

大分県温泉調査研究会

報 告 第 1 4 号

昭 和 3 8 年 5 月

目 次

放射能障害の温泉療法 (第13報)	八 田 秋	秋	…(1)
放射能障害の温泉療法 (第14報)	八 田 秋	秋	…(5)
	山 田 とみ子		
別府温泉の化学的研究 (第31報)	古 賀 昭 人	昭 人	…(9)
	橋 永 熙 子		
チロジナーゼ活性に及ぼす微量成分の影響 (第1報)	野 崎 秀 俊	秀 俊	…(15)
別府湯の花 (明ばん) の生成過程.....	瀬 野 錦 藏	錦 藏	…(19)
別府市営引湯の冷却.....	吉 川 恭 三	恭 三	…(21)
	矢 野 行 雄		
別府市鶴水園附近温泉のCl ⁻ 量について	山 下 幸 三 郎	幸 三 郎	…(26)
噴気井内水の化学成分について.....	山 下 幸 三 郎	幸 三 郎	…(31)
別府市内温泉現況調査 (5)	湯 浅 実	実	…(36)

放射能障碍の温泉療法 (第13報)

原爆被爆者別府温泉利用研究所の実績 (IV)

九州大学温泉治療学研究所

八 田 秋

前回に引続き、昭和37年4月より昭和38年3月までの、その後の1年間について、湯治成績を求めてみた。入所者利用数は一月に最も多く、一日平均利用者数は55.5名で、2月、3月も定員40名をこえる利用度であった。尚年間の月別利用度の傾向は前回、前々回とはほぼ同様であった。(第1表、第1図)

又この間1年間の利用者実数は、前回の1年間の926人に対し、1553人で、利用者の増加が著しい。

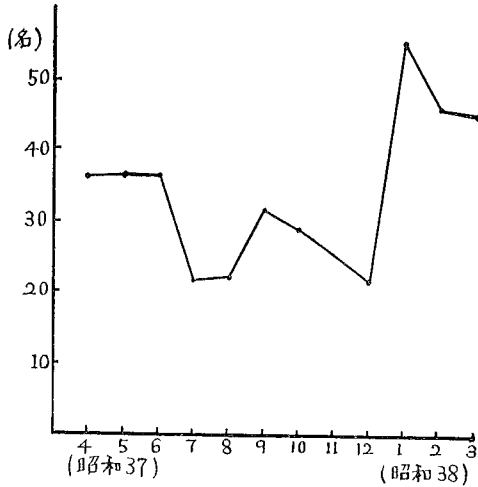
利用者の男女別は、第1表に示したように前回同様女性が多い。これら利用者の滞在日数を調べてみると2週間以上の滞在者が多くほぼ3分の1を占め、その実体は第2表、第2図の如く、1週間以上の長期滞在が60%以上を占め、前回よりやや高値を示し、湯治の意義が理解されつつあるものと考えられる。2週間前後滞在于して湯治の前後に我々の検査を受けたものは、183名で、総数の11.7%で前回の6.04%の約2倍近く

第1表 利用者男女別年令表 37年度 利用者数とその延数

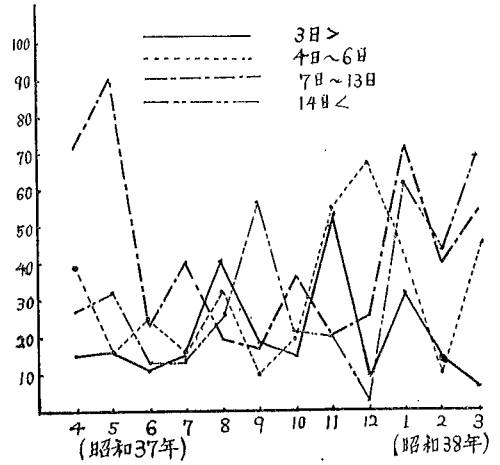
年令 月別	男女	≦30才	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66>	計
37年 4月	男	1	3	2	0	7	8	15	19	55
	女	0	8	7	9	17	33	16	18	98
5月	男	1	4	0	4	6	11	12	24	62
	女	0	4	1	5	8	21	26	27	92
6月	男	1	1	1	0	3	7	12	17	42
	女	0	6	5	3	7	16	13	18	68
7月	男	2	3	1	0	6	3	8	9	32
	女	1	2	0	5	8	9	12	16	53
8月	男	3	4	1	5	3	11	9	14	49
	女	3	4	5	8	9	19	8	12	68
9月	男	2	1	3	1	2	5	3	17	34
	女	1	3	2	4	4	9	17	27	67
10月	男	1	2	1	3	1	4	6	10	28
	女	5	8	4	9	4	12	8	12	62
11月	男	7	6	8	3	14	18	24	13	93
	女	2	3	4	8	7	9	11	7	51
12月	男	0	11	3	7	8	17	20	8	74
	女	0	7	5	5	6	4	3	0	30
38年 1月	男	3	6	8	2	6	10	9	19	63
	女	11	17	12	12	19	27	27	19	144
2月	男	4	3	4	3	5	8	13	8	48
	女	2	7	4	4	11	17	11	12	68
3月	男	2	4	1	3	6	12	13	16	57
	女	4	6	9	13	17	12	23	22	115
計	男女	56	123	91	116	184	301	319	364	637 916

月別	利用者数	延人員	一日平均
4月	153	1.119	37.3
5月	154	1.186	38.2
6月	110	1.149	33.3
7月	85	736	23.7
8月	117	765	24.6
9月	101	1.006	38.5
10月	90	866	27.9
11月	144	761	25.3
12月	104	732	23.6
1月	207	1.733	55.5
2月	116	1.324	47.3
3月	172	1.417	45.7
計	1.553	12.794	35.1

第1図 月別入所利用者の一月平均
(昭和37年4月～昭和38年3月)



第2図 湯治期間



第2表 湯治期間

月別	3日以下	4日～6日	7日～13日	2週間以上	合計
37年	(名)	(名)	(名)	(名)	(名)
4月	15	39	72	27	153
5月	16	16	90	32	154
6月	11	25	23	51	110
7月	15	16	40	14	85
8月	40	32	20	25	117
9月	18	10	17	56	101
10月	14	19	36	21	90
11月	49	54	21	20	144
12月	9	67	25	3	104
1月	31	43	71	62	207
2月	18	10	40	53	116
3月	6	44	54	68	172
合計	287	375	509	432	1553

第3表 被爆状況

Km	例数	遮 廠		不明
		+	-	
0.5<	1	1	0	0
1.0	15	10	5	0
1.5	24	14	5	5
1.8	15	9	3	3
2.0	35	23	7	5
3.0	32	12	13	7
3.5	0	0	0	0
4.0>	1	0	1	0
計	123	69	34	20

で湯治に対する理解が深められたものようである。

そこでこの183名のうち、判明した118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2 Km以内のものは90例(75.4%)である。そしてその3分の2は遮障がなく、前回よりもはるかに多い。尚、検査項目中の集中値限界は、前回と同じ基準をおいた。(第4表)

第4表

検査前目	集中値限界
赤血球数	300万~500万/mm ³
血色素量	75~90%
白血球数	5000~8000/mm ³
肝機能(B.S.P)	2.5~5.0%
最高血圧	100~150mmHg
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
デヴィス反応	陰 性

今、湯治前後の検査成績がこの基準をはみだした例数を調べ、被検総数に対する割合で百分率で表わし、第5表に示した。

前回の成績と対比してみると、湯治前の成績では、バラつきが減少しており、肝機能低下、ソーンテスト異常例がわずかに前回より上まわっているのみで、その他の諸検査のバラつきは低率であった。尚ソーンテスト、肝機能検査例は数が少ないので、確かな比較検討を試みる事が出来なかった。

そこで各項目について前回の成績と比較してみると

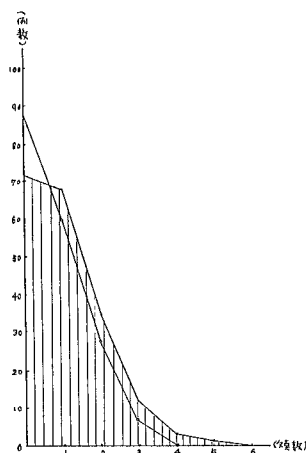
赤血球減少は0%で、前回に等しい。ヘモグロビン減少は6.5%で、前回の1.78%より高い。白血球数異常は21.3%で前回の19.64%よりも同様に高い。

最高血圧異常は、28.9%でこれも、前回の23.21%より高い。又、尿蛋白陽性は6.0%で、前回の5.36%とほぼ等しい。尿糖陽性は4.3%で、前回の5.36%より低い。

湯治後の成績は、著明な好転がみられたが最高血圧異常を来したものがあつたためか、湯治の成績に著効がみられない。又肝機能低下、ソーンテスト、については湯治後に異常を来す例がかなりあり、そのため湯治後異常例がましている。

これは、入浴指示にそむき、頻回の入浴による副作用の一面と考えられ、今後、いましめられるべきである

第3図 欠点数と例数 Histogram.



第5表 湯治前後のバラつき頻度 (183例)

検査項目	湯治前(%)	湯治後(%)	
		全例(%)	残留例(%)
赤血球減少	0(0)	0(0)	0(0)
血色素量減少	12(6.5)	3(1.6)	2(1.1)
白血球数異常	39(21.3)	21(11.4)	21(11.4)
肝機能低下	1(4.8)	3(14.3)	0(0)
最高血圧異常	53(28.9)	52(28.4)	40(21.6)
ソーンテスト異常	10(47.6)	15(71.4)	8(38.1)
尿蛋白陽性	11(6.0)	4(2.2)	4(2.2)
尿糖陽性	8(4.3)	5(2.6)	5(2.6)
尿ウロビリノーゲン陽性	36(19.6)	14(7.5)	14(7.5)
尿デヴィス反応陽性	0(0)	0(0)	0(0)

B.S.P 前21例 后21例

ソーンテスト 前21例 后21例

う。

ここで、湯治前後に、各人の持っている欠点数と例数との Histogram を作ってみると、第 8 図の様になり、湯治後の著しい好転の様子がよく理解される。

その好転度を湯治前の総欠点数から、湯治後の総欠点数を差引き、被検者数で割って、算出すると、0.2923 で前回の 0.1429 よりも、はるかに高く、その効果が判然として来る。

以上今回の一年間の成績をまとめてみたが、肝機能低下とソーンテスト異常が湯治により増したことは、今後注意を要することであり、頻回の入浴が大いに影響するものであり、注意を喚起しなければならない。

共同研究者

太山森清、辻秀男、安藤太介、中村泰也、徳永恆尋、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、永石照美、野口志郎、

主要文献

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 報 昭 36.
3. 八田; 臨床と研究 37.4.529. 昭 35.
4. Osamu Hatta ; BaIneotherapy for The Survivors of Atomic Bomb Injuries. 温泉科学 12.1 昭 36.
5. Saito ; Z. angew. Baeder u. Klimaheilk. Nr. 1/Feb.80.1962
6. 八田; 大分県温泉調査研究会特別号 第 11 報 昭 37.

放射能障害の温泉療法 (14報)

湯の花の放射能障害治療効果

八 田 秋
山 田 とみ子

はじめに

われわれは昨年、湯の花浴による生体反応について報告した。

すなわちその0.5g/kgの濃度での、かとの不感温、1回浴では、平均-40%前後の好酸球減少(4時間後)、-2分程度のMBRT短縮と、17,000におよぶかなり強い白血球数増加(何れも24時間後)とを認め、その2週間連浴の場合には、Polarograph蛋白第2波の蛋白SH体の軽度増加、3日前後のBSPの10%に及ぶ延長、尿中17-KSの前期減少と末期増加、17-OHCSの前、末両期の軽度増加などが認められ、自律神経作用、Thiol作用、Corticoids作用などが比較的釣合のとれていることが認められた。

そこで今回は、放射能障害の回復に、どの程度の作用を示すかを検討した。

実験材料、実験方法

体重2kg前後のかとを一定量のおからで飼育しておき、表Iのような条件で、500rのX線1回全身照射を行った。

X線装置東芝製	KXC 18型
二次電圧	200KD
二次電流	30MA
フィルター	Cu 1.0mm + Al 0.5mm
皮膚焦点距離	40cm
空中線量	500r

そして照射の翌日より、連日2週間、第1群かと5羽には淡水浴、第2群かと5羽には0.5g/kgの湯の花浴を、各不感温、15分浴として行わせた。

検査事項としては、X線照射前と、照射後第1日、連浴第1週と第2週との前後4回にわたって、両群ともに大腿骨上部1/3、同下部1/3、脛骨上部1/3などの骨髓穿刺を行い、骨髓有核細胞数と、塗抹Giemsa染色標本についての顆粒性白血球分類とを行った。

実験成績

I 骨髓有核細胞数

淡水浴群のかと5羽中1羽(No.1)は照射前値が異常に少なく、照射にはかえって著しく増加して全く異型の経過を示したので、この1羽を除外して見ると、照射前骨髓有核細胞数は15.150~24.750、平均19.431±7.170であったが、照射により翌日は4.550~6.850、平均5.494±1.470と、前値の1/3以下に減っていた。

これに淡水連浴を行ったものでは、第1週には21.425~32.275、平均27.214±7.870と前値を上まわる増加を示したが、第2週では、11.025~27.050、平均15.600±13.310と前値より下まわっていた。

これに対して第2群の湯の花連浴では、やはり前値が低値を示した1羽(No.8)を除いて見ると、前値は13.500~22.250、平均16.152±3.550であり、照射の翌日には、7.800~15.525、平均9.900±3.270と減少し、ほぼ第1群と同様な傾向を示したが、半減するほどではなかった。

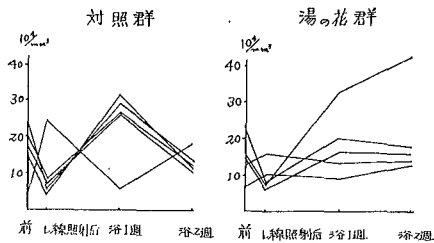
これに湯の花連浴を行うと、第1週には13.600~

表II 骨髓有核細胞数(単位万/m³)

		前	照射後 1日	入湯1週	入湯2週
淡 水 浴	No. 1	4.75	24.85	5.800	17.475
	No. 2	15.15	4.55	32.275	11.025
	No. 3	24.75	5.00	28.750	13.075
	No. 4	17.45	6.35	26.475	11.250
	No. 5	20.475	6.075	21.425	27.05
湯 の 花 浴	No. 6	14.03	7.300	16.100	10.75
	No. 7	22.25	8.500	19.900	13.8
	No. 8	7.225	10.425	8.875	12.85
	No. 9	14.825	8.275	32.300	42.05
	No. 10	13.5	15.525	13.600	13.925

I. II 図

レ線照射と骨髓有核細胞数

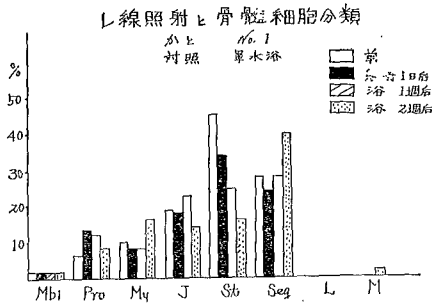


32.300、平均 20.475±7.170 と増加は軽度であり、第 2 週にも平均 21.131±12.200 とほぼ同値を持続したすなわちX線照射による骨髓有核細胞数の減少からの回復が、湯の花浴群により早く安定したものと解されるのである。(表II、図I、II)

