

大分県温泉調査研究会

報 告 第 1 3 号

昭 和 3 7 年 5 月

目 次

放射能障害の温泉療法（第11報）……………	八	田	秋…(1)
放射能障害の温泉療法（第12報）……………	八	田	秋…(4)
別府温泉の化学的研究（第30報）……………	古	賀 昭	人…(7)
別府温泉のベリリウム分布について……………	野	崎 秀	俊…(13)
別府市鉄輪温泉地区の泉群について……………	瀬	野 錦	蔵…(17)
別府温泉における引湯（第1報）……………	吉	川 恭	三…(20)
	矢	野 行	雄
別府市内温泉（海門寺周辺）現況調査(4)……………	佐	藤 光	一…(28)
	矢	野 行	雄
	末	松 竜	雄

放射能障害の温泉療法 (第11報)

原爆被爆者別府温泉利用研究所の実績 (Ⅲ)

九州大学温泉治療学研究所

八 田 秋

昭和35年2月1日より、同年6月末までの湯治成績について、その後の1年間の成績を報告したが、今回は昭和36年7月より、昭和37年3月にわたる9ヶ月の湯治の成績をまとめてみた。

入所者利用数は、1月、2月、3月が最も多く、例年の傾向に一致しているが、特に2月が最高で、定員40名に対し一日平均47.9%の高率を示した(第1図)。

又、この間の利用者実数は926名で、昨年度の利用率と大差がないが、月数が少ないので増加を示している。利用者の男女別、年齢別の割合は第1表に示したように、やはり女性が多い。これらの利用者の滞在日数を調べてみると、2週間以上の滞在者がかなり多く、ほぼ3分の1を占め、その実体は第2表、第2図のように1週以上の長期滞在が59%を占め、湯治の目的が

次第に理解されて来ているものと考えられる。

2週間前後滞在して、湯治の前後に我々の検査を受けたものは56名で、総数の6.04%にすぎない。

いまこの56名のうち、判明した19名の被爆距離、被爆状況を示すと、第3表の如くで、爆心から2km以内のものは10例(52.6%)である。そしてその半数は遮蔽を持たなかった。これらの点も、前回調査時の成績によく似ている。

なお検査項目中の集中度限界は、前回と同じ基準をおいた(第4表)。

いま、湯治前後の検査成績が、この基準をはみ出した例数をしらべ、被検総数に対する割合を百分率で表わし、第5表に示した。

前回の成績^{3,4,5}と対比してみると、湯治前の成績で

第1表

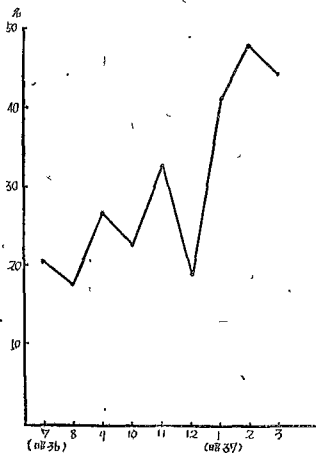
利用者男女別年齢表

月別	年齢	<30才	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66<	計
7月	男	0	1	0	1	5	3	5	5	20
	女	2	2	1	3	8	8	2	4	30
8月	男	0	1	1	2	3	7	4	2	20
	女	6	1	3	3	6	5	5	3	32
9月	男	0	1	2	1	2	8	5	11	30
	女	2	1	2	5	4	7	9	8	38
10月	男	2	0	0	0	4	4	3	8	24
	女	3	4	0	2	6	5	9	14	43
11月	男	5	10	4	1	5	20	15	14	74
	女	2	5	3	3	7	4	9	16	49
12月	男	6	0	4	5	4	2	7	7	35
	女	4	4	6	7	7	6	11	4	49
1月	男	8	8	1	2	2	10	14	13	58
	女	9	7	4	7	23	22	30	15	117
2月	男	0	3	5	4	8	11	20	18	69
	女	5	6	14	9	6	13	13	9	75
3月	男	2	4	0	5	1	18	13	21	64
	女	2	9	8	9	12	16	25	19	100
合計	男	23	28	17	21	34	83	86	102	394
	女	35	39	41	48	79	86	113	92	533

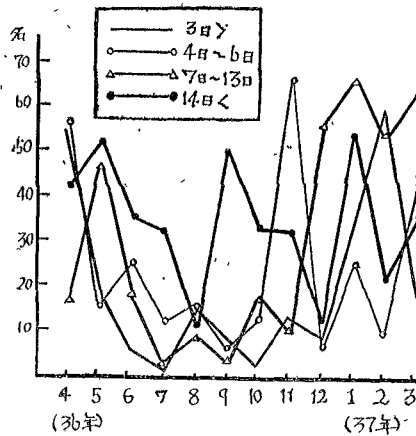
利用者数とその延数

月別	利用者数	利用延数	平均一日延数
7月	50	630	20.3
8月	52	553	17.8
9月	68	803	26.7
10月	67	712	22.6
11月	123	979	32.6
12月	84	579	18.7
1月	175	1,278	41.2
2月	144	1,342	47.9
3月	164	1,359	43.8
合計	927	8,235	22.54

第1図 月別入所利用者の一日平均
(昭和36年7月～昭和37年3月)



第2図 湯治期間



第2表 湯治期間

年月	湯治日数 3日>	4日 ~6日	7日 ~13日	14日<	計
36年4月	55(名)	57(名)	16(名)	42(名)	170(名)
5	19	16	47	52	134
6	7	26	18	35	86
7	2	12	3	33	50
8	15	17	9	11	52
9	8	7	3	50	68
10	3	13	18	33	67
11	14	67	10	32	123
12	9	7	56	12	84
37年1月	24	26	67	54	175
2	59	10	54	21	144
3	18	46	64	36	164
計	237	304	365	411	1317

第3表 被爆状況

Km	例数	被 爆 状 況		
		+	-	不明
0.5	1			1
1.0	1	0	1	0
1.5	3	3	0	0
1.8	2	0	2	0
2.0	3	2	1	0
3.0	3	1	1	1
3.5	1	0	1	0
4.0	5		3	2
計	19	6	9	4

第4表

検査項目	集中値限界
赤血球数	300万~500万 / m^3
血色素量	75 ~ 90%
白血球数	5000 ~ 8000 / m^3
肝機能(BSP)	2.5 ~ 5.0%
最高血圧	100 ~ 150 mmHg
ソーンテスト	-50% <
尿蛋白	陰性
尿糖	陰性
尿ウロビリノーゲン	正常
デブイス反応	陰性

第5表 湯治前後のバラつき頻度 (56例)

検査項目	湯治前%	湯 治 後	
		全例%	残留例%
赤血球数減少	0 (0)	0 (0)	0 (0)
血色素量減少	1 (1.78)	1 (1.78)	1 (1.78)
白血球数異常	11 (19.64)	5 (8.21)	4 (7.14)
肝機能低下	1 (16.7)	0 (0)	0 (0)
最高血圧異常	13 (23.21)	11 (19.64)	9 (16.07)
ソーンテスト異常	4 (66.6)	5 (83.3)	3 (50.0)
尿蛋白陽性	9 (16.07)	8 (14.28)	3 (14.28)
尿糖陽性	3 (5.36)	2 (3.57)	2 (3.57)
尿ウロビリノーゲン陽性	13 (23.21)	13 (23.21)	13 (23.21)
尿デブイス反応陽性	0 (0)	0 (0)	0 (0)

BSP 前 6例 后 6例
ソーンテスト 前 6例 后 6例

は、バラつきがかなり減っており、最高血圧異常、尿糖陽性例がわずかに前回より上廻っていたのみで、その他の諸検査成績のバラつきは、はるかに低率であった。

尚、ソーンテスト異常、肝機能低下例は、今回の調査では、極めて高率に出ているが、検査し得た症例が

少ないため、比較検討を試みることは出来ない。

ここで各項目について前回の成績と比較してみると赤血球減少は0%で前回の3.85%より極めて少ない。ヘモグロビン減少は1.78%で前回は19.23%であるのでこれも極めて低率である。

白血球数異常は、19.64%で前回の25.64%よりは少ない。

最高血圧異常は、23.21%で前回の17.95%を上廻っていた。又尿蛋白陽性は16.07%で前回の19.23%とは大差がない。

尚、尿糖陽性は5.86%で前回は0%なので今回の成績の特長ともいえよう。

湯治後の成績では、各項目ともバラつき頻度が減少しているが、湯治前のバラつきが少ないため、百分率の変化は著明でない。

しかし、湯治前高率を示した最高血圧異常 23.21%が湯治後19.64%と低下している。

又、ソーンテスト異常4例は、その異常度合が高度であるものゝようで、湯治後にも著明な好転をみなかった。

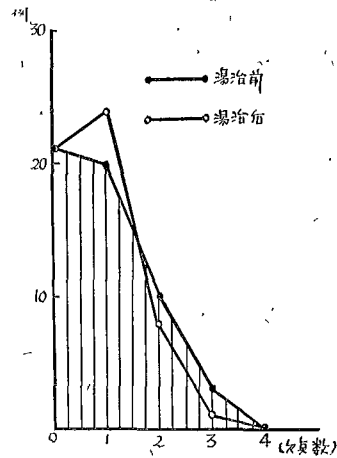
ここで、湯治前後に各人の持っている欠点数と例数とのHistogrammを作ってみると、第3図のようになる。

その好転度を前回の方法をもって計算すると0.1429となり、前回よりはるかに低い。

これは前述の如く、湯治前集中値限界よりはみ出した症例が少なかったためによるものであろう。

以上から本研究所の利用が、目的にかなった方向に向っており、湯治前後の検査希望者が少なかったが、検査し得た範囲では、湯治前のバラつきがかなり減っているにもかかわらず、副腎交調があまり減っていない

第3図 欠点数と Histogramm



ように思われる。

共同研究者

太山森清、辻秀男、安藤太介、中村泰也、徳永恒尋、工藤寛昭、豊永輝、曾我部輝久、阿部充満、石川晃、山田とみ子、田中三治、金子栄子、船越博明、

立要文献

1. 八田: 大分県温泉調査研究会特別号 第8報 昭35
2. 八田: " " 第9号 昭36
3. 八田: 臨床と研究 37,4, 529. 昭35
4. Osamu HATTA: Balnotherapy for the Survivors of Atomic Bomb Injuries. 温泉科学. 12.1. 昭36
5. SAITO : Z. angew. Bader u. klimaheilk Nr.1/Feb.80. 1962.

放射能障害の温泉療法 (第12報)

湯の花浴による生体反応

九州大学温泉治療学研究所

八 田 秋

はじめに

温泉に関する多種多様な研究よ、いまさらのべるまでもなく、又その臨床的応用についても数限りない成績が発表され、臨床医学の一つの大きな治療分野となつたことは、すでに周知のところである。

今私共は、温泉地に来れない人々のことを考える時、特別府特産の湯の花を思い出すことが出来る。

しかし、温泉噴気を昇華結晶させたこの湯の花は、温泉の老化現象という点から考えると、果して湯治のような温泉作用が期待出来るであろうか、すでに温泉作用を失っているのではなかろうかとも思われる。

そこで私共は、これらの点を解明するために、湯の花温泉を作製し、2〜3予備的な実験を試みてみたので、その成績をここに発表したいと思う。

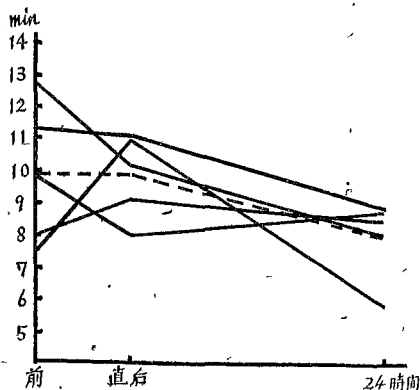
実験方法

実験には、実験の種類により、かたとマウスを使い分け、又、1回浴と連浴についてその検討を試みた。

入浴に際しては、湯の花を淡水に0.5g/lの割合にとかし、38°C、10分を条件として実験を行なった。元来湯の花は、かぶれやすいので、単純泉なみにするためこの程度の温泉を用いたのである。

検査項目は1回浴については、MBRT^{1,2}、流血中

第1図 湯の花(1回浴)とMBRT
か と



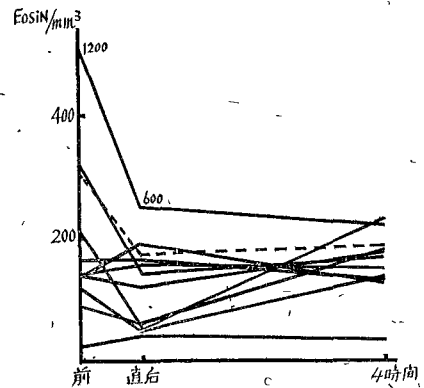
好酸球、白血球を、各々入浴直後、24時間後に、また連浴の場合には、2週間を期間とし、ポーラログラフ法による血漿蛋白SH体、BSP、尿中17-KS⁴、17-OH-CS⁵を指標として、浴後1、3、5、9、14日に観察を試みてみた。

実験成績

先ず1回浴では、かとを使ったMBRTの変動をみると、浴直後には左程の変化を示さないが、24時間後には短縮し、その平均値のカーブが示す通りであつた(第1図)。

この短縮は、血漿還元力の増加を示すものであり、波多野、三木の研究で明らかのように硫黄代謝、蛋白代謝に影響を及ぼしていることが考えられる。

第2図 湯の花(1回浴)と好酸球
マウス



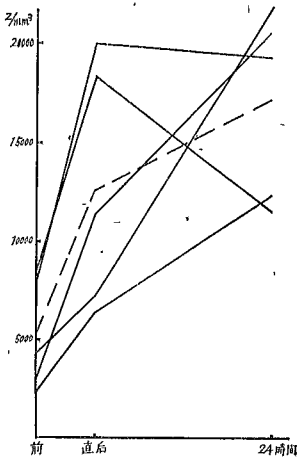
次に好酸球の変動をマウスについて観察すると、その平均値の成績では、直後に減少し、4時間後には、いづらか回復の傾向があるが、なお減少を示している(第2図)。

個々の成績をみると、一見一定の方向を示していないが、4時間後においては、前値の多少に拘わらず、或る値に集中しているようである。これは温泉特有の所謂、正常化作用の片鱗を示すものと思はれる。

さらにかとにつき、白血球数の変動を追求してみると、全例平均値曲線にほぼ一致する曲線を画き、かな

り著明な増加を示した(第3図)。

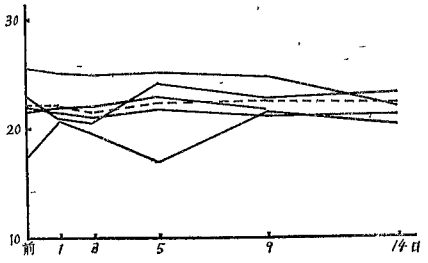
第3図 湯の花(1回浴)と白血球数
か と



6.7
骨髄は交感神経やコルチコイドなどによって賦活されるものであるが、何れにしても、骨髄の賦活が考えられるわけである。

次に連浴の成績についてのべると、かとを使用したSH体の変動では(第4図)、全例全経過を通じて

第4図 湯の花(連浴)とSH体
か と

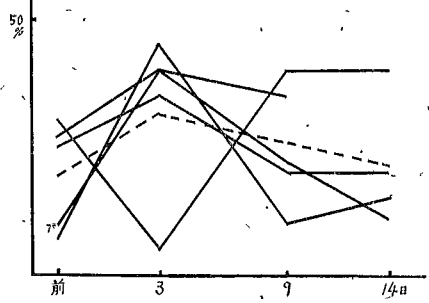


著明なうごきをみせず、この結果からすると、直接には血漿SH体には影響しないようであるが、採血のみによって漸次現象を示すものであるから、その意味ではかのような現象を防止しているといえよう。

