

大分県温泉調査研究会

報 告 第 1 6 号

昭和 4 0 年 3 月

目 次

放射能障害の温泉療法 (第17報) ……………	八 田	秋…(1)
放射能障害の温泉療法 (第18報) ……………	八 田 山 田	秋…(4) と み 子
六ヶ迫鉱泉による糖尿病集団の温泉治療 (第2報)	矢 野 永 松	良 一…(10) 昭 生
別府温泉における噴気ガスの化学的研究 (第1報)	川 上 小 田	弘 弘 泰…(13) 敏 之
湯の花の生成過程について……………	古 賀	昭 人…(17)
チロシナーゼ活性に及ぼす温泉作用の研究……………	野 崎	秀 俊…(21)
別府海岸部における温泉の化学組成 (その2) ……	吉 川 志 賀 岩 上	恭 三…(27) 史 光 寿 子
別府海岸部における温泉の化学組成 (その3) ……	吉 川 志 賀 岩 上	恭 三…(32) 史 光 寿 子
別府市内日豊線復線化工事並びに亀の井ホテル増築に伴う浅層地下水 の揚水が周辺温泉に及ぼす影響調査報告……………	山 下	幸 三 郎…(36)
別府旧市内温泉の L^+ 量の分布と水系について ……	山 下	幸 三 郎…(44)
別府市紺屋地獄周辺温泉調査報告……………	山 下 古 賀	幸 三 郎…(48) 昭 人
大分県日出町温泉探査報告……………	山 下 矢 野	幸 三 郎…(55) 行 雄
大分県速見郡日出町温泉地質調査報告……………	森 山	善 藏…(59)
別府市内および湯布院町の温泉孔における岩芯調査報告 (第2報)	森 山 川 西	善 藏…(64) 博

大分県温泉調査研究会報告（第10号）正誤表

頁	行	誤	正
3	下から8行目	湯治前の総欠点数	湯治前後の総欠点数
15	上から2行目	mg/g	mg/l
22	図面	Fig 1	Fig 2
〃	〃	Fig 2	Fig 1
36	左上から5行目	彩響	影響
〃	左下から1行目	田の湯踏切	田の湯踏切
37	右上から15行目	止口	停止口
39	左上から10行目	又温温泉口	又温泉口
40	左上から8行目	殆んど観測井	殆んどの観測井
41	左下から7行目	深度は他の温泉のH. 6	深度はH. 6
41	右上から8行目	r	rw
41	右下から16行目	重会	重合
43	右下から6行目	球物理	地球物理
43	右下から7行目	布地	布
44	左下から13行目	沸塩泉	沸騰泉
46	第1表第1欄	Ti	Li
〃	右下から6行目	HCO ³⁻	HCO ₃
48	左下から3行目	鹽査	調査
52	左下から11行目	地温分席	地温分布
53	右下から5行目	之の周辺	その周辺
54	右下から4行目	地熱発電式験	地熱発電試験
56	右上から5行目	鉄明礬 FeSO ₄	鉄明礬 (Fe SO ₄
〃	〃	24H ₂ O	24 H ₂ O
〃	右上から6行目	鉄明礬	(鉄明礬
57	左上から5行目	HCO ₃	HCO ₃
63	左上から1行目	述べのと	述べると
66	右上から6行目	優色鉱物	有色鉱物
73	左下から3行目	測定値	測定法
74	左上から3行目	熱伝導率 (Tab.12) (Calcm·sec·°C)	熱伝導率 (Cal/cm·sec·°C)

放射能障碍の温泉療法 (第17報)

原爆被爆者別府温泉利用研究所の実績 (VI)

九州大学温泉治療学研究所

八 田 秋

前回に引き続き、昭和39年4月より、昭和40年3月までの、1年間について、湯治成績を求めて見た。

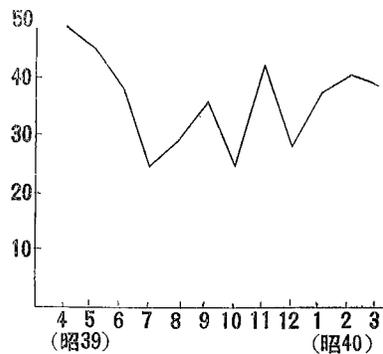
入所者利用者数4月、5月に多く、各々1日平均48.9名、45.3名と定員40名を越える利用度であった尚年間の月別利用度の傾向は、前回、前々回と比較すると、少々異なっている。やはり7、8及び12月の利用度は、それぞれ1日平均25.3名、29.9名29.2名と少いが、他の月は1日平均35名を殆んど越え、先に記した45月の他にも11、2、3月と定員40名を越えている。年間平均37.4名であるので、月々の利用度の高低の差が少く、常時利用者が増して来たと考えられる。(第1表、第1図)又、此の1年間の利用者実数は1.672名である。

利用者の男女別は、第1表に示した様に、今回も前回と同様、女性が多い。

これ等、利用者の滞在日数を調べると、11月の「4

～6日滞在者」は、団体の多かったためか、異常に高値を示したが、「7～13日滞在者」が、大体3分の1強、「2週間以上滞在者」が約5分の1と云う値を示

第1図 月別入所利用者の一日平均



第1表 利用者男女別年令表

年令 月日	男女	<30才	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66>	計
4月	男女	2	4	3	13	2	23	14	49	110
5月	男女	2	3	2	1	0	3	6	25	42
	男女	2	4	4	8	10	11	26	24	89
6月	男女	0	0	1	2	2	7	11	24	47
	男女	0	1	0	3	2	16	16	40	78
7月	男女	3	4	1	1	0	3	5	7	24
	男女	3	6	2	2	7	11	9	25	65
8月	男女	10	4	5	3	4	3	12	10	51
	男女	8	12	6	6	5	5	8	21	71
9月	男女	0	0	0	1	2	3	7	17	30
	男女	0	1	1	1	7	10	15	38	73
10月	男女	2	5	2	1	2	6	10	6	34
	男女	3	3	2	2	7	10	16	19	62
11月	男女	2	10	4	3	7	10	16	67	119
	男女	5	7	11	6	5	26	25	39	124
12月	男女	0	0	1	3	6	4	13	28	55
	男女	0	3	2	2	5	7	8	26	53
40年	男女	1	2	1	2	6	8	11	17	48
1月	男女	4	0	4	7	11	21	16	22	85
2月	男女	2	7	1	3	15	11	19	27	85
	男女	3	5	3	5	8	15	17	16	72
3月	男女	3	4	0	3	6	10	21	45	92
	男女	5	6	2	3	11	23	28	18	96
計		62	93	60	85	131	255	347	639	1.672

第1表 利用者とその延数

月別	利用者数	延人員	一日平均
4月	177	1.454	48.9
5月	131	1.396	45.3
6月	125	1.158	38.6
7月	89	787	25.3
8月	122	927	29.9
9月	103	1.102	36.7
10月	96	1.007	30.9
11月	243	1.306	43.1
12月	108	907	29.2
1月	133	1.216	39.2
2月	157	1.172	41.8
3月	188	1.245	40.1
計	1.672	13.677	37.4

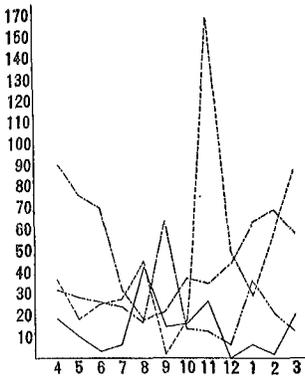
している。これは、3日以内の短期間滞在者、168名のそれぞれ大体3倍、及び2倍の値である。(第2表第2図)

第2表 湯治期間

月日	3日以内	4日～6日	7日～13日	2週間以上	合計
	名	名	名	名	名
39年4月	19	36	91	31	177
5月	10	17	76	28	131
6月	4	25	70	26	125
7月	7	27	31	24	89
8月	43	44	18	17	122
9月	14	3	21	65	103
10月	16	19	37	24	96
11月	27	169	35	12	243
12月	0	59	43	6	108
40年1月	6	29	63	35	133
2月	2	66	68	21	157
3月	20	99	57	12	188
合計	168	593	610	301	1,672

第2図 湯治期間

3日以内——
 4～6日——
 7～13日——
 2週間以上——



2週間前後滞在をした911名中、被爆距離、被爆状況の比較的判然とした98名について湯治の前後の検査を行った。この98名は、年間利用者総数の5.8%、1週間以上滞在者の10.7%にあたる。

今回も前回と同様、直接被爆したもの以外に、爆発直後から数日の間に、市内に入り、数日滞在をした例34例も入れた。この34例を除くと、2km以内のものは、64例中44例(68.7%)で、その中遮蔽物の無かったものが約2分の1弱である。(第3表)

尚、検査項目中の集中値限界は、前々回、及び前回と同じ基準に置いた(第4表)

第3表 被爆状況

km	例数	速 幣		不明
		+	-	
0.9<	3	2	1	0
1.0	7	5	2	0
1.5	13	7	5	1
1.8	8	4	4	0
2.0	13	6	7	0
3.0	10	3	7	0
4.0	4	1	2	1
5.0>	2	1	1	0
爆発后入市	34			
不明	4	0	2	2
計	98	21	31	4

第4表

検査項目	集中値限界
赤血球数	300万～500万/mm ³
血色素量	75～95%
白血球数	5,000～8,000/mm ³
最高血圧	100～150mmHg
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

第5表 湯治前のバラつき頻度

検査項目	湯治前	湯治后	
		全例	残留例
赤血球数減少	2(2.0)	0(0)	0(0)
血色素量減少	9(9.1)	8(8.1)	8(8.1)
白血球数減少	23(23.5)	14(14.2)	6(6.1)
最高血圧異常	36(36.7)	25(25.5)	24(24.5)
尿蛋白陽性	2(2.0)	1(1.0)	1(1.0)
尿糖陽性	3(3.0)	2(2.0)	2(2.0)
尿ウロビリノーゲン異常	9(9.1)	7(7.1)	7(7.1)
デヴィス反応陽性	1(1.0)	0(0)	0(0)

今、湯治前後の検査成績を、この基準にあてはめ、はみ出した例数を調べ、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。

前回の成績と比較して見ると、前回と同様に白血球減少例、及び最高血圧異常例が多い。

そこで各項目について、前回の値と比較すると、湯治前では、赤血球数減少は2.0%で、前回の0.8%より高い、然かも湯治後は前回と同様0%と成っている。血色素量減少は9.1%で、前回の2.6%より高い。白血球数減少は23.5%で、前回の26.5%より少々低い。最高血圧異常は36.7%で前回の27.3%より高い。尿蛋白陽性は2.0%で前回の4.4%より少々低い。尿デブイス反応陽性は1.0%で、前回の0%より高い。

湯治後の成績は、著明な好転を見ている。

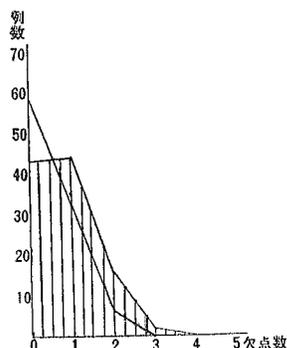
殊に、白血球数減少では著明な効果を見ている（残留例参照）。湯治後の白血球数減少全例が、14.2%を示しているのは、湯治前では認められなかった者が、新たに8例も見られたためであるが、これは各個を良く検討すると、4.500~4.900程度で、集中限界値を僅かに割るにすぎず、然かもその各例が湯治前の白血球数が7.000~8.000で比較的高値を示していたものである

更に、残留例で、なお集中値限界内にまで治らなかった例でも、個々の数値を見ると、殆んどの例が集中限界値に近づいている。湯治前には無く、湯治後に却って出現した異常例は、9例、9.1%でその中8例が前記の白血球数である。この数値より見ると、湯治に対する理解が深まり、入浴指示が守られて来たと考えられる。

ここで、湯治前後の各人の持っている欠点数を例数とのHistogramを作ってみると、第3図の様に成り湯治後の著しい好転の様子が良く理解される。又、その好転度を、湯治前の総欠点数を差し引き、被検者総数で割って算出すると、0.2857と成る。これは前回の0.2035よりかなり高く、前々回の0.2923と同様、効果が著しかったことを示している。

要するに本年度は、昨年度にくらべて、各検査項目にわたり、湯治前のバラつき頻度が多かったが、湯治による好転度はそれだけにより良好であった。本所事務長の不幸などによりとり込みのため、多少利用者数

第3図 欠点数と例数Histogram, 好転度0.2857



に影響し、年間総利用者数が昨年度の1,807名に対し本年度は1,672名とやや少なかったが、態勢を新たににして、この点更に増加する様に、受入れの整備につとめている。

共同研究者

辻秀男、中村泰也、松本恒尋、工藤寛昭、曾我部輝久、阿部充満、石川晃、豊永輝、野口志郎、松山家昌、和田浩一、村上信夫、山田とみ子、永石照美、田中三治

主要文献

1. 八田：大分県温泉調査研究会特別11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
Balneotherapy for the Survivors of Atomic Bomb Injuries. 温泉科学12.1昭36
5. Saito・Z angew. Bader u Klimaheilk.
Nr I/Feg 80.1962
6. 八田：大分県温泉調査研究特別号第11報昭37

放射能障害の温泉療法 (第18報)

γ線障害に対する湯の花浴の効果

八 田 秋
山 田 とみ子

はじめに

昨年第1報として、2,000 Curie の¹³⁷Cs のほぼ500γの半致死量を成熟かたに全身照射し、その日から2週間にわたって、各種温泉浴を行はせた場合の成績について報告した。この実験は秋期に行なったものであったので、季節を換えることに依って生体の反応の面で違いが起り得ることを考え、今回はほぼ同様な実験を春すなわち5月から6月の初めにかけて行なったセシウムの照射条件は、第1表のようで、45cmの距離で14分間、ほぼ510γの全身照射であった。前回の照射量499γに比べるとわづかに多量である。

第1表 セシウム照射条件

線量 ¹³⁷ Cs	2,000C	62.11月
X線量率	7.5γ/min at 1m	(照射野10×10)
照射条件に於ける線量率	36.4γ/min at 45cm	(照射野16×16)全開
照射時間	14分	
総線量	509.6γ	(36.4×14=509.6γ)

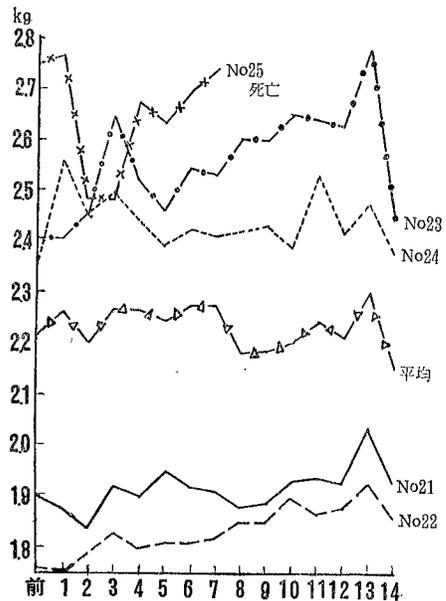
グループ分類
 温研泉群
 湯の花加群
 原爆センター泉群
 チステアミン注射群 { 1回40mg/kg × 7
 全量280mg/kg
 無処置対照群

使用温泉は前回と同様で、ただ Cysteamin の注射に当っては、1回量が25mg/kgであったものを、今回は40mg/kgとし、隔日毎に7回、総量280mg/kgに及んだ点が異なる所である。

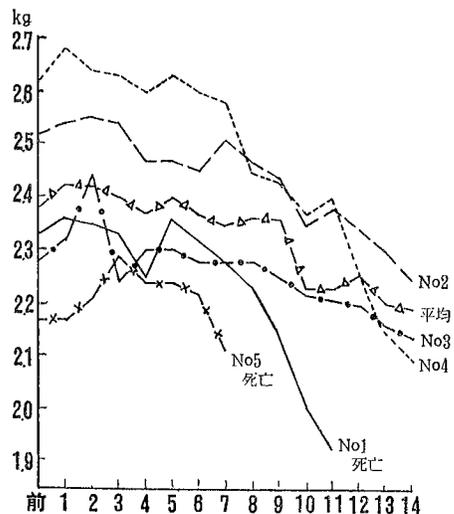
実験成績

先づ体重の面では前実験と同様照射直後にやや減少し、3~6日に増加を示すものが多かったのであるが(第6図)、10日以後の再増加を示したのは、Cysteamin 群(第3図)と湯の花加群(第5図)とであっ

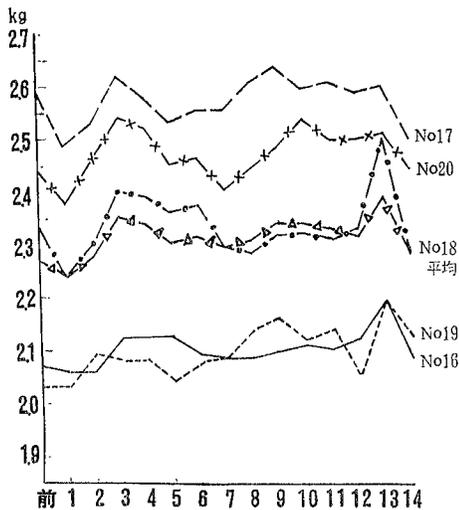
第1図 セシウム照射と体重測定 無浴対照群



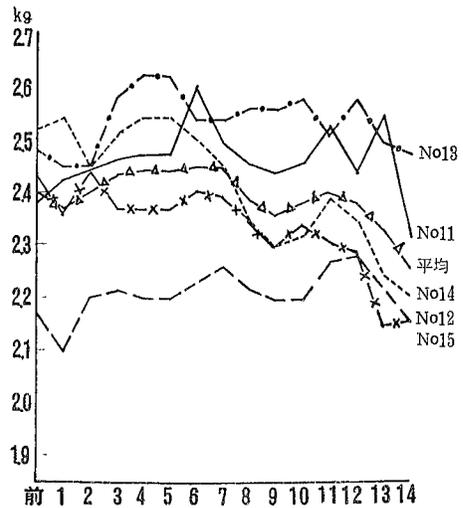
第2図 セシウム照射と体重測定 原爆センター泉群



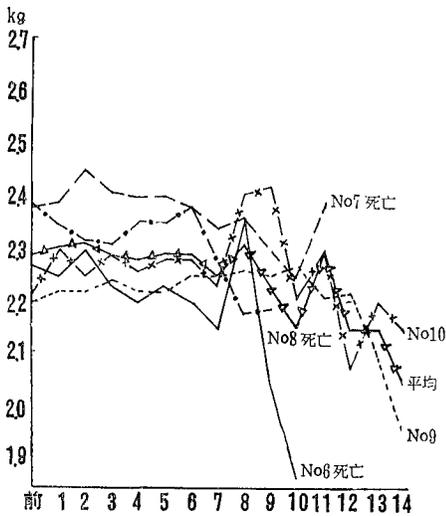
第3図 セシウム照射と体重測定
チステアミン注射群



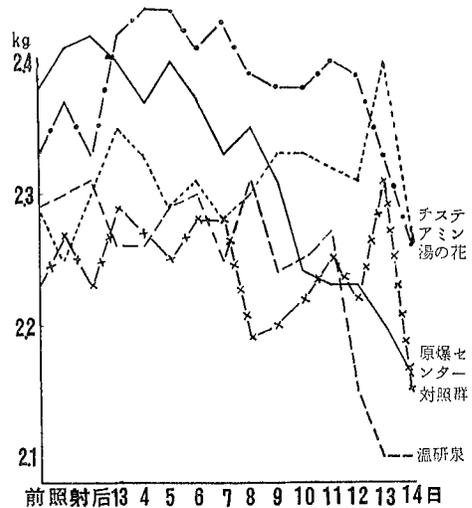
第5図 セシウム照射と体重測定 湯の花加群



第4図 セシウム照射と体重測定 温研泉群



第6図 セシウム照射後の体重測定
各群平均値 春期実験



て、その他のものでは著明な減少を示し、死亡例を出したのもあった(第1図、第2図、第3図)。しかし大体各群とも対照群(第1図)を上廻っていたのである。

血清チオール量の変動は、各群(第7図)とも前値が100を下廻っている点が前回の実験と異なる点であり対照群(第8図)では照射後21の著明な減少を示したのである。

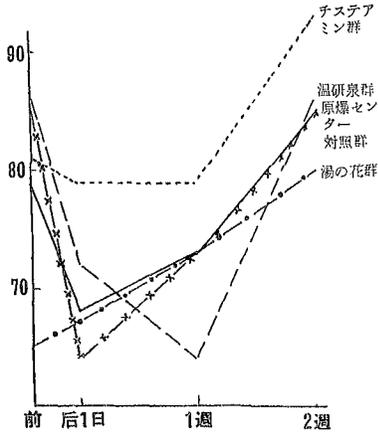
各温泉群でもかなりの減少を示したが、その程度は

いくらか抑制されており、殊に Cysteamin 群(第10図)では殆んど全く抑制されている。

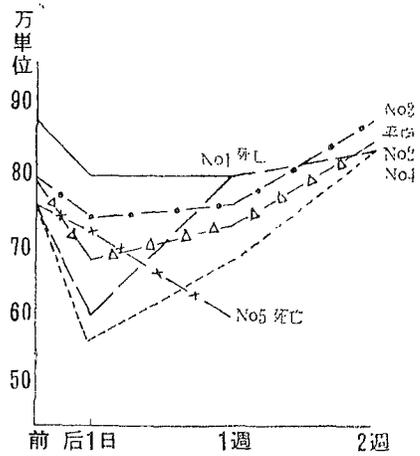
回復の面では、温研泉群が1週後の回復がややおくれたほかは、各群とも同様であり、Cysteamin 群では前値を上廻る値を示した。

骨髓有核細胞数は前回に比して、各群(第13図)とも前値が著しく高値を示しており、平均値で15万以上を示した。このことはγ線ならびに泉浴の反応にも差異を示すことが予想される。先づ対照群(第14図)は

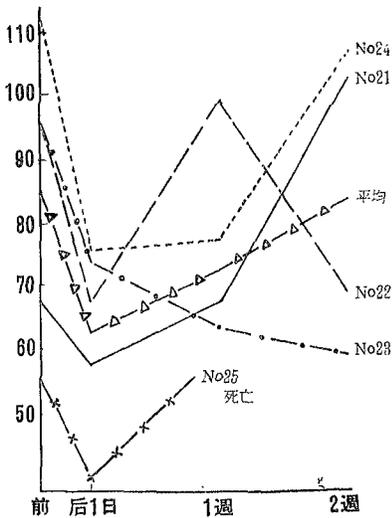
第7図 チオール各群平均値 春期実験



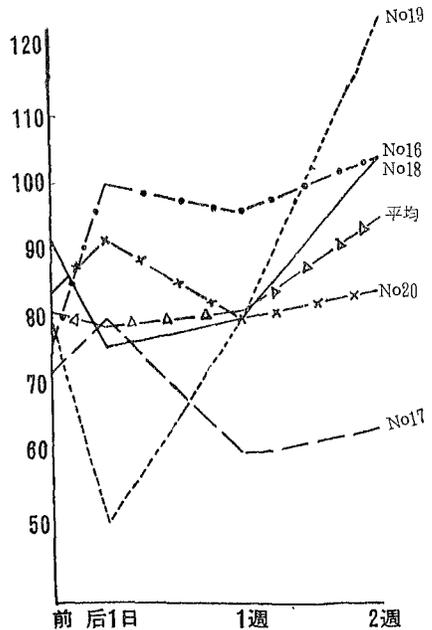
第9図 セシウム照射とチオール値
原爆センター群 春期実験



第8図 セシウム照射とチオール値
無浴対照群 春期実験



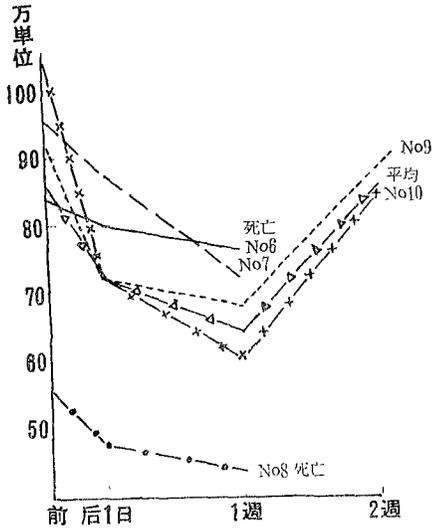
第10図 セシウム照射とチオール値
チステアミン注射群 春期実験



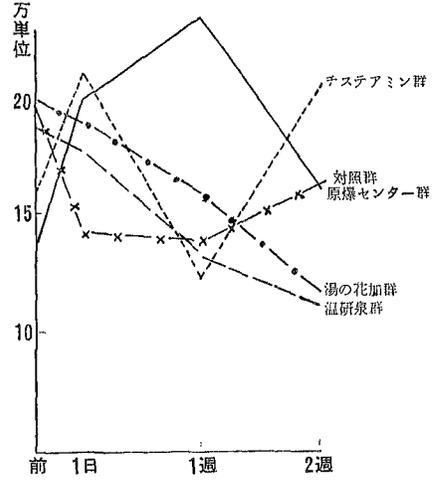
前回同様照射後の減少と、2週目にわずかの回復を示したのに、前値の比較的低かった Cysteamin 群 (第16図) と原爆センター泉群 (第15図) は照射后第1日にかえって増加するものも多く、温研泉群 (第17図) と湯の花加群 (第18図) ではバラツキが多いが、その平均値では漸減となっている。しかし2週値はなお11万程度で秋期の実験よりも高かった。

骨髓細胞分類では、一般に赤芽球の前値が前回に比べて高いものが多く、従って無浴対照群 (第19図) では、照射1日後に例外なく減少したので、骨髓有核細胞数の実際の減少にかかわらず、偽好酸球百分率はいづれも増している。かような変化は1週までつづき、その後は回復に向った。同様な傾向は泉浴群にも見られるが、Cysteamin 群では2週後の赤芽球の百分率

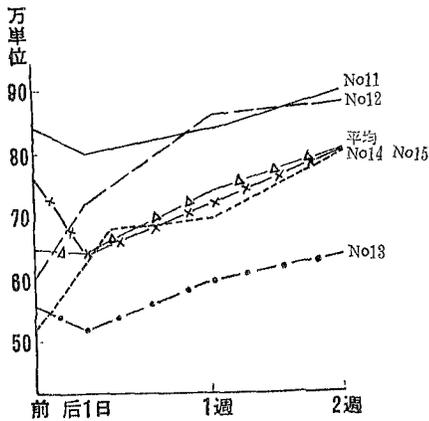
第11図 セシウム照射とチオール値
温研泉群 春期実験



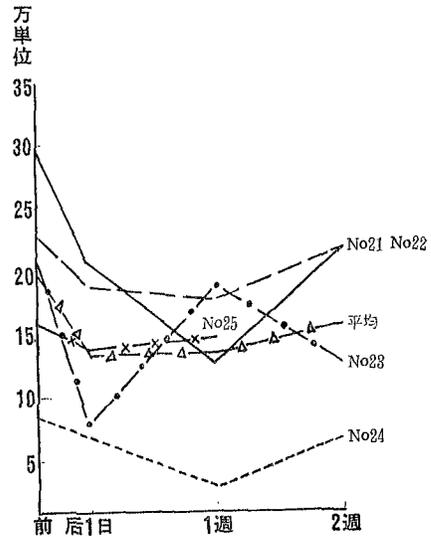
第19図 セシウム照射と骨髓有核細胞数
各群平均値 春期実験



第12図 セシウム照射とチオール値
湯の花加群 春期実験



第14図 セシウム照射と骨髓有核細胞数 春期実験
対照無浴群



が著しく高く、そのため偽好酸球の百分率は押へられている。しかし実際には1日後にリン巴球と対蹠的にやや減少したのみで、以後は増加しているものと見られる。原爆センター群では(第21図)偽好酸球が1週後に最高であることはCysteamin群に近く、2週後の赤芽球もかなり高い。温研泉群では(第22図)偽好酸球が1週後は最高であり、2週後の赤芽球の増加が少なかった。これに対して湯の花加群(第23図)では偽

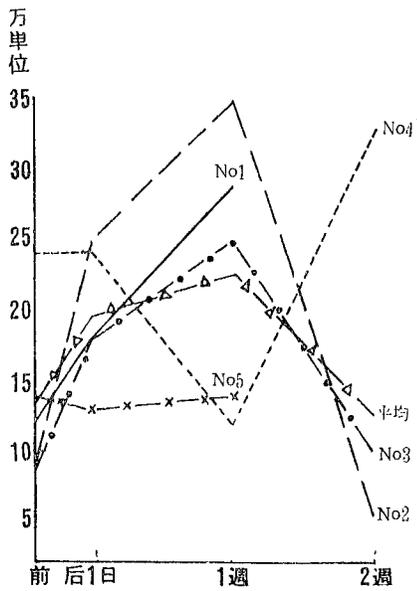
好酸球の1日後の赤芽球のかなりな増加など Cysteamin群に似た成績を示した。

総括並びに考案

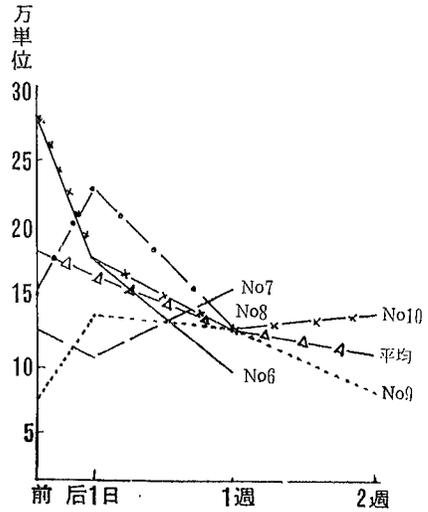
以上今回の実験では前回に比べて、骨髓有核細胞数がなべて多く、血清チオール値が低かった点が異なる重要な点である。

γ 線障害防止作用は、Cysteaminの40mg/kgの7回投与が著しかったが、体重減少防止、血清チオール減

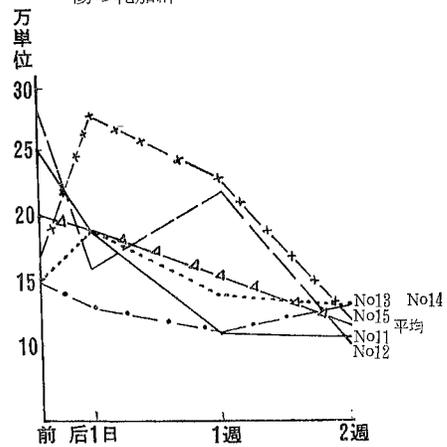
第15図 セシウム照射と骨髓有核細胞数 春期実験
原爆センター泉群



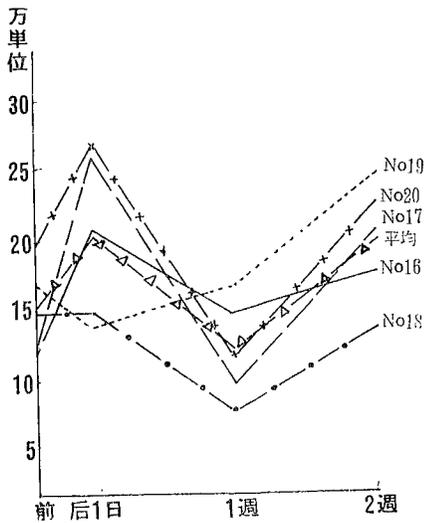
第17図 セシウム照射と骨髓有核細胞数 春期実験
温研泉群



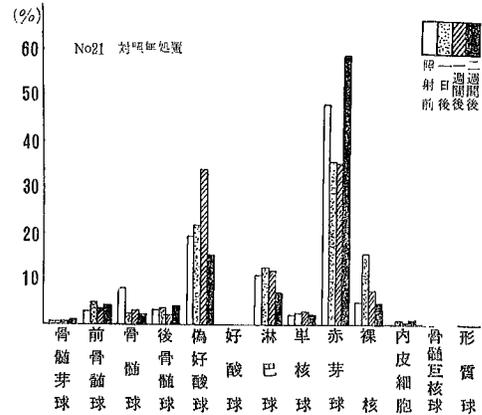
第18図 セシウム照射と骨髓有核細胞数 春期実験
湯の花加群



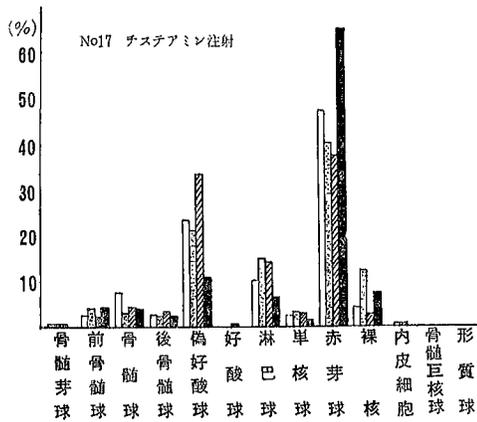
第16図 セシウム照射と骨髓有核細胞数 春期実験
チステアミン注射群



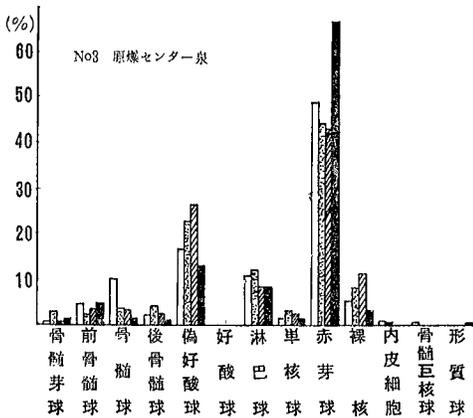
第19図 骨髓細胞分類



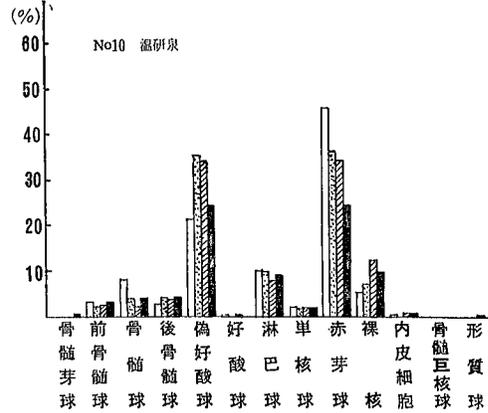
第20図 骨髓細胞分類



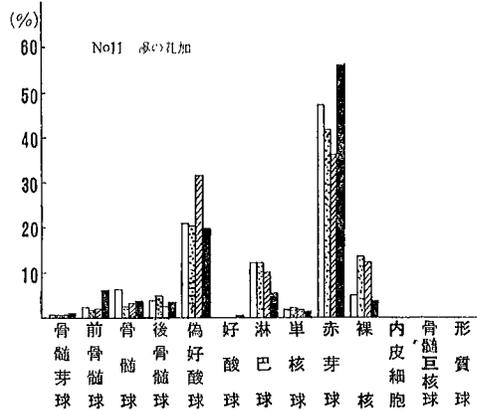
第21図 骨髓細胞分類



第22図 骨髓細胞分類



第23図 骨髓細胞分類



少防止、原爆センター泉がこれに近く、湯の花加群もこれに劣らない成績であるといえ得るであろう。

前回の秋期実験の成績と併せ考えるならば

1. 原爆センター泉がCysteamin25mg/kgの隔日7回注射に匹敵するγ線障害防止作用のあることは印象的である。
2. Cysteamin40mg/kg隔日7回注射では、半致死量γ線障害をほとんど全く防止し得るように思われる。
3. 秋期と春期の主な違いは、春期に骨髓有核細胞数が著しく多く、血清チオール値が低かった点である。
4. したがって、春期ではγ線による骨髓有核細胞数の減少は、泉浴によっても2週間後なお回復しないものがあるが、それでも秋期実際の前値を上廻る程度である。
5. また血清チオール値のγ線による減少は、春期に著しかったが、2週間泉浴による回復はめざまし

