HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	4. 川湯温泉の地球物理学的研究
Author(s)	福富, 孝治; 須川, 明; 藤木, 忠美
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 4, 39-64
Issue Date	1956-03-31
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.4.39
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13802
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_p39-64.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

4. 川湯温泉の地球物理学的研究*

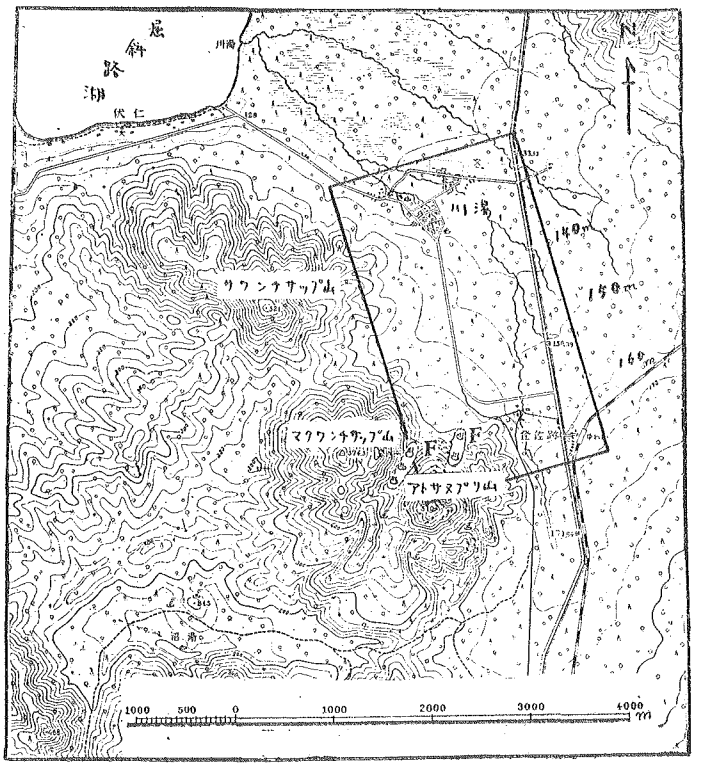
福富孝治・須川　明・藤木忠美

（北海道大学理学部　地球物理学教室）

—昭和31年1月受理—

I. 序　　言

川湯温泉（北海道川上郡弟子屈町字川湯）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，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つている（第1



第1図　川湯温泉付近の地形
枠内の区域は第12図の範囲，Fは硫黄山（アトサヌプリ）
北側の噴気口

* 昭和29年10月及び昭和30年12月の北大理，地球物理学教室談話会 No. 1, No. 3 において発表

図)．硫黄山は地質学的に最も新しく[1]，現在も多くの噴気口があるが特に硫黄山北側にある2脈の噴気口群は活動的である．川湯温泉は天然あるいは0～20 mの浅いボーリング口から自噴し，温度は40～65° C, pHは1.0～2.2で強酸性を呈し，湧出口によつては附近に硫黄を沈澱している．温泉地域の地質は場所によつて多少の相違はあるが，凡そ1～2 mの表土の下に凝灰岩質の地層があり，温泉はこの中から湧出する．天然温泉の湧出場所の多くは湯の川によつて侵蝕せられた低地にあり，凝灰岩質地層の上には表土を欠き温泉沈澱物と思われる薄く硬い殻で覆われている場合もある．

川湯温泉の地学的研究は極めて少なく，筆者らの知る限りでは，福富忠男博士[2]の調査がある程度であり，多くの温泉湧出口について綜合的に調査されたものもなく，また川湯温泉と硫黄山噴気口との関係などは全く不明であつた．それで，昭和27年10月4～6日及び昭和30年10月25～28日の両回に亘つて川湯温泉の調査並びに川湯から硫黄山に至る間の3 km² の面積に対し深さ1 mの地温調査を行つた．第1回の調査では主として温泉の調査を行い，第2回の調査で主として地温調査を行つた．

本論文はこの測定結果と多少の考察を述べたものである。

II. 調査の内容，測定法及び結果

1) 温泉及び地下水の調査

川湯温泉地域には微小な天然湧出口まで数に入れると，凡そ60以上（川底から水中に湧出するものも相当数あると思われるが不明である）の湧出口がある．その中約半数がボーリングによつて得られた温泉である．49の主要な湧出口について次の9項目の測定を行つた．

a) 湧出口の高さ（測量原点（BM-0）の高さを0とした値）

b) 湧出温度

c) 湧出量

（温泉は強酸性であるため，鉄管等は使用せず掘りつぱなしになつている．また湧出口から浴場までの送湯は木製の樋を使用している．従つて，湧出量はこの樋の長さ1 mを流れる平均流速と断面積とを測定して概値を求めた．）

d) 孔の深さ（ボーリングの場合）

e) 孔底温度（遅感最高温度計を孔底に吊下げて測定した）

f) pH（島津ポケット型アンチモン電極pHメーターを使用して現地にて測定）

g) Cl' 含有量（重晶で中和し別報[3]の方法によつた）

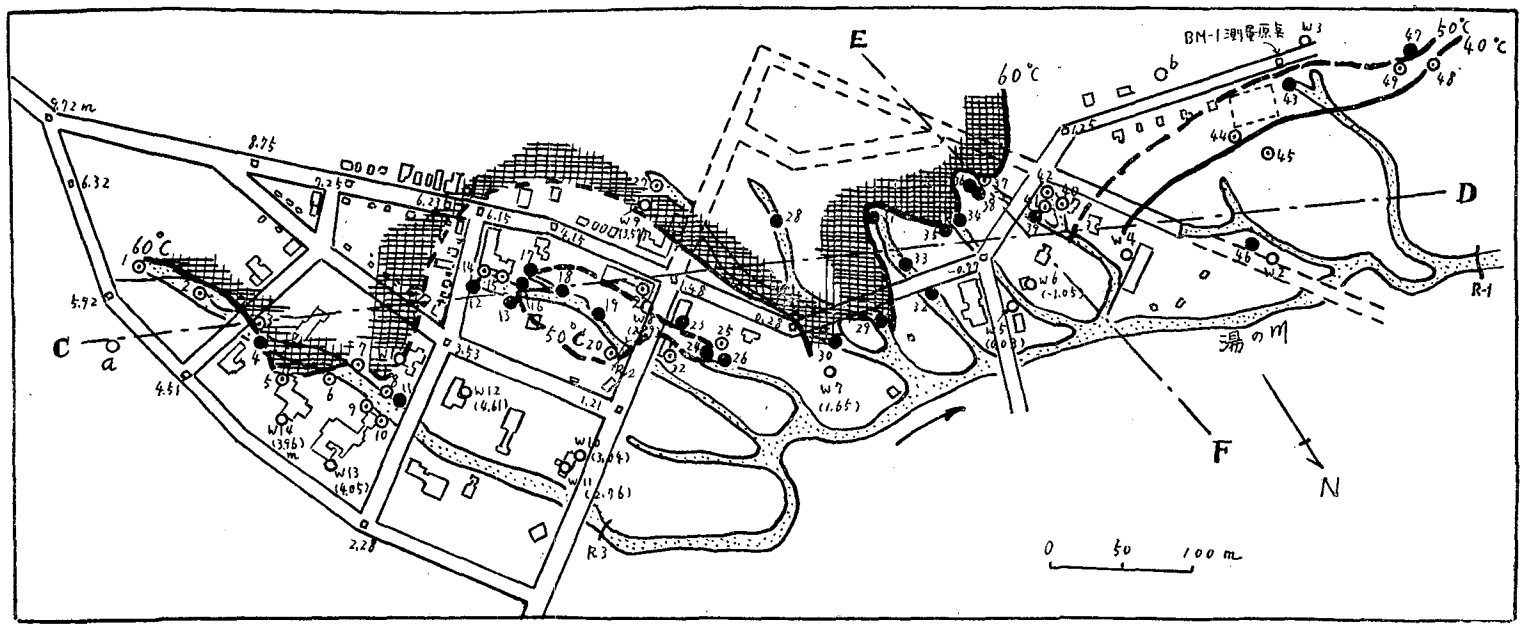
h) 総 SO_4'' 含有量（アンモニアで中和し別報[3]の方法によつた）

---

1) 石川俊夫； アトサヌプリ附近の火山地質，北海道火山温泉談話会 No. 6 例会（昭和30年10月15日）

2) 福富忠男； 地中水並びに温泉に就て，十勝沖地震調査報告（1954）295.

3) Takaharu FUKUTOMI, On the hot springs of Atami, Izu peninsula, Bull. Earthq. Res. Inst. 15 (1937), 113.



第2図　川湯温泉における湧出口の分布　（黒丸は天然湧出温泉，二重丸はボーリングによる温泉，白丸はボーリングによる自噴地下水，丸に付けた数字は第7表中の番号，太い線は湧出温度の等温線，影をつけた区域は湧出温度が60° C 以上の部分）

i) $H^{\cdot}$ 含有量（少量のフェノールフタレインを加えてNaOH溶液で滴定）

測定した湧出口の位置は第2図に示した．図中，黒丸は天然湧出の温泉，二重丸はボーリングによる温泉である．温泉地域では温泉の湧出する層をつきぬけて深く掘ると地下水が得られる．地下水は鉄管によつて湧出させているが，水圧高く地上数10 cmから2 m位の高さまで自噴している．これらの地下水についても温泉同様の調査を行つたが，更に静止水頭高の測定も行つた．温泉，地下水についての測定結果は第1表の通りであつた．第2図中の湧出口に付けた数字は第1表の測定番号で，地下水にはWなる記号を，川についての測定値（湧出量の欄にある数字は流量である）にはRなる記号を，硫黄山北側の噴気孔にはSなる記号を付けて示した．

