

大分県温泉調査研究会

報 告 第 2 1 号

昭 和 4 5 年 3 月

目 次

別府温泉水中のトリチュウム……………	古 賀 昭 人 …… (1)
	吉 川 恭 三
豊後高田市内の温泉について……………	山 下 幸 三 郎 …… (5)
	川 村 政 和
別府温泉の沈澱物 (第Ⅲ報) ……………	由 佐 悠 紀 …… (13)
湯布院温泉における揚水試験 (第Ⅰ報) ……	由 佐 悠 紀 …… (26)
	川 村 政 和
老人糖尿病患者の非ケトージス性糖尿病昏睡前駆症状 と思われる症例に対する的ヶ浜温泉の応用……………	矢 野 良 一 …… (55)
	内 倉 洋 三
放射線障害の温泉療法 (第27報) ……………	有 馬 正 士 …… (58)
	辻 秀 男
放射能障害の温泉療法 (第28報) ……………	八 田 秋 …… (62)
	有 馬 正 士
別府明礬温泉の成因とその特長ある化学成分……………	古 賀 昭 人 …… (65)
	野 田 徹 郎
くじゅう火山の温泉群(5)……………	志 賀 史 光 …… (70)
	川 野 田 実 夫
温泉熱の農營的利用 (第2報) ……………	川 西 博 …… (78)

別府温泉水中のトリチュウム

九州大学温泉治療学研究所 古 賀 昭 人

京 都 大 学 理 学 部 吉 川 恭 三

1 トリチュウム利用の一般的概念

ある地域に湧出する温泉水の起原はどこから来たかと云う問題があったとき—たとえばマグマ水に基因するか、雨水に基因するものであるか、もし雨水に基因するものであれば、いつ頃降った雨水がどこをどう滲透して来たものであるか—トリチュウムや¹⁴Cによる年代決定法は一つの有力な解決法であろう。

水の化学式はH₂Oで表わされるが、その水素は更にH、D、Tとなって、それぞれ、軽水素、重水素、三重水素(トリチュウム)と呼ばれている。水素はHが99.9844%、Dが0.0156%を占め、トリチュウムは大気中には10^{cm³}の中に僅か1原子存在する位の微小な存在である。トリチュウムは1939年に発見されたが、大気圏内において宇宙線や人工的な熱核爆発によって生成されるもので、雨または雪となって地表に降下し、一部は地中に滲透し地下水と混合し、他は地表を流れて河川により海に流される。1952年、水爆実験がなされるまでは、トリチュウムは宇宙線のみによって作られ、これが地表水の含有量であった。しかし、1952年以来、とくに1954年から1959年までは雨水中の宇宙線によるトリチュウムは人工的に作られたトリチュウムの蔭におおいかくされて了った感がある。たとえば、昔は10T.U.

図1 1961年10月より1969年1月までに日本で降った雨水中のトリチュウム含有量

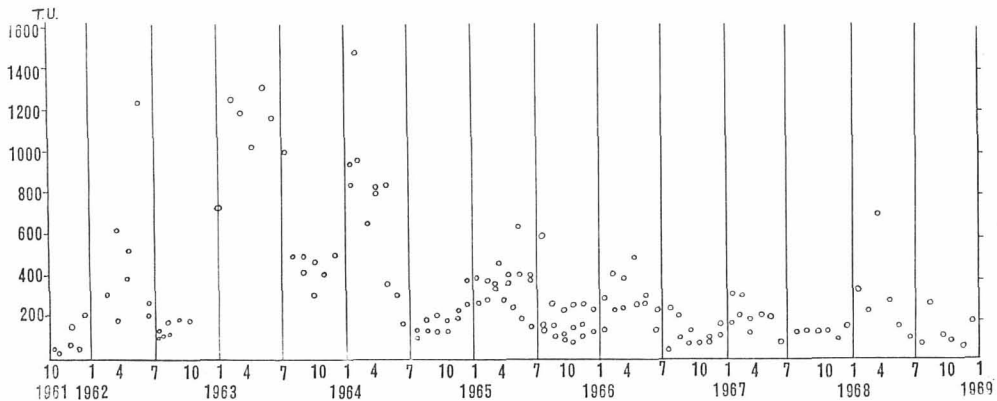
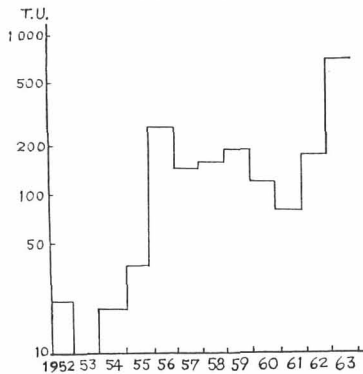


図2 ぶどう酒のトリチュウム含量



(1 T.U. = T/H × 10¹⁸)前後であったものが、この間にしばしば1,000T.U.以上になったこともある。しかし最近では次第に減少し100T.U.以下になりつつある。高橋らの行った本邦雨水中のトリチュウム含有量の変化は図1のようであるが、1961年前の測定がないので図2に同じく高橋らの行った本邦産のぶどう酒のトリチュウム含有量を示す。ぶどう酒は毎年、その年の水で作られ、年々保存されているので好都合であるが、それによると、やはり1956年以降急増しており、1963年にも多くなっているのは図1の雨水のトリチュウム含量と一致している。水道水も同様な傾向があるが、水爆実験によって一時に多量供給されることが目的によっては天然に恒常的に供給されるより

更に有利なトレーサーとして役立つこともあった。たとえば、水爆実験によって生産されたトリチュウムの対流圏における平均滞留時間の測定や、海洋の表層における水の平均滞留時間の推定などが行われており、微量のトリチュウム測定の時のような不便さなしに行われた。これらは、すべてトリチュウムの半減期が12.5年ということを利用して行われたものである。

トリチュウムの水理学的応用は近時盛んになっており、たとえばアメリカでは地下水の年令、流速方向などの測定に使用されている。また、オクラホマ州の食塩泉で、その水が深部から断層を通して上昇して来たか、浅い所の水が塩分を含む岩石を通ることによって食塩泉になったかの議論がなされていたがトリチュウムの実験により後者が正しいことが証明された。本部でも浜田らによる幾つかの水理学への応用がなされている。今後とも益々トリチュウムの利用は増加することと思われる。

2 別府温泉水中のトリチュウム含有量

一般的に云って、温泉水はそれが火山性であろうとも、重酸素や重水素の測定結果から、水そのものは地下水が深部へ循環して加熱されたものだということができる。このように、雨水が温泉水の源であるならば、トリチュウムを含んだ水が地下に滲透し、地下を旅して再び地上に湧出した水は、その滞留時間に応じてトリチュウム含有量に変化があるに違いない。もし、それが100年以上経ておれば、原水のトリチュウム含量が何であったとしても湧出した水のトリチュウムは実際的には〇とみられるはずである。一般的には、深部まで滲透した水ほどトリチュウム含有量は小さく、浅部の水ほどトリチュウム含量は大きいと定性的に云うことができる。別府温泉の場合、その温泉水は過去に別府周辺に降った雨水（ある濃度のトリチュウム量を含む）であるから、かかる狭い地域における各温泉水のトリチュウム濃度を知ることにより、各々の温泉の成因や構造を知ることができるはずである。このように温泉水のトリチュウム測定は極めて興味のあることで、著者らは別府地区の温泉水10箇所（参考のために九重大岳、八丁原地区の深部熱水6個を付す）を選びトリチュウム含量を理化学研究所の高橋且氏に依頼測定した。その結果を表1に、所在地を図3に示す。

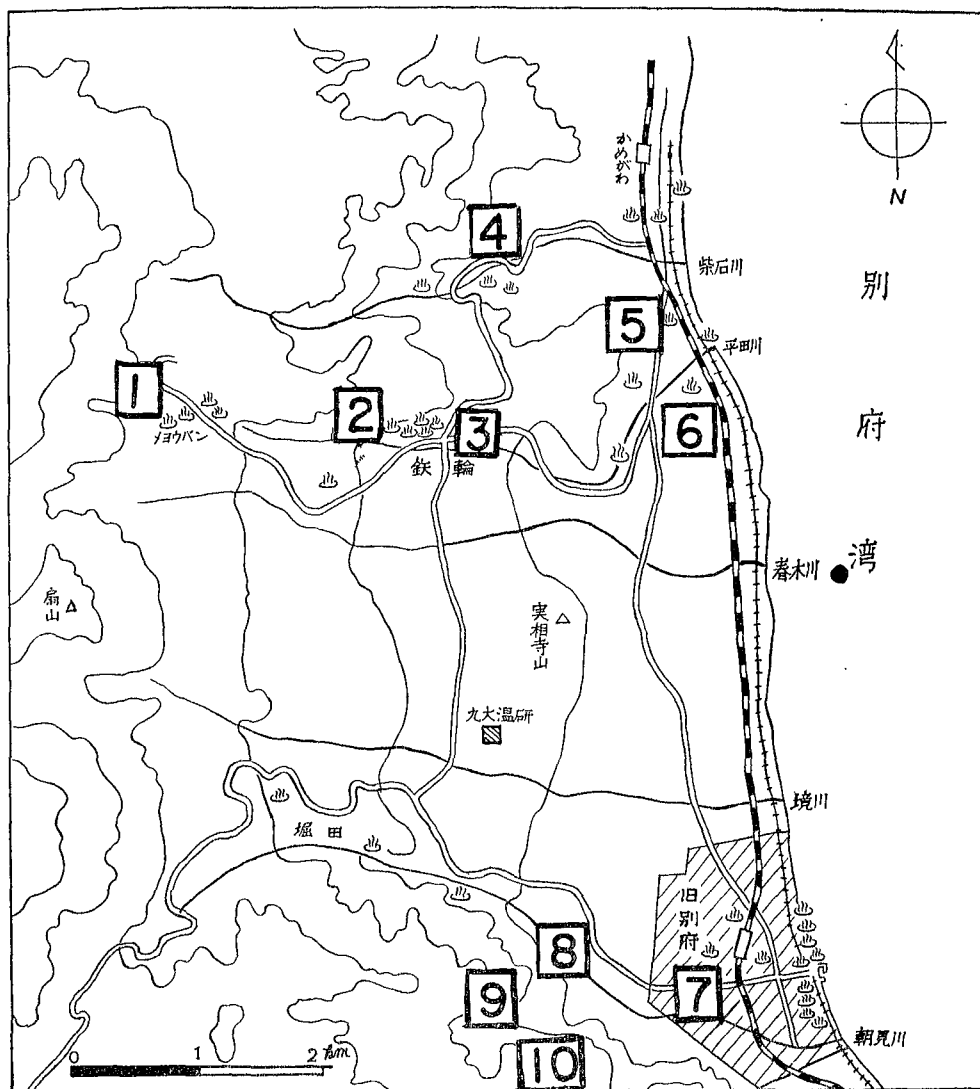
表1 別府温泉水中のトリチュウム含有量（付、大岳、八丁原地区井）

No.	試 水	pH	トリチュウムT.U.	Clp.p.m.
1	地 蔵 湯	2.65	35	12
2	鬼 山 地 獄	3.5	1	1964
3	ひょうたん風呂	8.3	24	760
4	血ノ池地獄	2.35	13	1251
5	亀 陽 泉	7.1	19	292
6	住 友 金 属 寮	6.25	10	2210
7	上田ノ湯町佐藤方	6.7	50	58
8	上 原 町 宮 地 方	8.8	19	561
9	ラクテンチ地すべり対策井	7.0	24	0
10	ラクテンチ水路	6.5	24	0
11	大 岳 7 号	8.4	8	1156
12	〃 8 号	8.4	20	813
13	〃 9 号	8.15	6	1490
14	〃 10 号	8.4	4	1753
15	八 丁 原 1 号	8.15	5	2327
16	〃 2 号	3.05	2	1941
17	谷 川	6.7	81	10

表1によれば、大体予想に近い結果が得られたと云える。すなわち、明礬地区の地蔵湯は硫気孔の硫化水素などが地表近くで地下水に吸収され、それが空气中の酸素により酸化されて硫酸を生じたと考えられる所からトリチュウムの含量が多いのは当然であろうし、また No.7 の上田の湯泉もその湧出状況や化学組成からみて、浅層の地下水が多く混入しており、トリチュウムの多いのもまたうなず

ける。ところが、ラクテンチ地すべり対策井やその近接の水路のトリチュウム含有量は想像以上に少なく、もし No.17 の九重の谷川の含有量が最近の雨水の平均量だとすれば、これらは単なる地表水で

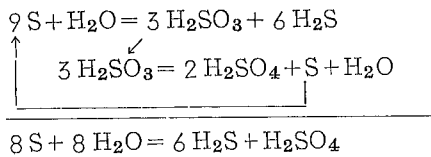
図3 別府温泉のトリチウム測定地



はなく一度地中に滲透した水が地下水として貯留しており再び湧出したものと考えねばならず、もう一度調べる必要がありそうである。一般にトリチウム含有量とClイオン濃度の間に相反的な傾向があるのは、深部熱水ほどClを含み、それだけ滲透した地下水の滞留時間が長く、トリチウムの含有量が少ないからであり、地蔵湯やラクテンチなど浅所で地下水が蒸気により加熱された結果生じた温泉にはClが少なく、したがってトリチウムも多いからである。

ここで、一つの興味ある事実を表1から見出すことができる。すなわち、鬼山地獄や八丁原2号井のような酸性の食塩泉でトリチウム含有量が極めて少ないことである。この酸性は硫酸によるものだが、明礬地区の酸性泉とは硫酸の生成方法が異っていることを暗示している。つまり、浅所における硫化水素の酸化による硫酸の生成であれば、トリチウム含有量はもっと多いに違いない。鬼山地獄や八丁原2号井では、それに反して地下滞留時間が非常に長い水であるから溶存酸素も極めて乏しいと考えられ、そこで硫酸の生成が行われるためには亜硫酸の自己酸化還元作用を考えねばならない。

小穴らはイオウと熱水溶液との200—300℃の反応から



のような式を考えた。この反応はサイクル的に行われ、イオウと水が高温高压下では溶存酸素の必要なしに硫酸ができることを意味している。鬼山地獄や八丁原2号井の硫酸酸性はこのようにして生じた可能性が大きい。血の池地獄の硫酸酸性もこのように

して生じたのかも知れないが、ここでは浅層の水もかなり含まれているから、断定はできない。

一方、地中に滲透した循環水が再び温泉水として湧出するまでに、どれ位の時間が経っているかという問題をとく方法として、トリチウム測定は前述したように一つの可能性を持っている。初期の研究で、アメリカのネバダ州の温泉水の年令は6週間とされ、ニュージーランドのワイラケイでは10年以上とされたが、単にトリチウムの量から計算的にそれを算出するのは不合理の面も生じてくる。深部熱水はトリチウムの含有量が0に近くなる程、長い間地中にあったものであり、これに地下水や地表水の混じたものが、いわゆる火山性温泉であろうが、恒常的な宇宙線によるトリチウムに加えて一連の水爆実験による降水中の顕著なトリチウムの増加は上記の如きトリチウムの半減期からの単純な計算方法を駄目にしたきらいがある。更に温泉の湧出経路は各々複雑であるので、Begemannは滲透してから湧出するまでの経路につき、4つのモデルを考案し、それぞれについて温泉水中のトリチウム量を地表水のトリチウム量と地中を流れてきた最短時間と最長時間の関数であらわす理論式を作った。1954年から57年にかけて行われた核実験中に採取された温泉水中のトリチウム含量の変化と上述の理論式とを比較すると、降水中のピークがそのまま季節的に後にずれて温泉水中に出現する単純な型の温泉もあったが、大部分のものはトリチウムが0の深部熱水と幾らかの地表水に近いものが混ったとして説明できるとされた。

別府温泉においてのミ水の年令ミの測定は1回だけでなく、もっとたび重なる長い間の観測が必要であり、さらに他の同位体や溶存塩類のデータと比較して初めて湧出機構を明らかにすることができると思われる。そのために、敢えてこの計算は行わず、定性的な推定に留めた。しかしながら、この種の同位元素の測定は温泉水の起原に対して大きな示唆を与えるので以後も続行するつもりである。

(終りに、トリチウムの測定をして頂いた理化学研究所の高橋且氏、および本研究費の一部を受けた大分県温泉調査研究会に深く感謝する。)

文 献

- 1) Takahashi, T., et al., Radioisotopes 18, 560—563 (1969)
- 2) Carlston, C.W., et al., Tritium in the physical and Biological sciences 1, 75—81 (1962)
- 3) 浜田、高橋、西田、A/M—6、117—119 (1968)
- 4) 杉崎、地球化学討論会講演要旨集、(1967)
- 5) 古賀、大分県温泉調査研究会報告、第20号、59—62 (1969)
- 6) 小穴、水谷、地球化学討論会講演要旨集 (1967)
- 7) 山下、私信による
- 8) Hulston, T.R., United Nations Conference on New Sources of Energy 35—G—31 (1961)
- 9) Begemann, F., Nuclear Geology on Geothermal Areas, 55—70 (1963)

豊後高田市内の温泉について

京都大学理学部 山下 幸三郎
川村 政和

1 緒言

豊後高田市は国東半島の西部にあり、周防灘に面する海岸部の平坦地は沖積層であるが、山地は両子火山地域に属し、第三紀安山岩、又は第四紀の安山岩である。両子山は由布、鶴見の両山と共に大山火山帯に属する火山であるが、火山生成の地質学的条件の相違によるか、別府や湯布院の如き温泉には恵まれてない。この地域での温泉は真玉町湯原、国見町赤根に微温泉の湧出があるが、熱勢力が弱く、十分な利用はされてない。しかし高温な温泉湧出の可能性が全くないとは云い得ない。

豊後高田市内には昔時から温泉と関連があるとみられる冷鉱泉（炭酸泉又は重曹泉）があり、又近時市街地、及びその周辺地域において干害対策、水道、養魚などの目的で多数の深井戸が掘られ、それらの中で温泉徴候のある井戸が発見され、高温な温泉の湧出する可能性が示唆された。

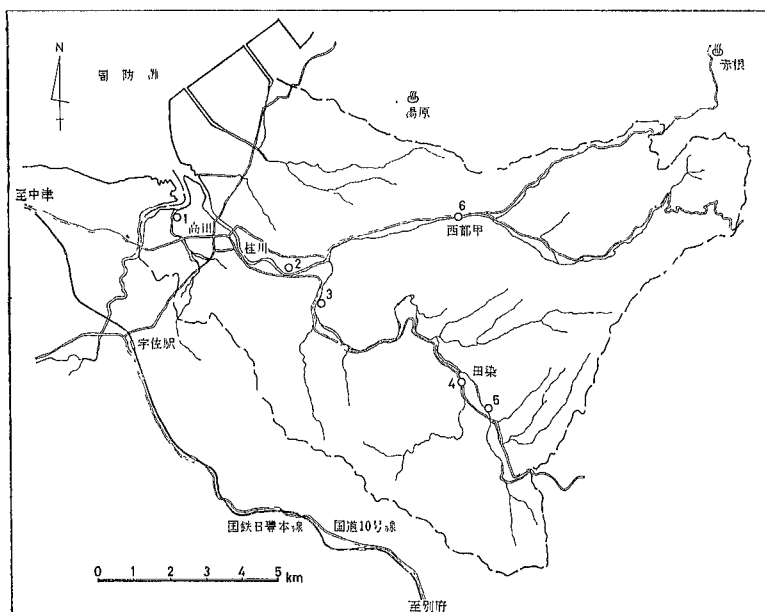
調査は先づ市街地、及びその周辺地区における深井戸水の水温や化学成分について温泉との関連の有無を調べた。他の地区にある冷鉱泉とその周辺にある浅井戸水についても同様な調査を行い、更にこの調査を補足する目的で2地区について地温による探査を行った。

本調査は豊後高田市の依頼による温泉探査のために行ったのであるが、本報告は市内にある冷鉱泉の分布、その水質、市街地及びその周辺地区の深部地下水の賦存状態などについての調査結果を報告する。

2 温泉の概況

市内の田染地区や河内地区には昔時より冷鉱泉があり、近時高田市街地に掘られた深井戸には温泉徴候のある井戸がある。

図1 豊後高田市内温泉分布



調査した井水又は湧泉の内、温泉（温泉法上の温泉）として認められるものを第1表に、その分布を第1図に示す。

桑原氏所有泉を除けばいずれも多量の炭酸物質を含み（1ℓ中1gr以上）水中から遊離した炭酸ガスの気泡が見られる。

市有上水道水源池内にある深井戸は水中から遊離した多量の炭酸ガスの作用により自噴している。（静止水位地下2m）河内地区落走の川岸では岩石の亀裂から湧出し

ている。川岸での湧出量は少ないが、附近川中には炭酸ガスの噴出が各所に見られる。

第1表 豊後高田市にある温泉の概況

所在地番	所在地	所有者	調査年月日	深度(m)	水温(°C)	泉質
2	市有上水道水源池内	市有	昭44.9.2	103	23.9	含炭酸-土類泉
1	塩田跡	林田喜久子	〃 〃	150	24.9	含食塩-土類-重曹泉
〃	〃	桑原義太郎	〃 9.18	80	20.2	含重曹-弱食塩泉
3	河内落走岸嶺中部中	内田代蔵	〃 9.3	自然湧出	23.9	含炭酸-土類-重曹泉
4	田染横	—	〃 〃	〃	23.2	単純炭酸泉
5	川染池	—	〃 〃	〃	26.3	単純炭酸泉

田染地区横嶺、及び池部の鉱泉はいつでも川中に湧出しており、附近川中には炭酸ガスの気泡がみられ、横嶺では多量の鉄の沈澱がある。

塩田跡の桑原氏所有井は多量のクロール、ナトリウムイオンを含み弱食塩泉であるが、炭酸物質も多く、単なる地下水に海水の混入したものではない。

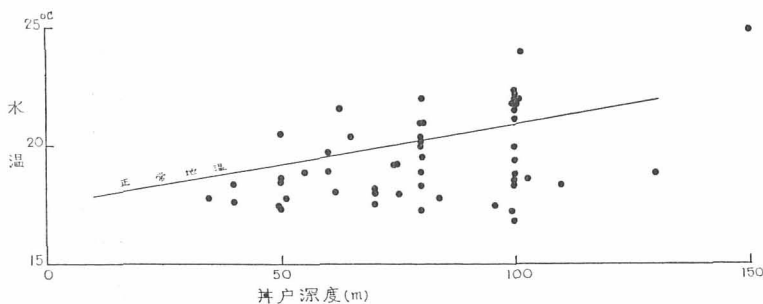
西都甲寺川橋の下流側の川中に高温湧水があるとのことで調査したが、異状は認められなかった。

3 井水温について

一般に地中の温度は地表面の近くでは日射の影響を受けて日変化や年変化があるが、深部に行くにしたがってこの影響は小さくなり、地下10米前後から以深において全く影響を受けない地温不易層に達する。地温不易層以深においては地温は深さと共に昇温し、通常約30m深くなる毎に1°C上昇する。高田市街地及びその周辺地区にある深井戸は35m以上の深度であるから、測定期日の相違による水温の変化は殆んどないと考えてよい。実測された水温と井戸深度との関係は第2図の如く、同一深度の井戸でも水温に違いがあり、その差は浅い井戸程小さく、深くなるにしたがって大きくなっている。この原因は地下の高温熱源による影響の外、井戸構造による浅層地下水の混入や、水温測定が揚水ポンプの流出口であるから、湧出導管内での水温冷却などによると思われる。

水温が地下の高温熱源による異常温度であるか否かを知るには、この地域の正常地温を知らなければならぬが、この地域での実測がない。地温不易層の温度は緯度や地高に關係するが、この地に最も近い実測値は大分地方気象台にある。両地の緯度や地高に大差がないので大分における実測値(17.9°C)を採用し、地温不易層の深さを10m、地温の上昇を30m深くなる毎に1°Cとして、地下の正常地温を求めると第2図の実線で示す温度になる。

図2 水温と井戸深度との關係



揚水による浅層水の混入や湧出途中の冷却があったとしても、地温不易の温度以下には降下しないであろうから、測定された水温の各深度における最低値は略地温不易層の温度を示していると思われる。この値は大分における値に略等しい。し

図3 高田市街地及び周辺地区の深井戸水温分布（-100m）

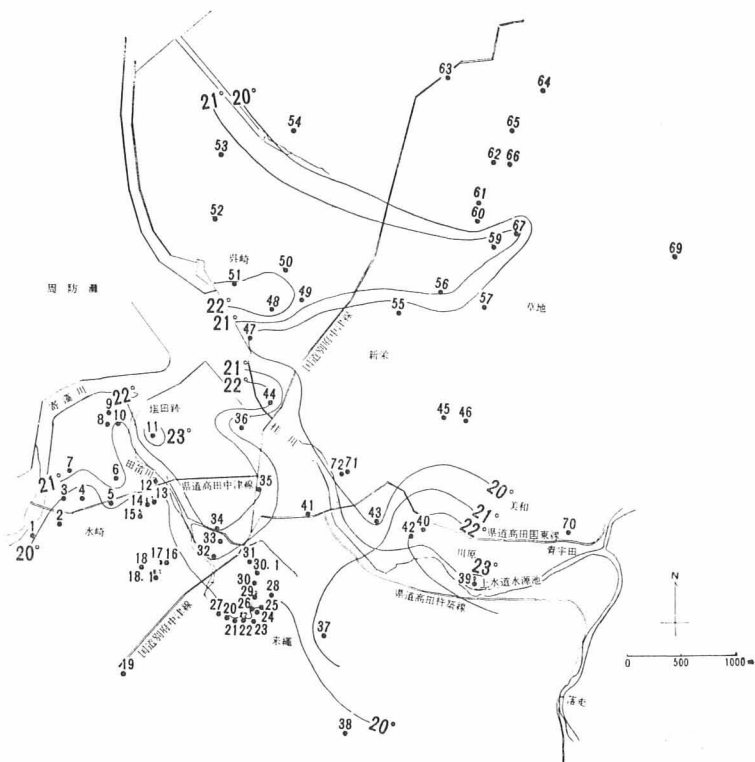


図4 高田市街地及び周辺地区の深井戸水のクロール、重炭酸イオン含有量分布



たがって実線で示す温度以上に高い水温を示す地点の地下水は異状水温をもっていると推察されるしかし前述の如く湧出途中の冷却があって孔底水温は実測水温より高いであろう。事実市有上水道水源池内にある井戸での実測によれば、表面温度 23.9°C に対し地下 97m では 25.0°C と 1.1°C 高い又一方地下における増温率は地下の地層の地質学的な性状によって異なるから、これらの点を考慮しなければならぬが、上記異状水温の推定結果は後述の化学成分の調査結果と略一致することから略正しいと思われる。

これらの水温異常のある井戸の地理的分布を知るために、各深度における井水温が上記地温増温率をもつとして地下 100m における水温を推算しこれが分布を第3図に示す。地下 100m における正常地温は 20.9°C と推測される。

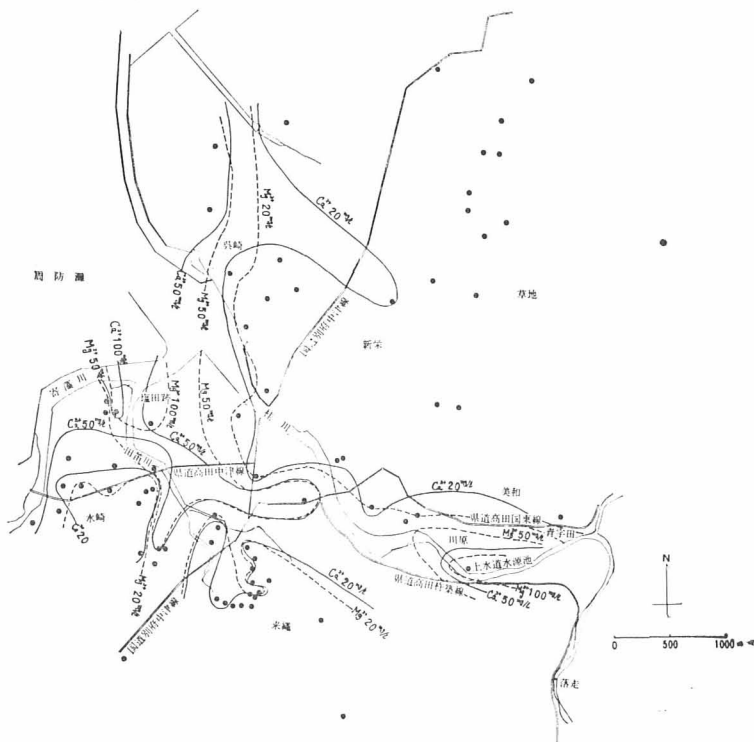
図をみると市街地の塩田跡地帯、川原地帯(市有上水道水源池附近)及び呉崎地区に高温地帯があり、何れの地帯も共に上記正常地温より高く、地下高温熱源による異常温度であると推察される。塩田跡の高温地帯では温泉試掘が計画されている

田染地区池部の冷鉱泉附近、及び西都甲寺川橋

図5 高田市街地及び周辺地区の深井戸水のナトリウムイオン含有量分布



図6 高田市街地及び周辺地区の深井戸水のカルシウム、マグネシウムイオン含有量分布



附近の浅井戸の水温については浅井戸の深度が測定されてないが、一般に地温不易層以浅の浅層地下水と考えられ、実測された水温は測定期日における正常地温(24℃~17.5℃)範囲内であり、したがって水温異状は認められない。

4 化学成分の分布並に水温、化学成分相互間の関係

先づ化学成分中温泉と関係の深い重炭酸イオン及びクロールイオンについて高田市街地及びその周辺にある深井戸水についての分布を求めると、第4図の如く、塩田跡及び川原附近の高温地帯(第3図参照)において濃度が高く、その分布状態は水温分布と一致する。クロールイオンの分布では海岸部塩田跡地帯で幾分の違いがあるが、これは後述のリチウムイオン含有量から海水の混入があることに起因していると思う。

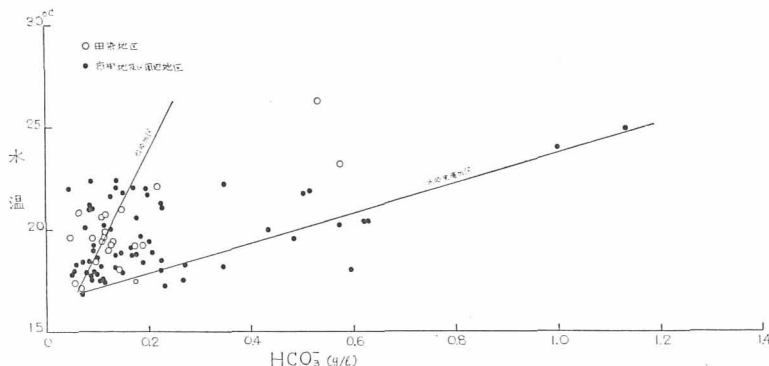
呉崎地区にある高温地帯では濃度が低く、水温異常のない地帯の濃度に近い。したがって水温分布状態と一致しない。又クロールと重炭酸との分布状態も一致してない。この原因は海岸部において海水の混入があるためと思われる。

ナトリウ、カルシウム

マグネシウムの各イオンはクロールや重炭酸イオンに関係のある成分でこれらの分布を第5、6図に示す。これら成分の分布状態はクロールや重炭酸イオンの分布状態と略一致するが、ナトリウムやマグネシウムはクロール分布の状態に酷似している。これらの成分は混入する海水の化学成分に関係があるからであろう。

