



Title	3. 川湯温泉、仁伏温泉の調査
Author(s)	浦上, 晃一; URAKAMI, Koichi; 大槻, 栄 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 26, 33-60
Issue Date	1971-09-30
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.26.33
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14006
Type	departmental bulletin paper
File Information	26_p33-60.pdf



3. 川湯温泉, 仁伏温泉の調査

浦上晃一・大概 栄・田上龍一・小泊重能
瀬川良明・高倉裕一・市川泰男・内田和隆
浦野慎一・太井子宏和
(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和 46 年 4 月 受理 —

I. 序 言

本報告は北海道の依頼によって昭和 45 年 11 月 12~20 日にわたって川湯温泉および仁伏温泉において実施した地球物理学的調査, すなわち各源泉の湧出温度, 湧出量, Cl^- 濃度の測定, 1 m 深地温の測定, 比抵抗法による電気探査, 管中水温の鉛直分布の測定, 揚湯試験による源泉間の相互影響の調査等の結果をまとめたものである。また, 川湯温泉については, 福富孝治¹⁾が昭和 27 年 10 月および昭和 30 年 10 月に行なった全般的な調査結果と比較して湧出状態の変化について 2, 3 考察した。

本調査に際し, 標茶保健所の田尾民雄, 白川博久の両氏および弟子屈町役場の安倍博氏に種々の御援助をいただいた。また榎本周蔵氏をはじめ現地の皆様に御協力いただいた。厚く感謝致します。

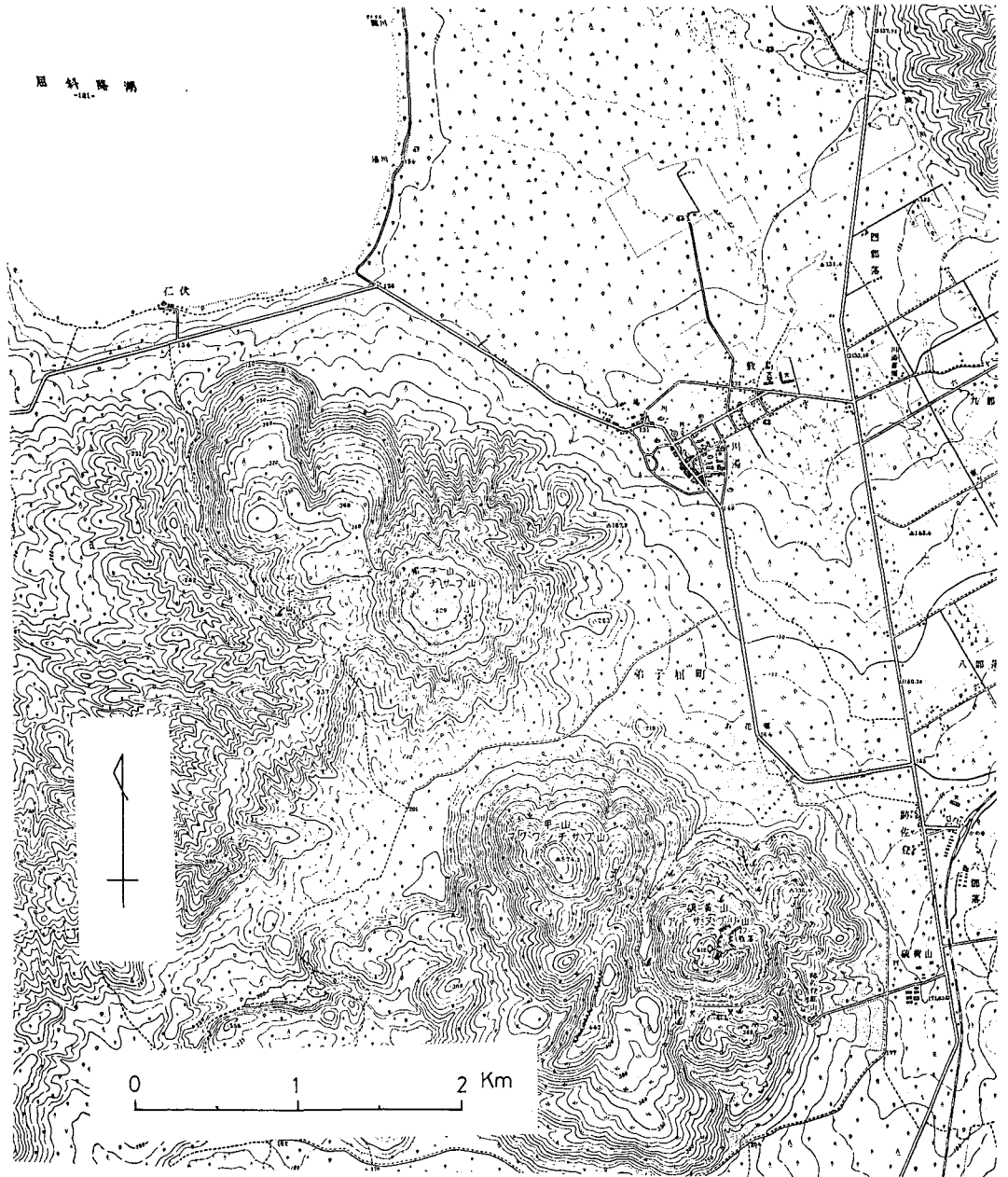
II. 地形, 地質の概況

川湯温泉は屈斜路カルデラの北東隅の沖積地に湧出する温泉で, その南西にはカルデラ生成後その中に噴出したサワンチサップ (帽子山), マクワンチサップ (甲山), アトサヌプリ (硫黄山) のドーム状の小山が北西から南東方向に連らなっている (第 1 図)。アトサヌプリは現在も多くの噴気口があり多量の噴気を噴出している。川湯温泉は天然湧出あるいは 0~20 m の浅いボーリング井から湧出する。温泉水は pH 1~2 程度の強酸性を示す。温泉地域の地質は大体 1~2 m の表土の下に凝灰岩質の地層があり, 温泉はこの層から湧出している。天然湧出の温泉の多くは湯の川によって侵蝕された低地にあり, 川底では表土はなく凝灰岩質の地層が直接温泉沈澱物と思われる薄く硬い殻で覆われている。

仁伏温泉は川湯温泉からおよそ 3 km 離れた屈斜路湖畔に湧出する温泉で泉質は川湯湯泉とはかなり異なる。湖の水際には天然湧出の温泉があり, 水面より 5 m 程度高い段丘上から山麓にかけての地域にはボーリングによって得られた源泉がある。この地域の地質も川湯温泉と

1) 福富孝治・須川 明・藤木忠美; 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, 4 (昭和 31 年), 39-64.

同様薄い表土の下に凝灰岩質の地層があって温泉水は屈斜路湖の水面下 16 m 前後の帯水層中を流動している。

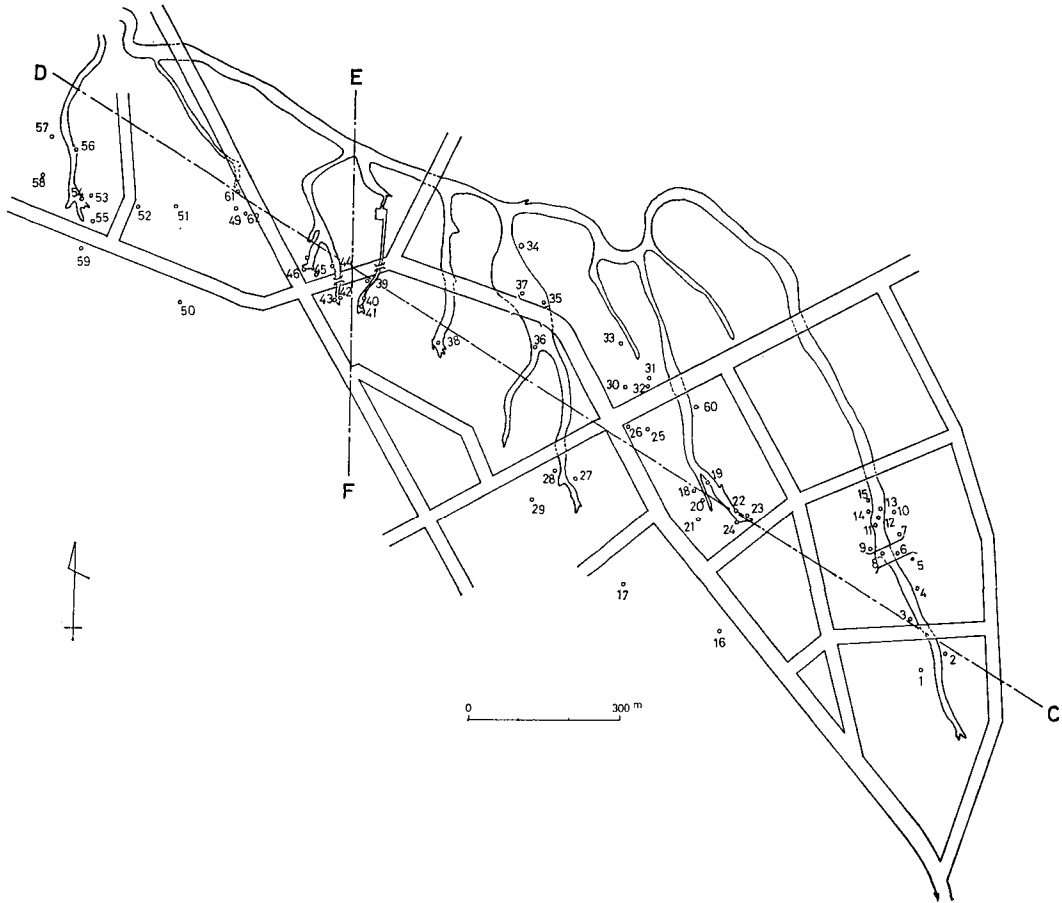


第1図 川湯および仁伏温泉の地形図
Fig. 1. Topographical map of Kawayu and Nibushi hot spring region.

III. 川湯温泉の調査

1. 一般調査

第2図は川湯温泉の源泉の分布図である。



第2図 川湯温泉の源泉分布図

Fig. 2. Geographical map of hot springs at Kawayu region.

各源泉について、源泉の状況、湧出温度、湧出量、 Cl^- 濃度の測定結果、標茶保健所で測定された過去の記録、さらに地下水の温度を 10°C としたとき温泉水の揚湯によって地上に放出される熱量(湧出温度が引湯された下端で測定されたものについては途中大気中に放出される熱量は見積られていない)等を第1表にまとめた。これらの源泉の外、湯の川の川底、その他地層の割れ目等から漏水している個所も数多くあったがその大部分は測定しなかった。なお、 Cl^- 濃度の測定は温泉水が強酸性を示すため炭酸水素ナトリウムの水溶液で中和した後硝酸銀試薬を用いて定量分析した。

第1表 川湯温泉の
Table 1. Results of measurement on

温泉 番号	所 有 者	泉 源 の 状 況			今回(昭和45年11月)の測定			
		口 径 (mm)	深 度 (m)	湧出の状態	湧出温度 (°C)	湧出量 (l/min.)	Cl 濃度 (mg/l)	測定場所
1	湖 山 荘	75	20.0	動 力	55.0	61.6	1,205	
2	川湯観光ホテル	75	13.0	"	55.1	51.1	1,332	
3	太平洋炭鉱 K. K.	—	9.9	自 噴	55.2	60.6	1,360	70 m 下
4	第 1 ホ テ ル	50.8	13.0	動 力	} 47.5	54.4	1,302	
5	"	53.0	13.6	"				
6	釧路鉄道管理局	50.6	16.4	自 噴	55.0	174.0	1,347	20 m 下
7	"	50.6	12.0	"	55.7	100.0		4 m 下
8	太平洋炭鉱 K. K.	120	22.4	動 力	44.3	23.3	1,215	30 m 下
9	橘 ホ テ ル	100	15.0	自 噴	56.5	47.9	1,364	7 m 下
10	望 岳 荘	天然湧出		"	51.3	2.0	1,327	
11	北洋相互銀行	"		"	52.9	} 58.6	1,300	
12	"	"		"	54.2			
13	東光不動産 K. K.	"		"	54.2	39.3	1,333	
14	山形屋ホテル	"		"	53.5	159.0	1,355	
15	北海道拓殖銀行	"		"	56.2	68.2	1,425	
16	摩 周 荘	75	34	動 力	54.5	25.6	1,472	
17	小 泉 末 広	75	17.6	自 噴	56.0	18.1	1,547	20 m 下
18	南条観光商事 K. K.	"		"	54.0	4.3	1,621	風呂場
19	"	50	8.8	"	(19)+(20)+(22)+(23)=			
20	"	天然湧出		"	44.5	42.4	1,275	
21	"	72	10	動 力	44.2	36.2	1,361	10 m 下
22	高野芳次郎	掘 さ く		自 噴	57.4		1,627	
23	"	天然湧出		"				
24	砂 山 時 男	掘 さ く		"	56.3	19.7	1,636	
25	川湯ホテル	天然湧出		"	48.5	6.9		38 m 下
26	"	100	18.0	"	58.9	77.5	1,540	
27	鈴 木 義 光	90	11.1	動 力	60.7	16.7	1,545	2 m 下
28	"	70	10.0	埋 没				
29	公立学校共済組合	100	20.0	動 力	61.6	44.4	1,510	10 m 下
30	札幌郵政局長	天然湧出		自 噴	45.4	2.1	1,434	5 m 下
31	北電健康保険組合	"		"	56.0	14.2	1,432	10 m 下
32	"	—	16.7	"	60.5	31.7	1,610	