2) 深さ1 mの地温の測定

地温の測定方法については別報[4]に詳細に述べたから省略する．地温測点の中，十数測点においては地温の鉛直方向の勾配をも測定した．

第1表 川湯温泉並びに地下水に対する測定結果

（昭和27年10月4～5日及び昭和30年10月26～27日の測定）

番号	所有者	深度 (m)	湧出口の高さ (m)**	湧出量 (l/min)	湧出温度 (°C)	孔底温度 (°C)	Cl' 含有量 (g/l)	総量 SO_4'' (g/l)	$H^{\cdot}$ 含有量 $\times 10^{-4}$ (g/l)	pH	備考
1	横田玉市	8.5 (1.5)	3.59	—	60.5 (62)	60.2 (62.0)	1.44 (1.56)	3.95 (4.04)	5.01	2.3	口径20 cm，S沈澱
2	中島政雄	7.9 (2.1)	3.45	—	55.0 (61.0)	62 (61.0)	1.49 (1.55)	4.03 (4.06)	5.10	1.9	S沈澱
3	太平洋炭鉱保養所	9.6	3.14	—	61.0	63.3	1.43	4.12	5.13	1.7	口径20 cm，S沈澱
4	中島政雄	N	—	—	58.5	—	1.48	3.56	4.75	1.8	
5	高田敏男	12.0	3.07	28	60.5	61.3	1.45	3.97	4.96	2.0	
6	鉄道保養所	1.6	2.74	12	59.5	59.5	1.32	3.71	4.55	1.7	
7	太平洋炭鉱保養所	21？	3.76	—	59.0 (57.3)	—	1.36	4.25	4.70	1.6	
8	田中丑蔵	0.9	2.46	68 (60)	60.0 (58.5)	60.0	1.45 (1.47)	4.25 (4.16)	4.94	1.5	
9	鉄道保養所	0.6	1.73	—	—	59.0	1.40	4.00	4.56	1.3	
10	郵政局保養所	1.1	0.63	—	57.3	57.0	1.35	3.68	4.65	1.0	
11	鈴木豊松	N	0.55	—	58.0	—	1.37	4.07	4.68	1.7	
12	高野芳次郎(元)	N	—	— (6)	(60.4)	—	— (1.44)	— (4.56)	—	—	
13	同上(元)	N	—	37 (26)	56.6 (59.1)	—	1.33 (1.43)	3.22 (4.80)	4.44	2.0	
14	聚楽館	B	—	— (11)	(56.7)	—	— (1.46)	— (4.68)	—	—	
15	同上	4.3 (7.1)	—	— (25)	54.0	53.5 (53.8)	1.26 (1.37)	3.50 (4.44)	4.32	1.2	
16	不明	N	—	— (20)	(45.2)	—	— (1.20)	— (3.81)	—	—	

4) 福富孝治； 1 m深の地中温度より温泉探査の可能性について，北大地球物理学研究報告 1 (昭和26年)，1.

番号	所有者	深度 (m)	湧出口の高さ (m)**	湧出量 (l/min)	湧出温度 (°C)	孔底温度 (°C)	Cl' 含有量 (g/l)	総量 SO_4'' (g/l)	H^+ 含有量 $\times 10^{-4}$ (g/l)	pH	備考
17	不明	N	1.78	17	48.2 (56.5)	—	1.31	3.45	5.05	1.6	
18	同上(廃泉)	N	1.27	—	45.0	—	1.26	3.50	4.27	1.3	
19	所有者なし	N	—	量稍多	(40.0)	—	—	—	—	—	
20	小泉碧	9.4	− 0.89	136 (120+)	43.5 (48.5)	— (48.5)	0.93 (1.15)	2.43 (3.41)	2.99	2.2	
21	榎本周蔵	(2.5)	—	—(54)	(54.6)	— (55.4)	— (1.43)	— (4.20)	—	—	
22	北海道電力保養所	16.7 (14.8)	− 0.67	25(17)	54.1 (57.0)	55.0 (57.3)	1.21 (1.39)	3.42 (4.28)	4.13	1.4	
23	郵便局	N	—	— (9)	(53.0)	—	— (1.47)	— (4.52)	—	—	
24	共同浴場	N	− 1.99	—	48.0	—	1.29	3.58	4.33	1.0	3, 4 カ所湧出
25	廃井(同上)	(14.6)	—	—(16)	—	— (58.0)	— (1.43)	— (4.40)	—	—	
26	営林署担当区	N	− 1.39	—	55.0 (52.0)	—	1.50	4.07	5.17	1.0	
27	稲田実	10.8	+ 1.96	17(44)	63.9 (66.0)	65.0	1.59 (1.65)	4.21 (5.20)	5.37	1.3	
28	不明	N	—	—	65.0	—	1.60	3.95	5.46	1.1	S35°E の割れ目に沿う湧出口 3 の中最北
29	不明	N	− 1.35	—	60.6	—	1.60	4.01	5.45	1.5	
30	不明	N	− 2.07	—	62.5	—	1.49	4.10	4.96	1.5	
31	根津文男	N	− 0.22	—	59.5	—	1.56	3.95	5.32	1.4	
32	同上	—	− 1.62	37	55.2	—	1.53	4.25	5.33	1.4	
33	不明	N	− 1.50	—	57.5	—	—	—	—	—	
34	岩本松治	—	− 0.62	30(84)	61.5 (62)	—	1.52 (1.74)	3.70 (4.90)	5.25	1.4	
35	佐々木松之助	—	− 0.62	30(16)	59.0 (62.0)	—	1.54 (1.66)	3.68 (4.60)	5.10	1.1	
36	原田英隆	—	− 1.80	35	55.8	—	1.51	4.20	5.08	1.6	
37	沼館助三郎	7.2 (7.2)	—	28(55)	60.0 (61.0)	59.5	1.53 (1.62)	3.54 (4.50)	5.16	2.0	
38	紺野惣右工門	0.3	− 1.80	21	59.5	—	1.54	3.74	5.06	1.0	
39	雄別炭鉱保養所	N (1.3)	− 1.68	52 (293)	55.4 (61.0)	— (61.0)	1.44	3.73	4.81	1.7	
40	津田寅文	B(埋没)	− 0.97	—	55.8	—	1.47	3.59	4.99	1.4	
41	笠井文夫	7.9	− 1.44	37	58.0	56.8	1.52	3.77	4.92	1.8	
42	岩崎巖二	5.0 (4.5)	− 1.44	12	58.5 (61.0)	59.3 (61.0)	1.49	3.66	5.13	1.7	
43	寺尾善蔵	N (1.4)	− 1.42	多量(48)	44.1 (55.0)	—	1.07	2.90	3.58	1.8	
44	同上	1.5 (1.7)	− 0.87	—	— (46.1)	46.0 (46.1)	0.931	2.50	2.96	1.8	
45	同上	2.7	− 1.45	296 (甚多量)	37.0 (37.0)	37.0	0.684	1.92	2.06	2.0	
46	同上	—	− 3.44	—	14.7	—	0.180	0.372	0.17	5.0	
47	繊維工場(廃)	—	− 2.73	—	51.8	—	1.23	3.43	3.98	2.2	
48	同上(廃)	1.3	− 2.36	—	—	34.1	0.606	1.61	1.84	2.1	
49	同上(廃)	B	—	—	44.5	—	—	—	—	—	
R-1	川の最下流部	—	—	10.3×10^3	34.3	—	1.08	2.76	3.55	—	R は川水

番号	所有者	深度 (m)	湧出口の高さ (m)**	湧出量 (l/min)	湧出温度 (°C)	孔底温度 (°C)	Cl' 含有量 (g/l)	総量 SO_4'' (g/l)	H^+ 含有量 $\times 10^{-4}$ (g/l)	pH	備考
R-2	川（No. 20 の下流）	—	—	0.58×10^3	—	—	—	—	—	—	
R-3	川（No. 11 の下流）	—	—	2.0×10^3	42.1	—	1.35	3.16	4.12	1.2	
S-1	（硫気口中の溜水）	—	—	流出せず	(95.8)	—	— (0.03)	— (1.40)	—	—	鉱山寄硫気孔列最上部
S-2	（〃 S-1 の附近）	—	—	流出せず	(99.2)	—	— (0.06)	— (2.08)	—	—	〃
S-3	（硫気口中の雨水の溜水）	—	—	流出せず	(95.9)	—	— (0.06)	— (6.52)	—	—	硫黄山麓硫気孔列最下部
W-1	田中丑蔵	70.9	+ 4.21	—	19.2	19.2	0.009	0.039	—	7.0	W は掘抜井戸，皆自噴井である
W-2	寺尾善蔵	<27*	− 1.94	—	7.5	—	0.009	0.090	—	7.1	静止水頭地面上約 1m
W-3	共同井戸	2.9	+ 1.21	—	14.3	14.3	0.228	0.442	0.41	2.4	普通の掘井戸，水深 66 cm
W-4	雄別炭鉱保養所	32.0	− 2.17	43	—	12.0	0.011	0.109	—	6.6	口径 3.5 吋パイプ静止水頭地面上 181cm
W-5	久野トヨ	29.7	− 1.67	85	—	13.3	—	—	—	6.4	口径 4 吋パイプ静止水頭地面上 170cm
W-6	佐々木松之助	25	− 3.09	191	—	11.8	—	—	—	6.2	静止水頭地面上 204cm
W-7	五月女十次郎	—	− 0.64	13	7.5	—	0.027	0.045	—	7.1	〃 229cm
W-8	榎本周蔵	42*	+ 0.99	—	11.0	—	—	—	—	7.4	〃 190cm
W-9	稲田実	—	+ 3.57	8	13.5	—	0.013	0.090	—	7.5	〃 0cm
W-10	河津繁松	—	+ 1.46	—	—	—	—	—	—	—	〃 154cm
W-11	鈴木豊松	80*	+ 1.30	57	7.0	—	—	—	—	7.3	〃 146cm
W-12	太平洋炭鉱保養所	—	+ 2.17	—	14.5	—	0.004	0.085	—	7.7	〃 244cm
W-13	鉄道保養所	60*	+ 3.05	—	12.5	—	0.008	0.086	—	7.2	静止水頭地面上 100cm
W-14	高田敏男	54*	+ 3.89	—	—	—	0.012	0.106	—	7.2	〃 6.6cm
W-15	不明	—	—	—	12.5	—	—	—	—	6.1	

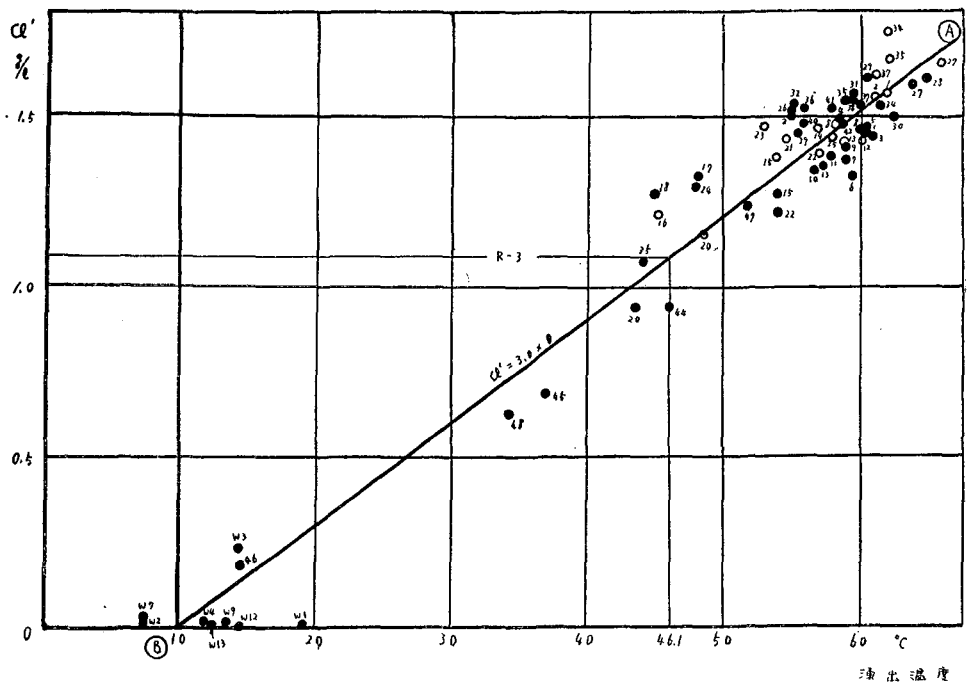
注意； N は天然湧出，B または深度の行に数字にて記入せるものはボーリングによるもの．各欄の数字中括弧のないものは昭和 27 年 10 月 4～5 日の測定，括弧中の数字は昭和 30 年 10 月 26～27 日の測定値．pH の値は温度更正を加えない値．* は聞きこみの深度，** は No. 43 附近の道路面を 0 とした場合の各湧出口の高さ（昭和 27 年 10 月の測定）．

