

湯河原温泉の水位と湧出地域の透水性

大山正雄

神奈川県温泉研究所*

Le niveau et le mécanisme du jaillissement des eaux thermales de Yugawara

par

Masao ÔYAMA

Institut de la Source Thermale de la préfecture de Kanagawa

Hakoné, Kanagawa.

(Résumé)

Le niveau des eaux thermales de Yugawara baisse remarquablement depuis vingt ans. Il est causé par la décharge excessive.

Nous avons fait l'investigation de nappe aquifère des eaux thermales.

Les principaux résultats sont rassemblés dans les conclusions suivantes :

1. Le niveau des eaux thermales dans la caldeira ciselée du volcan de Yugawara baisse encore 1 m par an.
2. De 20 % de la décharge totale est fournie par la baisse du niveau.
3. Les coefficients de perméabilité des puits sont de 10^{-3} à 10^{-6} m²/sec.
4. La perméabilité est le meilleur le long de la rivière de Fujiki entre Fudotaki et Fujikibashi.
5. Par conséquent, la zone fissuraire est principalement le long de la Fujiki.
6. D'après la distribution de la hauteur piézométrique statique, des eaux thermales coulent, dans cette zone fissuraire, en suivant la disposition du terrain.
7. Des eaux thermales montent dans les fissures de l'évent du volcan de Yugawara et jaillissent aux environs de Suéhirobashi.
8. La corrélation entre le coefficient de perméabilité (T) et la capacité spécifique (Sc) est très bonne.

Cette relation est donnée par :

$$\log T = 1.18 \log Sc - 0.83$$

*神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉研究所報告 第7巻, 第2号, 69—84, 1976

はじめに

久野（1950）によると、湯河原火山は湯ヶ島層群を基盤とし、主として苦鉄質安山岩よりなる成層火山である。今日その中央火口は著しく開析され、湯ヶ島層がカルデラの北西から南東に流れる藤木川沿いに帯状に露出している（図1）。

源泉井は藤木川に沿って分布し、湯ヶ島層の亀裂から直接揚湯している。現在、利用している109源泉井（登録数175井）の深度は1,000mに達しているものもあるが、平均423mである。孔底は殆んどが海面基準下であり、その平均は海拔標高-266mである。

一昨年の温研報告（大山他1974）において、1955年頃からの湯河原温泉の著しい水面低下は1950年前後から始まった温泉開発の活発化とそれに伴う過剰揚水に起因していることを報告した。

本年は湯河原温泉の保護と枯渇対策の一環として、揚水試験と水位測定を行ない、その後の湯河原カルデラ内の水頭分布、湯ヶ島層の亀裂の分布、ならびに透水性を調査したので報告する。

静水頭

戦後の経済の回復は産業活動を活発にし、国民生活に少しずつ余裕を生み出した。

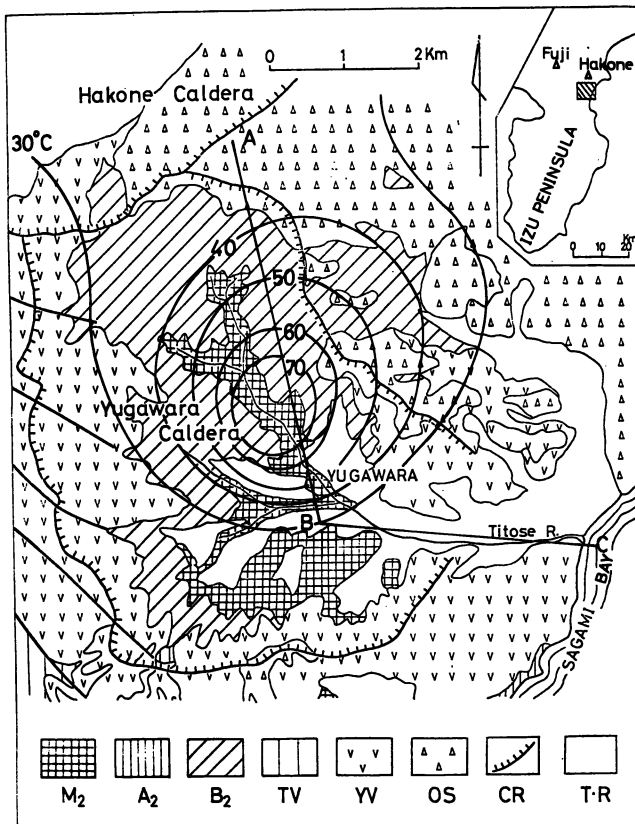


図1 湯河原火山の地質図（久野 1950）

- M₂: 湯ヶ島層群
 - A₂: 稲村安山岩類
 - B₂: 天昭山玄武岩類
 - TV: 多賀火山
 - YV: 湯河原火山
 - OS: 箱根火山噴出物
 - CR: カルデラ壁
 - TR: 洪積世堆積物
- 等温線は海面を基準とする
 (ŌKI, et al. (in press) による)

