

箱根外輪山温泉調査報告

小鷹滋郎, 大木靖衛, 広田 茂

神奈川県温泉研究所*

Drilling for the Prospecting of Thermal Water
at the Eastern Base of the Hakone Caldera
by

Shigeo ODAKA, Yasue ŌKI and Shigeru HIROTA

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture
Hakone, Kanagawa

(Abstract)

A 300m depth of drilling was made at the eastern base of the Hakone caldera, where the basement rocks of the Hakone volcano are exposed along the deep valley of Hayakawa. The geothermal gradient from the depth of 20m to 140m is at 50°C/100m and that from 140m to 300m is at 10°C/100m. The temperature of the bottom of the hole is estimated at 97°C. The thermal water is reserved in the complicated fracture-system in the basement rocks of Yugashima formation. The average transmissibility coefficient of the formation is at the order of $10^{-4}\text{m}^2/\text{sec}$. The temperature of thermal water discharged by pumping is at 70°C. A reasonable discharge of the well of 300m deep with 10 cm in diameter may be about 60 l/min.

*神奈川県箱根町湯本997 〒250—03

神奈川県温泉研究所報告 第3巻, 第3号, 131—142, 1972

はじめに

箱根火山の温泉は産状によって、中央火口丘とその周辺から湧出するものと、基盤岩類（湯ヶ島層群）中の割れ目系から湧出するものとに2分される。中央火口丘とその周辺から湧出する温泉の湧出機構は、大木、平野（1970）により明らかにされている。一方、基盤岩類中の割れ目系から湧出する温泉の具体的な湧出機構はまだ明らかにされていない。

今回の調査は、箱根火山の基盤岩類中に胚胎される温泉の状況を明らかにするために行なった。地表地質調査および付近既存源泉の水理学的検討を行ない調査孔の位置を選定した。揚湯試験をおこない付近既存源泉との関係を検討し、既存源泉の保護および開発に必要な基礎的資料とした。

この調査孔に水位計を設置し、水位の経年変化を追跡することにより、箱根火山の基盤岩中の温泉水塊の消長を指示する基礎的な資料とする計画である。

地質構造と付近の温泉

箱根火山の地質構造は久野久（1950, 1952）によって解明された。久野の研究にもとづいて調査地域付近の地質について説明する。

調査地域付近の地質図を図1に示す。下部より箱根火山の基盤をなす湯ヶ島層群（M）、早川凝灰角礫岩（T）、箱根火山噴出物である古期外輪山溶岩類（OS）、新期外輪山溶岩類（YS）、中央火口丘溶岩類（CC）からなっている。

早川の河床に基盤岩類が露出すること、早川の左右の沿岸の地層分布に大きなギャップを与えるような断層が存在せぬことの理由により、古期外輪山を形成した本来の円筒状の落ちこみは早川右岸に存在するものと推定される。

大木、平野（1970）の研究にもとづいて付近の温泉について説明する。

箱根火山の温泉は産状によって、中央火口丘とその周辺から湧出するものと、基盤岩類中の割れ目系から湧出するものに2分される。さらに泉質から分類すると次の4帯に分帯される。

- 第1帯 酸性硫酸塩泉
- 第2帯 重炭酸塩硫酸塩泉
- 第3帯 塩化物泉
- 第4帯 塩化物重炭酸塩硫酸塩泉（混合型）
 - a 中央火口丘のもの
 - b 基盤岩類中のもの

これら分帯のうち、第1帯は中央火口丘溶岩類の上部に、第2、第3、第4a帯はいずれも中央火口丘溶岩類の基底部にある温泉帯水層に胚胎されている。

調査地域付近に存在する温泉は基盤岩類中の温泉（第4b帯：堂ヶ島、宮ノ下一大平台）と、中央火口丘溶岩類の基底部に胚胎される温泉（第3、4a帯：底倉、宮ノ下、堂ヶ島の一部）である。

