

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

平野富雄, 大木靖衛, 広田 茂, 小沢 清, 荻野喜作

神奈川県温泉研究所*

Hot Springs in Hakone-Yumoto, Kanagawa Prefecture
(Part 1) Annual Variation of Chemical Components and Temperature
of Sōyu, a Hot Spring in Hakone-Yumoto

by

Tomio HIRANO, Yasue ŌKI, Shigeru HIROTA,
Kiyoshi OZAWA and Kisaku OGINO

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture
Hakone, Kanagawa

(Abstract)

Here described the annual change of "Sōyu", one of the oldest hot spring in Hakone-Yumoto. The thermal water discharging from fracture of the basement rocks of Hakone volcano is going down in chemical components and temperature, being closely connected with the appearance of many deep wells.

Temperature of spring had been at about 52°C and total dissolved salts at 658 mg/l until 1952. Since 1953, dissolved salts and temperature of this hot spring have been going down and now arrive at 34.7°C and 412 mg/l.

The lowering of temperature and dissolved salts are explained by the mixing with the cold ground-water and thermal water, caused by decreasing of water table of the hot spring system, depending on the over-discharge of thermal waters by deep wells.

*神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉研究所報告 第5巻, 第2号, 31—44, 1974

1. はしがき

箱根湯本、塔ノ沢地域には97本の温泉孔井（利用源泉 69 本、休止源泉等 28 本、1972年現在）があり、それらから湧出し、揚湯される温泉は毎分約5,500ℓに達している。

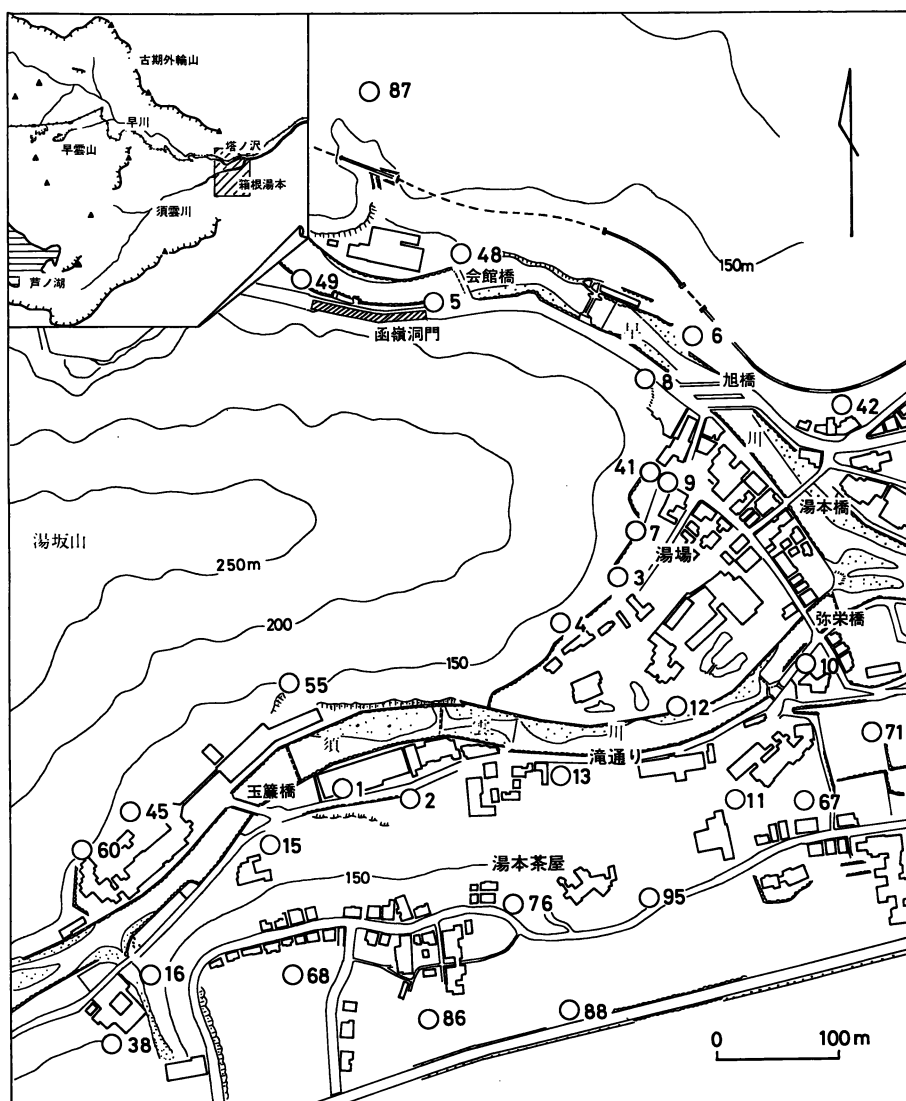


図1 箱根湯本温泉湯場地区およびその周辺の源泉分布図

番号は元湯本町温泉台帳番号。9が総湯（又は旧湯）

竪穴湧出泉，3（3，4合併）と7が横穴湧出泉

最近この地域の温泉の温度や湧出、揚湯量などが低下する傾向にあり問題になっている（小鷹ら1972，平野ら1972，大山ら1973）。湯本温泉の湯場地区には、この地域の温泉の本来の姿をとどめる自然湧出泉が3源泉残っており、それらの温泉湧出量は毎分約750～980ℓで本地域全体の湧出量の約14～17%をしめている（表1）。そのため、これらの自然湧出泉の経年変化を把握し今後の推移を予測しておくことは、この地域の温泉源保護の指標として重要なことと思われる。本報告はこの地域で最も古い源泉のひとつである湯本総湯（旧湯ともいう、旧湯本町温泉台帳第9号泉）の経年変化を主として述べることにする。