水温と化学成分との関係を更に精しく調べるため水温と重炭酸イオンとの関係を求めると第7図の如く、両者の分布状態が酷似していることから相関関係のあることが予想され図も亦水温の高い程重炭酸イオンが多い傾向を示しているが乱れがあって正確な両者の関係は求められない。これは地域的に水の系統が異なりその成分含有量に相違があるからであろう。第4図において水崎、来縄地区

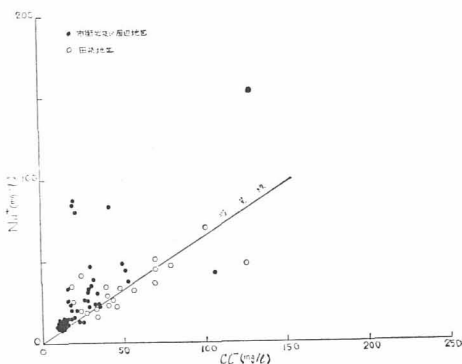
図7 水温とHCO₃⁻との関係



区及び呉崎地区では成分濃度の低い地帯が舌状に海岸部の方向に延びている。この方向は地下水の動向を暗示するもので、したがってこれらの2地区に区別して両者の関係を求めると、図に示す実線の如き関係が成立するが、成分分布からみられるように両者の関係は水崎、来縄地区の方が緊密である。

他の成分と水温の関係或は成分相互間の関係は上記水温と重炭酸イオンとの関係と同様な傾向が見られる。

図8 Na⁺とCl⁻との関係



田染池部地区の浅層地下水のナトリウムとクロールイオンとの関係は第8図に示すように他地域の水と異なり、殆んどが両者の当量線上に列んでいる。したがってこれらの井水は人工汚染を受けている疑いがある。

リチウムイオンは高温な地熱地帯の地下深部に賦存する高温熱水中に多量に含まれ、高温熱水の特長成分の一つである。鉱泉や市街地の異状高温地帯の

井水について分析した結果を第2表に示す。

第2表 鉱泉、井水の化学成分含有量 (単位mg/l)

所有者	Li ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₂	Li/Na(重量比)
熊田財吉	0.13	46.9	36.7	42.0	30.4	505	555	2.8×10 ⁻³
桑原義太郎	0.35	460	324	233	1590	575	—	0.78
林田喜久子	0.35	367	45.1	88.6	414	1130	445	0.95
松本病院	0.43	153	101	104	84.8	1050	—	2.8
市有	0.75	248	97.6	170	197	1830	1370	3.5
落走(河内)	0.55	154	19.6	71.8	129	1020	1530	3.6
池部鉱泉(田染)	0.13	62	27.2	35.4	24	531	1110	2.1

第3表^{2,3)}

水 系	Li/Na(重量比)
温 泉(別 府)	6.0×10^{-3}
河川水(〃)	1.0×10^{-3}
地下水(〃)	2.2×10^{-3}
海 水(別府湾)	0.016×10^{-3}
火 成 岩	1.15×10^{-3}

第3表に示したように高温熱水では他の陸水や海水と比較して著しく大きい値である。この点を考慮して第2表の実測値をみると、川原の市有上水道水源池内にある井水と、河内の落走の鉱泉が最も大きい値を持ち、両者は殆んど同じ値である。又この値は冷地下水や地表水と比較して可成り大きく、したがって高温熱水に最も関連の深い水であると推察される。塩田跡の高温地帯の井水にはクロールイオンが多く、且つ

Li/Naの値が小さい。このことはクロールイオンが多く、且つLi/Naの値の小さい海水の混入を示していると思う。(第3表参照)

田染池部鉱泉のLi/Naの値は冷地下水の値に略等しいが、重炭酸イオンや炭酸ガスを多量に含んでいる。炭酸物質は火山性源であっても高温水と行動を共にしてきているとは云い難い。したがってこの結果からは高温熱水と関連があるとは云い得ない。

西都甲の寺川橋附近浅井戸水は水温、化学成分共に温泉との関連は見出せない。

終りに本調査に協力された京大地球物理学研究施設由佐悠紀、豊後高田市役所企画課の諸氏に厚く感謝の意を表す。

豊後高田市鉱泉、井水の分析結果 (含有量の単位mg/l)

高田市街地及びその周辺の深井戸水 採水年月日昭和44.9.17~19

井戸番号	深度(m)	水温(℃)	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃
1	80	19.5	6.5	23.2	5.8	57.6	49.0	35.6	481
2	75	18.0	6.7	25.5	5.3	22.0	24.4	26.0	211
3	75	19.2	6.6	38.4	7.5	18.4	22.4	53.4	167
4	100	18.5	6.9	82.0	9.3	11.6	18.8	41.7	216
5	40	18.4	7.0	33.6	7.2	9.8	20.4	29.6	190
6	80	21.0	6.7	15.6	5.3	21.4	22.4	13.5	221
7	100	21.8	6.5	46.9	9.4	36.7	42.0	30.4	505
8	65	20.4	6.5	89.0	12.1	54.8	19.6	19.6	629
9	80	20.4	6.4	88.4	12.2	54.8	41.0	20.3	624
10	80	20.2	6.4	460	49.6	324	233	1590	575
11	150	24.9	6.8	367	31.7	45.1	88.6	414	1130
12	80	20.0	7.1	26.8	5.1	33.4	56.0	16.0	438
13	50	17.5	6.8	48.1	8.4	48.4	104	355	268
14	70	17.9	7.1	13.8	3.6	10.8	16.2	12.8	150
15	50	17.4	6.9	18.4	4.8	14.8	14.6	33.5	114
16	80	18.3	6.6	20.6	5.2	32.4	27.2	22.1	271
17	70	18.2	7.4	23.2	7.4	51.6	51.0	18.5	345
18	70	17.5	7.1	10.3	4.0	10.8	11.2	12.8	109
18の1		18.4	6.6	22.5	5.8	57.9	20.8	29.2	83.4
19	80	17.2	7.1	20.3	5.2	28.9	22.1	18.2	232
20	40	17.6	6.7	13.8	4.4	22.2	14.0	23.9	110
21	35	17.8	6.8	12.5	4.0	12.2	9.8	16.4	99.3
22	53	17.8	6.8	12.5	3.9	11.4	9.6	13.9	48.3
23	55	18.9	7.0	9.4	3.6	14.0	3.8	12.5	204
24	63	18.0	7.3	10.0	4.1	10.0	10.2	12.5	48.3
25	75	19.2	7.0	10.9	3.7	8.4	8.4	11.8	89.7
26	60	18.9	6.7	16.5	5.7	37.6	16.6	28.5	145
27		18.2	6.7	12.5	5.2	22.8	14.6	26.4	103

28	50	18.5	6.8	11.2	4.3	10.4	8.8	14.3	93.1
29		22.0	7.0	9.8	4.1	12.0	14.6	10.7	138
30	100	17.4	6.6	26.1	7.9	29.6	24.4	26.7	173
30の1		19.2	7.2	8.7	3.9	10.4	11.8	12.1	178
31	50	18.7	7.2	10.3	3.3	11.6	14.0	10.3	135
32	60	19.7	7.1	15.9	4.2	15.0	18.6	11.8	181
33	50	20.5	7.2	34.2	5.2	9.8	15.2	17.1	178
34		18.7	7.0	24.1	5.5	23.6	20.4	35.6	166
35	75	21.6	6.8	39.0	7.3	11.4	19.6	32.1	199
36	70	18.9	7.2	16.2	3.8	25.7	9.4	23.2	109
37	7.8	21.0	7.5	11.2	3.5	16.7	14.8	13.2	138
38	100	19.0	7.3	9.2	5.2	12.9	8.7	12.8	89.7
39	103	23.9	6.5	248	35.4	97.6	170	197	1830
40		21.5	6.5	16.8	5.7	34.6	10.7	35.6	92.5
41	100	20.4	6.8	153	23.0	101	104	84.8	1050
42	100	22.2	6.3	48.4	8.2	28.8	32.4	50.6	343
43	100	18.8	6.5	31.3	5.4	14.1	17.6	27.8	173
44	100	22.0	7.0	34.8	5.2	12.6	19.4	29.9	195
45	106	18.6	6.6	16.8	4.0	18.4	7.4	20.7	97.6
46	200	18.3	6.9	10.6	2.7	4.2	3.2	12.1	59.0
47	100	20.0	7.4	30.4	3.3	10.0	11.8	34.2	124
48	90	22.4	7.4	14.6	2.0	11.4	13.0	14.3	135
49	100	21.6	7.3	12.8	1.8	12.2	11.0	13.5	126
50	100	21.8	7.4	15.3	2.0	15.4	14.4	18.5	146
51	100	22.0	7.2	42.9	5.4	15.6	22.0	107	170
52	100	21.7	7.1	358	39.6	91.6	95.1	843	199
53	100	21.8	7.2	44.2	5.6	64.0	61.0	51.7	519
54	110	18.4	7.4	11.4	3.4	6.0	6.4	16.0	71.0
55	100	16.8	6.4	24.1	4.9	20.6	10.6	32.8	73.8
56	100	21.2	7.0	12.2	2.9	6.8	6.2	12.8	85.7
57	100	19.4	7.0	13.2	2.9	9.0	6.6	12.1	99.3
59	80	21.0	7.4	14.6	2.7	7.0	6.1	13.2	89.1
60	100	17.2	6.6	15.0	3.4	9.0	4.2	14.6	81.7
61	96	17.5	6.7	15.3	3.9	11.4	4.6	16.7	87.4
62	80	18.9	6.6	13.6	3.9	10.8	4.4	15.3	89.7
63		20.0	7.1	9.4	3.7	9.0	4.8	12.5	79.5
64	100	21.0	7.2	12.2	3.2	9.6	6.4	14.3	90.8
65	120	20.2	7.6	15.0	5.2	15.0	4.8	13.2	116
66	84	17.8	6.9	14.6	3.7	5.6	3.4	13.5	75.5
69	130	18.9	7.8	14.0	1.8	10.8	11.2	14.3	115
70		21.3	7.4	14.6	2.8	11.6	9.8	11.4	129
71	40	18.6	6.8	11.2	2.6	13.8	6.1	12.5	200
72	50	18.8	7.0	11.2	2.7	14.1	7.7	12.8	94.8

田染池部地区 採水年月日 昭和44.9.18~20

所有者	水温(°C)	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃
新谷 酉作	19.6	6.5	45.5	5.8	46.0	16.0	70.5	116
後藤 義彦	22.0	6.8	28.7	17.7	55.2	14.4	40.6	219
田染観光タクシー	19.6	6.6	16.4	4.8	30.4	9.4	34.6	88.0
毛利 広吉	20.6	7.1	20.9	6.3	28.8	5.0	33.1	107

増田倍也	18.5	6.8	51.0	4.6	19.8	16.0	70.5	94.8
津田周一	19.9	6.7	32.2	5.6	19.8	13.6	57.0	108
河野豊	18.9	6.9	41.9	50.0	39.8	11.2	54.1	132
田染支所	20.8	6.7	18.6	5.1	12.2	4.6	27.8	62.4
毛利柁	19.2	5.8	36.1	17.7	49.2	24.8	69.8	188
河野正則	20.7	6.4	20.0	4.5	29.8	9.6	22.8	117
都甲勝馬	18.0	6.6	22.5	8.0	28.8	15.0	41.0	141
新田国正	19.6	6.7	25.8	18.7	23.6	7.0	19.6	47.1
新田繁夫	17.1	6.5	48.4	31.6	47.6	12.4	12.6	67.0
河野義正	17.4	5.1	70.2	19.9	36.6	11.2	102	51.1
笹原	21.0	6.4	33.8	14.5	38.6	11.8	39.2	152
河野正二	19.3	5.8	21.8	8.5	26.0	15.4	45.6	125
河野桂治	19.0	6.7	25.8	11.3	37.6	14.6	42.7	120
毛利静馬	19.4	6.9	33.4	13.0	36.2	14.8	48.1	104
河野喜雄	19.2	6.9	46.5	18.5	68.0	26.0	80.2	173

西都甲寺川橋附近 採水年月日 昭和44.10.23

所有者	水温(°C)	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃
河野商店	19.0	6.5	11.2	4.7	21.5	5.8	18.5	71.0
林清	19.0	6.8	18.1	7.8	28.0	5.8	27.8	68.1
河野正弘	19.5	7.0	16.5	9.4	26.3	6.4	27.4	67.0
西都甲駐在所	19.0	7.3	11.7	4.4	12.5	3.7	11.8	56.2
土谷卓	19.0	6.7	14.5	5.5	26.0	5.8	22.1	73.8
西都甲農協	17.0	7.0	17.5	8.2	30.8	7.1	27.4	67.0
河野春徳	19.5	6.9	19.0	15.6	27.0	5.5	31.3	81.7
西都甲郵便局	19.0	6.7	9.8	5.5	15.4	2.7	14.3	52.8
佐藤守夫	20.0	7.1	13.3	4.7	14.8	4.7	17.8	63.0
河野勝美	19.2	7.4	14.8	7.1	30.2	6.4	22.8	74.9
井ノ口憲行	22.4	7.2	12.9	3.8	3.1	6.2	10.6	88.0

分析者 山下幸三郎、由佐悠紀、板井邦子

参 考 文 献

- 1) 大分地方気象台編：大分県の気象、西日本気象協会刊、1960
- 2) K. YAMASHITA, The Chemical Character of the Boiling Springs in the Beppu Hydrothermal Field, Special Contributions, Geophys. Inst., Kyoto University, No.5、17—24、1965.
- 3) 山下幸三郎：別府温泉の現況、温泉科学17、2、40~47、1967.

別府温泉の沈澱物（第Ⅲ報）

京大理学部 由 佐 悠 紀

1 ま え が き

近年開発の進んだ別府温泉山の手一帯の高温泉では、湧出管内に沈澱物が付着するため採湯上支障をきたしているものが少なくない。昨年まで筆者らは、別府南部地域でこのような沈澱物の種類や分布状態などを調査し、その析出原因を考察してきた^{1),2)}。南部地域でみられる沈澱物には、無定形シリカ、炭酸カルシウム、および鉄を主成分とするものの3種があり、採湯上特に障害となるのは炭酸カルシウム質のものである。この炭酸カルシウムの沈澱を起す主要因は送気や沸騰による温泉水からの炭酸ガスの逸散と考えられた。またこれを沈澱させている温泉水はカルサイトに関して過飽和状態で、しかも温度がほぼ60℃以上のものに限られ、たとえ過飽和状態にあっても60℃以下の温泉では炭酸カルシウム沈澱物の付着がみられないことは興味深い。この基礎事実から、炭酸カルシウムの付着防止策としては、温泉孔に水道水などの低温水を注入して60℃以下にまで泉温を下げることももっとも手軽で有効な手段であると考えられた。この方法を用いれば、同時に温泉水は希釈されるので、炭酸カルシウム飽和度も低下し、好都合である。現にいくつかのエアリフトポンプ揚湯泉では、このような対策を講じて効果をあげている。

以上は別府温泉南部地域で得られた結果であるが、従来から北部地域の沸騰泉や、近年開発された中部地域山の手高温泉などでも、沈澱物の付着することが知られている。もし別府温泉全体についての沈澱物の分布状態や温泉水との関係などの特徴が知られば、将来の温泉開発にあたって、沈澱物付着防止対策上有益であろうと思われる。

そこで今回は別府温泉全体を対象とし、昨年まで未調査のまま残されていた地域のほぼ全体について調査した。調査孔数は125孔で、その結果は本報告末尾に掲げた表2に示してある。採取された沈澱物についてはCu管球を用いたX線回折法によって種類を同定した。また調査の際に採水した90個の温泉水サンプルの化学分析結果と、これまで発表されている分析結果^{3),4)}を用いて、各温泉水のカルサイトに対する飽和度を求め、炭酸カルシウム沈澱物との関係を調べた。

2 沈澱物の種類と分布

2.1 亀川地区

この地区では40孔について調査した。うち21孔は自噴泉、4孔は吸上ポンプ揚湯泉、他の15孔はエアリフト泉である。動力揚湯泉のうちK-18とK-34の2孔は満潮時に自噴する。調査孔のうち明らかに沈澱物のみられるものは、K-8の1孔だけであった。この沈澱物は軟かい茶褐色の粘土様のもので、別府南部地域でみられたものとよく似ており、鉄を主成分としている。しかし湧出管の内壁に付着することはなく、貯湯槽の底に少量沈澱している程度で、採湯上さほどの障害にはなっていないようである。

2.2 照波園・北石垣地区

この地域は従来から知られているように高温泉が多く、温泉活動の比較的活発な地域である。調査孔数28孔のうち、自噴泉は2孔、沸騰泉は4孔で、他の22孔はすべてエアリフト泉である。別府南部地域では、沸騰泉や60℃以上の高温のエアリフト泉では、シリカまたは炭酸カルシウム沈澱物がみられるのが普通であったが、この地域ではあまり見られず、SK-7と28の2孔で、それぞれ淡黒褐色

と白色の沈澱物が採取された。白色のものは無定形シリカで、他は鉄を含有しているが、主成分はやはりシリカである。このうち、SK-7の温泉は現在86℃のエアリフト泉である。しかし数年前までは沸騰泉であり、採取された沈澱物は沸騰泉時に析出したものである。現在は沈澱物の付着はきわめて少ない様であった。

また昭和32年に、S-28近くの温泉で、ガラス状の黒色沈澱物が採取されたことがある。この沈澱物は湧出管の内壁に付着していたとのことであるが、X線回折の結果は、回折像のバックグラウンドが高く、鉄主成分と思われる。

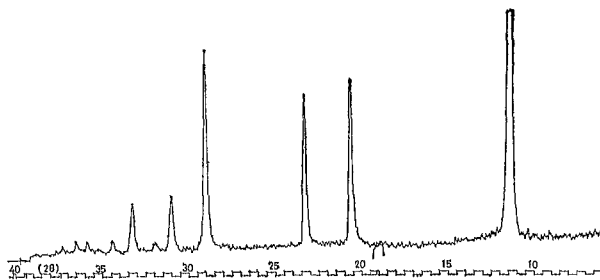
2.3 鉄輪地区

調査した25孔のうち、沸騰泉は11孔、噴気3孔、エアリフト泉10孔で、他の1孔は現在採湯を中止している。

沸騰泉とエアリフト泉21孔のうち9孔で沈澱物が採取された。このうち湧出管内に付着しているのはKN-13の1孔のみで、沈澱物はガラス状の黒褐色を呈し、照波園地区で昭和32年に採取されたものと外見もX線回折像もよく似ており、鉄主成分と思われる。付着量は比較的多量で、年に少なくとも1度は除去する必要がある。その他の温泉では湯があふれでて流れたタンク外壁や引湯管内、あるいは貯湯槽の底、またはいわゆる地獄の池の底に沈澱している。これらは白色や茶色を呈し、シリカを主成分としている。ただKN-20の沈澱物はX線回折像のバックグラウンドがとくに高く、鉄を主成分としているようである。

噴気3孔においては、ボーリング孔周辺の岩石表面や、コンクリートの上に白色の結晶物が見られた。そのX線回折像の1例を図1に示すが、図中のピークはいずれも石こうによるものである。

このように、鉄輪地区では、現在炭酸



カルシウム沈澱物はみられないようである。しかし、現在採湯を中止しているKN-6では、貯湯タンクの外壁に多量の白色沈澱物が残されている。温泉所有者によると、湧出管内にも同様の沈澱物が多量に付着し、管がすぐ詰まるので現在採湯を中止しているとのことであった。このタンク外壁の沈澱物はカルサイトである。

また、現在エアリフト揚湯をしているKN-17の温泉は、過去に採湯深度が深く沸騰泉であったときに、湧出管内に多量の白色沈澱物が付着したとのことである。そのサンプルを入手できたが、アラゴナイトであった。このように、この地区においても、温泉孔の場所や深度によっては、炭酸カルシウムが付着する可能性がある。

2.4 小倉・鶴見・新別府地区

沸騰泉9孔、エアリフト泉11孔の計20孔について調査した。山の手の6つの沸騰泉(OT1~6)では、湧出した温泉水が地面上を流れたあとや、引湯管内などに、白色(所により淡褐色を呈す)の沈澱物が堆積または付着している。これらはいずれも無定形シリカであった。この沸騰泉のうち5孔では湧出管内に白色の沈澱物が付着するとのことで、1孔(OT-2)でサンプルを採取できたが、X線回折の結果はカルサイトであった。

実相寺山から鉄輪に至る範囲の3つの沸騰泉(OT-14、16、17)では、湧出管内に比較的多量の

沈澱物が付着する。このうち2孔で、沈澱物を採取できたが、いずれもアラゴナイトであった。他の1孔の沈澱物も、おそらくアラゴナイトと思われる。

またエアリフト泉ではOT-7、8、15、20の4孔で湧出管内壁や送気管の周囲に沈澱物が付着していた。このうち、OT-15の沈澱物は、淡褐色を呈し、結晶形はアラゴナイトであったが、他のものは前述のものより色が濃く軟かで、鉄を主成分としている。

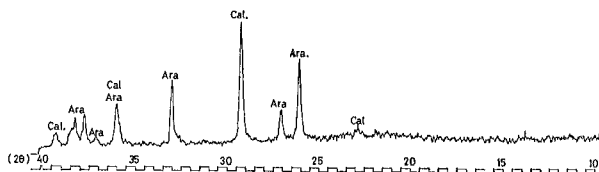
2.5 堀田・南立石地区

調査孔数は11孔、うち噴気2孔、沸騰泉2孔、残りの7孔はエアリフト泉ある。噴気のうちHM-9ではケーシング管の下端付近にカルサイトが付着している。また他の1孔(H.M-4と5)は過去に低温でエアリフト揚湯を行なったことがあり、また噴騰泉であったこともある。(表2中のHM-4・5の分析値は、それぞれ過去に分析された値である。)そのときには湧出管内に白色の沈澱物が付着したとのことであるが、おそらく炭酸カルシウム系の沈澱物であったと思われる。

2つの沸騰泉(HM-10、11)の湧出管内には、多量の白色沈澱物が付着する。HM-11の沈澱物のX線回折結果を図2に示すが、図中のCal.およびAra.はそれぞれカルサイトとアラゴナイトのピークである。HM-10のものも同様の回折像であり、いずれもカルサイトとアラゴナイトの混合物であることがわかる。別府温泉で見られる炭酸カルシウム沈澱物の中で、カルサイトとアラゴナイトの両方を含むものは、この2例だけであった。またこの2つの沸騰泉では、湯がタンクや管のすき間からあふれて流れたあとに無定形シリカが付着していた。

図2：HM-11の沈澱物のX線回折像

Cal：カルサイト、Ara：アラゴナイト



エアリフト泉では、数孔で茶色の沈澱物で送気管外壁に付着した痕跡が認められたが、その量はきわめて少ない。

2.6 柴石・血の池地獄

血の池地獄の池の底には、鉄や無定形シリカが沈澱していることはよく知られている。また柴石地区の1孔を調査したが、引湯管内部に多量の鉄主成分の沈澱が付着している。

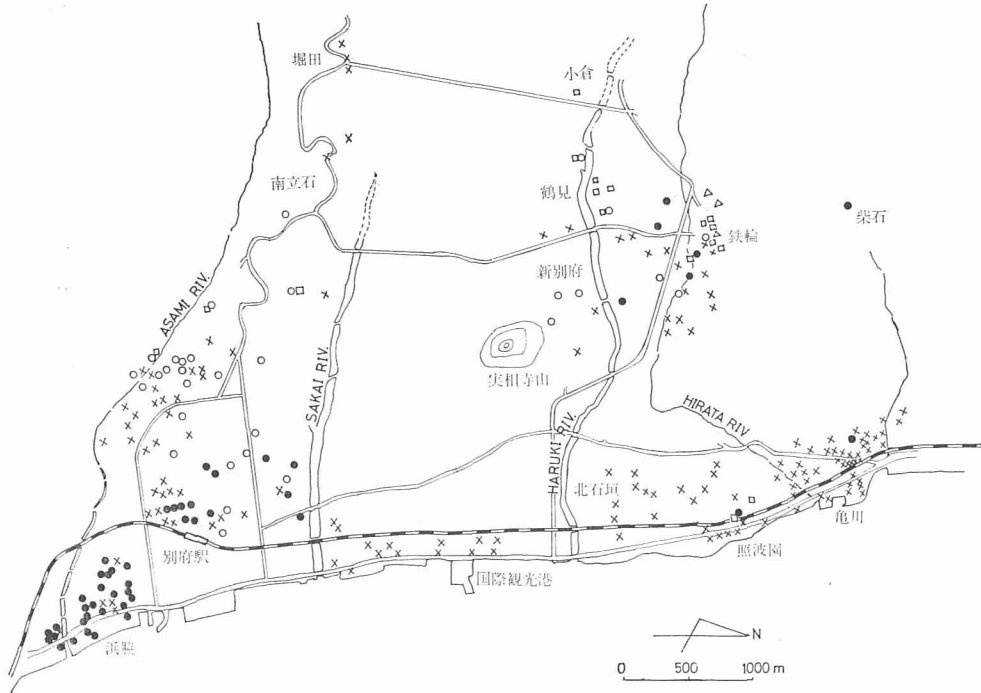
今回調査した各地区の沈澱物の概要は以上の通りである。これらのデータを基にし、また昨年まで行なわれた南部地域における調査結果もあわせて、図3に別府温泉の沈澱物分布を示す。図中には、鉄輪地区で、過去に炭酸カルシウムの付着した温泉孔も書き込んである。

シリカ沈澱物のみられる温泉はすべて沸騰泉である。したがって、このシリカ沈澱物の分布は、沸騰泉の分布とほぼ一致することはいうまでもない。前にも述べたように、この沈澱物は、湧出管内に付着することはなく、すべて湧出後の引湯管内壁や、湯の流れた地面上などに付着または堆積している。

温泉水採湯上もっとも障害となる炭酸カルシウム沈澱物は南部地域のうち、朝見川と境川には含まれた地帯の山の手一帯、および実相寺山麓から鶴見地区と鉄輪の一部を通して小倉に至る一帯の高温泉の湧出管内に付着している。

また、鉄主成分の沈澱物(シリカを含有していることが多い)は、別府駅付近から浜脇に代表される海岸部にかけての一帯、および鉄輪、柴石にみられ、亀川地区でもごくわずかではあるが沈澱している。なお、鉄輪と照波園でそれぞれ1つずつ見られた鉄を含む黒褐色の沈澱物は、前述のものとは形状、色、硬さなどの点で明らかに異なっているが、化学組織の点でどうかは今の所わからない。

図3：別府温泉の沈澱物分布、○：炭酸カルシウム ●：鉄成分、□：無定形シリカ、
△：石こう ×：沈澱なし



3 温泉水の炭酸カルシウム飽和指数

昨年までの調査により、炭酸カルシウム質沈澱物を析出付着させる温泉水はすべて、カルサイトに対して過飽和状態で、その飽和指数は1より大きく、また泉温は60℃以上のものに限定されることがわかった。このように、温泉水の飽和指数に代表される化学的性質および温度と炭酸カルシウム沈澱物の間には密接な関係のあることが認められる。このような関係は別府南部地域のみの特長であるのかあるいは少なくとも別府温泉全体について一般的なことなのかどうかを明らかにすることは、炭酸カルシウム沈澱物への対策の面からも重要と考えられる。

飽和指数Sは次式で与えられる。

$$S = \log(\text{Ca}^{2+})(\text{CO}_3^{2-}) - \log P \quad (1)$$

ここに (Ca^{2+}) および (CO_3^{2-}) はそれぞれ各イオンの活度で、Pは炭酸カルシウムの溶解積である。もし $S > 0$ ならば温泉水は炭酸カルシウムの過飽和状態にあり、沈澱物は析出する傾向にある。 $S = 0$ は飽和状態を示し、沈澱物はそれ以上溶けもしないし、析出もしない。 $S < 0$ ならば不飽和状態であり、もし炭酸カルシウムの固体を温泉水中に入れば、溶解する。

炭酸成分間には平衡状態が成立しているとして、 HCO_3^- および H^+ の濃度を用いて(1)式を書き換えると次式が得られる。

$$S = \log \left\{ [\text{Ca}^{2+}] \cdot K_2 \cdot \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} \frac{-2}{\bar{\gamma}} \right\} - \log P \quad (2)$$

ここに $[\text{Ca}^{2+}]$ 、 $[\text{HCO}_3^-]$ および $[\text{H}^+]$ はそれぞれ各イオンのモル濃度 (mol/l)、 K_2 は炭酸の二次解離恒数、 $\bar{\gamma}$ は Ca^{2+} と HCO_3^- の平均活度係数である。

各温泉水の飽和指数Sは(2)式によって計算する。計算に必要なPと K_2 の値は表1に掲げた値を各温泉水の湧出温度にまで内挿して求めた。ただし、表中のPはカルサイトに対する値であり、一方

別府温泉でみられる炭酸カルシウムは前述したようにほとんどがアラゴナイトである。したがって温泉水の飽和指数を論ずるには、溶解積としてカルサイトだけでなく、アラゴナイトに対する値を用いた計算も必要である。しかし筆者の知る限り、100℃に達するような高温でのアラゴナイトの溶解積はまだ発表されていないようである。これまで発表されている低温での値をみると、たとえば海水の場合、⁷⁾アラゴナイトの溶解積の値は0℃と40℃でそれぞれカルサイトの値の1.58倍および1.78倍と計算され、アラゴナイトに対する値の方がわずかに大きい、それほど違わない。100℃の高温でも、この程度の違いと仮定すれば、本報告のように、常用対数を用いて表わしたアラゴナイトに関する飽和指数はカルサイトに対する値より、0.2から0.3程度小さくなるであろう。後に述べるように炭酸カルシウム沈澱物が析出している温泉水のカルサイト飽和指数はほとんどすべて1より大きいから、アラゴナイトに対しても過飽和状態にあることは確かであろう。

つぎに平均活度係数 $\bar{\gamma}$ は100℃から250℃の温度範囲で、NaClとCa(HCO₃)₂のみの溶液中の値が⁸⁾Ellisにより温度をパラメーターとしたイオン強度の平方根($\sqrt{\mu}$)の函数としてグラフ化されている。これを逆に $\sqrt{\mu}$ をパラメーターとした温泉の函数として書きなおすと、近似的に図4のように直線群として表わされるので、この値を100℃以下にまで外挿した値を用いた。図中の○印がEllisのグラフから読み取った値である。イオン強度 μ はNaCl+3Ca(HCO₃)₂(mol/l)で与えられるが、温泉水中のNa⁺とCl⁻、およびCa²⁺とHCO₃⁻は必ずしも等当量関係にはないので普通である。そこで実際の計算では $\mu = [Cl^-] + \frac{3}{2}[HCO_3^-]$ (mol/l)を近似的にイオン強度として用いた。別府温泉の温泉水中には上記イオンの他に主要成分としてK⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻などが含まれているが、その濃度はNa⁺やCl⁻濃度に比べて小さいので、無視した。

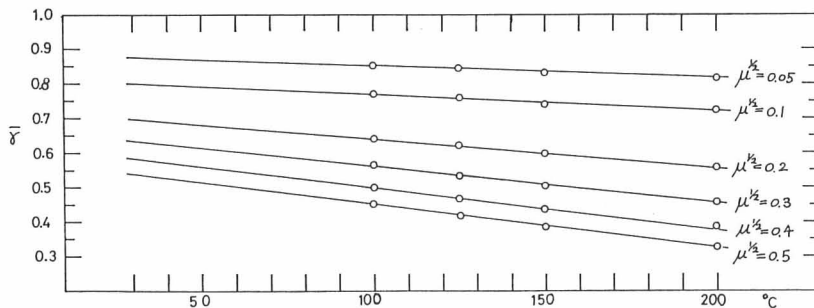
上記の数値と、各温泉水の化学成分濃度を(2)式に適用して得られた飽和指数は末尾の表2中に示してある。