同様にかとを使った肝機能検査BSPについて検討してみると、1例を除き3日後には増加を示し、やや肝障害的であるが、以後9日さらに14日後には次第に減少し、うれうべき肝障害はおこさないようである(第5図)。

温泉治療上注意を要することに湯中り現象があるがこの湯中り現象の一つのあらはれとして肝障害がおこることはすでに既知の所である。私共の成績のうち、3日目の肝障害が湯中り現象によるものとしても、その障害の程度は僅少である。

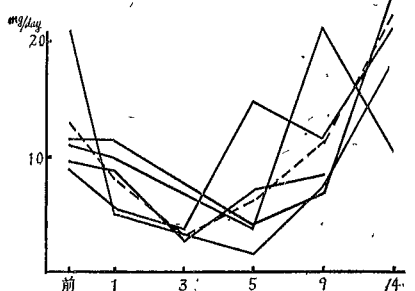
第5図 (連浴)とB.S.P
か と



次にかとにおける尿中17-KSの成績についてみると浴後1日には減少し、3日後にはさらにその排泄量は少くなる。

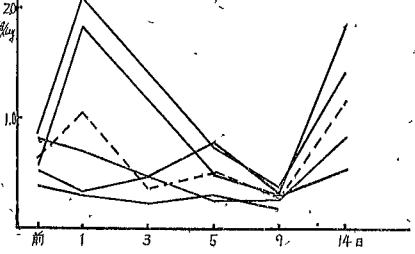
しかし5日後には次第に回復増量し、9日後にはほぼ前進に復し、14日後には著しい増加を示すのである(第6図)。

第6図 湯の花(連浴)と17-Ketosteroids
か と



又、尿中17-OH-CSについては、浴後1日にはやや増量するが、3日後には一見減少、9日まで続く。しかし14日目には前値をこえての増量がみられる(第7図)。

第7図 湯の花(連浴)と17-OH-CS
か と



この17-OH-CSの変動は、大体17-KSの変動に一致するものであるが、その変動は17-KSにより著明である。

ま と め

一般の泉浴における尿中コルチコイドの変動と対比

してみると、泉浴においては、通常、3週間連浴中、2相性の増加期があるのに対し、この湯の花泉浴では1つの谷を画き、その末期にまた著明に増加すると云う特長をみとめることが出来る。

このことは恐らく連浴3口ごろにみられた一過性の肝障害と関係があるものであろう。

湯の花は温泉噴気を昇華結晶せしめたものであつて

この成分をしらべた大分県衛生研究所の成績をみると(第1表)、41%は硫酸アルミニウムであり、又

第1表 湯の花分析表

硫酸アルミニウム	41.85
同 第一鉄	9.24
酸化アルミニウム	6.87
硫酸第二鉄	6.83
同 マグネシウム	1.96
同 カルシウム	0.77
塩化ナトリウム	0.98
硫酸ナトリウム	0.23
塩化カリウム	0.16
メタ 珪酸	0.11
水分	28.88
微量成分	3.72

(大分県衛生研究所定量分析)

当所川上助教授のスペクトル分析結果よりその主成分は硫黄であろうという結果が示されている。

これらのことよりすると、経費的Sの吸収、ひいては硫黄代謝、蛋白質代謝に影響を与えるものと考えられるが、MBRT、SH体の変動からはさほど著しいものではない。このことは0.5g/l程度の濃度によるものと思われる。

三大温泉作用は、自律神経作用、Thiol作用、Corticoid作用、ひいては正常化作用と考えられるが、0.5g/lの湯の花泉浴における我々の成績中で軽度ではあるが、交感神経作用、Thiol作用、Corticoid作用を認め得、比較的バランスがとれているようである

石川の実験成績が示すように、網内系組織賦活作用ならびにX線障害防止作用^{9,10}などがある事など考え併せると、湯の花泉浴は、適当な温度と浴方法をえらべば、温泉としての特長を発揮し得るものと考えられる。

むすび

温泉噴気を昇華結晶させた湯の花の温泉作用を検討するために次の様な実験を試みた。

実験には、かたとマウスを使用、1回浴と連浴について検討を行った。

泉浴条件は、湯の花を淡水に0.5g/lの割合にかし

38.0°C、10分入浴とした。

尚検査項目は、1回浴については、MBRT、流血中好酸球数、白血球数、連浴の場合には、ポーラログラフ法による血漿蛋白SH体、BSP、17-KS、17-OH-CSとした。

1回浴の成績では、MBRT(かと)は、浴直後には左程の変化を示さないが、24時間後には短縮した。

好酸球の変動(マウス)は、浴直後に減少、4時間後には次第に回復の兆をみせた。

白血球の変動(かと)は、浴直後より著明な増加を示した。連浴の成績では、血漿SH体(かと)は、泉浴によって著明な変動を示さなかった。

BSP(かと)については、浴後3日に一時増加し、肝障害的であるが、経日的に減少した。

尿中17-KS、17-OH-CS排泄量(かと)の変化は、浴後14日目の増量のみが著明で、一般の温泉浴にみられる様な2相性の増加期を示さなかった。

以上の成績より、湯の花泉浴は、温泉程ではないとしても、自律神経作用、Thiol作用、Corticoid作用を持つものであり、適当な温度と浴方法をえらべば、温泉としての特長を発揮し得るものである。

共同研究者

崎山朝啓、田北宗明、中村泰也、徳永恒尋、石川晃、山田とみ子

立 要 文 献

1. 三木 : 温研紀要 7.1.23 昭30
2. 波多野 : " 5.3.33 昭28
3. 崎山 : " 8.3.63 昭31
4. Walter, K: K1, Wschr, 30.54. 1948
5. Reddy : 私信による
6. 花輪 : 温研紀要 11.1.29 昭33
7. 勝沼 : 日内学会誌 23.1 昭10
8. 石川 : 温研紀要 10.2.168 昭34
9. 八田他 : 大分県温泉調査研究会特別号 昭34
10. 八田他 : " 第7報 昭35

別府温泉の化学的研究 (第30報)¹⁾

別府温泉の微量成分 (その13)

セレンの分布

九州大学温泉治療学研究所 温泉理学科

古賀昭人

1. 緒言

別府温泉中の微量成分定量シリーズの一環としてセレンについて報告する。セレンはクラーク数 1×10^5 で銀と同様であり第70番目に多い元素である。存在量が少ないので温泉水中の定量例も少なく村上らや阪上の定量例があるにすぎない。阪上は三朝温泉で、どれも $5 \text{ } \mu\text{/l}$ 以下としており、村上らは万座空沸の湯に $215.5 \text{ } \mu\text{/l}$ を与えており、各地の温泉のセレン平均含有量として $7.8 \text{ } \mu\text{/l}$ を与えている。

セレンはVolcanic emanationにイオウと一緒に出るといわれておりmagmatic sulfideに多い。海水には少ない。

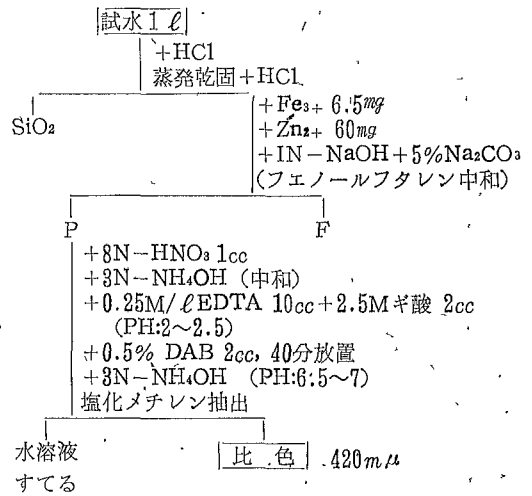
また、セレンは指示元素として重要であり植物や土壌中のセレンを測定してウラン鉱床などの探査に利用されている。

著者は37個の別府温泉水と5個所の温泉沈殿物についてセレンを定量し、つぎのような結果をえたので報告する。

2. 分析方法と結果

温泉水中のセレンの定量法としては、村上、鈴木の方法、それを改良した阪上の方法、及びWatkinsonの方法があるが、いずれも3,3'-Diamino benzidineを用いている。著者は阪上の方法を少し改良して行った。その方法は表1に示す。すなわち試水 1 l をどり塩酸酸性で強く蒸発乾固し、ケイ酸を不溶性にし、これに塩酸を加えて濾過、つぎにキヤリヤーとして鉄(III)を 6.5 mg 、亜鉛(II)を 60 mg を加え力性ソーダーと炭酸ソーダー溶液で中和してセレンを共沈させる。沈殿物は濾過して硝酸にとかしアムモニヤ水で中和、EDTAとギ酸を加え $\text{PH} = 2 \sim 2.5$ にし、 0.5% 3,3'-Diamino benzidine (DAB) を加え暗所で放置、ついでアムモニヤ水で $\text{PH} = 6.5 \sim 7$ とし塩化メチレン 10 ml で抽出、これを乾いた濾紙で濾過、同様に処理した標準溶液と $420 \text{ m}\mu$ で比色定量した。別府温泉水の37個所のセレン定量結果は表2に示される。

表1 温泉水中のセレン定量法



3. 考察

3.1. 別府温泉水中のセレンの地理的分布

別府温泉水中のセレン含有量で最大なのは表2から分るように海地獄の $56.4 \text{ } \mu\text{/l}$ であり、ついで旧市内の柳湯の $41.0 \text{ } \mu\text{/l}$ がこれにつぐ。これらを図示すれば図1 (A,B) のようになる。明礬、鉄輪と旧市内の一部に含有量の多いのがあり、亀川と堀田、観海寺地区が少なかった。旧市内では中央部に多い所がある。各地区別のセレン含有量及びその平均値をとれば図2と表3のようである。平均値をみれば鉄輪、明礬、旧市内、亀川、堀田観海寺地区の順になり、37個の平均は $9.6 \text{ } \mu\text{/l}$ で銀や銅と大体同程度含んでいる。

セレン/蒸発残分 (%) は明礬がとくに多く旧市内、鉄輪地区の順であり全体の平均は $0.64 \times 10\%$ でクラーク数の約64倍多いことになる。ついで今までに定量した各微量元素について蒸発残分で除したものと、クラーク数とを比較してみると図3のようになり、ホウ素、亜鉛、ヒ素、銀、金、セレン、フッ素、臭素、ヨウ素を多量に別府温泉は含有していることを示している。しかし、他の温泉のデータが少ないので必ずし

表2 別府温泉のセレン含有量

地区	No.	泉名	PH	泉温 °C	蒸発残分 mg/l	Se μ/l	Se/蒸発残分 (%)
明 礮	1	地蔵	3.1	49	420	5.7	1.36×10^{-3}
	2	野天風呂	2.9	82	940	12.2	1.30 //
	3	薬師	2.7	65	725	9.8	1.35 //
	4	山田屋	1.9	70	2295	19.2	0.84 //
鉄 輪	5	海地獄	2.4	84	3680	56.4	1.53 //
	6	十万 //	4.1	96	5840	12.9	0.22 //
	7	鬼山 //	3.8	94	5790	15.6	0.27 //
	8	雷園 //	4.0	84	4250	12.5	0.29 //
	9	柴石	3.3	63	1890	6.6	0.35 //
	10	血の池 //	2.5	60	3390	27.0	0.80 //
亀 川	11	竜巻 //	2.6	98	3360	25.4	0.76 //
	12	亀陽	7.6	54	1080	1.3	0.17 //
	13	筋湯	7.0	57	1080	4.4	0.41 //
堀 田 ・ 瀬 海 寺	14	四ノ湯	6.6	52	1320	2.6	0.20 //
	15	堀田	6.2	59	390	1.6	0.41 //
	16	瀬海寺	7.1	57	435	0.0	0.00 //
	17	温研	7.3	53	385	0.0	0.00 //
旧 市 内	18	〃(堀田)	7.0	54	345	1.5	0.44 //
	19	弓ヶ浜	7.0	48	1560	2.8	0.18 //
	20	的ヶ浜	7.3	51	1235	0.4	0.03 //
	21	上のヶ浜	6.9	50	1520	4.2	0.28 //
	22	春日	7.4	64	1640	5.3	0.35 //
	23	弓松	6.7	54	1165	0.0	0.00 //
	24	海門寺	6.4	59	1180	4.4	0.37 //
	25	北町	6.6	49	1140	1.6	0.14 //
	26	梅園	6.8	62	1290	14.4	1.11 //
	27	竹瓦	7.2	61	1210	11.8	0.98 //
	28	砂湯	7.2	60	1420	2.2	0.16 //
	29	霊潮	6.9	61	1170	3.8	0.33 //
	30	〃(蒸湯)	6.9	61	1190	18.4	1.55 //
	31	柳	6.6	46	980	41.0	4.18 //
	32	楠	6.4	55	895	25.6	2.86 //
	33	松原	7.1	54	940	2.6	0.28 //
	34	永石	6.9	52	825	0.0	0.00 //
	35	紙屋	7.1	52	870	1.6	0.18 //
36	不老	6.9	52	870	1.4	0.16 //	
37	田ノ湯	6.4	46	760	0.0	0.00 //	

図1 別府温泉のセレンの分布 (A)

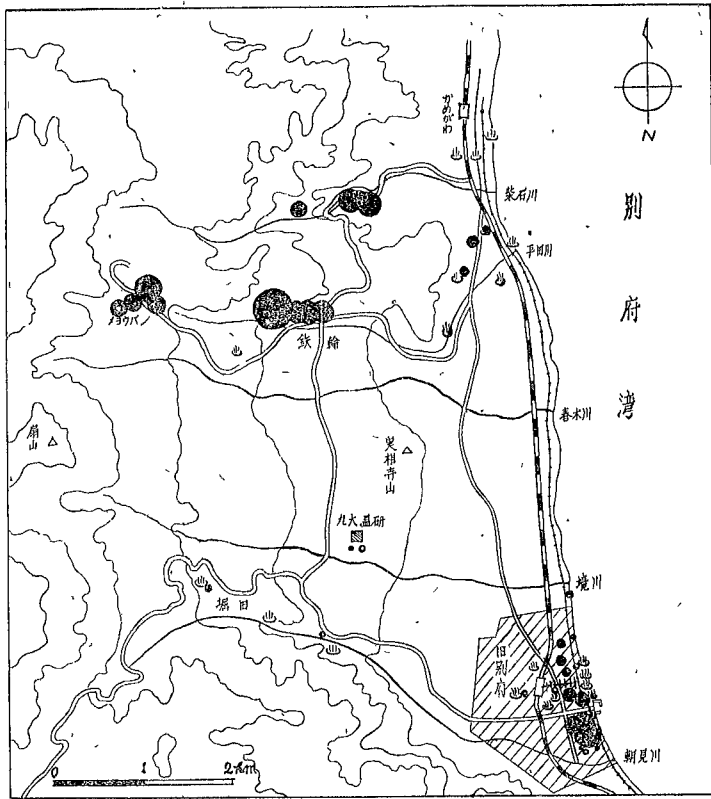


図1 別府温泉のセレンの分布 (B)