一般調査の結果

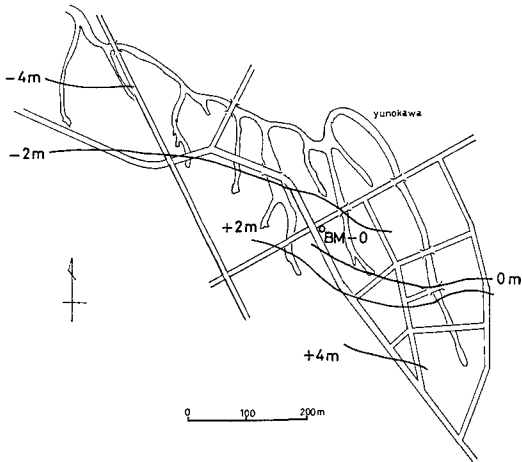
Kawayu hot spring

結果 熱量 (kcal/min.)	過去の測定結果								
	年・月・日	湧出温度 (°C)	湧出量 (l/min.)	年・月・日	湧出温度 (°C)	湧出量 (l/min.)	年・月・日	湧出温度 (°C)	湧出量 (l/min.)
2,767.5	39.11.1	55.5	30.0	40.2.6	55.2	35.0	43.10.1	51.0	60.0
3,204.6	39.11.1	59.0	22.0	40.2.6	57.8	33.0	40.10.14	57.0	60.0
2,739.1	39.10.10	—	78.0	43.10.1	58.0	36.0	44.1.17	59.0	湧出停止
2,040.0	39.11.1	55.0	36.0	40.2.7	58.8	56.0	43.10.1	48.0	30.0
	39.11.1	41.0	—	40.2.7	57.0	22.0	41.12.7	58.0	—
7,830.0	39.10.30	57.0	158.0	40.2.7	58.5	167.0	41.12.7	58.0	—
4,570.0	39.10.31	55.0	120.0	40.2.7	58.0	131.0	40.10.1	55.0	240.0
801.5	39.10.30	58.0	78.0	43.10.1	48.0	30.0	44.4.30	51.0	25.0
2,227.4	39.10.31	57.0	100.0	40.2.7	58.0	75.0	41.3.16	58.0	67.0
82.6	39.10.31	54.0	48.0	40.2.7	55.2	71.0	43.10.14	52.0	60.0
2,549.1	39.10.30	58.0	34.0	40.2.7	58.2	51.0	43.12.1	58.0	36.0
	41.12.7	57.0	18.0	43.10.1	50.0	6.0			
6,916.5	39.10.30	51.0	—	40.2.8	55.3	102.0	43.10.1	51.0	123.0
3,150.8	39.10.30	60.0	57.0	40.2.8	58.0	50.0	43.10.1	53.0	72.0
1,139.2	39.10.30	55.0	30.0	40.2.6	55.5	52.0	41.12.7	54.0	測定不能
832.6	39.11.1	57.0	—	40.2.6	58.1	37.0			
232.2	39.10.30	53.0	6.0	40.2.7	53.0	14.4			
1,462.8	39.10.31	41.0	12.0						
1,238.0	39.10.30	48.0	30.0	40.2.7	41.5	—			
	39.11.1	54.5	—	40.2.6	62.2	8.3			
	39.11.1	60.0	—	40.2.6	59.2	44.0			
912.1	39.10.31	57.0	—						
265.7	39.11.1	46.0	36.0	40.2.7	53.5	19.4			
3,789.7	39.11.1	47.0	120.0	40.2.7	60.1	96.0			
846.7	39.10.31	56.0	61.0	41.12.7	56.0				
	39.10.30	43.0	—	41.12.7	42.0	—			
2,291.0	39.11.1	63.0	72.0	40.2.7	63.8	65.0			
72.2	40.2.8	48.0	3.0						
653.2	39.11.1	46.0	—	40.2.8	44.8	19.0			
1,600.9	39.11.1	62.0	—	40.2.8	62.0	67.0			

第1表 つづき

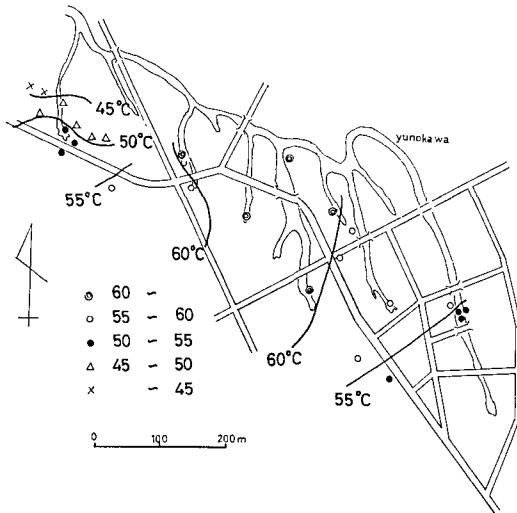
温泉番号	所有者	泉源の状況			今回(昭和45年11月)の測定			
		口径(mm)	深度(m)	湧出の状態	湧出温度(°C)	湧出量(l/min.)	Cl ⁻ 濃度(mg/l)	測定場所
33	川湯温泉 K. K.	—	—	動力	60.9	19.2	1,650	15 m 下
34の1	グランドホテル	75	15.0	自噴	61.0	239.9	1,544	
34の2	"	天然湧出		"	64.0	30.5	1,600	
35	十条製紙 K. K.	"		"	42.7	20.1	1,587	100 m 以上下
36	"	"		"	50.5	60.3	1,576	
37	北海道民生部保健課	"		"	49.0	29.0	1,601	
38	御園ホテル	"		"	62.4	31.5	1,689	
39	紺野隆	"		"	48.2	24.5	1,654	20 m 下
40	泉陽閣	—	7.6	"	48.8	42.4	1,632	100 m 下
41	岩本松治	100	5.7	埋ぼつ				
42の1	泉陽閣	—	3.1	自噴	60.7	33.2	1,662	
42の2	"	天然湧出		"	53.1	15.0	1,525	
43	十条製紙 K. K.	"		"	47.4	45.5	1,413	
44	"	65	3.9	"				
45	華の湯ホテル	—	—	"	60.7	9.7	1,683	10 m 下
46	"	—	—	"	58.4	9.1	1,705	15 m 下
47	石井栄	天然湧出		"	52.8	30.8	1,566	50 m 下
48	近藤利雄	150	3.0	"	61.7	15.7	1,713	
49	小林秀美	65	21.0	"			—	
50	鈴木光子	35	27.0	"	57.0	7.3	1,764	
51	湯の閣ホテル	—	—	"	47.6	325.5	1,355	
52	"	—	—	"	48.0	23.8	1,330	
53	"	—	—	"	49.9	79.9	1,620	
54	"	50	25.0	"	46.8	74.5	1,395	
55	"	—	—	"	51.5	181.3	1,634	
56	"	掘さく		"	46.6	141.1	1,245	
57	日本樹脂繊維	"		"	49.0	—	—	
58	向上安雄	121	12.0	動力	54.0	93.9	—	
59	野上実枝	55	33.8	"	51.0	110.3	1,784	3 m 下
60	小泉祝男	—	—	自噴	48.2	121.8	1,276	10 m 下
61	不明	—	—	"	45.2 31.5	343.8	1,298 735	
62	"	天然湧出		"				48.3
合計						3,492.3		

第3図は水準測量によって求めた、基準点(図中○印)からの湧出口の高度分布図である。温泉の静止水頭は No. 9, No. 60 では湧出口上 13.6 cm, 103 cm である。今回この2カ所しか測定できなかったが、湧出状態から見て静止水頭は湧出口上高々 1 m 程度と思われるのでその分布は第3図と同様の傾向を示すと考えてよい。温泉水は水頭の等高線に直交するように流れる



第3図 川湯温泉の湧出口の高度分布図
○印が基準点の位置

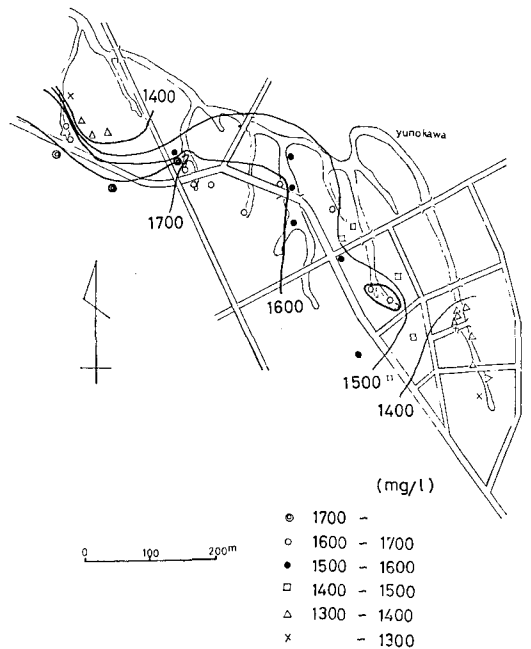
Fig. 3. Distribution of the hight of issues from the baselevel at Kawayu hot spring. (the mark, shows the base location).



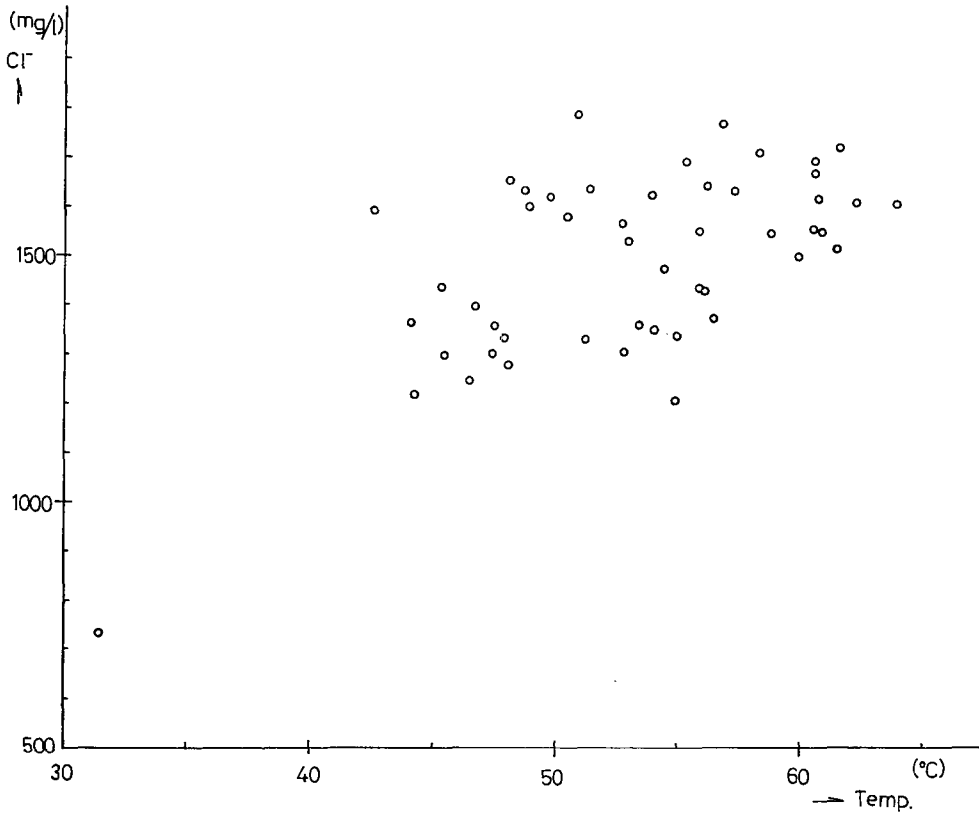
第4図 川湯温泉における湧出温度の水平分布
Fig. 4. Horizontal distribution of temperature of Kawayu hot spring.