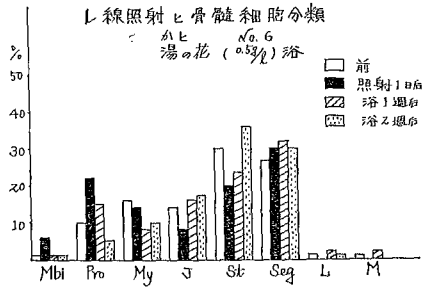
表III 骨髓有核細胞分類

		Mbl	Pro	My	J	St	Seg	L	Mon	
淡 水 浴	No. 1	前	2	6	10	19	45	28	0	0
		1日	4	13	8	18	33	24	0	0
		1週	4	12	8	23	25	28	0	0
	No. 2	2週	4	8	16	14	16	40	0	2
		前	2	9	12	28	39	8	1	1
No. 3	1日	4	9	8	22	32	24	1	0	
	1週	6	16	15	19	27	18	0	1	
湯 の 花 浴	No. 4	2週	4	6	10	12	26	38	2	2
		前	2	12	10	12	35	28	1	0
	No. 5	1日	4	12	15	20	17	31	0	1
		1週	2	4	14	10	44	21	2	0
	No. 6	2週	6	12	16	12	28	22	4	0
前		1	20	21	22	24	9	2	1	
No. 7	1日	1	9	16	12	36	24	0	2	
	1週	6	13	17	14	32	18	0	0	
湯 の 花 浴	No. 8	2週	4	10	18	22	28	17	0	1
		前	2	12	8	16	35	26	1	0
	No. 9	1日	0	25	26	28	18	3	0	0
		1週	4	14	13	29	35	12	2	0
	No. 10	2週	2	14	10	13	27	32	1	1
前		1	10	16	14	30	27	1	1	
No. 11	1日	6	22	14	8	20	30	0	2	
	1週	1	15	8	16	24	32	2	2	
湯 の 花 浴	No. 12	2週	1	5	10	17	36	30	1	0
		前	2	14	10	10	27	24	0	2
	No. 13	1日	2	15	14	19	27	22	1	1
		1週	2	4	10	14	36	32	1	1
	No. 14	2週	9	20	18	17	18	15	2	1
前		6	12	14	22	31	13	1	1	
No. 15	1日	6	22	10	8	30	21	1	2	
	1週	2	10	14	26	41	6	1	0	
湯 の 花 浴	No. 16	2週	4	20	14	10	29	20	1	2
		前	2	18	16	25	28	10	1	0
	No. 17	1日	6	17	20	20	17	16	2	2
		1週	0	8	4	6	44	34	2	2
	No. 18	2週	4	8	4	17	31	35	0	1
前		2	8	18	22	28	19	2	1	
No. 19	1日	9	19	24	13	16	17	0	2	
	1週	2	2	6	13	33	37	1	1	
No. 20	2週	2	4	12	12	44	24	2	0	

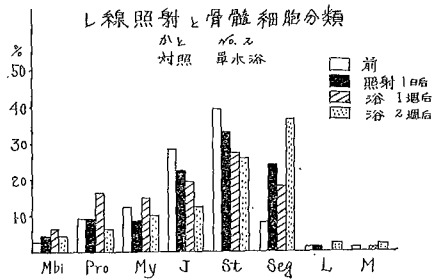
図III



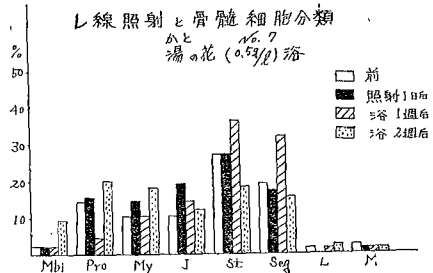
図VIII



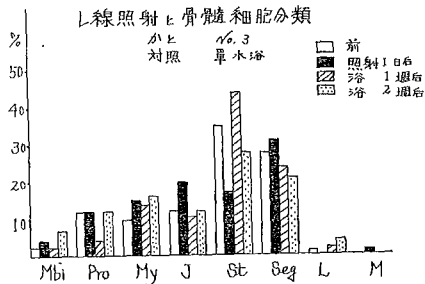
図IV



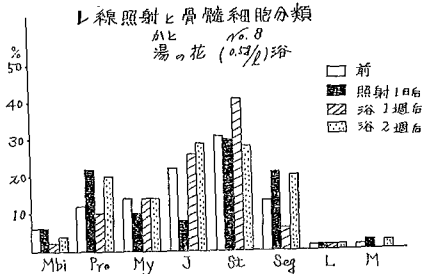
図IX



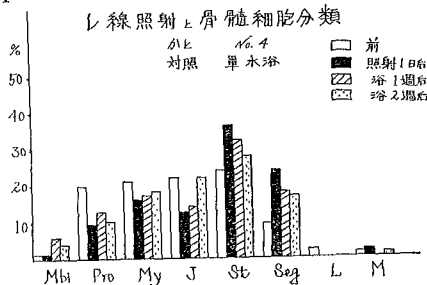
図V



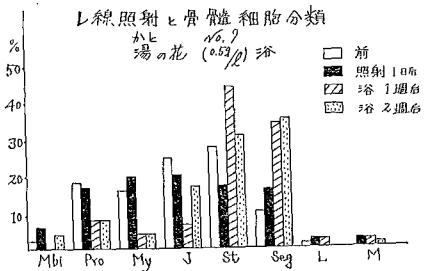
図X



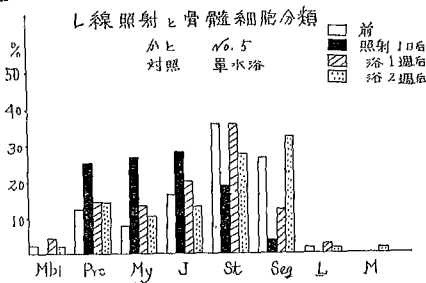
図VI



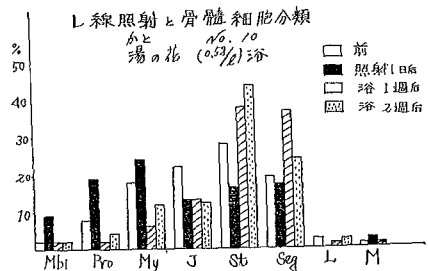
図XI



図VII



図XII



II 骨髓塗抹標本

Gimsa染色標本の顆粒性白血球について行った分類成績は表Ⅲ、ⅣⅧ～ⅣⅩに示す如くである。

第1、第2両群間の重なる差異は、連浴第1週において、StならびにSegの百分率が、第2群ではほとんど全例に増加していることである。

このことはX線照射による骨髓障害よりの回復と安定とが、第2群により速に行われたものと解し得べく、前述の骨髓有核細胞数が、連浴第1週にすでに安定化していることと一致する成績と考え得るであろう。

総括ならびに考案

かってわれわれが試みた泉浴のX線障害予防効果の実験^⑧では、10日間の連浴前処置により、555γ程度の半致死量1回照射マウスの半数を守り得るほどの効果ではなかったが、一定の生存係数算出法に従うと、柳湯>湯の花>無浴対照>温研泉>鈎泥>淡水>海地獄という成績となった。

さらにま、た100γを5日間、総量500γの全身X線照射を受けたマウスに、14日間連浴を行った場合の治療成績では、前記予防効果には劣るが、末稍白血球数の面では、原爆センター泉>淡水>湯の花>柳湯>海地獄の順によく、網球球数の回復は、原爆センター泉>湯の花>柳湯>淡水>海地獄の順によかったのである。

これらの両実験成績は、0.5g/kgの湯の花浴は、X線障害に対して比較的効果的な温泉に比肩し得る効果を示しているのである。

他の研究者の成績を見ると、^⑨松山は518.4γの半致死量照射マウスに、40°C、10分間の2週間連浴を試み末稍白血球の減少からの回復には、泉浴の前処置では効果が見られたが、その後処置ではさしたる効果はなく、ただ減少の主体であるリンパ球の減少をやや抑制し得たのみといひ、また臓器 Alkali-Phosphataseが泉浴前処置により、表皮、肝Glisson氏鞘、同血管上皮などに増強的であったことが、X線障害防止作用と関連のあるものと考えている。

なお松橋は飲泉によるX線障害の治療効果をかどの骨髓で検討し、末稍白血球の回復は温研泉>竹瓦泉>海地獄、骨髓穿刺ならびにその組織像でも、3泉中温研泉が最も回復促進的であることを認めている。

これ等の諸家の報告で共通な点は、X線障害への予防ないし治療効果が弱食温泉、硫酸温泉、単純泉などの緩和性泉により著しく、含食塩、芒硝、酸性泉である海地獄のような緊張性泉ではかえって有害であることであって、この点小野田、岡田、宮下、KUKOWKAなどの成績とも一致していることである。

以上から緩和性泉の泉浴や飲泉に、ある程度のX線障害防止または治療効果のあることは疑ないところであるが、われわれが温泉中最も効果的と考えている柳湯や、原爆センター泉などに比べて、湯の花0.5g/kg程度の泉浴に、これにほぼ比肩する作用のあることは注目すべきところと思われる。このたびは骨髓所見からその一斑をうかがうことが出来たのである。

むすび

かたに500rのX線1回全身照射を行った後、翌日から0.5g/kgの湯の花の不感温、15分浴を行わせ、骨髓穿刺による骨髓有核細胞数と、骨髓塗抹標本の顆粒性白血球の分類像とを検討し、これを淡水浴群と比してX線障害からの骨髓の回復、安定化を、よりよく促すものと解し得る所見が得られた。

終りに本実験に御援助いただいた九大温研延永講師に深甚の謝意を表する。

合同研究者

中村泰也、徳永恒尋、工藤寛昭、曾我部輝久、石川晃、

引用文献

1. 八田：放射能障害の温泉療法(第12報)
湯の花浴による生体反応
大分県温泉調査研究会報告 No.13.昭37.5
2. 八田 et al：泉浴のレ線障害予防効果について
大分県温泉調査研究会報告 No.10.昭34.5
3. 八田 et al：泉浴のレ線障害治療効果について
大分県温泉調査研究会報告 No.11.昭35.5
4. 松山：レ線障害に及ぼす泉浴の影響に関する実験的研究温研紀要 10:1:1昭33.10
5. 松橋：温泉飲用の骨髓造血に及ぼす影響に関する実験的研究 温研紀要 10:4:13昭33.10
6. 小野田：温泉浴の放射線障害に及ぼす影響(第2報)(会)日本温泉気候学会誌 11:3:120昭28
7. 岡田：温泉浴の放射線障害に及ぼす影響
岡大温研報告 12:30昭23
8. 宮下：レ線障害に及ぼす温泉浴の効果(第3報)
日本温泉気候学会誌 21:1:72昭32
9. A. KUKOWKA: Ueber die guenstige Beeinflussung von Straehlen durch Heilwaesser, insbesondere von Atombombengeschaedigten aus HIROSHIMA und NAGASAKI durch Japanische Heilwaesser, Das Deutsche Gesundheitswesen, Jg.14 : 2121.1959

別府温泉の化学的研究 (第31報)

別府温泉の微量成分 (その14)

カドミウムの分布

九州大学温泉治療学研究所

古 賀 昭 人
橋 永 熙 子

1. 緒 言

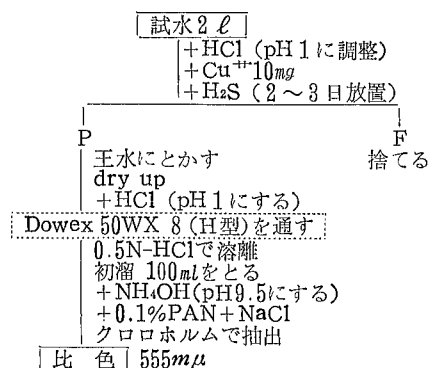
別府温泉の微量成分定量シリーズの一環として今回はカドミウムについて報告する。カドミウムはクラーク数 5×10^{-5} で第62番目に多い元素である。温泉中の定量例は極めて少なく、黒田が行った金鷄鉱泉の $10 \mu\text{g}/\text{l}$ 池田の行った那須元湯の $4 \mu\text{g}/\text{l}$ が定量されたにすぎない。

カドミウムは週期律表において亜鉛と同列にあり天然でも常に亜鉛に伴われて産出する。一方、別府温泉では亜鉛、ゲルマニウム、ヒ素の多いことに特長があり、火山性温泉の特性ともみられるのでカドミウムの含量もまた多いとみて本実験を行った。

2. 分析方法と結果

温泉水中のカドミウムの定量法としては、石橋らの方法を用いた。表1にそれを示す。すなわち、試水

表1 温泉水中のカドミウム定量法



2 l をとり塩酸を加え pH 1 に調整、キャリアーとして銅(II) 10 mg を加え硫化水素を通じて硫化銅と共にカドミウムも共沈させる。2、3日放置後、ガラスフィルター(4 G)を用いて吸引ろ過、少量の水で洗い、沈澱は $30 \sim 50 \text{ ml}$ の王水にとかし蒸発乾固する。つぎに少量の 2 N-HCl で処理したのち、水でうすめて pH 1 に

し、Dowex 50WX 8 (H型) を $1 \text{ ml}/\text{min}$ の速度で通し吸着させたのち、カドミウムを 0.5 N-HCl で溶離し初溜液の 100 ml をとる。更に、これを 1 N-NaOH で pH 9.5 に調整し、 $0.1\% \text{ PAN}$ (1-(2-Pyridylazo)-2-naphthol) 1 ml 、食塩 1.5 g を加えクロロホルム 20 ml で抽出、少量の無水芒硝で脱水後、同様に処理して得た試薬ブランクを対照として $555 \text{ m}\mu$ で比色定量した。

別府温泉水の37個所のカドミウム含有量は表2に示される。

3. 考 察

3.1. 別府温泉水中、カドミウムの地理的分布

別府温泉水中のカドミウム含有量の最大なのは十萬地獄の $101 \mu\text{g}/\text{l}$ であり、もちろん本邦最高である。ついで鬼山地獄の $45.5 \mu\text{g}/\text{l}$ がこれにつぐ。これらを図示すれば図1(A,B)のようである。鉄輪、明礬地区および旧市内の一部に含有量の高いのがあり、掘田、観海寺地区は少なかった。旧市内では南部地区に多く、

図2. 別府各地区のCd含量

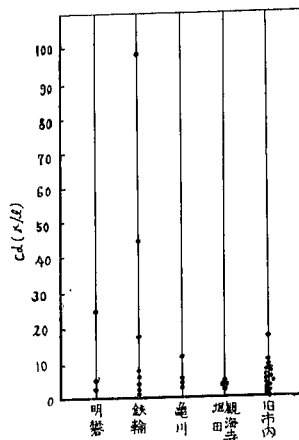


表 2 別府温泉水中のカドミウム含有量

地区	No.	泉 名	pH	°C 泉 温	mg/l 蒸発残留物	μ/l Cd	Cd/蒸発残留物
明 礮	1	地 蔵	3.1	49	420	5.2	1.24×10 ⁻³ %
	2	野 天 風 呂	2.3	82	940	3.1	0.33 //
	3	薬 師	2.7	65	730	25.0	3.42 //
鉄 輪	4	海 地 獄	2.4	84	3680	16.8	0.46 //
	5	十 万 地 獄	5.6	96	5810	101.0	1.74 //
	6	鬼 山 地 獄	3.0	94	5790	45.5	0.79 //
	7	白 池 地 獄	7.3	100	5970	2.7	0.04 //
	8	雷 園 地 獄	2.9	94	4250	7.0	0.16 //
	9	柴 石 地 獄	3.3	63	1910	4.4	0.23 //
	10	血 の 池 地 獄	2.5	60	3390	1.5	0.04 //
	11	竜 巻 地 獄	2.6	98	3350	0.6	0.02 //
亀 川	12	御 夢 想	7.2	43	720	10.5	1.46 //
	13	千 人 風 呂	7.6	54	1070	3.5	0.83 //
	14	筋 湯	7.0	58	1080	4.5	0.42 //
	15	四 ノ 湯	6.6	52	1310	5.5	0.42 //
堀 田・ 観 海 寺	16	堀 田	6.2	59	390	2.3	0.59 //
	17	観 海 寺	7.1	57	430	2.3	0.53 //
	18	温 研	7.3	53	390	2.0	0.51 //
	19	〃 (堀田)	7.0	44	350	2.4	0.68 //
旧 市 内	20	弓 ケ 浜	7.0	46	1550	0.1	0.01 //
	21	的 ケ 浜	7.3	51	1230	1.9	0.15 //
	22	上 的 ケ 浜	6.9	50	1510	2.5	0.16 //
	23	春 日	6.7	54	1150	2.1	0.18 //
	24	弓 松 寺	7.4	65	1620	0.7	0.04 //
	25	海 門 寺	6.4	59	1170	3.7	0.31 //
	26	北 町	6.6	59	1140	5.6	0.49 //
	27	竹 瓦 湯	7.2	60	1190	3.4	0.29 //
	28	砂 湯	7.2	59	1420	4.3	0.30 //
	29	梅 園 潮	6.8	62	1290	2.2	0.17 //
	30	靈 潮	6.9	61	1170	1.0	0.03 //
	31	楠 柳	6.4	55	840	6.0	0.68 //
	32	楠 柳	6.6	46	970	5.9	0.61 //
	33	松 原 石	7.1	54	880	16.0	1.82 //
	34	永 原 石	6.9	48	810	9.0	1.11 //
	35	紙 屋	7.1	52	880	6.3	0.72 //
	36	不 老	6.9	52	870	2.2	0.25 //
37	田 ノ 湯	6.4	46	720	0.0	0.00 //	

