

大分県温泉調査研究会

報 告 第 10 号

昭 和 3 4 年 3 月

目 次

別府市温泉水中に含有されるガス分布調査報告……………湯	原	浩	三…(1)
湯の平温泉調査報告……………湯	原	浩	三…(9)
① 別府市内温泉の化学成分長期変化に関する調査報告…………瀬	野	川	錦 蔵…(15)
大分県本耶馬溪村、耶馬溪村に於ける温泉探査報告…………山	下	幸	三 郎…(25)
温泉の引湯について……………山	下	幸	三 郎…(31)
別府旧市内温泉現況調査報告 (1)……………栗	林	里	…(40)
泉浴のV線障碍予防効果について……………八	田	秋	…(44)

亀川・鉄輪・明礬温泉の窒素・酸素含有量について

湯 原 浩 三

1. 温泉水中の窒素、酸素含有量

温泉水中に溶存する窒素ガス・酸素ガスの含有量を測定することの意義については、別府市旧市内温泉の測定を行った際に既に言及した¹⁾。一般に温泉水は、岩漿水と循環水が混合したものに更に地下水が混合して出来たものと考えられている。そこで、ここでは、温泉水が地下で生成されてから地表に湧出するまでの間に、窒素ガス・酸素ガスが温泉水中でどの様に増減するかを考えてみることにする。

- (1) 循環水が地表水である間は、大気とほぼ平衡状態の窒素・酸素を溶解している。
- (2) 循環水が地下水となれば、土壌中では生化学作用により窒素が発生したり、無機化学反応や生化学作用によつて酸素が消費されたりするので、地下水中の窒素は増加し、酸素は減少する。
- (3) 地下水が地下深く滲透すれば、圧力が大きくなるため、温度が高くなつても、窒素も酸素も一気圧の時のその温度での過飽和状態で安定であり得る。
- (4) 循環水と岩漿水が混合する時は、岩漿水中の窒素・酸素含有量が不明であるためはつきりわからないが、循環水よりは少ないと想像されるので、混合によつて窒素・酸素共に減少するであろう。
- (5) 温泉水が沸とうしたり、炭酸ガスが発生したりすると、それに伴つて窒素も酸素も逸出して行くので、温泉水中の含有量は著しく減少する。
- (6) 温泉水に冷地下水が混合すると、温泉水中の窒素は混合によつて増加し、酸素は地下水中の含有量にしたがつて増減する。
- (7) 温泉水が比較的浅い地層中で停滞したり流動したりする時には、地下水の場合と全く同様に、生化学作用で発生した窒素を溶解したり、無機化学反応や生化学作用のために酸素を消費するので、窒素含有量は増加し酸素含有量は減少する。

以上述べた(1)から(7)までの過程は、すべての温泉水が必ず通つて来る過程ではなくて、途中がぬけたり、中途から直接地表に湧出したりする。即ち岩漿水の混合が殆んどないものや、沸とうしたことも炭酸ガスが発生したこともないものや、冷地下水が混合することなしに湧出するものもあるであろう。しかしいずれにしても、温泉水中に溶存する窒素・酸素の含有量は、温泉水の生成過程に大きく左右されるのであつて、それらの含有量を研究することは、温泉の生成過程を研究する一つの有力な方法である。

温泉水中の窒素・酸素含有量の測定には、小穴の方法が用いられたが、温度の高い温泉では採水後分析するまでの間に冷却によつて容器内が一気圧より小さくなり、ガラス栓を閉じてあるにも拘

2. 亀川温泉に於ける窒素、酸素含有量の地理的分布

亀川温泉の(窒素+アルゴン)含有量の分布は第1図の下方に示されている。アルゴンの含有量は測定されなかつたけれども、一般に0.5cc/l以下であるから、窒素の含有量に比して問題とならなく、第1図の分布は窒素含有量のみ分布と見て大差はない。この分布の第一の特徴は、亀川の西部山地から南部にかけて含有量が少いことである。特に血の池地獄・龍巻地獄を含む地獄地帯や照波園には、大気と平衡状態にある水が100°Cの時に含有し得る量、即ち約7.5cc/lより少い温泉がかなり多数存在する。この様に窒素ガス含有量が少いことは、前節で論じた(4)、(5)の温泉水が直接湧出していることを示すものであつて、これが亀川温泉の高温源泉の一つになつてゐることは間違いない。

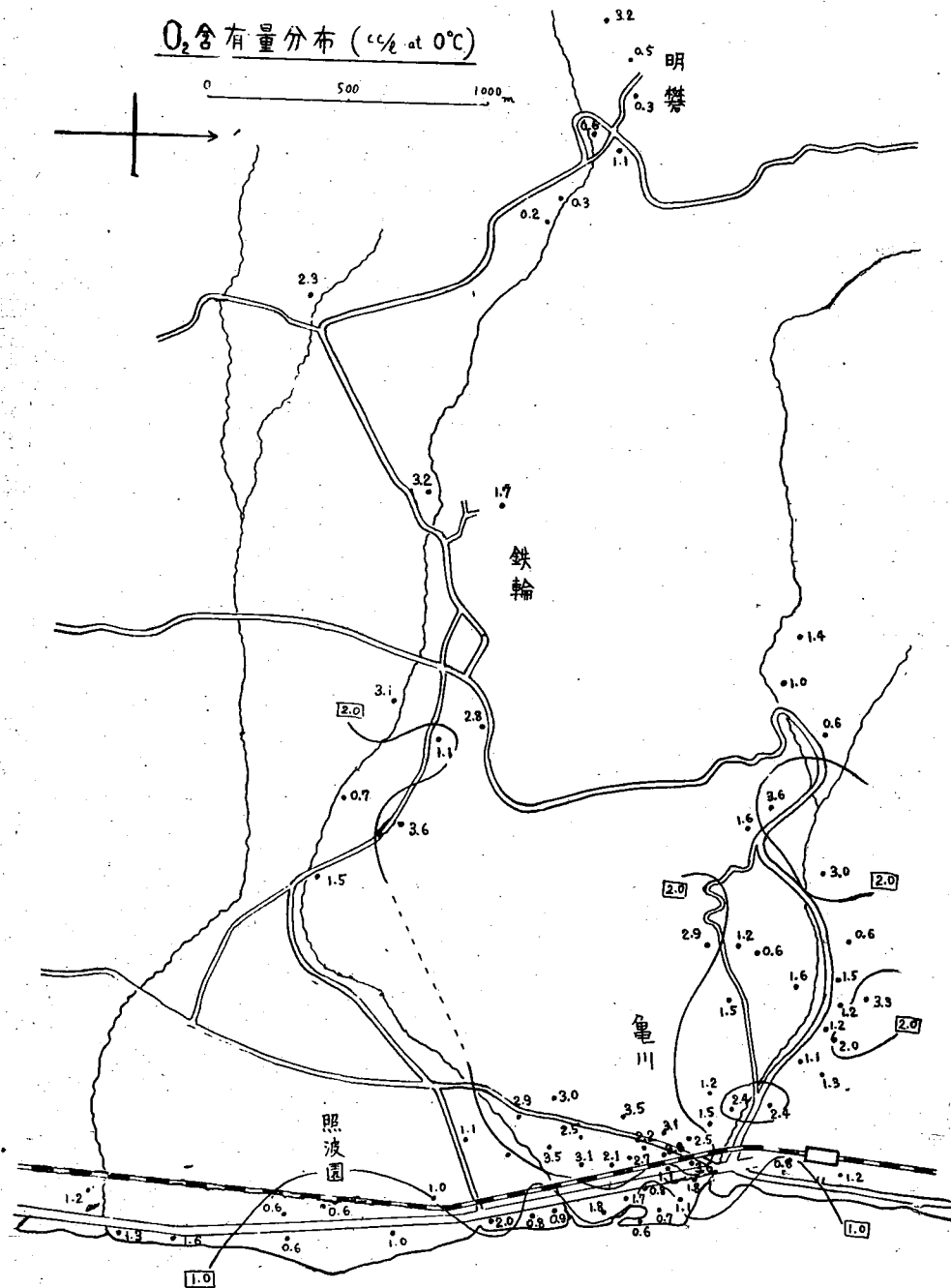
第二の注目すべき点は、新川沿いに窒素含有量の多い地帯が存在すること、ここはかつて後藤³⁾が調査したHCO₃⁻含量の多い地帯と非常によく一致している。瀬野は常磐炭礦坑内水について論じた際に、温泉水からCO₂が逸出すれば、HCO₃⁻が分解しCO₂⁰が生じて、その結果HCO₃⁻が減少することを明らかにした。故にこれを逆に考えれば、HCO₃⁻含量が多いことはCO₂の逸出がなかつたか又は少なかつた事を意味し、溶存窒素ガスが逃げ出す機会に恵まれなかつたことになる。しかしこれについては、CO₂⁰の分布やpHの分布と対応させなければならないが、今のところその様な資料は得られなかつた。

酸素含有量の分布は第2図に示す。亀川温泉ではだいたい高地に多く低地に少い、これは温泉水が地下を流れてゆくにつれて、酸素が消費される事を暗示している。この関係を一層明らかにするために、次の如く酸素消費量なるものを計算した。(窒素+アルゴン)含有量を基準にして、それだけの(窒素+アルゴン)がすべて大気との平衡関係で溶解したと考えた時に、当然含有していたと思われる酸素量と、実際の酸素含有量との差が地中で消費された酸素量であると考え。即ち近似的に、

$$(\text{酸素消費量}) = (\text{酸素平衡溶解量}) \times [(\text{窒素+アルゴン飽和度}) - (\text{酸素飽和度})]$$

ここに(窒素+アルゴン)飽和度を用いたのは、大気からの溶解のみを考えた場合、(窒素+アルゴン)飽和度ともともと含有していたと思われる酸素の飽和度とが同じ値を示すものと考えられるからである。別府旧市内温泉について論じた際に用いた酸素残余率¹⁾と、今回の酸素消費量とは、共に温泉水の地下での流動方向を示唆するものであるが、ここでは「率」よりも「絶体量」に注目して、酸素消費量の地理的分布を第3図に示した。この分布もそれ程単純なものではないけれども、窒素含有量の分布から推論したと同様に、血の池地獄・龍巻地獄附近と、照波園附近に源を持つ高温温泉水が、ほぼ地表の傾斜に従つて流下している様子をうかがい知ることが出来る。

第 2 図



3. 鉄輪、明礬温泉の窒素、酸素含有量

鉄輪・明礬地域の（窒素+アルゴン）・酸素・酸素消費量の分布も、それぞれ第1図・第2図・第3図に示されている。この地域の（窒素+アルゴン）含有量は亀川温泉の地獄地帯や照波園附近と同様に少ない。鉄輪・明礬地域には、噴気や海地獄等の優勢な天然湧出泉がある事から考えても第1節で述べた(4)、(5)の過程を経た温泉水が直接湧出していると考えられる。

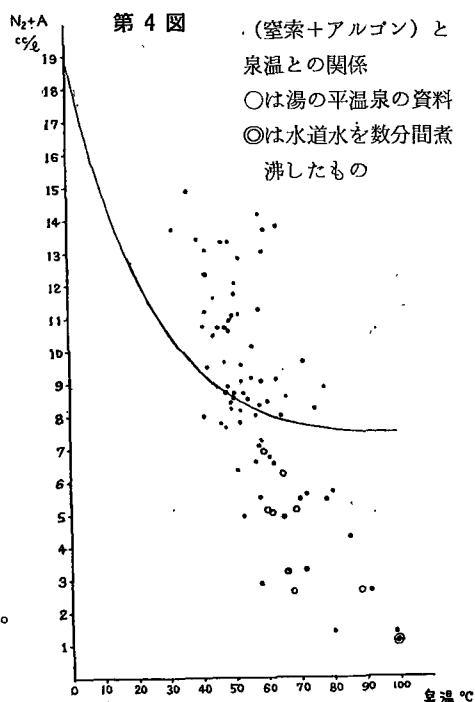
鉄輪・明礬のそれぞれの地域では、酸素含有量は高地で多く低地で少く、酸素消費量は逆に低地になる程多い。これらはやはりそれぞれの地域での温泉水の流動方向を示しているものと思われる。そして、今までの資料からでは、亀川・鉄輪・明礬の三地域を一つにして温泉水系を考える事は未だ少しむづかしい様に思われる。

4. 窒素、酸素含有量と泉温との関係

（窒素+アルゴン）含有量と泉温との関係を第4図に示す。図中の曲線は、一気圧のもとで大気と平衡状態にある水が、それぞれの温度で溶解する量を示したものである。又図中の白丸は湯の平温泉について測定したものである。（窒素+アルゴン）含有量は泉温と大体負の相関を示している。測定値のばらつきはやむを得ないとして、湯の平温泉の資料までも、ほぼ同一の一次関係を持つていと見られることは非常に興味深い。前に述べた如く、アルゴン含有量は窒素含有量に比して問題とならない程度であるから、上の関係は結局窒素含有量と泉温との関係を示しているものである。この様な相関から、多くの温泉水は、温度の低い窒素含有量の多い水と、温度の高い窒素含有量の少ない温泉水とが混合して出来たものであると推論することが出来る。

温度の低い窒素含有量の多い水は当然普通の冷地下水と考えられる。冷地下水に窒素が多く含まれているのは、土壤中での生化学作用にも依るであろうし、又一気圧下での大気との平衡関係だけを考えても、0°Cに於ける飽和溶解量は 18.99cc/l⁵⁾ までは溶解し得る可能性があるわけである。

温度の高い温泉水に窒素が殆んど含まれていないことに対しては、次の三つの説明が考えられる。即ち、(イ)もともと窒素を殆んど含まない岩漿水を大きな割合で含んでいるか、(ロ)かつて沸とうの状態にあつて、水蒸気と共に窒素が逃げてしまったか、(ハ)炭酸ガスが多量に発生して窒素を追い出したか、のいずれかである。そのうち(ハ)については、ここで問題としている地域に炭酸ガスを多量に発生しているところも、炭酸ガスを



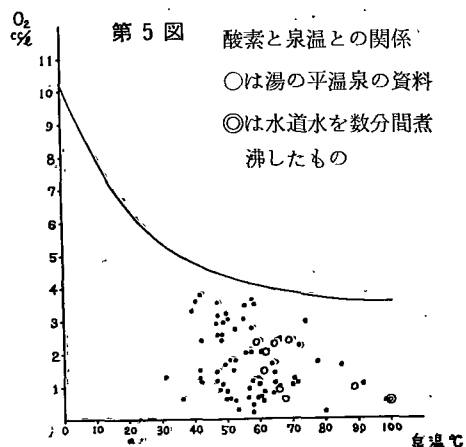
多く含む温泉もないので、原因をこれにもつてゆくのは無理である。(ロ)の説明は最も可能性の多いことであつて、亀川・鉄輪・明礬地域には諸所に噴気孔や沸とう泉が見られることもよく符合する。しかも実験室で水道水を数分間煮沸した後に測定した(窒素+アルゴン)含有量が、第4図の◎で示した如く非常に少く、沸とうの状態を経ることが温泉水中の窒素含有量を著しく減らすのに大きな役割を占めていることは間違いない。しかし湯の平温泉には噴気孔も沸とう泉もなく、かつ炭酸ガスの発生もないから、もともと温泉水に窒素を殆んど含まぬ岩漿水が多く含まれている可能性がある。

酸素含有量と泉温との関係は第5図に示す。図中の印は第4図の場合と同様である。第5図を見れば、泉温の高いものの酸素含有量が少いという一つの傾向がうかがわれる。これは窒素含有量が高温のものほど少いのと同じ原因によるのであろう。又40°C以下のものの酸素含有量が少いのは、温泉水やそれに混合する冷地下水の溶在酸素が、生化学的及び無機的な酸化作用で消費されたことを示している。

終りに本研究に関して御指導を戴いた瀬野博士、測定に協力して戴いた森忠敬氏及び大分県温泉研究会の諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 瀬野錦蔵、湯原浩三：大分県温泉調査研究会報告、第9号、1958。
- 2) 小穴進也：分析化学、第3巻第6号、1954
- 3) 後藤巳兵治：地球物理、第7巻第2号、1943
- 4) 瀬野錦蔵：坑内水対策研究会報、第6輯、1958
- 5) 湯原浩三：湯田温泉調査報告書、1959



