

箱根強羅温泉の水理的・熱的構造と 大涌谷地熱地帯との関連性

湯原 浩三

国立防災科学技術センター流動研究官

小 鯛 桂 一

地質調査所応用地質部応用地質課

阿 部 喜 久 男

地質調査所技術部化学課

古 藤 田 一 男

東京教育大学理学部地理学教室

細 野 義 純

消防研究所第二研究部

Hydrothermal System of Owakudani-Gora Zone, Hakone Volcano

By Kozo Yuhara

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Keiichi Kodai and Kikuo Abe

Geological Survey of Japan, Tokyo

Kazuo Kotoda

Tokyo University of Education

and

Yoshizumi Hosono

Fire Research Institute, Tokyo

Abstract

Owakudani Geothermal Area and Gora Hot Springs, which are both on the northeast slope of the Mt. Kamiyama, central cone of the Hakone Volcano, are considered to be thermally connected with each other. But, we cannot find any information about their hydrological relations. It appears that, in Gora, the thermal water gushing out from deeper ground to the Yugashima Strata, which have been presumed from boring data to lie at depths of 200—400m under this area, runs nearly parallel with the surface slope to the Hayakawa valley. In this way, the thermal water mixes with cold ground water, making various kinds of the hot spring water.

1. 緒 言

箱根大涌谷の火山性地すべりの発生要因の一つとして、大涌谷にみられる噴気、地熱、温泉等のいわゆる後火山作用が大きな役割を果していることは容易に想像される。このような観点のもとで、当初から多くの人々によって、地温調査、噴気ガス分析、湧水の水質調査等が行われ、すでにいくつかの興味ある報告が行われている。

一方、大涌谷の東方に位置する強羅地区には以前は一

般に温泉の湧出はなく、僅かに早川溪谷に沿って若干のぬるい温泉が湧出していたにすぎない。しかし1949年以来掘さくによる温泉開発が進み、現在では約40の温泉井があつて、大部分はエアリフトポンプによって揚水されているが、全揚水量は3,000~3,500トン/日に達し、泉温も90°C以上のものが二三ある。また、大涌谷と強羅温泉の間、通称下湯の南に接した地点でも1959年、1960年にボーリングが行われ、60~70°Cの温泉の開発に成功している（図-1）。

表-1 強 羅 温 泉 の 湧 出 状 況

番 号	使用者または所有者	標 高 (海面上m)	掘さく深度 (m)	静 水 位 (海面上m)	泉 温 (°C)	揚水量又は 湧出量 (l/min)	放 熱 量*** Kcal/min
2	三井鉱山箱根寮	440	自然湧出	> 440	31.0	4	124
3	古河 虎ノ助	427	同 上	> 427	44.0	31	1,364
4	同 上	425	同 上	> 425	38.0	不 明	—
6	桑 の 湯	430	同 上	> 430	45.5	27	1,228.5
7	川 敷 湯	435	同 上	> 435	38.5	31	1,193.5
8	井 上 次 郎	425	同 上	> 425	39.5	36	1,422
10	深 沢 富 太 郎	431	同 上	> 431	40.5	約 100	4,050
12	初 音 旅 館	426	212	—	47.0	54	2,538
13	公立学校あさぎり荘	457	355	416	58.5	34	1,989
14	国家公務員宮下保養所	542	175	537	69.4	68	4,719.2
24	森 翠 楼	525	500	463	51.0	150	7,650
26	強 羅 花 壇	532	288	* 444	51.6	117	6,037.2
30	同 上	512	339	* 464	53.2	不 明	—
33	森 翠 楼	527	312	—	* 39.0	休 止	—
35	吾 妻 旅 館	569	321	472	53.5	80	4,280
37	勝 勘 太 郎	490	691	* 459	* 47.0	28	1,316
38	東 芝 保 養 所	466	64	453	* 35.0	57	1,995
40	箱 根 温 泉 興 業	425	240	364	54.1	160	8,656
41	小 野 沢 浦 吉	533	440	381	38.5	54	2,079
43	オリンピック観光	544	490	* 372	67.3	24	1,615.2
46	同 上	543	363	* 404	63.0	54	3,402
47	日 本 観 光	560	462	—	* 35.5	休 止	—
48	山 水 寮	460	500	434	27.2	不 明	—
49	勝 保 組	652	450	495	95.0	111	10,545
50	翠 光 館	595	409	463	65.0	80	5,200
51	雲 外 荘	565	418	475	34.0	89	3,026
52	中 央 観 光	634	219	—	* 51.5	24	1,236
53	石 業 学 校	565	350	473	48.7	71	3,457.7
56	早 雲 閣	770	296	656	41.5	140	5,810.0
58	箱 根 温 泉 興 業	444	337	* 441	31.5	95	2,992.5
63	中 央 観 光	621	336	* 497	76.0	59	4,484
64	早 雲 閣	741	462	* 621	* 79.5	休 止	—
67	吉 田 仁	682	400	565	* 93.5	** (227)	(21,224.5)
68	富 士 土 建	391	164	* 353	65.0	85	5,525
69	強 羅 公 園	600	403	* 480	68.8	99	6,811.2
70	小 林 静 江	670	422	476	* 67.5	** (57)	(3,847.5)
71	み が り 旅 館	660	401	* 533	* 83.0	66	5,478
72	加 藤 一 郎	696	433	* 569	86.0	不 明	—
新	勝 保 組	690	500	* 575	90.0	85	7,650
宮のト56	函 根 荘	370	自然湧出	> 370	37.5	27	1,012.5
〃 95	山 崎 貞 七	512	182	422	64.3	** (92)	(5,915.6)
〃 106	つ た や 旅 館	490	193	469	69.5	132	9,174