2. 湯本、塔ノ沢温泉の湧出形態

この地域の温泉はその採取法により、自然湧出泉と動力使用泉の2つに分けることができる。自然湧出泉はさらに横穴湧出泉、竪穴湧出泉と自噴泉に分けられる。

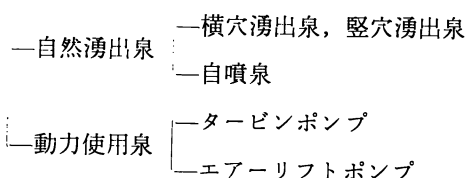


表1 湯本、塔ノ沢温泉の総揚湯量と自然湧出泉の温度および湧出量の経年変化*

年 度 (昭和)			1932 7	1952 27	1958 33	1962 37	1965 40	1968 43	1971 46	1972 47
湯本、塔ノ沢温泉総源泉数					64	70	77	87	94	97
同 上 利用源泉数					44	48	54	66	71	69
同 上 総揚湯量 (ℓ/分)			1,630	2,810	4,355	4,578	5,055	5,290	5,607	5,730
自然湧出泉	横 穴	第3号泉	温 度(°C)		48.5	51.0	49.8	48.0	48.9	45.5
			湧出量(ℓ/分)		142.	191.4	235.	263.	208.	360.
	横 穴	第7号泉	温 度(°C)		48.0	48.0	47.5	44.5	43.6	45.0
			湧出量(ℓ/分)		57.3	57.3	27.	36.	38.	52.
	竪 穴	第9号泉	温 度(°C)		53.1	53.1	42.5	42.2	37.0	37.8
			湧出量(ℓ/分)		726.	726.	635.	441.	514.	568.
自然湧出泉の総湧出量 (ℓ/分)					925.3	974.7	897.	740.	760.	980.
湯本、塔ノ沢温泉の総揚湯量に対する自然湧出泉の湧出量の比率 (%)					21.2	21.3	17.7	14.0	13.6	17.1

*神奈川県衛生部(1972)，大山ら(1973)による

横穴湧出泉，竪穴湧出泉： 湯坂山に幅約70～100 cm ，高さ約150 cm ，奥行57～99 m の横穴を掘り，その底部に自然に流下してくる温泉を集めて利用するものを横穴湧出泉とよぶことにする。湯本温泉の湯場には横穴湧出泉が4源泉存在していたが，その内の2箇所でも温泉の採取をつづけている（第3号泉，第7号泉）。

この地区には孔口3.1×2.3 m ，深さ約6 m の大きな竪穴をほり，その中に集ってくる温泉をタービンポンプで揚湯している源泉があり，これを竪穴湧出泉とよぶことにする。これが湯本総湯又は旧湯とよばれるものである（第9号泉）（図1，2）。

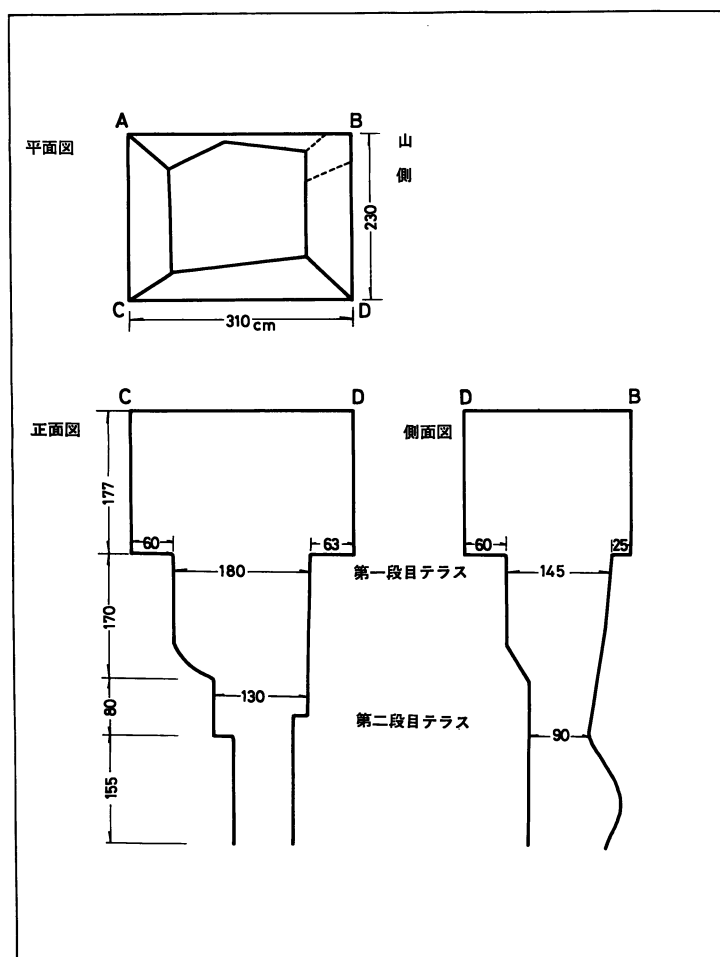


図2 総湯竪穴湧出泉の穴内図

自噴泉： ボーリングマシンにより孔径十数 cm の孔井を掘さくすると，温泉が自噴したもので，特別の揚湯装置を必要としない。昭和27年当時の記録によれば，湯本地区にはすくなくとも4本の自噴泉

