

大分県温泉調査研究会

報告 第19号

昭和43年3月

目 次

放射能障害の温泉療法（第23報）……………	八 田 秋 ……（1）
	有 馬 正 士
放射能障害の温泉療法（第24報）……………	八 田 秋 ……（4）
温泉の障害防止に関する研究（第2報）……………	伊 藤 嘉 夫 ……（9）
	中 溝 慶 生 樹
	古 屋 英 樹
糖尿病と温泉治療（第5報）……………	矢 野 良 一 ……（11）
	永 松 昭 生 三
	内 倉 洋 三
別府温泉における水銀の分布……………	川 上 弘 泰 ……（15）
	小 田 敏 之 子
	川 村 熙 子
地熱地帯における温度指示元素による化学温度計の適用……………	古 賀 昭 人 ……（21）
温泉水保存の研究……………	野 崎 秀 俊 ……（27）
明ばん地熱変質帯における地下検層……………	吉 川 恭 三 ……（37）
	由 佐 悠 紀
別府南部温泉地域における沈澱物の付着状態……………	吉 川 恭 三 ……（45）
	由 佐 悠 紀
くじゅう火山地域における温泉の水系……………	山 下 幸 三 郎 ……（60）
別府温泉の泉源保護について（2）……………	山 下 幸 三 郎 ……（65）
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5報）……………	森 山 善 藏 ……（80）
	志 賀 史 光 ……（90）
	小 哲 史 史
九重町内温泉現況調査……………	山 田 不 二 丸 ……（98）

正 誤 表

九重町内温泉現況調査（98頁）中

99頁 第2表 飯田地区温泉

	ゆう出区分 掘さく		平均温度		平均深度	
	誤	正	誤	正	誤	正
湯 坪	11	6	空白	67.1℃	空白	373 ^m
長者原	10	7				
計	23	15				

100頁 第4表 利用状況

	公共用 利用量	
	誤	正
計	(加熱水) 58 4.931	(加熱水) 216 4.931

放射能障害の温泉療法 (第23報)

中性子とγ線障害に対する温泉効果についての実験的研究 (第1報)

九大温研外科 八 田 秋
有 馬 正 士

原子爆弾爆発時に生じる放射能は、主としてγ線と中性子線による二次放射線とからなり、中性子線は距離に反比例して急速に減衰する。

今回実験的に中性子線、γ線 (^{137}Cs) の混合照射をマウスに行ない、さらにこれに泉浴を行なわれ、この場合の放射能障害に対する温泉効果を追求した。

実験動物は20~24gの体重、雄性ddN純系マウスをもちい、各群10としこれに回転照射法で中性子線200radをかけ、15分後に ^{137}Cs によりγ線300radの混合照射を行ない、照射翌日より20日間の温泉浴を行なった。

全身状態判定のため照射前、照射後より21日間、連日一定時刻に体重を測定した。

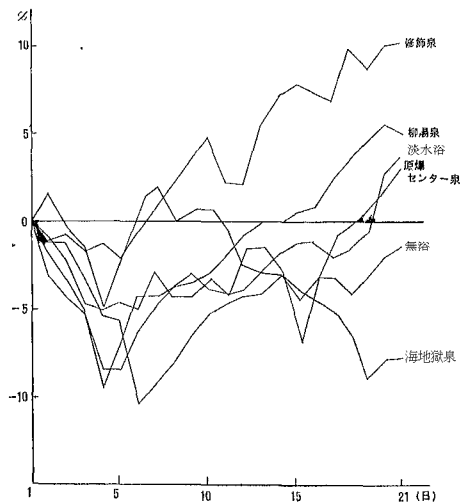
血液変化追求のため、白血球数、赤血球数、ヘモグロビン値、網状赤血球数、血液像などを照射前後1日、3日、7日、14日、21日に尾尖部より採血して観察した。なお無浴群を対照群とし使用した泉種は、原爆センター泉、柳湯泉、海地獄泉、修飾泉(温研泉に $\text{Co}1.67\text{mg/kg}$ 、 $\text{Collo'e'dS}_2\text{mg/kg}$ を付加)、淡水浴群の5群である。

これまでにえられた実験成績は下のごとくである。

1) 体重変化

体重の変動を前値に対する百分率で示すと、無浴群では照射後5日目前後に、前値の約10%の体重減少の谷を作り、その後次第に回復を示し、15~17日にふたたび小さな谷を作り21日目には、ほぼ前値に近く回復した。

図1



原爆センター泉群は、4~6日にかけて、前値の約5%の体重減少の谷を作り、その後漸次回復15~16日にふたたび前値の7%の体重減少を示したが、19日目以後には前値を上まわる回復を示した。

海地獄では、4日目に前値の5%程度の谷を作り、6~10日目に一たん前値に回復したのち11日よりふたたび減少をきたし、21日目には8%の減少にとどまった。

柳湯群では、照射後5日目に8%減の谷を作りその後は漸次回復14日目以後は前値を上まわる増加を示し、21日目には+5%であった。

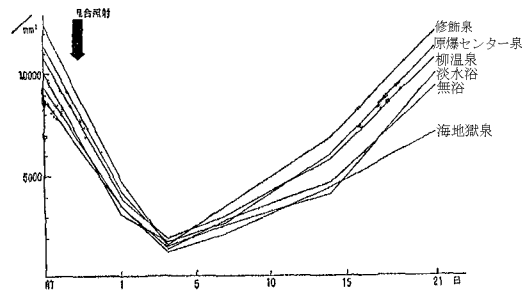
修飾泉群では、照射後5日目に2%程度の谷を示すのみで、7日目には前値に復帰し、多少の変動を示しつつ増加し、21日目には前値の10%増加

を示した。

淡水浴群では、照射後4日目に9.5%の谷を作り、やや回復にむかうが9日目にいたって前値に回復し、21日目に+3.5%であった。

2) 白血球数変化

照射後3日目に白血球数は各群とも、1500前後に減、以後は漸次回復に向うが、14日目には、対照



群の4000/mm³、淡水浴群の4100/mm³、海地獄群の4400/mm³にくらべて、原爆センター泉群では6000/mm³、柳湯群では5900/mm³、修飾泉群では6900/mm³といずれも回復がより著しかった。21日目には各群とも12,000~10,125/mm³とほぼ前値に回復しているその増加順位は、修飾泉群、原爆センター泉群、柳湯群、淡水浴群、無浴対照群で、海地獄群のみが7100/mm³となお低値を示した。

3) 赤血球数変化

無浴対照群では、照射後3日目に830万/mm³ 台の減少の谷をつくり、その後は直線的に回復にむかい後21日目には前値に回復した。

柳湯群は3日目頃からはじめてその数が減少しはじめ14日目には750万/mm³ 台の谷をつくり、以後は回復にむかい21日目にはほぼ前値に回復した。

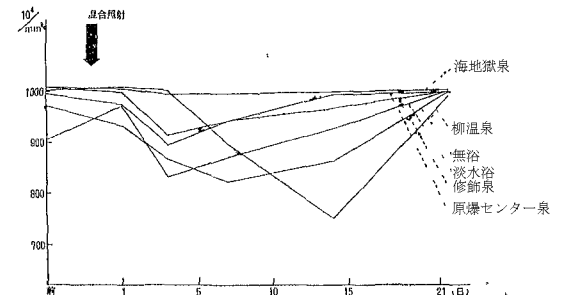
原爆センター泉群では、照射後3日目890万/mm³ 台の谷を示し、以後14日目までにはほぼ前値に回復した。

修飾泉群では、やはり照射後3日目に910万/mm³ 台の谷をつくった後、21日目までに直線的に回復した。

海地獄群では、照射後ほとんど変動がみられなかった。

淡水浴群では、照射後7日目に800万/mm³ 台の谷をつくり、以後21日目までに直線的に前値に回復した

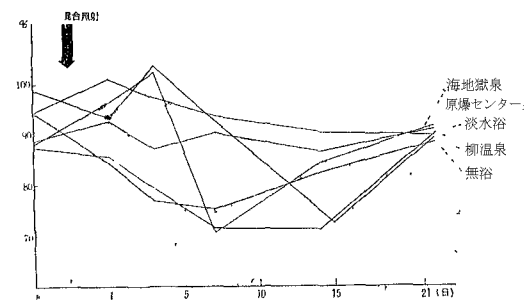
3図



4) ヘモグロビン値の変化

無浴対照群では、照射後減少をはじめ、7日目に76%に低下、これを谷として回復に向うが、21日目にいたってもなお88%で前値に回復してない。

原爆センター泉群では、照射後3日目に88%に減少、21日目には91%で、前値をやや上まわった



海地獄群では、照射後3日目に102%とかえって増加、前値に復帰した。

柳湯群では、照射後3日目に103%に増加、以後14日目に72%と減少、これを谷として21日目に87%と、なお前値を下まわる回復を示すのみであった。

修飾泉群では、照射後1日目に100%に増加、以後なだらかな直線的減少を示したが、21日目に89%で、前値をわずかに下まわる程度であった。

淡水浴群では、照射後7~14日目に70%台の低下その後21日目に前値に回復している。

5) 網状赤血球数変化

各群とも照射後3日目に著明な減少をきたし、これを谷として14日目には増加の山をつくり、21日目にはほぼ前値に回復した。14日目の増加の程度は、ヘモグロビン値と逆相関係を示したことは興味深い。

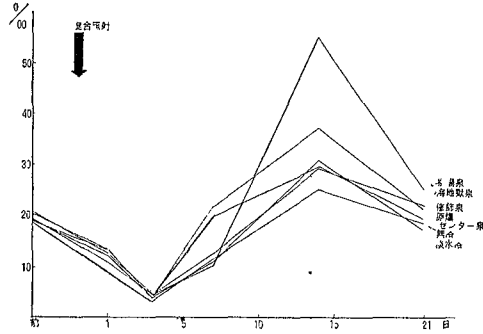


図5

以上

爆センター泉などが効果的であり、海地獄泉は赤血球数のみに対し減少阻止的であった。

以上の諸成績から、1) 中性子ならびにγ線の混合照射による、ほぼ半致死量の放射線障害は、2週間まではなお回復が不充分であるが3週間後には、ほぼ回復を示した。

2) これに各種泉浴を並用した場合には、2週間後すでに、赤血球数、体重などの面でかなりの回復を示しており、海地獄のみが例外的に2週～3週後にかえって悪化さえ示した。

3) 泉浴効果の面では総合的にみて、修飾泉、原

放射能障害の温泉療法 (第24報)

原爆者別府温泉利用研究所の実績 (IX)

九州大学温泉治療学研究所 外科 八 田 秋

前回に引き続き、昭和42年4月より昭和43年3月までの1年間について、湯治成績を求めてみた。

入所者利用数は、1月、5月、3月に多く各1日平均33.0名、29.5名、25.8名で定員40名に満たなかった。12月、7月、9月が10.8名、14.1名、17.2名と少ないが他の月はほとんど20名を越えている年間の傾向を比較すると、1日平均利用者の各月の多少は、7月、9月、12月をのぞくとほとんど変わらない。年間平均22.3名は前回の32.9名より低い。そのグラフの高低をみると、その差が少く常時利用者の数が一定してきたと考えられる。

又、今回の1年間の利用者実数は1,375名で前年より約250名少ない。恐らくこれは有福療養所開設による影響であろう。

利用者の男女別は、第1表に示したように今回も前回と同様に女性が多い。

これ等、利用者の滞在日数を調べると、「3日以内滞in者」は438名(31.8%)、「7~13日滞in者」は339名(24.6%)を占めている。1週間以上の長期滞in者は598名(43.6%)、さらに2週間以上のものは約8分の1と昨年、一昨年とほとんど変わらない(第3表、第2図)

更に前回と同様に、2週間前後滞inした598名中希望によって57名につき湯治前後の検査を行なった。これは年間利用者の4.1%、1週間以上滞in者の9.5%にあたる。

この57名のうち22名(38.5%)は直接の被爆者でなく爆発直後から数日の間市内に入り数日を過した例である。この22例を除くと2Km以内のもの35例中(83.8%)で、その内遮蔽物のなかったものは、約3分の1である。(第4表)

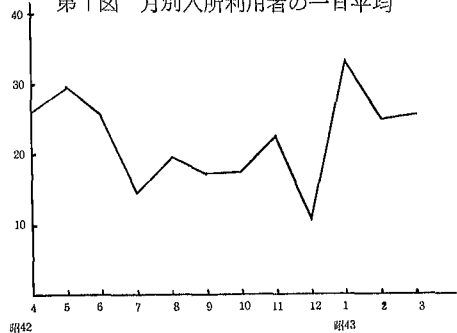
検査項目の集中値限界は、これまでと同じ基準に置いた。(第5表)

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、被検者総数に対する割合を百分比で表わし第6表に示した。

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

いま各項目について、前回の値と比較すると湯治前では赤血球減少は1.7%で前回の6.7%より低い。湯治前後でもこれ等の例は集中値限界に達していないが個々の値を調べると集中値限界に近づいている血色素減少例は、12.2%で前回の5%より高い。

第1図 月別入所利用者の一日平均



第1表 男女別年令別利用者数

年令	男女	年令								計
		<30才	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66>才	
42年	男女	2	3	2	1	3	4	6	26	47
4月	男女	5	5	6	6	6	8	14	24	74
5月	男女	4	9	2	0	5	6	8	19	53
	男女	8	16	9	7	12	7	16	26	104
6月	男女	2	0	1	3	0	6	2	24	38
	男女	0	0	2	2	5	11	9	26	55
7月	男女	3	2	0	1	0	2	2	12	22
	男女	3	1	0	1	2	5	5	10	27
8月	男女	11	5	4	4	3	2	6	12	47
	男女	15	9	2	3	5	10	9	15	68
9月	男女	0	1	3	3	3	6	6	19	41
	男女	0	1	4	2	4	5	13	9	38
10月	男女	0	2	1	1	4	6	5	19	28
	男女	3	1	2	4	10	6	12	15	53
11月	男女	1	5	1	1	2	5	8	23	46
	男女	3	5	3	3	6	9	11	15	55
12月	男女	2	2	3	2	3	3	9	5	29
	男女	6	4	4	4	3	9	4	6	40
1月	男女	19	14	3	3	6	15	15	28	103
	男女	12	13	13	8	11	19	18	37	131
2月	男女	0	3	6	2	5	10	11	16	63
	男女	3	5	2	2	12	11	7	17	62
3月	男女	5	1	1	0	3	11	9	37	67
	男女	4	3	4	11	14	16	14	18	84
計		111	110	78	77	127	192	219	461	1375

第2表 利用者数とその延数

月 別	利用者数	延人員	一日平均
4 月	121	788	26.2
5 月	157	914	29.5
6 月	93	769	25.6
7 月	49	440	14.1
8 月	115	611	19.7
9 月	79	516	17.2
10 月	91	559	18.0
11 月	101	690	23.0
12 月	69	335	10.8
1 月	234	1,023	33.0
2 月	115	757	25.1
3 月	151	802	25.8
計	1,375	8,204	22.3

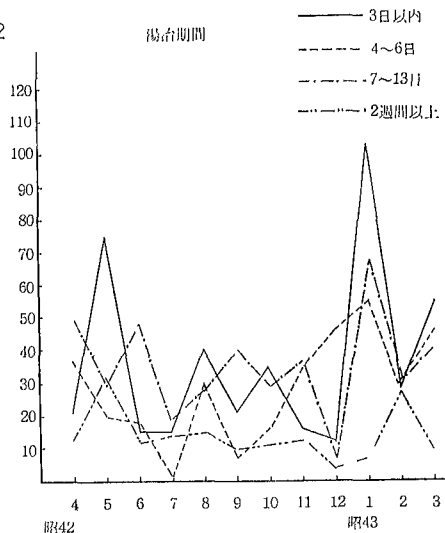
第3表 利用者滞在者数

月 別	3日以内	4～6日	7～13日	14日以上	計
4 月	21	37	50	13	121
5 月	75	20	30	32	157
6 月	15	18	48	12	93
7 月	15	1	19	14	49
8 月	41	30	29	15	115
9 月	21	8	40	10	79
10 月	35	16	29	11	91
11 月	16	35	37	13	101
12 月	12	4	7	4	69
1 月	104	55	68	7	234
2 月	29	27	32	27	115
3 月	54	46	41	10	151
計	438	339	430	168	1,375

第4表 被爆状況

km	例 数	遮 蔽		
		+	-	不 明
1.0	7	5	1	0
1.5	5	1	2	2
1.8	3	2	0	1
2.0	11	6	5	0
3.0	9	6	3	0
4.0	0	0	0	0
不 明	0	0	0	0
爆発後入市	22	0	0	0
計	57	21	11	3

図2



第5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
ディヴィス反応	陰 性

第6表 湯治前後のバラつき瀬度

検 査 項 目	湯治前	湯 治 後	
		全 例	残 留 例
赤 血 球 数 減 少	1(1.7)	1(1.7)	1(1.7)
血 色 素 量 減 少	7(12.2)	5(8.9)	5(8.9)
白 血 球 数 異 常	27(47.3)	17(29.8)	15(26.3)
最 高 血 圧 異 常	12(21.1)	8(14.0)	8(14.0)
尿 蛋 白 陽 性	1(1.7)	1(1.7)	1(1.7)
尿 糖 陽 性	3(5.2)	3(5.2)	3(5.2)
尿ウロビリノーゲン異常	7(12.2)	5(8.9)	5(8.9)
ディヴィス反応陽性	0(0)	0(0)	0(0)

その湯治成績では赤血球と同様のことがいえる。

白血球数異常例47.3%は前回の38.3%より高い。

その湯治成績は残留例26.3%とかなりの好転を見せている。残留例26.3%の個々の値を詳細に見るとこれもまた集中値限界に近づいている。

最高血圧異常例21.1%は、前回よりやや低く湯治成績は残留例14.0%と、かなりの好結果を得てい

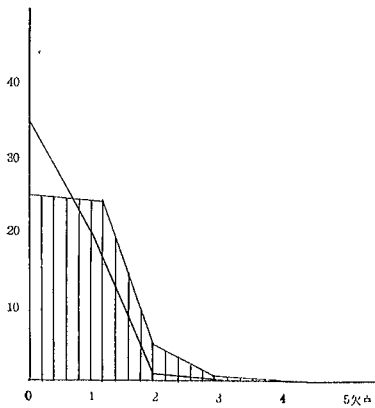
る。尿糖陽性は 5.2%で、湯治後も変わらない。これらる例の尿糖陽性者について詳細な検査が行なわれなかったのが如何なる種類のものであったかを判定しがたい。

尿ウロビリノーゲン異常例は12.2%で、前回の 8.3%より高い。尿デイブイス反応陽性例は0%であった。

以上の結果から検討すると、湯治後の成績は、ほぼ従来に如くであって、殊に白血球異常例及び最高血圧異常例で著明な効果を見ていると言える。

更に詳細に検討して見ると、湯治前には異常がなく、湯治後に却って出現した異常例は前回の0例に比較し2例であったが入浴指導は良く守られたと考えられる。

図3



ここで湯治前後の各人の持っている欠点数と例数のHistogramを作ってみると、第3図のようになる。またその好転度を、湯治前の総欠点数から湯治後の総欠点数を差し引き、これを被検者総数で割って算出すると0.2807となり、前回の0.3166より低い、これは主として、血圧異常例が正常値にまで下ったものの少ないためである。

要するに本年度は入浴の意義が良く一般に知られ、これが正しく守られたことを示している。すなわち、利用者実数、毎月の利用者差が比較的少ないこと、長期滞在者の割合がこれまでとかわらないことなど、このことを裏付けるものであろう。

さらに大分県原被協の企画により県下在住の被爆者9名が2週間の湯治を行なった。それ等については、湯治前後の検査を詳細に行ない、各人の体調に合った入浴を指示した。

この9名は、男性4名、女性5名で、年齢分布は第7表の如くである。

この9名中、61才以上が2名(22.2%)、66才以上が1名(11.1%)で、83才の高令者であった。

これ等9名に行なわれた検査項目と成績は、胸部X線間接撮影のほか第9表の如くである。

なお集中値限界は第8表の如くである。

そのおのおのについて検討すると、血色素、赤血球数では前後とも異常はないが、詳しく検討すると湯治前後ではそれぞれ90%~100%、400万~500万の間に略々一定してきて、個体差が少なくなっている。白血球数では、湯治前増加例が2例、減少例が2例あり湯治後1例をのぞき集中値限界に復帰している。

BSPは湯治前では2例が集中値限界を越したが、湯治後に集中値限界を越す2例の増悪例がみられた。

副腎機能・ソーンテストでは湯治前50%以上のものが全例で、湯治後には1例を残しづれも正常となっている。

脳下垂体副腎系の機能面では、少くともソーンテストで検査した限りでは、今回の湯治によってよく好転している。

尿蛋白、尿糖、デイブイス反応は全例とも湯治前後陰性であった。

最高血圧を検討すると湯治前後集中値限界を越えたものはなかったが、湯治後には全例最高血圧の低下がみられた。

これを要するに、ここ数年間はほぼ同様な湯治成績を示しているものと解しうるのであろう。

共同研究者

辻秀男、中村泰也、曾我部輝、石川晃 阿部充満 松山家昌 久下衷 和田浩一 山田とみ子 有馬正士

年齢	35才	36~40才	41~45才	46~50才	51~55才	56~60才	61~65才	66才
例数	1	1	2	0	0	3	1	1

第8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%以上
白血球数	5,000~8,000/mm ³
最高血圧	100~150mmHg
尿蛋白	陰性
尿ウロビリノーゲン	正常
尿デイブイス反応	陰性
B. S. P.	45分 2.5~5.0%
ソーンテスト	減少率 50%以上

主 要 文 献

1. 八 田 : 大分県温泉調査研究会 特別号 第8報 昭35
2. 八 田 : 大分県温泉調査研究会 第9報
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 : Zangeu Bader Klimaheilk
6. 八 田 : 大分県温泉調査研究会 特別号 第11報 昭35

温泉の障害防止に関する研究

(第2報)

九州大学温泉治療学研究所

皮膚泌尿器科 伊 藤 嘉 夫
 中 溝 慶 生
 古 屋 英 樹

I 緒 言

泉浴とくに硫化水素泉浴をおこなうと皮膚が乾燥する。それに対し鉱物油製剤であるアルファケリーをもちいて皮膚の乾燥を防ぐことができるかどうか尋常性乾癬などの鱗屑で基礎実験をおこない、洗剤使用の場合の皮脂の乾燥がふせげるかどうかを追求した。

II 方 法

角質試料として尋常性乾癬の患者2名、類乾癬1名、続発性虹皮症の患者1名より鱗屑を採取し20メッシュに粉砕して使用した。

角質試料100mgを10ccの小ビーカーに取りこれに5ccの浴水を加えてガラス棒でよくかきまぜ10分間放置する。ついで角質試料を濾紙上に濾別し濾紙とともにデシケーター内で真空乾燥させた後に角質試料だけを遠心管に移した。ついで0.5ccのエーテルを遠心管に加えて5分間かきまぜ1分間遠心をおこなない上清をあらかじめ秤量している10ccの小ビーカーに移した。この操作を3回くりかえしたのち小ビーカー内のエーテルを蒸発させて残存している脂様成分を秤量した。脂様成分の量は角質試料1gあたりmg単位であらわした。

III 結 果

蒸留水および酸性硫化水素泉である明礬露天湯の泉水を浴水として10分間浴をおこなった後の角質試料中に残存している脂様成分の量を第1表に示した。浴温の高い方が失われる脂様成分の量が多く紅皮症例を除くと淡水浴よりも硫化水素泉浴の方が失われる脂様成分の量が多い。

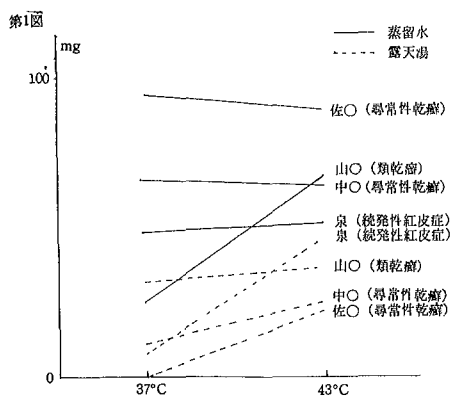
つぎに浴水に1%の割合にパソイル製剤のアルファケリーを加えて実験した後の角質試料中に残存している脂様成分の量を第2表に示した。第2表の数値から相応する第1表の数値を減じその差を

第1表

症 例	病 名	37℃		43℃	
		蒸留水	露天湯	蒸留水	露天湯
佐○幸○	尋常性乾癬	171.4	160.0	150.0	142.2
中○寿○	尋常性乾癬	102.0	97.6	93.6	87.8
山○清○	類 乾 癬	103.7	93.4	85.6	81.8
泉○米○	続発性紅皮症	82.2	102.2	62.6	87.0

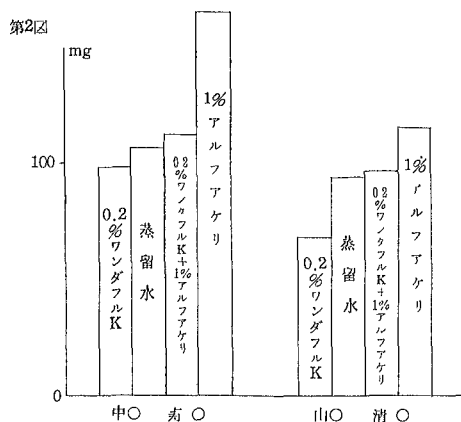
第2表

症 例	病 名	37℃		43℃	
		蒸留水	露天湯	蒸留水	露天湯
佐○幸○	尋常性乾癬	256.0	159.7	239.8	165.8
中○寿○	尋常性乾癬	168.2	109.0	157.6	113.2
山○清○	類 乾 癬	138.2	135.4	153.2	128.2
泉○米○	続発性紅皮症	130.8	110.5	114.8	125.0



アルファケリーの吸着量としてこれを第1図に図示した。露天湯は蒸留水よりも吸着量が少く、43°Cより37°Cの方が吸着量が少ない。すなわち露天湯のお湯にアルファケリーを加えた場合は淡水浴にアルファケリーを加えた場合よりも皮脂脱失防止効果は少い様であった。

次に家婦皮膚炎の成因として洗剤の皮膚脱脂作用が問題になっているので野菜食器洗いの洗剤であるワンドフルKを用いて同様の実験を行なった。すなわち0.2%ワンドフルK水溶液、蒸留水、1%の割合にアルファケリーを加えた0.2%ワンドフルK水溶液及び1%アルファケリー水溶液で37°C10分間同様の実験をおこなった。結果は第2図のごとくで洗剤にバスオイルを加えると皮脂の脱失を防止できる様である。



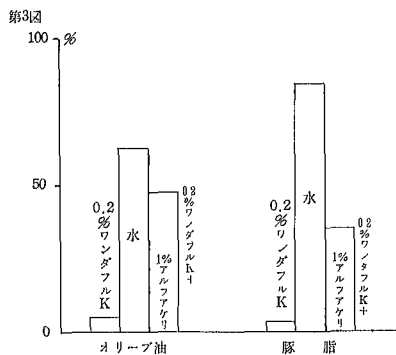
次に秤量したペトリ皿の底にオリーブ油あるいは豚脂を塗り秤量した油脂の附着量を求め次に37°Cの0.2%ワンドフルK水溶液、水道水及び1%の割合にアルファケリーを加えた0.2%ワンドフルK水溶液に浸し10分間攪拌した後ペトリ皿の底に残った油脂をベンゼンで抽出し小ビーカー内に移しベンゼンを蒸発させ残った油脂を秤量し附着量との百分率を求め第3図に示した。すなわち洗剤溶液にバスオイルを加えると洗剤の効果は大きく失われた。

IV 総括

鱗屑をもちいた基礎実験をおこないバスオイルの皮膚脱脂防止効果を検討した。

硫化水素泉浴は淡水浴よりも皮膚の脱脂作用は強い。これにバスオイルを加えるとこれが附着し皮脂の乾燥を防ぐがこの作用は淡水浴よりも硫化水素泉浴の方が弱い。

洗剤の皮膚脱脂作用はバスオイルを加えると防止できるが洗剤の効果は大きく失われる。



糖尿病と温泉治療 (第5報)

九州大学温泉治療学研究所内科

矢 野 良 一
永 松 昭 生
内 倉 洋 三

はじめに

糖尿病の温泉治療は Bunting 及び Best がインスリンを発見する以前より、すでに、Arnoldi、Minkowski らにより、1916年以来、ドイツを中心として欧州に広く汎用されていた。その後、東西諸研究者によりある種の温泉が明らかに食餌性過血糖の抑制効果があることが追試、確認されるに至ったが、その作用機序に関しては、現在でもいまだ定説をみない。

われわれは、過去4カ年にわたり、六カ迫鈹泉（含炭酸硼酸重曹食塩泉）、的ガ浜温泉（含食塩重曹泉）を使用し、糖尿病患者におよぼす温泉の過血糖抑制効果に関する臨床観察とその作用機序解明のために、本症患者の血中焦性ブドウ酸及び血中 α -ケトグルタル酸の変動を逐次的に検討し、新知見をえ、これらに関しては、すでに本誌15、16、17、18号に報告した。今回はこれらを総括し、さらに、糖尿病性アシドーシスにおいて、血清乳酸脱水素酵素（以下 SLDH とす）の活性が上昇するという Wróbleski.F の報告にもとづいて、的ガ浜温泉を使用して実験的研究をおこなったので報告する。

検査対象及び検査項目

糖尿病患者12名（男7名、女5名）について、飲泉群7名（男3名、女4名）、対照群5名（男4名、女1名）にわけ、3週間にわたり、血糖値の変動と対比させ、逐次的に SLDH の変動を検討した。対照群には水道水を使用した。入浴は、飲泉群1日2～3回とし、対照群1日1回、入浴時間は1回20～30分とした。なお的ガ浜温泉の成分は本誌第17号に、温泉の飲用法は本誌15、16号に記載したので省略するが、1日の平均飲泉量は1.4ℓ～1.8ℓ（8合～1升）である。

検査成績

表1のごとく、3週間の治療を行なった飲泉群7例中血糖値の好転をみたもの7例中5例71.3%で逆に過血糖の傾向を示したもの1例で、他の1例はほぼ不変であった。SLDHについては、飲泉前後に異常値より正常値に復したもの2例で、症例1、2にみられるごとく、過血糖抑制効果著明なものにみられた。症例7にみられるごとく、過血糖抑制効果のみられない poor control の症例においては、飲泉前後ともに異常な SLDH の活性上昇をみとめた。対照群では血糖、SLDHともに、ほとんどその変動はみられなかった。

総括並びに考按

糖尿病は、その代謝異常によりアシドーシスの傾向を示す。的ガ浜温泉は含食塩重曹泉で、pH 7.58の弱アルカリ性である。その飲泉により、糖尿病患者の生体になんらかの影響をあたえ、その酸塩基平衡が改善されることを期待し、あわせて SLDH の変動を観察した。検査成績の項でのべたごとく、対照群では前後を通じて、血糖、SLDHともに、ほぼ変動をみとめなかった。飲泉群において

表1 糖尿病患者の的ガ浜泉連飲による血糖、空腹時SLDHの逐週の消長（飲泉量1日1.8ℓ、期間3週間）

症 例	氏 名	年 令	性	測定期	血 糖 値 ml/dl			SLDH	
					食 前	食 後 2時間	食 後 3時間	前	後
1	平 ○ 利	62	♂	前	262	402	344	520	440
				1週	138	230	130		
				2週	125	225	125		
2	塩 ○	64	♀	前	120	215	180	310	300
				1週	70	130	135		
				2週	100	220	162		
3	山 ○	65	♀	前	324	370	240	700	380
				1週	150	402	238		
				2週	180	210	168		
4	坂 ○	58	♀	前	115	188	195	450	410
				1週	116	190	162		
				2週	92	171	150		
5	大 ○	71	♂	前	110	190	180	240	250
				1週	95	166	132		
				2週	91	168	180		
6	○ 磯	54	♀	前	140	245	220	350	370
				1週	115	152	136		
				2週	124	246	230		
7	白 ○	59	♂	前	172	318	310	530	1230
				1週	142	355	358		
				2週	136	305	315		
				3週	200	460	455		

註：SLDHの正常値は450単位以下

表2 対照群 水道水使用による血糖、空腹時SLDHの逐週の消長（飲泉量1日1.3ℓ、期間3週間）

症 例	氏 名	年 令	性	測定期	血 糖 値 ml/dl			SLDH	
					食 前	食 後 2時間	食 後 3時間	前	後
1	界 ○	43	♀	前	114	189	194	370	310
				1週	115	191	165		
				2週	96	170	150		
2	橋 ○	68	♂	前	108	205	178	340	350
				1週	98	185	176		
				2週	105	198	180		
3	林 ○	50	♂	前	110	207	217	440	410
				1週	105	185	196		
				2週	96	166	159		
4	秋 ○	58	♂	前	182	260	246	530	480
				1週	127	235	211		
				2週	163	206	143		
5	渡 ○	74	♂	前	95	216	244	300	340
				1週	109	239	228		
				2週	108	220	230		
				3週	92	182	198		

は、飲泉前の血糖が異常に高いものに SLDH が高値を示し、飲泉による過血糖抑制効果の出現とともに正常に復している。飲泉効果のまったくみられぬ poor control の症例では、前後共に異常な高値を示し、糖尿病性アシドーシスと SLDH 活性上昇との関係があるごとく感ぜられ、同時に的ガ浜飲泉により糖尿病患者の酸塩基平衡に改善がみられるのではないかと推察される結果をえた。しかし今回は症例が少なく、本観察のみでは目的とする糖尿病性アシドーシスと SLDH 活性との相関関係については、明確な関連性を見いだしえなかった。今後、血液 pH、standard bicarbonate、Pco₂、Po₂

などを測定し、さらにその相関関係について観察を行なう予定である。

われわれは過去4カ年にわたり、六カ迫鉱泉、並びに的ガ浜温泉を使用し糖尿病患者集団の温泉治療を行ない、その過血糖抑制作用のあることを報告し、同時に血清総コレステロール、血圧、心電図腎機能、並びに肝機能などの臨床観察と若干の実験的研究から、温泉が物質代謝異常の調整に効果あることをすでに本誌15、16、17号に報告した。とくに18号では、長期にわたる温泉治療による効果について検討した。

今回観察を行なった飲泉群7例を加え昭和38年度六カ迫温泉における集団治療以来昭和41年度の的ガ浜温泉集団治療までに総数92名に対し飲泉による血糖その他の影響を観察してきた。今回の成績を加えて総括すれば、次のとおりである。

I

1. 飲泉による血糖値の改善率は六カ迫鉱泉による昭和38年の72.7%、39年の75%、昭和40年の的ガ浜温泉の75%、昭和41年の的ガ浜温泉の87.5%、今回の71.3%と平均76.3%を示し飲泉により血糖値が改善されることが実証された。

2. 糖尿病患者の飲泉によるSLDHの変動は今回観察した7例中2例において過血糖抑制効果が著明なものに飲泉前後にその活性低下が認められ、飲泉前の異常値が飲泉により正常値に復している過血糖抑制効果のみられなかった poor control の症例1例で前後ともに異常な SLDH 上昇を認めたことは、糖尿病の過血糖とアシドーシスにより SLDH 活性が上昇するのではないかとの印象を深めた。

II

1. 患者の年齢別分類では、一般に若年者にくらべ高令者に顕著な過血糖抑制効果がみられ、男女別では有意の差はなかった。罹病年数別からは10～30年でいどのものが血糖値の改善率が著しいという印象を受けたが断定は困難であった。肥満度からは、一般に肥満群に有効例が多かった。重症度別では中等症重症者に血糖値の改善が顕著であった。

2. 飲泉量からは、1日1.3ℓ～1.8ℓの飲泉量がもっとも効果的で、1ℓ以下では無効例が大多数であり、過剰飲泉もあまり有効とはいえない。治療期間は、最低10日以上を必要とし、3週間で効果著明であるが、4週間から12週間にわたる長期の温泉治療の観察から5週間から6週間後より徐々にその効果の発現をみるものもあり、必ずしも一定していない。

3. 糖尿病患者の血圧、心電図、血中コレステロール、腎機能、肝機能などにも効果があり、その改善がみられた。

結 語

今回は糖尿病患者の飲泉について、血清 LDH、血糖の消長を主として観察した。従来の諸実験とあわせ考え糖尿病の温泉治療ことに飲泉療法は、糖尿病患者の物質代謝異常の調整に、いろいろの形で関与するものと思われる。糖尿病に対する温泉治療は欧州では盛んであるが、本邦では未だ認識に乏しい。その作用機序に関しては、諸説があって未だ定説をみるにいたらない。今後さらに解明されるべき諸問題を残しているが、このことは、糖尿病の本態解明の困難さに相通ずるものがある。

参 考 文 献

- 1) 矢野良一、永松昭生：
 - (1)大分県温泉調査研究会報告 15：34、1964
 - (2)大分県温泉調査研究会報告 16：10、1965
 - (3)大分県温泉調査研究会報告 17：37、1966
 - (4)大分県温泉調査研究会報告 18：64、1967

- 2) 矢野良一他：温研報 18：1、1966
- 3) Wroblewski.F. : Ann.Int.Med., 50：62、1959
- 4) 赤堀四郎、冲中重雄、監修：臨床酵素学、461頁朝倉書店、東京、1964
- 5) 永松昭生：温研報 19：73、1967

別府温泉における水銀の分布

九州大学温泉治療学研究所

温泉理学科 川 上 弘 泰
小 田 敏 之
川 村 熙 子

1 緒 言

別府温泉の微量成分研究の一環として、今回は水銀の定量を行なった。水銀はクラーク数 2×10^{-5} で65番目に多く、天然にはほとんどすべての物質中に含まれているとされている。

しかし、温泉水中の水銀については、まだ報告がない。

近年水銀農薬による、河川や土壌の汚染が問題となり、これが温泉水中に混入する恐れもあるので、温泉水中の水銀含有量を知ることは重要である。

著者らは別府温泉45カ所につき、水銀の定量を放射化分析法によって試みたので、ここに報告する。

2 分析 方 法

温泉水中の微量水銀の定量法としては、現在最高の検出感度とされている、放射化分析法を用いた。温泉水 400ml をとり、硫酸酸性 (pH1.5~2.0) でジチゾン-クロロホルム溶液 5 ml で3回、クロロホルム 5 ml で1回の計4回振とう (10分間) し、温泉水中の水銀をジチゾンの錯体として抽出する。これを赤外線ランプ (65°C) でゆるやかに乾固、再びクロロホルム 2 ml で溶解、前以て放射化分析法で定量してある、水銀量既知の濾紙 (東洋濾紙 No.50.6cm × 2 cm) に吸着させ、中性子照射の試料とする。

中性子全線量 $3.8 \times 10^{16} \text{n/cm}^2$ の条件で中性子照射、5日間冷却後、400チャンネル波高分析器で水銀のピーク (0.0776MeV半減期65時間) を測定、標準試料と比較して水銀を定量した。⁽¹⁾

ジチゾンで抽出される錯体としては、硫酸酸性では水銀以外に銀、銅、ビスマスがあるが、放射化分析法では銀はγ線のエネルギーが高く、銅は半減期が短く、ビスマスはγ線を放射しないなど、いづれも水銀の定量には妨害とはならない。

また、前操作として混酸、過マンガン酸カリによる有機物の分解処理は、温研泉につき試みたが、未分解のものと有意の差は認められなかった⁽²⁾ので、この分析法では有機物分解の前操作は省略した。以上は分析法の概略であるが、詳細な分析法は別報に述べる。

3 結 果 と 考 察

別府温泉45カ所の水銀の定量結果を第1表に示す。

3・1 地域的分布

別府温泉の水銀含有量の最高値は、観海寺の $10.3 \mu\text{g/l}$ であり、紺屋白湯 $9.5 \mu\text{g/l}$ 、的ヶ浜 $8.8 \mu\text{g/l}$ がこれにつぐ。

全般的に堀田・観海寺地区に多く、鉄輪地区には少ない。

表2に地区別の水銀平均含有量を示す。平均値は堀田・観海寺、旧市内、明ばん、亀川、鉄輪の各地区の順になり、クロム、ベリリウム、ジルコニウムなどと大体同程度の含有量である。⁽³⁾