* 小田原保健所の資料による
** ポンプ運転時間が備かなもの
*** 0°C 基準

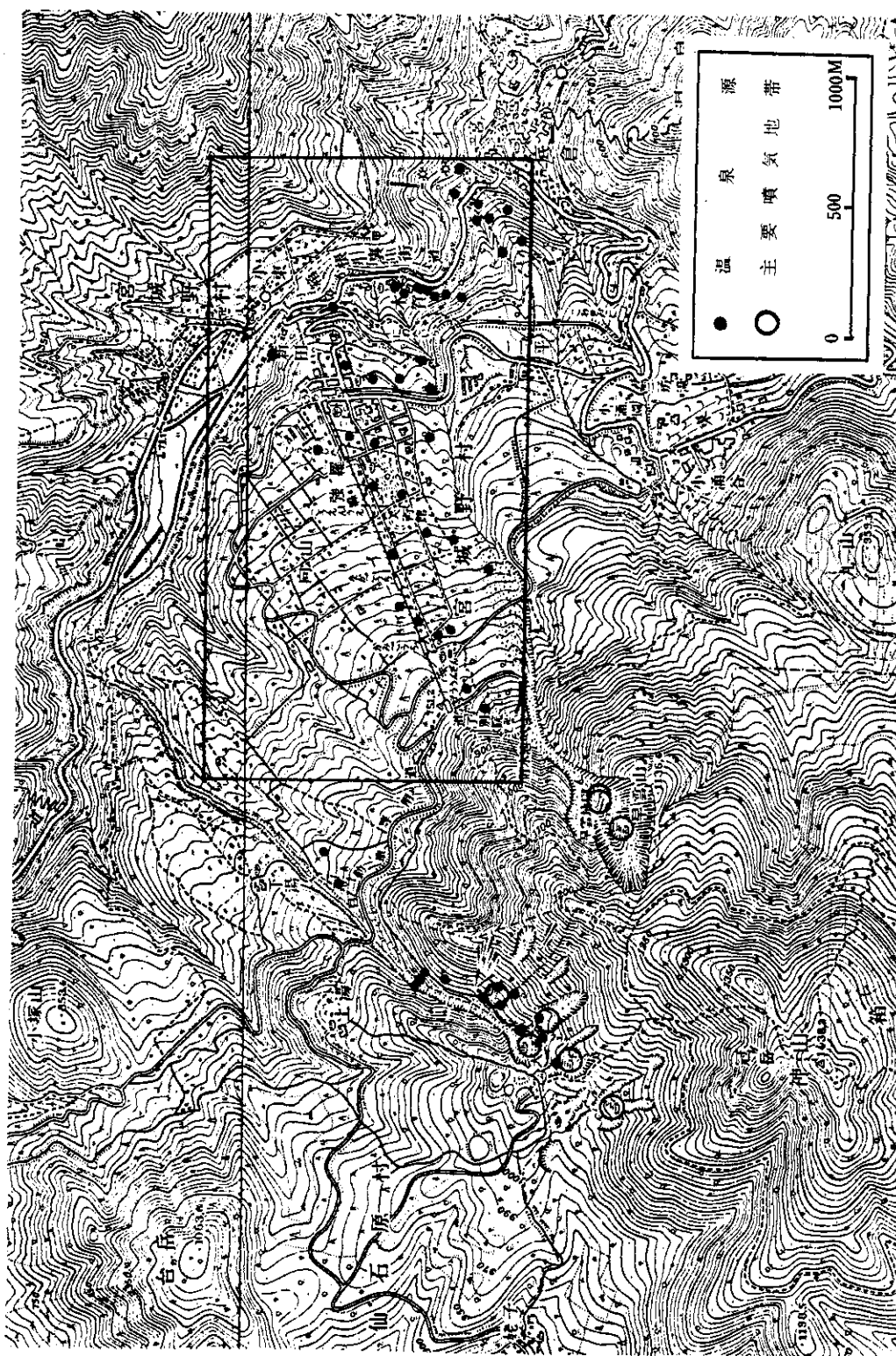


図-1 大涌谷, 早雲山と強羅温泉

以上のような状況のもとで、大涌谷の火山性地すべりの調査研究を行うに際し、その一環として、強羅温泉の水理的・熱的構造を明らかにし、ひいてはそれと大涌谷の地熱現象との関係にまで歩を進める目的をもって、一連の調査研究が行われている。本報告は現在迄に得られた資料による中間報告であって、完結したものではない。特に大涌谷および早雲山の地熱地帯からの放熱量、噴気の熱力学的性質等に関しては現在測定実施中であって、それらの結果も含めて、あらためて後の機会に報告したい。

この調査研究を行うにあたって、種々の便宜と貴重な資料を快く提供下さった神奈川県小田原保健所内田正男温泉課長、神奈川県温泉研究所大木靖衛博士、箱根町役場岡部勉氏、箱根温泉供給株式会社鈴木正夫氏、および観測調査に御協力下さった箱根町消防職員斉藤豊氏、東京教育大学々生種市瑞穂氏に心から感謝する。

2. 強羅地区の地質と温泉

普通に強羅といわれる地域は箱根登山鉄道強羅駅附近からケーブルに沿って早雲山駅に至る東北東に面した約10°の傾斜地であって、この地域には表層に富士火山の火山灰層が数mの厚さになっており、その下には神山熔岩がある。傾斜地の東端は早川によって浸食されて急崖となっており、ここには木質温泉といわれている数箇の40°C前後の自然湧出の温泉がある。1949年以来ケーブル沿いの傾斜地でボーリングが行われ、主に200~500mの深さで温泉の開発に成功した。これらの温泉について

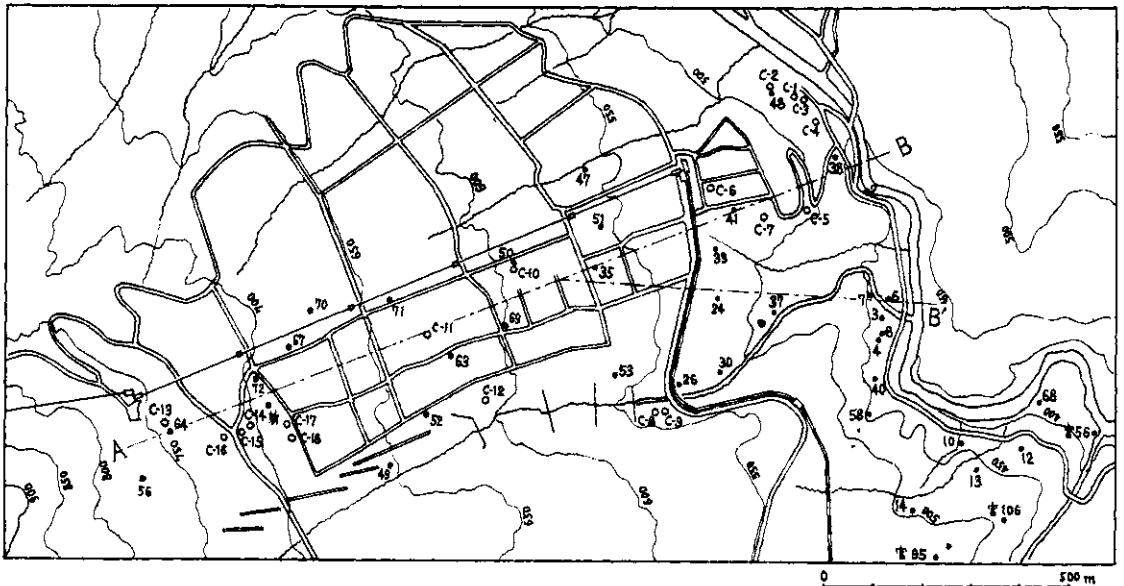
1965年7月から8月にかけて測定した泉温等を表一に示す。また、図一は温泉分布である。

ボーリングの際に得られた地質柱状図は専門家の手になったものではないので、記載があいまいな点もあるが、総合的に眺めると、神山溶岩流の下部の地層を推定し、かつまた、温泉の存在する地層を推定するのに役立つ。図一は最大傾斜の方向、すなわち図一2のNo. 64, No. 72, No. 50, No. 51, No. 48を結ぶ線と、東西にNo. 72, No. 63, No. 53, No. 58を結ぶ線に沿った断面図である。これよりみれば、強羅地域では神山熔岩の下に早川凝灰岩層があり、その下に湯ヶ島層群に属する凝灰岩層があって、温泉はこの湯ヶ島層内に存在しているものと思われる。

箱根地方の温泉は、ごく概略的には、姥子、大涌谷、芦の湯、湯の花沢等の硫酸塩泉と湯本、塔の沢、宮の下、木賀等の塩化物泉とに大別されるが²⁾、強羅地域の温泉は地質的にも化学的にも一応は後者に属するとみられる。ただし、その根本的な熱源や温泉水の起源を考えると、近くにある大涌谷や早雲山の地熱地帯と当然何らかの関連があるものと思われる。