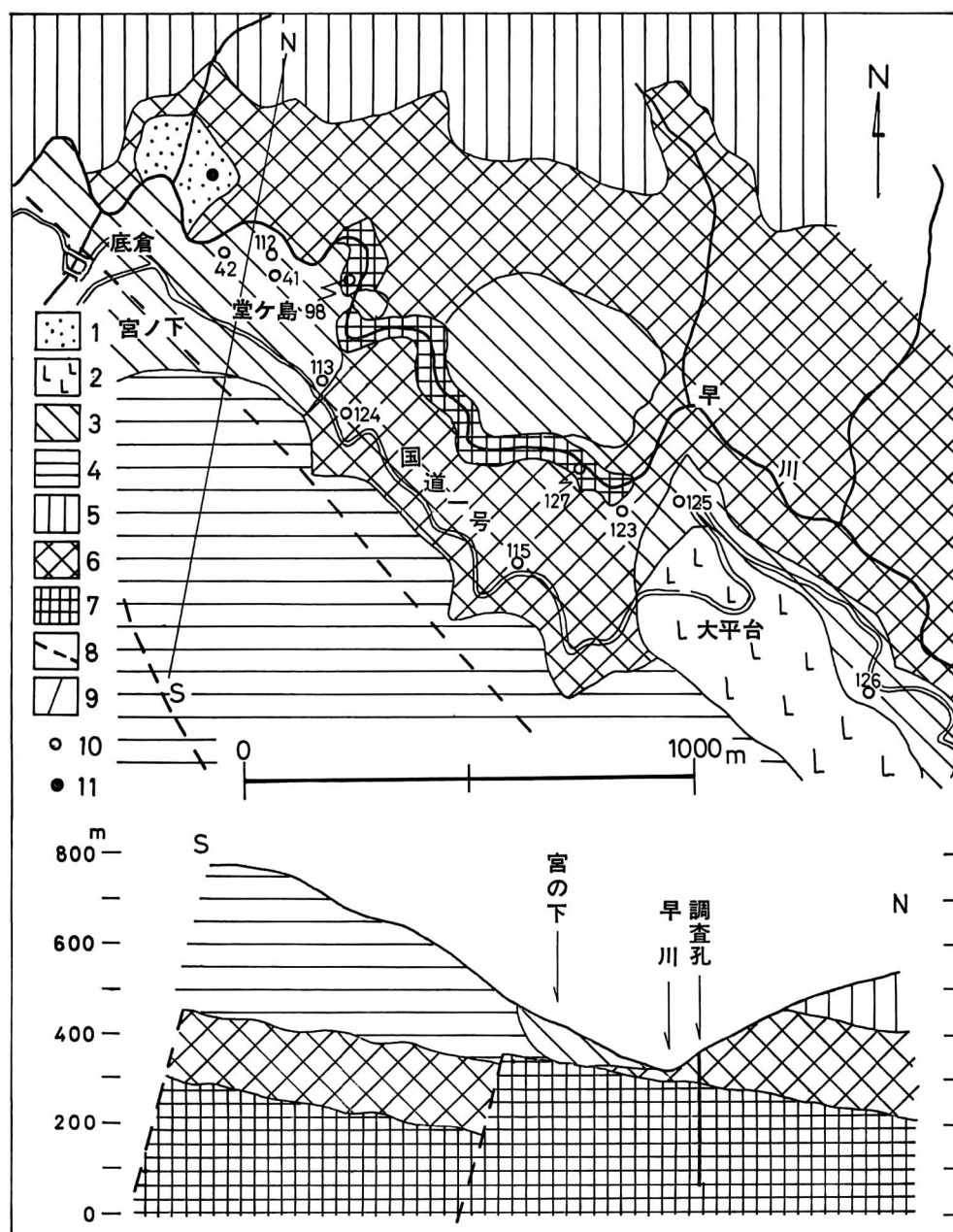


図1 調査地域付近の地質図

- 1 : 崖錐堆積物 2 : 火山灰層 3 : 中央火口丘溶岩類 4 : 新期外輪山溶岩類 5 : 古期外輪山溶岩類
 6 : 早川凝灰角礫岩 7 : 湯ヶ島層群 8 : 推定断層 9 : 断面位置 10 : 既存源泉 11 : 調査孔

早川左岸には中央火口丘溶岩類の基底部に胚胎される温泉はない。従って調査の対象となる温泉は基盤岩類中の温泉である。

試錐位置選定理由

調査孔掘さく地点は次の条件を満足する必要がある。

- 1 基盤岩類地域であること（温泉の存在する可能性のない新しい火山岩類の掘さくをさけるため）。
- 2 地下水面が地表から浅いと考えられる地点であること。
- 3 カルデラ壁になるべく近いと推定される地点であること（カルデラを作った断層帯は透水性が大きく、温泉の湧出量が大きいと考えられるため）。