- く、各群とも前値またはこれを上廻る値を示した
6. 体重減少防止、骨髓有核細胞減少防止、骨髓細胞分類の変動の点などから、両実験を通じて、Cysteaminの効果にもっとも近い成績を示したのは原爆センター泉であった。
7. 今回も温研泉群と湯の花加群とでは、血清チオール値減少防止、骨髓有核細胞減少防止等似通った成績を示したが、湯の花加群では体重減少防止作用が著しく、また骨髓細胞分類で偽好酸球の1日後の軽度減少と赤芽球の2週間後の増加など、Cysteamin群に近い成績を示した。
8. 秋期実験で湯の花加群が温研泉群にくらべて血清チオールの2週間値がより高く、また骨髓細胞の安定をうながす点で、すぐれたことを考え合せ、湯の花の附加がある程度の放射線障害防止作用を高めることはほぼ確かである。

文献省略

六カ迫鉱泉による糖尿病集団の温泉治療

(第 2 報)

九州大学温泉治療学研究所内科

教授 矢野 良一

副手 永松 昭生

はじめに

ある種の温泉が糖尿病に有効であるということは、かなり古い時代から経験的に知られていた。しかし温泉の糖代謝に及ぼす影響についての科学的研究は1900年の初期にはじまり、以後多くの学者によりその有効性が実証され、本症の治療上非常に有利なことが報告されている。

九大温研内科では4年前より豊富な大分県下の温泉を利用し、西日本糖尿病協会と協力して糖尿病患者の温泉による集団治療を毎年行なっている。最初の2年は直入町の長湯温泉、昨年から臼杵市郊外六カ迫鉱泉で行なった。昭和39年度も6月18日より約1カ月にわたり再び同所で19名(男11、女8)の温泉治療並びに講習会を開き、うち前後の臨床的観察をさせた16名(男女名8名)の成績を報告する。

六カ迫鉱泉について

本泉は含炭酸硫酸重曹食塩泉P・H7.6で泉温は18.5~22°Cの冷泉、無色、無臭、炭酸食塩味を呈している。その成分の詳細は本誌15号にすでに記載したので省略する。

検査項目

眼底検査を除き血糖、尿糖、血清総コレステロール、心電図、血圧、尿蛋白及びウロビリノーゲン、肝機能(チモール及びクンケル)など温泉治療の前後に検索し効果を検討した。

温泉治療中の食餌及び薬物治療

インシュリンの発見以来40数年を経、戦後内服薬の新登場など顕著な発展をみせているが、その根幹となる治療は現在なお食餌療法である。かような意味から本療養会での患者への食餌指導にも深く留意し、別府大学須東教授並びに栄養士の参加を頂き各患者個々の病状を考慮し現地旅館で直接調理していただいた。

なお温泉治療前の薬物療法はそのまま続けるように指示した。

飲泉と入浴方法

昨年と同じく飲泉は初日600cc(約3合)から毎日2

00cc(約1合)ずつ増量、最高1.8ℓ(1升)を限度とし、入浴は1日2~3回と指示した。療養終了後のアンケートでは飲泉量1日約1升、入浴は1回10~15分、1日2~3回と応答したものが最多であった。

成績

血糖：前後の検査を行なった16例中食前、食後とも好転したものの7例、食前値はほぼ不変であったが食後の血糖値上昇が抑制され明らかに温泉治療の効果ありと断定しえたもの4例、また食後はほぼ不変であったが食前値のみ好転したものの1例と計12例75%に血糖値の改善を認めた。つぎに無効4例のうち不変1例、軽度ながら悪化したもの3例であった。しかしこの3例は1日平均4合程度の飲泉で、しかもうち2例は6日間の短期療養者であった。

尿糖：16例中好転したものの7例48.8%であった。しかし血糖と尿糖は必ずしも平行せず、腎臓での糖の閾値が関係するので糖尿病コントロールの良否は血糖に重点をおくべきであろう。

血清総コレステロール：250mg/dl以上を示したのは16例中10例の多きに達したが、温泉治療後には全例が好転し、とくにそのうちの4例は完全に正常化、温泉が糖代謝のみでなく脂質代謝にも良好を示しうることが確認できた。

血圧：療養前に高血圧(最高血圧150mm/Hg、最低血圧90mm/Hgの両方またはいずれか一方)を示していたもの3例中2例は完全に正常化、他の1例も好転した。

心電図：軽度でも所見のあったもの7例で温泉治療後の検査で好転したもの3例42.9であった。

その他、尿蛋白では弱陽性以上の反応を示した7例中2例が、ウロビリノーゲンでは75%が好転し、チモール、クンケルなど肝機能検査では初期より異常を認めたものはなかった。

考按並びに総括

温泉の入浴、飲泉が糖尿病治療に効果があり、特に

表1 温泉治療による自覚症の変化

	自覚症	治療前	治療後			有効率
			消失	軽快	不変	
糖尿一般病症の状	全身倦怠感	12	2	2	8	93.3%
	口のかわき	5	1	1	3	40.0
	皮膚のかゆみ	5	2	2	1	80.0
	性欲減退	9	0	1	8	11.1
循環器系の症状	動き、息切れ	15	1	5	9	40.0
	心臓部圧迫感など	10	4	5	1	90.0
	めまい、耳鳴り	9	3	3	3	66.6
	頭痛、頭重感	7	1	3	3	57.1
	顔面、四肢のはれ	7	1	1	5	28.6
その他	四肢のしびれ感	9	3	3	3	66.6
	神経痛	13	1	4	8	38.5

血糖降下作用については各種の動物並びに臨床実験が行なわれている。

すなわち Pfannenstiel¹⁾ はMg塩が糖尿病の物質代謝に好影響を示し、特にMgSO₄はアドレナリン作用を抑制し、MgCl₂はグリコーゲンの肝における集積

を促進することを見出している。また、Gemmillu, u Hellerman²⁾らは芒硝、硫酸マグネシウム溶液が副腎皮質のコルチコイドの分泌を減少させ、その結果、糖新生を軽減し抗糖尿病的作用をすることをみている。

当所でも西田は温泉による生体内での塩類不均衡の調整を大きくとりあげており、アチドーシスをきたしやすしい糖尿病では、生体が電解質を失いアルカリ予備量の低下が認められている。

かようなことから糖尿病の鉱泉療法は、アルカリ療法として大きな意義をもつのではないかと思われる。かように温泉治療により、迷走神経緊張の状態から直接インシュリン産生を刺激し、含水炭素の耐糖能の上昇、そしてホルモン及び酵素産生の増加など多くの臨床並びに動物実験から明らかである。

日常の鉱泉療法の結果から、種々の酵素による含水炭素分解の至適作用環境の調整、ブドウ糖—6—リン酸³⁾産生の抑制、温泉に含まれている亜鉛・燐など各種の微量因子による糖利用の促進などが、総合的に糖尿病にたいし好影響を与えるものではないかと考えられる。

表2 温泉治療前後の血糖及び尿糖

症例	性	年齢	推定罹病年数	温泉治療日数	1日平均飲泉量	血 糖			尿 糖		
						前	食前	食後2時間	食後3時間	前	食後2時間	食後3時間
1. 管○	♀	64才	約13年	22日	3.6ℓ	前後 105mg/dl 105	285 205	275 165	1/10% 0	1/2% 2	1/2% 2
2. 武○	♀	58	13	22	2.7	前後 104 130	235 230	205 185	0 0	1/10 1/10	0 1/10
3. 山○	♀	44	12	22	3.6	前後 190 150	— 270	305 265	1/2 1/10	1/2 2	1/2 2
4. 河○	♀	63	12	20	1.4	前後 200 185	370 310	375 275	1/2 0	1/2 1/2	1/2 1/2
5. 福○	♂	64	11	20	1.8	前後 175 175	305 280	260 270	1/10 1/10	1/2 1/2	1/2 1/2
6. 平○	♂	61	3	20	1.8	前後 90 100	280 215	215 160	0~1/10 0	2 1/10~1/4	2 1/10
7. 早○	♂	60	4	20	0.7	前後 80 76	220 220	150 185	0 0	1/2 1/2	1/2 1/2
8. 加○	♂	63	13	17	0.9	前後 160 125	245 235	250 190	0~1/10 0~1/10	1/2 1/2~2	1/2~2 1/2
9. ○田	♀	63	6	17	1.8	前後 115 80	149 135	132 85	0 0	0 0	0 1/2
10. ○村	♂	74	40	15	0.9	前後 74 90	175 200	185 185	1/10 1/10	1/2 2	1/2 2
11. 松○	♂	69	18	15	1.3	前後 108 90	285 220	250 210	1/4 1/10	2 2	2 2
12. 梶○	♀	70	8	11	0.9	前後 175 155	335 250	300 165	1/4 0~1/10	2 0~1/10	0 0~1/10
13. 竹○	♀	48	9	10	2.3	前後 150 120	245 245	240	0 0	1/4 1/2	1/2 2
14. 池○	♀	69	5	10	1.4	前後 160 105	380 280	350 285	0 0	1/2 2	1/2~2 2
15. 吉○	♂	69	5	6	0.7	前後 90 120	145 175	140 170	0 0	1/4 1/10~1/4	1/4 1/10
16. 追○	♂	60	4	6	0.7	前後 62 90	160 165	130 130	0 0	1/10 1/2	0 0

主 要 文 献

- 1) W.Pfannenstiel : *Balneologie* 1, 1935
- 2) C. Gemmill u L. Hellerman : *Amer. J Physiol* 120, 3 : 522, 1937.
- 3) 西田 弘 : *日温気誌* 8 : 379, 昭18.
- 4) 齊藤達雄 : *現代内科学大系 (代謝異常II)*
37頁・中山書店, 昭35.
- 5) 曾我部明 : *日温気誌*, 5 : 60, 昭14.
- 6) 児玉嘉生 : *温研報*, 7 : 1, 昭30.
- 7) O.Minkowski : *Dtsch med.Wschr.* 804, 1931.
- 8) J.kuhnau : *Med. Welt* 576, 1937.

別府温泉における噴気ガスの化学的研究

(第1報)

九州大学温泉治療学研究所

川 上 弘 泰

小 田 敏 之

1 緒 言

別府温泉には多数の自然噴気孔、噴気井が散在し、その配列と地質構造、噴出熱量と熱力学的性質については、既に論じられている。

しかし、噴気ガスの化学組成についてはその採取法の困難さと、化学分析法の複雑さのために、ほとんど調べられていない。

著者らは、取敢ず簡便な方法でガスを採取し、凝縮水を除いた噴気ガスについて、ガス分析器械としては最も精度の高い質量分析計を用いて、その組成を調べた。

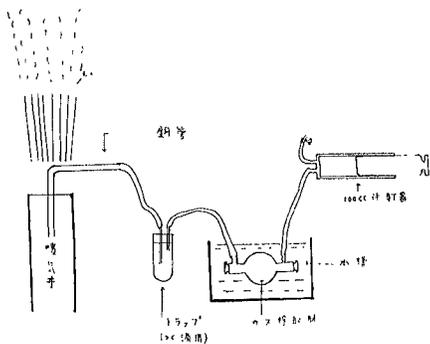
また、噴気ガスの化学組成の時間の変化を知るために、約5ヶ月間にわたり、8個所的噴気井につき、その変化を調べた。

2 分析方法

2・1、質量分析用試料

噴気ガス採取法は第1図の如く、噴気井の中へ長さ約30cm、直径約1cmの銅管を入れ、これが加温した後ゴム管でガラス採取瓶(内容積100ml、両端はコック

第1図 ガス採取法



)に連結、ガラス採取瓶は水中に沈め、他端は注射器と連結、空気とガスを置換させてから、注射器側のコックを閉ぢる。この操作により採取瓶中のガスは、水により冷却され、噴気ガスは自然に吸引される。

ついで、採取瓶中のガス温度が、 $40^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ にま

で低下したとき、銅管側のコックを閉ぢる。この方法は採取瓶の冷却にともなう減圧のために、外部の空気が混入することを防止しているが、その反面、採取ガス量は不明となる。

実験室に持帰ったガスは、直ちに五酸化燐を入れたガラス瓶に移し、ガスを十分に乾燥されて質量分析用試料とする。

2・2、硫化水素、亜硫酸ガスの定量

苛性ソーダ中に酢酸カドミウムを加えた溶液を三角フラスコに入れ、これを銅管に連結、注射器で噴気ガスの一定量を採取する。

硫化水素は硫化カドミウムとして沈澱させ、これを塩酸で溶解、ヨード液を加えチオ硫酸ソーダで逆滴定して、硫化水素を定量する。

溶液は硫酸酸性として、沃素酸カリで滴定して、亜硫酸ガスを定量する。

2・3、質量分析法

五酸化燐で乾燥した試料を用いて、常法の質量分析を行った。

各ガスの主ピークは、炭酸ガスは $m/e44$ アルゴンは $m/e40$ 、硫化水素は $m/e34$ 酸素は $m/e32$ 、窒素は $m/e28$ であり、定量の際は各ガスの副ピークも考慮に入れ、その組成比を求めた。

3 結果と考察

第1表に定量を行った、12個所の噴気ガスの化学組成を示す。

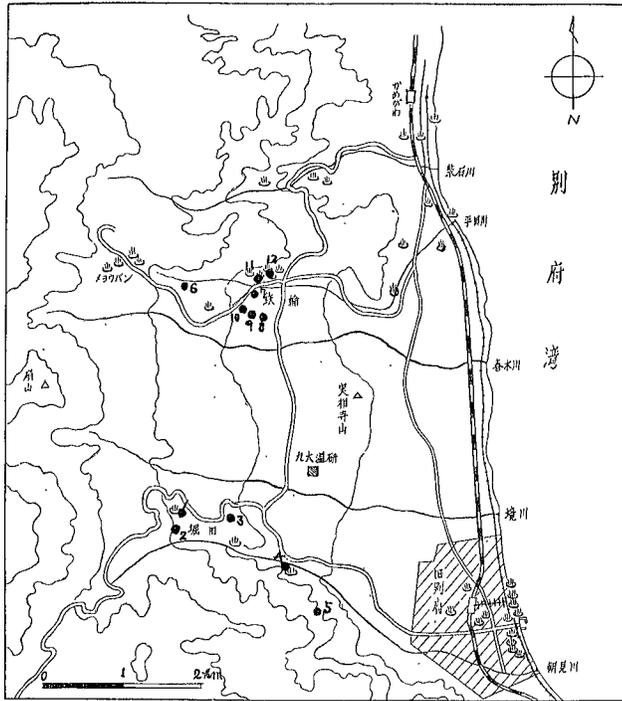
この化学組成には、凝縮水中に溶解している、ガス成分は含まれていない。

3・1、噴気ガスの化学組成

噴気井、No. 8、10、11の酸素含有率は、他の噴気井に比して高いが、噴気ガスの起源から考えて、酸素の存在は殆んど考えられないので、これは試料採取の際の空気の混入と思われる。

従って、第1表より酸素を計算により除外して、これを第2表に示す。

第2図 別府温泉の噴気井 (12ヶ所)



第2表によれば、噴気ガスの主成分は炭酸ガスである。

岩崎⁴⁾は、火山ガスの温度による組成変化を、次の如く述べている。

- 1) 800°C~1200°C
SO₂ > H₂
HClを含む
- 2) 100°C~400°C
H₂S ≥ SO₂ (H₂Sと同じオーダー)
HClは稀薄
- 3) 100°C ≥
H₂S < SO₂
H₂, HClは殆んどなし
SO₂は1%以下
- 4) 100°C ≤
H₂Sは1%以下
主としてCO₂
- 5) 100°C <
H₂Siはtrace、CH₄、N₂が多くなる。

著者らの定量した噴気ガスの温度は大体100°C前後であり、前述の(4)の場合とよく合っている。

玄武岩質熔岩、輝緑石、黒燐石、安

第1表 噴気ガスの化学組成

地区	噴気井 No.	所有者	採取年月日	温度 C°	mol %						mg/l		凝縮水 pH
					CO ₂	N ₂	O ₂	Ar	CH ₄	H ₂ S	H ₂ S	SO ₂	
堀田	1	市有	39.6.8	99.0	93.1	5.4	1.3	0.2	<0.1	<0.1	1.04	0.20	5.95
	2	後藤保	39.6.8	99.3	90.1	7.2	2.6	0.1	<0.1	<0.1	0.32	0.24	6.25
	3	荒金保夫	39.6.8	96.7	95.9	3.0	0.4	0.1	0.6	<0.1	0.34	0.28	5.13
観海寺	4	ラクテンチ	39.6.12	94.5	93.7	3.7	2.1	0.2	0.3	<0.1	1.10	0.20	6.65
	5		39.9.12	113.0	90.5	7.2	1.6	0.2	0.5	<0.1	1.85	0.28	6.48
紺屋	6		39.6.12	98.0	90.4	4.5	1.0	0.1	1.7	2.3	10.00	0.34	6.38
鉄輪	7	温熱利研	39.6.16	98.5	99.5	<0.1	<0.1	0.1	0.4	<0.1	0.42	0.28	5.91
	8	永野秋蔵	39.6.16	100.1	46.4	43.2	9.6	0.8	<0.1	<0.1	0.14	0.26	6.40
	9	安倍卓夫	39.6.16	86.0	68.3	11.6	1.8	0.3	<0.1	<0.1	0.14	0.22	6.54
	10	大平 涉	39.6.18	101.1	17.1	65.3	16.7	0.9	<0.1	<0.1	0.16	0.30	8.04
	11	十 万	39.6.18	96.2	3.8	71.3	23.4	1.0	<0.1	<0.1	0.04	0.20	7.20
	12		39.6.18	98.0	75.3	20.3	4.0	0.4	<0.1	<0.1	0.10	0.24	6.98

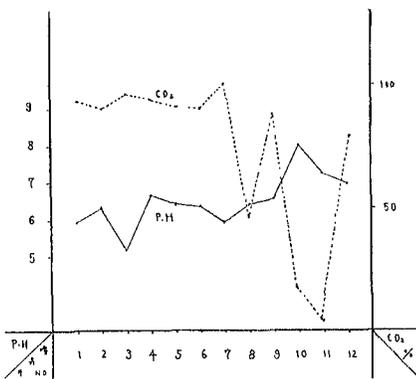
第2表 噴気ガスの化学組成 (酸素を除く)

地区	噴気井 No.	温度 C°	mol %						mg/g		凝縮水 pH
			CO ₂	N ₂	O ₂	Ar	CH ₄	H ₂ S	H ₂ S	SO ₂	
堀田	1	99.0	99.2	0.6	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	1.04	0.20	5.95
	2	99.3	99.9	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.82	0.24	6.25
	3	96.7	97.8	1.5	<0.1	0.1	0.6	<0.1	0.84	0.28	5.13
観海寺	4	94.5	99.6	<0.1	<0.1	0.1	0.3	<0.1	1.10	0.20	6.65
	5	113.0	97.6	1.7	<0.1	0.1	0.5	<0.1	1.85	0.28	6.48
紺屋	6	98.0	94.8	0.9	<0.1	0.1	1.8	2.4	10.00	0.34	6.38
鉄	7	98.5	99.5	<0.1	<0.1	0.1	0.4	<0.1	0.42	0.28	6.91
	8	100.1	85.7	13.8	<0.1	0.5	<0.1	<0.1	0.14	0.26	6.40
	7	86.0	94.4	5.4	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.14	0.22	6.54
輪	10	101.1	85.0	14.9	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.16	0.30	8.04
	11	96.2	100.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.04	0.20	7.20
	12	98.0	93.5	6.4	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.10	0.24	6.98

山岩質熔岩、花崗岩等の岩石の炭酸ガス含有率は、大略50%以下であるので、噴気ガス中の炭酸ガスは、これら岩石からのものでなく、岩漿に起因すると考えられる。

3・2、凝縮水のPHをCO₂含有率

第3図 凝縮水のpHとCO₂含有率



凝縮水と噴気ガスの分離は、現地で行わず、実験室に持帰っているのでこの間に溶解度の大きい炭酸ガスが、凝縮水に溶解することは十分に考えられる。この関係を第3図に示す。

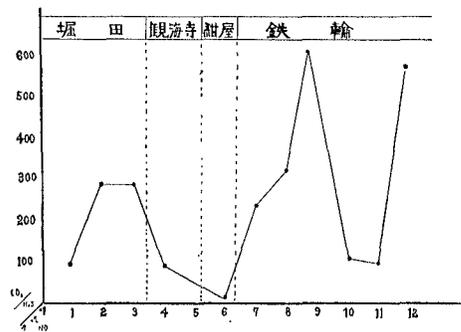
凝縮水のpHは5~8程度であり、pHが高くなると炭酸ガス含有率は低下している。

3・3、硫化水素と亜硫酸ガス

硫化水素と亜硫酸ガスは化学分析で定量したが、質量分析で直接定量できたのは、紺屋地区のNo. 6の硫化水素のみであった。

堀田、観海寺、紺屋地区のNo. 1~No. 6の噴気井では、硫化水素が亜硫酸ガスよりも多く、鉄輪地区のNo. 8~No.12ではこの逆となっている。

第4図 噴気井のCO₂/H₂S



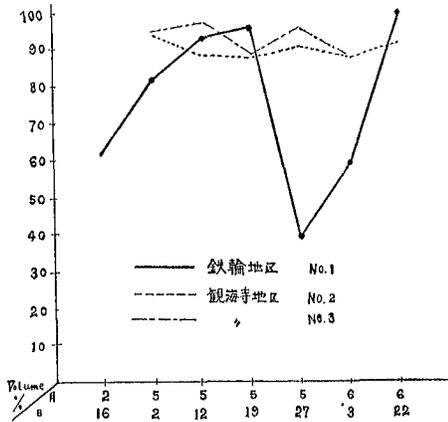
3・4、炭酸ガスと硫化水素の比

第4図に炭酸ガスと硫化水素の比をとり、地区別に比較してみたが、なんらの有意性も認められなかった

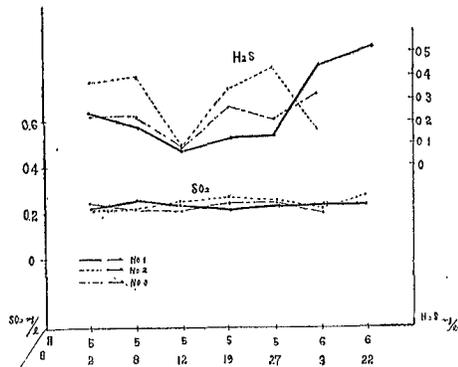
3・5、噴気ガスの化学組成の経時変化噴気ガスの化学組成の経時変化を知るために、昭和39年2月から6月まで、No. 4、5、7の噴気井につき測定を行った。

炭酸ガスの経時変化を第5図に、硫化水素と亜硫酸ガスの経時変化を第6図に示す。

第5図 CO₂の経時変化



第6図 SO₂、H₂Sの経時変化



炭酸ガスについては、観海寺地区のNo. 4、5は余り変動はみられないが、鉄輪地区のNo. 7は大きく変動している。

亜硫酸ガスは、No. 4、5、7ともにほとんど変動を示さないが、硫化水素はかなり変動している。

また、炭酸ガス、硫化水素、亜硫酸ガスの三成分間の変動には、相関は認められなかった。

4 結論

別府温泉の噴気井、12個所の噴気ガスの化学組成および経時変化を調べ、つぎの結論をえた。

- 1) 噴気ガスの主成分は、炭酸ガスである。
- 2) 凝縮水の pHと炭酸ガス含有率との間には、逆相関が認められる。
- 3) 硫化水素と亜硫酸ガスの比は、堀田、観海寺、紺屋地区と鉄輪地区とでは異なる。
- 4) 炭酸ガスの経時変化は No. 7 が大きく、硫化水素は No. 4、5、7 ともにかなり変化している

終りに当研究費の一部を負担された大分県温泉調査研究会に感謝する。

(1964年7月第17回日本温泉科学会発表)

文献

- 1) 鈴木 政達：地球物理, 1 ; 6 . (1937)
- 2) 湯原 浩三：大分県温泉調査研究会, 15, 15. (1964)
- 3) 川上 弘泰：温泉科学, 8, 23. 古賀 昭人 81. (1957) 野崎 秀俊
- 4) 岩崎 岩次：昭和39年度地球化学討論会特別講演
- 5) 三宅 泰雄：地球化学 (朝倉書店), P172.

湯の花の生成過程について

九州大学温泉治療学研究所

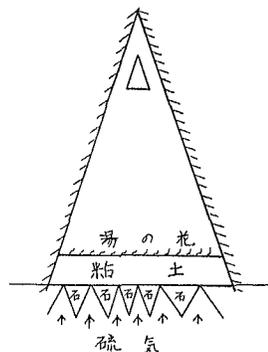
古 賀 昭 人

1、緒 言

別府明礬地区の湯の花は一種の火山昇化物であるが別府温泉の特産物の一つであり広く市販されている。

天然記念物とされている湯の花製造小屋は図1のような藁屋根におおわれた構造で、いわゆる硫気地帯に石をおき、その上に厚さ20cm位の粘土を固めておいてあり三角屋根に囲まれている。二三ヶ所に窓があり空

図1 湯の花製造小屋



気もいくらか流通している。最初、固めた粘土層に水をまいておくと次第に粘土は暖かみを持ち10日位経つと湯の花が稲柱のように生長し始める。凡そ3ヶ月位で成長した湯の花を取り除く。そして再び湯の花を製造する。

2~3回湯の花を製

造された粘土は、これを取り除き新しい粘土で再び湯の花を製造するといった過程がくりかえされている。

湯の花製造に関する研究は余りなされていない。瀬野の報告があるが、いわゆる実験的裏付けが行われていない。著者は、この湯の花が、いかにして生成されるかを100日間にわたって、その過程を追求し湯の花生成の裏付けを行ったので報告する。

2、実験と考察

2、1、硫気ガスの分析

湯の花生成の主役は地中を通じて上昇する硫気ガスである。硫気ガスを製造小屋の内外について分析した結果は表1に示す。これによると、硫気の出ている穴

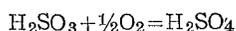
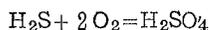
表1 硫気ガスの分析 (64.8.26)

	硫 気 孔	小 屋 の 中
SO ₂	0.86mg/ℓ	0.014mg/ℓ
H ₂ S	22.35 "	0.09 "

に比し小屋の中のSO₂やH₂Sの量は極めて小さい。しかし、これは粘土を通過したあとのガス濃度であり粘土を通る間に水分と共に硫酸に変化したためと思われる。

H₂SやSO₂からH₂SO₄に変化するには、

①、水に含まれている酸素による酸化



②、空気中の酸素による酸化

③、温泉中のH₂SO₃の自己酸化



などで、またFe³⁺がSO₃²⁻と反応してSO₄²⁻を作る反応もあるが水分を含む温泉の高い粘土中でH₂SがO₂により酸化されてH₂SO₄を生成したのが大部分を占めるとと思われる。このことは岩崎らが粉末にした珪酸塩を水に入れ100°Cで加熱しながらH₂SとO₂を通じて生じたSO₄²⁻を測定した結果、種々の岩石により生成率は異なるが水にそのままガスを吹き込んだ場合よりも4~70倍も多くSO₄²⁻を生成したという実験からも知られる。

湯の花製造小屋の中は湿度が高く粘土の温度も約50~60°Cあり水蒸気やH₂S、SO₂を含む硫気ガスが粘土を通る間、ゆっくりH₂SO₄となり湯の花の結晶化に極めて都合のよいように経験上小屋が作られたものと思われる。

2、2、測定試料

使用した旧粘土を掘り返し、前述のように製造小屋の中の床に厚さ20cmの新粘土を敷き湯の花の製造が始められたのは1964年7月19日である。第1回目の湯の花の除去がなされた10月28日まで約100間、数点の湯の花及び粘土を採集し、どのように粘土が化学変化して行くか経時的測定した。採取した日時は7月21日(2日目)、8月8日(20日目)、8月13日(25日目)、8月26日(38日目)9月11日(54日目)、9月28日(71日目)、10月28日(101日目の7回である。試料は粘土ではSiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、SO₄²⁻、湯の花では水に対する不溶物、Fe₂O₃、Al₂O₃、SO₄²⁻を測定し別にX線回折を行った。

2、3、湯の花製造用粘土の化学組織成変化

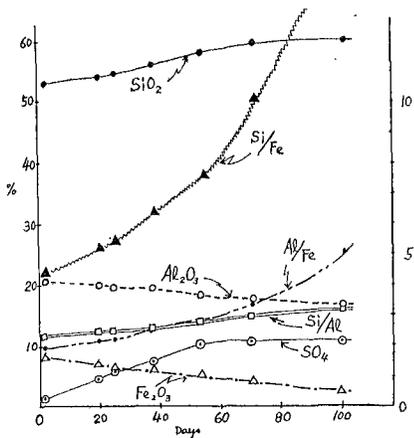
採取した粘土は110°Cに加熱し分析した結果は表2

の如くである。図示すれば図2のようにである。表2
図2から分るように硫酸分は次第に増加しているがSO

表2 湯の花製造用粘土の組成変化

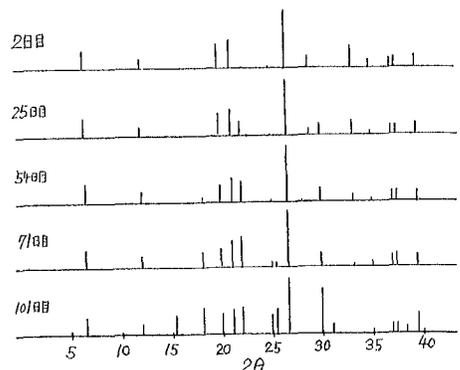
採取年月日	'64. 7. 21 2日目	8. 8 20日目	8. 18 25日目	8. 26 38日目	9. 11 54日目	9. 28 71日目	10. 28 101日目
SO ₄	1.26%	4.55%	6.71%	7.08%	10.35%	10.45%	10.51%
SiO ₂	53.25	54.25	54.87	56.21	58.12	59.73	60.13
Fe ₂ O ₃	8.23	6.98	6.80	5.85	5.14	3.96	2.45
Al ₂ O ₃	20.55	19.88	19.62	19.65	18.35	17.82	16.85
Si/Al	2.30	2.42	2.48	2.54	2.81	2.97	3.16
Si/Fe	4.34	5.21	5.42	6.44	7.59	10.13	16.43
Al/Fe	1.89	2.16	2.18	2.54	2.70	3.41	5.19

図2 湯の花製造用粘土の組成変化



日後には凡そ10%に達し、その後は余り増えない。前述の硫酸が地中を通る間に硫酸となり飽和状態になると思われる。一方ではFe、Alを溶解して、それぞれの硫酸塩を作り結晶化していく。この場合、Alは余り減少しないがFeの減少率は大きい。SiはFe、Alの溶出により逆に含有率は増えることになる。したがってSi/Alは余り増加しないがAl/Feは増大し、特にSi/Feの増加率は大である。このことはFeはかんたんにH₂SO₄により溶出されるがAlはSiと複雑で強固な化合物を作っているため、溶解が困難なことを示している。これはオートクレーブによる粘土の合成実験でも非常に高温高圧を要しAlとSiは複雑な化合物を作る。これに反しFeはそうではない。また粘土の化学分析でもSiO₂を除去しないと、AlはSiとsilicateを作り酸に溶解しないことも強固な結合であることが知られる。

図3 湯の花製造用粘土のX線回折像の変化



2、4、湯の花製造用粘土のX線回折的变化

採取した粘土のX線回折像の変化は図3に示す。2日目は、まだ風化を受けていない粘土と見なすことができる。これはカオリナイトと目されるが通常のカオリナイトに比し鉄が多い特徴がある。むしろ、カオリナイトとモンモロロナイトの混合物かとも思われるが結晶度が高く、したがって生成温度は比較的高く熱水、熱気的作用により生じた種であると考えられる。この使用されている粘土は別府明礬近くの山の粘土であり別府白土と呼ばれるものの表層を取り去った下にある灰色がかった地層のものである。

この粘土を湯の花製造に使用し、日時を経過すると次第にその回折像も変化を示し始める。すなわち、α-クリストバライトの線が次第に大きくなっていく。α-石英の線はそのままだからα-クリストバライトの結晶が形成されていくのであろう。このことは粘土成分の中のFe、Alが溶出して行くにつれて、その骨格であるSiO₂が表面に現われたと見るべきである。か

くして粘土の使用または再使用によって粘土は白っぽく SiO_2 のみに変じ、もはや湯の花製造には役立たない。

2、5、湯の花の組成

湯の花の組成は初期に生じたものと、後で生じたものとの間に、さしたる変化は見られない。湯の花の色は、使用した粘土の成分によって異なり Al が多い粘土では白っぽく、Fe を多く含んでいる粘土では硫酸第一鉄や第二鉄を含むので黄色く着色している。また、前述のように粘土からの Fe、Al の分離は Fe の方が早いけれども、粘土の第一回使用期間ではその間に湯の花の組成の変動は余りないようである。むしろ、粘土の第二回、あるいは第三回使用による湯の花の組成は第一回とは少々異なるかも知れない。

表3 湯の花の化学組成表 (大分衛研)

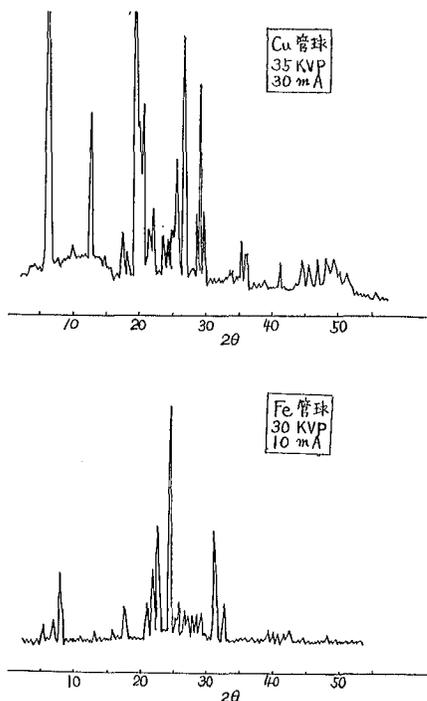
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	41.95%	NaCl	0.38%
FeSO_4	9.24	Na_2SO_4	0.23
Al_2O_3	6.87	KCl	0.16
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	6.88	H_2SiO_3	0.11
MgSO_4	1.96	H_2O	28.38
CaSO_4	0.77	微量成分	3.72