図1. 別府温泉のカドミウムの分布(A)

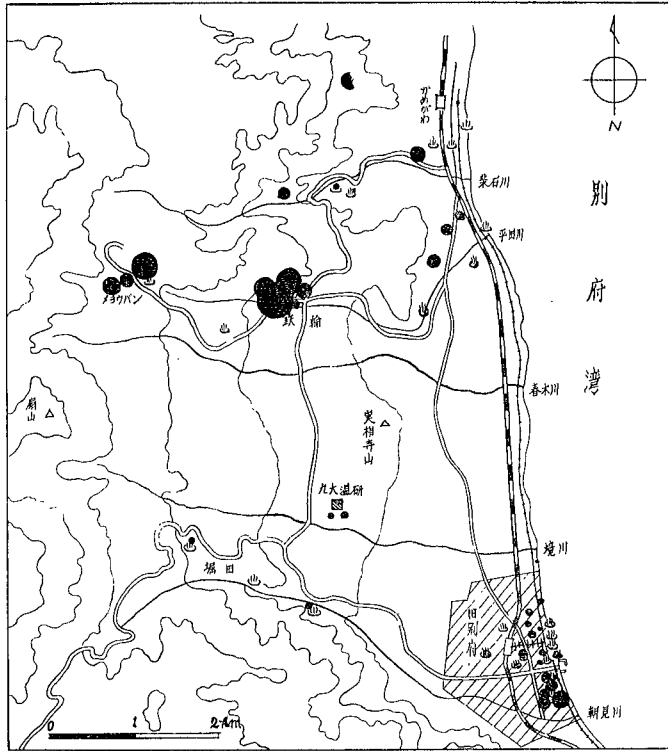


図1. 別府温泉のカドミウムの分布(B)

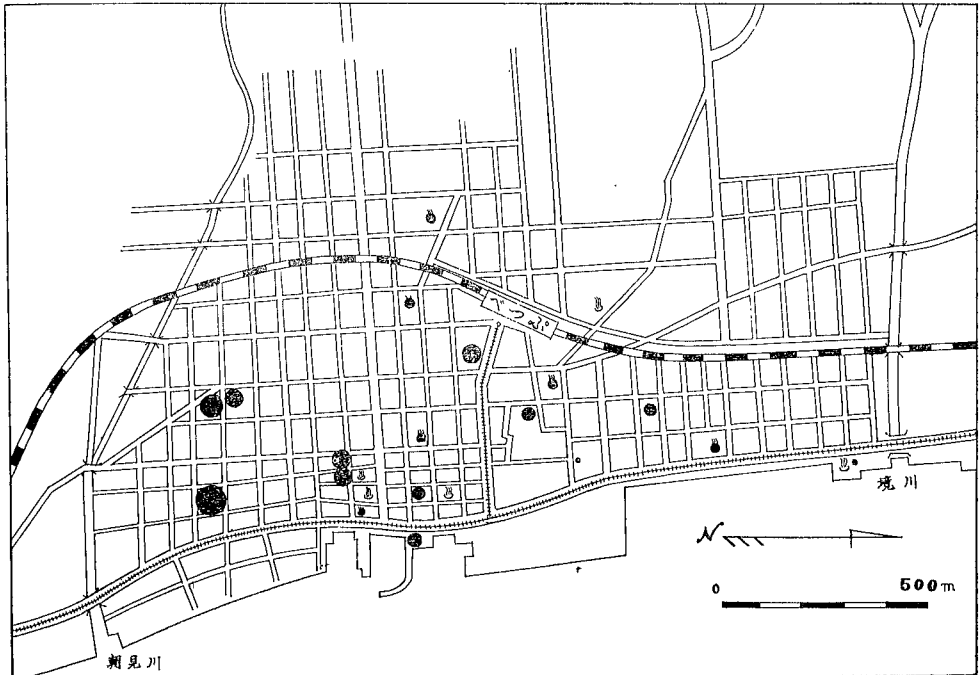


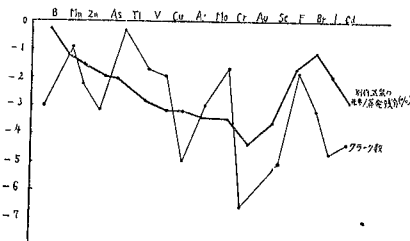
表3 別府各地区の平均カドミウム含有量

地 区	個数	Cd ($\mu\text{g/l}$)	Cd/蒸発残分 %
明 礬	9	11.1	1.66×10^{-3}
鉄 輪	8	22.4	0.44 "
亀 川	4	6.0	0.66 "
堀田・観海寺	4	2.2	0.58 "
旧 市 内	18	4.1	0.41 "
全 平 均	37	8.6	0.56 "

中央部から北部に行くにつれ含有量が少なくなっている。各地区別のカドミウム含有量およ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、亀川、旧市内、堀田、観海寺地区の順となり、37個の平均は8.6 $\mu\text{g/l}$ で銀、銅、セレンなどと大体同程度含んでいる。

蒸発残分に対する比は他の微量元素と同様に明礬地区が最も大きく、亀川、堀田、観海寺地区の順となり鉄輪地区は旧市内と同様に小さく全体の平均は $0.56 \times 10^{-3}\%$ で、クラーク数の約11倍多いことになる。ついでに今までに定量した各微量元素について各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、金、銀、セレン

図3. 別府温泉の元素/蒸発残分(%)とクラーク数との比較図

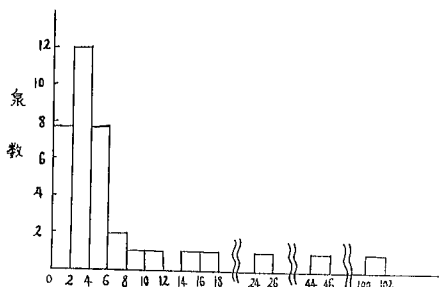


フッ素、臭素、ヨウ素と同じくカドミウムも多量に含有していることが分る。

3.2. カドミウムの含有量ひん度

別府温泉のカドミウム含有量のひん度分布を图示すると図4のようになり、ほとんど6 $\mu\text{g/l}$ 以下で、と

図4. カドミウム含量のひん度分布図

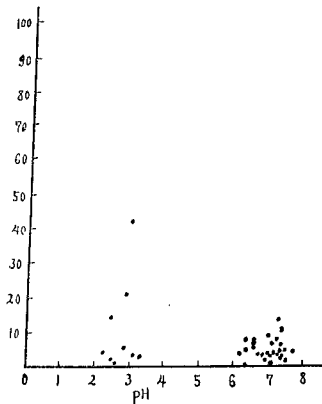


くに2~4 $\mu\text{g/l}$ が大部分を占める、したがって別府温泉のカドミウム含有量は、銀、銅、ゲルマニウム、セレンと同程度であり、亜鉛の約1/35、ニッケルの8倍、ヒ素の1/25、チタンの1/10、金の16倍、モリブデンの1.4倍、クロムの2倍、バナジウムの1/2.4マンガンの1/130である。

3.3. pHとの関係

別府温泉のpHとカドミウムとの関係は図5に示す

図5. pHとカドミウムとの関係図

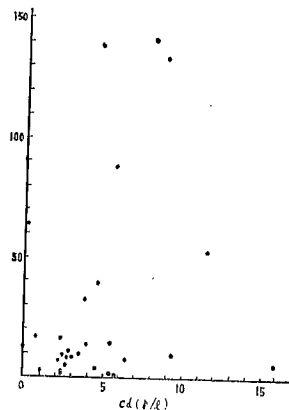


総じてpHとの関係は見られないが、どちらかといえば酸性の方に含有量の高いのがみられる。同様に泉温との関係もばらばらで特別な傾向はない。

3.4. 亜鉛との関係

緒言でも述べたように別府温泉の如き火山性温泉には亜鉛の多いことに一つの特長があった。週期律表で同族のカドミウムは、常に閃亜鉛鉱のような亜鉛の鉱物と共に産するので、別府温泉水中の亜鉛とカドミウムの関係を調べると図6のようになり、必ずしも比例

図6. CdとZnとの関係



関係は見当らない。ただし、図6では高値の亜鉛とカドミウムは除外してあるが、最高値を示す鉄輪地獄で

も、比例関係はない。火成岩中では Zn: Cd = 132:0.15 であるが、温泉水ではこの比はずっと小さく 307:8.6 である。このことはカドミウムが、例えば閃亜鉛鉱などから溶出されるとしても、カドミウムの方が亜鉛より、よけい溶け出されるとすべきであろう。

3.5. 泉質との関係

別府温泉の泉質とカドミウムとの関係は表4に示す

表4. 別府温泉の泉質とカドミウム含有量

泉	質	Cd(μ/l)	最大値—最小値
酸性泉	酸性硫化水素泉	11.1	25.0—3.1
	含芒硝食塩酸性泉	19.0	45.5—4.4
	含食塩酸性泉	6.3	16.8—0.6
食塩泉	含ホウ酸食塩泉	51.9	101.0—2.7
	弱食塩泉	4.5	5.5—3.5
	含土類食塩泉	2.9	5.6—0.7
重曹泉	含食塩土類重曹泉	1.2	2.2—0.1
	含食塩重曹泉	2.7	4.3—1.0
単純泉	単純硫化水素泉	2.3	2.3
単純泉	単純泉	5.7	16.0—0.0

ように酸性泉とくに含芒硝食塩酸性泉に多く、また含ホウ酸食塩泉に多いのがあった。食塩泉と重曹泉は食塩泉に多いのがあり、単純泉でも多いのは食塩泉系統の温泉であった。

3.6. 微量成分間の関係

別府鉄輪地獄地区の微量成分間の相関係数を計算すると表5のようになる。これによると、ゲルマニウムと極めて強い正の相関があり、モリブデン、ヒ素、チタンと正の相関、銀とは負の相関がある。したがってカドミウム、ゲルマニウム、モリブデン、ヒ素、チタンは銀、セレン、マンガン、クロム、金などとは違った導入により温泉に入ったと考えられる。亜鉛とは前述のように全然関係はなかった。

3.7. カドミウムの溶存状態

カドミウムの酸化状態はII価である。カドミウムの酸化還元系の標準電位とpHとの関係は図7のようである。この図と別府温泉のpHや酸化還元電位とから

図7. カドミウムの酸化還元系の形式電位とpHとの関係

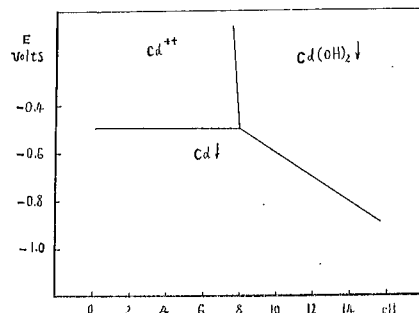


表5. 別府地獄地区の微量成分間の相関係数

	Cu	Zn	Mn	As	Ge	Cr	Mo	Ag	Au	V	Ti	Se	Cd
Cu		+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+
Zn	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Mn	+	+		-	-	+	-	+	+	+	-	+	-
As	-	+	-		+	+	+	-	+	+	+	+	+
Ge	+	+	-	+		-	+	-	-	-	+	-	+
Cr	-	+	+	+	-		-	+	+	+	-	+	-
Mo	-	+	+	+	+	-		-	+	+	-	+	+
Ag	-	+	+	-	-	+	-		+	+	-	+	-
Au	0.00	0.14	0.59	0.04		0.85	0.12	0.35		0.49	0.51	0.66	0.40
V	+	+	+	+	-	+	-	+	+		-	+	-
Ti	0.12	0.50	0.86	0.35	0.58	0.53	0.87	0.55	0.51	0.71	-	0.81	0.64
Se	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-
Cd	0.00	0.22	0.39	0.70	0.99	0.24	0.84	0.66	0.40	0.40	0.64	0.22	

考えてみると、すべて酸化還元電位は+0.1~+0.5Vであるから、カドミウムの溶存状態はすべてCd⁺⁺として存在するといえるであろう。

3.8. 温泉沈澱物中のカドミウム

明礬、鉄輪地区の温泉沈澱物中のカドミウム含有量は表6に示される。4個所の平均は7.7g/gであり、ク

表6. 別府温泉沈澱物中のカドミウム含有量

泉名	温泉水	温泉沈澱物
薬師	25.0 g/l	7.2 g/g
十万地獄	101.0 "	1.1 "
柴石	4.4 "	7.2 "
血ノ池地獄	1.5 "	19.6 "

ラーク数の14倍であり多量に濃縮されている。温泉水中のカドミウム含有量と沈澱物中のそれとは何の比例関係も見当たらないが、十万地獄の沈澱物は大部分が珪酸であり吸着力が少なく、血の池地獄の沈澱物に多いのは、それが鉄質沈澱物であるため吸着力が大なるためであろう。

4. 結 論

別府温泉水37個所と温泉沈澱物4個のカドミウムを定量した結果、つぎの結論をえた。

1. 別府温泉水の最大値は十万地獄の101.0g/lであり、37個の平均は8.6g/lで銀、銅、セレンなどと同程度含まれている。
2. カドミウムの含有量は、ほとんど6g/l以下で、とくに2~4g/lが大部分を占める。
3. 亜鉛との関係は、必ずしも比例関係はなく、火成岩のZn/Cdよりも小さい値をもっている。
4. 泉質との関係は酸性泉に多く食塩泉と重曹泉では食塩泉系統に多いのがみられた。
5. 鉄輪地獄地区の微量成分間の関係では、ゲルマニウムと極めて強い正の相関があり、モリブデン、ヒ素、チタンと正の相関、銀とは負の相関があった。
6. 温泉水中の酸化還元電位とpHとの関係から、カドミウムは、すべてCd⁺⁺としてとけているものと考えられる。
7. 4個所の温泉沈澱物の平均は7.7g/gであり、クラーク数の14倍と多量に濃縮されている。しかし、沈澱物の主成分の相違により吸着力が異なるので、必ずしも同温泉水中のカドミウム含量とは比例していない
(昭和38年4月、日本化学会総会で発表)

(終りに、種々御指導御鞭撻を受けた当温研所長 八田秋教授に深く感謝する。尚、当研究費の一部は大分県温泉調査研究会より受けた。併せて感謝する。)

文 献

- 1). Cu, Zn, Co, Mn: 川上, 古賀, 野崎, 日化 77, 1327 (1956)
- 2). As, Ge: 川上, 野崎, 古賀, 日化 77, 1785 (1956)
- 3). ポリチオン酸: 古賀, 温研紀要 9, 93 (1957)
- 4). Ti: 古賀, 日化 78, 1713 (1957)
- 5). Ag: 古賀, 日化 78, 1717 (1957)
- 6). B: 古賀, 日化 78, 1721 (1957)
- 7). Mo: 古賀, 日化 79, 461 (1958)
- 8). Cr: 古賀, 日化 80, 362 (1959)
- 9). Br, I: 古賀, 日化 80, 365 (1959)
- 10). U: 古賀, 日化 80, 369 (1959)
- 11). V: 古賀, 日化 80, 1249 (1959)
- 12). Au: 古賀, 日化 82, 1476 (1961)
- 13). No₂, No₃: 古賀, 大分県温泉調査研究会報告 12, 6 (1961)
- 14). Ni: 野崎, 大分県温泉調査研究会報告 12, 12 (1961)
- 15). F: 松浦, 国分, 脇元, 時政, 古賀, 温研紀要 7, 43 (1955)
- 16). Se: 古賀, 大分県温泉調査研究会報告 13, 7 (1962)
- 17). Be: 野崎, 大分県温泉調査研究会報告 13, 13 (1962)
- 18). K, Kuroda: Bull. chem. Soc. Japan 16, 234 (1941)
- 19). K, kimura, Y. Yokoyama, N. Ikeda: "Publication n° 37 de l' Association Internationale d' Hydrologie" P. 201, 202
- 20). 石橋, 重松, 田伏, 西川, 合田: 日化 83, 295 (1962)

チロジナーゼ活性に及ぼす

微量成分の影響, 第1報

九州大学温泉治療学研究所 温泉理学科

野崎 秀俊

緒言 我々は温泉治療学上重要であるとの考えから、微量成分の温泉水中含有量及び分有について研究を行って来た。がしかし、それら微量成分が治療学上、どのように生体の働き、どのような効果をもたらすかについて、何も知ってはいない。