III. 川湯温泉における湧出温度の水平分布並に泉温，主要泉質相互間の関係

1) 泉温の水平分布

温泉の湧出温度の水平分布を調べるために 60°，50°，40° C の等温線を第 2 図に記入した．

図から判るように，温度は川湯市街の南側に高く最高 65°～66° C を示し，北側特に北西側で温度が低い．しかし，中央部の湧出口 No. 19, 20 附近では温度がやや低いところがある．これは，No. 18, 19 の中間に地下水が天然に湧出する場所があり，この地下水が深さの浅い温泉層中に浸潤しているためであると思われる．



第 3 図　Cl′-含有量と湧出温度との関係　（黒丸・白丸は夫々昭和 27 年及び昭和 30 年の測定値，丸につけた数字は第 1 表中の番号）

2)　泉温，主要泉質相互間の関係

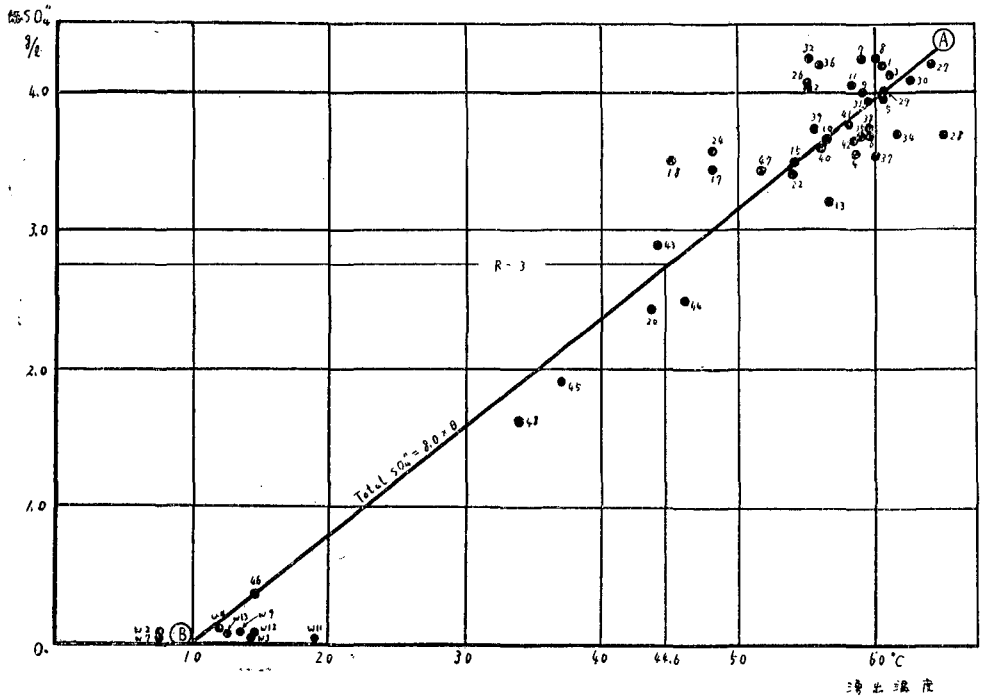
第 3 図において横軸に各湧出口の湧出温度をとり縦軸にそれに対応する Cl′ 含有量をとつて第 1 表の温泉及び地下水の実測値を黒点（昭和 27 年の値）及び白丸（昭和 30 年の値）で示した．先ず昭和 27 年の測定値だけについてみれば，Cl′ 含有量と湧出温度との関係は近似的に直線的関係を示しており，前報[5]に述べたように，この場合は図中で A なる源温泉と B なる普通の地下水とが混合して生じた最も単純な場合であることが判る．この関係は総 SO_4'' 含有量と湧出温度との関係（第 4 図），$H^{\cdot}$ 含有量と湧出温度との関係（第 5 図），総 SO_4'' 含有量と Cl′ 含有量との関係（第 6 図）においても全く同様である．これらの関係を近似的に実験式で示せば次のようである．

$$\left.\begin{aligned} Cl' &= 3.00\times10^{-2}\cdot\theta\text{(単位 g/l)} \\ \text{総 } SO_4'' &= 8.00\times10^{-2}\cdot\theta\text{(単位 g/l)} \\ H^{\cdot} &= 1.02\times10^{-5}\cdot\theta\text{(単位 g/l)} \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

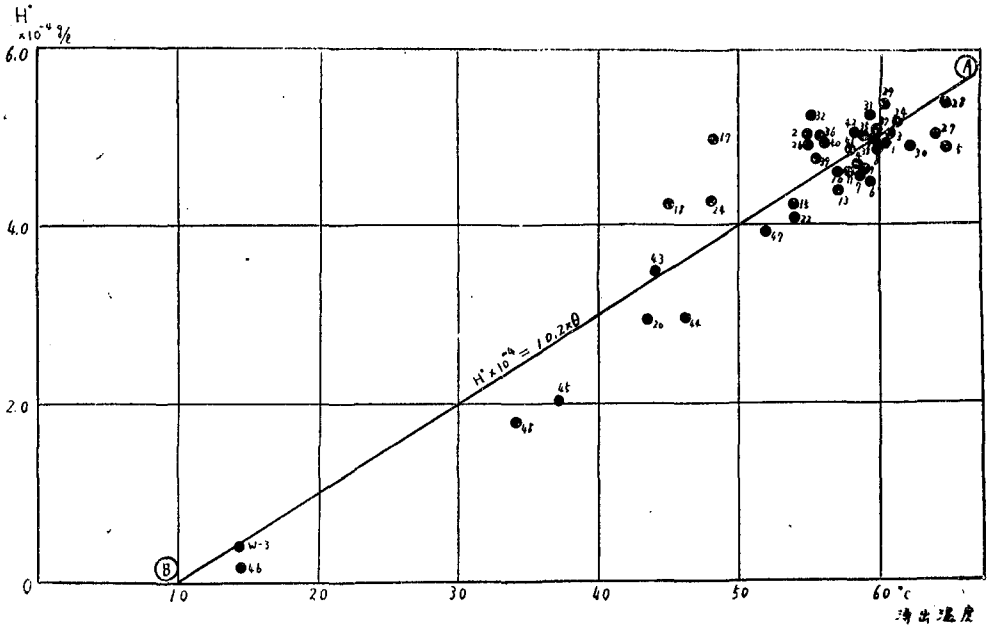
5)　福富孝治；　地域的な温泉系統とそれより推定した地下構造，地震 **14**（昭和 17 年），127.

但し，θ は温泉の湧出温度で10° C を基準として測つた度数である．

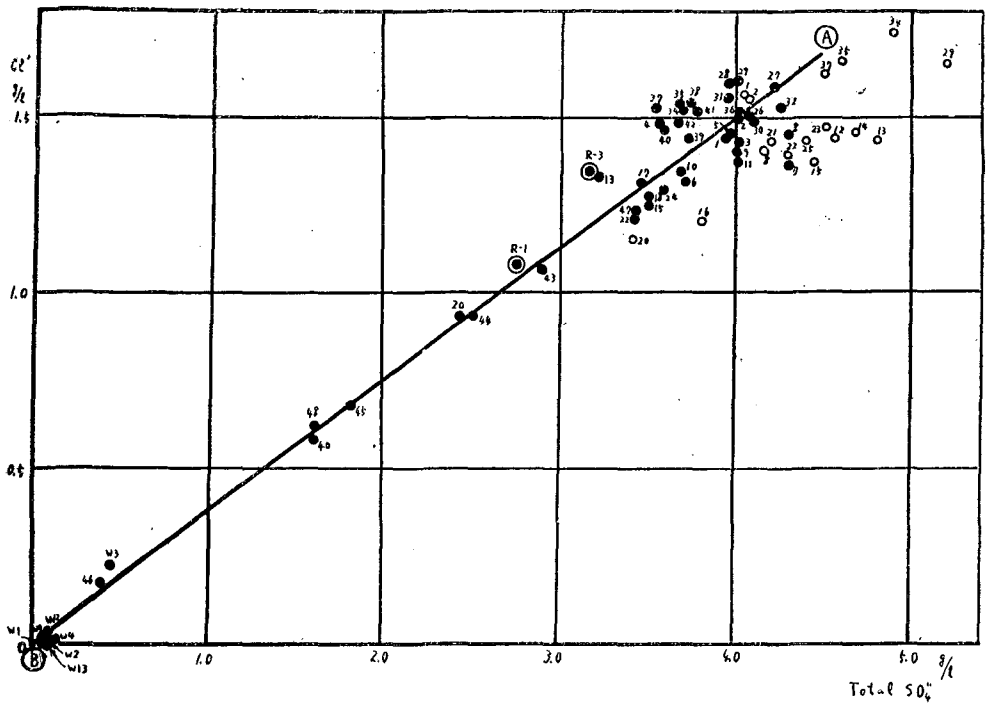
この源温泉 A はこれらの直線の延長上温度が高く化学成分の多い側にあることは判るが，それが如何なる温度，成分のものであるかは判らない．(1) 式を満足し温度が66° C 以上である