当量百分率

Al^{3+}	80.1%	SO_4^{2-}	70.64%
Fe^{2+}	7.30	O^{2-}	28.72
Fe^{3+}	8.65	Cl^-	0.64
Mg^{2+}	2.34		
Ca^{2+}	0.85		
Na^+	0.71		
K^+	0.14		

表3に大分衛生研究所の行なった化学組成表をかかげる。これによると、硫酸アルミニウムが主成分であるが、硫酸第一鉄、第二鉄も相当量含有している。微量成分3.72%の中には水に対する不溶物やSが含まれていると思われる、かって著者が測定した湯の花にはSが約2%含有していた。繰り返し述べるように、湯の花の組成は一定でなく本実験に用いた湯の花は鉄分が多く含まれていた。表3に Al_2O_3 の含有があげられているが、これはイオン表作製上の誤りであろう。図4に湯の花のX線回折図を示すが、これには Al_2O_3 の線は表われていない。湯の花のX線回折図をCu管球の場合とFe管球の場合と両者をとるとCu管球の場合の回折線の大部分は硫酸アルミニウムである。これにも幾種類かあって、結晶水が18個ついた硫酸アルミニウムの線が多い。他に SiO_2 の線が出ている。また、Fe

図4 湯の花のX線回折図



管球の場合、Feの化合物の線が出やすく、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ など第一鉄第二鉄の線が出ている。何れにしても、湯の花の主成分は硫酸アルミニウム、硫酸第一鉄及び硫酸第二鉄である。

3 結論

別府明礬地区の特産である湯の花の生成過程を100日間にわたって追求し、つぎの結論を得た。

- 湯の花は硫黄地帯の上に粘土をおき、生成する結晶を集めたものであって、硫黄ガス中の H_2S 、 SO_2 、 H_2O から粘土層で H_2SO_4 ができ、これが毛細管の上昇で粘土中のAl、Feと硫酸塩を作り、これが粘土表面で結晶したものである。
- 凡そ、100日間の内、数点の粘土を取り出して分析してみると、粘土中に硫酸分を含んでおり、Fe、Alが溶離して行くのが分る。このさいAlよりFeの溶離速度が大である。なお、次第にFe、Alが抜けα-クリストバライトが結晶化し始める状態は、X線回折図の変化によって知ることができる。
- 生成した湯の花は、初期のものと後期のものとは、成分にさしたる差は見られない。粘土の質により湯の花の色、成分も異なるが、湯の花の主成分は硫酸アルミニウム、硫酸第一鉄、第二鉄である。こ

のことはX線回折図によっても確かめられる。

(終りに、種々御指導御鞭撻を頂いた当所所長の八田秋教授及び試料採集に御便宜を受けた岡本屋旅館に厚く感謝する。なお、本研究費の一部は大分県温泉調査研究会から受けた。併せて感謝する。)

文 献

1. 瀬野：大分県温泉調査研究会報告 14号
P.19 (1963)
2. I. Iwasaki, et al ; "Geochemistry of the
Tamagawa Hot Springs" P. 7 (1963)

チロジナーゼ活性に及ぼす温泉作用の研究

第 8 報 温泉水の影響

九州大学温泉治療学研究所 野 崎 秀 俊

1 諸 言

温泉がどのような影響を生体に及ぼすか特に微量元素の生体に対する影響を調べる目的で、酵素活性を指標とし、その変化を第 1 報、第 2 報で追って来た。

第 1 報では、この酵素の活性測定法としてワールブルグ法を用いたが、初期の目的を達することは出来なかった。よって ¹⁴C を使用して得られた放射性生成物の放射能を測定し、それを酵素活性の目安とし、微量元素が活性増強的に働くことを認めた。更に第 2 報ではその測定法を改良し、データーを安定させると共に、亜鉛、コバルト、ニッケル、銅等の微量元素 8 種類について活性化定数、活性最低濃度、反応速度恒数を求め、特に亜鉛については、この酵素に対する活性増強力が非常に高いことが判明、ポリフェノールオキシダーゼの重要性から見て、温泉治療学上期待がもてることを指適した。

これら 8 種類以外の元素について尚研究を続ける必要があるが、今回はこれら微量元素など多成分含有溶液である温泉水について本酵素活性に及ぼす影響を検討したので報告する。

2 測定法

第 2 報で述べた本酵素測定法を用い、添加試料 0.5 ml を温泉水 0.5 ml とし測定した。

酵素には至適水素イオン濃度があり、pH 値の変動は、その酵素活性に可成の影響を当えることが想像されるので、当初コロジオン膜、フェロシアン銅等を用いて測定を行ない種々試みたが、これら半透膜の場合、最も動き易い水素イオンの拡散が速いので、フェロシアン銅は触媒的に働き、本反応を促進させる可能性があるため、温泉水を直接反応系に加えることとした。

本反応に用いている緩衝液の緩衝能は可成強く、本反応系に温泉水を加えた場合の水素イオン濃度は、第 1 表に結果と共に掲げた。

活性に及ぼす影響について、活性増強値の様なものを計算で求めることを考えれば良いのであるが、今回も前報同様、不溶性反応生成物(大きさ 5 μ 以上)の放射能強度で表わし蒸溜水の場合の対照値を併記した。

第 1 表 温泉水添加による放射性反応生成物量

泉名	蒸発残渣 mg / l	pH	緩衝 pH	反応性 換算値		対照
				cpm	cpm	
地 ぞ う 泉 ①	420	2.58	6.00	120.3	121.0	149.1
	940	2.15	5.50	1142.5	735.2	233.0
露天風呂 ②	940	2.15	5.50	776.5	783.2	149.1
	962	2.70	6.00	1124.5	723.5	233.0
鶴 寿 泉 ①	662	2.70	6.00	518.2	521.3	149.1
	662	2.95	6.23	170.2	109.6	233.0
紺屋(武田泉)	1212	1.90	5.15	1275.5	1071.8	178.5
原爆センター	306	7.45	6.75	189.8	159.5	178.5
海 地 獄 金 龍	3681	2.10	5.50	526.4	524.0	150.7
		7.03	6.70	322.7	306.7	157.8
鬼 山 地 獄 雷 園	5790	3.97	6.55	297.7	283.0	157.8
		5.53	6.63	258.1	245.3	157.8
芝 石	1202	3.10	6.40	645.0	637.4	151.8
血の池地獄	3390	2.60	5.97	1442.0	1424.9	151.8
龍巻地獄	3350	2.43	5.79	485.4	479.6	151.8
亀 陽 泉 筋 湯 四 の 湯	1030	7.30	6.73	204.7	225.6	136.1
		7.62	6.78	162.4	179.0	136.1
		7.70	6.75	185.1	204.0	136.1
北 弓 ヶ 浜 弓 ヶ 浜 的 ヶ 浜 上 的 ヶ 浜 弓 松 吞 日 海 門 寺 北 町 不 老	1808	7.50	6.80	2088.3	1656.1	189.1
		7.40	6.78	2678.0	2124.3	189.1
		7.23	6.72	249.8	198.1	189.1
		6.70	6.70	231.6	223.4	163.5
		6.40	6.63	243.5	213.5	163.5
		6.70	6.70	344.8	316.3	163.5
		6.33	6.59	434.9	335.2	194.6
		6.56	6.60	306.7	236.4	194.6
		6.45	6.50	202.8	156.3	194.6
		6.40	6.50	244.8	163.1	225.2
楠 柳	880	6.40	6.50	244.8	163.1	225.2
		6.60	6.65	254.6	170.1	225.2
靈 潮	1170	6.60	6.63	287.4	191.4	225.2
鶴 見 地 獄	435	6.05	6.50	163.6	164.6	149.1
乙 丸 湯 坪	777	7.12	6.70	213.0	216.5	147.6
		7.29	6.70	153.5	159.0	147.6
由 布 山 荘	563	7.65	6.78	146.9	113.7	193.8
日 石 保 養 所	806	8.10	6.85	235.5	182.3	193.8
石 松	852	8.02	6.83	152.3	117.9	193.8
岳 本	500	7.38	6.75	304.6	309.6	147.6

3 実験成績及び考察

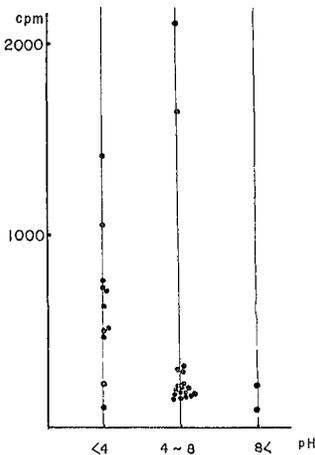
第1表にその測定値を掲げた。この使用温泉水は湯布院地区の温泉を除き、総て湧出直後のものを使用した。

換算値とは比較の為、各測定の際の対照値を基礎とし対照値を150cpmとした場合の値で計算により求めたものである。

a 泉種と反応生成物量

多数の化学成分を含む溶液、温泉は、その含有成分により種々の泉種に分類されている。これら含有成分が酵素活性に影響を与えるとするならば、泉種との間に当然、何らかの関係を見出し得るのではないかと思はれる。第1図に見られる様に重曹泉、食塩泉、単純泉

Fig. 1 泉質と反応生物量



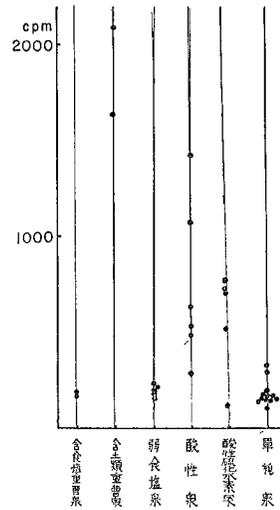
等、緩和性泉に属するものは含土類重曹泉を除き何れも低値である。唯この含土類重曹泉の2泉が共に高く今回の最高値を示したのは注目される。酵性泉は緩衝液により、可成至適水素イオン濃度近くまで緩衝されているとはいえ、或程度のハンディキャップをもちながら、割に高い活性促進能を有する。これは、他成分を溶解させ得る能力を有し、地上までの湧出過程で多く活性促進性の有効成分を含有して来る結果であろう。

b 泉質と反応生成物量

含有成分のことは一応考慮の外において、液性の違いによる影響を考えて見ると、中性域の2泉を除き高い値を示すのは pH性4以下の酸泉で前項の考察と同様であると思われる。

今回の実験で各泉質に各1泉ずつ対照値より低い値のものが出た。酸性域のものでは硫化水素含有の温泉であり、他の2泉は共に湯布院町を湧出地とするものである。

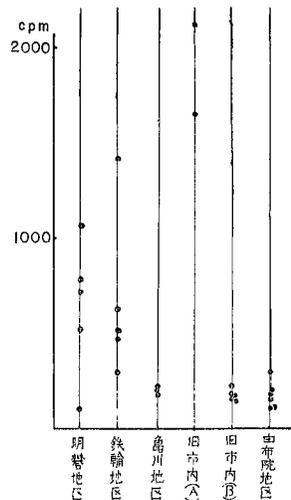
Fig. 2 泉種と反応生成物量



c 地区別に分けた場合の温泉の酵素活性に当てる影響

泉質にかかわらず、湯布院町内の温泉が同じ様な傾向を示したので、地区別にわけて考えて見た。地域的に見た場合、泉種泉質に近いものが多いので、前2項と重複する面もあるかも知れないが、明ばん、鉄輪地区は硫化水素泉の1泉を除いて高い値の出る傾向にある。旧市内(A)は北町、海門寺の線より弓ヶ浜に到る一帯。(B)は流川近辺の温泉と分けた。極く近い区域に分けるとこの酵素反応に与える影響も同じ傾向が見られる様になる。この事は泉脈等に関する温泉源の近縁性をこの様な酵素活性への影響能により、反対に証明出来るのでは無いかと考えられる。旧市内(A)地区でも、弓ヶ浜、北弓ヶ浜は略同傾向で高く、近くでものケ浜

Fig. 3 温泉湧出地と反応生成物量



上のケ浜、弓ヶ浜等是一个のグループを形成している春日、海門寺の線は幾分高い。

湯布院地区では2泉が対照値より低く、他のものは対照値より高いといってもその差は僅かである。唯岳本のみが幾分高い。

d 蒸発残渣量と反応生成物量

この関係はあまりはっきりしないが、唯単に残渣量が多いからといって、必ずしも増強能は強くない。1000mg/l 以下のものは単純泉と酸性硫化水素泉が含まれるが、前にも述べた様に後者の4泉のみが高い。

Fig. 4 蒸発残渣量と反応生成物量

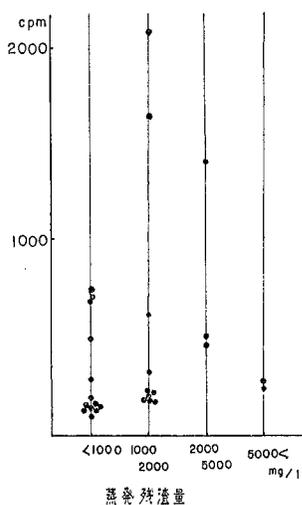
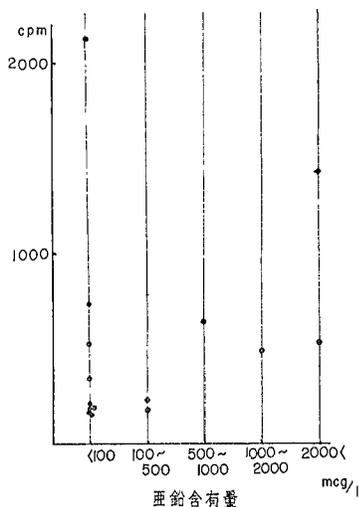


Fig. 5 亜鉛含有量と反応生成物量

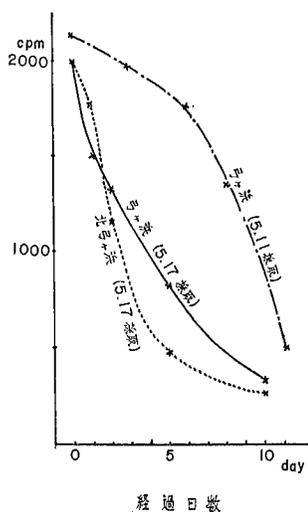


e 微量元素と反応生成物量

ここでは前報で高い値を示した亜鉛のみを選んだが

今回の実験ではとりたてた関係は見られない。多成分系においては、或るものは相加、相剋的にプラスに働くものもあり、又或るものは反対にマイナス側に働くであろうし、結局温泉の場合それらの総合的な動きとして表はされる為に、単一成分の実験で高値を示した亜鉛も、その含有量と総合的な温泉の動きは関係づけることは出来ない。

Fig. 6 温泉の老化と反応生成物量との関係



f 温泉水の老化と反応生成物量

本実験で最高値を示した重碳酸土類泉の北弓ヶ浜、弓ヶ浜の2泉について数多くの測定を行ったが、対照値の安定度に比し、変動が大きく、又更に同一採集日の温泉について目を追っての実験で、第6図に見られる様な所謂老化現象が見られた。又同一温泉でありながら採集日の違いにより、老化の状態が異なることも判明した。

この2泉は中性泉で蒸発残渣量も特別多くなく、多量の活性値増強能を有する微量元素群を含むと考えるより不安定な重碳酸塩類の働きと見る方が妥当であろうしかし保存日数がかなり経過し、肉眼的にも炭酸カルシウムの結晶が析出し、老化がかなり進行していると思われるもので非常に高い値(新鮮泉と殆んど変わらない)を示すものがあり、2ヶ月以上放置しても対照値の2倍近くのかなり高い値までしか減少しない様で一概にそれのみとも云えないかも知れない。

これら新鮮泉のデータの 변동及び老化状態の差異が測定法の不安定なことをしめしているのではないことの証明に紫外部における吸収を測定した。第7、8、9図に示す様に温泉水自身不安定であり、第7図は北弓ヶ浜泉の採集日の異なるものを同一日に吸収を測定

したもので、採集日の古いものがその順に弱い吸収を示して居るとは限らない。先にも述べた長期間保存しても活性能の減少が少ないのは3月27日採集のもので吸収曲線の方も、吸収の減少の割合が少ない。第8図第9図は北弓ヶ浜泉と弓ヶ浜泉の同一採集日のものについて順次測定を行って行ったもので、酵素活性値の増強能の減少と相関性はないが、同様に減少の傾向にある。第6図の場合も北弓ヶ浜泉の減少度は速いが、吸収曲線の場合も、北弓ヶ浜泉の方が所謂老化が速く、又大体において弓ヶ浜泉の放置5日目のものと、北弓ヶ浜新

鮮泉とは略同様な吸収を示し、弓ヶ浜泉の放置6日目は北弓ヶ浜泉の1日目と2日目の中間にあり、同じ様な減少傾向を示す。

以上の結果採集日の異なる新鮮泉の値の変動は湧出泉自体日々の変動がある為であろう。

第6図の5月11日採取の弓ヶ浜泉は17日採取の同泉のものとは異った減少傾向を示すが5月11日採取のもの吸収曲線は異状で、第7図に示す4月5日の北弓ヶ浜と同じ傾向の吸収曲線を示す。3月15日より5月20日頃迄の降雨量は第2表の通りで、4月4日~5日は雨量は

Fig. 7 北弓ヶ浜泉の紫外外部吸収

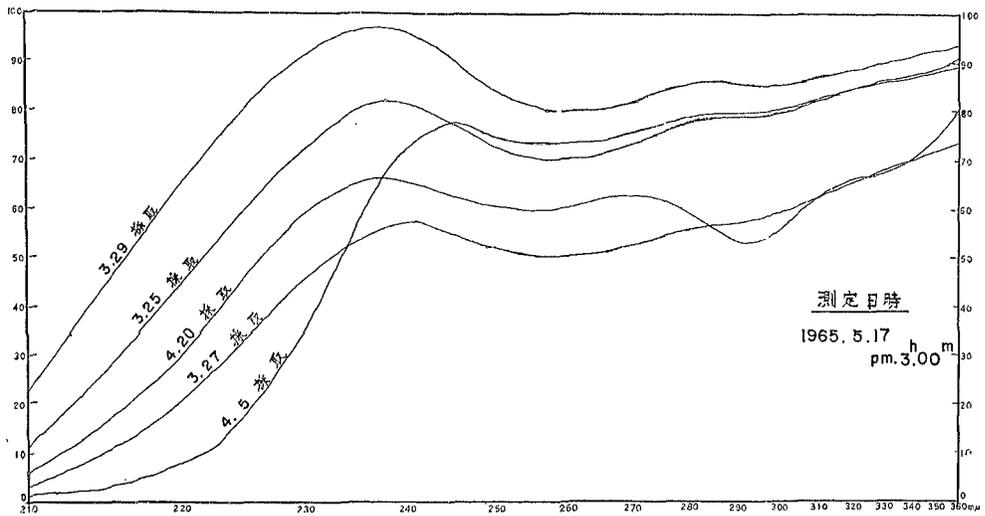


Fig. 8 北弓ヶ浜泉の紫外外部吸収の変化

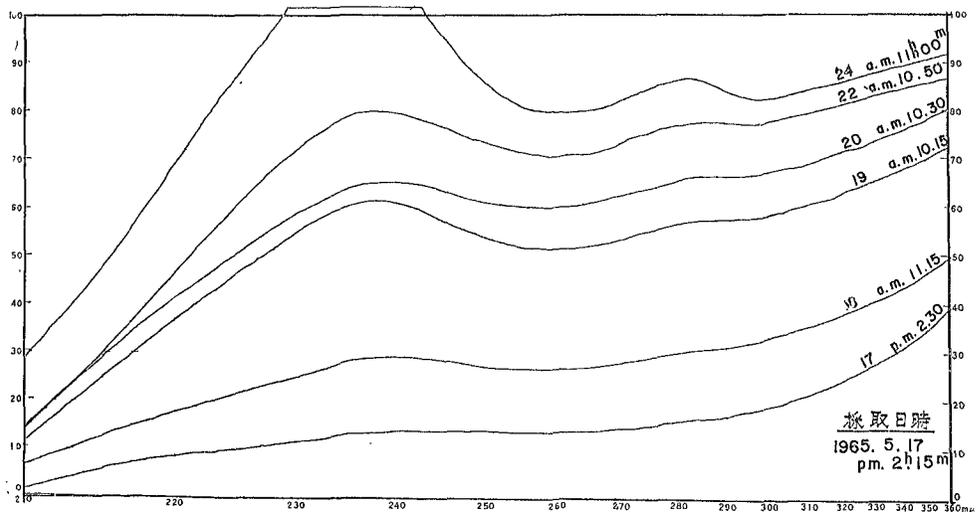
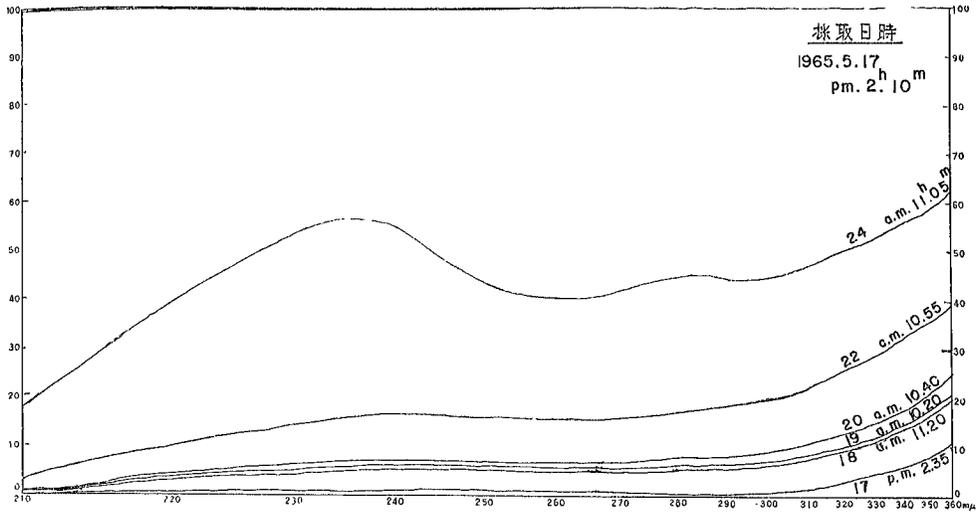


Fig. 9 弓ヶ浜泉の紫外外部吸収の変化



少ないが雨、5月10日も降雨量15mmと、共に前日雨で、この雨の影響であるとするならば、この異状吸収曲線の説明がつかないのである。

第2表 降雨月日及び降雨量

月 日	降雨量 mm	月 日	降雨量 mm
3.16	27	4.23	30
3.23	12	4.27	36
4. 1	2.5	4.29	40
4. 4	0.5	5. 2	5
4. 5	2.5	5. 3	75
4.18	52	5.10	15
4.19	8	5.14	61

同様に4月20日の北弓ヶ浜泉の吸収曲線は300mm近辺での吸収が正常のものに異なっているが18日52mm、19日8mmと可成多量の降雨の影響と見られないこともない。

酵素活性能と吸収曲線、或はそれに及ぼす降雨の影響、酵素活性能と老化の問題については後日改めて研究を行なう予定であるが、降雨がかなり速い時期に影響を当るとすることも見逃せない事実である。

§ 硫化水素及びポリチオン酸と反応生成物

明ばん地区の温泉は、硫化水素は勿論、ポリチオン酸を含んで居る。これらは還元性の強い化合物で、この酸化酵素の反応系に拮抗するものと考えられ、これらを含む温泉ではチロジナーゼ活性に抑制的な働きをするのではないかと期待していたが、結果は1泉を除き

第3表 硫化水素及び明ばん地区温泉のポリチオン酸

泉 名	H ₂ S	S ₃ O ₆	S ₂ O ₃	S ₄ O ₆	SO ₃
地ぞう泉	96.05	1.06	1.73	1.25	1.09
露天風呂	20.64	0.08	18.03	0.13	2.13
鶴寿泉	6.09	0.06	1.29	1.38	1.02

反対であった。これらの温泉は硫化水素等を含むと同時に酸性泉であり、多くの酵素活性促進的な元素を溶解し得るのであろうし、これらが硫化水素等の還元性物質の抑制力に打勝った結果であると考えれば説明がつかない。今まで単純に硫化水素泉等においては、その還元性を信じて来たが、他成分との兼合いが重要でそれを含む温泉が必ずしも還元的に働くとは限らないことが判明した。

4 結 論

- 1) 温泉水の酵素活性に及ぼす影響を調査、高い活性促進性を示す温泉、弓ヶ浜、北弓ヶ浜を発見したその他、明ばん鉄輪地区の酸性泉に高い促進を示すものが多い。
- 2) 一般的に温泉水のこれらに及ぼす影響は、泉種、泉質、蒸発残渣量等で傾向づけることは困難で、酵素活性に及ぼす力は、温泉個々の個性であると見るべきである。
- 3) 同様のことは、生体に対する影響力にもいえることであって泉種により、適応症を定めることは無意味ではないかと思う。
- 4) 同じ地域の同じ泉脈に属すると考えられる温泉は大体に於いて同じ様な傾向を示す。

- 5) 同一温泉でも採取日が異るとその活性能は異なる。
又、老化泉と新鮮泉ではその差は大となる。
- 6) 降雨による影響も見のがせない。特に採取日より
の日数が長くなるとその影響は顕著となる。
- 7) 酵素活性、紫外吸収の両面の実験の結果、大まか
な性質は変わらないが、厳密な意味で、同一の泉源か
ら同じ温泉水は湧出して居ない。酵素に対する影響
を見る場合少くともこの事は考慮に入れる必要があ
る。

主 要 文 献

- 1) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 14, 15 (1963)
- 2) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 15, 51 (1964)
- 3) 古賀昭人：温研報 9, 93 (1957)

別府海岸部における温泉の化学組成 (その2) 海水混入温泉中のCa含量

京 都 大 学 理 学 部 吉 川 恭 三
大 分 大 学 学 芸 学 部 志 賀 史 光
大 分 県 大 野 郡 三 重 中 学 校 岩 上 寿 子

1 まえがき

別府市の海に隣接した地域のうち、浜脇およびその北部埋立地一帯の温泉に海水が混入してその化学組成に逐次変化をもたらしていることは昭和21年、吉川、軽部および昭和39年著者らによって指摘されたごとく明らかである。この海水混入域内の温泉中に含まれる塩分量は場所およびくさくさ深度によってまちまちであるが、前報にのべたように塩素量と化学成分間の組成比とから非混入温泉と区別することができる。

図1 海岸部温泉水のCl⁻含有量
A-Bは0.5g/lの等Cl⁻量線

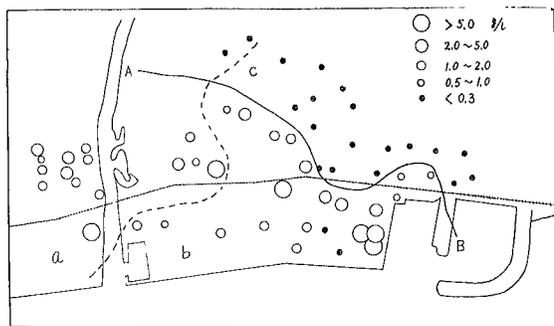


図1に示すごとく塩素量0.5g/lを境にしてA-B線をひいた場合、a地区は浜脇、b地区はその北部埋立地で共に海水混入域であり、c地区は海水混入のない温泉地域である。著者らは前報においてこの海水混入域温泉の化学組成を検討して、海水混入のない温泉(c地区内温泉)と海水との単なる混合では、a、b両地区内におけるCaの異常増加の説明がつかないので、海水混入域内においては、海水はその侵入過程でその通過経路にある岩石、土壌およびb地区内温泉との間に平衡を生じつつ変化していき、かって海水侵入の起らないときそこに存在していた温泉と平衡を保っていた地層に接触し、この地層と新たな平衡を生じようとしつつあるのが現状であり、Ca含量の異常増加は、かかる侵入海水中のNaと接触土壌中のCaとのイオン交換の結果であると推論した。ここにいう侵入海水とは

現海水とは質的に異なるもので、侵入過程でその化学組成に変化を生じているが、Cl量だけは地層を流動中に変化を受けずに保存されているものとする。

このイオン交換過程の量的説明をなすにあたり、侵入海水と混合する原温泉の化学組成は、海水混入の起る前このb地区内にあった温泉の化学組成と現存する海水混入域外の温泉(c地区内の温泉)とが類似していることなどから類推して決定した。即ち含有量を me/l であらわした場合、原温泉は平均して Cl=4.5, SO₄=1.2, HCO₃=6.5, Na=5.4, Mg=2.7, Ca=3.2, K=0.4 なる組成を有するものとした。この温泉と侵入海水とがいろいろな割合に混合して現在のa、b両地区の温泉ができたと考え、また侵入海水は本来の海水が地層中を通過するうちに質的な変化を受けてその化学組成は変化するけれどもClだけは変化を受けずに海水の548me/lを保っているものとし、a、b両地区内温泉のCl量から原温泉と上記侵入海水との混合比を求め、この比とa、b両地区内温泉の化学組成と原温泉の化学組成とから前記侵入海水の化学組成を推定し、この地区における海水侵入の経路およびイオン交換の機構と土壌との平衡について論じた。今回においてはこの推論の妥当性とCa含量からみたイオン交換機構を検討するため昭和39年7月再び同地区において試料を採取した。

2 測定

試料は前報と同じ地区の海水混入域即ちa、b両地区および海水混入のないc地区温泉合計44口より採取し京都大学地球物理学研究施設に持ち帰り分析に供した分析した成分および分析方法は前報と同じ

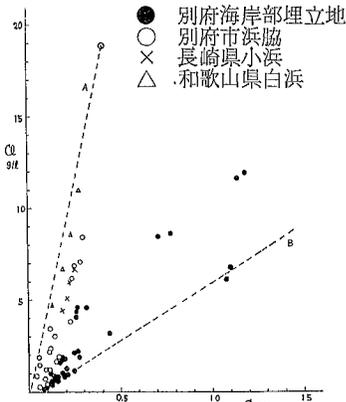
3 Ca含量

Ca含量は図2に示したようにこの海水混入域温泉群においては浜脇地区のものや埋立地一帯のものとはClに対する増加の割合がちがっている。即ち前者は海水比の線(図中A線)近くに分布しており原温泉と海水との単なる混合型を示しているが、後者はやはりCl増

表1 別府海岸部 昭和39年7月採水

No.	泉 温	pH	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Ca	Mg	SiO ₂
	°C		mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ
浜脇 6	50.0	6.53	212.5	52.0	466.7	158	19.5	58.12	35.29	160.7
10	57.2	6.65	460.0	57.5	611.2	259	36.7	98.20	59.58	185.4
46	49.2	6.70	6867.5	575.0	366.6	3515	150.0	249.30	507.80	141.4
47	48.5	6.97	752.0	77.5	505.1	421	31.5	87.37	79.53	161.8
68	46.1	6.82	1230.0	135.0	477.0	585	44.0	104.21	125.73	121.1
69	46.2	6.79	1667.5	192.5	503.3	845	54.0	144.29	162.46	135.0
107	39.2	7.10	3795.0	380.0	228.8	1780	101.0	220.44	196.99	90.0
112	40.5	7.66	1880.0	260.0	381.9	1075	44.6	52.10	104.58	107.1
119	40.2	7.73	875.0	105.0	400.2	570	30.0	30.06	46.94	125.4
123	46.1	7.21	2375.0	300.0	422.1	1200	63.5	112.22	179.97	112.5
139	39.8	7.39	1495.0	215.0	316.0	1060	35.5	50.10	62.02	124.3
149	40.5	6.74	6167.5	890.0	337.3	3290	115.0	232.46	659.07	117.9
別府 4	51.3	6.51	719.0	72.5	567.9	328	37.0	148.30	91.20	170.4
5	49.5	6.94	4302.5	640.0	394.1	2170	95.5	260.52	323.2	141.4
6	51.0	6.98	365.0	85.0	533.1	434	32.2	128.26	99.71	165.0
8	55.9	6.56	204.0	59.5	506.3	143	19.8	74.15	42.56	180.0
55	45.2	6.65	190.0	59.5	296.5	105	13.0	50.90	32.35	157.5
68	43.7	7.65	175.0	59.5	274.5	104	11.5	45.29	24.81	160.7
69	47.2	7.05	225.0	57.5	515.5	137	19.0	78.96	48.15	208.9
76	41.8	7.30	167.5	51.0	590.5	131	21.6	86.17	47.42	204.6
80	55.0	6.90	192.5	56.5	486.8	117	17.0	78.16	42.56	212.1
186	58.2	7.66	337.5	39.5	603.9	321	52.0	120.24	60.8	207.9
192	52.1	6.84	276.5	51.0	567.9	148	21.8	102.20	54.72	2.6.8
194	57.0	6.48	910.0	61.0	541.7	296	41.5	200.40	109.44	200.4
196	53.2	6.36	2277.5	305.0	465.4	1025	54.0	256.51	201.86	190.7
197	44.2	7.25	177.5	57.0	364.2	117	12.1	60.92	31.13	178.9
199	50.5	7.50	1755.0	237.5	407.5	825	43.3	166.33	177.54	176.8
203	52.0	6.42	145.0	53.0	460.6	110	13.5	72.14	37.70	178.9
1010	44.0	6.53	1482.0	86.5	361.1	358	20.0	110.22	60.80	160.7
1011	52.1	7.36	1945.0	240.0	351.4	880	57.4	264.53	153.22	153.6
1012	42.2	7.22	255.0	52.0	389.8	134	14.0	74.15	42.56	161.8
1014	53.0	6.87	8700.0	64.0	513.0	4340	213.5	771.54	567.87	135.0
1015	52.5	7.37	820.0	62.5	358.1	321	30.0	148.30	82.20	166.1
1016	52.4	7.44	397.5	57.0	416.6	168	22.0	100.20	48.64	173.6
1018	45.0	7.24	3180.0	335.0	325.7	1375	80.0	438.88	261.44	137.1
1022	46.3	7.28	1480.0	150.0	325.1	579	43.5	132.26	197.00	145.7
1023	51.0	6.70	11962.5	1475.6	236.1	5670	210.0	1189.36	974.02	123.2
1043	59.7	6.90	250.0	48.5	553.9	175	19.5	86.17	46.21	196.1
1048	49.5	7.11	185.0	53.5	471.5	125	32.5	70.14	30.40	169.3
1084	49.2	7.15	180.0	55.5	348.9	96	12.2	62.14	35.26	161.8
1088	48.4	6.68	175.0	53.0	371.5	102	13.0	62.14	35.26	160.7
1152	47.8	7.64	1125.0	100.0	391.0	307	34.2	238.48	144.70	163.9
1154	41.9	7.10	4570.0	455.0	305.6	2285	95.3	314.63	321.02	114.6
1155	44.8	7.24	4225.0	412.5	325.7	2650	86.0	246.49	308.86	124.3
1014	'65, 1月	6.68	4667.0	319.8	430.3			768.0		
1023	〃	6.70	12298.0	1594.2	216.7			1155.0		

