

箱根塔ノ沢地区の温泉の冷地下水化  
— 湯本第50号源泉の場合 —

杉山茂夫, 平野富雄

神奈川県温泉地学研究所\*

Decreasing of Temperature and Chemical Constituents  
in Thermal Waters, Tonosawa, Hakone  
— A Case Study of Yumoto No. 50 Well —

by

Sigeo SUGIYAMA and Tomio HIRANO

Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture  
Hakone, Kanagawa

(Abstract)

In the Yumoto-Tonosawa geothermal area, temperature and dissolved constituents of thermal waters have been considerably decreasing since 1958. The monitoring of temperature, water-level and water chemistry of No. 50 well, Tonosawa reflects the lowering trend of the thermal water mass budget caused by over-discharge.

The temperature of No. 50 in 1958 was 57.2°C and the present temperature is 41.9°C. With the decreasing rate of temperature 0.58°C/year, the temperature of No. 50 will be 40°C in two years (1986).

The relation between  $\text{Cl}^-$  and temperature shows that the temperature of shallow ground waters which has been diluting deep thermal waters, has been decreased from 38°C to 25°C in last 10 years.

The temperature logging of No. 50 was made in 1971 and 1982. The comparison of the two loggings confirmed that the subsurface temperatures less than 170 m deep decreased by about 10°C during 11 years.

As the present rate of over-discharge will be further continued, temperature and dissolved constituents of thermal waters restricted at more than 170 m deep will decrease considerably in near future.

---

\* 神奈川県箱根町湯本997, 〒250-03

神奈川県温泉地学研究所報告 第15巻, 第5号, 55—64, 1984

1. はしがき

箱根湯本・塔ノ沢温泉の温度低下や溶存成分の減少等については、昭和47年（1972）以来、数多く報告されている（平野ら、1972、1974 a、1974 b、1976、1977、1980）、（箱根温泉誌、1981）、（神奈川県温泉誌、1983）。

それらの結論は一様に、この地域の水収支を欠いた過剰揚湯を原因としている。特に平野（1976）は塔ノ沢温泉で近い将来、著しく温度が低下し、溶存成分が減少するだろうとのべている。

この報告書は主に湯本第50号源泉を例として、最近の塔ノ沢地区の温泉の冷地下水化の状況をのべたものである。

2. 湯本・塔ノ沢温泉の源泉と揚湯量

湯本・塔ノ沢温泉の源泉分布は図1のとおりで、源泉数は106源泉（内休止源泉26）ある。そのうち塔ノ沢地区には24源泉（内休止源泉12）あり、（図2）、現在は全て動力揚湯温泉で第37号源泉（渦巻ポンプ）を除いてエアーリフトポンプで揚湯されている。休止源泉は過去には自然湧出泉であったが、水位低下や温度低下のため、現在は涸渇している。

図3に湯本・塔ノ沢温泉の総揚湯量・平均揚湯量（総揚湯量を源泉数で割った量）と塔ノ沢地区だけの総揚湯量・平均揚湯量の経年変化を示した。湯本・塔ノ沢の総揚湯量は年々増加しているが、塔