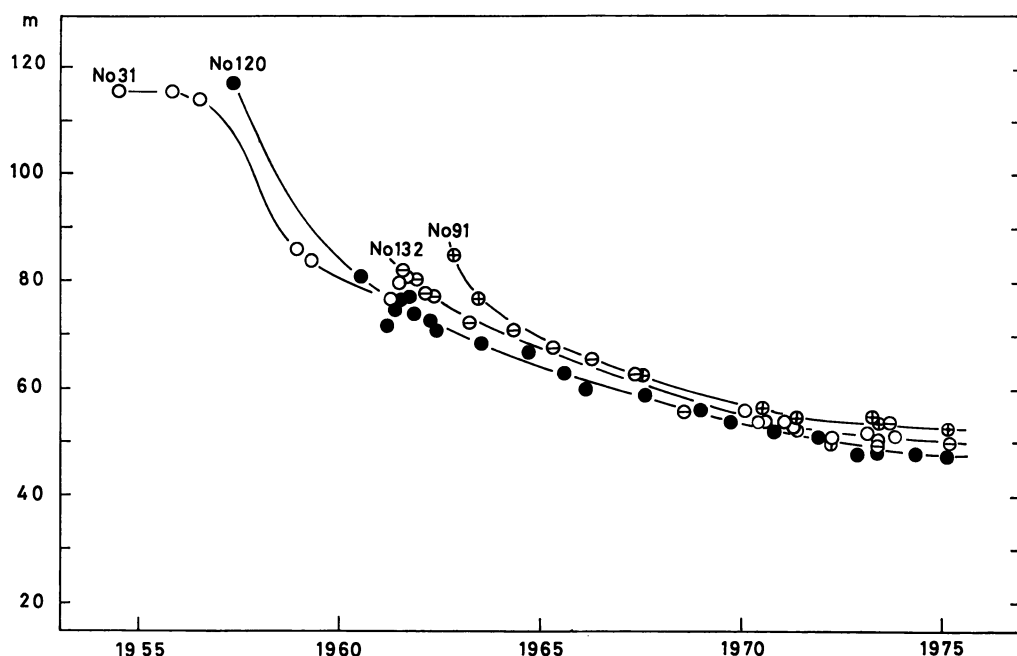


図 2 温泉水頭の経年変化 (海拔標高)

しかし、産業活動は活発になるにしたがい多量の水を必要とした。それを地下水に求めた所では著しい水位低下を引き起し、地盤沈下や地下水の塩水化をもたらした。

一方、温泉地は多くの国民が余暇や保養の場所として赴き、活況を呈してきた。その結果、温泉地においても水位低下が起こり、各地で温泉の枯渇が心配されている。

産業地のみならず温泉地においても水位低下の問題が起きるのはいずれも経済的要求が先行し、水収支を無視した地下水源の開発と利用が行なわれているからである。

湯河原では1955年頃から温泉の枯渇が叫ばれているが、これも水収支に見合った温泉の採取がなされず、乱開発そして過剰揚水の状態が依然として続いていることによる。

図2は広河原地区 (No. 91)、不動滝地区 (No. 120, 132)、温泉場地区 (No. 31) の海水面を基準とした静水頭の経年変化である。

著しい水位低下はまず温泉場に始まり、1年程して不動滝、次いで広河原地域で起り、低下地域が拡大した。1965年以降の水位低下の割合は、以上の3地域で、その差はほとんど認められず、いずれも同じ傾向を示している。近接している井戸の水位変化と水頭はほぼ一致している。

1957年頃の年10mに及ぶ水位の著しい低下は観光の大衆化と揚湯量の急増した時期とよく合致している。当時の源泉井は藤木橋と温泉場地区の藤木川沿いに密集していた。

温泉の枯渇が心配されながらも、1955年以降、新たに41源泉井が掘さくされ、増量がはかられた。

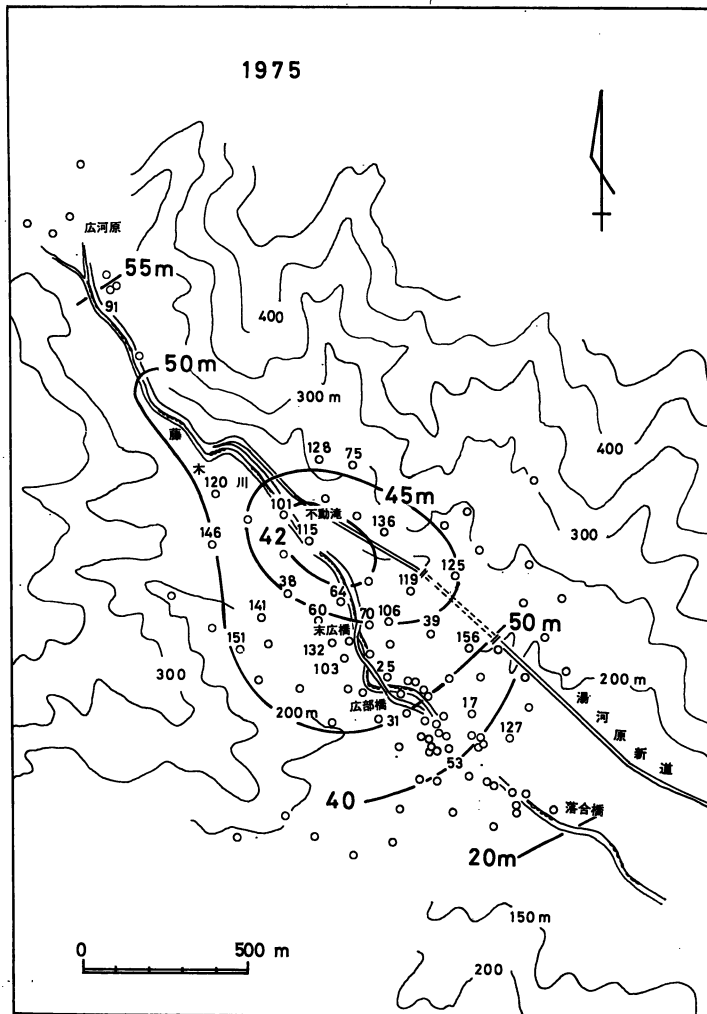


図 3 1975年の湯河原温泉の水頭分布（等水頭線は海拔標高）

箱根・湯河原では既存源泉を保護するため、新規源泉は110m以上離れ、附近源泉の量や温度に調査期間中（約10日）直接的な影響を与えない場合のみ許可されている。既存源泉の増掘や増量の時も同様の影響調査を行なっている。このため、新規源泉は藤木川から離れた場所、特に、不動滝周辺の山で掘さくされた。不動滝附近は地温が高く、良好な泉脈が存在していたので多量の湯を採取することが出来た。

表1は小田原保健所温泉課が行なっている調査結果である。

源泉数は20年間に70%増加した。しかし、水位低下が進行し、各源泉の揚水量が年々減少しているため、全揚水量は26%増加したにすぎなかった。

1970年以降、源泉井はほとんど増えず、揚水量もエアー管の伸長、コンプレッサーやモータの馬力

アップによって一定量が維持されている。

1961年から1972年にかけての水位低下は年平均2.5m、ここ一・二年は年1m前後である。水位低下の割合は小さくなっているが、温泉枯渇の進行が終息に近づいていると考えるのは早計であろう。