そこで生体中で重要な働きを演ずる酵素の活性に及ぼす微量成分の影響について研究を行うこととした。

先づ酵素としてチロジナーゼを用い、この活性に及ぼす、微量ニッケル、コバルトの影響について報告する。

方法 a ワールブルグ法

主室にpH6.7 磷酸緩衝液 1 ml、基質として 0.04% チロジン溶液 0.5 ml、添加試料 0.5 ml

副室には20% KOH 0.3 ml、側室にチロジナーゼの 0.5 mg/ml 液 0.5 ml を入れ酸素ガス 5 分間通気 37.5°C の恒温槽を用い、マンメータにより開脚の目盛を読み、酸素消費量を測定した。

測定時間は30分間、振盪は毎分60回とした。

b. ¹⁴Cを用いる方法

反応液の各室への量はa法と同様である。ただ、基質0.04%チロジンに¹⁴C-チロジン(19.3 × 10⁻³ mc/mg) を 5 × 10⁻⁴ mc/ml となるよう加えたのみである。

α法と同様 30分間 37.5°C で反応させ東洋洋紙 No.5c で濾過、熱湯で洗浄後、乾燥、GM測定器で放射能を測定したGM管のマイカ厚は 2 mg/cm² 試料棚は上段を使用した。

結果

先づチロジナーゼを含まない液について酸素消費量を測定した。チロジナーゼを加えなくても僅かであるが、酸素を消費して基質の分解が行われるようである。チロジナーゼを加え東にはニッケルを加えると酸素消費量は増大する。ニッケルを加えたものはチロジナーゼのみを加えたものよりも、更に酸素消費量が大きい。(第1図)

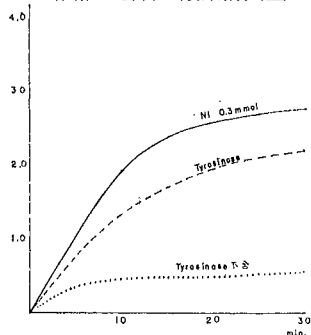
メラニン黒色不溶性の物質であるが、この酸素消費量測定中、ニッケル添加反応液は急速と黒色を帯び30分後には沈澱として肉眼的に識別可能となる。そこでb法で生成沈澱物の放射能を測定すると第1表に示すようにニッケル、コバルト添加のものは高い放射能

第1表 ニッケル及びコバルト添加の黒色沈澱物の放射能

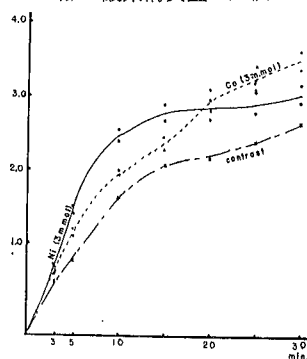
添加微量成分	沈澱物の放射能	
Co	1	7080
	2	6841
Ni	1	3635
	2	3551
Hg		77.4
Cont.		247

Co, Ni, 3 mmol Hg 1 mmol
反応時間 30 min

1図 チロジナーゼ及びニッケル添加の場合の酸素消費量



2図 ニッケル及びコバルト添加の酸素消費量の比較



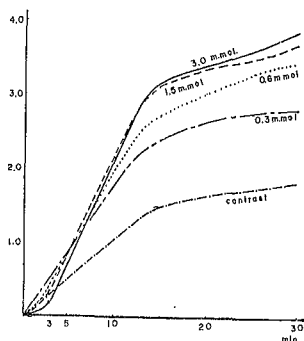
を示した。

又同時に同じ試料を用いて測定した7つの試料の測定結果は、平均5147.6cpm、標準偏差383.9cpmであった。

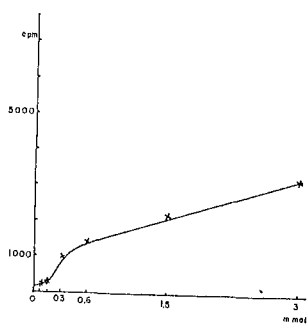
ニッケル及びコバルト添加による酸素消費量は第2図に示すように30分値ではCoのチロジナーゼ活性促進能が大である。酸素消費量の途中経過を見ると、反応開始後20分迄はニッケル添加時の酸素消費量が高い。肉眼的観察でもやはりニッケル添加の試料が黒色を呈するのが速い。b法における測定では、水銀1mmolを添加、実験を行ったが著しく反応を抑制することが判明した。

第3.4図にニッケル添加時の酸素消費量及び、

3図 ニッケル添加の酸素消費量



4図 ニッケル添加量と沈澱物放射能の射強度との関係



生成沈澱物放射能の強さのニッケル量との関係を示した。酸素消費量について見るとニッケル添加量の多い程初速の遅れる傾向がある。ニッケル添加量の増大と共にチロジナーゼ活性促進的であることを示している

同様にコバルトの場合、(第5図、6図)添加量の多小が初速に影響をあたえるといふことは、はっきり判らないが、やはり10分以後は消費量は濃度順となる。

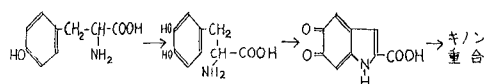
ニッケル、コバルト共に沈澱物の放射能は添加量の増加と共に高くなる。

次にこれら反応に及ぼすO₂の影響を見た。酸素通

気によるairの排除と、airそのままの場合との比較であったが、何れの場合も酸素通気により酸素消費量は増大する。電子運伝体としての、チトクロムCのみの添加は抑制的であるが、ニッケル添加により急激に消費量が高くなる。

考察

①チロジナーゼは広く生体に分布する酵素でO-キノンにモノフェノールを酸化する。この反応は二段にわけて考えられているが、共に一つの酵素によって反応が進められると考えられている。



3.4. ジオキシン フェニールアラニン
インドール 2カルボン酸
キノン重合

つまりチロジンを基質とするメラニン生成酵素であり、皮膚の色に直接関係する酵素である。

②Mallete Dawsonの研究では、この酵素は1分子当り、銅4原子を含む銅蛋白複合体であると云い、又この銅がこの酵素活性に関与していることは間違いないとも云われている。このように酵素中に微量の無機成分を有することから、他の無機成分の添加はその活性になんらかの影響をあたえることは予想されることであるが、今度のニッケル、コバルトの添加では、明らかな酵素消費量の増大、及び黒色沈澱物の増加が見られたが、水銀添加の場合は黒色沈澱物は全く見られず反応液は全く着色をも認めえなかった。

チロジナーゼの構造は不明であるが、分子中の銅は蛋白質とキレート結合をしているものと考えられる。

③価金属のキレート安定度は Hg>Cu>Ni>Pb>Zn>Cd>Co>Fe\ Mn>Ca>Mg>Cr>Ba の順であり、ニッケル、コバルト共、酵素中の銅と置換するとは考えられない。しかし水銀のみは銅との置換が、当然考えられることであり、その為に酵素活性の消失が起るものであらう。

④⑤⑥⑦⑧⑨⑩皮膚の色は種々の原因によって変化し、これら微量成分の与える影響のみにより説明出来るとは思えないが、この反応系の最後、キノン重合により組成不明のメラニンが出来る過程で、ニッケル、コバルトがキノン重合の部分に関係しているのではないかと思う。

現在実験中であり、確証をあげるまでいっていないが、生成黒色沈澱物の酸に対する様子が、ニッケル、コバルト添加の場合、少し異なるようである。又沈澱物の粒子は、コバルト添加の場合の方が大きい。若し、ニッケル添加の場合コバル添加の場合とそれぞれ重合度の異なる物が得られるとすると、これは白人の皮膚に

ニッケル、黒人の皮膚にコバルトが多いとの研究等を思い起す時、非常に興味あることである。

酸素ガス通気の実験では、酸素量が多い状態での反応が促進的であるので、生体中の酸素分圧にもチロジナーゼ活性は影響されるものと考えられる。又電子運伝体であるチトクローム Cの有無が活性値に変動を及ぼすが、これはチトクローム C自体の働きであるか分

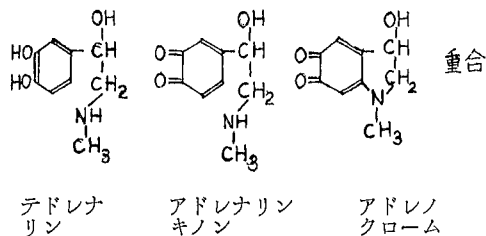
子中の鉄による影響であるか、今のところ不明である
現在までの研究ではチロジナーゼはメラニン生成能のみならず、エストロゲン類の酸化アドレナリンよりアドレノクロームへの酸化にも関係していることが判明している。

天然エストロゲンには活性フェノール群を含み、その為チロジナーゼによる酸化を受けるものと考えられている。

第2表 Ni添加による黒色沈澱物の放射能

黒色沈澱物の放射能	
	cpm
1	4549
2	5475
3	4751
4	5472
5	5075
6	5535
7	5176
平均	5147.6
標準偏差	± 383.9

Ni 3 mmol 添加 反応時間30min

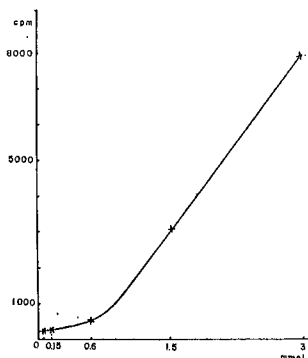


以上のように生体には、かなり重要な酵素であるが微量コバルト、ニッケル等により、その活性が高められるといふことは、温泉治療学上注目すべきことであると思う。

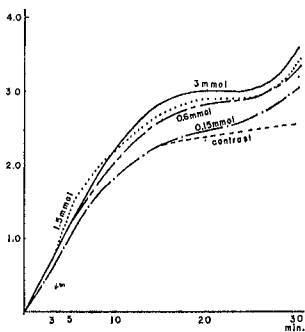
第3表 放射性黒色沈澱物生成量に及ぼすNiCo添加量の影響

添加量	ニッケル	コバルト
mmol	cpm	cpm
3.0	3212	7861
1.5	2146	3065
0.6	1408	471
0.3	1102	
0.15	215	287
0.06	192	242
0	144	230

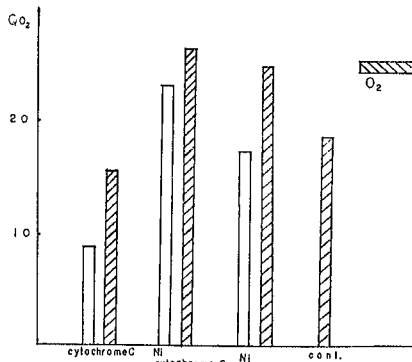
6図 コバルト添加量と沈澱生成物の放射能強度との関係



5図 コバルト添加の酸素消費量



7図 酸素通気の酸素消費量に及ぼす影響



結論

本実験により、温泉水中に含まれる微量成分、ニッケル、コバルトのチロジナーゼ活性に及ぼす影響は、共に活性促進的であり、各々最終生成物は幾分異なるであらうと言うことが判明した。温泉水中微量成分は、身体に有効な作用を及ぼすだらうことは予想されていたが、本実験により初めて、それが実証し得たわけである。

本研究は、大分県温泉調査研究会よりの援助により行った。本研究にあたり種々御指導をいただいた。

八田教授、又便宜をあたえていただいた薬務課、矢野さんに感謝いたします。

参 考 資 料

1) Mason, H.S.; *Advances in Enzymology*, Nord, F.F. Interscience Publishers, Inc. Vol 16.106. (1955)

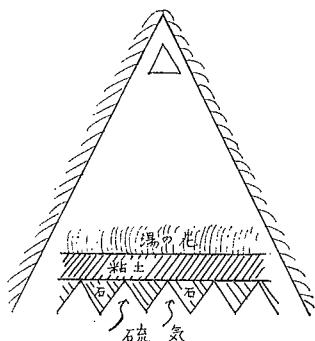
2) 高瀬吉雄：日本皮膚科全書第一巻 (1962)
3) Mallete, M.F, and Dawson, C.R. :
Arch. Biochem. 23.29. (1949)
4) Sizer, I.W. : J.Biol. Chem, 169.303. (1947)
5) 上野景平：キレート滴定法(1958)
6) Robert, P. : *Dermatologica*, 84.257. (1941)
7) Lyun, W.G. : *Science*, 104.31. (1946)
8) Trinkhaus, J.P. ; In Gordon, M. *Pigment cell Growth*, (1953)
9) Lovincz, A.L. : *Physiology and Biochemistry of the Skin* (1954)
10) Ralli-E.P. and Gvaef, I. ; *Endocrinology*, 37.252 (1945)
11) Grand bard, M., Pinkus, G. ; *Endocrinology*. 3, .265 (1942)
12) Westerfeld, W.W. ; *Biochem.J*, 34.5. (1940)

別府湯の花(明ばん)の生成過程

瀬野錦蔵*

1. 別府市明礬(みょうばん)地区では古くより明ばんの製造が行われていたが、現今はこれを「湯の花」と称して市販されている。この湯の花が如何にして製造されるか、その生成過程を考察する。

2. 明ばん地区において地表より絶えず水蒸気その他の火山ガスが立ち登っている地域があり、いわゆる地熱地帯(Gas barrens)と称されるところがある。この地域に図のように大きい石をならべ、その上に粘土を厚さ20cm位に平らに張って、これを藁ぶき屋根で蓋っている。一、二カ所に空気、水蒸気の出入りする小さい窓があげてある。このようにして放置すると2、3カ月後には粘土上に白い針状結晶が5cmほどの高さに密生するからこれを採取して売出すわけである。



湯の花製造法(大分県の地質と地下資源)

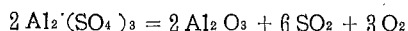
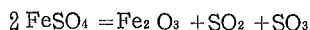
3. この湯の花の化学成分は、大分県衛生研究所において分析せられている。この分析表は塩の形で示されているが、その陰陽イオンの組合せは学者の意見によるもので主観性があるわけであるから各化学成分を当量に換算したものを第1表に掲げる。この表からは硫酸アルミニウムがあることを否定することは出来ないこの塩があるということはもとの溶液中にイオンとしてあったにせよ、これらの塩としての組合せを否定できないということである。この塩はしばしば火山火口等で沈澱しているもので、

	当量/100g
Cl	0.009
SO ₄	0.996
O	0.405
計	1.410
K ⁺	0.002
Na ⁺	0.010
Ca ²⁺	0.012
Mg	0.033
Fe ²⁺	0.122
Fe ³⁺	0.103
Al ³⁺	1.329
計	1.411

これを昇華物と呼ばれているが果して気体で噴出してきて直ちに固体となったものとみられるであろうか。

4. 塩化鉄、塩化アルミニウムは高温で気化する。塩化第2鉄FeCl₃は300°Cで熔融し448°CでFe₂Cl₆の分子になる。更に高温では塩化第1鉄となり1500°CではFeCl₂で示されるという。塩化アルミニウムは183°C(1気圧下)で気化し融点(190°C)より低いから昇華現象が起る。故に熔岩の温度(1200°C内外)ではこれらの塩化物は気体として出てくることはあり得る。今考えている湯の花中にはこのような塩化物はごく僅かである。

然るに硫酸鉄硫酸アルミニウムは高温に熱すると分解してしまう。

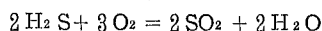
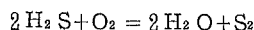
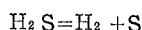


従ってたとえ地下にこのような硫酸塩があったとしても気体でそのままてくるとは思われず、湯の花中にあるこれらの塩は昇華によって生成されたものとは見られない。

5. 然らば湯の花は如何にして生成されるものであろうか。

地中より上昇してくる水蒸気にはどのような火山ガスが含まれているかは分析が行われていない。湯の花の化学成分からは硫黄の化合物、塩化物であるが、前に述べたように塩化鉄や塩化アルミニウムが気体でてくるほどの高温ではない。この程度の塩素量は一般地下水にも含有されているもので必ずしも火山性由来のものに考える必要もないであろう。

火山ガスにはSO₂やH₂Sがしばしば検出される。「大分県の地質と地下資源」報告には硫黄と記されているのはこれらを指しているのであろうが推定に止まっているらしく見える。九重硫黄山のガスは多量の硫黄を流出しているがSO₂は検出されずにH₂Sのみが記されている¹⁾。硫酸イオンが出来るためにはSO₂があればよいがH₂Sも酸素の供給次第で、SO₂が生成されるから硫黄をSO₂と解してよい。



SO₂は空気に接してSO₃となる。自己酸化還元によ

*京都大学理学部地球物理学研究所

るとしても SO_3 となる。石下、粘土下面では少しずつの冷却で水滴を生じ SO_3 がとけて H_2SO_4 となる。粘土上面は徐々たる蒸発によって乾燥するから粘土の細隙を通じて毛管作用によって H_2SO_4 溶液は上昇する上昇途中において H_2SO_4 は粘土中のFeやAlを溶出する。このようにして生成された硫酸鉄、硫酸アルミニウムの溶液が粘土上面に浸出すると緩徐な蒸発によって濃縮についで晶出してくる。屋根蓋いは雨を防ぐと共に屋内の湿度が下らないようにして蒸発が急におこらぬような役目をする。蒸発が急であれば粘土内で