図 2



加に対して Ca も増加する傾向を見せているけれども海水比からはかなり離れており Ca の濃縮が著しい。いずれの場合も海水が海水に比べて薄い温泉水と混合したと考えるならばこれらの温泉群は海水比を示す A 線付近に分布すべきであるが、実存するこの地区の海水混入温泉はこの線からはなれて Ca 含量の大きい方にかたよっている。このような現象は今まで既存の温泉と平衡状態に達していた地層にあらたに海水が侵入しだしたためこの侵入海水と地層との間にあらたなる平衡を生ずる過程で地層中の Ca と、Na の多い海水とがイオン交換をひき起したためであるかもしくは温泉作用などにより地層中に CaCO_3 か又は CaSO_4 の層が生じていたところにイオン強度の大きな海水の侵入が起ったためこれらの Ca 層からあらたなる溶解が生じたためか、この二者のいずれかの場合或いは二者共に起る場合が考えられる。

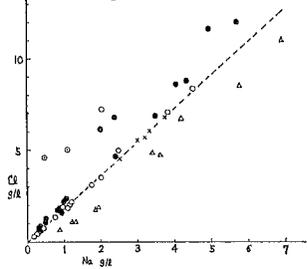
図 2 中の A 線は海水が単に希釈された場合を示す線で海水比をあらわし、B 線は原温泉中の Ca の Cl に対する比を示す線である。浜脇およびその北部埋立地区の温泉はすべて A、B 両線の間が存在しておりこの点からも海水の混入が知られる。また B 線上に乗る温泉は前報では、その温泉の保有する塩素量において Ca は溶解の限界に達していると考え、この線まで各温泉中の Ca 量はイオン交換等により増加しようとし No.1010 や No.1014 等の温泉はすでに Ca については飽和に達しており No.1023 等の温泉はまだ Ca 含量が増加しようとして推定した。

海水侵入温泉中の Ca 増加の現象は普通にみられる現象であるが特に熱海温泉で著しい。この熱海温泉ではイオン交換だけでは到底説明できないほど Ca が増大しているが、この場合は原温泉が石こう層と接してその溶解により Ca 量が増加しこれに海水が混入してイオン交換により Na の減少が起ったものとされて

いる。比較のため熱海のほか長崎県小浜温泉（昭和39年4月採水、分析）と和歌山県白浜温泉（昭和39年8月採水、分析）を図中にそれぞれ×印および△印で記入した。これらを別府の場合と比較すると別府市浜脇地区のそれは大体小浜温泉のそれと類似しており、埋立地区のものはこれと熱海温泉との中間的な状態を示している。また白浜はほとんど海水比を示す線に沿って分布しており侵入海水と地層との間に平衡が成立している状態を示している。

この Ca 増加と対比するため図 3 に Cl-Na の相関を示した。これによると別府市浜脇地区温泉群および小浜温泉群は海水を希釈した線上に並んでおり Na は Cl に対してほとんど海水比を保っているように見受けら

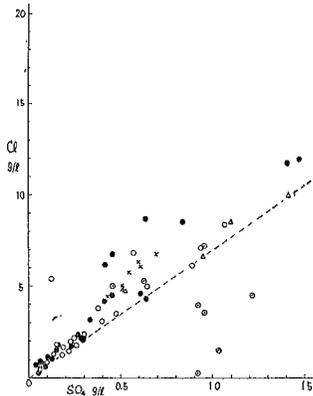
図 3



れるが実際には前報の図 2 に示したように僅かながら Na は減少しておりこれに対する Ca の増加が本報の図 2 に表われている。このように Na が Cl に対してほぼ海水比を保っているところは土壌と侵入海水との平衡が成立しているところと著者らは考えている。一方別府市埋立地区の温泉群は海水比の線より左即ち Na の減少の側にかたよっているものが多く、この偏差は Ca の増加と対応しており侵入海水中の Na と Ca とのイオン交換が進行中であることを示している。白浜温泉の場合は Ca については侵入海水とその地層との間に平衡が成立している状態を示しているが、Na については海水比よりその含有量の大きな側にかたよっているこれはこの地方の温泉は中村および吉川らによって指摘されている如く HCO_3 含有量が大き、海水と NaHCO_3 を多量に含有する原温泉との混合であるための現象といえる。

ところで No. 1023（別府市警察署）の温泉を放置すると水の蒸発に伴い CaSO_4 の結晶が析出する。このことからこの温泉中の Ca は SO_4 に対してほとんど飽和に達していることが知られ、Ca の含量に対する SO_4 量の検討が必要になるので図 4 に Cl と SO_4 との相関を示した。これによると浜脇地区および埋立地区共に海水にくらべ Cl 量に対する SO_4 量の減少が見られ、その減少率は埋立地区温泉の方が大である。このような SO_4 量の減少は他の海水混入温泉、即ち小浜温泉や白浜温

図 4

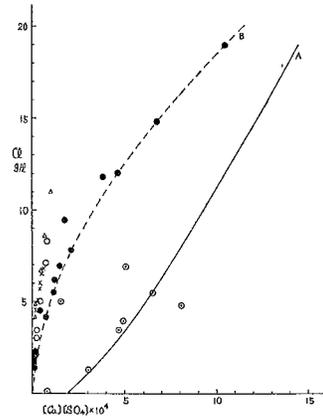


泉の場合も同様に見られるが、ただ白浜温泉の場合は海水混入比が高く塩素量の大きいところではほとんど SO_4 量の低下は起っていない。かかる SO_4 量低下の原因として微生物等有機物による還元および Ca 塩としての沈積が考えられるが、別府埋立地の場合はこの地区一帯の温泉がすでに CaSO_4 の溶解度の限界に達しているため CaSO_4 として析出したためであらう。ただ海水混入温泉のうち熱海温泉だけ SO_4 の増加が見られる温泉が存在するが、これは先にのべたごとく石こう層と温泉との接触により CaSO_4 の溶解が起ったためと考えられ熱海温泉の特徴を示している。

以上のように海水混入温泉では Ca 量の増加、 SO_4 量の減少という現象が普通に起っている。別府市浜脇地区およびその北部埋立地一帯の温泉の場合も同様であるが、この Ca 量の増加、 Na 量、 SO_4 量の減少は先にのべたごとく原温泉と海水との単なる混合では説明されない。故に前報で説明したように、海水は地層中を侵入して来ながら逐次その組成を変化させその接触土壌と平衡に達しようという傾向をもち、その進行過程で海水中の Na と地層中の Ca との間にイオン交換が起りその結果浸入海水中の Ca 量が増加しその量が殆んど極限に達したため CaSO_4 の沈殿が析出し浸入海水中の SO_4 量の減少をひき起したものであろう。このことをもっと量的に解析するため次の実験を行った。その結果を図 5 に示す。図中 A 線は実験室において別府湾の海水を適当に蒸留水にうすめ、これに CaSO_4 を投入して CaSO_4 の飽和溶液をつくりその Ca 量、 SO_4 量を測定した値から得られたもので、種々の塩素量に対する CaSO_4 の溶解積を示す線である。B 線は埋立地区内温泉で Ca 量の多い No. 1152 (高砂旅館および) No. 1023 (別府警察署) 温泉を採水直後と、放置後自然濃縮したものについて測定した値から得られた CaSO_4 の溶解積を示す線である。この測定の際は器底に CaSO_4

や CaSO_4 の沈殿が析出しており、その上澄液についての測定であるから、 Ca はすでに飽和に達してい

図 5



るものである。故にこの B 線はこの区域の温泉について CaSO_4 の溶解度の限界を示しているといえるから、この塩素量、 SO_4 量および HCO_3 量の下では Ca はこれ以上とけこむことはできない。A 線も B 線もいまのべたように Ca についての飽和溶液で測定し作成したものであるが、B 線の場合は埋立地区の温泉で、その HCO_3 量が A 線の場合より大きく、A 線は $\text{Cl} = 19 \text{ g/l}$ のとき HCO_3 は 180 mg/l であるのに対し B 線の場合は $\text{Cl} = 19 \text{ g/l}$ のとき HCO_3 は 380 mg/l である。この HCO_3 量の相違が当然 Ca の溶解度に影響し、A 線よりはずれることになり、B 線がこの地区温泉中の Ca 量の限界を示しているといえる。故に若し侵入海水が地下の石こう層に接しこれを溶解して温泉中の Ca 量をも高めるものであるならば、それが地層と平衡に達した場合は A 線上か又はその近くに並ぶことが考えられるが実際には別府海岸部の海水混入温泉で B 線の右に出るものは存在しない。その原因は先にのべた理由によるといえる。ところで別府海岸部温泉のうち埋立地区に存在する温泉は B 線上又はそれに近いところにやってくるのでこの地区のものはほとんど CaSO_4 は飽和に達しているといえるけれども浜脇地区のものは小浜、白浜等と同様に溶解度の限界に達していない。この結果から埋立地区の海水混入温泉のうち 2~3 口の温泉はその保有する HCO_3 量の下で Ca はすでに SO_4 量に対して飽和に達しており、もはやこれ以上とけこむことはできずイオン交換等により土壌から Ca の供給を受けることはできない。よって前報で考えた浸入海水中の Ca 量が No. 1023 の Cl 量 10 g/l に対して 1.7 g/l 程度と推定したが、このような状態にはなりえないことになる。終りに当り、本研究調査に当り採水、分析の労をつ

くされた大分大学々生諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 吉川恭三・軽部末藏：別府温泉の Cl 量分布の変動について、地球物理 8 卷 2～4 号 昭25.
- (2) 吉川恭三・志賀史光・岩上寿子：別府海岸部における温泉の化学組成、大分県温泉調査研究会報告 15号 昭39.
- (3) Yuhara K. : Hydrological Study of Atami Hot Springs. Mem. Coll. Science, Univ. Kyoto, 29卷 3号 1961.

別府海岸部における温泉の化学組成

(その3) 臭素とヨウ素

京都大学理学部 吉 川 恭 三

大分大学学芸学部 志 賀 史 光

大分県大野郡三重中学校 岩 上 寿 子

1、昨年度に塩素と臭素およびヨウ素の含有量の間の関係を報じたが、それがいささか予期に反した興味ある状態を示したため、これをさらに確める目的で昨年と同じく別府温泉南東部の海水混入地域とその周辺の温泉水を採水し、さらに浅層冷地下水22個の採水を行ない、塩素、臭素、ヨウ素の含有量を測定した。その結果を表1に示す。この測定値をそれぞれ、塩素対臭素、塩素対ヨウ素のグラフに画くと、いずれも前報告に示した図と同じく塩素の大きいほど臭素、ヨウ素含有量の大きくなる傾向が明らかで、これらの成分の源は温泉水中に浸入した海水にあると考えられる。

2、温泉水中の臭素やヨウ素の含有量に特に関心が払われるようになったのは、同一区域の温泉では他の成分間の比が異った水についてもこれらの量の相互の比がほぼ一定であると指摘されだしてからで、これらハロゲン元素の含有量が地層中であり変化せず水固有の性質を比較的よく保つ成分ではないかと重視されるようになった。中村らは全国各地にわたり、比較的塩分の多い温泉水のBr/Cl (含有量比) を求め、次の三つの系列に分けられることを示した。

- (1) 3.4×10^{-3} 前後のもの、(海水の混入した温泉)
- (2) 3.4×10^{-3} よりかなり大きいもの、(油田水、ガス水の混入した温泉)
- (3) $1 \sim 2.5 \times 10^{-3}$ の間にあるもの、(火山地帯、火成岩、花崗岩地帯の温泉)

各系列ともに、Clの大きいほどBrも大きくなるような一次関係を示している。海水におけるBr/Clの値は0.34%でほぼ一定とされているから、温泉水中のBr/Clの値がその塩分が海水の混入によるか火山性由来かを判定する重要な指示法であると指摘された。

しかし、この指示法のみによつて各地の温泉の塩分由来を推定するには、この比が海水の0.34%とどこまでの差で海水とみなしてよいのか、まだまだ問題が残っている。海水とほぼ同程度のCl量を持つ温泉はともかくとして普通にこのような問題がおこりやすい

0.5~5g/l程度のCl量を持つ温泉では、たといこれらの成分の大部分が海水由来であるとしても、その混入率と海水混入前の温泉水の化学組成によりこの比が変わってくることは当然で、また、前記のように一般の温泉水や火山ガス中でもこの比は0.2%前後の値をもつのが普通であり、これは比較的海水の値に近いからただこの比の値だけで海水混入の指示をすることはむづかしい。たとえば、地理的にも現海水が浸入しているとは考え難い諏訪温泉で、Cl量が200mg/l程度でBr/Clが $2.9 \sim 3.5 \times 10^{-3}$ を示している場合もある。

そのため、このBr/Clの比に加えてヨウ素の含有量が利用される場合もある。この利点は海水中のヨウ素量が非常に小さく、日本近海では0.05mg/l程度、I/Clの値が 2.6×10^{-6} であるのに対し、一般陸水中ではそれにくらべかなり大きく、温泉水や火山ガス中のI/Clはほぼ $1 \sim 10 \times 10^{-4}$ の間にあり海水とは格段の違いがあることである。しかし、これまでの各地の資料をみると、地層を流動中の保存性がIはBrやClより劣るように考えられ、また、温泉のI/Clの値が海水のそれに近い例がほとんど見当たらない。

たとえば、常磐炭田坑内水につき中村が行なった結果によると、Br、IともにClの大きいほど大きくなる一次関係を示しているが、Br/Clがほぼ海水の比と一致しているのに対し、ヨウ素含有量は海水よりも極めて高く、もしこの塩分が海水浸入によるものならば混入した海水は海洋中におけるよりも数百倍のヨウ素濃縮が行なわれていることになる。これにつき、中村は海洋底では海藻の堆積などのため表層よりヨウ素含有量の高い場合が考えられるとし、瀬野はこのI/Clの値が油田水などと同じ桁数であることから、混入海水が現海水ではなく、長く地層中に封入された化石水であろうと推定している。このような例は他の温泉でもみられ、これらを総合すると、Br/Cl、I/Clの比は温泉水の由来を推定するに有効な因子とは考えられるが、この比の値だけでこれらの考察が十分行なわれ

表1 調査温泉・地下水の Cl, Br, I 含有量、井戸番号は温泉は昭和34年総調査資料、地下水は別府市
中学校科学クラブ資料による

No.	Cl (mg/l)	Br (mg/l)	I (mg/l)	Br/Cl × 10 ³	I/Cl × 10 ⁵
温泉					
浜脇 6	212.5	0.42	0.043	1.98	20.23
10	460.0	1.58	0.039	3.43	8.47
46	6867.5	24.15	0.096	3.51	1.40
47	752.0	2.45	0.038	3.26	5.05
68	1230.0	3.81	0.040	3.10	3.25
69	1667.5	5.90	0.040	3.54	2.40
107	3795.0	12.77	0.036	3.36	0.95
112	1880.0	6.11	0.037	3.25	1.97
119	875.0	2.83	0.030	3.23	3.43
123	2375.0	8.08	0.019	3.40	0.80
139	1495.0	4.74	0.027	3.17	1.81
別府					
149	6167.5	21.32	0.073	3.46	1.18
4	719.0	2.41	0.038	3.35	5.29
5	4302.5	14.64	0.059	3.40	1.37
6	865.0	2.36	0.038	2.73	4.39
8	204.0	0.56	0.036	2.75	17.65
55	190.0	0.61	0.021	3.21	11.05
68	175.0	0.45	0.030	2.57	17.14
69	225.0	0.85	0.041	3.78	18.22
76	167.5	0.78	0.026	4.66	15.52
80	192.5	0.69	0.034	3.58	17.66
186	337.5	2.15	0.073	3.57	12.11
192	276.5	0.95	0.026	3.43	9.40
194	910.0	3.73	0.085	4.10	9.34
196	2277.5	8.04	0.071	3.53	3.12
197	177.5	0.42	0.033	2.36	21.41
199	1755.0	6.44	0.043	3.66	2.45
203	145.0	0.79	0.035	5.44	24.14
1010	482.1	1.75	0.034	3.63	7.05
1011	1945.0	6.62	0.073	3.40	3.75
1012	255.0	1.28	0.034	5.01	13.33
1014	8700.0	27.78	0.153	3.19	1.76
1015	820.0	2.75	0.050	3.35	6.10
1016	397.5	1.15	0.044	2.89	11.07
1018	3180.0	11.13	0.080	3.50	2.52
1022	1480.0	4.68	0.057	3.16	3.85
1023	11962.5	41.46	0.235	3.47	1.96
1043	250.0	0.72	0.059	2.88	23.60
1048	195.0	0.53	0.063	2.86	34.05
1084	180.0	0.75	0.050	4.17	27.78
1088	175.0	0.67	0.060	3.82	34.29
1152	1125.0	3.57	0.031	3.17	2.76
1154	4570.0	15.60	0.085	3.41	1.86
1155	4225.0	14.25	0.092	3.37	2.18

No.	Cl (mg/l)	Br (mg/l)	I (mg/l)	Br/Cl × 10 ³	I/Cl × 10 ⁵
地下水					
F 2	36.64	0.15	—	4.09	—
F 6	102.37	0.19	—	1.86	—
F13	48.25	0.16	—	3.32	—
F23	55.24	0.06	—	1.09	—
F40	44.05	0.13	—	2.95	—
F43	46.71	—	—	—	—
G 2	133.56	0.44	0.053	3.29	39.68
G 3	48.25	—	—	—	—
G 4	110.48	0.24	0.060	2.17	54.81
G 6	106.57	—	—	—	—
G 7	77.76	—	—	—	—
G 8	248.94	0.31	0.048	1.25	19.28
G 9	80.42	—	—	—	—
G13	120.97	0.10	—	0.83	—
G16	64.47	—	—	—	—
G20	68.11	0.18	—	2.64	—
G22	18.88	—	—	—	—
G25	45.31	—	—	—	—
G27	53.70	—	—	—	—
G28	48.81	—	—	—	—
G30	47.83	0.13	—	2.72	—
G33	84.19	—	—	—	—
G34	75.38	—	—	—	—
G36	68.39	—	—	—	—
G37	52.73	—	—	—	—
G40	74.40	0.21	—	2.82	—
G41	69.93	—	—	—	—
G42	142.47	0.33	0.060	2.32	42.11
G44	82.09	0.20	—	2.44	—
G46	13.29	—	—	—	—
H 2	76.22	0.23	—	3.02	—
H 7	58.18	—	—	—	—
H10	20.56	—	—	—	—
H12A	39.86	0.10	—	2.51	—
H12B	45.17	—	—	—	—
H14	360.83	0.92	0.067	2.55	18.19
H17	32.57	—	—	—	—
H18	60.42	—	—	—	—
H19	230.76	0.69	0.055	2.99	23.83
H22	118.18	0.38	0.075	3.22	63.47
H23	141.95	0.40	—	2.82	—
H24	23.78	—	—	—	—
H28A	29.37	—	—	—	—
H28B	27.97	—	—	—	—
H30	16.08	—	—	—	—

H33	15.66	—	—	—	—
H35	46.57	0.15	—	3.22	—
H39	16.76	—	—	—	—
H40	74.12	0.20	—	2.70	—

ると言う段階には至ってなく、海水混入の指示法として臭素、ヨウ素の含有量をもっと利用されるためにはまず他の立場から海水混入の明らかな温泉地でこれらハロゲン元素がどういように分布しているかを組織的に研究することが必要と考えられる。

3、別府温泉東南部の海水混入域およびその周辺にわたり昭和39年7月に採水分析した資料につき、Br/Cl I/Clを計算し、それぞれをCl含有量と対比して図1図2を画いた。

図1 Br/ClとCl含有量

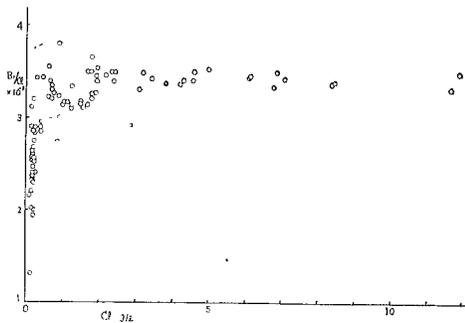
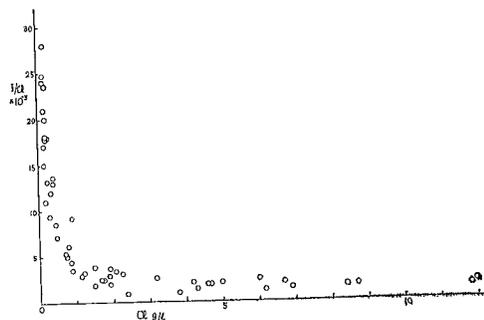


図2 I/ClとCl含有量



この地域の温泉では海水混入の割合が大体Cl含有量で表わされていると考えてよいから、それとBr/Cl、I/Clを対比したこのグラフにより、海水混入の状態によってこれらの比の値がどのように変るかを見ることが出来る。それぞれの絶対値の間の関係は昨年度の報告に示したグラフとあまり差がないから、それを参照しつつ海水混入の指示法としてのハロゲン元素間の比の値につき検討を加える。

図1、2ともにグラフは双曲線状の分布をし、海水

混入度のますほど Br/Cl は大きくほぼ 3.4×10^{-3} の海水における値に近ずき、I/Cl は小さくなって大体 1×10^{-5} 程度になる傾向を示している。この双曲線状の関係を数式で表わすと

$$\text{Br/Cl} = \frac{a}{\text{Cl}} + b$$

で、Br と I とはそれぞれ Cl との間に一次関係を持つことを示し、この式の a の値が Br の場合は負、I の場合は正で与えられる。それぞれの含有量そのままを対比したグラフでは含有量の比較的小さい範囲の点が原点近くにかたまってみにくくなりこれらハロゲン元素がほとんど海水源であるような錯覚をおこさせるに反して、このグラフでは海水混入率の少ないほどこれらの比の値が海水のそれと離れる傾向が認められる。

まず、図1の Br/Cl の関係をみると、Cl含有量 2 g/l 以上、すなわち海水混入率が約 1 割以上になると Br/Cl の値はほぼ海水比と認められる程度になり、この場合たとえば 1 孔だけの温泉水を測っても塩分起源が海水にあるとの推定が可能である。しかし、Cl量が 1 g/l、(海水混入率 5%) になると Br/Cl は 3×10^{-3} 前後となり前報で述べた別府温泉西部の沸騰泉での値とまぎらわしく必ずしも海水源とは断定し難い状態となる。さらにCl量が小さい温泉では比の値も小さくほぼ $2 \sim 3 \times 10^{-3}$ を示す。この値が他地域の火山地帯の温泉で一般に示されている値とほぼ同程度であることは注目されるが、これらについてはなお今後山岳部における高熱温泉水での測定をふやし、それが地下水でうすめられてゆく過程についての検討を進めたい

一方、図2の I/Cl の値についてはさらに興味ある結果が見出される。前報の沸騰泉では、その値はほぼ 15×10^{-5} 前後であったが、海水の直接混入しているとみられるCl含有量 0.5g/l 以上の温泉ではその比の値はそれよりかなり小さく、またCl量がそれ以下の温泉ではかなり大きくなっている。しかし、海水混入温泉での I/Cl の値も 1×10^{-5} より小さくはならず、先に記した海水での値よりかなり大きい。昭和39年7月別府湾内の沖合(海岸より約 1 km)で採水をする機会を得たが、その海水のヨウ素含有量は 0.05mg/l、I/Cl はほぼ 2.6×10^{-6} であった。一方、別府海岸で採水した海水の I/Cl は $5.7 \sim 6.6 \times 10^{-6}$ で、その間にヨウ素量が 2 倍以上濃くなっており、温泉水中に浸入した海水ではさらに約 3 倍近くにまでの濃縮が認められる。このような現象は別府だけではなく、同じく温泉中に現海水の浸入していることの明らかな小浜温泉でも、ヨウ素の含有量に 10 倍程度の濃縮が認められた。しかし、地層中に入った海水のすべての場合にこれらの濃

縮が行なわれているとは限らず、同じく海水で汚染されている白浜温泉での測定では浸入海水中のヨウ素は沿海中ではほぼ同じ値を保っていることから、このようなヨウ素含有量の濃縮の程度を用いて地層中へ海水の浸入してくる過程を推察出来る可能性が考えられる

この別府温泉での場合からみると、たとい混入海水にヨウ素の濃縮が行なわれていてもその増加量は油田水などにみられる濃縮とは桁はずれに小さい。また、一般火山岩地帯の温泉でこれまでに知られているI/Clの値とくらべても、Cl量が1g/l以上の範囲では十分区別出来るほど小さい。ただここで問題となるのは、火山地帯の高熱温泉水中におけるI/Clの値が海水源と区別出来る程度に高い値を持つことから、これを浸入海水が化石水とまでゆかなくても長期間地中に貯溜されて高温になる間にヨウ素量が濃縮されて大きくなったのではないかと云うことである。しかし、これまで油田水、ガス水などの研究では、長期間封入されていた海水ではIの非常な濃縮があると共にBrもかなり増加していることが示されており、火山地帯温泉が海水混入温泉にくらべてI/Clの大きくなっている反面、Br/Clはやや小さい場合の多いことから、これらの組成は海水から変化したものではないと推定される。

以上で、実際に海水の混入してきている温泉地周辺

での臭素、ヨウ素の状態が明らかにされたが、今後はこれら海水混入以前の温泉、とくに地熱地帯地下の高温水を中心としてこれらハロゲン元素間の関係がどう変化してゆくかをこまかく調査してゆき、温泉に対する海水源以外の元素の寄与を知りたいと考えている。

以上のような海水混入温泉での臭素、ヨウ素に関する調査は、永く本研究会理事として貢献された故瀬野錦藏教授の御示唆により始めたもので、その御指示に対し深く感謝を捧げるとともに、御冥福を心よりお祈りする。

参考文献

- 1) 吉川恭三・志賀史光・岩上寿子：別府海岸部における温泉の化学組成、本研究会報告、15号 PP.12—14.
- 2) 上野精一：温泉水中のハロゲン含有量について 1957年度地球化学討論会講演要旨集、PP.99—100
- 3) 中村久由・前田憲二郎・本邦高嶽泉の温泉地質学的意義、地質調査所月報、9巻、6号、PP.41—50.
- 4) 野口喜三雄：諏訪地方の温泉の化学的研究、温泉科学、11巻、1号、PP.1—11.
- 5) 中村久由：ふたたび常磐炭田坑内温泉水について、坑内水対策研究会報、5輯、PP.1—12.

別府市内日豊線複線化工事並びに亀の井ホテル増築工事に伴う浅層地下水の揚水が周辺温泉に及ぼす影響調査報告

山下 幸三郎

1 緒言

別府旧市内温泉における温泉水と浅層の冷地下水との間には関連のあることが、降雨影響、化学成分の分布と成分間の相関、その他多くの各種調査研究によって知られている。したがって浅層地下水の揚水は深部の温泉水層から湧出する温泉にまで影響を及ぼすことは当然予想され、既に2回の実例がある。近時ビルの建設に伴う地下水の汲上げや、浅層冷地下水の利用が増加しているが、別府旧市内の如き特異な地下構造を持つ温泉地においては、浅層地下水の変動は温泉にまで影響を及ぼす。この問題は温泉の保護対策上重要であって、温泉法にも規定はあるが、実際問題として取締りに困難な点が多い。将来法規上か、或は行政指導上十分な配慮が必要である。

今回の亀の井ホテル増築工事並びに日豊線複線化工事の場所が、旧市内では、昔時自然湧出泉のあった地帯で温泉の深度も浅く、浅層地下水と深部の温泉水との間に密接な関連のある地帯であり、又地下工事の規模も大きく、その上両者の揚水時期が一致して揚水量が多く、したがってその影響は顕著で、範囲も広く、多くの温泉の自噴が停止した。この場合の影響調査は揚水開始前に周辺温泉の現況を調査しておくか、ただちに揚水を停止して調査すれば解析が容易であるが、実際問題では揚水が始められて後、その影響が現われて、初めて注目される結果となって、影響の程度や、その範囲が判然としない。工事の途中において揚水を停止することは、工事に重大な支障を起す虞れがあったので了解が得られない。

しかし地下工事が完了すれば揚水は停止するのであるから、この時において影響の復元状態を測定し、揚水影響の大きさ、その範囲、及び、これによって引き起された温泉孔の閉止等について考察した。

2 工事概要

両者の地下工事概要は次の通りである。

国鉄日豊線複線化工事（第41ブロック、田の踏切

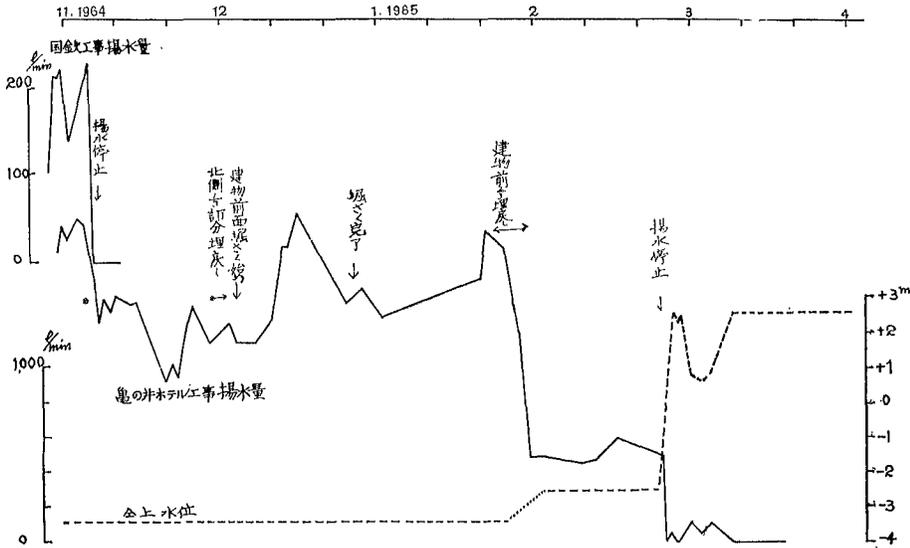
以北 180㎡)	
昭和38年9月26日	根掘始め
10月5日	揚水開始
10月20日	根掘完了（地下2m）
11月7日	揚水停止
11月19日	コンクリート打ち埋戻し完了
亀の井ホテル増築地下工事	
昭和39年9月22日	建物北側 $\frac{1}{2}$ 、（全面積 650㎡）掘さく始め
9月23日	ウエルポイント設置
9月25日	揚水開始
10月30日	北側 $\frac{1}{2}$ 掘さく完了深度7.50m
11月27日	同上地階コンクリート打完了
11月29～12月3日	同上周囲埋戻し
12月4日	建物前面 $\frac{1}{2}$ 掘さく始め
12月27日	同上掘さく完了
昭和40年1月21日	同上地階までコンクリート打完了
1月23日～28日	揚水井2口を設置し周囲を埋戻す、揚水量激減する
2月5日	ウエルポイント撤去
2月26日	揚水停止

第1図は上記工事概要と揚水量を示す。

国鉄工事は本調査を始めた時は既に1ヶ月を経過しており、工事も終了に近い時であった。揚水量は最大約 400 l/min と見積られているが、揚水停止時には 200 l/min 前後に減少していた。しかし田の湯温泉方面から下水の水が漏洩して混入していたので、揚水量の全てが地下水の汲上げであるとは言い難い。この下水の流入量は測定出来なかった。

亀の井ホテルの地下工事は国鉄の工事と殆んど同時に始められ、最初の部分の掘さく完了時には、揚水量は 2000 l/min を越える時があったが、その後この部分の工事の進展により、揚水量は一時減少した。その後残余の部分の掘さく開始により、再び増量したがこの地点

第1図 地下工事による揚水量



での湧水は前地点より少く、掘さく面積の割合に揚水量は増加しなかった。1月21日地階までのコンクリート打が完了して、2口の揚水井を残し埋戻しを行なったので、揚水量は1680mlから490mlまで激減した。この減少により周辺の浅層地下水位、並びに温泉水頭は著しい上昇を示し、停止温泉口の内再び湧出するものも出来た。その後地下の防水工事が完了し、2月26日に揚水を完全に停止した。

3 揚水影響の概況調査

別府旧市内の各所における揚水試験の結果によれば地下の各温泉水層は不透水層によって完全に遮断されているのではなく、深部の温泉水層から浅部の温泉水層に温泉水が滲出していることが示された。特に両工事箇所は前述の如き深部の温泉水と浅部地下水とは連絡があり、深部の温泉水は浅部の地下水中に流出している。したがってこの地帯では普通の冷地下水は存在しない。次表は揚水影響調査のため作られた浅井戸の水温と、これと同深度の地下温度（京大研究所における測定）である。通常の冷地下水の水温はその地の地中温度に略等しい。第1表の水温はいつでも地中温度より異状に高く、又揚水の水温も国鉄工事では26°C、亀の井ホテル工事では最高41.9°C あって、深部の高温水の流出があることは明白である。したがって浅層地下水の揚水が深部の温泉水層にまで影響を及ぼすことは当然であろう。

第2図は地下工事箇所附近における温泉口の分布と工事による揚水が開始されて以後に自噴が停止した温泉口を示す。これらの停止口は揚水開始後約2週間頃

第1表 昭40.311.調査

井戸番号	深 度	井底温度	地下温度
C 1	2.4 m	15.8°C	13.0°C
C 2	3.14	25.0	14.0
C 4	3.79	33.9	15.1
C 5	4.29	29.0	15.8
C 6	4.32	22.0	15.8
C 7	4.60	29.9	16.3
C 8	3.85	20.9	15.2
C 9	5.28	23.4	17.2
C 10	4.11	24.4	15.6