表1：カルサイトの溶解積⁵⁾Pと炭酸の解離恒数⁶⁾

温度 (°C)	15	25	50	75	100
P×10 ¹⁰ (mol/l) ²		58	19	7.2	3.4
K ₁ ×10 ⁷ (mol/l)	3.8				7.4
K ₂ ×10 ¹¹ (mol/l)	3.5	4.3	6.6	9.4	13

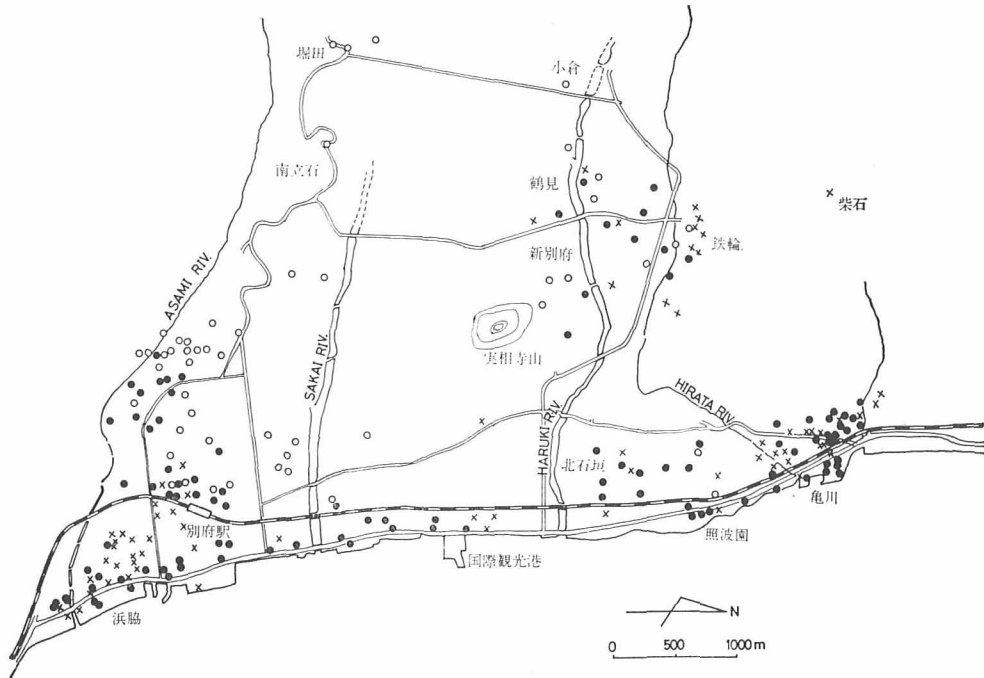
注：K₁、K₂はそれぞれ、一次および二次解離恒数。K₂は $\log K_2 = 1.95 \log K_1 + 2.06$ からの計算値。ただし、K₁はSmithの表とグラフに基き、⁶⁾温度と直線関係にあると仮定された。

図4：平均活度係数 $\bar{\gamma}$ とイオン強度および温度との関係。○はEllisのグラフによる。



このようにして得られた飽和指数Sの地域的分布が図5である。図中には昨年得られた南部地域の温泉水の値も書き込んである。○印はS≥1.00、●印は0≤S<1.00、×印はS<0を表わす。

図5：カルサイト飽和指数Sの分布 ○： $S \geq 1.00$ 、●： $0 \leq S < 1.00$ 、×： $S < 0$



これを図3の沈澱物分布と比較してみると、今回の調査域においても、別府南部地域と同様に炭酸カルシウム沈澱物のみられる地域のSの値は1より大きい傾向がある。しかし堀田・南立石地区や照波園の2孔にみられるように、その逆はかならずしも成立していない。炭酸カルシウムが析出付着するか否かの判定は、温泉水の飽和指数Sの値によって大体の目安は立てられるが、これだけでは決定されず、やはり他の化学成分や、泉温、あるいは湧出状態などの効果が複雑にからみ合っていると思われる。

4 湧出管中の炭酸カルシウム析出物と泉温および飽和指数との関係

2) 昨年の報告で述べたように、別府南部地域では、炭酸カルシウム沈澱物と泉温との間に相関のあることが認められた。そこで今回の調査域の温泉水についても、同様に縦軸にSの値、横軸に泉温をとって、各温泉水の値をプロットした。その結果を図6に示す。図中の○印は炭酸カルシウム沈澱物の付着していたもので、●印はこれのみられなかったものである。また△印は沈澱物が湧出管内に付着しているが採取できず、どのような種類のものか同定できなかったものである。しかし温泉所有者の話しや、温泉水の性質あるいは地域的な特徴などから推して、おそらく炭酸カルシウム沈澱物が付着しているものと考えられる。

図中に飽和指数1と泉温60℃の線を点線で示したが、炭酸カルシウム沈澱物の付着しているもの、および付着していると予想されるものは、ほとんど飽和指数1以上、泉温がほぼ60℃以上のものに限られる傾向が認められる。この傾向は、別府温泉南部地域においても明らかであり、別府温泉の炭酸カルシウム沈澱物に関する一般則のように思われる。

しかし、たとえ温泉水が飽和指数1以上でも、泉湯が60℃より低いと炭酸カルシウムが付着しないということは、60℃以上の高温泉で数例を除いてほとんどアラゴナイトのみが付着しているという事実も合わせて、興味深いことである。これらに対する解答はまだ得られていない。しかし、炭酸カルシウム沈澱物の析出に関する北野の一連の室内実験⁹⁾や、各地の温泉地で炭酸カルシウムが付着している場所の特徴などに、この解答を得る手がかりがかかっているように思われる。

北野の実験によると、⁹⁾重炭酸カルシウムのみの溶液から、いろいろな温度で炭酸カルシウムを析出させると、ほぼ20°C以下ではカルサイトのみが析出し、それより高温ではアラゴナイトやバテライトも析出するようになり、およそ60°Cを越えた温度では、沈澱物の大部分はアラゴナイトで占められるようになる（バテライトは室内実験で得られたが、自然界ではまだみつかっていない。）また、この溶液に炭酸ガスを吹き込みながら析出させると、70°Cを超えたあたりで、カルサイトに対するアラゴナイトの組成比が温度の上昇と共に急速に大きくなり、80°Cを越すと大部分はアラゴナイトで占められるようになる。

溶液中に NaCl と MgCl₂ が含まれている場合には、20°C以下ではカルサイトのみが生じ、およそ40°Cを越えるとアラゴナイトの割合がカルサイトより大きくなる。この場合にも100°Cの高温においてカルサイトが析出するが、その割合は小さい。ところが、これに炭酸ガスを通しながら析出させた場合には、高温でもカルサイトのみが析出する。

このように重炭酸カルシウム溶液から析出する炭酸カルシウムの結晶形は溶液中の塩分濃度、温度、あるいは析出条件（炭酸ガスを通じるかどうかなどの）によって種々の形をとることが明らかにされた。この一連の実験結果を総合してみると、アラゴナイトはカルサイトに比べ、析出温度が高く、もしアラゴナイトの方がカルサイトより多く析出するとすれば、およそ40~60°C以上の温度範囲においてであるという結論に倒達する。

別府温泉でみられる湧出管内の炭酸カルシウムのほとんどはアラゴナイトで、それもほぼ60°C以上の高温泉にしか析出付着していないという特長は、北野による実験から導かれる結果とかなりよく一致しているように思われる。

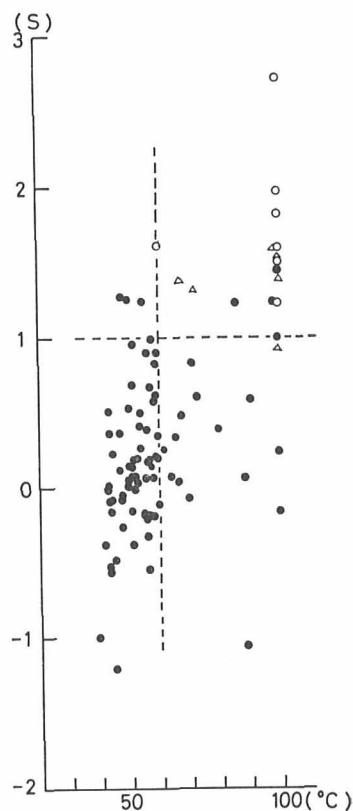
しかし、北野の実験では前述のアラゴナイト析出の温度範囲においてもカルサイトが若干は析出しているのに、別府温泉のアラゴナイト中にはカルサイトは含有されていないのが普通である。また60°C以下の過飽和温泉水からは、カルサイトが析出して当然と思われるのに、湧出管内ではまったく認められない。このような事実から推定されることは、

- ①カルサイトは湧出管内では析出していない
 - ②析出しているが、管壁には付着しにくい
- という2つのことである。

このいずれであるか、これまでの調査では確かめられていないが、一昨年¹⁾の報告で述べたように、比較的低温（55°C）の温泉で、引湯管のさげ目から湯が漏れてた所に（つまり湯がゆっくりと流れた所に）カルサイトが付着していた。また同報告の泉源Fでは、貯湯タンク内の湯の表面に半透明の白色浮游物があり、これは引湯管壁などに付着することなく流れ去ることを観察した。この浮游物がどのような物質であるのかは確かめていないが、温泉水から析出したものであることは明らかである。現在この泉源では炭酸カルシウムはみられない。しかし過去に、より深層の高温水を採用していたときにはアラゴナイトが湧出管に付着していた。このことと、沈澱物付着のない現在でも温泉水の飽和指数は1.37と過飽和状態にあることから、上記の浮游物はやはり炭酸カルシウム質のものと考えられ、その形状からしてカルサイトと思われる。

図6：泉温と飽和指数Sの関係

- ：炭酸カルシウム沈澱物あり
- ：　　　　　　　　　　　　　なし
- △：炭酸カルシウム沈澱物があると
思われるもの



同じく、一昨年¹⁾の報告中の泉源H、および今回の調査域中の鉄輪 KN-6 では、貯湯槽から湯があふれて流れたあとにカルサイトが付着していた。さらに北海道二股温泉では、温泉水が静かに流れている所にカルサイトが沈積しやすい傾向のあることを北野が報告している。

以上の事実をみると、カルサイトは温泉水の流れが静かな所に付着するが、流れが激しかったり、かくはんされているような条件のもとでは、アラゴナイトに比べて周囲の壁に付着しにくい性質をもっているように思われる。

別府温泉の炭酸カルシウム過飽和状態になる温泉はほとんどすべてが沸騰泉かエアリフト泉であるから、たとえカルサイトが析出しているとしても、温泉水は激しくかくはんされている状態にあるので管壁に付着しにくいのではあるまいか。

しかし他方、今回の調査域において、南立石地区の噴気 (HM-9) ではケーシング管の下端近くのストレーナー附近にカルサイトが付着しており、同じ地区の沸騰泉 (HM-10, 11) では図2のX線回折像に示したようにアラゴナイトとカルサイトの混合物が湧出管内に付着している。また鶴見地区の沸騰泉 (OT-2) では湧出管内にカルサイトのみが付着していた。

このように 100℃に達し、あるいはこれを越えるような高温条件下でもカルサイトが析出し付着することもある。HM-10とOT-2の温泉水は Cl⁻ をそれぞれ 1208mg/l および 2211mg/l 含んでいるように、比較的濃い NaCl 溶液となっているから、カルサイトの析出という点だけからすると、北野の実験とは抵触しないようである。しかし、湧出管内に付着しているということは、カルサイトは温泉水がかくはんされている所には付着しにくいであろうという、これまでの推察とは相容れないようにみえる。このカルサイトの付着の問題はさらに将来明らかにしなければならないであろう。

5 鉄輪地区でみられる石こう

2節で述べたように、鉄輪地区の3つの噴気ボーリング孔周辺では、噴気ガスと接触しているコンクリートや岩石の表面に白色結晶物が少量ではあるが析出している。これらは図1のX線回折像に示したようにいずれも石こうであった。この石こうは噴気ガスによって地下深くから運びあげられたものとはどうも考えられず、地表で生成されたものに違いない。噴気ガスを水道水などに吹き込んで得られる温湯は硫酸酸性を示すことが多いので、噴気ガス中に H₂S などの成分が含有されていることがわかる。これが雨水などと出会い、硫酸酸性の水となってコンクリートや岩石に付着すると、Ca成分が溶かし出され、Ca²⁺ と SO₄²⁻ を含む溶液となることは容易に想像される。おそらくこのような溶液が蒸発濃縮されて、石こうが析出したのであろう。自然噴気地帯では、噴気孔周辺や地面上にこのような石こうと思われる白色結晶物がみられることがあるが、その成因もまた、おそらく前述のようなことと考えられる。

6 むすび

近年の温泉水需要量の増加は、温泉掘削技術の進歩とあいまって、これまで採湯が困難とされていた地下深い温泉水層や山岳部地下の熱水層の開発を促がすこととなった。それにつれ、古来の自噴による採湯方法に加えて、あらたに沸騰による採湯法や、エアリフトポンプなどの動力を用いた揚湯技術が導入され、一つの温泉地における温泉水採取可能域は拡大し、また採湯量も増加した。しかし、その反面、当然予想されるように、これまで利用されていた温泉水層の水圧は低下することが多く、その結果温泉水層に浅層の低温地下水が混入して湧出温度が低下したり、あるいは自噴の停止や湧出量の減少というような、いわゆる温泉の枯渇現象がみられるようになった。この事態を打開するため自噴地帯においても、しだいに、より深い井戸を掘削して地下深くからエアリフトなどの方法によって採湯せざるを得なくなっている。このような傾向は全国各地の温泉地で、程度の差こそあれ起っており、別府温泉もその例外ではない。たとえば別府旧市内や照波園などの旧来の自噴域では、温泉の

開発が進み、動力揚湯泉や沸騰泉が増すにつれて、自噴が停止したり、湧出温泉の低下したものが多く、しだいに井戸深の深い動力揚湯泉が増加している。

このように、従来の自噴による採湯方法は、沸騰や動力による採湯方法にとってかわられつつある。動力揚湯法としては、とくにエアリフト法が盛んであるから、これらの新しい採湯法は、温泉水を液体と気体の混合流体として湧出させるという点で自噴による方法とは根本的に大きく異なる。

このような採湯方法の変化にともない、湧出管壁に沈澱物（いわゆるスケール）が付着し、管が閉塞されるという、採湯きわめて不都合な現象がみられるようになり、その対策が強く望まれているのは周知のことである。

この点にかんがみ、筆者らは一昨年から、別府温泉の沈澱物の調査を行なってきたが、現時点でとくに採湯上障害となっているスケールは炭酸カルシウムであることがわかった。その析出主要因は、沸騰や、エアリフトの際の送気によって、温泉水中の炭酸ガスが気相へと逃げ出し、そのために温泉水が炭酸カルシウムの過飽和液になるということである。したがって現在のような採湯方法を用いる限り、この炭酸カルシウム質スケールの析出付着という、きわめて不都合な現象は避けられないことのように思われる。

もちろん、その対策は考えられないことではない。たとえば、これまで述べてきたように、温泉水からの炭酸ガスの逸散を何らかの方法によって抑制したり、逆に温泉水中へと炭酸ガスを吹き込むというようなことも考えられるであろう。あるいは、炭酸カルシウムの付着している温泉水の泉温は60℃以上のものに限られるという特徴を利用して、いたずらに深層の高温水を探ることは止めて、もっと浅層の60℃以下の低温水を探取するとか、温泉孔中に水道水などを注入して60℃以下にまで湧出温度を低下させて揚湯するというような方法もあろう。とくに後者の方法は、現にエアリフト揚湯を行っている温泉では、手軽で効果のあがる方法と思われる。

また、炭酸カルシウムほどひどくはないが、田の湯一帯などでみられる鉄主成分のスケール（多分にシリカを含有する）も採湯上の障害となっている。このスケールも、従来自噴していた頃にはあまりみられなかったことから推して、やはりエアリフトによる送気が析出付着の一因をなしている可能性がある。

さて、将来、炭酸カルシウムに代表されるような湧出管壁に付着するスケールの問題は、前記のような方法の採用や、適当な除去法（たとえば薬液などによる）の開発により解決されるものとしよう。そのあかつきには、温泉水需要量のよりいっそうの増加にともなって、さらに高温で化学成分の濃い温泉が多量に採取されるようになるであろう。しかし、それとともに、温泉水圧の低下はますます進行し、揚湯はかえって困難になるおそれがあるし、温泉の枯渇現象も進むことになるだろう。そうなれば別府温泉においても、山の手の高温泉を引湯して利用するとか、他の温泉地におけるように集中管理して配湯するというような構想が推進されるようになると思われる。このような温泉利用法は、温泉保護の観点からも、早晩採用されるべきものであろう。

そのような時期には、現在の掘削技術、揚湯技術に加えて、引湯・配湯の際の熱量保存の問題とともに、引湯管内のシリカを主成分とするスケールの問題が重要課題として浮かびあがってくるに違いない。

これまでの調査から明らかなように、山の手の沸騰泉では、湧出後に湯の流れた地面上や引湯管内に無定形シリカ沈澱物がみられた。このシリカ沈澱物の析出因は、その溶解度が温度の低下とともに小さくなることである。現時点では、これら沸騰泉からの引湯距離はあまり長くないので、温泉水の温度はそれほど低下せず、したがってシリカの析出量もさほど多くはない。しかし、将来、集中管理などにより、引湯距離が長くなれば、引湯途中で、温度はかなり低下するだろうし、それにつれて多量のシリカが析出することが予想される。したがって、将来の温泉利用計画をたてるにあたってはこのシリカ質スケールへの対策を十分に考慮する必要がある。

終わりにあたり、御指導御激励をいただいた京大地球物理学研究施設吉川博士に厚く感謝の意を表します。

表 2：温泉沈澱物の調査結果と飽和指数

亀川地区

番号	沈澱物の種類	泉温 (°C)	pH	Ca ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	飽和指数 S	備考
K-1	なし	43.2	6.59	42.5	306	245	-0.52	自噴
2	〃	43.5	6.70	33.8	263	177	-0.56	〃
3	〃	57.2	7.00	58.2	214	525	0.15	エアリフト
4	〃	47.2	7.21	24.4	272	159	-0.07	〃
5	〃	61.3	7.00	55.7	227	488	0.26	自噴
6	〃	51.2	7.27	29.4	304	209	0.19	エアリフト
7	〃	67.8	6.88	94.9	231	791	0.47	自噴
8	鉄主成分	70.0	6.31	99.4	206	823	-0.07	〃
9	なし	50.0	7.22	30.2	259	227	0.06	〃
10	〃	57.0	7.25	42.2	164	385	0.19	エアリフト
11	〃	55.5	7.45	26.4	129	328	0.07	〃
12	〃	43.2	8.35	20.6	115	258	0.51	自噴
13	〃	49.8	7.37	28.6	175	285	0.01	エアリフト
14	〃	56.5	6.75	24.4	162	284	-0.54	自噴
15	〃	56.0	6.92	29.8	154	291	-0.32	〃
16	〃	54.0	7.21	38.2	284	293	0.27	〃
17	〃	47.0	7.62	38.8	198	302	0.37	〃
18	〃	56.8	7.05	29.2	159	326	-0.18	吸上ポンプ
19	〃	58.0	7.10	39.6	174	394	0.07	〃
20	〃	59.8	7.42	35.6	154	362	0.35	自噴
21	〃	51.2	7.10	25.2	136	298	-0.38	〃
22	〃	58.0	7.00	27.7	168	261	-0.18	〃
23	〃	50.8	7.10	34.4	171	284	-0.15	エアリフト
24	〃	59.8	7.91	37.9	173	374	0.90	〃
25	〃	57.0	6.79	88.9	265	833	0.18	自噴
26	〃	59.0	6.74	98.4	270	899	0.21	〃
27	〃	64.0	6.43	125.8	247	1,032	0.08	〃
28	〃	65.5	6.59	132.6	270	1,140	0.33	〃
29	〃	59.8	7.04	27.2	168	279	-0.11	〃
30	〃	58.6	7.66	35.0	180	272	0.62	エアリフト
31	〃	55.7	6.96	31.0	178	243	-0.20	吸上ポンプ
32	〃	52.0	7.33	32.4	172	295	0.08	エアリフト
33	〃	51.0	7.47	27.6	180	247	0.14	〃
34	〃	59.7	7.33	28.2	178	361	0.20	〃
35	〃	55.0	7.06	28.6	173	335	-0.17	自噴
36	〃	52.0	7.26	36.0	152	373	-0.01	〃
37	〃	51.0	7.33	33.9	171	251	0.08	エアリフト
38	〃	47.5	7.17	28.6	163	216	-0.26	〃
39	〃	45.0	7.21	34.4	156	202	-1.20	〃
40	〃	47.9	6.98	32.6	157	207	-0.40	吸上ポンプ

照波園・北石垣地区

番 号	沈澱物の種類	泉 温 (°C)	pH	Ca ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	飽和指数 S	備 考
SK-1	なし	43.5	7.48	30.0	135	198	-0.09	エアリフト
〃 2	〃	45.2	6.90	38.2	156	203	-0.48	〃
〃 3	〃	43.2	7.52	33.0	154	203	0.02	〃
〃 4	〃	66.2	6.79	42.6	247	658	0.04	自 噴
〃 5*	〃	90.5					0.59	〃
〃 6	〃	100	4.20	33.0	4.3	1,284	-3.84	沸 騰 泉
〃 7	シリカ含有	86	8.18	12.4	179	445	1.23	エアリフト
〃 8	不明							
〃 9*	なし	88.5					-1.05	エアリフト
〃 10*	〃	88.5					0.06	〃
〃 11	〃	50.0	7.43	33.4	178	331	0.15	〃
〃 12	〃	53.5	7.50	53.2	178	949	0.41	〃
〃 13*	〃	80.0					0.39	〃
〃 14	〃	53.0	7.40	31.0	145	522	0.03	〃
〃 15	〃	100	8.20	14.8	55.7	767	1.00	沸 騰 泉
〃 16*	〃	100					0.24	〃
〃 17	〃							エアリフト
〃 18	〃	73.0	7.60	39.0	117	1,159	0.61	〃
〃 19	〃	50.0	7.85	30.2	205	500	0.53	〃
〃 20	〃	45.0	7.52	57.0	174	1,132	0.23	〃
〃 21*	〃	42.0	7.15				-0.38	〃
〃 22*	〃	44.0	8.1				-0.08	〃
〃 23	〃	47.0	7.35	53.6	188	1,026	0.12	〃
〃 24	〃	43.5	7.75	45.8	183	847	0.36	〃
〃 25	〃	50.0	7.59	55.8	228	1,143	0.52	〃
〃 26	〃	54.0	7.56	42.0	254	1,229	0.50	〃
〃 27	〃	47.5	7.41	48.0	107	677	-0.05	〃
〃 28	シリカ	100						沸 騰 泉

鉄 輪 地 区

番 号	沈澱物の種類	泉 温 (°C)	pH	Ca ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	飽和指数 S	備 考
KN-1	石こう							噴 気
〃 2	〃							〃
〃 3	シリカ	100	8.10	46.4	58.6	499	1.46	沸 騰 泉
〃 4	〃	〃	3.65	29.4	0	1,207		〃
〃 5	石こう							噴 気
〃 6	カルサイト							
〃 7	シリカ	100	8.08	27.0	62.5	486	1.24	沸 騰 泉
〃 8	〃	〃						〃
〃 9	〃	〃						〃
〃 10	〃	〃	4.42	69.6	8.5	2,382	-3.09	〃
〃 11	不明	〃	3.41	40.8	0	2,338		〃
〃 12	〃	〃	3.65	24.4	0	1,941		〃
〃 13	鉄主成分	〃						〃
〃 14*	不明	〃					-0.16	〃
〃 15	なし	58.0	7.58	265.6	79.6	637	0.99	エアリフト
〃 16	シリカ	100	3.22	24.4	0	2,413		沸 騰 泉

〃	17	なし	53	7.56	52.6	82.5	443	0.20	エアリフト、(過去アラゴナイト)
〃	18	〃	44	6.90	53.2	24.3	105	-0.16	エアリフト
〃	19*	〃	55.0					-0.17	〃
〃	20	鉄主成分							〃
〃	21*	なし	56.0					0.39	〃
〃	22	〃							〃
〃	23	〃							〃
〃	24	〃							〃
〃	25	〃							〃

小倉、鶴見、新別府地区

番号	沈澱物の種類	泉温(°C)	pH	Ca ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	飽和指数S	備考
OT-1	シリカ	100	8.29	3.3	808	7.7	1.60	沸騰泉、(管内に沈澱あり)
〃 2	シリカ、カルサイト	〃	8.51	46.0	51.3	2,211	1.60	〃
〃 3	シリカ	〃	8.08	41.2	32.2	2,025	0.93	〃
〃 4	〃	〃	4.75	35.8	8.8	2,042	-3.02	沸騰泉
〃 5	〃	〃	8.19	47.2	58.4	1,775	1.39	〃 (管内に沈澱あり)
〃 6	〃	〃	8.45	40.6	47.3	1,702	1.50	〃 (〃)
〃 7	鉄主成分	71.0	7.33	45.7	250	126	0.83	エアリフト
〃 8	〃	59.0	7.31	63.8	345	42.0	0.83	〃
〃 9*	なし	64.5	7.19				-2.70	〃
〃 10†	〃	57.0	7.84				0.67	〃
〃 11	〃	39.5	6.65	40.7	106	27.3	-1.00	〃
〃 12	〃	58.2	7.42	40.0	233	7.7	0.58	〃
〃 13	〃	56.3	7.17	92.8	440	11.9	0.90	〃
〃 14	アラゴナイト	100	9.24	33.2	134	896	2.73	噴騰泉
〃 15	〃	60.0	8.57	12.7	642	159	1.61	エアリフト
〃 16	〃	100	8.61	59.6	56.4	1,034	1.97	噴騰泉
〃 17	〃	100	8.81	40.4	81.2	928	1.23	〃
〃 18	鉄主成分	42.9	7.26	46.6	178	65.1	-0.02	エアリフト
〃 19*	なし	51.5	8.3				0.96	〃
〃 20	なし	51.2	7.85	17.0	458	200	0.69	〃

堀田、南立石地区

番号	沈澱物の種類	泉温(°C)	pH	Ca ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	飽和指数S	備考
HM-1	なし							エアリフト
〃 2	〃	55.0	8.09	28.4	410	77.0	1.24	〃
〃 3	不明	67.0	7.93	31.8	393	59.5	1.38	〃
〃 4*	不明	72.0					1.32	湧出管内に沈澱物あった模様
〃 5*	不明	(100)					1.52	
〃 6	なし							
〃 7	〃							
〃 8	〃	50	7.46	87.8	979	42.7	1.26	エアリフト
〃 9	カルサイト							噴気
〃 10	カルサイト	100	8.86	13.2	106	1,208	1.82	沸騰泉
〃 11	アラゴナイト							〃
〃 12*	なし	48.0					1.27	エアリフト
柴石地区	鉄主成分	67.2	2.66	29.4	0	451		自噴

注：*印は参考文献3および4による。

HM-4、5は現在噴気。分析値はそれぞれ昭和39年および43年当時の値を用いた。

参 考 文 献

- 1) 吉川、由佐：大分県温泉調査研究会報告19号、 pp.45~59、1968
- 2) 由佐：同上20号、 pp.43~52、1969
- 3) 吉川、志賀：同上17号、 pp.5~11、1966
- 4) 大分県衛生研究所、九州大学温泉治療学研究所：同上 13~20号別冊（温泉分析書）
- 5) Ellis, A. J. : Am. Jour. Sci. Vol. 257、pp.354~365、1959
- 6) Smith, F. G. : Physical Geochemistry, P.250、345、1963
- 7) Li, Y., T. Tahahashi and W. S. Broecker: Jour. Geophys. Research, Vol. 74, No, 3
pp.5507~5525、1969
- 8) Ellis, A. J. : Am. Jour. Sci. Vol 261、pp.259~267、1963
- 9) 北野：温泉工学会誌、Vol.2、No.2、pp.99~103、1964

湯布院温泉における揚水試験（第1報）

京大理学部 由 佐 悠 紀
川 村 政 和

1 緒言

湯布院温泉は大分県内の温泉群中、別府温泉につぐ規模を持ち、湧出量の豊富な自然湧出の温泉や掘さくによる自噴泉が数多く存在する。まだ久大線が開通してない大正11年に依田によって最初の学術調査が行なわれたが、そのころには、これらの温泉は入浴のほか灌漑に利用されることが多かったようである。その後およそ30年を経た昭和25年に山下により泉温、湧出量の測定や、温泉の相互影響調査などが行なわれた。この当時は、現在に比べ温泉需要量はそれほど大きくなく、新しく温泉井を掘さくするというようなこともあまりなかったようである。しかし、昭和34年に国民保養温泉として指定され、また九州横断道路の開通により、この地を訪ずれる観光保養客などが増すにつれて、とくに入浴面での温泉需要量は急速に増大してきた。このことは当然、温泉の新規掘さくとか、増堀という傾向をうながすことになり、それにともなって従来からの温泉湧出状態が悪化する傾向があらわれはじめた。

この現況と、過去に比べての変化状態を把握し、将来の温泉開発に対する保護対策の資料を得るために、昭和42年佐藤らによって現況調査が行なわれ、昭和25年の山下の調査結果と比較された。

それによると活動孔数は昭和25年201孔あったものが、昭和42年には309孔へと108孔増加しているのに対し、1孔あたりの平均湧出量は 45.93 l/min から 29.86 l/min （自噴泉のみ）へと逆に減少し総湧出量はほとんど変わっていない。また自然湧出の温泉は66孔から37孔へと半減している。さらに数年前から、従来の自噴地帯で、エアリフトなどの動力による揚湯泉があらわれはじめた。

これらの諸現象を総合すると、新規掘さくが、採湯総量の増加をもたらししているとは云えず、かえって昭和25年当時に比べて、温泉水圧の低下が進んでいることは確かである。

山下によって行なわれた別府温泉における一連の揚水試験の結果、自噴井群中に新しく井戸を掘った場合、新温泉の湧出は井戸密集度が大きいほど、その自噴泉群全体からの湧出量の増加をもたらず、既存の個々の井戸からの湧出量の減少によって補給されていることが明らかになった。

湯布院温泉における前述の状態は、山下による調査結果と合致し、将来の新規掘さくによる湯布院温泉全体からの湧出量の増加は、それほど期待できにくいように思われる。

しかし、現在なお温泉の新規掘さくは進行しつつあり、活動孔は現在以上に増すであろう。そのため、上記のような温泉水圧の低下と、それによる1孔あたりからの湧出量の減少という傾向がますます進むであろうことは、他の温泉地の例を待つまでもなく明らかなことと思われる。

このような点から、将来の温泉開発と、温泉資源の保護計画の基礎資料を得るため、揚水試験を行なうことになり、今回その手ははじめとして、湯布院町の要望により川南地区において調査を行なった

2 揚水試験の結果

調査は図1に示すように、湯布院駅から南の石松地区におよぶ一帯の9個所で行なった。この地域では、従来とくに大分川沿いの一帯で自然湧出の温泉が数多くみられ、現在その数は減少しているがなお温泉水圧は高く、ほとんどの温泉は自噴泉で、湧出量も比較的多い。図1中の調査番号6、7、8などの山の手一帯には、近年新しく開発された沸騰泉や高温で湧出量の多い自噴泉があり、中には 201 l/min を越えるものもある。沸騰泉では、別府温泉におけると同様に、湧出管中などに炭酸カル

