。

菊川ら(2011)は、箱根強羅潜在カルデラ内に湧出する温泉を6つのタイプに分ける新しい分類を提案した。その分類は温泉に含まれる主要な陰イオンと泉温に基づいたものであるが、板寺ら(2011)は、酸素同位体比と主要陰イオンの濃度の関係を詳細に調べ、その特徴から各タイプの温泉の成因についても論じている。それによれば、タイプ1は、その生成における熱水の寄与が最も大きく、大木・平野モデルにおける第Ⅲ帯の温泉に相当する。タイプ2は同モデルにおける第Ⅳ帯

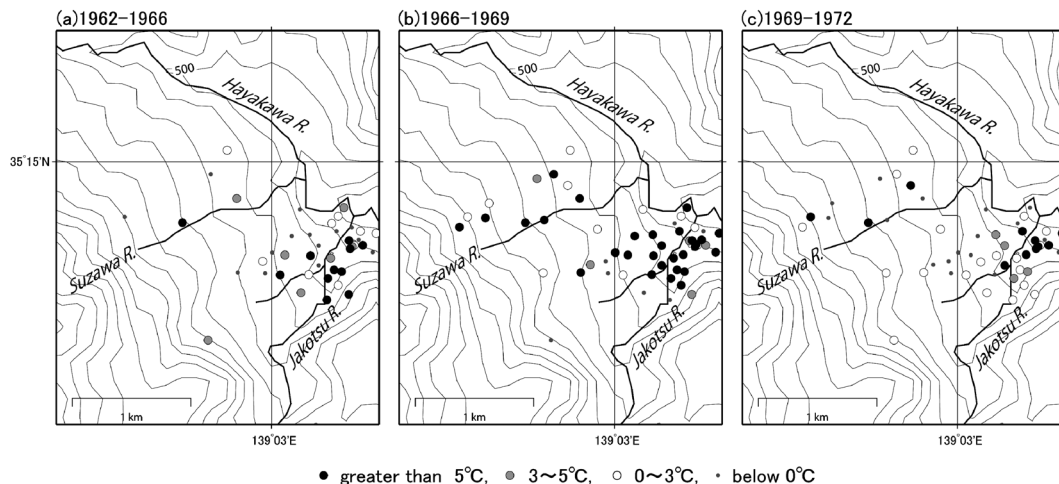


Fig. 7 Magnitude of the change in temperature in each period of (a) 1962-1966, (b) 1966-1969, and (c) 1969-1972.

の温泉に対応するが、第Ⅲ帯の温泉が流下する間に地下水との混合が更に進んだものというより、蛇骨川上流域に湧出するタイプ1の温泉水と、その地域の浅層地下水の混合によって生じているとした。大木・平野モデルでは、第Ⅱ帯、第Ⅳ帯の温泉に含まれる硫酸イオンと重炭酸イオンの起源について、前者は中央火口丘付近の噴気域から放出される硫化水素ガスの酸化によって、また後者は火山噴出物中に取り込まれた有機物に由来するとされたが、板寺ら(2011)では、タイプ3から5の中のそれらのイオン濃度が酸素同位体比と正の相関を示すことから、これらの陰イオンの起源はマグマからの火山ガスであると推論している。タイプ3とタイプ4の差違は、硫酸イオンを比較的多く含むか、ほとんどそれを含まないかであるが、後者のタイプ4では火山ガスの寄与が小さいのではないかと推定された。また、タイプ5は、タイプ1ほどではないが塩化物イオンを相当程度含むことから、タイプ1の温泉水がいくらか混入しているのではないかと考えられた。なお、タイプ6は、湯本の基盤岩から湧出する温泉水と泉質が似ており、菊川ら(2011)では、それと同様のものとして分類された。

この新しい分類における各タイプの温泉が、1960年代から1970年代にかけての昇温現象に際してどのような変化を見せたかは、その温泉成因論とも密接に関わっており、興味を持たれるところである。そこで、Figure 8に各タイプでシンボルを変えて平均温度の空間分布を示し、Figure 9に、それぞれのタイプ毎にどここの地域の源泉で昇温が大きかったかを示した。Figure 8からは、その定義から自明であるが、タイプ1の源泉は湧出する地域に依らずに高温であること、一方、タイプ2は高温のものから低温のものまで分布していること、タイプ3から5は比較的低温であること、そして、基盤岩から湧出しているとされたタイプ6はタイプ1と同じくらいに高温であることが見てとれる。また、Figure 9からは、大きな昇温が生じたのは、タイプ2の温泉に多く、特に蛇骨川の右岸ではそのほとんどすべての源泉で昇温したことがわかる。