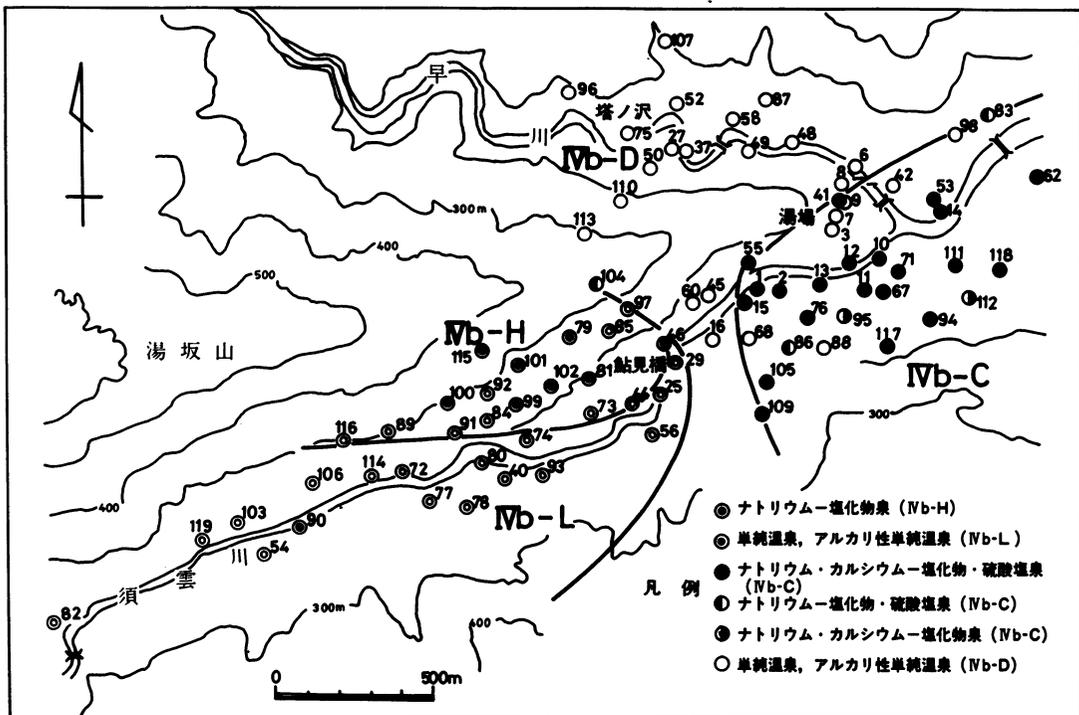


図1 箱根湯本・塔ノ沢温泉の療養泉の泉質分布および分帯

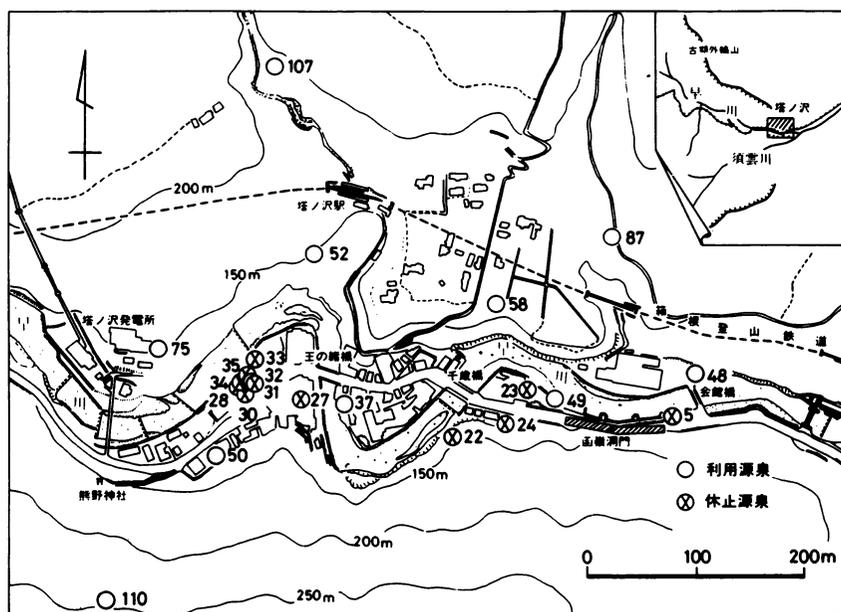


図2 箱根塔ノ沢温泉の源泉分布図

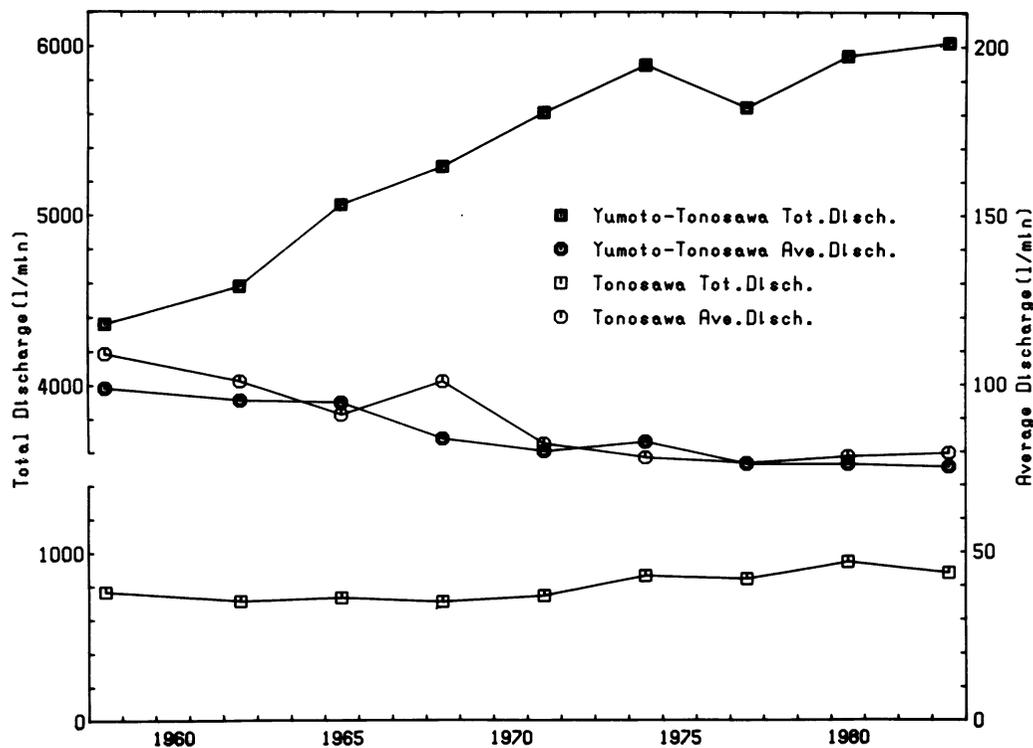


図3 箱根湯本・塔ノ沢温泉の揚湯量の経年変化(小田原保健所温泉実態調査結果)