が存在していた。それらは須雲川や早川に沿って分布し、泉温 $42\sim 52^{\circ}\text{C}$ 、湧出量は $16\sim 40\text{ l/分}$ であった。そのほかにも須雲川ぞいの源泉は動力装置を稼動させなければ、大部分が自噴したらしい。現在のはかつての自噴泉にもタービンポンプが設置されたり、またあるものは休止源泉となっており、本地域にはもはや自噴泉は存在しない。

動力使用泉： この地域の大部分の温泉はタービンポンプ又はエアーリフトポンプにより揚湯されている。タービンポンプが使用されているのは須雲川、早川ぞいの源泉にかぎられており、かつてはそれらの大部分が自噴していたものである。エアーリフトポンプには 1.5kw の電動機を用いた小型の堅型空気圧縮機をはじめ、 11 kw 電動機を用いる横型の空気圧縮機等が用いられている。掘さく年度の新しい源泉ほど強力なポンプを使用している傾向がある。

3. 箱根湯本、塔ノ沢温泉の成因の概要

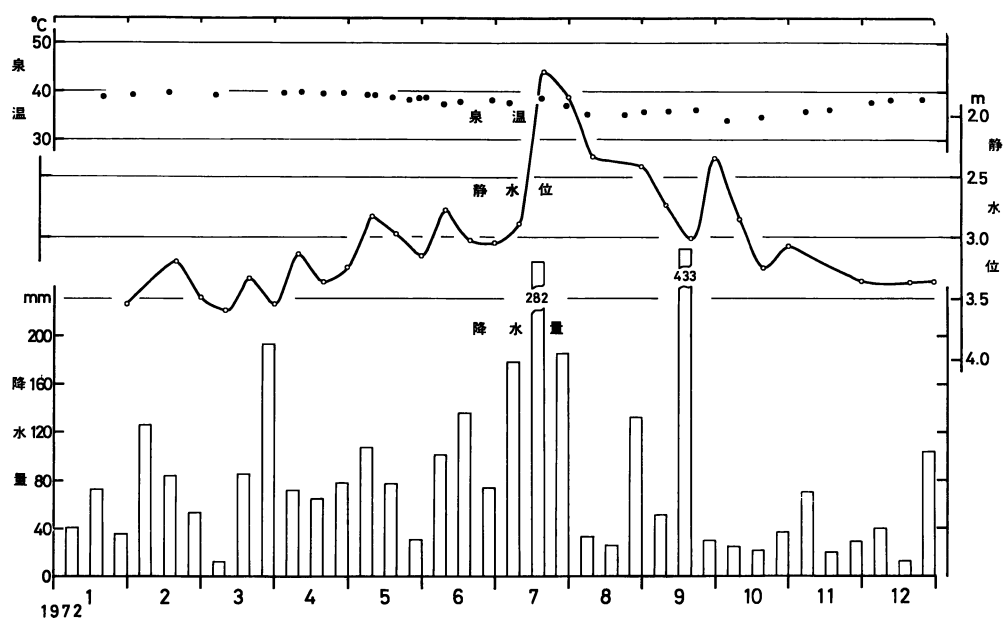
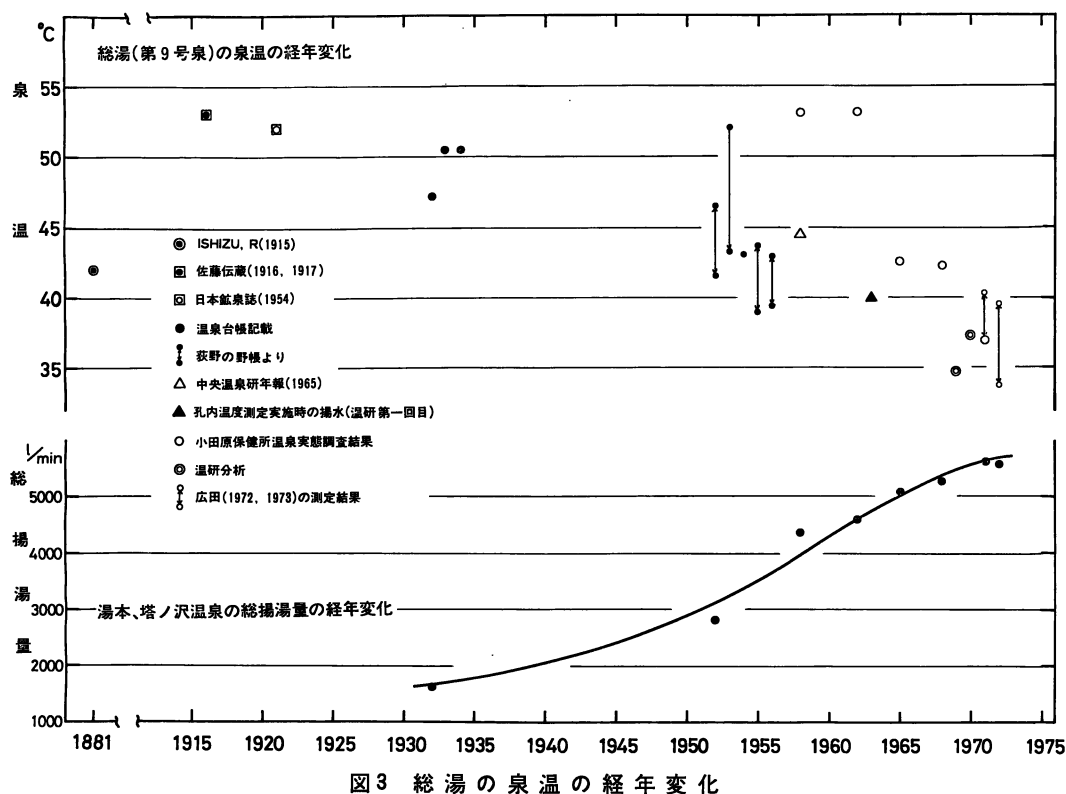
箱根火山の温泉の成因をはじめ、本地域の温泉の成因については神奈川温研の大木ら（1968, 1970 a, b）、小鷹ら（1972）、平野ら（1972）により詳細に調べられている。