第 1 表

温泉番号	泉温	N ₂ cc/l at 0°C	N ₂ 飽和度 %	O ₂ cc/l at 0°C	O ₂ 飽和度 %	O ₂ 消費量 cc/l at 0°C	温泉番号	泉温	N ₂ cc/l at 0°C	N ₂ 飽和度 %	O ₂ cc/l at 0°C	O ₂ 飽和度 %	O ₂ 消費量 cc/l at 0°C
龜川 1	47.0	13.3	151.7	1.2	26.3	5.7	龜川 369	52.4	7.8	92.3	2.9	66.0	1.1
8	49.4	13.3	154.0	1.1	23.8	5.8	402	77.8	8.8	116.1	0.6	16.7	3.7
12	42.0	12.3	133.9	2.4	50.9	3.9	406	79.8	5.7	75.1	1.2	45.8	1.1
34	52.0	11.8	138.7	1.5	34.6	4.5	410	58.5	7.3	89.0	3.6	86.2	0.1
38	70.8	9.7	127.7	1.2	31.6	3.6	414	85.0	4.3	57.2	1.6	44.7	0.5
51	54.8	8.5	102.0	3.1	72.6	1.3	420	64.5	8.0	100.6	1.4	35.7	2.6
56	47.8	8.8	100.0	2.6	57.1	1.9	424	64.8	8.5	108.1	1.0	25.6	3.3
75	58.2	9.0	110.0	1.5	37.0	3.0	龜川運送	64.2	13.8	176.2	0.8	20.6	6.2
87	49.4	8.2	95.0	3.0	67.5	1.2	竹 森	47.4	9.7	110.2	3.5	78.6	1.4
119	55.5	9.2	110.2	3.5	83.5	1.1	桜 井	49.0	10.6	122.7	2.4	67.3	2.5
123	60.4	8.4	104.1	2.2	53.4	2.1	石垣 155	57.2	8.0	97.2	1.0	23.6	3.1
132	51.0	12.1	141.1	1.8	41.3	4.4	166	65.2	4.9	62.4	1.0	26.0	1.4
134	59.8	13.7	169.5	1.1	25.9	5.9	177	51.0	6.3	74.2	0.6	13.5	2.7
135	58.4	14.1	173.0	3.6	87.4	3.5	188	52.4	9.1	107.0	0.6	14.2	4.0
141	42.0	9.5	103.5	3.8	80.4	1.1	191	36.8	14.9	153.0	0.6	12.0	7.1
145	53.0	8.7	102.7	2.7	63.8	1.7	197	49.2	8.5	98.0	1.6	36.9	2.7
155	58.0	8.3	101.1	2.1	49.8	2.2	210	31.8	13.7	132.5	1.3	24.3	5.8
191	47.2	7.8	88.4	2.9	65.0	1.1	217	41.8	11.9	129.1	1.2	26.1	4.9
212	58.0	11.2	137.2	1.1	27.5	4.6	鉄輪明礬						
215	59.4	13.1	190.7	0.7	16.6	5.9	5	41.0	8.0	86.8	1.5	31.1	2.6
220	60.4	13.0	161.1	0.6	14.0	6.0	10	60.8	6.7	83.5	0.7	16.0	2.7
221	63.5	9.1	114.5	1.7	41.7	2.9	25	91.4	2.7	35.7	1.1	30.9	0.2
223	52.4	9.6	112.7	1.8	42.1	3.1	33	48.0	7.6	87.5	3.1	70.3	0.8
227	49.8	8.6	99.7	3.1	70.0	1.3	59	78.0	5.4	71.0	1.7	46.2	0.9
229	48.6	8.9	102.7	2.5	56.9	2.0	73	58.0	7.1	86.2	2.8	67.9	0.8
233	47.8	10.7	122.7	0.9	20.5	4.6	76	50.0	8.7	101.1	3.2	73.1	1.2
244	71.5	3.3	42.9	1.1	29.8	0.5	79	40.6	10.8	115.6	3.6	74.7	2.0
248ノ4	50.2	11.7	136.2	0.8	18.7	5.2	101	70.0	5.5	71.0	1.1	28.6	1.9
255	56.0	10.1	122.0	2.0	47.6	3.1	104	57.0	6.5	79.1	0.6	15.4	2.7
281	61.9	6.5	81.5	0.8	18.6	2.5	111	80.0	1.4	18.7	0.3	6.8	0.4
287	44.6	10.5	116.6	1.2	26.6	4.2	113	52.0	8.2	96.2	3.2	73.0	1.0
312	44.8	11.6	129.7	1.3	28.6	4.7	120	58.0	2.9	35.3	0.5	12.1	1.0
318	42.0	13.1	142.6	1.2	24.9	5.6	134	72.0	5.7	73.4	2.3	60.7	0.5
320	49.0	10.9	125.9	2.0	46.1	3.5	367	58.0	5.6	67.8	0.2	5.1	2.6
334	46.4	10.7	121.5	1.5	31.9	4.1	377	53.0	4.9	57.9	0.3	6.5	2.2
339	39.4	13.4	156.7	3.3	67.4	4.4							
347	99.0	1.5	19.5	0.6	15.8	0.1							
362	50.0	11.1	129.0	0.6	14.6	5.0							
373	52.2	11.2	131.2	1.6	37.1	4.1							
390	74.6	8.2	106.9	3.0	79.1	1.1							

湯の平温泉調査報告

湯原浩三

I 調査内容

湯の平温泉の調査は前後2回にわけて行われた。第1回調査は、昭和33年10月6日から9日までの4日間に、現況調査・揚水試験等によつて、現在の湯の平温泉の湧出状況、地下に於ける温泉水の流動状況・温泉資源の余裕の有無等を調査した。第2回目は、昭和33年11月27日・28日の両日に行われ、将来の温泉開発に資するため、地温測定法によつて泉源探査を行つた。

II 調査結果要約

(1) 昭和33年10月6日から9日までに行つた現況調査の結果は第1表に示した。表中湧出量が記載されていない源泉はポンプによつて揚水しているものであつて、正確な湧出量を知る事が出来なかつた。今回の調査結果と昭和11年・昭和25年に行われた調査¹⁾、²⁾の結果とを比較するとき、数値的に完全に一致しているわけではないけれども、季節的な変動があることを考慮すれば、個々の源泉は過去20年間殆んど変動していないと云える。更に第2表に示した如く、湯の平温泉全体としても殆んど変化なく、少くとも過去20年間には、温泉勢力の衰退は全く認められない。

第1表

昭和33年10月6—9日

No.	源泉名	温度 °C	湧出量 l/分	cl' g/l	HCO ₃ ' g/l
1	東大志	73.1		0.536	0.370
2	津美	66.0		0.353	0.249
3	津美	65.0	11.40	0.523	0.337
4	右				
5	白				
6	大正	69.6	4.38	0.366	0.337
7	大新	66.6	3.92	0.379	0.326
8	大鶴	87.2	28.10	0.523	0.287
9	鶴田	61.0	2.88	0.209	0.193
10	日田	50.4	4.56	0.484	0.276
11	北	70.6		0.523	0.307
12	鶴屋	47.0		0.144	0.111
13	花	68.0	3.85	0.575	0.315
14の1	砂	64.0	22.67	0.471	0.293
14の2	同	67.8	9.16	0.497	0.304
15	秀泉	54.6	3.19	0.497	0.276
16の1	橋本	71.4	35.00	0.471	0.348
16の2	下	70.4			
	ゆの	37.0		0.002	0.105
	大	23.8		0.000	0.000
	鈴	21.0			

第2表

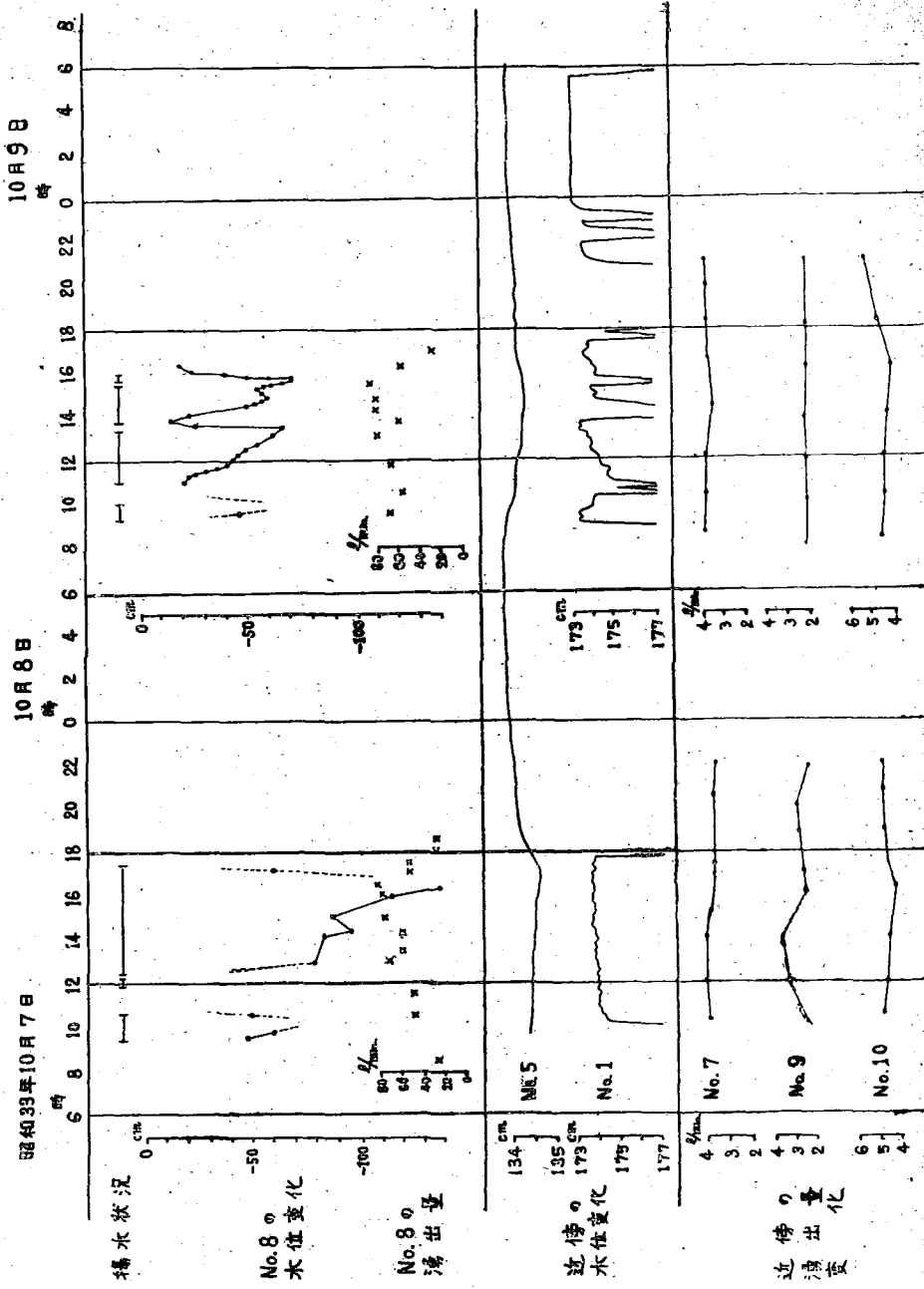
総湧出量比較 (ポンプ揚水を含む) 一日合計		
昭和11年	295m ³	1630石
昭和25年	274m ³	1510石
昭昭和33年	288m ³	1595石

(2) No.8源泉(大湯)の揚水試験結果は第3表及び第1図に示した。即ちNo.8の揚水によつてNo.8そのものの水位を平常より最大約1m20cm低下させ、湧出量を平常よりも約1分間50リットル増加せしめた。そのため近傍の源泉中No.5の水位が約1cm低下し、No.7、No.10の湧出量が平常よりも最大1分間に約1リットル減少した。その他の源泉への影響は確認出来なかつた。以上によつて隣接した源泉が地下に於て連絡していることが確認されたが、揚水によつて湯の平温泉全体の採湯量をかなり増加させ得ることも明らかになつた。このことは湯の平温泉の温泉源にはまだまだ余裕のあることを暗示していると思われる。

第3表 No.8揚水による近傍温泉への影響

No.		7日	10時	12時	14時	16時	17時半	19時	22時	備考
8	温度 °C 湧出量 l/分	87.2 49		49	61	78	(90以上) 83	28		揚水量からの計算値
1	温度 °C 水位 cm	61.8 175.0	69.6 175.0	65.0 174.0	67.2 174.5	73.1 175.0				水位は基準点よりの深さcm
5	温度 °C 水位 cm	56.0 134.0	56.0 135.0	60.9 135.0	60.0 136.5	61.5 136.5	62.0 135.5	61.2 136.0		
7	温度 °C 湧出量 l/分	66.0 3.92	66.5 3.97	66.5 3.96	66.0 3.75	66.0 3.75	66.0 3.75	66.0 3.75	66.0 3.66	
9	温度 °C 湧出量 l/分	59.5 2.31	60.0 3.16	60.0 3.51	59.5 2.41	59.5 2.55	60.0 2.79	59.5 2.22		
10	温度 °C 湧出量 l/分	52.7 4.61	52.4 4.55	52.0 4.54	51.2 4.18	50.6 4.60	50.1 4.75	50.6 4.83		
No.		8日	8時	10時	12時	14時	16時	18時	21時	備考
8	温度 °C 湧出量 l/分	84.0 28			75	(90以上) 80	87.0 58			揚水量からの計算値
1	温度 °C 水位 cm	64.8 174.0		174.5	173.5	189.2	174.0	182.0		水位は基準点よりの深さcm
5	温度 °C 水位 cm	62.0 134.5	61.0 134.5	52.5 135.0	60.5 135.0	62.8 136.5	63.2 138.0			
7	温度 °C 湧出量 l/分	66.5 3.86	66.0 3.79	66.0 3.79	65.7 3.61	65.8 3.63	3.65	66.0 3.65		
9	温度 °C 湧出量 l/分	60.0 2.22	60.0 2.16	59.7 2.24	59.7 2.25	59.6 2.10	59.5 2.03	59.4 2.17		
10	温度 °C 湧出量 l/分	50.6 4.73	52.2 4.54	52.0 4.59	51.4 4.52	51.5 4.34	50.5 4.76	50.4 5.38		

No.8源泉の揚水試験

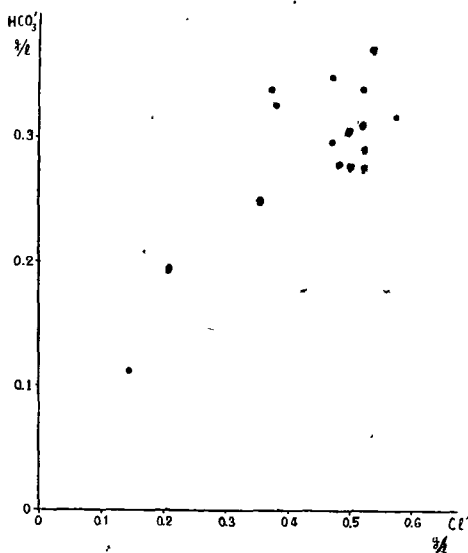


(3) Cl^- イオンや HCO_3^- イオンについては、例えば花合野川に沿って上流の方が多く下流が少いか又はその逆であるとかと云う様な系統的な地理的分布は認められなかつた。しかし、第2図に示した如く、 Cl^- イオンの多いものは HCO_3^- イオンも多い傾向がある。泉温とこれらイオンとの関係は、引湯設備が良くないため泉温の低下が著しく、大分不明瞭ではあるが、傾向としては温度の高いものに Cl^- や HCO_3^- イオンも多い。これらの傾向から、湯の平温泉はもとは一つの温泉源から由来しているものと想像される。更に、地下の温泉水は花合野川に沿って上流から下流に流れているものではなくて、むしろ、花合野川に沿って存在すると思われる岩盤の割れ目を通して各所で地下深处から上昇して来るものか、もしくは花合野川左岸の山地より川へ向って流れて来るものと推定される。

(4) 泉源探査のために行つた地下 1m 深の地温分布を第3図に示す。既存の源泉を含む花合野川左岸に高温帯が認められ、その形は前に推定した地下の温泉水の流動状況を反映しているものと思われる。

(5) 湯の平温泉の西方山中に、数ヶ所、比較的高温の源泉が在在する。(第4図) そのうち「ゆのと」は 37°C に達し、湧出量も1分間に約50リットルはあろうと思われる。浴用に供し得る程度に温度を高めることは充分期待出来るから、適当な設備さえ行えば、利用価値はあるであろう。