第1表 別府温泉における水銀含有量

地区	No	泉名	採水日	泉温 (°C)	pH	蒸発残留物 (mg/ℓ)	Cl ⁻ (mg/ℓ)	HCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	CO ₂ (mg/ℓ)	H ₂ S (mg/ℓ)	Hg (μg/ℓ)	Hg/蒸発 残留物 (×10 ⁻³ %)	
明ばん	1	トビの湯	68.1.24	54.0	7.51	388	8.758	277.7	65.85	16.55	0.59	3.9	1.01	
	2	地獄	67.12.21	60.2	2.80	272	7.006		205.0		61.21	2.0	0.74	
	3	野天風呂	〃	71.0	2.10	936	5.255		980.7		2.95	1.1	0.12	
	4	鶴寿	〃	53.5	2.60	456	10.51		345.7		1.11	3.5	0.77	
	5	紺屋白湯	〃	62.0	2.08	2978	12.26		227.1		1.66	9.5	0.32	
	6	原爆センター	67.12.25	63.0	6.95	274	8.057	103.5	71.61	50.58	0.55	5.7	2.08	
欽輪	7	海地獄	68.1.22	60.9	2.50	2572	858.3		699.6		0.77	4.1	0.16	
	8	十万地獄	〃	97.0	3.38	474	84.78		198.4		1.48	5.5	1.16	
	9	鬼山地獄	〃	76.0	4.95	2536	1137	12.18	251.5	13.79	0.85	1.3	0.05	
	10	白池地獄	〃	52.0	8.05	3046	1231	40.19	414.4		0.55	0.1	0.00	
	11	金竜地獄	68.1.23	73.0	3.45	5594	2514		330.1		1.00	0.0	0.00	
	12	雷園地獄	68.1.22	77.0	3.40	2104	874.0		245.7		1.25	2.8	0.13	
	13	柴石	68.1.8	67.2	3.40	1308	405.0		283.9		0.89	1.9	0.15	
	14	血ノ池地獄	68.1.23	57.9	2.60	2830	1108		593.9		1.07	3.4	0.12	
	15	竜巻地獄	〃	87.3	2.88	2624	988.9		523.1		1.84	1.5	0.06	
	亀川	16	御夢想	68.1.19	47.5	7.52	944	283.1	164.4	136.2	4.598	0.70	5.5	0.58
		17	久保田方	68.1.8	37.0	6.85	812	214.7	286.2	69.96	27.59	0.52	3.7	0.46
		18	浜田	68.1.23	60.2	7.20	1702	565.8	158.3	298.0	21.15	0.66	3.6	0.21
		19	砂湯	〃	58.7	7.30	1792	581.5	179.0	314.4	18.39	0.66	1.1	0.06
		20	亀陽	68.1.8	50.9	7.05	958	298.8	134.0	130.9	13.79	0.74	3.5	0.37
		21	筋湯	〃	47.5	7.58	972	283.8	155.9	137.9	9.196	0.89	2.9	0.30
22		四ノ湯	〃	53.1	7.53	1022	304.8	164.4	136.2	9.196	0.59	0.2	0.02	
23		望潮	68.1.19	49.9	7.75	456	31.53	274.0	39.51	9.196	0.63	5.1	1.12	
掘観海寺田	24	掘田	67.12.25	71.8	6.90	296	26.27	133.9	46.51	85.52	1.66	7.3	2.47	
	25	観海寺	〃	55.5	7.0	386	10.51	255.7	36.22	50.58	0.74	10.3	2.67	
	26	温研	67.12.18	57.0	6.80	276	10.51	148.6	65.02	16.55	0.92	6.0	2.17	
	27	堀田(温研)	〃	55.0	7.15	312	31.52	124.2	68.32	13.79	0.74	2.5	0.80	
旧市内	28	弓ヶ浜	68.1.10	47.5	7.25	1144	125.4	983.9	85.60	68.97	0.48	5.6	0.49	
	29	的ヶ浜	67.12.21	45.0	8.30	924	159.4		105.4		0.55	8.8	0.95	
	30	上のヶ浜	68.1.18	58.0	8.00	1566	420.4	730.7	82.31	9.20	0.52	6.2	0.40	
	31	春日	〃	57.1	7.50	1094	223.5	548.0	59.26	27.59	0.55	3.6	0.33	
	32	弓松	〃	63.2	8.30	1362	317.0	688.0	78.61		0.66	5.8	0.43	
	33	海門寺	〃	52.0	7.05	882	159.4	453.0	57.20	96.56	0.66	3.2	0.36	
	34	田ノ湯	68.1.17	51.9	7.45	680	60.26	444.5	65.85	41.38	0.37	5.4	0.79	
	35	北町	68.1.18	57.1	6.95	948	189.9	462.8	62.56	151.7	0.55	5.9	0.62	
	36	不老	68.1.17	52.2	7.20	650	65.86	478.6	58.44	114.9	0.55	5.4	0.83	
	37	梅園	68.1.18	59.2	7.65	998	190.9	502.9	69.14	91.96	0.52	5.7	0.57	
	38	竹瓦	68.1.10	59.1	7.10	972	144.7	641.8	67.49	156.3	0.74	5.1	0.52	
	39	霊潮	〃	62.1	7.10	1730	581.5	602.8	66.26	78.17	0.74	6.1	0.35	
	40	柳	〃	43.0	6.55	614	73.57	435.9	55.97	160.9	0.52	6.3	1.03	
	41	寿	〃	42.0	6.45	648	74.62	428.7	49.39	156.3	0.44	5.1	0.79	
	42	楠	68.1.18	50.5	7.58	786	117.4	468.8	65.85	22.99	0.59	5.0	0.64	
	43	松原	68.1.17	54.0	7.21	776	154.1	423.8	71.20	84.61	0.74	5.2	0.67	
	44	永石	〃	55.5	7.42	814	171.7	417.7	69.96	27.59	1.25	4.0	0.49	
45	紙屋	〃	46.1	7.30	654	154.8	292.3	72.84	36.78	0.52	5.2	0.80		

第2表 別府温泉各地区の水銀平均含有量

地 区	泉数	Hg平均含有量 ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Hg/蒸発残留物 ($\times 10^{-3}\%$)
明 ば ん	6	4.3	0.84
鉄 輪	9	2.3	0.20
亀 川	8	3.2	0.39
堀田・観海寺	4	6.5	2.03
旧 市 内	18	5.4	0.61
全 平 均	45	4.4	0.65

第3表 pHによる水銀の分布

pH	泉 質	泉数	Hg平均含有量 ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Hg濃度範囲 ($\mu\text{g}/\text{l}$)
< 4	酸 性 泉	11	3.2	0.0~ 9.5
4~8	中 性 泉	30	4.6	0.2~10.3
> 8	アルカリ性泉	4	5.2	0.1~ 8.8

蒸発残留物に対する比は、堀田・観海寺、明ばん、旧市内、亀川、鉄輪の各地区の順で、水銀の平均含有量と同じく堀田・観海寺が最も大きく、鉄輪地区が最も小さい。全体の平均は、 $0.65 \times 10^{-3}\%$ でクラーク数の約32倍である。

第4表 泉温による水銀の分布

泉 温 ($^{\circ}\text{C}$)	泉数	Hg平均含有量 ($\mu\text{g}/\text{l}$)
30 ~ 40	1	3.7
40 ~ 50	8	5.6
50 ~ 60	21	4.1
60 ~ 70	8	4.8
70 ~ 80	5	2.5
80 ~ 100	2	3.5

3・2 pH との関係

別府温泉全域の pH と水銀含有量との間には、明らかな相関は認められない。しかし第3表のように温泉を pH によって大別し、その間における水銀平均含有量を見ると、酸性泉、中性泉、アルカリ性泉の順に増加している。

3・3 泉温との関係

泉温と水銀含有量との関係は、第4表に示すごとく、別府温泉全域では泉温が高くなると、減少する傾向がみられる。

図1 Hgと泉温との関係

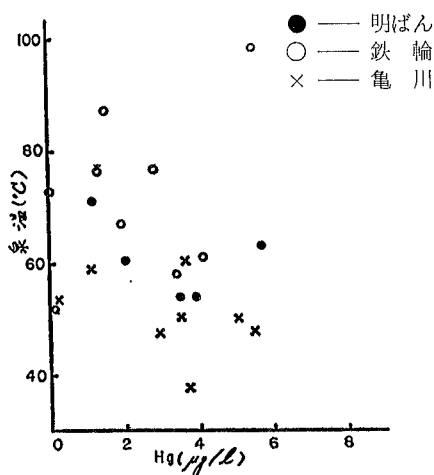
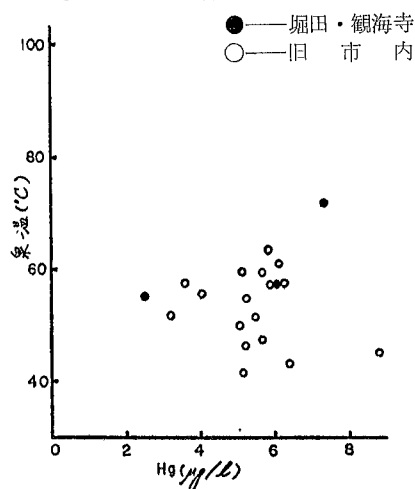


図2 Hgと泉温との関係



これを地区別にみると、図1、図2のごとく明ばん、鉄輪、亀川の各地区ではその傾向がみられるが、旧市内では泉温の変動範囲が小さいので、その傾向は明らかではない。

水銀は常温でも多少揮発する(蒸気圧 20°C 、 0.00131mmHg)から、高温になればさらに揮発量が多くなり、温泉水中の水銀含有量が減少するものと考えられる。

3・4 他成分との関係

i) ハロゲンイオンとの関係

鉄輪地区の塩素イオン、臭素イオン、ヨウ素イオンとの関係を図3、図4、図5に示す。⁽³⁾

図3 HgとCl⁻との関係（鉄輪地区）

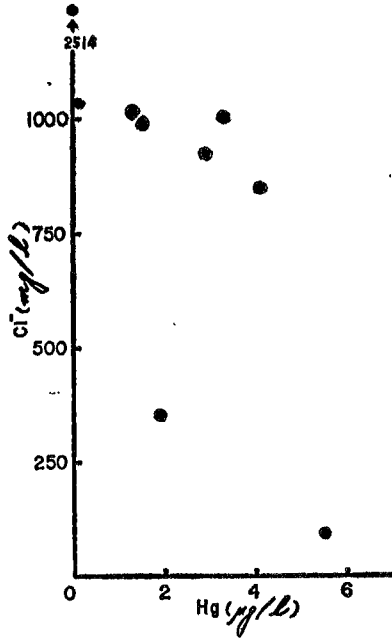


図4 HgとBr⁻との関係（鉄輪地区）

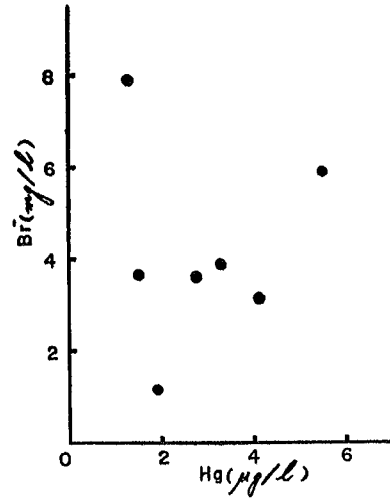


図5 HgとI⁻との関係（鉄輪地区）

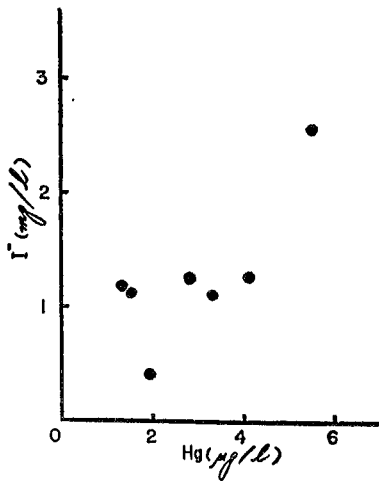
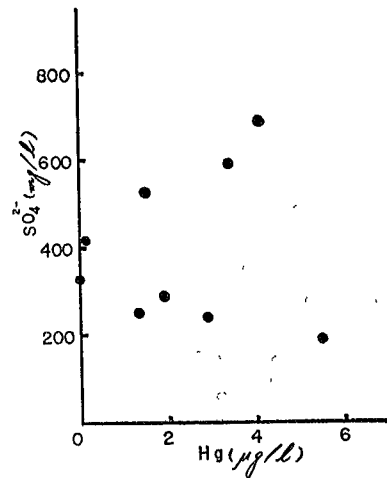


図6 HgとSO₄²⁻との関係（鉄輪地区）



塩素イオンとの関係は、図3のごとく、十万地獄、柴石を除けば負相関の傾向がみられ、これは旧市内でも同様である。

臭素イオンとの関係は図4のごとく、鬼山地獄を除けば正相関の傾向がみられる。ヨウ素イオンとの関係は図5のごとく、正相関の傾向を示し、これは旧市内でも同様である。

水銀は多くのきわめて安定な錯化合物をつくる性質があり、ハロゲンイオンとは各々、HgCl₄²⁻、HgBr₄²⁻、HgI₄²⁻などをつくり、特にHgI₄²⁻は安定である。このことにより、水銀と臭素イオン、ヨウ素イオンとの相関関係は説明しうる。

ii) 硫酸イオンとの関係

鉄輪地区の硫酸イオンとの関係は図6のごとく、海、血ノ池、竜巻、白池の各地獄では正相関を示し、その他の温泉は負相関を示す。負相関を示すのは噴気を主とする温泉であり、これは加熱される

地表水中の水銀含有量の影響をうけるものと思われる。

iii) 硫化水素・炭酸ガスとの関係

Hg^+ 、 Hg^{2+} は H_2S と反応して難溶性の HgS をつくるので、硫化水素の多い明ばん地区につきその相関を調べたが、何らの相関も認められなかった。

また炭酸ガスについては、亀川地区につき相関を調べたが、これも相関は認められなかった。

iii) 他元素との関係

水銀は亜鉛、カドミウムなどと共に亜鉛族元素に属し、 Hg^+ の酸化状態では銅、銀、金などの銅族元素に類似する。

よって、鉄輪地区につき亜鉛、カドミウム、銅、銀、金などとの相関を調べたが、いずれの元素についても、その相関は認められなかった。

ただ、水銀と同程度の含有量である、クロム、ベリリウム、ジルコニウムのうちベリリウム、ジルコニウムの二元素のみは、やや正相関が認められる程度であった。

以上のように水銀と他元素との間には、ほとんど相関が認められなかった。

3・5 河川水、水道水、海水の水銀含有量

朝見川（温泉プール付近）の水銀含有量は $5.0\mu\text{g}/\ell$ （1月下旬）である。これを福岡市東郡を流れる多々良川、宇美川の水銀含有量と比較すると、多々良川では $2.0\sim 15.7\mu\text{g}/\ell$ （9月中旬）、宇美川では $4.9\sim 17.5\mu\text{g}/\ell$ である。多々良川流域は純農村であり、人口密度も小さく、川魚も多く住む清流であり、宇美川流域は人口密度高く、下流の新別府橋よりは下水口、工場も多くなり廃液による汚染の著しい河川である。

また、隅田川（両国）⁽⁶⁾、多摩川、荒川（千住）では $4\sim 7\mu\text{g}/\ell$ 、埼玉県農村の河川では $0.4\sim 1\mu\text{g}/\ell$ である。

以上の定量値よりみて、朝見川の水銀含有量が特に多いとは言えず、むしろ廃液汚染の少ない宇美川や東京都の河川と同程度とみなされる。

別府市の水道水（温研内、1月下旬）は、 $4.8\mu\text{g}/\ell$ で東京都の $0.3\mu\text{g}/\ell$ より多いが、これは水道水の消毒その他の処理法の相違による、水銀の除去量の多少によるものと思われる。

別府湾の海水（約0.5km沖）の水銀含有量は $4.2\mu\text{g}/\ell$ （3月下旬）で、これは博多湾の妙見島付近の $4.1\mu\text{g}/\ell$ ⁽⁴⁾、東京湾の大森付近の $6\sim 10\mu\text{g}/\ell$ ⁽⁵⁾と同程度である。

また、海水の混入が多く、しかも高温である小浜温泉（原爆センター）では $1.30\mu\text{g}/\ell$ である。これは高温による水銀の蒸発を考慮すれば、橘湾の海水の水銀含有量もまた別府湾、東京湾とほぼ同程度であると推定される。

以上のことにより、別府湾の海水の水銀含有量は、廃液により汚染されていない各地の海域とほぼ同程度であることがわかる。

3・6 農薬による影響

現在わが国において農薬の分野で用いられている有機水銀は、 RHgX として表わされる10余種類のもので、特に酢酸フェニール水銀（PMA）は、種子殺菌、土じょう殺菌、稲のイモチ病予防などに広く利用されている。

この水銀農薬を散布した場合、水稻への付着割合は約10%以下であり、残りの90%のうち一部は水田土じょうに吸着され、一部は用水路を経て河川へ流入する。

また、土じょう中の水銀は、土じょうによる吸着、分解、蒸発、雨水による溶解などによって移動

し、この過程において化合物の形態変化を生じ、最終的にはいずれも硫化物になって残留すると推定されている。⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

以上は土じょう中の水銀を農薬のみとして論じたが、元来土じょう中には水銀が含有され、例えば九大構内では $10\sim 15\mu g/100g$ の水銀が定量され、この水銀についても上記と同じ過程を経ることを考慮しなければならない。

したがって、河川水への影響は撒布された水銀農薬の直接の流入、土じょう中の水銀農薬または形態変化による硫化水銀の雨水による流出、元来含有していた農薬以外の水銀の流出などが考えられる。前者の影響であれば農薬撒布時期に一時的に河川水の水銀含有量が増加し、後者であれば長期間にわたる影響がみられる。

別府温泉では温泉水の増加を計るため、河川水を噴気で加熱している温泉もあるので、これらの温泉への水銀農薬の影響を吟味する必要がある。

その例として、堀田泉の水銀含有量の年間変動範囲は、野崎⁽⁷⁾によれば $1.0\sim 10.8\mu g/l$ 、その年間平均値は $3.3\mu g/l$ である。年間平均値からみれば、これは水銀農薬の影響の少ないとみなされる、海地獄、血ノ池地獄と同程度である。

以上のことより、別府温泉に関しては現在のところ、温泉水中への水銀農薬の影響は無視されるものと思われる。

4 結 論

別府温泉45カ所の水銀含有量を調査し、つぎの結論をえた。

1. 水銀含有量の最大値は観海寺の $10.3\mu g/l$ 、最小値は金竜地獄の $0.0\mu g/l$ であった。
2. 地区別の水銀平均含有量、蒸発残留物に対する比は両者とも、最大は堀田・観海寺地区、最小は鉄輪地区であった。
3. 水銀含有量は、pHのアルカリ側で増加し、泉温が高くなると減少する傾向がみられた。
4. 鉄輪地区の水銀含有量とハロゲンイオンとの間には、相関の傾向が認められるが、亜鉛族、銅族元素との間には、相関は認められなかった。
5. 別府温泉に関しては、現在のところ水銀農薬による汚染の影響は認められない。
(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厚く感謝する。)

文 献

- 1) 古 谷 : 九大農学芸誌、21、363 (1965)
- 2) 川 上 : 温研紀要、投稿中
- 3) 川 上 : 温泉科学、17、58 (1967)
- 4) 古谷ら : 九大農学芸誌、22、199 (1965)
- 5) 藤 村 : 日衛誌、18、402 (1964)
- 6) 青 峰 : 科学、37、651 (1967)
- 7) 伊 藤
野崎ら : 大分県温泉調査研究会、18、58 (1967)

地熱地帯における温度指示元素 による化学温度計の適用

九州大学温泉治療学研究所

温泉理学科 古 賀 昭 人

1 緒 言

近時、地熱地帯における深部ボーリングは盛んであり、我が国においても岩手県の松川や大分県の九重火岳では地熱発電所の運転がなされている。しかしながら、ボーリングのさいの地下温度測定は必要且最大の関心事であるにもかかわらず、掘さく時の温度測定は実際には何を測定しているかは分らず、一応の目安とはなり得ても一般には低く出ている恐れがある。掘さく時には泥水などを注入する結果、温度が低くなりその回復するまでの時間が長時間かかるので、実際の地温測定は回復前になされるのがふつうである。また、掘さくが完成し、たとえば地熱発電が行われている場合、一度パイプを連結して例えば地下孔底温度を測定することは不可能ではなくとも多くの難点があるであろう。しかし、地熱発電の運転上、この地下温度を測定することは必要であり地熱発電用井戸の経年変化を知る上に重要なことである。

孔底温度の測定には留点温度計、サーミスター、チオサーモグラフなどが用いられているが、これら物理的測定法の他に熱水が持っている化学成分から地下温度が測定可能であるならば（これを化学温度計、Chemical thermometer と名付けることにする）たとえば地熱発電で井戸とパイプを連結した後においても測定のために井戸頭の一部をはずし、一タウインチを用いて温度計を降す手間はもちろん、発電所への高圧蒸気の送付を止めることなく、セパレーターにより分離された熱水を分析することにより孔底温度の測定が可能となるであろう。結果として、今まで不充分であった開発操業下の地熱地帯の温度測定がかんたんになり、フィールドに流れこむ冷水をモニターできることになる。

2 化学温度計の原理

地熱地帯において地下数百から千数百メートル位ボーリングして得られる熱水は一般に中性ないし

第1表 典型的深部熱水の分析例 (p.p.m)

pH	Li	Na	K	Rb	Cs	Ca	Mg	Fe	Al	Mn
8.5	13.2	1200	200	3.0	2.7	17.5	0.05	0.03	0.03	0.012
As	F	Cl	Br	I	SO ₄	HBO ₂	SiO ₂	Ge	Mo	Zn
4.7	8.1	2156	5.9	0.6	25	115	660	0.057	0.050	0.012

微アルカリ性の食塩泉である。表1にその代表例を示す。熱水は地表冷水が地下に滲透し、地熱で温められ熱水だまりを形成しているが、含有している化学成分は主に周囲岩石からのリーチングによるものと考えられる。もちろん、この間ニュージーランドのワイラケイでは10年以上、イタリアのラルデレロでは30年以上経っていると云われており地下の熱水はその温度、その圧力下で平衡を保っていると思なすことができる。

以上の理論を基礎におき、問題はこの化学成分の中、化学温度計となりうる温度指示元素は何であるかということであるが、今回はこれら熱水に多量に含有され、かつ測定に便利な SiO₂とNa/K の

原子比を選んで化学温度計となりうるかどうかを検討した。

2.1. SiO₂ 法

この方法には、つぎの仮定がある。1) ボーリング孔へ供給されている熱水は石英に対して飽和されていること。2) 深部の熱水と実際に採水しうる地表との間に、周囲の岩石やパイプの中への石英の沈着が全 SiO₂ に比し小さいこと。3) 深部熱水の上昇途上において浅部冷水の混入がないことなどである。言いかえれば、以上の条件下の熱水に対して SiO₂ 法が適用しうるのである。

実際には、地下深部の熱水はそのまま採水することはできない。採水できるのはセパレーターを通過して分離した熱水であり、この SiO₂ 量を測定して地下の熱水中の濃度に換算せねばならぬ。(地下深部では熱水だまりが存在しており、これが地上に出て熱水と水蒸気とに分離するが、結果的には測定した SiO₂ 量は濃縮されていることになる。したがって地下深部熱水中の SiO₂ 量に換算するには測定値×熱水量/全噴出量の式によって求められる。ふつうには、ある口元圧力における蒸気量、熱水量の測定がなされているのでこれを1気圧下の量に補正する必要がある。)かくして得られた地下深部熱水中の SiO₂ 量から図1の石英の溶解度曲線から、それに対応する温度が得られる。使用する図1は Kennedy (1950)、Morey et al (1962) により得られた gas 状 water + liquid + quartz の3相に関する溶解度曲線である。

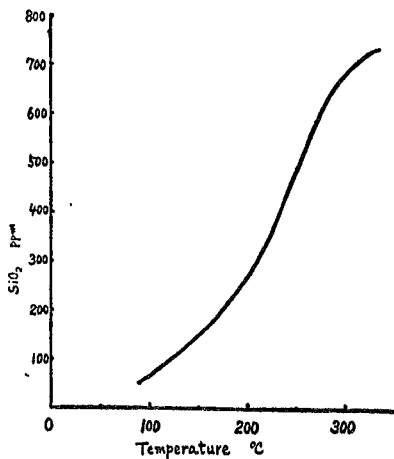


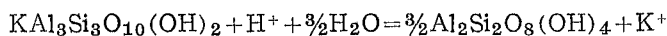
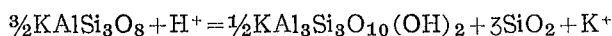
図1 石英の溶解度曲線

Jones (1964) などによる測定値から得られたものである。Orvillee (1963) は NaAlSi₃O₈ - KAlSi₃O₈ - H₂O 系の実験から反応溶液の Na/K 比は岩石中の Na/K 比に依存せず温度だけによるとしている。

(D.E.Whiteの22/10/65の特別講演「Magmatic water」について、による一日本地球化学会ニュース No.34, P.2) しかし、岩石により多少の違いがあるようである。

何れにしても Na/K 比が中性～微アルカリ性の食塩泉型熱水について温度を指示することは確かであり、大体の地下温度を図2より推定することができる。

酸性の熱水は地下浅所で生成された硫酸の混入が考えられることから、SiO₂ 法と共に適用できない。たとえば酸性の水は



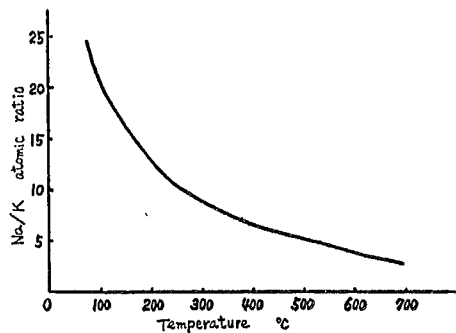
のように正長石から白雲母となり、白雲母は更にカオリナイトと変ずる。このさい K⁺ イオンを放出するから一般に酸性の水は Na/K 比が低いのである。

2.2. Na/K 比法

オートクレーブを使用した岩石の高温における溶出実験から Na/K の原子比が温度依存であることが分っている。

図2は Ellis, Mahon (1967) Orvillee (1963)、Hemley

図2 高温における反応溶液中の Na/K



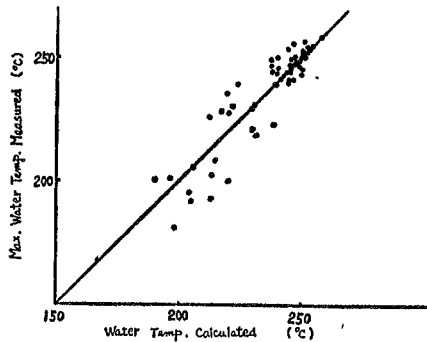
3 結果と考察

3.1 ニュージーランドの地熱地帯

ニュージーランドのワイラケイには凡そ20万KW時の地熱発電が行われている。現在の活動井は凡そ65本位だが、毎年数本ずつ掘さくされている。

各井戸の地下温度はジオサーモグラフによって測定されているが、地下の等温線と熱水中の SiO_2 量とはよく比例しており、最高温度地帯の熱水に SiO_2 量の最大なのがある。また、熱水中の Na/K 比も、やはり等温線の図と同様になる。つまり高温の所が Na/K 値が低いのである。

図3 ニュージーランド、ワイラケイにおける SiO_2 法による計算値と温度計による実測値との比較



Mahon (1966) は、これらワイラケイ地区の熱水の SiO_2 量を定量し、これを深部熱水の SiO_2 に換算して図1の石英の溶解度曲線からこれに相当する温度を計算して極めて満足すべき結果を得た。それによると、ジオサーモグラフによる実測値と計算値との関係は図3に示すように僅かのばらつきがあるが、58個の井戸の孔底温度の全平均値は実測値の 236.3°C に対し、計算値のそれは 235.7°C であり、まさに驚くべき一致である。実際にジオサーモグラフの精度は $\pm 3^\circ\text{C}$ であり、 SiO_2 法のそれも同程度であるから合計 $\pm 6^\circ\text{C}$ 以内の誤差は考えられるであろう。

また、井戸の深さの問題、その中のケイシングの長さの問題などについても考慮すべきである。更にジオサーモグラフは、ある深度における温度を指示するのに対し、 SiO_2 法はもっと幅の広い深度の温度を示している。したがって、実測値と計算値とが離れているような井戸には、そのボーリング孔へ2水系以上が入っているのかも知れない。一方、高いエンタルピーをもつ井戸、つまり蒸気量が多く熱水量が極めて少ない井戸に実測値と合致しないのがあったが、これらは一般に計算値の方が実測値よりも大であった。

ともあれ、ワイラケイの大部分の井戸の孔底温度が実測値と計算値とでよく一致することは、熱水中の SiO_2 が岩石中の石英をとくして平衡状態にあることを示すものである。

ニュージーランドのタウポ火山帯の他の地熱地帯でも、この SiO_2 法は満足すべき結果を得たが、それ以外の堆積岩地帯の地下熱水においてもこの方法が充分適用されることが分った。

ジオサーモグラフによる孔底温度測定は度々行われるものではない。また、 SiO_2 法に必要な水蒸気量や熱水量の測定も度々行われるものではないが、別法の Na/K 比法にはその必要がない。ただ、この方法は SiO_2 法に比し幾つかの因子の影響があって、それ程正確ではないが、むしろこの方法が簡易法として幅広い利用度があるかも知れない。

たとえばワイラケイの熱水の経年変化を見る場合、表2のように全活動口の Na/K 比の平均値をとればCl量はその変化していないのかかわらず Na/K 比が次第に増加しつつあることが分る。このことは勿論、孔底温度の低下を意味している。つまり、1965年は1961年から4年間に 20°C 位下っているのである。これは地熱発電地帯の常として当然考えられることであろう。 Na/K 比の上昇は冷地下水の混入ではなく（含有している成分のほとんどない地下水の混入では

第2表 ワイラケイ熱水の Na/K 比の経年変化

Date	1960	1961	1962	1963	1964	1965
Cl p.p.m.	2216	2204	2198	2237	2228	2208
Na/K	11.9	11.3	11.4	11.7	12.0	12.6
($^\circ\text{C}$) Temp. Calculated	195	205	205	200	195	185

Na/K 比は不変である)、やはり地下温度の低下によるK溶出力の減少を意味するものと考えられる
 ワイラケイ地区は初期に開発された東部地区と現在活動口の多い西部地区とに分れるが、西部地区は深度も温度も高く熱水中のNa/K 比から計算した温度と比較的によく合っている。東部と西部間に散在する中間地域では一般にNa/K 比は高い。ワイラケイ地区でのNa/K 比法による計算値では全体の平均227℃で実測値の236℃に比し若干低く出ている。

Na/K 比法は化学温度計の原理の項で述べたように酸性の水では使用できず、中性ないし微アルカ
 第3表 ニュージーランドの代表的熱水 (p.p.m)

Source	Depth (m)	pH	Na	K	Na/K	Temperature°C		HCO ₃	SO ₄
						Measured	Calculated		
Wairakei Hole 44	695	8.4	1320	225	10.0	260	255	26	36
Waiotapu Hole 6	915	8.9	860	155	9.6	275	270	90	52
Orakeikorako Hole 2	1150	9.1	550	54	17.3	260	125	400	142
Kawerau Hole 7	870	6.9	915	152	10.3	278	250	160	60

り性の食塩泉で適用できるが、ニュージーランドの地熱地帯の他の場所での適用例を表るに示すと、ワイラケイ、ワイオタプでは実測値より僅かの低値であるが、とくにオラケイコラコでは極めて違った値を得ている。オラケイコラコ地区の温泉はClがそれ程多くなくHCO₃やSO₄が案外多い特長がある。このことは一部が水蒸気によって加熱されていることを示す。カワラもHCO₃が若干多く、計算値が実測値より低い値を得ているのはこのためであろうと考えられる。何れにしても、HCO₃やSO₄は地下の浅い所で作られたものであるから地下深部の食塩泉にこれらが混入したとすれば、やはり誤差の原因になるであろう。

3.2. 日本の地熱地帯

日本には多くの地熱地帯があり数多くのいわゆる沸とう泉があるが、一般に熱水量と蒸気量とが測定されているのは一部に限られる。地熱発電を行なっている井戸だけである。したがって、SiO₂法の適用はそれだけに限定される。

(A) 九重大岳地区

九重大岳の九州電力の地熱発電所は1967年8月から営業運転されたが、現在の活動利用井戸は5本である。大岳地区の井戸の熱水はワイラケイと同様に微アルカリ性の食塩泉であり、岩手県の松川がClを含まずpHの低い、つまりSO₄の多い熱水に比し、本当の深部熱水である。松川は単なる地下水が蒸気によって加熱されたものと考えられる。

大岳地区の利用井のSiO₂法による計算温度と、Na/K 比法による計算温度とを表4、5に示す。

第4表 SiO₂法による大岳drillholeの孔底温度

Hole Number	6	7	8	9	10	
Depth (m)	500	350	500	550	600	
計算孔底温度	1965. 8	217°C	224°C	—	233°C	240°C
	1967. 4	212	215	—	239	240
	1967. 7	—	208	—	237	245
	1967.11	—	222	250?	238	245

第5表 Na/K比法による大岳発電井の孔底温度

Hole No.	6	7	8	9	10	
Depth (m)	500	350	500	550	600	
計算孔底温度	1967. 7	205°C	200°C	—	225°C	205°C
	67.11	190	205	210	220	205
	68. 2	195	205	215	225	205
	68. 3	195	205	215	225	210

それによると、SiO₂法の方がNa/K比法より高くでておりワイラケイにおけると同様な結果を得ている。ワイラケイではSiO₂法の方が実測温度と良好な一致を示したが、大岳地区ではこの方法が正しいかどうかは実測値がないため判然としない。また、大岳地区の熱水はワイラケイと同様に微アルカリ性の食塩泉であるが、ワイラケイよりもSO₄、HCO₃が多い。この点、前節の表3の説明で述べたようにNa/K比法の計算温度が低くでる可能性も存在する。この点、孔底温度の正確な実測を待って検討することが望ましい。湯原浩三氏（私信による）によれば、地球物理学的なエンタルピーの計算から彼は大岳地区の熱水層の温度をNo.6で183℃、No.7で208℃、No.8で170℃、No.9で200℃、No.10で172℃としているが、これは地下熱水層の沸とう地点の温度であり表面の温度であるので著者の行なったNa/K比法より若干低値を示しているのは止むを得ない。しかし、表4のSiO₂法で10号井が最高温度を示したのに比し、地球物理的計算では、むしろNa/K比法の値に傾向が類似している。これらの現象は、たとえば10号井などは石英の溶解度のみならず、クリストパライト（石英より溶解度が高い）の溶解が加わっているのかも知れないことを暗示している。

何れにしても、これからの研究が望まれる。また、調査2号井の各深度毎の採水した熱水の分析によるNa/K比法の計算温度を表6に示す。この採水は吹かせる前（昭和41年12月5日採水）に採った

第6表 九電大岳調査2号井の地下温度
(昭和41.12.5採水)

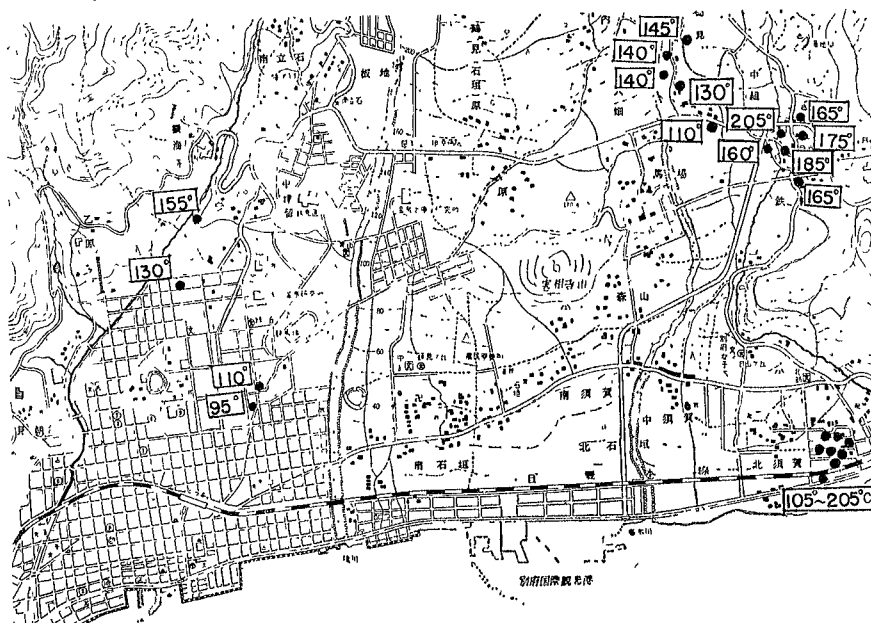
Depth (m)	380	490	660	810
Na/K	12.0	10.0	10.7	9.7
(°C)				
Temp.calculated	195	230	220	240

ものであり、井戸の中の熱水は各深度の地熱と等温であり平衡状態にあったと仮定している。490 mでやや高くでているが一般に深くなる程、温度は上昇していることを示している。ただし、2号井のpHでは4.6であり、中性ではないのでNa/Kは低く、つまり計算温度は高くでる恐れがある。この点は留意すべきであるが、地熱の傾向を如実に現わしていることは否定できない。

(B) 別府地区

別府地区の地下構造も大岳地区の地熱構造と類似の点があることから、地下熱水だまりの温度測定にSiO₂法やNa/K比法が適用できるはずであるが、別府周辺の沸とう泉の水蒸気のロス量が不明なので、SiO₂法は適用できず（この点については採水と同時に測定がなされねばならず地球物理学

図4 別府地熱地帯の地下温度 (Na/K比法)



者との共同研究の要あり)、Na/K 比法について考察することにする。

山下(1965)の行なった沸とう泉の分析結果から酸性泉を除く20数個の中性ないし微アルカリ性の食塩泉(ただしCl=1 g/l以上含むもの)のNa/K 比法による地下の計算温度は図4の如くであり極めて満足すべき結果を得た。すなわち、観海寺から旧市内に近づくにつれ温度は次第に低下しており旧市内の温泉水は朝見川上流の断層線により展開された堀田・観海寺附近の高温の深部熱水が東部に流れ、旧市内で地下浅部で作られたSO₄やHCO₃を加えて温度も次第に下ったものと考えられる。

一方、鉄輪附近のいわゆる地獄地帯では、春木川上流の今井附近から東部に行くにつれ温度も低下しているが、鉄輪町に200℃前後の高温地帯があり、これは湯原ら(1965)の地球物理学的研究によっても実証されており、当然予想された所であるがNa/K 比法も充分その傾向を示しており適用できることの証明である。

更に亀川の照波園にも多くの沸とう泉があるが計算値では105℃から205℃と狭い地域に温度の差が大きい。多分、ボーリング孔の深度がまちまちであるからと思われる。

その他、最近では数多くの沸とう泉が掘さくされているが、これらの熱水の分析を行なえば一層、別府地下の地下深部の構造、熱水のあり方、移動方向などが判然とするとと思われる。

4 結 論

地熱地帯の深部温度を測定することは地熱発電のみならず、ある温泉地帯の地下構造や成因を知る上に不可欠の重要時である。しかし、温度測定器を用いることは種々の難点が起こりうるので、新しい測定方法として化学温度計を提唱し、SiO₂法、Na/K比法のような簡便な間接温度測定により地熱地帯の中性ないしアルカリ性の食塩泉型の熱水に適用して相当に満足すべき結果を得た。

もし、実測値と合致しない井戸については当然その因子を考究すべきであり、逆にその熱水の成因を知ることが可能になる。一方、地熱発電地帯にはもちろん、他の温泉地帯において定期的に化学温度計で測定することによって(地下温度に鋭敏に対応するので)経年変化の推移を見守ることが可能である。

(この研究費の一部は大分県温泉調査研究会より受けた。また九州電力大岳地熱発電所で発電井の水蒸気量、熱水量の測定値の御教示を得た。併せて深く感謝する。)

文 献

- 1) Kennedy, G. C.: Econ. Geol. 45, 629-53 (1950)
- 2) Morey, G. W., Fournier, R. O., Rome, J. J., Geochim. Cosmochim. Acta 26, 1029-43 (1962)
- 3) Ellis, A. J., Mahon, W. A. J., ibid 31, 519-38 (1967)
- 4) Orville, P. M., Am. J. Sci., 261, 201-37 (1963)
- 5) Hemley, J. J., Jones, W. R., Econ. Geol. 59, 538-69 (1964)
- 6) Mahon, W. A. J., N. Z. J. Sci., 9, 135-44 (1966)
- 7) Yamashita, K., Special Contributions, Geophysical Institute, Kyoto Univ., No. 5 17-24 (1965)
- 8) Yuhara, K., Tomosada, A., ibid 33-44 (1965)

温泉水保存の研究

九州大学温泉治療学研究所

温泉理学科 野 崎 秀 俊

緒 言

温泉水は地下で高温、高圧の状態にさらされることにより、溶媒である水、および溶存物質が地上で一般的に確められ考えられている溶存状態と異り、その為に天然温泉は特有な性状を呈し、それが温泉の特殊な医治効能の一因であるとさえもいわれる。

昔は温泉を蒸発乾固し、それを再溶解して温泉を再生することを考えた時代もあったが、溶存して居た物質の一部に不溶解なものが生じたり、溶解はしたがかなり元の温泉と異なるものが出来たりすることが判明し、その様なことは行なわれなくなった。