も別府温泉特有の現象であると論ずることはできない。なるべく早く他の温泉の微量成分が定量されて比較されることが望ましい。

図2 別府各地区のセレンの分布

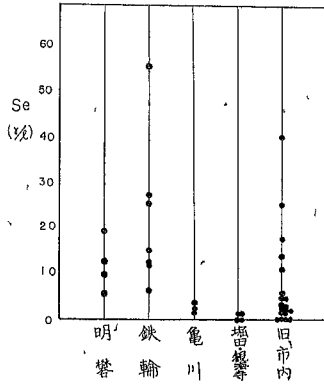


図3 別府温泉の元素/蒸発残分 (%) とクラーク数との比較

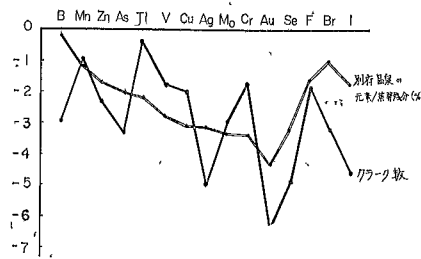


表3 別府各地区の平均セレン含有量

地区	個数	Se (d/l)	Se/蒸発残分 (%)
明礬	4	17.7	1.21×10^{-3}
鉄輪	7	22.3	0.60 //
亀川	3	2.9	0.26 //
堀田・観海寺	4	0.8	0.21 //
旧市内	19	7.5	0.69 //
全平均	37	9.6	0.64 //

3.2. セレンの含有量ひん度

別府温泉中のセレンの含有量を0~5、5~10、10~20、20~d/lの4区分にわけて全温泉に対するそれぞれの区分のパーセントを示すと表4のようになる。

表4 別府温泉のセレン含量ひん度

0~5 d/l	5~10 d/l	10~20 d/l	20~ d/l
54.1%	10.8%	21.6%	13.5%

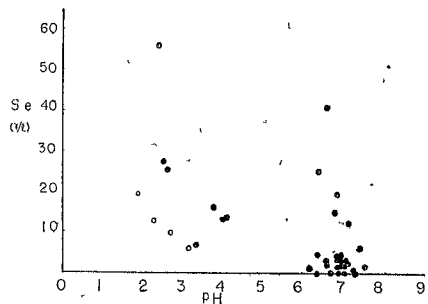
れによると5d/l以下が全体の半分強を占め、5~10d/l間が少なく10~20d/lが全体の約2割を占めること

になる。したがって別府温泉のセレンの含有量は銀、銅、ゲルマニウムと同程度、亜鉛の約1/30ニツゲルの10倍、ヒ素の1/20、チタンの1/8、金の17倍、モリブデンの1.5倍、クロムの2倍、バナジウムの1/2、マンガン1/100である。

3.3. PHとの関係

別府温泉のPHと、セレンとの関係は図4に示す。

図4 別府温泉のPHとセレンとの関係



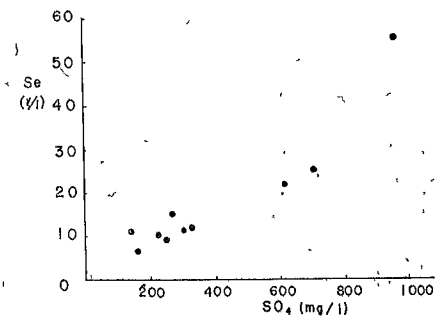
白丸の明礬地区や鉄輪地区の酸性泉では、酸性になるほどセレン含有量も大きくなっている。しかし、中性泉の中でも含有量の大きいのがあり全体的にはPHと反比例していない。

同様に泉温との関係もばらばらで特別な傾向はない

3.4. 硫酸イオンとの関係

セレンは硫黄と一緒に Volcanic emanation に出るといわれているので、硫黄の酸化された硫酸イオンとも正の相関があることは当然予想される。図5に酸

図5 別府酸性泉のSO₄とセレンとの関係



性泉の硫酸イオンとセレンとの関係を示す。正の比例関係がある。しかし、塩素イオンとは相関はない。蒸発残分との関係も特別な傾向はない。

3.5. 泉質との関係

別府温泉の泉質とセレンとの関係は表5に示すように酸性泉とくに含芒硝食塩酸性泉に多い。総じて食塩泉に少なく、むしろ重曹泉の方に多いのが目立っている。単純泉に多いのがあるが、これは重曹泉系統の温

泉である。

3.6. 微量成分間の関係

別府鉄輪地獄地区の微量成分の相関係数を計算すると表6のようになる。クロム、マンガン、バナジウムと強い正の相関があり金、亜鉛とも正の相関、チタンモリブデンとは負の相関がある。したがってセレン、マンガン、クロム、亜鉛、金などとチタン、モリブデンなどは違った導入により温泉に入ったと考えられる

たまた、村上らは本邦各地の鉱泉(70~80個)で平均のCr:V:Se=1<4<5としPH<5では、その比を1<23>11.7としたが別府温泉37個では平均のCr:V

表5 別府温泉の泉質とセレン含有量

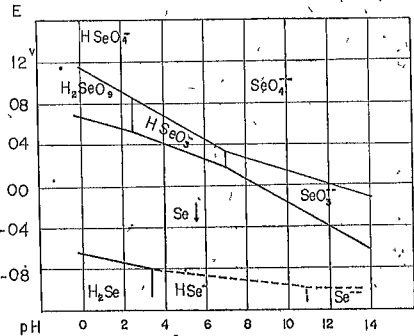
泉質	Se(%)	最大値-最小値	
酸性泉	酸性硫化水素泉	11.7	19.2-5.7
	含芒硝食塩酸性泉	36.3	56.4-25.4
	含食塩酸性泉	11.6	15.6-6.6
食塩泉	含ホウ酸食塩泉	12.8	12.8
	弱食塩泉	2.9	4.4-1.8
	含土類食塩泉	3.3	5.8-0
重曹泉	含食塩土類重曹泉	7.3	18.4-0.4
	含食塩重曹泉	8.6	14.4-2.8
単純硫化水素泉	1.6	1.6	
単純泉	7.4	41.0-0	

Se=1<5>2でありPH<5では1<4.6>2となっている。別府温泉にはクロムとバナジウムが多くてそれに較らふればセレンが少いといえるようである。

3.7. セレンの溶存状態

セレンの酸化状態はII、IV、VIでイオウに近い元素である。セレンの酸化還元系の標準電位とPHとの関係は図6のようである。この図と別府温泉のPHや酸

図6 セレンの酸化還元系の標準電位とPHとの関係



化還元電位とから考えてみると、湧出時、明礬、鉄輪地区の酸性泉の酸化還元電位は+0.1~+0.5Vであるからセレン単体かH₂SeO₅かHSeO₃(IV)で存在し、中性泉では+0.3V位であるからHSeO₃(IV)かSeO₃²⁻(IV)であろう。放置後は酸化されてSeO₄²⁻(VI)になる。しかし、この図は平衡状態のものであるか

表6 別府地獄地区の微量成分間の相関係数

	Cu	Zn	Mn	Fe	As	Ge	Cr	Mo	Ag	Au	V	Ti	Se
Cu		+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-
Zn	0.21		+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+
Mn	0.10	0.71		+	-	-	+	-	+	+	+	-	+
Fe	0.95	0.14	0.41		0.23	0.08	0.04	0.39	0.18	0.08	0.63	0.38	0.19
As	0.20	0.57	0.01	0.23		+	+	+	-	-	+	+	-
Ge	0.01	0.34	0.26	0.08	0.75		0.07	0.64	0.82		0.23	0.53	0.09
Cr	0.14	0.56	0.84	0.04	0.38	0.07		0.30	0.31	0.85	0.38	0.53	0.88
Mo	0.14	0.31	0.72	0.39	0.55	0.64	0.30		0.65	0.12	0.72	0.87	0.52
Ag	0.12	0.61	0.47	0.18	0.10	0.82	0.31	0.65		0.35	0.58	0.55	0.38
Au	0.00	0.14	0.59	0.08	0.04		0.85	0.12	0.35		0.49	0.51	0.66
V	0.23	0.79	0.99	0.63	0.06	0.23	0.88	0.72	0.58	0.49		0.71	0.81
Ti	0.12	0.50	0.86	0.38	0.38	0.53	0.53	0.87	0.55	0.51	0.70		0.81
Se	0.32	0.55	0.86	0.19	0.01	0.09	0.88	0.52	0.38	0.66	0.81	0.81	

は高温高圧下に生じた温泉水の中で必ずしも成立するとは限らないが大約の推定は考えられるであろう。

3.8. 温泉沈澱物中のセレン

明礬、鉄輪地帯の温泉沈澱物中のセレン含有量は表7に示される。5個所の平均は19.8 g/gであり、クラ

表7 別府温泉の沈澱物中のセレン含有量

泉名	温泉水	温泉沈澱物
薬師	9.8 g/l	23.2 g/l
海地獄	56.4 "	31.7 "
十萬	12.8 "	19.2 "
柴石	6.6 "	14.9 "
血ノ池地獄	27.0 "	9.8 "

ーク数の大体200倍である。相当に濃縮されているとみてよい。しかし、沈澱物中のセレン温泉水中のセレンが濃縮されたものであるから、その濃縮の機構が問題になる。薬師温泉で沈澱物に多いのはイオウと一緒に共沈するからと思われる(沈澱物中のS=36.72%)。また、血の池地獄で沈澱物に少ないのは、この沈澱物が主として地下深くからすでに酸化鉄の微粒子として上昇してくるからであり吸着能力が弱いからであろう(新鮮な沈澱物ほど、吸着力は強い)このことは微量成分でも、血の池地獄の沈澱物は他と違った含有量を示すことでも知られるところである。

4. 結 論

別府温泉のセレンの分布を調査した結果、つぎの結果を得た。

1. 別府温泉37個所の最大量は海地獄の56.4 g/lであり、柳湯の41.0 g/lがこれについている。各地区の平均では鉄輪、明礬、旧市内、亀川、堀田観海寺地区の順であり全平均は9.6 g/lであった。
2. 半分は5 g/l以下であり銀や銅と大体同程度含有している。
3. 酸性泉とくに明礬地区の温泉ではPHに反比例しているが、別府温泉全体からは中性泉にも多いがあるので反比例しているとはいえない。硫酸イオンとは正比例の関係がある。
4. 泉質との関係では酸性泉、とくに含芒硝食塩酸性泉に多く、総じて食塩泉よりも重曹泉が多かった。単純泉で多いものは、すべて重曹泉系に属している。
5. 別府地獄地区の微量成分間の関係では、セレンはクロム、マンガン、バナジウム、金、亜鉛と正の相関、チタン、モリブデンと負の相関を示した。
6. 温泉水のPH、酸化還元電位とから別府温泉水中のセレンの溶存状態を推定した。すなわち酸性泉で

はH₂SeO₃かHSeO₃⁻、中性泉ではHSeO₃⁻がSeO₃²⁻で溶存していると思われる。

7. 温泉沈澱物中のセレンの5個所の平均は20 g/g弱でクラーク数の約200倍であり、相当濃縮されている。とくに湯の花に濃縮度が高かった。(終りに種々御指導、御鞭撻頂いた当所所長八田秋教授に深く感謝する。なお、この研究費の一部は大分県温泉調査研究会によつたものである。あわせて厚く感謝する。)

文 献

- 1) 前報(第29報)温泉成分の溶存状態(その2)鉄アルミニウムのコロイド状態について、温研紀要、投稿中
- 2) Cu, Zn, Co, Mn: 川上、古賀、野崎、日化 77, 1327 (1956)
- 3) As, Ge: 川上、野崎、古賀、日化、77, 1785 (1956)
- 4) ポリチオン酸: 古賀、温研紀要、2, 93 (1957)
- 5) Ti: 古賀、日化、78, 1713 (1957)
- 6) Ag: 古賀、日化、78, 1717 (1957)
- 7) B: 古賀、日化、78, 1721 (1957)
- 8) Mo: 古賀、日化、79, 461 (1958)
- 9) Cr: 古賀、日化、80, 362 (1958)
- 10) Br, I: 古賀、日化、80, 365 (1959)
- 11) U: 古賀、日化、80, 369 (1959)
- 12) V: 古賀、日化、80, 1249 (1959)
- 13) Au: 古賀、日化、82, 1476 (1961)
- 14) NO₂, NO₃: 古賀、大分県温泉調査研究会報告 12, 6 (1961)
- 15) Ni: 野崎、大分県温泉調査研究会報告、12, 12 (1961)
- 16) F: 松浦、国分、脇元、時政、古賀、温泉紀要、7, 43 (1955)
- 17) 村上、鈴木: 日化第12年会(1959)講演要旨集
- 18) 阪上: 日化、81, 243 (1960)
- 19) O. A. Beath, A. F. Hanger & C. S. Gilbert, Wyoming Geol. Survey BulI, 36, 1 (1946)
- 20) J. H. Watkinson, Anal. chem, 32, 981 (1960)
- 21) G. シェルロー著 曾根、田中訳 "定性分析化学II" P. 419 共立全書

別府温泉のベリリウムの分布について

九州大学温泉治療学研究所
温泉理学科

野崎 秀俊

緒言

温泉水中に含有されている微成分の温泉治療学における重要性は、不明な点が多いといふもの今更のべる必要はないと思はれる。

今度別府の温泉水中に含有されているベリリウムについてその分布を調査した。

ベリリウムは1797年仏人ヴォークランによって発見され、最初はグルチニウムと称せられていた原子番号4番、第II族アルカリ土類金属に属する金属で、性質はアルミニウムに非常に似ているといわれる。

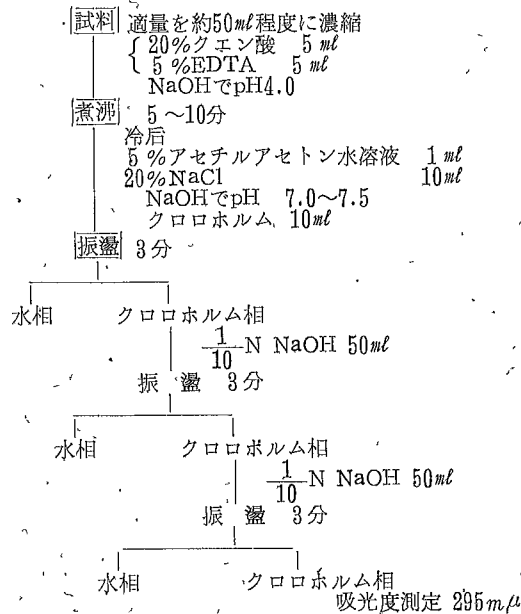
ベリリウム金属自身は原子炉構造物質、或は減速材として時代の脚光を浴びているが温泉化学方面ではその分析が困難であった為、未だ5~6ヶ所の温泉地についての報告が見られる程度で、又ベリリウムの生体に対する影響についても多くは研究されていない