第2図 Cl^- と HCO_3^- との関係

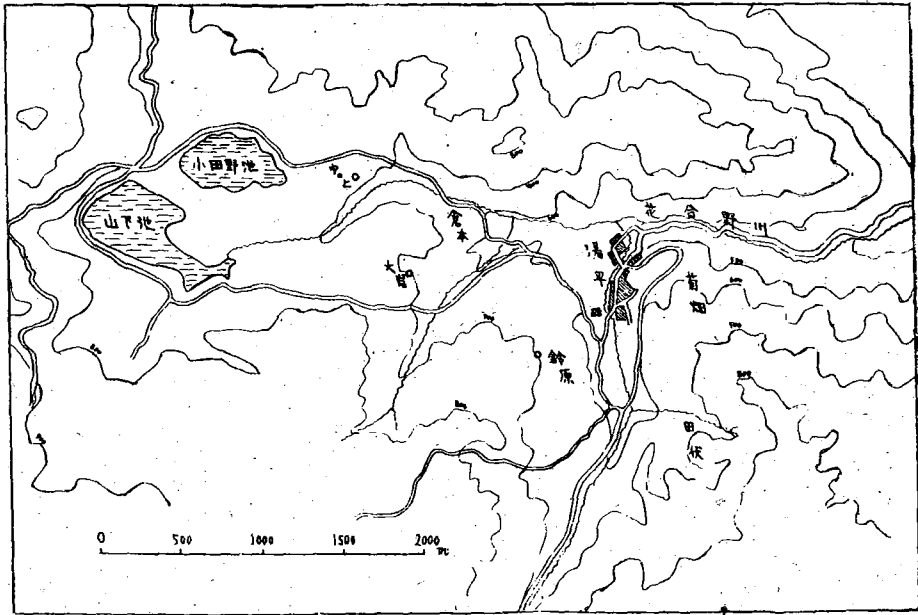


Ⅲ 温泉資源の開発について

前節で要約した調査結果から、湯の平温泉の地下には現在採湯されている以外の余剰の温泉水がかなり豊富にあるものと判断される。この未利用温泉資源の開発には、(1)現在の源泉をポンプ揚水することによつて増量する方法と、(2)堀さくによつて新源泉をつくる方法とが考えられる。(1)の方法でも全体として現在の50%程度の増量は可能であろうが、将来の発展ということも考えて、この際(2)の方法を推進することが望ましい。湯の平温泉には今迄堀さくによつて新源泉を開発した経験はないけれども、今回の調査結果から見れば、適当な地点に堀さくすることによつて新源泉を得ることが出来るものと信ずる。新たに堀さくを行う地点の候補地としては、地温の高い地域内にあつて、既存源泉よりある程度はなれており、更に配湯の便も考えて出来るだけ高地が望ましい。新源泉が得られた場合、隣接の既存の源泉に若干の影響はあるであろうが、全体として湯の量が増加することも疑う余地はない。

現在の湯の平温泉の規模から考えると少くとも1日約5000石の湯量が必要であるが、この量は充分望み得る量であつて、積極的な温泉資源の開発と、引湯配湯設備の近代化によつて、湯の平温泉の一層の発展が期待される。

第4図



終りに今回の調査に御指導御協力を戴いた瀬野錦蔵博士・山下幸三郎・岡本巖・岐部典正・矢野行雄の諸氏、並びに地元各位に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 瀬野錦蔵：大分県湯平温泉に就いて、地球物理4巻4号、昭和15年
- 2) 山下幸三郎：大分県湯平温泉調査報告、地球物理9巻1号、昭和26年

別府市内温泉の化学成分長期変化に 関する調査報告

瀬野 錦蔵、吉川 恭三

1. ま え が き

筆者の一人が1946年に行つた⁽¹⁾測定により、かつて浜脇温泉の一部のみに見られた海水の浸入がその後かなり増大して中部埋立地をふくむ広範囲にまで拡大している事実が示された。このことより海岸近くにある温泉水中の塩素イオン含有量を測定することは温泉の供給量に対する使用可能量の限界を暗示する一つの指針を与えるものと考えられ、1950年には全ゆう出口⁽²⁾について、更に1952年には海水浸入地域及びその周辺のゆう出口⁽³⁾についての測定がくりかえされその結果、1946年以後海水の浸入状態には多少の変動はあるが全体として大きな増減は認められず温泉水と海水とはその間ほぼつり合いの形を保つていたと考えられた。しかし、その後の年月の経過と共に温泉ゆう出口にも多くの改修が行われ、採取温泉量は次第に多く、その採水深度も次第に深くなつてゆく傾向があると思われる。その影響が海水の浸入状態にも現われて来ることが予想されるから、海岸近くの温泉水中の塩分の変化については常に注意が払われねばならない。

そのほか、かつて吉川は泉温や塩素及び重炭酸イオン含有量の分布から海水浸入域以外での温泉水はやや性質の異なる二種の温泉水系に広く冷地下水の混入しているものと推測したが、もし之等の分布に変動が見出されるならばそれは温泉水の流動状態に起つた変化を示すものと考えられ、したがつて長期間をへだてての各化学成分の分布の変動を調査することはその間における温泉水系・冷地下水及び海水の相互間におけるつりあいの消長を探るに有効な方法を与えるものである。その見地から今回は別府市街地温泉の全地域に配分されるように選んだ全温泉数の約1/3に当る232口の温泉につきその泉温と塩素・重炭酸イオンの含有量を測定し、その分布の変動を知ろうと試みた。

2. 1958 年 の 調 査

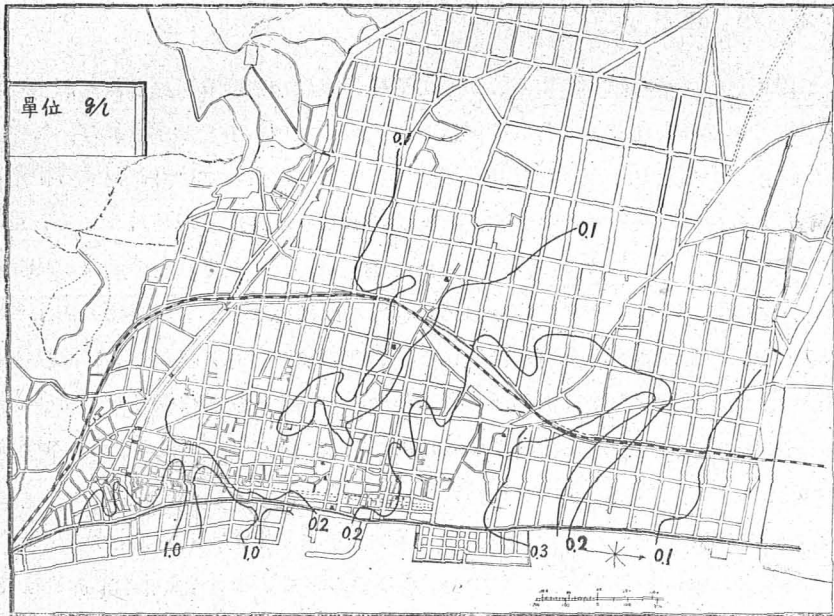
調査は1958年9月中旬の約1週間にわたつて行い、その期間内に特に各温泉の化学成分に変化を与えるような自然的原因は見られなかつた。もちろん潮の干満や降雨による変化は当然予想されるが従来の実測から之等は分布の大勢に影響を与える程大きいものではなからうと推測される。ポンプ揚水を行つている温泉では採水する時期により化学成分含有量に非常に差の生じることが知られて居り、その原因による誤差を出来るだけ少なくするためポンプをかけてから相当時間たつて温度が⁽⁴⁾ほぼ最高に達し大体一定値を保つようになつた後に採水するよう注意した。かつて川端氏はこの時期には塩素イオン含有量もほぼ一定となることを示している。

泉温はその場で測定し採水した瓶を持ち帰つて即日分析を行つた。塩素イオンは硝酸銀滴定で定量し更にメチルオレンジアルカリ度を測つてこれを重炭酸イオン含有量とみなすことにした。これ

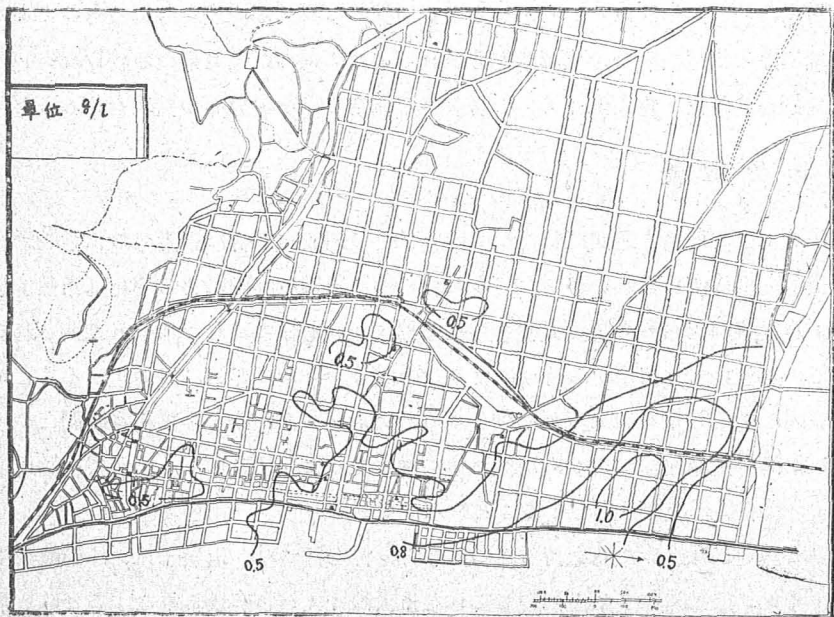
は化学的には疑問を残すが従来の調査がすべてこの方法により行われているため、それらとの比較のため本報告にもこのように表わすことにする。

各測定値は本報告末尾の第1表に記してあり、それに基づき別府市街地温泉全域にわたり描いた分布図が第1図と第2図とである。

第1図 塩素イオン、含有量分布 (単位g/l) 1958年9月測定



第2図 重炭酸イオン、含有量分布 (単位g/l) 1958年9月測定



これらを1950年の測定値から得た分布図と比較すると全体の傾向にはあまり変化のないことが示されている。塩素イオン含有量については全体的にやや減少の傾向がみられ或は測定に用いた規定液の違いによるとも考えられるが、しかしこれを1946年の分布図と比較しても最も塩素イオン含有量が低く0.1g/l以下であった田の湯温泉脈の附近に0.1g/l以下の地域の増大していることがかなり顕著で、他地域にはあまりはつきりした減少が見られないから、規定液の違いよりも他の自然的な原因による塩素イオン含有量の変化を考えるべきであると思われる。又、塩素イオン濃度の分布をみると0.2g/lと1.0g/lの等値線がかなり接近しているから、海水浸入域の限界を今かりに塩素濃度1.0g/lの線としてみた場合、その位置にあまり変化はみられずその浸入域が殆んど拡大していないとみなければならない。

こころみに塩素イオン含有量の程度を数段階に区切つて測定値がその各段階に属する温泉数を1950年の調査時のものと比較して第2表を得る。

第2表 塩素イオン含有量の各段階に属する温泉数
(1950年と1958年との比較)

Cl ⁻ 含有量 (g/l)	1950年	1958年
<0.1	25	37
0.1—0.2	433	115
0.2—0.5	113	49
0.5—1.0	6	8
1.0<	25	23
計	602	232
Cl ⁻ 量平均 (g/l)	0.262	0.443

1950年はほぼ全温泉につき測定したにかかわらず、今回の調査は海水浸入域と思われる地域の温泉はすべて含んだが他の地域では大体全地域によく配分されるように選んだ一部の温泉のみの調査にとどまつたから、この2回の測定結果をそのまま比較することは出来ない。例えば、0.1—0.5g/lの範囲の温泉数が1950年に非常に多いのはそれらが温泉の最も密集している地域にゆう出して居り今回の調査では省かれたものが多いことが大きい原因で塩素イオンの平均が1950年に小さいこともそのためと考えられる。

しかし、0.1g/l以下の温泉数が今回の方に多いことは少なくともそのように塩分のうすい温泉の増加したことを示すものと考えてよいであろう。したがつて元来塩素イオン含有量の低かつた地域では更に若干温泉がうすめられている傾向があると云える。一方、0.5g/l以上の温泉はすべて浜脇から中部埋立地附近にかけての海水浸入域と云われる地域にあり今回も可能な限り全温泉を調査した範囲に属するが、その総数は前回と変りがなかつた。個々の温泉については閉止したものもあれば又かなり塩素イオン含有量の減少したものなどもみうけられるにかかわらず、その0.5g/l以上を含む温泉の総数に変りのないことは先に述べたように海水浸入があまり進んでいない事実を示すものとしてよいであろう。

重炭酸イオン含有量の分布からは特にとりあげられる程の変化はないように思える。

泉温については、今回の調査は分析のための採水に重点をおいたため、例えばゆう出口での採水が困難な時には採水と共に温度測定も浴場の元箱で行つたりしてやや正確さを欠いた点もあるが分布の傾向はこれまでの調査時とあまり変動がないように思える。ただし全体としてやや温度が低下しているようにみえてその平均も50.0°Cで1950年調査時の52.5°Cに比べて低くなつている。しか

し、前述のように今回は一部の温泉についての調査であり、又季節変化なども考えに入れるとただで別府温泉全体の変化を示すとは云えない。

3. 塩素イオン濃度減少地域についての考察

別府温泉が被圧層状泉で地下広範囲をおおっている温泉水層中を温泉水が大体山手から海岸に向い流動していると考えてよいことは之までに行われた多くの研究から明かにされている。化学成分濃度や温泉水頭の高さの地域的変化が連続的であるという事実から地下温泉水層がたとい幾層あるにしてもそれらは互に連絡し合い、その中の温泉水も互に混じ合う機会を持つていることが推定される。吉川はかつて別府温泉は二温泉水系と一地下水系とから成り立つて居りその温泉水系とは其々田の湯・海門寺温泉脈に属するものでそれらの流動及び相互の混合状態は重炭酸イオンと塩素イオンの含有量の比の分布や温泉水頭分布からうかがうことが出来ることを示した。しかしこのいわゆる温泉脈上の温泉でも化学成分や温度にかなりの相異が見られ大体下流の海に近づく程温度が高く塩素や重炭酸イオン濃度も大きくなる傾向がある。この原因にはいろいろあろうがその第一として冷地下水の混入度の違いが考えられる。⁽⁵⁾瀬野の研究によると別府では一般に冷水頭は温泉水頭より低い上流に行くにしたがいその差は小さくなり海岸から約 800~1000m 附近で冷水頭の方が高くなるとされている。異つた層の間の水の混合は水圧の高い方から低い方へと行われるのが普通であるから、もし温泉水層への地下水の混入が行われるとすれば、その大部分は鉄道線路以西の上流で行われ下流では混入が行われるとしてもごく局所的で前者に比しはるかに僅少であるに違いないしたが冷地下水の混入度が増加するとすればまづ上流部の比較的浅い温泉からその影響が現われて来るはずである。これが従来から塩素イオン濃度の低かつた田の湯温泉脈上流地域で更にその濃度の減少したことの原因になるのではないかと考えられるが現在までの調査結果からこれを断定することは難しく更に多方面の研究を必要とする。今、この地域の化学成分濃度が次第に低下したことを示す一例として長年間に比較的しばしば測定された宮地嶽温泉井の記録を示すと第3表のようになる。この井戸は田の湯温泉脈の最上流域にあり海岸からの距離は1080m、地高は約33m で井戸底までの深さが地表下約8.5mの浅い井戸である。

もしこの表に示されるような化学成分濃度の低下が上記のような地下水混入度の増加に基づくものとするならば、これまでに冷地下水の水圧が上昇して来た事実は認められぬから地下水圧はあまり変わらず深層の温泉水の圧力が低下したために、このような浅い層にまで浸出してくる温泉水の量が減少して来たと考えなければならぬと思われる。以上は温泉水と地下水との関係を解釈する上に極めて重要な事実と思われ今後更に深く研究を進めてゆきたい。

第3表 宮地嶽温泉井に於ける化学成分濃度の長期変化

測定時	Cl ⁻ (g/l)	HCO ₃ ⁻ (g/l)
1928年9月	0.0792	0.4028
1929年8月	0.0715	—
1930年8月	0.1204	0.3922
1931年8月	0.0672	0.3172
1937年4月	0.047	—
1938年2月	0.081	—
1946年7月	0.051	0.276
1950年8月	0.063	0.328
1958年9月	0.036	0.199

4. 海水の浸入

先に述べたように海水の浸入域は過去8年間にあまり変つていない。このことから温泉水圧には余り変動がなく海水圧とほぼつり合いの状態を保つたままであると考えられる。もちろん個々の井

第4表

温泉番号	1950年		1958年	
	温度(°C)	Cl (g/l)	温度(°C)	Cl (g/l)
2の1	51.5	1.66	58.5	3.74
1186	56.5	2.79	56	4.56
1304	45	7.6	42.5	0.036
1306	43	5.22	42	1.13
警察署	52	3.07	43	7.54

戸について云えば、かなり塩分を増加したものもあれば増掘しても、塩分に変動のなかつたものもありさまざまにその1950年における測定値と大きく変つているもの数例を次の第4表にあげる。これらは最近井戸の改修を行つていないものばかりである。