その後、温泉の分析技術の進歩と共に、温泉の分析表の通りに物質を加え、人工泉を造ることが試みられたが、温泉と同じものを造ることは不可能であった。

温泉水の生体に与える特異的な医治効能の他の一因として、最近の研究の結果、泉水中に含まれる微量元素の役割りが判明、その特に有効な元素を、治療に応用することが行なわれるようになった。しかし単一の元素のみならずともかく、それらの必要とする元素の数、種類、混合比の問題となるとまだ未解決の分野が多い。これから考えると天然温泉を乾燥粉末とし、用事溶解させることが出来れば最も理想的である。しかも所謂、老化現象を起さない様な方法で粉末とする方法が得られればこれに越したことはないと考えられる。現在では科学の発達と共に、液体の乾燥方法も非常に発達して来た。これらの方法を利用、温泉水を乾燥粉末とし、主として触媒能を中心として研究を行なって来たので報告する。

使用温泉

1 別府京町温泉	含土類重曹泉	1.808	g/l
2 有馬天神湯	含塩化土類強食塩泉	71.39	g/l
3 有馬岩成湯	含塩化土類強食塩泉	48.05	g/l
4 河内長野湯	含塩化土類食塩泉	14.20	g/l

乾燥方法

温泉水を直火乾燥、真空乾燥、急速噴霧乾燥、乳糖加急速噴霧乾燥、で粉末化した。

粉末の色および性状

Tab.1 温泉乾燥粉末の色

	直火乾燥	真空乾燥	急速噴霧	乳糖加急速噴霧		
				2 倍	3 倍	5 倍
有馬天神湯	黄褐色	微黄色	微橙黄色	白 色	微黄白色	白 色
有馬岩成湯	黄褐色	黄 色	白 色	白 色	白 色 (非常に軽い)	白 色
河内長野湯	白 色	白 色	白 色	白 色	白 色 (非常に軽い)	白 色
別府京町泉	微褐白色	微黄褐白色	微黄褐白色	白 色	白 色	白 色
塩化第一鉄	褐 色	黄褐色	黄 色	黄 色	黄 色	黄 色

表1の如く、泉質、乾燥方法により温泉粉末の色が異なる。同じ温泉よりの乾燥粉末でも、有馬天神湯の如く直火乾燥の褐色より、乳糖加噴霧の極微黄白色まで種々の粉末が出来る。一般的に鉄を多く含む温泉では直火乾燥によるものが、最も鉄の価の色が強い。性状で特に乾燥方法の差が出来たのは、河内長野湯で、直火乾燥のものに比し、乳糖加急速噴霧乾燥の粉末が特に軽く、同じ重量でその容積は約10倍程になる。

水に対する溶解性および溶液の色

Tab.2 ベンチジン反応及び溶液の性状

泉名	乾燥方法	直火乾燥	真空乾燥	急速噴霧乾燥	乳糖加急速噴霧乾燥		
					乳糖2×	乳糖3×	乳糖5×
有馬天神湯	濃度	70g/l	70g/l	70g/l		210g/l	
	反応	+	++	+++		++	
	溶解性	難	難	溶		易溶	
	溶液の性状	黄褐色・沈澱	褐色・沈澱	黄色		微黄色	
有馬岩成湯	濃度	40g/l	40g/l	40g/l	80g/l		200g/l
	反応	±	±	++	++		+
	溶解性	難	難	溶	易溶		易溶
	溶液の性状	黄褐色	黄色	微黄色	無色		無色
河内長野湯	濃度	14g/l	14g/l	14g/l		42g/l	
	反応	-	-	-		-	
	溶解性	難(一部不溶)	難(一部不溶)	稍難		易	
	溶液の性状	無色・沈澱	無色・沈澱	微白けん濁		乳白色	
別府京町温泉	濃度	1g/l	1g/l	1g/l		3g/l	
	反応	±	±	+		++	
	溶解性	難(一部不溶)	難(一部不溶)	稍難(濁)		易溶	
	溶液の性状	黄色	微黄色	微黄色		無色	

表2に見られるように、直火乾燥、あるいは真空乾燥による粉末は、難溶性であり、殆どが不溶物を残す。しかし急速噴霧乾燥では、たちまち溶解してしまうという訳にはいかないが、溶解性は増大する。稍難溶性であるが前の直火、真空の難溶性と異り、吸湿的な性質を有する為に、いわゆる「だんご」状に固り、完全溶解まで時間が幾分かかかるようである。乳糖を加えた急速噴霧乾燥の粉末は、同様幾分吸湿性であるが、溶解性は非常に良好である。

次に溶液の着色程度は、これも各泉質により非常に異って来る。先ず有馬天神湯、直火乾燥粉末は前述のように粉末自身褐色で、難溶性であるが、溶解と共に溶液は濃い褐色となり、ゲル状の沈澱を浮遊して来る。真空乾燥によるものは前者に比らべると褐色の度合いが薄いのが、やはり第2鉄の黄褐色沈澱を溶解と同時に生じる。急速噴霧による粉末は、第2鉄による黄色を呈するが、呈色度は弱く、初期においては沈澱を生じない。乳糖加急速噴霧による粉末では、溶液が微に黄色を呈するのみである。

有馬岩成湯では、直火乾燥を除き、各法によるもの総て溶解直後は沈澱を生じない。直火乾燥によるものはやはり黄褐色の沈澱を伴う。真空乾燥によるもの黄色、急速噴霧によるもの微黄色で、乳糖

を加えたものは、各倍散とも無色となる。

河内長野湯は各法共、無色の溶液となるが白い沈澱浮遊物を伴なう。ことに直火乾燥、真空乾燥によるものは沈澱の粉子が大きく、急速噴霧によるものは微白濁、乳糖を加えたものは全く乳白色といって良い程で、ゾル状である。

京町温泉については、直火乾燥によるもの黄色、真空、急速共微に黄色で、乳糖加のものでは全く無色である。

ベンチジン反応

a) 方法

ベンチジンの飽和酢酸溶液と3%過酸化水素水等量を加え、ベンチジン青の発色を見る。

鉄の酸化による黄褐と重なりははっきりと判明しないもの………±、明瞭なもの………+、強いもの………++、甚だ強いもの………+++とした。

b) 結果

表2に反応結果を示す。泉質によりその強さは異なるが一般的に直火乾燥より真空乾燥、更に急速噴霧乾燥と反応が強くなる。乳糖を加えたものは、急速噴霧と同等か幾分弱いようである。

過酸化水素分解能

a) 方法

泉水、或は乾燥粉末を60°Cの蒸留水に溶解、その200mlに1%過酸化水素水5mlを加え、60°Cの恒温槽に保存、一定時間毎にその10mlをとり、20%硫酸2mlを加え、0.04N過マンガン酸カリ溶液で滴定する。

過酸化水素を加えた直後の過マンガン酸カリ溶液の消費量を、 a mlとし、 t 分後迄に分解した過酸化水素に相当する過マンガン酸カリ溶液の量を、 x mlとし、下記の一次反応の式で速度恒数Kを求める。

$$K = \frac{1}{t} \log \frac{a}{a-x}$$

b) 結果

Tab.3 * 有馬天神湯粉末の過酸化水素分解速度恒数

乾燥方法	直火乾燥		真空乾燥		急速噴霧乾燥		乳糖3倍急速噴霧	
	濃度		濃度		濃度		濃度	
a	4.468		4.147		4.333		4.147	
t	$a-x$	$k \times 10^{-3}$	$a-x$	$k \times 10^{-3}$	$a-x$	$k \times 10^{-3}$	$a-x$	$k \times 10^{-3}$
10 min	4.413	0.52	4.075	0.79	4.275	0.60	2.485	22.25
20	4.395	0.37	3.945	1.08	4.245	0.43	1.177	27.35
30	4.368	0.32	3.895	0.91	4.209	0.41	0.279	38.39
60	4.280	0.31	3.765	0.70	4.083	0.43	0.240	20.63
90	4.175	0.33	3.630	0.58	3.983	0.41	0.198	13.21
120	4.115	0.30	3.575	0.54	3.860	0.42	0.168	11.60
150	4.000	0.32	3.505	0.49	3.768	0.41	0.143	9.75
180	3.914	0.32	3.450	0.44	3.700	0.39	0.128	8.39
210	3.841	0.31	3.390	0.42	3.618	0.37		

Fig. 1 有馬天神湯粉末の過酸化水素分解速度恒数時間的変動、乾燥方法による差 その1

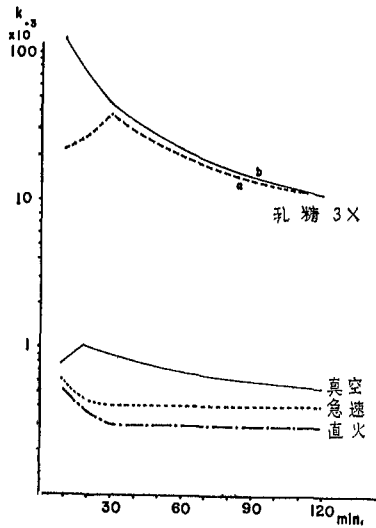


Fig. 2 有馬天神湯粉末の過酸化水素分解速度恒数時間的変動、乾燥方法による差 その2

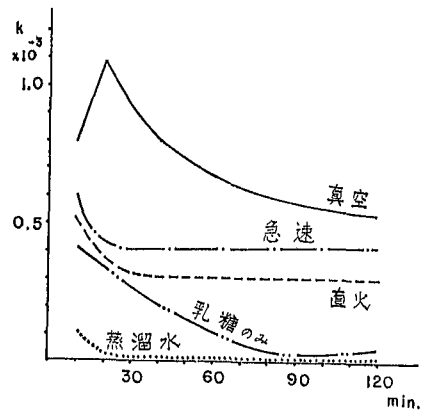


表3および図1に示す様に、有馬天神湯では、乾燥方法の違いにより、過酸化水素分解速度恒数に非常に大きい差が生じた。乳糖加急速噴霧粉末の溶液は、非常に大きい速度恒数を与える。図1に示す乳糖3×のa及びbは、造った日時が異り、aは汲んだ日から粉末とした日までの時間は不明である。bは湧出後約24時間で粉末としたものである。両者は初期の速度恒数に少し差がある。乳糖を加えない三つの方法によるものについては、特に大きい差は見られない。しかしこの中では真空乾燥によるものが、幾分大きい値を示す。乳糖のみと蒸溜水についての過酸化水素分解能は図2の通り、極めて小さい。

Tab. 4 有馬天神湯粉末及び対照の過酸化水素分解速度恒数

濃度	乳糖3倍急速噴霧		乳糖3倍急速噴霧		乳糖3倍急速噴霧		乳 糖		蒸 溜 水	
	20 g/l		10 g/l		5 g/l		20 g/l		-	
a	3.981		4.447		4.425		3.830		4.458	
t	a-x	k×10 ⁻³	a-x	k×10 ⁻³	a-x	k×10 ⁻³	a-x	k×10 ⁻³	a-x	k×10 ⁻³
10 min	2.642	17.81	4.363	0.82	4.414	0.11	3.783	0.40	4.446	0.09
20	2.373	11.24	4.317	0.64	4.403	0.11	3.773	0.32	4.450	0.03
30	2.271	8.13	4.282	0.55	4.392	0.12	3.760	0.27	4.450	0.01
60	2.147	4.47	4.230	0.36	4.363	0.10	3.780	0.09	4.441	0.03
90	2.127	3.03	4.201	0.28	4.320	0.11	3.810	0.02	4.449	0.01
120	1.915	2.65	4.108	0.28	4.270	0.13	3.780	0.05	4.453	0.00
150	1.907	2.13	4.043	0.28	4.235	0.13	3.765	0.05	4.455	0.00
180	1.900	1.78	3.964	0.28	4.225	0.11			4.452	0.00

Fig. 3 有馬岩成湯粉末の過酸化水素分解速度恒数時間的変動乾燥法による差

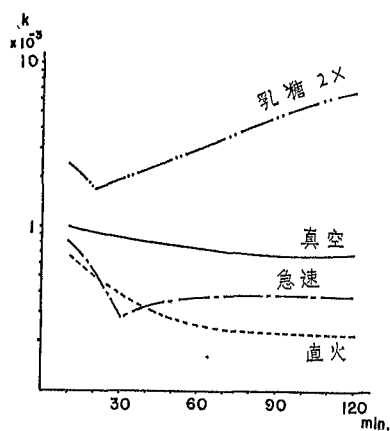
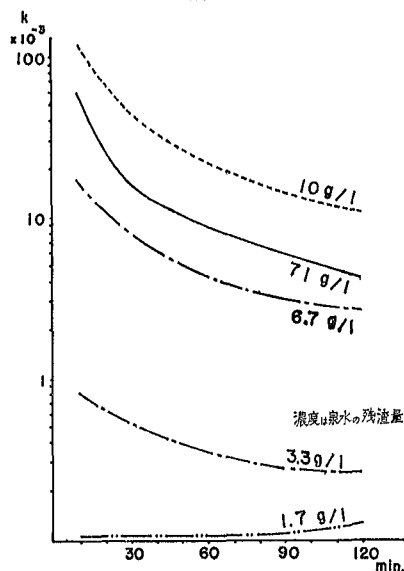


Fig. 4 有馬天神湯乳糖加粉末の過酸化水素分解速度恒数、濃度による差



岩成湯では程度の差はあるが、前者と同様乳糖を加えた急速噴霧が最も大で、以下三法は殆んど変りない。大きさの順は真空、急速、直火の順である。

以上の実験は、天神湯、岩成湯共蒸発残渣量が特に多い為、天神湯については残渣量の約1/4... 10 g/lの濃度で、又岩成については残渣量の約1/4... 12 g/lで行なった。

濃度による速度恒数の違いについて、図4に見られるように一つの例外はあるが、濃度の濃いものが速度恒数も大となる。この例外は濃度的に最も高い有馬天神湯の残渣量71 g/lに相当する濃度に溶解した液の過酸化水素分解速度恒数が、1/4量の濃度しかない溶液の速度恒数より小さいということである。乳糖の絶対量が大きくなるため抑制的に働くのか、或は乳糖の溶解度は176 g/lで、この濃い濃

Tab. 5* 有馬岩成湯粉末の過酸化水素分解速度恒数

乾燥方法 濃度	直火乾燥		真空乾燥		急速噴霧乾燥		乳糖2倍急速噴霧		乳糖5倍急速噴霧	
	12 g/l		12 g/l		12 g/l		24 g/l		60 g/l	
a	4.407		4.140		3.960		4.037		4.000	
t	a-x	k×10 ⁻³	a-x	k×10 ⁻³	a-x	k×10 ⁻³	a-x	k×10 ⁻³	a-x	k×10 ⁻³
10 min	4.339	0.69	4.045	0.99	3.887	0.82	3.825	2.33	3.175	10.04
20	4.307	0.49	3.970	0.91	3.843	0.51	3.737	1.67	2.559	9.70
30	4.290	0.39	3.933	0.90	3.887	0.27	3.647	1.80	1.028	19.66
60	4.260	0.25	3.790	0.63	3.760	0.37	2.628	3.11	0.190	22.05
90	4.197	0.24	3.610	0.66	3.657	0.39	1.430	5.00	0.185	14.83
120	4.153	0.21	3.422	0.70	3.567	0.38	0.575	7.05	0.215	10.58
150	4.110	0.20	3.330	0.63	3.487	0.37	0.225	8.36	0.235	8.21
180	4.057	0.20	3.186	0.63	3.428	0.35	0.112	8.65	0.245	6.74
50									0.224	25.00

Fig. 5 有馬天神湯及び稀釈した場合の過酸化水素分解速度恒数の時間的変動

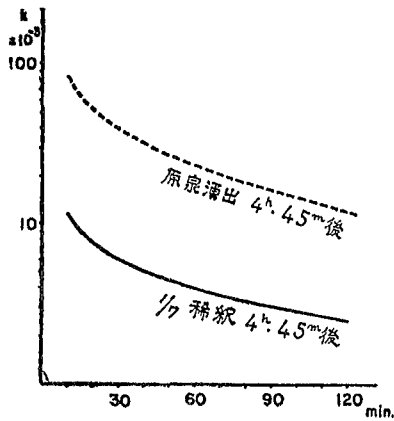
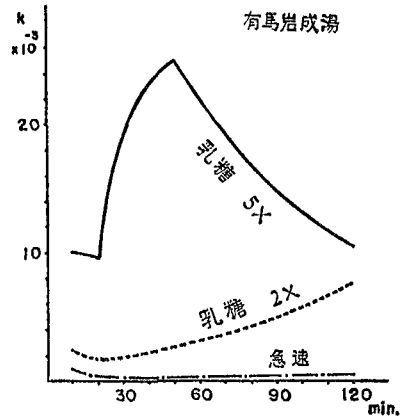


Fig. 6 過酸化水素分解速度恒数に与える乳糖の影響



Tab. 6 有馬天神湯の過酸化水素分解速度恒数

濃度	湧出直後		湧出 4 h 45 m 後		湧出 4 h 45 m 後		乳糖 3 倍急速噴霧		乳糖 3 倍急速噴霧	
	71 g/l (蒸発残渣)		71 g/l (蒸発残渣)		10 g/l (蒸発残渣)		213 g/l		30 g/l	
a	3.850		3.850		3.850		4.460		4.460	
t	$a - x$ $k \times 10^{-3}$		$a - x$ $k \times 10^{-3}$		$a - x$ $k \times 10^{-3}$		$a - x$ $k \times 10^{-3}$		$a - x$ $k \times 10^{-3}$	
5 min	0.500	177.30	0.809	135.50			1.088	122.54		
10	0.305	108.49	0.600	80.73	2.943	11.66	1.100	60.80	0.250	125.14
15	0.200	85.63	0.465	61.20						
20	0.183	66.15	0.367	51.02	2.705	7.66	1.133	29.76	0.190	68.53
30	0.115	50.83	0.145	47.87	2.523	6.12	1.170	16.03	0.200	44.94
60			0.140	23.99	2.185	4.10	1.210	9.44	0.193	22.73
90			0.138	16.09	2.060	3.39	1.263	6.09		
120					1.949	2.46	1.324	4.39		
150							1.393	3.37		

Tab. 7 有馬岩成湯の過酸化水素分解速度恒数

濃度	湧出直後		湧出 4 h 10 m 後		乳糖 3 倍急速噴霧	
	48 g/l (蒸発残渣)		48 g/l (蒸発残渣)		144 g/l	
a	3.850		3.850		4.460	
t	$a - x$ $k \times 10^{-3}$		$a - x$ $k \times 10^{-3}$		$a - x$ $k \times 10^{-3}$	
5 min	2.686	31.25			0.645	167.96
10	2.644	16.32	2.525	17.33	0.430	101.56
15	2.581	11.58				
20	2.573	8.76	2.230	11.85	0.403	52.21
30	2.567	5.87	2.130	8.57	0.397	35.01

度における乳糖量は142 g/lで飽和に達していないがこの場合、71 g/lもの温泉残渣量を含むことを考えると、完全に溶解して居ないことが有り得るのではないか、その未溶解のものが抑制的に働くのではないか、とも考えられる。

乾燥粉末でなく、温泉水についての実験では全く逆で、やはり1/4に稀釈した方が低い

60			1.763	5.65	0.390	17.64
90	2.435	2.21	71min 1.625	5.27	0.445	11.12
150	2.395	1.38				

速度恒数を与える。

第6図では乳糖と温泉残渣量との割合を変えその変化を実験した。乳糖の割合が大き

くなる程、速度恒数は高くなる。

原泉について湧出直後の分解能を測定したが第7図に示す通り、湧出直後が最も強く、時間の経過と共に値が小となる。乳糖加のものは更に低値を示した。これは前述の溶解度によるものか、粉末化したのが約24時間であった為に低値であったのか不明である。

岩成湯では(図8)湧出直後、湧出後4時間近く経たのものとの差が殆どない。乳糖加のもののみ高値を示す。岩成湯でも残渣量が多いが乳糖加る倍数の場合144g/lで、天神湯の場合の溶解度の問題は起らないと思われる。

紫外外部吸収

天神湯の乳糖加急速噴霧乾燥粉末の溶液について日立EPU-2、白記分光光度計で紫外外部吸収を

Fig. 7 有馬天神湯の過酸化水素分解速度恒数 時間的変動

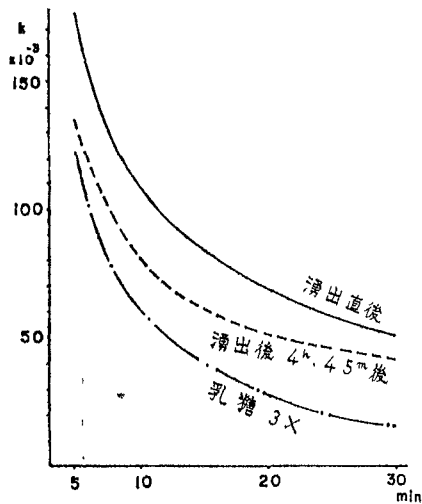


Fig. 8 有馬岩成湯の過酸化水素分解速度恒数 時間的変動

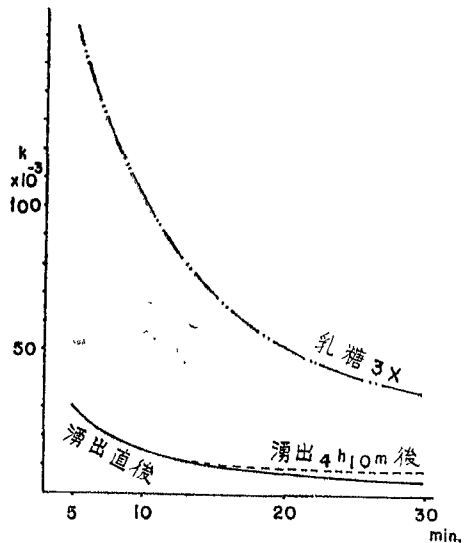
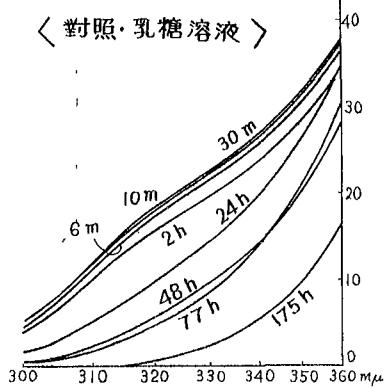


Fig. 9 有馬天神湯乳糖加急速乾燥粉末溶解後の吸収曲線の変化



測定した。光路100mmとし、経過時間毎に測定した。紫外外部には乳糖自身の吸収があり蒸溜水対照では変化が小さいので乳糖溶液対照で測定した。第9図に示す様に溶解直後、幾分吸収が浅くなるが以後は時間と共に吸収が深くなる。

原泉の紫外外部吸収については、第10図、11図に示すが2時間20分後〜3時間35分後にかけて吸収は浅くなり、以後は時間の経過と共に吸収が深くなる。

X線回折

乾燥方法の違いで粉末の色、触媒能に差が見られたので、粉末についてX線回折を試みた。

今回のX線管ターゲットは銅を使用、35kv 15mAで

Fig.10 有馬天神湯の吸収曲線の変化 その1

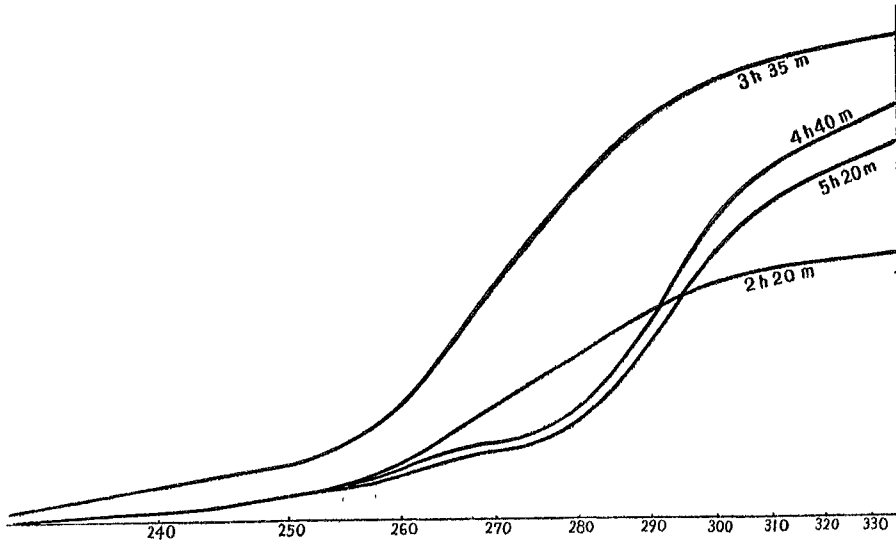


Fig.11 有馬天神湯吸収曲線の変化 その2

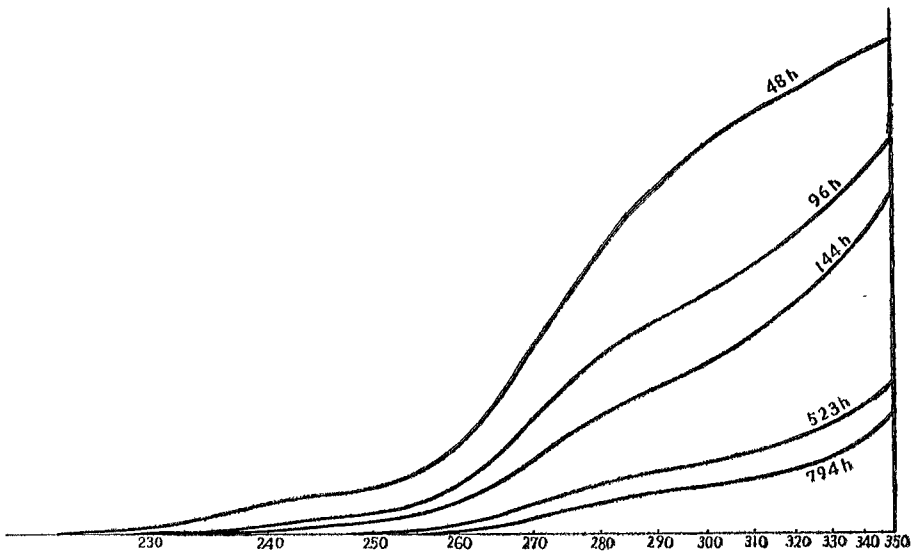


Fig.12 有馬天神湯直火乾燥粉末のX線回折

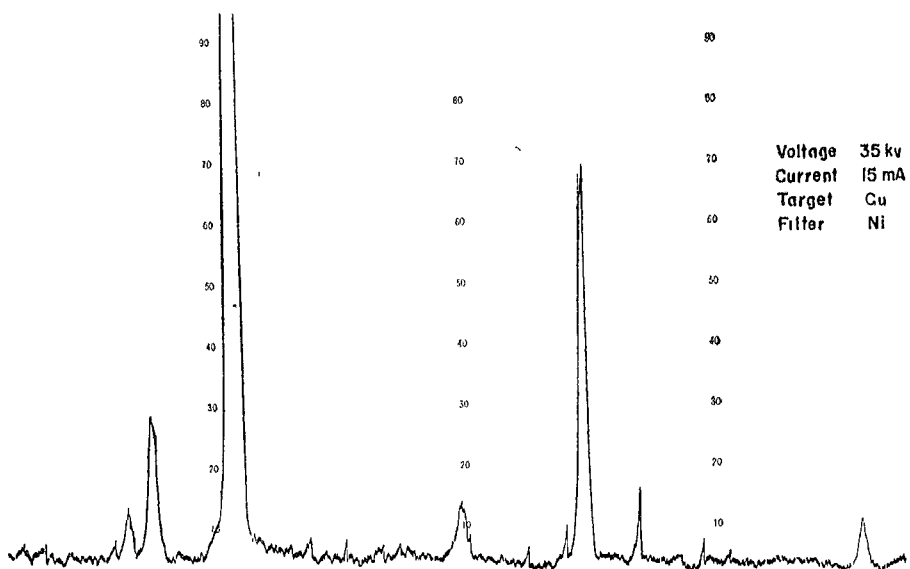
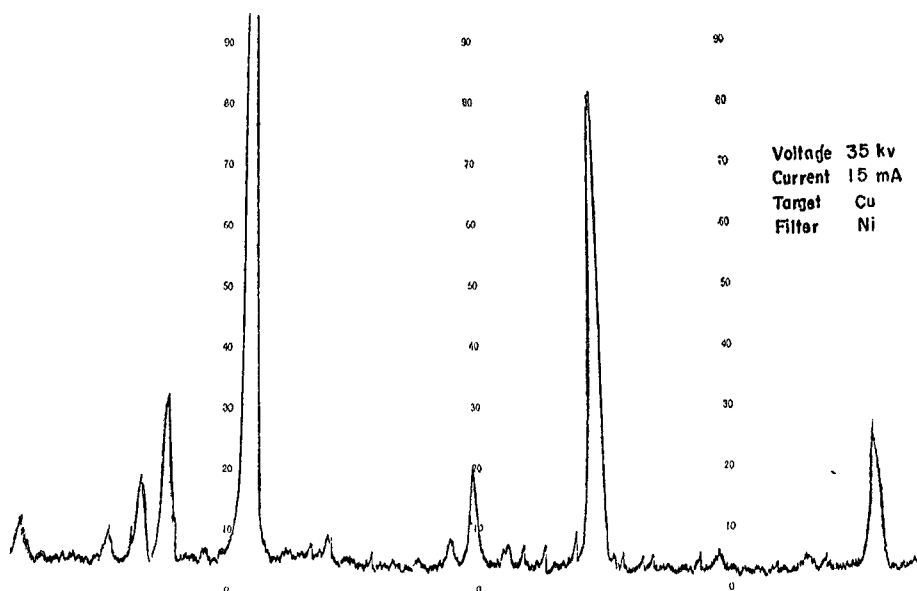


Fig.13 有馬天神湯急速噴霧乾燥粉末X線回折



記録した。

各法による粉末は殆んど変りなく、乳糖加のもののみ乳糖自身による回折像の為、回折角の小さい部分でバックグラウンドが高い。図12、図13に直火乾燥粉末のものと急速噴霧乾燥粉末のものを示したが共に食塩の回折像が強く得られたのみで、殆んど見られる様な差はない。

ま と め

溶解性に富み、且つ温泉の触媒能を出来得る限り保有する様な粉末を作る目的で実験を行なったが急速噴霧乾燥を行なう機械がなく、大阪の方へ依頼製造を行なった為、今度は新鮮な別府の温泉を研究に使用出来なかった。一度は別府の京町温泉を送ったが時間がかかり過ぎ老化の関係で良い結果が得られず、又、その為に有馬温泉を使用したか、現地調査が充分出来なかったことが心残りであったが。

急速噴霧乾燥の際、乳糖を加えると溶解性が特に良好となり、けい酸等常法では再溶解の際に不溶性となる物が完全に溶解する。更に過酸化水素分解能も高く、ベンチジン反応も保有した状態で粉末となる。

この方法は更に研究を行なえば、温泉水保存の方法とし好結果を期待出来るようになると思われるともあれ温泉水中の微量元素に期待する温泉の効能を得る為には、この乾燥粉末を使用することにより所期の目的を達成し得るのではないかと思われる。

本研究を行なうにあたって自記分光を使用させていただいた大阪大学薬学部、実験の為の研究室をお貸しいただいた近畿ヤクルト製造株式会社、並びに製造課長、九谷敏夫氏種々のお世話をさせていただいた萩原義秀氏に感謝致します。

明ばん地熱変質帯における地下検層

—変質粘土の分布—

京大理 吉 川 恭 三
由 佐 悠 紀

1. 地熱地域や温泉地域においては、地層を構成する岩石が噴気ガスや熱水の作用により変質を受けるが、その際原岩の化学成分、それに接触する噴気ガス・熱水の性質、および温度、圧力等の外的条件の違いにより変質岩石の性質は複雑に変化し、これらの現象を総合して岩石変質に関する普遍性を見出すことはむづかしい。しかし、一般的には噴気ガスや熱水がアルカリ性であるか、または原岩中に Mg 等の塩基が存在すればアルカリ性でなくても、原岩は Mg、Fe、Al、Si 等の化合物であるモンモリロナイト系の粘土鉱物へ変わり、逆に酸性であれば加水ハロイサイトやハロイサイト等のカオリン鉱物 ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; $0 \leq n \leq 2$) になると云われており、またモンモリロナイトを適当な酸性条件下におけばカオリン化してゆくが逆にカオリン鉱物がモンモリロナイトに変化することはあり得ないとされている¹⁾。たとえ粘土鉱物化しないまでも、南らの研究²⁾によれば、硫酸性の強酸性下において、まず Mg 等の塩基が溶脱され、ついで Fe がその硫酸塩であるハロトリカイトとして原岩から分離結晶化し、さらにその進展につれ Fe の不足した原岩からアルノーゲンの結晶が混在するようになる。これらが降雨や流水に溶解して流出した残溜物はしだいに $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ に富むオパール質岩石に変化する。

別府市北西部に位置する明ばん地熱域では同地区で採取される青色粘土に水をまき、これに噴気ガスを通じることにより湯の花を製造している。古賀や南らはこの生成過程を追求した結果、噴気ガス中に含まれる H_2S 、 SO_2 と、まかれた水および空気中の酸素が化合して硫酸が生じ、この作用により粘土中の Fe、Al がいわゆる湯の花 (ハロトリカイトとアルノーゲンの混合物) として結晶抽出されるに伴ない、残溜物は SiO_2 組成比の大きい白っぽい物質となり、生成する湯の花はしだいにアルノーゲンのみに変り遂には湯の花生成速度の非常に遅いクリストバライトを主とするオパール質へと変化してから廃棄されることを確めた。

このような噴気等熱作用による岩石の変質や、粘土の性質の変化過程は人工的に作られた湯の花製造小屋の中だけではなく野外の地下浅層でも適当な自然環境の下では当然行なわれている筈であり事実明ばんの湯の花製造粘土の採取箇所を見ても、それに用いられる青粘土層に並んで、よりオパール質と考えられる白色粘土の層が存在している。この地域一帯にわたり、もしこのような変質岩や粘土鉱物の種類や分布が得られれば、そのような変質をおこしてきた地下の環境変化過程の推定に大いに役立つ資料を提供することになり、ひいてはいわゆる浅層地熱地域における水理過程の追求に寄与する所が大きいと考え、その機会を望んでいた。

昭和41年9月25日未明、台風24号通過直後に明ばん地熱域の背後の山腹に巾120m、長さ80m、面積100aにわたって地すべりが発生し、その対策事業の基礎調査として大分県砂防課の手により地すべり域を中心にした約600aの面積にわたって昭和43年2月までに総計36孔の地質調査・地下検層用の縦ボーリングが行なわれた機会を利用し、その豊富なコア試料を拝借して前記のような変質岩の分布を調査することとした。これらのコア試料はそのほとんどが明らかに地熱作用により安山岩の変質したものであることを示しており、この変質のため地層がぜい弱化し地すべりの発生しやすい状態にあると解釈されている。このような温泉地すべりの発生機構を別としても、一地熱地域においてこれほど密な検層を行なえる機会は珍らしく、電気検層その他の検層技術を適用し難い酸性地熱域の地下資料として温泉学の見地からも貴重な試料といえるであろう。筆者らの要望にお応えいただいた砂防

課の諸氏に厚く感謝する次第である。

2. 前記のボーリング孔のうち代表的な12孔を選び、その各孔につき地表から地下へと適当な間隔をおいてコア試料を取り出しX線回折を行なった。

砂防課の報告書から転載した図1にボーリング孔の位置を示すが、X線回折を行なったのは図中のBV、3、8、9、10、11、18、およびこの図の範囲外にあるBV、20、25、28、32、33、34、37の計13孔であり、これらX線回折結果を表1に示す。

図1： 明ばん地熱域とボーリング孔位置

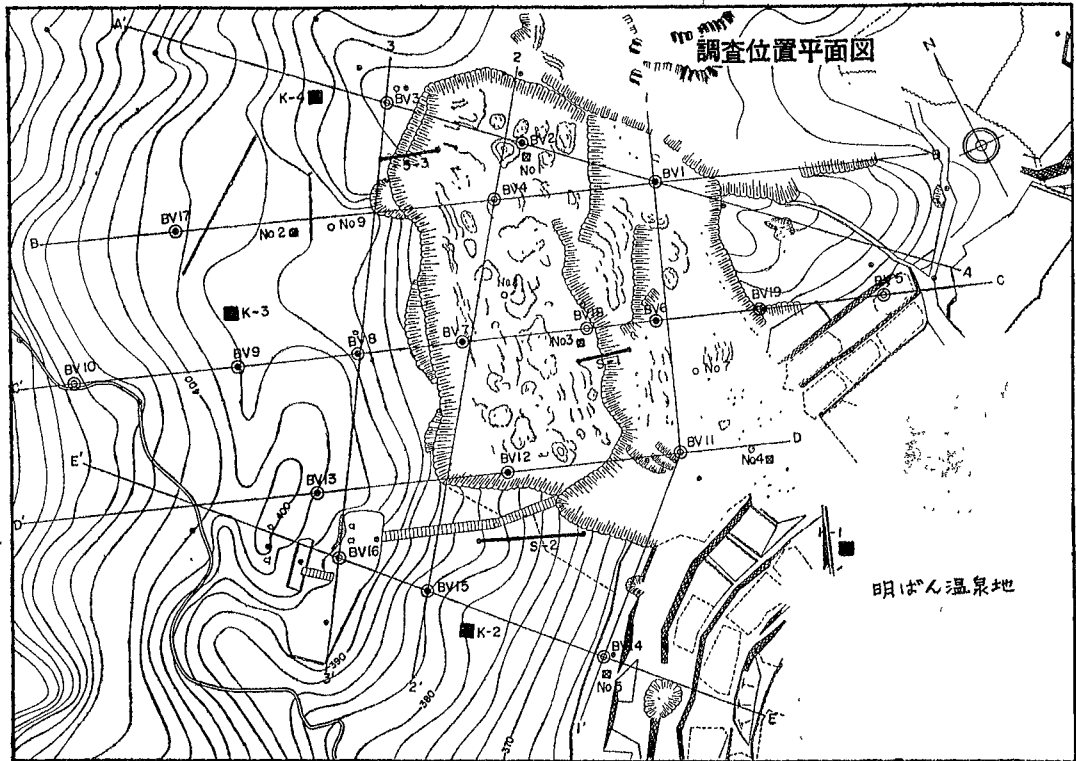


表1 X線回折結果

調査孔番号	深度(m)	Q	Cr	F	Py	H	H.H	M	備考
BV. 3	1.4	0	++	0	+	+	+	?	
	2.3	++	+++	0	+	++	0	0	
	4	0	++	0	+	+	0	+++	
	5.8	++	+?	+?	+	0	0	++	
	7.4	++	0	0	+	0	0	+++	
	9	++	0	+?	+	0	0	+++	
	11	++	0	0	+	0	0	+++	
	12	++	0	0	+	0	0	+++	
	13	++	0	0	+	0	0	+++	
	14	+++	0	0	+	++	0	++	
	21	++	0	0	+	0	0	+++	
	22	+++	0	0	+	+	0	++	
24	++	0	0	+	++	0	++		

BV. 8	1.2	+	++	+++	+	0	0	0	
	6	++	++	0	0	0	++	0	
	8.2	+	++	0	0	0	++	0	
	12	+	+	0	0	+	0	+	
	15	0	+	0	+	+	0	0	
	23	0	++	++	+	0	0	0	
	30	0	++	++	+	0	0	0	
BV. 9	4	0	++	++	0	+	+	0	角閃石 +
	10	0	++	0	+	0	+	0	
	16	+	+	++	0	0	0	0	
	22	+	+++	+	0	0	++	0	
	28	+	+	0	+	0	+	0	
BV. 10	4	0	+++	+++	+	0	+	0	
	10	0	++	++	+	0	+	0	
	16	0	+++	+	0	0	+	0	
	20	+	++	+	0	+	+	0	
BV. 11	6	+	++	0	+	++	0	0	明ばん石 +
	11	+	++	0	+	+	0	++	
BV. 18	1	+	++	+	+	0	+	0	
	3	+	++	++	0	0	+	0	
	7	0	+	0	0	0	++	0	
	11	0	+	0	0	0	++	0	
	15	0	++	++	+	+	0	++	
	17	0	++	0	+	+	0	++	
	21	++	0	++	+	0	0	+++	
	23	++	0	0	+	0	0	+++	
	26	++	0	0	+	0	0	+++	
	28	+++	0	0	+	+++	0	0	
	31	+++	0	+	++	++	0	+	
	34	++	0	0	+	+	0	+++	
	36	++	0	0	+	0	0	+++	
	38.5	+++	0	0	+	++	0	0	
	40	++	0	0	+	+	0	++	
42	+++	0	0	+	0	0	++		
44	0	++	++	+	0	0	0		
BV. 20	1	+	++	0	0	0	++	0	
	5.2	0	+	++	+	0	+	0	
	10	+	+++	0	0	0	+	0	
	20	+	++	0	0	0	+	0	
BV. 25	1	++	++	+	0	+	0	+	
	5	++	++	0	0	++	0	0	
	9	+	++	++	+	0	0	0	
	14	+	++	++	+	0	0	0	
	20	+	++	+	+	0	0	0	
	25	+	++	++	+	0	+	0	
	30	0	+++	+	0	0	+	0	