結晶が出来、下より水溶液の上昇を妨げるようになる。このような生成を推定すると粘土の化学的組成が重要な役目をはたすことになり、粘土の撰択吟味が必要になる。

参 考 文 献

- 1) 大分県；大分県の地質と地下資源
- 2) 八田秋；放射能障害の温泉療法(第12報)
湯の花浴による生体反応、大分県温泉調査研究会報告第13号、1頁
(昭和37年5月)

別府市営引湯の冷却

京都大学理学部 吉川 恭三
大分県庁 矢野 行雄

1. まえがき

昨年度の報告¹⁾では、別府における引湯事業の全容をおもに温泉水量の見地から紹介し、別府温泉の利用面で引湯の占めている役割の大きいことを述べた。同時に、数個の私営引湯で観測した結果から、その引湯途中での冷却率を算定した。引湯の冷却は流量に大いに関係し、流量の小さいほど冷却の大きくなることはよく知られているから、冷却がもっとも問題とされるのは引湯主管内よりもそれから細かく分岐して各引湯先に至る枝管内であろうと予想される。しかし、私営の引湯でそのような末端までの調査をやるにはいろいろ困難な点もあるため、本年度は別府市営の引湯を対象として、その泉源から浴場に至るまでの冷却状況を調査することとした。

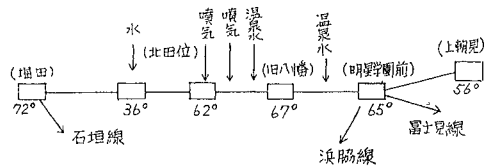
市営引湯のなかでも、堀田に泉源をもつものが引湯距離も湯量ももっとも大きく、全市営引湯の約半を占めているので、これを調査の対象とし、引湯主管に設けられている数個のマンホール内での水温と各引湯先の浴場での水温とを比較して、その間の冷却を求めることとした。それと並んで、流量を各引湯管内で直接測定することが望ましいが、実際の施設ではそれが不可能なため、温度測定と同時に各浴場に入って来る引湯量を測定し、それを加え合すことによって、各引湯管を流れている温泉水量を推定した。そのためには、引湯先のすべてを余す所なく、しかも少くとも同一日中には測定し終えねばならず、相当の労力を必要とした。

2. 引湯管の状況

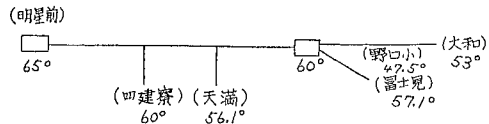
調査した引湯の保温施設は前年度報告で述べた他の私営引湯のものとほぼ同じで、主管は内径12.5cmの土管に四和土を約16cm被覆し、枝管は内径6~7cmの土管に四和土を約11cmまぎつけ、どちらも地下約80~100cmに埋設してある。その配湯系統は、堀田泉源附近のマンホールから二つに分れ、一つはそのまま境川をこえて石垣方面に向い、他は途中で水や温泉水を加えつつ噴気で加熱し、明星学園前マンホールから三本に分れて、一つは温泉プール前を経て上朝見温泉へ、一つは流川通りから浜脇温泉へ、他の一つは富士見通りを下っている。その系統図を略記すると次のように

なり、その中に記入した温度はすべて1963年1月14日に測定したものである。

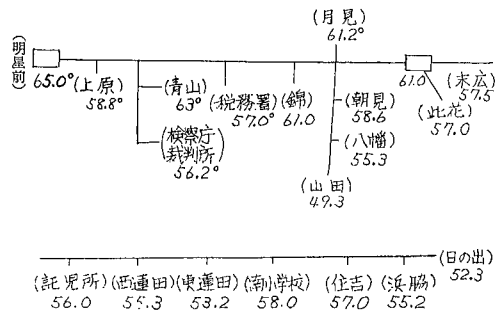
①



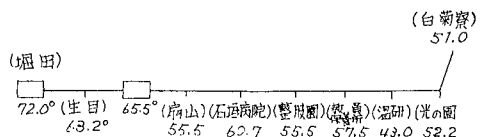
② 富士見線 (5.43 l/s)



③ 浜脇線 (11.26 l/s)

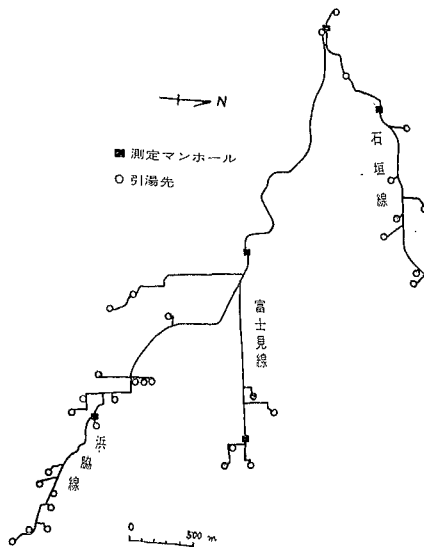


④ 石垣線 (4.19 l/s)



測定した温度と引湯量とは第1表に記される。

第1回 引湯管系統図



3. 引湯冷却の法則と地下埋設の効果

引湯管内での冷却については、たびたび理論的研究が試みられており、理想化されたモデルについての法則が実状をよく近似する結果が得られている。それらはすべて温度に時間的変化のない定常の状態を取扱い流動する温水の冷却熱量だけが地表を通じて空気中に放散されているとの考にもとづいている。したがってこれは地中に温度一定の熱源を定常的においた場合に地表から放出される熱量を求める問題に帰着し、そのため従来得られている理論式中には地表温度または気温が含まれているのが常である。

すなわち、野満と瀬野は地下 h の深度に埋められた直径 D の円筒状熱源の温度を T とした時の放熱量を取扱ったが、その時、 D は h にくらべて十分小さく、地下熱源の存在による地表温度への影響は無視出来る程度と仮定して、熱源の単位長当りの放熱量が次のようになることを示した。

$$2 \pi k (T - \theta) / \ln \left(\frac{4 h}{D} \right) \dots \dots (1)$$

ここで、 k は土地の熱伝導率で、 θ は全域にわたり一様と仮定された地表温度である。

次に湯原は上記の地表温度一定と云う仮定の妥当性を検討するため、もっと太い円筒状熱源の場合を取扱い、地表温度一定の仮定を変えて空気への熱放散にニュートンの冷却法則を適用した。その時、放出熱量は次式で近似される。

$$4 \pi k (T - \theta) \left(1 - \frac{3}{\lambda^2 a^2} \right) / \ln \left(\frac{h+a}{h-a} \right) \dots \dots (2)$$

ここで、 λ はニュートンの冷却係数を熱伝導率 k で割った値であり $\alpha = \sqrt{h a - \frac{D^2}{4}}$ である。また、この時の θ は気温を表わしている。(2)式で h が D よりも十分大きい時には $\alpha = h \left(1 - \frac{D^2}{8 h^2} \right)$ で近似され、また $\lambda \alpha$ の値が10程度にまで大きくなるとその影響も無視出来る程度となり、結局、地表温度一定と云う仮定がほぼ満たされるようになって(2)式は(1)式と同じ形に近づく。そのとき、気温と地表温度とは近似的にはほとんど変りがなく、いずれも θ で表わされる。

野満と瀬野は別府の引湯の実測例に(1)式が比較的良好適用されることを認めたが、同時に、場所による地温の違いの影響も加わることを述べている。しかし、この地温と(1)式中の θ との関係は明かでない。別府で一般に用いられているような引湯施設では、地表温度に地下引湯の影響が現われていないという仮定が許されて、(1)式により冷却量を推定出来るとしても、その時の θ の値を何にとるかということが実際の計算では問題となる。以上の理論的研究は、もともと大気から地中にかけて温度の全く一様であった所に引湯管を敷設し、十分長い期間たった後の定常状態についてのものであり、考える範囲一帯にわたっての熱源は引湯の冷却による熱量だけに限られている。したがって、この場合の θ の値としては気温をとっても地表温度をとってもあまり違いのないのは当然で、それらは熱源により乱されない場合のその場所での基準温度としての意味を持っている。実際の野外では引湯の有無にかかわらず、地表を通して常に熱の出入りがあり、時期により、気温と地温との間に相当の開きのあることが知られているから、 θ の値をどうとるか云う点については理論的にもなお吟味が必要であろう。

野満と瀬野は京大研究所内にある引湯の冷却度の季節的变化を論じた時、 θ の値を気温にとっても、引湯管から相当離れた所での地下0.5mまたは1mの地温にとっても、冷却度の計算値にあまり影響のないことを示したが、この研究は月平均値にもとづいたものであり、今回の観測のようにある1日以内での冷却度の水平分布を求めるような場合には、相当の違いのあることも考えられる。事実、観測日の1月14日に京大研究所で測定された地下1mの地温は10.7°Cであり、その日の平均気温は2.5°Cであったから、そのいずれを用いるかによって(1)式から求められる放熱量に2割程度の違いが現れる。

筆者等は昨年報告で、数個の引湯冷却の観測値から(1)式と同様な方法で土地の熱伝導率などを求めたがその時の θ の値としては引湯管の影響を受けていない

と思われる所での地下1mの地温を用いた。これは、⁴⁾ 瀬野が、垂直湧出管内での温泉水の冷却を計算する場合に採用した方法で、導管内の熱源で乱されていないその附近の基準温度としての観点にたったものである。従来の引湯の研究でも、実際の計算はこのようにして行われているものが多く、ここに特記するまでもないかもしれぬが、(1)式が非常に理想化された状態について求められた理論式であるから、これを実際に適用する過程で起り得るこのような問題についての理論的根拠を次に略記する。

湯原が(2)式を求めたと同じ状態を取扱うこととし、水平方向にy、地表から下方にxをとり、地温をu、気温をu'で表わすと熱伝導の微分方程式は次のように表わされる。

$$\frac{d^2 u}{dx^2} + \frac{d^2 u}{dy^2} = 0$$

境界条件としては、引湯管の外壁で

$$u = T$$

また、地表面でのニュートン冷却を考慮して、

$$x = 0 \text{ で、 } \frac{du}{dx} = \lambda (u - u')$$

このほかに、その場所場所での自然条件によりなお多くの条件が加わるであろうが、それらは引湯管による熱源の影響とは切り離して考えられるから、地温を引湯敷設の影響と無関係な頃 u_1 と、引湯による熱源附加の影響 u_2 の二つに分けることが出来る。そこで

$$u = u_1 + u_2$$

であり、 u_1 と u_2 とはそれぞれラプラスの方程式をみたす。

定常状態では、引湯の冷却熱量は地表を通じて大気へ逃げて行くから、結局、引湯敷設による大気への放熱量の増加、 $k \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{\alpha u_2}{\alpha x} \right) dy$ が引湯の単位長当りの冷却率と考えればよい。したがって、現在我々に直接必要なものは u_2 の分布だけで、その解を求めるための次の方程式をとくことが課題となる。

$$\frac{d^2 u_2}{dx^2} + \frac{d^2 u_2}{dy^2} = 0 \dots\dots\dots(3)$$

引湯管壁では $u_2 = T - u_1$ であるから、本当は u_1 の分布が分らなければ u_2 は求められないことになる。しかし別府の引湯のように管径20cm程度の深さの違いの範囲では、自然状態での地温 u_1 にはあまり変化がないと考えると誤差は小さく、この近似的な一定値を θ とおくと、管壁での境界条件としての次の関係が得られる。

$$u_2 = T - \theta \dots\dots\dots(4)$$

また、地表面条件について、引湯管敷設による影響が気温にまではおよばないとみるのが実際の仮定である

う。そう考えることにより、 $x=0$ での条件が次のように求められる。

$$\frac{du_2}{dx} = \lambda u_2 \dots\dots\dots(5)$$

以上の(4)と(5)の二つの条件のもとで(3)式を解くことは、湯原が(2)式を求めたのに用いたのと同じ取扱であって、湯原の場合にくらべて、ただ、熱源の温度が、 $(T-\theta)$ に、また気温が θ に変わっているにすぎない。

したがって、単位長当りの放熱量は(2)式と全く同じ形で求められ、また実際の近似により(1)式が得られる。ただし、この時の θ の値は引湯管埋設以前のその位置での地温を表わすものだから、実際には引湯管の付近で、しかもその熱源の影響を受けていないと考えてよい程度に離れた所での埋設深度での地温を測ることにより求められる。本報告では前報の場合と同じく京大研究所で当日測定した地下1mの温度を用いることにする。

以上の地下埋設による保温効果に引湯管や保温被覆の効果も加えた熱貫流率を用いることにより、単位長当りの放出熱量は次のように与えられる。

$$H (T - \theta) \dots\dots\dots(6)$$

このHの値は引湯管と保温施設の性質のみに関係し、保温効果の点でのその引湯施設の良否を判定する指標となる値である。もちろん、地中深く埋設するほど、このHの値は小さくなり保温効果は増す。今、別府の引湯で普通に用いられているように、管径とほぼ同じ厚さに四和土をまきつけたものを、もし地上に敷設したとすると、現状の地下埋設の場合にくらべて熱貫流率の値は約2.5倍程度にまで増加し、地下埋設による保温効果の大きいことを示す。

しかし、地下埋設の利益はこの熱貫流率の減少による保温効果に加えて、基準の温度、すなわち θ の値が地下埋設の場合と地表露出の場合とで相当違うことによる効果についても無視出来ない程度である。たとえば、地上に敷設した引湯管に、現在の地下埋設と同様な熱貫流率を得るほど十分な保温被覆を行ったとしよう。冬季の冷却の大きい期間を考えると、別府での地下1mの地温の最低はほぼ 9° 程度であるが、気温は日平均でも 0° までは下ると考えねばならない。もし管内の水温が 50° だとすると、気温と地温とがそれぞれ最低である場合の放出熱量を(6)式から比較すると、地下埋設の場合の方が2割程度は小さくなり、保温面で地下埋設の利益の大きいことが知られる。

4. 観測結果の整理

前節の引湯管単位長当りの放出熱量から、よく知られた引湯冷却の法則が導かれる。

$$T - \theta = (T_0 - \theta) \exp\left(-H \frac{\ell}{q}\right) \dots\dots\dots(7)$$

ここで、 q は引湯管内の流量、 ℓ は引湯距離で、 T_0 は $\ell=0$ での温度である。 θ はもちろん前節で詳述したように、管の埋設深度における平常地温である。

この(7)式を、今回の別府市営の引湯での観測結果にそのままあてはめるには多くの困難がある。それは、引湯主管から多数の枝管が分岐することにより流量 q が減少してゆき、流量を一定とした(7)式が適用されないためである。だから、本当は各分岐点ごとに温度が測定されて、その分岐点間ごとの引湯管について保温施設の効果 H の値の求められることが望ましいが、現実にはその温度測定が不可能であったため、やむを得ず次のような方法で全般的な熱貫流率を求めるにとどまった。各引湯系統の基準として、浜脇線と富士見線とは明星学園前マンホールをとり、石垣線では堀田のマンホールをとって、そこでの水温を T_0 とする。そこから、各引湯先までの管内で、分岐点ごとに流量が q_1 、 q_2 、 q_3 ……と減少してゆくとし、それぞれについての距離を地図上で求めて ℓ_1 、 ℓ_2 、 ℓ_3 ……とする。そのとき、各浴湯で測定した温度 T_n は次式のように与えられる。

$$T_n - \theta = (T_0 - \theta) \exp\left(-\sum_1^n H_n \frac{\ell_n}{q_n}\right)$$

この式からは H_1 、 H_2 、 H_3 ……などの値が別々には求められないため、各引湯先までの H_n の値が一定であると仮定して

$$H_n = 2.3 \log \frac{T_0 - \theta}{T_n - \theta} \Big/ \sum_1^n \frac{\ell_n}{q_n} \dots\dots\dots(8)$$