Figure 10は、各タイプ別に、温泉温度の経年変化をプロットしたもので、これから、タイプ2の源泉において、1960年代の早い時点で昇温が始まっていることが明瞭に見てとれる。

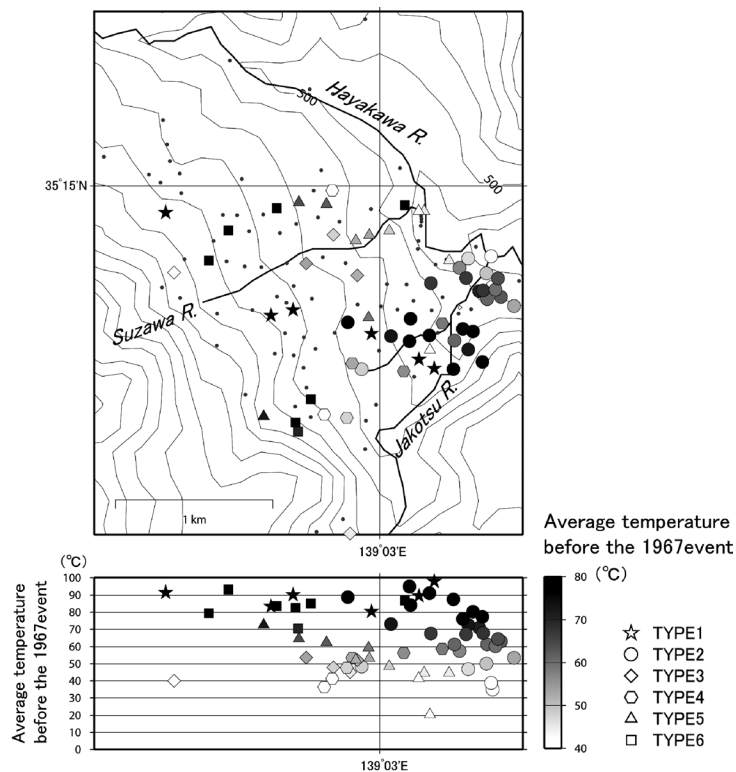


Fig. 8 Map of hot spring wells where average temperature in the period before the 1967 rising event is shown by light and shade of the black color. Each type of hot springs proposed by Kikugawa *et al.* (2011) is plotted by different symbol. Small points show hot springs whose type is not known.

4. 考 察

1960年代の後半に強羅地域で観測された温泉温度の異常上昇は、これまで、マグマからの熱水の上昇によって、まず、熱水寄与の大きな第Ⅲ帯(菊川ら(2011)の分類ではタイプ1)の源泉の温度が上昇し、その温泉水が、更に地下水を交えつつ中央火口丘東麓を東流するのに伴って第Ⅳ帯の温泉温度も上昇したと見られていた。しかし、今回の調査によって、次のことが明らかにされた。

- 1) 1960年代から1970年代にかけての昇温は、強羅地区西部よりも、むしろ東部の蛇骨川流域で明瞭である。温度の上昇量も、その地域のタイプ2の温泉で大きかった。
- 2) 1967年昇温イベントは同年の5月23日に最初に観測されたことが報告されている(大木ら, 1968a)が、昇温現象そのものはそれ以前から起きていたと見られる。
- 3) 蛇骨川地域で顕著な昇温が見られた源泉の大半はその右岸域に位置する。また、それらの多くが自然湧泉である。
- 4) 泉温がもともと80°Cを超えるタイプ1(第Ⅲ帯)の温泉については、東部の蛇骨川流域にある2源泉でのみ昇温が観測された。

注目されるのは、1967年昇温イベントで昇温が顕著だった強羅地域の西部ではなく、東の蛇骨川流域に昇温現象の中心があったこと、また、昇温した源泉の大多数が、熱水の寄与が大きいタイプ1の温泉と浅層地下水との混合希釈によって形成されるとみられるタイプ2の温泉であったこと