BV.28	1	+	+++	0	0	0	0	0	
	5	+	+++	0	0	0	0	0	
	10	+	++	0	0	0	+	0	
	15	+	+	+	+	0	0	+++	
	20	0	+	0	+	0	0	+++	
BV.32	1	+++	0	0	0	0	0	0	明ばん石 +
	5	+	++	0	+	++	0	0	明ばん石 +
	10	+	++	0	+	++	0	0	明ばん石 +
	16	+	++	0	+	++	0	0	明ばん石 +
	20	+	++	+	+	+	0	+++	明ばん石 +
BV.33	3	+	+++	++	0	0	0	0	
	7	++	++	+	+	+	0	0	
	11	0	++	+++	+	0	0	0	
	18	0	++	+	0	0	0	0	
	20	+	+++	+	0	0	0	0	
	22	+	++	+	+	+	0	0	
	25	+	+	0	0	+?	0	0	
	27	+	+	0	0	0	0	0	
	29	+	++	0	0	0	0	0	
	34	+	++	+	0	0	0	0	
	37	+	++	+	0	+	0	0	
40	0	+	+	+	+	0	0		
BV.34	3	+	+++	++	+	0	+	0	
	6	+	++	+	0	0	+	0	
	10	+	++	++	0	0	++	0	
	15	+	++	0	0	0	++	0	
	20	+	++	0	0	+	0	0	
25	+	++	0	0	0	+	0		
BV.37	4.2	0	++	++	0	0	0	0	角閃石 +
	12	+	++	0	0	0	++	0	
	16.3	0	+	0	+	+	0	0	明ばん石 +
	22	0	++	+	+	0	0	+++	明ばん石 +

Q: 石英、Cr: クリストバライト、F: 長石、Py: 磁鉄鉱、H.H: 加水ハロイサイト、
H: ハロイサイト、M: モンモリロナイト

コア試料中の構成鉱物の量的関係をX線回折の結果だけで完全に定量的に表わすことはできないので、一応の目安を得るため回折記録図中において各鉱物の存在を示すピークの高さから、全く含まないもの、少量含むもの、かなり含むもの、多量に含むもの、の4段階に分類し、表1中にはそれぞれを0、+、++、+++の符号で示した。これによれば、コア試料中には石英(Q)、クリストバライト(Cr)、長石(F)、磁鉄鉱(Py)、および粘土鉱物としてモンモリロナイト(M)と共に加水ハロイサイト(H.H)、ハロイサイト(H)と思われるカオリン鉱物が一般に認められ、このほかに角閃石および明ばん石が数個の試料中にごくわずかに存在する。

この明ばん地熱域一帯の地層を構成する岩石は従来の地質図によれば角閃石安山岩であり、また粘土化しているコア試料中には明らかに角閃石の形状を残しているものもあるから、この地域の原岩は主として角閃石安山岩から成るとみなして良いであろう。ところがX線回折によると角閃石はただ2個のコア試料中に認められるにすぎず、角閃石が変質の過程で分解されてしまったことがうかがわれる。

また長石やクリストバライトの存在比や粘土鉱物の種類の間には酸性地熱域における変質過程に一般的な特長ある関係が認められる。

たとえば、BV.3 から得られたコア試料はもっとも粘土化の著しいものの一つであるが、重要な造岩鉱物である長石はほとんど存在せず、わずかに5.8m深のものにごく少量含まれているにすぎない。このほかにBV.8、11、18、20、28、32等の試料においても長石のまったく認められないもの、あるいは存在してもその量の少ないものが多数あり、これらはいずれも原岩が変質を受ける途中で、角閃石と同様に分解されたものと思われる。

つぎにクリストバライトと粘土鉱物の関係をBV.3について見てみよう。2.3m以浅の粘土鉱物はハロイサイトと加水ハロイサイトのカオリン鉱物であり、褐色系の色を示し、この中にはクリストバライトがかなり多量に存在する。一方4m以深においては、加水ハロイサイトはまったく存在せず、数個の試料中にハロイサイトが混在している外はすべてモンモリロナイトであり、青味を帯びた灰色を呈するが、この中にはクリストバライトは少なく、特に7.4m以深にはまったく含まれない。このようにクリストバライトがカオリン層にのみ共存しモンモリロナイト中にはほとんどないという関係はこの地域における一般的な事実であり、またこれら2種の粘土鉱物の層はある深さでかなりはっきりと上下に区分されることは興味深い。これを湯の花製造過程における粘土と比べてみると、最初に用いられる青色粘土は上記深層と同様なモンモリロナイトで、日数がたつと共にそれがカオリン化し、それに伴ない湯の花中にアルノーゲンが増してゆくことがわかる。

この区分に基き図1中の測線Cに沿いおおまかな粘土鉱物の分布断面図を作り図2に示す。このうちカオリン鉱物層とはモンモリロナイトを含まずカオリンを主体とする範囲であり、モンモリロナイトを少しでも含む範囲はすべてモンモリロナイト層に入れた。図中にこの測線に沿うボーリング孔の位置と深さを印したが、直接X線回折を行なったのはBV.18、8、9、10、の4孔で、残りのBV.5、19、6、7、の各孔での粘土鉱物の成層状態は上記4孔の回折結果とコア試料の見かけの性状とを対照して推定した結果である。また図中の各ボーリング孔底部に示した数字は各孔底温度で、一点鎖線はボーリング終了数日後に測定された孔内水位を結んだ線である。ボーリング孔の深度は15~45mとまちまちであるから完全な断面図は得られないが、おおよその地下の状態は推定されるであろう。

これらボーリングの柱状図を総合すれば、地表より崩壊土類、岩屑、粘性土が成層し、その下部に硬質の変質安山岩が一帯に分布しているとされている。この上端を図中に曲線AA'で示すがこれはX線回折によるカオリン鉱物存在範囲の下端にほぼ一致していることは興味がある。ただこの変質安山岩層中のコア試料が少ないため詳しい分布は求められなかったが、山麓に近いBV.18では多分にモンモリロナイトを含むのに対し、より高所のBV.8ではこの層に達すると粘土鉱物は認められなくなるという対照的な結果を示す。

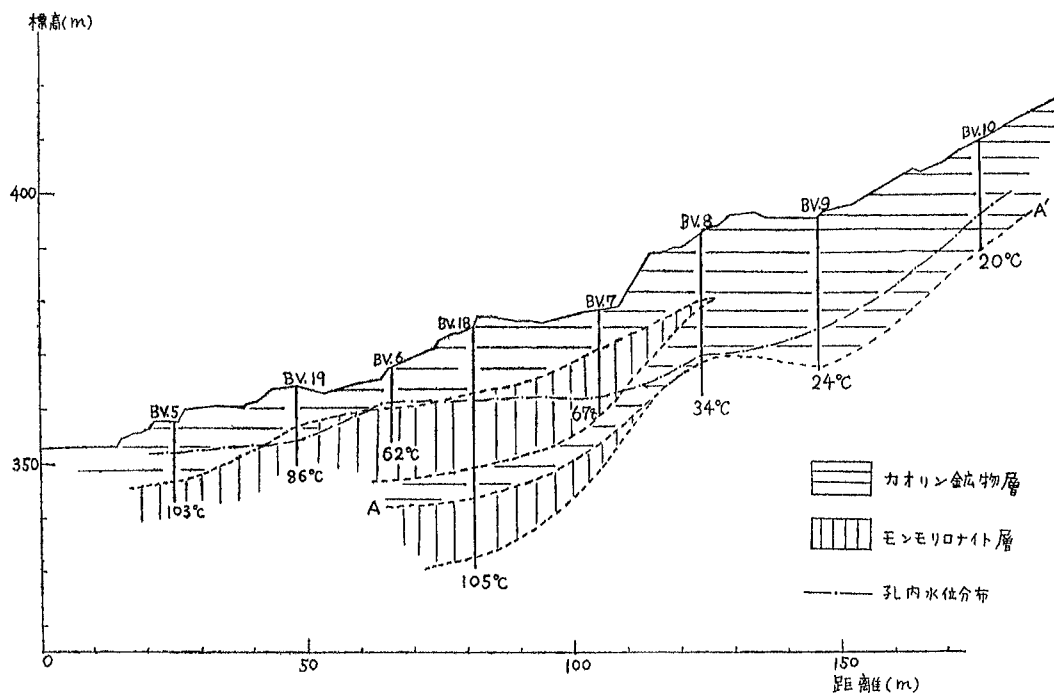
この図からわかるように、BV.8より山頂部ではボーリング孔底までカオリン鉱物の層が続いておりモンモリロナイト層は認められない。また孔底温度は30℃以下と低くこの地区では現在地熱活動は認められない。

これより山麓部のBV.18附近では地表から地下へとカオリン鉱物層、カオリン鉱物をわずかに混じるモンモリロナイト層、カオリン鉱物層、モンモリロナイト層の順に成層し、この最下層に達する孔底温度は105℃と高温である。さらに山麓部でも地表近くにカオリン鉱物層、その下にモンモリロナイト層が分布し、孔底温度はBV.18におけるほどは高くないが山頂部に比べるとはるかに高温で、モンモリロナイト層の認められる区域では現在なお地熱活動の盛んなことがわかる。

BV.8は12m深にのみ少量のモンモリロナイトが認められるだけで、孔底温度も山麓部と山頂部のおよそ中間の値(34℃)を示すから、このあたりがモンモリロナイト層の存在する限界であろう。

またボーリング終了数日後の孔内水位を結んだ線は地表面の傾斜に比べるとより平坦(特に山麓部)ではあるが、山頂部ほど高くなっていてその間でもし地下水が連続しているならば山頂から山麓明

図：2 測線 C に沿う地層断面図



ばん温泉地帯へと流れる状態にあることを示している。しかし、この孔内水位は日が経つにつれて低下の目立つものが多く、特にBV.18のように地温の高い所では現在孔内に水位はまったく認められない。これは高温部ではボーリングのとき注入した水が逸水すると共に地下でだいに加熱され沸騰蒸発してしまうためと考えられ、孔底温度からみて現実に液相の水がここに存在しているとは考えにくい。

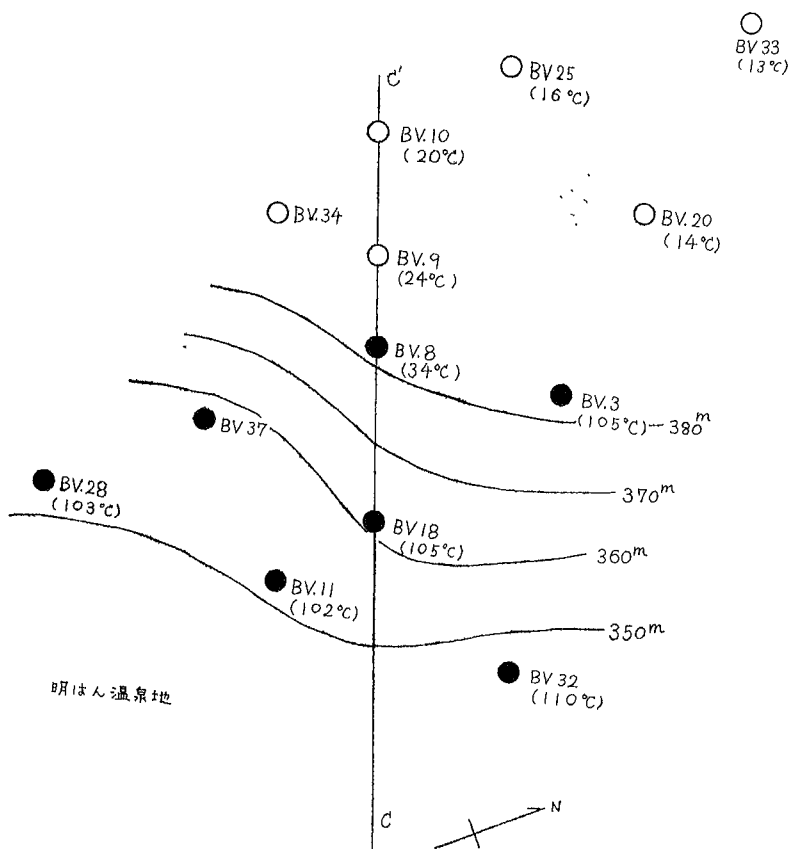
図の調査地域平面図には各ボーリングコア試料中にモンモリロナイトのあるものを黒丸、認められないものを白丸で表わし、同時に各孔底温度を記入したが、これによってもこの範囲全体にわたり上記のようにモンモリロナイト層と高温部の分布がほぼ一致する関係のあることが示される。なお図中に示した曲線はモンモリロナイト層最上部の等標高線である。

る。これらコア試料の解析結果と、前に述べた岩石や粘土鉱物の地熱作用による変質に関する研究結果を対照して、この地域における地熱変質の機構を推定してみよう。

山麓部に見られる噴気孔や硫気孔からは H_2S や SO_2 を含む高温ガスが噴出しており、この作用により岩石の変質が起ったことは疑いのないことであろう。その地下のモンモリロナイト層では温度が高く地層中に高温ガスが存在すると思われる。したがって直接地表からの水の浸透は降雨時においても地温がその水圧下での沸騰点を越さないごく浅層に限られ、内部にまで下向きの水分の移動、それに伴う酸素の供給はほとんどなく、たとえ H_2S や SO_2 が存在しても、これらが酸化せられて硫酸酸性の液体に変化しカオリン鉱物をつくるという条件は地下浅層にのみ限られ、その下層では原岩中のMg等塩基の存在のためモンモリロナイトが生成され、その後も高温ガスの力が衰えぬ限り水の供給は乏しく、この層は保たれてゆくものと考えられる。

表層近くではより深処のモンモリロナイト生成に寄与した H_2S 、 SO_2 を含む高温ガスが降雨時の浸透水やその後の不飽和地下水と混合する結果、岩石中のMgやFeなどは溶脱され、残留物中にはAlとSiの化合物であるカオリン鉱物が生成し、同時にクリストパライト結晶化が進む。このようなカオリン層は割合に粗な地層であるから降雨や流水等は浸透しやすく、その浸透過程で地温を低下させるか

図：3 モンモリロナイトと地温分布
 ●：モンモリロナイト ○：カオリン鉱物



ら地熱作用の衰弱と相まって高温ガスの地表への上昇はしだいに山麓部の現温泉地域へと集中し浸透域は上流山頂部ほど徐々に地下へと延び、青色粘土であるモンモリロナイト層の分布も山麓部へと狭まってゆく。

このようにモンモリロナイト層の境界部では水と H_2S 、 SO_2 を含む高温ガスの接触がおり、湯の花製造と同じ状態となるから、この接触面でMgの溶脱や湯の花の結晶化が進み、これらは水に溶解され易いから残りの粘土はシリカおよびその結晶物のクリストバライトを含むカオリン鉱物へと変化し、しだいにこの層が拡大してゆく。たとえばBV.18の15m深のようにモンモリロナイトとハロイサイトが混じりあっている所はこの過程の途中にあるものと考えられる。

以上の過程がかなり進んでいる現状としては、図3でモンモリロナイトの見られない上流部では地下水はおもに下方へと浸透し、変質化の少ない硬い変質安山岩層近くで屈折して下流に進み、高温のモンモリロナイト層に至って水蒸気となり温泉地域に噴出するという状態になっているのではないかと推定される。したがって地下水理的にみれば図2のBV.8附近を境として上流部が水の供給域、下流部が湧出域と考えられ、これは図中の孔内水位分布がある程度地下水または水蒸気のポテンシャル分布を近似していると考えるとき、その状態と矛盾しない。

つぎにBV.18附近のようにほとんどモンモリロナイトからなる15m以深で20~40m深の間にところどころハロイサイトの層が混じっているが、これは供給域で浸透した水が地層中を横に流れこの附近で高温ガスとの接触を行ないつつ湧出域へ浸入してゆく道程をあらわすものと思われる。

このように上流部特に山頂に近いほど地下深所まで浸透水で洗われることとなり、この状態が長年月にわたって保たれると地熱作用の衰え¹⁾きった後でも岩石中の長石のKと浸透水中のH⁺との置換反応が起こりカオリン化が進むとされている。実際の上流部にあるBV.9、20、25、34のいくつかの試料中には長石のまったく認められないものもあり、下流部表層のカオリン鉱物層中ではモンモリロナイト層に比べて長石がいく分多量に混在している傾向と比較して上流部では上記の変質の進行が行なわれた証拠とも思われる。

いずれにせよ、このようなカオリン鉱物層が生じ、これがさらに長期間雨水等の浸透水と接触を続けるならば、徐々にAlさえもが溶脱されて、残りはSiO₂に富む物質に変化し、クリストパライトに結晶化してゆくものと思われる。たとえば、この地区の最高部に位置するBV.33においては、カオリン鉱物さえも少量しかなく、クリストパライトが非常に多量に存在している。これはおそらく、岩石変質の最終的段階に近い状態ではあるまいか。

以上は地層が変質を受けながらも、その位置を変えることなく保たれてきたと仮定した上での推定であり、実際にはこの地形から考えてもかなりの崩壊をくり返して来たに違いない。したがって山頂部の急傾斜面では表層のはく脱が行なわれ、それが山麓部のカオリン層中に混在していることも十分考えられることであるが、この状態については今回の調査では確認し得なかった。

謝辞 この報告を終えるに当たり、X線回折法につき御教示を賜った九大温研古賀昭人理博、ならびに粘土鉱物につき貴重な知識を与えられた東工大小坂丈予理博に厚く感謝の意を捧げます。またボーリングコア試料を快く御提供くださった大分県砂防課に深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 須藤：粘土鉱物、岩波全書、1954
- 2) 南、小坂知、小坂丈：温泉科学、第17巻 第1号、P P28~35.1966
- 3) 古賀：大分県温泉調査研究会報告、第16号 P P17~20.1961
- 4) 大分県砂防課編：明凡地すべりについて、1966

別府南部温泉地域における沈澱物の付着状態

京大理学部 吉 川 恭 三
由 佐 悠 紀

1 はじめに

温泉孔の管壁やその周囲の地面上に各温泉に特有ないろいろの沈澱物（スケール）が付着または堆積することは良く知られており、北海道二股温泉、山梨県増富温泉、和歌山県白浜温泉等主として炭酸カルシウム質沈澱物を産する温泉について北野¹⁾は詳細な研究を行ない、その付着状態、成分を報じ生成機構を論じている。別府温泉ではこれらの温泉ほど一般的ではなくても沈澱物の付着により、温泉管や引湯管が閉塞され、しばしば掃除して沈澱物を除去しなければならないものの存在が一部に知られており、温泉利用者やボーリング業者の話しによれば、比較的近年開発の進んだ田の湯一帯や山の手の高温温泉に特にそのような例が多いという。このような沈澱物付着による採湯の障害に対してその防止、除去の方法をはかるためには、まず沈澱物の種類、結晶形、付着状態など基礎的な資料にもとづき、湧出温泉水との関係等その生成機構についての情報を得なければならない。これまで別府温泉では温泉水についての調査研究は数多く行なわれてきたが、温泉沈澱物についての統一的な調査報告は見当たらないので、今回手はじめとして境川以南地域のうち、沈澱物の付着がかなり多いと云われている日豊線より山側にある温泉について、その付着状態や種類を調査することにした。

調査は上記地域中適当に選んだ78孔について行ない、そのうち6孔は沸騰泉で他はすべてコンプレッサー揚湯である。調査に当っては各温泉利用者から状況を聞くと共に、実際に温泉孔を調べて沈澱物の有無を確認したが、調査孔中36の温泉に量の多少はあるが付着することがわかった。

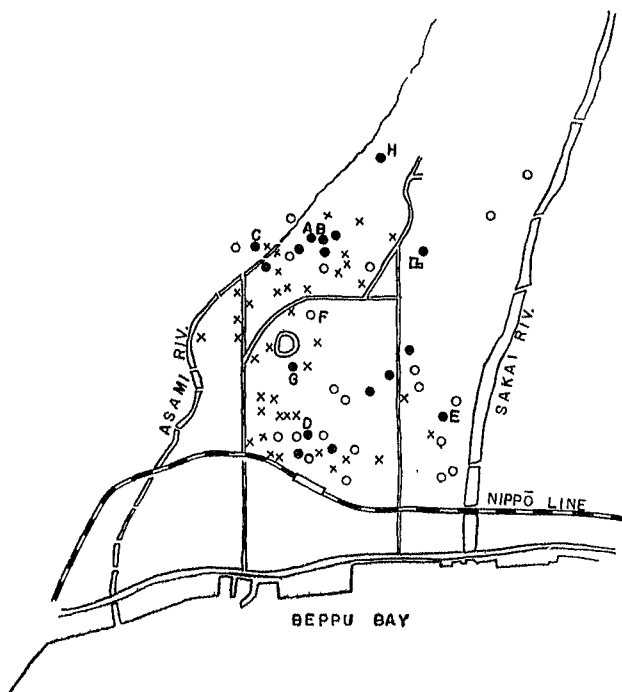
図1にその分布を示し、そのうち特に付着の激しいものを黒丸であらわした。これらは大体3ヶ月に1度以上の割合で温泉孔の掃除を行ない、沈澱物を除去している泉源であるが、掃除の回数はその利用状況によって異なるから、掃除の頻度が少ないからといって、必ずしも付着量が少ないわけではない。したがって実際には3ヶ月より長い期間毎に掃除するものがあったとしても、一見して付着量が多いとわかるものは、これに含めてある。

2 温泉沈澱物の付着状態

図1からわかるように沈澱物の付着する泉源は調査範囲全域にわたり分布しているが、その見た目での色、結晶形、付着状態などに各泉源によって多少の相異

第1図 別府市南部温泉地域における沈澱物付着孔の分布

- ：多量に付着するもの ○：付着が認められるもの
×：付着が認められないもの



があるようである。以下にその代表的なものについて述べることにする。

図1中に示した泉源Aは沸騰泉であるが、沈澱物付着の度合は著しく大きく、白色の針状結晶物が温泉ケーシング管の内壁および湧出口からタンクへ導く引湯管内壁に多量に付着する。ケーシング管には毎日鉄製のきりを挿入して沈澱物を除去しないと湧出量が著しく減少し、掃除しないで4～5日放置すると湧出が停止してしまうほどで、特に地下10～20mの間に付着が激しい。また引湯管は長さ約10m径10cmの鉄管であるが、その曲り角で特に多量に付着し、80日間で同心円状に厚さ約2.5cmほどの沈澱物が生じ、湯の通りうる径が5cm程度にまでせばめられる。

同図中の泉源Bは温度63℃、コンプレッサー揚湯泉であるが、ケーシング管内壁だけでなく送気管外壁にもAで述べたのと同様の白色針状結晶の沈澱物が付着する。また揚湯された湯をためるタンク内には白色のやわらかい沈澱物が多量に沈着し、3～4ヶ月に1度の割でこれらの沈澱物を除去しなければならない。

Cは市営温泉プールの旧泉源であり、すぐ傍に新泉源が得られたので現在は使用していないが、従来はコンプレッサー揚湯を行ない、泉温は90℃であった。ここでもケーシング管内壁、送気管外壁、およびタンク内壁に針状結晶形が付着した痕跡が残っているが、色は上記のものとは異なり黄褐色である。泉源管理者によれば、この沈澱物はケーシング管、送気管の全長にわたって一様に付着したのではなく、揚湯停止時の静止水面より上方の地面に近いほど多量に付着し、それより下方にはほとんど付着しないとのことであるが、このことは注目値する。新泉源においても、ほぼ同様の沈澱物が生じている。

A、B、C附近の山の手町からラクテンチ下に至る他の泉源のうち、沈澱物のみられるものは泉温70℃以上であって、上記3泉源と同様に白色または黄褐色の針状結晶物が沈澱している。これらの結晶物はいずれも空気中に放置しておくとしだいにその固さを増し、遂には石のようになってしまう。

それに対し、田の湯一帯から北に向い境川に至る一帯の泉源に付着する沈澱物は数例を除いて上述のものとはその性状を異にする。そこでは沸騰泉である1例(図1中のE)を除いて、他はすべてコンプレッサー揚湯であり、温度も60℃前後のものが多く、A、B、C等に比べるとかなり低温である。沈澱物はケーシング管内壁、送気管外壁、また引湯管の内壁にも付着することは既に述べた例と同じであるが、その色は濃褐色で結晶形は認められず、非常に軟くて触れるとぼろぼろと容易に粉末化し空気中に放置しても固くなることはない。これらの点でA、B、C等における沈澱とははっきりと異なる。この種の沈澱物付着量は割合に多く、筆者が経験した中には、どの位の期間で付着したのかは不明であるが、内径3cmの引湯管内壁に同心円状に約1cmの厚さで付着している例があった。

図1中のDはその代表的な例で、ここでは送気管を44m深まで挿入してあるが、主にこの送気管の外壁に付着するようである。その付着の仕方は全長にわたって一様ではなく、地表から40.5m以浅の間にだけ付着し、それより下の送気管には付着はほとんど認められない。この付着限界の深さはほぼ揚湯休止時の静止水面を表わしており、Cにおける例とよく似かよっている。

次に流川8丁目から16丁目にかけては図1からもわかるように調査地域中もっとも沈澱物付着泉源の少ない範囲で、沈澱物の認められたのは図1中のFとGの2泉源だけであり、そこでは多量の褐色針状結晶物が付着している。この範囲の温泉は一般に温度が低く40～60℃程度であるのに対し、沈澱物の認められる上記の2泉源に限ってこれより高温であることに注目される。

泉源Fは従来80℃近い高温泉であったが、あまりに多量の沈澱物が付着して、利用上大きな支障を来したため、現在採湯の深度を浅くし67℃まで泉温を低下させたところ、沈澱物の生成はほとんどなくなっており、わずかに湯の表面に半透明の白い粉末状結晶が浮んでいる程度である。(なお表1中に示した分析結果は採湯深度を浅くする以前に生じた沈澱物のもので、表2中の分析値は現在沈澱物を生じない温泉水のものである。)

Gは泉温70℃のコンプレッサー揚湯泉で、沈澱物はケーシング管壁、送気管外壁、引湯管内壁に多

量に付着するほか、送気管内壁の下端から20~30cm付近にも硬い針状結晶の沈澱物が生じ、数ヶ月の間に空気の通り道を塞いでしまう。このような例は他に2例みられた。一方送気管外壁への付着箇所は前記のようにもっと地表近くに限定されていて、このような深部に沈澱物は見られず、送気管内と外とで付着の深さに大きい違いがあることは興味ある事実である。送気管外部で沈澱物の付着が静止水面を境とし、それ以下には見られないことと対照させて、内部でもこの沈澱物付着箇所が揚湯停止時の水面近くであり、そのとき送気管の内と外とで水面の高さがかなり異なっているのではないかの疑いもあるが、それについてはまだ確かめていない。

3 沈澱物の性質

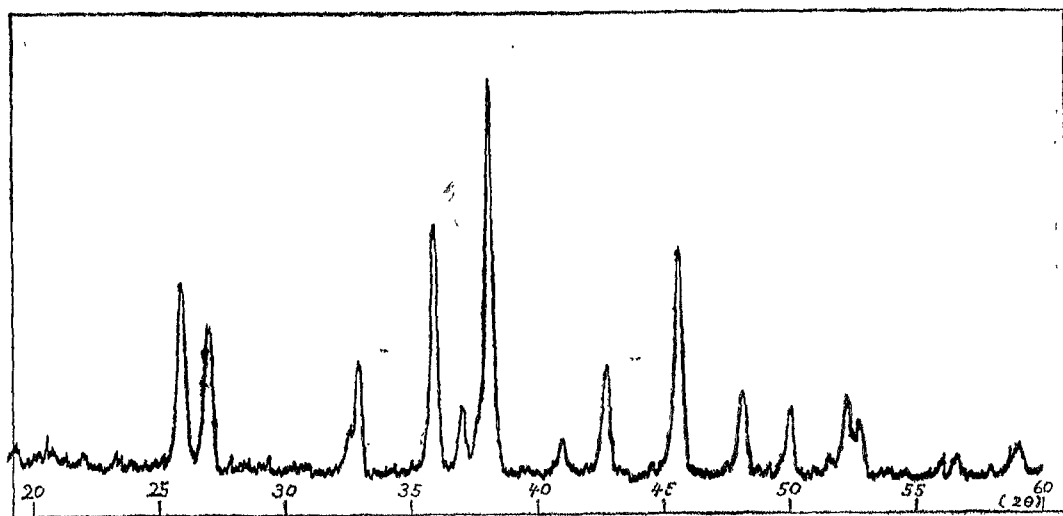
以上のように、比較的小調査地域中の沈澱物についても、目で見ただけの性状にいろいろと違いのあることがわかったが、このような違いをおこす原因をさぐるためには、まずこれら沈澱物をその結晶形や化学組成にもとづいて分類してみる必要がある。

採取した沈澱物のいくつかの型について適当な試料を選び、20例についてX線回折、および17例について化学分析を行なった。図2、3、4、5に代表的な例についてのX線回折図を、表1にそれによる判定結果と、化学分析の結果を示す。表中の番号は任意につけたものであるが、符号A、B、…は本文および図1中に示した各泉源に当る。前記の地域区別に従えば、A、B、Cおよび1から5までは山の手町からラクテンチ下に至る地域、D、Eおよび6から11は田の湯から北へ向い境川に至る地域にそれぞれ属する。また表2にはこれら沈澱物と対比するため行なった温泉水の分析結果を示す。番号および符号は表1中のものと対応するが、表1にはない番号12から22の泉源は沈澱物は付着しているが、これらについてはX線回折・化学分析を行なわなかったもの、23から54までは沈澱物の付着が認められなかった泉源である。

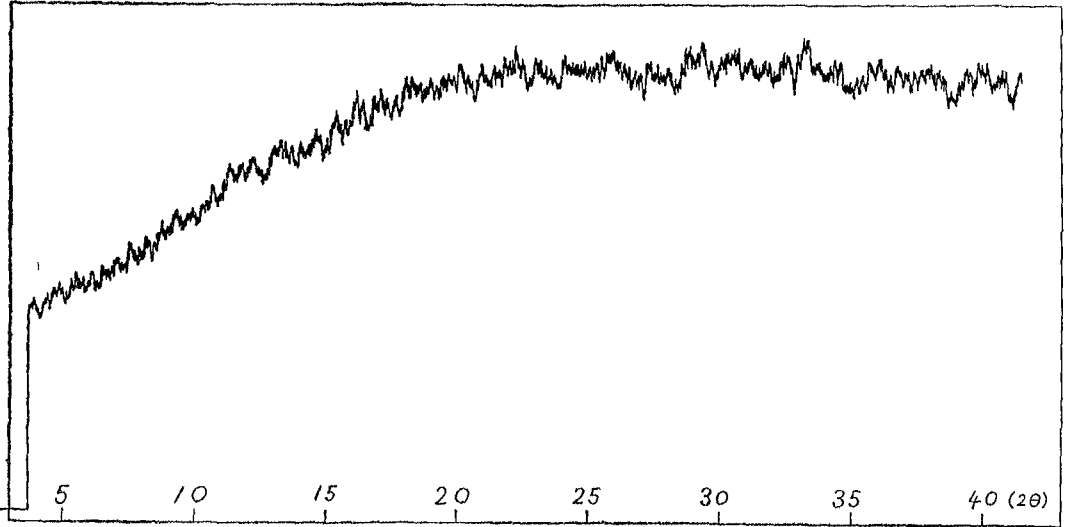
図2は沸騰泉Aにおける沈澱物のX線回折図であるが、この中に見られるいくつかのピークはすべて炭酸カルシウムの同質多像形のうちのアラゴナイトによるもので、この図で見る限りほとんどアラゴナイトから成り立っているとよいことがわかる。また泉源B、C、E、F、Gの沈澱物もアラゴナイトであった。

図3はDにおける濃褐色沈澱物の回折図であるが、これには図2にみられるようなピークがないかわりに、バックグラウンドが全体的に高く鉄主成分の沈澱物と思われる。

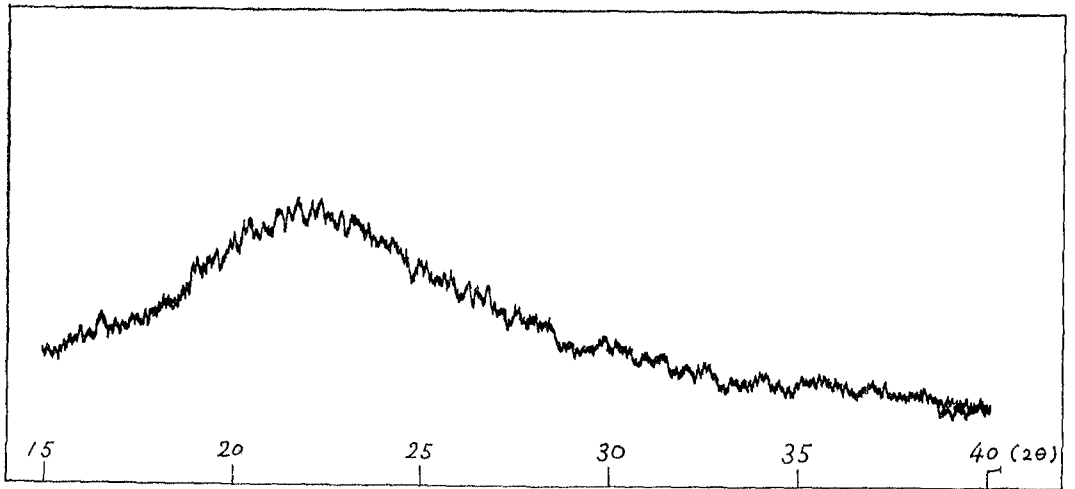
第2図 泉源Aに付着した沈澱物



第3図 泉源Dに付着した沈殿物



第4図 泉源H周囲の地面上の堆積物



第5図 泉源H、タンク外壁の付着物

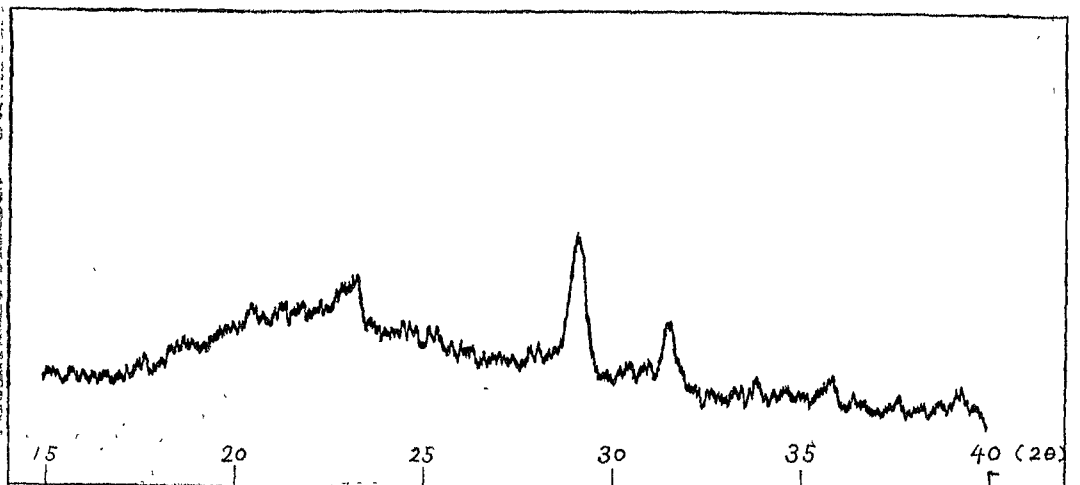


図4は沸騰泉Hで泉源の周囲の地面上に堆積した沈澱物の回折図で、22°付近を頂点とするなだらかな高まりが見られ無定形のシリカであることがわかる。

図5は沸騰泉Hで前図に示した沈澱物より泉源に近い位置（タンク外壁）に付着したものの回折図である。これには前図ほど明白ではないが、同様に22°付近を頂点とするなだらかな高まりがみられ無定形シリカを含むことが認められるほかに23°、29°、31.5°、35.8°にかなり鋭いピークがみられる。これらのピークはいずれも炭酸カルシウムの同質多像形のうちカルサイトを示すものである。したがって、この沈澱物は無定形シリカとカルサイトの混合物であることがわかる。図4、図5のように同じ泉源の沈澱物でも、その付着位置の違いによって、成分が異なっていることは興味深いことであるが、このような例は今回の調査ではこの1例だけであった。

また表1に示した化学分析によると、各沈澱物はX線回折による結果から予想される成分を含んでいることがわかるが、図3に示した鉄主成分と思われる沈澱物の中には、常にかなり多量のシリカが混在していることが見出された。

以上2つの方法による分析の結果、調査した沈澱物には、大きくわけて

- ① 炭酸カルシウム（主にアラゴナイト）を主成分とするもの
- ② 鉄と無定形シリカの混合物を主成分とするもの
- ③ 無定形シリカを主成分とするもの

の三種があることがわかった。

図2、3、4および表1で示されるように今回調査した沈澱物は多少の不純物を含みながらも①、②、③のうちいずれかの型に属しており、それらの型が混り合っていると考えられるものは

第6図 沈澱物の種類の地域的分布

- ：アラゴナイト
- ：無定形シリカ
- △：カルサイト
- ×：沈澱物の認められないもの
- ：鉄とシリカの混合物

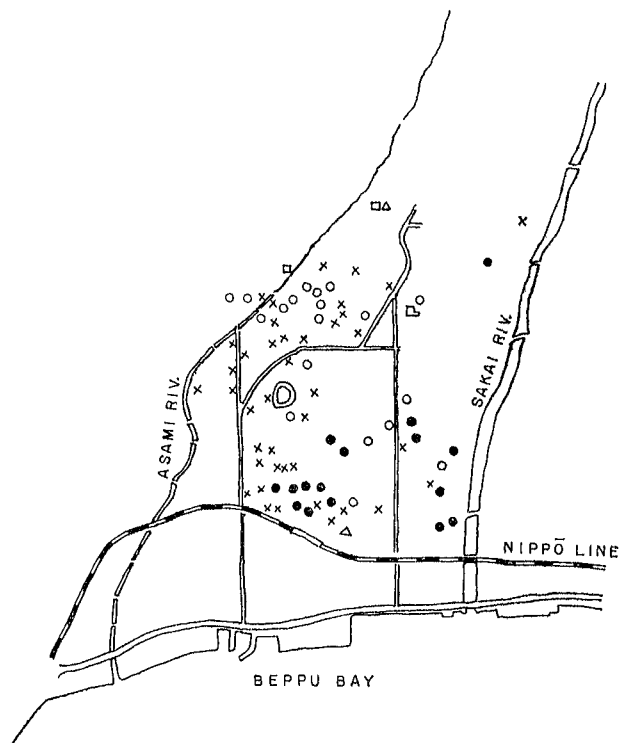


図5に示した例しかなく、このことは今後この地域における沈澱物と温泉水との関係を考える上で大変好都合である。

このように直接に分析したのは20例についてだけであるが、他の試料もこの例の結果にもとづき、色、硬さ、結晶状態や塩酸に対する溶けやすさによって、上記三つの型のどれに属するかは容易に判定できる。このようにして判別した沈澱物の各型につき、その地域的分布を図6に示す。

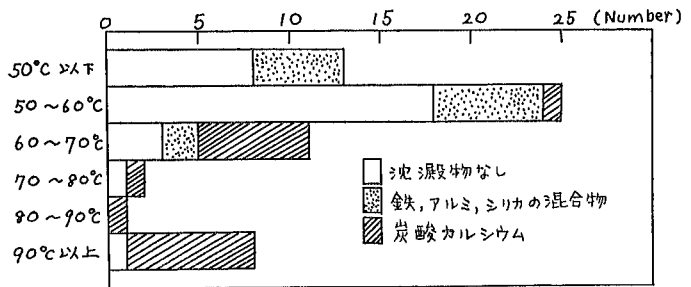
これによれば今回の調査域はラクテンチ下から山の手町に至り、さらに富士見通りを海岸へ下り11丁目に達する泉温が比較的高く、沈澱物はアラゴナイトを主成分とする地域、それより泉温が低く、鉄と無定形シリカを主成分とする田の浜から境川に至る一帯、および前者よりいくぶん低温で沈澱物の付着が認められない流川8丁目から16丁目に至る地域の三つに大別できるようである。なおシリカだけを主成分とするものは、今回の調査孔の中では朝見川沿いにある沸騰泉2孔にのみ認められた。

4 温度との関係

前節で述べたように、温泉沈澱物の付着状態や種類にはある程度地域的特性があるようだが、必ずしも泉源の地理的な位置だけで決まるものではなく、同一地域においても泉源によってその型が異なるように思える。この違いが温度の直接的な影響だけで決まるのか、または泉温で代表された泉源の垂直的な深さによる温泉水の違いの影響なのかはこれまでのところははっきりしないが、まず調査全泉源につき、その地理的分布を度外視して沈澱物の型と泉温との間にどういう関係が見られるかを知るため図7のように縦軸に泉源の数をとり、各温度範囲の泉源のうち沈澱物が前記三種の型それぞれに属する泉源数を棒グラフであらわすと明らかにアラゴナイト主成分の泉源は湧出温度が高く、おおむね70℃以上であるのに対し、鉄とシリカの混合物を主成分とするものは60℃前後と低温であり、沈澱物を生じない泉源でも同様に泉温が低い。また前節で述べたように無定形シリカ主成分の2孔はいずれも沸騰泉である。