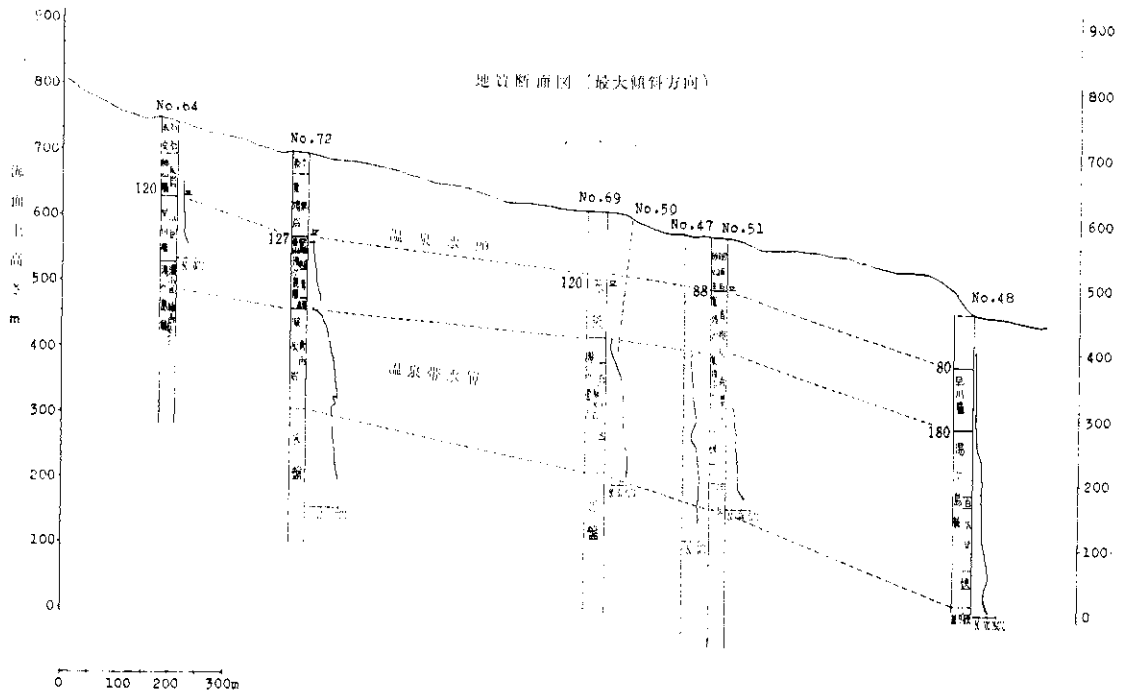
3. 水頭分布と泉源分布からみた強羅温泉の流動状況

前にのべたごとく、強羅温泉の大部分は静止水頭がかなり低くエアリフトポンプで揚水している。したがって直接水位を測定することはできないが、便宜的方法として、コンプレッサーの背圧から水位を計算することができる。常時揚水しているものは、充分長い時間ポン

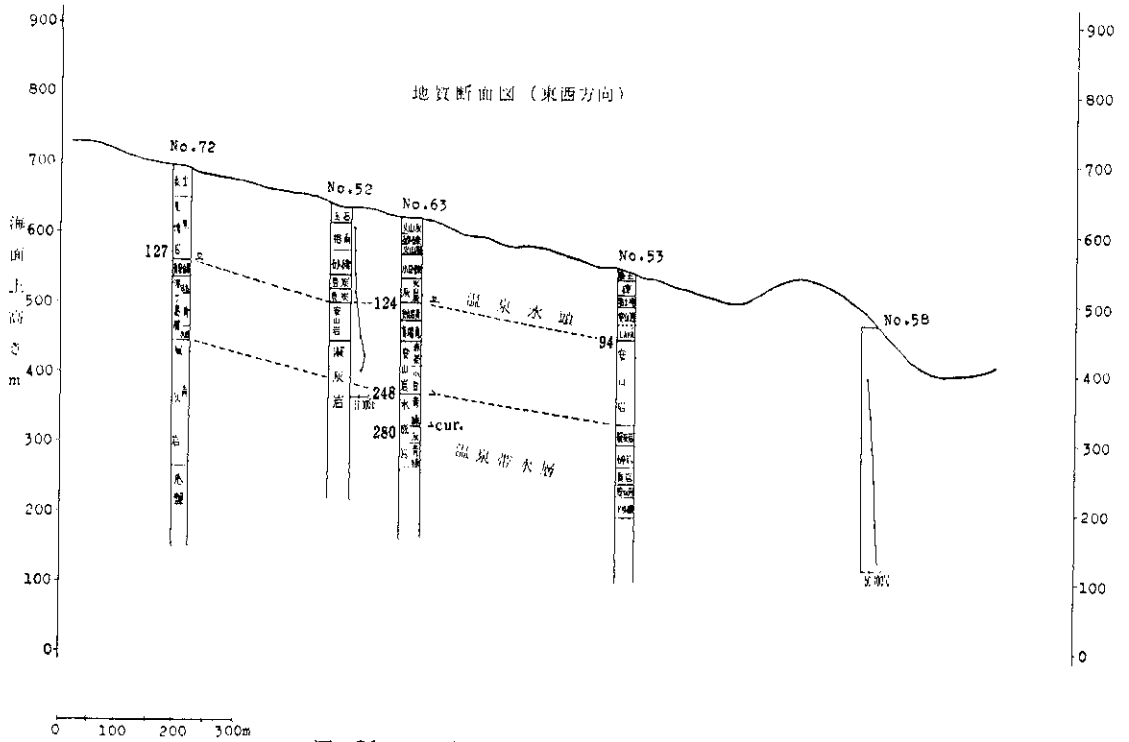


図一2 強羅地区の温泉と地下水 (●温泉, ○地下水)

箱根強羅温泉の水利的・熱的構造と大涌谷地熱地帯との関連性——湯原・小鯛・阿部・古藤田・細野



図—3a 地 質 断 面 図



図—3b 地 質 断 面 図

ブを止めて水位が回復した後再びポンプの運転を始めると、コンプレッサーの圧力は急に上昇し、数分で最高値に達し、温泉水は揚水管から噴出しはじめ、後、背圧値は漸次低下し、時間とともに一定値に落ち着く。この際の背圧の最高値が温泉水の静止水頭に相当するものであ

り、最終的に落ち着く値が揚水時の定常的な水頭に相当する。もっとも、空気管や揚水管内での種々の水頭損失のために、背圧値を単純に水頭になおしたものと直接測定した水位とは若干の相違がある。したがってここでは、筆者の一人が熱海温泉で得た背圧値と実測水位との関