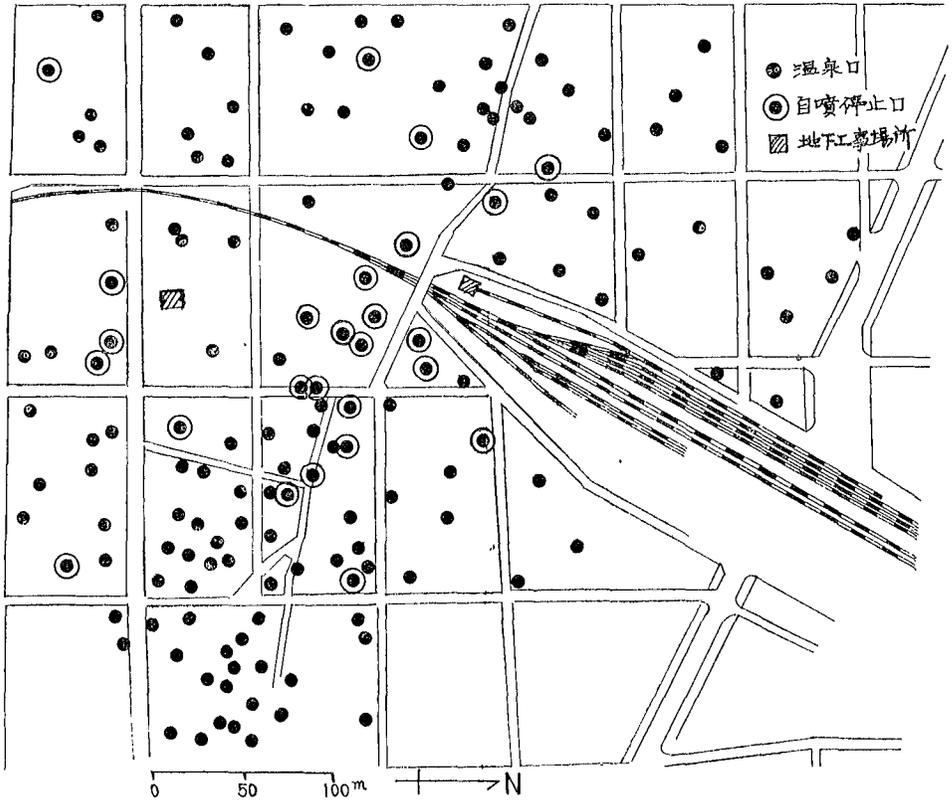
注 井戸番号は第3図参照

から停止したものが大部分で、工事もかなり進み揚水量も相当増加した時であろう。又停止口の内工事場所に近接したものは明らかに揚水影響によるものと見做されるが、かなり遠い所にもあって、揚水のみによる停止であるかどうか疑わしきものもある。鉄道線以西においては停止口が少ない。これは、この地帯の温泉水頭が地表面より低く、殆んどがポンプ揚湯を行なっているから、相当の水圧降下でも揚湯が可能であるからで、影響の度合が他の地域より著しく少ない⁴⁾ではなかろう。別府旧市内の温泉は降雨影響があり、この影響は山の手で著しく、海岸に行くにしたがって小さくなる。工事が冬期渇水期に向う時であり、湧出量も減少しつつあるからこれらが重合して停止したものもあるのではないかと思われる。この地帯は旧市内では最も温泉の優劣な地帯で、温泉掘さく後の寿命も長い。停止温泉口には古い、比較的湧出量が少なく、且つ深度の浅いものが多いことは注目すべきことである。

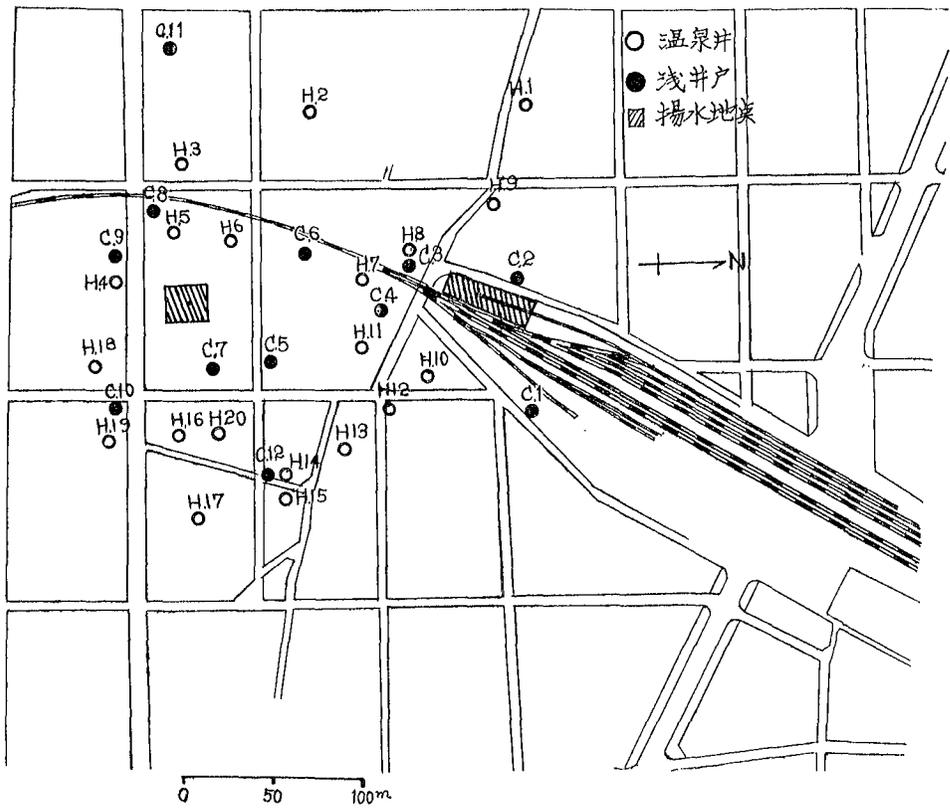
から停止したものが大部分で、工事もかなり進み揚水量も相当増加した時であろう。又停止口の内工事場所に近接したものは明らかに揚水影響によるものと見做されるが、かなり遠い所にもあって、揚水のみによる停止であるかどうか疑わしきものもある。鉄道線以西においては停止口が少ない。これは、この地帯の温泉水頭が地表面より低く、殆んどがポンプ揚湯を行なっているから、相当の水圧降下でも揚湯が可能であるからで、影響の度合が他の地域より著しく少ない⁴⁾ではなかろう。別府旧市内の温泉は降雨影響があり、この影響は山の手で著しく、海岸に行くにしたがって小さくなる。工事が冬期渇水期に向う時であり、湧出量も減少しつつあるからこれらが重合して停止したものもあるのではないかと思われる。この地帯は旧市内では最も温泉の優劣な地帯で、温泉掘さく後の寿命も長い。停止温泉口には古い、比較的湧出量が少なく、且つ深度の浅いものが多いことは注目すべきことである。

から停止したものが大部分で、工事もかなり進み揚水量も相当増加した時であろう。又停止口の内工事場所に近接したものは明らかに揚水影響によるものと見做されるが、かなり遠い所にもあって、揚水のみによる停止であるかどうか疑わしきものもある。鉄道線以西においては停止口が少ない。これは、この地帯の温泉水頭が地表面より低く、殆んどがポンプ揚湯を行なっているから、相当の水圧降下でも揚湯が可能であるからで、影響の度合が他の地域より著しく少ない⁴⁾ではなかろう。別府旧市内の温泉は降雨影響があり、この影響は山の手で著しく、海岸に行くにしたがって小さくなる。工事が冬期渇水期に向う時であり、湧出量も減少しつつあるからこれらが重合して停止したものもあるのではないかと思われる。この地帯は旧市内では最も温泉の優劣な地帯で、温泉掘さく後の寿命も長い。停止温泉口には古い、比較的湧出量が少なく、且つ深度の浅いものが多いことは注目すべきことである。

第2図
地下工事
場所周辺
温泉分布
図



第3図
観測井分
布図



4 揚水影響の実測とその結果

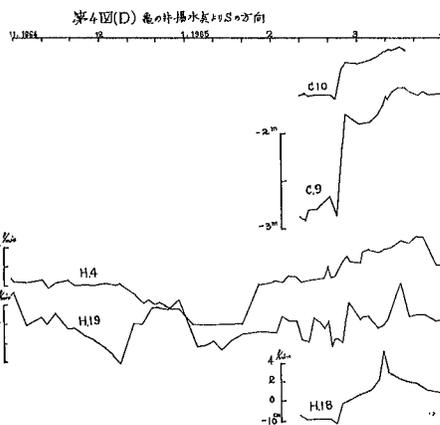
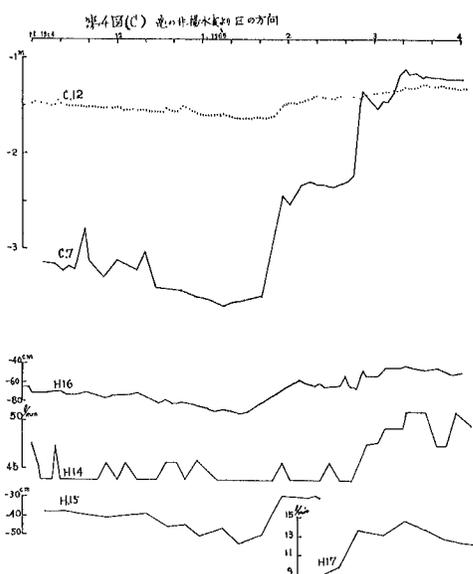
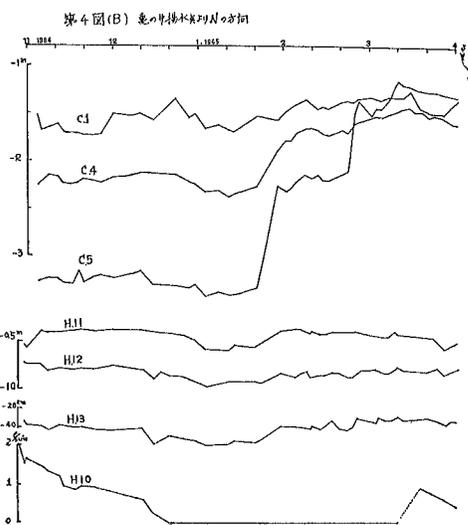
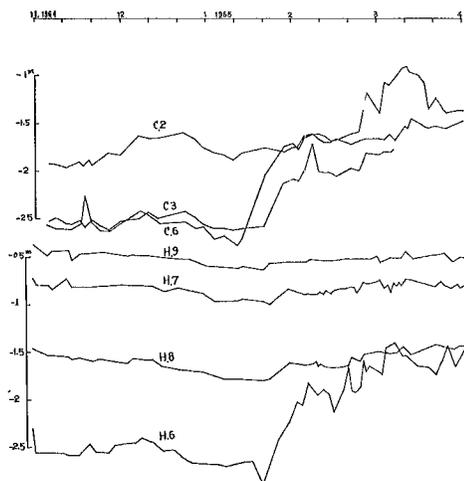
前述の如く揚水開始直前における周辺温泉の実測がなく、本調査が影響を感知してから相当期間を経て開始されたので、その間他の影響も含まれて、現況調査から直ちに数量的な決定は困難である。又揚水を一時中断して調査することも、工事に支障を起す虞れがあって実施出来なかった。しかし、地下工事が完成すれば揚水を停止し、原状に戻すのであるから、この時を待って調査することにした。この地帯は温泉口が多く又温泉水口の保護施設や、分湯の構造が測定に都合の悪いものもあって、全部の温泉口について調べることは困難であるから、揚水箇所四周の重要地点で、測定に便利な温泉を選んで測定した。

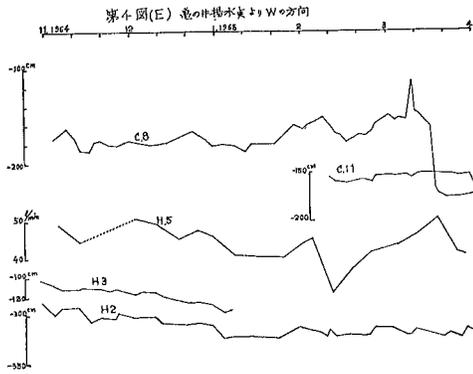
第3図は観測井の分布図である。浅層地下水についても、揚水影響を観測して温泉と比較し、その間の関係を調べるため浅井戸を作って観測した。鉄道線以西は殆んどがポンプ揚湯で、湧出口が密閉してあるため適切な観測井が得られなかった。

観測は昭和39年11月から始め、揚水停止後1ヶ月経過後までの5ヶ月間である。観測された浅井戸の水位温泉の静水頭又は湧出量の変化を図示すると、第4図の如くなる。図は浅層地下水と温泉との比較に便利のため、揚水量の多い亀の井ホテル揚水点を中心にして同一方向の浅井戸と温泉とをまとめて図示した。

国鉄工事の揚水は11月7日に停止した。その時の揚水量は 230 ℓ/min であった。この揚水の停止により周辺の浅井戸 C.1、C.2、C.3、C.4、C.6、の水位は上昇したが、C.5、C.12は変化がない。温泉は H.9、H.8、H.7、H.11 に 3 cm 以内の水面上昇が見ら

第4図 (A) 揚水点周辺観測井の水位湧出量変化 (亀の井揚水点よりNW方向)





れた。(第1図参照)

亀の井ホテル地下工事の揚水は、昭和40年1月23～28日地階までのコンクリート打が完了し、2口の揚水井を残して埋戻されたため23日の揚水量1.680ℓ/minから490ℓ/minまで激減した。この結果殆んどの観測井にその水位、水頭の顕著な上昇が見られる。又この結果停止していた温泉の内、数口が再び自噴するようになった。2月26日地下の防水工事が完了し、完全に揚水を停止した。これによる水位の復元も殆んど観測井に現われている。3月12日以降浅層地下水位や、温泉水頭が漸次降下しているものがある。これは国鉄が田の湯一流川踏切間の工事に着手したためである。両工事の揚水を停止した後の復元量を求めると、第2表の如くなる。別府旧市内温泉の揚水試験では揚水停止

後数時間以内復元するので、その間に降雨による影響気圧の影響、観測時間の違いによる周辺温泉の揚水影響等があり、これらの影響は各温泉によって幾分の相違があって、正確には求められないが、大きい影響を及ぼす多量の降雨はなく、温泉水圧の年変化では最低値に近い時期であるから、その減少の日変化も小さいと考え、これらを無視して求めた。

国鉄の工事による揚水量は調査時には既に減少していて、温度は近隣の浅井戸C.2の温度と略等しく、浅層地下水の揚水により深部高温水が多量に滲出してきたとは思われない。したがって温泉への影響も少なく、正確な数量的関係は見出せない。揚水量は最大で400ℓ/min程度と思われるが、それにしてもその影響範囲は揚水地点より約80m程度であろう。

亀の井ホテル工事は掘さく面積は広く、且つ深度も大きいので、揚水量もまた大きく、その影響の量、範囲共に大きい。

第5図は揚水地点を中心にして、東西、南北の2方向
第2表 A口鉄工事の揚水停止による復元量

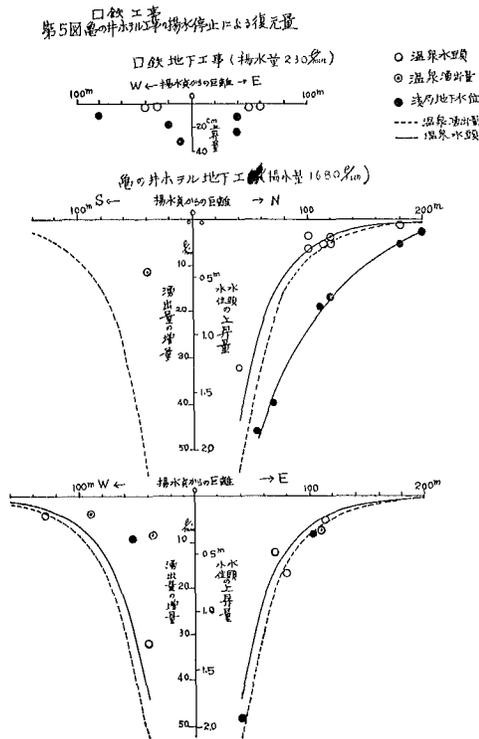
井戸番号	揚水点から の距離	水位上 昇量	温泉番号	揚水点から の距離	水頭上 昇量
C.1	40m	23cm	H.9	40m	3cm
C.2	10	33	H.8	30	3
C.3	20	17	H.7	50	3
C.4	40	10	H.11	60	3
C.6	80	10			

第2表 亀の井ホテル工事揚水停止による復元量

浅井戸 番号	揚水点から の距離	1月23～29日 揚水量の減少 による上昇量	2月26日 水揚停止に よる上昇量	温 泉 番 号	揚水点から の距離	1月23～29日 揚水量の減少 による上昇量	2月26日 揚水停止に よる上昇量	備 考
C.6	70m	105 cm	55 cm	H.6	40m	83 cm	45 cm	揚水停止後自噴
C.3	120	50	17	H.8	120	13	8	
C.2	180	14.5	8	H.7	100	9	4	
C.4	110	60.5	15	H.9	180	4	2	
C.5	56	115	68.5	H.11	100	16.5	—	
C.1	200	8	3.5	H.12	120	10.5	6.4	
C.7	40	120	78.5	H.10	140	4.5	—	
C.12	104	22	10	H.13	116	12.4	8	
C.9	44	測定なし	117	H.16	70	29.4	19.5	
C.10	70	〃	46	H.14	100	不明	7.2ℓ/min	
C.8	54	21	15.5	H.15	110	20	—	
C.11	140	測定なし	7.2	H.17	120	測定なし	2.78 〃	
				H.4	40	5.05ℓ/min	3.85 〃	
				H.19	90	2.2 〃	1.00 〃	
				H.5	36	不明	8.3 〃	
				H.2	130	11.2 cm	7.3 cm	
				H.20	80 m		78 cm	

2月に増掘工事

第5図 国鉄工事・亀の井ホテル工事の揚水停止による復元量



に分け揚水点からの距離と、揚水影響量との関係を示す。亀の井ホテルの揚水による影響量は、1月25日以降揚水の減少による影響量と、2月26日揚水停止後の回復量とを合算したものである。

浅層水への影響は東西方向が小さい。これは主として浅層地下水層の性質が、方向によって違いのあることを示すものと思われたが、工事の施行方法にも幾分関係しているようにも思う。

温泉への影響は浅層水より小さいのは当然であるが両者の量的関係は一樣でなく、方向によっても違いがあり、特に東方ではその差が非常に小さい。この地域の温泉の穿堀深度は旧市内では最も浅く、30m~60m程度である。揚水影響は浅いものに大きく、深いほど小さいであろうが、深度に大きい違いがなければ殆んど同一層と見做される。しかしH.5温泉は揚水地点に最も近い温泉であるが、その深度は他の温泉のH.6温泉に比較して非常に大きく、自噴は停止しなかった。

筆者は別府旧市内の各所における揚水試験の結果、温泉口の密集度と揚水影響との間には密接な関係があり、又前述の如き、地下の温泉水層間に交流のあることも関係する。このような特異な湧出機構を持つ温泉水層で揚水を行なった場合、周辺温泉の湧出量の減少

量或は水圧の降下量は、定常状態において、次式で表わされた。

$$\Delta q_r = Q \frac{K_0 \left(\sqrt{\frac{b}{T}} \cdot r \right)}{K_0 \left(\sqrt{\frac{b}{T}} \cdot r_w \right)} \dots\dots\dots(1)$$

$$s = \frac{Q}{2\pi T} K_0 \left(\sqrt{\frac{b}{T}} \cdot r \right) \dots\dots\dots(2)$$

ここに Δq_r は揚水井より r の距離にある温泉の湧出量の減少量 Q は揚水量、 $K_0(x)$ は第2種零階の変形されたBessel函数、 b は温泉水層からの滲出に係する系数、 T は透透量系数、 r_w は温泉口の半径(旧市内の平均0.023m)、 s は温泉井の水位の降下量である。旧市内での実測では

$$\frac{b}{T} = 1.20N + 2.84 \times 10^{-4} \frac{N}{T} \dots\dots\dots(3)$$

ここに N は揚水影響を受ける範囲内にある自噴温泉の密集度である。

亀の井ホテル周辺での実測では

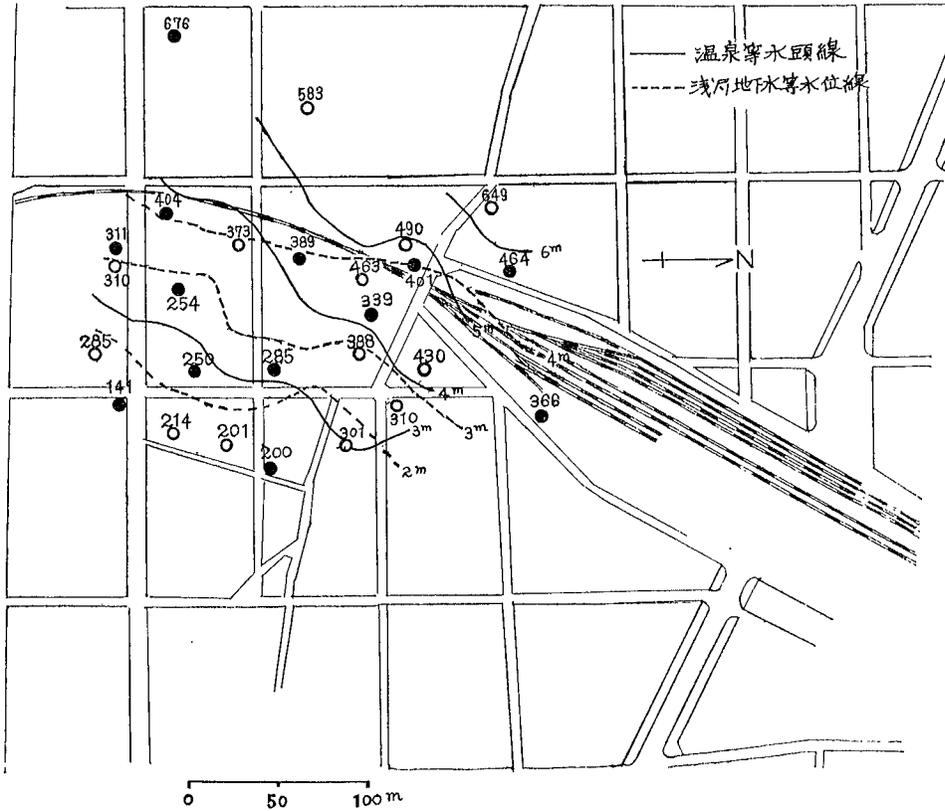
$$\frac{b}{T} = 1.36 \times 10^{-3} \dots\dots\dots(4)$$

地下工事による揚水は浅層地下水からであって、温泉への影響は浅層地下水の水位降下が深部温泉水の浅層への滲出を増加させ、したがって、温泉水圧の降下或は温泉湧出量を減少させると考えられる。しかし実測結果によれば、両者間には明確な量的関係は見出せない。一方揚水水温は周辺浅層水の水温より異状に高い。これらのことから、揚水地点における浅層地下水の水位降下は、深部高温水の滲出を増加させ、深部温泉水からの揚水と同様な効果によって影響を及ぼしたと考えられる。しかし実際は両者の重畳であろうが後者の原因が主要であると思われる。このような機構での影響であるとするならば、上記の(1)(2)式の適用が可能であり、一応この方法による揚水影響の量的関係を求めて、その結果を検討することにした。

実測揚水量は(1)、(2)式式の Q とは異なり、浅層地下水と、揚水による深部高温水の増加との混合であるから、実測揚水量中の両者の混合割合を求めなければならない。

浅層地下水の水温として、周辺観測井の平均水温24°C、深部高温水の温度は周辺温泉の平均的な泉温として55°Cを採用し、揚水量は響響量を調べた直前の揚水量、即ち1月25の実測揚水量1680 l/min及び水温41.9°Cとから混合比を求めると、高温水と、浅層地下水との割合は、0.58 : 0.42となる。したがって(1)、(2)式に採用する $Q = 970$ l/min、又(2)式に適合する $\frac{b}{T}$ を

第6図 浅層地下水位並びに温泉水頭分布図



実測値から求めると、

$$\frac{b}{T} = 0.6 \times 10^{-3}$$

故に $s = \frac{Q}{240} K_o \left(\sqrt{6 \times 10^{-4} \cdot r} \right) \dots\dots(5)$

$$\Delta q_r = Q \frac{K_o \left(\sqrt{6 \times 10^{-4} \cdot r} \right)}{K_o \left(\sqrt{6 \times 10^{-4} \cdot r_w} \right)} \dots\dots(6)$$

(5)(6)式からs、 Δq_r を求めると次表の如くなる。

第3表 亀の井ホテル地下工事による揚水影響 (揚水量1.680 l/min)

揚水か点らの距離	40m	60m	80m	100m	20m	140m	160m	180m	200m
s (m)	1.75	0.89	0.48	0.26	0.15	0.08	0.05	0.03	0.02
Δq_r (l/min)	55.3	29.2	15.3	8.6	4.8	2.7	1.6	0.9	0.5

上記計算の結果を実測値と比較すると、揚水地点より北及び東の方向では両者は略一致するが、南方では実測値の方が小さい。浅層地下水にも同様な傾向が見られる。揚水地点は主要湧出地帯の南の端に近い所であって、地下工事の北側の部分では、深部からの混泉の滲出が多く南側では少ないからであろう。事実北側の部分の地下掘きくが終った。10月末には、2.000 l/min以上の湧水があったが南側では北側の約1.200 l/minを含めて1.800 l/min程度であった。したがって上記揚水影響の相違は、地下水層の構造の違いによるものと思われる。北側の部分の掘きく完了時が、揚水量最も

多く2.340 l/min程度であり、その当時の影響は第3表に示す数値より15%程度大きかったと思われる。

滲出に関する係数b/Tは以前の実測値に比較して可成小さい値である。以前の調査時(昭和24年)には周辺温泉は殆んどが自噴井であったが、その後の新温泉の増加や採取量の増加により温泉水圧が漸次低下し、自噴井は減少しつつあり、尚今回の工事の揚水により多数の自噴井が停止したため、(3)式のNは以前の値は $\frac{1}{2}$ 程度にまで激減していることが、両測定値間に大きい違いのある主要な原因であると思う。

5 揚水停止後復元しない温泉の原因について

浅層地下水の流動状態の変化は深部の温泉水にまで影響を及ぼすから地下工事による地下埋設物の設置が浅層地下水の流動に大きな変化を起させた場合、この影響は温泉にまで及ぶことになる。第6図は揚水停止後の工事地点附近の浅層地下水位及び温泉の静上水頭の分布である。温泉の静上水頭は浅層地下水位より約2m高い。この分布を1960年測定した結果と比較すると測定が粗いため詳細な比較は出来ないが略同じで傾向を示し著しき流動の変更は認め難い。しかし将来ビルの建設が盛んになって多くのビルが建設されるとその影響は無視出来なくなるであろう。

終りに本調査の観測に協力された大分県庁業務温泉課、大分県別府保健所、温泉所有者の諸氏に厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 野満、池田、瀬野、別府温泉涵養源としての雨量
地球物理, 2, 2, 1938

- | | |
|-----------|---|
| 吉川 | 化学二成分より見たる別府市街地温泉の水素 |
| (2) 山下 | 大分県温泉調査研究会報告 2号1951
別府温泉湧出量の相互影響調査
同 上 8号, 1957 |
| (3) 瀬野、山下 | 別府温泉における湧出量の相互関係
について
大分県温泉調査研究会 2号, 1950
温泉湧出量の相互影響調査
同 上 9号, 1958 |
| (4) 瀬野 | 別府市街地温泉に及ぼす降雨影響分布地
球 物 理, 2, 2, 1938 |
| (5) 山下 | 自噴井群中における揚水の影響について
大分県温泉調査研究会報告, 12号, 1961 |
| (6) 吉川 | 別府市街地温泉の静上水頭調査
同 上 12号, 1961 |

別府旧市内温泉のLi⁺量の分布と水系について

山下幸三郎

1 緒言

別府温泉において高温熱水を噴出する沸騰泉は何れも食塩泉あり、その組成は海水と似た点があるが、沸騰泉水中のLi⁺は非常に多く、Li/Naは海水の約300倍にも達する¹⁾。このような特長はWhite²⁾も示摘しており、又ニージランドにおける沸騰泉水も同様な特性を持っている³⁾。このような特性は地下の高温熱水の一般的性質であると思われ、したがって温泉水中のLi⁺の追跡は地下の温泉源や水系を探究する上に有力な手がかりが得られるであろう。

別府旧市内温泉の化学的研究は既に多くの研究が報告されているが、今回はLi⁺量の分布や他のアルカリ金属イオンであるNa⁺K⁺等との相関関係からこの地域の温泉群の水系について考察した。

2 分析方法

旧市内には約800口の温泉があり全部の測定は困難であるから、この内約192口を選んで測定した。山の手には沸騰泉がありLi⁺量が多く重要であるからこれらはすべて分析した。

分析は蛍光法を用い、測定範囲を0.5~5 mg/lとしたので、これ以下のものは濃縮し又Na⁺が多い場合はこれの妨害があるので、南部海岸のNa⁺が多く、Li⁺の少い温泉では塩化アルカリ総量からイソアミルアルコールでLiClを分離、溶出して求めた。この分析と同時にLiと関連のあるとみられるNa、K、Clイオンの分析を行った。Na⁺、K⁺は蛍光法、Cl⁻はモール法を用いた。

3 Li⁺、Na⁺、K⁺、Cl⁻間の相関

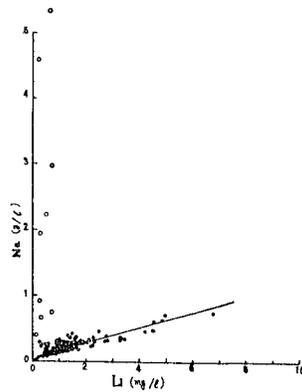
別府における沸騰泉ではLi⁺と、他の陽イオンの主要成分であるNa⁺、K⁺間には相関関係があるから、地域的な分布状態を調べるに先だちこの地域の全温泉についてこれらイオン間の関係について調べた。第1図はLiとNaの関係を示す。図で明らかなよう大部分の温泉については両者間に一次関係が見られる。Liの最も多いものは西部山の手にある沸騰泉で最大6.8 mg/lである。

一方Na⁺が増加してもLi⁺は増加しない温泉があるこれらの温泉は南部海岸及び浜脇にあり、両者のNa源は明らかに別系統のものであることを示している。大部分の温泉ではLi⁺Na⁺間に略一次関が成立し、しかも両者の最も多いものは高温な沸騰泉である。した

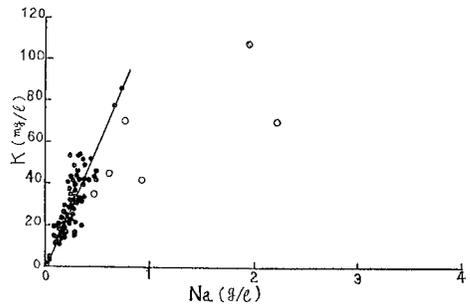
がってこれらの温泉の両イオンの起源は地下の高温熱水によると思われる。一方Na⁺が多くLi⁺の少ない温泉は、Na⁺が多くLi⁺の少ない水系の混入が考えられ、このような水系として海水が考えられる。(別府での海水Li⁺量0.16 mg/l)

別府の沸騰泉のLi/Naは5.0~7.5×10⁻³であるが、

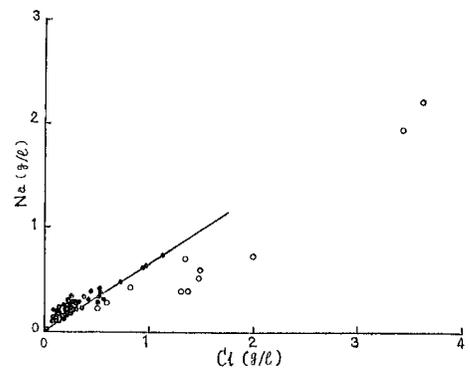
第1図 NaとLiとの関係



第2図 NaとKとの関係



第3図 NaとClとの関係



この地域の沸騰泉では 8.9×10^{-3} で他地域より幾分 Li^+ が多い。又冷地下水は Na 、 Li 共に少なく、その比も亦小さい。この地域の温泉が上記の如く一次関係が成立することからこれらの温泉は沸騰泉の如き地下の高熱水と冷地下水の混合されたものと思われる。

Na^+ と K^+ の関係は第 2 図の如く Na^+ と Li^+ との関係と同様に一次関係が成立する。この場合も前記 Na^+ が多く Li^+ の少ない温泉はこの関係から離れ、別系統であることを示している。両者の比 K/Na は 0.12 とな

り、これも亦沸騰泉の値に略等しい。

Na とこれに対応する主要な陰イオンである Cl^- との関係を調べてみると、第 3 図の如く、大部分の温泉では Na^+ は Cl^- に対して当量比が 1 かそれ以上に多い。前記の Li が少なく Na の多い温泉では海水における両者の重量比 (Na/Cl) である 0.54 に近い値を示し、この関係においても両者の Na 源、 Cl 源の異なることを示している。

4 Li^+ 量の分布

第 4 図 別府旧市内温泉の Li^+ 量 mg/ℓ の分布



旧市内温泉の化学成分は採湯層の深浅により違いがある。しかし狭い範囲では一般的にはそう大きな違いはないが全般的な分布状態を調べる場合この点を十分考慮する必要がある。第 4 図は Li^+ 量の分布であるが

等 Li^+ 量線に大きな屈曲のあるところが見られるが、これは上記理由によるものと思う。

しかし全般的に見ると西部の沸騰泉のある地帯が多く、東部に行くにしたがって少なくなる。その中で 2

条の特異な分布状態を示している地帯がある。その一つは中央部において略東南に亘る帯状のLi⁺量の少ない地帯がある。この地帯は「田の湯温泉脈」と称せられる地帯で、昔時自然湧出泉のあったところで、旧市内では温泉口が最も密集して、湧出量も豊富な地帯であり、旧市内温泉の主要なSourceと見られている。したがって温泉の掘さく深度は最も浅く、浅層冷地下水との交流が密であると考えられ、上記Na-Liの関係から冷地下水の最も多く混入している地帯であると思われる。

この地帯の北側に、この分布状態と対照的にLa⁺量の多い帯状の地帯がある。この地帯の西部には沸騰泉があり、La⁺量最も多く、東部に行くにしたがって少なくなっている。この地帯は又「海門寺温泉脈」と称せられる地帯である。鉄道線以外西は過去において開発が進んでなかったため、その様相が明らかでなかったが、その後の開発によりその様相が一層明瞭になった。

このようにLi⁺の分布は温泉脈の存在を明示し、又地下水の混入状態をも示している。

南部海岸部及浜脇にはLi⁺量の少ない温泉がある。この地帯は既に海水の侵入のあることが多くの研究結果から認められるといところであり、Li⁺量からも明瞭にこのことを示している。

Na⁺、K⁺、Cl⁻量の分布は上記のこれらのイオン間の相関関係からLi⁺量の分布と同じ分布状態を示すことは明らかである。ただ南部海岸及び浜脇に於ては海水の侵入があるからLi⁺量は少ないが、他の3イオン量はいずれも多量に含まれている。

5 旧市内温泉の水系と混入比

以上の結果を総合すれば別府市内の温泉は西部山の手にある沸騰泉に見られる如き、高温熱水が東部に向かって流下と共に、冷地下水が混入して湧出していると考えられ、又南部海岸部から浜脇に亘る温泉には海水の混入がある。上記成分間に一次関係が成立し、沸騰泉水の如き高温熱水と冷地下水の混合したものであれば、旧市内温泉の全体の両者の混合割合を求めることが出来る。熱水の成分は西部の沸騰泉の平均値を用い冷地下水は西部山の手において測定された値である。

第1表 各水系の成分量と温度

水 系	Ti (mg/l)	Na (mg/l)	Cl (mg/l)	泉温 (°C)
源 温 泉 水	5.1	618	900	180
冷 地 下 水	0.02	7	10	18
旧市内温泉の平均値	1.12	197	188	52*

* 1959年に調査した平均値

第1表に示した成分量から源温泉水量を求めると第2表の如き値が得られた。

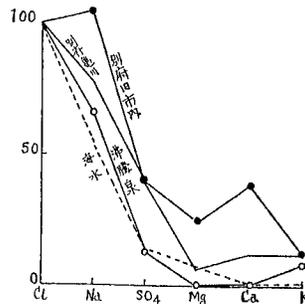
第2表 源温泉水量

成 分	Li	Na	Cl	泉温	降雨影響か ⁶⁾ ら求めた値
源温泉水量	22%	31%	20%	21%	55%

求められた値はNaからのものが最も多く、他は略小さい値を示した。泉温からの推算では、採湯層の泉温を用いなければならないが、第1表の値は湧出口か、元箱の泉温で湧出途中の冷却があるから一層正確な値はこれより大きいであろう。湧出途中の冷却を5°C程度と仮定すれば3%程度多くなる。地層中を流動する間の冷却もあると考えられるが、最も保存的であると考えられている。Cl⁻やLi⁺からの推算と略一致することは興味あることであり、これには尚多くの問題点があって、地中温度の分布や地層の熱導率等が明らかになれば解明されるであろう。

旧市内温泉のNa/Cl(重量比)の平均値は1より大きく、沸騰泉水では0.68となり沸騰泉水と冷地下水の単なる混合とは考えられない。KとNaの関係から明らかになるように温泉水中のK/ClはNa/Clの増加と共に減少するような傾向は見られず、又他の陽イオンは第5図の如く、沸騰泉水中には極めて少ないからこれ

第5図 別府温泉の化学成分の組成



らのイオン交換による増加ではないと思われる。これらの関係を調べるには負イオンとの関係も検討しなければならないが、鶴水園地域の温泉について調べた結果⁶⁾Clに比してNaが多い場合、一般にCa²⁺、Mg²⁺も多く、又これらはHCO³⁻と関連のあることから、Na⁺の増加は流出の途中における溶出であると推察される。

野満らは旧市内温泉の降雨による湧出量年変化の統計的研究から両者の相関関係を求め、降雨によらない温泉湧出量を岩漿起源の温泉水と見做し、その量的関係⁷⁾を求め55%が岩漿起源の温泉水であるとの結論を得た

この値は今回の化学成分から求めた値に比して非常に大きい値である。しかし降雨が如何なる作用機構によって湧出量に変動をあたえるか、又その混入の経路が十分解明されてないので、降雨によらない温泉湧出量がすべて岩漿起源であるとするのが妥当であるか疑問であり、又沸騰泉水でも、すべて岩漿起源であるとは言い難い。EllisらはニュージーランドのWairakei地域の沸騰泉水中の塩化物の量からこの中の岩漿水は10%以下₁₎であろうと推定している。

湯原は大分県九重町大岳地熱地帯における地下高温熱水は地下水が地熱によって蒸発濃縮されたものと推定している。しかしこの地帯の沸騰泉水中のLi/Naは 5.3×10^{-3} 程度で、地下水の $1 \sim 2 \times 10^{-3}$ と比較して非常に大きく、又火成岩の 1.15×10^{-3} と比較しても4倍以上の大きさであるから蒸発濃縮によってLiがNaに比して濃縮されるか如何は尚疑問の点がある。最近別府の噴気地帯のボーリングにより地下深部の蒸気層或は高温熱水層において80m~40mに及ぶCaCO₃、SiO₂等の沈澱層のあることが見出され、又これらの層の上部の層からは強勢な噴気は得られてない。このような事実からすれば、地下の高温熱水は蒸発濃縮が行われていると考えられるが、この熱水がすべて地下水起源のものであるかどうかは尚断定し難い。この問題は温泉の起源を探究する上に重要な問題であって高温高圧下における熱水中のLi⁺の動向についての物理化学的研究はこの問題の解明に有力な手がかりが得られるであろう。

終りにこの調査の採水、分析に協力した森忠敬、甲斐靖朗の両氏に厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 別府における沸騰泉水の化学成分の特性
第17回日本温泉科学会大会講演 昭和39年
- (2) D.E. White, Thermal water of Volcanic Origin
Bull, Geol, Soc. Amer, 68, 1957.
- (3) A. J. Ellis and S.H. Wilson,
The Geochemistry of Alkali Metal Ions in the Wairakei Hydrothermal System,
N. Z, Jour. Geol and Geoph. 1960
- (4) 野満、山下 別府旧市内の地中温度分布と温泉脈
地球物理, 2, 3, 1938
- (5) (4)と同じ
- (6) 佐藤、矢野 別府市内温泉現況調査
大分県温泉調査研究会報告 第14号, 1963.
- (7) 野満、池田、瀬野 別府温泉涵養源としての雨量
地球物理 2, 1, 1938.
- (8) 山下 別府市鶴水園附近温泉のCl⁻量について
大分県温泉調査研究会報告 14号 1963.
- (9) (6)と同じ
- (10) (8)と同じ
- (11) 湯原、古賀 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 12号, 1961.