シウム質スケールが多量に付着しており、採湯上の障害となっている。

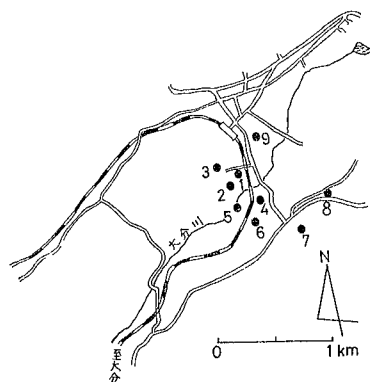
さて、揚湯試験にあたっては、これまで山下らにより別府温泉で行なわれてきた方法を踏襲し、ある泉源で過剰揚湯をしたり、あるいは湧出を抑制または停止させて、これからほぼ 100m 以内の距離にある周囲温泉の湧出量や水位にどのような変化があらわれるかを測定した。その観測資料は本報告末尾の表に掲げてある。

調査は温泉利用にさしさわりのない午前9時頃から午後16～17時頃までの間に行なった。この地域のポンプ揚湯井数は少なく、調査域内や近くにポンプ揚湯井がある場合は、できるだけ調査時間中に揚湯しないように協力を求めたので、他泉源の不定期揚湯による影響はないと考えてよい。ただ調査番号9の近くでは、理髪業務用にポンプ揚湯をしている所があり、後に述べるようにこの不定期揚湯による影響があらわれているようである。

もちろんこの地域では潮汐による影響はない。また揚水試験前日の予備調査では、ほとんどの泉源であきらかな日変化は認められなかった。もし日変化があるとしても、測定精度以下の量と思われる。ただ、いくつかの泉源で、時間とともに一方的に湧出量が増加したり、減少することが観測された。湧出量減少の顕著なもの、調査番号7の野上氏所有泉であるが、これは湧出管内の炭酸カルシウム付着量が大きく、時間とともに湧出口径が狭められるためであり、スケールを除去すると湧出量は増加する⁹⁾。

山下は湯布院温泉で、温泉水位に気圧影響のあらわれることを観測しているが、今回の調査では、調査時間が短いせいもあって、この効果は不明である。

図1：調査温泉分布、1：木下氏温泉、
2：三重野氏温泉、3：志手(静)氏温泉、4：富永氏温泉、5：秋吉氏温泉、6：井上氏温泉、7：小財氏温泉、8：湯布院町有泉、9：川崎氏温泉



i) 木下氏温泉揚湯試験 (図1、No.1、図2)

木下氏温泉は平常毎分約10ℓほど湧出する自噴泉であるがエアリフトにより過剰揚湯をはかり、約35ℓ/min増量した。観測井として、自噴泉6孔、エアリフト泉2孔の計8孔を選び、湧出量の変化、またはエアリフト泉では揚湯を停止して水位の昇降を測定した。その結果は図2に示されるように、間部、原、阿部、佐藤各氏の4つの自噴泉と山本氏のエアリフト泉の水位に影響が認められた。山先氏所有泉にも、前者と比べると不明瞭ではあるが、やはり影響があらわれているようである。揚水井は深度約200m で明瞭な影響のあらわれている4つの自噴泉は100～200mとこの地域では比較的高深度の温泉である。それに対し、二村、山先の2孔はいずれも70m程の深さで、前4孔より浅く、湧出温度もまた若干低いようである。温泉水の化学組成は調べてないが、おそらく帯水層が別であると思われる。しかし、山先氏温泉や、深度約

45mの山本氏所有泉にも影響があらわれていることからして、これら上下の帯水層ははっきりと区別されるものではなく、その間に連絡のあることがうかがわれる。

ii) 三重野氏温泉揚湯試験 (図1、No.2、図3)

三重野氏温泉は 12～13ℓ/min の湧出量を持つ自噴泉で、エアリフトにより採湯量はおよそ 43ℓ/min 増加した。これより半径100m以内の温泉はすべて自噴泉で、そのうち9孔で湧出量の変化を測定したが、図3に示すように、武原、大通(1)、小山田(1)、立川、小山田(2)、および佐藤の6孔に明らかな影響があらわれた。また志手氏温泉は測定値にバラツキがあり、はっきりとはしないが、やはり影響があらわれているようである。これらのうち、大通(1)、小山田(1)、立川、佐藤の井戸深は70～116

m の範囲にあり、揚湯泉の深度100 m とほぼ同程度の深さであるが、武原、志手の2孔はそれぞれ約57 m および31 m と比較的浅い。このように井戸深が異なるのに、影響のあらわれ方は、揚水井に近いほど大きい傾向があり、もし、これらの温泉採取層が別のものとしても、その間の連絡はよいものと思われる。

iii) 志手(静)氏温泉抑制および揚水試験(図1、№3、図4)

ここでは、10月10日に湧出水頭を高めて湧出量を約10.5 ℓ/min 抑制し(図4、(A))、また翌11日にはエアリフトにより約20.5 ℓ/min の過剰揚水を行なった(図4、(B))。その影響は檜原、内田、土木事務所、武原、大通(1)、末綱、高木などの温泉に比較的明瞭にあらわれている。これらは揚水井の深度31 m とほぼ同じ深度を持ち、おそらく同じ温泉水層から採湯しているものと思われる。また近藤、志手(範)氏所有泉は湧出量の測定にバラッキが大きく、他のもの比べて不明瞭ではあるが、やはり影響があらわれているようである。また湧出量の小さい大通(2)にも影響が認められる。

iv) 富永氏温泉湧出停止試験(図1、№4、図6)

富永氏所有泉の湧出量は160 ℓ/min 以上にも達するほど多量である。ここでは湧出管にパイプを継ぎ足して、湧出を停止させたが、その静止水頭は地面上約4 m であった。一法師および立石氏所有泉に影響があらわれているようであるが、いずれも富永氏温泉の湧出停止後かえって湧出量が減少しているなどの点もあり、この測定だけから影響を云々することはできないように思われる。井尾百貨店温泉は、富永氏温泉に近く、また深度もほぼ同じ(約180 m)であるから、影響があらわれるものと予想されたが、明瞭な影響は認められず、この地域の地層の複雑さがうかがわれる。

v) 秋吉氏温泉揚水試験(図1、№5、図7)

この温泉は深度約250 m 、約65 ℓ/min の自噴量を持つが、エアリフトによる過剰揚水の結果、湧出量はおよそ52 ℓ/min 増加した。その影響は、64 m 離れた深度約141 m の日隈氏所有泉に明瞭にあらわれている。また20 m 離れている首藤氏所有泉は深度約30 m の浅井であるが、やはり影響があらわれているようで、ここでも深層と浅層の温泉水層間に連絡のあることがうかがわれる。また揚水井から213 m 離れた古町氏温泉にも影響があらわれているようである。

vi) 井上氏温泉湧出停止試験(図1、№6、図8)

この地域には近年開発された温泉が多く、湧出温度の高い温泉や沸騰泉などがみられる。井上氏温泉も沸騰泉であり、観測井の古町、後藤、的野などの温泉も沸騰泉または、これに近い温泉である。湧出停止による影響はこれら高温泉にはあられなく、比較的低温の自噴泉である小野氏温泉にあらわれた。また立石氏温泉にも影響があらわれているようではあるが、はっきりしない。

vii) 小財氏温泉湧出停止試験(図1、№7、図10)

この地域には、以前から浅井戸による自噴があったが、近年になって深層温泉の開発が進み、沸騰泉や沸騰状態に近い高温泉がある。150 ℓ/min に達するほどの非常に多量の自噴泉の湧出停止による影響は、これらの沸騰泉や高温自噴泉のうち日本石油温泉で、時間が遅れてあらわれているようだがあまりはっきりしない。また以前から存在する浅井戸(志手(政)、志手(信)氏所有泉など)にも認められない。しかし、約94 m 離れた奥村氏温泉に明瞭な影響があらわれており、この一帯の地層の複雑さを物語っているようである。

viii) 湯布院町有泉湧出停止試験(図1、№8、図11)

この地域も比較的近年になって開発された所であり、沸騰泉や高温の自噴泉が点在している。試験井は深度約 290m の沸騰泉であるが、湧出口に設けられたバルブの閉止によって沸騰を停止させた。それによる湧出停止量はおよそ 150 l/min である。これによる影響は試験井より深度の浅い観測井すべてにあらわれているようであるが、他の試験にくらべて、影響に遅れがあり、この調査における 4 時間ほどの停止では、まだ定常状態にまで達していないと思われる。

ix) 川崎氏温泉揚水試験 (図 1、16.9、図 13)

この地域は古くから開発の進んでいる自噴地帯であるが、近年温泉水位の低下がみられ、自噴が停止したため動力による揚湯を行なっている温泉がいくつかある。試験井には、このうちのアリフト揚湯泉を選び、設備されているコンプレッサーを用いて約 64 l/min の揚湯を行なった。その影響は、針、秋吉、共同泉、高倉、立川各氏の自噴泉にあらわれた。とくに針と高倉の 2 孔では、湧出量の減少が著しく、針氏温泉では揚湯開始数分後、また高倉氏温泉ではおよそ 1 時間後に完全に湧出が停止した。また、影響のあらわれかたには方向性があるようで、現在自噴が停止している大谷氏と佐藤氏の温泉水位には、この揚湯による影響はあらわれていないようである。しかし、この 2 孔の水位変化の様子が非常によく似ていることは注目に値する。これは、おそらくこの調査域近くにあるエアリフト泉での不定期揚湯のためと思われる。

図 2：木下氏温泉揚水による周辺温泉の湧出量または、水位変化

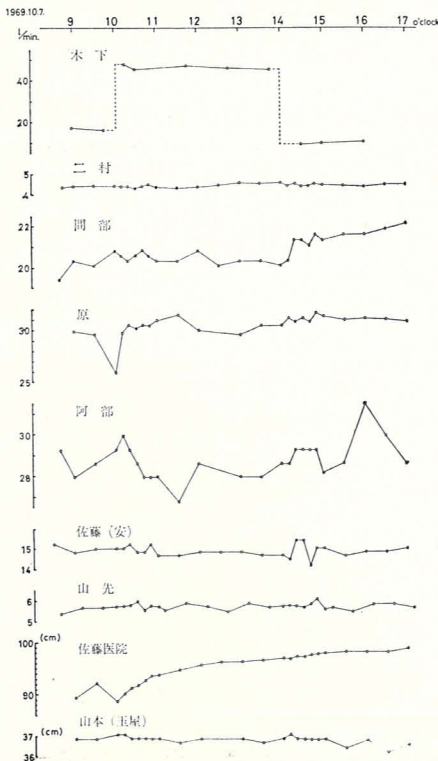


図 3：三重野氏温泉揚水による周辺温泉の湧出量変化

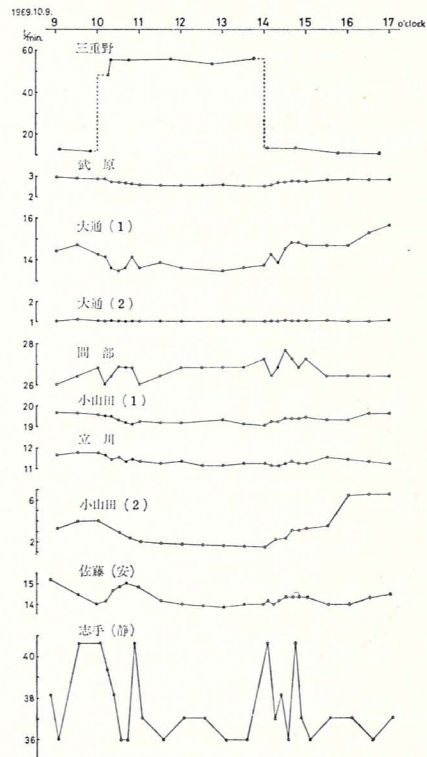


図4(A)：志手(静)氏温泉抑制による
周辺温泉の湧出量変化

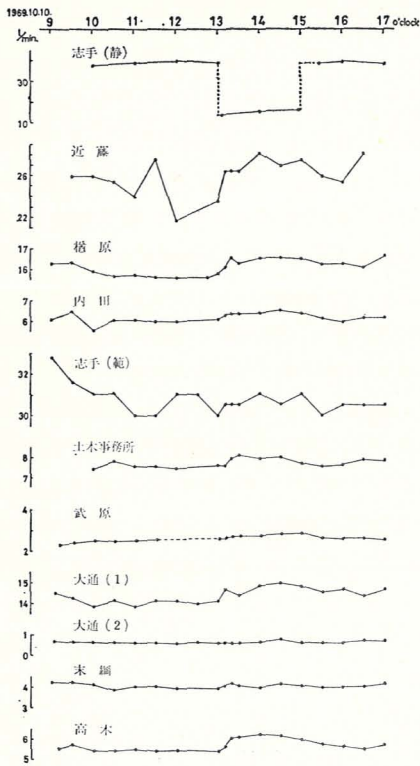


図5：木下、三重野、志手(静)氏温泉周辺の温泉
分布、大円は試験井を中心とする半径100m

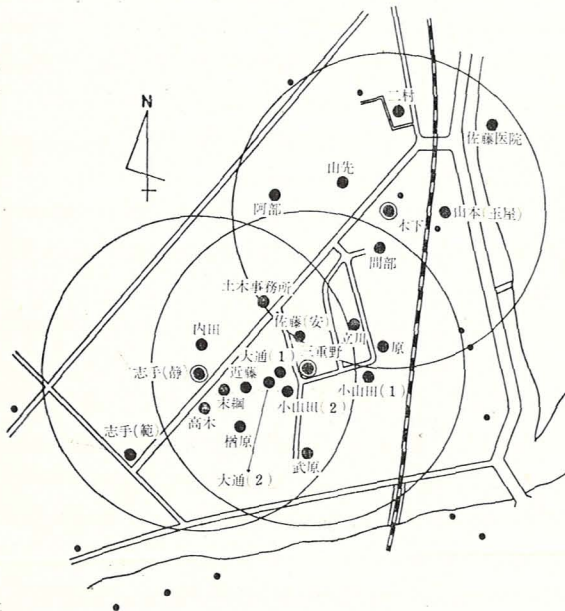


図4(B)：志手(静)氏温泉揚水による
周辺温泉の湧出量変化

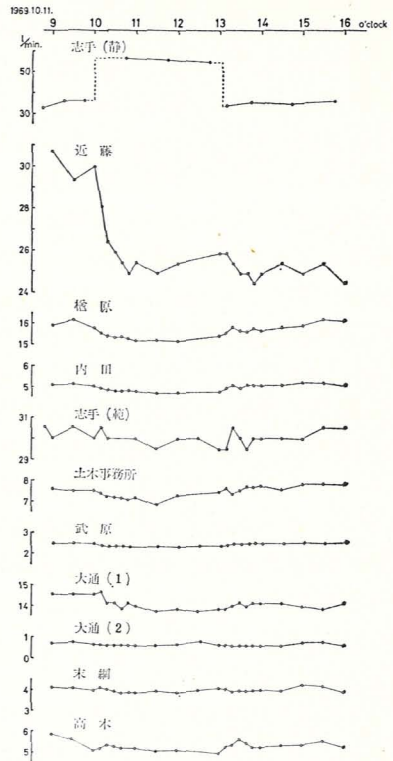


図6：富永氏温泉湧出停止による周辺
温泉の湧出量変化

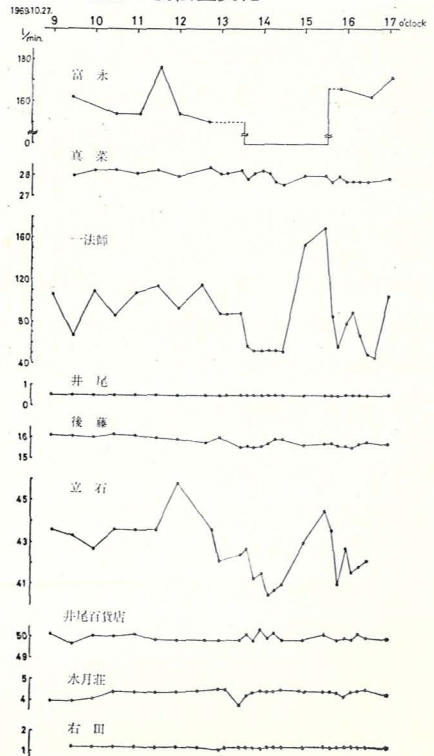


図7：秋吉氏温泉揚水による周辺温泉の湧出量変化

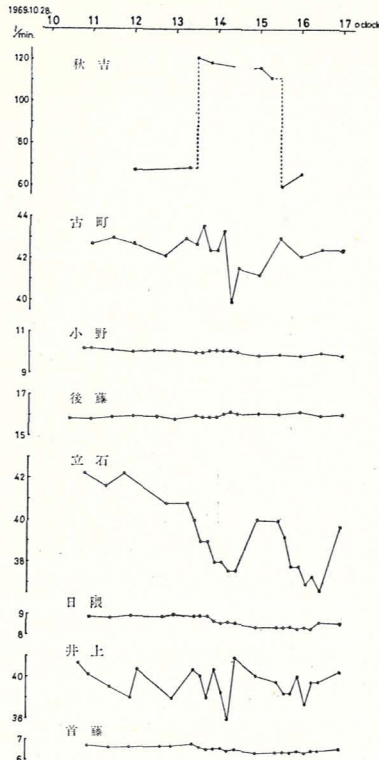


図9：富永、秋吉、井上氏温泉周辺の温泉分布、大円は試験井を中心とする半径100m

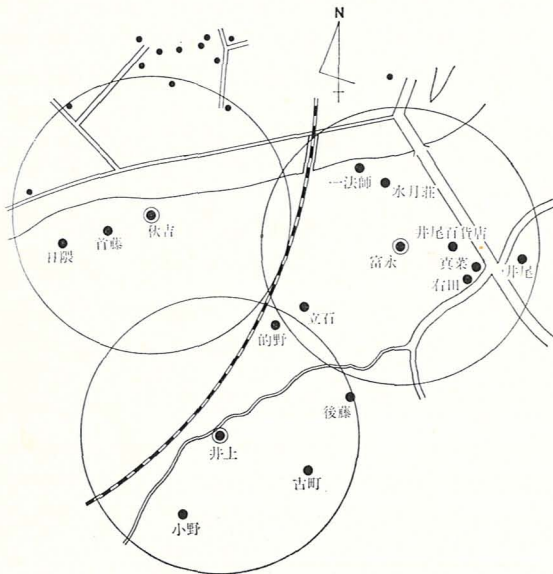


図8：井上氏温泉湧出停止による周辺温泉の湧出量変化

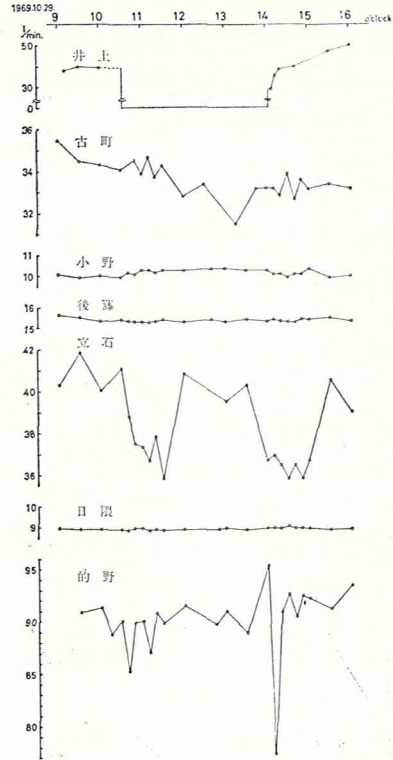


図10：小財氏温泉湧出停止による周辺温泉の湧出量変化

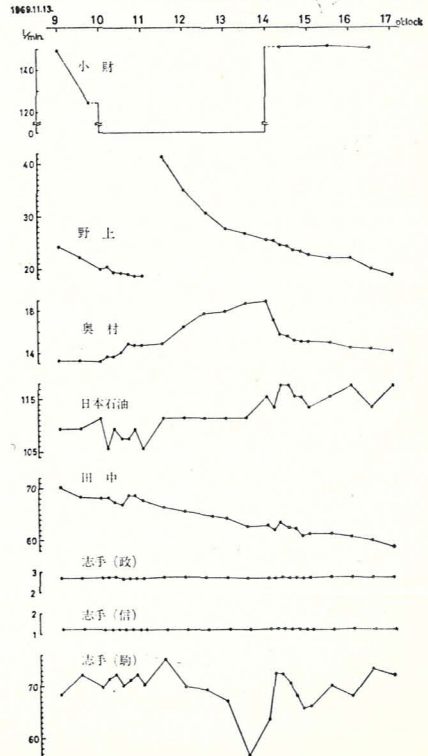


図11：湯布院町有泉湧出停止による周辺温泉の湧出量変化

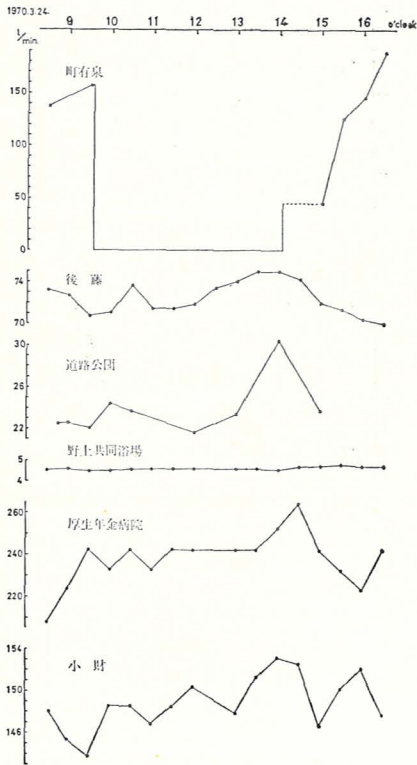


図13：川崎氏温泉揚水による周辺温泉の湧出量または水位変化 (点線は水位変化)

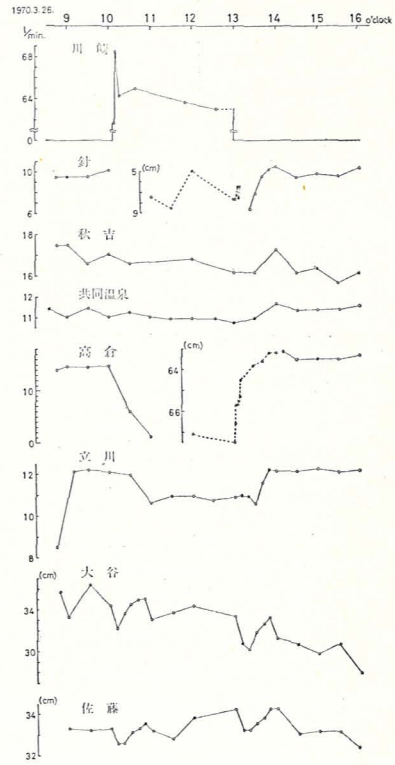


図12：小財氏、湯布院町有泉周辺の温泉分布。大円は試験井を中心とした半径100m

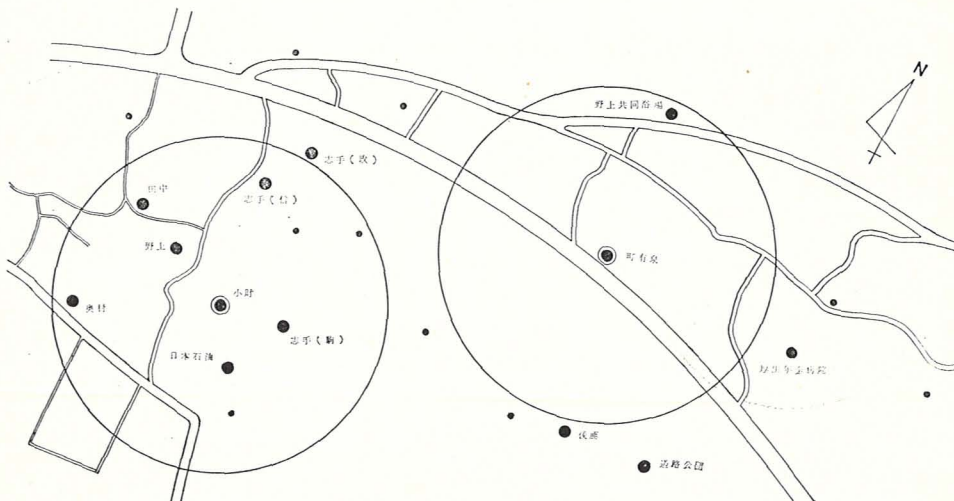
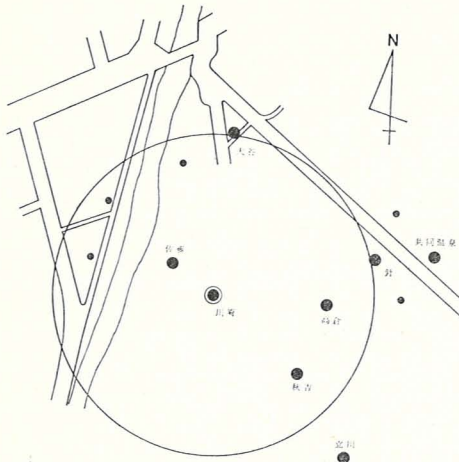


図14：川崎氏温泉周辺の温泉分布。大円は半径100m



断できないと思われる。

第2の型は、低地部の従来から自然湧出地帯である大分川沿い一帯でみられた型である。この地域では、揚水や湧出抑制の影響が（調査番号、1、2、3、5、9）、温泉井の深度に関係なく、ほとんどすべての周囲温泉にあらわれ、上下帯水層間の連絡が非常によいことを示している。もっとも、影響のあらわれ方の程度と試験井からの距離との間の相関関係には不同があり、とくに調査番号9（川崎氏温泉）の地域では著しい方向性が認められた。一方井戸深のほほそろっている調査番号2（三重野氏温泉）の地域では、井戸構造の違いや、湧出量の違いがあるのに、試験井に近いほど影響のあらわれ方が大きいという傾向がみられ、このような狭い範囲においても、場所により地下伏流状態が異なっていることがうかがわれる。しかし、この低地部は石松区の高地部に比べ、比較的一様な地層状態になっていると考えてよいであろう。なお試験井周辺温泉の影響量の和は試験井での揚水量や抑制量に比べて小さいとは云えないようで、地下伏流に十分余ゆうがあるとは云えないように思われる。

以上本報告では、各調査地域における揚水試験の概況を述べたのであるが、これら揚水影響の詳細な総合的解析を行なうには、なお解明を要する多くの問題点があり、今後の調査研究が望まれる。

終わりにあたり、御指導いただいた京大地球物理学研究施設山下博士をはじめ、観測に御協力いただいた大分県庁職員、各温泉井所有者に厚く御礼申しあげる。

参 考 文 献

- 1) 依田和四郎: 由布院温泉地帯の地温分布、地球物理、1巻4号、pp.285~304、1937
- 2) 山下幸三郎: 大分県由布院温泉について、大分県温泉調査研究会報告、2号、pp.1~18、1951
- 3) 佐藤光一、矢野行雄、羽田野宗人、片岡武雄: 湯布院温泉現況調査、同上、18号、pp.76~73、1967
- 4) :前出2)
- 5) :前出3)
- 6)、7)、8)、たとえば山下幸三郎: 自噴井群における揚水の影響について、同上、12号、pp.31~40、1960
- 9) 山下幸三郎: 別府旧市内温泉井の水位変化について(第2報)、温泉科学、16巻、3-4号、pp.136~143、1966

3 総括

以上9個所での揚水試験を総合すると、影響のあらわれ方に2つの地域的特徴がみられるように思われる。1つは、山の手石松地区（調査番号4、6、7、8）で観測されたような型である。ここでは、試験井近くにある同程度の深度や湧出温度を持つ温泉より、かえって、温度の低い（したがって、採湯深度は浅いと思われる）自噴泉に影響があらわれやすい傾向が認められ、温泉水の流路が非常に複雑であると推定される。この地域では、湧出停止試験を行なったのであるが、周辺温泉の湧出量の増加は停止量に比べて小さく、地下温泉伏流に余ゆうがあるようにみえるであろう。しかし、観測井の数が少なく、調査時間が短いなど、調査法に問題があり、この結果だけからは即

湯布院温泉揚水試験資料

湯布院 木下氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和44年10月6～7日

湯布院 揚湯量 湧出量 ℓ/min 温泉℃

時刻	日 時 分	7. 9.00	9.45	10.05	10.15	10.30	11.45	12.45	13.45	14.00	14.30	15.00	16.00
揚湯量		10.72	10.62	揚湯開始	47.80	45.20	47.03	45.92	45.20	揚湯停止	9.08	9.92	10.80
泉 温		58.1	58.1		59.0	59.5	59.5	59.4	59.4		58.0	58.1	58.1

湧出量 (ℓ/min) 又は水位 (cm)

二 村	時刻	日 時 分	6.11.45	12.00	13.10	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30		
	湧出量		4.36	4.36	4.36	4.36	4.36	4.36	4.41	4.39	4.49	4.49		
	泉 温		46.0	47.0	46.0	47.5	45.0	47.0	45.6	46.5	45.9	46.2		
	時刻	日 時 分	7.8.45	9.00	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00
湧出量		4.36	4.41	4.44	4.44	4.41	4.44	4.36	4.44	4.51	4.39	4.34	4.41	
泉 温		45.0	51.0	51.5	51.5	50.7	51.2	51.4	51.5	51.0	51.2	51.2	51.5	
時刻	日 時 分	7.12.30	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	
湧出量		4.49	4.60	4.54	4.60	4.46	4.54	4.41	4.44	4.57	4.51	4.46	4.39	
泉 温		51.0	51.5	51.3	51.5	51.5	51.3	51.4	51.5	51.5	51.4	51.5	51.6	
時刻	日 時 分	7.16.30	17.00											
湧出量		4.49	4.49											
泉 温		51.5	51.5											

間 部	時刻	日 時 分	6.13.20	13.50	14.20	14.50	15.20	15.50	16.20				
	湧出量		28.55	28.10	27.24	27.24	26.83	26.42	26.83				
	泉 温		66.7	66.6	66.6	66.6	66.7	66.6	66.6				
	時刻	日 時 分	7.8.40	9.00	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30
湧出量		19.45	20.35	20.12	20.83	20.59	20.35	20.59	20.83	20.59	20.35	20.35	20.83
泉 温		66.9	66.6	66.4	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.6	66.6	66.6	66.4
時刻	日 時 分	7.12.30	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00
湧出量		20.12	20.35	20.35	20.12	20.35	21.33	21.33	21.08	21.59	21.33	21.59	21.59
泉 温		66.4	66.5	66.4	66.4	66.4	66.4	66.4	66.5	66.4	66.4	66.4	66.4
時刻	日 時 分	7.16.30	17.00										
湧出量		21.86	22.13										
泉 温		66.5	66.5										

原	時刻	日 時 分	6.13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30				
	湧出量		31.46	30.95	30.47	29.84	29.69	29.69	29.39				
泉 温		64.0	63.5	63.5	64.5	64.8	64.5	64.7					
時刻	日 時 分	7.9.00	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00
湧出量		29.84	29.54	25.90	29.69	30.47	30.15	30.47	30.47	30.95	31.46	30.00	29.54
泉 温		64.6	64.8	64.8	64.8	64.5	64.5	64.8	64.8	64.7	64.6	64.6	64.7