調査の結果、東京電力川久保発電所に隣接する地点（小田原市久野字山畦沢4856番の4）が試錐地点に決定された。

調査孔・検層

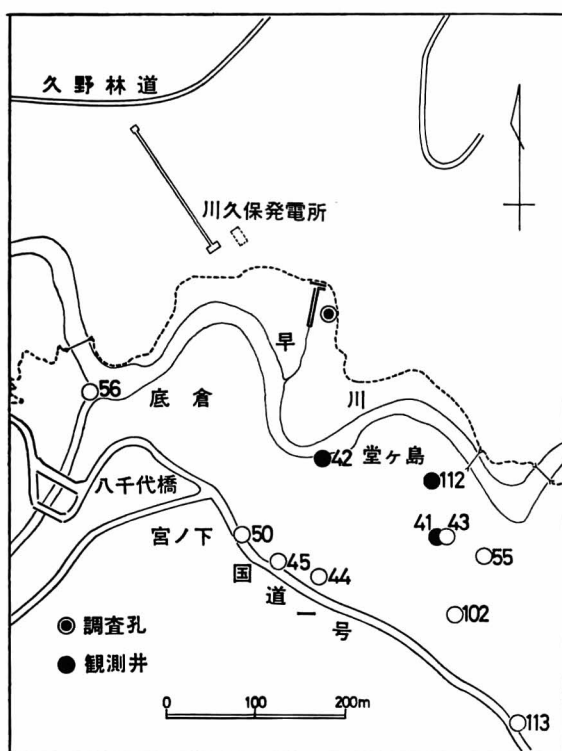


図2 調査孔付近略図

図2は調査孔付近の略図である。試錐工事は利根工事株式会社が請負った。掘さく深度は300mとした。昭和47年1月17日に工事に着手し、同年3月末までに工事を終了した。

図3は試錐工事の工程図である。

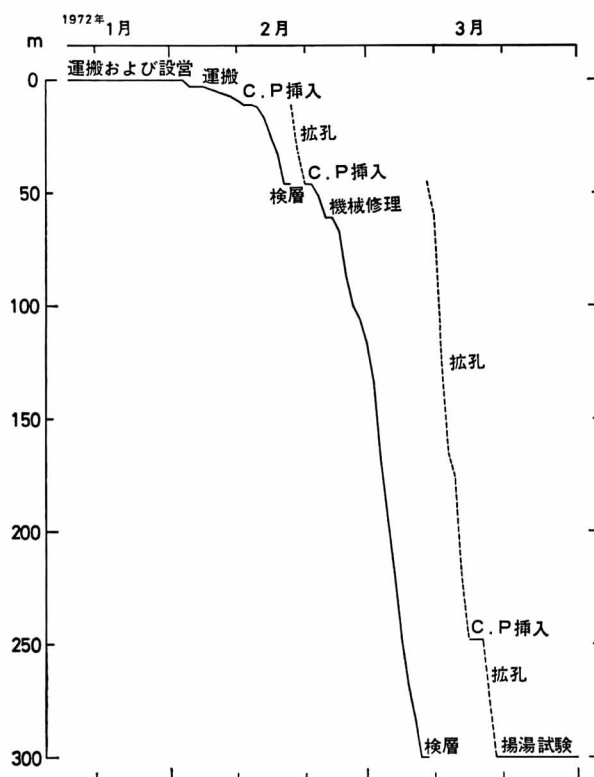


図3 試錐工事工程図

図4—Aは本孔の孔井構造図である。

図4—Bに地質柱状図を示す。地表から9.9mまでは崖錐堆積物、9.9~69.5mは早川凝灰角礫岩からなっている。69.5~300mは湯ヶ島層群で凝灰角礫岩からなり、早川凝灰角礫岩と明瞭に区別できる。基盤岩類を貫く多数の古期外輪山溶岩の岩脈が貫入している。温泉は湯ヶ島層群の割れ目系に胚胎されている。