問題は水位低下が20年間に70m以上にも達し、低下地域の範囲が拡大していることである。水位の低下地域の拡大は見かけ上、水位低下速度の減少として現われるので、水位上昇が見られるまで安心出来ない。

図3は海水面を基準とした静水頭分布である。

水頭は全般的に地形に沿っているが、不動滝附近ですり鉢状に落ち込み、広部橋附近で盛り上がっている。かつて、温泉のほとんどは自噴地帯であった温泉場、藤木橋地区で採取されていたが、今日では半分が不動滝周辺で得られている。

等水頭線は一様に藤木川を直角に切っている。従って、水頭分布から判断すると、温泉は不動滝の落ち込みに向って周辺の山と広部橋附近から流れ込み、藤木川附近では川に沿っている。

藤木川に沿う浅井戸の冷地下水の水頭は、1955年頃まで温泉水頭が占めていた河床附近に位置している。温泉の水頭はそこから60m以上も下にある。

温泉水頭は全体的に1972年頃に比べ2～4m低下している。低下の割合は右岸より左岸の方が大きいようである。

揚水試験

湯河原カルデラ内の湯ヶ島層の亀裂の透水性と湧出機構を調べるため揚水試験を行なった。調査結果は表2に示した。

源泉井では全てエアリフト・ポンプで揚水している。揚水管やエア管に附着する温泉沈積物（主成分は炭酸カルシウム CaCO_3 ）を除去する作業が、70℃以上の温泉で月に1回、60℃以下では年1回以上行なわれているので、揚水試験はその終了後に行なった。

表 1 湯河原カルデラ内の源泉数と揚水量

年 度	総 源 泉 数	計量源泉数	工 事 中 他	休止源泉数	揚 水 量 (ℓ/min)
1956	98	58		40	5040
1958	100	67	1	32	5460
1961	107	66	8	33	5290
1964	114	77	8	29	5430
1967	125	89	6	30	5570
1970	133	98	6	29	6360
1971	136	103	4	29	6280
1972	136	103	2	31	6320
1973	138	98	8	32	6280
1974	139	98	8	33	6200

表 2 源 泉 井

源泉台帳 番 号	測定年月日	標 高 (m)	井 深 (m)	孔 径 (cm)	揚水管長 (m)	揚 水 管 口 (cm) 径	エアー管長 (m)
17	1975. 4. 10	124	500	10	396.0	6.3	269.5
25	1975. 1. 31	126	277.5	10	253.0	6.4	220.0
31	1973. 11. 9	120	346	10	187.0	6.4	148.5
38	1973. 5. 10	205	364	10	283.8	6.3	264.0
39	1975. 1. 23	177	341	10	302.5	6.3	286.0
53	1975. 5. 28	113	363	10	214.0	6.4	152.5
60	1975. 1. 29	177	330	10	280.0	7.6	275.0
64	1973. 5. 11	146	363.6	10	275.0	6.3	193.0
70	1975. 7. 17	141	300	7.5	275.0	7.5	269.5
75	1975. 6. 26	232	700	10	484.0	6.3	467.5
91	1975. 2. 7	230	353	10	346.5	6.3	341.0
101	1975. 3. 5	170	303	10	264.0	7.5	258.5
103	1975. 4. 21	135	291	10	270.0	5.1	264.0
106	1975. 6. 13	175	303	10	291.5	7.5	186.0
115	1973. 3. 7	158	387	10	275.0	7.5	209.0
119	1975. 6. 27	203	378.5	10	341.0	6.3	319.0
120	1975. 2. 10	226	355.7	10	335.5	7.5	313.5
125	1975. 6. 20	235	487	10	392.0	6.3	374.0
127	1975. 6. 12	135	400	10	302.5	5.0	280.5
128	1975. 4. 16	274	600	10	511.5	6.3	495.0
132	1975. 2. 20	147	331	10	308.0	6.3	264.0
136	1975. 6. 24	228	454	10	436.7	6.3	429.0
141	1973. 5. 15	238	550	10	385.0	6.3	385.0
146	1973. 11. 5	291	450	10	423.5	6.3	412.5
151	1975. 7. 3	198	500	10	451.0	6.4	423.5
156	1975. 2. 12	196	458	12.5	385.0	6.4	357.5

の 現 況

エア-管 口 径 (cm)	静 水 位 (m)	揚 水 量 (ℓ/min)	泉 温 (°C)	初期最高圧 (kg/cm ²)	水位降下 (m)	比 湧 出 量 Sc (m ³ /sec/m)	透 水 量 係 数 (タイスの非平衡式) (m ² /sec)
1.3	83.8	88.	74.7	18.55	16.6	8.88×10^{-5}	4.69×10^{-5}
1.3	74.8	76.	84.2	15.35	41.7	3.07×10^{-4}	1.27×10^{-5}
1.3	68.6	114.	88.2	7.92	1.7	1.12×10^{-3}	6.44×10^{-4}
1.3	154.0	76.	83.5	11.90	4.0	3.17×10^{-4}	1.41×10^{-4}
1.3	131.5	67.	84.8	15.88	2.5	4.52×10^{-4}	2.60×10^{-4}
1.3	63.7	58.	81.8	8.55	4.1	2.39×10^{-4}	1.11×10^{-4}
1.3	131.5	179.	56.7	15.86	2.6	1.15×10^{-2}	6.11×10^{-4}
1.3	98.0	68.	82.2	10.33	2.3	4.92×10^{-4}	2.18×10^{-4}
2.5	92.7	198.	84.1	18.35	4.7	7.03×10^{-4}	3.50×10^{-4}
1.3	196.0	93.	82.7	27.60	18.5	8.42×10^{-5}	2.92×10^{-5}
1.3	177.2	26.	73.5	15.94	2.9	1.49×10^{-4}	7.73×10^{-5}
1.3	115.7	123.	82.7	16.78	4.5	4.59×10^{-4}	2.64×10^{-4}
1.3	86.0	59.	80.0	18.31	15.5	6.34×10^{-5}	2.40×10^{-5}
1.3	130.8	55.	61.8	18.25	50.7	1.82×10^{-5}	6.86×10^{-6}
1.3	115.8	45.	70.0	13.20	7.1	1.06×10^{-4}	3.37×10^{-5}
1.3	158.0	74.	81.2	17.61	14.2	8.74×10^{-5}	3.16×10^{-5}
1.3	178.2	113.	88.7	14.38	2.8	6.74×10^{-4}	4.82×10^{-4}
1.3	197.0	152.	85.5	19.60	1.5	1.70×10^{-3}	1.01×10^{-3}
1.3	54.5	76.	51.0	22.55	50.6	2.51×10^{-5}	6.04×10^{-6}
1.9	230.0	113.	85.0	26.06	15.0	1.26×10^{-4}	4.43×10^{-5}
1.3	96.8	100.	64.5	16.88	7.5	2.23×10^{-4}	1.12×10^{-4}
1.3		45.	71.2	27.80	106.8	7.12×10^{-6}	1.71×10^{-6}
1.3	193.0	78.	81.2	19.82	26.3	4.94×10^{-5}	1.09×10^{-5}
1.3	212.5	60.	79.0	21.22	57.0	1.76×10^{-5}	7.32×10^{-6}
1.9	149.2	120.	81.7	26.55	1.0	2.01×10^{-3}	1.59×10^{-3}
1.3	143.5	83.	82.0	27.70	70.1	1.99×10^{-5}	7.31×10^{-6}