第4図　総 SO_4''-含有量と湧出温度との関係



第5図　H^+-含有量と湧出温度との関係



第6図　Cl'-含有量と総 SO_4''-含有量との関係

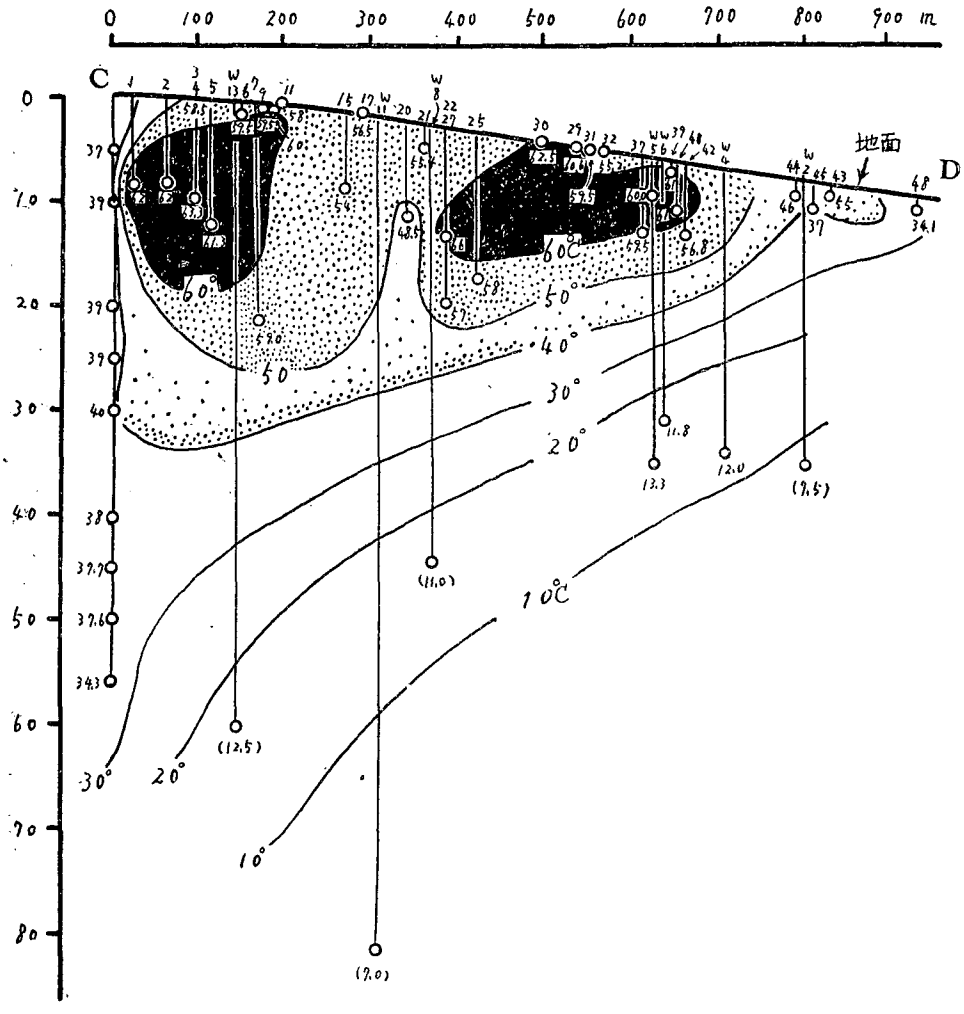
ことを知るのみである．地下水Bは温度が凡そ10°Cで，$Cl' \fallingdotseq SO_4'' \fallingdotseq 0$ なる性質があり，川湯温泉の湧出層の下層や温泉地域の周辺に見られる普通の地下水である．

IV. 川湯温泉地域の地温の垂直分布と地下構造

1)　ボーリング孔の底の温度はその深さの地温と考えて差支えない．第2図においてCD, EFなる2鉛直断面を考え，その面の両側120 mの範囲にある温泉及び井戸をそれらの面に投影してその孔底の深さに孔底温度を記入し（第7図及び第8図），10°C隔きに等温線を引いた．図中括弧を付けた数字は，深さは測定できなかつたがその深度が聞込みによつて判つた穿井で，湧出温度と孔底温度との差は小さいと仮定して湧出温度をそのまま記入したものである．

両図から判るように，地温が40°以上である区域は場所によつて多少違いはあるが，地面下30～40 mまでの範囲であり，それより深くなると急に地温は低下して10°C位になつて了う．このように浅い所で高地温を示す原因は地下2～30 m位の範囲に南方から略々水平に温泉が帯状の被圧層状泉として，この地域の地下に流入していることによると思われる．第7図はこの帯状層状泉の流動方向に対し斜めに切つた断面であり，第8図は大略この流動方向に切つた断面になつている．

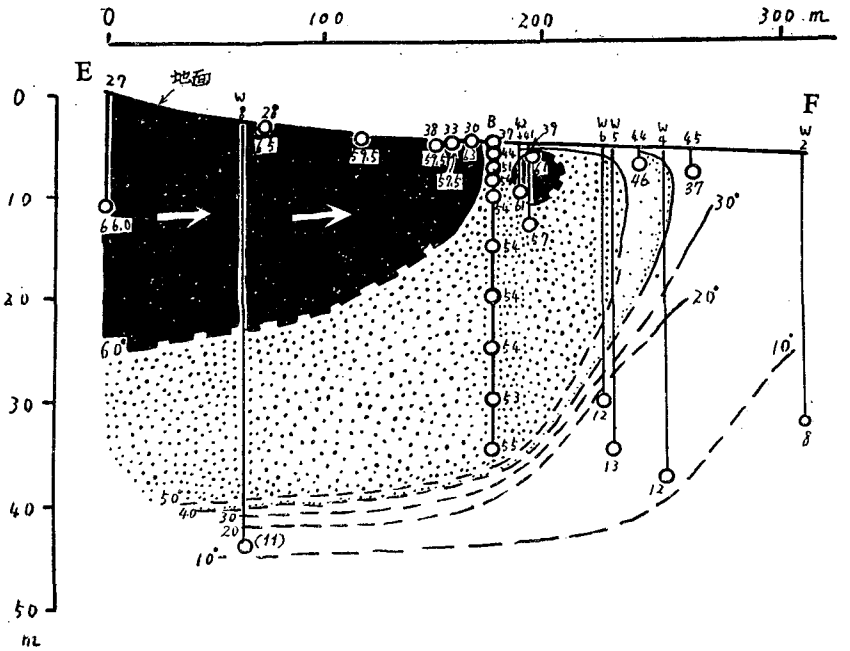
この流動方向を示す事実は2つある．前章に述べたように，川湯温泉は湧出温度や主要泉質から見て源温泉Aと普通の地下水Bとが種々な割合で混合した結果生じたものと考えられるが，源温泉Aに近い湧出口ほど温度高く，塩素イオン総硫酸イオン等の含有量が大である．従



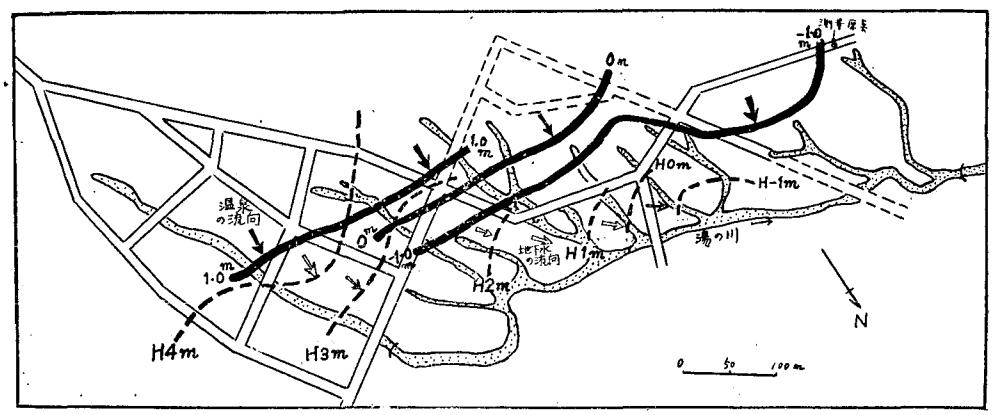
第7図 第2図中CD鉛直断面における地中温度の分布

つて，例えば第2図の湧出温度の水平分布図において湧出温度が高い所すなわち温泉地域の略々南側ほど源温泉に近いと言える．

今1つの手がかりは温泉の静止水頭高の地理的分布である．川湯温泉では酸性が強いため湧出口には全然鉄管を使用していないので静止水頭の測定はできなかつたが，その湧出状況から見て，静止水頭は2～3の場合を除けば湧出口上せいぜい20～30 cm位の高さであると推定される．故に湧出口の高さの水平分布図は大略静止水頭高の水平分布図と考えることができるであろう．従つて，各湧出口の高度を水準測量によつてNo. 43附近のBM-Oにおける道路面の高さを0として求め（第1表），その1m毎の等高線を第9図中に実線で示した．被圧層状泉においては帯水層中の水は静止水頭高の高い方から低い方に向つて等高線に直角に水平に流れることが判つているから，図からその流向をきめてみるとS 10°～15° WからN 10°～15° Eに大体向つていることが推定される．



第8図　第2図中 EF 鉛直断面における地中温度の分布



第9図　温泉静止水頭高の分布（太い黒線）と，地下水の静止水頭高の分布（太い点線）
高さの基準点は図右上の測量原点，黒矢印は温泉の流向，白矢印は地下水の流向

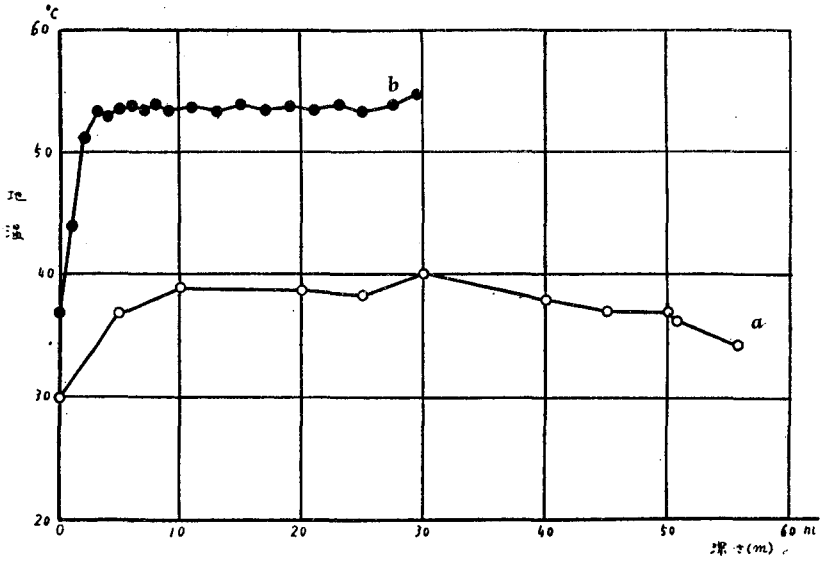
要約すれば，川湯温泉の地下に南方からせいぜい 15～35 m の深さの範囲で略々水平に流入した源温泉 A は温泉地域の直ぐ南方の地下では温度 65°～66°C，Cl' 含有量 1.65 g/l，総 SO_4'' 含有量 4.40 g/l 位の泉質を持つているが，温泉地域の地下に流入して下方並に周囲の普通の地下水（温度 10° C，化学成分殆ど零）と種々の割合で混合して湧出しているのが川湯温泉であると推定されるのである．

このように，横から水平に温泉が流入して層状泉をなしていると思われる温泉の例は十勝川温泉（北海道），糠平温泉の一部（北海道），谷津温泉（静岡県）など本邦では決して少なくな