時刻	日時分	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00
湧出量		30.47	31.12	30.79	31.12	30.79	31.63	31.29	30.95	31.12	30.95	30.79
泉温		64.6	64.8	64.8	64.7	64.7	64.7	64.8	64.9	64.8	64.7	64.8

阿部	時刻	日時分	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30				
	湧出量		26.80	27.99	27.99	28.63	29.29	29.29	29.29	29.29			
	泉温		55.5	55.5	55.4	55.4	55.2	55.3	55.3	55.3			
	時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00
	湧出量		29.29	27.99	28.63	29.29	29.99	29.29	28.63	27.99	27.99	26.80	28.63
	泉温		55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.3	55.0	55.0
	時刻	日時分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30
	湧出量		27.99	27.99	28.63	28.63	29.29	29.29	29.29	27.99	28.63	31.49	29.99
	泉温		55.1	55.1	55.0	55.0	55.1	55.0	55.1	55.1	55.0	55.1	55.5
	時刻	日時分											
	湧出量		28.63										
	泉温		55.3										

佐藤 (安)	時刻	日時分	12.00	13.15	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30		
	湧出量		15.55	15.00	15.36	15.36	15.36	15.00	15.00	15.18	15.18	14.48	
	泉温		65.5	65.5	65.6	65.5	65.4	65.6	65.5	65.5	65.6	65.4	
	時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00
	湧出量		15.18	14.82	15.00	15.00	15.00	15.18	14.82	14.82	15.18	14.65	14.82
	泉温		65.2	65.3	65.3	65.2	65.1	65.4	65.3	65.2	65.4	65.2	65.3
	時刻	日時分	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00
	湧出量		14.82	14.82	14.65	14.65	14.48	15.36	15.36	14.15	15.00	14.65	14.82
	泉温		65.4	65.4	65.5	65.5	65.2	65.6	65.6	65.7	65.8	65.6	66.0
	時刻	日時分	17.00										
	湧出量		14.82	15.00									
	泉温		65.5	65.9									

山先	時刻	日時分	13.25	13.55	14.25	14.55	15.25	15.55	16.25				
	湧出量		5.90	5.19	4.78	5.47	5.45	5.35	5.87	5.85			
	泉温		49.5	49.5	50.0	49.7	49.7	49.7	49.7	50.0			
	時刻	日時分	9.10	9.40	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.40
	湧出量		5.36	5.66	5.64	5.69	5.73	5.75	5.92	5.49	5.73	5.69	5.51
	泉温		50.0	49.8	49.8	49.8	49.6	49.6	49.6	50.0	50.0	50.0	49.8
	時刻	日時分	12.40	13.10	13.40	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.10
	湧出量		5.69	5.42	5.83	5.64	5.69	5.73	5.71	5.64	5.80	6.05	5.56
	泉温		50.0	49.8	49.8	50.1	50.1	50.1	50.0	50.1	49.9	50.0	50.0

時刻	日時分	16.10	16.40	17.10									
湧出量	5.47	5.80	5.80	5.66									
泉温	50.0	50.0	50.1	50.0									

佐藤 医院	時刻	日時分	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30					
	水位	95.7	96.3	96.4	96.5	96.7	97.2	97.2					
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
	水位	89.3	91.9	88.5	90.0	90.9	91.6	92.5	93.4	93.6	94.6	95.5	96.1
時刻	日時分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30	
水位	96.2	96.4	96.7	96.6	96.9	96.9	97.4	97.6	97.7	97.9	97.9	97.9	
時刻	日時分												
水位	98.5												

山本 (玉屋)	時刻	日時分	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30						
	水位	36.7	36.9	36.8	36.8	35.7	33.9						
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00
水位	36.8	36.8	37.0	37.0	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.6	36.8	36.8	
時刻	日時分	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
水位	36.6	36.8	37.0	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.4	36.8	36.2	36.6	

湯布院 三重野氏温泉揚水試験
 測定年月日 昭和44年10月8~9日
 湯布院 揚湯量 湧出量 l/min 泉温 $^{\circ}C$

時刻	日時分	9.45	10.02	10.15	10.20	10.45	11.45	12.45	13.45	14.00	14.05	14.45	15.45	16.45
揚湯量	12.57	12.11	揚湯開始	47.89	55.10	55.31	55.89	53.36	55.90	揚湯停止	13.20	13.20	11.09	10.54
泉温	62.0	62.5		61.2	61.2	61.2	61.2	61.5	61.0		65.2	64.0	64.2	63.1

湧出量 (l/min)

武原	時刻	日時分	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30	
	湧出量	2.92	2.83	2.91	2.92	2.93	2.92	2.99	2.96	2.94	2.94	2.93	
	泉温	61.5	61.5	61.5	61.6	61.6	61.5	61.5	61.2	61.5	61.5	61.5	
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
	湧出量	2.94	2.89	2.87	2.87	2.72	2.70	2.67	2.63	2.58	2.58	2.56	2.57
	泉温	61.5	61.6	61.6	61.7	61.5	61.4	61.5	61.6	61.5	61.5	61.5	61.5
時刻	日時分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30	
湧出量	2.60	2.55	2.51	2.59	2.71	2.72	2.78	2.77	2.77	2.84	2.87	2.83	
泉温	61.5	61.5	61.5	61.5	61.6	61.5	61.5	61.5	61.4	61.5	61.5	61.4	

時刻	日 時 分												
湧出量	9.17.00												
泉 温	2.86												
	61.5												

大 通 (1)	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30	
	湧出量	8. 9.10	15.47	14.84	14.84	14.84	15.15	10.00	15.15	15.31	15.15	15.00	15.00	15.00
	泉 温		63.0	63.0	63.0	63.0	62.8	62.6	63.0	63.1	63.0	63.2	63.0	63.0
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00	
	湧出量	9. 9.00	14.41	14.70	14.27	14.13	13.61	13.48	13.61	14.13	13.61	13.87	13.61	13.48
	泉 温		62.5	62.5	62.2	62.9	63.0	63.0	63.0	63.0	62.5	63.0	63.0	63.0
	時刻	日 時 分	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
	湧出量	9.13.30	13.61	13.73	14.27	13.87	14.55	14.84	14.84	14.70	14.70	14.70	15.31	15.64
	泉 温		63.0	62.5	62.7	63.0	63.0	62.9	62.5	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0

大 通 (2)	時刻	日 時 分	11.00	11.30	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30				
	湧出量	8.10.30	1.27	1.34	1.28	1.24	1.21	1.21	1.18	1.13	1.15			
	泉 温		44.8	45.1	45.5	45.8	46.2	46.1	46.2	46.1	46.2			
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00	
	湧出量	9. 9.00	1.07	1.12	1.08	1.07	1.09	1.06	1.04	1.04	1.04	1.06	1.04	1.03
	泉 温		46.0	46.0	46.2	46.2	46.0	46.2	46.1	46.0	45.8	45.5	46.4	46.5
	時刻	日 時 分	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
	湧出量	9.13.30	1.04	1.03	1.05	1.04	1.09	1.06	1.07	1.06	1.09	1.04	1.04	1.09
	泉 温		46.6	46.0	46.2	46.0	46.0	45.8	46.7	46.0	46.0	46.0	45.9	46.0

間 部	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30	
	湧出量	8. 9.00	26.83	26.83	27.24	26.83	26.83	26.83	26.42	27.24	26.83	27.24	27.24	27.24
	泉 温		66.3	66.3	66.3	66.4	66.4	66.3	66.3	66.2	66.3	66.2	66.2	66.4
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30	
	湧出量	9. 9.00	26.03	26.42	26.83	26.03	26.42	26.83	26.83	26.03	26.42	26.83	26.83	
	泉 温		66.2	66.1	66.2	66.3	66.2	66.2	66.3	66.2	66.4	66.3	66.4	66.4
	時刻	日 時 分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30	
	湧出量	9.13.00	26.83	26.83	27.24	26.42	26.83	27.66	27.24	26.83	27.24	26.42	26.42	26.42
	泉 温		66.4	66.4	66.4	66.4	66.5	66.7	66.5	66.7	66.6	66.6	66.7	66.6
	時刻	日 時 分												
	湧出量	9.17.00	26.42											
	泉 温		66.6											

小山田 (1)	時刻	日 時 分	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30	
	湧出量	8. 9.30	20.00	20.21	20.14	20.06	20.06	20.06	19.93	20.00	20.21	20.00	
	泉 温		71.4	71.3	71.5	71.5	71.7	71.3	71.5	71.4	71.3	71.4	71.3

	時刻	日 時 分 9. 9.00	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00
	湧出量	19.68	19.68	19.59	19.53	19.53	19.33	19.21	19.14	19.27	19.21	19.21	19.33
	泉 温	71.2	71.3	71.2	71.2	71.2	71.2	71.0	71.0	71.0	70.9	71.0	71.2
	時刻	日 時 分 9.13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00
	湧出量	19.14	19.08	19.27	19.27	19.40	19.40	19.40	19.46	19.33	19.33	19.66	19.53
	泉 温	71.2	71.3	71.0	71.3	71.5	71.2	71.0	71.0	70.2	70.8	71.0	71.2

立 川	時刻	日 時 分 8. 9.45	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30	
	湧出量	11.89	11.77	11.66	11.77	11.66	11.66	11.77	11.89	11.89	11.77	11.77	
	泉 温	66.0	66.0	66.2	66.0	66.2	66.0	66.0	66.0	66.1	66.0	66.0	
	時刻	日 時 分 9. 9.00	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
	湧出量	11.66	11.77	11.77	11.66	11.45	11.56	11.35	11.45	11.35	11.25	11.35	11.15
	泉 温	65.0	65.0	65.1	65.0	65.0	64.9	64.9	65.0	65.0	65.0	65.0	64.9
	時刻	日 時 分 9.13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30
	湧出量	11.15	11.25	11.25	11.15	11.15	11.25	11.35	11.25	11.25	11.56	11.45	11.35
	泉 温	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	64.8	65.0	65.0
	時刻	日 時 分 9.17.00											
	湧出量	11.25											
	泉 温	65.0											

小山田 (2)	時刻	日 時 分 8. 9.40	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30	
	湧出量	5.07	5.72	5.62	5.62	5.62	5.62	4.62	4.42	4.52	4.49	4.52	
	泉 温	46.3	46.5	46.5	46.6	46.6	46.6	47.0	46.8	46.7	46.6	46.6	
	時刻	日 時 分 9. 9.00	9.30	10.00	10.30	10.45	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.15
	湧出量	3.26	3.92	4.02	2.91	2.37	2.01	1.87	1.75	1.60	1.56	1.47	2.20
	泉 温	46.3	46.5	46.5	46.5	46.6	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5
	時刻	日 時 分 9.14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	湧出量	2.26	3.05	3.07	3.26	3.49	6.43	6.56	6.56				
	泉 温	46.7	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5				

佐 藤 (安)	時刻	日 時 分 8. 9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
	湧出量	14.82	14.65	14.65	14.48	14.65	14.65	14.65	14.48	14.32	14.48	14.48	14.65
	泉 温	65.4	65.4	65.4	65.3	65.4	65.4	65.4	65.1	65.2	65.4	65.1	65.0
	時刻	日 時 分 9. 8.50	9.30	9.55	10.10	10.22	10.30	10.40	10.55	11.30	12.00	13.00	13.30
	湧出量	15.18	14.48	14.00	14.15	14.65	14.82	15.00	14.82	14.15	14.00	13.84	14.00
	泉 温	65.0	65.1	65.3	65.3	65.3	65.4	65.5	65.6	65.4	65.4	65.4	65.4
	時刻	日 時 分 9.13.52	14.04	14.12	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00
	湧出量	14.00	14.15	14.00	14.15	14.32	14.32	14.32	14.32	14.48	15.00	14.32	14.48
	泉 温	65.2	65.6	65.6	65.5	65.5	65.5	65.4	65.4	65.4	65.7	65.6	65.7

志手 (静)	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30
	湧出量	8. 9.00	35.99	34.05	35.99	35.99	37.05	37.05	35.99	35.99	35.99	38.17	38.17
	泉温	35.99	54.9	54.9	54.8	54.9	54.9	54.8	54.9	54.9	54.9	54.9	54.9
	時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00
	湧出量	9. 8.50	38.17	40.63	40.63	39.37	38.17	35.99	35.99	40.63	37.05	35.99	37.05
	泉温	38.17	54.7	54.6	54.6	55.0	54.8	54.8	54.8	54.8	54.8	54.8	54.8
	時刻	日時分	13.00	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00
	湧出量	9.12.30	37.05	35.99	35.99	40.63	37.05	38.17	35.99	40.63	37.05	35.99	37.05
	泉温	37.05	54.8	54.8	54.8	54.8	54.8	54.8	54.8	54.8	54.8	54.8	54.8
	時刻	日時分	17.00										
	湧出量	9.16.30	37.05										
	泉温	37.05	54.8										

湯布院 志手静夫氏温泉揚水試験
 測定年月日 昭和44年10月10日~11日
 湯布院 揚湯量 湧出量 ℓ/min 泉温℃

時刻	日時分	11.00	12.00	13.00	13.02	13.06	14.00	14.55	15.00	15.25	16.00	17.00	
揚湯量	10.10.00	37.15	38.36	39.40	湧出 抑制	10.34	10.51	10.60	15.00 抑制 解除	38.11	39.14	38.11	
泉温	37.15	54.5	54.3	54.6	湧抑		53.2	53.2		54.3	54.6	54.6	
時刻	日時分	9.15	9.45	10.01	10.07	10.45	11.45	12.45	13.05	13.10	13.45	14.45	15.45
揚湯量	11. 8.45	32.95	36.22	揚湯 開始		56.62	55.54	54.50	湯止 場停	33.71	35.34	34.51	36.22
泉温	32.95	54.7	54.7	54.3	54.3	54.6	54.7	54.6		54.6	54.7	54.8	54.8

湧出量 (ℓ/min)

近藤	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.10	13.20	13.30	14.00
	湧出量	10. 9.00	38.62	25.88	25.88	25.38	24.00	27.50	21.64	23.57	26.40	26.40	26.40
	泉温	38.62	49.5	49.5	49.3	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2
	時刻	日時分	15.00	15.30	16.00	16.30							
	湧出量	10.14.30	26.93	27.50	25.88	25.38	28.08						
	泉温	26.93	49.1	49.2	49.2	49.2	49.2						
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00
	湧出量	11. 9.00	30.70	29.33	30.00	28.08	26.40	25.88	25.38	24.90	25.38	24.90	25.38
	泉温	30.70	49.2	49.2	49.0	49.2	49.2	49.2	49.2	49.5	49.5	49.2	49.2
	時刻	日時分	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00		
	湧出量	11.13.10	25.88	25.38	24.90	24.90	24.44	24.90	25.38	24.90	25.38	24.44	
	泉温	25.88	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.4	49.4	49.4	49.5		

檜原	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.45	13.00	13.10	13.20	13.30
	湧出量	10. 9.00	16.25	16.30	15.90	15.64	15.73	15.60	15.60	15.81	16.12	16.53	16.30
	泉温	16.25	54.5	55.0	55.0	55.2	55.2	54.7	54.8	55.3	55.1	55.5	55.4

	時刻	日 時 分	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00					
	湧出量	16.53	16.58	16.53	16.25	16.30	16.12	16.67					
	泉温	55.2	55.4	55.5	55.5	55.3	55.5	55.2					
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
	湧出量	15.90	16.16	15.77	15.52	15.40	15.31	15.35	15.27	15.19	15.19	15.16	15.27
	泉温	55.5	55.5	55.4	55.7	55.5	55.5	55.3	55.1	55.5	55.4	55.4	55.5
	時刻	日 時 分	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
	湧出量	15.40	15.52	15.81	15.64	15.60	15.77	15.68	15.81	15.90	16.21	16.21	
	泉温	55.4	55.5	55.8	55.5	55.5	55.7	55.5	55.8	55.5	55.5	55.5	

内 田	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.10	13.20	13.30	14.00
	湧出量	6.09	6.44	5.57	6.04	6.04	6.00	6.00	6.09	6.29	6.34	6.34	6.39
	泉温	48.2	48.5	48.8	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.6	48.8
	時刻	日 時 分	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00						
	湧出量	6.55	6.39	6.14	6.00	6.19	6.19						
	泉温	48.8	48.9	48.9	48.9	48.8	48.8						
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00
	湧出量	6.04	6.09	6.00	5.90	5.82	5.74	5.74	5.78	5.74	5.65	5.69	5.74
	泉温	48.5	48.3	48.5	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4	48.3	48.3	48.3
	時刻	日 時 分	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00		
	湧出量	5.90	6.04	5.90	6.04	6.04	6.04	6.04	6.19	6.14	6.04		
	泉温	48.2	48.2	48.3	48.3	48.3	48.5	48.5	48.6	48.6	48.6		

志 手 (籠)	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.10	13.20	13.30
	湧出量	32.78	31.61	31.06	31.06	30.01	30.01	31.06	31.06	30.01	30.52	30.52	30.52
	泉温	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0		54.0	54.0	54.0	54.1	54.0	54.0
	時刻	日 時 分	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00					
	湧出量	31.06	30.52	31.06	30.01	30.52	30.52	30.52					
	泉温	54.0	54.1	54.1	54.1	54.1	54.1	54.1					
	時刻	日 時 分	9.00	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00
	湧出量	30.52	30.01	30.52	30.01	30.52	30.01	30.01	30.01	30.01	30.01	29.51	30.01
	泉温	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8
	時刻	日 時 分	13.00	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量	30.01	29.51	29.51	30.52	30.01	29.51	30.01	30.01	30.01	30.01	30.52	30.52
	泉温	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8

土 木 事 務 所	時刻	日 時 分	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.10	13.20	13.30	14.00	14.30	15.00
	湧出量	7.45	7.82	7.59	7.59	7.50	7.63	7.63	7.97	8.12	7.97	8.02	7.73
	泉温	53.0	53.2	52.9	52.9	52.9	52.8	52.9	52.9	53.0	52.9	53.0	52.8

時刻	日 時 分	16.00	16.30	17.00									
湧出量		7.59	7.69	7.90	7.90								
泉温		52.8	52.6	52.8	52.8								
時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00	
湧出量		7.59	7.50	7.50	7.37	7.24	7.16	7.12	7.07	7.16	6.85	7.28	7.45
泉温		52.9	52.8	52.9	52.9	52.9	52.8	52.8	52.9	52.8	52.7	52.9	52.9
時刻	日 時 分	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00			
湧出量		7.59	7.33	7.50	7.68	7.68	7.73	7.54	7.82	7.82	7.82		
泉温		52.9	52.9	52.9	52.7	52.8	52.8	52.8	52.9	52.8	52.8		

武 原	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.10	13.20	13.30	
	湧出量		2.47	2.51	2.65	2.60	2.63	2.65	3.65	4.50	2.71	2.73	2.77	2.80
	泉温		61.0	61.0	61.1	61.1	61.1	60.9	60.2	58.5	61.1	61.1	61.2	61.2
	時刻	日 時 分	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00						
湧出量		2.83	2.87	2.89	2.70	2.67	2.65	2.63						
泉温		61.2	61.1	61.2	61.1	61.2	61.0	61.1						
時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30		
湧出量		2.49	2.50	2.49	2.40	2.36	2.35	2.35	2.34	2.34	2.32	2.31	2.36	
泉温		62.0	62.0	62.0	61.8	61.9	61.8	61.9	62.0	61.8	62.0	62.0	62.0	
時刻	日 時 分	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	15.55			
湧出量		2.36	2.38	2.43	2.42	2.45	2.46	2.47	2.45	2.48	2.47	2.49		
泉温		62.0	62.1	62.1	62.1	62.1	62.1	62.0	62.1	62.0	62.0	61.8		

大 通 (1)	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.10	13.20	13.30	
	湧出量		14.50	14.27	13.87	14.13	13.87	14.13	14.13	14.00	14.13	14.70	14.55	14.41
	泉温		62.8	62.5	62.5	63.0	62.8	63.0	63.0	63.0	63.0	62.9	63.0	63.0
	時刻	日 時 分	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00						
湧出量		14.84	15.00	14.84	14.55	14.70	14.41	14.70						
泉温		62.9	62.8	62.8	63.0	63.0	62.8	62.9						
時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.35		
湧出量		14.55	14.55	14.55	14.70	14.13	14.13	13.87	14.13	14.00	13.73	13.87	13.73	
泉温		62.9	63.0	62.8	63.0	63.0	62.9	63.0	63.0	63.0	63.0	63.1	63.0	
時刻	日 時 分	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	15.55			
湧出量		13.87	13.87	14.00	14.13	14.00	14.13	14.13	14.00	13.87	14.13			
泉温		63.1	63.1	63.0	63.3	63.1	63.2	63.2	63.2	63.3	63.0	63.1		

大 通 (2)	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.10	13.20	13.30	
	湧出量		0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62	0.61	0.64	0.61	0.63	0.61	0.62
	泉温		44.0	44.0	44.5	44.5	44.0	44.5	44.1	44.9	44.5	44.5	44.5	44.8

時刻	日 時 分	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00						
湧出量		0.68	0.79	0.65	0.63	0.63	0.74	0.72					
泉 温		45.2	45.3	45.0	45.1	45.0	45.5	45.3					
時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.35	
湧出量		0.71	0.75	0.65	0.64	0.62	0.61	0.61	0.61	0.59	0.68	0.79	
泉 温		46.0	45.7	45.0	45.0	45.2	45.0	44.8	45.0	45.0	45.1	45.1	45.8
時刻	日 時 分	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	15.55		
湧出量		0.67	0.63	0.61	0.61	0.61	0.61	0.60	0.61	0.77	0.80	0.62	
泉 温		45.7	45.5	45.0	45.2	45.2	45.1	45.0	45.0	45.4	45.7	45.2	

末 綱	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.10	13.20	13.30	14.00	
	湧出量		4.21	4.21	4.10	3.83	4.00	4.02	3.92	3.92	4.07	4.18	4.05	3.97
	泉 温		45.2	45.2	48.0	47.8	47.8	47.2	47.2	47.0	47.0	47.2	47.2	47.4
	時刻	日 時 分	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00							
	湧出量		4.13	4.07	3.97	4.00	4.02	4.18						
	泉 温		47.2	47.7	47.3	47.1	47.0	47.1						
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00	
	湧出量		4.10	4.07	3.97	4.10	4.02	3.92	3.83	3.85	3.85	3.92	3.85	4.10
	泉 温		47.3	47.3	47.2	47.2	47.2	47.3	47.3	47.3	47.2	47.4	47.4	47.0
	時刻	日 時 分	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00			
	湧出量		4.02	3.90	3.95	3.95	3.97	4.00	3.97	4.24	4.18	3.92		
	泉 温		47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.2	47.4	47.4		

高 木	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.10	13.20	13.30	14.00	
	湧出量		5.52	5.72	5.47	5.42	5.52	5.42	5.47	5.42	5.67	6.05	6.11	6.24
	泉 温		54.6	54.8	54.6	54.6	55.2	55.0	54.9	54.5	54.8	54.7	55.0	54.9
	時刻	日 時 分	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00							
	湧出量		6.17	6.00	5.77	5.67	5.52	5.72						
	泉 温		55.2	54.8	54.8	55.0	54.9	55.0						
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00	
	湧出量		5.83	5.62	5.11	5.20	5.33	5.29	5.20	5.20	5.20	5.03	5.11	4.99
	泉 温		54.0	54.2	54.2	54.3	54.2	54.2	54.0	54.0	54.0	54.2	54.2	55.0
	時刻	日 時 分	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00			
	湧出量		5.29	5.33	5.62	5.47	5.24	5.24	5.33	5.38	5.57	5.29		
	泉 温		54.3	54.1	54.2	54.2	54.0	54.0	54.1	54.1	54.4	54.4		

湯布院 富永氏温泉揚水試験
測定年月日 昭和44年10月26~27日

湯布院 揚湯量 湧出量 ℓ/min 泉温℃

時刻	日時分	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
揚湯量	29.13.30	149.23	149.23	145.50	145.50	145.50	145.50	145.50				
泉温		91.0	90.5	90.5	90.2	90.2	90.2	90.2				
時刻	日時分	10.30	11.05	11.35	12.00	12.42	13.33	15.33	15.50	16.35	17.05	
揚湯量	27.9.25	162.31	154.20	154.20	176.23	154.20	150.44	湧出停止	湧出開始	166.70	162.31	171.33
泉温			90.5	90.5	90.5	90.5			90.6	90.5	90.5	

湧出量 (ℓ/min)

真菜	時刻	日時分	13.45	14.15	14.45	15.15	15.45	16.15	16.45					
	湧出量	26.13.15	28.67	28.39	28.52	28.95	28.25	28.25	28.39	28.25				
	泉温		68.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0				
	時刻	日時分	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.45	13.00	13.10	13.30	13.40	13.50	
	湧出量	27.9.30	27.98	28.25	28.25	28.11	28.25	27.98	28.39	28.11	28.11	28.25	27.85	28.11
	泉温		67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	
	時刻	日時分	14.10	14.20	14.30	15.00	15.30	15.40	15.50	16.00	16.10	16.20	16.30	
	湧出量	27.14.00	28.25	28.11	27.71	27.58	27.98	27.98	27.71	27.98	27.71	27.71	27.71	
	泉温		67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	
	時刻	日時分												
	湧出量	27.17.00	27.85											
	泉温		67.0											

一法師	時刻	日時分	11.40	12.10	12.40	13.10	13.40	14.10	14.40	15.10	15.40	16.10	16.40	
	湧出量	26.11.10	124.52	125.02	126.17	124.52	123.41	113.10	113.10	119.41	118.83	120.59	121.07	122.01
	泉温		72.0	72.0	72.0	72.1	72.1	72.0	72.0	72.1	72.0	72.1	72.1	72.1
	時刻	日時分												
	湧出量	26.17.10	110.52											
	泉温		72.1											
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.35	13.00	13.10	13.30	13.40	
	湧出量	27.9.00	106.97	67.32	109.48	85.99	107.92	113.97	93.05	115.47	88.31	87.64	88.59	56.84
	泉温		71.9	72.0	71.9	71.5	71.8	72.0	71.9	72.1	71.9	72.0	71.9	72.1
	時刻	日時分	14.00	14.10	14.20	14.30	15.00	15.30	15.40	15.50	16.00	16.10	16.20	
湧出量	27.13.50	53.42	53.26	52.85	52.84	51.44	153.78	169.57	85.85	57.40	79.18	89.60	67.57	
泉温		72.1	72.3	72.2	72.0	72.0	72.2	72.1	72.0	72.0	72.1	72.0	72.0	
時刻	日時分	16.40	17.00											
湧出量	27.16.30	49.45	46.56	104.90										
泉温		71.9	71.9	72.0										

井 尾	時刻	日 時 分	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	湧出量	0.52	0.52	0.52	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51				
	泉 温	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	49.8	49.8	49.8				
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.40	13.00	13.10	13.30	13.40
	湧出量	0.52	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51	0.52	0.51	0.51	0.52	0.52	0.51
	泉 温	49.6	49.6	49.6	49.4	49.4	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2
	時刻	日 時 分	14.00	14.10	14.20	14.30	15.00	15.30	15.40	15.50	16.00	16.10	16.20
	湧出量	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
	泉 温	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2	49.2
	時刻	日 時 分	17.00										
	湧出量	0.51	0.51										
	泉 温	49.2	49.2										

後 藤	時刻	日 時 分	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00				
	湧出量	16.20	16.15	16.20	16.20	15.93	15.85	15.93	15.93				
	泉 温	94.5	94.5	94.5	94.0	94.0	94.0	94.5	94.5				
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.40	13.00	13.30	13.40	13.50
	湧出量	16.11	16.06	16.02	16.15	16.11	15.98	15.93	15.76	16.02	15.55	15.59	15.55
	泉 温	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	95.0	95.0	95.0	95.0
	時刻	日 時 分	14.10	14.20	14.30	15.00	15.30	15.40	15.50	16.00	16.10	16.20	16.30
	湧出量	15.63	15.71	15.93	15.93	15.67	15.71	15.76	15.67	15.59	15.55	15.71	15.80
	泉 温	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5	94.5
	時刻	日 時 分											
	湧出量	15.71											
	泉 温	94.5											

立 石	時刻	日 時 分	13.50	14.20	14.50	15.20	15.50	16.20	16.50				
	湧出量	44.53	45.17	46.52	47.23	46.87	46.18	45.50	46.87				
	泉 温	76.0	75.5	75.0	75.5	75.0	75.0	75.0	75.5				
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.40	13.00	13.30	13.40	13.50
	湧出量	43.59	43.29	42.70	43.59	43.59	43.90	45.83	43.59	42.12	42.41	42.70	41.28
	泉 温	76.0	75.2	75.0	75.0	74.5	75.8	75.2	75.0	74.5	75.6	75.0	75.5
	時刻	日 時 分	14.10	14.20	14.30	15.00	15.30	15.40	15.50	16.00	16.10	16.20	16.30
	湧出量	41.56	40.48	40.74	41.01	42.99	44.53	43.59	41.01	42.70	41.56	41.84	42.12
	泉 温	75.2	75.3	75.0	75.1	74.8	74.8	74.5	74.2	74.5	75.0	74.5	75.0

井 尾 百貨店	時刻	日 時 分	15.30	16.00	16.30	17.00						
	湧出量	51.51	47.62	49.01	48.38	47.69						
	泉 温	92.0	92.3	92.3	92.3	92.3						

時刻	日時分	15.30	15.40	15.50	16.00	16.10	16.20	16.30	17.00			
湧出量	6.45	6.49	6.49	6.47	6.52	6.47	6.55	6.56	6.67			
泉温	56.5	56.5	56.5	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2			

湯布院 井上氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和44年10月28~29日

湯布院 揚湯量 湧出量 ℓ/min 泉温 $^{\circ}C$

時刻	日時分	9.30	10.00	10.35	14.04	14.06	14.13	14.20	14.40	15.30	16.00
揚湯量	37.55	39.59	39.06	揚湯停止	揚湯開始	28.81	35.27	38.29	39.86	40.70	40.98
泉温	95.0	95.0	94.9			68.0	86.0	93.0	93.1	95.3	96.5

湧出量 (ℓ/min)

古 町	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.45
	湧出量	35.42	34.44	34.25	34.06	34.25	34.44	33.88	34.63	33.70	34.25	32.81	33.34
	泉温	95.3	95.5	95.5	95.5	95.5	95.0	95.5	95.8	95.5	95.5	95.5	95.5
	時刻	日時分	13.45	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	
湧出量	31.48	33.16	33.16	33.16	32.81	33.88	32.63	33.52	33.16	33.34	33.16		
泉温	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	95.3	95.3	96.0	95.8	95.8	95.8		

小 野	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.40
	湧出量	10.08	9.92	10.00	9.92	10.16	10.08	10.24	10.24	10.16	10.24	10.24	10.33
	泉温	91.0	91.0	90.8	91.0	91.0	90.5	90.5	90.7	90.7	90.7	90.8	90.7
	時刻	日時分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	
湧出量	10.33	10.24	10.24	10.08	10.08	9.92	10.08	10.08	10.33	9.92	10.00		
泉温	90.8	90.7	90.7	90.7	90.7	90.7	90.7	90.7	90.7	90.7	90.5		

後 藤	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.40
	湧出量	15.67	15.55	15.38	15.43	15.38	15.34	15.34	15.31	15.38	15.47	15.31	15.47
	泉温	95.5	95.5	95.5	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0
	時刻	日時分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	
湧出量	15.34	15.47	15.34	15.43	15.38	15.34	15.31	15.47	15.47	15.51	15.38		
泉温	95.0	95.0	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5		