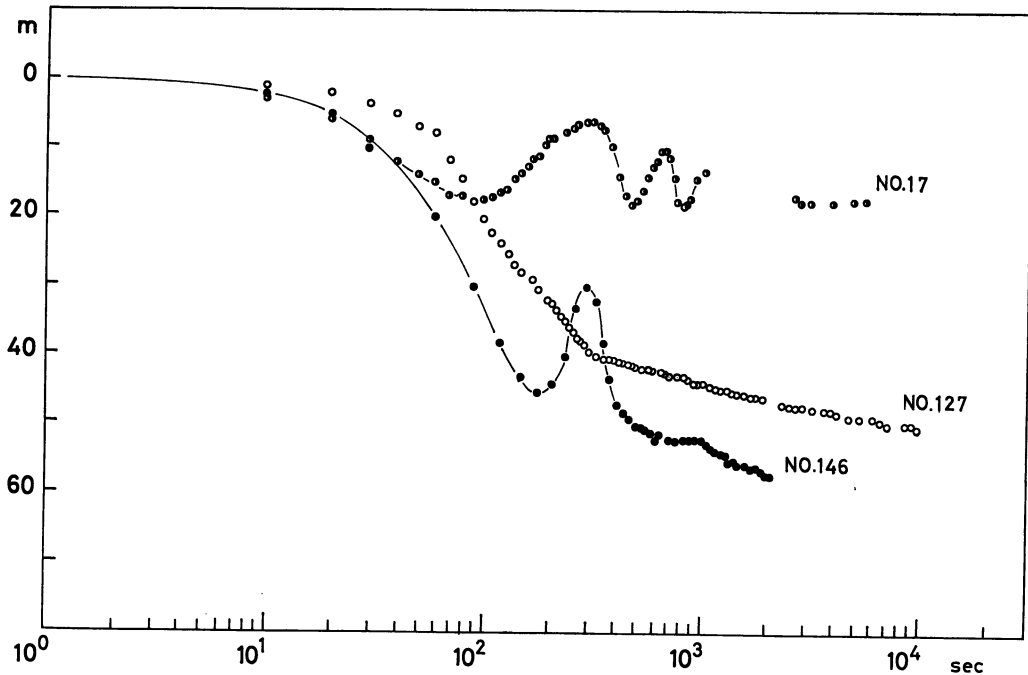


図4 揚水開始時の水位変化

静水位はエア管や揚水管を抜き取った時に測定した。

揚水中は水位測定が不可能なので、圧縮空気がコンプレッサーから井戸内に送られる前を通るレシーバタンク（空気貯溜槽）の圧力変化から水位を算出した。

図4は揚水を開始した際の水位変化である。水位は 1) 最初大きく脈動するが、水位低下とともに脈動も次第に減衰していく（No. 17）、2) 大きな脈動は一度だけで、後は滑らかになっている（No. 146）、3) 最初からほとんど脈動しない（No. 127）の3例がみられた。

3) の場合は5例（No. 25, 103, 106, 127, 136）あり、いずれも小さな透水量係数を示している。2) の係数は $10^{-3} \sim 10^{-6}$ のオーダーにわたっていた。1) は、水位はあまり下がらず、 10^{-4} オーダーのものが多かった。

エアリフト・ポンプを利用する温泉井の場合、揚水を開始すると水位の脈動がよく見られるが、この脈動はエアリフト・ポンプに主たる原因があるというよりも、むしろ亀裂内の水を汲み上げることによって起きる現象かと思われる。

しかし、上の3例のいずれの場合も、揚水開始後30分程で脈動もおさまリ、水位はほぼ一定する。

今回の調査は高温で、揚水量の比較的多い源泉井を対象にしたが、透水量係数のオーダーは $10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ 以下である。箱根の温泉井もこの範囲内である。