と考えられるから、この地域の温泉水は山側から平野部に向かって流れていると推定できる。川湯温泉は以前すべて自噴していたが湧出停止または湧出量減少のため現在一部の源泉では動力 (air lift pump) によって揚湯されており、その湧出口はほとんど比高 2 m 以上となっている。

第4図に湧出温度の水平分布を示した(第7図の湧出温度のみを用いた)。中央部に 60°C 以上の場所があり、温泉湧出地域の東部および西部では温度が低くなっている。福富孝治他の結果と比較すると東部の温度低下が目立つ。



第5図 川湯温泉における Cl⁻ 濃度の水平分布
Fig. 5. Horizontal distribution of Cl⁻-content of Kawayu hot spring.



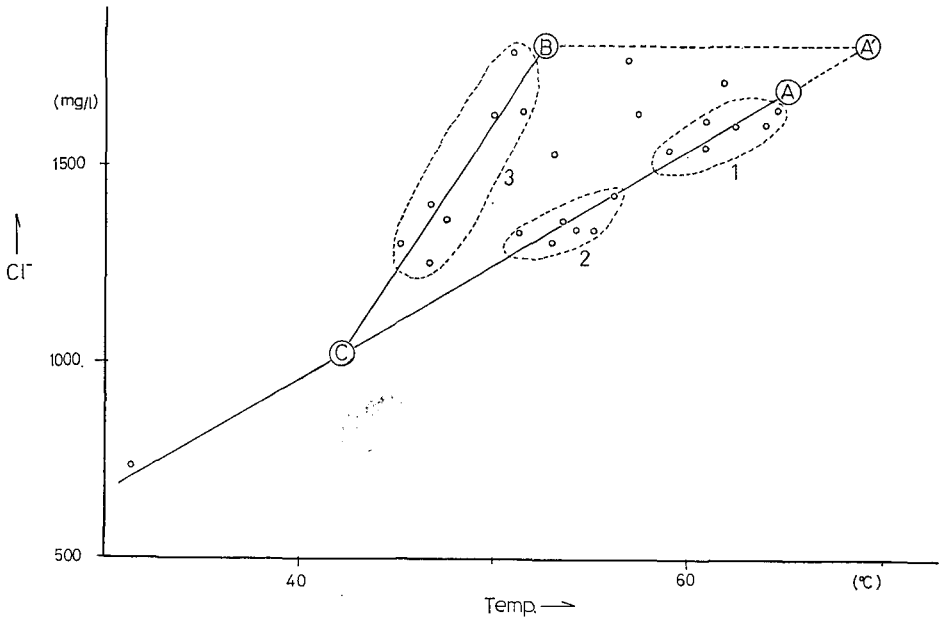
第6図 川湯温泉における湧出温度と Cl^- 濃度との関係

Fig. 6. The relationship between temperature and Cl^- -content of hot water in Kawayu region.

Cl^- 濃度の分布は第5図のように西部山側に $1,700 \text{ mg/l}$ 以上の温泉が湧出し、湧出温度の最も高い中央部は $1,600 \sim 1,700 \text{ mg/l}$ とやや低く、東部の濃度はさらに低い。

第6図に湧出温度と Cl^- 濃度の関係を示したが、プロットした点はかなり分散している。図には、湧出温度として塩化ビニール管で $5 \sim 200 \text{ m}$ 引湯した下端で測定した温度を用いた点が含まれており、これらには途中で冷却される温度の補正が必要である。しかし、この補正は非常に困難なのでこれらを除き温度が泉源で測定されたもののみを用いると第7図のようになる。これらの点は AC, BC の2つの直線上およびその中間に分布することから、この地域の温泉水は A (温度 65°C , Cl^- 濃度 $1,680 \text{ mg/l}$), B (温度 52.5°C , Cl^- 濃度 $1,800 \text{ mg/l}$), C (温度 42°C , Cl^- 濃度 $1,000 \text{ mg/l}$) を源とする水の相互の混合によって生ずると考えられる。また、ほぼ直線上にある点を 1, 2, 3 の3つのグループに分け源泉の分布する範囲を見るとそれぞれ湧出地域の東部, 中央部, 西部にあたる。地下水 (温度約 10°C , Cl^- 濃度 $10 \sim 20 \text{ mg/l}$) が AC の延長線上に載るので温泉水 A と地下水との混合水は直線 AC に分布すると考えられる。

グループ 1, 2 は共に直線 AC 上にあつて1は2に比較して湧出温度が低く地下水混入の割合が多いと解釈できる。源 C は、後述の如く、温泉水とその下層にある地下水との境界付近



第7図 川湯温泉における湧出温度と Cl^- 濃度の関係

Fig. 7. The relationship between temperature and Cl^- -content of hot water in Kawayu region.

にこの地域全般に存在する両者の混合水であろう。A, B は地下水に関係が深い C に比べ温度, Cl^- 濃度が高く川湯温泉の源と考えられる。もし A, B が同一源から同一の流路を流下する途中で密度の小さい A が上層部に集まり湧出地域では A が上流側に湧出し B が下流部に湧出していると考え、B の Cl^- 濃度を変えないように直線 AC 上に投影すると A' (温度 69°C , Cl^- 濃度 $1,800 \text{ mg/l}$) となり、その温度差が 16.5°C にもなって両者の冷却の差が大きすぎるように思われる。

むしろ、異なった流路を通りこの地域まで流下したと考える方が自然であろう。また残念ながら、A と B が元来同一の源を持つものであるかどうかを推定する資料がない。しかし、少なくとも川湯温泉の湧出地域においては、上流側にある A、西部山際にある B および温泉水と地下水との境界に広く分布する C との相互の混合水が湧出しているといえる。

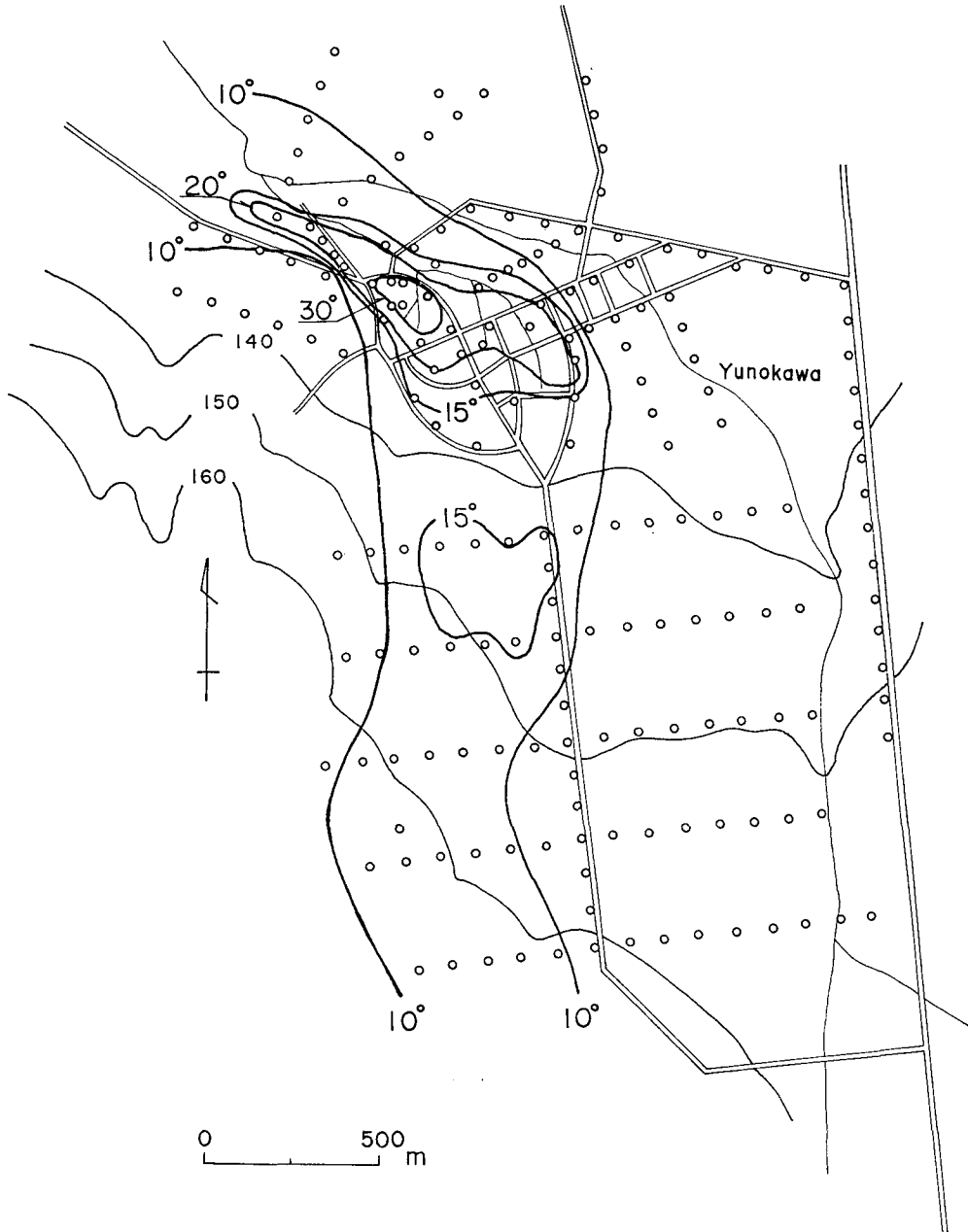
2. 1 m 深地温分布

川湯温泉街およびその周辺、さらに温泉街から硫黄山山麓に至る地域で 1 m 深地温を測定した。第 8 図は測定結果から等温線を引いたものであって、○印は測点の位置である。

温泉湧出地域は温度が高く中心部では 30°C 以上の高い値を示している。 10°C 以上の地域は温泉街周辺から硫黄山にかけて帯状に拡がっている。1 m 深地温は季節、土壌の熱伝導率、その地方の緯度、土地の高度等によって異なるが、福富の表²⁾によれば川湯温泉における 11 月

2) 福富孝治; 1 m 深の地中温度より温泉探査の可能性に就いて (第 1 報), 北海道大学地球物理学研究報告, 1 (昭和 26 年), 1-14.

下旬の normal な地温は 10.2°C となるので 10°C 以上の値を示す地域には地下熱源すなわち温泉水が存在すると考えてよい。温泉街東側の 10°C の等温線は電気探査から推定される温泉水と地下水との境界とほぼ一致する。



第8図 川湯温泉における1m深地温分布

Fig. 8. Horizontal distribution of underground temperature at 1 m depth in Kawayu region.