ノ沢地区の総揚湯量はほとんど増加していない。平均揚湯量は少しずつ減少している。

塔ノ沢地区では、第37号源泉 (263 l/min) と第50号源泉 (171 l/min) で塔ノ沢地区総揚湯量の半分を占め、両源泉は塔ノ沢地区を代表する源泉である。

### 3. 湯本第50号源泉について

第50号源泉は昭和23年に深度300mで掘さくが終了した。温泉は自噴したが、湯坂山を挟み400m離れた須雲川沿いの第45号源泉(図1参照)に影響を及ぼし、約3年間の影響調査の結果、両源泉とも渦巻ポンプを設置して、昭和26年に温泉採取が許可になった。

当時、湯本・塔ノ沢地区ではほとんどが自然湧出だったので、これを契機として、次々と自然湧出泉が姿を消していった(箱根温泉誌, 1981)(神奈川県温泉誌, 1983)。このことから、塔ノ沢地区の源泉は湯本地区の源泉と密接な関係にあり、湯本・塔ノ沢総揚湯量の増加が塔ノ沢地区の温泉衰退化に直接に関与していることがわかる。

### 4. 湯本第50号源泉の温度、揚湯量および静水位の経年変化

小田原保健所温泉課の資料によると、第50号源泉の温度、揚湯量、静水位の経年変化は図4のとおりである。その間、昭和47年(1972)8月と昭和50年(1975)12月に動力装置を変更(エア管延長)

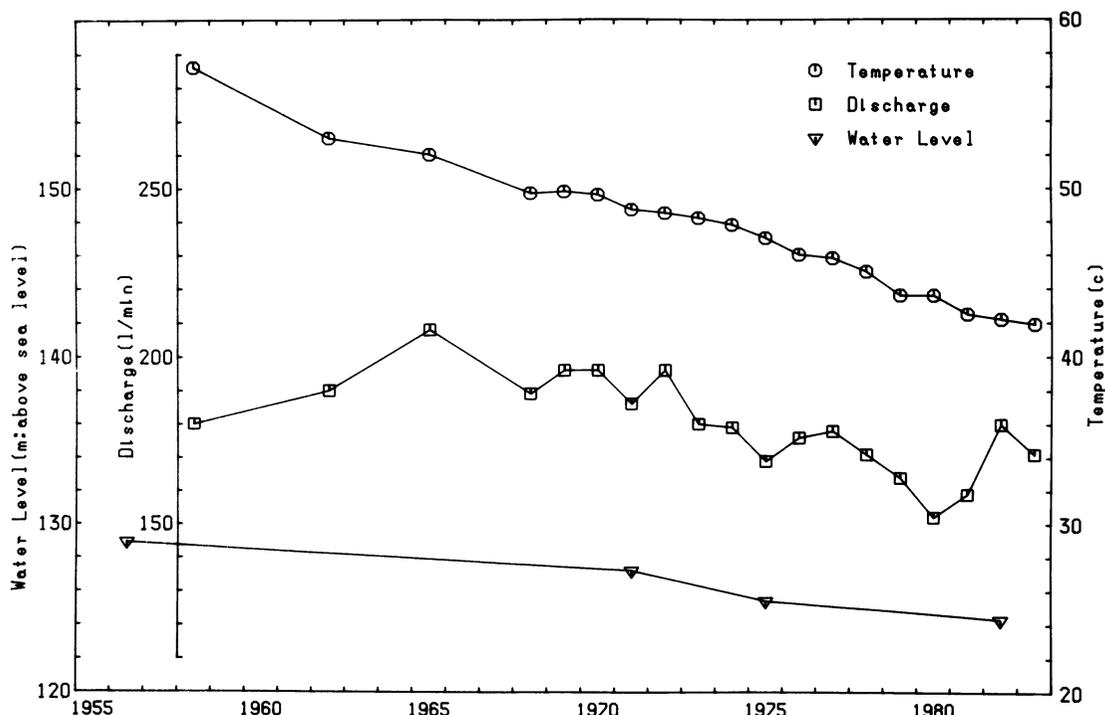


図4 湯本第50号源泉の温度、揚湯量および静水位の経年変化 (小田原保健所源泉調査結果)