岩盤の亀裂の透水性は沖積地の井戸に比べ2オーダー程小さいので、 100 l/min 以下の場合でも水頭

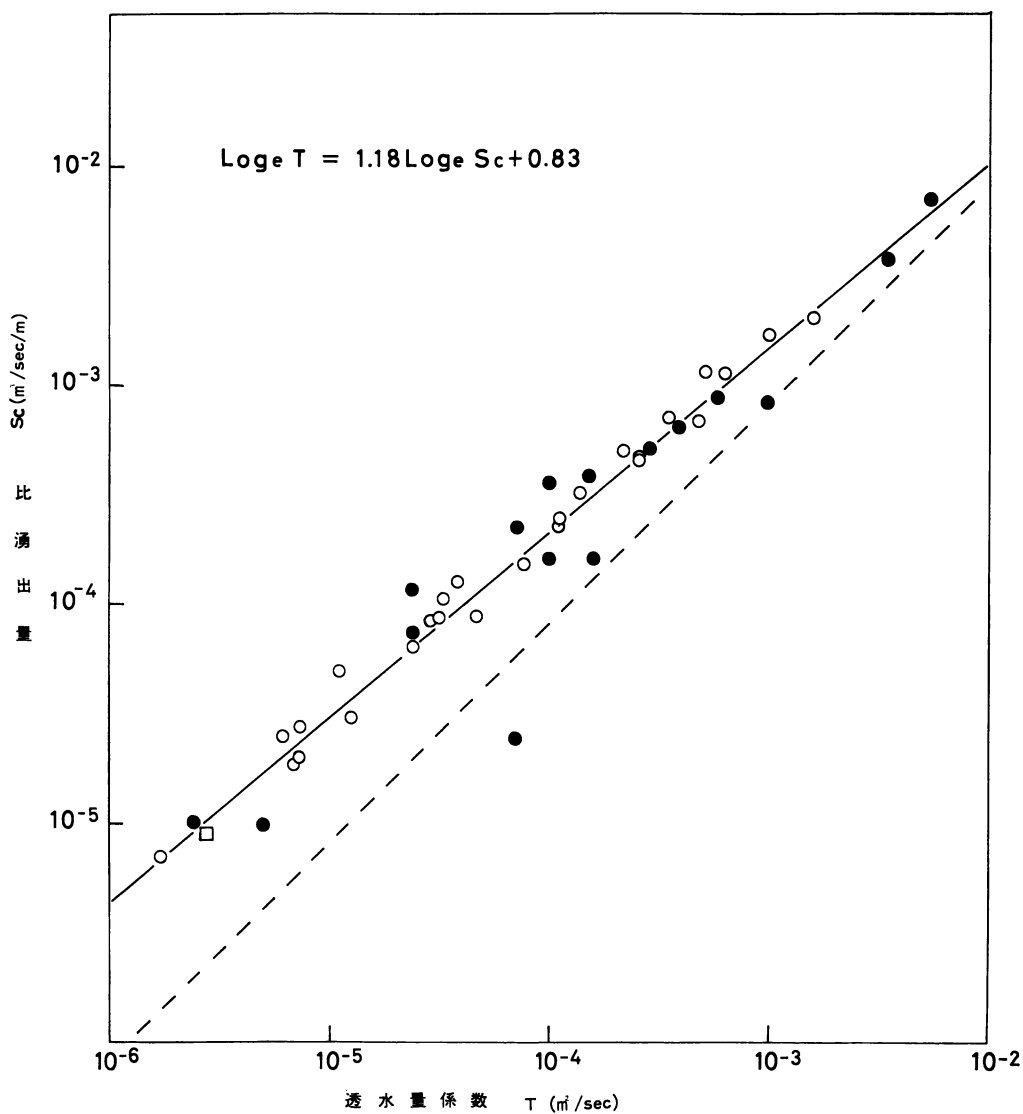


図 5 透水量係数と比湧出量との関係

は数十 m 下げなければならない。

揚水量 (Q) を水位低下量 (h) で除したものを比湧出量 ($Sc=Q/h$) という。透水量係数 (T) はこの比湧出量の程度で決まる。

図5は比湧出量と透水量係数との関係(白丸)を求めたものであるが、かなり良い相関を示してい

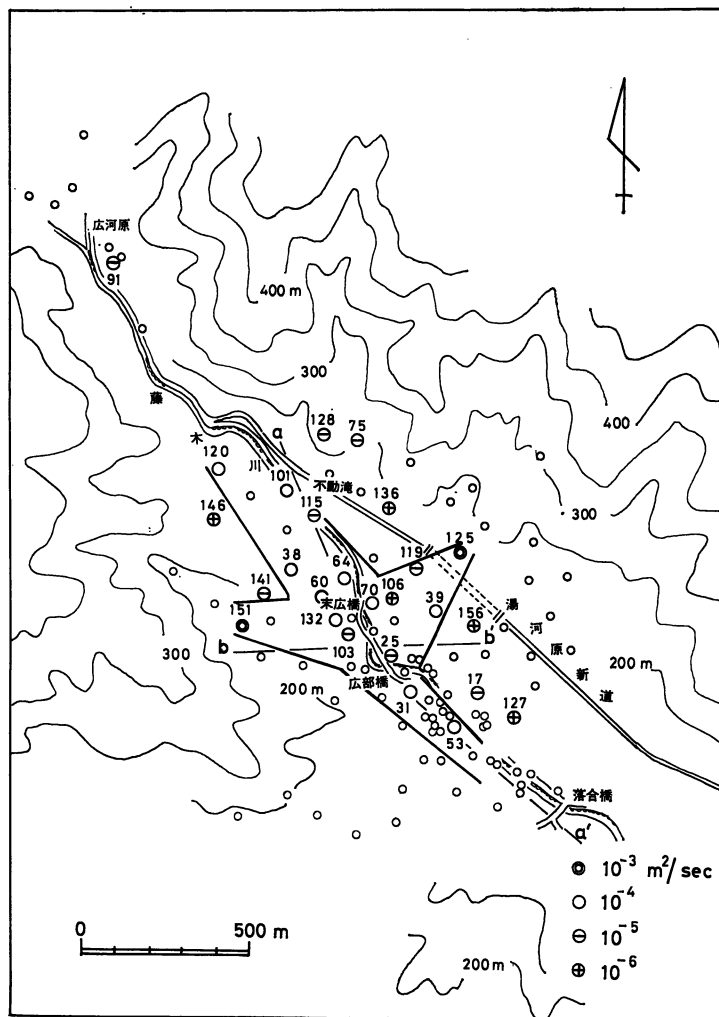


図6 湯河原温泉の亀裂帯

る。実線はこの関係式である。それは

$$\log_e T = 1.18 \log_e Sc + 0.83$$

で示される。なお、図中の黒丸は箱根(湯本, 大平台, 元温泉村)の源泉井の小鷹・広田らによる未発表資料, 四角は足柄下郡松田町寄(平野ら, 1976)のやはり亀裂から揚水している源泉井によるものである。