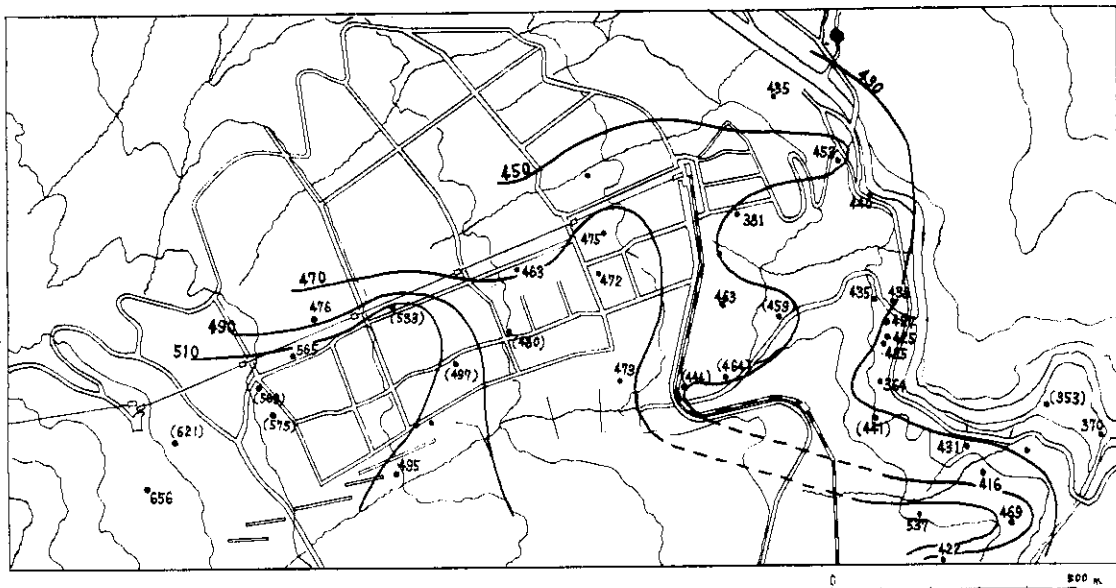


図-4 温泉水頭分布（海面上m、括弧内は保健所の資料による）

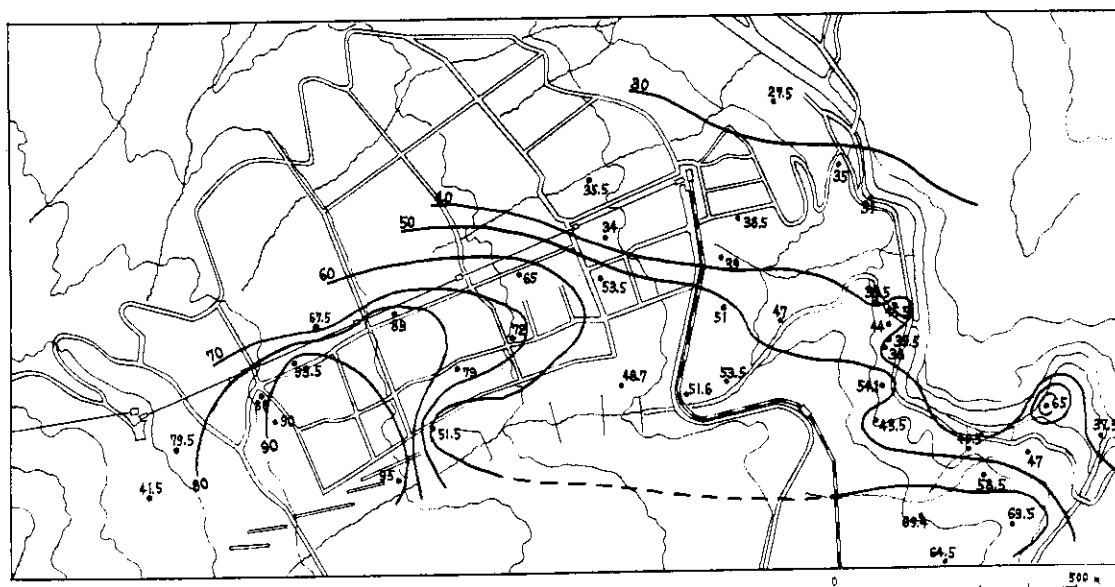


図-5 泉温分布図（°C）

係 μ を用いて静止水頭を求めた。この結果も表-1に示してある。自然湧出のものは静止水頭が地表以上であることが確かであるから、これらの値も参考にして水頭分布を描いたのが図-4である。図-5は泉温の分布であって、両図と前節でのべた地下の地質構造より、強羅地区の温泉水の流動状況を推定すれば次のごとくである。

ケーブル上強羅駅南方には、地表から200~400mの深さに湯ヶ島層群と思われる暗緑または青色の凝灰岩層があって、この層内に約90°Cの温泉水があり、ほぼ地表に平行に東北東方向に流れ、強羅駅附近で先が二つに分れ、一つは新田方面へ向い、他は木賀温泉の方へ流れている。流下するにつれて温度は漸次低下し、溶解化学成分も稀薄となるが、これは後にのべる地下水との関係によって説明される。二の平の東方、蛇骨川左岸の尾根には最高70°Cに近い泉源があって、やはり上のものと同程度の深さで早川の方へ流れている。これらの温泉も少し距離がはなれているけれども、やはり前記上強羅駅附近の温泉の支脈と考えられないこともない。

湯ヶ島層は一般には緻密で割れ目が少ないといわれているが、筆者等がかって熱海温泉で行った研究^{2),4)}から、少くとも温泉の存在するところでは、割れ目は程度の差こそあれかなり発達している、巨視的には一つの帯水層とみなせることがわかっていて、強羅地区においても前述の流動状況から一つの帯水層と考えたと説明がしやすい。しかも温泉の静止水頭は地表下約100mにあって、被圧帯水層とみなされる。したがって帯水層の上面から静止水頭迄の間には当然若干の温泉水の浸出があるものと思われる。古来より早川にのぞむ急崖から自然に湧出している木賀温泉(No. 2~No. 10)はこのしみ出した温泉水と後述する浅い地下水の混合したものである。

4. 湯ヶ島層の透水量係数と透水係数

エアリフトポンプのコンプレッサーの背圧値が最高値からある一定値迄降下する状態より、帯水層の透水量係数を求めることができる。ただし中には背圧値が振動しながら降下するものがあるが、これはコンプレッサー

表-2 強羅温泉の透水量係数と透水係数

番号	T cm ² /min	K 10 ⁻⁴ cm/min
温泉 13	2.08	1.0
35	15.06	7.5
40	12.66	6.3
41	3.60	1.8
70	4.03	2.0
地下水 C-6	28.2	28.2

のレシーバータンクの容積不足によるものであって、この場合は滑らかな曲線におきなおして計算した。結果は表-2に示したごとく 2.08~15.06 cm²/min または 0.035~0.251cm²/sec の範囲にあって、これを他の温泉地のものに比較すると表-3のごとくである。道後温泉

表-3 温泉地の透水量係数と透水係数と透水係数

温泉名	T cm ² /min	k cm/min	$S \times 10^{-5}$	文献
熱海中心部	1,200~4,100	0.1~10	1.1~2.9	(4)
熱海周辺部	1~88	—	—	(3)
道後	2,400~21,600	—	3.5~310.9	(5)
浜村	50~360	—	0.21~1,300,000	(6)
強羅温泉	2~15	1.0~7.5 $\times 10^{-4}$	—	—
強羅地下水	28	28 $\times 10^{-4}$	—	—

や、同じ湯ヶ島層の温泉でも割れ目の非常に発達している熱海温泉の中心部と比較するとはるかに小さいが、伊豆山温泉を含めた熱海の周辺部とほぼ同程度であって、この程度の値が湯ヶ島層の一般的な値のように思われる。次に、前節でのべた推定にしたがって帯水層の厚さを200mとすると、透水係数は1.02~7.53 $\times 10^{-4}$ cm/min. または 0.017~0.125 $\times 10^{-4}$ cm/sec となる。この値は普通の地下水よりはもちろん、熱海温泉の中心部について推算された値 10⁻¹~10¹cm/min よりもはるかに小さい。これは強羅地区の温泉を含む湯ヶ島層が、極めて巨視的には一つの帯水層とみなせるといっても、凝灰岩層中にある小さな割れ目の集りにすぎないから、一般の地下水層や熱海の中心部等とちがって、層全体としてみた透水係数が非常に小さいのは当然である。

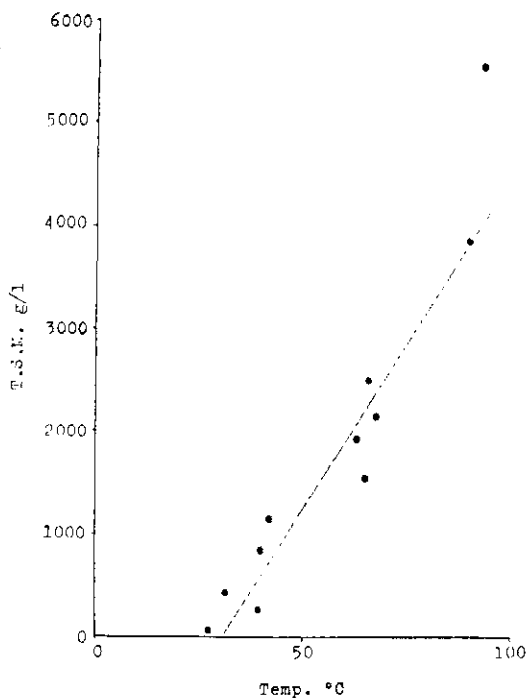
5. 強羅温泉の化学組成

強羅温泉の化学成分は1955年以降小田原保健所において分析が行われているが、われわれも1965年8月に一斉採水分析を行った。表-4はその結果である。泉質は大部分弱食塩泉または単純泉である。溶存物質総量は図-6にみるごとく温度と明らかな一次関係にあって、食塩を主溶解成分とする沸とう点に近い温泉水が、冷地下水によって薄められて、より温度の低い、より溶解成分の少ない温泉水ができていくことは明らかである。また、このことはたとえば図-7に示したClの地理的分布が図-4、図-5から推論した温泉の流れの状況とよく一致していることからほぼ疑う余地がない。