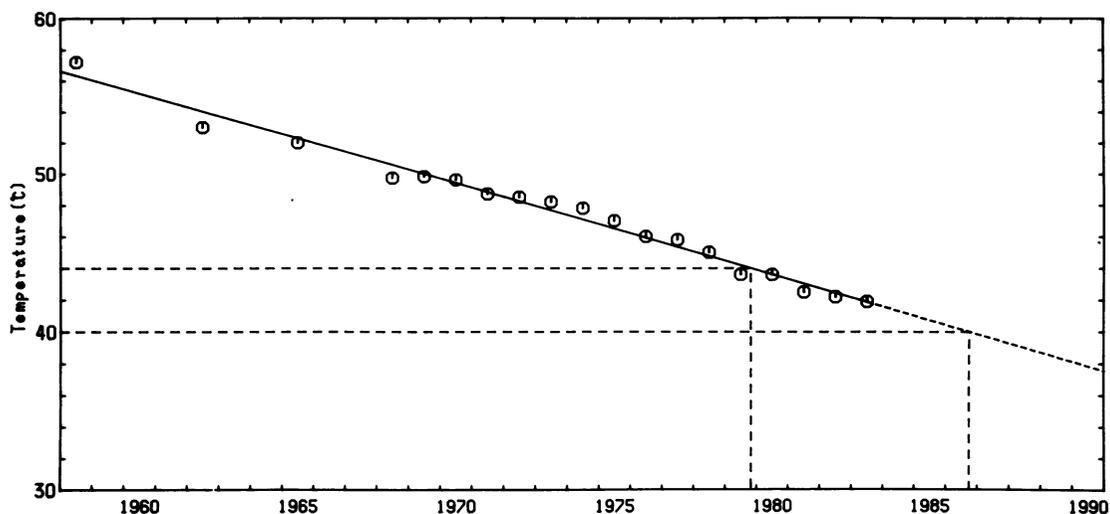


図5 湯本第50号源泉の温度の経年変化

して揚湯量を回復している。図4から次のことがわかる。温泉の温度はほぼ直線的に低下している。静水位の低下は非常に少ない。揚湯量は変動しながら減少傾向にある。

図5に第50号源泉の温度の経年変化を示した。図中の実線は最小二乗法により求めた回帰直線である。この直線の勾配から温度低下率は $0.58^{\circ}\text{C}/\text{年}$ であると計算される。平野(1976)は第50号源泉の温度は早ければ昭和54年(1979)に $44^{\circ}\text{C}$ 以下になると予想していた。図中の点線は平野の予想が適中したことを示すと共に、 $40^{\circ}\text{C}$ 以下になる年は昭和61年(1986)～昭和62年(1987)と予想できることを示している。

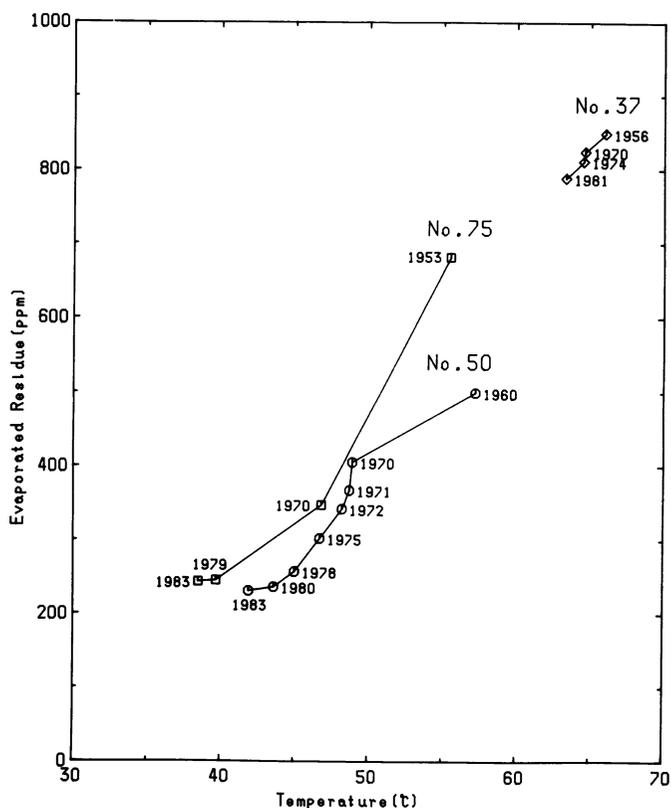


図6 湯本第37号, 第50号, 第75号源泉の温度, 蒸発残留物の経年変化

5. 湯本第37号源泉, 湯本第50号源泉および湯本第75号源泉の化学成分の経年変化

温泉涸渇化の現象は, 温泉水位の低下と泉温の低下および化学成分の減少としてあらわれる。

塔ノ沢地区では第50号源泉の経年変化(図4)で示したように温泉水位の低下は顕著でないが, 泉温の低下が著しい。では化学成分はどの様に変化しているか。

図6は3源泉の蒸発残留物と温度の経年変化を示したものである。第50号源泉と第75号源泉の温度, 蒸発残留物の低下は著しく, 涸渇が急激に進行したことを示している。しかし, 第37号源泉の温度, 蒸発残留物の低下はわずかである。これはホットスポット的に温泉が湧出する場所に第37号源泉が掘さくされているためと考えられる。いずれにしろ3源泉を合わせてみると温度と蒸発残留物は正の相関が強く, 図6の右上にある第37号源泉の温泉が最も始源温泉に近いことがわかる。

図7は3源泉の主要陰イオンであるCl<sup>-</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の経年変化である。これもほぼ図6と同様の傾向を示す。