Logan (1964) はこの関係について $T = 1.22 Sc$ なる経験式を提案している。点線は Logan の式である。

湯河原温泉水域の亀裂帯

図6は各々の源泉井の透水量係数を、オーダで記し、大きな亀裂帯の分布を示したものである。

概略的には、透水量係数は藤木川沿いで 10^{-4} のオーダーを示し、周辺の山に向うに従がい小さくなっている。特に、本地域で最も量が多く、高温の温泉を揚水している末広橋の70号井附近には透水性のよい源泉が集中している。

大木ら（1963）は泉質の分布、揚湯分布、薬品投入試験を通して、本地域の割れ目の分布を求めている。それによると、不動滝から藤木川沿いに、下流に向って大きな亀裂帯が存在していることを報告している。

今回の揚水試験の結果も透水性の良い源泉井は藤木川に沿っていた。

水頭と亀裂の分布

図7のaとbは図6のa-a'、b-b'に沿って描いた水頭断面と温度検層を行なった源泉井の泉脈の位置と温度を示している。図中の横の実線は測定源泉井の深度である。地表から降ろした実線は1913年（大正2年）当時の自噴井の深度であり、地表の数字は源泉番号、孔底の数字は湧出した泉温である。

1881年（明治14年）頃、源泉番号12井附近から下流にかけて7箇所に自然湧泉が存在していたが、1912年頃には落合橋附近の河床の下湯（54℃）のみになった。当時、掘さくして泉脈にあたると55m程で60℃、110m程で80℃の温泉が、時には4～5m噴き上げたといわれている。図にみられるように、現在この泉脈には温泉はなく、冷地下水に占められている。

温泉の水面は今日、不動滝で藤木川の河床面から110m、藤木橋で70mも下にあり、なおも低下を続けている。広部橋周辺の静水頭は上流の不動滝（不動滝と広部橋間の河床の標高差約30m）に比べ6m程盛り上がっている。

不動滝から広部橋にかけて、海拔0m附近に高温の泉脈がみられる。泉脈は下部にいくつも存在し、深くなる程泉温も高くなっている。

藤木橋から下流にあたる泉脈の位置は急に深くなり、泉温も著しく低下している。このため源泉井は下流程深くまで掘さくしなければならない。

泉脈の泉温分布は掘さくの際の地温をもとにして、大木らが作成（図8）した地温分布図とよく一致している。

湯河原火山の火道の中心は不動滝附近といわれている。地温ならび泉脈の分布から湯河原温泉は地下深所からこの火道に発達した亀裂に沿って上昇し、末広橋附近で湧出しているものと思われる。

不動滝から藤木橋にかけて、同標高に、同温度の泉脈が存在しているが、これ等は深所から亀裂を通して上昇してきた流体が浅層地下水に等しく冷やされているものと思われる。

亀裂内の地下水の流れは複雑な行状を呈する。水面は地形、岩盤の亀裂の方向と地質的構成および地下水の供給状態によって左右される。しかし、全体的に見れば亀裂内の地下水は地表面にほぼ平行な水面を持っている。