箱根湯本、塔ノ沢をはじめ大平台、堂ヶ島などの温泉は、箱根火山の基盤岩類である新第三系の地層中の割れ目から湧出するものである。これらはすべて混合型（塩化物、重炭酸塩、硫酸塩泉）の温泉で、箱根火山の温泉の分帯によりIVb 帯の温泉に分類されている（大木ら1968, 1970 a, b）。

小鷹ら（1972）は新时期外輪山溶岩の湯坂山の地下より温度が高く、NaCl を主成分とする温泉が湧出しているのを見いだした。平野ら（1972）は本地域のIVb 帯の温泉をさらに化学組成により4つに細分類して成因を考察した。湯坂山の地下からNaCl を主成分とするこの地域では最も温度が高い温泉が湧出しており（IVb-H群）、それが地下水で希釈された組成の温泉が須雲川にそって分布している（IVb-L群）。早川、須雲川の合流点から下茶屋にかけて分布する温泉は塩化物や硫酸塩に富み、溶存物質量が $4,000\text{mg/kg}$ に達するものもあるが、比較的溫度が低い（IVb-C群）。塔ノ沢温泉や湯本早川ぞいの温泉等はそれらに地下水が混入した化学組成を示している（IVb-D群）。本報告で述べる総湯（第9号泉）はIVb-D群の温泉である。

4. 湯本総湯の泉温の経年変化

箱根火山の温泉は古くから多くの記録があるので、長期間の温度などの変化を調べるには好都合である。ISHIZU（1915）、佐藤伝蔵（1916, 1917）、日本鉱泉誌（1954）や昭和2年頃警察部により整理された温泉台帳の記載などから第2次世界大戦以前の温度を知ることが出来る。昭和23年に温泉法が施行されると、それに基づく調査が行政機関によって実施されるようになり、本地域の温泉に関しては小田原保健所に資料が蓄積されている。図3はこれらの資料により総湯の温度の経年変化を示したものである。総湯の温度が数ヶ月間にわたり連続して測定された場合には、その間の最高値と最低値を線で結んで示した（図3）。また図4には長期間温度の観測を行なった例として広田ら（1972, 1973）



の測定結果を示した。湯本総湯はかつては 50°C 以上の温度を有していたが、現在は 40°C 以下に低下している。一般に自然湧出泉は降水などの影響を受けやすく（瀬野ら，1969），その温度や湧出量は季節的变化が著しい。自然湧出泉の温度低下の傾向をあきらかにするには、長期間の各年度毎の温度を比較するのがのぞましい。図3には、この地域の総揚湯量の増加があわせて示してあるが（神奈川県衛生部1972，大山ら1973），総揚湯量が $4,500\text{ l/分}$ を越えた1958年（昭和33年）頃より、総湯の温度低下が著しいことが判る。

5. 総湯の総溶存物質質量の変化

温泉の温度とその溶存物質質量との間には密接な関係があり、温度が低下すれば当然溶存物質質量にも変化が顕れる。日本鉱泉誌（1954），中央温泉研年報（1965）や当所で分析した総湯の化学分析結果を表2に示す。各々の分析結果は各時代の分析方法，分析技術等を反映しているものであり，必ずしも同一の精度ではない。それらはいずれ分析化学史的な面から考察するつもりである。

総湯の温度と総溶存物質質量の関係を図5に示した。泉温が 52°C のときには総溶存物質質量は 658.2 ppm であったが， 34.7°C では 412 ppm に減少している。これは、この地域の浅層の温泉帯水層の水頭の低下とともに、低温で溶存物質質量の少ない地下水が混入して温泉を希釈していることを示している。この付近の平均的な地下水の水温は 12.5°C ，溶存物質質量が 125 ppm であるから，泉温が 34.7°C のときは 52°C の温泉55%に対して地下水が45%の割合で混合していることになり，冷地下水の混入率が非常に高いことが判る。