いま、低温稀薄で、明らかに地下水が多く混っていると思われる二三の温泉を除外して、その他の大多数の温泉について主要イオンであるCl, Na, SO₄, Mg, Ca, K,

表4 強 羅 温 泉 分 析 表

No.	所 有 者	Temp. °C	pH	Free CO ₂ mg/l	CO ₃ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	Fe ²⁺ mg/l	Al ³⁺ mg/l	Mn ²⁺ mg/l	HBO ₂ mg/l	H ₂ SiO ₃ mg/l	T.S.M. mg/l	種	
3	古河	45.6	6.9	21.4		287.2	397.1	154.1	93.2	23.9	24.0	225.5	< 0.1	0.1	0.0	18.5			B	
4	古河	38.8	7.0	10.5		176.0	132.1	140.7	56.1	17.1	12.3	84.0	< 0.1	0.2	0.0				B	
6	服部	45.0	7.2	15.1		243.2	359.9	149.6	64.2	19.3	21.3	235.5	< 0.1	0.2	tr	19.2			B	
7	服部	42.0	7.1	18.6		265.4	356.3	131.7	77.0	28.2	21.5	207.0	< 0.1	0.3	0.0	20.8	148.2	1,166.0	B	
8	吉川	40.0	7.0	15.1		196.8	197.7	140.9	64.9	17.8	17.6	122.0	< 0.1	0.5	0.0	9.2	139.8	855.0	B	
10	大川	44.0	7.0	16.3		154.1	276.6	104.5	53.9	13.4	12.2	156.5	< 0.1	0.0	0.0	30.7			B	
12	出田	48.0	8.3		11.1	123.6	633.3	47.7	66.8	6.8	25.5	351.0	< 0.1	0.1	0.0	50.8			A	
13	日立	59.0	8.3		12.0	115.9	953.8	41.2	72.3	8.2	43.0	515.0	< 0.1	0.2	0.0	49.7			A	
14	今井	69.5	8.2		5.4	138.5	822.6	57.6	72.3	9.4	42.1	479.0	< 0.1	0.3	0.0	20.8			A	
24	鈴木	51.5	8.2		3.0	180.0	258.8	128.4	45.9	10.7	17.0	185.0	< 0.1	0.2	0.0				B	
26	佐藤	52.9	8.2		12.0	194.7	262.4	204.9	86.6	20.9	19.1	156.5	< 0.1	0.2	0.0				B	
30	佐藤	52.5	8.3		9.0	190.7	152.5	148.8	53.6	13.9	14.4	117.5	< 0.1	0.3	0.0	8.1			B	
35	相模	59.2	8.3		23.4	216.3	808.4	215.0	124.0	19.7	45.5	471.0	< 0.1	0.1	0.0	38.1			A	
38	高山	35.0	7.9	2.8		175.4	84.2	117.5	38.5	9.6	12.7	100.0	< 0.1	tr	0.0	5.9			B	
40	山田	56.5	8.4		13.5	132.7	645.3	66.5	59.4	8.0	30.5	396.0	< 0.1	0.3	0.0	34.2			A	
41	小野	46.2	8.4		27.0	263.4	86.9	50.2	10.8	3.8	58.5	141.0	< 0.1	0.0	0.0				A	
43	岩崎	63.0	8.2		13.5	340.2	617.0	433.9	136.5	47.4	44.5	406.0	< 0.1	0.1	0.0	31.2	152.1	2,142.0	B	
46	岩崎	63.0	7.8	5.1		315.8	517.7	430.2	103.8	49.1	33.0	396.0	< 0.1	0.0	0.0	27.7	187.2	1,923.0	B	
47	伊藤	40.0	8.2		1.5	76.9	31.9	42.0	19.4	2.8	5.1	32.9	< 0.1	0.2	0.0				B	
48	内山	27.0	7.7	1.2		45.8	2.7	3.1	6.6	2.5	1.3	5.0	< 0.1	0.7	0.0	2.8	29.5	94.0	A	
49	勝倉	93.0	8.2		12.0	30.5	2,863.2	72.6	112.3	9.2	166.0	1,584.0	< 0.1	tr	0.0	158.3	347.1	5,531.0	A	
50	戸倉	65.5	8.2		15.0	285.3	979.3	218.5	135.0	20.4	48.0	570.0	< 0.1	0.1	0.0	48.5	198.9	2,451.5	A	
51	亀田	39.8	8.2		2.4	77.5	45.2	35.6	20.6	5.1	4.8	33.5	< 0.1	0.2	0.0	2.3	52.0	278.0	B	
53	龜田	48.0	8.3		13.5	164.8	100.2	212.8	57.6	16.2	13.9	105.0	< 0.1	0.1	0.0	10.4			C	
58	山田	31.0	7.7	3.5		117.5	117.5	9.8	144.9	50.5	16.8	4.7	18.9	< 0.1	0.1	0.0	4.6	101.4	433.0	C
63	吉川	71.0	8.2		18.0	184.6	27.5	314.2	49.5	24.2	20.0	93.5	< 0.1	tr	tr	4.6			C	
67	吉川	90.0	8.3		13.5	54.9	1,831.5	278.0	131.7	3.1	49.0	1,022.0	< 0.1	0.2	0.0	94.8	169.0	3,849.0	A	
68	原出	65.0	8.5		13.5	125.1	712.7	43.6	52.8	4.7	28.1	434.5	< 0.1	0.1	0.0	0.0	39.3	111.8	1,536.0	A
69	柴田	65.6	8.2		7.5	132.7	498.2	221.2	68.6	11.3	43.7	337.5	< 0.1	0.0	tr	24.5			A	
70	林島	57.2	8.2		12.6	184.0	356.3	283.9	24.1	13.9	41.5	312.5	< 0.1	0.0	0.0	0.0	23.1		A	
56	宮崎	39.0	7.4	6.3		137.3	666.6	44.9	59.3	11.3	29.9	386.5	< 0.1	0.3	0.0	37.0			A	
95	宮崎	63.0	8.2		4.5	103.7	1,043.6	46.5	77.0	9.2	53.0	555.0	< 0.1	0.3	0.0	61.2			A	
106	宮崎	72.0	8.2		1.5	132.1	1,124.0	47.9	87.0	11.7	56.0	617.0	< 0.1	0.1	tr	65.4			A	

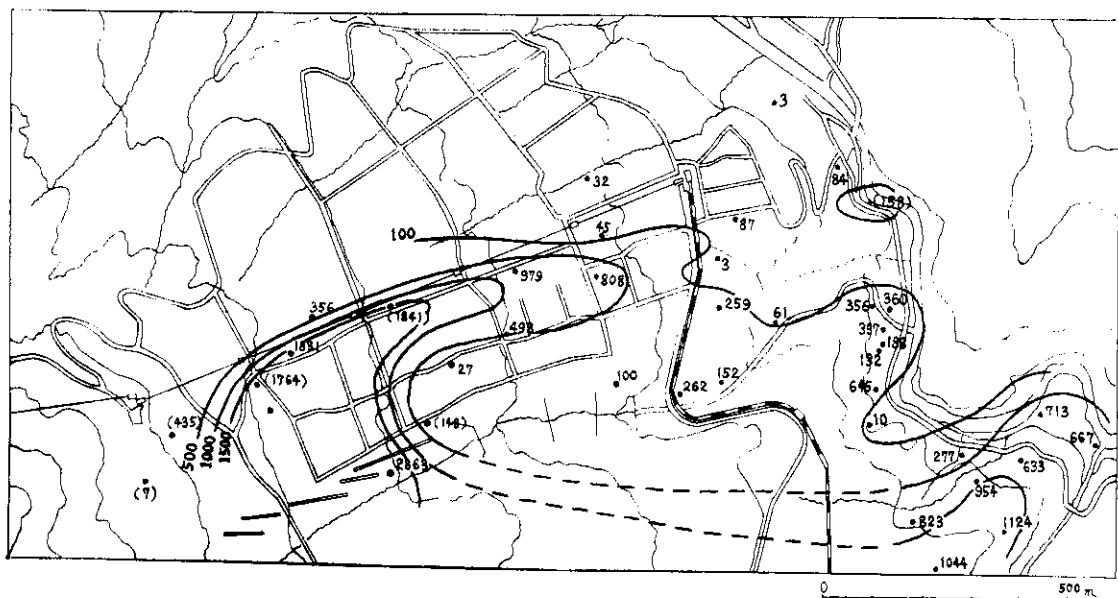


図—6 強羅温泉の溶存物質総量と泉温

HCO₃ の重量%を折線グラフにして泉質を大まかに分類すれば、図—8 にみるごとく大体三つの型に分れる。A型は NaCl を主溶解成分とするもので、B型は Cl、