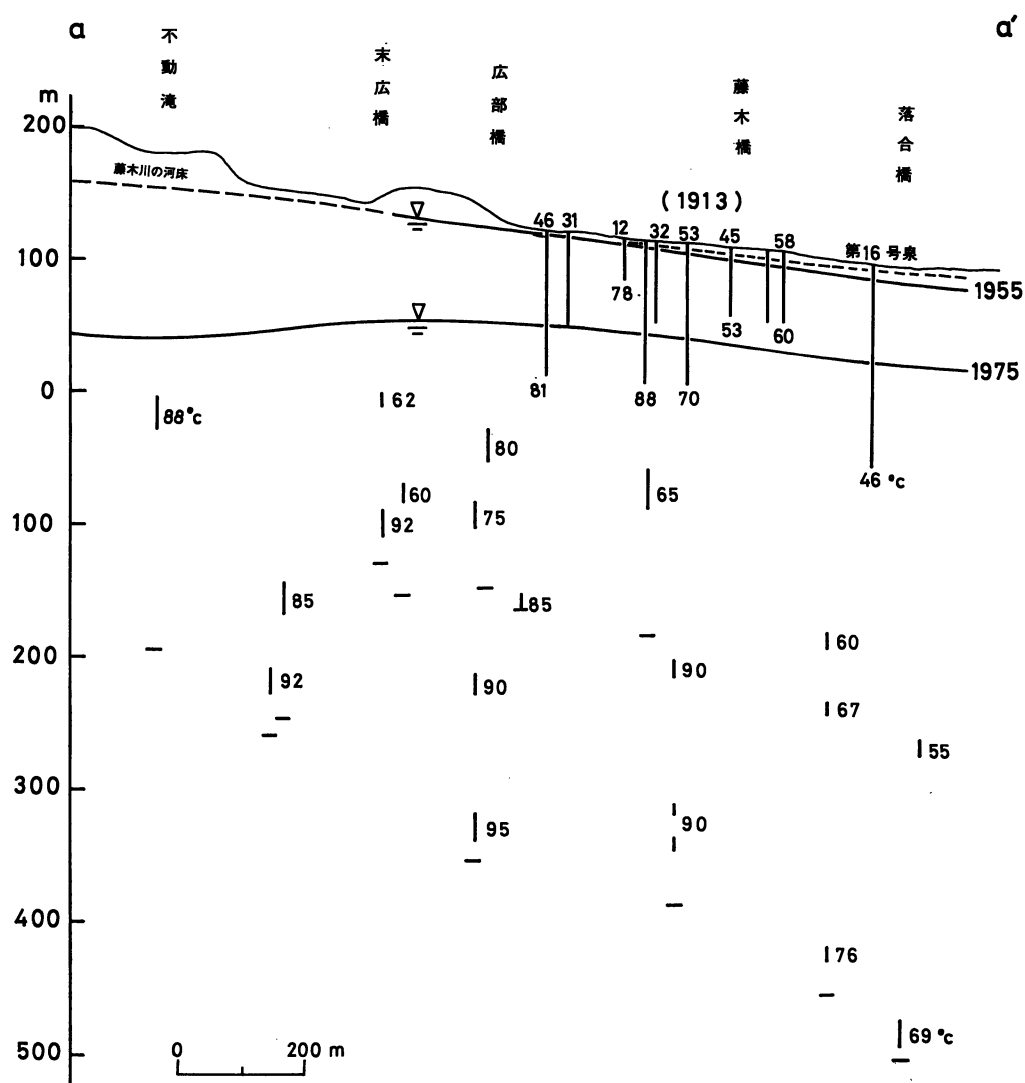


図7のa 静水頭と亀裂の分布

従って、水頭分布図に見られるように、水面は個々の源泉の泉脈の位置とかかわりなく全体との釣合で決まる。

まとめ

水位の測定、揚水試験、温度検層資料をもとに以上のように検討した結果、次のことが明らかになった。

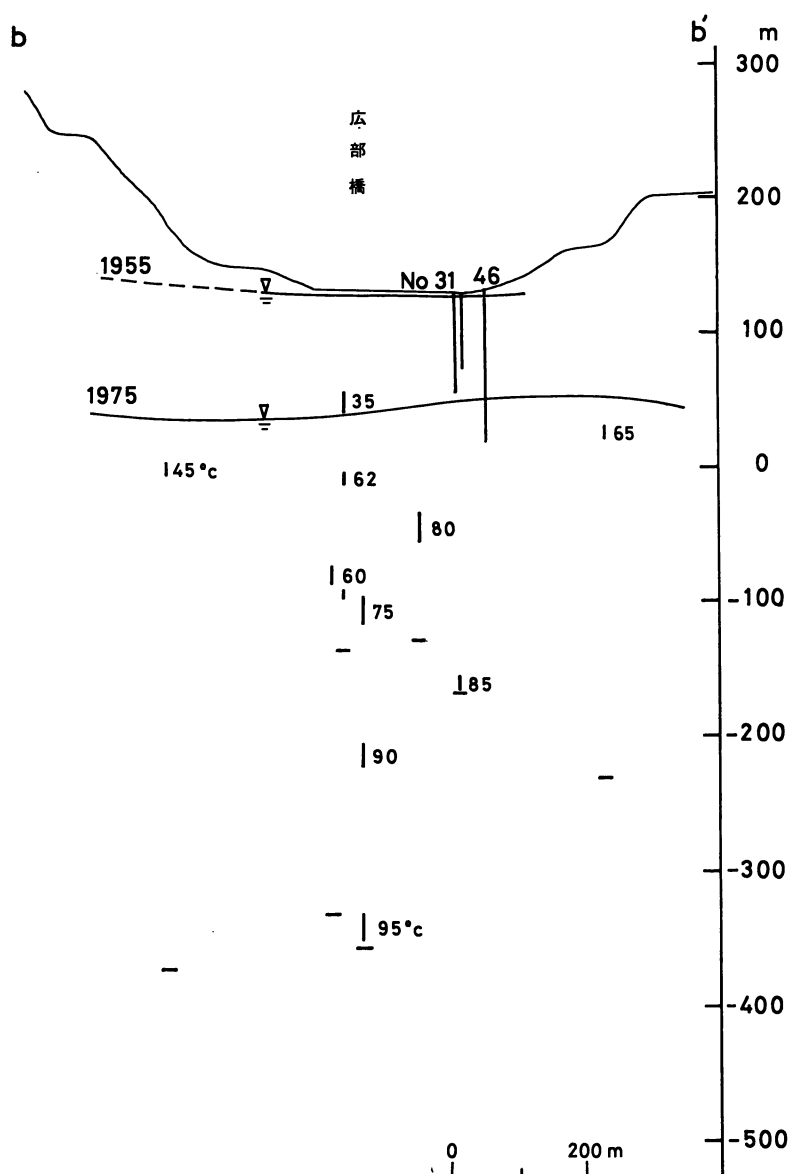


図7のb 静水頭と亀裂の分布

- 1) 湯河原温泉の水位は不動滝周辺と藤木川沿いを中心に、年1mの割合でなお低下している。
- 2) 全揚湯量の約20%は水位低下によって賄われている。従って、湯河原温泉の揚湯量は4,000～5,000 ℓ/min くらいが適当である。この量は著しい水位低下が起きる前の1955年（昭和30年）頃の量に相当する。
- 3) 揚水試験の結果、不動滝から藤木橋にかけての藤木川沿いの透水量係数は $10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$ の程度である。川から離れるに従い、係数値は小さくなっている。

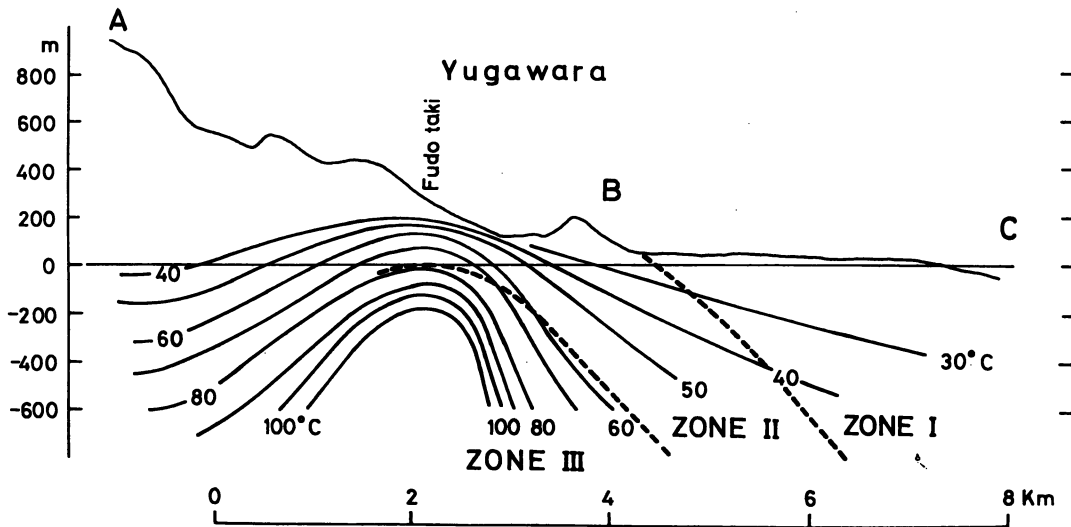


図 8 地 温 分 布 (ŌKI, et al. (in press) による)