これらから考えて温泉沈澱物に種々の型をつくる機構は温度および温泉水の化学的特性との関係にしばられてきて、前節までに示した地域的な分布は、これら各地域で採湯されている温泉水の性質の分布にもとづく見かけ上の関係にすぎないことがわかる。

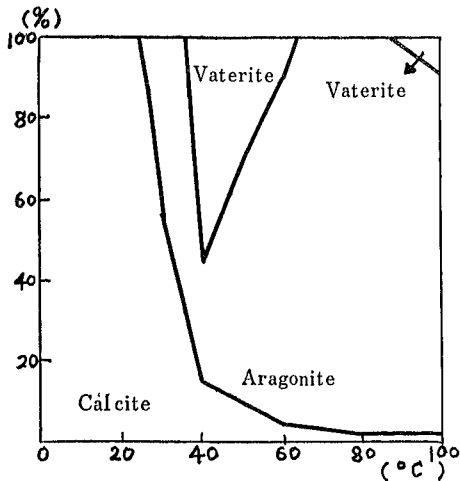
第7図 沈澱物の種類と泉温の関係



5 炭酸カルシウム沈澱物について

北野¹⁾の研究によると、炭酸カルシウムには結晶形の異なるカルサイト、アラゴナイト、バテライトの三種があり、このうちバテライトは不安定のためか自然界では見出された例がない。また重炭酸カルシウムの飽和溶液から炭酸カルシウムを析出させる実験では溶液の温度が高いほど、また溶液を攪拌して空気中への炭酸ガスの逸出速度を早めるほど、カルサイトに対してアラゴナイトの析出する割合

第8図 いろいろの温度で重炭酸カルシウム溶液から生じたCaCO₃の同質多像形組成 (北野による)



が大きくするとされている。その実験結果のうち大気¹⁾と接している溶液中における温度との関係を北野の論文から図8に転載したが、別府温泉における今回の調査で見出された炭酸カルシウム質沈澱物を持つ泉源の温度はいずれもこの実験結果によるアラゴナイト生成域に属しており、その結晶形のほとんどがアラゴナイトである事実と対応する。またこれらの泉源はいずれも沸騰泉かコンプレッサー揚湯であり、温泉水は著しく攪拌された状態にあって、炭酸ガスの逸出速度も大きいと思われる、アラゴナイトの生成しやすい条件下にあるものと考えられる。

ただ2例だけカルサイトの見られた泉源があった。その一つは図6中に△印で示した泉源であり、この泉温は55℃と他の炭酸カルシウム生成泉源の温度より低い。またその付着場所は引湯管のわずかな裂け目から少量の水が静かに流れでている所で、カルサイトを

生成しやすい条件下にあると云えるであろう。

もう一つは図5のX線回折図に示したように、沸騰泉Hの沈澱物のうち泉源に近いタンク壁に付着したものの中に見られた。この付着場所の温度は95℃以上で、温度的にはアラゴナイト生成域にあるが、温泉水は比較的静かに流れているため、カルサイトが生成しやすい条件下にあるものと思われる。

このように炭酸カルシウム質沈澱物が、アラゴナイトの形をとるか、カルサイトになるかは、温度的条件と炭酸ガス逸出の条件の兼ねあいによって決まるようで、前記のようなアラゴナイトを析出している温泉でも、その引湯途中において適当な環境が成立すれば、析出する炭酸カルシウムはカルサイトになる可能性がある。

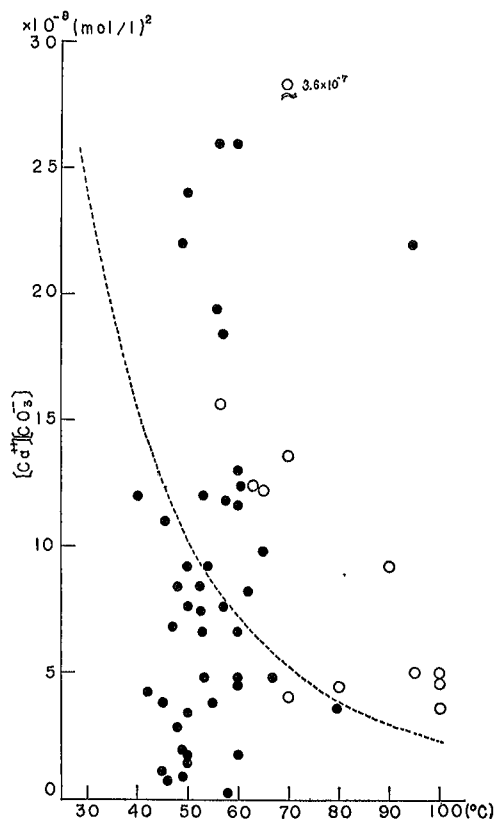
さて前節に述べたように高温泉ほど炭酸カルシウム質沈澱物が析出しやすいのは、その溶解度が温度の高いほど小さいという事実によるのは当然だが、その溶解度は接する気相中の炭酸ガスの分圧や水中の溶存物質によって異なり、実際の温泉水の湧出過程について溶解度と温度との関係を簡単に求めることはなかなかむづかしい。そこで今回の調査では、まず第一歩として、調査した泉源の温泉水を採水し、その $[Ca^{++}] \cdot [CO_3^{--}]$ の値を求め、泉温や炭酸カルシウム質沈澱物の有無と対比することとした。

Ca^{++} は EDTA キレート滴定により定量し、 CO_3^{--} は pH とメチルオレンジアルカリ度による HCO_3^- の滴定値から算出した。その計算に用いる HCO_3^- の電離恒数 K_2 の値として温度の違いによる影響を一応無視して鉍泉分析指針にしたがい $6 \times 10^{-11} \text{ mol/l}$ を用いた。図9の横軸に泉温、縦軸に $[Ca^{++}] \cdot [CO_3^{--}]$ の値を取って各泉源での値をプロットした。アラゴナイトの溶解度がわからないので試みに純水を大気に接触させたときの炭酸カルシウムの同質多像形の一つであるカルサイトの溶解度積と温度との関係を図中に曲線で描いて比較すると、アラゴナイトを析出する温泉水中の $[Ca^{++}] \cdot [CO_3^{--}]$ の値はこの曲線で表わされる値より高く、また析出しないものはいくつかの例外を除いて曲線より下方にあり、この調査域での温泉水についてアラゴナイトが沈澱するか否かの判定はこの程度の簡単な方法でもほぼ目的が達せられそうに思える。

もちろん現場の温泉水における $[Ca^{++}] \cdot [CO_3^{--}]$ の値を求めるためには、現場での pH を知り、 K_2 の値もその泉温での値を用いなければならない。今回の調査では現場での pH を測定せず実験室に持ち帰って測った値だけを用いたので $[CO_3^{--}]$ の見積りにどの程度の誤差を生じているのかわからないが、図9中には炭酸カルシウム質沈澱物が見られないものでも $[Ca^{++}] \cdot [CO_3^{--}]$ の値が曲線より大きいものがある。また沈澱物が見られない温泉で $[Ca^{++}] \cdot [CO_3^{--}]$ の値が $2.6 \times 10^{-7} \sim 1.2 \times 10^{-6} (\text{mol/l})^2$ と 1 桁以上も大きく、この図の範囲外になり、この判定に合わないものが数例ある。これらはいずれも HCO_3^- 濃度の高い泉源であることを考ふると、これら炭酸性溶存物質の多い温

第9図 泉温と $[Ca^{++}] \cdot [CO_3^{--}]$ の関係

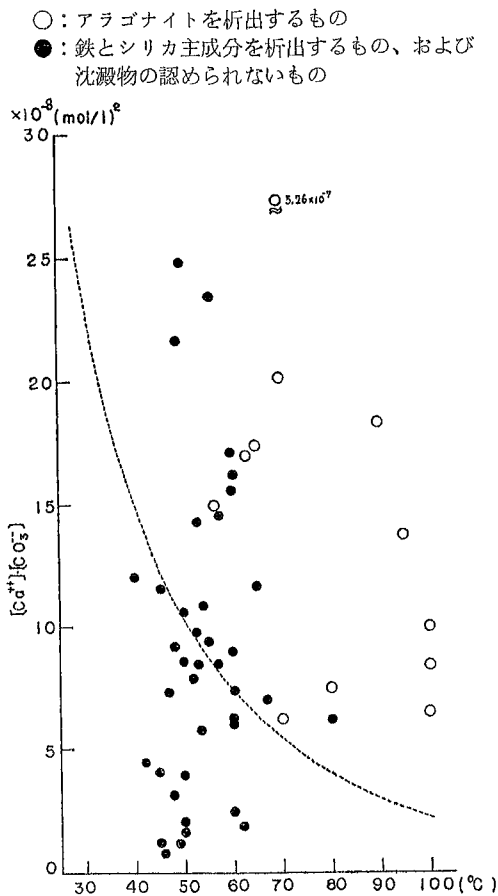
- ：アラゴナイトを析出するもの
- ：鉄とシリカ主成分を析出するもの、および沈澱物の認められないもの



泉水では、現場でのpHと実験室におけるpHが大きく異なり、その影響の現われと考えられるが、その他の HCO_3^- 濃度がそれほど大きくないものについては、このような簡易な方法でもほぼ判定できそうで、これらの温泉水では現場でのpHと室内に持ち帰ったときのpHとがそれほど違ってないのではないかと推測されるが、それについてはまだ確かめていない。

K_2 の温度による違いの影響について、各泉源の湧出温度での値を用いて補正を施したものが図10であるが、図9における傾向とあまり変わらないことが認められる。

第10図 泉温と温度補正を施した $[\text{Ca}^{++}][\text{CO}_3^{--}]$ の関係



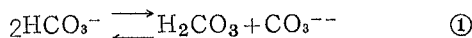
このように炭酸カルシウム質沈澱物は炭酸カルシウムの過飽和状態にある高温泉にあらわれやすいことがわかったが、このことから逆に推しはかって、ある一つの泉源では温度の高い所で沈澱物が析出しやすいかという、そうではなくむしろ反対の関係にある。例えば第2節で述べたように、泉源Cにおいては湧出途中の冷却効果のために地表に近いほど温泉水の温度は低い傾向にあると思われるのに、沈澱物は明らかに地表に近づくほど多量に析出しているのである。したがって炭酸カルシウム質沈澱物の成分機構には温度による溶解度の違いの影響のほか、温泉孔中で地表に近づくほど温泉水に過剰の炭酸カルシウムをつくるような何らかの要因が作用していると見なければならぬ。この要因としてもっとも容易に考えられるものは、温泉水の湧出に伴う気相への炭酸ガスの分離による影響である。前記の如く、今回の調査地域には白噴泉はなく、温泉孔中の沸騰または圧縮空気の圧入によって湧水を行なう泉源のみであるから湧出途中での共存気相の影響は当然考えられ、気相への炭酸ガスの逸出により温泉水中の炭酸成分の平衡関係が変化してゆく過程が沈澱物の生成にもっとも大きい影響を与えているに違いない。

湯原の観測によれば、普通の沸騰泉では乾き度0.005程度であるから、この共存気相を水蒸気のみとした計算式による沸騰前の熱水温度は 102.7°C と

求められる。これに炭酸ガスが共存しているとしても、この温度の見積りはそう大きく変わらないと考えられるから、沸騰後地表に湧出するまで温泉全管長にわたり炭酸カルシウム溶解度に対する温度の効果はほぼ一定と考えてよい程度であろう。しかし温泉水が沸騰をはじめて気泡が発生し、気液両相の混合流体となって上昇すればするほど気相の体積が増すから炭酸ガスの分圧は低下し、それに伴ない炭酸カルシウムの溶解度は低下の傾向にある。実際にカルサイトと平衡にある 16°C の水中で Ca^{++} イオン濃度が炭酸ガスの分圧によってどのように変化するかという実験によれば、炭酸ガスの分圧が 5×10^{-2} 気圧、 8×10^{-4} 気圧のとき、 Ca^{++} イオン濃度はそれぞれ $3.6 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ および $8.5 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ とかなり大きな変化が見られ、炭酸カルシウム沈澱物析出に対する炭酸ガス分圧の効果の大きなことが推測されるが、温泉孔中での炭酸ガス分圧を直接知ることは困難だし、また湧出温度は 100°C であるからこの結果をそのまま現実の問題に適用することはできない。しかしこの実験結果から液中の飽和 Ca^{++} イオン濃度を減少さず主要原因は炭酸ガス分圧の低下に伴ない、液中で平衡関係

にある $\text{CO}_3^{--} : \text{HCO}_3^-$ 濃度比が大きくなる一方、炭酸カルシウムの溶解度積が小さいことによりカルサイトの溶解が小となるためと考えられる。

このような考えのもとで沸騰泉における沈澱物の量を大きっぱに見積る方法を求めてみる。簡単のために熱水中に含まれる化学成分は H_2CO_3^* 、 HCO_3^- 、 CO_3^{--} および Ca^{++} だけで他の成分はないものとし、各炭酸成分間には次の平衡関係が常に成立っているものとする。



いま密閉容器中でこのような溶液と気相との共存状態を仮想するとき、気相の体積比が増すと水中の H_2CO_3 の一部は CO_2 となり気相へと移行するから、上の平衡関係は破れて反応が右に進み新たな平衡状態に達する。この過程で HCO_3^- が $2n$ モル減少すると気相中の CO_2 と水中の H_2CO_3 の合計量および CO_3^{--} はそれぞれ n モルずつ増加し、この減少量または増加量は気相体積の増加率の大きいほど大きい。したがってはじめの液体が炭酸カルシウムの不飽和液であっても、このような CO_3^{--} の増加のため $[\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{CO}_3^{--}]$ の値が増して飽和溶液となり、さらには過飽和溶液となって炭酸カルシウム沈澱物が析出し得る。

つぎに温泉管中で熱水の沸騰により気泡が発生しその体積を増加しつつ噴出する沸騰泉の噴出経路を通じて上記の過程が連続的に適用されるとし、熱水中の H_2CO_3 、 HCO_3^- 、 CO_3^{--} および Ca^{++} のモル濃度をそれぞれ a 、 b 、 c 、 d 、熱水の流量（体積）を Q 、気泡の熱水に対する流量体積比を V とおく。気泡発生前の各値には上記の符号の右下に添字 \circ をつけて表わし（もちろんこのときは $V_\circ = 0$ である）、飽和状態に達したときの各値は右肩に $'$ をつけて示すことにする。

気泡と熱水は同一速度で上昇し、気泡中の CO_2 と熱水中の H_2CO_3 は常に平衡状態にあるとすれば CO_2 のモル濃度 g はオストワルドの吸収率の定義により次のように与えられる。

$$g = a/L \quad \text{②}$$

ただし、 L は炭酸ガスに関するオストワルドの吸収係数である。

まずはじめに炭酸カルシウムの不飽和熱水が飽和熱水になるまでの過程を取扱う。

気泡の発生により炭酸成分の組成は変化するが、温泉管中を気泡と熱水の混合流体が上昇する途中で系外への逸出はないから単位時間に温泉管断面を通過する HCO_3^- 、 CO_3^{--} および CO_2 と H_2CO_3 の合計量の各モル数の間には上記の過程に基き常に次の連続式が成立する。

$$\begin{aligned} bQ - b_\circ Q_\circ &= 2(aQ + gVQ - a_\circ Q_\circ) \\ &= 2\left\{a\left(1 + \frac{V}{L}\right)Q - a_\circ Q_\circ\right\} \end{aligned}$$

$$bQ - b_\circ Q_\circ = 2(cQ - c_\circ Q_\circ)$$

これを書きなおして次の二式が得られる。

$$\left\{b + 2a\left(1 + \frac{V}{L}\right)\right\}Q = (b_\circ + 2a_\circ)Q_\circ \quad \text{③}$$

$$(b + 2c)Q = (b_\circ + 2c_\circ)Q_\circ \quad \text{④}$$

さて気泡発生前後の熱水の密度を ρ_\circ 、 ρ 、気泡の密度を ρv とすれば、質量の連続から次式が成立する。

$$\rho_\circ Q_\circ = \rho Q + \rho v Q V = \rho Q \left(1 + \frac{\rho v}{\rho} V\right)$$

沸騰前後の温度があまり変らない範囲では $\rho_\circ \approx \rho$ 、また $\rho v / \rho \approx 6 \times 10^{-4}$ 程度であるから、地表での V が 200 程度までの多くの沸騰泉ではその噴出全経路につき $\frac{\rho v}{\rho} V \ll 1$ と考えられ、そのときには ③式と ④式から次の近似式が求められる。

$$b \approx b_\circ - 2(c - c_\circ)$$

$$a\left(1 + \frac{V}{L}\right) \approx a_\circ - (c_\circ - c)$$

熱水の温度が 100°C に近い範囲では炭酸の一次および二次の解離恒数 K_1 、 K_2 はそれぞれ $K_1 = 7.4$

$\times 10^{-7} \text{mol}/\ell$ 、 $K_2 = 1.28 \times 10^{-10} \text{mol}/\ell$ であるから、 $\text{pH} < 7.5$ の範囲では上記二式の $c - c_0$ の項を無視して、さらに $b \rightleftharpoons b_0$ 、 $a(1 + V/L) \rightleftharpoons a_0$ と近似することができる。

つぎに④式に示す解離平衡の関係から

$$\frac{b_0^2}{a_0 c_0} = \frac{b^2}{ac} \quad (5)$$

これに上の二つの近似式を代入すると次のように簡単化される。

$$C = c_0(1 + V/L) \quad (6)$$

ここで、 $P = c \cdot a$ 、 $P_0 = c_0 \cdot a_0$ とおく。このときはまだ炭酸カルシウム沈澱物は析出してないから $d_0 = d$ 。したがって⑥式は次のように書き換えられ、 V の増加に伴ない P の値も増すことが示される。

$$P = P_0(1 + V/L)$$

このようにして P の値が増し飽和状態に達したとき

$$K_s = P_0(1 + V'/L) \quad (7)$$

となる。ただし K_s は炭酸カルシウムの溶解積である。

例えば地下の熱水が $\text{pH} = 7$ 、 $b_0 = 4 \times 10^{-3} \text{mol}/\ell$ 、 $d_0 = 2 \times 10^{-3} \text{mol}/\ell$ で、温度が 100°C に近いときは、 $K_s = 2.22 \times 10^{-8} (\text{mol}/\ell)^2$ 、 $L = 0.234$ 、 $K_2 = 1.28 \times 10^{-10} \text{mol}/\ell$ とおき $V = 0.25$ と計算されごくわずかの気泡の発生により熱水は炭酸カルシウムの飽和溶液になり得ることがわかる。

なお上の計算に用いた値のうち $\text{pH} = 7$ は沈澱物の見られない泉源での代表的な値であり、 b_0 には地下と地表上でそれほど違わないとして通常沸騰泉にみられる値を用い、 d_0 は熱水中で $d_0 \rightleftharpoons \frac{1}{2} b_0$ に近いものと仮定した値である。

このようにして炭酸カルシウムの飽和状態に達した後に、さらに気泡の体積が増せば P の値は K_s を越えて過飽和となり沈澱物が析出する。しかしその沈澱量を正確に見積ることは非常にむづかしいので、以下には特に条件を簡単化したときのごく大ざっぱな見積り方法を述べる。

温泉管全管長にわたり単位時間に析出する量を S モルとすれば、③④式を導くときと同様の仮定の下で

$$(b + 2c)Q + 2S = (b' + 2c')Q'$$

$$\{b + 2a(1 + V/L)\}Q = \{b' + 2a'(1 + V'/L)\}Q'$$

が導かれる。

ここで前と同様の条件の下で $b' \gg 2(c - c')$ 、 $a'(1 + V'/L) \gg c - c'$ 、かつ $Q' \rightleftharpoons Q$ が満足される範囲内では

$$b \rightleftharpoons b' - \frac{2S}{Q}、 a = a' \frac{1 + V'/L}{1 + V/L} + \frac{S/Q}{1 + V/L} \quad (8)$$

であり、また沈澱物生成後もほとんど温度が変わらないとみなせるときには炭酸の解離平衡式と⑧式を組合わせて

$$\frac{b'^2}{a'c'} = \frac{b^2}{ac} = \frac{b'^2 \{1 - 2S/(b'Q)\}^2}{\{a'(1 + V'/L) + S/Q\}c} \cdot (1 + V/L)$$

また $S = (d' - d)Q = \left(\frac{1}{c'} - \frac{1}{c}\right) K_s Q$ とおくことができるから、 $b'Q \gg 2S$ とみなせる範囲内では次の様にあらわせる。

$$C = \frac{a'c'(1 + V/L) + K_s}{a'(1 + V'/L) + K_s/c'} \quad (9)$$

つぎに $P_0 = C_0 \cdot d_0$ 、 $K_s = c' \cdot d'$ であるから

$$C' = C_0 \frac{K_s}{p_0}、 および⑦式から$$

$$V'/L = K_s/p_0 - 1$$

またいま考えている範囲内では $a'(1 + V'/L) \rightleftharpoons a_0$ と書けるから、これらを⑨式に代入して

$$c = \frac{a_0 c_0 (1 + V/L) + K_s}{a_0 + d_0} \quad (10)$$

図9に示すように、別府温泉における炭酸カルシウム生成温泉水は過飽和状態にあるが、簡単のため過飽和分はすべて沈澱析出し、そのとき熱水は飽和状態にあるとすれば、

$$d = \frac{Ks}{C} = \frac{(a_o + d_o) Ks}{a_o c_o (1 + V/L) + Ks} \quad (11)$$

したがって沈澱量Sは次のように与えられる。

$$S = (d_o - d) Q \\ = \left\{ d_o - \frac{(a_o + d_o) Ks}{a_o c_o (1 + V/L) + Ks} \right\} Q \quad (12)$$

この式に上に用いた値を代入し、 $V=1.7$ (乾き度0.001に相当)、 $Q=50 \ell/\text{min}$ を用いると、 $S=0.04 \text{mol}/\text{min}$ と計算され、1日当りの沈澱量Mは $M=5.8 \text{kg}/\text{day}$ となる。別府温泉における沈澱量の最大値は図一中のEにおいて観測され、ここでは20m以浅に炭酸カルシウム沈澱物が付着し、約2週間に1度の割でこれらを除去している。この除去量から推定すると1日当りの付着量は約4 kg/day程度であったからこのような析出機構では説明できる範囲にある。

また湧出熱水中のdは⑪式に上の計算に用いた値を代入すると $b=1.25 \times 10^{-3} \text{mol}/\ell$ となり、またpHは地下と地表で温度と HCO_3^- 濃度がほとんど変わらず $a_o \gg C - C_o$ のときには、解離平衡式および⑩式から

$$\frac{[\text{H}^+]_o}{[\text{H}^+]} = \frac{C}{C_o} = \frac{a_o}{(a_o + S/Q) (1 + V/L)}$$

$$\text{ゆえに } \text{pH} = \text{pH}_o + \log \left\{ \frac{a_o}{a_o + S/Q} (1 + V/L) \right\} \quad (13)$$

となり、 $\text{pH}_o = 7$ として上記の値を用いて計算すると $\text{pH}=7.5$ となる。これらのdやpHの値は別府の沸騰泉における湧出口での実測値とはいくぶん異なるが、それほどかけ離れたものではない。しかしこの計算の途中で用いた $b'Q \gg 2S$ などの仮定がどの程度実情にあっているかは疑問であるからこの見積り量は前にも述べたようにごく大ざっぱな目安でしかない。

以上より、沸騰泉において炭酸カルシウム沈澱物を析出する機構としては、量的な問題は残るが、地下の熱水から沸騰により炭酸ガスが気相へと移行することの効果が、非常に大きい役割を果たしていると考えても良さそうである。

また⑬式は、沸騰により熱水のpHは増し、炭酸カルシウムの沈澱が起れば逆に低下するという一般的な傾向を説明する適用範囲のかなり広い式と思われる。

コンプレッサー揚湯の場合は送気することによって地下に気泡と水との混合流体が作られ、これが上昇するにしたがって外圧が低下するから気相の体積が増すことになり、炭酸カルシウムの沈澱については上記の沸騰泉の場合とほぼ同様の機構を考慮してよいように思われる。このように沸騰泉、コンプレッサー揚湯いずれの場合においても、気液両相から成る混合流体が地表に近づくほど気相の体積は急激に増加して炭酸ガスの分圧低下速度、気相への逸出速度は大きくなり、したがって湧出口に近いほど多量の沈澱物が析出する傾向にあると思われ、例Cにおける観察事実はこの機構によると考えられる。

またエアリフトの場合、揚湯停止中の静止水面を境としてそれ以下では沈澱物は認められないが、これは揚湯中ガス泡の発生に伴って沈澱物が析出したとしても揚湯停止中は水中に浸ったままとなり、しかもその温泉水は冷却により温度が低下し炭酸カルシウムの溶解度を増すため再び溶解するためであろうと思われる。

6 無定形シリカの沈澱物について

別府温泉のシリカ含有量について従来の分析結果によると、沸騰泉またはそれに近い高温の温泉水でその含有量が多いような傾向がみられ、今回の調査でも表2に示すように沸騰泉の中には167ppm

を示すものもあった。

このような沸騰泉中のシリカ濃度を各温度についての石英の溶解度と比較して深部熱水の温度を推定する試みも行われており、これをそのまま適用すると上記最高濃度は約 170°C での石英溶解度に当る。このように深部における高温水のシリカ濃度は石英の溶解度で支配されるとしても、それが浅所または地表に至って冷却の結果析出するケイ酸質沈澱物はすべて無定形シリカであるからそれについての溶解度の温度変化を考えねばならない。一國が無定形シリカの溶解度について従来の実験結果をまとめたところによると、石英の溶解度にくらべて遙に高く、pH 7~8 の普通に考えられる温泉水につき 150°C で約 700ppm、地表の常温では 100~200ppm 程度である。したがって今回の調査域で推定されるような地温のもとで地層中の石英を溶解して来た熱水が、湧出に伴ないシリカを沈澱析出するためには地表に至って後かなり冷却することが必要と考えられる。

すでに前節で述べたように、今回の調査では朝見川沿いの二つの沸騰泉でのみシリカ主成分の沈澱物がみられ、それらも温泉管中には認められず、湧出口から離れた地面上または引湯管の末端など温度の低い所に附着していた。この 2 泉源でのシリカ濃度が 100ppm を超えることと合わせてシリカ主成分沈澱物の沈澱機構は温泉水中のシリカが温度の低下により無定形シリカの溶解度をこす過飽和状態となつてから沈澱が始まるものと解釈される。

ところが比較的低温の温泉で見られる鉄やアルミニウムを主成分とする沈澱物中には必ず相当量のシリカが見出される。しかも、これらの温泉水と他の何も沈澱物の附着を示さない温泉水の温度やシリカ濃度が同程度であることから、この沈澱機構はシリカの溶解度だけからは説明できず鉄やアルミニウムとの共沈による効果を考えねばならない。アルミニウムの存在がシリカの溶解度を減少さすといわれているが、これらについては今後の研究に待たねばならない。

8 む す び

① 境川以南の調査域では温泉孔、引湯管やコンプレッサー送気管に沈澱物の付着する泉源が多数分布している。

② 調査域の沈澱物には、大きくわけて

(1) 炭酸カルシウムを主成分とするもの

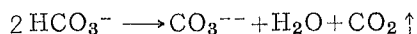
(2) 鉄、アルミニウムとシリカの混合物を主成分とするもの

(3) 無定形シリカを主成分とするもの

の三種がある。

③ 炭酸カルシウム質沈澱物はほとんどがアラゴナイトで、わずかに 2 例だけがカルサイトであったアラゴナイトはおおむね 70°C 以上の温泉で、地面に近い所ほど多量に沈澱し、湧出温泉水はその温泉水はその温度での炭酸カルシウムの過飽和溶液である。

④ 炭酸カルシウム質沈澱物の析出原因は沸騰あるいは送気によって温泉水中に気泡が生じ、温泉水中の炭酸の一部が炭酸ガスとなって気泡へと移行し、温泉水中で



なる反応が起る結果、水中の CO_3^{--} イオンの濃度が増し、 $[\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{CO}_3^{--}]$ の値が、その温度炭酸ガスの分圧下における炭酸カルシウムの溶解度積を越えるためであろう。

⑤ 無定形シリカ主成分の沈澱物は朝見川沿いの沸騰泉にのみ見られ、泉源からある程度離れた所で沈澱する。

⑥ 鉄分を多く含む沈澱物は 50~60°C 程度の比較的低温の低い泉源にみられ、このときシリカも共沈している。

この報告を終えるにあたり、X線回折について御教示を賜わった九大温泉治療学研究所古賀助教授

こ厚く感謝の意を捧げると共に、温泉水採水、沈澱物の採取、ならびにこれら試料の化学分析に御協力をいただいた大分大学教育学部志賀助教授と学生諸氏、京大地球物理学研究所員の方々に謝意を表します。

第1表 温泉沈澱物の分析結果

番号	所在地	X線回折結果	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)	Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ (mg/g)	SiO ₂ (mg/g)	SO ₄ (mg/g)	採取場所
A	上原町	アラゴナイト	370.3	2.8	49.2	14.8	tr.	温泉管内壁
B	〃	〃	371.7	1.0	1.6	12.8	〃	送気管外壁
C	原町	〃	374.0	tr.	17.9	9.9	2.1	〃
1	上原町	〃	374.5	〃	54.3	9.3	tr.	温泉管内壁
2	〃	シリカ	9.6	2.3	10.8	889.4	2.6	引湯管末端
3	〃	アラゴナイト	370.6	7.5	25.3	22.5	tr.	送気管外壁
4	〃	〃	367.9	3.8	39.5	24.8	〃	タンク外壁
5	山の手町	〃	368.8	1.9	18.5	12.9	〃	送気管外壁
D	田の湯町	鉄主成分	10.3	3.3	520.4	245.9	〃	〃
6	〃	〃	9.5	2.7	605.5	175.1	〃	〃
7	〃	〃	1.6	1.7	587.2	207.0	〃	〃
8	〃	〃	5.9	4.7	556.7	239.9	〃	引湯管内壁
9	野口中町	アラゴナイト	350.5	6.5	35.1	38.6	〃	タンク外壁
10	西野口町	〃	372.7	0.9	83.4	13.0	〃	送気管外壁
11	野口元町	カルサイト						引湯管外壁
E	天満町	アラゴナイト	374.6	3.8	8.5	22.0	tr.	温泉管内壁
F	青山町	〃	362.7	3.8	2.4	11.7	〃	引湯管内壁
G	〃	〃	365.4	7.9	19.7	24.9	〃	〃
H ⁽¹⁾	丸尾	シリカ						地面上
H ⁽²⁾		シリカ+カルサイト						タンク外壁

第2表 温泉水の化学組成

番号	所在地	沈澱物の種類	泉温 (°C)	pH	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
A	上原町	アラゴナイト	100	8.59	470	46	4.7	1.3	596	232	測定せず	98.7
B	〃	〃	63	7.46	155	26	78.2	20.8	185	559	〃	54.6
C	原町	〃	90	7.50	295	43	108	3.0	396	280	〃	53.5
1	上原町	〃	100	8.61	470	42	5.8	1.0	637	207	〃	94.1
2	〃	シリカ	100	8.34	744	75	32.5	0.5	1176	58.2	〃	105
3	〃	アラゴナイト	80	7.44	205	30	41.7	13.3	269	382	〃	73.1
4	〃	〃	70	7.70	125	23	18.5	25.3	98.4	456	〃	81.1
5	山の手町	〃	70	8.00	280	30	20.8	22.7	165	688	〃	76.0
D	田の湯町	鉄主成分	60.5	7.60	164	23	72.3	39.0	234	438	75	66
6	〃	〃	53.4	7.17	90	13	70.0	33.8	62.0	469	48	82
7	〃	〃	50	6.82	93	13	58.4	28.2	105	372	44	78
8	〃	〃	50	6.90	172	20	53.0	26.9	195	420	50	92
9	野口中町	アラゴナイト	56.5	7.65	300	32	69.2	26.6	397	507	75	80
10	西野口町	〃	測定せず	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	野口元町	カルサイト	55	6.70	178	21	53.8	25.2	161	438	62	98
E	天満町	アラゴナイト	100	8.40	445	41	12.3	2.1	842	157	100	50
F	青山町	〃	65	7.58	92	14	68.6	40.5	67.4	488	48	82
G	〃	〃	70	7.95	158	23	70.1	53.0	112	596	90	60
H		シリカ+カルサイト	100	8.40	測定せず	—	—	—	—	—	—	167

12	原 町	アラゴナイト*	95	8.05	212	26	10.0	8.2	231	459	測定せず	64
13	〃	〃	〃	7.82	235	27	48.4	3.1	244	261	〃	50
14	田の湯町	鉄主成分*	45	6.80	87	13	54.3	25.1	106	329	60	76
15	野口中町	〃	57	8.01	147	15	43.5	28.8	152	417	46	78
16	田の湯町	〃	53	7.45	164	18	58.2	35.8	170	449	58	92
17	西野口町	〃	57.5	7.65	213	24	60.8	29.2	230	449	52	86
18	〃	〃	47	7.19	200	21	60.8	35.7	222	413	50	81
19	富士見町	〃	〃	7.40	144	24	108	87.7	60.1	954	48	76
20	幸 町	〃	45	7.90	180	31	135	95.4	127	1150	100	79
21	天満町	〃	67	7.80	70	8	30.0	0.2	42.2	261	48	68
22	〃	〃	57	7.80	218	34	135	87.7	195	1090	90	81
23	原 町	な し	60	7.56	100	15	48.4	16.3	128	276	測定せず	47
24	〃	〃	80	7.53	244	36	45.0	2.6	425	239	〃	61
25	〃	〃	50	7.15	134	20	81.2	16.5	246	304	〃	52
26	〃	〃	49	7.80	205	31	88.2	25.4	316	363	〃	48
27	上原町	〃	60	7.20	95	20	84.0	25.1	129	508	〃	43
28	山の手町	〃	53	7.05	110	21	124	52.3	59.7	872	〃	51
29	〃	〃	56.3	7.74	134	23	90.9	8.3	144	532	〃	51
30	〃	〃	60	8.00	55	11	67.5	24.5	55.8	399	〃	49
31	〃	〃	95	7.58	109	19	108	17.2	86.9	560	〃	50
32	〃	〃	60	7.35	103	21	94.2	27.9	99.3	563	〃	55
33	田の湯町	〃	48.1	7.50	88	13	62.0	33.6	74.5	442	34	82
34	〃	〃	50	6.80	83	13	59.0	29.3	63.8	460	50	76
35	〃	〃	50	7.30	109	9	87.7	20.0	101	437	40	82
36	〃	〃	49	6.45	88	13	71.4	33.6	70.9	446	48	74
37	上田の湯町	〃	〃	7.68	113	16	89.0	23.0	90.4	469	90	60
38	〃	〃	57	7.50	96	15	52.7	44.3	70.9	469	60	80
39	〃	〃	55.8	7.57	112	18	86.9	44.8	88.6	616	52	74
40	〃	〃	〃	6.55	79	11	58.6	33.7	56.7	408	42	76
41	〃	〃	46	6.65	68	9	48.7	28.9	55.0	336	25	68
42	野口元町	〃	47.8	7.20	150	18	46.5	26.1	165	400	55	92
43	野口中町	〃	60	7.25	229	20	55.7	33.8	227	475	54	96
44	幸 町	〃	65	7.10	315	32	103	42.4	378	770	60	100
45	青山町	〃	47	7.53	104	12	56.7	35.8	204	370	46	78
46	〃	〃	52.5	7.50	128	18	74.6	33.8	108	365	48	84
47	〃	〃	54	7.50	74	14	67.6	33.2	56.7	432	32	78
48	〃	〃	46	7.55	118	17	67.2	27.2	115	389	65	78
49	中島町	〃	51	8.30	184	15	55.3	41.1	230	403	80	68
50	〃	〃	50	8.00	222	20	55.1	37.8	337	430	55	64
51	〃	〃	45.5	7.85	200	21	48.9	27.2	222	332	115	58
52	〃	〃	42	7.31	112	12	54.9	24.2	158	393	測定せず	55
53	〃	〃	52	7.43	168	19	70.0	29.4	279	407	〃	47
54	〃	〃	55	7.34	168	19	63.4	14.2	224	282	〃	50

* は色、結晶形、硬さなどから判定したもの。

Fは泉温の低下に伴ない沈澱物が析出しなくなった後の分析値である。

参 考 文 献

- 1) 北野：温泉工学会誌、vol.2、No.1、1964； vol.2、No.1、1964； vol.2、No.3、1964； vol.3、No.1、1965； vol.4、No.1、1966。

- 2) 衛生検査指針 VI、鉱泉分析法指針（協同医書出版社）：P106、1957.
- 3) 小栗：工業用水（共立全書）：P71、1955.
- 4) Smith, F.G. : Physical Geochemistry : P250、1963.
- 5) 湯原：大分県温泉調査研究会報告15号、PP.15~25、1964.
- 6) 吉川、由佐：同上 18号、PP.1~8、1967.
- 7) Seidell, A : Solubilities of Inorganic and Organic Substances. P.192、1919.
- 8) 同上：P228
- 9) Ellis, A. J. : Am. Jour. Sci. Vol. 257 PP.354~365、1959
- 10) Mahon, W. A. J. : New Zealand Jour. of Sci., Vol. 9 .No.1、PP.135~144、1966.
- 11) 一國：温泉工学会誌、vol. 5、No.2、1968、PP.48~53.