立 石	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	13.00
	湧出量	40.31	41.84	40.05	41.12	38.79	37.61	37.38	36.71	37.84	35.82	40.84	39.53
	泉温	74.8	74.3	74.5	74.2	74.8	75.0	75.2	75.0	74.8	75.0	74.9	74.8
	時刻	日時分	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00		
湧出量	40.31	36.71	36.93	36.49	35.82	36.49	35.82	36.71	40.58	39.04			
泉温	74.8	75.2	74.9	74.8	75.3	75.2	75.3	75.0	74.7	74.8			

日 隈	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.50
	湧出量	29. 9.00	8.96	8.90	8.90	8.85	8.96	8.96	8.85	8.90	8.85	8.90	8.90
	泉 温	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9
	時刻	日 時 分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	
	湧出量	29. 13.00	8.96	8.90	8.96	8.96	9.02	8.96	8.96	8.96	8.90	8.90	
	泉 温	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	76.9	

的 野	時刻	日 時 分	10.00	10.15	10.30	10.40	10.50	11.00	11.10	11.20	11.30	12.00	12.45
	湧出量	29. 9.30	90.89	91.35	88.81	90.09	85.26	89.88	90.14	87.08	90.83	89.88	91.57
	泉 温	93.0	95.6	97.3	97.6	97.4	97.5	97.5	97.9	97.6	97.8	97.5	98.3
	時刻	日 時 分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	
	湧出量	29. 13.00	91.05	89.00	95.43	77.45	91.03	92.67	90.55	92.52	92.28	91.29	93.55
	泉 温	98.1	97.9	97.5	97.8	97.9	97.9	98.0	98.2	98.0	98.0	98.0	98.2

湯 布 院 小財氏温泉揚水試験
測定年月日 昭和44年11月12~13日

湯布院 揚湯量 湧出量 ℓ/min 泉温 $^{\circ}C$

時刻	日 時 分	9.45	10.00	14.01	14.20	15.30	16.30	
揚湯量	13. 9.00	149.07	124.08	湧出停止	湧出開始	150.66	151.01	150.15
泉 温	84.0	84.6			83.6	84.3	84.3	

湧出量 (ℓ/min)

野 上	時刻	日 時 分	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30		
	湧出量	12. 11.30	23.18	23.28	20.35	40.42	35.92	31.63	30.15	27.58	25.64	25.64	
	泉 温	76.2		76.0	78.1	78.5	78.0	78.0	77.8	76.8	75.7		
	時刻	日 時 分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.35
	湧出量	13. 9.00	24.25	22.13	19.86	20.27	19.27	19.01	18.89	18.47	18.41	41.27	34.85
	泉 温	77.5	77.0	76.8	77.2	76.8	77.0	77.0	76.5	76.7	77.8	78.1	77.6
	時刻	日 時 分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30
	湧出量	13. 13.00	27.45	26.45	25.30	25.19	24.35	24.14	23.47	23.28	22.47	19.79	19.79
	泉 温	78.0	77.1	76.2	77.0	76.8	77.0	76.9	77.0	77.2	76.5	76.4	76.2
	時刻	日 時 分											
	湧出量	13. 17.00	16.67										
	泉 温	75.8											

奥 村	時刻	日 時 分	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00				
	湧出量	12. 13.00	15.26	15.26	15.39	15.26	15.13	15.13	15.00			
	泉 温	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7				

	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
	湧出量	13.21	13.21	13.11	13.61	13.61	14.05	14.75	14.63	14.63	14.75	16.39	17.70
	泉温	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.9
	時刻	日時分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30
	湧出量	17.87	18.63	18.83	17.02	15.66	15.52	15.13	15.00	15.00	14.87	14.39	14.27
	泉温	65.9	65.9	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	
	時刻	日時分											
	湧出量	14.05											
	泉温	66.0											

日 本 油	時刻	日時分	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	
	湧出量	119.88	119.88	119.88	113.34	115.44	115.44	115.44	113.34	113.34	111.32	111.32	
	泉温	88.6	88.5	89.0	89.0	88.8	88.9	88.6	88.2	88.6	88.2	89.0	
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.30
	湧出量	109.37	109.37	111.32	105.66	109.37	107.48	107.48	109.37	105.66	111.32	111.32	111.32
	泉温	88.2	88.2	88.6	88.5	88.5	88.5	88.3	88.6	88.2	88.8	88.5	89.0
	時刻	日時分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30
	湧出量	111.32	111.32	115.44	113.34	117.62	117.62	115.44	115.44	113.34	115.44	117.62	113.34
	泉温	88.6	88.9	89.2	89.0	88.9	89.0	88.5	88.9	88.5	88.5	88.6	89.0
	時刻	日時分											
	湧出量	117.62											
	泉温	89.0											

田 中	時刻	日時分	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30				
	湧出量	65.40	64.01	61.16	60.02	59.04	58.77	57.73	58.37				
	泉温	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5				
	時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	12.40
	湧出量	70.15	68.27	68.09	68.21	67.20	66.78	68.44	68.43	67.75	66.33	65.64	64.52
	泉温	95.5	95.5	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0
	時刻	日時分	13.30	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00	15.30	16.00	16.30
	湧出量	64.26	62.45	62.74	61.88	63.24	62.25	62.12	60.87	61.24	61.25	60.64	59.83
	泉温	96.0	96.0	95.5	96.0	95.5	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0
	時刻	日時分											
	湧出量	58.46											
	泉温	95.5											

志 手 (政)	時刻	日時分	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	
	湧出量	2.64	2.36	2.66	2.65	2.68	2.66	2.65	2.68	2.66	2.69	2.65	
	泉温	53.0	53.0	53.2	53.1	53.0	53.0	53.0	53.1	53.0	53.0	53.1	

湯布院 湯布院町所有泉揚水試験
測定年月日 昭和45年3月23~24日

湯布院 揚湯量 湧出量 ℓ/min 泉温℃

時刻	日時分	9.30	9.35	14.05	15.00	15.30	16.00	16.30	
揚湯量	24. 8.30	134.73	156.35	湧出停止	湧出開始	44.50	124.85	145.21	180.85
泉温									

湧出量 (ℓ/min)

後藤	時刻	日時分	15.00	15.30	16.00									
	湧出量	23.14.30	68.66	69.33	72.00	70.66								
	泉温		93.5	93.5	94.0	93.8								
	時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	
	湧出量	24. 8.30	73.22	72.67	70.76	71.03	73.64	71.44	71.44	71.86	73.46	74.05	74.96	74.25
	泉温		92.8	93.0	93.0	94.0	93.8	94.0	93.8	94.0	94.5	94.0	94.8	94.4
時刻	日時分	15.30	16.00	16.30										
湧出量	24.15.00	72.04	71.37	70.50	70.06									
泉温		93.0	94.0	93.8	94.0									

道公路園	時刻	日時分	14.30	15.00	15.30	15.45						
	湧出量	23.13.45	21.27	22.43	21.87	21.95	21.57					
	泉温		76.0	77.0	77.5	77.5	77.2					
	時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.30	12.00	13.00	14.00	15.00		
湧出量	24. 8.45	22.43	22.51	22.11	24.38	23.72	21.64	23.45	30.53	23.81		
泉温		77.0	77.0	77.5	77.8		77.0	77.5	77.2	77.5		

野上同場	時刻	日時分	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00						
	湧出量	23.13.30	4.76	4.67	4.73	4.73	4.65	4.67					
	泉温		68.8	68.8	68.9	68.8	68.8	68.8					
	時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30
	湧出量	24. 8.30	4.52	4.54	4.48	4.48	4.57	4.57	4.61	4.62	4.62	4.58	4.73
	泉温		68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5
時刻	日時分	15.30	16.00	16.30									
湧出量	24.15.00	4.77	4.82	4.73	4.73								
泉温		68.5	68.5	68.5	68.5								

厚生年金病院	時刻	日時分	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00					
	湧出量	23.13.40	194.00	187.74	207.86	223.85	207.86	215.56				
	泉温		91.5	90.5	91.2	90.0	90.0	89.5				
	時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00
湧出量	24. 8.30	207.86	223.85	242.50	232.80	242.50	232.80	242.50	242.50	242.50	253.04	264.55
泉温		92.0	91.8	92.0	92.0	92.0	91.5	92.2	92.0	92.0	92.2	92.0

時刻	日時分	15.30	16.00	16.30								
湧出量	24.50	232.80	223.85	242.50								
泉温	92.0	92.0	92.0	91.8								

小 財	時刻	日時分	15.00	15.30	16.00								
	湧出量	149.45	146.86	149.59	145.98								
	泉温	83.0	83.5	83.2	82.0								
	時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30
	湧出量	147.97	145.29	143.78	148.62	148.62	146.86	148.62	150.42	147.97	151.40	153.26	152.62
	泉温	82.9	82.0	82.0	82.3	83.0	82.5	83.5	82.8	83.3	83.0	82.2	83.0
	時刻	日時分	15.30	16.00	16.30								
	湧出量	146.86	150.30	152.25	147.80								
	泉温	83.0	83.2	82.5	82.8								

湯布院 川崎敬之助氏温泉揚水試験

測定年月日 昭和45年3月25日～26日

湯布院 揚水量 湧出量 l/min 泉温 $^{\circ}C$

時刻	日時分	10.07	10.08	10.15	10.40	11.50	12.35	13.02
揚湯量	揚湯開始	61.68	68.53	64.25	64.93	63.59	62.94	揚湯停止
泉温				53.5	54.3	55.6	55.0	

湧出量 (l/min) 又は水位 (cm)

針	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00
	湧出量	12.48	13.13	12.23	13.40	13.40	12.60	11.45	11.56	12.35	12.48	12.48	12.60
	水位												
	泉温	56.0	55.8	56.5	56.2	56.5	55.0	56.0	55.8	56.5		57.0	56.5
	時刻	日時分	16.00										
	湧出量	10.86	11.78										
	水位												
	泉温	56.2	55.3										
	時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.30	11.05	11.30	12.00	13.00	13.02	13.04	13.06
	湧出量	9.47	9.47	9.55	10.16	湧停	7.7	8.5	5.0	7.7	7.7	7.4	6.8
	水位					出止							
	泉温	55.8	55.8	56.8	55.5								
	時刻	日時分	3.10	13.14	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
	湧出量	7.8	6.5	6.33	7.88	9.55	10.16	10.41	9.40	9.69	9.55	10.33	
	水位												
	泉温		湧開	出始	56.2	56.5	56.7	56.8	57.0	56.8	56.8	57.0	57.0

秋吉	時刻	日時分 25. 9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
	湧出量	16.80	17.26	15.75	16.15	15.56	16.80	16.58	15.95	16.80	17.75	17.03	16.80
	泉温	57.5	57.5	57.8	57.3	57.3	57.2	56.8	56.8	56.8	56.8	57.0	56.8
	時刻	日時分 25.16.00											
湧出量	15.95												
泉温	56.8												
時刻	日時分 26. 8.45	9.00	9.30	10.00	10.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	
湧出量	17.50	17.50	16.58	17.03	16.58	16.80	16.15	16.15	17.26	16.15	16.36	16.15	
泉温	56.8	57.0	57.0	57.0	56.8	56.8	56.8	56.8	56.9	57.0	57.0	57.0	
時刻	日時分 26.16.00												
湧出量	16.58												
泉温	57.0												

共温 同泉	時刻	日時分 25. 9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00
	湧出量	10.41	11.78	11.67	11.78	11.45	11.35	12.00	11.56	12.00	11.67	11.56	11.89
	泉温	55.8	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.2	56.2	56.2	56.0	56.0	56.0
	時刻	日時分 25.15.30	16.00										
湧出量	11.89	11.89											
泉温	56.0	56.0											
時刻	日時分 26. 8.40	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.35	13.00	13.30	14.00	
湧出量	11.45	11.05	11.45	11.05	11.25	11.05	10.96	10.96	10.96	10.77	10.96	11.67	
泉温	56.2	56.2	56.2	56.2	26.5	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	56.2	
時刻	日時分 26.14.30	15.00	15.30	16.00									
湧出量	11.35	11.35	11.35	11.56									
泉温	56.2	56.2	56.2	56.2									

高倉	時刻	日時分 25. 9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00
	湧出量	15.75	17.50	17.03	16.58	16.15	16.15	15.95	15.37	15.56	16.36	16.15	15.95
	水位												
	泉温	57.0	57.5	57.0	57.5	57.5	57.5	57.2	57.2	57.2	57.2	57.2	57.2
時刻	日時分 25.15.30	16.00											
湧出量	14.00	16.36											
水位													
泉温	57.2	57.2											
時刻	日時分 26. 8.45	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	12.00	13.00	13.02	13.04	13.06	13.08	
湧出量	14.16	14.65	14.48	14.65	6.15								
水位													
泉温	57.2	57.5	57.5	57.5	56.2	52.0		67.1	67.5	66.6	65.7	65.5	
時刻	日時分 26.13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.10	14.30	15.00	15.30	16.00		
湧出量	65.3	64.5	63.8	63.6	63.2	63.2	17.50	15.95	16.15	15.95	16.58		
水位													
泉温							56.0	57.0	57.0	57.5	57.0		

立川	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	
	湧出量	25. 9.20	9.81	11.27	11.14	11.45	11.65	11.48	11.53	11.52	11.41	11.55	11.61	11.72
	泉温	25. 9.20	55.0	55.0	55.0	54.9	55.0	55.0	55.0	55.0	55.1	55.0	55.0	55.0
	時刻	日時分	15.30	16.00										
	湧出量	25.15.00	11.76	12.10	11.76									
	泉温	25.15.00	55.0	55.0	54.8									
	時刻	日時分	9.10	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.10	13.20	
	湧出量	26. 8.45	8.51	12.12	12.21	12.12	11.96	10.66	10.93	10.93	10.73	10.86	10.93	10.93
	泉温	26. 8.45	55.0	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	55.0	55.1	55.0	55.0	55.1
	時刻	日時分	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00					
	湧出量	26.13.30	10.60	11.57	12.21	12.12	12.12	12.21	12.04	12.12				
	泉温	26.13.30	55.1	55.1	55.0	55.1	55.1	55.0	55.0					

大谷	時刻	日時分	10.30	11.00	11.30	12.00	12.37	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	
	水位	25.10.00	36.8	30.1	32.2	28.3	31.0	28.8	31.0	28.7	30.1	27.4	29.3	27.1
	時刻	日時分												
	水位	25.16.00	28.5											
時刻	日時分	9.00	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00		
水位	26. 8.50	35.7	33.3	36.4	34.4	32.2	33.6	34.5	34.9	35.0	33.1	33.7	34.3	
時刻	日時分	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00			
水位	26.13.00	33.3	30.7	30.1	31.8	32.6	33.2	31.2	30.6	29.7	30.6	27.9		

佐藤	時刻	日時分	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	
	水位	25. 9.00	17.5	18.9	18.9	18.9	19.0	17.7	18.1	18.8	18.7	19.3	19.1	19.6
	時刻	日時分	16.00											
	水位	25.15.30	19.8	19.7										
時刻	日時分	9.30	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.00	11.30	12.00	13.00		
水位	26. 9.00	33.3	33.2	33.3	32.6	32.6	33.1	33.3	33.5	35.2	32.8	33.8	34.2	
時刻	日時分	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00				
水位	26.13.10	33.2	33.2	33.5	33.8	34.2	34.2	33.0	33.1	33.1	32.3			

老人糖尿病患者の非ケトージス性糖尿病昏睡 前駆症状と思われる症例に対する、的ヶ浜温泉 泉の応用

九州大学温泉治療学研究所内科

矢野良一

内倉洋三

はじめに

Warbury (1925) は腎障害を伴った糖尿病昏睡でケトン尿を伴わない4例を報告したが、これはケトージスがあっても腎からケトン体が排泄されなかった例と考えられていた。1957年頃から、Graefら、Samentらにこのような症例が再び注目され、以来約100例の著明な高血糖を伴い、かつ、ケトージスをみとめない昏睡症候群が報告されている。その多数例が晩発性糖尿病である。しばしば昏迷が初発症状であるが重大な段階にいたるまで多尿、口渴、視力障害（軟便、下痢）嘔気、嘔吐、虚脱感が先行する。昏睡ないしその直前になんらかの急性疾患を併発し、この疾患としては、重篤な感染症、その他火傷、肺炎、肺癌などが知られている。

非ケトージス性糖尿病昏睡はその根底にあるものはインスリン活性の喪失であるが、その臨床症状を形成するものは、糖代謝異常、高血糖、滲透圧亢進、脱水、電解質異常、意識障害などである。

われわれも過去4年間に3例高滲透圧性糖尿病性昏睡と思われる症例を経験し、昏睡前後に全例肺炎を合併し、さらに、うち2例は心筋梗塞様症状を呈し、全例とも死亡した経験をもっている。

われわれは前回、報告20号に、的ヶ浜温泉の糖尿病患者の酸塩基平衡におよぼす影響について、臨床的、実験的観察の一端をのべ、老人糖尿病患者がアシドーシスの傾向にあることを指摘したが、今回は、高血糖にもかかわらず、ケトン体をみとめず血中pH、血中pCO₂もほぼ正常範囲でアシドーシスをみとめない老人糖尿病患者で非ケトージス性糖尿病昏睡の早期症状を呈していると思われる患者5名に的ヶ浜温泉を試み、自覚症状、血糖、アセトン体、血液pH、血中pCO₂、尿素N、PSP、血中K、Na、Ht、赤血球数、白血球数などを測定し、的ヶ浜温泉の効果について観察を試み、2、3の知見をえたので報告する。

検査項目

観察をおこなった患者は、当科関連病院の入院患者5名で、男子2名、女子3名、年齢60～70才である。表Iに示すごとく、高血圧、動脈硬化、腎機能障害を合併、口渴、全身倦怠感、虚脱感、胃腸障害の症状強く、軽度の意識障害、脱水症状を示し、尿アセトン体陰性で、高血糖、高尿素血症、高Na血症、高K血症を示したが、血液pH、血中pCO₂はほぼ正常範囲で非ケトージス性糖尿病昏睡の前駆症状を思わせた患者である。特に述べておきたいことは全症例とも症状発現までに血糖は比較的控制が良好であり、症例I、II、IIIは以前当科に入院、的ヶ浜温泉と内服剤（アセトヘキサマイド、ピグアナイド系薬剤）で十分コントロールされ、退院後外来治療中であつた患者で、症状発現のため再入院した患者である。5症例に対してはただちに的ヶ浜温泉を試み、自覚症状、血糖アセトン体、血中K、血中Na、血液pH、血中pCO₂、尿素N、PSP、Ht、赤血球、白血球らを測定し前後の変動、及び経過を観察した。

飲泉方法は従来の温研方式を用いず、日中少量ずつ頻回に飲用せしめ、量は1.4ℓ～1.8ℓとした。尚今回は症状の程度に個人差があり入浴は一定していないが1日1回、時間は10分～20分とした。飲泉期間は2週間とした。

経過並びに検査成績

全症例共、血液pH、血中pCO₂、は全経過を通じてほぼ正常範囲で、ケトン体も陰性でアシドーシスの傾向はみとめなかった。

表Iに示した5症例に的が浜飲泉をおこなったが、表に示すごとく、自覚症状はインスリン治療を途中からおこなった2例をのぞき3～4日目ですみやかに消失、特に補液、その他の処置を必要としなかった。PSP15分値は全症例共改善をみた。尿素Nは飲泉前上昇著明であったが全症例共正常範囲

表1 的が浜飲泉による自覚症状、血糖、尿素N、血中Na、Htその他の変動

症年 例令	性	疾患名	K.W	自覚症状	アセトン体	血液pH	血中pCO ₂ mmHg	PSP 15分位	尿素N	血中Na mEq/l	血中K mEq/l	Ht %	Rote	Weight	空腹時血糖値 mg/dl	使用薬剤 (飲泉前)	
I 67	♂	糖尿病 高血圧 動脈硬化	III	飲泉前	口渴、全身倦怠感 食欲不振、嘔気	陰性	7.3	42	7	50	160	5.8	56	623	11000	330	アセトヘキサマイド
				飲泉后	8日目消失 (5日目よりインスリン使用)	陰性	7.35	46	21	20	142	3.6	42	432	8600	160	サイアザイド
II 71	♀	糖尿病 高血圧 動脈硬化	IIb	飲泉前	虚脱感、嘔気 食欲不振軟便	陰性	7.31	39	10	35	151	5.3	50	462	7000	325	アセトヘキサマイド
				飲泉后	3～4日目消失	陰性	7.28	36	25	15	139	4.5	48	420	6800	120	サイアザイド
III 69	♀	糖尿病 高血圧 動脈硬化	IIb	飲泉前	嘔気、食欲不振 軽度の意識障害 虚脱感	陰性	7.2	44	13	45	152	6.0	49	480	6800	298	ビグアナイド
				飲泉后	3日目より消失	陰性	7.4	45	19	22	145	4.2	44	460	6600	155	サイアザイド
IV 75	♂	糖尿病 高血圧 動脈硬化	III	飲泉前	全身倦怠感 嘔気、食欲不振 軽度の意識障害	陰性	7.28	33	7	50	162	6.0	52	610	8200	380	ビグアナイド
				飲泉后	5日目消失 (4日目よりインスリン使用)	陰性	7.33	34	15	22	147	4.8	43	462	6500	150	サイアザイド
V 62	♀	糖尿病 高血圧 動脈硬化	IIb	飲泉前	食欲不振、嘔気 虚脱感	陰性	7.3	36	11.2	42	149	5.4	50	420	5800	330	ビグアナイド
				飲泉后	3～4日目消失	陰性	7.32	42	18	17	136	4.0	48	390	5700	170	サイアザイド

に改善をみた。

特にインスリン治療を併用した症例に著明な低下をみた。血中Na、K、も低下、Ht、赤血球数、白血球数等もインスリン併用例で特に減少著明であったが、他の症例も減少の傾向をみた。空腹時血糖値は、全症例飲泉前300mg/dl前後と高血糖を示していたが、すべて下降をみた。

症例Iは自覚症状の増悪とともに、5日目軽度の意識障害を示し、空腹時血糖値、360mg/dlと上昇し、レンテインスリン40単位/day使用、5%キシリトール(500～100ml)の補液を行った。8日目に自覚症状消失し、レンテインスリンの減量を行い、2週間後には、レンテインスリン20単位に減量できた。

症例IVは飲泉時より軽い意識障害あり、飲泉もやや困難で、空腹時血糖値も320mg/dl～380mg/dlと

高く、4日目よりレンテインスリン40単位/day使用、5%キリット500ml/day、ラクテック500ml/dayの補液をおこない自覚症状消失、空腹時血糖も低下し、レンテインスリンの減量がすみやかにできた

考按、並びに総括

非ケトージス性糖尿病昏睡の治療は、高血糖と脱水の治療にむけられ重篤な状態では糖代謝の正常化、細胞の脱水よりの回復、循環血流量の確保が原則である。

今回のわれわれの観察した5症例は非ケトージス性糖尿病昏睡の発現前早期症状を呈したものと思われ、インスリン治療、補液等の治療に先行し、的が浜飲泉の効果を試みた。

結果を要約すると、(1)5症例中3例は飲泉により、インスリン及び他の補液を使用することなく、内服剤の併用で自覚症状の早期消失をみ、他の検査所見の改善もみられた。(2)2例(症例I、IV)は自覚症状の増悪と高血糖の為にインスリン治療にふみきらざるをえなかった。しかしその後もひきつづき飲泉によりインスリンの減量が円滑にできた印象をえた。(3)的が浜飲泉により、Ht、赤血球、白血球数は著明ではないが減少をみた。インスリン併用例では著明な減少をみた。(4)尿素N、PSP値は全例高値をみとめていたが、飲食後下降を示した。このことは前回の実験報告と同じ結果をえた。

(5)血中Na、K値は全例とも減少し、インスリン、補液を行った2例では著るしく改善された。(6)血糖値は全例下降を示した。

全例とも老人糖尿病患者であったが高血糖を示し昏睡の前駆症状を示しながらも、何故ケトージスを伴わないかについて、Antoniadesは、初老期糖尿病で蛋白と結合したインスリンは筋には働かないが脂肪組織ではインスリン作用が保たれるのではないかと説明している。また全症例とも高血圧をみとめ、たまたま、サイアザイド系薬剤を使用していたが、Benedettらの云う、サイアザイドも氏島の消耗を助長するのではないかと云うことがうなづけられるようであった。

推測ではあるが、的が浜飲泉は、明らかに老人性疾患の代謝障害の改善になんらかの形で好影響を与えるものと思われる。今回の老人糖尿病患者の症例においても、主要症状をなす脱水に対し単純な意味での飲泉が水分の補給の役をなしたことはもちろんであるが、温泉水特有の作用が、老人糖尿病の代謝障害、高血糖、高尿素血症、電解質異常の改善を中心に、血漿滲透圧の正常化、細胞内外液の電解質のBalanceに働いたものではないかと推測される。インスリンの定量、活性等の実験的観察は行っていないが、飲泉が、インスリンの活性をうながしたか、粹のラ氏島になんらかの形で影響を及ぼしたか推測される。さらに代謝調整とは別に尿素Nの正常化、PSPの改善をみたことより腎機能に好影響を与えることも推察される。

むすび

的が浜飲泉、及び入浴が糖尿病の血糖下降作用、及び代謝調整に好影響を及ぼすことは過去5年間報告してきたが、的が浜温泉を個々の実験的研究のみに利用することなく、もっと、臨床面に、多面的に、積極的に応用すべきであると考え。

放射線障害の温泉療法 (第27報)

中性子とGamma線障害に対する温泉効果についての実験的研究 (第3報)

九大温研外科

有馬正士
辻秀男

中性子とGamma線の混合照射による放射線障害の温泉効果の実験的研究について、大分県温泉調査研究会報告第19号、第20号に報告し、体重の回復、血液所見とくに白血球所見の改善、脾臓所見では髓外造血所見の改善、旺盛なSinus histiocytosisなどが緩和性温泉浴群に認められたことを述べた。

今回は中性子とGamma線の混合照射マウスに泉浴を行わせ、照射マウスの骨髓白血球系機能を簡易骨髓培養法で検討し、温泉効果を追求したので報告する。

使用動物は生後10~14週、体重21gから25gまでの雄性、純系ddNマウスで、一定期間、一定飼料で飼育したものをを用いた。

照射方法は従来と同様で回転照射法をもちい、まず中性子200rad照射後20分に¹³⁷CsによるGamma線300γ、計ほぼ500γの全身単一混合照射を行った。

使用泉種は柳湯泉、原爆センター泉、修飾泉(温研泉に微量成分であるCo 1.68mg/kg、colloid S 2 mg/kgを付加したもの)に無浴を対照とした。

各群15匹とし、これまでの実験データより泉浴群と無浴対照群の間に差を生じはじめる10日後より観察をはじめ、照射後10日、15日、21日に各5匹づつエーテル麻酔下に屠殺し、大腿骨骨幹部より骨髓片を採取し、これを安全カミソリかグレーフェ刀で一辺0.5mm³ぐらいの細片とし、これを不働化家兔血清と199液を1対4の割合の混合液をを培地として、平木式簡易培養盤 ϕ 1を用い、1匹より5標木を作成し、37℃、24時間培養を行った。

培養後、保温箱を設置したオリンパス倒立顕微鏡で培養標本を40倍の拡大下にAbbeの描画器を用いて観察、骨髓組織ならびに増生帯を描画し、Planimeterをもちいて骨髓組織ならびに増生帯の面積を測定し、増生帯面積と骨髓組織面積の比より、比較成長係を算出した。

非照射、無泉浴である正常骨髓組織の比較成長係を1.0とした場合の実験群の比較成長係の割合を求めこれを成長係数として実験成績とした。

実験結果として、無浴対照群では照射後10日に成長係数は平均0.565、照射後15日には0.752、照射後21日には0.898と回復したが1.0を越えなかった。(表1)

表1 無浴対照群の成長係数

マウス $\#$	1	2	3	4	5	成長係数平均
照射後10日	0.559	0.503	0.525	0.556	0.683	0.565±0.276
〃 15日	0.663	0.812	0.840	0.649	0.825	0.752±0.099
〃 21日	1.014	0.906	0.849	0.793	0.930	0.898±0.088

原爆センター泉浴群では照射後10日に成長係数は平均0.532、照射後15日には1.056、照射後21日に

は1.147と1.0をうわまわった。(表2)

表2 原爆センター泉浴群の成長係数

マウスNo	1	2	3	4	5	成長係数平均
照射後10日	0.497	0.467	0.500	0.687	0.508	0.532±0.086
〃 15日	1.103	1.187	1.194	0.829	0.967	1.056±0.156
〃 21日	1.179	1.026	1.209	1.076	1.247	1.147±0.098

柳湯泉浴群では照射後10日に成長係数は平均0.627、照射後15日には0.993、照射後21日には1.264で1.0をうわまわった。(表3)

表3 柳湯泉浴群の成長係数

マウスNo	1	2	3	4	5	成長係数平均
照射後10日	0.611	0.550	0.710	0.646	0.617	0.627±0.055
〃 15日	1.049	1.104	1.026	0.823	0.961	0.993±0.103
〃 21日	1.560	1.352	1.053	1.023	1.331	1.264±0.243

修飾泉浴群では照射後10日に成長係数は平均0.666、照射後15日には1.170、照射後21日には1.358と1.0をはるかにうわまわった。(表4)

表4 修飾泉浴群の成長係数

マウスNo	1	2	3	4	5	成長係数平均
照射後10日	0.619	0.596	0.649	0.570	0.895	0.666±0.130
〃 15日	1.199	0.998	1.034	1.425	1.192	1.170±0.169
〃 21日	1.239	1.374	1.319	1.502	1.353	1.358±0.267

無浴群と泉浴群間の経日的変化をみると、まず照射後10日では、無浴群0.565、原爆センター泉浴群0.532、柳湯泉浴群0.627、修飾泉0.666、と泉浴群は無浴群よりやや高値であるが統計的有意差は認められなかった。(表5)

表5 各群の成長係数(照射後10日)

マウスNo	1	2	3	4	5	成長係数平均	
無浴対照	0.559	0.503	0.525	0.556	0.683	0.565±0.276	
泉種	原爆センター泉	0.497	0.467	0.500	0.687	0.508	0.532±0.086
	柳湯泉	0.611	0.550	0.710	0.646	0.617	0.627±0.055
	修飾泉	0.619	0.596	0.649	0.570	0.895	0.666±0.130

照射後15日では無浴群0.752、原爆センター泉浴群1.056、柳湯泉浴群0.993、修飾泉浴群1.170と高く、無浴群と泉浴群との間に統計的有意差を認めた。(表6)

照射後21日には無浴群では0.898、原爆センター泉浴群では1.147、柳湯泉浴群では1.264、修飾泉浴群では1.358と泉浴群に高く、対照との間に統計的有意差を認めた。(表7)

以上を要約すると照射後10日には対照と泉浴群との間に有意差はなく、照射後15日にいたり対照群との間に有意差を生じ、照射後21日には泉浴群に有意の回復促進が認められた。

表6 各群の成長係数(照射後15日)

マウス No.	1	2	3	4	5	成長係数平均	
無浴対照	0.633	0.812	0.840	0.649	0.825	0.752±0.099	
泉種	原爆センター泉	1.103	1.187	1.194	0.829	0.967	◎1.056±0.156
	柳湯泉	1.049	1.104	1.026	0.823	0.961	◎0.993±0.103
	修飾泉	1.199	0.998	1.034	1.425	1.192	◎1.170±0.169

◎ 有意差あり

表7 各群の成長係数(照射後21日)