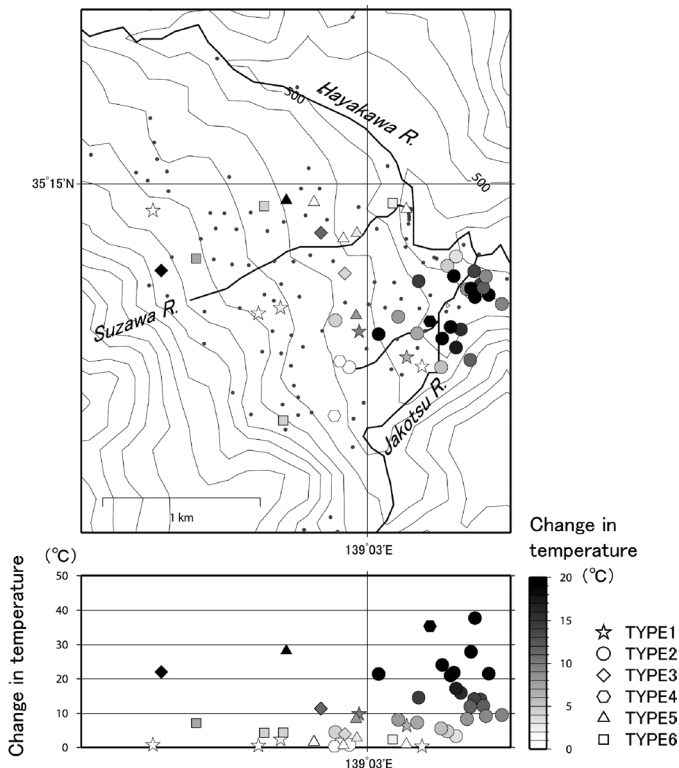


Fig. 9 Same as Figure 8 except that change in temperature is shown instead of the average temperature. Besides hot springs whose type is not known, those for which temperature decreased are plotted by small points.

である。

さらに、蛇骨川流域で大きく昇温した源泉のほとんどすべてがその右岸域に分布していることに注目したい。それらの源泉の水位は浅く、多くが自然湧泉である。中央火口丘山麓を東に流れ下ってきた地下水が蛇骨川の川底を通り抜けて、水頭の高い右岸の崖から湧出するという事は考えにくいので、そこで大きな昇温が見られたことは、右岸直下の深部から熱水の流入があったと考えるのが妥当であろう。

タイプ2のほかには、一部のタイプ3、タイプ5、タイプ6の源泉でも昇温が観測された (Fig. 9)。そのうちタイプ3、タイプ5の源泉は、いずれも温泉温度が70°C以下の源泉であり、昇温は高温の熱水の流入によると考えてよいだろう。タイプ6については、個々の温度変化の状況を検討したところ、1960年代から1970年代にかけて連続的に温度が上昇したのではないこと確認された。タイプ6は基盤岩から湧出している温泉と見られる (菊川ら, 2011) ことから、その温度変化は、マグマ由来の熱水の流入とは別の要因によるものかもしれない。

1960年代から1970年代にかけての昇温現象についての今回の検討結果は、従来の解釈に大きく変更を迫るものと言える。上であげた1) および2) の結果は、昇温が中央火口丘に近いところからでなく、むしろ調査域の中ではそこからもっとも離れた東部で始まったこと、それは1967年に突然始まったのではなく、それ以前から生じていたことを示している。昇温の原因を考える上で、3) の事実が意味することも重要である。われわれは、次の4) の結果と合わせて、蛇骨川上流域