九重火山地域における温泉の水系 (1)

九電大岳発電井水の化学成分について

京都大学理学部 山下幸三郎

1 熱水湧出の概況

九電大岳地熱発電所の発電井からは発電に利用する蒸気と共に多量の熱水が流出している。これらは何れも多量の塩素イオンを含む食塩泉である。pHは9号井の7.2以外は8.0~8.7と弱アルカリ性を示し、附近にある自然湧出泉である筋湯の温泉が酸性であるのと対照的で両地の温泉水の生成機構に違いのあることを暗示し、地下高温熱水の特性として注目される。噴出した蒸気と熱水は両者を分離する装置（セパレーター）に流入させ分離する。セパレーターにおける分離時の圧力は発電に利用する蒸気を取り出すために加えられたもので、有効利用の関係からその圧力が決定され、大気圧より高い。セパレーターで分離された熱水は蒸気噴出による騒音を防止する装置であるサイレンサーに流入させ、ここから大気中に放流している。分析は大気中に放流された熱水について行なった。

熱水の地下における温度は160℃以上の高温で湧出途中熱水の一部は蒸気化する。この蒸気はセパレーターで分離するが、分離時の圧力は大気圧以上であるから熱水の温度も亦100℃以上の高温である。サイレンサー内では圧力は大気圧まで下げられるので流入した熱水の一部は更に蒸発する。したがって大気中に放流された熱水の溶存成分の濃度は地下における熱水の濃度より高くなっている筈である。

各井戸における濃縮割合は地下における熱水の温度によって左右されるから、各井戸の化学成分間の関係を調べるには地下における濃度を求めなければならない。

2 地下における熱水の溶存成分の濃度

九電総合研究所では熱水と蒸気の混合から発電に利用する蒸気を取り出すには如何なる分離圧の下で分離すれば最も有効利用が出来るかを知るため、噴出孔口圧を変化させ、その時の蒸気及び熱水の流量及び熱量を各井戸について求めた。これらの資料は亦地下熱水の湧出機構や熱水の溶存成分の濃縮割合等を知るための重要な資料でもある。

地下における熱水の成分濃度を C_u 、大気中に放流された熱水の成分濃度を C_a 、熱水の地下における流量を V_u (屯/時) 大気中に放流された流量を V_a (屯/時) とし、地下における熱水の溶存成分が湧出途中において蒸気中に逸散するか、或は井孔壁にスケールとして沈着しなければ次式が成立する。

$$C_a V_a = C_u V_u \dots\dots\dots(1)$$

上式から
$$C_u = \frac{V_a}{V_u} C_a \dots\dots\dots(2)$$

したがって地下における流出熱水量と大気中に放流した熱水量の比がわかれば、地下における熱水の成分濃度を求めることが出来る。

地下の高温熱水が噴出の途中減圧によって沸騰を起し、蒸気と熱水を大気中に噴出し、定常状態が継続されていて、熱水の流量が非常に多く、且つ井戸孔中での外部への熱の逸散が少ない場合は近似的に次式が成立する。

$$V_u = V_a + V_s \dots\dots\dots(3)$$

$$i_0' V_u = i_1' V_a + i_1'' V_s \dots\dots\dots(4)$$

ここに V_s は大氣中に噴出した蒸氣の流量(屯/時)、 i_0' は熱水の地下におけるエンタルピ、 i_1' 、 i_1'' は大氣圧における熱水、及び蒸氣のエンタルピである。

(3)、(4)式から

$$\frac{V_a}{V_u} = \frac{i_1'' - i_0'}{i_1'' - i_1'} \dots\dots\dots(5)$$

したがって V_a/V_u は地下の熱水のエンタルピ即ち地下熱水の温度にのみ関係し流量には無関係である。

実測資料から V_a/V_u を求めると、5、6号井では孔口圧を変化させ、流量が変化してもこの値は殆んど変わらない。しかるに7、9、10号井では大きい変化を示した。地下の熱水温度は圧力の変化によって大きく変化することはないから、この変化は地下からの流出が熱水のみではなく蒸氣も共に噴出していると考えられ、実測の熱水量、蒸氣量から濃縮割合を求めることは適切ではない。したがって地下の熱水の温度から求める以外にない。

しかるにボーリング中の測定地温は泥水の影響があって、一般に低い値を示すのが通例であり、実測された5～10号井の孔底温度と噴出後の熱水量や蒸氣量の関係を比較すると最も強勢である7、9号井が最も低い温度である。

このような結果から熱水の地下温度は孔底の実測温度と地下温度の示標となる噴出後の孔口密閉圧から推定した。求められた地中温度を用い (5)式から V_a/V_u を求めると次表の如くなる。(第1表)

第1表 熱水の濃縮割合

井戸番号	5	6	7	9	10
V_a/V_u	0.850	0.843	0.825	0.846	0.833

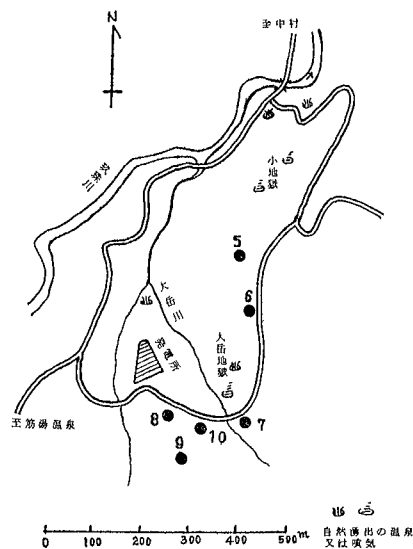
分析は主要成分と、地下の高温熱水に関係が深いと思われるアルカリ金属イオンである Li、Rb、Cs である。(第2表)

地下熱水の成分濃度は各井戸で違いがあり、又掘さく後の時間経過と共に含有量は漸次減少しているので、掘さく噴出後の最大含有量の比較では7号井が最も高濃度であったが、採水期日での比較では最後に掘られた10号井が最も高濃度である。

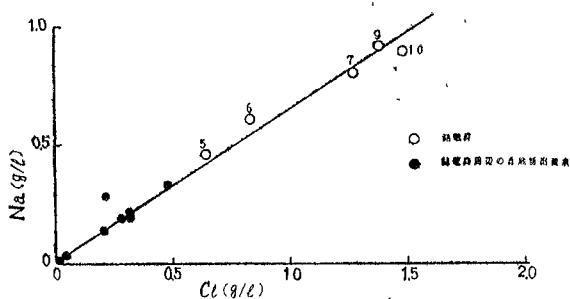
3 成分相互間の関係

各井戸の成分相互間の関係について、先づ Cl^- と Na^+ との量的関係を求めると第2図の如く Cl^- の多い熱水ほど Na^+ も多く、両者間に一次関係が成立する。これらの井戸の周辺にある筋湯温泉その他の自然湧出泉の含有量(黒丸)を図中に入れると発電井の関係直線上に列ぶ。この関係から発電井及び附近温泉は同一温泉水系から供給されていると推察される。

Na^+ と Li^+ との関係(第3図)も Cl^- と Na^+ の関係と同様に、両者間に一次関



第1図 九電大岳発電所発電井分布図



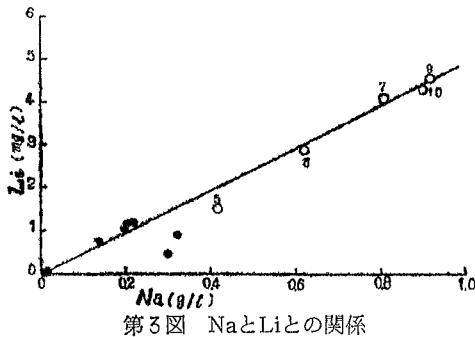
第2図 Cl と Na との関係

第2表 九電大岳発電井水の化学成分組成 (mg/L)

井番号	5号井		6号井		7号井		9号井		10号井	
採水年月日	昭和37.8.6		41.4		41.4		41.4		41.4	
化学成分	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
pH	8.15		8.80		8.50		7.20		8.00	
Li ⁺	1.8*	1.5	3.4	2.9	5.0	4.1	5.4	4.6	5.2	4.3
Na ⁺	550	468	732	617	980	806	1090	920	1080	900
K ⁺	65	55	83	70	115	95	128	108	144	120
Rb ⁺	0.6**	0.5	1.0	0.84	1.1	0.9	1.1	0.93	1.1	0.92
Cs ⁺	0.6**	0.5	0.8	0.67	1.0	0.8	1.0	0.84	0.96	0.80
Ca ²⁺	34		23		24		28		23	
Mg ²⁺	7.5	64	4	3.4	3	2.5	4	3.4	14	12
Cl ⁻	743	632	977	824	1550	1270	1630	1380	1790	1490
HCO ₃ ⁻	149		116		67	55	21	18	51	42
SO ₄ ²⁻	217	184	224	189	151	124	158	133	119	99
Na/Cl	0.74		0.75		0.63		0.67		0.60	
K/Cl	0.087		0.085		0.074		0.078		0.080	
Ca/Cl	0.046		0.024		0.016		0.017		0.013	
Mg/Cl	0.010		0.004		0.002		0.002		0.008	
SO ₄ /Cl	0.29		0.23		0.098		0.097		0.067	
Li/Na×10 ³	3.7		4.6		5.1		5.0		4.8	
Mg/Ca	0.22		0.17		0.13		0.14		0.61	
Rb/k	0.010		0.012		0.0096		0.0086		0.0076	
Cs/K	0.010		0.0096		0.0087		0.0078		0.0067	

註 A 大氣中に放出した熱水の含有量
 B 蒸気量によって補正した地下熱水の含有量
 5号井は大分県衛生研究所の分析による
 * 昭和41年4月採水の分析値
 成分の比は重量比

係が成立する。5号井のLi量は他の熱水に比較して幾分小さ値を示す。5号井は現在ケーシングに炭酸カルシウムが附着して孔口が閉塞され、噴出してない。別府における地下の岩石コア中のLi量を測定した結果、炭酸カルシウムの沈澱のあるコア中に多量のLiが検出された。Liの炭酸塩は溶解度が小さいので、炭酸カルシウムと共に共沈を起すのではないと思われる。



第3図 NaとLiとの関係

しかし5号井のケーシングに附着した炭酸カルシウム中からはLiは検出されなかった。6号井も5号井と同様な炭酸カルシウムの附着があるがLi量についても5号井と同様な傾向を示している。

Na⁺ とK⁺ との関係(第4図)も亦一次関係が成立

する。この場合両者の関係直線は原点を通らない。高温地熱地帯である自然噴気地帯における浅層水や、自然湧出泉ではCl⁻イオンは少なく、SO₄²⁻イオンを多量に含み、又Na⁺イオンに比してK⁺イオンを多量に含む傾向がある。この関係は後述のCl⁻とSO₄²⁻の関係において明確に現われている。したがって原温泉水に混入する地下水は高温地熱地帯の浅層温泉水の如き性質を持つ水であると推察される。

Cl⁻ と SO₄²⁻ との関係は上記関係とは異り、Cl⁻ の減少に伴い SO₄²⁻ は増加している。(第5図)

両者の関係も亦略一次関係が成立するように見られる。この関係直線の方向には周辺の自然湧出の温泉がある。周辺自然湧出泉の Cl⁻ と SO₄²⁻ との関係は乱れていて明確な関係は見出せない。SO₄²⁻ の生成は浅層において硫化水素や亜硫酸ガスの酸化によるとすれば、各温泉の所在地における生成条件や冷地下水の混入状態の相違が原因であると思われる。

以上の諸関係からこの地域の温泉は地下の高温熱水で Cl⁻ や、アルカリ金属イオンを多量に含む温泉水系によって涵養され、これと浅部の温泉水や冷地下水が混入して湧出していると推察される。

Ca、Mg イオンについては各熱水共に含有量が少なく、特に Mg イオンは非常に少ない。他の地域における同種の高温熱水においても同じ性質が見られる。Ca は5、6号井では井孔壁に炭酸カルシウムの附着があり、これに関係したイオンでは(1)式は成立しないから、地下の熱水の成分濃度は求められない。放出熱水の両イオン量は各熱水共略同じ量であり、他イオンとの関係は見出せない。

Li⁺ 量は他の水例えば海水、河川水、冷地下水等の量に比して多量に含まれ、Li/Naの値は海水の300倍、河川水、冷地下水、岩石等の4～5倍である。別府その他の地域の同種の熱水においても同様な性質があり、九重火山地域では南麓の熊本県黒川温泉も同じ値である。

Rb、Csイオンも亦他の天然水に比較して多量に含まれ、特にCsは岩石中のKに対する存在比と比較して約100倍の量である。

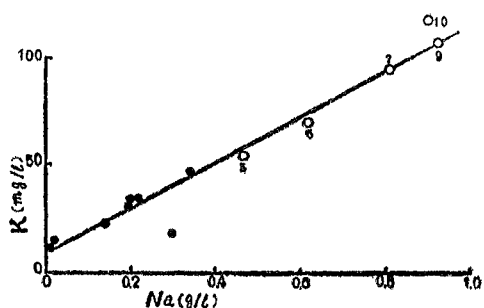
熱水の Cl⁻ やアルカリ金属イオンの濃度と地下における熱水の熱勢力との関係について、上記関係から Cl⁻ 量の多い熱水程地下の温度は高温である如く考えられる。しかし各井戸の Cl⁻ 量やアルカリ金属イオン量は開孔し噴出後掘さく中の泥水注入の影響がなくなった後は一方的に減少しているので、同一期日に採水した熱水の比較が正しい関係を示すかどうかは疑わしい。例えば7号井では噴出直後の最大 Cl⁻ 量は他の熱水と比較して最も多量であったが、現在では後に掘られた9、10号井の方が多い。一方孔口密閉圧は地下温度を示す示標となるのであるが、この圧力は現在でも7号井が最も高い値を示す。又正確な地下温度が測られてないので両者の関係を意義づけることは困難であるが、孔口密閉圧と噴出後の最大 Cl⁻ 量を示すと次表の如くなる。

第3表 Cl⁻量と孔口密閉圧(ゲージ圧)との関係¹⁰⁾

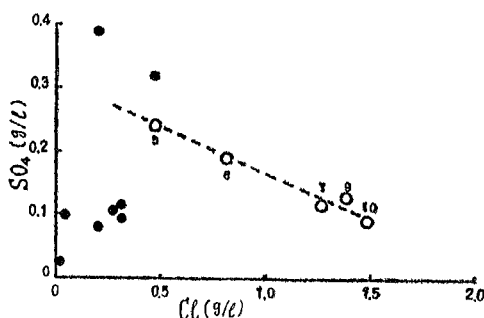
井戸番号	5	6	7	9	10
孔口密閉圧(kg/cm ²)	3	3.8	9.6	6.7	7.9
Cl ⁻ 量(mg/l)※	790	1480	1980	1630	1840

※大気中に放流熱水の Cl⁻ 量、注6～10号井の孔口密閉圧は昭和42年3月測定

に関連を持ち、これらの関係の解明は温泉の開発利用に関しても重要な問題であり、今後の研究が期待される。



第4図 NaとKとの関係



第5図 ClとSO₄との関係

左表から7号井が両者共に最も大きく、密閉圧の高いもの程 Cl⁻ 量も多いが、7、9、10号は前述の如く熱水のみ噴出ではなく蒸気も共に噴出していると思われるので、孔口密閉圧が熱水温度の正しい示標になっているか如何は判別し難い。これらの問題は地下の熱構造や Cl⁻ の起源と生成機構

終りに本研究に資料を提供された九電総合研究所並に分析、採水に協力した京大別府研究所森忠敬堀清和の諸氏に感謝の意を表す。

文 献

- 1) 九電総合研究所：大岳地熱発電研究の中間報告、昭和39～42年
- 2) 山下幸三郎：九電大岳発電井の流量特性について、未発表
- 3) 4) 1) に同じ
- 5) 志賀史光：九重火山群の温泉 大分県温泉調査研究会報告、18、37～43、1967
- 6) 山下幸三郎 未発表
- 7) 山下、古賀：別府市紺屋地獄周辺温泉調査報告、大分県温泉調査研究会報告、16、48～54、1965
- 8) K.Yamashita: The Chemical character of the Boiling Spring in the Beppu Hydrothermal Field, Special Contribution Geophys. Inst. Kyoto Univ., No.5, 17～24, 1965.
- 9) Goldschmidt: Geochemistry, 1954
- 10) 1) と同じ

別府温泉の泉源保護について（Ⅱ）

亀川温泉群の揚水影響

京都大学理学部 山下 幸三郎

1 緒言

亀川温泉は別府温泉では旧市内温泉群に次ぐ温泉密集地帯である。この温泉群についての一斉調査は昭和17年以降の回行なわれたが、その結果によれば昭和24年では泉温、湧出量共に昭和17年より高温、多量で温泉伏流に余裕のあるように思われたが、昭和35年の調査では温泉口数の増加にも拘らず増量の傾向は見られず、したがって旧市内温泉と同様にこれ以上の開発は温泉の水圧低下や地下水の混入の増加等を誘発し、温泉を衰微させるおそれがある。しかるに昭和35年以降においても温泉開発は一層盛んで、亀川温泉も例外ではなく、温泉密集地帯及びその周辺において多くの新温泉が掘きくされ、温泉口数の増加と共に温泉水圧は降下の一途をたどり、西部山麓にある自然湧出泉は減少し、自噴地帯も縮小して、ポンプ揚水井は増加しつつある。例えば四の湯附近では以前殆んどが自然湧出泉で多量の湧出をしていたが、現在は停止したか、大きい減少を示し、大部分の温泉はポンプ揚湯になっている。したがってこの温泉群についても旧市内温泉と同様に最早や開発より温泉源の保護と温泉の高度利用に重点を移すことを考慮すべき時期に来ていると思われる。

温泉や地下水の採取可能量を定量的に求める有力な方法に揚水試験がある。筆者は昭和24年以来別府温泉の各所において揚水試験を行ってきたが、主として旧市内の温泉について行ない、その間亀川温泉でも密集地帯において必要に応じ、既に数ヶ所において実施し、その結果は本紙に報告した。しかし亀川温泉の温泉水頭分布や化学成分分布等の調査研究結果から、別府旧市内に比較して温泉の伏流状態の地域的な相違が大きく複雑であることが予想され、したがって揚水影響にもこの地域的な相違が現われることが予測されるから、現在までの調査資料では全体的な揚水影響を考察するには資料が十分でない。今回再び揚水試験を数ヶ所で実施したが、尚十分とは言いがたいが、これらの資料を整理し、全般的な揚水影響と温泉密集度との関係、温泉開発の現状と採取の限界等について考察した。

2 揚水試験の方法

揚水試験は既に数ヶ所で行なっているので今回もその方法を踏襲した⁴⁾。近時口数の増加によって自噴温泉が減少し、ポンプ揚水井が多くなり、調査地域内や、その周辺には必ずポンプ揚水井があるので調査期間中にこれらの温泉の不定期的な揚水の影響が観測井に重合されて解析を困難にするおそれがあるので、揚水井から100m以内の揚水井は停止の状態において測定した。これより以遠の揚水井まで完全に停止状態におくことは実際には困難で、これらの揚水井が利用上の都合で停止状態にあるとみられる9時～16時の期間に測定することにした。しかし一部の資料にはこの影響と見られる変化が混入していて解析が出来なかった。

既設温泉の過剰揚水はエアリフト又はポンプで行なったが、温泉口径が小さいため多量の揚水が出来ないので観測井で測定精度を高める必要があり、観測井は測定が容易なものを選定した。水

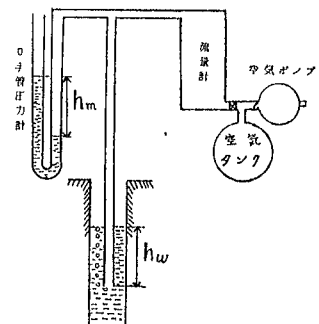


図1 水位測定装置

位が地下深い温泉では測定方法として電気的な方法以外に第1図のような方法を採用した。

井戸中に管を水面以下にまで挿入し、これを通じて空気を流す。この途中にU字管圧力計を連結する。空気が流量計を通じ常に一定量を流し、その流量が少ない場合は近似的に次式が成立する。

$$P_a + \rho g h_m = \rho' g (h_w + h_f) + P_a \dots \dots \dots (1)$$

ここに h_m は圧力計の測定値、 h_w は井戸に挿入した管の水中の長さ、 ρ 、 ρ' は圧力計に入れた液体及び温泉水の密度、 h_f は空気の流動抵抗を温泉水柱に直した値、 P_a は大気圧である。挿入管の口径が流量に比して十分大きい場合 h_f は小さく、特に水位の変動のみを対照としての観測であれば測定時の空気量(100~200cc/min)を一定量にすれば

$$\rho g (h'_m - h_m) = \rho' g (h'_w - h_w) \dots \dots \dots (2)$$

更に圧力計の液体に水を用い温泉水の $\rho' \approx 1$ と見做せば、温泉水位の変動は直接圧力計の変動で表われ容易且つ高精度の測定が可能である。

揚水試験を実施した何れの地点の温泉も海洋潮汐の影響があり、これが揚水影響と重合して不明確

になるおそれがあるから揚水試験を行なう前日に潮汐の影響を各観測井について実測し両者の関係から揚水中の潮位記録によってこの影響を除去した。

3 揚水試験の結果について (図2~7)

揚水試験は既に行なわれた地域を除き7ヶ所で行なったが、内一箇所は揚水量の不足から影響が現われなかった。図に示す観測井の湧出量又は水位は前日に観測した潮汐影響の関係式を用い揚水試験日の潮位から湧出量、又は水位を推算し、この値からの変化量である。

No.353 揚水井では温泉水頭を2.18m低下させたにも拘らず過剰揚水量は僅か2.5ℓ/min程度の少量であり、したがって揚水の影響が現れないことが予想されたので、観測井で湧出量の

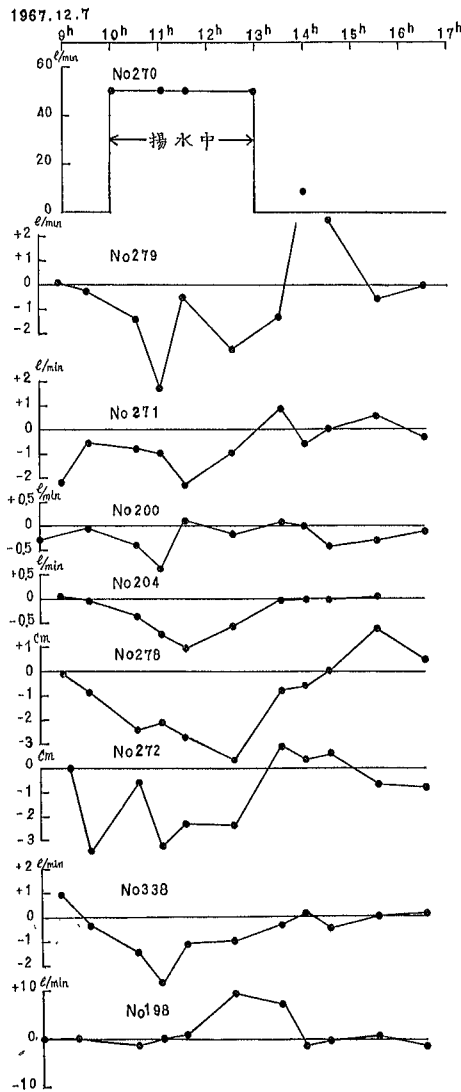


図2(A) 亀川No. 270揚水による周辺温泉の湧出量又は水位変化

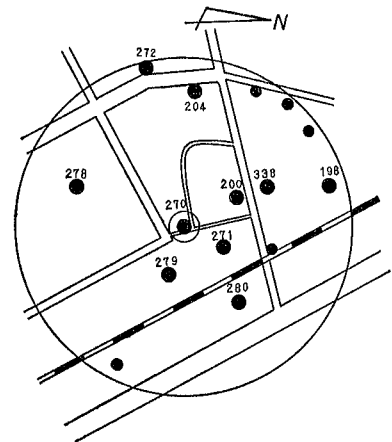


図2(B) 揚水井 大円は揚水井を中心とした半径100m

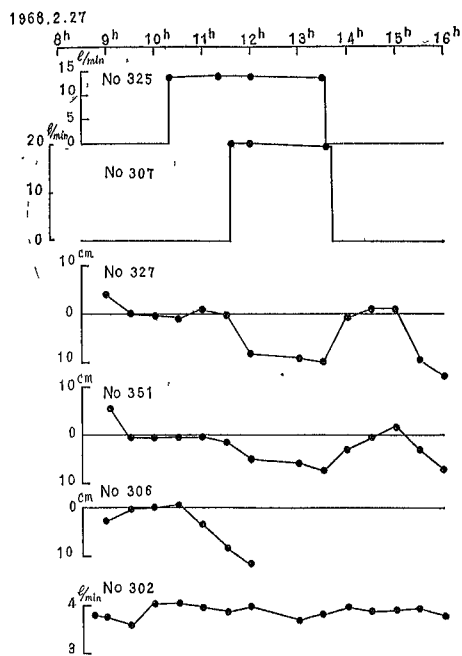


図3(A) 亀川No.325、No.307揚水による周辺温泉の湧出量又は水位変化

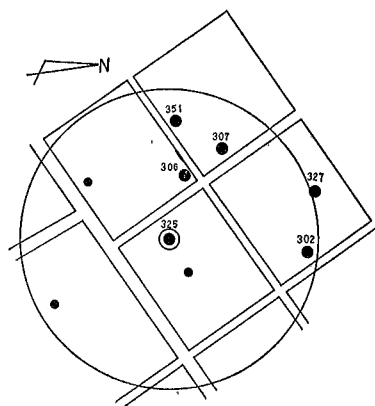


図3(B)

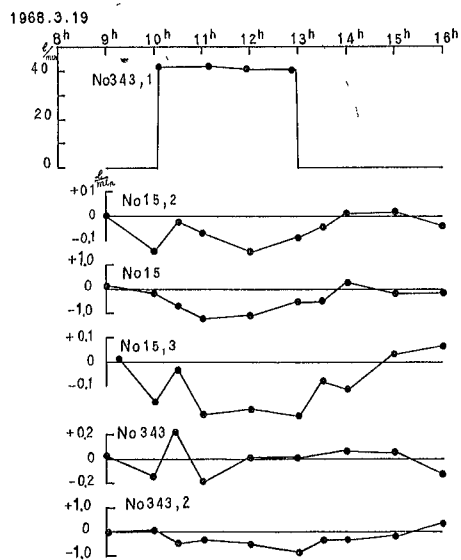


図4(A) 亀川No. 343, 1揚水による周辺温泉の湧出量変化

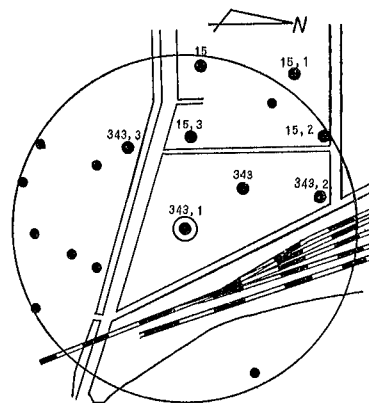


図4(B)

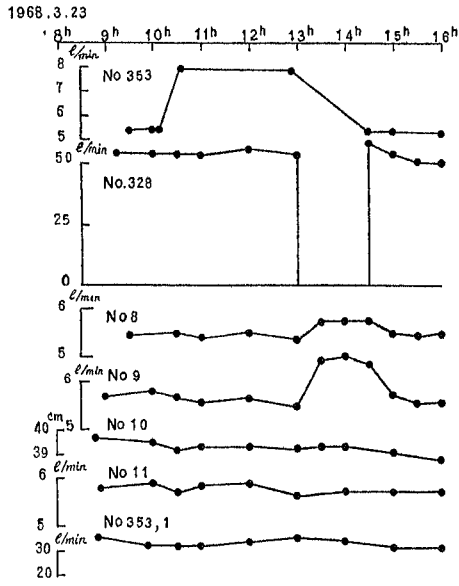


図 5 (A) 亀川 No.353揚水並に No.328湧出量抑制による周辺温泉の湧出量又は水位変化

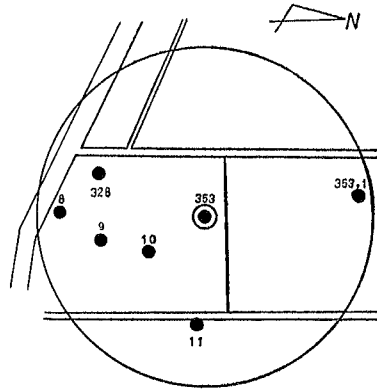


図 5 (B)

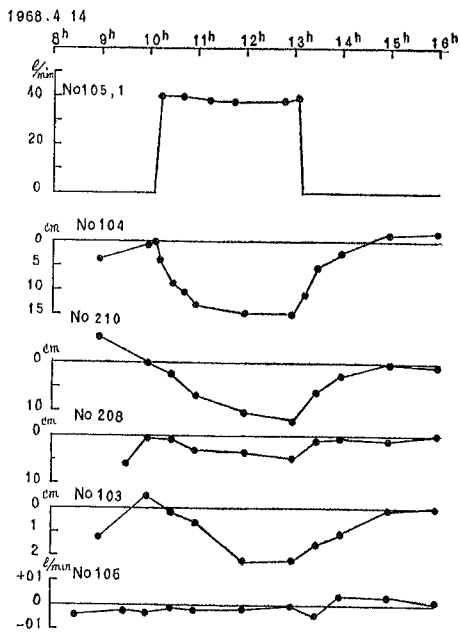


図 6 (A) 亀川 No. 105、1 揚水による周辺温泉の湧出量又は水位変化

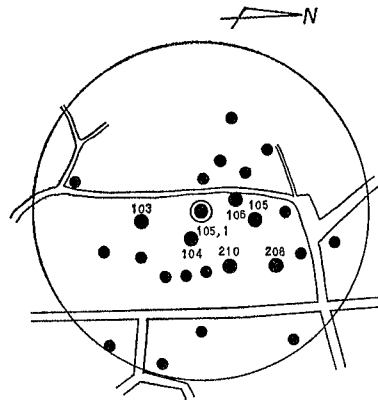


図 6 (B)

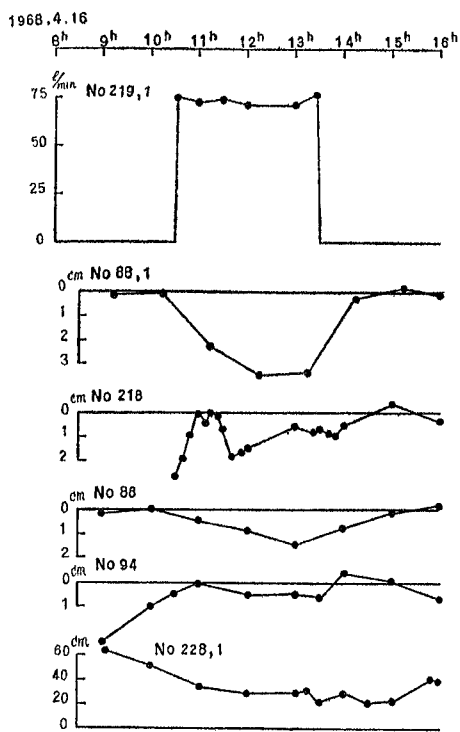


図7(A) 亀川 No. 219, 1 揚水による周辺温泉の水位変化

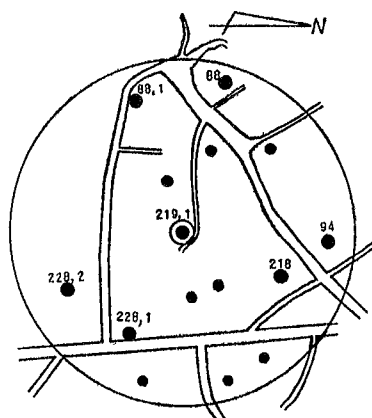


図7(B)

多い No.328 の湧出を停止させた。その結果は予想したように No.353 揚水の影響は現われていないが、No.328 の湧出停止の効果は No. 8、No.9 温泉において明確に現われている。(第5図A・B参照) 又 No.325 揚水井では揚水量の少ないことと、至近距離に観測井がないことから No.307 も揚水を行い影響量の増大を計った。

全般的に見て揚水量が少ないから、それによる影響量も亦少ないが、影響は明確に現われている。この結果は旧市内での結果と同様に、揚水井から同じ距離にある温泉でも同一効果を示さず、特異な方向性を示すものや、揚水井からの遠近による大小関係の異なるものもある。これらの原因は温泉口の分布の不均一、温泉水層の構造の不均一や、温泉採取水層の違い等による結果であると推察される。

4 揚水影響と温泉密集度との関係

別府旧市内温泉の自噴地帯における揚水試験の結果から揚水井周辺温泉の密集度と揚水の影響との間には密接な関係があることを見出し、両者の関係は各自噴温泉からの湧出を揚水温泉水層から全面的に温泉水が滲出し、その滲出量の変化が揚水温泉水層の水圧変化に比例すると仮定した理論的な考察によって得られた結果と一致した。亀川温泉においても旧市内温泉のように多数の自噴温泉があり又地下の温泉水層の構造にも同じ性質があると考えられるから揚水影響にも亦同様な特性が現われるであろう。したがって旧市内で求められた次の関係式が適用されるであろう。

$$\Delta q_r = Q \frac{K_0 \left(\sqrt{\frac{b}{T}} r \right)}{K_0 \left(\sqrt{\frac{b}{T}} r_w \right)} \dots\dots\dots(3)$$

ここに Δq_r は揚水井から r の距離にある温泉の揚水量が Q であるときの湧出量の減少量、 b/T は滲出に関する係数、 r_w は井戸半径、 $K_0(x)$ は第2種零階の変形された Bessel 函数である。

(3)式を用いて揚水試験の実測値から b/T を求めた。又観測井がポンプ揚水井で水位の測定のみの場合には Hantush の図解法による方法で求めた。その結果を次表に示す。

第1表

揚水井番号	温泉密集度(m^{-2})	$b/T(m^{-2})$
343,1	1.91×10^{-4}	5.3×10^{-4}
219,1	0	$0.81 \times \text{ㄵ}$
353	3.50×10^{-4}	$24.5 \times \text{ㄵ}$
105,1	$2.23 \times \text{ㄵ}$	$7.8 \times \text{ㄵ}$
270	$3.82 \times \text{ㄵ}$	$14.0 \times \text{ㄵ}$
307	$0.96 \times \text{ㄵ}$	$1.96 \times \text{ㄵ}$
50,1	10.2×11	$27.0 \times \text{ㄵ}$
115,1	13.4×11	$32.5 \times \text{ㄵ}$
216,1	$4.14 \times \text{ㄵ}$	$5.0 \times \text{ㄵ}$

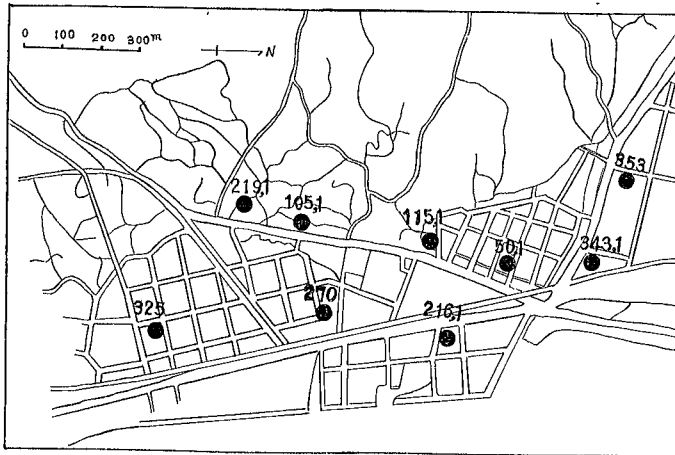


図8 揚水井分布

b/T は温泉水層の構造にも関係する係数であって、旧市内温泉に比較して温泉伏流に地域的な相違があり、したがって温泉水層の構造にも幾分の違いがあると考えられる。一方自噴温泉について温泉水頭と湧出量との関係の調査では旧市内温泉と特に著しい相違は見られない。(4)、(5)式に見られるNの係数の異なる原因は測定数の少ないことや、内部湧出に関する係数が温泉口数の多い地域で大きくこれが口数の関係式中に含まれていることが考えられる。旧市内温泉でも自然湧出のあった温泉口数の多い田の湯温泉脈上で内部湧出に関する係数の大きいことが見出された。第9図で見られるように b/T の値が大きく、両者の関係直線の方向を決定づける大きい役割をしているとみられるNo.115, 1 No.50, 1 揚水井の地域は亀川温泉では最も強勢な自然湧出地帯の1つであることから、内部湧出に関する係数も亦大きいことが考えられ、又温泉密集度についても多量の自然湧出泉を1口としての計算が妥当であるか等検討すべき問題点があり、今後の調査研究が必要である。

今回までの調査によって得られた揚水影響と温泉密集度との関係を示す(4)式からすれば、亀川温泉では旧市内温泉の2口の増加が1口の増加に略対応する。したがって旧市内温泉で求められた開発の限界である

温泉の密集度は揚水井から100m以内にある自噴温泉の数を単位面積(m^2)当りの口数に直した数値を以て表わした。(図8、9)

温泉密集度と湧出に関する係数 b/T との関係を図示すると、第9図のように幾分のバラツキがあり、又実測数が少ないので明確を欠ぐが、略一次関係が成立する。特に口数の割合に b/T の大きい一例を除いて両者の関係を求めると次式の如くなる。

$$\frac{b}{T} = 2.43N + 0.6 \times 10^{-4} \dots (4)$$

ここに $N(m^{-2})$ は温泉密集度である。

既に求められた旧市内温泉における関係を図中点線で示した。その関係式は

$$\frac{b}{T} = 1.20N + 2.84 \times 10^{-4} \dots (5)$$

両地域の関係式を比較すると両者の関係を表わす直線の傾斜を示すNの係数が異り、亀川では旧市内の値の約2倍である。しかし内部湧出の係数である(4)(5)式の右辺第2項は亀川における値の方が小さい。

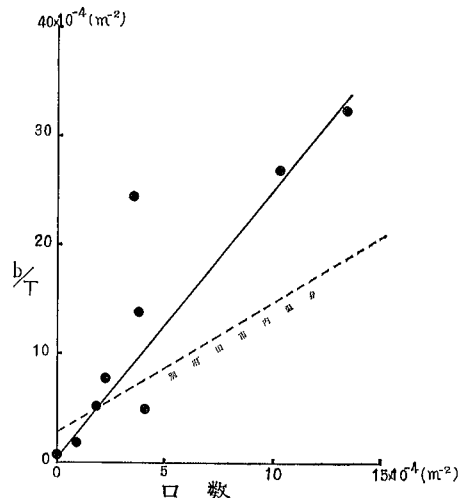


図9 温泉密集度と湧出に関する係数との関係

100 米平方当り⁹⁾10～7口は亀川温泉では5～4口程度となる。この結果からみれば亀川温泉の主要湧出地帯の開発は既に限界に達していると推察され、現在実施されている温泉開発の規制は妥当な処置であると思う。

5 要約

亀川温泉群について現在までに実施した揚水試験から揚水影響と温泉密集度との関係が得られ、その結果温泉開発の限界をも知ることが出来た。

1. 揚水影響と密接な関係のある滲出に関する係数と揚水井周辺温泉の密集度との間に次の如き一次関係が成立する。

$$\frac{h}{T} = 2.43N + 0.6 \times 10^{-4}$$

2. 亀川温泉の地下温泉水層の構造に地域的な相違があると考えられ、したがってこの程度の調査資料で十分とは言えない。得られた結果について尚検討すべき問題点があるが、温泉開発の限界口数を求めると、100米平方内に5～4口程度になり、主要温泉湧出地帯では既に開発の限界に達していると思う。

終りにこの調査に協力された大分県薬務温泉課、別府保健所、京大別府研究所々員、温泉所有者並びに潮位記録を戴いた別府港々湾事務所の諸氏に厚く感謝する。

文 献

- 1) 首藤治郎、佐藤光一、矢野行雄：別府市浜脇、亀川地区温泉現況調査(2)
大分県温泉調査研究会報告、11、22—27、昭35
- 2) 山下幸三郎：温泉湧出量の相互影響調査報告、大分県温泉調査研究会報告1、7、8、9号
- 3) 山下幸三郎、森忠敬：別府市亀川温泉の水系、大分県温泉調査研究会報告、17、12—17、昭41
- 4) 山下幸三郎：自噴井群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、31—34、昭36
- 5)、6)、7)、8) 4)に同じ
- 9) 山下幸三郎：別府温泉の泉源保護について(I) 別府旧市内温泉群について
大分県温泉調査研究会報告、18、19—24、昭42

龜川 No. 338	時刻	日時分 6.9.08	10.30	11.35	12.30	13.30	14.35	15.35	16.35			
	湧出量		16.51	18.98	19.84	22.59	20.22	20.42	18.93	17.90		
	泉温		57.3	57.5	57.5	57.0	57.0	57.5	57.5	57.4		
	時刻	日時分 7.8.50	9.30	10.30	11.00	11.30	12.30	13.30	14.00	14.30	15.30	16.30
	湧出量		17.09	16.84	17.31	17.07	19.06	20.03	20.98	21.03	20.52	19.15
	泉温		57.0	57.1	51.1	57.0	57.2	57.2	57.5	57.5	57.4	57.2

龜川 No. 204	時刻	日時分 6.9.40	10.30	11.30	12.30	13.30	14.30	15.30	16.30			
	湧出量		3.05	2.80	2.06	2.52	2.62	2.60	2.79	2.29		
	泉温		35.2	39.8	38.2	38.6	40.3	40.5	38.2	38.2		
	時刻	日時分 7.8.50	9.30	10.30	11.00	11.30	12.30	13.30	14.00	14.30	15.30	16.30
	湧出量		2.67	2.58	2.32	1.98	1.70	2.23	2.81	2.85	2.90	2.99
	泉温		38.0	37.2	37.2	35.0	35.0	35.0	35.2	35.0	34.0	34.5

龜川 No. 272	時刻	日時分 6.9.30	10.25	11.28	12.30	13.31	14.28	15.31	16.31			
	水位		10.8	16.0	21.0	22.5	23.7	23.6	18.3	17.0		
	時刻	日時分 7.9.05	9.30	10.29	10.59	11.35	12.30	13.28	14.00	14.29	15.33	16.35
	水位		5.8	6.9	11.6	14.0	16.8	18.3	23.3	23.5	23.5	21.7

龜川 No. 278	時刻	日時分 6.9.25	10.28	11.30	12.33	13.28	14.30	15.34	16.35			
	水位		10.6	19.0	26.5	30.5	29.9	29.7	22.1	16.5		
	時刻	日時分 7.8.57	9.32	10.31	11.02	11.29	12.33	13.30	14.02	14.31	15.30	16.28
	水位		5.3	6.7	15.2	17.8	20.4	24.2	29.6	30.3	30.5	29.5

潮位記録 潮位 (cm)

時刻	日時分 6.7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮位	27	57	107	144	176	186	186	169	150	120
時刻	日時分 7.7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮位	29	43	86	120	153	171	181	178	165	142

龜川 No. 325 後藤肇氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和43年2月26~27日

龜川 No.325 揚水量

時刻	日時分 27.10.20	10.30	11.20	12.00	13.30	13.35
揚水量	揚水開始	13.86	13.86	13.86	13.53	揚水停止

龜川 No.307 揚水量

時刻	日時分 27.11.35	12.00	13.37	13.40
揚水量	揚水開始	20.07	19.73	揚水停止

湧出量又は水位 (cm)

龜川 No. 302	時刻	日時分 26.13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30									
	湧出量		4.07	3.91	3.82	3.93	3.94	3.86								
	時刻	日時分 27.8.45	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量		3.82	3.77	3.57	4.01	4.07	3.94	3.86	3.97	3.67	3.85	3.96	3.88	3.89	3.97

亀川 No. 327	時刻	日 時 分 26.13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00							
	水位	22.0	20.3	20.8	22.0	18.3	11.2	11.0							
	時刻	日 時 分 27.9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	水位	35.5	30.5	28.9	26.5	26.0	22.2	10.8	5.5	3.0	11.5	12.7	13.0	4.5	1.3

亀川 No. 306	時刻	日 時 分 26.13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00							
	水位	37.3	28.9	29.4	30.8	30.5	29.1	26.0							
	時刻	日 時 分 27.9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00						
	水位	41.8	42.4	40.1	36.6	25.8	16.1	5.6	1.4						