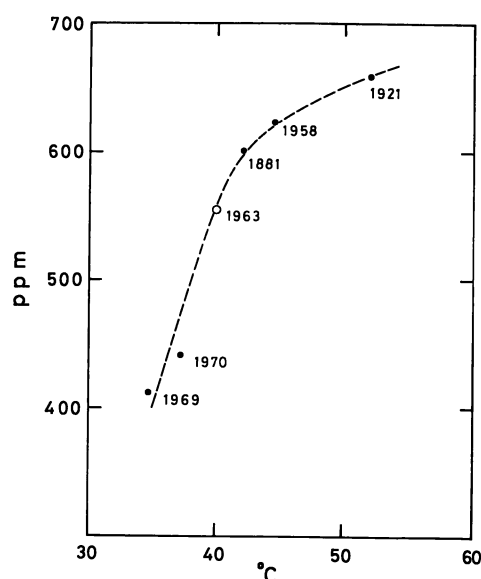


図5 総湯の温度と総溶存物質質量の経年変化

- 表2による
- 1963年の鑿穴湧出泉の测温のとき測定した温泉の電気伝導度から求めた（図6）。
温度 39.9°C ，電気伝導度 $7.6 \times 10^2 \mu\text{S/cm}$ (20°C)

表2 総湯の化学組成の経年変化

採 年 月 日	1881年 (明治14年)	1921年 (大正10年)	1958年 (昭和33年3月)	1969年 (昭和44年 8月6日)	1970年 (昭和45年 8月10日)
温度(°C)	42.	52.	44.4	34.7	37.3
湧出量(ℓ/分)		52.5	651~330		509.
pH			8.4	8.6	8.4
蒸発残留物 (ppm)	570. ppm			370. ppm	415. ppm
K ⁺	12.8	11.2	3.000	1.26	1.47
Na ⁺	180.5	180.9	150.0	103.	107.
Ca ²⁺	12.8	35.4	34.65	19.9	21.9
Mg ²⁺			0.800	0.50	0.48
Cl ⁻	196.7	181.0	160.5	107.	116.
SO ₄ ²⁻	125.5	169.2	151.8	85.9	93.6
HCO ₃ ⁻	39.2	3.9	46.62	38.7	32.9
CO ₃ ²⁻		5.1	0.690	0.90	0.48
OH ⁻		18.0	0.042		
BO ₂ ⁻					0.61
HSiO ₃ ⁻				3.93	2.93
H ₂ SiO ₃	32.7	53.5	52.0	49.7	59.4
HBO ₂			22.81		4.19
CO ₂					
総計	600.2	658.2	623.0	412.	441.
文献	ISHIZU, R. (1915) "Motoyu"	日本鉱泉誌 (1954)	中央温泉研年 報 No. 3 (1965) 甲 No. 516	分析者 平野富雄 表3の No. 8と 同じ	神奈川温研報 告, Vol. 3, No. 3, (1972)

6. 総湯竪穴内の温度測定

総湯の竪穴内の湧出泉の温度測定を神奈川温研では過去2回行なった。第1回目は1963年（昭和38年）8月9日に、また第2回目は1969年（昭和44年）8月6日に行なった。各々の測温結果を図6，7に示した。1969年度測定 of 温度の特徴は、前回に比べて40℃以上の湧出泉が著しく減少して大部分が30℃台になり、あらたに20℃台の湧出泉が出現したことである。

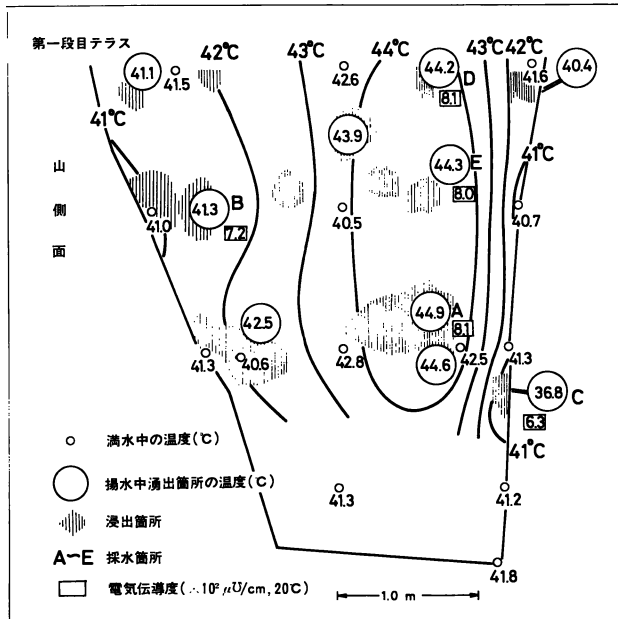


図6 1963年8月9日、竪穴湧出泉の温度
および電気伝導度

タービンポンプで揚湯した温泉の温度
39.9℃，電気伝導度 $7.6 \times 10^2 \mu\text{U}/\text{cm}$
(20℃)