別府市紺屋地獄周辺温泉調査報告

山下 幸三郎
古賀 昭人

1 緒言

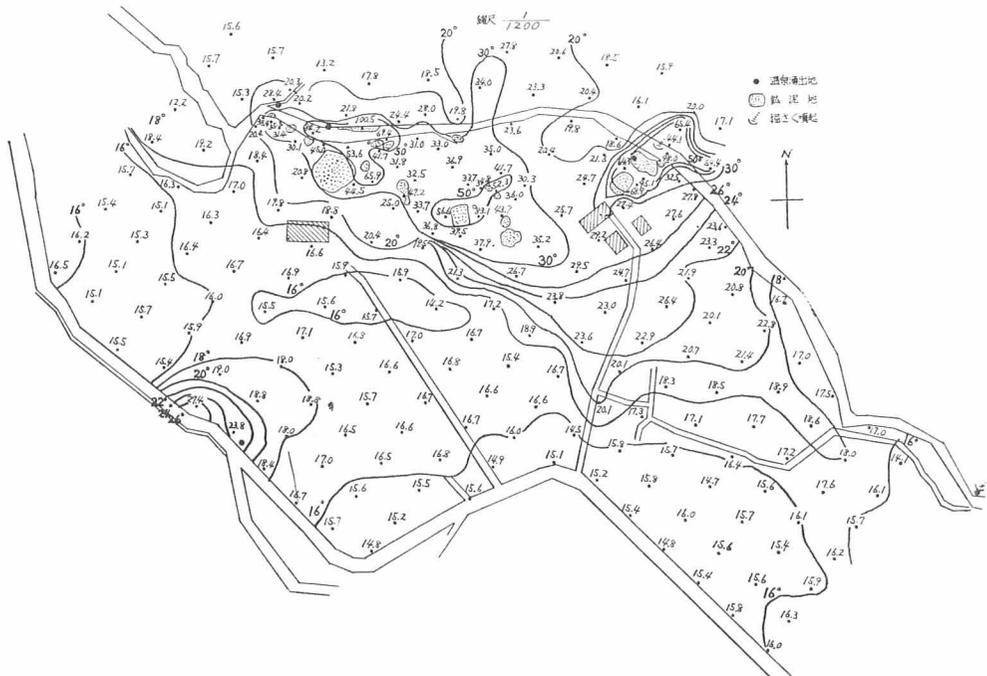
紺屋地獄附近は自然噴気、鈹泥池(坊主地獄)、自然湧出泉等がある高温な地熱地帯で、末だ開発は進んでなく、自然状態のままにあると云ってよい。このような地帯における開発が自然状態の鈹泥池、自然噴気或は温泉に如何なる影響を及ぼすかは将来の開発計画を考える上に重要な問題であるが、実際問題として、噴気相互間の影響についての詳細な研究は実行に困難が伴い、また多額の費用と日時を要するので、この方面の詳細な研究資料は殆んどないと云ってもよい。したがって、このような研究の基礎資料になると思われる、地熱地帯の現況、即ち地熱地帯の範囲、温泉分布、その熱勢力、地熱地帯における噴気と温泉水の関係等について調査することを、六分県温泉調査研究会で決定し、筆者がこの調査を行なった。調査には種々な方法があるであらうが、費用や実施日時に制約があり、したがって観測器材の整備や、観測期間の関係から1、地温の地理的分

布、2、浅層地下水面の調査、3、浅層地下水の温度並に化学成分の調査、4、比抵抗法による電氣的地下探査、5、放射能探査等を行なった。

2 地温分布について

地下の熱源による地温異状を調べるには出来得る限り地下探部まで測定することが望しいが、日時や費用の関係から、一般に地温探査に採用されている地下1mの地温と、浅層地下水調査のために作られた地下2mの井戸について測定した。測定は昭和39年4月28日～5月3日亘り、その間の経日変化を補正した地温の水平分布は、第1図の如くなる。図を見ると鈹泥池のある地域を含み、川に添った帯状の高温地帯がある。この高温地帯の存在は現状の視察から略予想された。鈴木¹⁾氏の地質学的調査から明礬～鉄輪～上人ヶ鼻に亘る温泉脈の存在が指摘されているが、この高温地帯はその線上にある。又調査地域南部略中央、県道側にも高温地

第1図 紺屋地獄附近地温分布図 地下1m 昭和39.4.28～5.3調査



帯があって、この中には泉温 33.6°C 、湧出量 70 l/min の温泉が湧出している。

地下の高温熱源による異状地温の範囲を決定するには、この地の測定期日における正常地温を知らなければならないが、調査地の実測値がないから、京大研究所内における実測地温から推定した。

地温は地高と関係がある。測定地は海拔 270 m の所であり、京大研究所観測地より 190 m の高所にあるから、これらによる補正をしなければならない。地中温度の変化を表わす理論式は次式で表わされる。

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

上式で θ は地中温度、 θ_0 は地温不易層の温度、 A は定数、 Z は地下の深さ、 ℓ は土地の温度伝導率、変化周期に関係する定数、 T は変化週期、 t は時間である。

上式で地高に關係するものは主として θ_0 である。大分地方気象台と九重町飯田観測所で測定され地中温度の比較から、変化が地高に比例すると仮定すると、地高が 100 m 高くなる毎に θ_0 は 0.46° 低くなる。しかし地下 1 m の地温には地高の外日射の長短、地形、地被の状態等も關係するので正確な決定はむつかしいが、現地に於ける実測値、京大研究所の実測(18.。1)に地高の補正をした値とから調査地の正常地温は $16.5\sim 17.2^{\circ}\text{C}$ と推定せられる。

地下 2 m の地温分布(第2図)は 1 m と略同様であるが、地温異常地域の南縁が幾分拡っている。(地下 2 m の正常地温 14.4°C) 鉾泥池内の地下 2 m の温度は沸騰点以下であった。したがって鉾泥の吹上げは主として水蒸気以外の火山ガスによるものと思われる。

第2図 紺屋地獄附近地温分布図 地下 2 m . 昭和39.5調査



3 浅層地下水の調査

調査地城の温泉は伊予鉄道所有の噴気(深度 110 m)以外は自然湧出泉で、鉾泥池の水は降雨と密接な関係が見られるから、高温地帯の浅層高温水の生成機構、流動状態を調べるため調査地域内に適当な間隔を置いて36ヶ所に地下 2 m 以上の浅井戸を作り、水温、水位を測定した。

第3図は井戸分布、第4図は地下水水面図である。浅層地下水水面は西部で高く東部に行くに従って低くなり、地高と略平行である。この地下水水面図と第1図の地温

分布とから、西部の冷地下水は東方に向かって流下し、高温地帯に流入している。高温地帯では地下深部から高温水の全般的な湧出は見られない。高温地帯の地層は熱水によって変質された粘土層であるから、地下水の流動は非常に悪いと推察される。県道側の高温地帯では温泉水の流出があるような地温分布を示しているが、地下水水面図では観測点の不備によるためか、このことを示す特異な形態を示していない。自然湧出泉の水圧は浅層水と大差はないが、後に述べる化学成分に著しい相違があり、浅層水とは別水系からの湧出であろう。

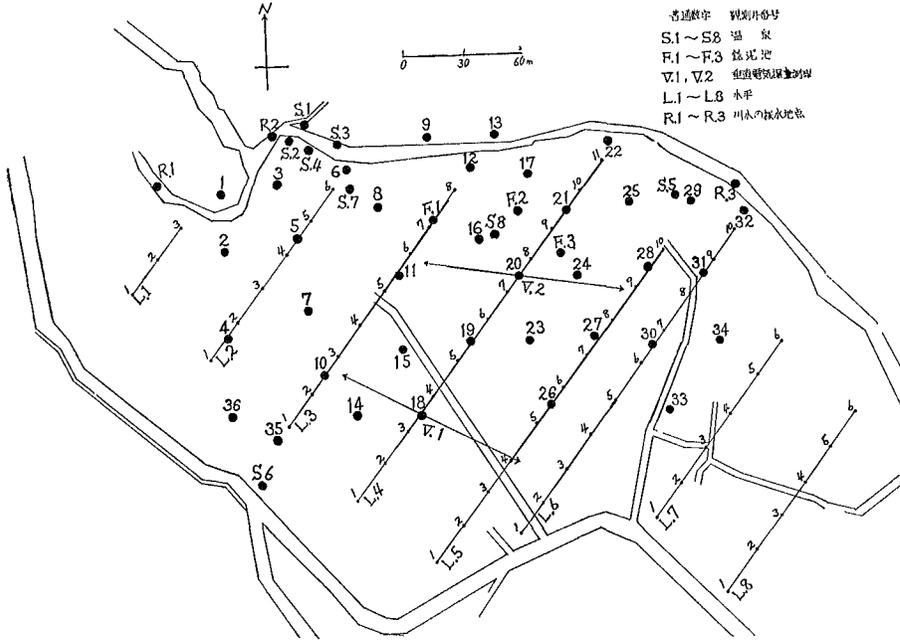
4、電氣的地下探査の結果について

高温地帯及びその周辺における地下状態を更に精査するため、比抵抗法による電氣的地下探査を行なった。測定には横河製 L10型大地比抵抗測定器を用いた。その測線は第3図に示している。

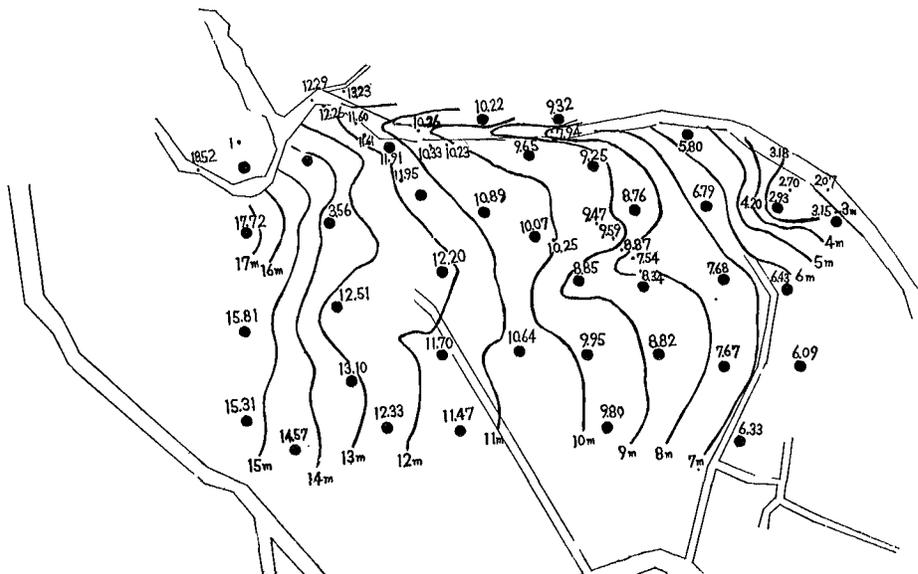
i) 垂直探査の結果について

測定地は地形の関係から探査に必要な測線が取られず、測定は2ヶ所しか行わなかった。その測定の中心点をV.1、V.2で示し、電極設置方向を矢印で示した。

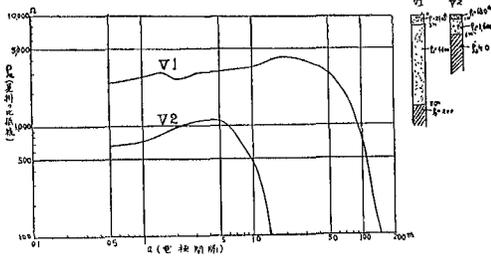
第3図 観測井並に電探測線分布図



第4図 別府市紺屋地獄附近地下水面図 昭和36.5.12~13日調査 地下水面の海拔高度+260m+数字



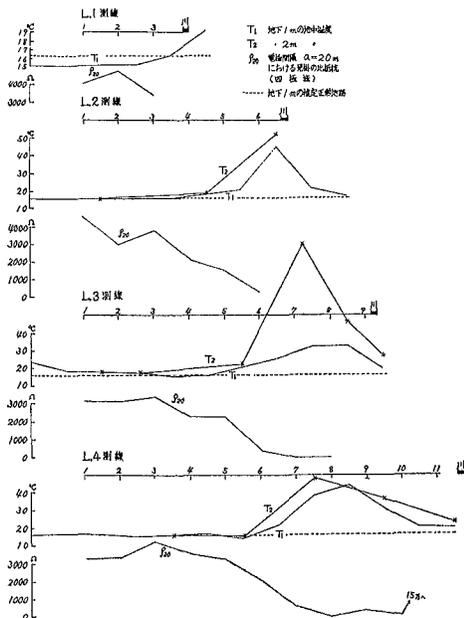
第5図は2地点における見掛の比抵抗と電極間隔との長さとの関係曲線であるが、両地点における地層の比抵抗は浅層では異なるも、その変化は両者共に表層から漸次増大し、その後急激に降下して、V.1地点で



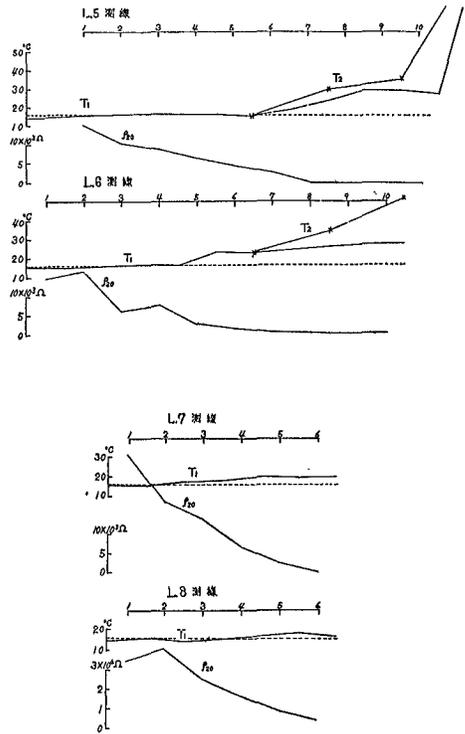
は $a = 150m$ 、V.2地点では $a = 15m$ で零になる。この曲線からWENNとRの標準曲線解析法により電氣的に異なる地層の比抵抗値と、その深さを求めると、第5図の右に示す如くなる。V.2地点では表層より既に比抵抗は小さく、6m以深では殆んど零に近い値になる。この地点は高温地帯内で、附近に鈹泥池があり、浅層水の比抵抗も ($\rho_w = 500$ オーム) 非常に小さい。このような比抵抗の小さい地層は高温熱水によって変質した地層であると推察される。

V.1地点は地温異状のなかった所である。したがって地層の比抵抗はV.2より大きく、その値は2,900オーム

第6図 大地の比抵抗と地中温度の関係 (1)



第7図 大地の比抵抗と地中温度の関係 (2)



(この地点における浅層水の比抵抗 $\rho_w = 2,000$ オーム) を示したが、地下 50m 以深では非常に小さくなり、($\rho_1 = 200$ オーム) V.2地点における熱水変質の地層と略同じ地層であると推察される。

ii) 水平探査の結果について

地熱の異状高温地帯では地層の比抵抗は非常に小さいことが確認されたので、この高温帯の地下における拡りを調るため、水平探査を行なった。調査地は谷間の狭い地域で地形も複雑で高深度までの測定は困難であり、又高温地帯の北縁は急傾斜の森林内で、測定がむづかしいので行わなかった。電極間隔は探査の可能な最大の長 ($a = 20m$) を取って行った。各測線 (第3図参照) について見掛の比抵抗 (ρ_{20}) の水平変化及び測線上で測られた地下 1m、2m の地中温度を图示すると、第6、7図の如くなる。 ρ_{20} は高温帯に近づくと漸次減少してゆく。 ρ_{20} と地中温度を比較すると ρ_{20} は地温の異状地帯に入ると減少し始め、異状の大きい方に行くに従って漸次減少し、鈹泥池のある最も高温な地帯では遂に零となる。

以上両探査によって変質された地層の存在する地域が確められたのであるが、前述の如く地形の複雑なため高深度まで確めることが出来なかった。

5 浅層地下水の化学成分について

浅層地下水の生成機構を調べ高温地帯の水系を解明する目的で、浅層水の水位調査で作られた井戸水及び自然湧出泉、川水について、PH, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻の分析と電気伝導度の測定を行った。第8図はPH, Cl⁻, SO₄²⁻の分布図である。

Cl⁻は全般的に少なく、最大で 31.7mg/l、大部分に 10mg/l 以下である。冷地下水と高温地帯の水とを比較すると、冷地下水地帯は全般的に小さく高温地帯の方が多いが、温度と明確な関係は見出せない。浅層水の流動状態からみると上流に少なく、下流紺屋地獄周辺において漸次多くなっている。高温地帯でも上流においては冷地下水と殆んど変りない。Cl⁻は一般に保存的な成分であり、又地下水の流動状態とから、高温地

帯の浅層水は冷地下水が高温地帯に流入し、噴気やガスによって加熱されたものと思われる。流下にしたがってのCl⁻の増加は冷地下水の地域より高温地帯の方が大きい。これは高温地帯の溶出が大きいのか、或は加熱蒸発によって濃縮されたかであろう。紺屋地獄におけるCl⁻の大きい31.7mg/l は附近に人家があり、人工汚染ではないかと思う。

一般に高温地帯熱地帯の温泉水中のSO₄²⁻は火山性ガス(SO₂, H₂S)の酸化によって生ずると考られている。調査地の高温地帯では硫化水素の噴出があることが明らかであるから、SO₄²⁻の含有量は地熱地帯であるか否かを示す一つの示標になると思われる。実測の結果も高温地帯で多く、最大は7.680mg/l である。低温地下水は200mg/l 以下であり、又高温地帯内の自然

第8図 地下水・温泉水のCl⁻, SO₄²⁻, pHの分布図



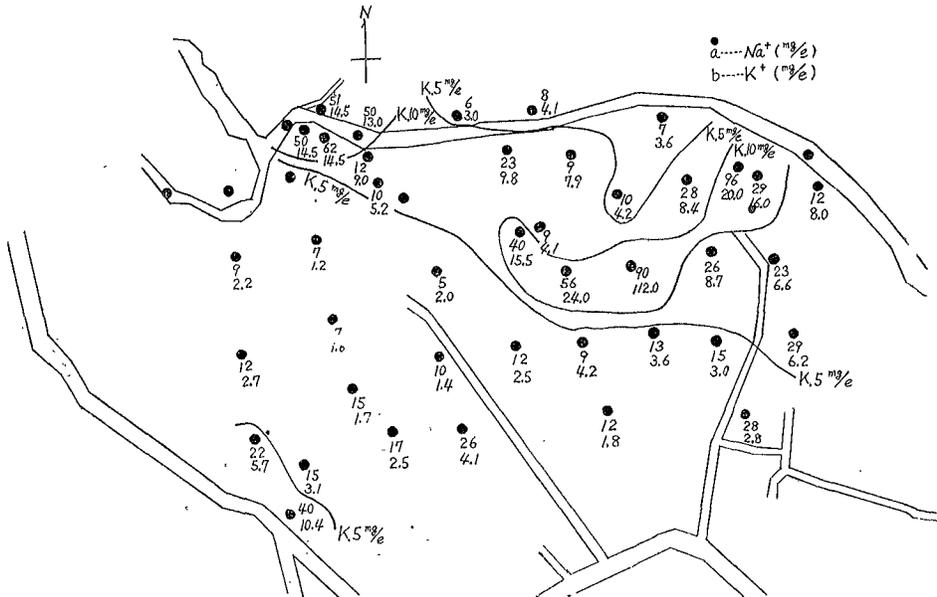
湧出泉も300mg/l 以下で、同地内の高温地下水に比較して少ない。SO₄²⁻の多い地帯と地温分席(第1、2図)と比較すると、幾分違いがある。したがって地温とSO₄²⁻量との間には明確な相関関係は見出せない。火山性蒸気中のSO₂, H₂Sは一般的には高温なもの程多量に含まれている傾向はあるが、H₂Sは必ずしも温度と行動を共にするとは限らない。しかもH₂Sの溶解度は高温水程小さくなる。別府における噴気(4)の分析結果によれば、水蒸気以外のガスは主としてH₂Sであるからこれが酸化によって生成されたとするならば、高温地帯とSO₄²⁻の多量な地帯が完全に一致すると限らないと考えられる。

流水のSO₄²⁻量は一般の河川に比して著しく多い。これは明礬温泉の温泉水(150~700mg/l)が流入しているからである。

冷地下水のPHは5~7であるが高温地帯ではSO₄²⁻の多いものが低い。これは火山性ガスであるH₂S, SO₂の酸化によって硫酸が生成されるからであろう。しかし生成された硫酸はすべてそのまま水中に溶存するものではなく、岩石や土壌の成分によって中和される。したがって両者の量的関係は明白でない。高温地帯の自然湧出のPHは5~7で高温浅層水とは著しい違いがある。

第9図はNa+K+量の分布図である。Na+は高温地帯

第9図 地下水、温泉水中のNa⁺,K⁺の分布



内の水に多い傾向があるが、水温や、分析された他の成分との間の関係は明瞭でない。これに反し、K⁺量は低温水で少なく、高温水程多くなり、水温との間には略一次関係が成立するが、他の成分間関係は見出せない。別府における自然噴気地帯内の自然湧出泉ではNa⁺量に対するK⁺量の割合は他の地域の温泉に比較して大きい傾向がある。このような特性は温度のみに関係するとは考えられない、地質的な特性、或は硫酸酸性水等にも関連があるものか、この調査では解明し得なかったが、火山性蒸気やガスから温泉が生成される機構を考察する上に興味ある問題である。

高温地帯内にある自然湧出泉は化学成分、PH共に類似しているが、高温地帯の浅層水とは全く異なり、特に紺屋地獄内の自然湧出泉(第3、8、9図参照)はNo.29観測井から2mの近距離にあるにも拘らず、両者の間には著しき違いがあり、その生成機構が異なるか、或は湧出経路が異なるためであろう。

前述の地下水面並に化学成分とから、高温地帯に滞留する浅層高温水は上流の冷地下水が高温地帯に流入加熱され火山性ガスの酸化により、SO²⁻の増加と共にPHが低下したと推察される。

6 放射能探査の結果について

温泉の湧出する高温な地熱地帯、或は断層線上では一般に地中からの放射能が周辺の正常な地帯と異なる

ことが報告されているので、調査地の如き地熱地帯の探査に有効であると考えられ、前述の結果を更に確実にすることが期待され、この調査を実施した。測定には理研製G、M、管式サーベimeterを用い、計数管を地上10mの高さで測定した。測定地点は既に調査した地温分布から、高温地帯、自然噴気、及び正常地温の地点各数ヶ所について測定したが、何れの地点においても大差なく、その測定値は45~55C.P.M.(宇宙線や土壌からの放射能を含む)であって期待された結果は得られなかった。この探査では測定器の精度や、測定方法の如何に関係があると思われるが、測定地の地質や地下状態にも関係があると考えられ、したがってこの方法による探査が有効であるか如何は断定し難い。

7 結論

紺屋地獄周辺の地熱地帯について、その地理的分布浅層地下水の流動状態、並に化学成分の分布、電気的地下探査、放射能探査等を行った結果を要約すると下記の如くなる。

1. 地下1m及び2mの地温分布から地下熱源による異状高温地帯は川に添って略東西に帯状に存在し、紺屋地獄及びえの周辺鉾泥地の存在する地域では範圍が広がっている。これとは別に調査地域の中央南部県道側にも異状高温地帯があり、この中には89.6°Cの温泉が湧出している。
2. 明攀~鉄輪~上人ヶ浜を結ぶ温泉脈の存在が地質

的にも既に述べられており、地温異状地帯はこの線上にある。

3. この地帯の浅層地下水は土地の傾斜と略同じ方向に流下している。鉋泥池に滞留する浅層高温水は地下深部より流出した温泉水ではなく、上流の浅層冷地下水から供給され、蒸気やガスによって加熱されたものと思う。高温地帯内の地下水流動は地層の状態からみてよくないと思う。
4. 比抵抗法によ地下探査から、地熱地帯は火山性蒸気やガスによって生成された酸性熱水によって変質された地層で、多量の電解物質を含み比抵抗は小さく、地下数米でその比抵抗は数百オームになるが、高温地帯から50~80m離れた高温地帯外は比抵抗の小さい層は地下50m以深において見出される。
5. 地温異状地帯の周縁の探査は地形の関係から高深度まで探査し得なかったが、比抵抗の減少点と地温異状地帯の周縁点とはよく一致し、地温異状地帯の範囲を再確認することが出来た。
6. 浅層地下水中のクロールイオン量は高温水と冷地下水との間に大差はない。硫酸イオンは火山ガスである硫化水素や亜硫酸ガスに関係があるが、この地帯では主として硫化水素の酸化によって生成されたものと思われ、略地温異状地帯と関連が見られるが硫化水素は必ずしも温度と行動を共にもるとは限らないから、硫酸イオンの多少と地温或は水温の高低とは完全に一致していない。

ナトリウムイオンは概して高温地帯で多いが、地温と明確な関係は示さない。カリウムイオンも亦高温地帯で多く、地温と略一次関係が成立する。

7. 地温異状地帯の数ヶ所に自然湧出泉があり、その泉質は浅層高温水と異なり、したがって両者の生成機構か或は湧出経路が異なるからであろう。

終りに本調査に御協力を賜った大分県薬務温泉課末松竜雄、九大温泉治療学研究所温泉理学科並に大分大学森山助教の諸氏に篤く感謝の意を表する。

参 考 文 献

1. 鈴木政達 別府附近の地史と温泉脈
地球物理 第1巻 第1号 1937
2. 大分地方気象台編 大分県の気象
3. J. J. JAKOSKY.
EXPLORATION GEOPHYSICS
Times Mirror Press, 1940
4. I. IWASAKI & OTHERS.
VOLCANIC GASES IN JAPAN
Bulletin of the Tokyo.
Institute of Technology No.47 1962
地熱発電式験研究報告書 第1集 工業技術庁 昭27
5. 岡部茂 宮腰潤一郎
別府における地表放射能と地温の関係
大分県温泉調査研究会報告 第9号, 昭33

大分県日出町温泉探査報告

山下 幸三郎
矢野 行雄

緒言

日出町は別府市に隣接した町であるが、顕著な温泉徴候がなく、又別府市は日本一を誇る広範囲かつ高温多量の湧出をしている温泉地であるためか、温泉探査や温泉ボーリング等¹⁾は行われてない。近時経済状態の回復と共に各地で温泉の開発が盛んになり、別府温泉でも開発が急激に進み、未開発泉源も殆んどが開発されてその余剰も少なくなりつつあるが、需要は尚増大の一途であり、別府の周辺地区の温泉開発がようやく注目されるようになった。日出町は大部分が由布、鶴見の火山地域に属し、温泉湧出の可能性も十分考えられるところである。

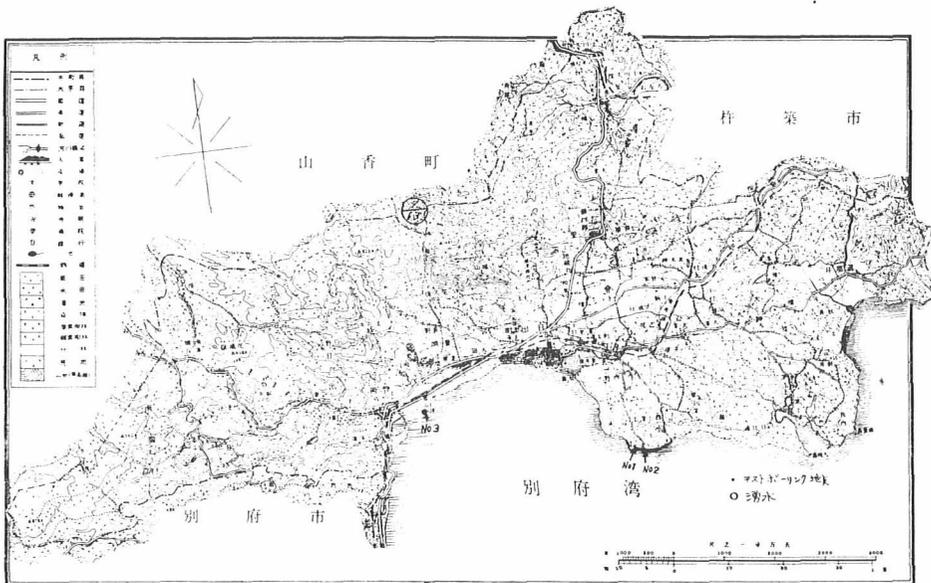
温泉探査にあたって有力な手がかりになるものは温泉や温泉徴候である。温泉は火山地域であっても、断層や地下の岩石の亀裂を通して深部の高温水が浅部に流出して出来たものであり、温泉探査にあたって断層や地層についての地質学的調査も亦必要であり、有効な一方法である。本報告は既に知られている温泉徴候のある地帯について温泉湧出の可能性を調査した結果について報告する。

1 西小深江西部海岸地帯

西小深江西部の海岸は断崖になっている。(第1図参照)この地帯約150mの間、岩石の白土化された所があり、この断崖の各所に黄色又は白色の析出したと思われる鉱物が附着している。この溶液は強い収斂性の渋味がある。一般に白土は後火山作用の旺盛な地域において熱水により岩石が変質されたものと考えられている。別府温泉では明礬、鉄輪等後火山作用の最も旺盛な噴気地帯に多く見られるものであり、この地帯も亦火山と密接な関連があったと推察される。而し現在までその作用が継続され深部から熱の供給が持続されているか否か、又析出鉱物が火山作用に関係ある鉱物であるかを更に精しく調べるため、白土化された地帯の2ヶ所で10m程度のボーリングを行ない、地中温度の測定及び地下水の成分、析出鉱物の簡単な化学分析を行なった。

地下10mは地温不易層の深さに近く地温異状の有無を調べるのに最も都合がよい。(別府において年変化の較差0.2°C) 試掘した両井共揚水すると炭酸ガスが水に附随し噴出する。その量はNo.1試掘井の方が多く