このような個々の井戸についての変動は非常に多くの問題を含んでいる。

例えば増掘して後塩分が減少すれば少くともその部分では深層と浅層の二種の温泉水層が隔絶されていて深層の温泉水圧は尚かなり高く維持されていることを示すと考えてよいが、それらの現象がこの地域に一般的なものではなく、他の井戸では増掘して深層から採水しても温度は高まつたが塩分は増大しているものもあり又、温度・塩分共に変らぬものもあり地下の層の状態が複雑なことが示される。

現在の段階ではこのようなそれぞれの井戸についての複雑さにはふれずに全地域を通じて考えられる一般的な問題として取扱う。従来、海岸地下水層に海水の浸入している状態を示す基本的な考えはヘルツベルグの公式と呼ばれるものである。第3図のように ρ_1 の密度をもつ地下水が垂直方向の流速は無視される程度で水平方向のみに流れていると仮定され、又密度 ρ_2 の海水がその下部にもぐりこんでそれは全く静止していると考えられるような定常状態においては、淡水と塩水との境界面のうける静水圧のつり合いから次の関係が求められる。

$$\rho_1(H+h) = \rho_2 h$$

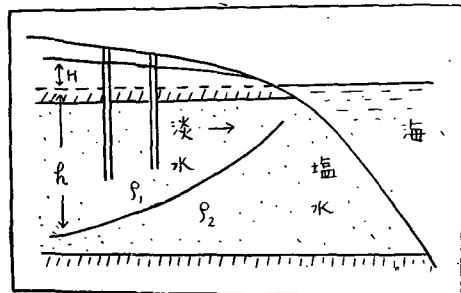
$$h = \frac{\rho_1}{\rho_2 - \rho_1} H \dots \dots \dots (1)$$

ただしHは地下水頭の平均海面上の高さである。

之がヘルツベルグ公式と呼ばれる関係で多くの海岸地下水域に適用され実状に対して大体の近似を得ている。

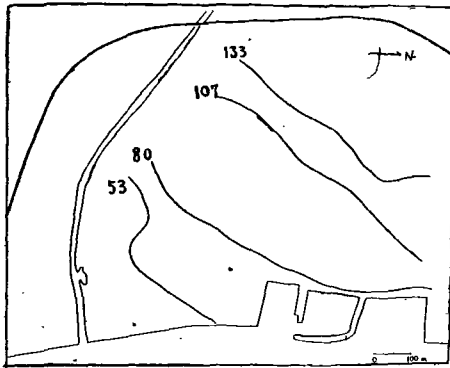
もし別府温泉でもこの関係が成り立つとすれば、地面下どの程度の深さにまで海水が達しているかを計算してみよう。温泉水の密度 ρ_1 としては、全く化学成分を含まぬ淡水で温度は50°Cとみて0.988をとり、海水の密度としてはこの沖合の平均塩分33.00‰から1.025とをる。海水浸入域以外での温泉水の塩素イオン含有量は小さく、この程度ならば淡水とみても密度の点ではあまり大きな

第3図 被圧地下水層内の淡塩水境界面



(5)
誤差はない。次にHとしては、1938年に瀬野により報告されている温泉水頭分布からの値を用いる。当時より現在の方が水頭が上昇しているとは考えられないから、現在のHの値は之よりむしろ小さくなっているのではないかと推測され之から求めたhの値は現在としてはむしろ大きすぎる可能性がある。又、海岸部の塩分の大きい地域では ρ_1 がこの値より大となつていてそのため実際のhの値

第4図 ヘルツベルグ公式から計算した別府に於る温泉水と海水との境界面までの深さ(平均海水位下m)



が之よりやや大きい場合もあるかもしれない。この方法により求めたhの値を第4図に記す。之は平均海水位下、温泉水と海水との境界面までの深さを示すもので上記の理由から少くとも海水浸入域以外では海水は更に浅く迄来ている可能性が考えられる。この地域にある温泉の深さを調べると、かつてこの温泉水頭調査時には浅かつた温泉もその後増掘してhの107mの線よりも海岸よりでは、100m以上の深度をもつ温泉が殆どで、多数の温泉が先に得られた海水存在の深度で深からも採水していることが分る。それにもかかわらず、それらの温泉での塩素イオン含有量が0.2g/l以下で海水が直接混入しているとは考えられないのはどういうわけであろうか。温泉水頭が次第に海岸に向けて低くなつていくことからこれらの温泉から海岸までの間に温泉水圧が非常に高くして海水の浸入を阻止出来るような場所があるとは考えられない。

第一に考えられる原因は地層の複雑さに起因し、温泉水層中に例えば第5図のような海水の浸入を防止する障害物が存在する場合で、もし実際にこのようになっていくとすると、淡塩水境界面がこの障害物をのりこえるまでは海水の浸入は内陸へ広まらないが一たんこの障害を越すと急速に浸入が広がるにちがいない。別府温泉の海岸部一帯にこのような状態が実在するかどうかは疑問で従来のボーリング資料からも認められぬように思える。

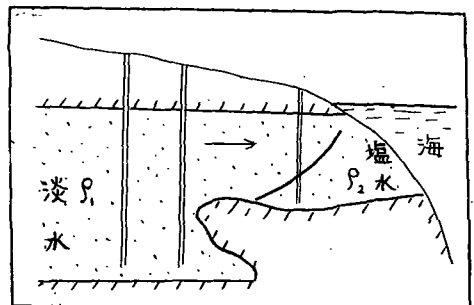
次に考えられる原因としては、別府温泉のような状態の温泉水層内にヘルツベルグ公式をそのまま適用してよいかどうかという問題である。既に述べたようにこの公式は下部の海水は静止しているとの仮定に基づいているが、別府のように海岸近くに多数の温泉があつて其からかなり多量の混入海水がゆう出している場合には海から之等の温泉に向つての海水の流動が当然考えられねばならない。従来、このような問題はあまり取扱われていないが実際に井戸からの揚水が海水で汚染されている地域ではこの海水の流動が多少とも問題にされねばならぬに違いない。

が之よりやや大きい場合もあるかもしれない。

この方法により求めたhの値を第4図に記す。之は平均海水位下、温泉水と海水との境界面までの深さを示すもので上記の理由から少くとも海水浸入域以外では海水は更に浅く迄来ている可能性が考えられる。

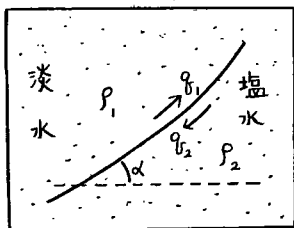
この地域にある温泉の深さを調べると、かつてこの温泉水頭調査時には浅かつた温泉もその後増掘してhの107mの線よりも海岸よりでは、100m以上の深度をもつ温泉が殆どで、多数の温泉が先に得られた海水存在の深度で深からも採水して

第5図 海水浸入をさまたげるような地層の例



第6図のように其々 ρ_1 、 ρ_2 で表わされるような密度をもつた淡水と塩水とが接して各々流動している時、その境界面が水平面となす角度 α には次の関係のあることがキングの研究⁽⁹⁾により示されている。

第6図 互に流動している
淡塩水境界面



$$\frac{q_1 + q_2}{kg(\rho_2 - \rho_1)} = \sin\alpha \dots \dots \dots (2)$$

ただし k は透水係数で淡水内及び塩水内で同一値をもつと仮定され、 g は重力加速度である。上式で q_1 をそのままに保ち q_2 を大きくするとそれにつれて α も大となつて境界面は内陸に向つて次第に深さを増すこととなる。先にヘルツベルグ公式から求めた h の値は q_2 を 0 にした時に対応するものであり、 α が比較的小さい時には q_1 は、近似的には温泉水頭の勾配にほぼ比例するよう

な水平方向の流速とみなされる故、

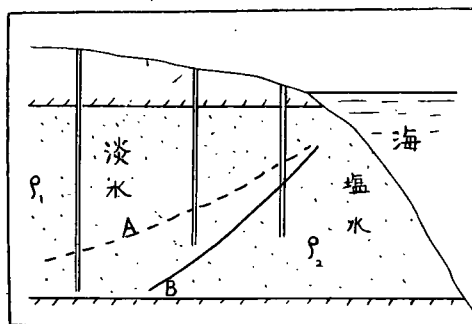
$$\frac{q_1}{kg(\rho_2 - \rho_1)} = \sin\alpha' \dots \dots \dots (3)$$

で表わされるような α' の角度で傾斜している境界面までの深さをほぼ示すものと考えられる。したがつて実際に海水が内陸に向つて流動している場合、例えば別府温泉のような場合に、その海水の流速を加味して考えた α' の値は α よりも相当大きくなり、それとともに淡・塩水境界面までの深さ h はヘルツベルグ公式から求めたものよりも尚かなり大きいと推定出来る。このような状態を考えることにより、例えば第7図に示されるように、別府で海水の混入している温泉が海岸のごく近傍に限られていることが説明されよう。

この説明をもつと大ざつばに云うならば、海から入つて来る海水を海岸近くで揚水し続けるために、海水を揚水しない場合程内陸へは海水が入つて来れないことも云える。

以上考えた二つの原因の中、別府にはどちらの方がより適合するかについては今のところ判定できないが、第一の原因が特殊な地層の複雑さを必要として、現在までのボーリング資料などからはその存在が疑わしいのに対し後に述べた原因の方がより一般的なもののように思える。いづれにしても海水が内陸方向に流入していることは事実であるから温泉水との境界面はヘルツベルグ公式から求められるよりも深いことは疑いない。

第7図 (A) : (1)式に基づく境界面
(B) : (2)式に基づく境界面



4. 結 び

別府市街地温泉全域に分布するように選んだ 232 口の温泉につき泉温と塩素及び重碳酸イオン含有量を測定し分布図を得た。かつて求めた分布図と全体の傾向には余り変化はみられないが従来塩素イオン含有量の低かつた地域の一部で更に幾分減少している傾向がみられ、之は深層の温泉が開

発されてその水圧が低下したために、浅層まで浸出して来る温泉水量が減少し、その結果、浅い井戸からの温泉水中に地下水混入度が増加したからではないかと考えられる。

一方、海水の浸入域にはあまり変動がなく、温泉水圧と海水圧とのつり合いがほぼ従来通りに保たれていると見られる。海水で汚染されている温泉がこのように比較的海岸近くのみにおさえられている原因として、地層中に海水浸入を防ぐ妨害物が一帯に存在する場合も考えられ、又、もつと一般的な理由として、地層中を内陸に向け流動して来る海水が海岸近くの井戸からたえず揚水されてあまり内陸まで浸入出来ない場合もあると推定された。

以上のような上流地域での浅い温泉における地下水混入度の増加とか、海岸近くでの海水浸入についての機構に対する推定は温泉水の補給とか流動の状態というような非常に重要な問題と関係深いものであるが、現在のところまだ之以上に確定的な推定を下すには至らない。更に広い資料を求めてこの問題を明かにしてゆかねばならないと考えられる。

参 考 文 献

- (1) 吉川恭三、軽部末蔵 別府温泉のCl量分布の変動について。大分県温泉調査研究会報告。第1号pp.55—65
- (2) 吉川恭三 化学二成分より見たる別府市街温泉の水系。同上、第2号pp.53—73
- (3) 吉川恭三 別府温泉に於る海水汚染調査について。同上、第4号pp.1—3
- (4) 川端 博 海岸地下水の塩分変化について。同上、第2号pp.35—45
- (5) 瀬野錦蔵 別府市街地の温泉水頭分布、地球物理、2巻pp.280—290
- (6) 宮地嶽神社井戸水分析表 同上 1巻P79
- (7) 宮地嶽神社井水調査表 同上、2巻pp.462—466
- (8) 瀬野錦蔵 別府附近温泉若干の電導度年変化について、同上、2巻P360
- (9) H, King The Theory of Groundwater Motion, J. of Geology vol. 48, (1940) pp.858—868

第 1 表

1958年 9 月測定 の 塩素及び重炭酸イオンと温度

温番	泉号	Cl(g/l)	HCO ₃ (g/l)	温 度 (°C)	温番	泉号	Cl(g/l)	HCO ₃ (g/l)	温 度 (°C)	温番	泉号	Cl(g/l)	HCO ₃ (g/l)	温 度 (°C)
20	1	3.74	0.333	58.5	20		0.148	0.381	46.0	79		0.182	0.496	52.5
	3	0.687	0.557	55.0	23		0.184	0.407	43.7	65		0.114	0.435	42.1
	4	2.39	0.486	56.0	40		0.083	0.407	43.2	67		0.151	0.531	54.0
	6	2.29	0.475	52.0	46		0.153	0.371	42.5	74		0.161	0.427	51.6
	7	1.826	0.493	43.2	51		0.102	0.406	42.0	80		0.136	0.329	43.2
	9	0.171	0.365	51.2	55		0.121	0.376	43.0	82		0.131	0.430	47.5
	13	0.166	0.423	55.6	57		0.122	0.425	44.0	92		0.161	0.781	59.0
	14	0.182	0.427	41.1	58		0.142	0.356	43.1	98		0.150	0.370	48.0
	17	0.186	0.499	54.2	60		0.163	0.443	53.0	101		0.122	0.456	44.5
	19	0.166	0.343	47.5	70		0.157	0.427	50.0	106		0.107	0.406	46.0

温番	泉号	Cl(g/l)	HCO ₃ (g/l)	温 度(°C)	温番	泉号	Cl(g/l)	HCO ₃ (g/l)	温 度(°C)	温番	泉号	Cl(g/l)	HCO ₃ (g/l)	温 度(°C)
110		0.113	0.425	47.6	363		0.213	0.522	59.0	451	○1	0.144	0.830	50.4
118		0.079	0.395	43.7	370		0.216	0.538	60.5	452	○1	0.171	0.849	56.4
121		0.092	0.461	45.5	374		0.186	0.474	50.5	452	○2	0.283	0.827	57.0
123		0.126	0.514	52.1	381		0.216	0.534	60.0	471		0.227	0.358	51.6
130		0.114	0.479	52.6	383		0.225	0.528	56.0	472		0.253	0.397	59.6
136		0.222	0.459	45.7	394		0.188	0.404	49.5	475		0.195	0.395	55.3
167		0.153	0.462	51.4	398		0.228	0.445	53.5	477		0.205	0.450	61.8
168		0.095	0.472	49.3	405		0.217	0.418	53.9	485		0.146	0.416	53.3
173		0.095	0.487	52.7	406		0.188	0.469	54.1	494		0.095	0.453	51.2
176		0.116	0.558	57.1	407		0.214	0.402	53.0	506		0.099	0.474	54.5
193		0.105	0.493	52.7	411		0.120	0.581	55.5	513		0.094	0.452	42.6
201		0.374	0.638	58.6	411	○1	0.217	0.476	56.8	522		0.136	0.569	62.5
205		0.162	0.482	46.0	412		0.192	0.443	45.0	530		0.089	0.474	49.8
206		0.243	0.352	48.5	413		0.189	0.716	59.0	534		0.135	0.480	56.0
210		0.164	0.352	52.0	418		0.144	0.667	55.5	536		0.191	0.460	58.0
212		0.171	0.381	51.5	423		0.211	0.408	49.0	542		0.187	0.373	54.8
218		0.871	0.549	58.1	425		0.220	0.681	62.5	552		0.229	0.406	52.0
220		0.182	0.630	62.5	428		0.238	0.830	53.0	554		0.191	0.394	52.5
223		0.139	0.495	55.5	430		0.266	0.634	59.5	554	○1	0.246	0.389	50.5
245		0.135	0.616	55.0	431		0.189	0.716	59.0	555		0.138	0.425	48.5
258		0.100	0.449	53.0	432		0.184	1.06	54.0	556		0.100	0.495	52.7
271		0.168	0.567	59.0	434		0.288	0.836	55.0	563		0.164	0.352	46.2
279		0.103	0.580	55.5	434	○5	0.346	0.737	55.4	564		0.162	0.321	46.7
291		0.165	0.468	56.5	434	○15	0.268	1.542	59.5	566		0.243	0.402	53.4
301		0.139	0.425	52.0	435		0.199	0.435	52.4	578		0.121	0.348	49.5
306		0.181	0.500	54.0	437		0.266	0.436	60.0	582		0.110	0.550	46.0
313		0.143	0.619	55.5	438		0.256	0.588	53.2	593		0.089	0.334	42.2
319		0.280	0.681	60.5	442		0.210	0.445	53.2	595		0.066	0.347	41.0
330		0.183	0.624	55.5	443		0.438	0.552	61.3	616		0.089	0.428	49.0
340		0.219	0.597	54.5	443	○2	0.363	0.517	60.8	618		0.135	0.422	51.0
343		0.227	0.522	62.0	444		0.342	0.689	61.5	634		0.082	0.372	47.0
344		0.195	0.413	48.0	445		0.475	0.745	58.2	641		0.095	0.470	51.0
349		0.210	0.332		448	○1	0.380	0.803	52.0	649		0.103	0.510	45.6
350		0.199	0.497	46.0	450		0.337	0.476	59.5	664		0.111	0.445	45.5