いが，川湯温泉のように極めて浅い深さの範囲でこのような現象がみられ，それ以下の深さでは判然と温度が低下して普通の地下水が湧出するというような例は極めて稀で，特筆すべきものである．

少し詳しく見れば，第7図から判るように帯状層状泉の高温部はその東側に厚く西側に薄く，その断面が略々三角形をなしている．また60° C以上の高温部が中央で2つに切断されている．これは，この部分の地下の一部に割目があつて地下深くの温度の低い地下水が，その割目に沿つて地下浅所まで上昇し温泉と混合して温度がかなり低下するためと思われる．このことは既に前に述べたが，第2図の湧出温度の水平分布図において，湧出口 No. 19, 20 附近の温度が周囲よりも低いことや No. 19 付近に地下水の天然湧出が見られることからも推察される．

2) 第2図中のa，bの2つの湧出口は静止水頭面よりも高い位置にあるため自噴しない状態であつたので，その穿孔中の種々の深さの地温を遅感最高寒暖計で測定した．その結果を第10図に示した．



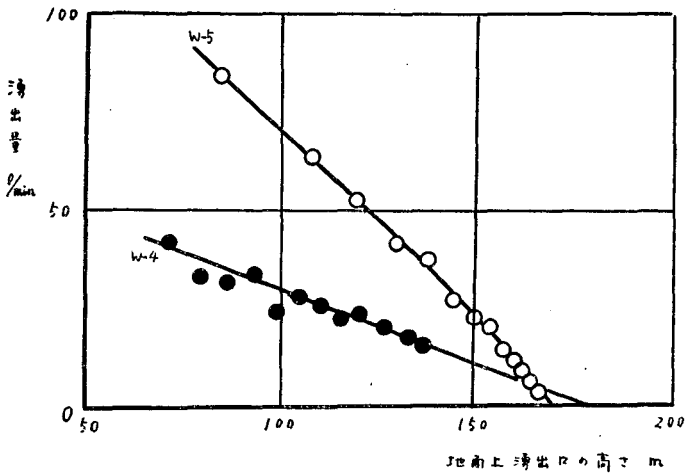
第10図 第2図中a及b点における地温の垂直分布

a，b地点は川湯温泉としては特殊な場所で，aは帯状層状泉の東の端にあり地温がどの深さでも略々40° C以下となつている．bは川湯温泉としてはかなり源温泉Aに近い側にあるため地下30 m位までも地温が55° Cを示している．

V. 温泉地域の地下水

川湯温泉地域ではボーリングによつて温泉湧出層を突抜けて深く掘ると，地面下30～60 m位で水温凡そ10° Cの普通地下水の自噴井を得ることができる．湧出量は温泉地域の南方寄りでは弱勢であるが，北方及び東方寄りではその静止水頭も地面上1～2.5 mに達し湧出量も極めて豊富である．

第11図はその例としてそれぞれW-4井及びW-5井について湧出口の高さを人為的に変化せしめた場合の湧出量変化を示したものである．その関係は何れの場合にも湧出口を高めると湧出量は大体直線的に減少し，Darcyの法則が大略成立つていることを示し，地下水も被圧層状泉であることを示している．



第11図　地下水湧出口W-4及びW-5における湧出口の高さを変化せしめた場合の湧出量の変化

これらの湧出口につき静止水頭面の高さ（第1表参照）をBM-O点の高さを零として求め，その1m毎の等高線を引くと第9図中に点線で示したようになつて，その地下流向はN 50° WからN 25° Eの範囲にあり，平均としてN 15° W位へ向つて流動していることを示している．

VI. 川湯温泉地域から発散する熱エネギルー

川湯温泉地域から発散している全熱エネルギーを求めてみよう．

1)　温泉として出る熱エネルギー

先ず温泉として出る熱量を求める．各湧出口について湧出量と湧出温度とが全部判つておれば，温泉として出る熱量の計算は容易である．しかし，川湯温泉については前に述べたような理由で全湧出口の湧出量が測定されていないので，次のような方法で計算した．なお，ここでは熱エネルギーは地下水の水温10° Cを基準として測ることにする．何故なれば，仮りに0° Cを基準にすれば，温泉が存在しなくても地下水が湧出しておれば熱量が或る値を持つことになり，ここでは温泉が存在することによつて生ずる熱量を求めることを目的としているから不都合である．

この方法として，川湯温泉地域から湧出した温泉や地下水を集めて流れている湯の川の温泉地域から直ぐ下流のR-1測点（第2図参照）で第一次調査の際に川の流量，水温を測定し，それぞれ 10.3×10^3 立/分，34.3° Cを得た．またその水質を分析した結果は第1表に示した．その分析結果によつて Cl' 及び総 SO_4'' 含有量の値を第6図に記入してみると（川の水温は空気への

放熱のため温度が低下しているから使用できない)，温泉と地下水の示す同一直線上に乗つており，川水も源温泉Aと10°Cの地下水との混合結果と考えて差支えないことが判る．従つて，(Cl'-湧出温度）の関係（第3図）と（総SO_4''-湧出温度）の関係（第4図）にR-1における川水のCl'及び総SO_4''含有量の値を代入して湧出温度に当る温度を求めると，それぞれ46.1°及び44.6°が得られ，平均値は45.4°Cとなる．この温度は地上に湧出した川湯全温泉と全地下水とを湧出状態で直ちに混合したと仮定した際の水温を表わす筈である．

従つて，川湯温泉として地上に湧出している全熱エネルギーQ_0は

$$Q_0=V_m\rho_w c\theta_m \qquad (2)$$

となる．ここにV_mはR-1における川の流量，ρ_wは水の密度，cは水の比熱，θ_mは10°Cを基準として測つたこの混合水の温度である．

$V_m=10.3\times10^3$ l/min, $\rho_w c\fallingdotseq1$, $\theta_m=35.4°$を代入すれば$Q_0=36.5\times10^7$ cal/minとなる．

2) 川湯温泉地域から発散される総熱エネルギー

川湯温泉地域（第12図においてX_1Y_1断面以北の区域）の地下熱源から空気中に逸散している熱エネルギーq_0（これも後に述べるように通常他の地温勾配に原因して発散する熱量は考えず，温泉という特別な熱源から伝導によつて周囲に逃げている熱量だけを考えている）は次章に述べるように$q_0=9.5\times10^7$ cal/minで川湯-硫黄山北麓間の地域全体から周囲に熱伝導で逃げる熱量をも加えると$\Sigma q=16.7\times10^7$ cal/minとなる．

従つて，川湯温泉地域から発散している総熱エネルギーE_0は46.0×10^7 cal/minとなり，考える地域を硫黄山の北麓まで拡げて考えると総熱エネルギーEは53.2×10^7 cal/minとなる．

この量は昭和26～27年の登別温泉地獄谷の活動期に出ていて熱量[6]に匹敵していて，平常の状態で発散している熱エネルギーとしては，おそらく北海道の温泉地域の中随一のものであろう．

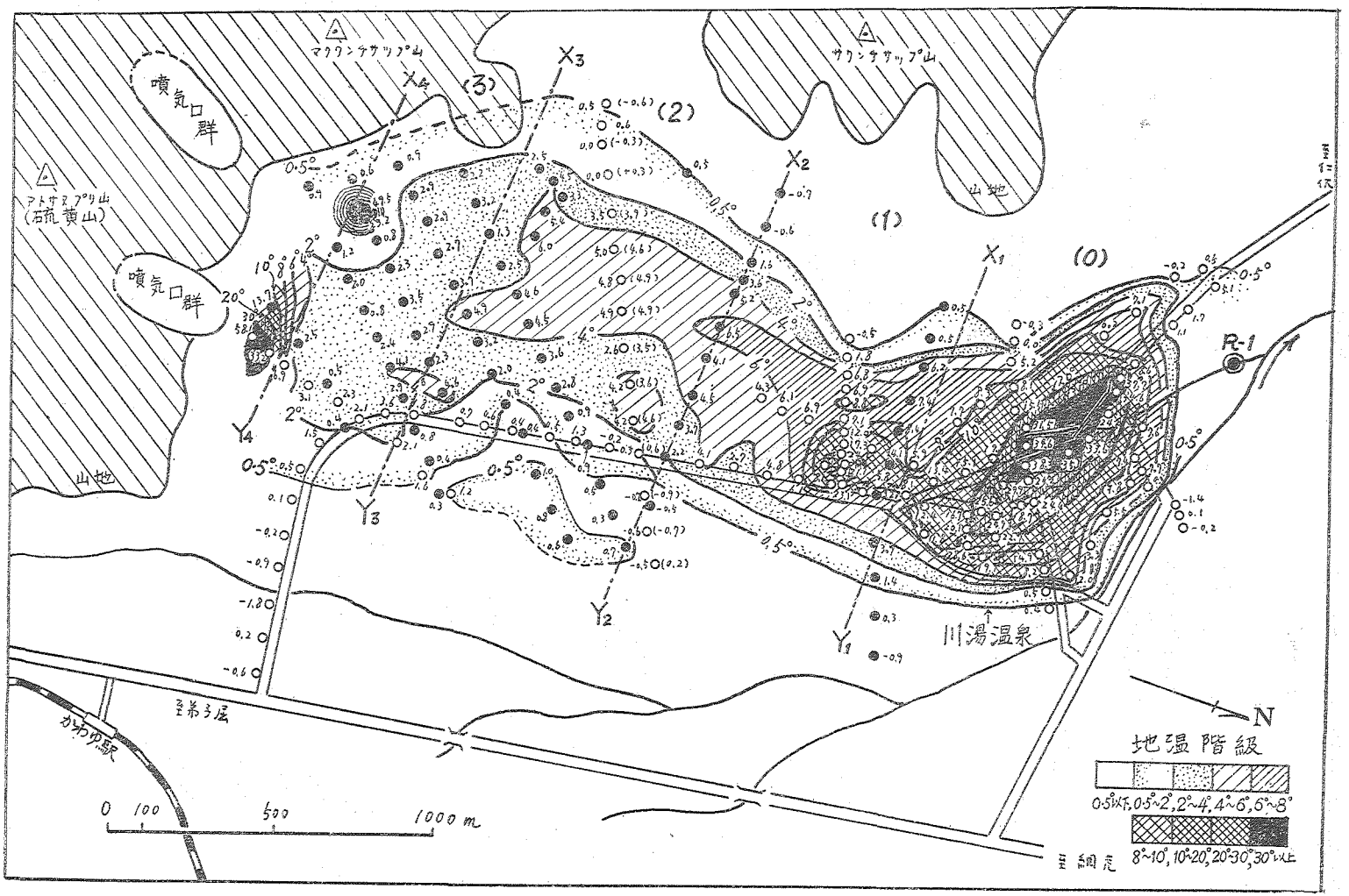
VII. 川湯より硫黄山に至る中間地帯における1mの深さの地温分布

1) 地温の高温帯

川湯温泉地域及び川湯から硫黄山の北麓に至る地域（長さ凡そ3 km幅凡そ1 km）内に198の測点をおいて昭和27年10月4～6日（第12図中に測点を白丸で示した）及び昭和30年10月26～28日（測点を黒丸で示した）に1mの深さの地温を測定した．両回の測定値は月日が多少異つているので，これらの値は直接比較できないので，福富の方法[7]に従つてこれを温泉源だけによる1m深の地温の値θ_cに換算し（昭和27年の測定値には$-11.9°$を加え，昭和30年

6) 福富孝治，藤木忠美； 昭和26年11月から27年3月頃の登別温泉地獄谷の活動，北大地球物理学研究報告 3（昭和28年），23.