以上のことから, 第37号源泉の温泉を始源温泉と仮定すれば, Cl<sup>-</sup>濃度を尺度として, 第50号源泉が

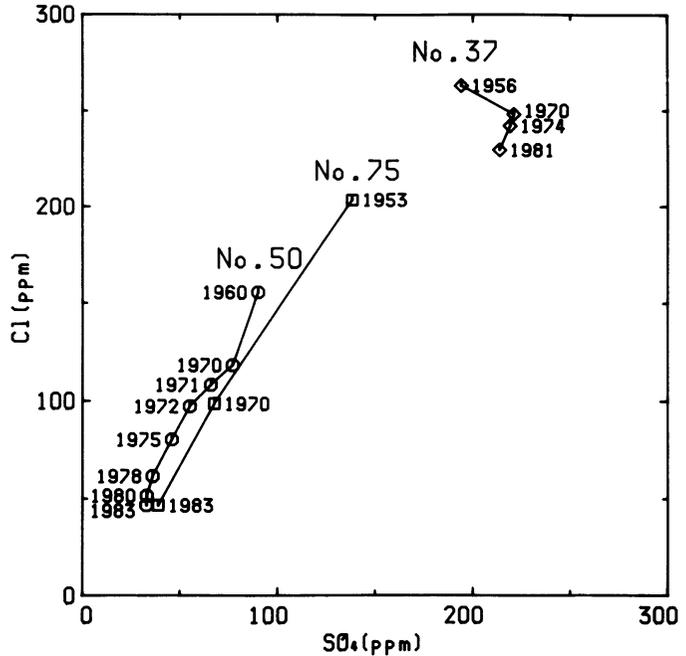


図7 湯本第37号, 第50号, 第75号源泉のCl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の経年変化

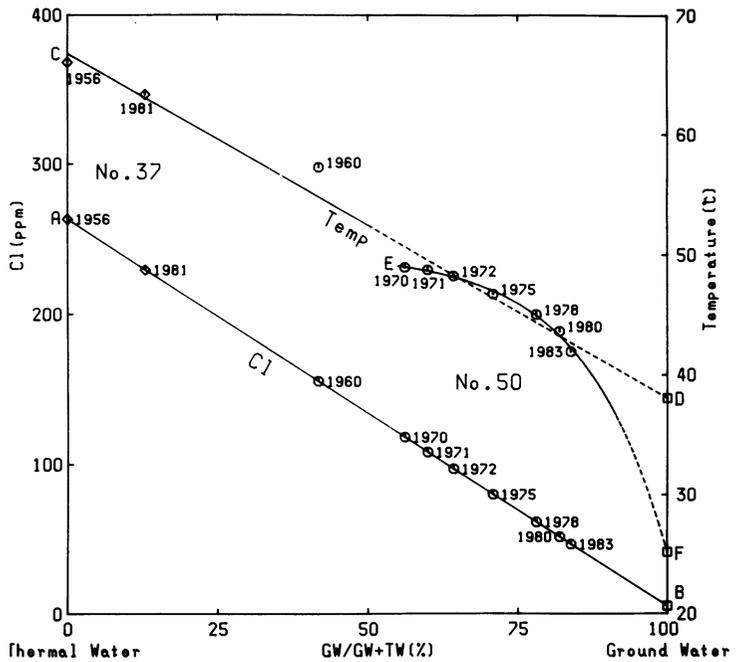


図8 湯本第37号, 第50号源泉の地下水による希釈図

地下水によりどの程度希釈されているかを図示することが出来る。図8のAは昭和31年(1956)の第37号源泉のCl<sup>-</sup>濃度(263.1ppm)であり、Bは塔ノ沢地区の平均的地下水のCl<sup>-</sup>濃度(5ppm)である。直線ABより昭和35年(1960)の第50号源泉の温泉の地下水による希釈率( $(\text{地下水}/(\text{地下水}+\text{温泉})) \times 100$ )は42%であったが、10年後の昭和45年(1970)には56%に増加し、現在は84%に達していることがわかる。次に第37号源泉と第50号源泉の温度と希釈率をプロットをすると、温泉を希釈している地下水の温度を推定できる。希釈率が少なく温度が高い間、言い換えれば第37号源泉や過去の第50号源泉は直線CD(回帰直線)に従うとして地下水の温度はD点で38℃と推定される。最近の10数年間の第50号源泉は指数関数的に変化するものとして回帰曲線を求めると曲線EF( $T=50-0.17843 \text{EXP}(0.724X)$ , T:温度℃, X:希釈率%)となり、推定される地下水の温度はF点で25℃と計算される。このことは温泉を希釈している地下水(将来温泉となる地下水)の温度が約10年間に10℃以上低下したことになる。

## 6. 湯本第50号源泉の孔内検層

図9と図10は昭和46年(1971)に実施した第50号源泉の比抵抗検層図と温度検層図である。これらの図から水止管が65m挿入され、過去には有力な温泉湧出ヶ所(仮に第1層とする)であった40m~50mの部分は遮へいされている。一般に、温泉湧出ヶ所があると、注入した低温の水はそこから孔外に流出するため、それ以深の注水中の孔内温度は急に上昇し、注入前の孔内温度と一致する。第50号源泉の場合、注入水が流出する主要な温泉湧出ヶ所(仮に第2層とする)は160m~170mにあり、その温度は43℃である。当時揚湯された温泉の温度は48.7℃なので、孔底付近にも60℃の温泉湧出ヶ所(仮に第3層とする)があり、第2層と第3層の温泉を混合して揚湯されていたと考えられる。