近時その分析法の進歩と共にアセチルアセトンを使用することに依り、割に簡単に分析し得る様になったのでこの研究に着手した。

分析方法

表1に分析方法を示す。

表1 分析方法



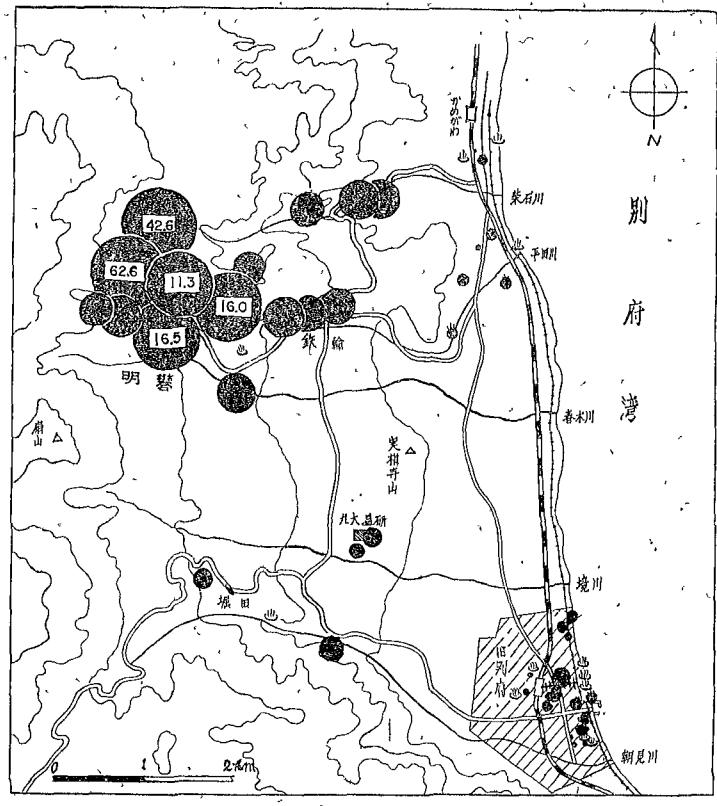
アセチルアセトンは約60種の金属と安定なキレートを生成する。これを有機溶媒中に抽出し、定量するものである。EDTAを併用しpHを調節すれば選択性が高められ特にウラニウム、ベリリウム等の分離に有効であるといわれる。⁽⁵⁾アルミ中のベリリウムの定量法、⁽⁶⁾鉄鋼中のベリリウムの定量法がある。

本法ではベリリウム0.5 μ ~2.5 μ の間に於いてBeerの法則に従い定量可能である。

温泉に利用する際問題になるのは硫黄であって、クロロホルムに溶解し、280m μ 以下に吸収が有るので吸光度測定の際に妨害を受ける。その為硫黄含有泉については濾過後、濃縮し40mlのn-Hexaneで振盪、硫黄表2

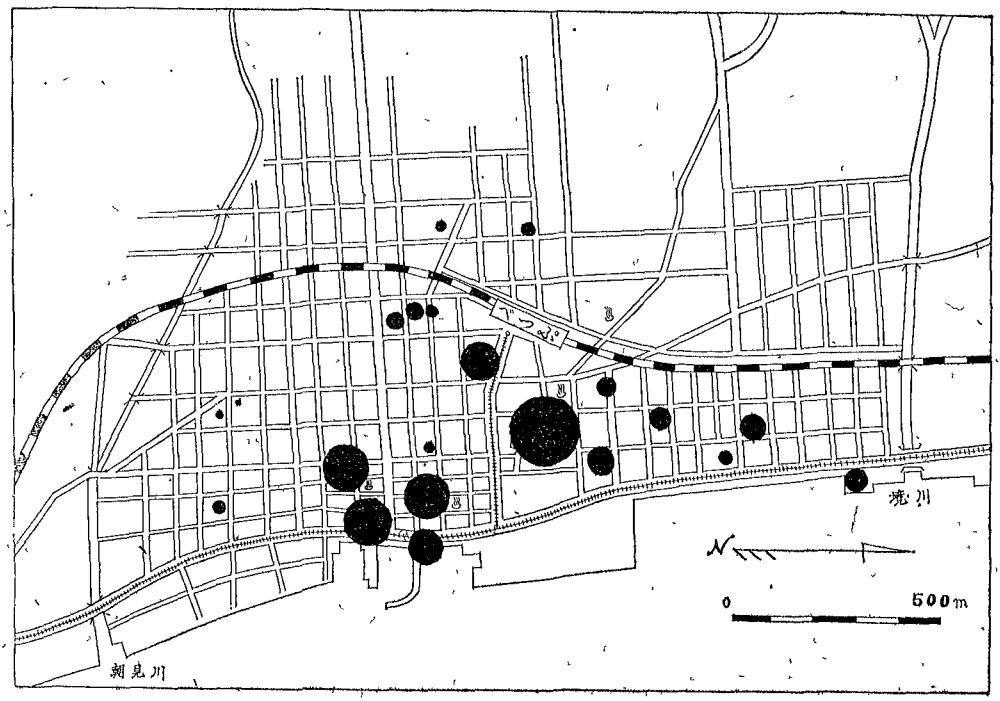
No.	泉名	pH	温度	Be含量 μ /l	残存% $\times 10^{-3}$
明 礬	1 鷲の湯	7.14	52.0	3.55	0.80
	2 地藏湯	3.76	51.3	5.11	1.22
	3 露天風呂	2.30	42.0	23.1	2.46
	4 山田湯	1.92	70.0	11.3	0.49
	5 薬師湯	2.73	55.0	16.5	2.28
	6 露地湧出1	2.15	75.0	22.0	2.96
	7 "	2.92	34.0	42.6	6.40
	8 紺屋白湯	2.42	60.0	16.0	1.84
	9 紺屋温泉	4.20	97.0	4.56	1.01
10 丘の湯	6.37	56.5	3.38	0.77	
鉄 輪	11 海地獄	2.55	75.0	3.36	0.09
	12 十万地獄	4.10	78.0	2.62	0.04
	13 鬼地獄	3.86	92.5	2.52	0.04
	14 柴石	3.37	65.0	2.42	0.13
	15 血の池地獄	2.53	60.0	3.96	0.12
	16 竜巻地獄	2.62	98.2	3.20	0.10
亀 川	17 亀陽泉	6.92	55.0	0.64	0.06
	18 筋湯	7.00	52.0	0.14	0.01
	19 四の湯	7.22	54.0	0.94	0.07
	20 望潮泉	7.29	86.3	0.91	0.16
	21 平田温泉	6.54	44.0	0.42	0.03
観海寺 堀田	22 観海寺	7.10	57.3	1.95	0.45
	23 堀田	6.15	59.0	1.60	0.41
	24 温研堀田	6.98	53.2	1.41	0.41
	25 温研	7.30	53.7	1.90	0.50

図1 別府温泉に於けるベリリニウム分布図 其の一



註 図中数字の入れてあるものは含有量大なる為相対的な大きさで表されないもの

図2 別府温泉に於けるベリリニウム分布図 其の二



を除去、以後操作に移った。
結果及び考察

図1、図2、表2、表3、に分析結果を示す。

表3

No.	泉名	pH	温度	Be含量 g/l	残渣% ×10 ⁻³
26	弓ヶ浜	6.42	47.0	1.31	0.08
27	北弓ヶ浜	7.10	46.0	1.16	0.06
28	的ヶ浜	7.58	51.0	0.60	0.05
29	上のヶ浜	6.68	50.0	1.06	0.07
30	弓松	7.42	64.0	1.38	0.08
31	春日	6.70	51.5	0.81	0.07
32	海門寺	6.65	58.2	2.84	0.24
33	北町	6.60	60.2	1.71	0.51
34	梅園	6.73	54.0	0.33	0.03
35	天然砂湯	7.21	57.5	1.48	0.10
36	竹瓦	6.80	59.5	1.64	0.14
37	壺潮	6.57	60.0	1.62	0.14
38	楠	7.15	51.5	1.82	0.20
39	松原	7.27	49.5	0.72	0.08
40	永石	6.94	54.0	0.31	0.04
41	紙屋	7.05	49.0	0.18	0.02
42	不老	6.33	54.0	1.05	0.12
43	長岡	6.70	58.0	1.06	0.11
44	備前屋	6.70	49.5	0.59	0.07
45	田の湯	6.65	54.0	0.54	0.06
46	月見	6.68	53.0	0.85	0.09

別府温泉での最高値は明バン地区の露地湧出1、62g/l 温泉として使用中のものでは同じく明バン地区の露天風呂が最高で 23.1g/l であり、旧市内地区では最高値を示したものは海門寺温泉で、2.84g/l であった。

各地区に於けるベリリウム含有量については図3及び表4に示す。

図3 Beの地区別含有量

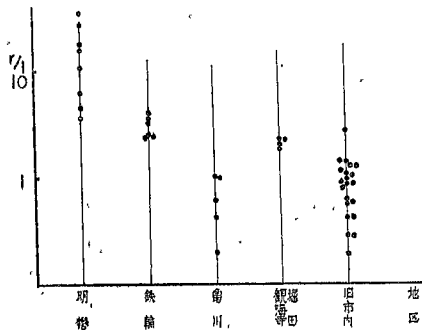


表4 Be含量地区別平均

地区別	個数	平均Be 含量g/l	残渣% ×10 ⁻³
明巻	9	20.6	2.17
鉄輪	6	3.01	0.09
亀川	5	0.61	0.07
観海寺田	4	1.71	0.44
旧市内	21	1.10	0.09
其他	1	3.38	0.77
全	46	5.16	0.54

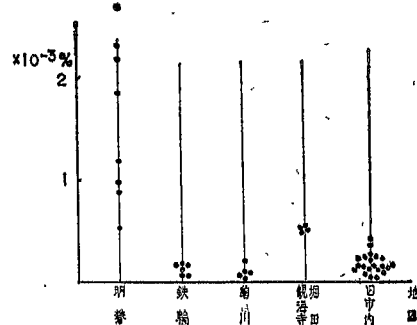
表5 Beの含有頻度

	1以下	1-2	2-3	3-4	4-5	5-10	10以上	g/l
件数	14	15	4	5	1	1	6	ヶ
百分率	30.4	32.6	8.7	10.9	2.2	2.2	13.0	%

図及び表で明らかなきに地域的にかなりの差が見受けられ、わけても明バン地区はベリリウム含有量が高い。

次にベリリウム含有量を蒸発残渣に対する百分率で表すと、図4の如く更に地域毎の特色が明らかにな

図4 Beの地区別蒸発残渣%



る。明バン地区のみは温泉個々の値が分散しているが他地区については地区毎に略同一の値を示す。

図5 Be含有量とpHの関係

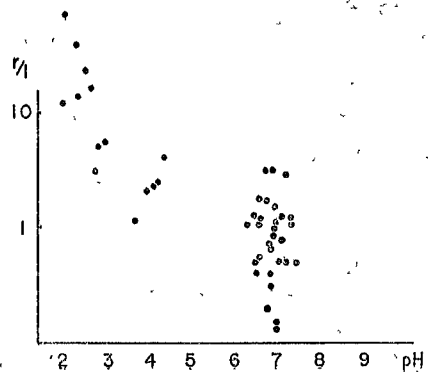


表6 Beと他微量成分の相関係数

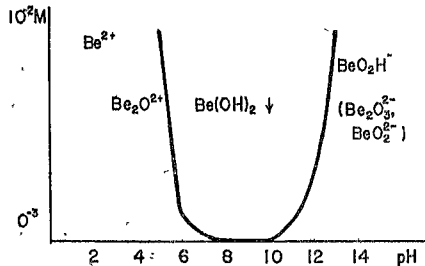
Cu	Zn	Mn	As	Ge	Ti	Ag	Mo	Cr	V	Ba	Sr	HBO ₂
-0.24	0.83	0.42	-0.37	-0.32	-0.70	0.80	-0.62	0.58	0.74	-0.35	-0.31	0.04

Beのクラーク数 $0.5 \times 10^{-3}\%$ に比較すると明バン地区はクラーク数以上他は堀田、観海寺地区がクラーク数と同じ程度でその他は総てクラーク数より低いベリリウムと pH との関係は図5に見られる様に pH が低くなる程含有量が高くなる。

明バン鉄輪地区の殆どのものは Be^{2+} の状態で、亀川観海寺、堀田地区は Be_2O^{2+} の状態で溶解しているものと思はれる。

温度との関係は見られなかった。

図6 水酸化ベリリウムのみかけの溶解度とpHとの関係



他成分との関係についてはアルカリ土類金属 Mg、Ca、Ba、Sr及びその他のものについて相関関係は見られなかったが、小地域的には旧市内においてMgとの相関が見られる様である。しかしMgが量的に多いので含量比が大きすぎ断定は出来ない。含量比はBe:Mg = 1: 3×10^4 である。ベリリウムはアルカリ土類金属ではあるがAlと其の挙動を共にするのでAlとの相関を期待したが、これも所謂弓ヶ浜系列にのみ相関が見られた、含量比はBe:Al = 1:40である。その外鉄輪地区の温泉について今迄に分析した含有微量成分との相関係数を求めて見ると表6の如くZn、Ag、Vと正の相関Ti、Moと負の相関が見られる。

まとめ

別府温泉の温泉中ベリリウムの含有量、残渣%について地域的な特性が見られること。

又、この含有量はすでに発表されている松の山10~80 $\mu\text{g}/\ell$ 金峰鉱泉50~100 $\mu\text{g}/\ell$ と殆ど同程度である。

別府温泉では明バン地区が特に含有量が高い。この地帯が白土地帯である為と考えられる。

しかし明バン地区の表土の分析結果は $0.27 \times 10^{-3}\%$ (硫黄を多量含むもの) $0.4 \times 10^{-3}\%$ と蒸発残渣%平均2.17%より低い。湧出経路にベリリウム含有量の

高い層が有るものと考えられる。

又、明バン地区は含有量及び残渣%について温泉個々の変動が著しい。これは地下構造及び湧出機構の複雑さに依るものであろう。

ベリリウムは酸性泉に含有量が多い。

最後にベリリウムの生体に対する働きは不明な点が多いが、現在迄のところ有毒ではないかとの説がある。勿論これは多量の場合ことで温泉水中のベリリウム含有量は低いので心配はないと考えられる。生体に対する影響については更に研究を進めたい。尚生体中のベリリウム量は $0.05 \times 10^{-3}\%$ 生物学的半減期、量400日、全身123日といわれる。