温番	泉号	Cl(g/l)	HCO ₃ (g/l)	温度(°C)	温番	泉号	Cl(g/l)	HCO ₃ (g/l)	温度(°C)	温番	泉号	Cl(g/l)	HCO ₃ (g/l)	温度(°C)
671		0.092	0.351	41.0	993		1.92	0.608	57.5	1283		0.048	0.387	
672		0.073	0.314	39.5	1017		0.161	0.386	43.9	1284		0.387	0.986	50.9
679		0.085	0.322	35.0	1022		0.191	0.489	35.0	1285		0.233	0.509	53.5
682		0.092	0.433	45.0	1026		0.176	0.449	47.6	1294		0.245	0.503	52.0
692		0.126	0.418	44.6	1031		0.182	0.513	54.8	1295		0.342	0.830	51.5
698		0.175	0.526	55.8	1032		0.173	0.464	49.7	1296		0.058	0.613	40.0
709		0.102	0.530	54.4	1040		0.315	0.621		1298		0.116	0.938	51.0
712		0.099	0.410	45.5	1043		1.758	0.459	45.0	1299		0.058	0.542	40.5
738		0.086	0.442		1045		2.33	0.523	44.0	1300		0.049	0.464	39.0
749		0.095	0.452	53.3	1079		0.744	0.556	44.9	1304		0.036	0.172	42.5
771		0.095	0.445	50.8	1084		3.63	0.511	49.0	1306		1.13	0.396	42.0
775		0.232	0.431	44.6	1136		0.541	0.382	38.0	1308		0.193	0.338	43.0
778		0.094	0.445	45.5	1138		2.40	0.503	47.0	1308		0.141	1.18	48.5
781		0.134	0.474	57.0	1140		3.58	0.475	46.5	1327		1.55	0.386	44.0
785		0.136	0.532	57.0	1144		0.309	0.246	49.0					
792		0.135	0.552	54.8	1155		1.899	0.475	44.0	清別天閣		0.110	0.427	43.0
801		0.166	0.480	50.5	1164		2.03	0.376	41.8	山元肉屋		0.110	0.517	
820		0.146	0.476	47.5	1168		0.505	0.291	39.0	弓浜温泉		0.166	1.34	48.5
823		0.142	0.534	53.5	1175		0.781	0.298	38.2	富士見水		0.169	1.45	46.5
826		0.104	0.474	46.6	1179		1.45	0.355	51.5	大内山館		0.167	0.422	49.2
832		0.124	0.594	56.9	1181		0.193	0.364	48.2	中村		0.117	0.441	40.0
842		0.123	0.513	55.2	1182		2.60	0.734	56.5	テパー				
853		0.132	0.529	57.3	1183		0.805	0.363	48.2	菊花旅館		5.67	0.607	48.6
858		0.092	0.472	44.5	1184		5.81	0.651		小田原		0.620	0.377	43.0
861		0.098	0.415	41.5	1186		4.56	0.475	56.0	警察署		7.54	0.344	43.0
866①		0.171	0.518	50.5	1187		0.466	0.388		姫野別館		2.70	0.516	54.6
875		0.155	0.323	44.0	1188		0.091	0.465		龍ノ井		0.091	0.532	38.5
886		0.111	0.412	42.0	1214		0.126	0.518	54.5	三田川		0.168	0.341	44.3
897		0.114	0.321	38.2	1219		0.150	0.581	58.5	産業		0.126	0.419	46.0
933		0.132	0.347	43.5	1223		0.070	0.352	46.5	西部電機		1.20	0.531	
965		0.099	0.384	51.0	1256		0.031	0.298	37.0	塩長		0.229	0.864	51.5
966		0.092	0.375	50.0	1257		0.342	0.948	52.2	和貴屋		0.202	0.459	59.0
970		0.036	0.199		1258		1.73	0.445	39.0	海門寺				
974		0.064	0.348	47.0	1280		0.101	0.826	44.9	温森沢商店		0.134	0.447	48.0
										關汽船		0.141	0.271	

大分県本耶馬溪村、耶馬溪村に於ける 温泉探査報告

山 下 幸 三 郎

1. 緒 言

本耶馬溪村と耶馬溪村は隣接した村で、共に耶馬溪国定公園内にあり、最も景勝の地である。

温泉は耶馬溪村に⁽¹⁾2ヶ所穿堀泉があり、浴用に利用されている外、 27.8°C の自然湧出泉があるが、本耶馬溪村にはない。

大分県地質及び地下資源概査報告書によれば、⁽²⁾両村の地質は所謂耶馬溪式地形による多くの景勝を作っている成層集塊岩又は洪積世安山岩層である。

調査地は本耶馬溪村2ヶ所、耶馬溪村3ヶ所で、地中温度の水平分布並びに浅井戸の水溫・湧水の Cl^- 、 HCO_3^- 量の測定から地下高熱水の存在を推定した。

2. 本耶馬溪村に於ける調査結果について

本耶馬溪村には温泉はないが、冷鉱泉が2ヶ所に湧出している。最も近接した温泉は調査地の南方13軒に耶馬溪村深耶馬溪温泉がある。

地表に於て明確な温泉徴候のない地域に於ける温泉湧出の可能性について、容易かつ適切な探査方法は少ないが、その一つの方法として地中温度を測定し、その水平分布から地下熱源の存在を推定した。

調査地域は村役場附近より南方200mに亘る帯状の地域と、山国川左岸耶馬溪鉄道羅漢寺駅附近である。

地下に存在する熱源による地温の異状を測定するには、地下熱源以外による影響のない地下不易層以深の温度を測定するのが最も望ましいが、広範囲に測定するには多くの労力と多額の費用を要するので、一般に採用せられしかも容易に測定出来る地下1mの地温を測した。地下1mの地温は日変化は殆んど無いが、季節的变化があり、又日射の長短・地表面の傾斜と、その方向・地質・裸地・草地等によつて差違があるから、地下熱源による異状の有無の判断にはこれ等の影響を考慮しなければならぬ。

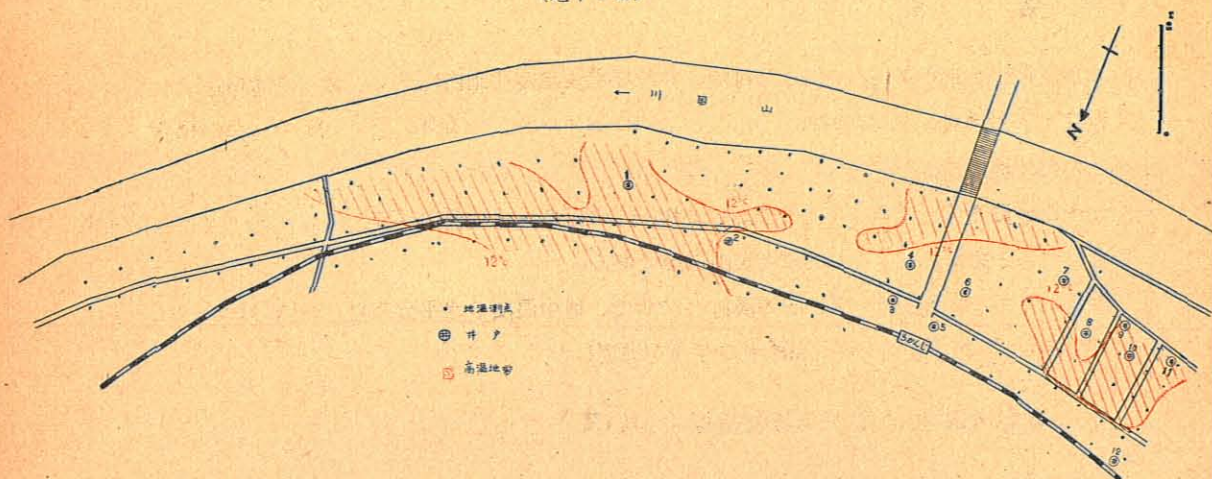
測定は昭和33年11月15～16日の2日間でその間の経日変化は認められなかつた。

11月中旬に於けるこの地方の標準的な地温は正確には決定出来ないが、地温分布及び京大別府研究所に於ける測定地温等から $16.5\sim 17.0^{\circ}\text{C}$ と推定せられる。

地温測定の結果役場附近より南部の地域は 17.8°C 以下で上記標準温度と大差なく、しかも纏まつた高温地帯もない。測定地温からは地下高熱源の存在は推定出来ない。山国川左岸羅漢寺駅東方に 19.0°C 以上の高温帯がある。この地域は水田又は畑地で地形の急変も無い。この地温は標準地温

に比して異状に高く、その原因は地下熱源の存在によつると思われるが、測定範囲が狭く其の詳細が不明な為翌年2月補足測定を行つた結果、其の地温分布は第1図の如く、前測定値より7°C程度低い、前測定に於て地温の高かつた地帯より山国川下流に広がる高温地帯があり、又羅漢寺駅西方にも高温地帯がある。

第1図 羅漢寺駅附近地温分布図
(地下1m)



地温測定地域内にある浅井戸の水位・水温を測定した結果、村役場附近以南の井戸水温は17°C以下で略々地温に等しいが、羅漢寺駅附近は一般に高く特にNo. 1、No. 10は高温である。

測定期日(2月)に於ける井戸水位と同じ深さの地温を、日射による地表面の温度変化から地中温度を求める理論式と京大別府研究所に於て測定した資料とから類推すると次の如く成る。

③
地中温度を求める理論式は次式で表わされる。

$$\theta = \theta_0 + Ae^{-\frac{2\pi z}{l}} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z}{l} \right) \dots \dots \dots (1)$$

ここに θ は地中の温度、 θ_0 は地温不易層の温度(別府では18°C)、 z は地下の深さ、 A は定数、 l は地層の温度伝導率、地面の温度変化の週期に關係する定数、 t は時間、 T は地面の温度変化の週

第一表 羅漢寺駅附近井戸水位及び水温 (昭和34年2月21日測定)

井戸番号	水位(地下)	水温	推定地温	健考	井戸番号	水位(地下)	水温	推定地温	備考
	m	°C	°C			m	°C	°C	
1	5.6	19.2	17.8	屋外、蓋なし	7	3.0	16.0	14.8	屋外、蓋なし
2	5.5	17.0	17.7	"	8	3.1	17.0	14.9	"
3	5.3	18.6	17.7	屋内、蓋あり	9	3.2	18.0	15.1	"
4	5.75	18.7	18.0	"	10	4.3	20.2	16.5	屋外、蓋あり
5	4.5	18.3	16.8	"	11	5.0	18.0	17.5	"
6	4.4	17.6	16.6	屋外、蓋あり	12	4.8	15.0	17.2	"

期である。

地下1m以深は日変化は殆んど無いから年変化のみを考えればよい。別府研究所に於て測定せる1・2・3mの地温の年変化から(1)式を用いて定数を求めると、

$$\theta = 18 + 10.8e^{-0.28z} \sin 2\pi \left(\frac{t}{12} - \frac{z}{22.4} \right) \dots \dots \dots (2)$$

上式の t は月単位、z は m 単位である。

(2)式を用いて地下4・5・6mの2月に於ける地温を求めると次表の如く成る。

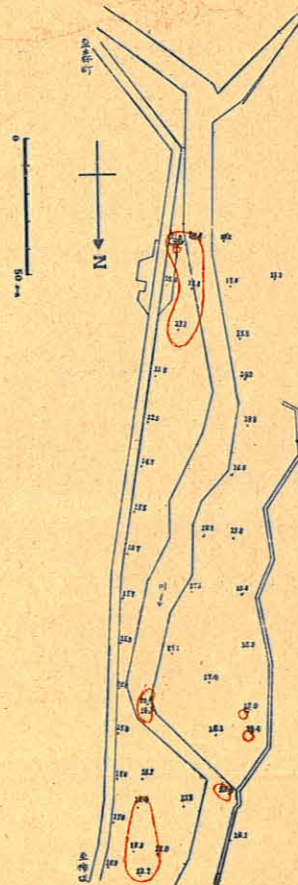
第2表 2月に於ける地中温度 (京大別府研究所の資料による)

地下の深さ (m)	1	2	3	4	5	6
地 温	9.5°C	12.0	14.8	16.0	17.5	18.2

注 1.2.3mは実測値、
他は計算値

井戸水位に対応する地中温度と水温を比較すると、2井を除いた外は水温の方が高い。これ等の井戸は簡易水道設置により現在殆んど使用されてない。井戸水温は外気による冷却もあるが、一方深部の水との対流により幾分高く成る事も予想せられる特に羅漢寺駅西方の地温の高い地帯及び其の附近 No.8、No.9、No.10は推定地温より2°C以上に高温であり、又羅漢寺駅東方の高温地帯にある No.7も1.4°C高温である。以上の結果からこの地帯の地温異状は地下熱源によると推察せられるが、高温温泉が湧出するか否かは尚深い層の地温を精査しなければ断定出来ない。

第2図 耶馬溪村 深耶馬溪に於ける地温分布 (地下1m)



3. 耶馬溪村に於ける調査結果について

調査地域は深耶馬溪相良氏所有穿堀泉所在地附近と裏耶馬溪2ヶ所である。両地域共略南北に走る谷間で両側は柱状節理を持つ洪積世安山岩(大分県地質図による)の断崖をなしている。

(I) 地温調査結果について

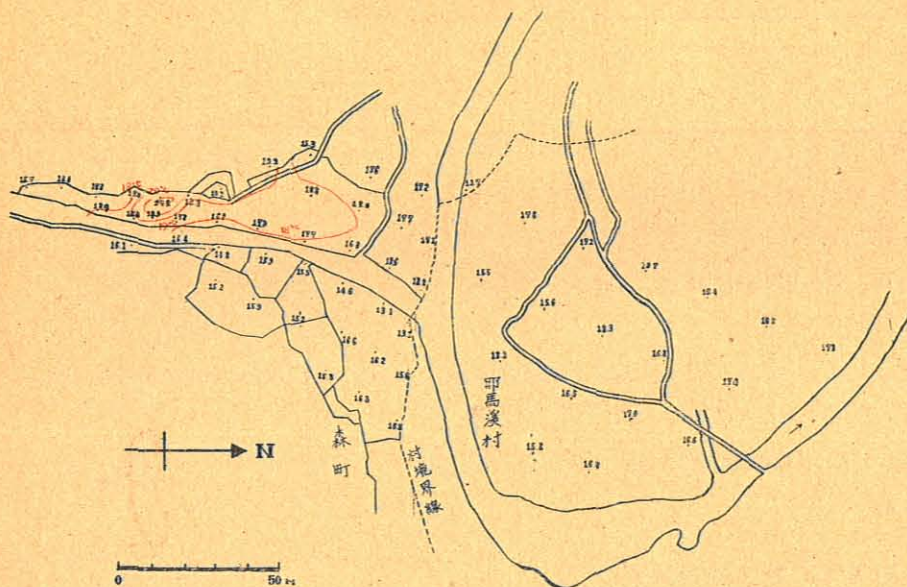
深耶馬溪の調査地域内には相良氏所有の穿堀泉⁽⁵⁾があり深度245m、湧出泉温は40.6°Cである。この温泉の附近川中には所々に自然湧出があり、最高泉温は38.4°Cであつた。地中温度の水平分布は第2図の如く相良氏温泉附近は自然湧出があり、20°C以上の高温帯をなす。下流の川中に2ヶ所、水田中に

2ヶ所の高温水の湧出あり、この湧出地の対岸水田中に 18°C の高温帯ある外、纏まつた高温帯は無い。この地域の調査期日の地下 1m の標準地温は正確には決定出来ないが、測定地温及び本耶馬溪村の地温（推定標準地温 $16.5\sim 17.0^{\circ}\text{C}$ ）、測定地の地高（略 300m ）等を考慮して 16.5°C 程度と推定せられる。水田中にある 18°C の高温帯は推定標準地温とその差小さく、地下の高温熱源による異状の否かは断定出来ない。

(II) 裏耶馬溪地域

地温測定は森町古後一耶馬溪村金吉に亘る地域と耶馬溪村伊福の2ヶ所である。森町古後の水田中には 27.8°C の温泉が微量湧出している。地温分布は第3図の如く温泉湧出地を含み北方に帯状

第3図 森町古後一耶馬溪村金吉地域の地温分布（地下1mの地温）



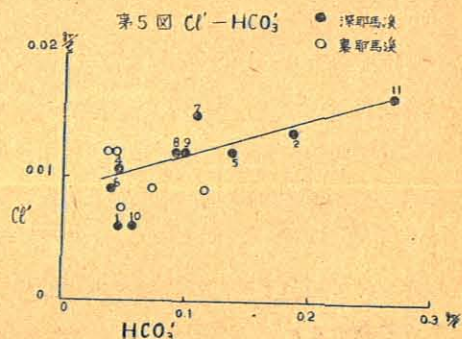
の高温帯がある。其の地温は標準地温（深耶馬溪と略々同じ（ 16.5°C ）と推定）に比して異状に高くその原因は地下高温熱源によると推察せられる。