3. 電気探査

温泉水の水平的な拡がりを推定するため比抵抗法（ウェンナーの4極法）による電気探査を行なった。測線は地形の等高線と平行となるように選び、測線の長さは一部を除き50mにとった。

第9図に解析結果をまとめた（測点の位置は第11図に示されている）。これによると川湯温泉では、大体、第1層は300~700 Ω -m程度の値を示す表土、第2層は2,000 Ω -m前後の極めて大きな抵抗を持つ凝灰岩質の地層、第3層は帯水層となっている。第3層に含まれる水はA: 温泉水、B: 地下水、C: 温泉水と地下水の混合水の3つに分けられ、それぞれの例として第10図に ρ - a 曲線とその解析結果を示した。Aでは ρ - a 曲線が急激に落ち込み温泉帯水層の存在を示唆しその抵抗値はほとんど0 Ω -mである。Bの第3層は195 Ω -mでありこの地域の地下水帯水層は200~300 Ω -m程度の値を示すと考えられる。Cの第3層は30 Ω -mでAとBの中間の値であり温泉水と地下水の混合した水を含むと推定でき、また240 Ω -mの第4層は地下水帯水層と思われる。このように、地下に温泉水の存在する点（●印）、温泉水の存在しない点（○印）、温泉水と地下水の混合水が存在する点（△印）に分類しその分布を調べると第11図のようになる。図中、各々の記号に添えた数字は測点番号である。温泉水は川湯温泉街から南および西側の山麓部に分布しており一点鎖線は地下水との境界を示している。

4. 川湯温泉の湧出機構

第12図はNo. 9およびNo. 49で測定した管中水温の鉛直分布である。No. 9は自噴井であるがNo. 49は影響調査の観測井として利用するため湧出を停止させ5日経過後測定した。No. 49は静止水頭が地表より120cm程高いため地上に露出している管中の水はかなり冷却されており、孔底近くでは温度が急激に低下している。

福富他¹⁾は各源泉の孔底温度の測定から第2図のCD、EFに沿った断面の温度分布を求めている（第13図、第14図）。この結果から、温泉水と地下水の混合水（第7図のC）が両者の境界付近に存在し、また等温線の乱れも少なく境界面での両者の混合が烈しくないことを暗示している。したがって、温泉水の二次元的な定常な流れとして第15図のようなモデルを考えてよいだろう。

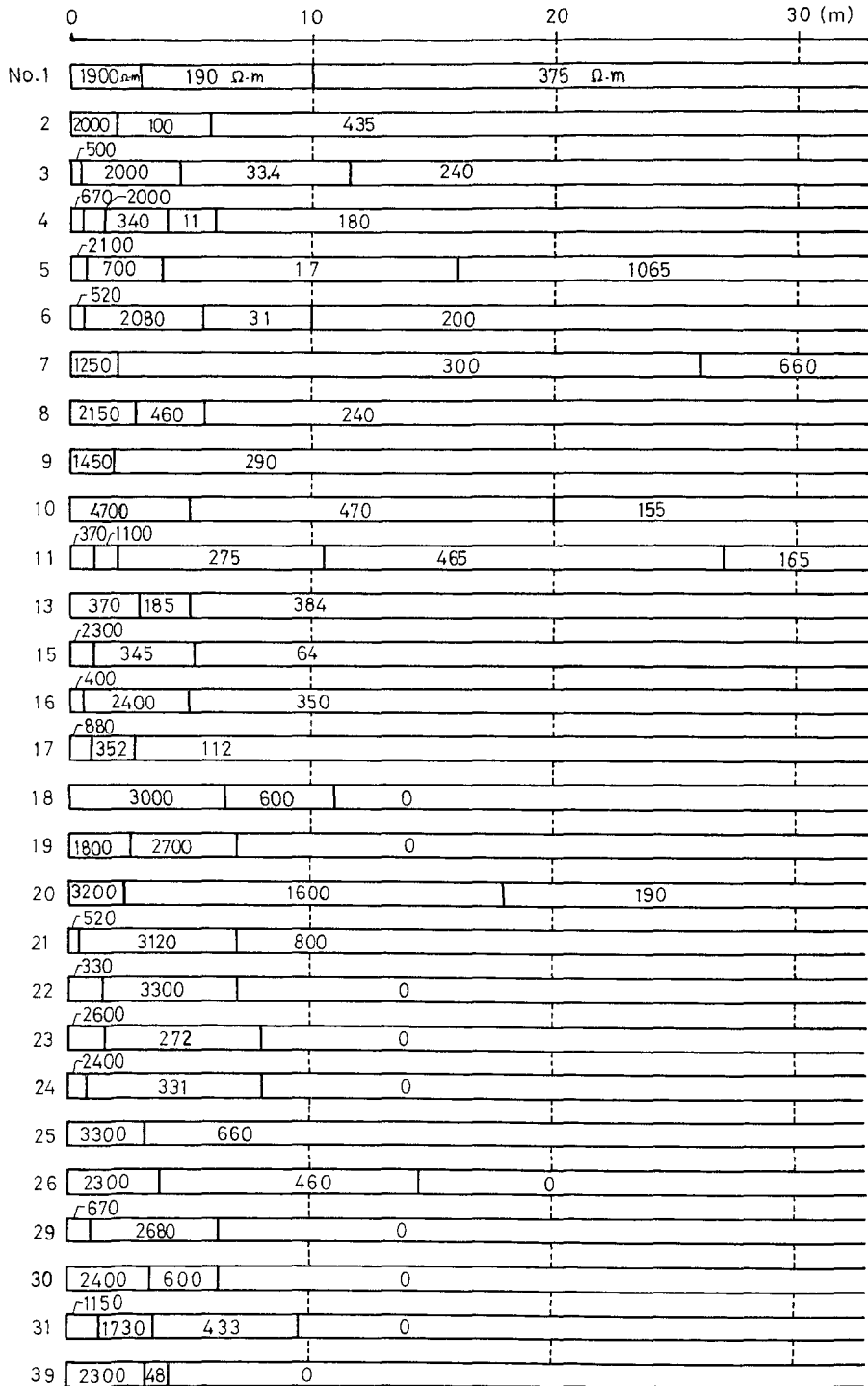
温泉水の密度を ρ_1 、地下水の密度を $\rho_2 (>\rho_1)$ とし、境界面では両者の混合がないとし、さらに地下水は静止していると仮定すれば、境界面の形は

$$y^2 = (2Q/K')x - (QK')^2 \quad (1)$$

また温泉水の浸み出している範囲は

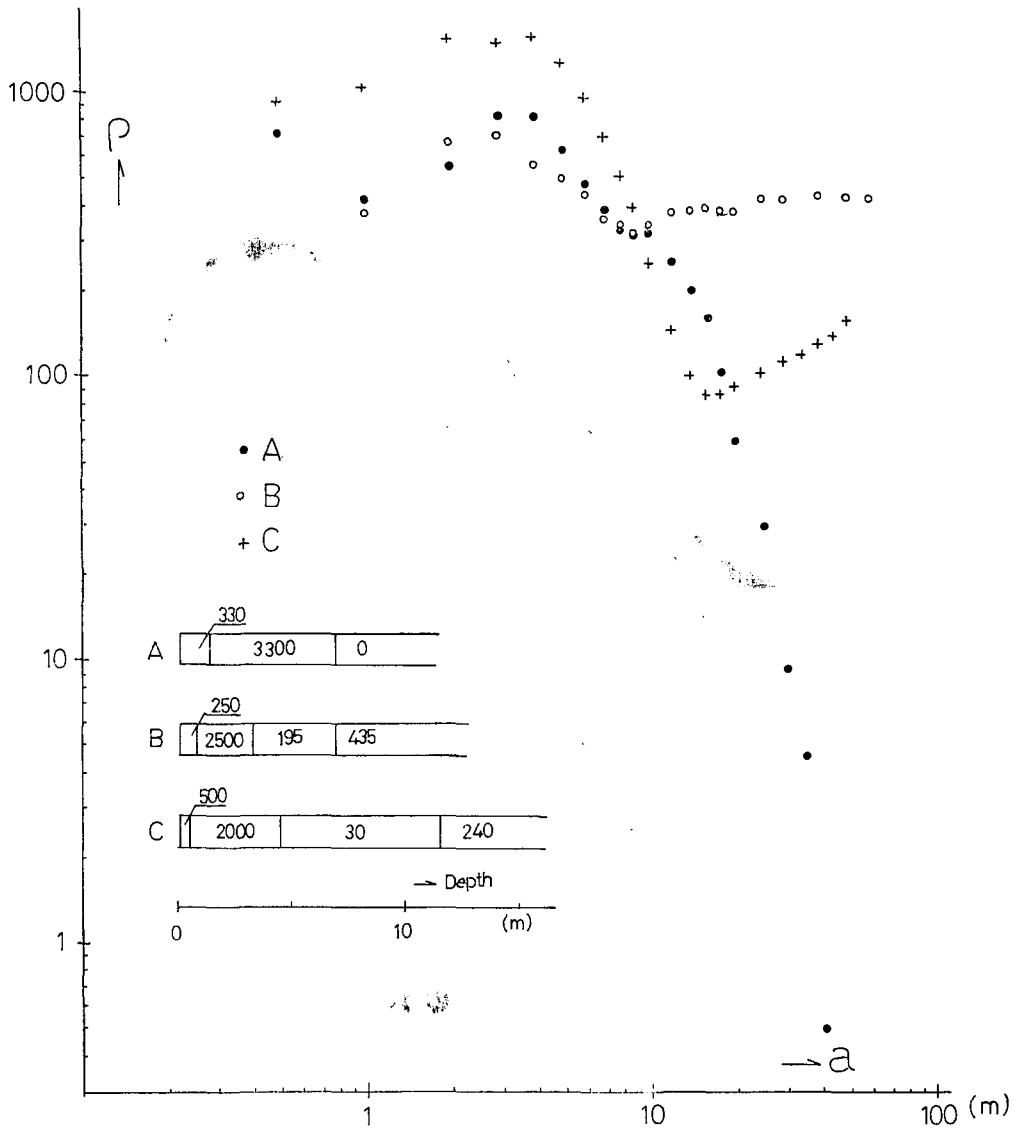
$$x_0 = Q/2K' \quad (2)$$

1) 前出。



第9図 川湯温泉における電気探査の結果

Fig. 9. Results of electrical resistivity prospect in Kawayu region.

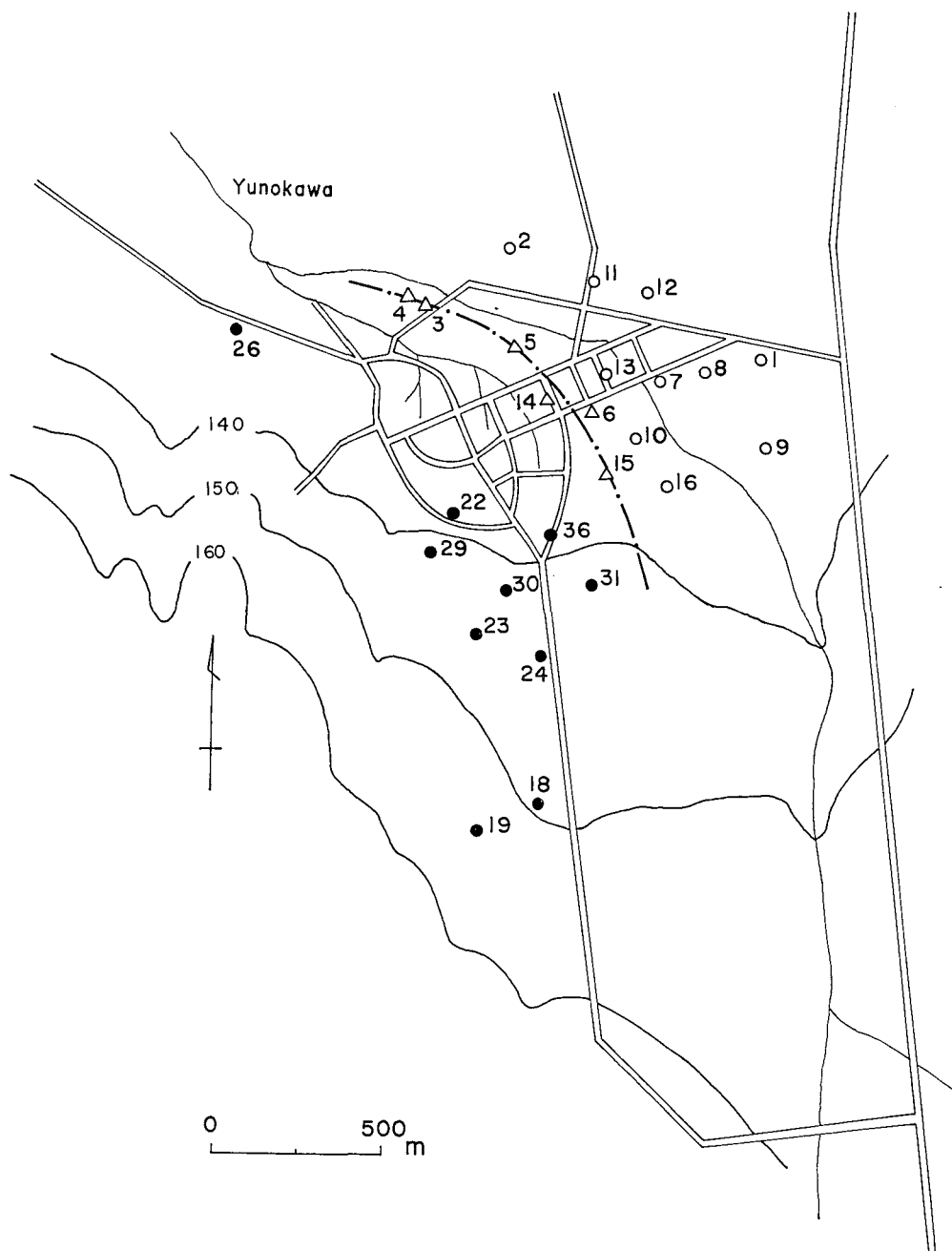


第10図 ρ - a 曲線の例およびその解析結果

- A: 温泉帯水層が存在する場合
 B: 温泉帯水層が存在しない場合
 C: 温泉と地下水との混合水を含む帯水層がある場合

Fig. 10. Examples of ρ - a curve and analyzed results.