マウス No.	1	2	3	4	5	成長係数平均	
無浴対照	1.014	0.906	0.849	0.793	0.930	0.893±0.088	
泉種	原爆センター泉	1.179	1.026	1.209	1.076	1.247	◎1.147±0.098
	柳湯泉	1.560	1.352	1.053	1.023	1.331	◎1.264±0.243
	修飾泉	1.239	1.374	1.319	1.502	1.353	◎1.358±0.267

◎ 有意差あり P<0.05

表7 脾臓主要所(照射21日後)

群	所見	リンパ球再生	濾胞の腫大	髓外造血組織			ウツ血の回復	sinus histiocytosis
				顆粒球	骨髓巨核球	赤芽球		
無浴		+	+	+	+	+	+	+
淡水浴		+	+~++	+	+	+	+~++	+~++
原爆センター泉		+~++	++	+~++	+	++	++	++
海地獄泉		+	+~++	++	+	+~++	++	+~++
柳湯泉		++	+++	++	+	++	++	++
修飾泉		++	+++	+	+~++	++	++	+++

図1 体重変化各群平均(前値に対する百分率)

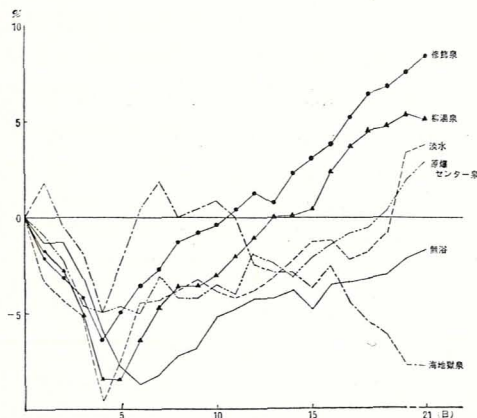
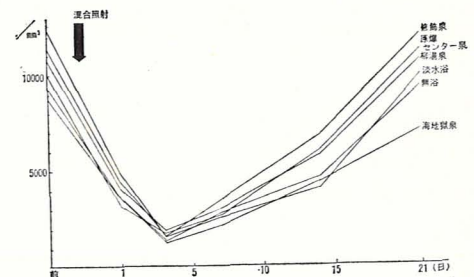


図2 白血球数各群平均



大分県温泉調査研究会報告第19号、第20号で報告した、中性子とGamma線障害時の体重変化、血液所見とくに白血球の変動、脾臓所見に対する温泉効果をみると、体重変化では図1のように柳湯泉浴群、修飾泉浴群に回復が良く、10日～14日の間にそれぞれ照射前値に回復し、その後増加を続けた白血球の変動では図2のように原爆センター泉浴群、柳湯泉浴群、修飾泉浴群に回復促進傾向がみられた。

脾臓所見では10日後にはまだ明かな回復促進は認められなかったが、表7のように照射後21日には原爆センター泉浴群、柳湯泉浴群、修飾泉浴群にリレパ球の再生、髄外造血組織の回復、Sinus histiocytesら他群より著明であった。

以上の所見を骨髄白血球系機能の所見とあわせ考えると、回復促進傾向のみられたのは緩和性泉で、thiol作用の強い原爆センター泉浴群、柳湯泉浴群、修飾泉浴群であった。

なお微量成分の一つで、ビタミンB₁₂の構成成分であるCoとcolloidS付加した修飾泉浴群に特に効果の認められたのは興味ある所見と思われる。

放射能障害の温泉療法 (第28報)

原爆被爆者別府温泉利用研究所の実績 (XI)

原子爆弾被爆者別府温泉利用研究所

八 田 秋

九 大 温 研 外 科

有 馬 正 士

前回に引き続き、昭和44年4月より昭和45年3月までの1年間について、湯治成績を求めてみた。入所利用者数は、5月、10月、11月に多く各平均49.2名、42.1名、46.5名で定員を越えている。7月、8月、12月が平均24.9名、27.9名、24.7名と少ないが他の月はほとんど30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、8月、12月をのぞくと変らない。年間平均37.9名は前回の31.1名より多い。そのグラフの高低をみるとその差が少く常時利用者数がほぼ一定している。

また、今回1年間の利用者実数は2011名で前年度より321名多い。

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。

これら利用者の滞在日数を調べると「3日以内滞在者は」675名(33.57%)、「4～6日滞在者は」485名(24.12%)を占めている。1週間以上の長期滞在者は851名(42.31%)、さらに2週間以上のものは約6分の1(14.56%)と昨年、1昨年度よりやや低い(第2表、第2図)。

さらに前回と同様2週間前後滞在した851名中希望によって17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0.8%、1週間以上滞在者の1.9%にあたる。

この17名のうち8名(47.1%)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ぎた例である。この8例をのぞくと2km以内のもの3例(11.1%)でそのうち遮蔽物のなかったのは1例(5.9%)である(第4表)。

図1：月別入所利用度の一月平均 (昭和44年4月～昭和45年3月)

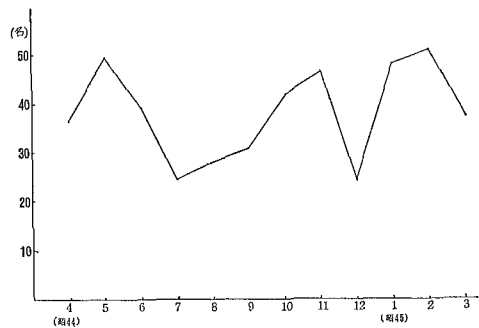


表1 利用者男女別年令表

44年度

月別	年令	年齢別										計		計
		<30才	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66>	男	女			
4	男	2	1	1	2	5	8	17	24	44	83	127		
	女	6	4	3	5	8	6	17	34					
5	男	4	0	4	1	1	4	13	47	74	131	205		
	女	11	4	4	5	9	23	17	58					
6	男	1	1	0	2	4	6	8	33	55	72	127		
	女	0	1	3	5	9	12	19	0					
7	男	7	6	1	0	4	6	4	14	42	65	107		
	女	14	11	6	3	4	9	8	10					
8	男	18	10	3	3	1	7	7	25	74	103	177		
	女	35	12	3	4	7	16	10	16					
9	男	6	5	3	2	6	3	11	32	68	84	152		
	女	4	3	10	5	6	12	13	31					
10	男	1	2	5	4	7	7	10	43	79	168	247		
	女	2	8	20	11	24	16	41	45					
11	男	3	2	1	2	7	9	14	62	100	104	204		
	女	7	0	2	10	13	16	19	37					
12	男	4	4	3	4	9	9	13	28	84	59	143		
	女	5	5	3	3	6	7	12	18					
45年 1	男	6	1	3	1	3	8	14	32	68	131	199		
	女	7	6	4	5	12	9	20	38					
2	男	1	4	1	2	6	16	20	68	88	89	177		
	女	3	2	1	4	8	20	17	34					
3	男	6	5	0	1	4	7	7	29	59	87	146		
	女	5	4	4	5	5	14	17	33					
計		159	101	88	88	165	247	339	824	835	1176	2011		

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、はみ出した例数をしらべ被爆者に対する割合を百分比で表わした（第6表）。

前回の成績と比較して見ると、前回同様白血球異常例及び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例（5.8%）で、湯治後には集中値限界に回復している。

表2 利用者とその延数

月別	利用者数	利用延数	一月平均数
44年4	127	1,107	36.9
5	205	1,526	49.2
6	127	1,180	39.2
7	107	773	24.9
8	177	867	27.9
9	152	925	30.8
10	247	1,205	42.1
11	204	1,396	46.5
12	143	768	24.7
45年1	199	1,464	47.2
2	177	1,438	51.3
3	146	1,189	37.5
計	2,011	13,838	37.9

表3 利用者滞在者数

月別	日数	3日以内	4日～6日	7日～13日	14日以上	計
44年4		37	25	43	22	127
5		46	25	81	53	205
6		32	13	57	25	127
7		39	45	10	13	107
8		99	26	40	12	177
9		67	25	34	26	152
10		165	27	25	30	247
11		40	118	39	7	204
12		19	97	22	5	143
45年1		55	16	78	50	199
2		47	24	72	34	177
3		29	44	57	16	146
計		675	485	558	293	2,011

図2：湯治期間

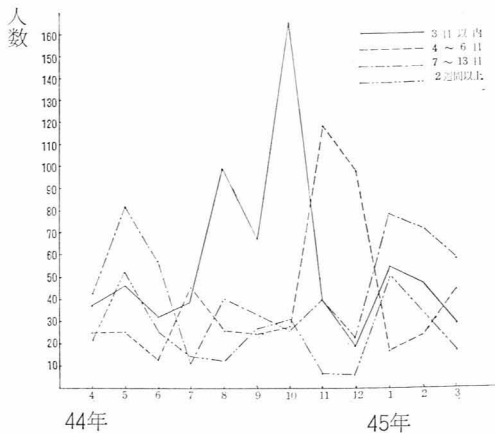


表4 被爆状況

Km	例数	遮		不明
		+	-	
0.5<	0	0	0	0
1.0	1	1	0	0
1.5	0	0	0	0
1.8	2	0	1	1
2.0	1	0	1	0
3.0	1	1	0	0
3.5	0	0	0	0
4.0>	0	0	0	0
直後入市	8			
計	13	2	2	1

表5

検査項目	集中値限界
赤血球数	300万～500万/mm ³
血色素量	75～90%
白血球数	5,000～8,000/mm ³
最高血圧	100～150mmHg
尿糖	陰性
尿蛋白	〃
尿ウロビリノーゲン	正常
ディヴィス反応	陰性

表6 湯治前バラッキ頻度（17例）

検査項目	湯治前 (%)	湯治後 (%)	
		全例 (%)	残留例 (%)
赤血球数減少	1(5.8)	0	0
血色素量減少	1(5.8)	1(5.8)	1(5.8)
最高血圧異常	7(41.2)	5(29.4)	5(29.4)
尿蛋白異常	0	0	0
尿糖陽性	0	0	0
白血球数異常	3(17.6)	2(11.7)	2(11.7)
尿ウロビリノーゲン陽性	0	0	0
尿ディヴィス反応陽性	0	0	0

血色素減少例は5.8%で前回の6.1%よりやや低い。その湯治成績では残留例も集中値限界に近づいている。

白血球異常3例（17.6%）では白血球数の少ないものが2例で前回の21.1%より低い。その湯治成績では白血球増加例は正常値に復し、他の2例はなお低値であったが、正常値限界に近づいている。

最高血圧異常例41.2%は前回の36.3%より高いが、その湯治成績は残留例29.4%と減少を示した。

尿ウロビリノーゲン陽性例0%、尿ディヴィス反応陽性例0%であった。

以上の結果より検討すると湯治の成績は、ほぼ従来と同様な傾向を示し、白血球異常例、赤血球減少にも効果がえられた。

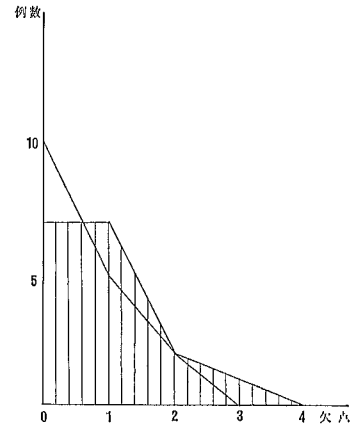
更に詳細に検討してみると、湯治前には異常なく、湯治後にかえて出現した異常例は本年度にみとめられなかった。

ここで湯治前後の各人の持っている欠点数と例数のHistogramを作ってみると図3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引き、これを被検者総数で割って算出すると0.6470となり前回の0.4848よりやや高かった。

要するに本年度は入浴の意義が良く一般に知られ、来所者の増加がみられた。

すなわち利用者実数の増加、毎月利用者数が平均していることなどがこれを物語っている。長期滞在者の割合が本年はやや減少し、受診者の割合も最低であった。この点については施設の改善、療養法の理解に、一層の努力が払われなければならないと考えられる。

図3：欠点数と例数のHistogram



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、昭36
- 3 八田：臨床と研究、37：529、昭35
- 4 八田：大分県温泉調査研究会：第18号、昭42
- 5 八田：大分県温泉調査研究会：第19号、昭43
- 6 八田：大分県温泉調査研究会：第20号、昭44

別府明礬温泉の成因とその特長ある化学成分

九州大学温泉治療学研究所 古 賀 昭 人
野 田 徹 郎

1 緒 言

明礬温泉は別府市の西北部にある酸性の硫化水素泉である。古くから、特有の医療的効果のあることが知られ、付近には湯治客のための宿、浴場が散在している。この医療的に効果のあるとされる特異な化学成分（ポリチオン酸、コロイドイオウ等）をもたらす温泉の湧出過程を検討し、化学成分相互の関係を明らかにしようと試みた。

2 採水箇所

採水箇所は図—1の代表的な温泉10ヶ所であり、多くは温泉宿の泉源である。採水は近時に雨が降った日を避けた。現地は西に高く東に低いかなりの傾斜地であり、各所に硫気孔があり盛んに硫気ガスを噴出している。そのための土壌の風化が甚だしく、硫気孔のまわりにはイオウの晶出がみられる。その反応は、 $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 \rightarrow 3\text{S} + \text{H}_2\text{O}$ である。

中央部では硫気ガスを利用して、湯の花の採取が行われている。湯の花は噴気ガス中の H_2S 、 SO_2 が酸化されて硫酸が生じ、これによって、粘土中に多量に含まれるFe、Alが抽出されてできた硫酸アルミを主成分とする。このような現象は自然環境のもとでも行なわれていると考えられる。

対象とした温泉は殆んどがpH1～3の酸性硫化水素泉である。ただ、ミドリ屋だけはpH7.8の中性泉である。又、えびす屋は他と異なり多量のイオウを含むイオウ泉であり、泉源には多量の微細なイオウ粒子が黄色く沈積しているのがみられる。採水箇所を、便宜上、1)中央道路沿いの温泉は○、2)川沿いの温泉は●、3)山田湯はどちらとも決めがたいので●、4)えびす屋は他と泉質を異にする(イオウ泉である)から●、としておく。

3 明礬温泉の湧出過程

地下深所のいわゆる深部熱水を源とする多量の H_2S 、 SO_2 を含む二次蒸気が上昇し、一部は、 H_2S 1.12wt%、 SO_2 0.15wt%(湯の花採集地で測定)を含む硫気として、一部は地表水が浸透してできた地下水に吸収され温泉として湧出する。これが先に挙げた10ヶ所の温泉である。この地表水→地下水→温泉水の循環のスピードは比較的早いと思われる。というのは酸素同位体の測定によると、温泉水の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ は-8.73%と、地表水の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ の値-8.82%に非常に近く、rockとの交換がほとんど進んでいない、つまり地中にある時間が短いことを示しているからである。(他の別府の温泉例えば鉄輪、亀川ではもっと交換は進んでいる。)又、これを裏付けるもう一つの実験はトリチウムの測定である。トリチウムの測定によると温泉水のトリチウム濃度は35T.U.であり、地表水の値は凡そ80T.U.である。この値は他の別府温泉のトリチウム含有量に比して極めて大きい値であり、むしろ雨水のトリチウム量に近いと云える。このトリチウム濃度は、1)地表水の混入による増加、2)放射線変による減衰、の2つの要因によって決定されるが、いずれにしろ、明礬温泉は地表水の浸透した地下水がかなり混入し、その湧出までの時間がかなり早く、そのためにトリチウム濃度が比較的大きいということができる。

4 化学成分 (表一)

i) pHとSO₄²⁻

pHは4を除いて1~3の値である。Cl⁻の含量が少ないのに比して、SO₄²⁻が非常に大きい値を示している。このことは温泉の起源が二次蒸気によるものであることを裏付けている。なぜならば、もし地下熱水溜りからの直接の湧出であるなら多量のCl⁻イオンを含まねばならぬからである。H₂S、SO₂を含む酸性の二次蒸気は上昇の際に、rockと反応して、多量のFe、Alを溶存する温泉

表一 明礬温泉の化学成分

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	地蔵	大和	露天	ミドリ	岡本	鶴	寿山	田		えびす
Temp	75	64	60	75	68	48	70	82	58	53
pH	2.4	2.0	1.7	7.8	1.8	2.75	1.2	3.0	2.9	2.7
K	4.4	7.2	13.2	3.0	7.3	4.9	13.0	7.0	5.2	12.4
Na	15.7	23.5	31.4	17.2	20.6	13.7	25.0	22.6	14.7	19.1
Ca	10.7	7.8	7.4	10.1	9.6	8.5	3.5	11.1	8.9	12.6
Mg	11.8	12.9	13.2	10.7	15.5	8.3	19.4	13.4	9.1	10.8
Fe	2.9	4.7	10.0	0.1	26.2	1.6	70.1	13.0	2.7	2.4
Al	4.2	17.0	16.4	0.1	31.5	4.9	29.4	8.7	2.7	2.4
F	0.0	0.4	1.3	0.0	1.3	0.2	4.0	0.4	0.0	0.0
SO ₄	625	1025	2350	30	1850	200	4000	350	200	200
HBO ₂	12.3	13.9	56.8	35.8	27.4	19.4	12.3	20.7	32.3	38.4
(S)	0.29	0.03	0.12	0.00	0.53	0.06	0.13	0.00	0.46	3.75

(S)コロイドS

として出てくる。酸性が硫酸によるものであることは図一2によって示される。縦軸にSO₄²⁻濃度、横軸にpHをとると図のような曲線となり、SO₄²⁻濃度と水素イオン濃度が比例していることが分る

ii) Na, K

この酸性熱水はrockをleachして、さまざまな化学成分を温泉水にもたらすのであるが、中でも特徴的なのはNa、Kである。横軸にpH、縦軸にNa/Kのatomic ratioをとると図一3のようになる。pHが低くなるにつれて、Na/Kは小さい値を示している。興味深いことはさきほどの温泉が、Na/KとpHの関係においていくつかのタイプに分れることである。即ち、中央道路沿いの温泉は、川沿いの温泉に比べてpHの増加に対するNa/Kの増加の割合が大きい。中央道路沿い、川沿い、それぞれの温泉群はそれぞれ一直線上にある。又、一つだけ存在したイオウ泉は以上のいづれの温泉群にも属さない。

酸性度が大きくなるとNa/Kが小さくなるという現象は、rockの溶出実験によって確かめられる。

図1 明礬温泉採水箇所

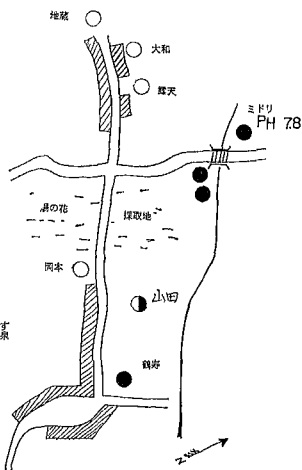


図2 pHとSO₄²⁻濃度の関係

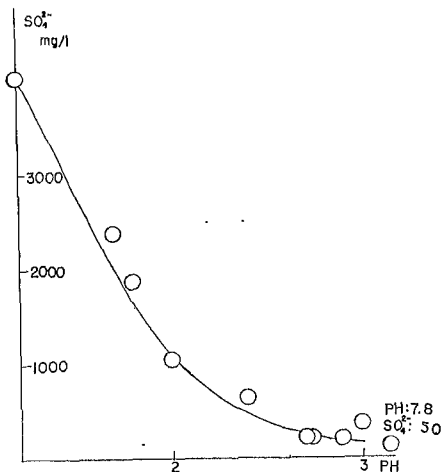


図3 Na/K比とpHの関係

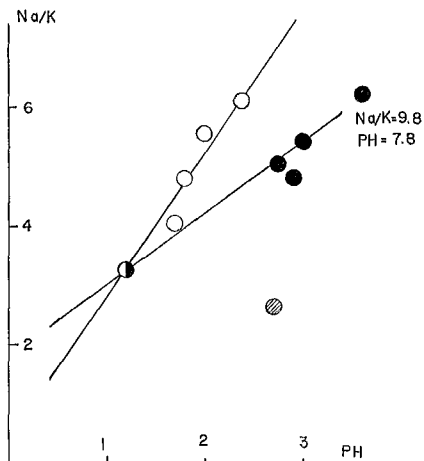


図6 コロイドイオウの検量線

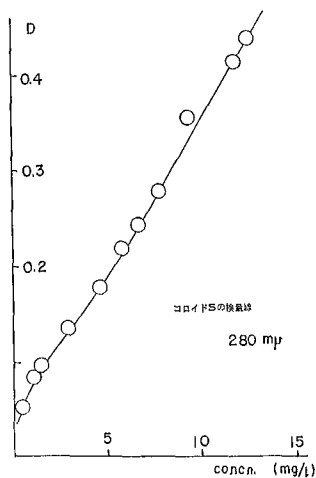


図4 H₂S、ポリチオン酸イオン、SO₄²⁻濃度の経時変化

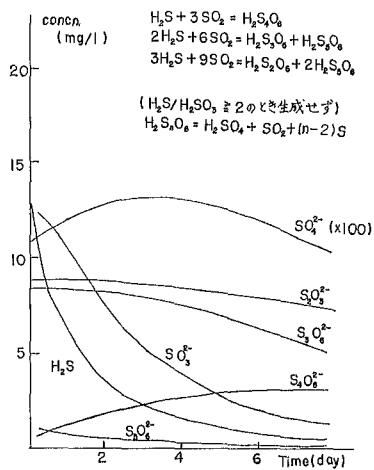


図7 コロイドイオウの経時変化

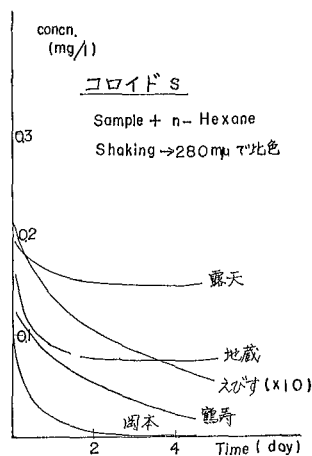


図5 温泉水と実験室でつくったコロイドイオウの吸収スペクトル

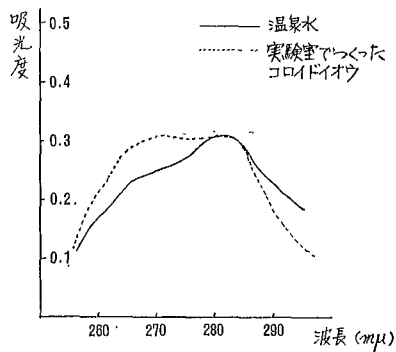
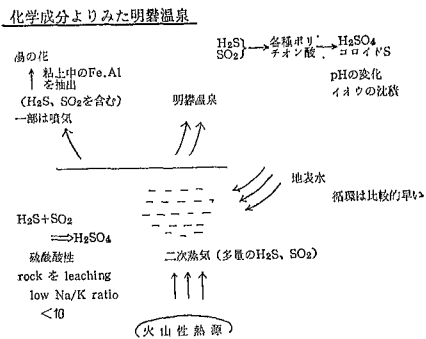


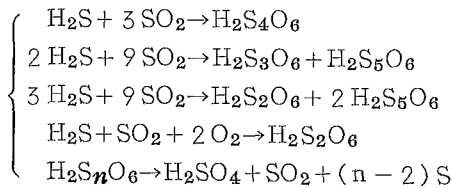
図8 化学成分よりみた明礬温泉



明礬地区の青粘土と水との溶出実験によると、Na/Kは高温ほどその比は小さくなっている。一方、同温でpHを変えた場合の実験では、酸性が強いほど、その比は小さくなり、反応時間が長い程、Na/Kは小さくなっている。又、輝石安山岩末と酸性水との溶出実験でも同じ結果を得ている。つまりこのNa/Kの違いは1) 周囲岩石の組成、2) rockとの反応温度、3) 反応時間、4) 溶液の酸性度によってもたらされるのである。

iii) ポリチオン酸

明礬温泉について、もう一つの特徴的な成分は各種ポリチオン酸である。各温泉水においては、 H_2S と SO_2 が反応して各種のポリチオン酸を生じるが、これは不安定で、それぞれ空気中の酸素と反応して、最後には H_2SO_4 とSになる。



明礬温泉でももちろんこの反応が進行している。

温泉水中の H_2S 、各種ポリチオン酸、 SO_4^{2-} の経時変化を \mathcal{A} 3 (露天風呂) を例にとって示したのが図-4である。(ポリチオン酸の分析は¹⁾ 汎度滴定法によった。) H_2S は時間が経つにつれて急激に減少し、各ポリチオン酸はさまざまに変化するがだいたい減少の傾向にある。しかし、その間の関係は明らかでない。 SO_4^{2-} は時間の経過とともに増加し、ある一定値に達すると減少しはじめる。この SO_4^{2-} の減少の原因としては $CaSO_4$ の沈澱が考えられる。いずれにしろ、 H_2S と SO_2 からポリチオン酸が生じ、 H_2SO_4 とSが生じるという方向に反応は進む。ここでは \mathcal{A} 3を例に挙げたが、他の温泉でも大同小異である。

iv) コロイドイオウ

最後に硫酸と共に生じるコロイドイオウについて述べる。コロイドイオウの定量法についてはいろいろ考えられようが、ここでは、²⁾ n-ヘキサンによる抽出法を用いた。まず、試料とn-ヘキサンを振盪し、抽出後、波長 $280m\mu$ で吸光度を測定する。n-ヘキサンを対照として吸収スペクトルをとると、吸収極大が $28m\mu$ 付近にあらわれる。試料として温泉水を用いた場合と、実験室でつくったコロイドイオウを含む溶液を用いた場合では、図-5のように違いがあらわれる。実験室でつくったコロイドイオウ抽出液では吸収の巾が広いのに比して、実験の温泉水では特に $280m\mu$ 付近のピークが大きくなっていることがわかる。この違いはコロイドイオウ以外の物質あるいはイオウの有無によるものであろうが、どういう成分によるものであるかは明らかでない。標準のsampleを用いて作製した検量線は図-6のようにほぼ一直線となる。この方法は分子吸光係数の大きいこと、希薄溶液から濃縮が容易なことより有利な方法である。この方法を用いて、いくつかのsampleについて定量を行った。

その経時変化を追ったのが図-7である。中でも他と異なるえびす屋のイオウ泉は最初 $3.75ppm$ とかなり多量のコロイドイオウを含んでいる。いづれの温泉も時間が経つと共に急激に減少の傾向にある。コロイドイオウは沈澱して普通のイオウとなる。それがコロイドイオウ減少の原因である。

5 結 論

以上の結果をまとめたのが図-8である。別府明礬温泉は、深所で熱せられた多量の H_2S 、 SO_2 を含む酸性の二次蒸気が上昇し、途中のrockをleachして、多量のFe、Alを含み、特有の低いNa/Kとなり湧出したものである。二次蒸気は地表水が地中に浸透してきた帯水層を温めて、硫酸酸性の温泉として出てくる。この間の循環はトリチウム、酸素同位体の測定により、比較的早いことがわかる。二次蒸気の一部は噴気として地上にあらわれ、それを利用して、湯の花の製造が行われている。温泉

水中に溶け込んだ H_2S と SO_2 は反応して不安定なポリチオン酸となり、最後には硫酸とコロイド状のイオウになる。このイオウは沈積して黄色状のデポジットを形成する。以上のように明礬温泉は Cl^- を殆んど含まない浅所で作られた温泉であるから、降雨の影響は大きく、含有している硫化水素もその変動が大きい。

明礬温泉水の湧出後の変化、すなわち老化現象については前に古賀ら³⁾の詳細な研究がある。湧出直後の地蔵湯をpH、硫化水素、濁度、酸化還元電位、過酸化水素分解速度恒数、吸収スペクトル、比抑圧係数などについて同時測定を行ない、放置後の変化を追求し、人工的に作った酸性硫化水素泉と極めて異なることを認めた。これらはすべて含有しているポリチオン酸によるものと考えられた。

(昭和45年4月、日本化学会第23年会で発表)

文 献

- 1) 三島：東京工大学報 1 (1951) 28
- 2) Koch, H.P. : J.Chem.Soc. (1949) 394
- 3) 古賀ら：日本化学雑誌 79. (1958) 1280、1285

くじゅう火山の温泉群 (5) くじゅう北東部の炭酸泉

大分大学教育学部

志 賀 史 光
川 野 田 実 夫

1 緒 言

筆者らはさきにくじゅう山塊の東方約10kmのところ、芹川に沿って帯状に分布する炭酸泉長湯温泉群を調査した。その結果湧出場所や湧出状況および塩分量などがかなり相違していても、湧出量1ℓあたりの二酸化炭素の総量（遊離CO₂と溶存CO₂との合量）は約2.5~2.8g/ℓで各温泉口ともほぼ一定の値であること、また温泉水中の主要イオンと炭酸物質の供給源とはそれぞれ異なっていると思われることなどをのべた。

この長湯温泉はマグネシウムをカルシウムよりはるかに多く含んでおり、Mg/Ca 当量比が1よりも大きい。炭酸泉が一般にこのような傾向を示すものであるかどうかを日本鉱泉誌で調べた結果、普通はマグネシウムよりカルシウムの方を多く含んでおり、Mg/Ca 比が1よりも大きいということは炭酸泉共通の現象ではない。故にこの現象は長湯温泉にみられる一つの特徴といえる。

くじゅう山塊の東部から東北都一帯にかけほとんど大分市に至る広い範囲に河谷に沿って帯状に炭酸泉が点在している。筆者らは今回の調査においてこれらの炭酸泉の化学組成を検討すると共に、長湯温泉にみられる前記の傾向が何に起因しているのか、また今回調査した炭酸泉にも同様な傾向がみられるかどうか、さらに炭酸カルシウム飽和指数との関連性などについて検討することにした。

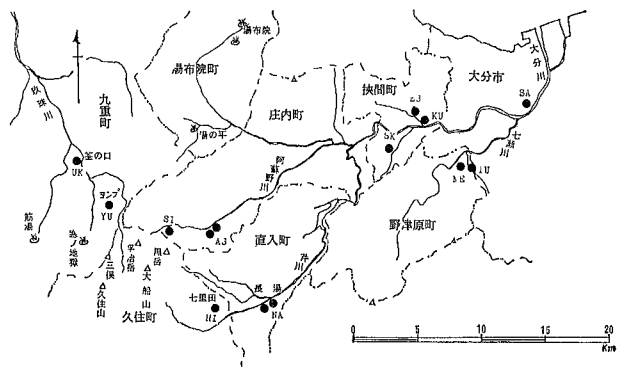
2 採水状況

調査した温泉、鉱泉は二酸化炭素ガスを伴って湧出し、その含量500mg/ℓ以上のものを対象とした。今回新たに調査した主な炭酸泉の湧出地は下記の通りでその所在地をFig.1に示す。

- 釜ノ口温泉 玖珠郡九重町田野
- 湯沢温泉 玖珠郡九重町田野ヨシブ
- 阿蘇野鉱泉 大分郡庄内町阿蘇野
- 酒野温泉 大分郡挾間町酒野
- 海老毛温泉 大分郡挾間町海老毛
- 塚野鉱泉 大分郡野津原町塚野
- 廻栖鉱泉 大分郡野津原町廻栖

Fig.1 調査炭酸泉の湧出場所

- UK 釜ノ口温泉 YU 湯沢温泉 SI 白水鉱泉 AS 阿蘇野温泉
- HI 七里田温泉 NA 長湯温泉 SK 酒野温泉 EB 海老毛温泉
- KU 黒川温泉 TU 塚野温泉 ME 廻栖鉱泉 SA サニー大分温泉