図4—Cは工事中の2月18日と3月9日に測定した見掛比抵抗検層図である。

図4—D・Eは3月9日に測定した示差温度検層図と温度検層図である。

図4—F・Gは本孔井掘さく中、毎朝工事開始前に測定した孔底温度図と孔内静水位変化図である。孔底温度は20~140mで50°C/100mの温度勾配で上昇している。140m以深の温度勾配はずっと少なくなる。140m以深の孔底温度にかなりの変化がみられる。これは温度が低下している付近に温

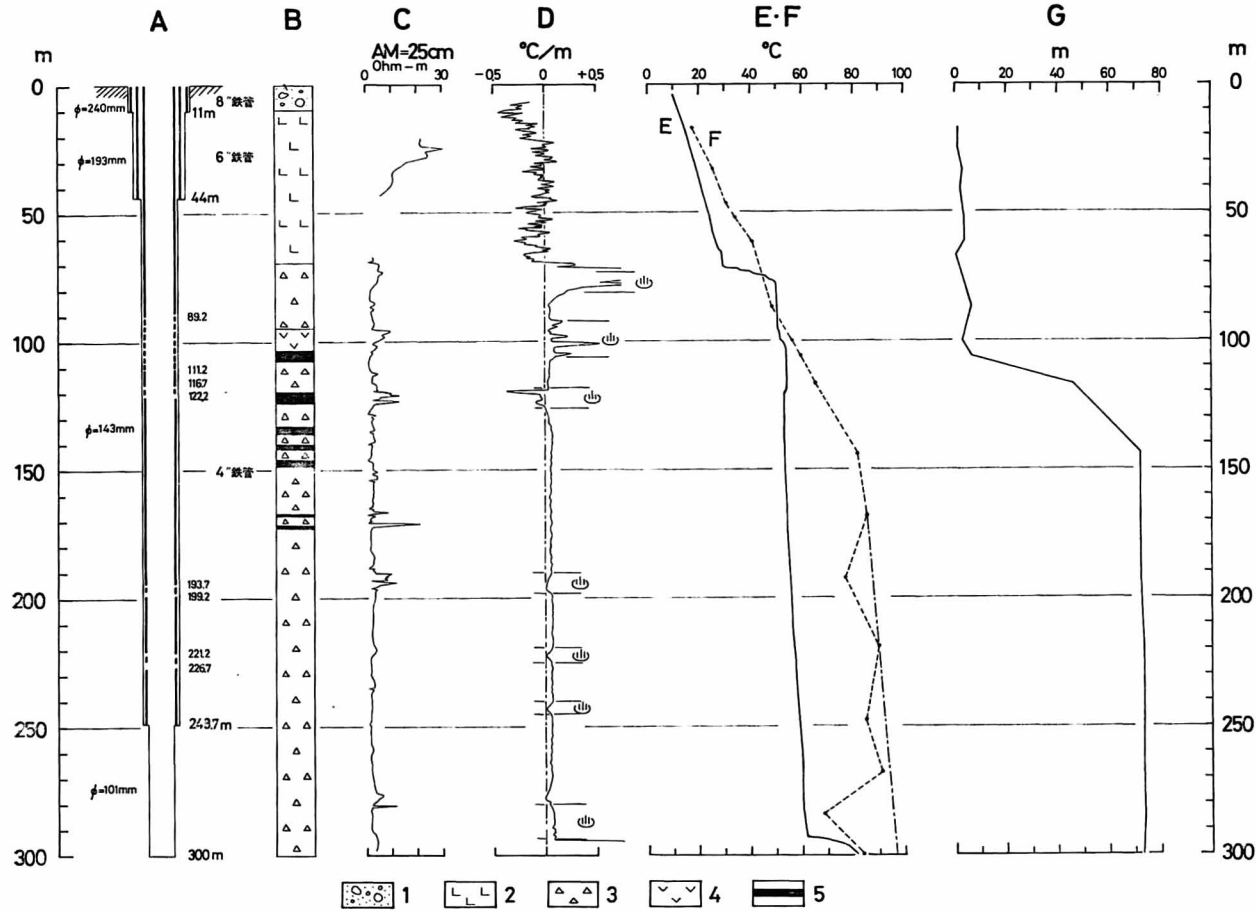


図4 調査孔の地質柱状図および孔内検層図

1 : 崖錐堆積物 2 : 早川凝灰角礫岩 3 : 湯ヶ島層群中の凝灰角礫岩 4 : 玄武岩質岩脈 5 : 安山岩質岩脈

A : 孔井構造図 B : 地質柱状図 C : 見掛比抵抗検層図 D : 示差温度検層図 E : 温度検層図 F : 孔底温度図 G : 静水位変化図

表1 温 泉 分 析 表

分 帯	4 a			4 b	
番 号	4a—1	4a—2	4a—3	4b—1	4b—2
源 泉	元温泉村41号	元温泉村42号	元温泉村43号	元温泉村112号	調 査 孔
採 水 年 月 日	1972. 3.22	1972. 3.22	1972. 3.22	1972. 3.27	1972. 3.29
湧 出 量 (ℓ/min)	16.	13.	60.	67.	111.
泉 温 (°C)	48.8	44.1	50.3	53.3	76.7
pH	7.7	7.7	7.8	8.4	8.7
電 導 度 (μV/cm)				1713.	
蒸 発 残 留 物 (ppm)	1466.	2120.	1603.	1088.	1113.
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Li ⁺	0.63	0.97	0.70	0.30	0.13
Na ⁺	384.	602.	413.	332.	327.
K ⁺	37.6	47.0	41.3	13.6	7.67
Ca ²⁺	64.7	86.8	69.3	35.7	40.7
Mg ²⁺	12.3	9.14	12.7	2.88	0.21
Al ³⁺					
Cl ⁻	654.	996.	720.	485.	416.
SO ₄ ²⁻	49.6	56.1	51.1	74.6	143.
HCO ₃ ⁻	119.	159.	126.	79.5	59.0
CO ₃ ²⁻				1.17	1.50
OH ⁻					0.09
BO ₂ ⁻				1.71	2.23
HSiO ₃ ⁻				3.82	11.8
H ₂ SiO ₃	154.	152.	160.	77.3	119.
HBO ₂	22.7	32.8	25.4	11.6	7.59
CO ₂	5.42	7.25	4.59		
溶 存 物 質 総 量	1504.	2149.	1624.	1120.	1137.