耶馬溪村伊福地域では地下高温熱源による異状と思われる高温帯はなかつた。

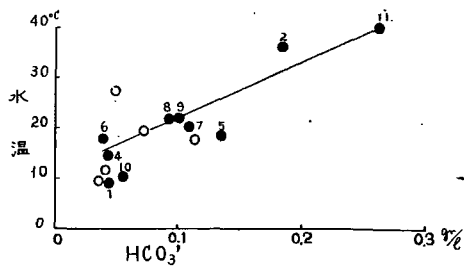
(III) 湧水の化学成分について

両地域に於ける湧水及び川水の Cl^- 、 HCO_3^- を分析し水温及び2成分間の相互関係を調べた結果、 Cl^- - HCO_3^- の関係は第5図の如く、深耶馬溪に於ては川水を除けば Cl^- 量と HCO_3^- 量とは略一次関係が成立し、相良氏温泉が両成分共に最も多い。裏耶馬溪に於ては含有量少なく両者の関係は明らかでない。

水温と HCO_3^- 量との関係は第6図の如く、深耶馬溪



第6図 水温-HCO₃' ● 深耶馬溪 ○ 裏耶馬溪



に於ては HCO₃' 量の多いもの程高温で、これ等の間にも亦略一次関係が成立する。裏耶馬溪に於てはこの関係も亦明確ではない。

以上の結果から深耶馬溪地域の高温湧水は相良氏所有温泉と同一系統の温泉水に Cl', HCO₃' 共に少ない冷地下水が混入して湧出していると推察せられる。

第3表 耶馬溪村に於ける湧水の水温 Cl', HCO₃' 量

番号	温度	Cl'	HCO ₃ '	備考
深耶馬溪	°C	gr/l	gr/l	
1	9.0	0.0061	0.0452	地温測定地より上流の川水
2	37.4	0.0137	0.186	川中の自然湧出(上流)
3	13.0	0.122	0.229	”(“)
4	14.2	0.0107	0.0452	水田中の湧水(左岸)
5	19.1	0.0122	0.137	”(“)
6	18.0	0.0092	0.040	”(“)
7	21.0	0.0153	0.108	川中の湧水(下流)
8	21.9	0.0122	0.0921	”(“)
9	21.0	0.0122	0.097	水田中湧水(左岸)
10	11.3	0.0061	0.0517	下流における川水
11	40.6	0.0168	0.267	温泉水
裏耶馬溪				
1	27.8	0.0075	0.0485	自然湧出水
2	19.9	0.0092	0.0727	自然湧出泉附近湧水
3	12.7	0.0122	0.0436	”
4	9.8	0.0122	0.0372	川水
5	18.0	0.0092	0.113	井戸水(地温測定地附近)

4. 結 語

本耶馬溪村・耶馬溪村に於ける地温・井戸の水温・湧水の水の Cl', HCO₃' 量の測定から温泉湧出の可能性について述べたが、其の結果を要約すると次の如く成る。

1. 本耶馬溪村に於ては羅漢寺駅附近に地下高熱源によると推察せられる地温の異状地帯があるが高温水が湧出するか否かは尚深部の地温を精査しなければ断定出来ない。
2. 耶馬溪村深耶馬溪に於ては相良氏所有の穿堀泉があり、この温泉の附近川中及び下流約 200m の川中と水田中に湧水があり水温と Cl', HCO₃' 量とから穿堀泉と同一系統の温泉水と推察され開

発はこの高温水の湧出地帯が有望である。

3. 裏耶溪溪に於ては森町古後に自然湧出泉がありこれを含み北方に帯状の高温地帯がありこの地温異状は地下熱源によると推察せられる。

終りに御指導を賜つた瀬野博士並に調査に協力された森忠敬、県衛生課矢野行雄の諸氏に厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 山下幸三郎 大分県山国村温泉調査報告 大分県温泉調査研究会報告第5号
- (2) 立岩 巖・木下亀城 大分県地質及び地下資源概査報告 大分県々勢振興綜合計画書 (1951-1955)
- (3) 岡田武松著 気象学
- (4) (2)と同じ。
- (5) (1)と同じ。

温泉の引湯について

山下幸三郎

1. 緒言

温泉が豊富に湧出するがその土地でその使用に不便であるか、又は利用しても尚多量の余剰がある場合これを使用に便利な地域への引湯が近時盛んになり各種の保温によく、而も耐腐蝕性のある引湯管や、それを更につつむ保温材が製作されて引湯距離も増大し 10km を越えるものもある。前年度⁽¹⁾の報告に於て別府温泉では鉄輪・明礬・湯山地域に尚開発可能な余剰熱源がありこれを遠隔地へ引湯した場合の泉温冷却についてその概略を述べたが、余剰温泉の引湯計画を行う際の一つの資料として、泉温冷却の理論式を用いて数種の引湯管についての冷却の計算値と実際引湯した結果の泉温実測値を比較検討して、泉源に於ける温度・流量・引湯距離・地温又は気温等から引湯施設を如何にすべきかに就て考察した。

2. 引湯の冷却について

引湯管は通常地下に埋設するが、埋設が不可能か、或は多大の経費を要する場合（例えば川、硬い岩石、工作物）には地上に敷設する。

引湯管が空气中に露出、又は地下埋設をした場合更にこの管に保温被覆をした場合に於ける泉温冷却の関係式は次の如く成る。

(I) 引湯管が空气中に露出している場合

引湯管が均質で同種の円管であれば熱伝導により定常状態に於ける泉温又は管内壁の温度と気温又は管外壁の温度が既知であれば、その管長 dl から単位時間に管壁を通つて流れる熱量 dQ は次式で表わされる。

$$dQ = H(T - \theta_0) dl \dots \dots \dots (1)$$

ここに H は所謂熱貫流率と呼ばれるものである。 T は泉温又は管内壁の温度、 θ_0 は気温又は管外壁の温度を示す。

一方流量が q なる温泉が上記 dl なる区間で dQ なる熱量を失う事による泉温降下を dT とすれば、

$$dQ = -c\rho q dT \dots \dots \dots (2)$$

ここに c は温泉水の比熱、 ρ は密度である。 θ_0 が一定の場合は(1)式と(2)式とから

$$H(T - \theta_0) dl = -c\rho q dT \dots \dots \dots (3)$$

$$T - \theta_0 = C e^{-\frac{Hl}{c\rho q}} \quad C \text{は積分常数}$$

泉源 ($l=0$) に於ける泉温を T_0 とすれば $C = T_0 - \theta_0$ と成り泉温降下 $T_0 - T$ は

$$T_0 - T = (T_0 - \theta_0) \left(1 - e^{-\frac{Hl}{c\rho q}}\right) \dots \dots \dots (4)$$

上式によれば泉温降下は T_0 、 θ_0 、 l 、 $c\rho q$ に関係するが、気温は日変化・年変化共にあり、引湯計画に於ては其の土地の最低気温で尚目的地に於て使用可能温度に成る様に計画すればよい。熱貫流率 H (cal/cm, sec, C) は引湯管の保温状態に関する係数で、管の内外に単位温度差がある場合管の単位長から単位時間に管壁を通つて流れる熱量を表わし、この値の小なる程泉温降下は少ない。 H は管の熱伝導率及び管の内外径に関係し、 T 、 θ_0 が泉温及び気温を表わす場合は

$$H = \frac{1}{\pi \left(\frac{1}{2K_0} \log \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\alpha_0 D_1} \right)} \dots \dots \dots (5)$$

ここに K_0 は管の熱伝導率、 D_0 、 D_1 は管の内外直径、 α_0 は管と空気との熱伝達率である。管内に高温水が満水している場合とそうでないときは H は同じでないこともあり得る。

引湯管に管と同心円筒の保温被覆を行つた場合は

$$H = \frac{1}{\pi \left(\frac{1}{2K_0} \log \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{2K_1} \log \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{\alpha_1 D_2} \right)} \dots \dots \dots (6)$$

K_0 、 K_1 は管及び保温材の熱伝導率、 D_0 、 D_1 は管の内外直径、 D_2 は保温被覆の外直径、 α_1 は保温被覆と空気との熱伝達率である。

上記(4)式により泉源の温度・流量・引湯距離及びその地の気温が判れば到達先の泉温 T を予定するために必要な H の値が決定出来て、保温の方法は(5)・(6)式から如何なる設備をすれば十分であるかが決定出来る。

(II) 引湯管を地下に埋設した場合

温泉引湯管は通常地下に埋設してあり、この場合に於ける泉温の冷却について、野満・瀬野⁽⁴⁾は別府に於ける引湯について調査研究した結果、次の如き関係式を得ている。

別府に於ける引湯管には土管を用い外部を三和土(珪藻土混入)又は四和土で被覆してあり地下埋設深度は60~150cmである。この様な引湯施設に於ける泉温の冷却は、土地の地質が均一であり埋設深度が一定の場合は前記(1)式と同様な式が近似的に成立するので、次式を導き出した。

$$\left. \begin{aligned} -K \frac{\partial T}{\partial r} &= \lambda(T - \theta_0) \\ c\rho q dT &= 2\pi r_0 K \frac{\partial T}{\partial r} dl \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

ここに K は周囲の熱伝導率、 $\frac{\partial T}{\partial r}$ は導管側壁の温度勾配平均、 T は泉温、 θ_0 は地面温度、 q は流量、 r_0 は導管の内半径、 l は導管長、 c は温泉水の比熱、 ρ は密度、 λ は土地の熱伝導率 K に正比例し、敷設深度 h と反対に減少する或定数である。

(7)式より泉温降下式として次式が導き出された。

$$T_0 - T = (T_0 - \theta_0) (1 - e^{-\lambda S}) \dots \dots \dots (8)$$

T_0 は泉源に於ける泉温、 $S = \frac{2\pi r_0}{c\rho q} l$ である。

(8)式と(4)式は同形の式であり異なる点は θ_0 が(4)式では気温(8)式では地面温度であり、又両式の e の指数を比較して H は $2\pi r_0 \lambda$ に対応し、両者を論じるときは $H = 2\pi r_0 \lambda$ とおけば土地の影響を熱貫流率と同様に取扱うことが出来る。

λ と土地の熱伝導率 K 及び敷設深度 h との関係は r_0 が h に比して小なる場合は理論的に次式で表わされた。

$$\lambda = \frac{K}{r_0 \log \frac{2h}{r_0}} \dots \dots \dots (9)$$

別府に於ける引湯についての $K \cdot \lambda$ の実測値は次の如くである。

$$\lambda = 0.00759 \text{ (cm/min単位)}$$

$$K = 0.00116 \sim 0.00348 \text{ (cal/cm, sec, C)}$$

(Ⅲ) 保温設備をした引湯管を地下に埋設した場合

引湯が長距離に成り別府に於ける如き保温被覆が良好でなく泉温降下が大きく利用出来ない温度にまで降下する場合は、地下埋設導管を保温管、或はそれを更に保温被覆しなければならない。この様な引湯管に於ける泉温降下は前述の(Ⅰ)・(Ⅱ)の場合から類推して近似的に(1)或は(7)式が成立すると見て、熱貫流率と管及び保温被覆の熱伝導率、土地の熱伝導率、埋設深度の関係を求めると次の如く成る。

第1図の如き保温管を地下に埋設した場合、定常状態に於て泉温を T 、管外壁の温度を θ_1 、管の内外直径を D_0 、 D_1 、管壁中の温度を θ とし管の方向に関する熱伝導を無視すればこの場合の熱伝導の基礎式は

$$\frac{d^2\theta}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\theta}{dr} = 0 \dots \dots \dots (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{境界条件 } r = \frac{D_0}{2} \text{ にて } \theta &= T \\ r = \frac{D_1}{2} \text{ にて } \theta &= \theta_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (10)$$

(10)・(11)を満足する θ は

$$\theta = T - \frac{\log r / \frac{1}{2} D_0}{\log D_1 / D_0} (T - \theta_1) \dots \dots \dots (11)$$

温度勾配は

$$-\frac{d\theta}{dr} = \frac{T - \theta_1}{r \log D_1 / D_0}$$

よつて単位時間に管壁を通つて流れる伝導熱量 dQ は管長を dl とすれば管の表面積 $A = \pi D_0 dl$ であるから

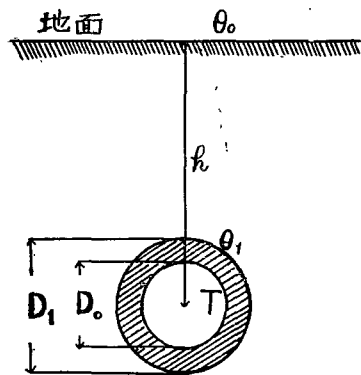
$$dQ = -K_0 A \frac{d\theta}{dr} \Big|_{r = \frac{D_0}{2}} = \frac{T - \theta_1}{\frac{1}{2\pi K_0} \log D_1 / D_0} dl$$

ここに K_0 は管の熱伝導率である

$$H_0 = \frac{1}{\frac{1}{2\pi K_0} \log D_1 / D_0} \text{ とすれば}$$

$$dQ = H_0 (T - \theta_1) dl \dots \dots \dots (13)$$

第 1 図



次に管外壁の温度が θ_1 とみられるだけ充分な深さに埋設しその深度を h cmとし、地面温度が θ_0 なる時の上記管長 d から地層を通じて外部に流れる熱量 dQ は(7)式より

$$dQ = -K_1 \pi D_1 d l \frac{\partial \theta}{\partial r} = \pi D_1 \lambda (\theta_1 - \theta_0) d l$$

ここに K_1 は土地の熱伝導率である。

(9)式より $\pi D_1 \lambda = \frac{1}{\frac{1}{2\pi K_1} \log \frac{4h}{D_1}} = H_1$ とすれば

$$dQ = H_1 (\theta_1 - \theta_0) d l \dots \dots \dots (14)$$

(13) (14)式より θ_1 を消去すれば

$$dQ = \frac{1}{\frac{1}{H_0} + \frac{1}{H_1}} (T - \theta_0) d l = H (T - \theta_0) d l \dots \dots \dots (15)$$

ここに $H = \frac{1}{d/H_0 + 1/H_1}$

dQ なる放出熱量により流量 q なる温泉が管長 d の間に於ける泉温の降下を dT とすれば

$$dQ = -c \rho q d T = H (T - \theta_0) d l \dots \dots \dots (16)$$

(16)式は(3)式と同形であるから、泉源温度を T_0 とすれば泉温降下 $T - T_0$ は

$$T_0 - T = (T_0 - \theta_0) \left(1 - e^{-\frac{Hl}{c\rho q}} \right) \dots \dots \dots (17)$$

この場合の H は(15)式より

$$H = \frac{1}{1/H_0 + 1/H_1} = \frac{1}{\frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{K_0} \log D_1/D_0 + \frac{1}{K_1} \log 4h/D_1 \right)} \dots \dots \dots (18)$$

同様にして引湯管に同心円筒の保温被覆を行つた場合の H は

$$H = \frac{1}{\frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{K_0} \log D_1/D_0 + \frac{1}{K_2} \log D_2/D_1 + \frac{1}{K_1} \log 4h/D_2 \right)} \dots \dots \dots (19)$$

ここに $K_0 \cdot K_1 \cdot K_2$ は管、土地・保温材の熱伝導率、 D_0, D_1 は管の内外直径、 D_2 は保温被覆の外直径である。

(18)式の H_0, H_1 は引湯管及び地下埋設による H に及ぼす効果を表わす係数である。

引湯管の熱伝導率が小さく管の肉厚が大で $H_0 \ll H_1$ なる場合は

$$H = \frac{H_0 H_1}{H_1 + H_0} \div \frac{H_0 H_1}{H_1} = H_0$$

この場合地下埋設による効果は殆んどない。又逆に $H_0 \gg H_1$ なる場合は

$$H = \frac{H_0 H_1}{H_1 + H_0} \div \frac{H_0 H_1}{H_0} = H_1$$

で H は殆んど地下埋設による効果のみである。

又引湯管に保温被覆をした場合その H に及ぼす効果係数 H_2 は(19)式より

$$H_2 = \frac{1}{\frac{1}{2\pi K_2} \log D_2/D_1}$$

であり保温被覆が厚く $H_2 \ll H_0, H_1$ なる場合は

$$H = \frac{1}{1/H_0 + 1/H_2 + 1/H_1} = \frac{H_0 H_1 H_2}{H_2 H_1 + H_0 H_1 + H_0 H_2} \div \frac{H_0 H_1 H_2}{H_0 H_1} = H_2$$