SO₄、HCO₃ がほぼ同量あって、陽イオンとしては Na、Ca が多い。勿論 A、B 両型の間のもも二三あって、No. 69、No. 70 の温泉がそれである。A型は強羅の斜面の上の方や、蛇骨川左岸に多く、強羅の斜面の下の方や木質の自然湧出温泉はB型に属する。このような両型の地理的分布と次節にのべる地下水との関係からみると、A型に地下水が混ってB型に変わっていったものと思われる。次にC型としたのは No. 53、No. 58、No. 63 の温泉でこれは Cl 少く SO₄ が多い。大涌谷や早雲山の温泉（表—7 参照）もこれと似た型を持っている。

下湯附近の温泉 No. 43、No. 46 はB型に属し、図—8 にみる限りでは強羅地区の温泉と特に異った点はない。しかしもう少し詳しく見るために、Cl と他の主要陰イオンである HCO₃ と SO₄ の関係を示す図を描いたのが図—9、図—10 である。図—9 において興味あることは、大多数の温泉が Cl 対 HCO₃ の負の相関を示す系列の中にある点である。Cl の多いものは一般に高温であるから、炭酸ガスが追出されて HCO₃ が少いことはわかるが、それが流下してゆくにつれて HCO₃ が増加する点は、この地域にある地下水の混入だけでは説明できなくて、いまのところはっきりした理由はわからない。次に前記系列外のものとしては先ず No. 48、No. 47、No. 51 等の原点に近いものがあるが、これらは泉温も低く地下水が多く混っていて、図—8 では一応除外されたものである。次に下湯附近にある No. 43、No. 46 の二つ



図—7 Cl 量分布 (mg/l, 括弧内は保健所の資料による)

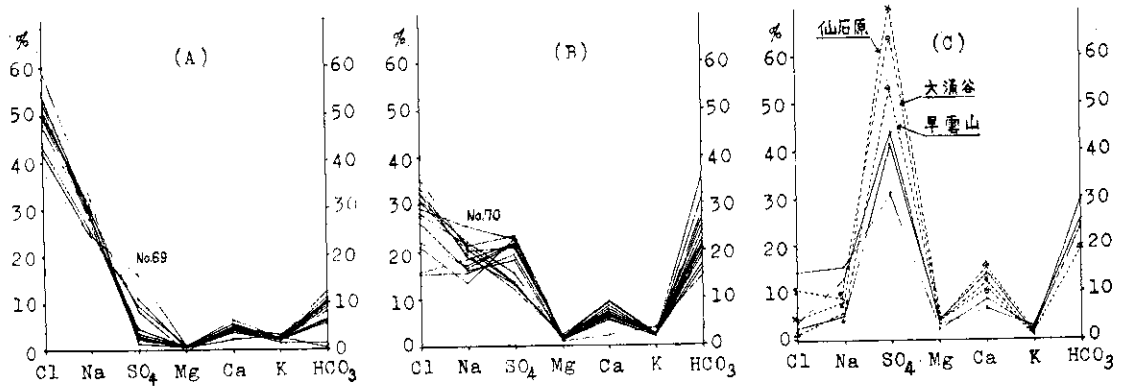


図-8 主要イオンの重量比

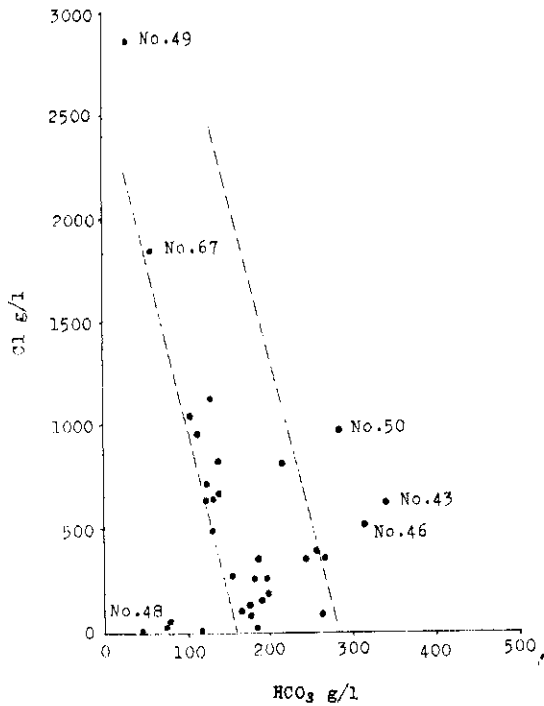


図-9 強羅温泉の Cl と HCO₃

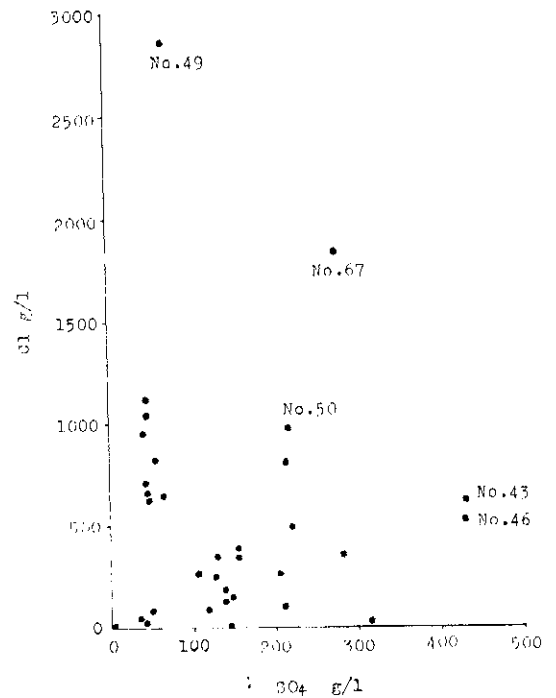


図-10 強羅温泉の Cl と SO₄

は、図-8では特異性はみとめられなかったが、図-9では前記系列外にあり、図-10でも他のものより離れたところにあるので、やはり強羅地区の温泉とは多少性質を異にするものと思われる。また、No. 50も図-9ではやはり系列外にあるが、その理由はいまのところわからない。

6. 強羅地区の地下水と温泉との関係

強羅地区はそれ程地下水の豊富なところではない。むしろ以前は、早川近くの急崖から湧出する若干の泉以外は地下水はないとされていた。それが温泉掘さくの際に温泉層の上に地下水層があることがわかり、最近になって漸く利用し始められたような状況である。表-5はこの地区の地下水のほぼ総てについて、水温等を示したものであって、位置は図-2に併記してある。