亀川 No. 351	時刻	日 時 分 26.13.22	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00							
	水位	63.55	63.00	63.00	63.20	61.50	58.20	56.40							
	時刻	日 時 分 27.9.06	9.32	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	水位	51.10	45.45	42.45	40.00	36.20	31.25	23.00	14.85	11.60	14.35	16.65	19.00	15.70	14.15

潮位記録 潮位 (cm)

時刻	日 時 分 26.9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00		
潮位	181	160	135	97	82	72	79	95		
時刻	日 時 分 27.7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮位	159	182	186	172	142	105	74	60	60	76

亀川 No. 343、1 工藤 氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和43年3月18日~19日

亀川No.343、1揚水量

湧出量 l/min 泉温℃

時刻	日 時 分 19.10.10	10.21	11.11	11.51	12.50	13.00
揚水量	揚水開始	41.60	41.69	40.89	40.63	揚水停止
泉温		57.2	57.0	57.8	58.0	

湧出量又は水位 (cm)

亀川 No.15.2	時刻	日 時 分 18.9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.30		
	湧出量	3.18	3.41	3.45	3.62	3.51	3.47	3.29	3.24		
	泉温	43.5	43.5	43.8	43.8	43.8	43.8	43.6	43.5		
	時刻	日 時 分 19.9.00	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00
	湧出量	3.33	3.44	3.56	3.54	3.49	3.50	3.47	3.47	3.41	3.22
	泉温	43.6	43.9	43.9	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	43.9

亀川 No. 15	時刻	日 時 分 18.10.30	11.30	12.30	13.30	14.30	15.30	16.30			
	湧出量	15.87	17.70	17.99	17.46	16.84	14.85	14.44			
	泉温	44.0	44.2	44.1	44.1	44.0	44.0	43.9			
	時刻	日 時 分 19.9.00	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00
	湧出量	16.37	17.35	17.64	17.41	17.59	17.64	16.67	16.77	16.39	15.40
	泉温	44.0	44.2	44.2	44.2	44.0	44.2	44.5	44.5	44.5	44.1

亀川 No.15.3	時刻	日時分 18.10.30	11.30	12.42	13.29	14.30	15.30	16.30			
	湧出量	6.20	6.41	6.55	6.14	6.05	5.90	5.72			
	泉温	47.2	47.5	47.2	47.2	47.3	47.2	47.1			
	時刻	日時分 19.9.15	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00
	湧出量	6.27	6.30	6.55	6.37	6.50	6.41	6.48	6.46	6.41	6.29
	泉温	47.2	47.1	47.1	47.1	47.1	47.2	47.1	47.1	47.2	47.1

亀川 No.343	時刻	日時分 18.9.28	10.28	11.29	12.30	13.30	14.30	15.30	16.27		
	湧出量	10.62	9.88	10.44	9.52	9.68	9.50	8.78	9.23		
	泉温	44.4	44.4	44.4	44.5	44.5	44.5	44.4	44.5		
	時刻	日時分 19.8.55	9.55	10.25	11.00	12.00	12.56	13.30	14.00	15.00	16.00
	湧出量	9.61	9.56	10.18	9.87	10.26	10.07	9.72	9.83	9.65	9.28
	泉温	44.0	44.2	44.2	44.2	44.2	44.4	—	44.4	44.4	44.4

亀川 No.343.2	時刻	日時分 18.10.00	11.00	12.00	13.05	14.00	15.00	16.00	16.30		
	湧出量	23.93	24.12	24.34	23.87	24.13	23.17	22.34	21.89		
	泉温	44.5	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7		
	時刻	日時分 19.9.00	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00
	湧出量	23.49	23.87	23.93	24.33	24.13	23.68	23.80	23.30	23.17	23.17
	泉温	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7

亀川 No.343.3	時刻	日時分 18.10.50	12.49	13.23	14.30						
	水位	39.3	29.1	21.9	2.8						
	時刻	日時分 19.9.15	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00
	水位	37.0	43.4	47.0	49.0	49.4	42.7	39.6	32.7	18.0	5.4

亀川 No.15.1	時刻	日時分 18.11.20	13.00	14.00	15.00	16.30					
	水位	52.6	51.1	44.6	42.9	39.1					
	時刻	日時分 19.9.20	9.55	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00
	水位	35.3	45.3	52.2	55.6	59.5	64.0	64.2	63.4	54.9	47.2

潮位記録 潮位 (cm)

時刻	日時分 18.8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
潮位	130	163	184	178	152	115	63	18	-13	
時刻	日時分 19.7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
潮位	76	103	137	162	174	155	130	86	47	7

亀川 No. 353 後藤 氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和43年3月22~23日

亀川 No. 353 揚水量

湧出量 l/min 泉温℃

時刻	日時分 22.9.20	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
揚水量	5.38	5.24	5.24	5.28	5.46	5.43	5.41	5.29
泉温	44.4	44.3	44.3	44.5	44.3	44.2	44.3	44.0

時刻	日時分 23. 9 .30	10.00	10.10	10.35	12.50	15.00	16.00					
湧水量	5.46	5.47	揚水開始	7.98	揚水停止	5.33	5.28					
泉温	44.7	44.8		47.7		43.8	43.8					

湧出量又は水位 (cm)

亀川 No 8	時刻	日時分 22. 9 .30	10.30	11.30	12.30	13.30	14.30						
	湧出量	5.44	5.66	5.41	5.61	5.40	5.29						
	泉温	52.7	52.7	52.7	52.7	52.7	52.7						
	時刻	日時分 23. 9 .30	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量	5.43	5.49	5.53	5.40	5.51	5.38	5.73	5.80	5.80	5.54	5.45	5.53
	泉温	51.0	51.3	51.3	51.5	51.5	51.5	51.3	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5

亀川 No 9	時刻	日時分 22. 9 .20	10.20	11.20	12.20	13.20	14.20	15.20	16.15				
	湧出量	5.71	5.51	5.67	5.69	5.69	5.72	5.69	5.58				
	泉温	49.5	49.5	49.5	49.5	49.5	49.7	49.7	49.7				
	時刻	日時分 23. 9 .00	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量	5.70	5.81	5.67	5.59	5.67	5.50	6.46	6.56	6.38	5.75	5.60	5.61
	泉温	50.4	50.5	50.4	50.4	50.4	50.4	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5

亀川 No353.1	時刻	日時分 22.10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00				
	湧出量	28.64	31.50	31.50	31.50	36.00	33.78	34.33				
	泉温	47.7	48.2	48.4	48.6	48.5	48.2	48.5				
	時刻	日時分 23. 8 .50	9.55	10.30	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00		
	湧出量	36.31	33.16	32.90	32.31	34.33	36.00	34.33	32.31	32.06		
	泉温	48.5	48.5	48.5	48.8	48.4	48.5	48.8	48.6	48.5		

亀川 No 328	時刻	日時分 22. 9 .45	10.45	11.40	12.45	13.45	14.45	15.45	16.30				
	湧出量	49.51	51.26	52.18	50.95	52.80	50.07	51.26	51.24				
	泉温	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.7	48.9				
	時刻	日時分 23. 9 .15	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.02	14.30	14.35	15.00	15.30	16.00
	湧出量	54.79	54.13	54.79	53.78	57.33	53.14	湧出停止	湧出開始	59.27	54.79	51.26	50.64
	泉温	48.7	49.0	49.0	49.0	49.0	48.8			48.5	48.8	48.8	48.8

亀川 No 11	時刻	日時分 22. 9 .30	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00			
	湧出量	5.76	5.78	5.85	5.82	5.89	5.67	5.85	5.74			
	泉温	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6			
	時刻	日時分 23. 8 .55	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00		
	湧出量	5.82	5.90	5.74	5.85	5.93	5.67	5.78	5.78	5.78		
	泉温	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6		

亀川 No 10	時刻	日時分 22.11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00					
	水位	39.0	38.4	38.7	41.9	42.4	42.4					
	時刻	日時分 23. 8 .50	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00	
	水位	39.7	39.5	39.2	39.3	39.3	39.2	39.3	39.3	39.1	38.8	

潮位記録 潮位 (cm)

時刻	日時分 22.9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00		
潮位		107	112	113	120	120	124	109	93	76	
時刻	日時分 23.7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
潮位		149	127	122	105	106	98	102	107	112	109

亀川 No. 105、1 久保氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和43年4月13~14日

亀川 No.105、1 揚水量

湧出量 ℓ/min 泉温℃

時刻	日時分 14.10.08	10.15	10.40	11.15	11.45	12.50	13.05	13.10
揚水量	揚水開始	40.33	40.33	38.72	38.09	37.96	39.08	揚水停止
泉温		56.5	57.0	57.0	57.0	57.2	57.0	

湧出量又は水位 (cm)

亀川 No. 106	時刻	日時分 13.9.05	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00			
	湧出量		1.51	1.56	1.54	1.53	1.54	1.52	1.58	1.53		
	泉温		54.5	54.6	54.8	54.8	54.6	54.8	55.0	55.0		
	時刻	日時分 14.8.35	9.30	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00	
	湧出量		1.49	1.50	1.52	1.51	1.51	1.53	1.49	1.57	1.57	1.56
	泉温		54.5	54.4	54.7	54.6	54.6	54.5	54.7	54.5	54.6	54.7

亀川 No. 105	時刻	日時分 13.9.00	10.25	11.25	12.25	13.25	14.00	15.00	16.00		
	湧出量		自噴せず	2.12	2.02	1.28	1.01	自噴せず			
	泉温		52.0	52.7	51.0	50.5					
	時刻	日時分 14.9.00	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00
	湧出量		自噴せず								
	泉温										

亀川 No. 208	時刻	日時分 13.10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00			
	湧出量		1.09	1.20	0.58	0.34	4.72	4.65	4.50		
	泉温		53.6	54.0	53.0	50.2	53.8	54.5	54.3		
	時刻	日時分 14.9.00	10.00	10.29	10.57	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00
	水位		45.5	59.4	59.7	57.5	55.9	53.2	55.4	54.5	54.0

亀川 No. 210	時刻	日時分 13.10.30	11.30	12.30	13.30	14.30	15.30				
	水位		34.2	30.9	24.7	21.4	15.4	12.6			
	時刻	日時分 14.9.00	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00
	水位		33.0	30.6	29.8	25.2	19.2	13.2	16.9	16.9	13.6

亀川 No. 103	時刻	日時分 13.9.30	10.30	11.30	12.29	13.30	14.30	15.30	16.20		
	水位		7.0	9.0	9.5	8.5	8.3	7.5	6.2	5.5	
	時刻	日時分 14.9.00	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.30	14.00	15.00	16.00
	水位		3.8	6.0	5.5	5.3	3.7	3.0	3.2	3.2	3.0

亀川 No. 104	時刻 水位	日時分 13.10.50 43.5	11.50 42.3	12.50 39.1	13.50 36.8	14.50 32.5	15.50 30.9	16.20 30.5				
	時刻 水位	日時分 14.9.00 36.6	10.00 41.9	10.10 42.6	10.12 41.0	10.13 39.7	10.15 38.9	10.17 37.7	10.19 37.2	10.21 36.8	10.23 36.4	10.25 36.0
	時刻 水位	日時分 14.10.27 35.6	10.29 35.4	10.31 34.4	10.33 34.0	10.35 34.0	10.37 33.7	10.39 33.5	10.41 33.3	10.43 33.3	10.45 33.1	10.47 32.9
	時刻 水位	日時分 14.10.49 32.7	10.51 31.6	10.53 30.7	10.55 30.2	10.57 29.6	11.00 29.3	12.00 27.4	13.00 25.5	13.08 24.7	13.10 25.4	13.12 27.5
	時刻 水位	日時分 14.13.14 28.7	13.16 29.6	13.18 30.5	13.20 31.1	13.22 31.6	13.24 31.8	13.26 32.0	13.28 32.2	13.30 32.2	14.00 33.1	15.00 33.6
	時刻 水位	日時分 14.16.00 28.9										

潮位記録 潮位 (cm)

時刻 潮位	日時分 13.7.00 183	8.00 206	9.00 195	10.00 165	11.00 120	12.00 70	13.00 26	14.00 4	15.00 5	16.00 31
時刻 潮位	日時分 14.7.00 160	8.00 191	9.00 200	10.00 176	11.00 140	12.00 87	13.00 35	14.00 -5	15.00 -13	16.00 -3

亀川 No. 219、1 上坂氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和43年4月15~16日

亀川 No. 219、1 揚水量

湧出量 ℓ/min 泉温℃

時刻 揚水量 泉温	日時分 16.10.30 揚水開始	10.33 75.95 48.6	11.00 72.87 49.5	11.30 74.09 49.5	12.00 72.54 49.5	13.00 71.70 49.5	13.25 77.74 49.5	13.30 揚水停止
-----------------	-------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	---------------

湧出量又は水位 (cm)

亀川 No. 88.1	時刻 水位	日時分 15.9.30 44.8	10.30 44.0	11.30 43.7	12.30 42.7	13.30 42.1	14.30 41.6	15.30 40.3	16.00 39.6
	時刻 水位	日時分 16.9.15 42.0	10.15 43.3	11.15 41.2	12.15 40.4	13.15 39.4	14.15 41.8	15.15 41.3	16.00 40.7

亀川 No. 88	時刻 水位	日時分 15.9.40 8.6	10.40 8.8	11.40 9.3	12.40 9.2	13.40 8.6	14.40 8.2	15.40 7.6	16.15 6.1
	時刻 水位	日時分 16.9.00 7.1	10.00 7.6	11.00 7.6	12.00 7.2	13.00 6.5	14.00 6.8	15.00 6.9	16.00 6.5

亀川 No. 94	時刻 水位	日時分 15.10.15 13.0	11.15 12.8	12.15 13.5	13.15 13.3	14.15 13.0	15.15 12.7	15.50 12.2			
	時刻 水位	日時分 16.9.00 9.5	10.00 11.3	10.30 12.0	11.00 12.5	12.00 12.0	13.00 11.8	13.30 11.8	14.00 12.4	15.00 11.8	16.00 10.7

龜川 No.228.2	時刻 水位	日時分 15.12.00 77.1	13.00 66.5	14.00 67.3	15.00 64.7	16.00 76.6						
	時刻 水位	日時分 16.9.15 92.7	10.15 73.7	11.15 56.0	12.15 59.6	13.05 55.3	14.05 41.0	15.16 26.5	16.00 49.2			

龜川 No.228.1	時刻 水位	日時分 15.12.00 60.2	13.00 36.8	14.00 37.5	15.00 40.7	16.00 54.3							
	時刻 水位	日時分 16.9.05 63.5	10.00 50.9	11.00 42.9	12.00 38.4	13.00 33.8	13.05 30.4	13.07 30.4	13.08 32.9	13.09 34.1	13.10 36.2	13.11 37.5	13.13 34.6
	時刻 水位	日時分 16.13.15 33.3	13.17 31.5	13.18 24.8	13.20 20.3	13.30 22.5	14.00 25.2	14.15 29.7	15.00 25.5	15.40 22.2	15.50 40.3	16.00 39.6	

龜川 No.218	時刻 水位	日時分 15.10.30 21.7	11.20 22.8	12.20 23.2	13.20 20.9	14.20 17.3	15.20 15.0	16.00 13.0					
	時刻 水位	日時分 16.9.00 38.7	10.00 10.2	10.05 10.9	10.10 12.2	10.16 13.7	10.30 15.9	10.33 16.7	10.36 16.6	10.39 17.2	10.42 17.5	10.45 17.8	10.48 17.9
	時刻 水位	日時分 16.10.51 18.5	10.54 18.6	10.57 18.9	11.00 19.4	11.03 19.4	11.06 19.7	11.09 19.6	11.12 19.7	11.15 20.2	11.18 19.8	11.21 20.3	11.24 20.4
	時刻 水位	日時分 16.11.27 20.4	11.30 20.3	11.33 20.4	11.36 20.8	11.39 20.5	11.42 20.6	11.45 20.6	11.48 20.6	11.51 20.7	11.54 20.8	11.57 20.8	12.00 20.9
	時刻 水位	日時分 16.13.00 21.0	13.25 19.7	13.30 19.5	13.33 19.4	13.36 19.3	13.39 18.9	13.42 18.9	13.45 18.7	13.48 18.3	13.51 18.7	13.54 19.0	13.57 18.7
	時刻 水位	日時分 16.14.00 18.4	14.03 18.6	15.00 18.4	16.00 12.6								

潮位記録 潮位 (cm)

時刻 潮位	日時分 15.7.00 168	8.00 213	9.00 230	10.00 226	11.00 190	12.00 150	13.00 93	14.00 48	15.00 17	16.00 14
時刻 潮位	日時分 16.7.00 158	8.00 182	9.00 225	10.00 224	11.00 212	12.00 172	13.00 130	14.00 77	15.00 40	16.00 18

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5報)

大分大学教育学部 森 山 善 蔵

I 緒 言

昭和42年度中における別府市内および湯布院町の温泉孔における岩芯の記載について報告する。今回は別府市餅ヶ浜付近に1孔と湯布院町に3孔の計4孔を選定した。

餅ヶ浜の岩芯は餅ヶ浜の海岸から西に160mの大西氏のもので、付近の温泉孔は北泉荘の2本の掘さく孔の例にみるとおり、深度は大体-300m付近であり、富士見通り付近の温泉孔の深度(-220m)に比べて可なり深くなる。従ってこの深度の変化する地域における地下の岩芯にどのような特徴や傾向が見られるかを観察することを目的とした。

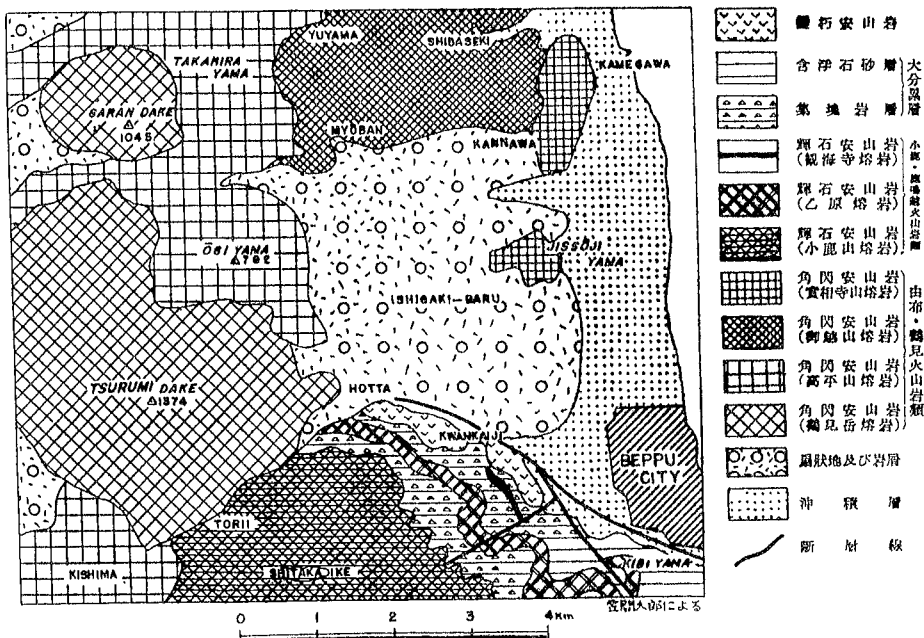
一方、湯布院町の岩芯は川上付近に3孔を集めた。湯布院盆地での岩芯採取は初めてのことであり今回は3孔とも盆地の北部に集中して了ったが、今後地域を拡大し、全域にわたって調べたいと思っている。

II 岩芯の収集地点

岩芯の収集地点は次の4地点である。

1. 別府市大字南石垣字南浜49-2 (餅ヶ浜海岸から西に160m) = 大西芳雄外1名、深度-300m
2. 大分県大分郡湯布院町大字川上字岩室2990-10 (白滝川左岸) = 阿部道義外2名、深度-120m
3. 大分県大分郡湯布院町大字川上字無田1535-2 = 生島秋人外2名、深度-150m
4. 大分県大分郡湯布院町大字川上字田中2784-1 = 麻生九市、深度-150m

Fig.1 別府市周辺地質図



Ⅲ 岩芯の記載

1. 別府市境川川口付近

温泉孔＝大西芳雄外1名(第3862号)

昭和42年7月

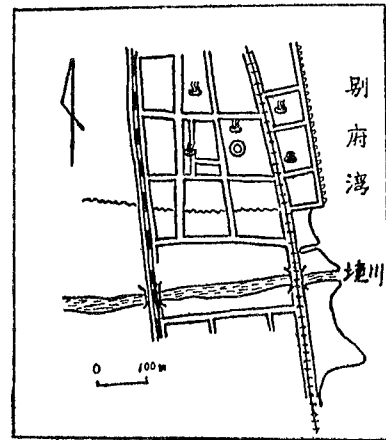
位置＝別府市大字南石垣字南浜49-2

深度＝-280m (許可深度300m 口径38mm)

種類＝温泉。湯温48°C

揚湯量＝50ℓ/m

Fig.2 境川川口付近の記載孔の位置



註 記載孔は◎印の地点、以下同様

Tab.1 別府市境川川口(左岸)付近の岩芯の記載 (a)

深度(m)	C m 温度(地中)	色	岩 相	記載	岩 石 名	斜 長 石	
						屈 折 率	An %
1~50		灰		○	含石英, 角閃石安山岩	1.5483	41
50		灰			角閃石安山岩	1.5483	41
80		黒灰		○	角閃石安山岩	1.5483	41
90		黒灰		○	角閃石安山岩	1.5498	43
100		帯褐		○	酸化角閃石安山岩	1.5468	39
125		灰		○	両輝石安山岩	1.5498	43
150		黒灰		○	両輝石安山岩	1.5523	46
170		白		○	含明礬石, 珪質岩		
170		黒灰		○	両輝石安山岩	1.5503	44
218		黒灰			両輝石安山岩	1.5523	46
230(A)		紫赤		○	角閃石安山岩	1.5468	39
230(B)		灰		○	角閃石安山岩ゼノリス	1.5453	37
240		灰白		○	含両輝石, 酸化角閃石安山岩	1.5483	41
250		黒灰		○	両輝石安山岩	1.5498	43
260		灰		○	含単斜輝石, 角閃石安山岩	1.5498	43
270~280	52°(280)	灰白	実相寺山系	○	角閃石球顆安山岩	1.5468	39

Tab.2 別府市境川川口（左岸）付近の岩芯の記載 (b)

深度(m)	岩石名	検鏡記載
1~50	含石英, 角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は2~3mm程度の自形結晶が多い。角閃石は2~3mmの大型角閃石で双晶を示すものが多い。稀に両輝石の微粒からなるオパサイトが角閃石をとりまいているものがある。輝石は微斑晶程度以下の両輝石があるが、斜方輝石（紫蘇輝石）の方が多い。石英は粒状で0.5~0.6mm程度のものがある。石基はいくらか玻璃質。
80	角閃石安山岩	斑状組織。前者に比べ色が黒灰色で黒い。斜長石は比較的大きく、いくつかの結晶が集まっている。角閃石はほとんどがオパサイトになっており、中心部に角閃石をわずかに残しているものがある。両輝石があり、微斑晶程度の大きさである。石英は微斑晶程度のものである。石基は微斑晶質で顕晶質。
90	角閃石安山岩	斑状組織。前者同様黒灰色の角閃石安山岩。酸化角閃石、普通角閃石、オパサイトなどが混っている。微斑晶程度の両輝石および石英を混している。石基は磁鉄鉱の微粒が多く、全体に赤褐色を呈する。
100	酸化角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は最も多く、2~3mmの自形結晶。角閃石は2~3mmの大型、美しい酸化角閃石のみからなる。微斑晶程度の両輝石、石英を僅かに混している。石基は玻璃基流晶質。
125	両輝石安山岩	斑状組織。輝石安山岩の斜長石は角閃石安山岩の斜長石に比べて一般に小型で、自形の短冊型を示すものが多い。斜方晶系の紫蘇輝石は小型のものも多く、黒色の磁鉄鉱線に囲まれている。単斜輝石はそのほとんどが双晶をなし0.5~0.6mm以下のものからなる。石基は細かい組織をなし、いくらか毛氈状を示す。
150	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は前者と同様の傾向があり、長方形を示す。1mm程度の大型の両輝石を含み、単斜輝石には双晶を示すものが多い。石基は微斑晶質。
170	含明礬石, 珪質岩	白色の珪質岩で、明礬石の細脈が走っているものである。珪化部分是非顕晶質の石英細粒からなる。この明礬石細脈は微細な結晶片の集合体で、各結晶片は伸長性負号で、光学性は正号であり、直消光を示す。その他部分的に有色鉱物の黒色骸晶が多数含まれている。
170	両輝石安山岩	斑状組織。両輝石安山岩であり、造岩鉱物、石基共に150mの両輝石安山岩と同様のものである。
230(A)	含斜方輝石, 角閃石安山岩	斑状組織。普通角閃石を含み、わずかに斜方輝石（紫蘇輝石）が含まれている。
230(B)	角閃石安山岩 ゼノリス	斑状組織。等粒・小型の角閃石が多く、極めて結晶質でゼノリス特有の構造を示す。
240	含両輝石, 酸化角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は2~3mmの大型斜長石を含有する。累帯構造を示すもの多く各種の双晶がみられる。角閃石はすべて酸化角閃石となり、中心部や縁辺部はオパサイト化している。輝石は大きいものは少なく、両輝石が含有され、その他わずかの石英微斑晶が含まれている。石基中にも両輝石があり、磁鉄鉱多くやや塩基性。
250	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は普通の輝石安山岩特有の形と特徴を示す。角閃石はなく両輝石の0.5~0.6mm程度のものが多い。単斜輝石は双晶を示すものが多い。石基は玻璃基流晶質で組織は微細。

260	含単斜輝石、 角閃石安山岩	斑状組織。外観・組織共に角閃石安山岩であることを示す。角閃石は大型のもので2〜3mm程度、磁鉄鉱の多いオパサイトから大部分が構成されている。稀に角閃石そのままのものがある。輝石は単斜輝石の斑晶を僅かに含む。石基は玻璃基流晶質。
270〜280	角閃石球顆 安山岩	斑状組織。斜長石は2〜3mm位のものからあり、微細なものは少ない。角閃石は比較的の量が多い。球顆は石基中に多く、殆んど無数に放射状体を作っている。石基は完玻璃質である。玻璃の屈折率はバルサムより高く、球顆はバルサムより低い屈折率を示す。岩質からみて実相寺山系と思われる。

記載結果

従来境川附近を境（東西方向）として、北側では温泉の掘さく深度が深くなり、また地下の砂礫層（扇状地堆積物）中から採取される岩芯に輝石安山岩礫が現われなくなるという事実があり、この境界を確認する目的で、境川から北に250mの本温泉孔を選定、試料採取をおこなった。

調査結果では、地下-125m付近から輝石安山岩の礫が採取され、それ以下に到ると輝石安山岩礫の含有率が高く、角閃石安山岩もいくらか認められた。従ってここでは両種の安山岩に明瞭な境はなく-125m付近から輝石安山岩の礫が混じり始め、それより以深では輝石安山岩の礫が比較的多く採取されるという程度のことしかわからない。

以上の結果から輝石安山岩礫が地下の岩芯から全く現われなくなる地点はここから更に北にあるものと思われる。因に、春木川の川口では、地下300mまで採取された岩芯のうち、輝石安山岩の岩芯は1個も採取されていない。

なお、-125,-150〜-230mには火山灰層を挟み、中に炭質物(植物化石)が相当量含まれていた。また最も深い-270〜-280mの岩芯は球顆をもつ角閃石安山岩でできており、岩質・岩相からみて明らかに実相寺山系に属するものと思われる。-170mの深度から採取された黄白色の珪質岩中からは明礬石の微結晶集合物を認めた。

2. 湯布院町川上白滝川左岸

温泉孔=阿部道義他2名(第3365号)

昭和41年8月

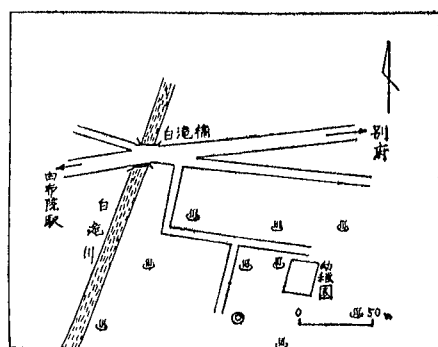
位置=湯布院町大字川上字岩屋2990-10

深度=-120m(許可深度-120m、口径38mm)

種類=温泉。湧出温度62℃

湧出量=48ℓ/m(自噴)

Fig. 3 湯布院町川上白滝川左岸の記載孔の位置



Tab. 3 湯布院町川上白滝川左岸の岩芯の記載 (a)

深度(m)	C 温度(地中)	色	岩 相	記載	岩 石 名	斜 長 石	
						屈 折 率	An %
10		赤褐		○	両輝石・酸化角閃石安山岩	1.5496	43
20		灰		○	角閃石安山岩	1.5496	43
30		灰		○	両輝石・酸化角閃石安山岩	1.5520	46
41		黒灰	阿蘇熔結凝	○	両輝石安山岩	1.5512	45
50		黒灰	灰岩	○	〃	1.5520	46

70		黒灰	阿蘇熔結凝灰岩	○	両輝石安山岩	1.5520<<1.5528	46<<47
80	泉脈	褐灰	〃	〃	〃		
105		褐灰		〃	〃	1.5520<<1.5528	46<<47
120		62°(湧出泉温)	褐灰		〃	〃	1.5520<<1.5528

Tab. 4 湯布院町川上白滝川左岸の岩芯の記載 (b)

深度(m)	岩石名	検鏡記載
10	両輝石・酸化角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は大きいものは3mm以上にもおよぶ、累帯構造を示すもの多く、多種の双晶を示す。角閃石は2mm程度の酸化角閃石など、酸化したもののみからなり、薄いオパサイトの黒色縁ができているものが多い。輝石類は斜方・単斜の両晶系のものが等量程度できており、1mm以下の大きさと、微斑晶程度の大きさを示すものが多い。磁鉄鉱は微斑晶程度の大きさと、一般に有色鉱物の周辺に多く生成している。石基はほとんど玻璃質に近い。
20	角閃石安山岩	斑状組織。玻璃質の石基に特徴がある。角閃石はほとんどが微粒の磁鉄鉱からなるオパサイトに变化しており、わずかに中心部に角閃石の残留しているものがある。輝石は斜方晶系のものが微斑晶以下の大きさと少量ある。その他磁鉄鉱も微斑晶以下のものが少量あり。
30	両輝石・酸化角閃石安山岩	斑状組織。角閃石を含むがいくらか塩基性のものとみられる。角閃石は磁鉄鉱と両輝石の微粒からなるオパサイトからなり、中心部に酸化角閃石が残留している。0.5mm前後の両輝石が含まれている。石基は微斑晶質。
41	両輝石安山岩	斑状組織。角閃石安山岩にくらべて組織が細かく、緻密な岩質の輝石安山岩で、通称筑紫熔岩と呼ばれている小鹿山系の両輝石安山岩。
50	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石が最も多く、アルバイト式双晶カルルスバド双晶などがあり、累帯構造を示すものが多い。斜方輝石の方が多く、単斜輝石は双晶を示すものが多いが微斑晶程度の大きさと量は少ない。斜方輝石は紫蘇輝石である。磁鉄鉱は微斑晶以下のものが僅かにみられる。石基は完玻璃質で流状を示す。石基中に捕獲岩片と思われる微斑晶質の石基を示す直径1mm以下の円形岩片を包含し、これらはほとんど縁辺部は角がとれ熔蝕されていることを示す。全体の岩質からみて、阿蘇系の熔結凝灰岩と思われる。
60	全上	全上
70	全上	全上
80	両輝石・酸化角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は2~3mm程度のほとんど石は破碎されていないものを含む。角閃石は3mm以上の巨大なオパサイト角閃石が多く、中心に僅かに酸化角閃石が残留している。斜方輝石は紫蘇輝石のみで、斑晶から微斑晶程度のものからなり、中心に斜方輝石、周囲に単斜輝石の累帯状をなすものもある。単斜輝石も斑晶、微斑晶として含まれる。石英も微斑晶として少量含まれる。結晶のまわりは熔蝕され円形になっている。石基は微斑晶質で、微斑晶程度の輝石が一面に散点している。また少量のクリストバル石が含まれている。
105	酸化角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は2~3mm程度のほとんど石は破碎されていないものを含む。角閃石は3mm程度と大きく酸化角閃石よりなり、黒色のオパサイト縁ができている。輝石は微斑晶程度の両輝石よりなる。石英が含まれるが細粒状を示す。少量のクリストバル石が生成されている。

120	酸化角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は2~3mmと大きいものもあり、量は多くない。角閃石は酸化角閃石が僅かに残留するがほとんど黒色のオパサイトまたは磁鉄鉱と輝石の混合したオパサイトになっている。大きさは3mmに近く、量も多い。石基は微斑晶質石基。前者に比して短冊形の石基鉱物が多く、結晶質。温泉の影響をうけてきたとみられる黒色葉片が多く、これらは磁鉄鉱または鉄鉱の沈澱物または交代生成物と思われる。クリストバル石は認められない。
-----	----------	--

記載結果

この地点は白滝橋に近い、左岸から -100m 付近で、付近には温泉が多く、深度は -60m から -120m 程度と比較的浅く、ほとんどが自噴で湧出量は10~30ℓ/m 程度である。

岩芯にみられる特徴は-50、-60、-70m の岩芯に阿蘇系の熔結凝灰岩を認め、これらは一連の熔岩とみられる。厚さが30~40m のものではあるが、分布面積はそれほど広いものではない。当初これら阿蘇熔岩が由布盆地の地下に温泉の帽子岩として厚く、広域に分布することを予想していたが近くの他の二孔の地下岩芯からはこれら阿蘇熔岩は終に認めることができなかった。

温泉の温度は62.3℃を示すのに拘らず岩芯には著しい温泉作用即ち緑泥石化・炭酸化等は認められず、わずかに-80m 付近からクリストバル石が少量認められ、最も深い-120m の岩芯にいたって鉄鉱類の交代生成物を認めるのみであった。

岩芯の岩質については明瞭な岩質区分とか特徴とかは示さず、盆地周縁の山々から不規則に流れ込んだ砂礫物によって、盆地北部の堆積物が構成されていることを示す。

3. 湯布院町川上(公民館付近)

温泉孔=生島秋人外2名(第3366号)

昭和41年7月

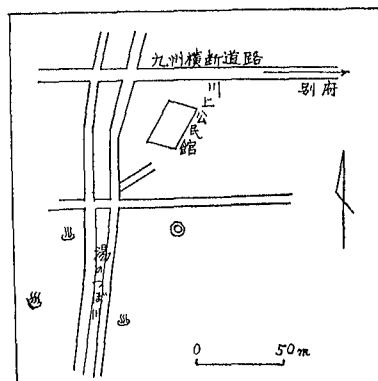
位置=湯布院町大字川上字無田1535-2

深度=-150m (許可深度-150m、口径40mm)

種類=温泉。湧出温度65℃

湧出量=30ℓ/m (自噴)

Fig. 4 湯布院町川上(公民館付近)の記載孔の位置



Tab 5 湯布院町川上(公民館付近)の岩芯の記載 (a)

深度(m)	C 温度(地中)	色	岩 相	記載	岩 石 名	斜 長 石	
						屈 折 率	An %
10		黒灰		○	角閃石球顆安山岩	1.5488	42<<44
20		黒灰		○	角閃石球顆安山岩	1.5488	42<<44
30		灰		○	含両輝石、角閃石球顆安山岩	1.5488	42<<43
60		灰		○	角閃石安山岩	1.5488	42<<43
80		黒灰		○	半斜輝石・酸化角閃石安山岩	1.5488	42<<43
100		灰		○	斜方輝石・角閃石安山岩	1.5488	42<<43
120		帯褐灰		○	酸化角閃石安山岩	1.5496	43<<44
140	65° (湧出 泉温)	灰		○	角閃石安山岩	1.5480	40<<43

Tab. 6 湯布院町川上（公民館付近）の岩石の記載（b）

深度(m)	岩石名	検 鏡 記 載
10	角閃石球顆安山岩	斑状組織。一10、一20、一30mの岩芯には球顆がみられる。角閃石はわずかにオパサイト縁に囲まれた1~2mmのものからなる。微斑晶程度の紫蘇輝石を少量含む。その他には磁鉄鉱が含まれる。石基は玻璃質で、全体に無数の放射状の球顆が発達し、直径は1mm以上に達するものがある。
20	角閃石球顆安山岩	前者に同じだが、球顆が少ない。
30	含両輝石、角閃石球顆安山岩	斑状組織。斜長石は3mm以下の自形、大型のものが多く、一部に粘土化がみられる。角閃石はオパサイト縁に囲まれ、1~2mmと大型で量も多い。輝石は微斑晶程度の両輝石からなるが、その量は少ない。その他0.5mm程度の磁鉄鉱がある。石基は玻璃質でほとんどが0.5mm以下の放射状球顆からなる。
60	角閃石安山岩	斑状組織。石基に散点する磁鉄鉱の量からみて、角閃石は多いがいくらか塩基性のもと思われる。角閃石は3mm程度の輝石および磁鉄鉱微粒の集合体よりなるオパサイトで個数は少ない。内部に酸化角閃石が残留しているものがある。微斑晶程度の両輝石を含む斜方輝石が優勢。石基の組織は微斑晶質。
80	単斜輝石・酸化角閃石安山岩	斑状組織。前者と岩質は似ているが、単斜輝石を多量に含んでいる。単斜輝石にはいくらか鉄分の分解汚染が認められる。石基は微斑晶質。
100	斜方輝石・角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は見事な累帯構造を見せるものが多い。双晶はアルバート式のものが多い。明らかに酸性の角閃石安山岩である。1~2mm程度の角閃石が多数あり、一部に輝石微粒からなるオパサイトに変化したものがある。斜方輝石は微斑晶以下で少量。石基は微斑晶質。少量の鱗状石、クリストバル石が生成している。
120	酸化角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は2~3mmのものもあり、累帯構造顕著。角閃石は2mm程度の酸化角閃石があり、黒色のオパサイト縁を生じている。紫蘇輝石には微斑晶程度の斜方輝石を含有する。石基および空隙に相当量のクリストバル石を生じており、明らかに温泉の影響を受けて生成したものであろう。
140	角閃石安山岩	斑状組織。岩石は灰色で、いくらか白けてみえる。相当に温泉水による変質作用を受けたものであろう。斜長石は3~4mmのものも残留している。角閃石は2~3mmと大きく、ひどくオパサイト化を受けている。輝石はほとんど見当たらない。石英は1mm程度の石英も含有されている。石基の組織に異常がみられ、各石基鉱物粒の外形が不鮮明となっている。これは温泉熱水の影響によるものとみられ、多量のクリストバル石の生成もあり、最も深い岩芯として、強い変質作用を受けたものであろう。

記載結果

この地点は川上の公民館に近く、付近に湯ノ坪川がある。深度は -150m、泉温 65°、湧出量30ℓ/mで付近の他の温泉にも同様の泉温、湧出量を示すものがある。

岩芯の記載にみられる特徴は -10、 -20、 -30mの岩芯に同種の球顆を含む安山岩のあることと -100m 付近の岩芯からクリストバル石が含まれるようになり、深くなる程クリストバル石の量が増加する。最深の -140m の岩芯では石基の組織に異常が認められ、石基鉱物の外形は明らかに破壊され鉱物粒の外形も不鮮明で、微細な二次的生成物が生じていることが認められる。

本地点では阿蘇熔結凝灰岩は現われず、また掘さく業者の柱状図によれば -140m 以下には粘土質堆積物のあることが報告されている。

4. 湯布院町川上字田中

温泉孔＝麻生九市（第2803号）

昭和41年1月

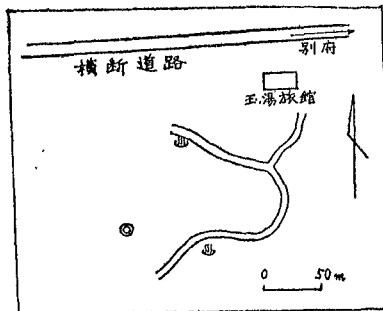
位置＝湯布院町大字川上字田中2784-1

深度＝160m（許可深度150m、口径40mm）

種類＝温泉。湧出温度55℃

湧出量＝60ℓ/m（自噴）

Fig.5 湯布院町川上字田中の記載孔の位置



Tab.7 湯布院町川上字田中の岩心の記載 (a)

深度(m)	C m 温度(地中)	色	岩相	記載	岩石名	斜長石	
						屈折率	An %
10		濃黒灰		○	両輝石安山岩	1.5584	58
40		濃黒灰		○	両輝石安山岩	1.5600	61
90		黄褐		○	角閃石安山岩	1.5435	30
100	50°(100)	黄白		○	凝灰岩		
120		黄白		○	凝灰岩		
130		灰白		○	角閃石安山岩		
160	61°(150) 55°(湧出 泉温)	淡緑		○	変質安山岩(凝灰岩?)	1.5552	51

Tab.8 湯布院町川上字田中の岩心の記載 (b)