から、 H_n の値を求めることにした。このようにして得られた H_n の値が引湯管のどの部分の性質を表わすかは分らないが、各隣接した引湯先でのこの値を比較することより、その近くでの保温効果の程度を推定する手がかりとはなる。第1表に記入した熱貫流率はこうして求めた H_n の値であるが、全体としては、数個の特別のものを除き $2.5 \sim 5.5 \times 10^{-3}$ (C.G.S) 程度の範囲にあり、前報で求めた此の地域での他の私営引湯における値とほぼ同様である。これは、大体、同様な施設を持った引湯では当然のことであろうが、別府温泉での引湯全般にわたっての冷却度がほぼ(7)式を用いて計算出来ることを示している。また(8)からもとめられる H_n の値には、そこに至る引湯管全体の中で $\frac{\ell_n}{q_n}$ の大きい部分、ひいては流量 q_n の小さい部分での実際の熱貫流率の効果が大きくひびいてくる傾向があり浜脇線での上流部の上原温泉や税務署、裁判所などの値の比較的大きいのは、引湯主管から各々の浴場に至

第1表 浜脇線

	引湯量 ℓ/s	温度 $^{\circ}C$	$\sum \frac{\ell_n}{q_n}$ C.G.S	熱貫流率 C.G.S
上原温泉	1.4	58.8	21.5	5.67×10^{-3}
月見 "	0.84	61.2	20.2	3.64
税務署	0.14	57.0	30.4	5.22
青山温泉	0.34	63.0	20.1	2.74
裁判所	0.23	56.2	36.3	4.85
検察庁	0.2	56.2	36.3	4.85
錦温泉	1.17	61.0	24.1	3.14
朝見 "	0.57	59.6	32.	3.95
八幡 "	0.28	55.3	31.	2.69
山田 "	0.13	49.3	265.	1.39
末広 "	0.47	57.5	43.8	3.41
旭通八丁目		61.0	23.7	3.21
此花温泉	0.67	57.0	34.1	4.65
託児所	0.25	56.0	42.	4.33
西蓮田温泉	0.39	55.3	58.5	3.38
東蓮田 "	0.43	53.2	70.2	3.5
南小学校	0.13	58.0	49.5	2.79
住吉温泉	0.34	57.0	43.6	3.64
浜脇 "	2.12	55.2	46.2	4.33
日の出 "	0.68	52.3	82.1	3.24

富士見線

	引湯量 ℓ/s	温度 $^{\circ}C$	$\sum \frac{\ell_n}{q_n}$ C.G.S	熱貫流率 C.G.S
四建寮	1.08	60.0	33.2	2.98×10^{-3}
天満温泉	0.89	56.1	55.5	3.24
富士見通 4丁目		60.0	33.4	2.89
野口小学校	0.05	47.5		
富士見温泉	1.48	57.1	40.2	3.88
大和温泉	1.05	53.0	66	3.81

石垣線

	引湯量 ℓ/s	温度 $^{\circ}C$	$\sum \frac{\ell_n}{q_n}$ C.G.S	熱貫流率 C.G.S
生目温泉	0.28	63.2	33.5	4.64×10^{-3}
扇山温泉	0.19	55.5	72.	4.37
石垣原病院	0.54	60.7	49.8	4.11

整 肢 園	0.74	55.5	72.3	4.36
教員保養所	0.65	57.5	59.2	4.58
温 研	0.17	43.0	136.4	4.71
光 の 園	0.66	52.2	89.1	4.38
白 菊 寮	0.96	51.0	102.4	4.10

るまでの枝管での熱貫流率が比較的大きいためではないかと考えられる。下流部に行くほど、主管での $\sum \frac{\ell n}{qn}$ の値が大きくなるため、枝管に入ってから効果のひびき方は小さくなり、大体、主管の熱貫流率に近くなる傾向を持つ。この点から考えると、各主管についての熱貫流率は浜脇線と富士見線がほぼ同程度で、石垣線がそれよりやや大きいとみられるが、前報で示した他の私営引湯主管における値とほぼ同範囲にあり、別府での引湯管の保温被覆として普通に用いられている四和土や土壌の熱伝導率を前報で求めた値として計算した値ともあまり変りがない。

5. むすび

以上から、別府における引湯は公営、私営ともほぼ同程度の冷却率を示していることが分った。それではこのように泉源から遠くの浴場まで引湯をしている途中で、どの程度の熱量が冷却により失われているかを今回観測した市営引湯につき計算してみよう。

まず、浜脇線と富士見線とを一しよにして、明星学園前マンホールを流れる熱量を基準にとると、枝管を含めて約7 Kmの引湯の結果、冷却熱量の総計は 11.7×10^9 cal/日 となり、0°を基準として計算した明星学園前通過の熱量の約12.4%が地中から失われていったことになる。

掘田のマンホールを基準にとつて、石垣線につき同様の計算を行うと、冷却熱量は 5.2×10^9 cal/日 で20.2%の冷却に当る。両者をひくくするめの冷却率は約14%程度であり、現在の引湯における損失熱量はそう大きいとは云えない。したがって、現状においての別府の引湯は、季節的に水量の不足による問題は起るとしても、熱量輸送と云う点からみて全般的には良好の成績をあげていると考えてよいであろう。しかし、今後、引湯をさらに広範囲にまで広める必要にせまられた時はどうであろうか。

冷却の法則の(7)式をみると、冷却を小さくおさえて利用範囲を広めるためには、 $H \frac{\ell}{q}$ の値を現状とあまり変らない程度に保ったままで引湯距離の増加をはからねばならない。それには、保温施設をさらに良好にし

てHの値を小さくするか、流量Qを増すかのどちらかになる。山下によると管外壁の保温被覆を改良することにより、現在の別府でのHの値の約半分にまで保温している所があるとされている。流量Qの増加は、特に灌漑期においては非常にむづかしい現状であろうしまた引湯主管中にはすでに現在の流量を通すにせい一杯と云うものも見うけられ、さらに流量を増すためには主管を別に設けねばならない所が多いにちがいない。したがって、引湯範囲をさらに大巾に広げるためには保温施設を改良するにせよ、流量を増すにせよ、現在の引湯施設をそのまま利用することにとらわれず、新しい観点からの配湯計画が考えられねばならない。

今回の観測には、別府市役所温泉課の職員諸氏が積極的に協力して下さい。深く感謝をささげる。

参 考 文 献

- 1) 吉川恭三、矢野行雄：別府温泉における引湯(1)、大分県温泉調査研究会報告、13号、PP.20—26、1962
- 2) 野満隆治、瀬野錦蔵：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—148、1954
- 4) 瀬野錦蔵：温泉湧出導管中における温度垂直分布の近似解、地球物理、5巻3号PP.187—191、1941
- 5) 山下幸三部：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

別府市鶴水園附近温泉の Cl' 量について

山下 幸三郎

緒 言

鶴水園、北浜附近温泉は口数の増加にともない水圧が低下し、特に最近では自噴は殆んど停止し、ポンプ揚水をするようになった。これにともない水圧は一層低下したので、鶴水園地区では新掘さくを制限することになった¹⁾。この地域は海岸の埋立地で、これと同じ関係位置にある別府旧市内南部海岸埋立地の温泉は著しき海水汚染を受けていることが判明している²⁾。しかるにこの地域は従来 Cl' 量が少なく、高温且つ多量の自噴をしていたので、この問題については注目されてなかったが、上述の如き状態になったので、この地域の温泉も海水汚染を受ける恐れがあり、これが有無を調べるため、この地域の温泉について海水の主要成分である Cl'、及び火山性源と見做される HCO₃' の分析を行い、過去の実測値と比較検討を行った。

1 Cl'、HCO₃'、Ca⁺⁺、Mg⁺⁺ 量の分布について、鶴水園、北浜及びその周辺の温泉93口について Cl'、HCO₃'、及び一部の温泉について Ca⁺⁺、Mg⁺⁺ の分析を行った。第1.2.3図はこれらの分布である。

Cl' 量の分布は第1図の如く、中央部に北西より南東に亘る Cl' 量の多い地帯があり、海岸の鶴水園北浜地帯はかえって少ない。Cl' 量の多い地帯は泉温の高い地帯で海門寺温泉脈と称せられる地帯と略一致する。又 Cl' の分布と泉温分布(第4図)とは酷似している。

HCO₃' 量の分布(第2図)は南部駅前附近が少なく北部に行くにしたがって漸次増加し、鶴水園の一部及び海門寺北部では 1 g/l を越えるものがある。HCO₃' は Cl' や泉温には無関係のようで、むしろ掘さく深度に関係があるように見える。(第4図参照)

Ca⁺⁺、Mg⁺⁺ 量の分布(第3図)について両者は量的な違いはあるが、Ca⁺⁺ の多い温泉ほど Mg⁺⁺ も多く、その分布は似ている。両者は又 HCO₃' 量の分布とも似ている。このことはこの地域の温泉水中の Ca⁺⁺、Mg⁺⁺ は重碳酸塩として溶出してきていることを示していると思う。

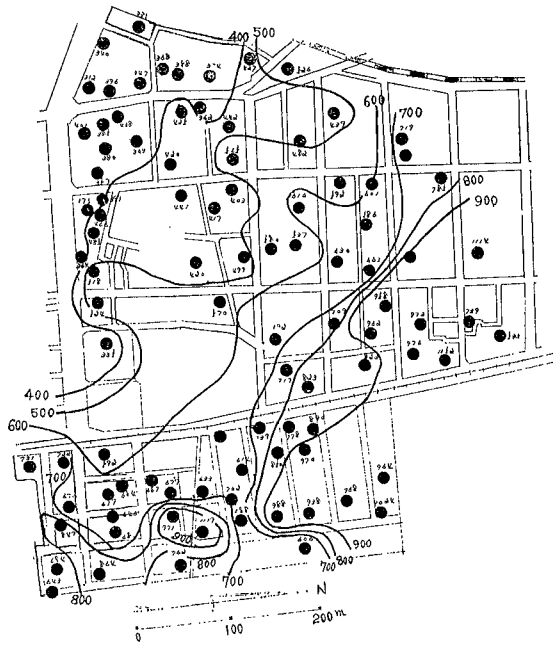
2 Cl' 量の長期変化

別府旧市内温泉の Cl'、HCO₃' 量について過去5回の一斉調査が実施されているが、その後の新掘、増掘により新しい温泉水層が開発せられているから、過

第1図 Cl' 量分布 (mg/l)

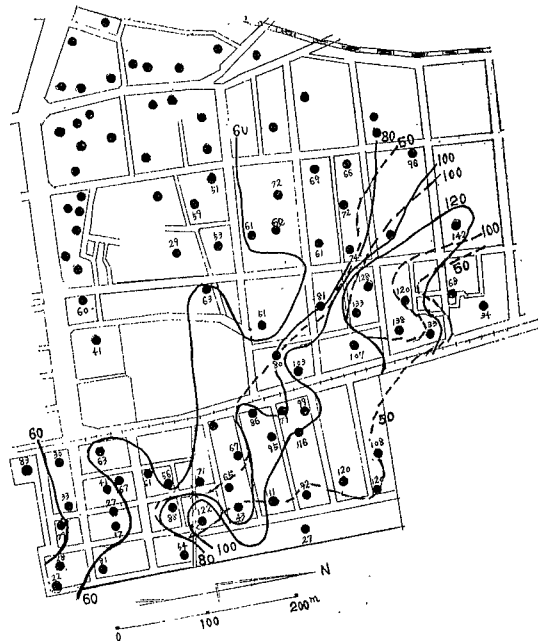


第2図 HCO₃量分布 (mg/l)

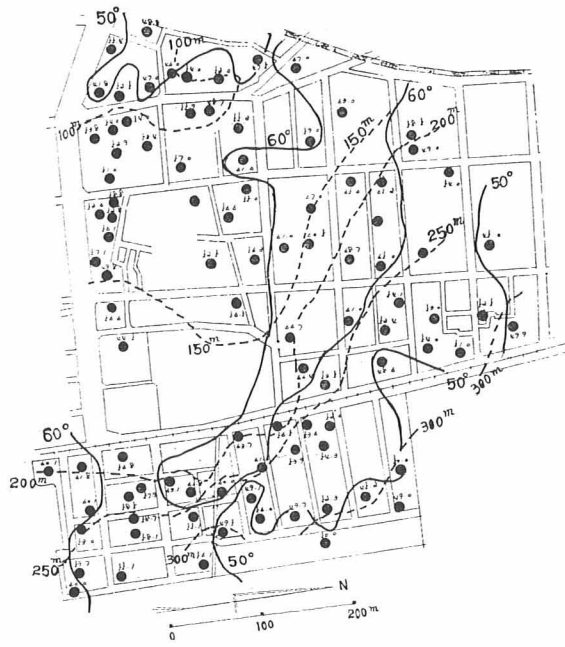


第3図

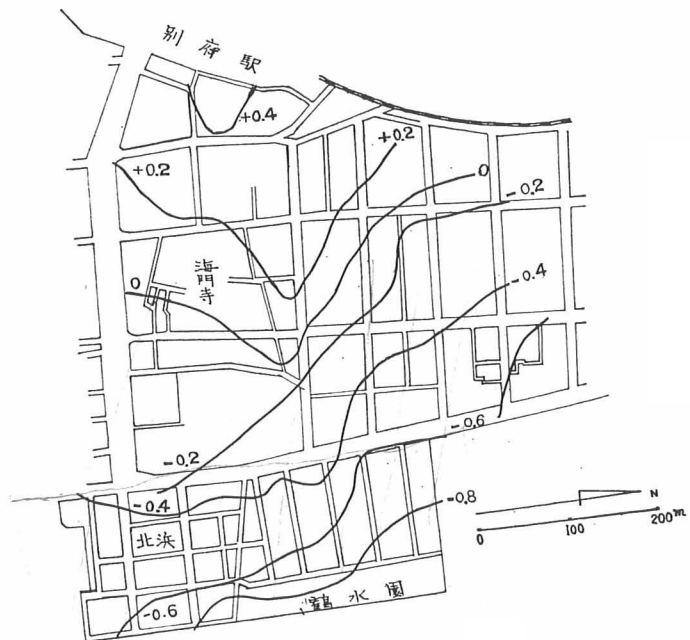
Ca⁺⁺Mg⁺⁺量分布 (mg/l)
(点線はMg⁺⁺量,数字はCa⁺⁺量)



第4図 泉温・穿堀深度分布 (点線は深度)



第5図 温泉水圧と海水圧の差 (ΔP) の分布 (単位気圧)



去の測定結果と比較する場合この点を考慮しなければならない。過去の調査の内1950年には旧市内の殆どどの温泉が調べられているから、最も比較しやすい。第1図の点線は当時の分布である。両者を比較すると、Cl⁻量の多い地帯は幾分北に移動している。全体的にも北西方向に移動したように見える。北部では等Cl⁻量線の形が変わっているが、これは前回にはこの附近に温泉口が少なく測定値がなかったことにも原因があると思われる。Cl⁻量の多い地帯の量的変化は殆どないが、鶴水園、北浜の海岸部では幾分減少傾向を示している。HCO₃⁻は分布状態及び量的にも以前と殆ど変りない。以上の結果からこの地域の温泉は口数の増加による温泉水圧の低下にもかかわらず海水汚染は受けていないように思う。

旧市内南部海岸の温泉は海水の汚染を受けCl⁻量の著しき増大をみている。これは温泉水層と海水との連絡があり、温泉水圧の低下から海水が温泉水層内に侵入したためである。南部地域の温泉水層が海水と連絡があれば鶴水園地域においても当然連絡があると予想されるが、温泉水圧が海水圧より高ければ、海水の浸入は起り得ないから、一応この関係を確かめてみる必要がある。

地下温泉水圧と海水圧の差はヘルツベルグの関係式から次式によって表わされる。

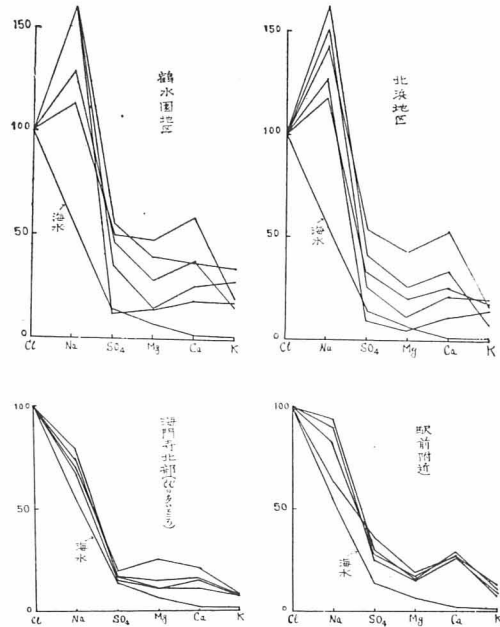
$$\Delta P = \rho_f g (h_f + h_s) - \rho_s g h_s \dots\dots\dots(1)$$