図11は昭和57年(1982)に実施した温度検層である。温度変化の傾向としては図10とほぼ同様である。図12は11年間の比較を見やすくするため、注水前の孔内温度を同じ図に表現したものである。この図は11年間に160m~170mの第2層の温度が8~10℃低下していると同時にそれ以浅(第1層を含む)の温度が全て5~15℃低下していることを示している(横線の部分)。しかし、180m~孔底まではほとんど低下していない。以上のことから、第50号源泉の温度低下の直接の原因は主要温泉湧出ヶ所(第2層)の温度低下であり、さらにその原因は浅部の低温泉(地下水)の温度低下である。これらのことは化学成分の経年変化の解析結果と良く一致する。

## 7. ま と め

ここまで第50号源泉の温度、化学成分、検層結果を中心に塔ノ沢地区の温泉衰退化の状況を検討した。その結果、塔ノ沢地区の温泉は確実に冷地下水化していくことが結論づけられた。この原因は湯本・塔ノ沢温泉の過剰揚湯によってひき起こされたものである。幸い、塔ノ沢地区の第3層の温泉は今のところ低温化の傾向は認められない。しかし、湯本・塔ノ沢の過剰揚湯が続いた場合、いずれは第1層、第2層と同様に冷地下水化することが予想される。早急に湯本・塔ノ沢の温泉保護対策が望まれる。

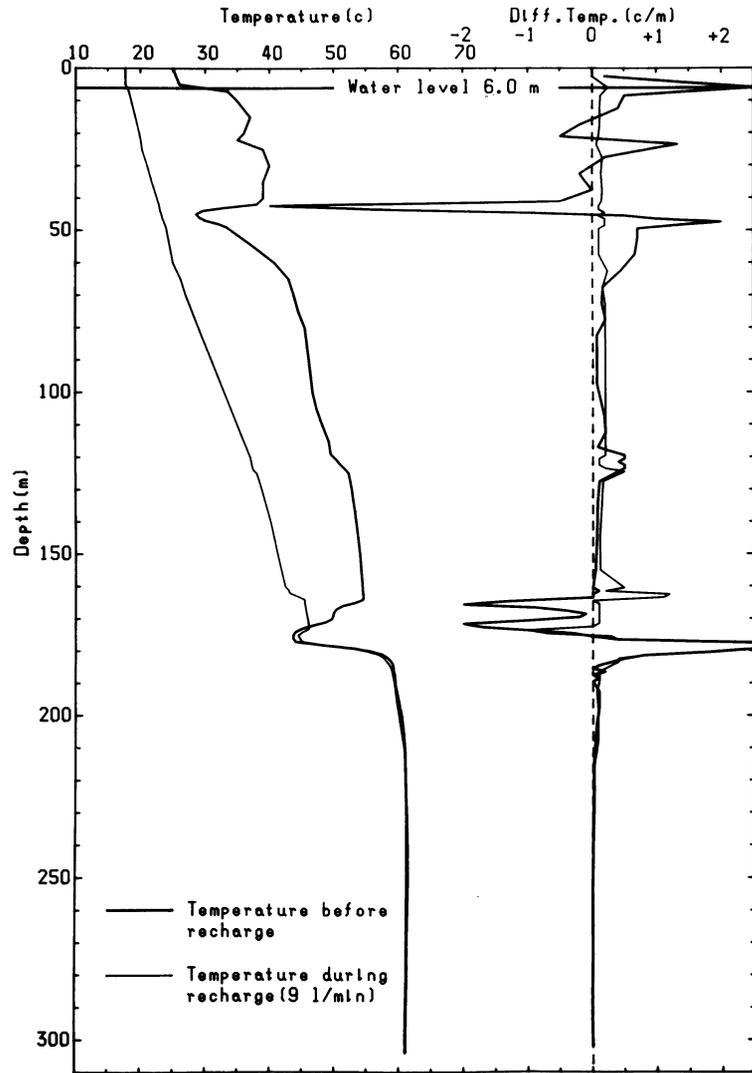


図10 湯本第50号源泉の温度検層図 (昭和46年)