稿を終るにのぞみ、御指導、御鞭撻をいただいた八田所長、生体に対する影響等について種々御教示いただいた第一薬科大学藤田穆学長に感謝の意をささげます。

- 1) K.Kuroda : Bull,Chem,Soc,japan, **14**,305(1939)
- 2) " : " **15**,237(1940)
- 3) 黒田和夫 : 温泉化学(化学実験第1部第12巻) 昭16. 631
- 4) G.H.Morrison,H.Freiser, : Solvent Extraction in Analytical Chemistry(1957)
- 5) 重松恒信,田伏正之 : 日化, **50**,159,162(1959)
- 6) 前川静彌,米山善夫 : 分析化学 **10** 732(1961)
- 7) M.J.Maurice : Analytica Chimica Acta, **16** 574(1957)
- 8) Nardi;J.M.H.S.Von Ordstrand, M,G, Carmody Acute dermatitis of Pneumonitis in Be Workers, Ohio State M.J. **45** 567(1949)
- 9) Norbert w. Tietz, etal : J.A.M.A. **165**(17)2187(1957)
- 10) 藤田 穆 : 私信 (1962)

別府市鉄輪地域の温泉群について

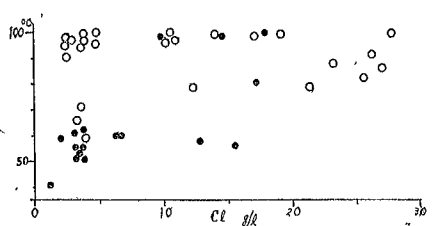
瀬野錦蔵

1. 鉄輪温泉群のあるものについては本会報告第6号において、その化学成分から考慮してそれが往古または現在の海水に由来するものであると推定した。

本地域は別府温泉中最も優勢な温泉群があり自然湧出の海地獄やその他に湧出量大きいもの、掘さくによって強烈に噴出する温泉が出るところであって、その地下の熱構造、水理構造は複雑である。本会報告にはこの地域の温泉について主として化学成分に関する多数の報告もあるのでさらに他の資料によって地下の構造に関して考慮を試みたい。

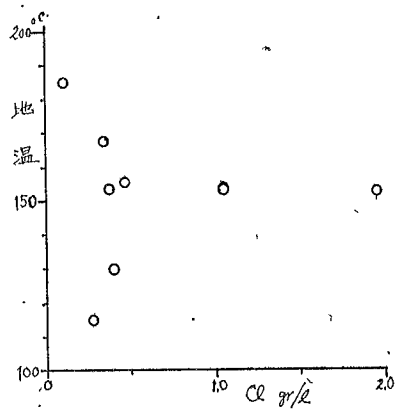
2. 鉄輪地域に於ける温泉は海地獄のように泉温は78°Cで明かに沸とう点より低温のものが可なり濃い化学成分を以て自噴している。これより東へ海岸の標高の低い方にすすむと低温で化学成分の少ないものがある今化学成分の代表としての塩素イオンと湧出温度を対比すると第1図のように両者の間には密な規則性はな

第1図 鉄輪、亀川、温泉塩素量と湧出温度



い。対比のためこの下流と思われるかも知れない亀川地域の南部のものも併記した。泉温は測定個所によって変化があり得るから、昭和水道、別府出張所の記録に掘さく時の抗抵地温の測定資料があるので、これと塩素量を対比すると第2図の如くやはり両者の間に規則性はみられぬ。Cl=0~500mg/lの間で130~170°Cの地温の変動がある。この事実は塩素イオン源と熱源とが必ずしも一つに由来するといえない事を暗示する。この地域の熱源を火山性源とすれば塩素イオンはそれ以外のものとしなければならぬであろう。塩素量を火山性源以外とすると海塩あるいは化石海水などが考えられるが、地温と塩素量間に規則性のない理由に更に別の可能性がある。それは火山活動又は後火山作用によって地表に出てきた塩素イオン (NaCl、CaCl₂、KCl などとして) が沈積した後第2次的の火山活動によってそれが埋没してしまい、再び新しい後火山作

第2図 鉄輪地域：地温とCl量



用による温泉湧出があるときこの塩化物が溶出してくるという仕掛けである。昭和新高山の高熱ガス (850°Cに及ぶ) 中にCl=13300ppmに達するものが時々出ているのは同じ考え方で説明出来ると思われる。有馬温泉には塩素量が海水の2倍以上も含まれているのもこのように考えられる。海水がその2倍の濃度まで濃縮されるような気候が日本であったと思われな

いからである。
3. 鉄輪地域における地下水理状態はどうであるか。1,2の温泉水頭

温 泉 名	水頭(海拔)
海 地 獄	180m
新別府ホテル	110
国 東 荘	80

記録を左表に示す。海岸に近く低くなっていることは認められるが同じ海拔で海地獄は地表まで湧出するが新別府ホテル温泉の水頭は著しく低く、またこの付近の水頭は一樣に低い。もし同一水系の温泉とみれば流動方向は海岸に向うよりむしろ南東に向う。実相寺山西方には地下水が海拔190mに湧いている。これは扇山地下水であるが地下高温水とは別であろう。海拔240mの照湯地獄は水蒸気のみを噴いている。鉄輪地域にも水蒸気のみを吹くものもある。

4. 以上の事実から地下の水理状態の推定は見方によって種々に構成されよう。山下⁴⁾は浅層地下水が噴気によって加熱されたものとみている。大岳地域の水蒸気は森、湯原らは液相温泉の蒸発によるという。いずれも共通していることは地下に浅く水蒸気があり深くに

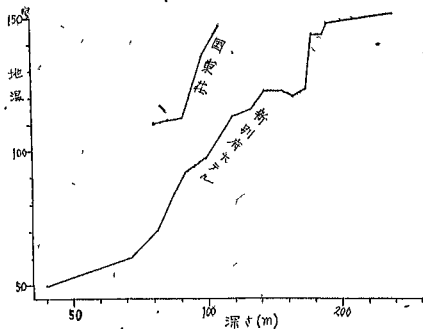
第2表 鉄輪、亀川温泉の海水成分に近いもの

温泉名	温度	Cl (gr/ℓ)	Na/Cl	SO ₄ /Cl	Mg/Cl	Ca/Cl	K/Cl	δ
鉄輪むしゆ	79°C	2.70	62	12	5	1	10	20
雷園	100	2.78	56	9	1	2	11	22
双葉荘	99	1.41	67	21	1	2	8	19
富士の湯	88	2.31	61	6	0	5	4	26
国東荘	92	2.63	61	12	10	2	10	19
上渋の湯	78	2.13	63	13	5	2	9	18
十万地獄	100	2.55	62	12	1	1	9	23
みかえり温泉	98	1.74	63	8	1	2	8	26
亀川久野温泉	97	1.45	69	17	3	5	2	24
小野田温泉	81	1.74	62	13	1	4	7	20
富士銀行	56	1.55	66	11	0	5	4	26
黒木病院	100	1.81	62	10	0	3	8	25
砂湯	57	1.29	50	20	8	9	1	20
久香泉	98	0.98	67	15	1	3	9	27
標準海水	—	19.0	55	14	7	2	2	—

は液相温泉があることで、且水蒸気には硫化水素や亜硫酸ガスが少ないらしい事が、二次的な蒸発によって成生した水蒸気であるとみられる理由であろう。

これらの考え方に対して筆者は次のような疑問をもっている。1) 地下で高温水が沸騰するときは必ず液相内部からも沸騰する。そのときは水蒸気と共に液体の温泉水も上昇してくるのが普通である。十万地獄をみても理解されよう。ある大きさを以た太さの管中で沸騰してもこの程度であるから砂礫のごとき小さい空隙の高温水が沸騰すれば当然液体の水も上昇してこなければならぬ。2) 地下で既に蒸発した水蒸気のみが充満している地層があるとしてもこれを地表にまで噴出させているとすれば補充のため必ず蒸発する必要がある。蒸発にはかなりの蒸発潜熱を必要とするからある地層では地温勾配が小さくなる必要がある。地温分布の一例として第3図に示したものではそのような傾向はみられない。且つ地層内の温泉の熱伝導率(温

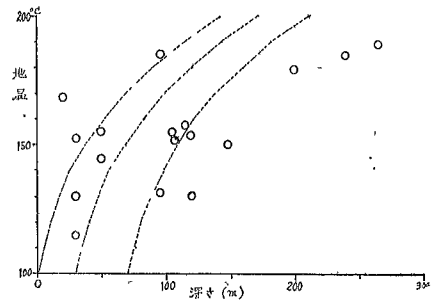
第3図 鉄輪地域地温



性熱伝導率をも考えて) では蒸発を賄う熱量の補給はむづかしい。

5. このような考えから業者は山下の考えと同じく地下の水蒸気は二次的蒸発によるものでなく、むしろ水蒸気によって地下水が熱されて温泉になったものと推定している。第4図の地温と深さの関係に規則性がないのは水蒸気のままでは上昇してきている地域とこの

第4図 鉄輪地温と深さの関係



水蒸気が地下水を加熱した為温度が低下した地域とを示すものではないかと思う。図中の曲線は水蒸気の圧力に対する飽和曲線を示す物で、IIは国本荘又は新別府ホテルに対応させたものであるが、いずれによるものこの曲線より右にあるものは液体の温泉であることを示し、左側のもは水蒸気のみ存在することを物語っている。この事実は上の推定を裏付けするものと思う。6. 十万地獄の掘さくによる深層の温泉水が元の自然湧出の温泉水に比して著しく濃度を増し、SO₄:Clの比が減少して海水比に近づいたことから深い地層に海水由来の循環水の存在することを推定したがその後の

報告によって海水近似の温泉が可なり増加している。そのような海水の成分比に近いものを列挙すると第2表のようになる。表中に δ とあるのは次のような値を示す。今温泉水中のある成分、例えばNa量のCl量に対する比との差の絶対値を δNa で表わす。即ち

$$\delta Na = \left| \frac{\text{温泉水中のNa量}}{\text{温泉水中のCl量}} - \frac{\text{海水中のNa量}}{\text{海水中のCl量}} \right|$$

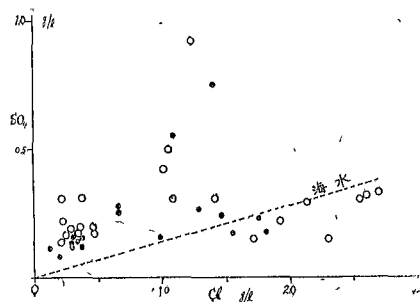
とすると δ は

$$\delta = \delta Na + \delta SO_4 + \delta Mg + \delta Ca + \delta K - K$$

で示す。 δ の値が大きいほど海水の成分から遠ざかっていることを示す。 δ の値が小さいもの(約30以下)のものは海水由来という可能性を考えてよいであろう。亀川温泉は海岸に近く、山下の調査によれば温泉水頭が海水位より低いところもあるから現代海水の混入もあり得る。古賀の報告によればBr/Clの比が海水の値(3.4×10^{-3})に近いこともそれを裏付しているこれに対して鉄輪地域の温泉はBr/Clの比が海水の値より小さいことから古賀は火山性由来を主張している然し亀川温泉のBr/Clの比がそろつてほぼ海水比に近い値でそろっているに反し鉄輪地域の温泉は種々な値を示してこの比が海水由来か否かの判定指標にするには多少疑問がある。鉄輪温泉も大きくみれば海岸に近いし、海水の成分に近似していればその化学成分を海水由来とみることがはさして無理でないと思われる。7. 第2表からみると海水に比してKが多いことが目につく。一般に海水が地層中に封入されるとKやMgは地層のNaやCaとイオン交換を行って微小になる例が多いが、こゝではKが増加しているから、或は地層中から溶出しているわけである。昭和新年では高熱ガス中にKClが多量に現われることがあるから、Kの由来が火山性であることも考えられる。SO₄量が多くないのにNaも海水に比して大きいのはHCO₃による地層よりの溶出であるからそのような場合には地層からの溶出も考えてもよい。第5図にClとSO₄の対応を示す。この図はCl量の増減にかかわらずSO₄

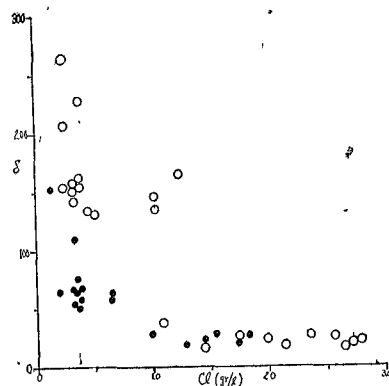
第5図 鉄輪、亀川温泉

ClとSO₄の関係



量がある幅(100~300mg/l)にあることに注目されるこのことはNaClを多量に含む温泉にSO₄量がある一定量加わるとみること出来る。然しそのような事を亀川温泉にまで適用出来ない。SO₄も地層中において分解されるに拘らず鉄輪地域の地層中ではそれが如何にして保存されてきたか。その説明はむづかしいが、地下高熱地層でSO₄を分解するバクテリアがないという想定もあり得るし、SO₄が生成される地域でSO₄の分解を考えてよいかどうかとも考えられる。

図6第にはCl量と δ との対比をかかげる。Cl量が第6図 鉄輪温泉、塩素量と δ



多いものは殆んど $\delta < 30$ である。 δ の計算からCl量が多くなれば他の成分量の変動が消されてゆくことにもなるが、主に他の陰イオン即ちSO₄量とHCO₃量に左右される場合が多く、別府市街温泉と同様の傾向を示すけれどもその絶対値は相当に異っている。

参考文献

- 1) 瀬野錦蔵: 別府市における「地獄」に関する若干の考察、大分県温泉調査研究会報告、第6号(昭和30年6月)、25頁
- 2) 昭和水道株式会社別府出張所資料
- 3) Matsuo, S. On the chemical nature of fumarolic gases of Volcano Showashinzan, Hokkaido, Japan, J. EARTH SCIENCES, NAGAOYA UNIVERSITY Vol. 6, No. 1, p. 80, 1961
- 4) 山下幸三郎: 別府市鉄輪温泉調査報告、大分県温泉調査研究会報告第8号(昭和32年8月)9頁。
- 5) 岡本督、森恒忠、江島康彦: 大岳地区の地熱探査九州電力株式会社研究期報臨時増刊号、1頁(昭和33年8月)
- 6) 湯原浩三: 噴気井内の水位変動からみた九重大岳地熱地帯の地下熱構造「火山」に投稿中
- 7) 瀬野錦蔵: 温泉水中の塩分源としての海塩、地球物理、第7巻第2号、131頁(昭和18年10月)
- 8) 山下幸三郎、未発表
- 9) 古賀昭人: 別府温泉の化学的研究(その8) 臭素ヨウ素の分布、日化誌第80巻(1959) 365頁

別府温泉における引湯 (第1報)