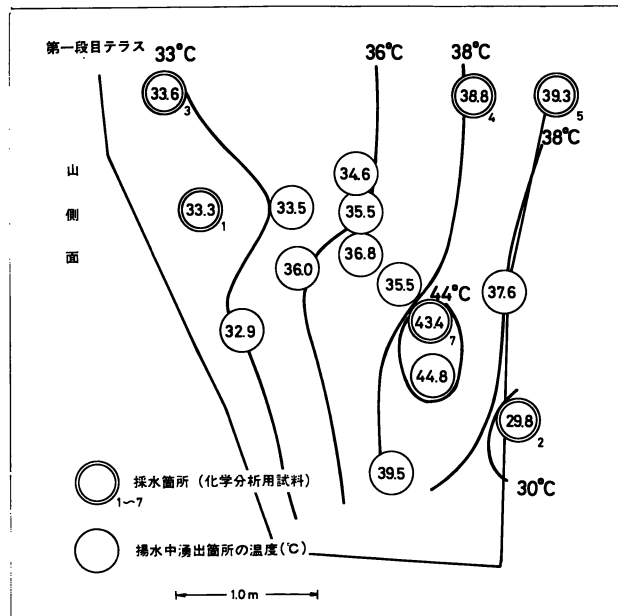


図7 1969年8月6日、竪穴湧出泉の温度
および採水場所

7. 総湯竪穴湧出泉の化学組成

昭和44年8月6日の竪穴内の温度測定の際、湧出泉の採水もあわせて行ない、化学分析を行なった(表3)。湧出泉の総溶存物質量は温度の高いものほど多く、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等は総溶存物質量と同一の傾向を示すが、 Mg^{2+} は逆に温度が高いものほど少ない(図8)。総溶存物質量と Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} の関係を図9に示した。図9にはこの地域の地下水等の分析値もあわせて記入してある。総溶存物質量が多いものほど各イオンの溶存量は多いのが一般であるが、 Mg^{2+} が逆

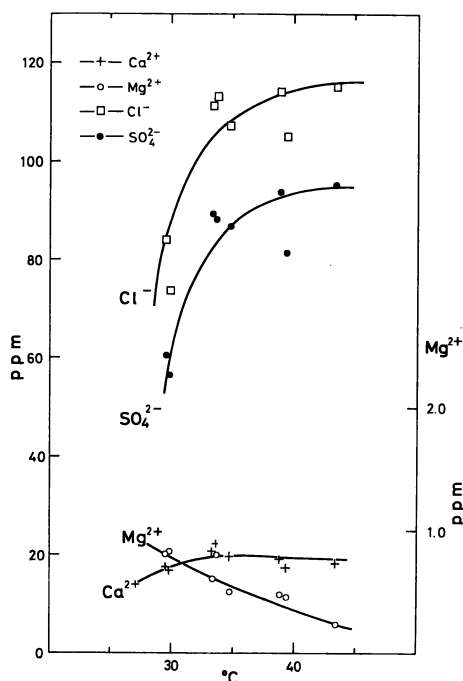


図8 竪穴湧出泉の温度と、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- および SO_4^{2-} の関係

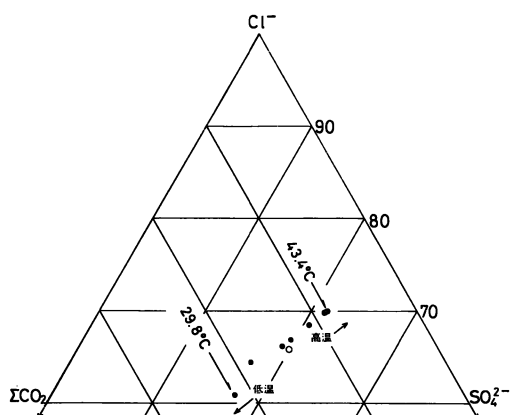


図10 竪穴湧出泉の陰イオン三角図(モル比)

表3 総湯竪穴

試料番号	採水年月日	温度 (°C)	pH	蒸発残留物 (ppm)	K^+	Na^+	Ca^{2+}
1	1969. 8. 6.	33.3	8.4	375.	1.33	101.	20.9
2	1969. 8. 6.	29.8	7.5	251.	1.30	69.4	16.9
3	1939. 8. 6.	33.6	8.1	387.	1.54	103.	22.3
4	1969. 8. 6.	38.8	8.8	396.	1.49	110.	19.4
5	1969. 8. 6.	39.3	8.6	370.	1.40	102.	17.5
6	1969. 8. 6.	29.5	7.6	290.	1.36	76.2	17.6
7	1969. 8. 6.	43.4	8.9	405.	1.24	113.	18.5
8 (揚湯)	1969. 8. 6.	34.7	8.6	370.	1.26	103.	19.9

分析値の単位は ppm

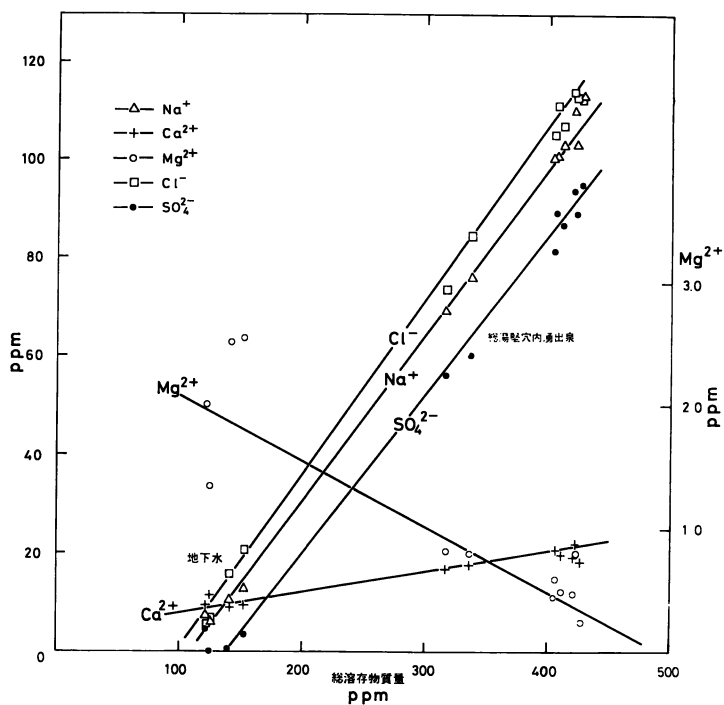


図9 堅穴湧出泉およびこの付近の地下水等の総溶存物質濃度と Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- および SO_4^{2-} の関係