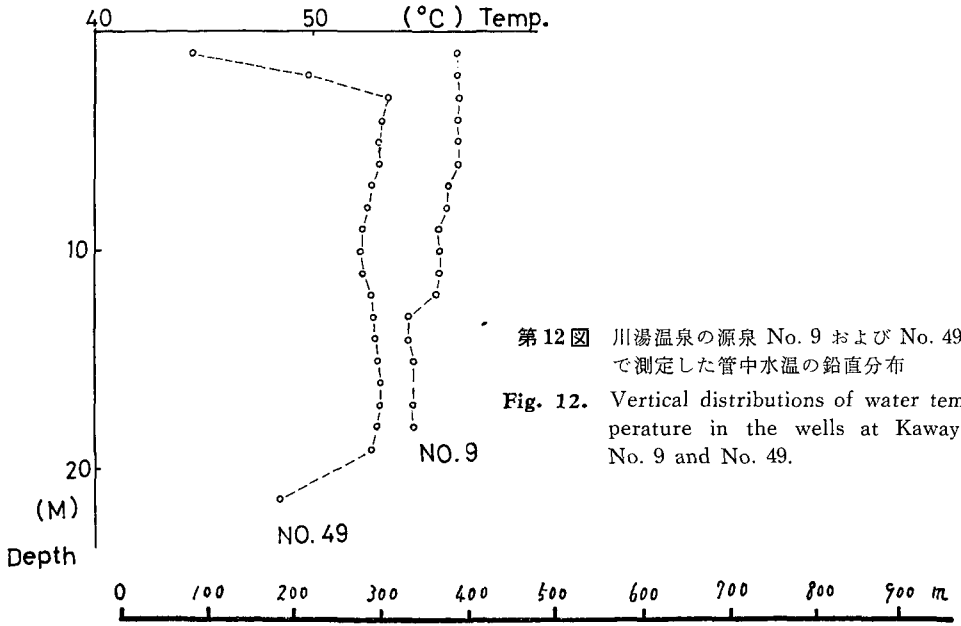
- A: indicates the case of hot water aquifer existing.
 B: indicates the case of hot water aquifer not existing.
 C: indicates the case of aquifer of mixture of hot and cold water existing.



第11図 川湯温泉で行なった電気探査の測点およびその解析結果

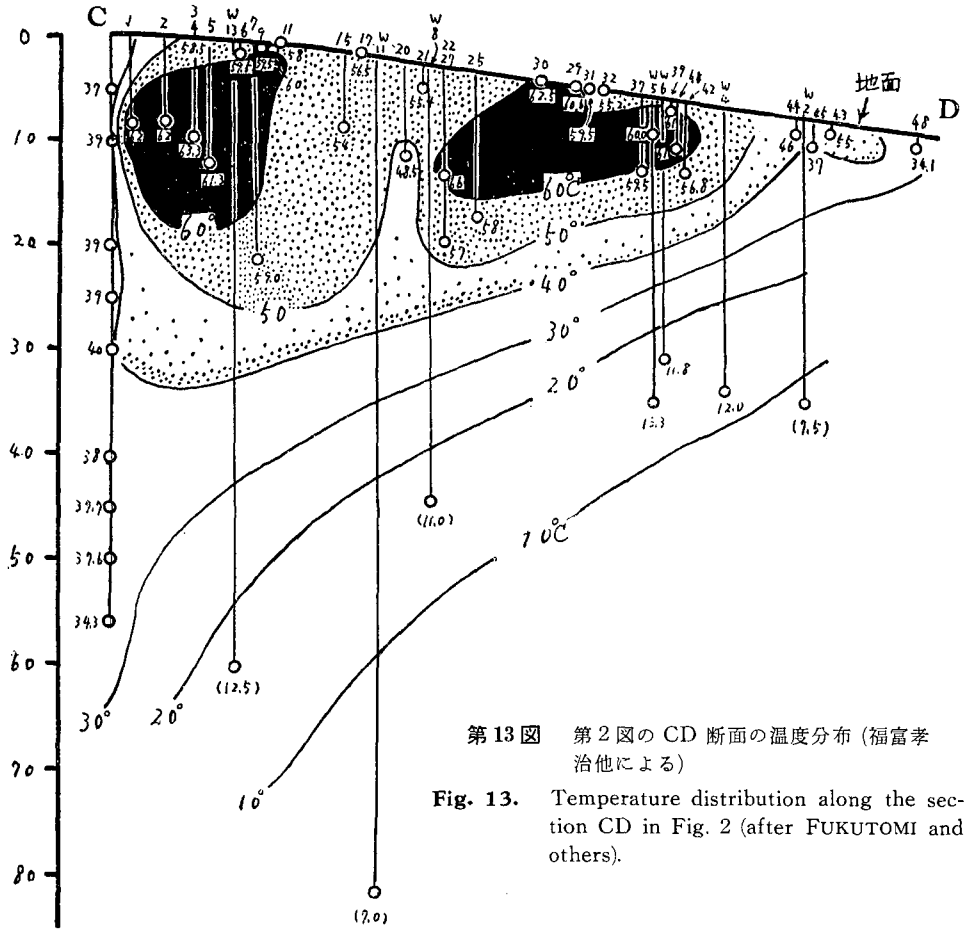
●: 温泉水の存在する点 ○: 温泉水の存在しない点 △: 温泉水と地下水の混合水が存在する点 一点鎖線は温泉水の分布する地域の境界を表わす

Fig. 11. Geographical map of electrical survey points and its results. Solid circle indicate points of hot water existing, open circles indicate points of hot water not existing, and open triangle indicate points of mixig water existing. Dot-dashed line shows the boundary of existent area of hot water.



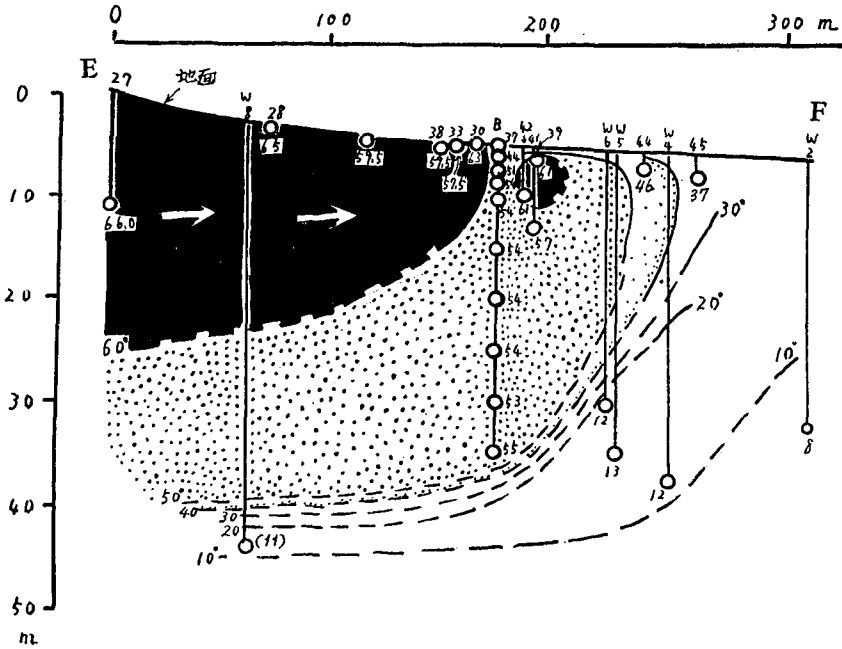
第12図 川湯温泉の源泉 No. 9 および No. 49 で測定した管中水温の鉛直分布

Fig. 12. Vertical distributions of water temperature in the wells at Kawayu No. 9 and No. 49.



第13図 第2図のCD断面の温度分布 (福富孝治他による)

Fig. 13. Temperature distribution along the section CD in Fig. 2 (after FUKUTOMI and others).



第14図 第2図のEF断面の温度分布 (福富孝治他による)
 Fig. 14. Temperature distribution along the section EF in Fig. 2 (after FUKUTOMI and others).

で与えられる³⁾。ここで、 $K' = K(\rho_2 - \rho_1) / \rho_1$ 、 K は温泉帯水層の透水係数、 Q は単位幅あたりの流量である。温泉水の浸み出している面積を A 、温泉水の全湧出量を Q_0 とすれば (2) から

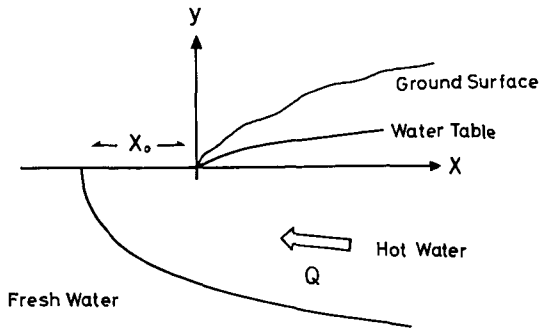
$$A = Q_0 / 2K'$$

したがって

$$Q_0 = 2AK' = 2AK(\rho_2 - \rho_1) / \rho_2 \tag{4}$$

となる。いま、 A として第17図の自噴し

ている源泉を囲む地域の面積、 K を揚湯試験から求めた値、 ρ_1 は温度を 65°C としたときの温泉水の密度、 ρ_2 は温度を 10°C としたときの地下水の密度； $A = 5.4 \times 10^4 \text{ m}^2$ 、 $K = 2.4 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 、 $\rho_1 = 0.9900 \text{ g/cm}^3$ 、 $\rho_2 = 0.9997 \text{ g/cm}^3$ 、とすれば $Q_0 = 15,600 \text{ l/min}$ 。となる。この値は川湯温泉の全使用量 $3,500 \text{ l/min}$ 。(第1表参照) および福富他が求めた全湧出量 $10.3 \times 10^3 \text{ l/min}$ 。と



第15図 定常な温泉水の流れの二次元的モデル
 Fig. 15. A two-dimensional model of steady flow of water.

3) J. BEAR, D. ZASLAVSKY and S. IRMAY; Physical Principles of Water Percolation and Seepage. UNESCO (1968), 298.