図1



地中温度はNo.2の方が高い。地下10mのこの地の正常
第1表 地下水の成分及び

	試掘No. 1	試掘No. 2
PH	4.05	6.20
Cl'	10.3 g/l	0.346g/l
SO ₄ '	1.63"	0.187"
HCO ₃ '	0	0.066"
Ca ⁺⁺	0.316"	0.029"
Mg ⁺⁺	0.363"	0.005"
深 度	9.5m	10m
孔底温度	17.2°C	17.8°C

地温は実測値がないから正確には求められないが、この地に近い別府における実測値は17.8°Cであり、(京大研究にて測定)これと大差ないものと思われる。この地温と

試掘井の地温と比較するとNo. 1は幾分低いが、No. 2は等しく地温異常は認められない。両井のCl'量は一般の冷地下水と比較すると非常に多く、又両井の水面も海水面よりあまり高くないから、海水の混入があるように思われる。しかし海水のCl'量は約19g/l程度であるから、両者共に海水よりは薄い。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SO₄'、Ca⁺⁺、Mg⁺⁺、HCO₃'量の重量比を求めると次表の如くなる。No. 1 試掘井ではCl'量が非常に多く、しかも上記比は海水に近い値を示し、多量の海水の浸入があると思われる。No. 2の方はNo. 1に比較してCl'量は少なく、又上記比も海水と大きく異なり、海水の浸入も少ないものと思う。過去において岩石を変質させ白土化した熱水は熱勢力の減退や水圧の低下により海水の浸入を受け、泉温が低下し、現在の如き正常温度にまで降下したと推察せられる。

黄色又は白色の析出附着している鉱物は水に殆んど

が溶解し、その水溶液は酸性を示し、黄色のものはその62.5%白色では55%がSO₄'である。その他黄色のものはFe、Al、Na Clを白色のものはAl、Na Clを含有することが明らかとなった。この分析結果から黄色のものは主成分として鉄明礬 FeSO₄ · Al₂ (SO₄)₃ · 24H₂O) 白色のものは毛礬 (Al₂ (SO₄)₃ · 16H₂O、鉄明礬から鉄が脱出したも) であると推察され、これは別府の明礬、湯山で採取される所謂「湯の花」と略同じ成分である。滲透した雨水によって地層中から溶出され地表で水分が蒸発し、残留附着したものと思われる、こ

第2表

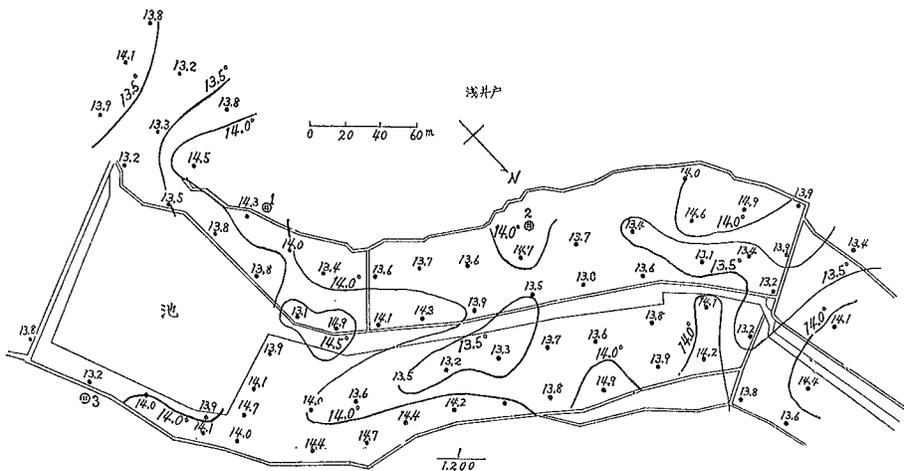
	SO ₄ '/Cl'	Mg Cl	Ca, Cl	HCO ₃ /Cl'
No. 1 試掘井	0.158	0.035	0.031	0
No. 2 "	0.54	0.014	0.110	0.91
海 水	0.14	0.07	0.02	0.0074

れが生成も亦湯の花の採取機構とも似た点がある。

この様にして生成されたものは雨水や海水の直接当る所では再び溶出されるから、雨水や海水の当らない洞窟中においてのみ見出される。

以上の如くこの地帯は昔時後火山作用による硫酸酸性熱水が岩石を白土化し上記成分の硫酸塩が出来たと推察される。しかし、現在地下水中には多量の海水の浸入が認められ、このため泉温は正常の地温まで降下している。海水の浸入している地下水層はすべて低温化されているであろうから温泉湧出の可能性はないが、海水と隔離された地下水層があれば尚熱を保持していると予想され、したがって温泉湧出の可能性はある。

図II 日出町深江における地温分布(地下1 m) (昭和38. 4. 26~27測定)



2 深江地区について

深江で流水の水質が異常な地帯があるとのことであるが、温泉徴候を示す所はなかった。この地域については温泉探査の一つの方法である地温探査を実施し、併せて2、3の地点の浅井戸水のPH、 Cl' 、 HCO_3' 量を分析した。

地下の高温熱源による地温異状を調べるには、先に述べた如く、地温不易層以深の地温を測定するのが最もよいが、10m以深のボーリングによらなければならないから、広範囲の測定では多額の経費と日時を要する。一般には容易に測定出来る地下1mの地温は日変化は殆んどないが、経日変化があり、又日射の長短、地形地質、地高、地被の状態によっても相違があるから、これらの変化の程度を知らなければならない。測定は昭和38年4月26日、27日の両日で、この間の経日変化を補正した地温の水平分布は第Ⅱ図の如くなる。地温の最高は15.1°Cで、池の西側に地温の高い地帯がある。これらの地温が地下の高温熱源による異状地温であるか否かを判断するには、この地域の正常地温を知らなければならない。しかしこの地域の測定期日における正常地温の実測値がないので、別府の京大地球物理学研究所、並に六分地方気象台の実測値から推定して15.0°C程度と思われる。この値と調査地の実測地温を比較すると、調査地の最も高い地温と略等しく全般的にはその平均が13.9°Cで1.1°C低い。調査地は水田で地質、地被の状態は略等しいが、東西に亘る谷間であり日射の関係から全般的に低温を示すのではないかと思う。

調査地区3ヶ所の浅井戸水について HCO_3' 、 Cl' を分析した結果 HCO_3' は28~44mg/l、 Cl' は42~61mg/lで川水(HCO_3' =60mg/l、 Cl' =80mg/l)より少なく水温も測定地温に略等しい。以上の如く地温探査、浅井戸水の水温 Cl' 、 HCO_3' から地下高熱源による地温異常はなく、又高温水の湧出もないので温泉湧出の可能性は期待出来ない。

3 秋貞海岸の湧水について

秋貞の海岸の海中及川中の2点に湧水があり、水温は28.0°C及び30.6°Cである(泉温からすれば温泉である)水中の Cl' 、 HCO_3' 量は深江の浅井戸水と大差なく海水の混入は認められないから、湧水の地下水圧は可成高いとみてよい。湧出地域の一般冷地下水の温度は18°C以下であると推察されるから、泉温は10°C以上高温であることになる。このような高温を示すことは可なり地中深くを循環してきた水であることを示している。この高温が直ちに高温水に由来するか尚言いきれない。現在の水温も湧出途中の冷却がなければ、

300m以深の地温によって得られるわけである。湧出地点における湧出量は約30 l/min程度とみられるが周辺の砂中にも浸出しているであろうから、周辺の詳細な調査を行い湧出勢力や、その方向性がわかれば高温水の得られる可能性について一層適確な判断が出来ると思われるが、何分にも海中でその調査が困難なため今回は調査しなかった。しかし、湧出途中の冷却は小さいにしても無視出来ないから、ボーリングにより湧出量の増大をみれば尚昇温が期待出来る。

4 豊岡地区について

豊岡の島山海岸南部に岩石の変質したところがあるが、その範囲は狭い。岩石の変質状態と火山関係及び江度異常を調べるため小深江と同様な10mのテストボーリング(No. 8地点)を行った。岩石の変質と火山関係についての地質学的調査研究は別に報告するが、ここでは地温及び水質についての調査結果を報告する。

地下10mの地温は18°Cで、先に述べた正常地温(17.8°C)と比較して0.2°C高いが、この程度の高温では地温異常であるか否が断定し難い。地下水中の Cl' =6.11gr/l、 SO_4'' =0.687gr/l、 HCO_3' =0.068gr/l、PH=6.05であり海水の浸入があるように思われるが地下水の湧出量が極めて少なく、ボーリングの循環水に海水を用いたから、その影響が残っていることも考えられ温泉徴候は明確でない。

5 結び

日出町において現在温泉徴候があると思われている4地区について調査した結果を要約すると次の如くなる。

- 1 小深江の南部海岸には硫酸酸性熱水(温泉)で変質したと思われる地層があり、鉄明礬が折出附着している。地下10mの地温は正常地温と略等しく地温異状は認められないが、これは海水の浸入によって低温化されたものと思われ、深部において海水と隔離された地下水層があれば温泉湧出が期待される。
- 2 秋貞海岸の海中の湧水は一般の冷地下水に比較して10°C以上に高温であるが、ボーリングにより増量を計れば昇温が期待出来る。
- 3 深江及び豊岡島山の両地区は明確な温泉徴候は認められず、現在までの調査では温泉湧出の期待は出来ない。
- 4 温泉湧出有望地は小深江西部海岸及び秋貞海岸湧水地であるが、尚正確な断定には300m程度の試掘が必要である。

参 考 文 献

- 1 鈴木 政彦 別府付近の地史と温泉脈
地球物理第1巻第1号1937

- 2 岡本要八郎 別府地方所産鉱物
九州帝国大学工学部集報第18卷
第6号1944
- 3 大分地方気象台編 大分県の気象
西日本気象協会刊1960

大分県速見郡日出町温泉地質調査報告

大分大学学芸学部 森 山 善 蔵

1、緒 言

昭和38年春、京大・別府火山温泉研究所山下幸三郎博士の日出町海岸地区の温泉調査に加わり、海岸地域の地質とボーリング調査のおこなわれた小深江海岸、豊岡の島山海岸の岩芯の調査などに従事したのでその概要を報告する。

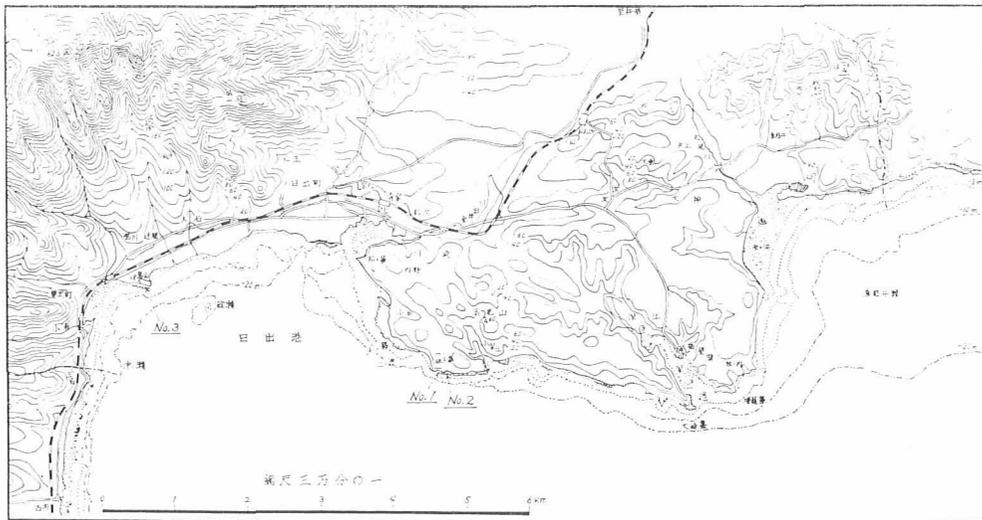
2、地 形

日出町は国東半島の頸部にあたり、長い海岸線をもって別府湾に臨んでいる。単調な海岸線をもつ別府湾としてはゆるやかながら屈曲に富み、海浜部は西方乃至北方からの火山灰、熔岩その他の流入で殆んどが遠

浅の海岸をもつ、殊に東部に当たる真那井、糸ヶ浜の沖合いは真那井瀬と称し、遠浅の傾向が著しい。

日出町は地形的に国道10号線を境に東西に二分できるが、「東側地区」は100m以下の火山噴出物、一部海底堆積物からなる低平な台地で、海岸平野は少なく海浜には20m以下の海蝕崖が発達している場所が多いこれに対し「西側地区」は南東に急傾斜した火山斜面で西側に高く500~600mの山嶺が南北に続き、最も高いのは伽藍嶽の北にある猫ヶ岩山(750m)以下唐木山の南山頂(623.4m)、尼蔵嶽(458.8m)、鹿鳴越付近にも568.7mの山嶺がある。

Fig. 1 速見郡日出町地形図



3、地質概説

従来から別府、湯布院地方は温泉地として詳しい地質報告書があり、地質と温泉、産出鉱物等に関する研究文献も多いが、その北西部に隣接する日出町一帯については述べられたものが殆んどない。従って地質研究の上では国東半島全域と共に全くの処女地といっても差支えない。

日出地方は地形の項で述べたように東側地域は低平な台地であり、新期火山灰等で被覆され、全般に露出が悪い。海岸地域の海蝕崖や新道の切通しなどに僅かに好露出をみる。西側地域は比較的新期の熔岩地域で

高度も高く岩石の種類も少ない。

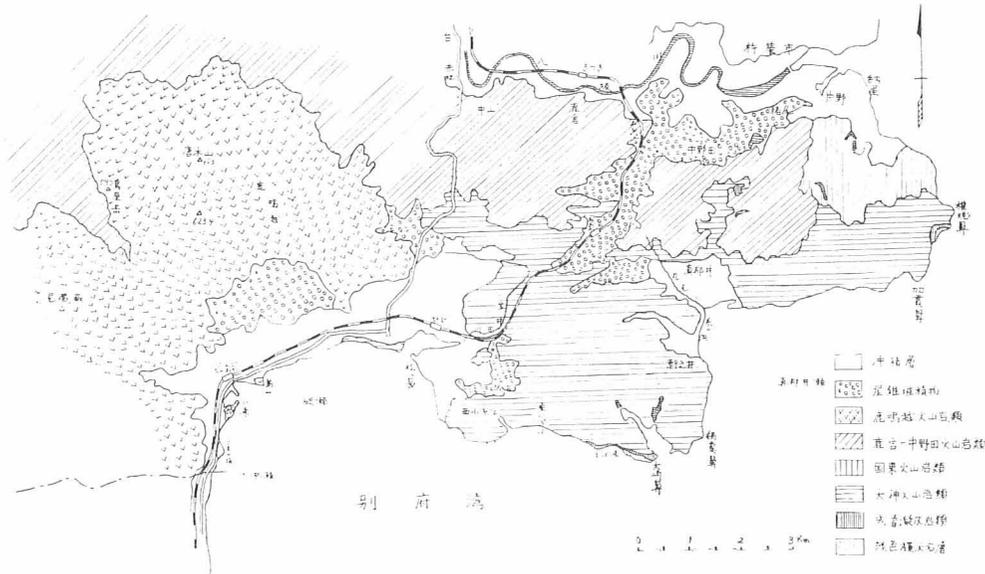
日出地方にみられる岩石はその北、杵築地方が国東変成岩や花崗岩等の中生界以前の岩石を露出しているのに対して、そのほとんどが第三紀以降の火山活動に由来する火山砕屑物、熔岩とこれらの二次的風化砕屑物から構成され、僅かに海岸の漂砂中に国東花崗岩の分解物を認めるのみである。

日出地方の地質および地質系統をTab.1およびFig.2の地質図に示す。

次に各岩石について岩質、分布を述べると、

- (1) 緑色凝灰岩層

Fig. 2 日出地方の地質図



Tab. 1 日出地方の層序

地質時代	層	序	分布地域
Recent	K	沖積層(砂・礫・粘土等)、崖錐および扇状地堆積物(岩塊・角礫・土砂など)	海岸平野・山腹緩斜面および台地
Pleistocene	J ₃		
	J ₂		
	J ₁	鹿鳴越火山岩類 鹿倉-中野田火山岩類	鹿鳴越山岳地帯 鹿倉・中野田・猪尾
Plio-Pleistocene	I ₂	国東火山岩類	赤松台・片野
	I ₁	大神火山岩類	大神台地部・海岸部
Pliocene	H ₂		
	H ₁		
Miocene	G	成層凝灰岩類	権現鼻・大崎鼻
Oligocene	F	緑色凝灰岩層	権現鼻・大崎鼻

これは六神の大崎鼻にて汀線に露出する淡緑色の火山灰質粘土層である。加貫崎の北、権現鼻にはさらに淡緑色を呈するものがある。新第三紀酸性噴出岩に先立って噴出したものである。F₁~F₃に亘る熱水変質作用を受けていると思われる。

(2) 成層凝灰岩類

これは成層凝灰岩で、明瞭な層理をもつ、加貫の権現鼻ではその露出がはっきりしている。

走向NE、傾斜20~30°W。前出の緑色凝灰岩上へのり、40mにおよぶ海蝕崖をみせる。

一部に炭質物20cmを含み、泥炭様のもと思われる
(3) 大神火山岩類

この種火山岩類は淡灰色の石理中に黒色角閃石の大型斑晶を多量に含む角閃石安山岩を特徴としているが単一の火山活動ではなく相当長期間、各種の火山活動を繰返したものにらしく、熔岩や集塊岩、凝灰角礫岩(径32mm以上の岩片が50%以上のもの)火山礫凝灰岩(径32mm以下の岩片の多いもの)など各種あって、岩質も角閃石斜方輝石安山岩、斜方輝石角閃石安山岩などをも含む、分布は広く、国道から東南部に、海岸一帯に

かけて、低平な台地状に広がっている。海岸部では西から小浦の突端、八日市海岸、西小深江、東小深江、軒之井、加貫鼻、権現鼻にかけて海岸線に好露出を示す

全般に酸性岩を含むところから爆発性であったものと思われ、爆発に伴い多量の軽石および火山灰を放出したらしく、軒之井部落付近では巨大な軽石、火山灰が碎屑丘をつくっているのが見られる。

小深江海岸から大崎鼻にかけて海岸の一部は酸性熱水溶液によって粘土化その他をうけている。

本岩類と一部凝灰岩を含むこの一帯の岩石は一般に北傾斜しているが旧期の生成に属するため現在明瞭な火山形態をとどめていない。

(4) 国東火山岩類

黒灰色の均質石理中に大型自形の斜長石斑晶を点在する特徴的なもので、肉眼にても他の火山岩類とはっきり識別ができる。

岩質は含単斜輝石、斜方輝石角閃石安山岩で2mm以下の角閃石を大小含んでいる。角閃石はオパサイト化したものやそうでないものがある。石基は微晶晶質でいくぶん流理構造をしめす。

八坂川下流および河口付近の片野部落において板状節理をもって好露出を呈している。

本岩類は国東半島全域に広く分布しているといわれているが、首藤次男氏（九州大学理学部助教授）によると、国東、宇佐、玖珠、下毛の諸郡に普遍的に分布し、万年山、耶馬溪熔岩とは同時異相と考えられるという。

(5) 鹿倉一中野田火山岩類

含オパサイト両輝石安山岩で、分布は地質図の中部から北部にかけて分布し、殆んどが熔岩からできている。

国東火山岩類とは片野山において観察すると、明らかに上部にのり、これを被覆している。西方から東に流出したもので、赤松の南、中山、鹿倉、出原神社、中野田神社、猪尾、片野山にその露頭をみることができ。

(6) 鹿鳴越火山岩類

板状および柱状節理の発達した淡灰色～灰褐色の複輝石安山岩である。

前者とはオパサイトの含有とか石基の一部に酸化作用のみられることで区分したが、殆んど時代的な差異もないものと思われる。本岩石は別府北帯の輝石安山岩系にあたるもので、大小の斜長石斑晶が散点する黒灰色の輝石安山岩であって、J₁に当るものと考えられる

4、温泉ボーリング試掘地点の地質

「小深江地区」

小深江の海岸部は、北に傾動しており、最も深部の岩石が露出するにいたったものである。

岩石は大神火山岩類が広く分布している。大神火山岩類は種類が多く、また岩相も種々であるが、ボーリング試掘地点付近では集塊岩、熔岩があり、集塊岩は円礫部と黄赤褐色の固結部とがあり、熔岩のあるものは流理の走面N70°E、傾斜60°Nが認められた。

内野のやや南方において昔時珪酸白土を採取していたといわれるが、露天掘の旧坑があり、本地域に隣接しており、当地域が過去において、温泉または熱水液によって変質されたことを示している。

「島山地区」

島山は海蝕にとり残された高度30mの単一の熔岩からなる熔岩丘で、その東南東600mの沖合には大潮の干潮時、熔岩が海上に露出するといわれる碇瀬の岩礁があり、恐らく島山と同種の熔岩とみられるが、これらは熔岩の流出方向を示すものと考えられる。島山の熔岩は複輝石安山岩で風化のため石基が海老茶色に変質しているもの、この熔岩は海中に流入した所謂枕状熔岩（Pillow Lava）であろうと思われる。

5、温泉に関係ある岩石の変質について

旧くから川崎地区内野付近では珪酸白土の産出地があり、珪酸ソーダやセメント混合原料となる鉍産資源として稼行されたことがあった。また小深江の海岸で今回調査中のボーリング地点No.2の東100m付近に金銀鉍を探鉍した坑道が掘られている。坑道付近の岩石は硫化鉄の微粒結晶が鉍染した黒灰色の岩石であるまた早水鼻一帯の岩石は黄褐色に変質し、後火山作用による熱水の変質作用をうけた証拠が明瞭である。

即ち小深江の海岸付近の岩石は各所が、明礬石化作用、珪化作用、高陵土化作用、緑泥石化作用などをうけ、明礬石化の著しい部分には黄色の鉄明礬や毛礬などの析出がみられる。海水により屢々洗われる機会の多い海浜部で相当量の明礬を析出しているところをみると変質した岩石を滲透して常に明礬の生成が行われているためとみられる。

小深江の海岸にはボーリングの行われたNo.1、No.2の地点は明礬石化の最も激しい部分である。なお大崎鼻の北50mの部分にも少量の明礬析出部がある。

明礬石化は熱水液が亜硫酸ガスを含むかまたは遊離硫酸を溶解している場合（即ち酸性液）に生ずるものであって、この変化は地表に近い場所に生じた母岩の変質作用に特徴的なものである。調査当初遊離硫酸の検出を行ったが見られなかった。従って収斂性の激しい酸味その他からみておそらく黄色部は鉄明礬また白

色部は毛礬と思われる。

また、珪酸白土を生じた珪化作用はこれらの熱水液が多量の珪酸を溶解している場合に、付近の岩石（この場合安山岩）がこれらの溶液に滲出されて珪質岩に変る作用で、膠質の蛋白石質石英によって置換されたものである。当地域の珪酸白土を顕微鏡下で検すると4~10 μ 程度の微細な蛋白石粒が岩石の分解物と共に混在し、各粒子間是不明瞭である。当地方の珪酸白土は別府市明礬、湯山付近のものに比し、いくらか硬質

で純度は低いものと見られる。

以上のように西小深江海岸から大崎鼻にいたる海岸部は岩石の変質作用が最も激しく行われた地帯とみられる。

6、ボーリング岩芯について

小深江地区のボーリング地点をNo.1（西側）No.2（東側）、島山南海岸のものをNo.3とする。

以下No.1の岩芯の記載をTab.2に示す。

Tab.2 No.1 小深江海岸ボーリング（西）（深度9.5m）

深度 (m)	色	岩 質	説 明
0.0 ~ 0.2	黄褐色	砂	安岐町付近の花崗岩の風化物、沿岸流により運ばれてきたもの長石類、石英、角閃石などよりなる
0.2 ~ 1.2	灰白色	粘 土 様	粘土化激しく、岩石の組織残存せず、舐めると酸味あり。
1.2 ~ 2.2	灰白色	変質安山岩	変質され軟質、変朽安山岩化をうく。
2.2 ~ 3.0	灰白色	変質安山岩	珪化激しく、黄鉄鉱が鉱染。
3.0 ~ 4.5	白 色	粘 土 様	完全に珪酸白土化。
4.5 ~ 6.5	灰白色	縞状粘土	珪化されているが、岩石の組織残存。
6.5 ~ 8.0	灰白色	安 山 岩	角閃石安山岩（岩石薄片製作）。
8.0 ~ 9.0	濃灰色	粘 土 様	内部に珪酸白土の多い部分あり、軟質。
〃	灰白色	安 山 岩	変質しているが、岩石の組織残存。
9.0 ~ 9.5	灰 色	粘 土	激しく風化したボロボロの粘土。

No.1の概要を述べると、この一帯は激しい変質をうけており、粘土様の部分と岩石の部分交互に重なっている。6.5~8mの間の岩石薄片によれば黄鉄鉱の微粒が鉱染したもので、角閃石安山岩であり輝石類は見あたらず、玻璃質石英基中に大型の斜長石とオパ

イト化をうけた角閃石が含まれたものであった。黄鉄鉱の鉱染は岩石と粘土様の部分いずれにもみうけられた。

次にNo.2の小深江海岸のボーリングコアについてTab.3に記載すれば

Tab.3 No.2 小深江海岸ボーリング（東）（深度10m）

深度 (m)	色	岩 質	説 明
0.0 ~ 0.3	黄褐色	砂	花崗岩風化物（同前）
0.3 ~ 1.5	灰白色	粘 土 様	珪化作用の激しいもの。
1.5 ~ 2.5	淡灰白色	粘 土 様	珪化最も激しく、角閃石の変成黒色物が黒塵状に残存。
2.5 ~ 3.5	灰白色	粘 土 様	〃 〃
3.5 ~ 4.5	灰白色	安 山 岩	No.1の1.2~2.2mの岩石に似ている。黄鉄鉱の鉱染したもの
〃	紫灰色	安 山 岩	含斜方輝石、角閃石安山岩。（薄片製作）
4.5 ~ 6.0	赤褐色	安 山 岩	有色鉱物が変質により赤褐色の赤鉄鉱に変わっている。
〃	灰白色	粘 土 様	珪化激しく軟質。
6.0 ~ 8.0	灰黄色	安 山 岩	角閃石は赤褐色に変質。
8.0 ~ 10.0	灰黄色	安 山 岩	角閃石安山岩。

No. 2の概要を述べると、岩芯には全体に黄鉄鉱の微粒が鉱染し、No. 1の地点と距離も近く珪化作用など変質程度も等しく岩質も殆んど変わらないものであ

た。

次にNo. 3の豊岡島山ボーリングコアについてTab. 4に述べると、

Tab. 4 No. 3 豊岡島山ボーリング (深度10.5m)

深度 (m)	色	岩 質	説 明
0.0 ~ 2.0	黄褐色	風 化 土	下方のものと同質の風化粘土。
2.0 ~ 2.5	黄褐色	安 山 岩	岩石の組織を残す風化岩。
2.5 ~ 4.5	黄褐色	安 山 岩	同上のもので、やや白色漂白。
4.5 ~ 5.5	赤褐色	安 山 岩	同質の安山岩で風化のため脆い。
〃	褐 色	粘 土 様	風化粘土。
5.5 ~ 7.0	赤褐色	安 山 岩	硬質、複輝石安山岩。(薄片製作)
7.0 ~ 10.5	赤褐色	安 山 岩	硬質、複輝石安山岩。(〃)

No. 3の概要を述べれば岩石は複輝石安山岩で、角閃石は含まれず、No. 1、No. 2の角閃石安山岩系とは明らかに別種で、その西方鹿鳴越火山岩類よりなると考えられる。海岸部にあるため特に深部まで風化をうけ、赤褐色に変色しているが、熱水その他の特殊な変質作用は認められない。

7、総 括

岩石および地質に関して調査結果を総括すれば、

- 1、地質および地質系統については(8)の地質概説において述べたようにF~Kにいたる各種の火山岩・火山砕屑物と二次的風化砕屑物から構成されている。
- 2、ボーリングの行われた深江付近の海岸は北に傾斜して、南部海岸付近は隆起している。従って海岸部には最も底部にあたる緑色凝灰岩が露出しているのが見られた。酸性の大神火山岩類は海岸線一帯に最も広く分布し、熔岩、集塊岩、凝灰角礫岩等各種である。
- 3、深江の海岸は延長 1.3kmにわたり、最も激しい熱水変質がみうけられ、日出町海岸のうち、他の地帯

ではみられないものである。

ボーリング試掘地点No. 1、No. 2は大神火山岩類中に試掘したもので、岩芯には珪化、明礬石化をはげしくうけて変質しているものが認められた。

- 4、豊岡の島山にみられる岩石は複輝石安山岩で、鹿鳴越火山岩類に属するとみられるが、単なる風化作用のみで、温泉に関係ある熱水変質作用は認められなかった。
- 5、東部海岸地域で湧水を調査したが、深江から鵜糞鼻にいたる間には大神火山岩類の凝灰角礫岩中に湧出するものが多かった。しかし温度を伴うものはなく、ただ糸ヶ浜において汀線から60mの海中に28°Cの温泉と呼ぶべき相当量の湧泉(淡水)が認められた。
- 6、温泉掘鑿に対する見解は山下博士の報告書に述べられているが、小深江海岸の岩石は変質程度は高いが、相当古期に属するものであり、近くに新期火山岩もみられないところから、他の有力な断層線など湧泉に直接関係を有する現象をさらに探査することが希まれる。

別府市内および湯布院町の温泉孔における岩芯調査報告 (第2報)

大分大学学芸学部 森 山 善 蔵
川 西 博

1 緒言

前回に引き続き、昭和39年度中に別府市内の海岸に近い沖積層地帯3ヶ所、鉄輪の十万地獄および湯布院の山下ノ池付近のボーリング岩芯について、岩石を記載し、別府市内の岩芯については熱伝導率の記載も行ったので報告する。

別府市内の沖積層地帯の記載孔は富士見通りから北方に約1kmの間を置いて温泉掘鑿地を選定した。

十万地獄は別府市内の北部にある噴気地帯であり、前回は南部の噴気地帯にある観海寺(杉乃井ホテル)の噴気孔の岩芯を記載したので、これと対比されるものである。

また山下ノ池付近の九林3号は岩芯が一部欠けているが、当地域では今日まで引続き4孔の掘鑿が行われたにも拘らず、唯、本孔のみ成功をみたものであり記

載孔に加えた次第である。

2 岩芯の収集地点

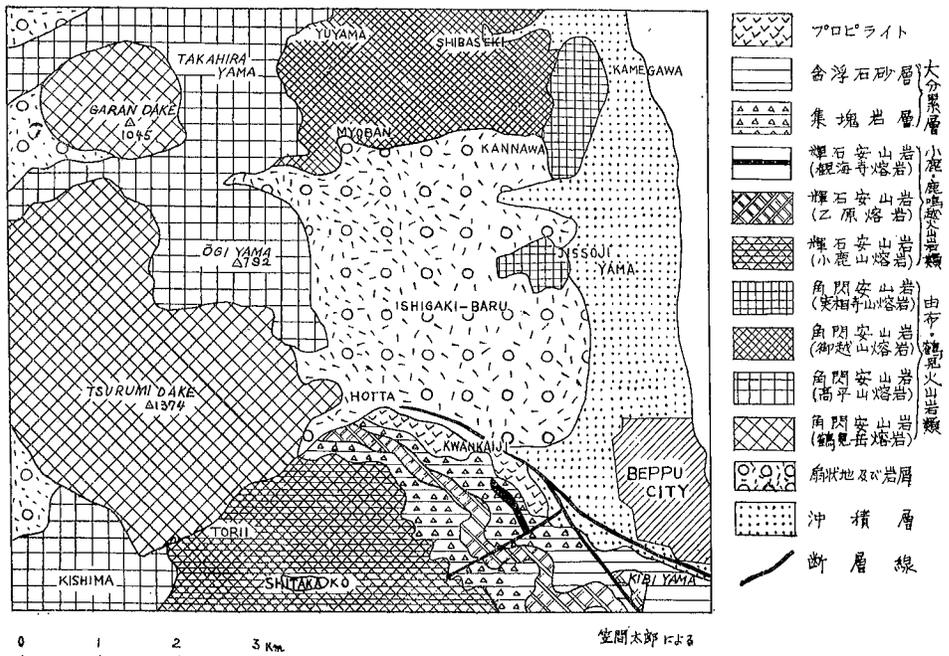
岩芯の収集は次の五地点である。

- I……別府市富士見通り6丁目=橋本医院 深度221m
- II……別府市南石垣農協前=藤内茂氏 296m
- III……別府市南石垣吉弘=朝倉宗志氏 200m
- IV……別府市鉄輪=十万地獄(別府市営) 163m
- V……湯布院町山下ノ池付近=九州林産3号 650m

以上の記載孔のうち、I孔とII孔の間隔は北方に700mであり、II孔とIII孔の間隔は更に北方に1000mである。

別府市周縁の地質については笠間太郎氏の調査による地質図を掲げる。

Fig. 1 別府市周辺地質図



3 岩芯の記載

I 別府市富士見通り6丁目

温泉孔 = 橋本医院 (橋本日出夫) (第2471号) 昭和39年9月

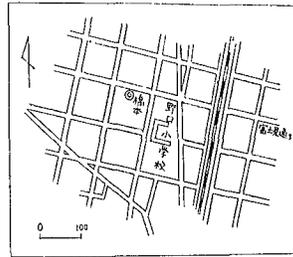
位置 = 別府市大字別府郷谷1137-1

深度 = 221m

種類 = 温泉。 温度62°C。 湧出量38ℓ/m

地質 = 本地域は既存の地質図からみると、沖積層地帯にあたるが、地下では扇状地の堆積物からできており、火山灰堆積物中に大小の礫が混んでいるものである。

Fig. 2 富士見通り橋本医院記載孔の位置



Tab. 1 富士見通りの岩芯の記載 (a)

深度 (m)	温度 (地中)	色	岩相	記載	岩石名	斜長石類	
						屈折率 (n _D)	An%
3		灰白	表土		角閃石安山岩		
12		〃	砂礫層		〃	1.5493~1.5515	42<<45
27		〃	〃	○ ◎	〃	1.5553~1.5570	51<<55
50		〃	〃		〃		
70		〃	〃		〃		
80		黒灰	〃	○ ◎	単斜輝石、角閃石安山岩	1.5553~1.5570	51<<55
100		褐黒灰	含礫砂層	○	両輝石安山岩	1.5587~1.5609	58<<62
110		灰白	〃	○	角閃石安山岩	1.5528~1.5553	48<<51
120		黒灰	凝灰岩		輝石安山岩		
160A	68° (140m) 69°	黒灰	〃	○	両輝石安山岩	1.5528~1.5553	48<<51
160B		黒灰	〃	○	含角閃石、両輝石、安山岩	1.5620~1.5638	64<<67
170		帯緑灰	〃	製作不能◎	凝灰岩		
180		〃	凝灰岩 (砂質)	〃 ◎	〃		
190		〃	(〃)	〃	〃		
221	72°	〃	(〃)	〃	〃		

註 記載の項で○印のあるものは薄片の製作をおこなったもの。◎は熱伝導率を測定したもの、以下同様。

Tab. 2 富士見通りの岩芯の記載 (b)