ここに ΔP は温泉水圧と海水圧の差、 ρ_f は温泉水の密度、 g は重力の加速度、 h_f は温泉湧出水頭の海面上の高さ、 h_s は温泉水層の海面下の深さ、 ρ_s は海水の密度である。この地域の温泉の平均泉温を55°Cとすれば $\rho_f = 0.987$ 、海水の密度を $\rho_s = 1.025$ として各温泉の湧出水頭、深度から ΔP (気圧)を求めると第5図の如くなる。図によれば調査地域の半分以上の地域で海水圧の方が高い。特に鶴水園地域は海水圧の方が非常に高くなっているが、Cl⁻量は少なく、しかも増加の傾向は全くない。旧市内南部海岸の温泉では深度80~130m、温泉水圧は海面上0~1mであるから $\Delta P = -0.25$ (気圧)でCl⁻≒7g/lまで増加したものがあるに反し、鶴水園地域はこのような傾向が全く見られないことは、この地域の地下温泉水層は海水と全く隔離されていると思わなければならない。

調査地域の温泉で分析されたものが多数あり、この資料により温泉の化学成分の組成を海水のそれと比較すると、第6図の如く両者は異なり、特に海岸部でその違いが大きい。

この結論は又温泉の潮汐影響の観測からも見出され

第6図 温泉水と海水との成分化の比較



た。筆者は北浜の一温泉について、その水頭の長期連続観測を行い、その記録と潮汐記録を対比して、温泉の潮汐影響の位相が潮汐に先行していることを見出した。又この地域の揚水試験の際このような現象を示す温泉が多数あることを発見した。このような現象は従来別府温泉の潮汐影響について、海水と温泉水層とが連絡しているとして説明した野溝の理論⁵⁾では説明出来ない。このような現象は温泉水層と海水とが連絡がなく潮汐影響は海水圧の潮汐による変動が地層を通じて直接地下温泉水に作用して起されたとする説明が可能であり、今回の調査はこの地域の温泉の潮汐影響の解明に一つの有力な資料が得られたことになる。

終りに本調査に協力した森忠敬、安部真信の両氏に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 佐藤光一、矢野行雄、末松竜雄 別府市内温泉(海門寺周辺) 現況調査 大分県温泉調査研究会報告 第13号1962
- 2) 瀬野錦蔵、吉川恭三 別府市内温泉の化学成分長期変化に関する調査報告 大分県温泉調査研究会報告 第10号1958
- 3) 山下逸二郎、木戸隆、丸田頼三 別府市内温泉のクロール量分布 地球物理第1巻第2号1938
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1950
吉川恭三 化学二成分より見た別府市街地温泉の水

系 大分県温泉調査研究会報告第 2 号 1951
吉川恭三 別府温泉に於ける海水汚染調査について
大分県温泉調査研究会報告第 4 号 1953
4) 八田 秋 大分県温泉調査報告(第 1 ~ 10 報)大分県
温泉調査研究会報告第 4 号 ~ 第 13 号

市原俊三 大分県温泉調査報告(第 1 ~ 7 報)
大分県温泉調査研究会報告第 7 ~ 第 13 号
5) 野満隆治 海岸地下水の研究(第 3 報) 其の二
地球物理第 4 巻第 2 号 1940

噴気井内水の化学成分について

山下 幸三郎

大分県九重町大岳にある九州電力株式会社所有の3号井は地熱発電の試験研究用として昭和31年 900mまで試掘されたが、高温熱水が滞留している状態である。この噴気井の水頭変化、泉温の垂直変化、表面水、及びケーシングに付着するスケールの化学成分等を調査研究し、地下の熱構造について興味ある結果が発表された^{1,2)}。この調査から水頭は地下70m付近で、水面は沸騰により激しく変動する。表面水は強食塩水で、水面付近には食塩のスケールが付着して閉塞されるが、水の注入によって溶解する。地下 340m付近には再びスケールの付着があり、これは水によって溶解せず、その主成分は炭酸カルシウムと炭酸マグネシウムである等多くの事実が判明した。これらの調査から滞留する高温水は火山性食塩水の沸騰濃縮されたものであり、この地域の地下高熱水は地下水の火山熱源による蒸発濃縮によって生成されたものと推論した。今回速水教授の指導により深部の温泉水を採取し、その化学成分の相違から濃縮過程における化学成分の変遷とスケール付着の原因について考察した。

1. 採水方法

噴気井の口径150mm、採水深度は340m程度であるから、一般に海水に採用せられている北原式B号中層採水器（容積1ℓ、直径100mm）を利用することにして、その良否について2回の予備実験を行った。その結果表面付近の採水は可能であるが、深部の水は高温のため汲み上げの途中減圧により採水器中の水が沸騰して噴き出し、採水量が著しく少なくなる。したがって途中

の水の混入も起る恐れがあり、この点を改良したが尚深度150m以深では（泉温160°C以上）採水器の気密度が不十分のためか3回の採水によってようやく1ℓ程度の採水が出来た。水面付近には食塩のスケールが付着しているから、採水に先だってこれを排除しなければならない。このため谷川の水を注入してこれを溶解した。この注入水量や、水の化学成分は井内水の化学成分や、その鉛直分布に影響を及ぼすから、水量は必要最小限にしなければならない。スケールの量や採水に要する時間等の関係から予備実験を行い、水量約260ℓが必要であることが判明した。

昭和36年3月浚渫の際は340mまで貫通していたとのことであるが、今回直径75mmのサンドポンプを降下したところ、230m付近から井口は狭くなり、270m以深は降下しない。採水器の直径を考慮して採水は200m迄にした。予備実験で230m付近で附着のスケールが採取され分析の結果既に340mで採取されたスケールと略同じものであることがわかった。

本採水は注入水の影響を考慮して予備実験後一ヶ月を経過した後に行い、同時に泉温も測定した。

2. 化学成分の垂直分布

採水時の水頭は地下78.4mで採水深度は90m、120m、150m、200mの4ヶ所である。分析は既に行った結果からその主要成分及びスケールに関係のあるもののみについて行い、第1表の如き値を得た。

注入水のHCO₃⁻ (=72mg/ℓ)は幾分大きいのがCl⁻、SO₄²⁻は微量(10mg/ℓ以下)で高温水の濃度と比較

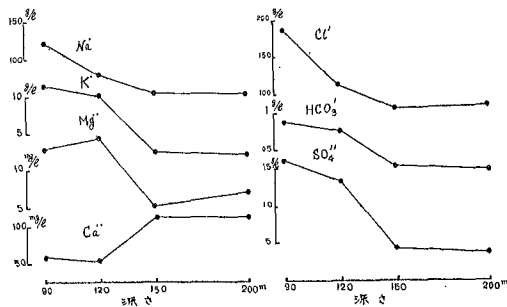
第1表 分 析 表 (採水昭和36年12月4日)

	90m		120m		150m		200m		九電5号井	
	g/ℓ	millival	g/ℓ	millival	g/ℓ	millival	g/ℓ	millival	g/ℓ	millival
Na ⁺	122.8	5340	78.9	3450	54.7	2390	54.4	2380	0.551	23.9
K ⁺	11.46	293	10.21	261	2.43	62.2	2.13	54.5	0.0649	1.66
Ca ⁺⁺	0.0599	2.98	0.0548	2.74	0.113	5.64	0.113	5.64	0.0339	1.69
Mg ⁺⁺	0.0132	1.09	0.0145	1.19	0.0052	0.428	0.0086	0.708	0.00755	0.621
Cl ⁻	188.3	5310	113.4	3198	82.9	2340	85.7	2420	0.743	21.0
HCO ₃ ⁻	0.882	14.5	0.771	12.6	0.282	4.62	0.259	4.24	0.149	2.44
SO ₄ ²⁻	16.20	338	13.45	280	4.42	92.0	3.73	77.6	0.217	4.52
pH	7.1		7.5		7.8		7.8		8.0	
泉 温	136.5°C		150.5°C		160°C		177°C		98°C	
沸騰点	131°C		154°C		172°C		193°C			

すれば殆んど蒸溜水でスケールを溶解注入したと見做してよいと思う。スケール溶解のための水の注入、採水器の上げ下しによる攪乱、採水器の高温による気密度の低下による混入等によって採水された水はその深度の水と幾分の違いがあると思われるが、浅部と深部では著しい濃度の相違があり、又表面近く90mでは塩分濃度が既に行なった分析値と略等しい値を示した。故にある程度の擾乱があったにしても、各深さの大体その水の成分を示していると思われる。

各成分の濃度は120mと150mとの間で大きく変化しこれより以深の変化は小さく、このあたりの深さを界として以浅と以深は異なる状態にあると思われる。湯原は井管中の泉温とその深度に対応する水の飽和蒸気温度とを比較して、深度90m～110m附近において沸騰が起っていると推定したが、今回の測温からも同様な結果が得られた。(第1表参照)この深度での水が沸騰し、水面が急変動することによる攪乱の影響が120m迄及んでいると思われる。

第1図



第1図は各成分の垂直変化図であるが、この内特にCa⁺⁺は他と異なり深部の方が濃くなっている。このことは深部の炭酸カルシウムの沈積と関連があると思われる、興味ある事実である。

この噴気井の南西方約200mに九電5号井があり、両井は略同じ時期に試掘されたが噴出させずに放置してあった。昭和36年12月6日に浚渫後噴出させた。その噴出量は98°Cの熱水約1,000 l/min、水蒸気量約250 kg/minと見積られている。この噴出により3号井の水頭は約10m降下した。5号井の深度420m、3号井のケーシングは380m迄であり、又5号井の噴出前の水頭と3号井の水頭は略等しいことから、両井水とは連絡があると思われる。5号井の熱水の化学分析を大分県衛生研究所で行なった結果を第3表に併記した。

一般に地下水中のCl⁻は保存的な成分であることが認められている。このCl⁻量に対する他の成分量の比を求めると、第2表の如くなる。

90m、120mにおけるこの比は略等しい値を示し、この間は同一の濃縮過程であることが推定され、上下の水の混合が行なわれていると考えられ、前述の沸騰による攪乱が大きく作用していると思う。一方150mと200mも亦その比が略等しい値を示す。深部と浅部とを比較するとNa/Clは両者共略等しいが他の成分は異なり、しかも各成分によって濃縮の割合が異なっている。このことは採水法の不備による混入や、密度差による混合では説明できない。各成分のイオン拡散各成分の溶解度或は解離恒数の温度による変化等も関係しているように思う。

観測井は5号井より更に深く試掘されているから、濃縮を受けた原温泉水は5号井と同じ温泉水のみとは考えられない。しかし前述の関係から、この温泉水が主要であると思われるが、その化学組成が求められないので一応5号井の組成(第2表参照)に近いとみて、5号井と3号井とを比較するとNa/Clは5号井より幾分小さい。K/Clは深部は小さいが浅部では略同じ値である。その他の成分は各深度共5号井より著しく小さい値になってきている。両者の組成の相違は濃縮を受けることによる組成の変遷を示すもので、この結果原温泉水の特性を保存している成分はCl⁻ Na⁺ K⁺で、その他のCa⁺⁺、Mg⁺⁺、SO₄²⁻、HCO₃⁻はその過程において液中から失われ原温泉水の特性を示さない。一般に高温沸騰泉にはCl⁻を多量に含むものが多いが、このような温泉の生成機構を考える場合、この結果は一つの示唆をあたえるであろう。

別府温泉の鉄輪、亀川地区にあるCl⁻の多い沸騰泉には、K⁺量がCa⁺⁺、Mg⁺⁺量に比して多く、K/Clが9%前後のものが多い。これらの温泉水は上記の如く濃縮過程を経てきたことを暗示するものではなからうか、この詳細については更に研究の予定である。

5号井の如き組成を有する温泉水が観測井中で蒸発濃縮したとし、且つCl⁻のみはこの過程において失なわれてないとし、各成分の総量及び現存する温泉水中の総量を濃度分布から求め、濃縮過程において失なわれた成分総量を求めると第3表の如くなる。Ca⁺⁺、Mg⁺⁺、SO₄²⁻、HCO₃⁻は大部分が高温水中から失なわれているが、これらは井管中の何れの所で失なわれているか、或はガス状態となって水蒸気と共に放出されたであろうか。観測井の深部には炭酸カルシウムや炭酸マグネシウムの沈積があるからCa⁺⁺、Mg⁺⁺は主としてこれらの重炭酸塩の解離によって沈積したと思われる。SO₄²⁻は深部のスケール中に少量見出されている。K⁺、Na⁺の沈積は見出されてない。一般にK⁺、Na⁺は土

第2表 (重量百分率)

深度(m)	Na/Cl	K/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	So ₄ /Cl	HCO ₃ /Cl
90	65.2	6.08	0.032	0.0070	8.61	0.47
120	59.1	7.65	0.041	0.0109	10.1	0.58
150	66.1	2.94	0.136	0.0069	5.34	0.34
200	63.5	2.49	0.132	0.0100	4.35	0.30
九電5号井	74.1	8.74	4.56	1.02	29.2	20.1

壤に吸着や置換侵入しにくい性質があると云われているから、上記減少量は原温泉水と5号井との違いからの結果とも思われる。

第3表 (単位kg)

成分	Cl'	K'	Na'	Ca''	Mg''	SO ₄ ''	HCO ₃ '
成分総量	330	28	240	15	3.4	96	66
濃縮水中の残存量	330	16	210	0.3	0.03	24	1.4
減少量	0	12	30	14.7	3.4	72	64.6

3. スケールの附着について

水面附近には食塩のスケールが附着して管口は閉塞される。注入水量 260ℓでは注入後4時間でスケールは完全に溶解するが、これと同時に沸騰による水の攪乱により面水は混合するであろう。その後24時間するとその間の蒸発濃縮により、スケールが付き始め、採水は不可能になる。水面附近の水は注入水によって薄められてはいるが、90mにおける食塩の濃度(第1表参照)は既に飽和に近い値(溶解度100℃にて39.2g/100g)になっている。その後の蒸発濃縮により濃度を増すと共に沸騰による水面の上昇と水の蒸発により水面上部の管壁に析出附着する。この場合飽和に近い成分である食塩が先に附着してくるであろう。その他の成分は第1表の量からみて、溶解度よりはるかに少ない量であると思われるから、これらの成分は析出附着しないであろうが、沸騰による水の噴き散しにより幾分爽雑されるであろう。

340mで採取されたスケールは炭酸カルシウムと炭酸マグネシウムであることが判明したが今回230m附近で採取されたものを分析した結果第4表の如き成分であった。これらの附着は炭酸物質即ち高温水中のCO₂、H₂CO₃、HCO₃'、CO₃'

第4表深部スケールの成分

成分	重量百分率
Ca	44.3
Mg	1.0
SO ₄	2.5
CO ₃	52.2

の動向に左右される。水溶液中の上記物質はそれぞれ独立に存在するものではなく、その割合はpHによって定まる。

これらは水溶液中で次の如き解離平衡が成立する。

$$\frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = K_1, \quad \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = K_2$$

ここにK₁、K₂は解離恒数である。この解離恒数は温度の上昇と共に増大する。溶液の温度と解離恒数との関係は一般に次式で表わされる。

$$\frac{d \ln(K)}{dT} = -\frac{Q}{RT^2} \dots (1)$$

ここにTは溶液の絶対温度、Qは電離熱、Rは気体恒数である。水溶液の通常の温度変化範囲ではQは一定であると見做され又上記K₁、K₂の実測値からもQは一定と見做されるから、この場合(1)式は積分されて

$$\ln(K) - \ln(K_0) = -\frac{Q}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \dots (2)$$

ここにK、K₀、溶液の温度がそれぞれT、T₀における解離恒数である。炭酸における第1段の解離ではQ₁ = -3360 (Cal/mol)、第2段ではQ₂ = -4530 (Cal/mol) である。したがって任意の温度におけるK₁、K₂が求められるが、K₁、K₂の実測値は測定者によって幾分の相違があり、又観測井の如き高温度にまでこれを適用するには問題がある。更にこのK₁、K₂は塩分濃度によって変化する。観測井は海水より高濃度であり、このような濃度及び温度における実測値がないから今仮りに海水(Cl = 19‰、20℃)における実測値K₁ = 0.95 × 10⁻⁶、K₂ = 0.96 × 10⁻⁹ (K. Buchの測定)と(2)式から各採水深度における値を推算した。この値とHCO₃'量及びpHの実測値から、各採水深度におけるCO₃'量を求めた。