温泉孔井深度(m)	自然湧出	自然湧出	自然湧出	364.	300.

分析者 平野富雄, 栗屋 徹

泉帯水層が存在していて、上から低温の温泉が流下しているためである。孔内静水位は、掘さく深度110mまでは6m以下であったが、以後急激に低下し、73m前後で安定している。

上記検層の結果、次の7ヶ所に温泉帯水層がみつめられる。

73～81m	45°C
92～106	50～60
118～126	65
190～198	85
219～225	90
240～245	90
280～293	90

表1に調査孔および付近源泉の温泉分析表を示す。これによると調査孔の温泉は、大木、平野のいう第4b帯に属する。

揚湯試験

堂ヶ島から大平台にかけて、早川沿いに分布する源泉（図1参照）の現況を表2に示す。自然湧泉は第4a帯に属する温泉である。他は第4b帯の温泉で、透水量係数は $10^{-4} m^2/sec$ のオーダーを示している。

源泉の相互関係を調べるために揚湯試験をおこなった。調査の対象にした源泉位置を図2に示す。調査孔と112号源泉は第4b帯に、41、42号源泉は第4a帯に属する温泉である。

表2 源泉の現況

源泉台帳番号	標高 (m)	井深 (m)	孔径 (cm)	静水位 (m)	揚湯量 (ℓ/min)	水位降下 (m)	透水量係数 (m^2/sec)	測定年月日
元温泉村41号	350	自然湧出			16			47. 3.23
“ 42号	345	自然湧出			13			47. 3.23
“ 98号	315		10	37.6	204	3.95	3.49×10^{-4}	46. 6.30
“ 112号	340	364	10	36.5	80	5.9	3.04×10^{-4}	46. 6.30
“ 113号	400	697	10	179.0	117	5.1	5.28×10^{-4}	46. 6.30
“ 115号	380	645	10	13.0	360	12.0	1.97×10^{-3}	46. 6.24
“ 123号	260	700	10	58.5	110	2.9	8.71×10^{-4}	46. 6.28
“ 124号	400	800	10	121.0	72	10.4	1.59×10^{-4}	46. 6.24
“ 125号	320	800	10	57.0	90	61.7	3.35×10^{-5}	46. 6.28
“ 126号	270	704	7.5	47.5	135	5.4	5.75×10^{-4}	46. 6.24
“ 127号	260	680	10	7.3	60	102.4	1.35×10^{-5}	46. 6.28
調査孔	356	300	10	74.0	120	13.5	2.04×10^{-4}	47. 3.27
“	“	“	“	“	66	4.5	3.37×10^{-4}	47. 3.29