深度 (m)	岩石名	検鏡記載
27	角閃石安山岩	斑状組織、角閃石安山岩で、微斑晶として両輝石を含む角閃石は3mmに及ぶものがあり、普通にオパサイト化をうけ、中心部に角閃石が残留するもの、鉄鋳類と両輝石を生じているもの、またポイキリチックに斜長石の0.2~0.3mm程度のもを含むものなどあり、石基は微斑晶質。
80	単斜輝石角閃石安山岩	斑状組織、角閃石は激しく分解してオパサイトを生じている。単斜輝石は斑晶としては少なく、微斑晶程度のもが多く、干渉色は低い。斜方輝石は少ない石基は微斑晶質で流理構造がみられる。斜方輝石は見当らない。

100	両輝石安山岩	斑状組織、単斜・斜方両輝石はほぼ等量存在する。大きいものは1mmにも達する。角閃石の分解によるオパサイトと思われるものがわずかに認められるが明らかに輝石安山岩である。石基はやや玻璃質。
110	角閃石安山岩	オパサイト化をうけていない直径2mmにも達する角閃石安山岩で、斑晶石基共に輝石は見当らない。
160A	両輝石安山岩	斑状組織、単斜輝石の方が多く、直径0.5mm以下で、優色鉱物の一部が緑泥石化し、明らかに熱水変質をうけている。オパサイトも僅かに含まれ、緑泥石化をうけている。石基中には磁鉄鉱微粒が多い。
160B	含角閃石、両輝石安山岩	前者と殆んど変わらない。熱水変質をうけて、斜長石その他の斑晶は粘土化、分解その他の汚染が激しい。微量の角閃石（オパサイト化）を含む輝石安山岩。

1 概 括

110mまで砂礫層で、岩芯の大部分は灰白色の角閃石安山岩である。110m以下には 厚い緑灰色の凝灰岩層が堆積している。輝石安山岩は100m以下に現われる本地点を概括すれば

- 1) 110m 以下孔底まで礫の混入が少ない凝灰岩層からできている。
- 2) 110mより上の砂礫層中には 輝石安山岩は殆んどなく、100m付近に僅かに混入している。従って角閃石安山岩と輝石安山岩両系の境界は 110m付近にあると思われる。前回上のケ浜（矢田医院）では120m付近であった。
- 3) 凝灰岩中に混入されている礫は大型のもので輝石

安山岩である。

- 4) 凝灰岩層はいくらか淘汰をうけ、180m以下では粘度がやや粗く砂質である。
- 5) 凝灰岩層中には植物の炭化せるものが相当量混入されており、前回の上のケ浜のものに類似している。

II 別府市南石垣農協前

温泉孔＝藤内 茂 (第2643号) 昭和39年12月
 位 置＝別府市南石垣字前田383-1
 深 度＝296m
 種 類＝温泉。温度50°C。湧出量 45ℓ/m
 地 質＝境川橋から北に 200mの位置で、地質は前者と同じ

Fig. 3 南石垣農協前の記載孔の位置

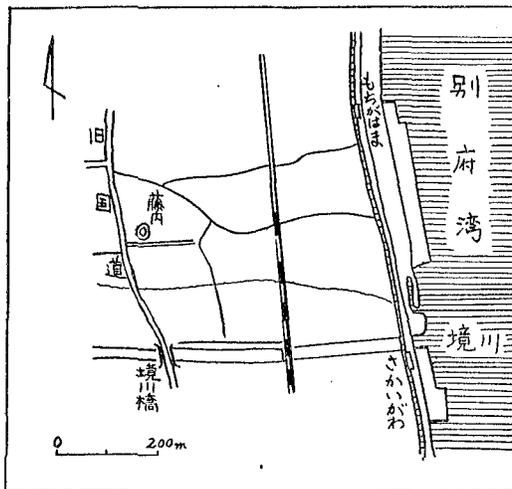
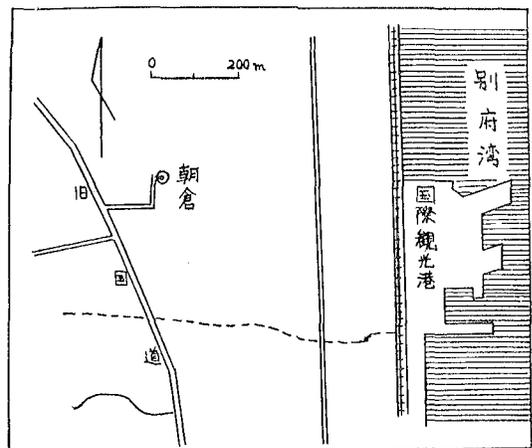


Fig. 4 南石垣吉弘の記載孔の位置



Tab. 3 南石垣農協前の岩芯の記載 (a)

深 度 (m)	温度・色 (地中)	岩 相	記 載	岩 石 名	斜 長 石 類	
					屈折率 (n ₁)	An %
5.00~10.00	赤褐	砂 礫 層	○	角 閃 石 安 山 岩	1.5528	48<<51
10.50~16.50	〃	〃				
16.50~21.00	〃	〃				
21.00~25.50	灰白	〃	○ ◎	角 閃 石 安 山 岩	1.5515	45<<48
34	赤褐	〃				
36 ~ 40	黒灰	〃	○ ◎	角 閃 石 安 山 岩	1.5493	42<<45
43	灰	〃				
45	黒灰	〃				
50	灰	〃	○	角 閃 石 安 山 岩	1.5515	45<<48
55	黒灰	〃	○	角 閃 石 安 山 岩	1.5493	42<<45
60	灰白	〃				
65	黒灰	〃	○ ◎	含両輝石、角閃石安山岩	1.5493	42<<45
70	〃	〃				
75	〃	〃				
80	〃	〃	○	両輝石、角閃石安山岩	1.5493	42<<45
130	赤褐	〃				
140	灰	〃	○ ◎	角 閃 石 安 山 岩	1.5493	42<<45
150	赤褐	砂 層			1.5587	58<<62
160	〃	〃				
165	黒灰	〃	○	両輝石安山岩	1.5570	55<<58
175	〃	〃	○ ◎	両輝石安山岩	1.5587	58<<62
180	赤褐	〃	○	両輝石安山岩	1.5570	55<<58
185	〃	〃				
190	灰白		○	含斜方輝石、角閃石安山岩	1.5528	48<<51
195	黒灰	砂 礫 層	○	角 閃 石 安 山 岩	1.5515	45<<48
205	44° 緑黒灰	集 塊 岩	○ ◎	両輝石安山岩	1.5570	55<<58
215	褐黒灰	粘土質(5 m)				
	褐黒灰	集 塊 岩	○ ◎	両輝石安山岩	1.5609	62<<64
235	黒灰		○	両輝石、角閃石安山岩	1.5553	51<<55
245	〃		○	両輝石安山岩	1.5609	62<<64
260	49° 褐黒	凝 灰 岩 層	○	両輝石安山岩	1.5638	67<<70
280	53.5° 黒灰	粘土質(3 m)	◎	両輝石安山岩	1.5620	64<<67
285~296	57° 灰	凝 灰 岩 層		凝 灰 岩		

Tab. 4 南石垣農協前の岩芯の記載 (b)

深度(m)	岩石名	検 鏡 記 載
5.00~10.00	角閃石安山岩	7mmにおよぶ巨大角閃石や斜長石の斑晶を含み、角閃石はオパサイト化により分解している。石基中の微斑晶は大部分単斜輝石からなり、典型的な角閃石安山岩とは思われない。
21.00~25.50	角閃石安山岩	4mm程度の角閃石、斜長石の斑晶多く、石基の輝石は斜方輝石である。斑晶の角閃石はオパサイト縁をもつものが多い。
36~40	角閃石安山岩	角閃石は大部分オパサイトに変わっているか、または輝石と磁鉄鉱の集合物に変わっている。石基は微斑晶質で、微量の単斜輝石と短冊型の斜方輝石を含む斑晶中に0.2~0.3mmの単斜輝石(粒状)がわずかに含まれている。
50	角閃石安山岩	前者が黒灰色であるのに比し灰色と薄い、造岩鉱物や石基の状態は殆んど等しい。
55	角閃石安山岩	3~4mmの黒色オパサイトに変わった大型角閃石を含み石基は微斑晶質で、斜方輝石がわずかに含まれる。
65	含両輝石、角閃石安山岩	4mm以下の黒色オパサイト状角閃石や斜長石からなり、輝石は両輝石 0.6~0.7mmを含む、石基は微斑晶質。
80	両輝石、角閃石安山岩	黒色オパサイト状角閃石と斜長石の斑晶の他に1mm以下の両輝石を相当量含む両輝石、角閃石安山岩で、石基は微斑晶質。
140	角閃石安山岩	4mm以下の大型角閃石や斜長石からなり、石基は微斑晶質で斜方輝石をわずかに含んでいる。
165	両輝石安山岩	1mm前後の両輝石、斜長石からなる輝石安山岩である。単斜輝石の方が量が多い。石基は玻璃質。
175	両輝石安山岩	斜長石および1mm前後の両輝石斑晶からなり単斜輝石の方が大きく、両者は聚斑晶状になっていることが多い。単斜輝石の方が量が多く、石基は玻璃質。
180	両輝石安山岩	〃
190	含斜方輝石、角閃石安山岩	2mm以下の角閃石を多く含む角閃石安山岩で角閃石はオパサイト縁をもつもの、単斜輝石 0.5mm程度のものを微量含む。
195	角閃石安山岩	おそらくゼノリスの部分と思われ、細粒、多孔質で等粒の角閃石や輝石の微粒が多量にできており、一部には熔蝕をうけたものもある。全体に磁鉄鉱が散点して優黒質であり、大型のオパサイトや粘土化した斜長石を含む。原岩はおそらく角閃石安山岩と思われる。
205	両輝石安山岩	両輝石安山岩で、単斜輝石1mm以下のものが多い。斜方輝石も多く、単斜輝石に比し小型、石基は玻璃質。
215	両輝石安山岩	〃
235	両輝石、角閃石安山岩	2mm前後の角閃石がオパサイト化して微細な磁鉄鉱と輝石の集合物にかわったものと両輝石を含み、方解石脈がいくらか走っており、C軸に直交した部分があって一軸性の干涉像を観察できた。石基は微斑晶質。
245	両輝石安山岩	単斜輝石2mm以下のものが多い、いくらか聚斑晶の傾向があり、また斜長石も多い。石基は玻璃質。
260	両輝石安山岩	両輝石を含むが、斜方輝石の方が多量。一部は緑泥石化しているものがある方解石の細脈が走っている。
280	両輝石安山岩	両輝石を含むが、単斜輝石の方が多量。斜長石を多量に含むが、粘土化して汚れたものが多い。石基は玻璃質。

概 括

採集岩芯の顕微鏡による記載と屈折率の測定結果からみて、140~150mに角閃石系と輝石系安山岩の境界が認められる。(a)に記載している岩相はボーリング業者の柱状図によったものであるが、200~250mの間に集塊岩の記載があり、凝灰岩層は250m以下にあらわれている。凝灰岩層のあらわれるこの深度は富士見通り付近のものに比して2倍以上深いことになり注目される。

Ⅲ 別府市南石垣吉弘

温泉孔=朝倉宗志 (第2644号) 昭和40年2月
 位置=別府市南石垣大字上穴1194-1
 深度=200mまで記載(400mまで掘鑿の予定)
 種類=温泉
 地質=観光港の西、800mの位置で、Ⅱ孔の北方1Kmの地点である。西側に近く実相寺山があるが、岩芯の掘鑿中の状況では沖積層堆積物のすぐ下に扇状地堆積物の砂礫層があり、南の地域より砂礫層は深いといわれている。

Tab. 5 南石垣吉弘の岩芯の記載 (a)

深度(m)	温度	色	岩 相	記載	岩 石 名	斜 長 石 類	
						屈折率 (n ₁)	An %
30		淡褐		○	角閃石安山岩	1.5528	48~51
40		灰			角閃石安山岩	1.5528	48~51
60		黒灰		○	両輝石、角閃石安山岩	1.5528	48~51
75		灰		○	含単斜輝石、角閃石安山岩	1.5570	55~58
80		灰		○	角閃石安山岩	1.5515	45~48
92		灰白		○	単斜輝石、角閃石安山岩	1.5528	48~51
100		灰		○	両輝石、角閃石安山岩	1.5559	51~55
130~140		褐		○	角閃石安山岩	1.5528	48~51
140~160		灰		○	角閃石安山岩	1.5570	55~58
180~200		灰		○	角閃石安山岩	1.5515	45~48

Tab 6 南石垣吉弘の岩芯の記載 (b)

深度(m)	岩 石 名	検 鏡 記 載
30	角閃石安山岩	赤褐色のゼノリスを包有している部分である。角閃石はオパサイト縁で取り囲まれている。0.5mm程度のものが多い干渉色が鮮かである。輝石は微斑晶程度、斜方輝石、ゼノリスの部分はより結晶質で組織が微細、前者と同質の角閃石の他単斜輝石の斑晶もみられる。同源のゼノリスと思われる。紅色に変色しているが赤鉄鉱化しているためである。母岩の岩石の石基は玻璃質。
60	両輝石、角閃石安山岩	3mm前後の黒色オパサイトからなる角閃石を含む、両輝石は聚斑晶をなすが量は少ない。石基は微斑晶質で流理構造を示す。
75	含単斜輝石、角閃石安山岩	2~3mmの大部分オパサイト化された角閃石があり、中心部に角閃石が残留しているもの、斜長石は3mm程度の大型が多い。1mm程度の単斜輝石が僅か含まれる。石基は微斑晶質。
80	角閃石安山岩	角閃石斜長石は前者と同様、石基は微斑晶質で、微斑晶中に斜方輝石を含む。
92	単斜輝石、角閃石安山岩	実相寺山の角閃石安山岩と思われる。オパサイト化されない角閃石からなる。斑晶として僅かの単斜輝石と微斑晶の斜方輝石を含む。石基は特に玻璃質で、未分解の角閃石をもつことと、石基はことに玻璃質な点が特徴である。
100	両輝石、角閃石安山岩	角閃石は2mm以下で、斜長石は3mm前後と大型のものが多い。輝石は聚斑晶状で単斜輝石が多く0.2~0.3mm斜方輝石も同程度含まれる。
130~140	角閃石安山岩	酸化によって赤褐色に変色している。角閃石3mm前後のものや、オパサイトをうけたものなどの赤褐色か黒色を呈する。輝石は大型の微斑晶だが分解して痕跡を認める程度。石基は微斑晶質だが分解して汚染され、各粒とも識別困難。
140~160	角閃石安山岩	角閃石はオパサイト化したり、溶出したものもあり、岩石は変質が激しく斜長石の大型のものも劈開に沿って亀裂を生じ粘土化をうけている。一部に緑泥石様のものを生じている。石基は玻璃質。
180~200	角閃石安山岩	角閃石は1mm前後で、オパサイト化と分解で輪廓が不明瞭、有色鉱物はほとんど見られず、磁鉄鉱の微粒が多い。斜長石も周囲が分解しているものが多い。石基は玻璃質で全体に磁鉄鉱微粒が散点している。

概 括

掘鑿予定深度は400mで、現在掘鑿中のため200mまでしか記載ができなかった。温度は現在のところ上昇していないという。

採取岩芯の検鏡結果では、現在まで角閃石系の安山岩であった。140m以下の岩芯は鏡下で、斜長石の一部に緑泥石化、粘土化などの分解がみられた。輝石安山岩系が未だ現われていないところをみると、凝灰岩層も相当深いところに存在することが想像される。92

mの部分に実相寺山系と思われる角閃石安山岩が見出された。

IV 別府市鉄輪十万地獄

温泉孔=別府市長 (第2554号) 昭和39年8月

位置=別府市大字鉄輪字波湯348-1

深度=163m 種類=噴気

地質=既存の地質図によってみると当地域は由布、鶴見火山岩類の御越山熔岩(角閃石安山岩)地帯にあつている。十万地獄は鉄輪噴気地帯のほぼ中心地

帯にあり、最も旺盛な噴気を出していたが、昭和39年4月急に停止し、埋設管の損傷もはげしく、増掘

も困難であるため既存孔（口径103mm、深度90m）の西方6mの地点に新たに掘鑿されたものである。

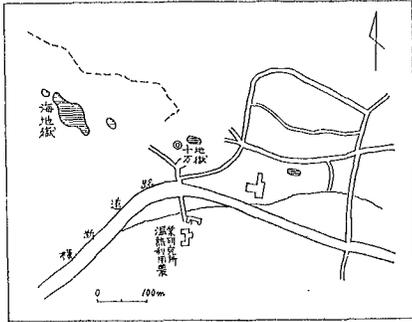
Tab. 7 十萬地獄の岩芯の記載 (a)

深度 (m)	温度	色	岩 相	記 載	岩 石 名	斜 長 石 類	
						屈 折 率(m)	An %
15	5.0	灰	粘 土 層	○	角閃石安山岩	1.5493	42
	11.5		風化集塊岩(軟弱)				
30	23.5	黒褐	集塊岩(硬質)	◎	変質安山岩	1.5515	45
	25.5		粘 土 層				
	29.5		風化集塊岩(軟弱)				
	31.5		集塊岩(軟弱)				
	33.5		風化安山岩				
	37.5		安山岩(硬質)				
50	42.5	黒褐	風化安山岩(軟質)	〃	〃	〃	〃
	47.5		安山岩(硬質)				
	57.0		集塊質安山岩(軟質)				
60	66.0	〃	〃	〃	〃	〃	〃
70	72.0	灰	安山岩(軟弱)	○ ◎	角閃石安山岩	1.5515	45
80		灰	集塊質安山岩	○ ◎	〃	1.5553	51
90	90.0	灰	安山岩(軟弱)	◎	変質安山岩		
	97.0		風化集塊岩(軟弱)				
100		142° 黒褐			〃		
110		〃		◎	〃		
130		〃	安山岩(軟質)	◎	〃		
145		〃		◎	〃		
150	146.0			◎	〃		
150	155.0	158° 白	風化安山岩(軟弱)	○ ◎	〃	測定不能	
	160.0		安山岩(軟質)		〃		
163	163.0	緑灰	風化安山岩(軟質)	○ ◎	〃		

Tab. 8 十萬地獄の岩芯の記載 (b)

深度(m)	岩 石 名	検 鏡 記 載
15	角閃石安山岩	角閃石は2mm以下で、一部オパサイト化し、黒色の濃い磁鉄鉱化したものが多い。またオパサイトの中心部に角閃石が残存したものもある。斜長石は2mm以上の大型のものも多い。斜長石は緑泥石化したものもある。石基は微斑晶質で斜方輝石がいくらか見られる。
70	角閃石安山岩	1mm前後の分解していない角閃石が多い。脈状に珪化されクリストバル石を生じているものや石英などが出来ている。また方解石によって鈹染されている部分もある。石基は分解・脱玻璃などをうけ微斑晶部も少ない。
80	角閃石安山岩	角閃石は1mm程度のもので全く黒色のオパサイトになっている。斜長石は破損して一部は方解石に交代されている。石基は可なり分解・脱玻璃・粘土化などをうけ汚染されている。
150	変質安山岩	斑晶は2、3の斜長石を残し殆どが分解し、角閃石は2~3mm程度のものが痕跡を留める程度に分解している。方解石が脈状に交代生成している石基も分解が激しく、極微細結晶質になっている。
163	変質安山岩	〃

Fig. 5 別府市鉄輪十萬地獄記載孔の位置



概 括

変質地帯であるが、砂礫層ではなく、ほとんどが集塊岩か熔岩地帯と思われる。変質作用は極めてはげしいとくに80~60m、90~150mの間にあらわれる岩石は黒褐色のボロボロに崩壊しやすい変質岩にかわっている。20~60mの間の黒褐色変質岩中には黄鉄鉱の散点するものが多い。方解石脈は鏡下は勿論、肉眼でも随所にみられ、163mのものは大部分方解石で充填された感じがする。

変質のはげしい部分は岩石薄片の製作が困難である採集岩芯は変質したものも含めて角閃石安山岩であり岩芯の表面に大型の角閃石の痕跡を止めている。

採掘の結果、160mにて噴気の自噴がみられたといわれる。黒褐色の変質岩は前回の丘ノ湯の変質安山岩

に類似している。

V 湯布院町山下池付近

温泉孔=九州林産(第2161)九林3号

昭和28年10月

位置=大分郡湯布院町大字湯平字インコエ1.211-84

深度=100m~560mまで記載

種類=温泉57°C 湧出量45ℓ(7.5Hp)

地質=前回の2号の南500mの位置で、地質図からみとる鮮新世の輝石安山岩(角閃石安山岩を含む)となっており、付近には鮮新世の万年山熔岩(黒雲母石英安山岩)および更新世の角閃石安山岩として野稻嶽などがみられる。

Fig. 7 九林3号 山下ノ池の記載孔の位置

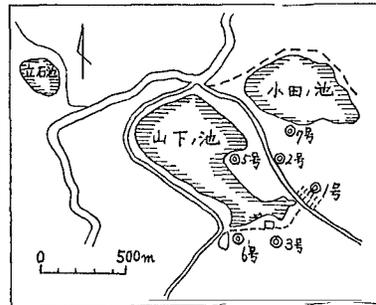
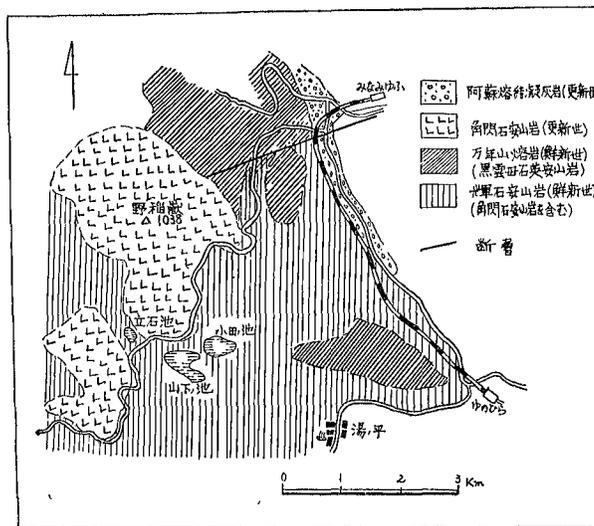


Fig. 6 湯布院町山下ノ池付近の地質図



Tab. 9 九林3号の岩芯の記載

試料番号	深度 (m)	温度	色	岩 相	記載	岩 石 名	斜 長 石 類	
							屈折率 n_1	An %
15	100 160	60	15.5°	凝 灰 岩	○	含両輝石、角閃石安山岩	1.5528	48
18						含単斜輝石、角閃石安山岩	1.5515	45
19		100	15.8°			両輝石、角閃石安山岩	1.5528	48
20						両輝石、角閃石安山岩	1.5528	48
23	160 200	200	26.0°	集 塊 岩	○	斜方輝石、角閃石安山岩	1.5515	45
25						両輝石、角閃石安山岩	1.5515	45
28						両輝石、角閃石安山岩	1.5493	42
32	200 320	260	54.0°	風化安山岩 (粘土)	○	両輝石、角閃石安山岩	1.5515	45
35				320 420		400	115.0°	集 塊 岩	両輝石、角閃石安山岩	1.5515	45
38	含両輝石、角閃石安山岩	1.5528	48					
43 45	460 560	460	139.0° 154.0° 166°	風化安山岩	○	含斜方輝石、角閃石安山岩	1.5515	45
				安 山 岩		角 閃 石 安 山 岩	1.5493	42

Tab. 10 九林3号の岩芯の記載

試料番号	岩 石 名	検 鏡 記 載
15	含両輝石、角閃石安山岩	2mm前後の角閃石があり、殆んどオパサイト化をうけず、一部に少量の輝石と鉄鉱類に分解したオパサイトがある。石基は玻璃質。
18	含単斜輝石、角閃石安山岩	岩石の色が前者よりいくらか黒味を帯び、角閃石はオパサイト化をうけている。微粒ながら単斜輝石の方が多い。石基は玻璃質。
19	両輝石、角閃石安山岩	岩石の色はNo. 15と殆んど同じく、2mm前後の角閃石があり黒色のオパサイトになったものもある。斜長石は大型のも多く、一部が粘土化している輝石は0.7mm以下で両輝石を含み、両輝石、角閃石安山岩といえるもの。石基は玻璃質。
20	両輝石、角閃石安山岩	一部オパサイト化された3mm以下の角閃石を含む、斜長石も3~4mmの大型のものを多く含み、輝石は0.5mm以下の両輝石が多量にはいつている。石基は玻璃質。
23	斜方輝石、角閃石安山岩	大小の角閃石斑晶を含み、輝石は1mm以下の斜方輝石からなり、単斜輝石はみられない。石基は玻璃質。
25	両輝石、角閃石安山岩	角閃石は2mm以下で小型のものが多い。オパサイト縁のみられるものが多い。0.5mm以下の輝石が相当量含まれ単斜輝石の方が多い。石基は微斑晶質で流理を示す。
28	両輝石、角閃石安山岩	角閃石は2mm以下で小型のものも多くオパサイト縁のみられる。0.5mm以下の両輝石を含む。石基は微斑晶質。
32	両輝石、角閃石安山岩	角閃石は大型で量が多い。斜長石も大型である。また輝石は両輝石が含まれ、両輝石は聚斑晶を示す。石基は玻璃質。
35	両輝石、角閃石安山岩	最も黒灰色の濃い岩石、角閃石は黒色のオパサイトに変わっている。斜長石は3mm前後の大型のものが散点している。輝石は両輝石が聚斑晶している石基は極めて玻璃質。
38	含両輝石、角閃石安山岩	6~7mmの大きい角閃石を含み、岩石は淡紅色に変質して、角閃石はオパサイトに変わっている。微斑晶輝石を含む。
43	含斜方輝石、角閃石安山岩	角閃石多く輝石は微斑晶質で斜方輝石を含む。石基は微斑晶質。
45	角閃石安山岩	角閃石はすべてオパサイト化され、量は多く小型である。岩石は変質をうけ、輝石は識別が困難な程度のもが多い。斜長石斑晶は意外に自型を示している。石基は微斑晶が破碎され、一部は再結晶により細粒化されている。

概括

前回の九林2号の岩芯と同様に両輝石の混った角閃石安山岩で、両輝石、角閃石安山岩と呼べるものが多い。角閃石はオパサイト化されていないものが非常に多く、またオパサイト縁をもっているものも多い。

下部では温度の高い割に岩石中の諸鉱物に変質が少ない。造岩鉱物の種類や状態は2号の岩芯に類似している。

斜長石はAn%42~51で、大部分が中性長石からで

きている。

4 斜長石の屈折率について

別府市周辺の主な火山円頂丘にみられる角閃石安山岩系の岩石と小鹿・鹿鳴越火山岩中の輝石安山岩系の岩石中の遯晶として存在する斜長石について、浸液法による屈折率の測定をおこなった。試料は個体数が少ないので、各岩体の詳細はわからないが、参考までに記載する。

Tab.11 斜長石の屈折率と An%

角 閃 石 安 山 岩 系			輝 石 安 山 岩 系		
採 取 場 所	斜 長 石 類		採 取 場 所	斜 長 石 類	
	屈 折 率 (n ₁)	An %		屈 折 率 (n ₁)	An %
高 崎 山	1.5515<<1.5528	45 << 48	鍋 山	1.5620<<1.5638	64 << 67
鶴 見 山 頂	1.5528<<1.5553	48 << 51	小 鹿 山	1.5587<<1.5609	58 << 62
実 相 寺 山	1.5515<<1.5528	45 << 48	高 崎 山	1.5570<<1.5587	55 << 58
由 布 山 頂	1.5493<<1.5515	42 << 45	北 帯 輝 石 系	1.5609<<1.5620	62 << 64
水 口 山 熔 岩	1.5515<<1.5528	45 << 48			
扇 山 北 山 腹	1.5515<<1.5528	45 << 48			
明 礬 南 上	1.5493<<1.5515	42 << 45			
内 山	1.5515<<1.5528	45 << 48			

※ 別府市鮎返りダム南直上
 ※※ 大分市高崎山山頂東に続く通称赤岩
 ※※※ 別府市天間の北

(参考)

斜長石 (Ab—An系) の屈折率を劈開片 (001) および (010) のそれぞれのn₁ の中間点で示すとそれに

対応する Ab、An の合分および名称は次のようになる。

屈折率 (n ₁) ※	成 分	名 称 (狭)	名 称 (広)	10%に対する屈折率の差
1.5284~1.5322	Ab ₁₀₀ An ₀ ~ Ab ₉₀ An ₁₀	Albite	Albite	0.0038
1.5322~1.5388	Ab ₉₀ An ₁₀ ~ Ab ₈₀ An ₂₀	Albiclase	Oligoclase	0.0066
1.5388~1.5430	Ab ₇₀ An ₃₀ ~ Ab ₇₀ An ₃₀	Oligoclase		0.0042
1.5430~1.5479	Ab ₇₀ An ₃₀ ~ Ab ₅₀ An ₅₀	Andoclase	Andesine	0.0049
1.5479~1.5546	Ab ₆₀ An ₄₀ ~ Ab ₅₀ An ₅₀	Andesine		0.0067
1.5546~1.5599	Ab ₅₀ An ₅₀ ~ Ab ₁₀ An ₉₀	Labradorite	Labradorite	0.0053
1.5599~1.5656	Ab ₄₀ An ₆₀ ~ Ab ₃₀ An ₇₀	Labratownite		0.0057
1.5656~1.5702	Ab ₃₀ An ₇₀ ~ Ab ₂₀ An ₈₀	Bytownite	Bytownite	0.0046
1.5702~1.5754	Ab ₂₀ An ₈₀ ~ Ab ₁₀ An ₉₀	Bytownorthite		0.0052
1.5754~1.5802	Ab ₁₀ An ₉₀ ~ Ab ₀ An ₁₀₀	Anorthite	Anorthite	0.0048

※ n₁は(001)および(010)劈開片の示すn₁の中間点

なお屈折率測定用標準溶液は3%程度の差異を測定できるよう調製した。

地層中の熱伝導による熱流量

地層中の温度勾配とそこでの熱伝導率との測定値から、熱伝導によって地下深処から地表に向けて流出する熱量を算定することが出来る。

別府市橋本医院、十萬地獄及び藤内氏宅にて得られた岩芯試料の熱伝導率及び密度の測定値がTab.12に示される。測定値は前報で述べられた通りである。なお表中で…… () ……は角閃石安山岩系と輝石安山

岩系の境界とその深さを示す。

Tab.12 岩芯の熱伝導率及び密度

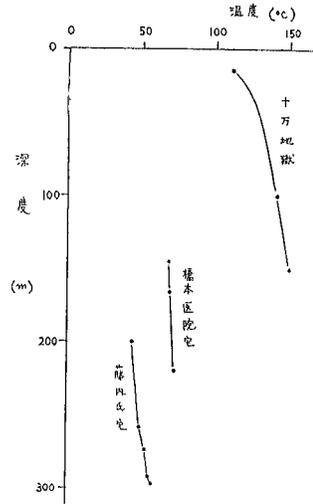
場所	深度 (m)	熱伝導率 (cal cm·sec·°C)		密度 (g/cm ³)		
		乾	湿	乾	湿	差
橋本 医院 宅	27	2.50×10^{-3}	2.88×10^{-3}	2.48	2.53	0.05
	80	2.56	2.82	2.52	2.60	0.08
	(110)	.....	.....	.....	.....	.....
	170	2.07		1.83		
	180	2.09		1.84		
十 万 地 獄	30	2.96×10^{-3}		2.25		
	70	2.94	3.04×10^{-3}	2.22	2.30	0.08
	80	2.88		2.16		
	90	3.03	3.15	2.20	2.34	0.14
	110	3.26		2.12		
	130	2.12		2.05		
	145	2.92		2.12		
	150	3.11		2.08		
	163	2.91		2.20		
藤 内 氏 宅	21~25.5	2.45×10^{-3}	2.31×10^{-3}	2.38	2.45	0.07
	36~40	2.57	2.59	2.53	2.57	0.04
	65	2.45	2.67	2.45	2.50	0.05
	140	2.18	2.05	2.27	2.36	0.09
	(150)	.....	.....	.....	.....	.....
	175	3.10	3.04	2.56	2.60	0.04
	205	3.06	2.80	2.58	2.62	0.04
	215	3.01	2.84	2.57	2.60	0.03

熱伝導率の値は3か所共 $2.5 \sim 3.1 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}\cdot\text{sec}\cdot\text{°C}$ で、夫々十分乾燥させたもの及び湿らせたものについての測定値の差異は小さく、増減もまちまちのようである。密度は湿らせることによって $0.03 \sim 0.1 \text{ g/cm}^3$ 程度の増加を示すが、一般的な傾向として、熱伝導率の小さいもの（これは空隙率が大きいと推定される。例えば藤内氏宅の140mの試料）や、裂目が多いと見られるもの（例えば十万地獄の試料）では、密度の増加が特に顕著のようである。橋本医院宅の170~180mの試料は、凝灰岩で熱伝導率も密度も特に小さい。これらは水に浸すと原形が破壊されるため乾いた場合のみ測定を行なった。十万地獄の試料についても、湿らせた場合の測定値が欠けているのは同じ理由によるものである。藤内氏宅の試料で175~215mの輝石安山岩は、それより浅い所の角閃石系のものに比して密度が、やや大きく、熱伝導率も若干大きいようである。

次に、Fig. 8は上記3か所での地温垂直分布を示すものである。十万地獄のような噴気地帯では地温勾配は極めて大きく、又地表に向けて急速に増加している

のに対し、別府市街地では地温勾配が小さい。浅い所が欠測で地温垂直分布の全ぼうは不明であるが、表層部の温度を15°C位と見るとやはり地温勾配は地表に向けて増加しているように思われる。

Fig. 8



現在の場合のように、砂礫層中での掘さくにより得られた岩芯の熱伝導率を、その附近の地層の代表的な値と見るには問題があるが、一応、地温測定が行なわれた層についての平均的地温勾配を求め、その層で得られた岩芯の平均の熱伝導率を乗じて熱流量の定算を行なって見た。結果はTab.13に示される。熱流量は十万地獄での $1 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}\cdot\text{sec}$ に対して橋本医院藤内氏宅では $1 \sim 3 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}\cdot\text{sec}$ となつてかなり小さい。もっとも、浅い所ではこれらの値は幾分大

Tab.13 熱流量算定結果

場所	橋本医院	十万地獄	藤内氏宅
深度(m)	145~220	16.5~150	200~296
平均熱伝導率 (cal/cm·sec·°C)	2.1×10^{-3}	3.1×10^{-3}	2.8×10^{-3}
平均地温勾配 (°C/m)	5.2×10^{-2}	3.1×10^{-1}	1.2×10^{-1}
熱流量 (cal/cm·sec)	1.1×10^{-6}	1.0×10^{-5}	3.4×10^{-6}

きくなるのではないとも思われるが、従来、火山活動や地熱の影響をさせて測られて来た地殻熱流量(平均値 $1.5 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}\cdot\text{sec}$)と大差ないという結果を示す。