ほぼ同 order であり、A および K' の見積りにはかなりの誤差が含まれることを考慮すると、温泉水の流れはこのモデルで説明できよう。

しかしながら、温泉湧出地域およびその周辺のような狭い範囲の流れを論ずる際には揚湯の状況、後述の如く被圧されているための効果等を考慮する必要があるであろう。

5. 湧出温度、湧出量、化学成分の変化

第2表は昭和44年12月から46年1月までの約1年間 No. 3, No. 9 において測定された湧出温度、湧出量である。No. 3 は自噴井、No. 9 は動力によって揚湯されている。温度、量ともに変動は小さい。

No. 3 の湧出温度には季節変化が認められるが、これは塩化ビニール管で約50m程引湯した端で温度を測定しているため途中の冷却の度合が気温によって異なるためであろう。

第16図は湧出温度のヒストグラムである。実線は今回の調査(第7図の値のみを用いた)、破線は福富他¹⁾の結果によるもので、わずかながら温度低下の傾向が見られる。

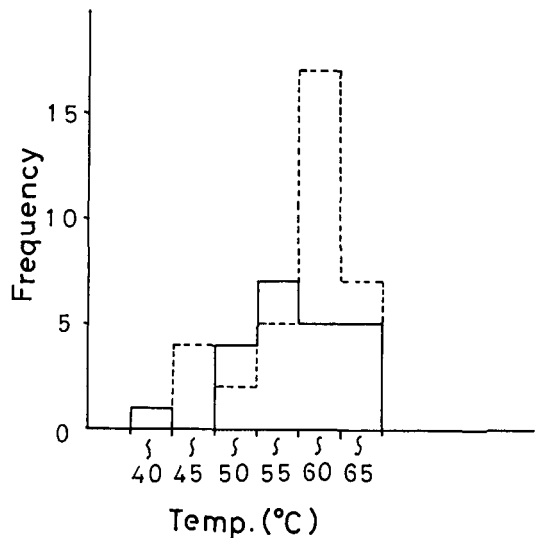
1m深地温分布では、福富他の調査結果と比較すると中心部の最高温度が約10°C低下しており、20°Cの等温線(第17図の実線)をこれに対応する福富他が求めた10°C等温線(第17図の破線、福富他は測定値から normal な地温を引いた値を用いて等温線を書いている、第III章第2節を参照のこと)と比較すると温泉街北東側の平野部、山側さらに硫黄山にかけての地域

第2表 川湯温泉 No. 3 および No. 9 における湧出温度、湧出量の測定結果

Table 2. Temperature and flow rate of wells No. 3 and No. 9

年・月・日	No. 3		No. 8		記 事
	湧出温度(°C)	湧出量(l/min.)	湧出温度(°C)	湧出量(l/min.)	
44. 12. 15	55	60	47	48	
45. 1. 2	55.5	60	49.5	48	
45. 1. 31	55	60	50.2	48	
2. 16	55.5	57	50.5	48	
4. 10	55	63	5.05	48	
4. 28	55.5	66	50	46	No. 8
5. 15	56	66	51	50	動力停止
6. 5	57	69	50	48	"
6. 29	56.5	66	50	45	"
10. 30	56	60	49	28	"
11. 23	56	60	48.5	45	
12. 19	55	60	50	40	
44. 1. 16	53	66	49	40	

(太平洋炭鉱の測定による)



第16図 川湯温泉の湧出温度の頻度分布

実線は今回の調査

破線は福富孝治他¹⁾の調査結果による

Fig. 16. Frequency distributions of hot spring temperature at Kawayu region.

Solid line indicate the result of our investigation and broken line from FUKUTOMI and others.

1) 前出.

で温度低下が著しく, それらが囲む面積は $2.86 \times 10^6 \text{ m}^2$ から $1.01 \times 10^5 \text{ cm}^2$ と約 $1/3$ に減少している。西端では地温の増加が見られるが, これはこの地域に新たに温泉が開発されたためであろう。斜線の部分は自噴井の存在する範囲である。1 m 深地温は温泉水の流動状況と関係が深いと考えられ, このような面積の減少は湧出面積の減少を示すと思われる。K' はほとんど変わらないと考えてよく, したがって (4) から面積の減少は川湯温泉の全湧出量 (源からこの地域に流れて来る量) の減少を意味する。また, 一方細長い源泉分布地域において揚湯量が増加しても (これは温泉水が被圧状態にあるため可能である) 同様の効果が期待できる。しかしながら, 福富他の調査では全湧出量, 今回は全使用量しか測定されていないので湧出する温泉水の量的変化を推定することは困難である。

また以前すべて自噴していた温泉が自噴停止および湧出量減少のため, 一部の源泉で動力によって揚湯している。

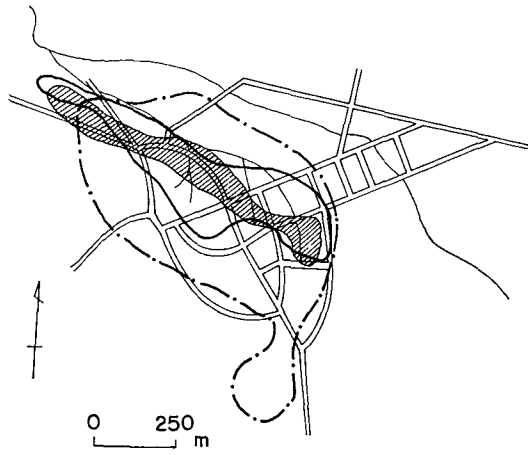
以上から, 少なくとも, 温泉湧出地域においては水頭が低下し温泉水の勢力が弱まったと言える。この結果温泉水と地下水との境界付近では地下水混入の割合が増加するであろう。前回の調査結果と比較すると特に地域東端部の源泉の湧出温度の低下, Cl^- 濃度の減少が目立つ。

6. 影響調査

温泉湧出地域の東部, 中央部, 西部の3カ所で影響調査を行なった。観測井は No. 9, No. 49, No. 60 である。

第18図は11月14日~17日まで No. 49 において観測した静止水頭の変化で, 5日間の変動量は約 2 cm である。15日は他に比べ変化が大きく, 12時まで上昇以後低下しているが, この日8時~12時まで停電があり, 動力による揚湯量が減少したためと思われる。

No. 49 から 22 m 離れた No. 61 で揚湯量を 0 l/min. から 360 l/min. に変化させたとき, No. 49 の静止水頭 y は第19図の●印のように10分後約 14 cm, 30分後 15.5 cm 低下した。



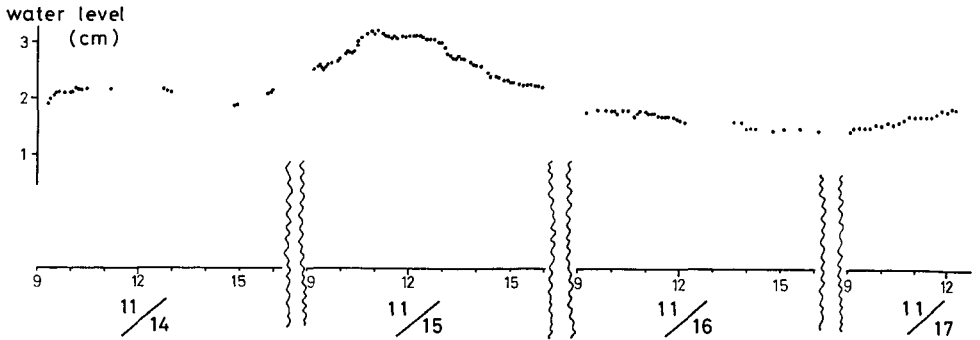
第17図 川湯温泉における1 m 深地温の変化と自噴井の存在する範囲

実線は今回の調査による 20°C の等温線
1点鎖線はこれに対応すると考えられる福富孝治他による 10°C の等温線
斜線をほどこした部分は自噴井の存在する範囲

Fig. 17. Change of underground temperature at 1 m depth in Kawayu and existent area of flowing wells.

Solid line indicates the 20°C-isotherm by our measurement and dot-dashed line indicates 10°C-isotherm (value subtracting normal underground temperature 10°C) by FUKUTOMI and others.

Shaded part shows the existent area of flowing wells.



第 18 図 川湯温泉の No. 49 における静止水頭の変化

Fig. 18. Change of water-head at well No. 49 in Kawayu region.

また No. 61 から 18 m 離れた No. 62 の湧出量は 101 l/min. から 27 分後 95 l/min., 75 分後 89 l/min. に減少した。この場所での温泉水は被圧されているので (No. 49 の静止水頭は地上約 1 m), 被圧層状泉のモデルを考えると, 温泉帯水層の透水量係数 T , 貯留係数 S は次式で与えられる⁴⁾。

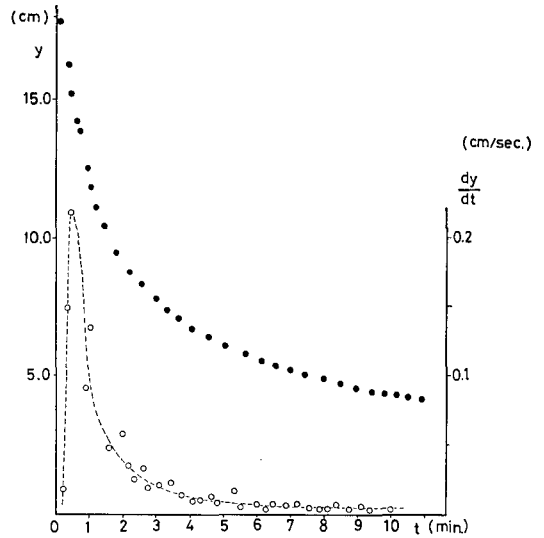
$$\left. \begin{aligned} T &= 1.744 \times 10^{-2} \cdot \frac{Q}{y_0} \\ &\quad [\text{cm/sec}] \\ S &= 6.98 \times 10^{-2} \cdot \frac{Q}{y_0 r} \\ &\quad [\text{dimension less}] \end{aligned} \right\} (5)$$

ここで, Q は揚湯量の変動量, y_0 は観測井中の水頭変化の転向点における値, t_0 は揚湯量を変えたときから転向点までの時間, r は揚湯井と観測井との間の距離である。

第 19 図の水頭 y とその時間的变化 $-dy/dt$ (○印) から $y_0 = 2.115 \text{ cm}$, $t_0 = 17.5 \text{ sec}$ が求まり, $r = 22 \text{ m}$, $Q = 360 \text{ l/min.}$ である

から, (5) を用いて $T = 47.7 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $S = 6.9 \times 10^{-4}$ が求まる。No. 49 の水温の鉛直分布 (第 12 図) から温泉帯水層の厚さを約 20 m と推定すると透水係数は $K = 2.4 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ となる。

第 20 図は No. 60 を観測井として 55 m 離れた No. 26 の湧出量を 74.3 l/min. から 57.3 l/min. に 17 l/min. 減少させたときの水頭変化である。変動量は 0.5 cm と小さく, また工事中の



第 19 図 No. 61 の揚湯量を変化させたときの No. 49 の静止水頭の時間変化 y (●印) およびその時間微分 $\frac{dy}{dt}$ (○印)

Fig. 19. Solid circle show the piezometric head observed at well No. 49 according as change of pumping rate at well No. 61 and open circle show its differentiation with respect to time, in Kawayu.

4) 福富孝治他; 山形県天童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, 18 (昭和 42 年), 1-32.