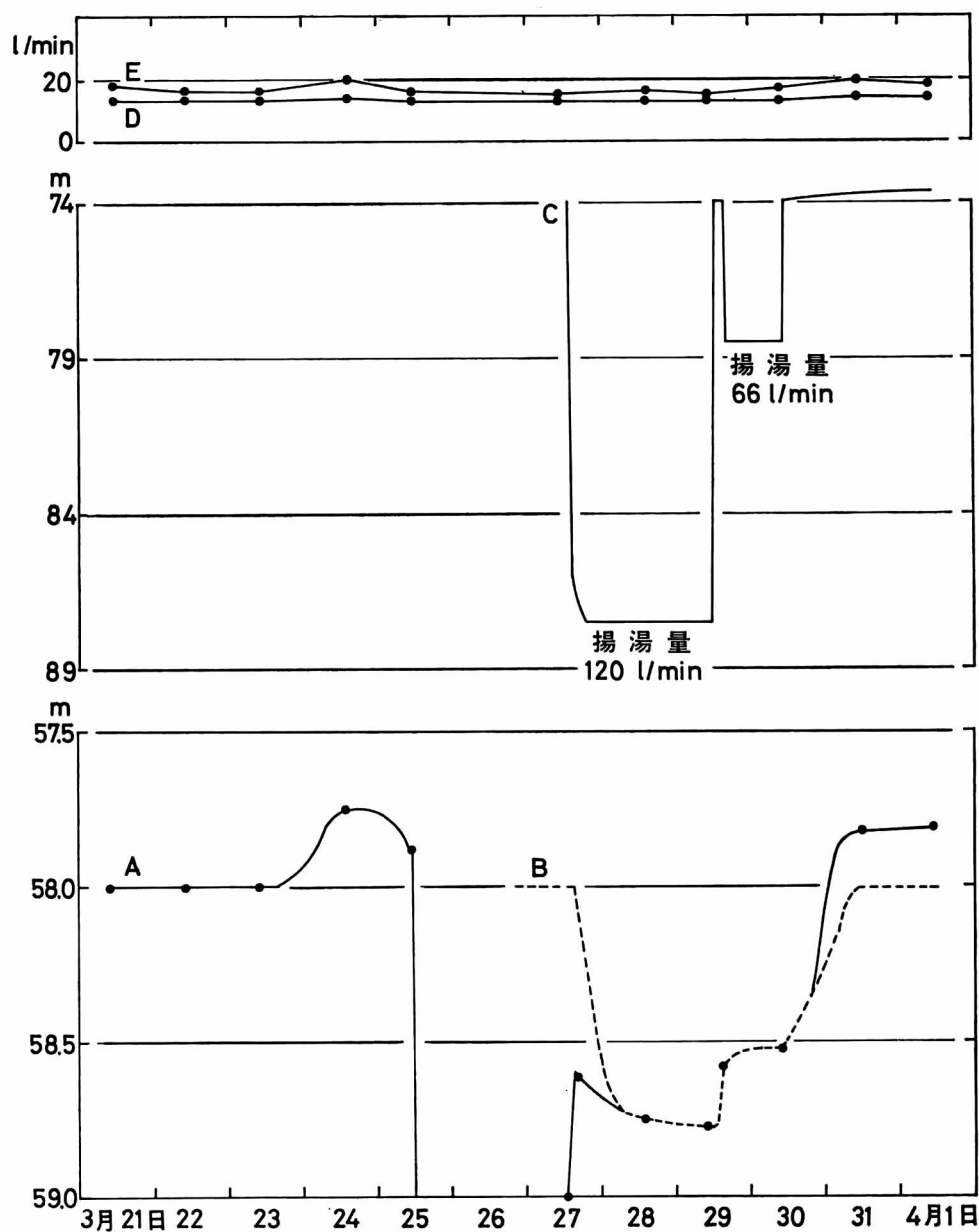


図5 水位及び自然湧出量変化図

A : 112号源泉水位変化曲線（観測値） B : 112号源泉水位変化曲線（補正值） C : 調査孔水位変化曲線
D : 42号源泉自然湧出量変化曲線 E : 41号源泉自然湧出量変化曲線