- 4) 温泉を貯溜した大きな亀裂帯は藤木川に沿って存在している。水頭分布から、温泉はこの亀裂帯を通して地形に沿って流下している。
- 5) 湯河原温泉は地下深所から湯河原火山の火道に発達した亀裂に沿って上昇し、末広橋を中心とした地域で湧き出ている。
- 6) 透水量係数 (T) と比湧出量 (Sc) との間には良い相関がある。その関係は

$$\log T = 1.18 \log Sc + 0.83$$

で示される。

謝 辞

この報告をまとめるにあたる次の方々のお世話になり、調査資料を参照した。

杉山管工、渡辺配管所、柳沢さくせん工業、井戸倉建設、渡辺秀雄氏、渡辺守氏、杉の屋管工、中山ボーリングには調査の便宜をはかっていただいた。湯河原町温泉課の職員の方々、温泉研究所の小鷹滋郎主任研究員、栗屋徹氏、広田茂氏、伊東博氏には調査に協力していただいた。大木靖衛所長、平野富雄主任研究員には有益な助言および討論をしていただいた。平賀士郎温泉地質科長にはこの調査が円滑にすすむように御配慮していただいた。

上記の方々に厚く御礼申し上げます。なお、本調査は神奈川県衛生部温泉等研究調査費によった。

参考文献

- 平野富雄, 小鷹滋郎, 栗屋徹, 大山正雄, 広田茂, 大木靖衛 (1976), 松田町寄 (やどろぎ) の塩化カルシウム型温泉 (冷鉱泉), 神奈川温研報告, Vol. 7, No. 2, 93—104.
- 久野久著箱根火山地質図再版委員会 (1972), 箱根火山地質図説明書.
- 小林儀一郎 (1914), 神奈川県湯河原温泉調査報文, 地調報, No. 48, 69—84.
- Logan, J. (1964), Estimating transmissibility from routine production tests of water wells, Ground water, Vol. 2, No. 2.
- 水収支研究グループ編 (1973), 地下水資源学, 共立出版.
- 水収支研究グループ編 (1976), 地下水盆の管理, 東海大学出版会.
- 森谷虎彦 (1972), 渥美半島の地下水, 地理学評論, Vol. 45, No. 2, 120—134.
- 落合敏郎, 武藤正 (1952), 火山域における地下水の利用に関する研究, 農業技術研究所報告, F, No. 3, 1—38.
- 大木靖衛, 荻野喜作, 長塚綾子, 広田茂, 小梶藤幸, 高橋惣一, 杉本光夫 (1963), 湯河原温泉調査報告, 神奈川温研報告, Vol. 1, No. 1, 1—40.
- ŌKI, Y., T. HIRANO and T. SUZUKI (in press), Hydrothermal Metamorphism and vein Minerals of the Yugawara Geothermal Area, Japan.
- 大山正雄, 大木靖衛 (1974), 湯河原温泉の水位の変遷, 神奈川温研報告, Vol. 6, No. 1, 31—46.
- 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.
- 小鷹滋郎, 大木靖衛, 広田茂 (1972), 箱根外輪山温泉調査報告, 神奈川温研報告, Vol. 3, No. 3, 131—142.
- 小鷹滋郎, 平野富雄 (1976), 真鶴町における地下水調査孔の掘さく, 神奈川温研報告, Vol. 7, No. 3,
- 酒井軍治郎 (1967), 地下水学, 朝倉書店.
- タロブル・J (1967), 岩盤力学 (進藤一夫訳), 森北出版.
- 山本荘毅 (1966), 地下水探査法, 地球出版.



写真 1 末広橋，地下深所から上昇してきた温泉はこの附近で湧出している。

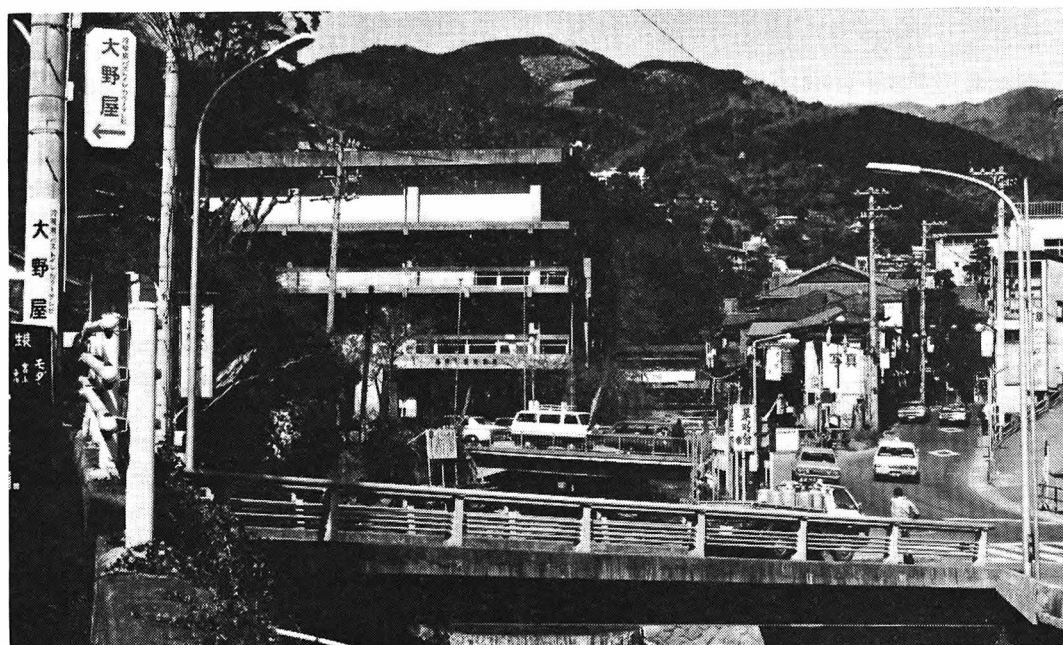


写真 2 落合橋，藤木川と千歳川の合流地点