京都大学理学部 吉 川 恭 三
大 分 県 矢 野 行 雄

1. まえがき

大分県温泉調査研究会の一事業として、昭和34年以来、別府温泉の総調査が地域別に施行されており、各泉源のゆう出量や温度の測定が進むとともにその温泉採湯の現状がしだいに明かとなって来た。しかし、温泉の利用面から見れば、一泉源からの温泉水をさらにこまかく多くに分湯して利用しているものもあり、温泉の採湯量と使用量との地理的分布は必ずしも一致しない。したがって、各泉源についての採湯状態の調査は別府温泉の一面だけを示すもので、その全容を知るためには、これに平行してその利用面の実状をもつかんでゆく調査が必要であろう。市街地のように穿掘井戸を通してゆう出する温泉はその量が比較的小さいため、分湯範囲も大体その井戸の近くに限られていて採湯量の分布が利用量の分布に近いと考えられるが、おもに高地部に分布している自然ゆう出泉や沸騰泉、また噴気により加熱された人工的な温泉水は、すでに大正中期から、そうとうの遠距離まで引湯されたうえ多数の利用に供されており、その利用範囲の広さや水量の多さ、またそれらを経営する公営、私営の給湯事業の多数にのほること等も別府温泉の特長の一つにあげられるに違いない。山下は昭和24年の総調査のさいに噴気で人工的に加熱された温泉水量を $9.9 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{口}$ と測定し、これが当時の別府温泉全温泉水量の2割以上におよぶことを示した。このような加熱温泉水のほとんどは給湯事業に用いられており、その加熱水以外の引湯を加えると、給湯事業の別府温泉において占める役割は軽視出来なかったことが知られる。その後、保養所などの温泉利用施設の増加や住宅地の拡大などが、とくに従来、穿掘温泉の得にくいとされていた地域に延びて来るにしたがい、給湯事業も拡大の傾向をたどってその引湯距離も引湯量も増加を見ていると考えられ、この傾向は今後なお続いてゆくに違いない。また、別府市街地のような穿掘温泉の密集した地域では、利用量の増加をまかなうための泉源開発の効果はしだいにうすれて来て、泉源間の相互干渉にもとづく井戸穿掘のむだなせり合いをおさえるためにも、給湯により温泉水を重点的、効果的に利用する道を開くことが温泉利用者にとっても、温泉行政の面からも望ましいものとなって来ることが予想される。しかし、こ

れら給湯事業にあてられる噴気や、それにより加熱される水源は、ともに別府温泉域内から求められるもので、海岸部の穿掘温泉とは熱的にも水系的にも一つづきのものと考えられるから、従来の泉源からの採湯が困難となったから引湯を多くすればよいと云うような安易なものではないことは当然で、ともに一つの温泉系統と云う立場から考えねばならず、また、引湯に使用される水源は、多量に、しかも年中休みなく必要とされるものであるから、他の水利用との間の調整がむづかしい問題とされている。このように考えると、給湯事業調査の重要性は単に温泉の利用面にのみあるのではなくて、別府温泉地域内の熱収支、水収支など別府温泉の地学的研究の上にも欠くことの出来ない資料を与えるものと云わねばならない。一方、引湯の研究は主として引湯途中の冷却と云う実際的³⁾要求から給湯事業の行われている温泉地のそれぞれでなされており引湯管やその保温施設にもいろいろ工夫が行われて来た。引湯途中の冷却の理論的研究はすでに昭和16年、野満と瀬野によって始められ、その後、湯原はさらに精密な理論的展開を行い、最近では山下が管外の保温被覆の効果をも含めた実用式を呈出して各地での引湯保温の実状に適用している。しかし、別府で実際に行われている各給湯事業についての資料は比較的貧弱で、野満と瀬野がそのうち一社の引湯についてくわしい観測を行った以外は、山下が別府市営の引湯での冷却度を発表しているのにとどまり、他の別府温泉の各泉源について従来整えられている資料にくらべて不明確な点が多い。したがって、今後なおいろいろな面から、別府温泉を研究する上の便宜からも、各泉源について行われている総調査とならんで、給湯事業の調査と云うことがぜひとも必要と考えられ、この引湯の実状調査にとりかかった。

2. 調査の方法と概況

昭和36年4月に大分県から出された調査表に対し引湯業者から回答がよせられ、それにもとづいて各引湯管の敷設状況や温泉水の採取状態を調査するとともに水量や温度の測定を行うこととした。調査で一番むづかしかったのは水量の測定であり、引湯を分岐する前の主管のタンク中では流量が多いことと高温のために測定出来ず、各業者はそれぞれタンク中の水位から特

旨の方法で伝統的に目分量で流量を知るようであるがそれは一般的な流量堰を用いての測定とはみなせないような状態なのでその結果を十分に確めることは出来まい。したがって、我々が各引湯主管についての全流量を知ろうと思えば、それを分岐している各引湯先で一つ一つ測定してその合計を出さなければならず非常にやつかいなことであり、もし、各主管の入口のタンク中などに流量堰を常置するよう設備してあれば、今後、流量の推定が非常に簡単になって便宜の多いことと思われる。

このたびの調査で得られた流量の値に相当の信頼度におけるものとしては、各引湯先での流量がその業者より最近実測されている資料を借用して各主管中の流量を計算したもの一つ、我々が実測したものの四つにすぎなかった。他の水量の資料は業者からの回答によるもので、その正確度についてはなお今後の調査を必要とする。

本報では、引湯途中の冷却のような流量の値の正しさをとくに要求されるものには実測値だけを使用し、別府温泉全体での総引湯量などの大づかみな問題については、各業者の推定値をそのまま使用している。調査の対象となった給湯事業は、県からの調査に回答のあったもののほかに我々が実測したものの三つを加えて別府市営を含めて16であり、そのうち11は地表流水、または湧水を噴気で加熱しており、これら給湯量の総計は $12.08 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{日}$ とみつめられた。これらを各契約先に何口かつ引湯して事業を行っているが、その一口の量は業者によりことなり、 45°C の温泉水を3~

5ℓ/分としているものが多い。しかし、これは現実にはなかなかその通りにはゆかず実際には温度も量もこれといくらか違うのは云うまでもない。これらのうち、もつとも給湯量の多いのは別府市営のもので1日約 3000 m^3 に達し、その引湯距離も最長で、その一番長い浜脇線は泉源から約6kmに及んでいる。

別府での引湯管は伝統的に土管が用いられていて、そのまわりに管径とほぼ同じ厚さに三和土または四和土をまきつけ、それを地下60~100cm程度の深さに埋設しており、その寿命はかなり長いようで、大正中期に始められた引湯施設が、その後、部分的な補修だけで現在まだ利用されている。最近の施設のうちには土管のかわりに、ビニール管やエタパイ管を使つたものもいくらかあり、パーモライトで保温したものもあるが、その周囲を三和土または四和土で被覆して地下へ埋設すると云う点は全く同様で、四和土の外側をさらにコンクリートで包んだものもある。

以上のように多数の給湯事業が別々に経営されているため、引湯管の敷設状況は非常に複雑でなかなかその実態をつかみにくい。とくに流川通りや富士見通りの一部には一つの道路に5本の引湯主管が平行して埋設されている所さえある。これら引湯路線を地図上に示したのが図1と2で、別府市営のものを図1に、他の業者のものを図2に示してある。

3. 引湯量と水源の分布

給湯事業を利用している引湯使用先を地域別にし、それぞれへの引湯量を合計すると第1表のようになり

図1 別府市営引湯路線

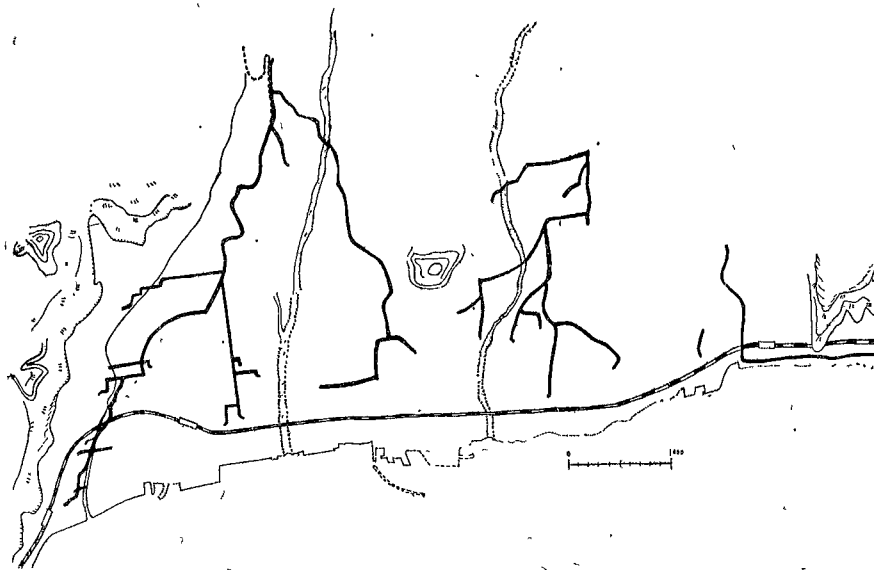
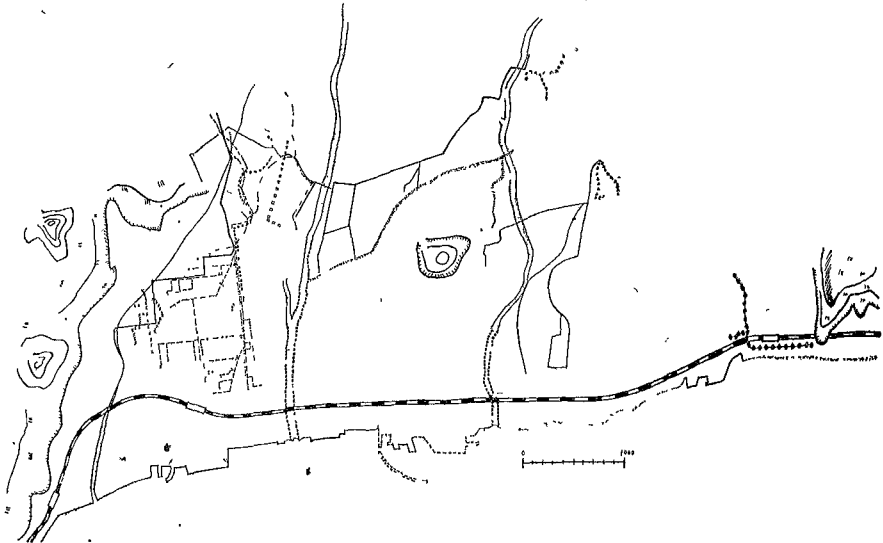


図2 各給湯事業（市営以外）引湯路線



ここで、「その他」としたもののほとんどは、温泉ゆう出に恵まれない別府市中央部の鶴見原、南石垣、須賀方面にふくまれる。

第1表 引湯使用量

別府	5295m ³ /日
浜脇	610
観海寺	595
鉄輪	2330
亀川	440
その他	2757
総計	12027

これによると、たとえば温泉孔の非常に多い別府についても、引湯使用量はゆう出量の3/8以上におよんでおり、別府温泉の中に占める給湯事業の役割の大きいことが示される。

つぎに、給湯のもととなっている泉源、水源の分布

をみると、そのすべては噴気活動の盛んな南部と北部の山麓に分布しており、朝見川の上流部から、地表流水、伏流水、ゆう水を利用して

第2表

給湯源の地域別分布

南部	7287m ³ /日
北部	4740
計	12027

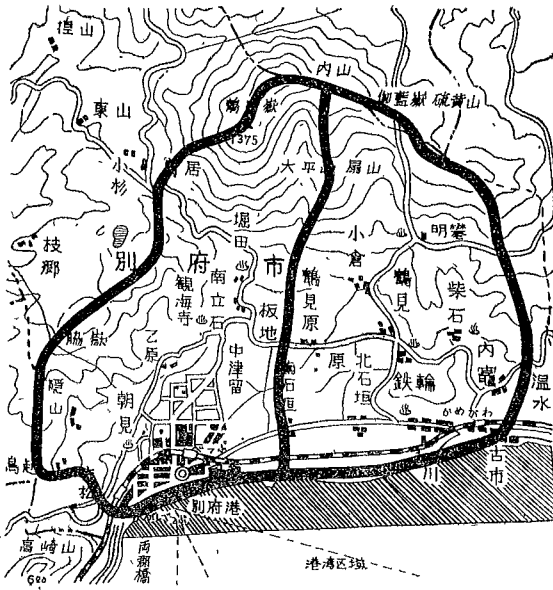
かって野満等は、大正13年と昭和8年の温泉一斉調査の資料にもとづき、別府市街地からの温泉総ゆう出量とその調査年での受水域雨量とを比較して、温泉ゆう出量は受水域雨量の16%に相当としている。このような各泉源ごとのゆう出総量にさらに前記の大きい引湯量が加えられて別府温泉が形成されているわけであり、この多量の温泉水がはたして雨量の何割程度をしめているかをもう一度しらべてみよう。

別府温泉全域にわたっての泉源からのゆう出量などの資料はまだ十分には整理されていないから、昭和24年の一斉調査での資料から総温泉水量 47×10^3 m³/日を当時の引湯量もすべて含んだ値として用い、また昭和34・35年に測られた別府、浜脇からの総ゆう出量の計 14.9×10^3 m³/日に今回の南部山麓からの引湯量を加えたものを別府温泉南半部からの温泉水量として、先の全域からの温泉水量についての状態と比較することにした。

受水域は地形上の分水嶺で限られた地域と仮定し、図3に示すように、東別府—小鹿山—鶴見岳—内山—伽藍岳—温水の線にかこまれた面積を別府温泉の全受水域とし、それを北と南の二つに分け、境川水系の水は南半部の温泉に寄与すると考えて、境川の流域を含む南石垣—大平山—内山の線から南を南半部の受水域とした。これは野満らが別府市街温泉の受水域としてとった境川—鶴見岳の南側の地域よりやや広くなり、偶然にも別府温泉全受水面積のほぼ半分となって比較のためにも便利である。南部受水域には別府、浜脇以外の少数の泉源からのゆう出量も含まれることになるが、別府市街地の温泉総ゆう出量にくらべて極めて小さくその量は無視しても差支えないであろう。

この取水域上への雨量の値は京大研究所で測定された値で代表されると仮定し、その昭和元年からの35年間の平均値1872mm/年を共通の値として用いた。もちろん、測定された温泉水量はその測定当時の雨量により相当影響をうけて変化するためそのための誤差の含まれることは覚悟しなければならない。

図3 別府温泉の受水域



第3表 温泉水量と受水域雨量との関係

	受水面積	温泉水量		温泉水量 雨量
		引湯 湧出量	7.8×10 ³ m ³ /日 14.9×10 ³	
南半部	29.3Km ²			14.9%
全域	59.8	47.×10 ³		15.4

南半部地域では、引湯量が井戸を通じての採湯量の約半分におよんでいるが、それらを合計した全温泉水量の受水域雨量に対してしめる割合は、別府温泉の南部と北部とであまり変りのない値が得られており、この両地域の常住人口や宿泊客数の大きい違いにくらべて奇妙な感じをおこさせる。この南半部の総温泉水量を昭和35年でのその地域の常住人口(78485人)と旅館収容力(10911人)の和で割ると1人当り0.25m³/日の湯量となり、これは別府地区の上水道配水量1人当り0.28m³/日に近い値である。昭和24年測定的全域についての温泉水量を、かりに同じく昭和35年でのその全域での常住人口(106560人)と旅館収容力(13000人)との和で割れば、1人当り0.39m³/日となる。なお、この計算には貸間や保養所などの収容力(別府全域で約2200人)を無視した。以上の大ざっぱな計算からも、現状で、温泉として利用出来る量は南と北とであまり変りがなく、それを利用する施設との間の関係が別府の南部と北部とでは違いのあることが見られる。