と成りHには殆んど保温被覆のみの効果しか現われない。

保温管及び保温材の熱伝導率（第1表参照）に対し土壌は乾燥せる時の熱伝導率は 3.3×10^{-4} (cal/cm, sec, C)（理科年表による）で同程度であるが野外実地についての熱伝導率は別府に於て実測せられた結果によれば前記の如く乾燥時の10倍程度の大きさである。引湯管が保温管で更に保温材による被覆が十分なされている場合は地下埋設深度による熱貫流率Hへの効果は僅少であるが、保温管のみ埋設した場合は管の肉厚が薄いため埋設深度による熱貫流率Hへの効果は大きい。

現在諸種の保温、耐腐蝕性のある管や保温材が製作せられている。其の内の数種について熱に関する性質（製作会社発表の資料による）を表示すると第1・2表の如きである。これらの値から各地に於ける実際の引湯施設についてのHの値を(5)式による計算値と実測値とを比較すると第3表の如く成る。

第1表 各種管の熱に関する性質（製作会社発表による）

管 種	熱 伝 導 率	使用限界温度	熱 膨 脹
ビニールパイプ	3×10^{-4} cal/cm, sec, C	80~-18°	$6 \sim 8 \times 10^{-5} \frac{1}{C}$
パーモライト "	$6.8 \times "$ "	125以下	$2.3 \times "$ "
ポリナイト "	$8 \times "$ "	70~-60	$12 \sim 18 \times "$ "
" (硬質)	$10 \times "$ "	110~ "	$12 \times "$ "
フジパイプ	$4.9 \times "$ "	140~-70	$1.1 \times "$ "
エポナイド "	$2.9 \times "$ "	100以下	$8.4 \times "$ "
エタニツト "	$13 \times "$ "	—	$0.8 \times "$ "
木 管 (松)	$3.3 \times "$ "	—	$0.5 \times "$ "
鋼 管	0.12	—	$1.2 \times "$ "

第2表 保温材の熱伝導率（理科年表 製作会社発表による）

保 温 材	熱 伝 導 率	保 温 材	熱 伝 導 率
朝日フェーザライト	1.1×10^{-4} cal/cm, sec, C	フェルト	1.2×10^{-4} cal/cm, sec, C
岩 綿	$1.27 \times "$ "	炭酸マグネシウム	$1.0 \times "$ "
SKインシュライト	$2.8 \times "$ "	毛 布	$1.0 \times "$ "
ガラスウール	$0.84 \times "$ "	綿	$1.3 \times "$ "
石 綿 板	$2.1 \times "$ "	アスベストスポンジ	$1.2 \times "$ "

第3表

引湯施設の熱貫流率

管種	管内直径	管外径	保温加工	H(計算値)	H(実測値)	埋設所在地
ビニール	10.0	11.4	岩綿常25mm被覆外部 防水埋設深度70cm	1.6×10^{-3}	2.1×10^{-3}	日光
パーモライト	10.0	12.5	"	$1.7 \times "$	$1.9 \times "$	"
エポナイト	12.5	15.7	"	$1.8 \times "$	$1.8 \times "$	"
木管	10.0	26.0	保温加工なし 埋設深度70cm	$1.8 \times "$	$1.8 \times "$	"
土管	12.5	14.5	外部四和土165mm被 覆埋設深度80cm	$5.1 \times "$	$4.5 \times "$	別府市営
エタニツト	10.0~ 5.0		一部保温加工	$5.0 \sim 8.0 \times "$	$8.0 \sim 10 \times "$	長野県諏訪市営温泉
鋼管	5.0~ 2.5		ガラスウール45mm被 覆外部防水埋設せず	$0.5 \sim 0.8 \times "$	$1.2 \times 10 "$	"
ガス管	10.0~ 7.8		角型コンクリート管内 に敷設地下深度40cm	$1.5 \sim 1.3 \times "$	1.1×10^{-2}	山形県赤湯温泉

(15)式によるHの計算に於て土地の熱伝導率は各地の地質によつて異なるが、一応別府に於て測定せられた値の最大値 3.5×10^{-3} cal/cm, sec. Cを採用した。

Hの計算値と実測値とを比較すると大きいもの小さいものあり一般的な傾向はなく、幾分の違いはあるが略々等しい値を示した。この違いは土地の熱伝導率が埋設地の地質や乾燥地・湿地等により異なり又実測資料の不足により略計算を行つた為と思われる。

各種管を保温被覆なしで地下1mに埋設した場合の熱貫流率は如何なる程度の値に成るかを(14)式から計算すると次表の如く成る。

同一管種に於ては口径が大なる程その肉厚は大となるが、 $\log D_1/D_2$ は小と成り、又地下埋設深度が一定の場合は管径が大なる程 $\log 4h/D_2$ は小となるから管径大なる程熱貫流率Hは大と成る。種々なるパイプもその熱伝導率が小であつても管厚が薄いから管のHに及ぼす効果は小さく鋼管と殆んど同じで地下埋設による効果のみである。

第4表 各種管の熱貫流率 (地下1mに埋設土地の熱伝導率 3.5×10^{-3} cal/cmsecC)

管種	管内径	管肉厚	H cal/cmsecC
フジパイプ	75~248mm	4~12.5mm	$4.9 \sim 6.2 \times 10^{-3}$
パーモライトパイプ	76~150	10.5~15	$3.8 \sim 5.2 \times "$
ビニールパイプ	78~197	5.5~9.5	$4.1 \sim 6.1 \times "$
ポリエチレン	78.1~200	5.5~8.0	$5.0 \sim 6.8 \times "$
エタニツト	75~250	10~26	$5.0 \sim 7.1 \times "$
鋼管	80.7~254.2	3.2~5	$5.7 \sim 8.0 \times "$

第3表の山形県赤湯温泉に於ける引湯施設は地下40cmに埋設の角型コンクリート管中に引湯管(ガス管)を敷設してあり、引湯管が密閉された空気中にある場合でHの実測値は 1.1×10^{-2} 程度である。この管を地中40cmに埋設した場合のHを計算すると $7.1 \sim 8.1 \times 10^{-3}$ となり地中埋

設の方が有利である。

3. 泉源温度流量引湯距離とHとの関係

引湯管の熱貫流率は温泉引湯に於て保温の良否を判断する指数である。

(17)式によりHは

$$H = \frac{c\rho q}{1} \log_e \frac{T_0 - \theta_0}{T - \theta_0} \dots\dots\dots (20)$$

余剰温泉の引湯を計画する場合、泉源に於ける泉温、流量・引湯距離・目的地に於ける泉温、最低気温又は地温から(20)式により熱貫流率Hの如何なる値のものを必要とするかが求まり、引湯可能か否か又保温施設を如何にすべきかを知る事が出来る。

引湯温泉を浴用を使用する場合、其の引湯終点到ける泉温を45°C、地温を0°C、温泉水の $c\rho=1$ として(20)式の T_0, q, l とHの関係を図にしたのが第2図及び第3図である。

第2図は $Hl = E = q \log_e \frac{T_0}{45}$ を表わす図で、このE (cal/sec 単位) は泉源に於ける温泉が持つ引湯途中の冷却に消費される熱量を表わす係数であり、泉温が高く流量が大なる程大である。

第3図は $H = \frac{E}{l}$ を表わす図である。

例えば泉源に於ける泉温が65°C、流量が1.000l/minの場合は第2図より $E=6 \times 10^3$ 、第3図よりこのEの値では12km以上引湯する場合は $H < 5.0 \times 10^{-3}$ である事が必要でありその為には第3表より引湯管を地下1m以上に埋設するか、或は引湯管にHが 5.0×10^{-3} 以下なる様に保温被覆をしなければならぬ。12km以下の場合は第4表の熱貫流率の値が $3.8 \sim 8.0 \times 10^{-3}$ であるから管の地下埋設で十分である。尚具体的な計画に於てはH以外に温泉の化学的性質・輸送方法等から各種管の特性を考慮して最も経済的な方法を採用すればよい。

4. 結 語

引湯計画を行う際の参考資料として引湯管の保温設備と泉温の冷却について述べた。其の結果を要約すると次の如く成る。

1. 引湯管が空中に露出している場合、地中に埋設した場合、更に管に保温被覆をした場合に於ける泉温の冷却式は何れも同形の次式で表わされた。

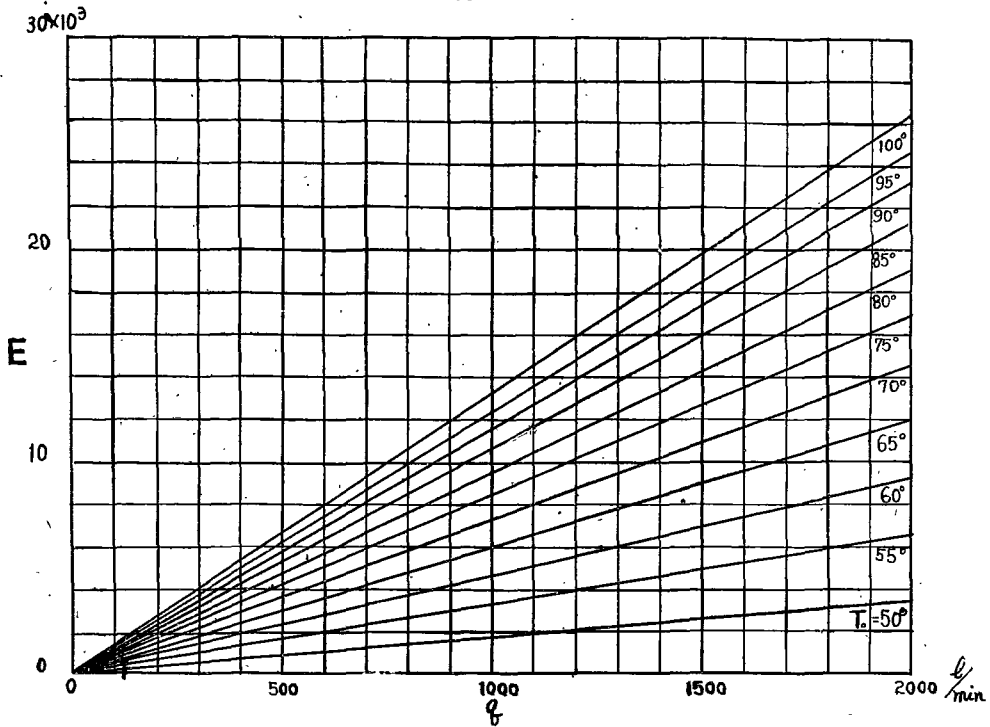
$$T_0 - T = (T_0 - \theta_0) \left(1 - e^{-\frac{Hl}{c\rho q}}\right)$$

T_0 = 泉源温度 T = 引湯地の泉温 θ_0 = 地温又は気温 q = 流量 l = 引湯距離

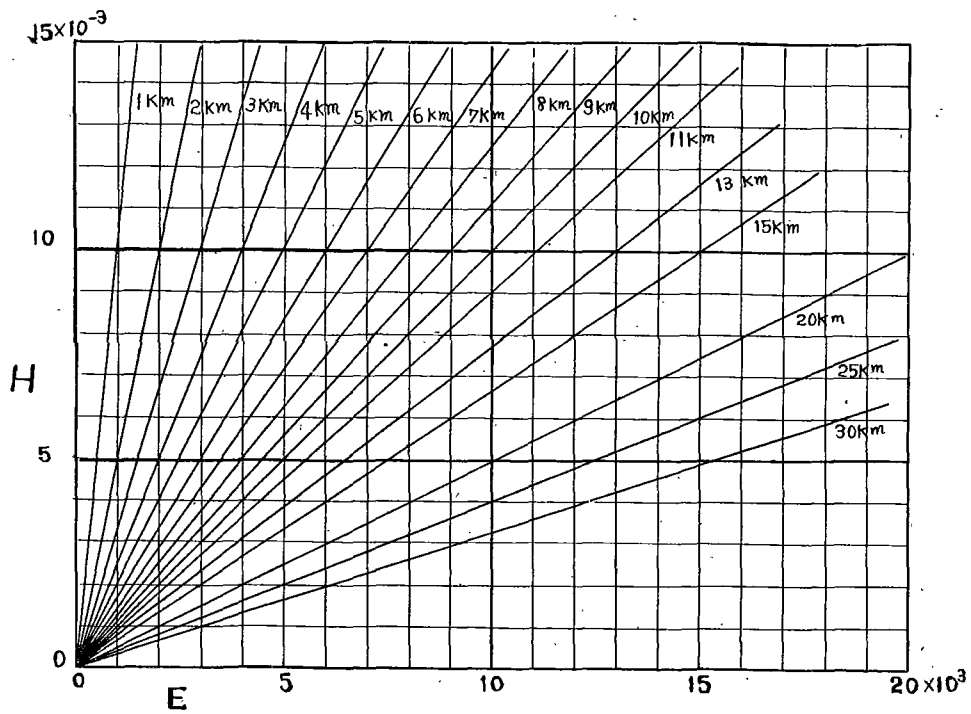
H = 引湯施設の熱貫流率 c = 温泉水の比熱 ρ = 温泉水の密度

2. Hは引湯施設の保温の良否を表わす指数であり、Hと引湯管、保温材の熱伝導率及び厚さ・地下埋設深度・管と空気との間の熱伝達率との間の関係式を導いた。
3. 数種の引湯管及び更にこれを保温被覆をした引湯施設についてのHの実測値と計算値とを比較した結果略一致して計算式の利用出来ることを確め得た。
4. 温泉の引湯計画に於て泉源の温度・流量・引湯距離・地温又は気温の調査からHの値を求めこ

第2図 $E = \rho \log_e \frac{T_0}{45}$



第3図 H と E l との関係



の値から最も経済的な引湯施設の方法を決定することが出来た。

終りに御指導を賜った瀬野博士並びに資料を戴いた大分県厚生部・別府市役所温泉課諏訪市温泉研究室の各位に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 山下幸三郎 別府温泉の余剰量及び其の利用に就て 大分県温泉調査研究会報告第9号
- (2) 川下研介著 熱伝導論
- (3) (2)に同じ。
- (4) 野満隆治・瀬野錦蔵 引湯の研究・引湯の冷却・地球物理第5巻第3号
- (5) ※ (1)に同じ。

「温泉引湯状況について」長野県・山形県より大分県厚生部長宛回答による。

別府旧市内温泉現況調査(1)

大分県厚生部衛生課 矢野 行雄

1) はし が き

別府温泉の調査は京都大学理学部附属火山温泉研究所において大正13年と昭和8年に野満教授により調査し、その後昭和24年に同大学山下幸三郎氏により調査が行われ前後3回に亘り実施されているが、終戦後特に最近保養遊楽に温泉地を利用する傾向は年と共に上昇し、そのため温泉利用施設は加速度的に増加拡張している、これは必然的に温泉の掘さく・増掘を行う結果となり、泉源を枯渇に導く恐れが十分あることが考えられる、そのため従来から稠密な分布と複雑な様相のため不明の点が多く、温泉行政上にも種々支障のあつた別府温泉の実情を把握し、加えて将来の秩序確立の資とするため今回調査を行つたものである、調査は種々の都合によつて全市一斉に施行できず、今回は旧市内のみを対象とし、浜脇・亀川地区、その他周辺地区は別途に調査することにした。この調査実施にあつては県・保健所の温泉台帳並に昭和24年京都大学山下幸三郎氏の調査資料を基礎にして調査票を作成した、調査事項は温泉所在地・温泉所有者・温泉使用者等を確認し、温泉湧出状況については温度・湧出量・動力装置・利用状況・分湯状況等を詳細に調べ、なおこれに平行して字図により分布図を作製した。

2) 旧市内温泉の湧出状況

1. 対象の内訳

調査全孔数は1,145孔であつたがその中活動泉は713孔、停止孔は119孔で233孔は現孔不明で確認できなかつた。

2. 湧出量

湧出量については湧出口で測定したが、位置その他の関係で測定困難なものは元箱又は浴槽で測定した、又特種の構造により測定不能のものも幾つかあつた。京都大学の調査では昭和24年ま

第1表

調査年次	活動孔数	平均温度	平均湧出量	総湧出量
1924	650	53.74°C	L/M 14.13	m ³ /M 9.19
1933	645	54.50	17.35	11.20
1949	625	52.35	19.90	11.48
1959	660 (713)	52.30	14.09	9.41 (10.04)

では平均湧出量及び総湧出量共に増加を示しているが、今回は2-4月に亘り調べたもので年間を通じ最も湧出量の減少期であつたことと、前年の旱魃の影響も考えられるので前回と比較することは正鵠を缺く恐れがあるが、活動孔数は昭和24年の調査時より増加しているのに湧出量に於いては平均量 14.09L/M、総湧出量9.41m³/M と減少値を示している。