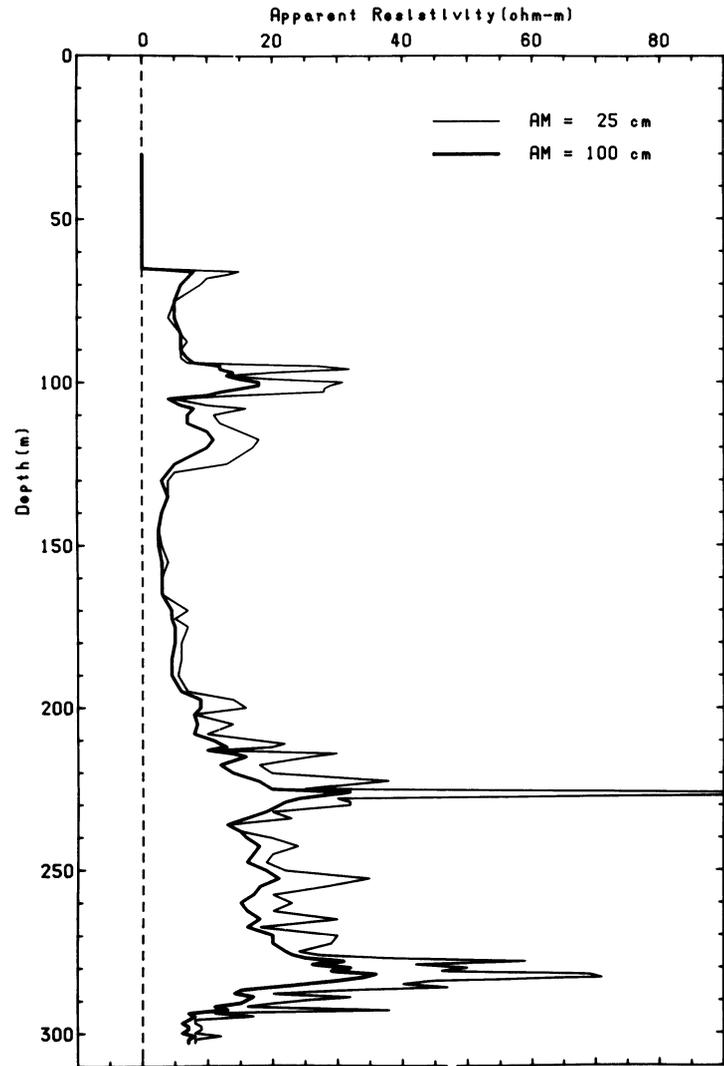


図9 湯本第50号源泉の比抵抗検層図 (昭和46年)

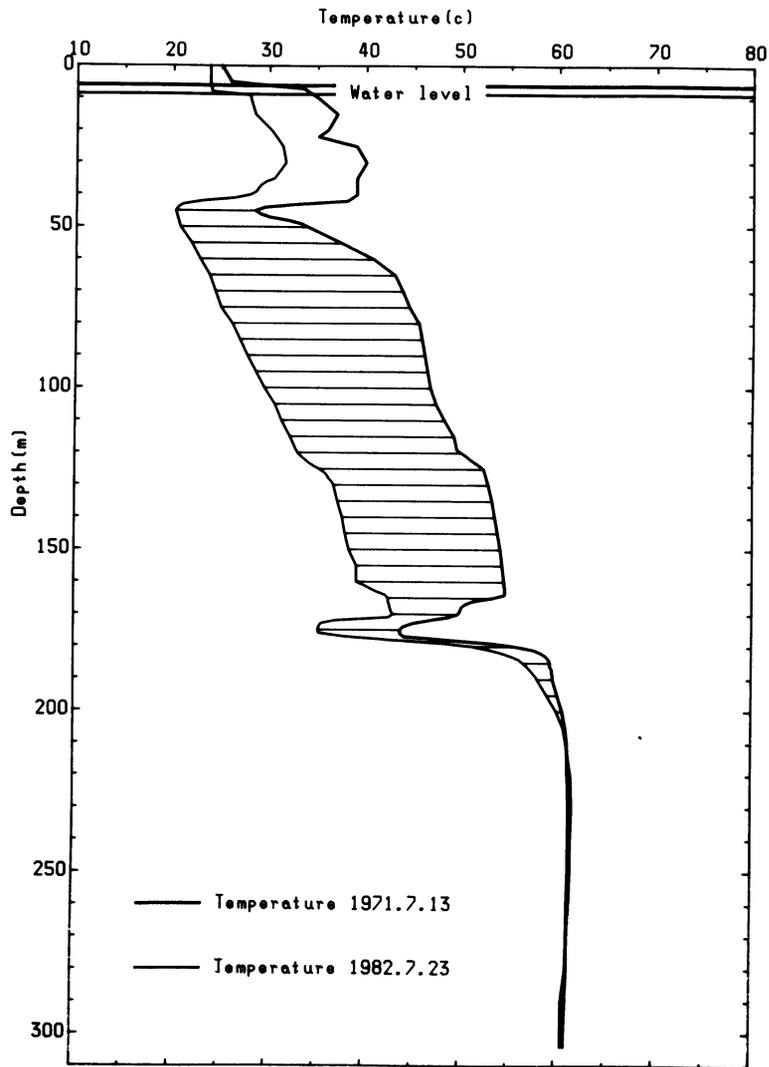


図12 湯本第50号源泉の比較温度検層図(昭和46年, 昭和57年)