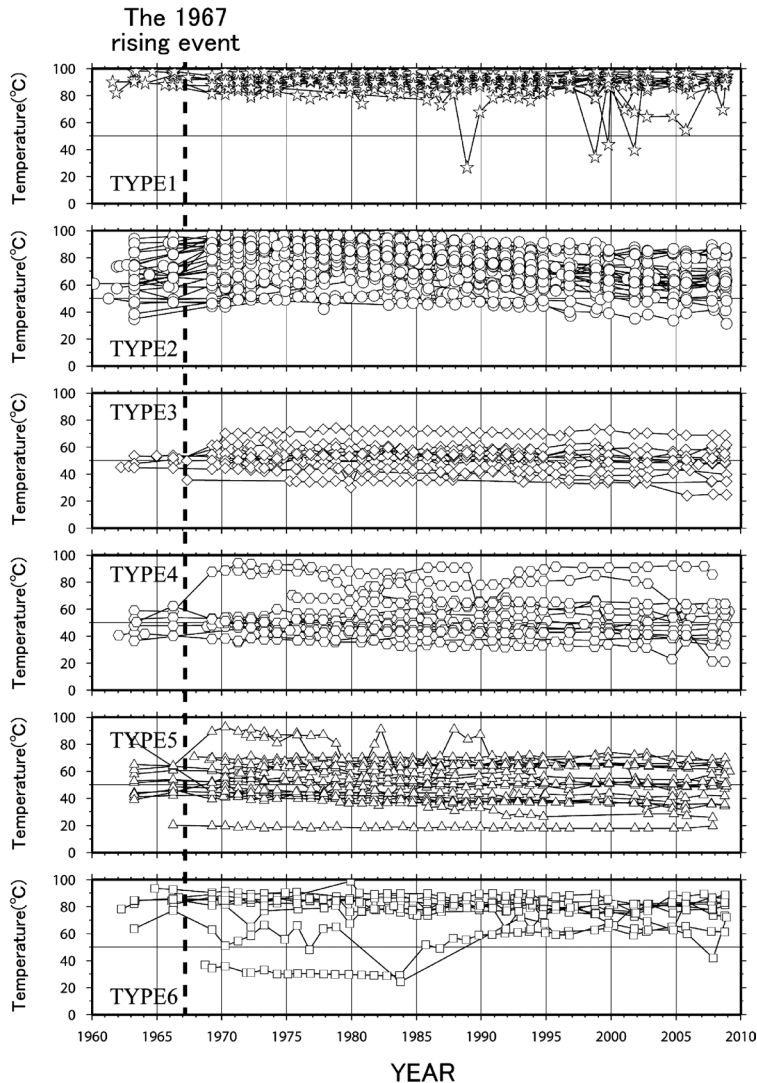


Fig. 10 Change in temperature of hot springs for each type over the years from 1960 to 2009.

においてタイプ1の源泉が分布するあたりで、熱水の上昇があったのではないかと考えている。その熱水が浅層地下水に混じりながら、蛇骨川沿いに流下して、タイプ2の温泉群の温度上昇をもたらしたのではないだろうか。この考えは、タイプ2の温泉水の成因に関する板寺ら(2011)の提案とも整合的である。また、これは、火山性の熱水は中央火口丘に近いところで地下から上がってきて東に流れ下っているのではなく、大木・平野モデルで、いわゆる第Ⅲ帯の温泉が分布するゾーンのあちこちで上昇しているとする町田ら(2007)の考えとも合う。

なお、菊川ら(2011)は、箱根の各地域の温泉の近年の枯渇化を論じた中で、蛇骨川流域の温泉で最も顕著に見えていることを報告している。これは、今回の調査結果から、1960~1970年代にあった熱水流入の影響が次第になくなって基に戻ってきていることの現れと見ることができる。箱

根温泉全体にわたる枯渇化とは別のものと考えていだろう。

ところで、異常昇温現象が注目されたのは、強羅温泉翠光館の源泉（元宮城野村 50 号）の温度が 1967 年 5 月 23 日に急上昇したのが、その端緒であった。この年に行われた強羅地区の温泉温度の調査によって、箱根温泉興業源泉（元宮城野村 80 号）など、そのほかのいくつかの源泉の温度が上昇したことが明らかにされた。実は、これら 2 つの源泉は、今回の解析で昇温した源泉とはされていない。それは、今回の調査が 2~3 年をおいて測定された泉温データを使ってなされたためである。強羅温泉翠光館の源泉はその年の秋には、泉温が上昇前に戻ったことが記されている。このことから、今回の解析で明らかにした広域かつ長期にわたる昇温現象は、大木ら（1968a）に記述されている 1967 年昇温イベントとは、その時間スケールが異なるものを見ている可能性が高いと考えられる。1960 年代から 1970 年代にかけての、箱根の温泉の昇温現象については、今回の調査をもってしてもすべて明らかにされたとはいえない。タイプ 6 の基盤岩に湧出する温泉でどうして温度変化が生じたかなど、未解明の問題がなお残されている。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり、神奈川県小田原保健福祉事務所による実態調査の結果を利用させていただきました。また、論文原稿について、2 名の匿名査読者から貴重な助言・意見をいただきました。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- 平野富雄, 大木靖衛, 田嶋綾子 (1968) : 箱根強羅温泉の温度異常上昇と温泉成分の変化について. 神奈川県温泉研究所報告, 1 (6), 51-62.
- 広田 茂, 栗屋 徹 (1973) : 箱根火山における泉温および水位の連続観測. 昭和 47 年 (1972), 神奈川県温泉研究所報告, 4 (1), 23-32.
- 板寺一洋, 菊川城司, 吉田明夫 (2011) : 酸素同位体比および主要アニオンから見た箱根強羅温泉水の成因. 温泉科学, 60, 459-480.
- 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.
- 町田 功, 板寺一洋, 萬年一剛 (2007) : 箱根強羅地区における高温 NaCl 泉の供給源地. 地下水学会誌, 49, 4, 327-339.
- Oki, Y. and Hirano, T. (1970) : Geothermal system of Hakone Volcano, Geothermics Sp. Issue, 2, 1157-1166.
- 大木靖衛, 荻野喜作, 平野富雄, 広田 茂, 大口健志, 守矢正則 (1968a) : 箱根強羅温泉の温度異常上昇とその水理地質学的考察. 神奈川県温泉研究所報告, 1 (6), 1-20.
- 大木靖衛, 平野富雄, 田嶋綾子 (1968b) : 箱根温泉の成因. 神奈川県温泉研究所報告, 1 (6), 35-50.