道路の傍であったため管中水面が振動している。

第 21 図は No. 9 の水頭変化で, 10.8 m 離れた No. 8 の揚湯量をポンプで A で 22.3 l/min. から 38.3 l/min. に, さらに B (A から 22 分後) で 113 l/min. に増加し, C (A から 1 時間 27 分後) で動力による揚湯を停止させた。air lift pump による揚湯であるため揚湯量が安定せず水頭の急激な変化が見られる。この間, 付近の源泉の湧出量を測定したがその変動は測定誤差の範囲内にあった。揚湯井までの距離が極めて近いにもかかわらず水位低下は 1.5 cm と小さい。この原因は, 第 2 図からも判るように, 周囲に源泉が密集して水位低下が他の源泉の湧出量を減少させ No. 8 の揚湯量を変化させたときの効果が緩和されるためであろう。そこで, この場所では漏水のある被圧帯水層のモデルを考えよう。

厚さ b の帯水層の上に半透水性の地層があり, 温泉水はこの地層を通して漏水しているとする (第 22 図 (I))。図 (II) において, 流れが定常状態にあるとき, 源泉の湧出口の高さ H と湧出量 Q とには, 一般に,

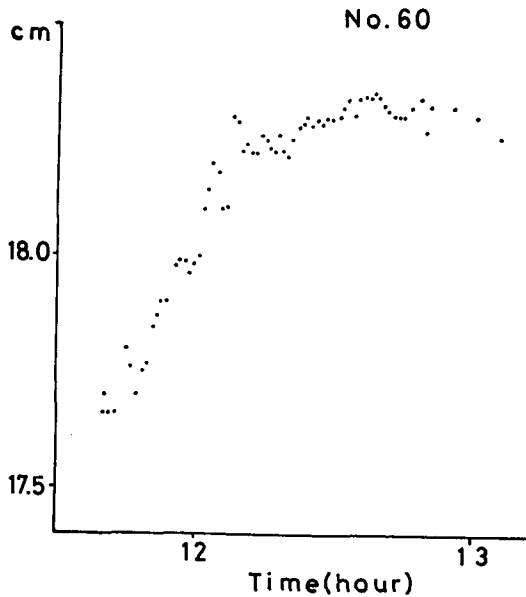
$$Q = (H_0 - H)/Q_0 \quad (6)$$

なる関係がある。ここで, $1/Q_0$ は比例定数であり H_0 は静止水頭である。いま, 帯水層中の水頭分布を $h(r, z, t)$, $r=r$ における平均水頭を $\bar{h}(r, t)$:

$$\bar{h}(r, t) = \frac{1}{b} \int_0^b h(r, z, t) dz \quad (7)$$

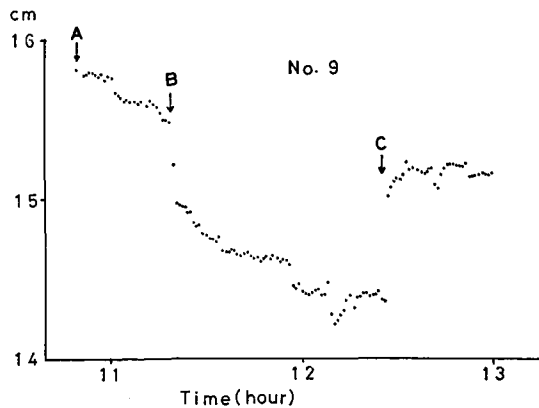
とすれば, 明らかに $H_0 = \bar{h}(r, \infty) + \text{const.}$ であり, (6) は

$$Q = (\bar{h}(r, \infty) - H + \text{const.})/Q_0 \quad (8)$$



第 20 図 No. 26 の揚湯量を減少させたときの No. 60 の静止水頭の変化

Fig. 20. Change of water head at well No. 10 due to decrease of pumping rate at well No. 26, in Kawayu.



第 21 図 No. 8 の揚湯量を変化させたときの No. 9 の静止水頭の変化

Fig. 21. Change of water head at well No. 8, in Kawayu.

と表わされる。図の (I) で、単位面積あたりの漏水量を $q(r)$ とすれば (8) と同様な関係：

$$q(r) = (\bar{h}(r, \infty) - \alpha) / \beta \quad (9)$$

が成立するであろう。ここで、 α は地表面 (漏水している面) の高さに関する定数であり β は地層の状態および温泉水の流動状況によって決まる定数であって一般に場所 (r) の関数である。

いま揚湯井 (半径 r_w) において、 $t=0$ から揚湯量を Q だけ増加させたとき $r=r$ での平均水頭の低下が $s(r, t)$ であるとする。半透水性地層が薄くまた $s(r, t)$ が $\bar{h}(r, \infty)$ に比べて小さいとき $r=r$ における漏水量の減少 $dq(r)$ は (9) から $dq(r) = \gamma s(r, t)$ と表わしてよいであろう。すると $s(r, t)$ は次の方程式を満足する。

$$\frac{1}{\nu} \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} - \frac{s}{B^2} \quad (10)$$

帯水層の透水量係数および貯留係数をそれぞれ T, S とすると $\nu = T/S$, $B^2 = T/\gamma$ であり、 $s(r, t)$ を単に s と書いた。 γ は r の関数であるが揚湯井周辺の狭い領域を問題にするときには (9) の α, β , したがって、 γ は const. と考えてよく、 $B = B_0 = \text{const.}$ とすれば (10) の解は

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(r^2/4\nu t, r/B_0) \quad (11)$$

で与えられる⁵⁾。 $W(u, \beta)$ は漏水のある場合の井戸関数で

$$W(u, \beta) = \int_u^\infty \frac{1}{y} \exp\left(-y - \frac{\beta^2}{4y}\right) dy \quad (12)$$

で定義される。(11) で $t \rightarrow \infty$ とすれば $W(0, \beta) = 2K_0(\beta)$ であるから

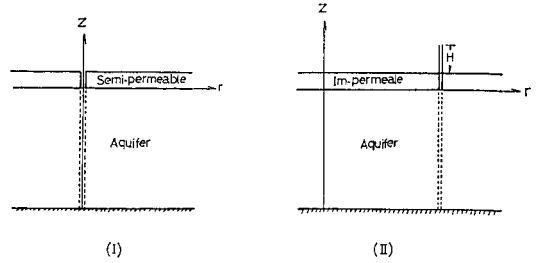
$$s(r, \infty) = \frac{Q}{2\pi T} K_0\left(\frac{r}{B_0}\right) \quad (13)$$

となる。ここで $K_0(\beta)$ は 0 次の第 2 種ベッセル関数である。また漏水のないとき、すなわち $B_0 \rightarrow \infty$ のとき (11) は井戸関数を用いて

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(r^2/4\nu t) \quad (14)$$

となる。 $W(r^2/4\nu t, r/B_0)$ は $W(r^2/4\nu t)$ に比べ小さく値が安定するまでの時間 t は小さい。

No. 9 において自噴を停止させたとき、水頭は 13.6 cm (= s_1) 上昇した。湧出量は 47.9



第 22 図 漏水のある場合の被圧帯水層 (I) および被圧帯水層 (II) のモデル
Fig. 22. The models of confined aquifer (I) and leaky confined aquifer (II).

5) MAHDI S. HANTUSH; Hydraulics of Wells, Advances in Hydrosience volume 1, Academic press.

l/min. (=Q₁), 井戸の口径は 100 mm (=2r₁). また No. 8 の揚湯量を 90.7 l/min. (=Q₂) 増加させたとき 10.8 m (=r₂) 離れた No. 9 の静止水頭は 1.5 cm (=s₂) 低下した。これらの値を用いると次のような方法によって T, B₀ が決定できる:

(13) から

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= \frac{Q_1}{2\pi T} K_0\left(\frac{r_1}{B_0}\right) \\ s_2 &= \frac{Q_2}{2\pi T} K_0\left(\frac{r_2}{B_0}\right) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

したがって

$$K_0\left(\frac{r_1}{B_0}\right) = \frac{s_1}{s_2} \cdot \frac{Q_2}{Q_1} K_0\left(\frac{r_2}{B_0}\right) \quad (16)$$

B₀ をパラメーターとして (16) の左辺および右辺のグラフを描き, その交点から B₀=9.1×10² cm, (15) から T=49.6 cm²/sec と求まる。

IV. 仁伏温泉の調査

第 23 図は仁伏温泉の源泉分布図である。各源泉について, 湧出量, 湧出温度, Cl⁻ 濃度等を測定した結果を第 3 表にまとめた。屈斜路湖の水際に自噴しているもの以外はほとんど利用されていない。No. 5, No. 8, No. 13 の静止水頭は湖水面より 0.5~0.8 m とわずかに高い。湧出温度は 41.0~50.0°C であり, 帯水層中の温泉水の温度は No. 8 が他の源泉より約 1.5°C 高く

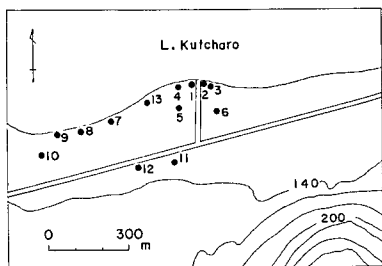
第 3 表 仁伏温泉の一般調査の結果

Table 3. Result of measurement on Nibushi hot spring

温泉 番号	所 有 者	湧出の 状 態	今回 (昭和 45 年 11 月) の測定結果						備 考
			湧出 温度 (°C)	湧出量 (l/min.)	Cl ⁻ 濃度 (mg/l)	静止水頭 (m)	帯水層上 端の深さ (m)	帯水層中 の温度 (°C)	
1	弟子屈管林署	自 噴	45.0	100.6	102.0				湧出量 13.2 は 自然湧出量
2	近 藤 直 吉	"	44.0	{13.2 49.3}	92.0				
3	岩 下 ト キ								
4	白 崎 功 一		41.0	26.1	94.0				
5	阿 部 直 三					+0.6	-16.6	47.4	
6	渡 辺 忠 義								
7	柴 田 茂 雄								
8	小 林 良 一					+0.6	-16.4	49.2	
9	辻谷建設 K. K.	自 噴							
10	成 井 農 林								
11	管 野 正 司		50.0	281.8	104.6				
12	辻 谷 守								
13	竜 神 信 次 郎					+0.8	-18.2	47.8	
						湖水面 よ り	湖水面 よ り		

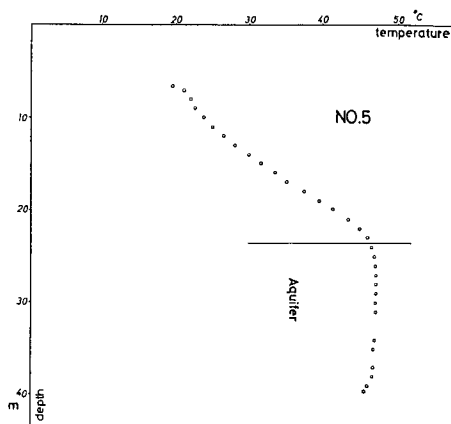
(第3表参照) 温泉水の流れの上流側にあると推定される。また、No. 8の湧出温度は 50.0°C であるが、パイプ上昇途中の冷却を考慮すると帯水層中の温度は 50°C 以上であろう。 Cl^{-} 濃度はいずれも 100 mg/l 前後と極めて低い。

第24~26図はNo. 5, No. 8, No. 13において測定した管中水温の鉛直分布である。これらの源泉は未利用で長い間放置されていたのでその温度分布は地中の温度分布を示すと考えてよい。No. 5では、深さ24 mまで温度が深さと共に増加しているが24~38 mでは温度勾配がほとんど 0°C/m となっている。温泉帯水層では温泉水流動のため温度がほぼ一様に保たれて



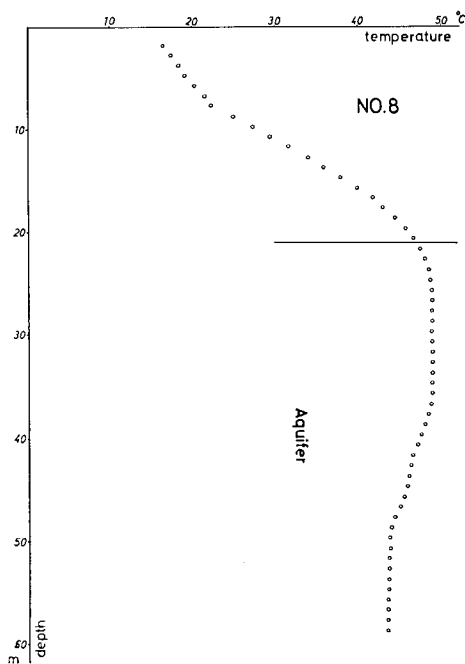
第23図 仁伏温泉の源泉分布図

Fig. 23. Geographical distribution of hot spring in Nibushi region.



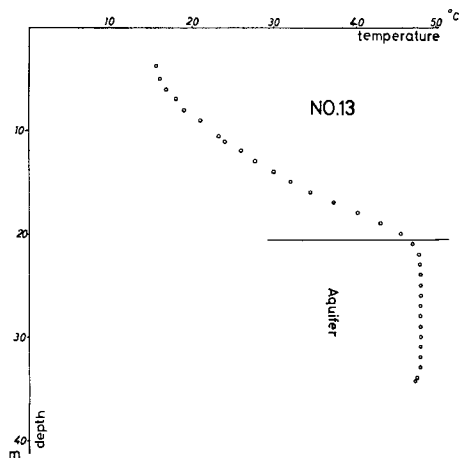
第24図 仁伏温泉 No. 5における管中水温の鉛直分布

Fig. 24. Vertical temperature distribution in well No. 5 in Nibushi.