水溶液中の炭酸カルシウムが沈澱するにはその溶解度積以上の濃度にならねばならない。この溶解度積は25℃の純水においては0.9 × 10⁻⁹であるがこれも亦共存イオンの状況によって大きく変化する。即ちCl'量やSO₄'量によって大きく増加する。Cl'量の変化による溶解度積の変化の実測値から各深度のCl'量における値を推定した。この溶解度積は亦温度によって変化する。この場合炭酸瓦斯の圧力如何によって増加する場合と減少する場合があるが、温度による変化は小さい。以上の各値を採水深度について求めた値は第5表の如くなる。

第5表

深 度(m)	90	120	150	200
K ₁ (×10 ⁻⁶)	2.6	2.8	3.0	3.4
K ₂ (×10 ⁻⁶)	0.97	0.99	1.0	1.03
CO ₂ (mol)	1.8×10 ⁻³	3.9×10 ⁻³	2.9×10 ⁻³	2.8×10 ⁻³
[Ca ²⁺][CO ₃ ²⁻] の推算値	10 ⁻⁴	1.8×10 ⁻⁵	8 ×10 ⁻⁶	8 ×10 ⁻⁶
Ca ²⁺ が沈澱する時 の濃度(mol)	5.6×10 ⁻²	4.7×10 ⁻³	2.8×10 ⁻³	2.9×10 ⁻³
Ca ²⁺ 実測値 (mol)	1.5×10 ⁻³	1.4×10 ⁻³	2.8×10 ⁻³	2.8×10 ⁻³

90m、120mにおいてはCa²⁺の濃度は沈澱を起す濃度以下であるが、150m、200m、は殆んどそれに近い値である。これより以深では高温水の濃度は減少すると思われるから溶解度積も小さくなり、又一方高温水中のCO₂量は温度上昇pHの増大により多くなり、深部の沈澱が生じたと思われる。このスケールは1年5ヶ月の間に深度340mより230mの浅部にまで附着してきているので、今後漸次浅部の方へ附着してくるであろう。

MgCO₃の12°Cにおける溶解度積は2.6×10⁻⁵であるが共存イオンの量によって大きく増加する。(海水は純水の約10倍)しかし高温水中の濃度はこれを比較して小さい。深部のスケール中のMg/Caは第3表の減少総量の比より非常に小さいから、このスケール以外の所でも失われていることになる。アルカリ性溶液中高温ではMg(OH)₂又は3MgCO₃・Mg(OH)₂・3H₂Oとして沈澱することも考えられる。或はMg²⁺とLi⁺は荷電数はちがうが、そのイオン半径(0.78Å)が略等しく、一般に電荷の大きい程結合力の強いことからLiとイオン交換することが予想される。古賀の表面水の分析によればLiは280mg/lあり、一般の温泉水に比して高濃度であり、蒸発濃縮によるためのみとは思われないが或はこの地域の特種性によるかも知れない。今のところ5号井の量が求められていないので断定し難い。

深部のスケールに硫酸塩の沈澱がある。CaSO₄の溶解度積は温度の上昇により減少し、156°Cにおいて1.8×10⁻⁶、200°Cでは2×10⁻⁷となるが、共存イオン例へばNaClの存在ではその量により16倍程度にまで増加するから、現在測定された濃度では沈澱出来ないが測定深度より以深でより高温になれば沈澱の可能性がある。第3表のSO₄²⁻の減少総量がすべてCaSO₄として沈澱出来るCa²⁺量は高温水中には含まれてない。又Ca²⁺はCaCO₃として沈澱されているからこのような沈澱物以外でも失われたことになる。井泉中の温度はこ

れを熱分解する如き高温ではなく、又これが分解生成物である硫化物、亜硫酸ガス、硫化水素等も確認されていない。別府温泉の噴気地帯で石膏や硫酸ストロンシウム、炭酸ストロンシウムが発見されている。SO₄²⁻はCl⁻に比較して吸着しやすい性質があり井管中の何処で吸着や共沈しているか或はイオン交換されたか現在これらの沈澱物は見出されていない。

4. 結 語

九電3号噴気井内水の深部の採水を行い、主要成分を分析し、蒸発濃縮過程における成分の変遷とケーシングに附着するスケールの成因について考察した。

1. 井内水の濃度は深部に行くにしたがって薄くなり、特に地下120mと150mとの間で著しい濃度差がある。又Ca²⁺のみ深部の方の濃度が大きい。

2. 井内水の濃度分布及び測温から高温水は浅部で蒸発濃縮されており、この濃縮高温水の成分と隣接する九電5号井の成分と比較して、Cl⁻、Na⁺、K⁺は濃縮水中に残存し、原温泉水の特性を保持していると思われるが、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、HCO₃⁻の大部分は水中から失われている。

3. Ca²⁺及びCO₂の濃度から浅部ではCaCO₃の溶解度積以下の濃度であるが、深部程これに近づき深部に附着するCaCO₃の沈澱の成因明らかとなった。

4. この濃縮高温水の化学組成の特質はCl⁻の多い高温々泉の生成機構を考察する上に重要な示唆をあたえるであろう。

終りに御指導御助言を賜った速水、瀬野両教授御測に協力した京都学芸大学川端博助教授、京都大学地球物理学研究所吉川助教授、堀清和、森忠敬並に資料を戴いた大分県衛生研究所の諸氏に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 速水頌一郎、瀬野錦藏、湯原浩三 地熱地帯の地下熱構造に関する研究(その1) 大分県温泉調査研究会 報告 第11号.1960.

- 2) 湯原浩三, 古賀昭人 地熱地帯の地下熱構造に関する研究(その2) 大分県温泉調査研究会報告、第12号.1961.
- 3) 九電綜合研究所の調査 未発表
- 4) Landolt; Physikalisch-Chemische Tabellen III -III 1936
- 5) 千谷利三著 一般物理化学(上巻)内田老鶴刊.1949
- 6) 三宅泰雄著 地球化学 朝倉書店刊.1954
- 7) 理科年表 (昭31)物36頁
- 8) 半谷高久著 水質調査法 丸善刊.1960
- 9) Landolt; physikalisch - Chemische Tabellen I.1923
- 10) 岡本要八郎 別府地方所産鉱物 九州帝国大学工学集報第18巻第6号.1944.

人
物

別府市内温泉現況調査 (5)

医務薬事課 佐藤 光 一
矢野 行 雄

1. 野田地区の温泉について

別府温泉の現況調査を本年度は大字野田（冬ヶ城、谷、湯山地区を除く）地区内の温泉について行った。調査方法は従来と同じく温泉台帳に登録された温泉と調査中に発見された無籍の温泉とについてその所在地所有者の確認と泉温、ゆう出量等の測定を行った、この調査結果と昭和24年行った京大の調査結果とを比較しこの地区の温泉の推移状態を調べた。

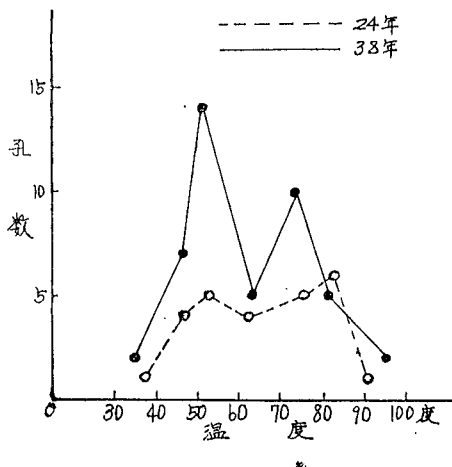
1の1. 温泉の現況

第1表及び第1.2.3 図は温泉の現況である温泉台帳口数は104であるが実際調査した口数は111でその内活動口数は47、停止口14、残部は埋没していた。活動口数の内掘さく泉が88、自然ゆう出泉が9であり、自然ゆう出泉のゆう出量は多量でその総量は992 ℓ/min 総ゆう出量の55.7%と達する。

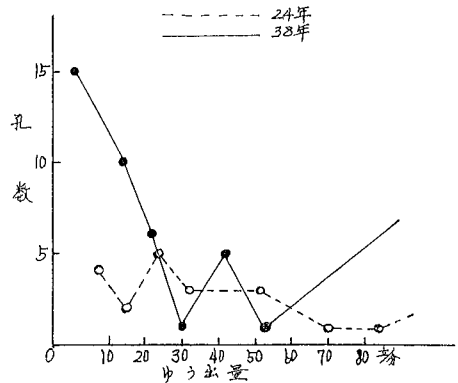
第1表

調査期	調査口数	活動口数	平均温度	平均ゆう出量	総ゆう出量	平均深度
	口	口	°C	ℓ/min	ℓ/min	m
昭和24年7月	73	31	66.1	109.93	3,312.06	76.77
昭和38年1月	111	47	61.77	40.25	1,781.20	72.12

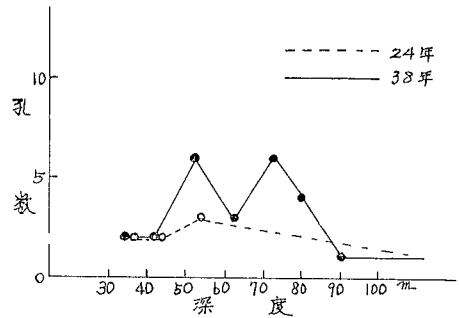
第1図 温度と孔数



第2図 ゆう出量と孔数



第3図 深度と孔数



昭和24年の調査と比較すると活動口数は16増加している。これは主として御夢想及び新川の西南部地帯に掘さくされたものである。この地帯の温泉は泉温45~50°C、深度は50~70mであるため全地域の平均深度昭和24年当時より4.65m 浅くなり又平均泉温も4.33°C 低くなった。総ゆう出量は相当減少しているがこれは調査の季節の相違にもよるものでもあらうが、血の池地獄のゆう出量の減少が大きく影響している。

1の2. 利用状況

この地区では泉源が利用施設から遠く離れているものが多い、柴石にある厚生省所有の温泉は 2,000m 離れた国立別府病院に引湯し治療用に供されている。又地獄田にある温泉は前記病院亀川駅附近から海岸一帯の旅館及び公衆浴場に引湯されている。

第2表は用途別の利用状況であるが公共用に利用されている量は総ゆう出量の78%である。

第2表

種別	利用施設数	温泉利用量 ℓ/min	温泉量比率 %
病院	1	407	24
観覧	2	366	21
公衆浴場	10	251	14
保養所	5	177	10
旅館	13	150	9
自家浴用	78	379	22
計		1,730	100

103. まとめ

i) 掘さく深度の最大は 216m で24年当時と変りない。活動口数の増加は主として地区東部の住宅地の自家浴用の温泉でこれらの泉温 45~50°C、深度は50~70m 程度である。

ii) 総ゆう出量は昭和24年当時より減少している。これは調査季節の相違によもと思われるが血の池地獄のゆう出量が 2118ℓ/min から 261ℓ/min と大きく変化したことが主な原因と思われる。

2. 別府温泉現況調査のまとめ

温泉の現況調査を昭和31年から温泉群毎に実施してきたが本年度で全地域の調査が完了した。この結果と過去の調査結果とを比較するため3つの温泉群に分けて集計してみた。即ち別府温泉の南部地域旧市内(浜脇を含む)温泉群中央と西部の鉄輪、石垣、南立石地域の温泉群及び北部亀川地区温泉群とである

201. 旧市内の温泉群について

第3表 旧市内地区温泉概況

調査期	活動口数	平均温度 °C	平均ゆ う出量 ℓ/min	総ゆ う出量 m ³ /min
1924 (大正13年3.9月)	826	53.38	13.72	10.06
1933 (昭和8年7.8月)	756	54.06	17.26	12.03
1949 (昭和24年8-9月)	674	52.11	19.38	11.74
1959 (昭和34年12.1.2月)	738	52.05	13.96	10.30

平均泉温は1933年が最も高くその後は低下している。総ゆう出量も1933年が最も多く1924年が最も少ない。温泉は開発により増えているが総ゆう出量は1959年の

第6表 別府温泉概況

調査期	台帳口数	活動口数	最大ゆ う出量 ℓ/min	最大深度 m	最高泉温 (噴気含) °C	平均泉温 °C	平均ゆ う出量 ℓ/min	旧推定総ゆ う出量 m ³ /min
昭和24年	2062	1070	2382	306	141.5	55.9	25.3	37×10 ³ m ³ (21万1千石)
昭和31~38年	2716	1404	760	450	133.0	53.7	17.5	32×10 ³ m ³ (17万8千石)

(ゆう出量には加熱温泉量噴気流量は含まない)

方が前の調査時よりも少ない。ゆう出量は季節的変化があり、雨期である夏期に多く冬期は少ない。その年変化は約20%程度であるから1933年以降ゆう出量は殆んど変化してないと思われる。

202. 亀川地区温泉について

活動口数は漸次増加しているが総ゆう出量は今回が最も少ない。血の池地獄のゆう出量の減少など自然ゆう出泉の減衰したものが多くみられた。

第4表 亀川地区温泉概況

調査期	活動口数	平均温度 °C	平均ゆ う出量 ℓ/min	総ゆ う出量 m ³ /min
1942 (昭和17年2.3月)	228	54.13	28.6	6.52
1949 (昭和24年7.8月)	247	57.50	33.24	7.25
1960 (昭和35年2.3月)	260	55.21	19.93	4.93
1963 (昭和38年2.3月)				

203. 鉄輪、石垣、南立石地区温泉について

第5表 鉄輪、石垣、南立石地区温泉概況

調査期	活動口数	平均温度 °C	平均ゆ う出量 ℓ/min	総ゆ う出量 m ³ /min
昭和24年7.8月	149(58)	60.1	41.1	4.57
昭和31.32.36年	406(210)	57.13	27.5	5.79

(活動口406中噴気孔は196、平均温度、全ゆう出量の数字は噴気を含まない。)

温泉口数の増加は自然噴気の口数の数えかたによるものがあると思われるが、南立石、北石垣及び六勝園通り一帯も相当増加している。

204. 別府温泉(全体)について

i) 温泉台帳口数2716中活動口数は1404(51%)であった。

ii) 最大ゆう出量をもつ温泉は、前回と同じ海地獄の 760ℓ/min、掘さく深度の最大は別府タワー泉の 450m である。

iii) 活動口数は 334口増加したが1日推定総ゆう出量は 5,000m³ の減少となっている。ゆう出量は季節的な変化を勘案しても口数増加の割合には増量となっていない。前述の結果からみて一部を除いた旧市内と亀川の温泉は既に限界に達しているのではないかと思わ

れる。

iv) 動力揚湯は約90口で大部分は旧市内の山の手にあり周辺には少なかった。その後旧市内温泉の静止水頭調査がなされその結果海岸部に於いて低下が目立ち更に広がる傾向にあることが報告されているが、更に昭和37年2月鶴水園、海門寺附近の現況調査した結果この地区だけでも過去3年間に活動口数は80から97に、動力装置は6から48にと大巾に増加し推定総温泉量は1.6倍となったが泉温は降下し自噴量は半減している最近の温泉需要の増加のため新規掘さくも昭和34年の調査の後、38年3月までに旧市内でも111口増え動力揚湯も急激に増えつつあるが、これにともない水圧の低下もますます大きくなるものと予想される。水圧が低い場合でも揚水が可能でしかも簡便であるエアリフトポンプ普及はこれまでなかった石垣地区でも開発利用されるようになった。水圧の低い地区のみならず旧市内にても最近相当数のこの種ポンプが設置されつつあり採取量が増大するものと予想されるが、前述の如き状態にあるからこの保護対策を早急に行う必要があると思う。これが対策の一方法として尚開発可能な地帯を開発し引湯利用するか未利用温泉の活用など積極的な措置を講ずべきであろう。

終りに種々資料の提供をえて指導いただいた京大地球物理学研究所の方々、及び別府市役所温泉課並びに別府保健所の御援助に厚く感謝いたします。

参 考 文 献

1. 山下幸三部 別府温泉の総調査の結果について
大分県温泉調査研究会報 第1号
2. 山下幸三部 別府市鉄輪温泉調査報告
同上 第8号
3. 山下幸三部 別府温泉の余剰量及び其の利用に就いて
同上 第9号
4. 矢野 行雄 別府旧市内温泉現況調査(1)
同上 第10号
5. 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(2) 同上 第11号
6. 佐藤 光一
矢野 行雄 別府市内温泉(内竈南北両石垣、南立石)現況調査(3) 同上 第12号
7. 野満 隆治
池田亮二郎
瀬野 錦蔵 別府温泉涵養源としての雨量
地球物理 第2巻第2号
8. 瀬野 錦蔵
吉川 恭三 別府市街地温泉の静止水頭調査
大分県温泉調査研究会報 第12号
9. 佐藤 光一
矢野 行雄
未松 竜雄 別府市内温泉(海門寺周辺)現況調査(4)
同上 第13号