の関係を示しているのは温度との場合と同様である。総湯は以前は 50°C 以上の温度を有していたことはすでに述べたが、タービンポンプにより堅穴内の各湧出泉の混合したものが湯揚されている。

現在堅穴内に湧出している温泉には、冷地下水の混入が著しいので温度が低下しているのであるが、このことは陰イオン組成比でもあきらかである。図10は表3の陰イオン組成比を計算して三角図に投影したものである。温度の高いものほど Cl^- , SO_4^{2-} 成分に富み、温度の低いものほど CO_2 (炭酸物質) が多く、その延長上にこの付近の地下水が位置をしめている。

湧出泉の化学組成

Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	HSiO_3^-	H_2SiO_3	CO_2	総計
0.60	111.	89.7	29.7	0.44	2.43	49.2	0.28	407.
0.83	73.7	56.6	42.7		0.32	52.5	2.27	317.
0.80	113.	89.4	38.4	0.28	1.30	52.6	0.74	423.
0.48	114.	94.1	18.1	7.44	6.14	49.7		421.
0.46	105.	81.5	39.3	0.92	4.14	52.4		405.
0.81	84.6	60.5	39.1		0.42	53.8	2.27	337.
0.23	115.	95.5	16.4	8.52	7.70	50.7		427.
0.50	107.	86.9	38.7	0.90	3.93	49.7		412.

分析者 平野 富雄

8. 自然湧出泉と動力使用泉のマグネシウム含有量の相違

箱根湯本，塔ノ沢の基盤岩類中からエアリフトポンプ等動力装置を用いて揚湯される温泉の

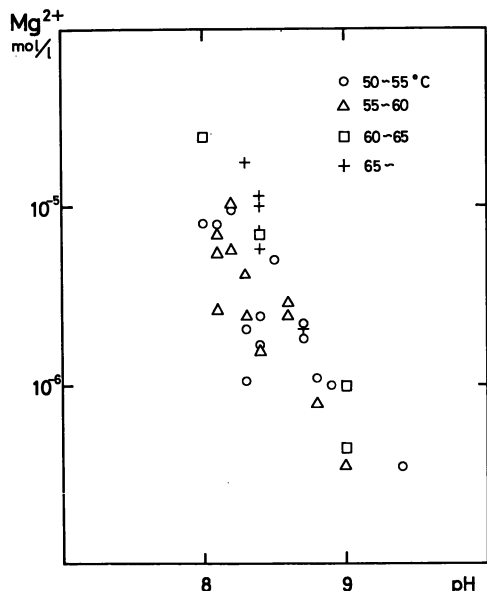


図11 箱根湯本，塔ノ沢の動力使用泉のpH— Mg^{2+} の関係

Mg^{2+} は，冷地下水が混入し稀釈されているものを含めても（IVb-L群，IVb-D群），総溶存物質量に関係なくそのpHと相関々係のあることが指摘されている（図11，平野ら1972）。自然湧出泉の Mg^{2+} 含有量は温度又は総溶存物質量と負の相関々係があるが，これは自然湧出泉と動力使用泉とでは地下水の混入前，混入後の時間的経過に相違のあることを示している。動力使用泉は一般に地下深所の帯水層から揚湯されるが，温泉は帯水層中で脈石鉱物や熱水変質鉱物と平衡になっていたことを示唆している。自然湧出泉の場合は，基盤岩の割れ目を上昇してきた温泉に冷地下水が混入し，それらは Mg^{2+} —鉱物と平衡に達する間もなく湧出してしまうのであろう。図12は竪穴湧出泉の温度——総溶存物質量の関係に，この付近の

IVb-D群の動力使用泉のそれを4源泉プロットしたものである。動力使用泉の場合地下水の混入が著しく，総溶存物質量から見て温度は29～32℃ぐらいでも良いと思われるものでも実際は40～52℃の温度となっている。これは地下水が深所の帯水層まで浸透していく間に温められているので地下水の混入率の多い動力使用泉でも，自然湧出泉に比べて温度は高くなっている。しかし，この地域の地下水頭がさらに低下し，深所の温泉帯水層への地下水の浸入が加速されると，早川や須雲川ぞいの温