3) 温泉の深度温度湧出量及び埋設管の種類

1. 深度について

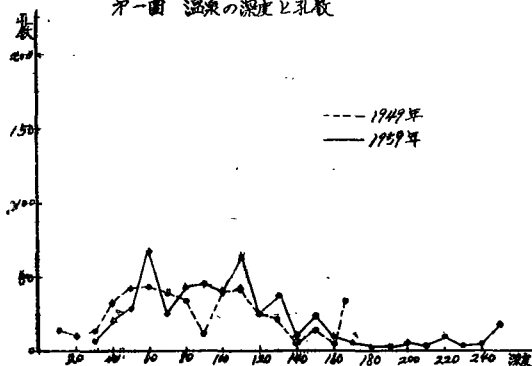
温泉法施行後は温泉の堀さく・増堀・埋設管の取換えについては工事終了届及び終了検査により確認しているので調査についてもこれらのものを照合参考にし尚不明の分については温泉所有者又は管理者に聞いて調査を行った。その状況は第2表のとおりで昭和24年当時深さ50～60mが最多を示していたが、今回は100～130mの深さの泉孔は30%強の多きに増し250m以上の深い温泉孔が17孔を算え年々深度を増している傾向にある。

第1図は第2表をグラフにしたものである。

埋設管の種類について

埋設管は従来竹管及び鉄管が主に用いられていたものが最近ではビニール管が多くなり、又比較的深度の深い温泉井は鉄管又はビニール管を使用しているようである。(第3表)

第1図 温泉の深度と孔数



第2表

孔数 深度	1949	1959	孔数 深度	1949	1959
	孔 数	孔 数		孔 数	孔 数
m以下			150	16	22
30	38	6	160	4	7
40	32	19	170	160以上 34	5
50	42	28	180		3
60	44	67	190		2
70	38	25	200		4
80	35	43	210		2
90	13	46	220		9
100	37	37	230		2
110	42	63	240		3
120	25	25	以上 250		17
130	23	38	不明		232
140	4	8			

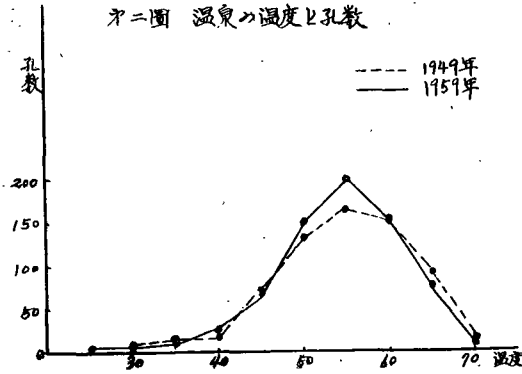
第3表 埋設管別泉源数

種 類	孔 数
竹 管	421
鉄 管	127
ビニール管	74
そ の 他	3
不 明	88
計	713

3. 温度について

調査結果は第4表のとおりである、平均温度は52.3°Cであり昭和24年と大差なかつた。これを分類してみると 51～55°Cが29.3%、56～60°Cが22.4%、次いで 46～50°Cが多く 46～65°Cの間の温泉孔が大部分を占め

ている。泉温をグラフで表わせれば第2図の如くである。



第4表 温度別泉源数

温度	孔数
21 - 25	2
26 - 30	1
31 - 35	5
36 - 40	25
41 - 45	70
46 - 50	151
51 - 55	201
56 - 60	154
61 - 65	76
66 - 70	2
71 - 75	1
不明	25
計	713

湧出量別泉源数 (自噴)

湧出量 (L/M)	孔数
5	94
10	162
15	105
20	82
25	54
30	37
35	22
40	8
45	5
50	6
55	0
60	5
65	1
70	1
不明	39
計	621

4. 湧出量別泉源数

湧出量は(1)に於いて平均湧出量・総湧出量は述べたが、量別に分類してみると別表5のとおり湧出状況を示した。

4) 動力による揚湯状況

動力を用いて揚湯しているものは92孔であつたが地域的には大別して鉄道路線の西側即ち山の手が多い、設置年代を調べたが所有者の変動等により正確な回答を得る事が出来ぬものが多かつた。近年の温泉の需要量の増大によりポンプ揚湯により利用する者は更に増加するものと考えられる、動力は小は1/8より大は5馬力のものを使用し、ポンプの大部分は渦巻式及びピストン式のものを使用されているが、エアーリフトポンプも15基になつている。

5) 公共泉の使用状況

温泉の使用態を旅館・保養所・病院・公衆浴場・個人(自家用)に分類しその温泉所有孔数及び湧出量・比率等を調べてみた。

公共用として供されている温泉は旅館に 4403L/M、公衆浴場に 1344L/M の湧出量があつて、総湧出量の66%は公共用として使用されている実状である。(第6表)

なお、この中で中分析による泉質決定したものは120孔である。

第6表 公共泉使用状況

種 別	温泉 所有軒数	所 有 活動孔	湧出量 L/M	湧出量 比 率 %	備 考
旅 館	273	283	4403	47	旅館及び貸間計453軒共有を含む
保 養 所	13	15	245	3	
病 院 診 療 所	9	9	220	2	
公衆浴場	37	59	1344	14	
個人所有		302	3200	34	
計		688	9412	100	

む す び

以上の結果を纏めると

1. 旧市内温泉1,145孔中活動孔・停止孔の観測を行いその分布を知ることができた。
2. 湧出泉の平均温度・総湧出量を測定できた。動力による揚湯はその使用するポンプ数は昭和24年より74基の多きに達していることが判明した。
3. 公共浴用として使用している状況は不明であつたが、今回の調査で知ることができた。
4. 昭和24年調査に比して温泉活動孔は増加し、堀さく深度は深くなつたが平均泉温総湧出量は幾分減少している、今回の調査は2~3月の乾燥期であり、季節的变化等を考慮すれば総湧出量は殆んど変りはないようで最早や限界点に達しているのではないかとも思われる。

終りにあたり本調査の資料提供の京都大学地球物理学研究所並びに観測に協力を払われた別府保健所・別府市役所の方々に厚く感謝の意を表します。

放射能障害の温泉療法

第五報

泉浴のレ線障害予防効果について

九州大学温泉治療学研究所

八 田 秋
児 玉 重 男
崎 山 朝 啓

(本研究は第24回日本温泉気候学会総会で発表した)

数次の検査によつて原爆被爆者の湯治が、その健康維持に好影響をもたらし得ることが分つたのであるが、被爆者と急性放射能障害とは一応区別されるべきものであり、急性放射能障害に温泉がどの程度有効であるかという問題に解決を与えるものではない。

(6) 国連科学委員会の報告書の中の放射線化学の項で、水の存在する時は H° 、 OH° の外に O_2H° (Perhydroxyl基)、 H_2O_2 等が作られ、Ribonuclease, Carboxyl peptidase, SH 酵素等の不活性化が述べられている。

他方、致死量レ線照射マウスの半数を守り得たといわれる薬剤には、Adrenalin、 $0.5\sim 0.1mg$ 程度のCortisone、Cysteine ことに Cysteamin、CHCHT 等の SH 剤、NaCN、Kativ 等の報告があるが、温泉には程度の差はあれ、自律神経作用、Corticoid 作用、並びに Thiol 作用を持っているので、レ線障害に拮抗的な作用が期待される。これまでのこの方面の温泉に関する研究には信州大宮下、九大温研松山等の緩和性のものに有効という報告がある。

私共は10日間連浴処置を行つたマウスに、レ線1回照射を行い、どの程度に死から守り得るかを追求した。

泉浴は各泉とも $37^{\circ}C$ 、10分、10日間連浴後に表1の条件でマウスの全身照射を行つた。使用温泉は緩和な湯研泉(単純泉、PH6.2)、Corticoid 作用強くThiol作用をも有する紺屋泥浴(1%含硫黄泥)、緩和ではあるがThiol作用のある柳湯(含食塩土類泉PH6.4)、緊張泉でCorticoid作用のある海地獄(含食塩芒硝酸性泉、PH2.2)、3作用の釣合つた湯の花(0.5gr/l)等で、淡水浴と無処置照射を対照とした。

第1回実験は ddT 純系マウス(雌雄をとわず20gr前後)を用い、表IIの如く600r一時照射を行つたところ、対照は第6日までに全例死にしたのに対し、泉浴群では死亡が遅く、第2日に柳湯、海地獄で各2匹、第4日に最高を示し、死亡時期のずれがみられた。

第2回実験では ddT 純系マウスがレ線に対して、かなり敏感である様に思われるので、表IIIの様

に照射量を 50r へらして 555.9r とした。この度は第 4 日までは何れも死亡せず、ことに柳湯では第 9 日まで死亡例を見なかつた。

第 3 回実験は、表 IV の如く雑種マウスに、700r の全身 1 回照射を行つたところ、湯の花の第 2 日 1 匹を除き第 4 日まで死亡がなく、かえつて淡水群は第 9 日まで死亡をみなかつた。しかし大体第 14 日までに死亡した。各回を通じ半数を守る程の効果は得られなかつたが、表 V に示す様な方法で生存係数を算出すると、表 VI に示す様に 555.9r 照射群では、フルに生存した場合で生存係数は 30 となるわけであるので、柳湯と湯の花とは、かなり有効であつたと思われる。600r 照射群では湯の花・海地獄等がよく、今回柳湯は何かの原因で連浴前処置で 5 匹の死亡があり、レ線照射を行つたのは 6 匹に過ぎず、はつきりした成績とはいえない。700r 照射となると、レ線照射量が大きく組織障害度が強いために泉浴による保護作用を発揮することができなかつたように思われる。淡水が一番よい結果となり、各泉にあまり差異を示さなかつた。

以上から 10 日間の連泉浴前処置は、レ線致死量照射から守る作用を期待することは、無理であらうが、半致死量以下の照射に対しては或程度の予防効果があり、ことに作用の緩和で適度の Thiol 作用のあるものが効果的であらうと考えられる。

第 1 回実験の死亡マウスについて行つた組織学的変化⁽²⁵⁾について述べると、対照群の肝臓では細胞核が著しく大小不揃いで、肝小葉境界が不明瞭となり、星状細胞は明かに腫大と増加を示しており全体として染色性が低下し、血管周囲に所々に円形細胞浸潤が認められた。泉浴群では多少とも変化抑制的であり、殊に湯の花群では細胞核の不整が少なく、正常に近いものを多く見出し星状細胞の増加も少なかつた。

脾臓の対照群では濾胞が殆んど萎縮しており、脾髄細胞の著明な減少と、巨細胞の出現が見られ染色度も悪かつた。泉浴群では割合に保護され、巨細胞の出現が少なく、時に結合織の増殖が見られた。

骨髄では骨質がもろく、強度の Sinus 拡張と骨髄細胞の減少、殊に幼若型細胞の消失、漿液性浸出等を主な所見とし、泉浴群では、Seeding の像や、著しく骨髄細胞の残留が骨幹部に認められるもの等が見られるが、一般に Sinus 拡張が軽度であり変化抑制的であることを認め得た。組織学的所見で最も効果的と思われたのは、やはり緩和性で Thiol 作用のある柳湯であつた。

以上の諸成績から、Corticoid 作用があまり強くないで、Adrenergic に作用し、Thiol 作用を有するものがよいと見られ、単純泉がこれに近く、適度な Thiol 作用を有するものを撰ぶべきであらう。

引用文献

- (1) 八田秋、小泉昇：放射能障害の温泉療法（第一報） 大分県温泉調査研究会特別号 昭32.12
- (2) 八田秋、小泉昇： 全 上 (第三報) 全 上 昭33. 4
- (3) 八田秋、小泉昇： 全 上 (第四報) 全 上 昭33.10

- (4) 上村吉郎：原爆被爆者に見られる慢性障害症の温泉療法 広島医学11:8:520 昭33. 8
- (5) 都築正男：原子爆弾傷害の本態とその後遺症 日本臨床外科学会誌20:1: 21 昭33.12
- (6) 国連科学委員会：放射線生物学の基礎(I)(II)(III) 自然10:29,11:57,12:52 昭33.10,11.12
- (7) 山内 豊：Adrenochrom-monosemi Carbazone に関する放射線生物学的研究 昭医誌17:2:38 昭32.5
- (8) 岩下辰己：レントゲン線照射障害に対するステロイドホルモンの効果 ホルモンと臨床5:8:27 昭32.8
- (9) M. Poschl：Oertliche Shahlenreaktion an der Haut und Cortisonbehandlung Strahlentherapie 103:2:289
(1954)
- (10) 吉沢昌司：放射線による皮膚障害の化学的防禦について、特にチステアミン、パントテン酸の臨床的応用に就て、昭医誌17:2:84 昭32.5
- (11) H. Lagendorff et al：Untersuchung ueber einen biologischen Strahlenschutz. Cysteaminschutz bei gona doektomierten maennlichen Maeusen. Strahlentherapie 102:2:291.104:3:339.(1957)
- (12) 上条寿郎：Cysteine の放射線障害に対する効果の時間的關係 昭和医大誌17:6:21 昭33.1
- (13) 福田 正：放射線医学領域に於ける有機チオール化合物の意義 文部省研究費研究報告集録 32年集録 No.12:58 昭33.1
- (14) 早川浩助：放射線障害化学的防護剤に関する実験的研究 福岡医学誌49:5:1186 昭33.5
- (15) 岡嶋大彊：入浴と血中アドレナリン様物質 温研報3:2:1 昭26.4
- (16) 平井哲人：連浴による血中自律神経物質とその生成機序に関する実験的研究 温研報9:3:1 昭32.7
- (17) 松尾権一：飲泉の血清自律神経物質に及ぼす影響に関する実験的研究 温研報8:4:112 昭31.10
- (18) 松尾武澄：リウマチ患者並びに泉浴家兔の副腎皮質機能に関する実験的研究 温研報8:3:1 昭31.4
- (19) 河野 修：飲泉の副腎機能に及ぼす影響 温研報9:4:176 昭32.10
- (20) 波多野裕敏：泉浴と血漿還元力の実験的研究 温研報5:3:33 昭28.7
- (21) 三木 哲：飲泉の血漿還元力に及ぼす影響に関する実験的研究 温研報7:1:23 昭30.1
- (22) 崎山朝啓：泉浴の血漿蛋白S H体に及ぼす影響に関するポーラログラフ法的研究 温研報8:3:63 昭31.7
- (23) 宮下 務：レ線障害に及ぼす温泉浴の効果(第3報)日本温泉気候会誌 21:1:72,昭32,5,25.
- (24) 松山栄一：レ線障害に及ぼす泉浴の影響に関する実験的研究 温研報10:4:1 昭33.10
- (25) W.Bloom：Histopathology of irradiation from external and internal Sources, mc. Graw Hill Co. 1948

表 I

X線照射条件			
東芝 K X C 18型			
電 圧	200	K.V.P.	25m A
フィルター	Cu	1.0mm+Al	0.5mm
距 離	40cm		
空 中 線 量	555.9, 600, 700r		

表 II マウス全身一回照射 600r 死亡数

温泉名	匹	日										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
温研泉	11			2	5		4					
鉾泥	11			2	3	3	2	1				
柳湯	6		2	2	1				1			
海地獄	9		2	1	1	1			2		1	1
湯の花	11				3	2	1		1	1	2	1
対照	11	2	1	1	5		2					

表 III マウス全身一回照射 555.9r 死亡数

温泉名	匹	日																														残	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
温研泉	9					1		1	2	1		1	2																				1
鉾泥	9				2					2	5																						0
柳湯	11									1	3	1	1	2					1														2
海地獄	10				3	4	1		2																								0
湯の花	10					1	1	1				1	1		1				2							1							1
淡水	9				1		2	2	1	1	2																						0
対照	10				1	1		1	4								1									1							1

表 IV

マウス全身一回照射

700r 死亡数

温泉名	匹	日																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
温研泉	10					5	2	2			1							
鉾泥	10						1	1	1		4		2		1			
柳湯	10					2	2		1	1	1			1				
海地獄	10					3		2	1			1	2	1				
湯の花	9		1			4	1	1				1		1				
淡水	10											1	2	3	1	2		1
対照	10					3	1				3	2	1					

表 V

生存係数算出法

死亡数 照射 時数	日									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10			2	1	3	1		2		1

$$\frac{10}{10} + \frac{10}{10} + \frac{8}{10} + \frac{7}{10} + \frac{4}{10} + \frac{3}{10} + \frac{3}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10}$$

$$= 4.7 \dots\dots\dots \text{生存係数}$$

表 VI

各泉生存係数

泉名	線量		
	555.9r	600r	700r
温研泉	11.333	3.545	5.1
鉾泥	8.444	3.727	8.9
柳湯	15	2.667	7.0
海地獄	5.4	4.889	7.5
湯の花	14.2	5.909	5.556
淡水	7.444		11.6
対照	11.5	2.545	6.9