第25図 仁伏温泉 No. 8における管中水温の鉛直分布

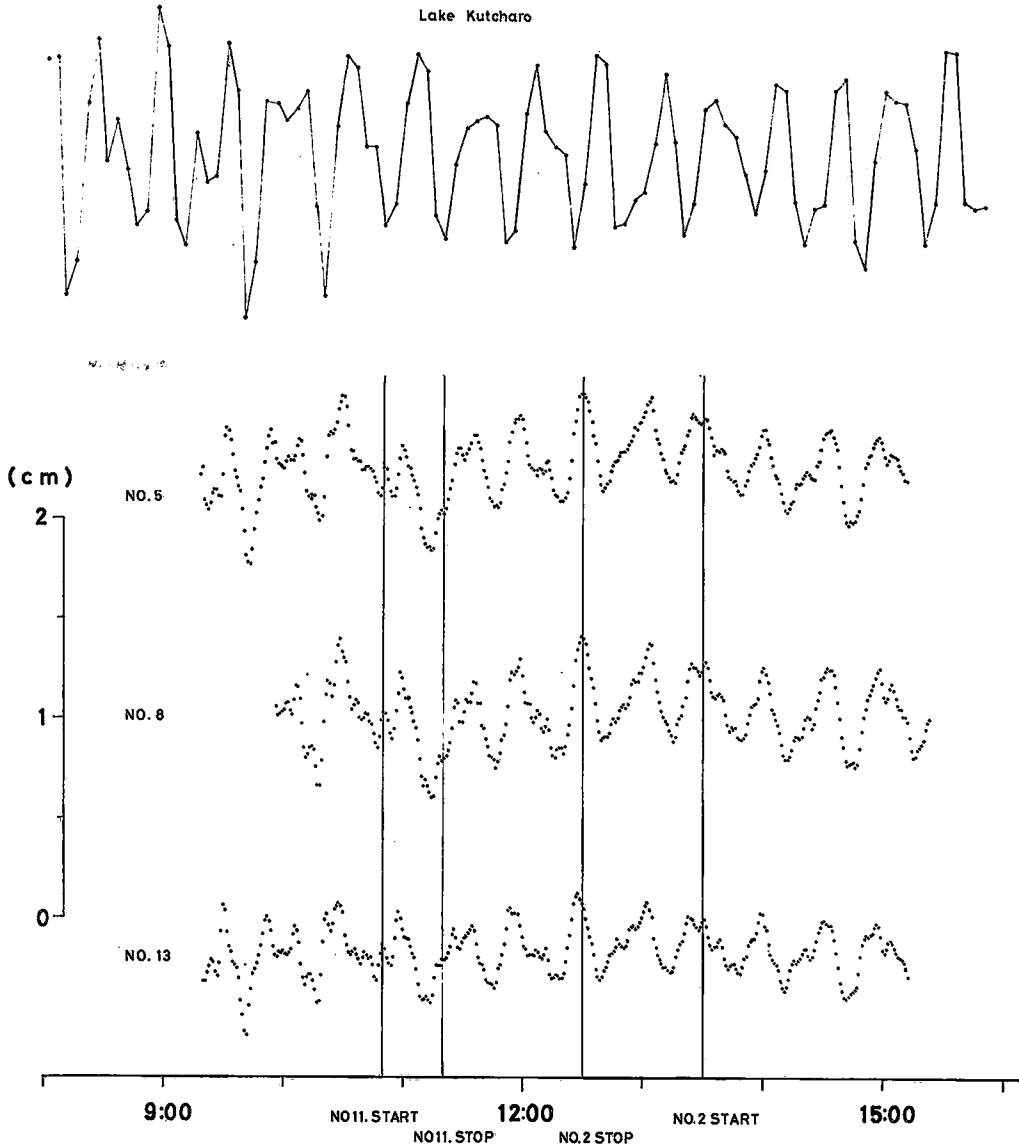
Fig. 25. Vertical temperature distribution in well No. 8 in Nibushi.



第26図 仁伏温泉 No. 13における管中水温の鉛直分布

Fig. 26. Vertical temperature distribution in well No. 13 in Nibushi.

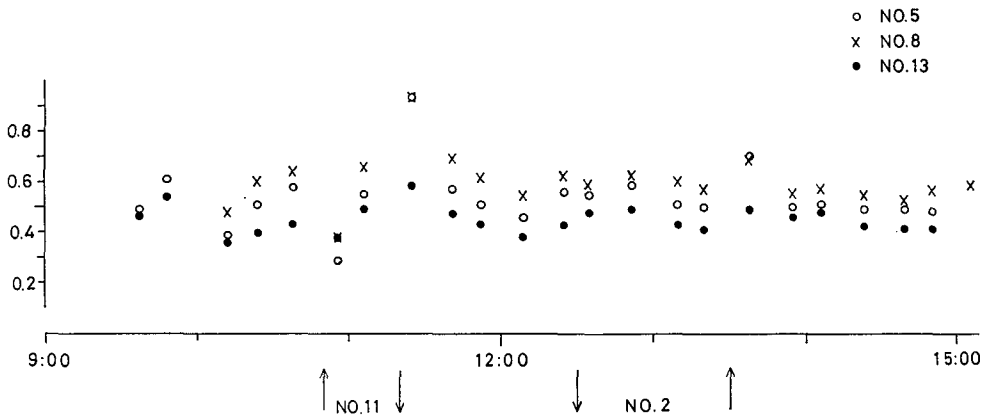
いることが多く、この24 m以深の地層は温泉帯水層と推定される。No. 8 では温度変化のない地層が21~38 m および50 m 以深にあり、その温度は49.2°C, 43.5°C と前者が5.7°C 高い。これは温泉水が帯水層中を流下するとき、温度の高い軽い水が上層に集まりより安定な状態になったと考えられる。水温の鉛直分布から推定した温泉帯水層上端は第3表のように湖水面下16~18 m にある。



第27図 屈斜路湖の水位変化および仁伏温泉 No. 5, No. 8, No. 13 における静止水頭の変化

Fig. 27. Variation of water head in wells No. 5, 8 and 13 in Nibushi according as variation of water level of the Lake Kutcharo.

影響調査のため、No. 5, No. 8, No. 13 において温泉の静止水頭の変化、また屈斜路湖の水位の変化を測定した (第 27 図)。湖の水位測定には減水位記録計を使用し記録から 5 分間隔に読み取りプロットした。図中に記入されている時刻で揚湯量を変化させたが湖水位の変化による変動と重なりその影響はよく判らない。湖の水位変化が源泉の変化より遅れているが、これは水位計の応答に遅れがあるためであろう。そこで水位変化の、それぞれ対応する山と谷との差を読み取り、湖の水位変動を基準にしたときの各源泉の変動を調べると第 28 図のようになって、No. 11 の揚湯を停止したときわずかに水位上昇が認められる程度でそれ以外一般的な傾向が見られない。なお第 28 図で横軸は読み取った山と谷の中間の時刻が取ってある。



第 28 図 仁伏温泉 No. 5, 8, 13 における静止水頭の変化と屈斜路湖の水位変化との比

Fig. 28. Ratio of water head variation in wells No. 5, 8 and 13 to water level of L. Kutcharo.

V. 総括および結語

昭和 45 年 11 月 12 日～20 日にわたって川湯温泉および仁伏温泉において地球物理学的調査を実施した。その結果およびそれに対する考察結果をまとめると次のようになる。

川湯温泉について

(1) 川湯温泉は源泉 A (温度 65°C , Cl^- 濃度 $1,680 \text{ mg/l}$), B (温度 52.5°C , Cl^- 濃度 $1,800 \text{ mg/l}$) と、温泉水と地下水との境界付近にこの地域全般に存在する C (温度 42.0°C , Cl^- 濃度 $1,000 \text{ mg/l}$) との混合の結果生じた温泉である。

(2) 1 m 深地温の高温部は温泉湧出地域およびその周辺部さらに硫黄山にかけての地域に帯状に拡がっている。また電気探査の結果から推定された温泉水が存在する地域の境界は第 11 図の 1 点鎖線で示されており、1 m 深地温の 10°C の等温線とほぼ一致している。さらに川湯地方の normal な 1 m 深地温が約 10°C であることを考慮すると温泉水は 1 m 深地温が 10°C 以上の値を示す地域に拡がっていると推定できる。その流動方向は湧出口の高さの分布から、

山側から平野部に向かうと推定される。

(3) 温泉水は地下水の上層部において湧出地域では被圧されている。揚湯試験の結果から、この地域西部では被圧層状泉の理論を用いて透水量係数および貯留係数をそれぞれ $47.7 \text{ cm}^2/\text{sec}$, 6.9×10^{-4} と求めた。また東部では漏水のある場合の被圧層状泉の理論を考えその定数を透水量係数 $T=49.6 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $B_0=9.1 \times 10^2 \text{ cm}$ と求めた。

(4) 昭和27年10月および昭和30年10月に福富孝治他が調査した結果と比較すると、温泉湧出地域の1m深地温は約 10°C 程低下し高温部の面積も減少し、湧出温度もやや減少の傾向を示している。また一部の源泉では自噴停止または湧出量減少のため動力によって揚湯するようになった。これらは明らかに温泉湧出地域において水頭が低下し温泉水の勢力が弱まったことを示している。

仁伏温泉について

(5) 湧出温度は $41.0 \sim 50.0^\circ\text{C}$ であり、 100 mg/l 前後の Cl^- 濃度の低い温泉である。温泉水は被圧されておりその静止水頭は屈斜路湖水面より $0.5 \sim 0.8 \text{ m}$ 高く湖の水位変化にしたがって変動している。さく井中の水温の鉛直分布の測定結果から温泉帯水層の上端は湖水面下 $16 \sim 18 \text{ m}$ にあると推定された。

本調査は北海道受託研究費により、また一部弟子屈町の補助をいただいた。調査結果をまとめるに際して、福富孝治教授を始め地球物理学教室の皆様適切な助言をいただいた。厚く感謝致します。

3. A Geophysical Investigation on Kawayu and Nibushi Hot Springs, Hokkaido

By Koichi URAKAMI, Sakae ÔTSUKI, Ryuichi TANOUE,
Shigeyoshi KODOMARI, Yoshiaki SEGAWA,
Yûichi TAKAKURA, Yasuo ICHIKAWA,
Kazutaka UCHIDA, Shinichi URANO
and Hirokazu TAISHI

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

A geophysical investigation on Kawayu and Nibushi Hot Springs was carried out from November 12 to 20 and the results are as follows:

(A) On Kawayu Hot Springs

(1) The relation between temperature and Cl^- -content (Fig. 7) suggests that the hot springs are mixture of three different types of original water: A (Temp. = 65°C , $\text{Cl}^- = 1,680 \text{ mg/l}$), B (Temp. = 52.5°C , $\text{Cl}^- = 1,800 \text{ mg/l}$), C (Temp. = 42.0°C , $\text{Cl}^- = 1,000 \text{ mg/l}$, existing in the whole region of boundary layer between hot water and deeper-cold, water.)

(2) Higher temperature zone deduced from the measurement of temperature at 1 m depth is located in the hot spring region. As the normal temperature at 1 m depth in this region have the value of 10°C, it seems that hot water extends to the area of higher value than that. This area is almost consistent with the extent of hot water obtained by the electrical resistivity prospecting (Fig. 11).

(3) Hot water flows through the confined or semi-confined aquifer above ground water. From pumping test, the transmissibility and storage constant in the western part are calculated to be 44.7 cm²/sec, 6.9×10^{-4} , respectively, and an application of the leaky aquifer model to the eastern part leads to $T=49.6$ cm²/sec and $B_0=9.1 \times 10^2$ cm in the equation of (11).

(4) Comparing the previous results (K. FUKUTOMI et al. 1952, 1955) with ours, it is found that in the central part of the hot spring region the temperature at 1 m depth decreased by 10°C and the higher temperature has a tendency to be smaller and also the temperature of hot springs lower. In several wells hot water is compelled to be pumped up by reason of the decrease of water head. These suggest that the piezometric head of hot water has been lower and hot springs have been gradually exhausting.

(B) On Nibushi Hot Springs

(5) The temperature of discharged hot water is the ranges from 41.0°C to 50.0°C and the Cl⁻-content is about 100 mg/l. Water level in the wells (0.5~0.8 m high above the water level of L. Kutcharo) is affected by the fluctuation of the lake level. From the vertical temperature distributions in several bore holes, it is supposed that the upper boundary of the confined aquifer is from 16 m to 18 m under the water level of the lake.