表-5 強 羅 地 区 の 地 下 水

	所 有 者	状 況	標 高 海面以上m	井戸深さ m	水 面 高 海面以上m	水 温 °C	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l
C-1	若 草 寮	床下より湧出約300l/分	454	—	> 454	18.5	23.6	79.3
C-2	山 水 寮	温泉 No. 48 の側, 井戸	460	不明	不明	20.5	41.5	109.5
C-3	岡	路上より湧出, 少量	453	—	> 453	—	—	—
C-4	東 芝 寮	庭の地の上より湧出	458	—	> 458	—	—	—
C-5	箱 根 山 荘	壁の中段より湧出流下	506	—	> 506	16.6	18.4	39.1
C-6	伊 世 力 魚 店	エアリフト式井戸	538	58	516	16.8	38.0	35.4
C-7	大 文 字 別 館	エアリフト式井戸	523	57	505	18.0	16.4	46.4
C-8	水 源 組 合	壁の上段より湧出	547	—	> 547	19.8	3.9	79.4
C-9	岡	上	547	—	> 547	19.5	5.2	84.2
C-10	翠 光 館	温泉 No. 50 の側, エアリフト式井戸	595	185	516	24.2	7.9	87.8
C-11	メ シ ャ 教	庭園の最上部より湧出	627	—	> 627	17.5	20.3	61.0
C-12	専 売 公 社 寮	庭園内, エアリフト式井戸	611	不明	不明	14.4	21.3	15.9
C-13	早 雲 閣	温泉 No. 64 の側, 水中ポンプ式井戸	742	85	712	14.5	5.9	43.9
C-14	メ シ ャ 教	横穴より湧出	703	—	> 703	16.5	13.1	14.7
C-15	メ シ ャ 教	エアリフト式井戸	711	100	705	13.2	5.2	33.0
C-16	早 雲 館	道路わきより湧出	716	—	715	16.3	12.5	18.3
C-17	不 明	上賀集前の湧水, 湧水群, 集水樹あり	684	—	> 684	14.7	5.2	35.4
C-18	勝 俣 組	勝俣組温泉の側, エアリフト式井戸	687	93	657	19.1	4.6	85.4

図-11は図-2の AB, AB' 方向に断面をとって, 地下水頭, 温泉水頭およびボーリング資料から推定される地下水層, 温泉帯水層を描いたものである。これよりみれば, この地区の地下水は上下二層あって, 上層のものは, 上流では諸所で地表に顔を出しながら非常に浅いところを流れ, 下流で 20m 位の深さにもぐり, 早川の岸近くで再び泉となってあらわれる浅層地下水であり, 下層のものは上流の方からすでに数 10m の深さを流下しているやや深い地下水の流れであることがわかる。この二つは水温の上からも区別することができる。すなわち深い方の地下水は流下するにつれて温度がかなり高くなっており, これは当然その下にある温泉水の影響によるものと思われる。これに比べて浅層の地下水は, 流下による温度上昇はあってもごく僅かで, まず水温は変わらないといってもよいぐらいである。また, 水質的にも深い地下水は流下と共に Cl 量の増加が顕著で, 僅かながら温泉水が混入していると考えられる。

深い地下水層の厚さは掘きく時の資料より 60~100 m と考えられるから, 図-11にみられるごとく, 温泉 No. 50, 地下水 No. 10 附近で地下水層と温泉層は合流していると考えられる。しかも, 温泉水頭と深い地下水の水頭とを比較すると, 上流より No. 50 附近迄は地下水の水頭の方が大きいから, この附近で地下水が温泉水に急激に混じるとと思われる。このため, これより下流では泉温は急に低くなり溶解成分も急に薄くなる。この点は図-5, 図-7の分布図にもよく表われている。No. 50 附近より上流でも, 地下水層と温泉層の間には多少の通路

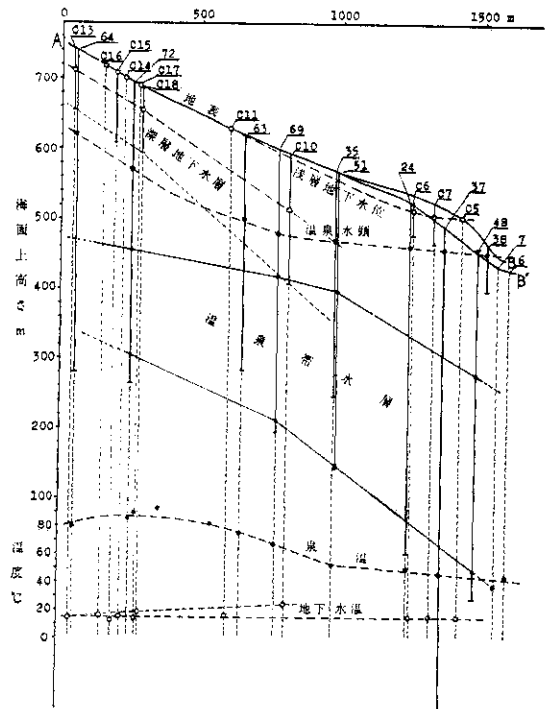


図-11 強羅斜面の温泉と地下水の関係

はあるであろうから, 地下水の温泉への混入は多少はあるであろう。No. 50 附近より下流では, 深い地下水によって薄められた温泉水は, その静止水頭によって示され

た高さまで被圧層の僅かな割れ目を通してその上の地層にしみ出していると考えられ、これが早川の岸近くで浅い地下水と混りながら地表にあらわれる。古来より早川の右岸に自然に湧出している木質温泉は、比較的低温で溶解成分も少く、湧出の機構や強羅温泉との関係は以上のごときものと推定される。

7. 大涌谷に湧出する温泉と強羅温泉との関係

大涌谷には噴気孔、噴気井の他にいくつかの温泉が湧出している。主なものの湧出位置は図-12に、泉温等は表-6に示す。これらの温泉は噴気と水道水を混合してつくったいわゆる人工造成温泉とともに、強羅、仙石原方面へ引湯されている。最近3年間の湧出温泉および造成温泉の季節的増減を雨量と比較したものが図-13である。これよりみれば湧出量は雨量と平行して増減し、たとえば1965年度年間総湧出量 927,498.8 m³ は集水域 415,800 m² に降った年間総降水量 1,319,666 m³ の約70% であって、雨水の地下浸透量とはほぼ等しいので*

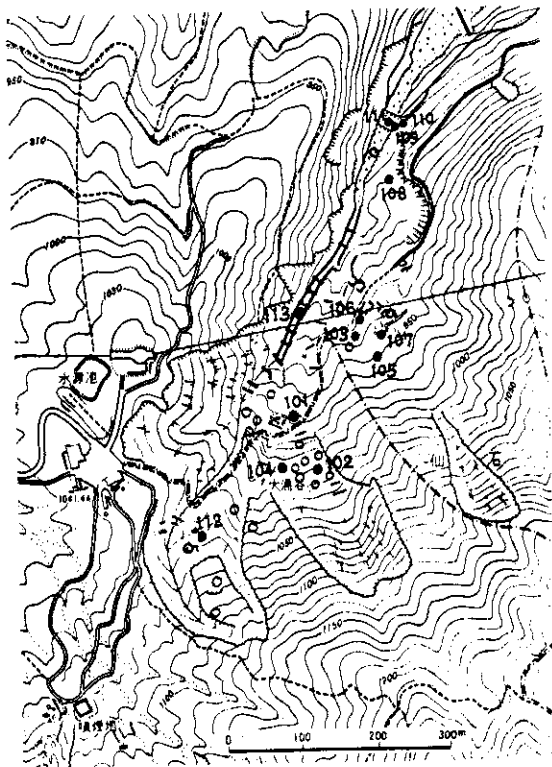


図-12 大涌谷に湧出する温泉
(● 温泉, ○ 主な噴気)