7) 福富孝治； 昭和30年4月北大理，地球物理学教室談話会（No. 2）において発表



第12図　川湯より硫黄山北側に至る中間地帯の1m深の地温分布　(白丸・黒丸は夫々昭和27年及び昭和30年の測点，測点につけた数字は地温換算値 θ_c)

の測定値には −10.5° を加えた値である)，その値を第12図中の測点の傍に記入した．この方法については上記の福富の論文中に述べたからここでは略すが，同一測点で両回ともに測定した値から求めた換算値はその平均値がよく一致している．これらの換算値を用いて第12図中に 0.5°，2°，4°，6°，8°，10°，20°，30° の等温線を引いた．

地温測定区域の地形は温泉地域は最も低く 130～150 m の高さであるが，川湯-硫黄山間の地温測定地域は，第1図から判るように，高さ 150～180 m で西南西方に $\frac{1}{100}$ 位の緩傾斜で上つている平坦地である．

第12図から判るように，1 m 深の換算地温は川湯温泉地域に最も高く場所によつては 38° に達する所がある．しかし，6°，4°，2° 等の等温線で囲まれた比較的温度の高いところは温泉地域から南方硫黄山の方向に帯状をなして延びている．すなわち，この地温の高い帯の地下には熱源がこれに沿つて帯状に走つていると考えなければならない．この熱源が温泉であることは高温帯が温泉地域にまで連つていることからでも明らかである．一方，第Ⅳ章に述べたように，川湯温泉の源温泉はその南方の地下から温泉地域に略々水平に流入していることを考慮すれば，この地温の高い帯の南端すなわち硫黄山寄りの地下から温泉が湧出し，斜めに上昇しながら高温帯に沿つて地下を流動し川湯温泉地域に達して湧出していると考えるのが最も適切な説明である．

2) 川湯-硫黄山間の地域で熱伝導により発散している熱量

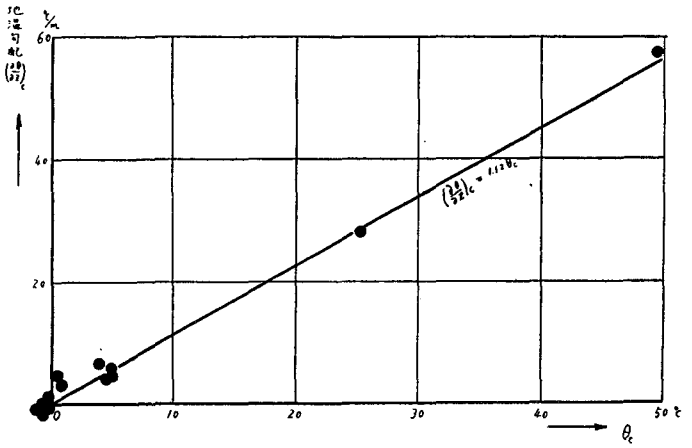
この地温の高温帯の北端にある温泉地域を除いては，問題の区域には温泉．地下水の湧出はない．それで，この地温の高温帯から地表を通つて空気中に放出されている熱量を求めてみよう．

1 m の深さの温度鉛直勾配をその値によつて数個の段階に分け，その任意の段階の温度勾配の平均値を $\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_i$ とし，高温帯においてその段階の占める面積を S_i とする．この高温帯全表面について単位時間に熱伝導によつて流出する熱量 q は，k_i をその部分の岩石の熱伝導度とすれば，

$$q=\sum_i k_i S_i\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_i \qquad (3)$$

で表わされる．

川湯-硫黄山間の深さ 1 m の地温測定地点中の十数点において，その直ぐ傍で 0.5 m の地温を同時に測定し，0.5 m と 1.0 m の深さの地温の値から地温勾配を求めた．ここでは温泉の熱源のみによつて生ずる地温勾配が必要なのであるから，1 m 深の地温の高温帯から充分離れた場所で 1 m 深地温の換算値 θ_c が 0.5° 以下の地点における地温鉛直勾配の平均値 0.8×10^{-2}(°C/cm) を，実測した各地温勾配の値から引いた値 $\left(\frac{\partial\theta_c}{\partial z}\right)_c$ を用いた．しかし，$\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_c$ の求められた地点の数は少くて問題の地域全体について q を算出することは困難であつたから，これを解決するために，縦軸に $\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_c$ の値をとり横軸に同一地点の 1 m 深地温の換算値 θ_c をとつて，それらの間の関係を求めるため第13図をつくつた．図から近似的には



第 13 図　地温勾配$\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_c$と 1 m 深換算地温 θ_c との関係

$$\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_c=\lambda\theta_c \quad (但し\ \lambda=1.12\times10^{-2}\ 1/cm) \qquad (4)$$

なる簡単な関係があることが判つた.

問題の地域一帯の地下は凝灰岩質の地層と推定されるので, k の値は一定として $k=1.7\times10^{-3}$ (cal/cm. deg)（理科年表掲載の凝灰岩の値）を採用し，(4) 式を (3) 式に代入すれば

$$q=k\lambda\sum_i\theta_{c\,i}S_i \qquad (5)$$

が得られる.

$\sum_i\theta_{c\,i}S_i$ を計算するには第 12 図の θ_c の分布図において各等温線間の面積をはかり，その θ_c の値にはその境界の 2 等温線の θ_c の平均値を用いた. q の計算は問題の全区域を第 12 図に示したように X_1Y_1, X_2Y_2, X_3Y_3, X_4Y_4 なる地温の高温帯に略々直角に切つた鉛直断面を考え (0), (I), (II), (III) なる 4 区域に便宜上分けて行つた. ((0) 区域は川湯温泉地域に当る).

その結果，各区域の q の値として第 2 表に示した値が得られた.

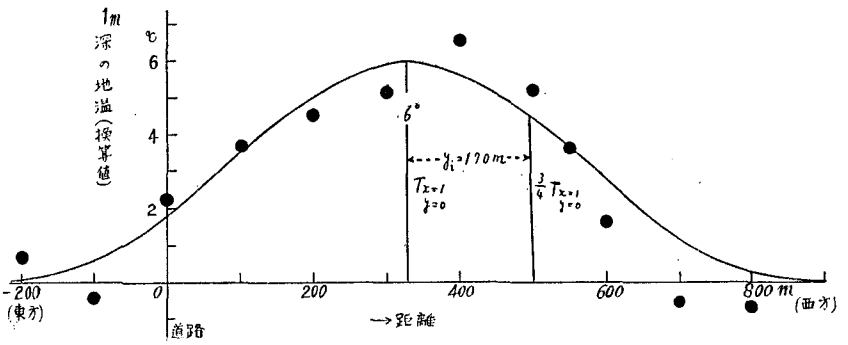
第 2 表　各区域の地表から空気中へ発散する熱量

	q の 値 (cal/min)	面　　積 (m^2)	単位面積当りの熱発散量 (cal/min. m^2)
(0)	$q_0=9.5\times10^7$	6.96×10^5	1.37×10^2
(I)	$q_1=3.3\times10^7$	5.23×10^5	0.63×10^2
(II)	$q_2=2.5\times10^7$	6.44×10^5	0.39×10^2
(III)	$q_3=1.4\times10^7$	4.89×10^5	0.29×10^2
全　　域	$\sum_{i=0}^{3}q_i=16.7\times10^7$	23.52×10^5	0.71×10^2

すなわち，熱伝導で地表から空気中へ逃げる熱量は温泉地域では 9.5×10^7 cal/min であるが，硫黄山北麓までの全域では 16.7×10^7 cal/min となつている. 熱量は地温が 0.5° 以上の面積（第 2 表）について算出したから，この面積を用いて各区域から出る q の値を単位面積当りの

値に直してみると，第2表の末欄に示したように温泉地域で最も大きく硫黄山の方に近づくと段々減少している．次の章に述べるように熱源の温度は硫黄山の方に近寄るほど高くなるから，岩石の熱伝導度が全地域で一様であれば，当然熱源の深さが硫黄山寄りに段々深くなつていることを意味することになる．

この深さの程度を知る意味で第12図においてX_2Y_2なる鉛直断面を考えて，この面内で1m深のθ_cの水平分布図をつくつて見ると第14図が得られる．このようなθ_cの分布をひき起すための熱源の深さを湯原氏の方法[8]を用いて求めてみると熱源の温度を次章の結果から70°～80°とすれば，その深さは$(b-r)=74\sim87$ m位となる．但し$h=\frac{h'}{k}$（h'はNewtonの冷却法則による地面からの熱伝達係数，kは土地の熱伝導度）のhの値は別府温泉の値をそのまま採用して$0.15\left(\frac{1}{\mathrm{m}}\right)$とした．この$h$の値が川湯温泉の場合に適当であるか否か明らかでないが，その程度は判ると思われる．川湯温泉地域では熱源の深さは殆ど零に近いのにPQ断面では以上のような深さであるとすると地面の高さの差を考えても硫黄山寄りに深くなつていることは了解される．



第14図　第12図中X_2Y_2鉛直断面における1m深の地温水平分布

VIII. 川湯温泉の起源並びに硫黄山噴気口との関係

1) 川湯温泉の起源

川湯温泉地域から硫黄山北麓に連なる地温の帯状高温帯があつて，その地下を硫黄山の方から川湯温泉に向つて温泉が流動していると推定されることは既に述べた．川湯温泉から逆にこの流れを溯つた場合，その温度が如何に上昇するかを次に調べてみよう．

第12図において温泉地域の南方の境界X_1Y_1の地下における温泉の流量をV_1，その温度をθ_1とし，それよりも硫黄山寄りに流れに垂直にとつた任意の鉛直断面X_xY_xにおける流量をV_x，温度をθ_xとし，その両断面の間で地表から空気中に逃げる熱量及び温泉に混入する地下水の量をそれぞれ$\sum_{i=1}^{x}q_i$及びV_wとすれば

8) 湯原浩三；地下1m深の地温分布から地下熱源を理論的に推定する一方法，物理探鉱 8（昭和30年）27.