4. 引湯の冷却と熱貫流率

給湯事業の多くは噴気で水を加熱しているが、そのほとんどは水量の不足を訴えている。その水源としては、自然湧水、ずい道による湧水、地表流水が用

いられており、これらはおもに農業用水と錯綜して、灌漑期以外は川水を、灌漑期にはずい道中の浸透水を用いている会社もある。加熱の方法はどれも地中に設けたタンクまたは人工的な池の中に水を導入して、その中に直接噴気を噴出させており、その最終加熱タンク内の水温は64~95°Cであった。

測定時が冬季の比較的水量にめぐまれた期間であったためもあろうが、各引湯先での温度はわずかの例外をのぞき最低でもおおむね43°C以上を示して良好であった。

引湯途中の冷却については、野満・瀬野の研究があり、別府での一業者の施設についての実測と比較されて良好な結果をおさめている。それによると、半径rの管内を流量qでℓの距離だけ引湯される間に水温がT₀からTまで低下したとき、管の埋設深度での平常地温をθとすると次の関係が満たされるとされている。

$$\left. \begin{aligned} T-\theta &= (T_0-\theta) e^{-\lambda s} \\ s &= \sum \frac{2\pi r n \ell n}{q n} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

引湯主管からしだいに分岐して引湯先に近づくにつれて流量や管径が変って来るが、その途中の効果をすべて合計したsの値をとり、実測結果との対応から冷却率は次の値をとることが示された。

$$\lambda = 0.00759 (\text{cm/分}) = 0.127 \times 10^{-4} (\text{C.G.S})$$

この冷却率λは管壁や保温被覆、土の熱伝導率をすべて一様とみなしてkとすると、引湯管が地中hの深さに埋められていると、ほぼ次式の関係をもつとしてよいから、

$$k = \lambda r \log \frac{2h}{r} \dots\dots(2)$$

上記のλの値と実測した引湯でのいろいろなrとhの値を用いて、kが1.16~3.48×10⁻³ (C.G.S) の範囲内にあることを示した。

山下は、これをさらに引湯管、保管被覆、地中埋設の三つの保温効果に分け、それぞれの熱伝導率をk₀、k₁、k₂で表わして次の関係を得た。

$$T-\theta = (T_0-\theta) \exp\left(-\sum \frac{n}{1} H_n \frac{\ell n}{q n}\right) \dots\dots(3)$$

$$H = \frac{2\pi}{2.3 \left(\frac{1}{k_0} \log \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{k_1} \log \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{k_2} \log \frac{4h}{D_2} \right)} \dots\dots(4)$$

ここでD₀とD₁は管の内径と外径、D₂は保温被覆をふ

くめた外径、 h は埋設深度である。そうして、実際の温度や流量の実測値から(3)式を利用して求めた H の値と、引湯管施設の実状から(4)式を使って求めた H の値とが大体等しくなることが示された。

したがって、引湯管の敷設に当って、(4)式中に用いられる D や k の値があらかじめ分かっていれば、その引湯の熱貫流率の値、ひいては、その施設を利用した場合の冷却度が予知出来ることになるが、別府の引湯施設ではもっとも大きい効果を与えるはずの土壌中の熱伝導率 k_2 の値についてこれまで資料が与えられておらず、また、この値はいろいろな条件によりかなり変動すると考えられるから、この値を実験的に決定するよりも、実際に行われている引湯の資料から、そのような引湯管を敷設している場所での熱伝導率の値を推定する方が、将来の引湯施設の計画に際しても利用価値の大きい値が得られるであろう。そのために、今回の調査ではまず引湯途中の温度と流量を実測して(3)式からそれぞれにおける熱貫流率 H の値を求め、つぎにその値を(4)式に代入して熱伝導率を推定すると云う方法をとることにした。それには、まず出来るだけ途中で引湯施設の変化がなく、一本の真直な管からの放熱と考えてもよいような引湯主管中での冷却を対象として、勾配のあまりはげしい所をさげ大体平地に入ってから、そのような状態のもの4本について測定を行いその結果を第4表に示した。熱貫流率の値はすべてC.G.S単位であらわした。

第4表

- (a) 鶴見地獄附近から荘園近くまで。
ビニール管(内径6.8cm, 外径7.6cm)
四和土(21cmまき)地下60cm埋設
 $T_0=81.2^\circ\text{C}$, $T=75.3^\circ\text{C}$, $l=900\text{m}$
 $q=156\text{ l/分}$, $H=2.5\times 10^{-3}$
- (b) 上原バス停附近から富士見通り9丁目まで。
土管(14.5cm)四和土(15cmまき)地下80cm埋設
 $T_0=62^\circ\text{C}$, $T=58^\circ\text{C}$, $l=1000\text{m}$, $q=271\text{ l/分}$
 $H=3.63\times 10^{-3}$
- (c) 旧八幡地獄附近から自衛隊まで。途中に一点分湯。その分湯点の前と後の二つに分ける。
(イ) 土管(9cm)、四和土(9cm)コンクリート(13.5cm)地下100cm埋設
 $T_0=67^\circ\text{C}$, $T=61.2^\circ\text{C}$, $l=1400\text{m}$
 $q=254\text{ l/分}$, $H=3.24\times 10^{-3}$
(ロ) 土管(9cm)四和土(9cm)地下100cm埋設
 $T_0=61^\circ\text{C}$, $T=57^\circ\text{C}$, $l=800\text{m}$,
 $q=202\text{ l/分}$, $H=3.6\times 10^{-3}$
- (d) 京大研究所前から富士見通り9丁目まで

土管(12cm)四和土(12cm)地下80cm埋設
 $T_0=74^\circ\text{C}$, $T=64^\circ\text{C}$, $l=870\text{m}$,
 $q=1000\text{ l/分}$, $H=4.55\times 10^{-3}$

以上のうち、(d)はその業者の測定値にもとずいたものであるが、先に野満らにより冷却率の値の求められたものとはほぼ同一の引湯で、今回得られた H の値から管径12cmとして、

$$H = \frac{\lambda}{2\pi r} \text{ の関係から } \lambda \text{ の値を求めると、}$$

$$\lambda = 0.119 \times 10^{-4} \text{ (c.g.s)}$$

となって、かつて得られたものとはほぼ同様の値を保っていることを見出される。

このほか、鉄輪地域の一業者はエタパイ管のまわりにパーモライト保温をしたものを地中に埋設しておりその熱貫流率は途中でかなりの分岐があるために正確な測定にはもとずいていないが、だいたい総延長1500mにつき、 $H=2.33\times 10^{-3}$ の範囲にあると考えてよいであろう。

つぎに以上のような大体様な施設とみられる引湯主管についてだけでなく、もっと細かく分岐された各引湯先までの熱貫流率の値を求めてみよう。もちろん分岐とともに保温施設の変ってくるにつれて、(4)式からも H の値の変ることが当然考えられるが、一応その間の H の値の平均的なものとしての意味はとれるであろう。

前記、(b)路線はさらに西野口方面に延びており、その途中4個の引湯先での測定結果から前記引湯主管と同じ基準点からの冷却を別々に求め、そこに至るまでの各路線にわたる $\sum \frac{q_n}{q_n}$ を計算した値と対応させて、それぞれの H の値を求めてみると、その平均値は 3.8×10^{-3} となって主管について求められた値とあまり変りはない。

つぎに(d)の引湯についてみると、この路線は前記の京大研究所前のタンクから二つに分れ、一本は富士見通りから野口方面に向い、他は途中さらに分れながら、山の手中学校から田の湯方面に向っている。この前者を(い)後者を(ろ)とすると、前記のタンクから一つ一つの引湯先までにつき計算された H の値は相当ばらばらで、これはおもにその末端の枝管の施設の影響と考えられるが、大きく見て、(い)と(ろ)の両者に違いがあり、(い)の方が H の値の大きい傾向がみられる。すなわち、

(い) 19個の測定につき計算された H の平均値は、
 6.89×10^{-3}

(ろ) 13個の測定につき計算された H の平均値は

4.81 × 10⁻³

両者を一しよにした平均値は5.86 × 10⁻³となり、この枝管に入ってからの冷却が実際の引湯利用に重要な影響を与えているとも考えられるので今後、調査を続けてゆきたい。

5. 熱伝導率

以上の熱貫流率の値を引湯管の保温施設の面から考えてみよう。かって野満と瀬野が行ったように管外の熱伝導率をすべて一様とみなして取扱うとすれば、その値kは前項での引湯主管について、(2)式からほぼ次の値をとることが見出される。

k = $\frac{H}{2\pi} \times 2.3 \log \frac{160}{6} = 1 \sim 2.4 \times 10^{-3}$ (c.g.s.)

これを、管壁、被覆、土壤と別々の保温効果と考えた(4)式にあてはめてそれぞれの熱伝導率を求めてみる。土管の場合にはその肉厚はほぼ2 cm以下で、その保温効果は(4)式中の他の効果にくらべてほとんど無視出来る程度と考えてよいであろう。一方、ビニール管を用いたものでは、ビニールの熱伝導率が小さいためにこの保温効果は無視出来ないであろうから、この前項(a)の引湯を基準にして、他の(b).(C)の引湯の保温効果と比較し被覆に使われている四和土の周囲の土の熱伝導率k₁とk₂との値を求めてみる。なお、以下に記す熱伝導率の値はすべてc.g.s.単位とする。

(a) HやDの値はすべて前記のものを用い、ビニールの熱伝導率を3 × 10⁻⁴として(4)式に代入し、次式を得る。

$\frac{0.8182}{k_1} + \frac{0.6812}{k_2} = 0.93 \times 10^3 \dots\dots\dots(5)$

$\frac{0.4771}{k_1} + \frac{0.9489}{k_2} = 0.751 \times 10^3 \dots\dots\dots(6)$

(C) (イ) コンクリートの熱伝導率を2 × 10⁻³とする。

$\frac{0.4771}{k_1} + \frac{0.8697}{k_2} = 0.692 \times 10^3 \dots\dots\dots(7)$

(ロ)

$\frac{0.4771}{k_1} + \frac{1.1707}{k_2} = 0.759 \times 10^3 \dots\dots\dots(8)$

(6)、(7)、(8)、をそれぞれ(5)と連立さすことにより、k₁とk₂の値が次のように見出される。

(b) k₁ = 1.19 × 10⁻³、k₂ = 2.7 × 10⁻³

(C) (イ) k₁ = 1.5 × 10⁻³、k₂ = 2.17 × 10⁻³

(ロ) k₁ = 1.14 × 10⁻³、k₂ = 3.17 × 10⁻³

この三種の引湯から大体同じような値が見出されたことから、今後、四和土の熱伝導率k₁がほぼ1.2 × 10⁻³の値を持つと考える。

このk₁の値を他の測定された引湯に適用すると、(d)の引湯につき、k₂ = 4.46 × 10⁻³、鉄輪地域のものにつき、k₂ = 2.03 × 10⁻³

以上から、別府で引湯管が敷設されている附近の土壤の熱伝導率は2 ~ 4.5 × 10⁻³程度と考えてよいことが示される。一方、京都大学研究所の敷地内で1936年から1945年まで測定された地下1 mと2 mの地中温度の季節変化を調和解析して、一般の地温年変化についてと同様の解析を行いその間の熱拡散率を求めると6.2 × 10⁻³(c.g.s.)となる。土の地熱をc、密度をdとするとき、熱拡散率は $\frac{k_2}{cd}$ で表わされるから、上記のk₂の値がここに適用されると仮定すると、土の単位体積当りの熱容量は0.32 ~ 0.72となつて、比較的乾燥した土壤についての一般的な値の範囲内にある。したがって、今後、別府温泉で従来のような施設での引湯の保温効果を考える場合に、四和土の熱伝導率を1.2 × 10⁻⁴、土壤の熱伝導率を最悪の場合を4.5 × 10⁻³としてほぼ妥当ではないかと考えられる。

6. 引湯管内の摩擦損失

管内の水流ではいろいろな抵抗のために水頭損失の生じることが周知の通りであるが、別府での引湯管についてどの程度の乱流摩擦を考えればよいかを現在の資料から推定しよう。そのためには、途中の管径の変化や、曲り、または分流、合流などによる水頭損失の出来るだけ無視出来るような、引湯路線のなるべく真直な部分につき、マンニングの公式が適用されるとして、測定された流量と地図から求めた動水勾配から管の粗度係数を求めることとする。この計算は湯が引湯管を完全に満していると考えられるほぼ平地部の引湯のみに適用される。

円形断面の管についてのマンニングの公式は次のように与えられる。

$V = \frac{1}{n} \left(\frac{D}{4} \right)^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(9)$

Vは管内の平均流速、Dは管の直径、Iは動水勾配、nは粗度係数と呼ばれ、普通のコンクリート管ではn単位で0.016程度の値とされており、この値の大きいほど管内の抵抗は大きく、同じ管でも使用年数の長いほどこの値は大きくなるとされている。

前記の(a). (b). (c). (d)の引湯管は(b)に2箇所ほどの曲りがあるほかはほぼ直線と考えられ、それに流量と管径とから求めた流速を用いて計算したnの値は次の第5表のようになる。なおそのほか、別府市営の富士見線と、竹の内から原方面に向う業者の引湯をそれぞれ(e)と(f)として、ともに関係者から借用し

た資料にもとずいて計算した値をつけ加えた。

第5表 引湯管内の粗度係数

	V (m/秒)	I	n
(a)	0.717	0.0445	0.0195
(b)	0.4	0.04	0.0483
(c) (イ)	0.664	0.025	0.019
(c) (ロ)	0.528	0.0375	0.0291
(d)	0.564	0.0495	0.0386
(e)	0.453	0.05	0.039
(f)	0.423	0.0123	0.0327

こうして求めた n の値は大体 (a)、(c) と (b)、(d) (e)、(f) の二つに分れて、前者は小さく既述のコンクリート管の値に比較的近いが、後者はその約 2 倍の値を示し管内の抵抗の大きいことを示しており、ほぼ平行に走っている富士見通の引湯管の間にも同様な関係が認められる。大体、管の抵抗はその使用年数にしたがって大きくなることは先に記したが、この (a)、(c) の管は敷設後数年であるのに対し、他は 20~45 年間ほとんど改められることなく続いていることからこの n の値の大きいことが了解される。マンニング公式では、N 年使用後の n の値 n_N は最初の値 n_0 に対し次式の関係で大きくなるとされている。

$$n_N = n_0 \left(1 - 2.68 \frac{\sqrt{N}}{1000D} \right)^{-8} \dots \dots \dots (10)$$