表-6 大涌谷に湧出する温泉

番号	泉温 °C	日割湧出量 l/min	備考
101	78.2	約 600	
102	84.9	〃 50	横穴 10cm, 硫黄沈殿
103	36.3	〃 100	
104	48.4	〃 300	横穴 15m
105	38.1	〃 30	横穴 25m
106	22.5	〃 10	
107	20.8	〃 5	
108	30.1	〃 20	横穴 30m
109	51.5	〃 10	横穴 46m
110	29.6	〃 10	
111	29.2	〃 5	横穴 46m
112	48	〃 10	茶色沈殿
113	81	〃 一	大涌谷河床より湧出

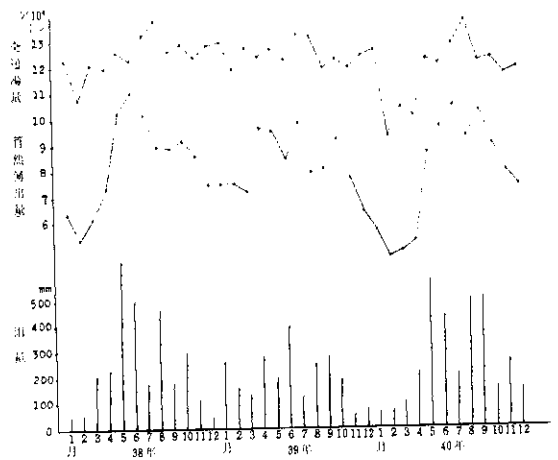


図-13 大涌谷の温泉の湧出量および造成温泉を含む全送湯量と雨量

自然湧出温泉は集水域内の雨水によってかん養されている浅い地下水が天然蒸気によって加熱されたものとみることができる。すなわち人工造成温泉とほぼ同様な機構が地下の浅い所で自然に行われているとみればよい。ただし天然に加熱が行われる場合、地中で沸とうがおこると蒸気はまた噴気として出てゆが、残りの液相は水の補給が十分でないで次第に濃縮されて、人工造成温泉に比してはるかに濃い温泉水ができることが多い。表-7は大涌谷、早雲山での自然湧出温泉、および人工造成温泉の化学成分を示す。これより第5節と同様主要イオンの比をとってみると、図-8にみるごとく強羅温泉のC型とよく似ていることがわかる。

さて次に、強羅温泉は大涌谷、あるいは早雲山の地熱

* 一般に雨水の地下浸透量は降雨量の10~80%といわれている。

表-7 大涌谷, 早雲山の温泉の分析表

泉名	分析者	Temp. °C	pH	H ⁺ mg/l	Li ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Fe ²⁺ mg/l	Fe ³⁺ mg/l	Al ³⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	HSO ₄ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	H ₂ SiO ₃ mg/l	T.S.M. mg/l
大涌谷自然湧出泉	安藤武	81	3.4	—	—	14.4	198	241	104	6	—	193	234.0	—	—	1,385	—	—
仙石原温泉: (大涌谷自然湧出 と遊成泉の混合)	神奈川温研	69.4	3.1	0.806	0.046	7.60	95.0	144.3	45.76	16.2	1.40	14.5	49.87	—	43.68	800.7	213.71	498.8
早雲山遊成泉	中央温研	—	6.30	0.0005	—	1.000	4.500	11.80	3.024	—	—	0.5400	1.418	15.45	—	41.15	0.0154	168.5

地帯といかなる関係にあるのかという点について少しふれる。もっとも関係の有無について明確な証拠をつかむことは非常にむづかしいことであるけれども。

(1) 強羅地区は地理的にみて大涌谷よりも早雲山に近い。

(2) 水頭分布, 泉温分布, Cl 量分布からみれば, 温泉は早雲山の方より流れているように見え, 大涌谷の方向はどちらかというとな泉水の流れの下流になっている。

(3) 大涌谷地熱地帯に降った雨の約70%が大涌谷ですでに温泉として湧出しているが, この量は雨水の地下浸透のほぼ全量と思われるので*, 他に更に深く浸透し, 深い温泉層となって下流に向う量はあってもごく僅かと思われる。したがって仮に大涌谷から強羅の方へ温泉帯水層が通じているとしても, その温泉量は現在の強羅温泉の全揚水量をまかなえるほどの量ではないと思われる。

(4) 化学組成からみたC型の温泉は早雲山より流下する須沢の比較的近くにあって, 早雲山で噴気と地下水の混合によってできた温泉が須沢に沿って地下を流れて来たとしても説明できる。

等の理由によって, もし強羅温泉が上方の地熱地帯と関係するとすれば, 大涌谷よりもむしろ早雲山の方がより密接であろうと思われる。

8. 大涌谷と強羅温泉の放熱量

一般に地熱地帯からの放熱は次にのべるいくつかの過程で行われる。

- (1) 天然噴気孔による放熱
- (2) 人工噴気井による放熱
- (3) 温泉による放熱
- (4) 熱伝導による放熱

一方, 普通の温泉地では(3), (4)だけを考えればよい。大涌谷においては, 天然噴気孔, 人工噴気井の一部を利用して水道水を加熱し人工造成温泉水としているので,

全温泉送湯量から熱量を求めれば(3)のほぼすべてと(1), (2)の一部による放熱量を計算することができる。この結果を表-8に示す。(1)の残りはそれ程の量ではないと思

表-8 大涌谷, 強羅温泉および他の地熱温泉地帯からの放熱量

地熱, 温泉地名	種別	放熱量 10 ¹¹ cal/日	文献
大涌谷	温泉と噴気の1部	3.0	—
強羅	温泉	2.3	—
別府周辺	噴気	14.9	(7)
鉄川	噴気, 温泉, 熱伝導	6~10	(8)
川	噴気, 温泉, 熱伝導	7.2	(9)
Abano	温泉	6.2	(10)

われるが, (2)については未利用のものも多いので, かなりの量の放熱量が上の計算外として残っている。これについては現在噴気井の一つ一つについて放熱量を直接測定中である。また, (4)についても現在測定中であって詳細は後の機会にゆずる。強羅温泉について(3)を求めたものを表-8に示した。(4)についてはやはり検討中である。

表-8には他の地熱, 温泉地帯の放熱量の若干の例を併記した。これより見れば放熱量は 10¹¹cal/日のオーダーであって, 他の地熱温泉地帯と同じオーダーである。大涌谷における噴気井の測定結果が加われば多少増加するが, 予想としては発別と同程度になるものと思われる。

参考文献

- (1) 久野久(1952): 熱海図幅地質説明書, 地質調査所。
- (2) 佐藤幸二(1961): 伊豆箱根地方の温泉と地質, 温泉科学, 13巻2号。
- (3) 小鯛桂一(1965): エヤーリフトの揚湯試験を主体とした熱海-伊豆山温泉調査研究報告一, 地質調査所月報, 16巻11号。

* 前ページ脚注参照。

- (4) Yuhara, K. (1961): Hydrological study of Atami Hot Springs. *Memoirs of the College of Science, University of Kyoto*, Vol. 29, No. 3.
- (5) 湯原浩三 (1959): 道後温泉の揚水試験に関する一考察. *温泉科学*, 10巻3号.
- (6) 宮腰潤一郎 (1962): 浜村温泉に関する地球物理学的諸問題. *鳥取大学学芸学部研究報告*, 13巻1号.
- (7) 湯原浩三 (1964): 別府周辺噴気孔の噴出熱量と熱力学的性質. *大分県温泉調査研究会報告*15号.
- (8) 福富孝治, 藤木忠美 (1953): 昭和26年11月から27年3月頃の登別温泉地獄谷の活動について. *北海道大学地球物理学研究報告*第3号.
- (9) 福富孝治, 須川明, 藤木忠美 (1956): 川湯温泉の地球物理学的研究. *北海道大学地球物理学研究報告*第4号.
- (10) Yuhara, K. (1963): Some considerations on flow, heat and chemical composition of Italian hot springs. *Annali di Geofisica*, Vol. 16, No. 1.