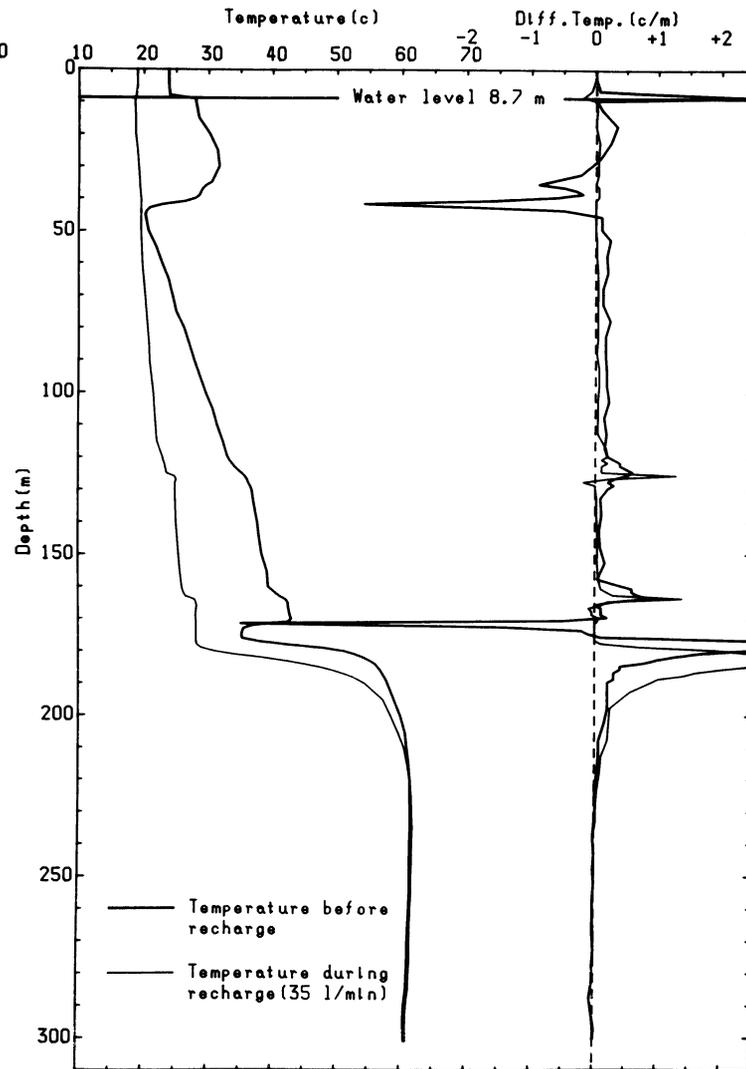


図11 湯本第50号源泉の温度検層図(昭和57年)

## 謝 辞

この報告書をまとめるに当たり次の方々にお世話になった。

小田原保健所温泉課浜野 功課長, 広田 茂主査, 久保寺公正主任技師, 迫 茂樹主任技師, 青木京子主事には同課に永年蓄積された温泉資料を提供して頂いた。温泉地学研究所の大木靖衛所長には内容を検討して頂くとともに有益な御教示を賜った。同所の小鷹滋郎専門研究員には孔内検層に協力して頂くとともにその検層結果を検討して頂いた。同所の平賀士郎研究部長には調査および報告書作成が円滑に進むよう御配慮して頂いた。以上の方々に厚くお礼申し上げる。

なお、この調査は神奈川県温泉地学研究所温泉等研究調査費によった。

## 参考文献

- 平野富雄, 大木靖衛, 栗屋 徹 (1972) 箱根湯本・塔ノ沢温泉の泉質, 神奈川温研報告所, Vol. 3, No. 3, 109-130.
- 平野富雄, 大木靖衛, 広田 茂, 小沢 清, 荻野喜作 (1974 a) 箱根湯本温泉の自然湧出泉について (その1) 湯本総湯の経年変化, 神奈川温研報告, Vol. 5, No. 2, 31-44.
- 平野富雄, 広田 茂, 大山正雄, 大木靖衛 (1974 b) 箱根湯本温泉の自然湧出泉について (その2) きよ水源泉の枯渇, 神奈川温研報告, Vol. 6, No. 1, 1-10.
- 平野富雄, 広田 茂, 小鷹滋郎, 栗屋 徹, 大木靖衛 (1976) 箱根塔ノ沢温泉の温度と化学成分, 神奈川温研報告, Vol. 7, No. 2, 85-91.
- 平野富雄, 広田 茂, 大木靖衛 (1977) 箱根湯本, 下茶屋地区の温泉の揚湯量と溶存成分の減少について 神奈川温研報告, Vol. 8, No. 2, 51-66.
- 平野富雄, 大山正雄 (1980) 箱根湯本温泉の自然湧出泉について (その3) 第3号泉 (福住湧泉) の経年変化, 神奈川温地研報告, Vol. 12, No. 2, 55-66.
- 小鷹滋郎, 大木靖衛, 広田 茂 (1972) 箱根湯本・塔ノ沢温泉の湧出機構, 神奈川温研報告, Vol. 3, No. 395-108.
- 大木靖衛, 平野富雄, 小鷹滋郎, 栗屋 徹, 大山正雄, 杉山茂夫 (1981) 箱根温泉誌, 神奈川温地研報告, Vol. 12, No. 5, 157-248.
- 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, 神奈川温地研報告, Vol. 14, No. 4, 99-216.
- 大山正雄, 大木靖衛 (1973) 湯本・塔ノ沢温泉の最近の動向について, 神奈川温研報告, Vol. 4, No. 2, 91-98.
- 杉山茂夫, 大木靖衛, 迫 茂樹, 林 雅, 勝又 一 (1982) 箱根湯本・塔ノ沢温泉集中管理に関する温泉単価の試算, 神奈川温地研報告, Vol. 13, No. 5, 39-46.