深度(m)	岩石名	検鏡記載
10	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は大きくなく、1mm前後以下のもので累帯構造や各種の双晶を示す。角閃石はなく、斜方輝石は紫蘇輝石のみで、単斜輝石より形が大きい。両輝石は聚斑晶状を示し、7、8個集まっているものが多い。紫蘇輝石は1mm前後、単斜輝石は0.7~0.8mm以下で双晶を示すものがほとんどである。輝石の周縁にはこれを包むように磁鉄鉱の微斑晶が多い。石基は微斑晶質で流理構造を示す。
40	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は2mm以下で破砕されたものが多い。累帯構造、双晶があり、一部裂開に沿って緑泥石化している。角閃石はほとんど磁鉄鉱のみからなり、0.8mm程度のオパサイトが僅かに存在する。紫蘇輝石は形も小さく量も少ない。単斜輝石は2mm程度のものもあり、輝石類の主成分をなす。全鉱物の一部に緑泥石化がみられる。石基は微斑晶質。
90	角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は2mm以下の大型のものがある。角閃石は酸化角閃石で2~3mm、薄片では破砕された構造を示す。角閃石のあるものは磁鉄鉱のみからできているものもある。角閃石中に一部緑泥石を生成したのも認められる。石基は短冊型の微結晶で明瞭な流状組織を示す。
100	凝灰岩	黄白色の凝灰岩で、一部白土化(硅化)また黄色化したところもある。玻璃質な部分が多く、十字ニコルで結晶以外の部分はほとんど暗黒であり、微細な結晶はほとんどない。角閃石は緑色で0.5mm以下のものが僅かに含まれる。二次的に生成したと思われる石英0.7~0.8mmが散点している。クリストバル石があり、平行ニコルでいくらか黄色、全体の形は球形だが周辺には細かな出入りがある。一般にクリストバル石は100倍の倍率でシボリを一杯にしぼると輝いて見え、屈折率はパルサムより低く、十字ニコルで微細斑点状の消光を示す。

120	凝灰岩	凝灰岩と思われる。プレパラート中には斑晶として斜長石が最も多く、その他に石英・単斜輝石・酸化角閃石・磁鉄鉱等が認められる。また球状の石英岩片、球顆片などを認める。
130	角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は斑晶として最も多く、大きいものは2～3mmにおよぶ。温泉作用のためか崩壊しやすくプレパラートの製作が不可能。2mm程度の角閃石を含む灰白色の酸性凝灰岩で水口山熔岩に酷似している。
160	変質安山岩 (凝灰岩?)	凝灰岩かと思われるが二次的な鉱物に充填された部分もあり、明確ではないが、明らかに温泉作用を受けたものと思われる。 全体に多量の緑泥石を生じている。緑泥石のまわりや空隙には多量のクリストバル石を生じている。クリストバル石は独特のアミパー状を示し、緑泥石を内部に含むものでは十字ニコル下にその外周に濃淡の縁どりが認められ、二次的に生じたものであることを示す。斜長石は破砕されたものが多く、一部に粘土化が認められる。

記載結果

本地点は泉量の豊富な地帯にあたり、湧出量 60ℓ/m と多い（深度160m）孔底温度61°、湧出泉温は55°Cである。

採取された岩芯には凝灰岩、一部粘土質のサンプルが多く、-20m付近、-50～-80m、-95～-160m（最深部まで）にこれらが堆積しているものと思われる。また、-50m、-80mのサンプルには炭質物（植物化石）を含んでいる。いずれにしても盆地の堆積物であり、砂礫や火山灰等が交互に重って堆積しているものと思われる。ここに岩芯として記載しているのは砂礫中の礫と深部の比較的硬質の凝灰岩を採取したものである。掘さく業者の柱状図によれば-122m以下は砂岩とされておりこの付近から比較的硬い岩芯に変わったものと思われる。

岩芯の検鏡による観察結果によれば、-100m以下（殆んど凝灰岩のみから構成されているとみられる）の凝灰岩中には温泉作用によって生じたと思われるクリストバル石を多量に生じており、-160mの凝灰岩には緑泥石およびクリストバル石を豊富に含んでいる。

IV 総括

今回の記載の目的は前回の第4報に挙げた今後の課題①、②、③に関するその後の調査結果と今一つは新たに由布院盆地の温泉孔の岩芯記載を報告することである。

まず、別府市内における従来の調査によると、別府市の海岸地域に発達する扇状地堆積物中の温泉掘さくにおいては、境川のいくらか北にあたる地点を境界線（東西方向）として、北側は温泉の掘さく深度が深くなり、また、この境界線から北にある温泉孔からは採取岩芯に輝石安山岩が全く現われなくなる。次にこの境界線から以南の旧市内にあたる温泉孔の岩芯においては、上部に角閃石安山岩のみからなる厚い砂礫層があり、最も下方から輝石安山岩のみを含む砂礫層が現われ、両者の中間に両種の安山岩礫のいくらか混った部分がある。現在、この一帯の温泉にはこの最も下方にある輝石安山岩のみからなる砂礫層まで掘さく採取されているものが多い。さらにその南方にある田ノ湯温泉脈（東西方面）以南の地帯では、薄い角閃石安山岩よりなる砂礫層のすぐ下に、輝石安山岩が現われ、この深度が地表下極めて浅く、この輝石安山岩は岩芯の採取状況からみて熔岩の可能性が強い。

今回は、境川以北において岩芯に輝石安山岩が全く現われなくなる境界の位置を究明すべく、またその地帯の地下の構造を知るために境川の北250mの地点にある温泉孔の岩芯を採取した。結果は地下-125m付近から輝石安山岩の量が増加したが、角閃石安山岩もいくらか混っていた。また最下底-270～-280mの岩芯からは実相寺山熔岩（角閃石球顆安山岩）が現われた。従って、岩芯から輝石安山岩が全く現われなくなる地点はこの位置よりさらに北に寄ったところにあるものと思われる。ま

た実相寺山熔岩が $-270\sim-280\text{m}$ の最深部（輝石安山岩より下部）にあらわれることはこれ等が相当古期に噴出したものであることを示すものであろう。

その後の地表調査によれば、平田川中流付近の角閃石球顆安山岩（地下 $-50\sim157\text{m}$ にのみ出現）はその西にある丘、即ち板山や大観山（貴船城のある山）の構成岩石と同種のものであり、さらに、南方の二つの丘、即ち実相寺山とその西に続く角山の構成岩石も詳しく検鏡するといくらかの球顆を含む角閃石安山岩であり、岩質などからみてこれらはすべて同種のものと考えられる。

なお、岩芯（ -170m ）中に新たに明礬石が産出した、二次的生成物の珪化岩（黄白色硬質の珪質岩片）中に一部脈状に明礬石が生成しているものである。その他 $-150\sim-230\text{m}$ には火山灰層中に炭質物（植物片）を多く含み、炭素年代測定用の試料としては好適である。

巾布院盆地の北部の3孔の岩芯記載では温泉孔の深度は -160m 程度と浅く、すべて自噴の温泉であり、温度は $55\sim65^{\circ}\text{C}$ と余り高くなく、湧出量は $30\sim60\ell/\text{m}$ と比較的豊富である。

採取岩芯の岩質は既述のように、3孔の間に共通にみられるような特性はなく、角閃石安山岩と輝石安山岩が相混じり、明瞭な上下の配列は示さず、また温泉の帽子岩に相当するような熔岩も見出されない。なお岩芯中に現われる二次的生成鉱物とみられるクリストパル石はどの温泉孔にも深度 100m 付近から現われ始め、深くなる程その量が増加する傾向があり、鱗珪石は極めて少なく、一部に釵化（鉄の沈着または有色鉱物が酸化鉄に変わる現象）およびそれより深い部分では強い緑泥石を認める炭酸化はここでは孔共に全く見られず、別府市内の温泉孔岩芯に例外なくみられる炭酸化（主として方解石の生成をみる）作用はここでは全く認められない。その他一部の凝灰岩中には二次的な珪化作用による石英の生成が認められる。最後に麻生氏の岩芯中には火山灰層や凝灰岩層が多く挟在されるが、 $-40\sim-80\text{m}$ の凝灰岩層中には炭質物（植物片）が多く含有されている。

くじゅう火山の温泉群

(3) 火山岩からの溶出成分

大分大学教育学部 志 賀 史 光
小 石 哲 史

1 緒 言

くじゅう山地は山陰系の火山帯に属し、その基底には第三紀末期の輝石系安山岩類が広く分布し、中心山岳部には第四紀洪積世の角閃系安山岩類からなる火山群が密集している。火山帯であるこの地方には硫黄山のような火山ガス地帯のほか、牧の戸地獄、小松地獄、大岳地獄、小国寒の地獄（通称雀地獄）、岳の湯地獄等多数の地獄地帯があって火山ガスや噴気を放出している。したがってこのようなところでは上記の火山岩類は化学的風化、すなわちケイ化作用やバン土化作用等を受けて著しく変質している。

このような変質作用の結果ある成分は岩石から溶出し、ある成分は新たに付加されてくる。このようにして溶出した成分のうち一部はそのままその地域の温泉や地下水に混入してその成分となり、あるものは他成分と反応して二次的に沈折したり、さらにこの沈折物が溶解したりして温泉の組成を決定していくことが考えられる。また変質作用によって付加された成分は降水や地下水などによって洗われ溶出してこれが温泉水中に入っていくことも考えられる。

筆者らはかかる見地から、この地域の温泉の生成機構を追求する一つの手がかりとして、これらの化学的風化を受けた火山岩と、そうでないもの采取了、その溶出実験をおこない、岩石からの溶出成分とその量および風化程度による溶出量の相違を検討した。

2 地質および採石状況

本研究を実施するために1967年7月9日～8月1日にわたって、くじゅう火山地域においてサンプリングを行ない、52ヶ所の試料を採取した。サンプリングにあたっては、転石、岩砕などに注意し、風化を受けているものとそうでないものを区別して行なった。

サンプリングを行なった地点および同地域の地質を図1に示す。なお同図に示した地質は松下ら(1967)によるものである。

3 実験方法

3.1 試料の処理

溶出実験Ⅰ……煮沸60分

採取した岩石を100メッシュに粉砕し、その2gを遷流冷却器を付けたフラスコにとり蒸留水200mlを加えて60分間煮沸、これを20分間遠心分離し、なお濁りのあるものはNo.5Cのろ紙でろ別し、さらにMillipore Filter HA(0.45 μ)でろ過した。このろ液を分析に供した。

溶出実験Ⅱ……CO₂飽和15日間

溶出実験Ⅰと同様に粉砕した試料2gを丸底フラスコにとり、蒸留水200mlを加え、これにCO₂ガスを1気圧で15日間のうち10日間通じた。これを溶出実験Ⅰと同様のろ過を行ない、そのろ液を分析に供した。

3.2 分析法概略

pH：日立一堀場製M5型pHメーター使用。

風化を受けている岩石と、そうでないものとは、溶出液中の pH 値およびSO₄量に相違が見られ特に風化の著しい試料については、このことが顕著である。すなわち風化を受けた岩石からの溶出液においてはpH 値が低くSO₄量が多い。

また風化の特に著しい試料は Fe の溶出量が多い。

Ca や Mg については、風化を受けていないものからの煮沸による溶出量はきわめて少ない。一般に、CO₂ を通じていけば風化のいかんにかかわらずすべての試料が Ca を多く溶出するようになるが特に風化を受けていないものからの溶出は著しく増加する。

Na や K は、CO₂ を通じた場合より煮沸の場合の方が溶出量が多い。

SiO₂ の溶出量は風化の程度にあまり左右されず、煮沸の場合はほぼ一定で 15.5×10² g/ton であるが、CO₂ を通じた場合の溶出はこれより少なく 4~7×10² g/ton である。

Cl は硫黄山から採取した試料からの溶出量は大きい、それ以外の試料についてはほぼ一定で 0.5×10² g/ton である。

この地域の火山岩 1 ton 中の Na や Ca の平均含量は高橋清 (1963) の分析値からもとめると、それぞれ 25.3×10³ g、49.5×10³ g であるから、Na は岩石中に含まれているものの約 1/180 が煮沸によって溶出し、Ca は CO₂ を通じた場合その約 1/100 が溶出することになる。また Cl の火成岩中の平均含量を K. RANKAMA (1949) による値 3.14×10² g/ton とすれば、この実験によればその約 1/6 が溶出することになる。

6 風化を受けていない岩石からの溶出

この地域の山岳部を構成している火山岩類はその生成時期から大別して湧蓋型角閃安山岩類と九重火山溶岩類とに分けられる。これらの火山岩類からの化学成分溶出量については前項でのべたが、ここではこれらの岩類の相違による溶出量について検討する。

ここでいう湧蓋型角閃安山岩類とは、獅師岳溶岩(試料数4)、一目山溶岩(1)、黒岩山溶岩(獅師岳側)(2)を含み、九重火山溶岩類とは、九重山溶岩(2)、三俣山溶岩(2)、大船山南溶岩(1)、黒岩山溶岩(山頂)(1)、杓掛溶岩(1)、米窪溶岩(3)等を含むものをいう。

これらの岩石からの化学成分溶出量を表2に示す。

表2 風化を受けていない岩石からの化学成分溶出量 (10² g/ton)

表2-1 試料を還流冷却器を付けた容器内で60分煮沸した場合

	試料数	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	Fe	計
湧蓋型角閃安山岩類	7	6.47	0.87	0.45	tr	tr	0.42	1.83	—	14.83	0.07	18.47
九重火山溶岩類	10	6.63	1.81	0.85	1.31	0.34	0.48	6.01	—	15.72	0.10	26.62

表2-2 試料を1気圧CO₂ガスを15日間飽和した場合

	試料数	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	Fe	計
湧蓋型角閃安山岩類	7	4.78	0.89	0.84	5.93	0.42	0.33	1.75	34.06	5.54	1.72	51.48
九重火山溶岩類	10	4.89	1.44	0.91	4.60	0.75	0.42	5.60	36.48	5.70	3.54	59.44

煮沸の場合

九重火山溶岩類は湧蓋型角閃安山岩類にくらべて、どの成分も溶出量が多い。

カチオンでは Na、K 共に九重火山溶岩類の方が約 2 倍の溶出量を示す。また Ca、Mg は湧蓋型角閃安山岩類からはほとんど溶け出さない。

溶出するアニオンの中では、Cl は両者共ほぼ同じ値を示しているが、SO₄ は九重火山溶岩類の方が大きい。

SiO₂ の溶出量は両者共あまり変わらず約 1.5kg/ton 程度で、岩石からはその約 $\frac{1}{400}$ が溶出するにすぎない。

CO₂を通じた場合

湧蓋型角閃安山岩類では煮沸の場合とくらべ、Na、Cl およびSO₄の溶出量はほとんど変わらないがCa、MgおよびFe の溶出は著しく増加する。これに反してSiO₂ の溶出量は煮沸のときの約 $\frac{1}{3}$ に低下する。このような傾向は九重火山溶岩類の場合も同様にあらわれている。

以上の実験で得られた結果をもとにして岩石中の主成分の溶けやすさを検討する。実験において溶出した各成分の比を岩石のそれと比較する方法でその溶けやすさを推定する。すなわち

$$\gamma = \frac{(\text{Na/K}) \text{ 溶出水}}{(\text{Na/K}) \text{ 岩石}}$$

における γ をくらべ、 γ が 1 より大きければ Na の方がより溶けやすいことになる。なお、岩石中の各成分含量は高橋清 (1963) の分析値をもとにして表 3 をつくり、これから岩石中の成分比を求めた。

表 3 くじゅう地方火山岩中の成分含量 (三俣山、久住山頂、黒嶽、佐度くぼ、米窪、平治岳の各溶岩の平均) %

SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	Fe
58.1	2.53	1.57	4.95	1.95	2.26

表 2、3 をもとにして化学成分のとけやすさの順序を推定すると次のようになる。

煮沸の場合

湧蓋型角閃安山岩類 Na > K > SiO₂ > Fe \geq Ca \approx Mg

九重火山溶岩類 Na > K > SiO₂ \approx Ca > Mg > Fe

CO₂ を通じた場合

湧蓋型角閃安山岩類 Ca > Fe > K > Na > Mg > SiO₂

九重火山溶岩類 Ca > Fe > K > Na > Mg > SiO₂

いずれの岩石も煮沸の場合はアルカリ金属が最も多く溶出し、CO₂ を含む水には Ca や Fe が多く溶出するようになる。

7 風化を受けた岩石からの溶出

その概略を 5 項で述べたように、一般に風化を受けているものほど溶出液の pH は低く SO₄ 量が多い。故にこの地域の岩石の風化の程度を示す一つの指票として pH をえらび、この相違による化学成分の溶出量を表 4 に示した。

表 4 pH の程度による化学成分溶出量 (煮沸による分類) 10² g / ton

	実験法	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	Fe	計
pH > 6 (16)	a	6.74	1.45	0.76	0.88	0.18	0.47	4.68	—	16.39	0.09	24.90
	b	4.95	1.27	1.03	5.34	0.69	0.38	3.82	37.53	5.54	3.04	58.64
6 \geq pH > 5 (10)	a	5.60	1.26	0.93	1.45	0.57	0.56	11.49	—	15.37	0.66	32.29
	b	4.89	1.10	0.94	5.49	0.70	0.46	6.49	34.23	6.00	2.39	57.80
5 \geq pH > 4 (7)	a	4.35	1.23	0.86	1.32	1.01	0.55	19.00	—	15.70	3.84	42.51
	b	4.57	0.79	0.53	2.21	0.71	0.37	8.38	17.50	3.63	2.16	36.28
4 \geq pH > 3 (7)	a	3.51	0.71	0.69	0.59	0.54	0.45	18.50	—	13.76	0.61	35.85
	b	4.07	0.42	0.22	1.59	0.39	0.35	13.33	1.28	3.08	0.61	21.27
3 \geq pH (8)	a	2.70	1.09	1.07	2.00	1.48	0.53	158.30	—	15.12	16.71	196.30
	b	3.33	0.59	0.16	2.77	0.94	0.50	123.50	—	4.65	16.83	149.94

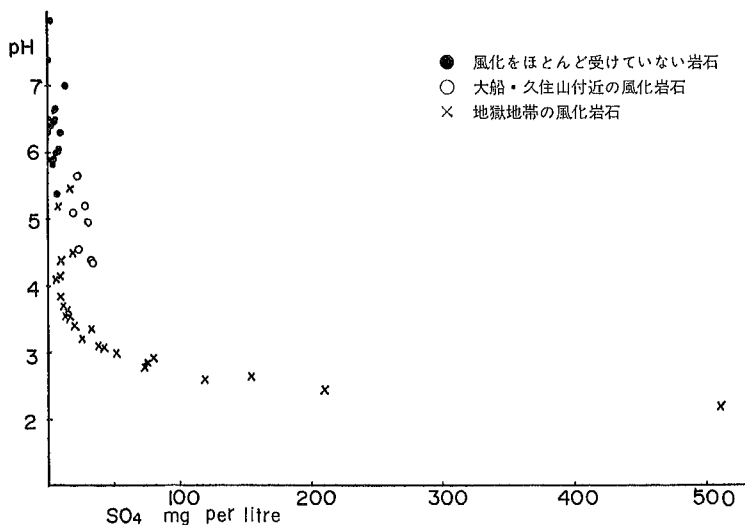
() 内の数字は試料数 実験法 a : 煮沸60分 b : CO₂飽和15日間

表4により、pH と溶出量の関係を成分別にみると、Na は煮沸、CO₂飽和共に pH が低くなるとその溶出量は少なくなるが、3 > pH のところでは逆に増加の傾向が見られる。K も Na と同様の傾向を示す。ただし大船山南溶岩ではKの溶出量が煮沸の場合特に大きい。

Ca、Mg については、5項でのべているように CO₂ を通じた場合の方が煮沸の場合よりも溶出量が増加している。pH > 5 以上、すなわち風化を受けている程度の少ないものほどCO₂を通じた場合のCa 溶出量が大きく、pH が低くなるにしたがってその値も小さくなっている。しかし3 > pH のところでは逆にその値が増加する。これは溶出液の酸性度が増すためと CaSO₄ 等の二次的生成物が岩石中に多く混在しこれらからの溶出が起るためと思われる。

以上のべたように主要カチオンの含量、すなわち Na+K+Ca+Mg の和は一般に pH の低下と共に減少するが、3 > pH のところでは逆に増加する。また Feは3 > pH のところでは急に増加する。

図2 溶出液のpHとSO₄との関係



次に pH と SO₄ の関係を図2に示した。図にあらわれているように風化を受けたものほど pH が低く SO₄ が多いが、特に地獄地帯の岩石ではこの傾向が顕著である。これらの風化岩石から溶出するSO₄はその低 pH 値とあわせて考えた場合、元来岩石中に含まれていたものではなく、火山ガス等によって二次的に付加されたもので、硫気中のSO₂や H₂S が酸化されて SO₄ になりこれが岩石中の成分と反応したり付着したりして生じたものと推定される。

参 考 文 献

- 1) 松下久道、小原浄之介：九重火山地域の水理地質学的研究、九州大学理学部島原火山研究所研究報告、3、1967
- 2) 高橋清：「久住」、地質調査所、1963.
- 3) K. RANKAMA、TH. G. SAHAMA：「Geochemistry」、1949

(別表) 風化を受けていない岩石からの溶出量

(実験法) a : 煮沸60分 b : CO₂飽和15日間
(単位 10²g/ton)

№	岩石採取地	実験法	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	Fe	計
1	狛師岳	a	6.40	0.82	0.40	tr	tr	0.39	1.82	—	11.34	0.09	14.86
		b	4.55	1.00	0.86	5.22	0.63	0.25	1.10	31.45	3.50	1.74	45.75
2	〃	a	6.50	0.86	0.55	tr	tr	0.58	2.00	—	14.80	0.08	18.87
		b	5.00	0.92	0.90	7.01	0.36	0.43	0.55	34.44	5.05	0.78	50.44
3	〃	a	5.90	0.60	0.37	tr	tr	0.64	1.80	—	10.98	0.01	14.00
		b	4.90	0.75	0.47	3.25	0.37	0.60	3.60	27.56	4.89	0.98	40.97
4	〃	a	6.30	0.72	0.30	tr	tr	0.29	0.60	—	14.76	0.06	16.73
		b	4.96	0.94	0.74	5.85	0.30	0.25	1.20	32.05	5.30	0.51	47.14
5	一目山	a	6.40	0.98	0.70	tr	tr	0.41	2.62	—	17.80	0.15	22.66
		b	4.72	1.02	1.02	6.66	0.27	0.40	2.10	36.24	5.62	4.18	57.51
6	黒岩山	a	6.40	1.00	0.45	tr	tr	0.28	3.40	—	17.15	0.04	22.32
		b	4.60	0.77	0.68	3.21	0.39	0.18	1.84	31.75	6.68	1.70	47.20
7	〃	a	7.40	0.71	0.41	tr	tr	0.38	0.60	—	16.98	0.07	19.15
		b	4.70	0.80	1.18	10.30	0.65	0.20	1.84	46.72	7.74	2.18	71.51
8	〃	a	5.95	1.52	0.95	0.91	0.63	0.32	9.70	—	14.76	0.10	28.89
		b	4.80	1.22	1.26	10.77	1.58	0.22	1.25	50.32	10.27	1.44	78.33
9	九重山	a	6.52	1.36	0.60	2.02	0.45	0.72	5.15	—	14.76	0.09	25.59
		b	5.08	1.27	0.83	7.19	0.35	0.70	8.86	38.94	4.48	3.80	66.42
10	〃	a	6.50	1.34	0.73	0.85	0.38	0.67	4.85	—	17.33	0.05	26.30
		b	5.05	1.23	0.90	3.47	0.36	0.58	4.05	37.44	4.08	3.27	55.38
11	三俣山	a	5.95	1.87	1.15	1.53	0.51	0.50	10.20	—	13.48	0.19	29.43
		b	4.94	1.34	0.84	2.84	0.55	0.58	6.00	30.55	4.48	4.23	51.41
12	〃	a	6.24	2.31	1.30	2.14	0.38	0.50	10.70	—	13.90	0.06	31.29
		b	4.98	1.54	0.90	3.90	0.59	0.48	8.70	31.15	6.52	2.74	56.37
13	大南船山頂	a	6.70	1.14	0.72	1.05	0.26	0.35	6.00	—	16.77	0.12	26.26
		b	4.68	0.91	0.70	3.00	1.39	0.35	2.95	33.54	6.68	4.74	54.26
14	米窪	a	6.58	1.35	0.88	0.45	0.09	0.36	4.62	—	17.24	0.11	25.56
		b	4.96	1.31	1.02	2.44	0.79	0.30	13.60	33.84	4.08	4.36	61.74
15	〃	a	7.98	2.13	0.60	1.51	0.31	0.41	1.63	—	9.92	0.05	16.56
		b	4.70	1.65	0.70	3.96	0.75	0.23	7.22	43.73	5.13	5.80	69.17
16	〃	a	8.00	3.75	0.95	1.95	0.28	0.54	1.63	—	20.12	0.08	29.30
		b	5.07	2.80	1.27	5.45	0.64	0.40	3.74	41.93	8.15	3.00	67.38
17	沓掛山	a	5.90	1.30	0.64	0.64	0.13	0.43	5.64	—	18.87	0.15	27.80
		b	4.65	1.16	0.64	2.95	0.49	0.32	2.60	23.36	3.10	1.98	36.66
18	筋湯	a	6.50	0.85	0.73	tr	tr	0.24	1.47	—	11.25	0.06	14.60
		b	5.04	1.02	1.86	6.20	0.62	0.16	1.08	41.03	4.97	0.78	57.72
19	大岳地獄	a	7.07	2.72	1.83	2.32	0.48	0.62	15.20	—	28.23	0.08	51.58
		b	5.35	2.02	1.97	6.20	1.42	0.50	1.60	44.33	7.75	2.78	68.57

20	大岳地嶽	a	6.30	1.20	0.95	1.81	0.45	0.85	12.65	—	19.94	0.20	38.05
		b	5.74	1.11	0.96	5.38	1.49	0.67	0.68	41.93	2.86	6.20	61.28
21	寒ノ地嶽近	a	5.37	1.00	0.70	0.50	0.24	0.56	6.38	—	15.23	0.20	24.81
		b	4.62	0.74	1.40	3.90	1.02	0.28	2.00	24.86	8.31	0.10	42.61
22	〃	a	5.84	0.64	0.30	tr	tr	0.50	2.63	—	16.30	0.08	20.45
		b	4.80	1.00	1.42	6.73	0.48	0.32	0.94	29.35	9.13	0.30	49.67

風化を受けている岩石からの溶出量

(実験法) a : 煮沸60分 b : CO₂飽和15日間

(単位 10²g/ton)

№	岩石採取地	実験法	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	Fe	計
1	一目山	a	5.20	1.43	1.10	8.47	0.77	0.43	26.80	—	22.03	0.62	66.65
		b	4.96	1.12	0.72	14.47	0.65	0.40	31.20	36.84	4.48	4.70	94.58
2	九重山	a	4.55	2.83	1.68	2.01	0.78	0.53	22.70	—	16.71	4.48	51.18
		b	4.92	1.12	0.76	2.84	0.32	0.35	5.78	28.45	4.48	1.80	45.90
3	三俣山	a	5.65	2.10	1.72	1.65	1.12	0.93	23.40	—	10.70	4.26	45.88
		b	4.88	1.08	0.62	1.91	0.51	0.80	7.86	29.35	4.73	5.55	60.45
4	大南船山頂	a	4.35	1.70	6.31	1.91	1.36	0.60	33.10	—	10.27	9.12	64.37
		b	4.58	1.26	1.20	2.00	1.50	0.50	5.40	27.85	2.61	7.28	49.60
5	〃	a	4.40	1.92	5.02	2.41	1.47	0.70	31.60	—	3.76	6.92	53.80
		b	5.04	0.94	0.80	2.70	1.50	0.50	24.36	38.34	3.18	3.96	76.28
6	筋湯	a	5.06	1.57	1.65	2.01	1.71	0.66	19.80	—	5.05	0.54	32.99
		b	5.26	1.20	0.67	—	—	0.70	7.18	68.89	3.47	3.30	—
7	大岳地嶽	a	3.70	0.25	1.16	0.70	0.24	0.24	11.95	—	33.11	0.27	47.92
		b	4.76	0.23	0.28	1.00	0.19	0.65	9.38	8.99	6.53	0.38	27.63
8	〃	a	4.06	0.21	0.51	0.40	0.24	0.43	6.90	—	24.98	0.06	33.73
		b	4.60	0.39	0.37	1.95	0.62	0.43	4.68	19.47	6.32	0.13	34.73
9	〃	a	2.60	0.26	0.48	0.80	0.37	0.66	117.50	—	16.68	8.20	144.95
		b	3.42	0.19	0.21	1.87	0.28	0.94	147.00	—	7.30	5.26	163.05
10	〃	a	3.35	0.33	0.41	0.20	0.27	0.43	20.30	—	19.85	0.60	42.39
		b	3.80	0.20	0.20	1.02	0.06	0.28	15.70	—	4.08	0.35	21.89
11	牧ノ戸地嶽	a	3.18	0.90	0.60	0.70	0.37	0.75	26.10	—	8.04	1.84	39.30
		b	3.87	0.50	0.14	1.97	0.32	0.40	22.00	—	2.88	1.92	30.13
12	〃	a	2.24	1.36	0.25	2.82	0.34	0.70	512.00	—	—	96.80	—
		b	2.60	0.43	0.10	—	—	0.52	340.00	—	—	98.70	—
13	〃	a	3.85	1.12	0.32	0.40	0.24	0.36	10.00	—	8.04	0.32	20.80
		b	3.85	0.98	0.39	1.32	0.06	0.32	6.06	—	2.04	0.12	11.29
14	雀地嶽	a	2.66	1.65	1.50	1.33	2.49	0.78	152.50	—	15.23	9.58	185.06
		b	3.02	0.27	0.14	2.84	0.89	0.70	116.50	—	—	9.94	—
15	〃	a	3.00	0.85	1.35	1.25	1.22	0.41	51.20	—	11.59	5.32	73.19
		b	3.70	0.64	0.12	1.38	0.64	0.66	31.20	—	4.24	6.30	45.18

16	雀地嶽	a	4.50	1.13	0.45	0.85	1.53	0.28	18.65	—	43.64	3.57	70.10
		b	4.28	1.16	0.18	2.70	0.39	0.28	13.24	—	5.71	0.80	24.46
17	〃	a	2.47	2.28	1.32	2.64	3.53	0.43	211.00	—	15.10	9.82	246.12
		b	2.70	2.08	0.24	5.24	2.27	0.16	191.60	—	—	11.74	—
18	小松地嶽	a	4.15	0.40	1.01	0.95	0.65	0.64	9.50	—	4.19	0.98	18.32
		b	4.10	0.34	0.31	1.58	0.27	0.28	1.84	—	1.24	0.60	6.46
19	〃	a	4.41	0.45	0.61	0.72	1.06	0.70	10.55	—	6.84	1.75	22.68
		b	4.46	0.30	0.12	1.71	0.36	0.28	3.38	8.09	1.86	0.56	16.66
20	〃	a	5.21	0.58	0.73	0.74	0.55	0.63	8.50	—	26.31	0.49	38.53
		b	5.04	1.38	1.32	2.62	0.63	0.40	2.30	23.06	6.69	1.20	39.60
21	〃	a	3.38	1.73	1.27	0.14	2.28	0.38	33.40	—	11.98	0.84	52.02
		b	3.95	0.27	0.13	2.07	1.86	0.20	20.68	—	2.53	0.70	28.44
22	〃	a	2.84	0.84	0.47	4.43	1.89	0.36	71.90	—	13.09	2.75	95.73
		b	3.64	0.19	0.06	4.98	1.67	0.20	48.72	—	3.98	1.98	62.08
23	〃	a	2.82	1.16	3.10	1.85	0.28	0.41	70.40	—	13.26	0.77	91.23
		b	3.54	0.41	0.26	1.87	0.28	0.40	31.44	—	2.55	0.46	37.67
24	〃	a	3.57	0.36	0.65	0.85	0.10	0.75	12.75	—	10.01	0.19	25.66
		b	4.28	0.56	0.24	1.22	0.10	0.40	8.01	—	2.77	0.25	13.55
25	〃	a	2.94	0.34	0.10	0.91	0.24	0.49	80.00	—	20.88	0.45	103.41
		b	4.02	0.26	0.12	1.26	0.22	0.43	81.60	—	5.20	0.32	89.41
26	〃	a	3.55	0.30	0.44	1.15	0.29	0.21	14.70	—	5.30	0.18	22.57
		b	3.98	0.22	0.16	2.52	0.16	0.17	11.48	—	0.75	0.52	15.98
27	硫黄山	a	5.48	1.86	1.18	3.86	2.23	4.12	18.96	—	40.75	1.78	74.72
		b	4.88	1.06	0.71	3.54	2.54	3.50	27.58	35.94	7.75	6.00	88.62
28	〃	a	3.08	0.48	0.95	1.25	2.42	2.55	42.18	—	5.56	2.20	57.59
		b	3.80	0.23	0.12	1.63	2.31	2.45	28.60	—	2.45	4.35	42.14
29	〃	a	3.10	0.84	0.92	8.75	2.62	8.34	37.60	—	4.28	1.97	65.32
		b	3.88	0.34	0.10	2.26	3.03	8.24	21.56	—	1.45	2.95	39.93
30	〃	a	3.60	0.23	0.15	2.01	0.43	2.60	14.50	—	4.28	0.95	25.15
		b	4.02	0.36	0.12	0.91	0.37	2.46	9.64	—	1.04	1.70	16.60

九重町内温泉現況調査

業務温泉課 山 田 不 二 丸
 佐 藤 光 一
 矢 野 行 雄
 羽 田 野 宗 人
 片 岡 武 雄

九重町は温泉に大へん恵まれ、温泉地が広範囲に亘り点在している。九州横断道路の開通による周辺地域の開発と、観光施設の新設拡充、また昭和42年9月には九州電力株式会社の地熱利用による発電事業の開始等により、九重町内の地下熱源開発は急速に進められている。このため一、二の温泉地ではあるが、掘さくのための既設泉への干渉による問題のおきた所もある。無思慮な開発で将来に悔を残さぬようにしなければならないが、今後の秩序確立の資とするため、昭和43年1月より3カ月間に亘り町内温泉の実態調査を行なったものである。

調査は従来と同じ方式によって温泉所在地、温泉所有者の確認、温度、ゆう出量、利用状況及び分湯状況等を詳細に調べた、各地区の概況はつぎのとおりである。

1 宝泉寺地区温泉

壁湯、生竜、宝泉寺、宝泉寺駅前、串野、川底の6カ所の小集団をなしている温泉である。この地区については京都大学山下博士の調査した資料と比較すると第1表のとおりである。

第1表 宝泉寺地区温泉

温泉地別	種別	調査年	孔数		ゆう出区分		温 度		平均深度	ゆう出量
			台帳	活動	自然	掘さく	高 低	平均		
壁湯		昭和30	孔	4	孔	孔	39.8~37.0	℃	m	ℓ/m
		43	3	3	3		40.0~38.8	39.2		2,237.0
生竜		30		5	5		43.9~33.2			2,074.0
		43	5	4	3	1	44.0~35.8	39.6	177.5	161.0
宝泉寺		30		14	13	1	72.1~45.0			528.0
		43	33	17	1	16	98.0~32	64.7	143.9	1,246.5
宝泉寺駅前		43	9	12		12	46.0~34.0	40.7	204	2,141.6
		30		3	3		53.4~32.5			29.0
串野		43	8	5	1	4	69.0~44.0	56.5	207.5	146.4
		30		4	4		59.8~26.2			157.0
川底		43	13	6	1	5	85.0~61.0	71.6	114.8	832.4
		30		30	29	1				
計		43	71	47	9	38				6,168.0

県台帳登録の71孔のうち、活動孔は47孔で他は停止又は現孔不明である。

昭和30年調査では、自然ゆう出泉は29孔、掘さくしたものは1孔であったものが、今回では掘さく泉が38孔に増え、自然ゆう出泉は9孔に減少している。特に宝泉寺温泉は掘さく泉ばかりとなり、自然ゆう出泉は僅か1孔を残すのみとなった。

活動孔は昭和30年に比較し17孔増え、ゆう出量は5,024ℓ/mから6,168ℓ/mと23%の増加をみた。また宝泉寺駅前には昭和35年に新たに開発された地域である。温度は34~46℃で低温であるが、量は多く総ゆう出量は2,146.1ℓ/mで1孔平均178ℓ/mに当るものが自噴している。

宝泉寺地区では掘さく泉は大量にゆう出するものが多く、しかも宝泉寺川沿のものは相互干渉がはっきりあらわれるので集中管理などによる有効利用が最も望まれる地区である。

2 飯田地区温泉

湯坪、釜口、長者原の3カ所の温泉群に分けて調査した、地熱発電などのため、規模の大きい掘さくが目下盛んに行なわれている地区であるが、その状況は第2表のとおりである。

第2表 飯田地区温泉

種別 地別	孔数		ゆう出区分		平均温度 ℃	平均深度 m	ゆう出量 ℓ/m
	台帳数	活動数	自然ゆう出	掘さく			
釜口	4	2		2	44.7	18	448
湯坪	37	31	25	11			(加熱水129) 8,110
長者原	22	9	2	10	60.7	165	(加熱水216, 275)
計	63	42	27	23			8,833

註1) 長者原温泉の内九重硫黄鉱業所所有の噴気、並びに九州電力株式会社の発電用噴気の源泉の温度測定は出来なかったため本表に記載しない。

註2) 寒の地獄冷泉：第2表の外寒の地獄地区に2孔の冷泉あり次のとおり。

孔数		ゆう出区分		温度	ゆう出量
台帳数	活動数	自然ゆう出	掘さく		
2	2	2		14.5℃~18℃	1,592ℓ/m

調査台帳孔数65孔、活動孔数43孔である。自然ゆう出泉29孔、掘さく泉は23孔あり、総ゆう出量は10,425ℓ/mで1孔当り平均242ℓ/m自噴している。

このなかに九州電力株式会社の地熱発電用掘さく井が7孔あり4孔が活動し利用中であるが、蒸気とともにゆう出する熱水は7T/mをこえる大量である。

3 野矢温泉

昭和27年に通産省地質調査所のテストボーリングの行なわれたこともあるところであるが、噴気地区である。流水を加熱して浴用に供している。

第3表 野矢温泉

種別 温泉地別	孔数		ゆう出区分		平均温度 ℃	平均深度 m	ゆう出量 ℓ/m
	台帳数	活動数	自然ゆう出	掘さく			
野矢	5	3		3	98.5	96.5	(加熱水12)

4 温泉の利用について

温泉の使用形態は、旅館、公衆浴場（部落共用を含む）のほか自家浴用、養魚、温室、発電など多様につかわれているが、その量は11,087ℓ/minで総ゆう出量の77%に当る。未利用放流も相当な量である。また総ゆう出量の42%が公共の浴用（旅館、保養所用4,931ℓ/min、公衆浴場2,047ℓ/min）に利用されている。この地区には強力な噴気地帯があり、九州電力株式会社は大岳で長い準備ののち

昭和42年8月から、当初規模出力1万KWで地熱による営業発電を開始した。蒸気とともにゆう出する熱水は現在一部が部落などに引湯利用されているが、大部分は排湯管により地蔵原の池に送られ放流されている。熱水は発電規模の拡大とともに更に増量することが予想されているが、この処理と有効利用は今後地熱発電にとっての大きな課題である。また硫黄山の自然噴気より九重硫黄鉱業所が年間約1,000吨の硫黄を採取している。発電、鉱業など温泉の工業的利用が行なわれているのは、他の温泉地ではみられない特色となっている。全般的な利用状況については第4表のとおりである。

第4表 利 用 状 況

利用別 地別	公 共 用				自家用	養魚用	農業用	そ の 他
	旅館保養所	利用量 ℓ/m	共同浴場	利用量 ℓ/m				
壁 湯	1	1,350	1	230	60	ℓ/m	ℓ/m	
生 竜	1	40	1	18	103.1			
宝 泉 寺	9	870	1		324		52.5	
宝 泉 寺 前	2	431	1	320	871.6	200		未利用319 ℓ/m
串 野			2		146.4			
川 底	1	89	5	391	352.4			
釜 口	2	74	1	374				
湯 坪	13	493	5	(加熱水) 129 714	1,914			未利用4,989 ℓ/m 発電1万KW
長 者 原	5	(加熱水) 216 58			85			未利用132 ℓ/m 硫黄採取 年間約1,000吨
寒の地獄	1	1,526						放流66 ℓ/m
野 矢					(加熱水) 12			
計	35	(加熱水) 58 4,931	17	(加熱水) 129 2,047	(加熱水) 12 3,856.5	200	52.5	発電1万KW 硫黄年間約 1,000吨 未利用5,506 ℓ/m

終わりに本調査にご協力いただいた九重町役場永楽拓、玖珠保健所古林通生、梅木英雄の諸氏に感謝します。

参 考 文 献

- (1) 山下幸三郎：大分県九重町（南山田地区）及び久住都町温泉調査報告
大分県温泉調査研究会報告7号、昭31