$$V_x\rho c\theta_x=\sum_1^x q_i+V_1\rho c\,\theta_1 \tag{6}$$

$$V_x=V_1-V_w \tag{7}$$

なる関係式が成立する．ここに ρ, c はそれぞれ温泉水の密度及び比熱で，温度はいずれも地下水の温度 10° C を基準にして測るものとする．

$$\therefore\quad \theta_x=\frac{\theta_1}{1-\dfrac{V_w}{V_1}}\left(1+\frac{\sum_1^x q_i}{V_1\rho c\theta_1}\right) \tag{8}$$

然るに，温泉地域では第Ⅵ章に指摘したように，温泉として湧出する熱エネルギーを Q_0, 地面から空気中に逸散する熱量を q_0 とすれば

$$V_1\rho c\theta_1=Q_0+q_0 \tag{9}$$

なる関係があるから

$$\theta_x=\frac{\theta_1}{1-\dfrac{V_w}{V_1}}\left(1+\frac{\sum_1^x q_i}{Q_0+q_0}\right) \tag{10}$$

が得られる．

一方，温泉地域において V_m を前に述べた R-1 における川の流量，V_{w0} を温泉地域の地下で温泉に混入している地下水量，W_0 を人為的なボーリングによつて地表へ直接湧出している地下水の量，V_0 を地表に湧出する温泉，微温泉，天然湧出の地下水の総量とすれば

$$V_0=V_m-W_0=V_1+V_{w0} \tag{11}$$

$$\therefore\quad \frac{V_{w0}}{V_1}=\frac{V_0}{V_1}-1=\frac{V_m}{V_1}\left(1-\frac{W_0}{V_m}\right)-1 \tag{12}$$

が得られる．

温泉地域の泉温の最高は 65° C（昭和 27 年の場合）であるから $\theta_1=55°$ とし，既に求められた $Q_0+q_0=46.0\times10^7$ cal/min を（9）式に代入すれば $V_1=8.36\times10^3$ l/min となる．$V_m=10.3\times10^3$ l/min である．W_0 の正確な値は判らないが，昭和 27 年の測定の際における地下水の掘抜井の総数は筆者らの知る限りでは 15 であつた．その中，湧出量を測定したものが第 1 表に示したように 6 井であつた．従つて，ここでは測定せられた井戸について平均湧出量を求め 66.2 l/min を得たので，これに井戸総数を掛けて近似的に $W_0=0.99\times10^3$ l/min を求めた．これを（11）式に代入すると川湯における温泉，微温泉，天然湧出の地下水の全湧出量は近似的に $V_0=9.3\times10^3$ l/min もあるということになる．第 1 表に掲げた温泉の湧出量から各口当りの平均湧出量を求めてみると，56 l/min が得られる．仮に全湧出口を 60 とすればその全湧出量は 3.4×10^3 l/min で上記の V_0 の値の 37 %位に過ぎない．これは筆者らの測定した温泉以外に川底やその他にまだ多くの湧出量の温泉，微温泉，天然湧出の地下水が存在することを示すものであろう．実際河原には外見微小な天然湧出口はかなり見られるのである．

とにかく，上に得られた V_1, V_m, W_0 の値を（12）式に代入すると $\frac{V_{w0}}{V_1}=0.11$ が得られた．

川湯-硫黄山間の地下温泉流路において，地下水が如何に混入しているかは判らないが，この

地域の単位面積当りの地下水混入量$\frac{V_w}{S_x}$は温泉地域の単位面積当りの地下水混入量$\frac{V_{w0}}{S_0}$と同じ桁の値と考えて差支えないであろう．故に

$$\frac{V_w}{S_x}=\alpha\frac{V_{w0}}{S_0} \qquad (13)$$

とおけば，αは1を中心として数分の1から数倍程度までの値であろう．但しS_xは第12図においてX_1Y_1断面とそれより南方にとつた任意の断面X_xY_xとの間の面積でV_wはその間で地下の温泉に混入する地下水量である．またS_0は温泉地域（O）の面積で，これらは第2表から直ぐ求められる．(13) 式を変形すれば

$$\frac{V_w}{V_1}=\alpha\frac{S_x}{S_0}\cdot\frac{V_{w0}}{V_1} \qquad (14)$$

となるから，$x=1,2,3,4$の場合の$\frac{S_x}{S_0}$の値を第2表から求め，$\frac{V_{w0}}{V_1}$には前に求めた$\frac{V_{w0}}{V_1}=0.11$を入れ，αが0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5の場合の$\frac{V_w}{V_1}$の値を (14) 式から求め，これを (10) 式に代入してθ_xの値を出して，これに10°を加えて各断面下の温泉温度を求めてみると第3表のようになる．

第3表 川湯-硫黄山北麓間の地下流路における泉温

断面	S_x/S_0	断面下の温泉温度 (°C)					
		$\alpha=0$	$\alpha=0.5$	$\alpha=1.0$	$\alpha=1.5$	$\alpha=2.0$	$\alpha=2.5$
X_1Y_1	0.00	65	65	65	65	65	65
X_2Y_2	0.751	69	72	75	78	81	85
X_3Y_3	1.675	72	79	87	97	110	128
X_4Y_4*	2.378	74	84	97	117	149	207

* は硫黄山北麓にとつた断面．

すなわち，温泉流路中の泉温は川湯から硫黄北山麓に近づくほど高くなつていることが判るが，その値は途中における地下水混中の多少によつてかなり変化し，途中で地下水の混入が全くなければ硫黄山北麓の地下では泉温は74° C位であるのに，若し途中の地下水混入量が水平面の単位面積当りで温泉地域と同じ割合であれば泉温は97° C位，温泉地域の倍量であれば約150° Cということになる．

従つて，このような推論からは，途中で混入する地下水量が判らなければ硫黄山北麓の地下における泉温は適確にはきまらないが，この部分の地表には噴気口群が存在しその最高温度は次に述べるように106.3° Cであることからみて，地下では川湯の源温泉と噴気口から出る水蒸気の源とは同一のものと考えるのが合理的であるから，その温度は106° Cをある程度越えていることは推察されるのである．

2) 硫黄山北側の噴気口

硫黄山の北側には第1図に示したように2脈の噴気口群があり，数10の大小噴気口が散在している．これらの噴出口付近には奇麗な針状硫黄が晶出しているのでSO_2ガスやH_2Sガスも

出ていると思われるが，その主要成分は水蒸気である．これらの噴出口に棒状最高温度計を差入れて測温した結果は第4表に示した．最高温度は106.3° C であつたが，95～100° C の値のものが多かつた．この値は十勝火山等の噴気孔の温度[9]と比較すればかなり低温である．これらの噴出口に差入れた温度計の球部から水滴が連続的に滴下するのが屢々見られたが，これは硫黄山の噴気口では水蒸気は飽和の状態にあることを示しており，温度を106° C とすれば気圧は1.25気圧位にあつたことになる．

第4表　硫黄山北側の噴気口の温度

温度範囲	頻度
90° C 以下	1
90.1～ 92.0	0
92.1～ 94.0	2
94.1～ 96.0	4
96.1～ 98.0	3
98.1～100.0	9
100.1～102.0	0
102.1～104.0	2
104.1～106.0	1
106.1～108.0	1
計	23

噴気口附近には，よい天気が続いている間は，温泉は全く認められないが，雨の後には噴気口の極めて一部のものに湯が溜つたり噴出したりするのが見られた．しかし，周縁から湯の流出は殆ど見られなかつた．雨後1日位の後筆者らが発見した3カ所のかような温泉について測定した結果は第1表に S-1～S-3として示したが，温度は95～99° C，Cl' 含有量はいずれも僅かに0.03～0.06 g/l であつたのに総 SO''_4 含有量は1.5～6.5 g/l の大きな値を示していた．これらは，主として雨水が水蒸気によつて熱せられ，附近の岩石や噴気口の沈澱物から硫酸塩や硫酸等の溶解しやすい成分を溶かしだしたものと思われる．勿論強酸性であるが，これらの機構は強酸性鉱泉の場合[10]とほぼ同様であろうと思われる．

噴出口の内部では，前に述べたように普通のときでも水蒸気は飽和の状態にあり，すなわち水蒸気と凝結した温水とが共存の状態にあると考えられる．従つて，この温水は雨の溜水同様に多量の総 SO_4'' を含み強酸性を呈している筈で，これらが降下して地下の源温泉に二次的に多くの総 SO_4'' を与えている可能性もある訳である．Cl' 含有量については雨の溜水の成分からみても，このような機構は考え難いから，源温泉中の多量な Cl' は一次的に地下深所から運ばれてきたものと考えるべきであろう．このような関係は登別温泉地獄谷の場合[11]にも認められており，強酸性温泉の機構として共通なものであるかも知れない．

川湯温泉には既に第Ⅱ章に述べたように多量に硫酸イオンと塩素イオンとを含み，しかも強酸性を呈しているが，川湯温泉の源温泉は硫黄山北麓の地下では，その温度を106° C 以上とすれば (1) 式から Cl' 含有量2.9 g/l 以上，総 SO_4'' 含有量7.7 g/l 以上，$H^{\cdot}$ 含有量 9.8×10^{-4} g/l 以上ということになる．

この源温泉が硫黄山北麓の地下において全部が水蒸気であると考えることは，水蒸気の中には上に述べたような成分を含み得ないから，再び液化の後以上のような多量の成分を二次的に

9) 佐久間修三，村瀬勉，音田功；　昭和30年12月北大理，地球物理学教室談話会 (No. 3) において発表．
10) 福富孝治；　強酸性泉とその成因，地震 **15** (昭和18年)，301.
11) 太秦康光，室住正世；　温泉の化学的研究 (第32報)，北海道登別温泉 (その3)，日本化学雑誌 **76** (昭和30年) 8号

得たと考えねばならぬことになり，しかも Cl′ に関しては特に上に述べたように困難である．また第Ⅶ章の末尾に述べたようにその流路の深さは川湯と硫黄山との中間の X_2Y_2 断面でおよそ地面下 80 m 位あつてその圧力はかなり大きいと考えられること，硫黄山の噴気口の温度はあまり高くないこと等を考え併せれば，硫黄山北麓の地下における源温泉の状態は水蒸気と温泉との共存状態と考えるのが最も好都合である．

すなわち，地下深所から Cl′ 等を含有した液相の高温な温泉が上昇するものとし，上昇に伴う圧力の減少のために遂に水の沸騰点に達し水蒸気と液状の温泉との混合状態となつたが，ある条件の下で水蒸気と温泉とが分離し，水蒸気の主部は岩石中の 2 条の割目に沿つて硫黄山北側の噴気口を形成し，上昇した水蒸気の凝結水は再び降下して温泉に合し，これが帯状層状泉となつて地下を上昇しながら北方に流動し，途中地下水と混合しつつ川湯温泉として湧出したのであろうと筆者らは考えている．