図5に調査孔から揚湯したときの112号源泉の静水位変化および41、42号源泉の自然湧出量変化を示す。調査孔からの揚湯により、どの程度の響影がこれらの源泉におよぶかを観測した。揚湯量はエア管の長さを調節して120ℓ/minと66ℓ/minにした。

調査孔は揚湯量120ℓ/minのとき、揚湯開始後20時間で水位が安定した。水位低下は13.7m、泉温は76.7°Cに達した。揚湯量を66ℓ/minにすると、揚湯開始後1時間で水位は安定した。水位低下は4.5m、泉温は70.5°Cであった。

41、41号源泉の自然湧出量は、調査孔の揚湯量に関係なく、揚湯前、中、後とも変化していない。揚湯による影響はみとめられない。温泉の分帯で両者は異なるタイプに属していることから、このことは最初から推定できた。

112号源泉の静水位変化を図5に示したが実線は観測値である。3月23日から25日、30日から4月1日にかけて水位が上昇しているが、これは降雨による影響と考えられる。3月25日から27日にかけての水位低下は揚湯によるものである。112号源泉の定常状態の静水位を58.0とした。破線の静水位変化は、観測値から降雨の影響をとり除いて補正した水位変化である。調査孔の揚湯量が120ℓ/minの場合は0.8m、66ℓ/minの場合は0.5mの水位低下がみられる。影響し始める時間は揚湯開始後1〜2時間で、かなり敏感に影響している。

考 察

調査の結果、早川左岸には右岸に存在する中央火口丘とその周辺から湧出する温泉（第3、第4a帯：底倉、宮ノ下、堂ヶ島）がないことがわかった。早川左岸には基盤岩類中の割れ目系に胚胎される温泉（第4b帯）が存在する。

揚湯試験の結果、調査孔の温泉（第4b帯）を揚湯しても41、42号源泉（第4a帯）の自然湧出量に影響を与えぬことがわかった。このことは中央火口丘とその周辺から湧出する温泉の湧出機構からもうなづける。

調査孔から揚湯した場合の112号源泉に与える影響について考えてみる。調査孔、112号源泉と同様に基盤岩類の割れ目系から温泉を採取している孔井の透水量係数は、大部分が $10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$ のオーダーを示している（表2参照）。影響調査の観測井とした112号源泉の透水量係数は $3.04 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$ で、調査孔の透水量係数 $3.37 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$ とほぼ同一の値を示している。112号源泉の静水位は、調査孔の揚湯量が120ℓ/minのときは0.8m、66ℓ/minの場合は0.5m低下している。この水位変化が112号源泉自身の揚湯量（昭和47年3月27日現在67ℓ/min）に与える影響について考えてみる。調査孔と112号源泉の透水量係数はほぼ等しい。調査孔の揚湯量が120ℓ/minのときのエア管の長さは242m、66ℓ/minの場合は146mであった。エア管を短かくすることは、それだけ水位が低下したと考えられる（ $242\text{m} - 146\text{m} = 96\text{m}$ ）。この場合、揚湯量の低下は $120\text{ℓ/min} - 66\text{ℓ/min} = 54\text{ℓ/min}$ になる。水位低下に対する揚湯量低下の割合は $54\text{ℓ/min} / 96\text{m} = 0.56\text{ℓ/min/m}$ になると考えられる。

従って水位低下が0.8, 0.5mの場合の112号源泉の揚湯量低下はそれぞれ0.45, 0.28 ℓ/minとなる。

ま と め

- 1 早川左岸の箱根外輪山側には箱根火山の基盤岩類中の割れ目系に胚胎される温泉（第4b帯：堂ヶ島，湯本，塔ノ沢）と同一タイプの温泉が存在する。右岸にある中央火口丘とその周辺から湧出する温泉（第3，第4a帯：底倉，宮ノ下，堂ヶ島）と同一タイプの温泉はない。
- 2 基盤岩類中の温泉の揚湯は，中央火口丘とその周辺から湧出する温泉には直接的な影響を与えない。
- 3 早川左岸地域の温泉揚湯量は隣接源泉との距離を110mにした場合，60 ℓ/min以下が望ましい。