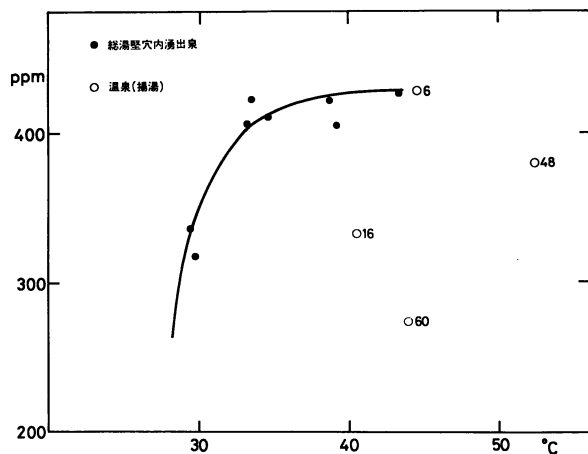


図12 竪穴湧出泉および早川，須雲川ぞいの温泉の温度と総溶存物質量
（6，16，48，60は図1の番号と同じ）

泉の温度や Mg^{2+} 含有量にその影響が敏感にあらわれると予想される。早川や須雲川ぞいの6号泉、16号泉、48号泉、60号泉などは、この地域の温泉源の枯渇の指標として主要な位置にあるため、総湯とあわせて観測をしておく必要があるだろう。

9. 今後の問題点

箱根湯本温泉の総湯（第9号泉）の経年変化を温度や化学組成の面から検討して、冷地下水の混入が著しいことを指摘した。この地域の温泉に関しては温度、揚湯量などの資料は小田原保健所温泉課の努力により充分蓄積されている。しかし、地下水位の変化の記録はほとんどなく、本報告も地下水位との関係を調べられなかったのが残念である。神奈川県は温泉行政は温泉の経年変化をとらえるのに、ただ揚湯量の変化のみに関心が集中し温度、泉質の低下などは重要視していない。温泉の揚湯量ばかりでなく、温度や化学組成にも地下水頭の変化が反映されているが、地下水頭の変化を確実にとらえるために、専用の観測井をもうけなければ温泉保護対策に必要なデータさえ得ることはできないであろう。

我々が普通に入浴できるのは $42\sim 43^{\circ}\text{C}$ の温度であるが、本来加熱せずに入浴できた温泉を、この最低限の温度以下まで低下させても良いのかという疑問がおこる。温水プール専用ならとにかく、すくなくとも入浴用の場合には 40°C 以下の温泉は加熱を要することになる。たしかに、 $12\sim 13^{\circ}\text{C}$ の地下水を加熱するより、 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ の温泉のほうが格段と燃料費は安いであろうが、本来 50°C 以上の温度を有していた温泉を 30°C 台まで低下させてはならない。このまま放置すれば、早川や須雲川ぞいの温泉は遠からず加熱が必要な温度にまで低下すると思われる。

10. ま と め

箱根湯本温泉の最も古い源泉の一つである総湯（第9号泉）の経年変化を温度、化学組成等から検討し次のことを指摘した。

- (1) 総湯の温度低下は、箱根湯本、塔ノ沢温泉の総湧出量が $4,500\text{ l/分}$ をこえた1958年（昭和33年）頃から特に著しい。
- (2) 現在揚湯される温泉の化学組成と、泉温 52°C のときのそれとを比較すると、現在の温泉は 52°C のときの温泉が55%に地下水45%が混入した比率を示している。
- (3) 総湯の竪穴内湧出泉の温度は1963年に比べ1969年には、明らかに温度が低下しており 20°C 台の湧泉も現れた。これは冷地下水の混入率が非常に高くなっていることで説明できる。

11. 謝 辞

この調査を行なうにあたり次の方々のお世話になった。総湯の共同所有者である福住九蔵氏、井島房五郎氏はじめ15名の方々、特に和泉館の下田幸男氏は揚水ポンプの運転等いろいろ便宜をはらって

いただいた。小田原保健所温泉課岩田義徳課長，浜野功係長にはいろいろ古い話などをうかがった。又同課の課員の方々が長年測定をつづけられた温度や湯量等の記録は非常に役立った。神奈川温研の平賀士郎温泉地質科長は終始激励して下さった。以上の方々に厚くお礼申し上げます。なお，この調査は温泉研究所温泉等研究調査費によった。

参考文献

- 中央温泉研究所 (1935)，温泉分析表 (昭和25～35年)，中央温泉研年報，No. 3.
- 広田茂，栗屋徹 (1972)，箱根火山における温泉および地中温度の連続観測，1971，神奈川温研報告，Vol. 3，No. 1，25—32.
- 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)，神奈川温研報告，Vol. 4，No. 1，23—32.
- 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，Vol. 3，No. 3，109—130.
- ISHIZU, R. (1915), The Mineral spring of Japan, Sankyo, Tokyo.
- 神奈川県衛生部 (1972)，温泉実態調査報告書.
- 厚生省大臣官房国立公園部編 (1954)，日本鉱泉誌，青山書院，東京.
- 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. 3，95—108.
- 大木靖衛，平野富雄，田嶋綾子 (1968)，箱根温泉の成因，神奈川温研報告，Vol. 1，No. 6，35—50.
- ŌKI, Y., T. HIRANO (1970a), Geothermal system of Hakone volcano, U.N. Geothermal symposium in Pisa, 1970, (United Nations symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa) Geothermics, Spec. issue 2, Vol. 2, p. 1.
- 大木靖衛，平野富雄 (1970b)，箱根火山の温泉，箱根町集団施設地区計画調査報告書，140—168，神奈川県.
- 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.
- 佐藤伝蔵 (1916)，箱根温泉調査報文，地調報，No. 59，53—80.
- 佐藤伝蔵 (1917)，箱根温泉調査報文，地学雑誌，Vol. 29，No. 339，167—178.
- 瀬野錦蔵，湯原浩三 (1969)，温泉学，地人書館，東京.