しかしながら，以上の機構を実証するためにはまだ種々の問題を解決すべきであり，それは今後の研究に譲り，ここでは単に一つの可能性として述べておく次第である．

いま，硫黄山北麓の地下における源温泉の量を V_x と考えれば，これは地下深所からの岩漿水であると考えられる．従つて，川湯から出る全温泉水の中に岩漿水の入つている割合は V_x/V_0 となるが，(6) 式と (9) 式とから

$$\frac{V_x}{V_0}=\frac{1}{V_0\rho c\,\theta_x}\left\{\sum_1^x q_i+q_0+Q_0\right\} \qquad (15)$$

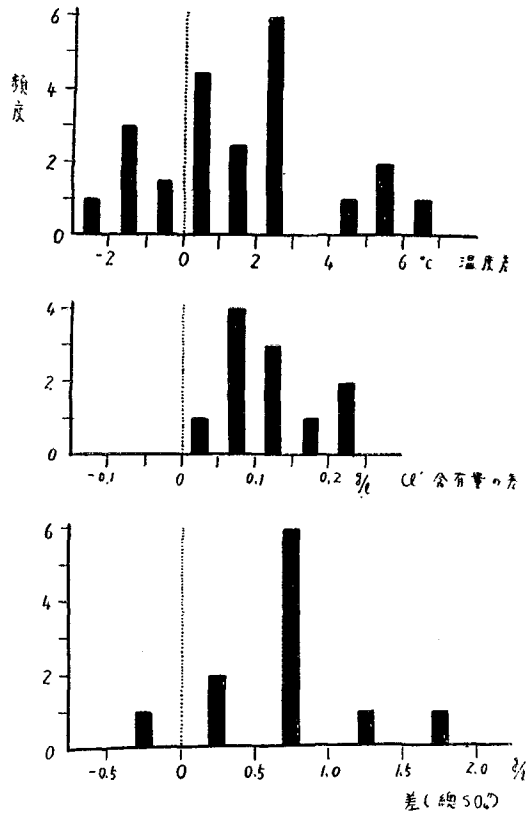
となる．$V_0=9.3\times10^3$ l/min, $q_0+Q_0=46.0\times10^7$ cal/min, $\sum_1^x q_i=7.2\times10^7$ cal/min を代入し，$\theta_x=106.3°$ C 及び 150° C とおいてみると $\frac{V_x}{V_0}$ はそれぞれ 0.59 及び 0.41 となる．即ち，川湯の温泉水のおよそ半分が岩漿水であることが判る．

IX. 川湯温泉の温度，泉質の変化

昭和 27 年 10 月の調査と昭和 30 年 10 月の調査の結果を比較してみると，川湯温泉の温度及び泉質に多少の変化が見られた．温度，Cl′ 含有量，総 SO_4'' 含有量について昭和 30 年の値から昭和 27 年の値を引いた差をつくり，それらを泉温や各泉質毎に等間隔に適当な組に分けてその頻度分布をしらべてみると第 15 図が得られた．

すなわち，温度変化は湧出口によつて増加と減少の両方あるが，温度が増加した方の湧出口が多く平均 1.6° C 昭和 30 年の方が高くなつている．Cl′ 含有量及び総 SO_4'' 含有量についてはほとんど全部の湧出口で昭和 30 年の方が増加しており，平均増加量はそれぞれ 0.12 g/l 及び 0.70 g/l であつた．

この原因としては，硫黄山麓から川湯に至る流路の間の地下水混入量が昭和 30 年の方が昭和 27 年の場合より減少してきた場合と硫黄山麓地下の源温泉が増量した場合の 2 原因が考えられるが，第 3 図及び第 6 図にこれらの値を代入してみると（昭和 27 年の値は黒丸，昭和 30



第15図 昭和30年の湧出温度，Cl′-含有量，総 SO_4''-含有量から昭和27年の値を差引いた量の頻度分布

年の値は白丸で示してある)，昭和27年の値を用いてきめられた直線的関係に対し昭和30年の値はその直線の傾斜が少し変化し，その変化は同じ塩素量に対し SO_4'' 含有量が多く温度が低くなる向きになつている．このような変化は地下水の混入量の変化では起り難いから，源温泉の増量とその泉質の変化に帰すべきであろうと思われる．

X. 総括及び結語

昭和27年10月及び昭和30年10月に川湯温泉の調査（第1表参照）並びに川湯-硫黄山北麓間の広い地域で1mの深さの地温調査を行つた．その結果及びそれに対する考察結果を概括すれば次のようである．

1) 川湯温泉は1つの源温泉と1つの地下水との混合の結果生じた温泉であると考えられる．

2) 地温の垂直分布からみて，川湯温泉地域では地表から深さ2～30mの浅層に最高65°Cの温泉湧出層があり，その下部には普通の地下水（温度10°C）が存在しそれぞれ被圧層状泉をなしている．

3) 泉温分布や静止水頭高分布からみて，温泉は南方の地下からほぼ水平に温泉地域に流入していること，またその下の地下水の流向は大略 N 15° W であることが判つた．

4) 川湯の温泉水が地下水に対し持つている熱量は 36.5×10^7 cal/min，温泉地域の地表から空気中に逸散している熱量はおよそ 9.5×10^7 cal/min，川湯-硫黄山北麓間の全地域の地表から発散する熱量は 16.7×10^7 cal/min であつた．すなわち，地下水に対して持つている全熱エネルギーは温泉地域で 46×10^7 cal/min，川湯-硫黄山北麓までを総計すれば 53×10^7 cal/min となり，普通状態の温泉としてはその熱エネルギーの大なる点で北海道随一であろう．

5) 1 m の深さの地温分布を調べた結果，川湯温泉地域から南方硫黄山北麓まで連なつている高温帯が存在することが判つた．結局，温泉は硫黄山北麓の地下から上昇しながら川湯温泉の地下まで帯状に連絡していることが推定された．その流路の深さや流路中の温度についても多少の考察を行つた．

6) 硫黄山北側の噴気口群と川湯温泉の源温泉とは硫黄山北麓の地下で連絡していると考えられること，噴気口の温度や雨後の噴気口の溜り水の泉質の測定結果からみて，地下連絡点の泉温は 106° C 以上であると考えられることを指摘した．また，硫黄山北麓の地下深所から高温で Cl' をかなり含有する液相の温泉が上昇して，圧力の減少に伴つて沸騰点に達し一部が気化して水蒸気となり，水蒸気の大部分は源温泉から分離して割目に沿つて上昇し噴気口群を形成し，温泉は地下を北方に流動して川湯温泉として湧出しているのであろうことを示唆した．また，総 SO_4'' 含有量や強酸性の原因は噴気口の内部及び附近でできた水蒸気の凝結水の降下に関係があるのではないかということをも注意した．

7) 昭和 30 年 10 月の温度，泉質の測定値が昭和 27 年 10 月の測定値よりも多少温度高く，泉質も増量していることが判つた．

終りに臨み，川湯における現地調査に際しては，根津文男氏，中島政雄氏，榎本周蔵氏外現地の方々及び弟子屈町当局の御援助並びに御協力を得た．ここに厚く感謝の意を表する次第である．

4. A Geophysical Study on the Hot Spring of Kawayu, Hokkaido.

By Takaharu FUKUTOMI, Akira SUGAWA and Tadaharu FUJIKI

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

In Kawayu, situated in the north-eastern part of the Kucharo Caldera in Eastern Hokkaido, we find today some 60 orifices of hot spring and some 17 orifices of cold spring. The writers had the opportunity of observing the height of orifices (the 4th column in Table 1), the orifice- and the bottom temperatures (the 6th or 7th column), the volume out-puts (the 5th column), the depth of boreholes (the 3rd column) and analysing some of the chief chemical constituents (pH, Cl'-content, total SO_4''content and H^+-content (the 11th, 8th, 9th and 10th columns respectively)) of 49 hot springs and of 15 ordinary wells during the periods from Oct. 4 to Oct. 7, 1952 and from Oct. 25 to Oct. 28, 1955, the results of which are shown in Table 1. And, they also observed the underground temperature at 1 m depth of 198 stations which were situated in the almost plain area of 3 km^2 between the Kawayu hot spring and the fumarole region on the northern slope of the Volcano "Iwosan" (Fig.12).

The results of this investigation are briefly summarized as follows:

1) To explain the linear relations between orifice temperature, and the corresponding chief chemical constituents as shown in Fig. 3～Fig. 6, the hypothesis that Kawayu hot springs are the mixture between one primary hot spring A and one cold underground water B is most acceptable.

2) The vertical distribution of underground temperature as shown in Fig. 7 and Fig. 8 shows the facts that the hot spring bed of 65°C at maximum temperature exists in a shallow layer of 2～30 m depth below the ground surface and that ordinary cold underground water of 10° C exists below that layer.

3) The horzontal distribution of orifice temperature (Fig. 2) and that of statical pressure head (Fig. 9, full line) suggested us that the direction of underground flow of hot water is from south to north, and that the direction of cold underground water flow is approximately from S 15° E to N 15° W.

4) The heat quantity discharged as Kawayu hot springs was estimated as 36.5×10^7 cal/min. The heat flow emitted from the ground surface was also estimated as 9.5×10^7 cal/min for Kawayu hot spring region, and 16.7×10^7 cal/min for the total area between Kawayu and the fumarole region of Iwosan. Then, the total heat energy due to the above-mentioned two effects was summed up as 46×10^7～53×10^7 cal/min; that is, the largest heat energy in normal condition among those emitted from hot spring regions in Hokkaido.

5) From the results of observation of underground temperature at 1 m depth, a high temperature zone connecting the Kawayu hot spring region with the fumarole region on the northern side of Iwosan Volcano was found (Fig. 12). The writers came to conclusion that the primary hot spring which originated in the deep below the ground surface of the fumarole region flowed throuth a somewhat ascending underground passage and diacharged into the Kawayu hot spring region. The writers made also some discussions on the temperature and the depth of the underground hot water.

6) From the results of measurement in regard with the orifice temperature of the fumaroles and with the chief chemical constituents of hot water which was found in some orifices of fumarole during 1～2 days period after precipitation, temperature at the underground connection point between vapour origin of fumaroles and primary hot spring of Kawayu was considered to be more than 106° C. The origin of vapour spouted out of fumaroles and the origin of primary hot spring of Kawayu are suggested to be a same high temperature solution of liquid state containing the moderate amount of Cl'. Owing to the pressure fall in the course of ascending, the temperature of the solution attains to the boiling point of hot water at some hundred meters below the ground surface. The vapour phase of the solution ascends through two cracks in the surrounding rock and dischargs as fumaroles on the northern side of Iwosan Volcano, on the other hand, the liquid phase becomes the primary hot spring of Kawayu. A suggestion was given that abundance of total SO_4''-content and the strong acidity of the primary hot spring of Kawayu may be attributted to the descending of the condensed water which was changed from vapour of fumarole and dissolved total SO_4''-content from sulpher deposits in the neighbouhood of fumarole orifices.

7) Secular changes of orifice temperature and of the chief chemical constituents of the primary hot spring were also noticed.