謝 辞

小田原市中井一郎市長，市職員の方々をはじめ，地元の諸氏には試錐用地についてお世話になった。東京電力川久保発電所の方々には運搬施設使用に便宜をはかっていただいた。揚湯試験に際しては源泉所有者の方々の御協力をいただいた。

神奈川県衛生部山下喜一次長，松浦健一環境衛生課長には試錐用地の交渉で大変お世話になった。調査の計画で清水利貞前環境衛生課長（現在藤沢保健所長），小田原保健所岩田義徳温泉課長は有益な助言を与えて下さった。環境衛生課鈴木長谷雄係長，淡路宣雄主任技師，中出悟技師には試錐用地および東京電力との交渉で大変お世話になった。野外調査の際は，小田原保健所温泉課および温泉研究所職員の方々の御協力をいただいた。上記の方々に厚くお礼申し上げる。

この調査の費用は神奈川県衛生部温泉等調査費によった。ここに記して関係者の皆様に厚く感謝の意を表する。

参 考 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。

神奈川温研報告，Vol. 1, No. 6, p. 51—62.

平野富雄，田嶋綾子（1970）神奈川県温泉研究所分析集，その2．神奈川温研報告，Vol. 1, No. 10, p. 1—54.

平野富雄，大木靖衛（1971）箱根カルデラの地下水．神奈川温研報告，Vol. 2, No. 3, p. 89—108.

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, p. 109—130.

広田 茂，平賀士郎，河西正男（1969）箱根火山における温泉および地中温度の連続観測，1968．神奈川温研報告，Vol. 1, No. 7, p. 31—37.

広田 茂，河西正男，小鷹滋郎，小沢 清（1970）箱根火山における温泉および地中温度の連続観測，1969．神奈川温研報告，Vol. 1, No. 11, p. 25—32.

- 広田 茂, 横山尚秀, 大山正雄, 小沢 清 (1971) 箱根火山における温泉および地中温度の連続観測, 1970. 神奈川温研報告, Vol. 2, No. 1, p. 21—30.
- 小林儀一郎 (1956) 箱根温泉の地質学的湧出機構並びに温泉源保護の必要について. 温泉研究, No. 7, p. 7—10, No. 8, p. 10—15.
- KUNO, H. (1938) Geologic map of Hakone volcano and the adjacent areas (5万分の1). (注) Geology of Hakone volcano and adjacent areas. Part I (1950) の付図.
- KUNO, H. (1950) Geology of Hakone volcano and adjacent areas. Part I. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II, Vol. 7, p. 257—279.
- 久野 久 (1952) 7万5千分の1地質図幅「熱海」および同説明書. 141p. 地質調査所.
- 久野 久 (1954) 火山及び火山岩. 255p. 岩波書店.
- KUNO, H., ŌKI, Y., OGINO, K. and HIROTA, S. (1970) Structure of Hakone caldera as revealed by drilling. Bull. Volcanologique, Vol. 34, p. 713—725.
- 日本火山学会 (1971) 箱根火山. 185p. 箱根町.
- ŌKI, Y. and HIRANO, T. (1970) Geothermal system of Hakone volcano. U.N. Geothermal Symposium in Pisa, 1970 (United Nations Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa).
- 大木靖衛, 平野富雄 (1970) 箱根火山の温泉. 箱根町集団施設地区計画調査報告書, p. 140—168. 神奈川県.
- 大木靖衛, 平野富雄 (1971) 伊豆・箱根の温泉. 伊豆半島, p. 133—154. 東海大.
- 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, p. 35—50.
- 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. 神奈川温研報告, Vol. 1, No. 6, p. 1—20.
- 鈴木隆介 (1969) 日本における成層火山体の侵蝕速度. 火山, 第2集, Vol. 14, p. 133—147.
- 田嶋綾子, 平野富雄 (1966) 神奈川県温泉研究所分析集, その1. 神奈川温研報告, Vol. 1, No. 3, p. 1—55.
- 山本莊毅 (1962) 揚水試験と井戸管理. 180p. 昭晃堂.
- 湯原浩三, 瀬野錦蔵 (1969) 温泉学. 293p. 地人書館.