これによると N が 40 年に対し、 $n_N = 1.5n_0$ 。N の 104 年に対し、 $n_N = 2n_0$ となる。今、 $n_0 = 0.02$ として (10) 式がそのままあてはめられるとすると、40 年経過した (b) と (d) では n は 0.035 となり、かなり実測値に近くなるがなお十分には説明しきれない。この使用年数による n の増大の主原因は沈積物の管内附着による有効管径の減少とされており、水道水の場合より温泉水による場合の方がその速度の早いことは当然予想されることである。しかし、この別府の引湯管での粗度係数の増加は (10) 式の状態にくらべてそれほど大きくはなく、管内の沈積物の量が水道水の場合とそう大きくは違わないことを示しており、現在の給湯事業に用いられている温泉水が引湯として適していることを物語る。

以上から、別府で現在使用されている引湯管の粗度係数としてほぼ 0.02 (m 単位) が用いられ、その使用年数に応じて (10) 式のような一般的な関係よりいくらか大きい程度の抵抗増加を示すと考えてよいであろう。

7. 要 約

(1) 別府温泉で引湯を用いての給湯事業はその主なものだけでも 16 業者を数え、その温泉水量は 1 日 1 万

2 千立方メートルにおよんでいる。

(2) その給湯源としては、南部と北部の山麓帯の噴気に水を注入して温泉水を得ているものが大部分をしめ、その水量の比率は北部 1 に対し南部は約 1.5 となっている。

(3) 別府温泉の受水域を南と北の二つの地域に分けると、その南部受水域からの引湯量はその地域への平均雨量の約 5% に当り、その地域の泉源からの総ゆるい出量を加えると約 15% となる。これは昭和 24 年の別府温泉総調査のさいの全温泉水量と全受水面積への平均雨量との割合にはほぼ等しく、南半部と北半部とでその割合が大体つり合っていると考えられる。

(4) 引湯使用量は穿掘温泉の多い別府市街地でも、その総ゆるい出量の 1/3 以上におよび、現在の温泉利用面からみて給湯事業は重要な存在となっている。

(5) 数社の引湯施設についての観測から、大体平地部に入ってから引湯主管での熱貫流率は $2.5 \sim 4.6 \times 10^{-3}$ (c.g.s.) とみつめられた。これから分岐して引湯枝管に入ると、その値の大きいものがあらわれて今後の調査を必要とする。この熱貫流率から計算された土壌中の熱伝導は $2 \sim 4.5 \times 10^{-3}$ (c.g.s.) と求められ、これは今後、引湯の冷却を推定する場合に適用されるであろう。

(6) 現在の引湯管内の摩擦による水頭損失にマンニング公式が適用され、比較的新しい管についての粗度係数として 0.02 の用いられることが示された。管の使用年数にしたがってその粗度係数の大きくなる状態は、従来、水道管などに与えられている関係よりやや大きい程度で、別府の引湯では、少なくともその主管においては沈積物による有効径減少の効果があまり大きくはないことが示された。

この調査は多数の給湯事業関係者の御理解と御助力とをたよりにして行われたもので、その御好意に深く感謝をさげるとともに、なお十分な実用的成果の得られなかったことをお詫びする。

参 考 文 献

- 1) 山下幸三郎：別府温泉の調査の結果について 地球物理、8 巻、2~4 号、p. 43. 1950.
- 2) 野満隆治、瀬野錦治：引湯の研究。地球物理、5 巻、3 号、pp. 171~186. 1941.
- 3) 湯原浩三：引湯管による地中温度の分布と引湯の冷却。地球物理、9 巻、2 号、pp. 137~143. 1945.
- 4) 山下幸三郎：温泉の引湯について、大分県温泉調査研究会報告、10 号、pp. 31~39. 1959
- 5) 野満隆治、池田亮二郎、瀬野錦藏：別府温泉洞

- 養源としての雨量. 地球物理. 2巻. 2号
p. 112 1938.
- 6) 矢野行雄: 別府旧市内温泉現況調査報告.
大分県温泉調査研究会報告. 10号.
pp. 40~43. 1959.
- 首藤治郎. 佐藤光一. 矢野行雄: 別府市浜脇
亀川地区温泉現況調査報告. 同上 11号.
- pp. 22~23. 1960.
- 7) 別府市: 市勢要覧. pp. 9~10. 1961.
- 8) 別府市観光課調査
- 9) Bayer L. D.: Soil Physics.
pp. 295~296. 1948.
- 10) 物部長穂: 水理学. p. 155. 1950.

別府市内温泉(海門寺周辺)現況調査 (4)

医務薬事課 佐 藤 光 一
 矢 野 行 雄
 末 松 竜 雄

この数年間温泉の需要は著しく増えているが、特に別府温泉では観光施設の拡充、新設にともなう掘さく増掘が相つぎ36年1年間でも122件に及ぶこれらの申請があり、それとともに旧市内で動力揚湯が急に増加している。そしてそれによる影響と思われる現象が一部でみられたため、特に変化が大きいとみられる鶴水園北浜埋立地区から海門寺附近の一带の現況調査を本年2月から4月にかけて実施し、これを京大の行った昭和24年の総調査と31年の調査の一部及び34年の我々の現況調査の資料と比較してみたのでその結果を報告する。

1. 調査地域

調査地域は第1図に示すように北は郷谷通り南は駅前通りの間の海門寺を中心とした日豊線から海岸までの区域をとった。調査と比較の便宜上この地域を更に

春日通り、電車通りで区切りそれぞれ海門寺南部地区、海門寺北部地区と北浜埋立地区及び鶴水園地区の4地区に分けた。動力装置の揚湯量の調査は鶴水園及びその附近は揚湯時間を数日間記録し、その他は聞取りによった。

2. 調査結果要約

昭和24年の調査を基準として第1表に比較状況を示した。源泉と動力装置分布は第1、第2図のとおりである。

1) 地区別概況

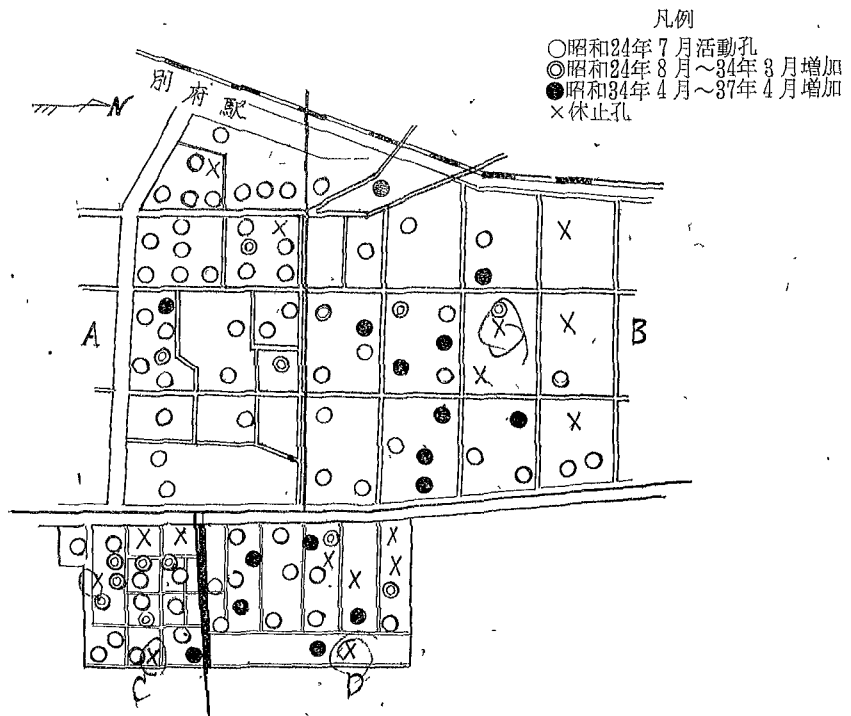
海門寺南部 (A)

24年当時に比べ現在まで活動孔は10孔増加しておりゆう出量は幾分増加している。

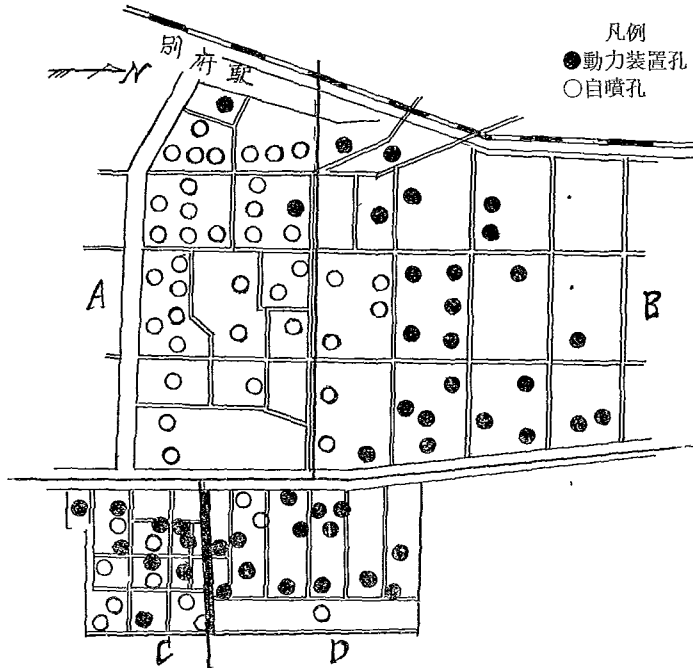
海門寺北部 (B)

この地区は34年以後の新掘が目立ち活動孔は10孔増

第1図 海門寺、北浜、鶴水園地区 温泉分布図



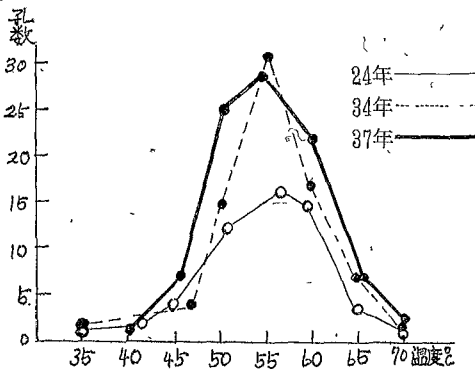
第2図 海門寺、北浜、鶴水園地区 動力装置分布図



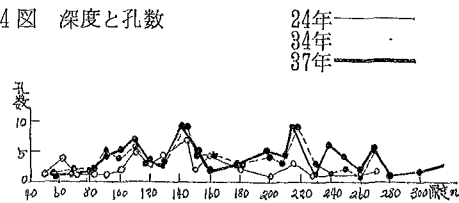
第1表 海門寺、北浜、鶴水園地区、温泉現況調 37.4

区別	年別	総孔数	活動(停)孔数	動力装置	平均温度	(A) ゆう出量 (自噴)	1孔当り平均ゆう出量	(B) 揚湯量 (動力)	総量 (A+B)	平均深度	備考
	昭和年	孔	孔	基	°C	立/日	立/分	立/日	立/日	m	
海門寺	南部 (A)	24: 31 34: 34 37: 36	24(7) 30(4) 34(2)	0 0 2	54.4 54.5 53.8	808.402 931.104 947.452	23.4 21.6 20.6	0 0 57.300	818.402 931.104 1,004.752	98 104 104	面積 72.200m ² 1孔当り平均 2.005m ²
	北部 (B)	24: 23 34: 25 37: 34	17(6) 19(6) 29(5)	0 3 23	56.4 56.9 57.1	934.920 694.800 277.776	38.2 30.2 32.1	0 65.570 911.298	934.920 760.370 1,189.074	173 185 193	面積 96.612m ² 1孔当り平均 2.841m ²
	北浜 (C)	24: 14 34: 20 37: 21	12(2) 18(2) 17(4)	0 0 9	58.8 57.6 54.0	744.595 535.616 156.960	43.1 20.7 13.6	0 0 504.534	744.595 535.616 661.494	149 177 202	面積 24.000m ² 1孔当り平均 1.142m ²
鶴水園 (D)	24	14	9(5)	0	52.2	239.990	18.5	0	239.990	180	面積 33.000m ² 1孔当り平均 1.500m ²
	31	—	9	0	53.2	319.680	22.2	—	319.680	—	
	34	17	13(4)	3	53.2	400.467	27.8	59.800	460.267	238	
	37	22	17(5)	14	53.0	83.420	19.3	7.55,124	838.544	256	
総計	24	82	62(20)	0	55.4	2,727.907	30.6	0	2,727.907	150	
	34	96	80(16)	6	55.5	2,561.987	24.7	125.370	2,687.357	176	
	37	113	97(16)	48	54.4	1,465.608	20.8	2,223.256	3,693.864	188	

第3図 温度と孔数



第4図 深度と孔数



加し、そのうえ特に35年から動力揚湯が急増した。自噴量は大きく減量したが総量ではやや増し温度は殆んど変化がない。

北浜埋立 (C)

34年までに6孔増加し、その後新掘は殆んどないが動力揚湯が半数に及んでおり、平均深度も50m以上深くなった。しかしそれにもかかわらず温度は5度近く下り総量も減っている。

鶴水園 (D)

海門寺北部について温泉分布に変化の多かったところであるが、動力装置もこの一帯では最も早く普及しはじめ、大部分に設置されている。動力揚湯の結果総量は24年当時の3.5倍にもなったが、温度の方は31年の調査から殆んど変化がない。

なお、ここでは別府タワー泉(深度450m)の揚水試験も実施したが、周辺が殆んど動力揚湯であることと試験井の深度が附近とは特に異なるためか結果は判然としなかった。ただこのとき31年の調査時静止水頭が地上1.2mあった一温泉が地下1.2mに低下しているのが

みられたが、これからみると附近一帯の水頭は相当低下しているものと思う。

2) 総括

- i. 34年調査では活動孔は24年より18孔増加しており平均深度も若干深くなり動力揚湯も数孔みられたが総体的には総量、温度に変化は少かった。
- ii. 37年度にいたるとまた17孔増加し年均深度も更に深くなったが、特に動力装置が急増したため、総量では35%増加し約3700T/Dとなったが自噴量は海門寺南部以外の地区では大巾に減量し24年の半量となった。温度は一部では上昇のところもみられるが全体としては今のところやや下降の傾向にあるのではないかとみられる。

3. 結 び

以上の観測からみると34年頃までは掘さく増掘が与えた全体的な影響は少なかったが、その後の掘さくや特に増加した動力装置による揚湯はそれまでの均衡に相当の変化をもたらしている。特に鶴水園地区の動力は地区としては一応効果をあげているように見えるが、この影響が北浜埋立と海門寺北の一部にも及んでいるのではないかとと思われる。なかでも北浜埋立地区では明らかに減衰傾向がみられる。

他地区のこのような変化にもかかわらず海門寺南部地区は変化が少く、今のところ他地区の影響と思われる現象は明らかではない。

以上が今回の調査結果のとりまとめであるが、観測の範囲も狭く、対象地域を抜け、また調査方法にも検討を加える必要があると思う。しかしこれ以上この地域で強制揚湯を増強することなどは更に水頭低下地域を拡大し、著しい泉温降下などをもたらすおそれがあるので、将来とも各分野にわたる調査検討を充分に行い、適切な保護対策をとる必要があるものと思われる。

終りに種々資料の提供を得て、御指導を頂いた京都大学地球物理学研究所山下博士と調査に御協力下さった別府保健所の諸氏にあつく感謝する。