3 分析結果

分析結果を表1に示す。溶存二酸化炭素および炭酸水イオン（pH4.3アルカリ度）の測定は現地で行なった。試料の採取および炭酸物質の分析は前報と同じ方法で行なった。

表1 調査炭酸泉分析結果 (mg/ℓ)

泉名	泉温℃	PH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₂	SiO ₂	採水期日
湯沢温泉(YU)	45.0	5.94	167.0	33.6	407.8	118.6	594.3	814.8	289			1965.7
〃	45.0	5.75	180.0	37.5	427.0	123.0	602.0	780.0	337	891	172.3	1969.10
釜ノ口温泉(UK)	41.6	6.68	344.9	55.0	130.5	79.2	223.6	326.3	1,050			1965.7
〃	38.8	7.35	242.3	49.0	135.3	82.1	192.8	272.2	880			〃
〃	41.0	6.84	261.9	53.0	143.0	86.8	199.7	291.8	943			〃
〃	47.5	6.50	305.0	71.3	195.0	121.0	247.0	310.0	1,208	620	187.2	1969.10
白水鉱泉1(SI)	8.8	4.92	10.9	1.3	32.4	6.0	3.6	15.0	129	1,787	59.1	〃
〃 2	11.0	4.90	8.2	1.2	21.9	5.0	2.4	7.3	93	1,789	50.1	〃
阿蘇野鉱泉1(AS)	20.2	5.93	71.0	25.0	79.7	66.2	20.0	80.0	713	1,087	95.7	〃
〃 2	21.8	5.90	130.0	36.7	128.0	138.0	34.0	141.0	1,180	1,371	96.3	〃
〃 3	21.0	6.15	142.0	33.3	199.0	161.0	44.0	165.0	1,439	1,059	84.5	〃
〃 4	22.2	6.20	109.4	28.5	110.0	106.0	37.5	115.0	978	821	96.3	〃
〃 5	22.0	6.20	150.0	44.6	168.0	167.0	46.0	158.0	1,582	1,413	90.1	〃
七里田温泉(HI)	38.8	6.26	337.0	63.6	186.9	209.7	304.3	537.7	1,545	1,060	181.0	1966.10
長湯温泉(NA)												1968.10
甲斐 斌	39.4	6.71	368	64.0	201.2	246.3	174	397	2,092	928	139	〃
豊 泉 荘	49.2	6.96	511	103.0	265.9	392.5	256	575	3,183	754	173	〃
葛 洩 温 泉	41.6	6.75	415	71.0	201.2	308.4	205	445	2,458	909	152	〃
愛 泉 館 1 号	37.1	6.60	337	63.0	181.6	262.9	178	351	2,054	964	141	〃
〃 2 号	35.5	6.42	353	61.0	193.7	267.7	177	377	2,166	1,389	148	〃
松 山 茂	38.2	6.67	313	58.0	169.7	261.4	171	378	2,051	924	150	〃
町 営 田 の 中	37.6	6.60	320	62.0	178.5	238.0	189	356	1,962	1,016	137	〃
憩 の 家	43.0	6.87	455	77.0	185.9	358.9	263	449	2,697	864	160	〃
大 塚 ・ 峰 野	41.3	6.79	415	65.0	204.7	303.7	200	452	2,471	819	150	〃
大 塚 茂	34.0	6.37	235	40.2	131.3	189.9	117	171	1,469	1,179	128	〃
伊 藤 覚	35.0	6.50	213	47.5	170.6	199.6	92	118	1,854	1,003	135	〃
天 満 湯	40.1	6.60	303	58.0	192.4	242.9	164	253	2,064	956	152	〃
元 天 満 湯	36.2	6.49	233	47.0	136.1	203.0	132	255	1,580	1,127	135	〃
紅 葉 館	42.1	6.60	163	37.5	163.2	183.8	73	94	1,644	915	148	〃
長 生 館	41.7	6.64	372	61.5	208.7	277.0	182	264	2,226	988	133	〃
大 丸 旅 館	47.7	6.85	400	93.0	232.7	334.6	223	384	2,773	799	175	〃
上 野 屋	40.3	6.71	278	66.0	168.0	242.9	158	293	1,956	1,039	145	〃
丸 善 旅 館	43.3	6.80	391	82.0	238.9	304.9	208	267	2,572	894	160	〃
御 前 湯	41.0	6.80	332	77.0	185.0	279.9	171	306	2,185	868	154	〃
御 前 湯 下	34.0	6.43	235	48.0	166.2	169.4	125	140	1,488	1,121	137	〃
芹 川 の 中 1	32.6	6.60	285	58.0	164.0	219.8	161	236	1,860	1,207	139	〃
〃 2	30.2	6.50	340	72.0	182.9	260.2	184	273	2,155	1,344	154	〃
酒 野 鉱 泉 (SK)	23.8	5.86	370	32.5	71.2	47.9	450.0	6.4	738	1,625	128	1970.1
黒 川 鉱 泉 (KU)	19.1	6.68	117	12.5	42.7	27.5	109.8	8.3	431	1,313	93	〃
海 老 毛 温 泉 (EB)	41.8	6.50	4,020	235	497	475	6,336	0.9	4,078	1,432	128	〃
〃	40.5	6.70	4,280	246	480	503	6,550	4.5	4,188	1,197		1966.9
海 老 毛 川 岸	19.2	5.25	415	25.4	54.0	45.7	686	25.2	414	1,705	113	1970.1
塚 野 鉱 泉 (TU)	17.5	6.40	2,950	87.5	207.0	277.0	4,134	1.1	2,900		87	1969.9
〃	15.5	6.40	2,680	62.0	212.6	251.9	3,690	0.4	2,715	1,606		1966.9
園 田 川 川 底	20.2	6.40	2,280	59.0	149.0	207.0	3,032	1.7	2,070		81	1969.9
廻 栖 鉱 泉 (ME)	18.8	6.40	672	27.4	73.1	74.7	822	2.1	958		57	〃
サ ニ ー 大 分 (SA)	22.8	7.00	2,236	224	548.1	224.8	3,467	54.5	3,034	733		1968.1
六 ヶ 迫 鉱 泉 (R)	14.8	5.73	1,070	70.5	140.0	45.4	1,415	10.3	1,198	1,344	70	1970.1

4 調査炭酸泉の化学組成

調査炭酸泉の化学成分濃度は表1に示しているように各炭酸泉ごとにまちまちで、たとえば塩素量のごときは最低白水鉾泉の2~4 mg/lより最高海老毛温泉の約6500mg/lまでかなり大きな差があるこのように成分濃度において大きなひらきがある各温泉、鉾泉群について、その泉質を比較するため、これらの平均化学組成を溶存する主要カチオン (Na、K、Ca、Mg) および主要アニオン (Cl、SO₄、HCO₃) の当量百分率であらわし、これを表2に記した。この表を図示したのが Fig. 2、3で、主要アニオンおよびカチオンの当量比三角ダイヤグラムである。

表2 調査炭酸泉のカチオンおよびアニオンの当量百分率、ならびに溶存二酸化炭素量および塩分量

泉名	カチオン百分率 (%)				アニオン百分率 (%)			CO ₂ g/l	塩分量 g/l
	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃		
釜ノ口温泉 (UK)	43.1	5.0	25.9	26.0	20.9	21.6	57.5	0.62	1.77
湯沢温泉 (YU)	19.3	2.3	53.1	25.3	44.0	42.9	13.1	0.89	2.47
白水鉾泉 (SI)	18.4	1.3	60.3	20.0	4.0	10.8	85.2	1.79	0.17
阿蘇野鉾泉 (AS)	22.3	3.7	29.3	44.7	4.6	11.9	83.5	1.15	1.25
七里田温泉 (HI)	34.2	3.7	21.7	40.4	19.1	24.9	56.0	1.06	2.57
長湯温泉 (NA)	30.8	3.5	19.8	45.9	10.5	14.0	75.5	1.00	2.58
酒野鉾泉 (SK)	66.0	3.4	14.5	16.1	50.8	0.5	48.7	1.63	1.48
黒川鉾泉 (KU)	52.0	3.3	21.7	23.0	30.0	1.6	68.4	1.31	0.63
海老毛温泉 (EB)	71.9	2.4	9.7	16.0	72.8	0.0	27.2	1.43	13.64
塚野鉾泉 (TU)	78.5	1.2	6.5	13.8	70.8	0.0	29.2	1.61	8.77
廻栖鉾泉 (ME)	73.7	1.8	9.1	15.4	59.8	0.0	40.2		2.21
サニー大分鉾泉 (SA)	65.4	3.8	18.4	12.4	65.8	0.8	33.4	0.73	8.27
六ヶ迫鉾泉 (R)	78.8	3.0	11.9	6.3	66.7	0.5	32.8	1.34	3.42

Fig. 2 主要アニオンの三角ダイヤグラム

図中の記号は表1の炭酸泉群に記した記号である。

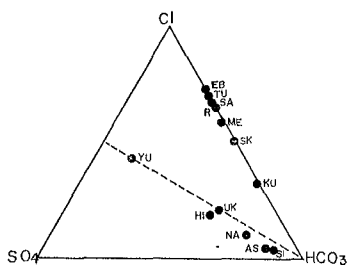
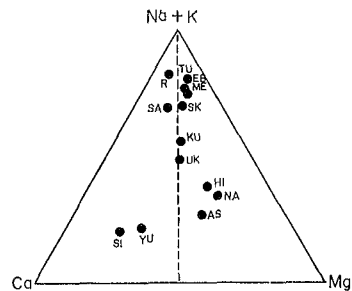


Fig. 3 主要カチオンの三角ダイヤグラム

図中の記号は炭酸泉群に記した記号と同じ



対象とした炭酸泉はいずれもかなり多量のCO₂ガスを伴って湧出しているが、その化学組成は一様ではなく、CO₂と密接な関係にあるHCO₃量も白水鉾泉の約93mg/lから海老毛温泉の4250mg/lまでその含量にかなりのひらきがあり必ずしもCO₂と正相関を示すとはいえず、むしろ無関係である。一般にこのHCO₃は塩分量の多いものほど多く、長湯温泉群のようにほぼ同じ塩分量ならば温度および塩分量に比例し、CO₂量に逆比例している。またCO₂とNa量との関係においても同様に相関はみられない。

Fig. 2に示したCl—HCO₃—SO₄当量比ダイヤグラムの場合、対象炭酸泉ははっきりと2群に分かれる。その第1群は図中にEB、TU……KUで示した群で、これらはCl—HCO₃線に沿って分布しておりSO₄が極めて少なくほとんど検出されない。これらの温泉群はくじゅう山塊から距離的にかなりはなれたところに湧出しておりそのほとんどが大分郡挾間町および野津原に存在し、SAは大分市内に湧

出している。第2群はYU、HI……SIで示した泉群で、第1群よりもくじゅう山塊に近いところに湧出しているもので、Fig. 2においてClとSO₄の等当量点と頂点HCO₃とを結ぶ線に沿って分布している。

この第1群はカチオン比を示したFig. 3においてはNa+K隅に集まっておりカチオンではNaが圧倒的に多い。これらの関係から第1群の源泉は[Na・Cl]型のもので、これにCO₂が混入してHCO₃の増加が起ったものと考えられ、源泉の希釈が進むにつれHCO₃比が高まるものと思われる。第2群はNa+KよりもCa+Mgの方が多く化学組成はアルカリ土類の塩化物および硫酸塩が次第に炭酸一水素塩へと移行する傾向をみせているもので、これはくじゅう山岳部の中心近くの周辺にみられる温泉の傾向である。

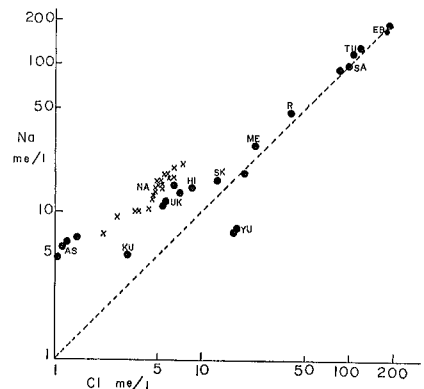
Fig. 3中にCaとMgの等当量比を点線で示したが、調査対象の炭酸泉のほとんどはこの線の右側に分布しMg/Ca \geq 1である。このようにくじゅう周辺の炭酸泉では飯田高原の湯沢山山ろくの湯沢温泉以外はすべてMg>Caで、前報でのべた長湯温泉と同様の傾向を示す。この傾向はくじゅう山塊からかなり遠い位置に湧出する大分郡挾間町および野津原町の温、鉱泉にもみられる。くじゅう連山の一つ黒岳の山ろくに湧出する白水鉱泉(SI)がCa>Mgでこの近くの阿蘇野鉱泉とかなりちがった成分比であるが、これは比較的浅い地下水にCO₂が混入し、これと壁岩の作用によって溶出してきたものがその主成分をなしていると考えられる。このことはこの鉱泉の塩分量が著しく小さいことと、筆者らが先に行ったこの地方の岩石の溶出実験結果とに対応している。

また阿蘇野鉱泉(AS)の泉質は1960年山下が調査したときとほとんど同じで、Cl、HCO₃量および両者の正相関係数も変わっていない。

NaとClについて

Fig. 4にNaとClの当量濃度を対数グラフで示した。この図にみられるようにCl濃度の高いところではNaとClとはほぼ等量を示し、低いところではClに対してNaが高い値を示している。筆者らはさきにこの地方の火山岩の溶出実験を行ない、その結果カチオンの溶出しやすさの順序は煮沸の場合はNa>K>Ca>Mgで、CO₂を15日間飽和させた場合はCa>Fe>K>Na>Mgとなることを知った。このCO₂を飽和させたときの溶出量はCa 4.6~5.9 \times 10²g/ton、Na 0.9~1.5 \times 10²g/tonでNaの約5倍近くのCaが溶出する。以上は蒸留水に岩石試料を浸した場合の結果であるが、自然条件の下では[Na・Cl]型でかなりNa濃度の高い源泉が岩石と接触しながら湧出し、その途中においてCO₂の混入、地下水の混合などが起り、これが更に岩石、土壌と接触作用しながら上昇し湧出してくるものと思われる。[Na・Cl]型のNa濃度の高い源泉にCO₂が混入して地下を流れている間は接触岩石からのNaの溶出は極端におさえられ岩石が溶出するNa量とCa量の比は実験値よりもはるかにCa量の多い値になると思われる。このようにして実際の炭酸泉においてはNaの増加はほとんど起らず主としてCaやMgが溶出し増加する。結局Cl濃度の高い炭酸泉ではNa/Cl当量比においてほとんど変化が起らずClとほぼ当量のNaが溶存することになり、岩石から溶出してきたCaやMgはCO₂の混入によって生成したHCO₃に対応する結果となる。一方Cl濃度の低い炭酸泉では当然Naの濃度が小さく、なおかなりのNaの溶出が起りうるのでNaはClに対して過剰になり、CO₂の混入によって生じたHCO₃の一部は岩石から溶出してきたNaに対応する結果となる。なおこの場合においてもCaの溶出はNaよりも当然大きいと考えねばならない。かくてFig. 4

Fig. 4 NaとClとの相関



に示されたようにCl濃度の低いところではClに対してNaが過剰となり、高いところではNaはClとほぼ等当量となる。

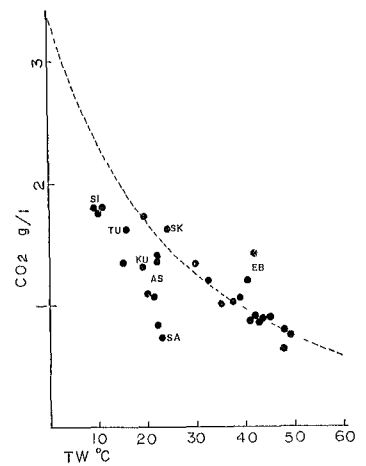
なお飯田高原の湯沢温泉 (YU) はClの一部がCaに対応しているためNaに対してClが多いという特異な泉質を示しているが、これは筆者らの調査によればこの地域の他の温泉や湧水にみられる一つの型でこの地域のみみられる特徴である。

5 炭酸物質について

CO₂ガス含量

調査炭酸泉中のCO₂量と泉温の関係をFig. 5に示した。調査全域についてみた場合溶存CO₂量と泉温とは逆の相関を示している。これはCO₂の溶解度からして当然のことであるが、その溶存量についてはかなりのばらつきがみられる。図中にLandoltのtableから引用したCO₂の溶解度曲線を点線で示したが、これを基準にして調査鉱泉のCO₂飽和量をみると、湯沢温泉 (YU)、長湯温泉群 (NA) および七里田温泉 (HI) 等はほぼこの線上に分布し、飽和であることを示しているが、海老毛温泉 (EB) および酒野鉱泉 (SK) 等は泉温に対して過飽和であり、逆に阿蘇野鉱泉 (AS)、白水鉱泉 (SI)、塚野鉱泉 (TU) および六ヶ迫鉱泉 (R)、サニー大分温泉 (SA) 等は不飽和である。Landoltの曲線はCO₂ 1気圧の下での溶解度であるから、CO₂分圧の低い大気中に湧出してきた場合、CO₂の気泡を多量に伴って湧出している場合にもCO₂量は溶解度以下になっていると考えられる。それでもなお飽和もしくは過飽和のものがあるということは、これらの温泉は地下の高い圧力の下で多量に溶存して平衡を保っていたものがその湧出過程においてCO₂の逸散があまり起らなかったことを意味する。実際にこれらの温泉はそのほとんどがボーリングによって湧出しているものである。一方不飽和のものはその湧出径過においてCO₂ガスの逸散が起っていることになり、空隙の多い地層中を上昇してきているものと思われる。実際に白水鉱泉のすぐ近くにはCO₂ガスの噴出している気孔がみられるし、調査地域の各地の川床にはガスの噴出が散見される。またこれらの鉱泉は一般に泉温が低く自然湧出泉が多い。

Fig. 5 CO₂量と泉温との関係



CaおよびMgと炭酸物質について

CaとMgの含量とHCO₃量との関係をFig. 6に示した。対象炭酸泉中のCa+MgはHCO₃と正の相関々係を維持し、図中の当量線に沿って分布している。各炭酸泉ともHCO₃の方が当量的にみてやや多いが、この差は前にのべたようにNa+Kに対応しているものである。このようにCa+MgがHCO₃とほぼ当量含まれていることから、これらのアルカリ土類はそのほとんどすべてが溶存するCO₂によって岩石から溶出してきたものであろうと推察される。ただしこの図においても前記の湯沢温泉はこの系列から大きくはなれる。

CaとMgを別々にHCO₃に対応させたものをFig. 7に示した。この場合MgとHCO₃の相関係数は濃度に関係なく一定で、HCO₃の増加に比例してMgも一様に増加し続ける。一方Caの方は溶液中の濃度が5me/l程度まではMgと同様の傾向を示すが、これを越えるとCaの増加率は鈍化しほとんど横ばいに近い状態になり、Mgの列から大きくはなれてくる。この地方の火山岩からのMgの溶出は、CO₂を飽和させたときの溶出実験によれば750g/tonでCaの約1/6であり、Ca:Mgは当量比において

Fig. 6 Ca+Mgと泉温との関係

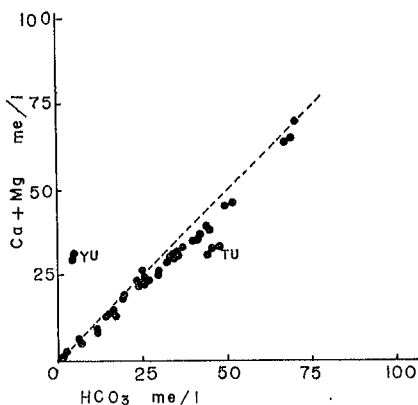
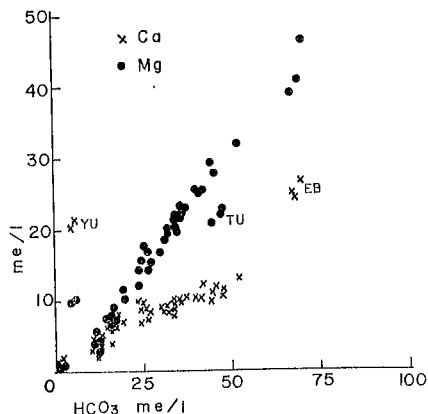


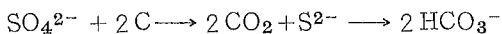
Fig. 7 CaおよびMgとHCO3との関係



約4 : 1である。このことからCO₂の混入により岩石からアルカリ土類が溶出するときはCaの方がMgより多く出るはずであり、現に比較的浅いところでCO₂の供給を受けていると考えられる白水鉱泉ではCa>Mgとなっているし、またCa、Mg共に5 me/ℓ以下の濃度のところでは一般にCaの方がMgよりも多い。以上のことから、この地方の炭酸泉においてHCO₃ 10me/ℓ、Ca 5 me/ℓをこえる濃度においてはCaの沈澱析出が起り、溶液からCaCO₃を形成して分離していると考えられる。かくてこの地方の炭酸泉におけるMg/Ca比はHCO₃の濃度が大きくなるにつれて漸次に高まっていくことになる。CaCO₃のこのような生成分離は溶液からのCO₂の逸散に起因するものであるから、これらの地下は現存あるいは過去において一度はCO₂が逸散できる状態になったことがあると考えられる。

海老毛温泉 (EB) は他の炭酸泉同様Mg>CaではあるがHCO₃量の多い割にはMg/Ca比が大きい。これは地下の被圧下において高いCO₂分圧のためCaが再溶出したためか、または接触する岩石から多く溶出してきたCaがその湧出径路において空隙の少ない岩石間を通ったため他の温泉群ほどのCO₂の逸散が起らずCO₂も過飽和の状態で湧出するためであろう。

大分郡挾間町および野津原町に湧出する海老毛温泉や塚野鉱泉は前にのべたようにCl量が多くSO₄量が極端に小さい。Clの起源が海洋性であろうと火山性もしくは岩石起源のものであろうといずれにしてもSO₄が殆んど無いということは考えられない。この原因としてはCaSO₄として沈積してしまったか、又は地層中の有機物等の作用により



の反応でHCO₃に変わってしまったためであろう。もしCaSO₄として沈積したとするならばその溶解度積から計算して少くとも50mg/ℓ程度のSO₄²⁻が溶存しうるはずであるし、数mg/ℓ以下ということは考えられない。よって有機物等による分解によるものと考えざるを得ない。そうであるとするならばこれはこの地域におけるCO₂の起源について一つの示唆を示すことになる。

調査炭酸泉の炭酸カルシウム飽和指数

炭酸カルシウムについての飽和指数 (Saturation Index) は、従来ボイラー用水の試験で、目的の水が腐蝕性であるかあるいはCaCO₃を主体とするスケールのつく水であるかを判定する基準として用いられてきた。甘露寺はこれを用いて伊豆、箱根の温泉について石灰華の付着状態を検討し、由佐は別府温泉について検討している。甘露寺の論文には飽和指数のほかに安定度指数 (Stability Index) が紹介されており、この両者を併用することがスケール析出の判定により有効であるとのべている。

飽和指数は対象となる水その温度で測定されたpHと、対象となる水に実際に含まれているCa²⁺とCO₃²⁻がその濃度で平衡状態を保っているときに示すべきpH、これをp_{hs}とすれば、pH—p_{hs}で

表3 調査炭酸泉の飽和指数 (Sat. Ind.)、安定度指数 (Stab. Ind.) および Mg/Ca

泉名	Sat. Ind.	Satb. Ind.	Mg/Ca
湯沢温泉 (YU)	-0.23	6.40	0.48
〃	-0.34	6.43	0.47
釜ノ口温泉 (UK)	0.49	5.70	1.00
〃	1.10	5.15	1.00
〃	0.67	5.50	1.00
〃	0.64	5.22	1.02
白水鉦泉 1 (SI)	-3.34	11.60	0.30
〃 2	-3.60	12.10	0.38
阿蘇野鉦泉 1 (AS)	-1.02	7.97	1.37
〃 2	-0.61	7.12	1.72
〃 3	-0.10	6.35	1.34
〃 4	-0.43	7.06	1.59
〃 5	-0.06	6.32	1.64
七里田温泉 (HI)	0.36	5.54	1.83
長湯温泉 (NA)			
甲斐 斌	1.01	4.69	2.03
豊 泉 荘	1.68	3.60	2.43
葛 淵 温 泉	1.13	4.49	2.54
愛 泉 館 1 号	0.79	5.02	2.38
〃 2 号	0.65	5.12	2.28
松 山 茂	0.88	4.19	2.53
町 営 田 の 中	0.81	4.98	2.20
憩 の 家	1.28	4.31	3.18
大 塚 ・ 峰 野	1.16	4.45	2.44
大 塚 茂	0.23	5.91	2.39
伊 藤 覚	0.60	5.30	1.93
天 満 湯	0.87	4.86	2.08
元 天 満 湯	0.45	5.59	2.46
紅 葉 館	0.73	5.14	2.21
長 生 館	0.99	4.66	2.18
大 丸 旅 館	1.45	3.95	2.36
上 野 屋	0.90	4.91	2.38
丸 善 旅 館	1.30	4.20	2.10
御 前 湯	1.08	4.64	2.04
御 前 湯 下	0.65	5.30	1.67
芹 川 の 中 1	0.56	5.36	2.21
〃 2	0.23	5.91	2.33
酒 野 鉦 泉 (SK)	-1.08	8.02	1.11
黒 川 鉦 泉 (KU)	-0.76	8.20	1.06
海 老 毛 温 泉 (EB)	1.46	3.58	1.58
〃	1.69	3.32	1.72
海 老 毛 川 岸	-2.14	9.53	1.40
塚 野 鉦 泉 (TU)	0.31	5.78	2.28
〃	0.28	5.84	1.95
園 田 川 川 底	0.11	6.18	2.30
廻 栖 鉦 泉 (ME)	-0.54	7.46	1.68
サニ一 大 分 (SA)	1.52	3.96	0.68
六ヶ 追 鉦 泉 (R)	-0.94	7.61	0.53

あらわされる。これは結局由佐のいうように対象となる水においてその温度における $[Ca^{2+}]$ の活量 $\times [CO_3^{2-}]$ の活量の対数と炭酸カルシウム、析出するものがアラゴナイトならばその溶解度積の対数の差であらわされることになる。この飽和指数および安定度指数についての詳細は甘露等および由佐の論文に記してあるので省略する。

水が腐蝕性かスケールを生成する傾向を有するかの判定基準は、飽和指数 (Sat. Ind.) の場合は

Sat. Ind. > 0 炭酸カルシウムについて過飽和でスケールが析出する傾向にある。

Sat. Ind. = 0 平衡状態すなわち飽和である

Sat. Ind. < 0 不飽和でスケールの析出は起らない。

また安定度指数 (Stab. Ind.) は 2 pHs—pH で示されるもので

Stab. Ind. < 6 過飽和で炭酸カルシウムのスケールを析出する傾向がある。

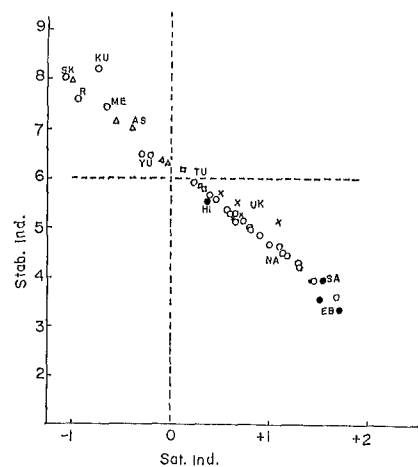
Stab. Ind. = 6 平衡状態。

Stab. Ind. > 6 不飽和でスケールが析出しない。

以上の基準でその対象となる水が炭酸カルシウムについて飽和かどうかを判定する。

調査の対象とした全炭酸泉について、これら

Fig. 8 調査炭酸泉における Sat. Ind. と Stab. Ind.



のSat. Ind.およびStab. Ind.をもとめたものを表るに記した。

調査炭酸泉のうち飯田高原湯沢温泉 (YU) 白水鉱泉 (SI) および阿蘇野鉱泉 (AS) 等はいずれも飽和指数は負となり、湧出してきた水はその湧出後は CaCO_3 を沈積せしめる傾向がないことを示している。Fig. 8にSat. Ind.とStab. Ind.を両軸にし、Sat. Ind. <0 、Stab. Ind. >6 のところに破線を引いて調査炭酸泉を記入した。この図に示されているように調査炭酸泉のSat. Ind.とStab. Ind.とは当然のことながら逆相関になり、Sat. Ind.が0付近のものはStab. Ind.においてはほぼ6ちかくの値をとる。この図において今回調査した炭酸泉の大部分はSat. Ind. >0 、Stab. Ind. <6 のところに分布しており、湧出後もなお CaCO_3 を析出する傾向をみせているが、前記の湯沢、白水、阿蘇野の各炭酸泉のほか、くじゅう山塊からかなり離れた大分郡内の炭酸泉のうち廻栖鉱泉 (ME)、黒川鉱泉 (KU) および酒野温泉 (SK) 等はSat. Ind. <0 、Stab. Ind. >6 で、湧出後においては CaCO_3 を沈積する性質がないことを示している。然しながらこれらの炭酸泉群も表るに記しているように $\text{Mg}>\text{Ca}$ で湧出以前にCaの沈積がすでに起っていることを示している。

終りに、この研究費の一部は大分県温泉調査研究会によるものであることを記すると共に、現地調査の協力および助言を戴いた、京都大学理学部地球物理研究所山下幸三郎博士に深く感射する。

参 考 文 献

- 1) 志賀史光、川野田実夫：大分県温泉調査研究会報告 20号 (1969)
- 2) 『日本鉱泉誌』
- 3) 志賀史光：大分県温泉調査研究会報告 18号 (1967)
- 4) 志賀史光、小石哲史：大分県温泉調査研究会報告 19号 (1968)
- 5) 山下幸三郎：大分県温泉調査研究会報告 12号 (1961)
- 6) 志賀史光：大分大学教育学部 『くじゅう総合学術調査報告書』 (1968)
- 7) Landolt Börnstein: "PHYSIKALISCH-CHEMISCHE TABELLEN" (1923)
- 8) 甘露寺泰雄：温泉科学、19巻、1号 (1968)
- 9) 由佐悠紀：大分県温泉調査研究会報告 20号 (1969)

温泉熱の農学的利用 (第2報)

暖房温室の微気候 (その2)

大分大学教育学部

川 西

博

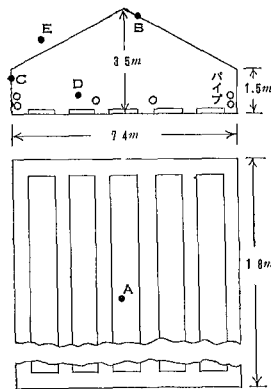
1 緒 言

第1報では、温泉熱暖房の施された熱帯植物観賞用大型ガラス温室における熱収支の実態や熱的特性などが報告された。その後ひきつづいて、園芸用として一般に普及している型のガラス温室について同じような立場から調査を行なったので、その結果を報告する。温室の構造、内容物などが前報の場合とかなり異っているので、熱的特性量の比較も興味ある問題である。

2 観測方法

観測は別府市鉄輪の大分県温泉熱利用農業研究所にある両屋根式ガラス温室にて、1969年12月22日から26日まで実施された。温室は第1図に示すように、床が縦18m横7.4m高さ3.5mで南北に長く、

第1図：温泉熱暖房温室略図



南及び北側にガラス引き戸の出入口が2つある。天窗は幅約50cmにわたって開き、また、側部も高さ1.5mの部分が開くようになっており日中の過度の昇温を防ぐ。ガラスの厚さは3mmで骨組みはアルミ材である。床はすべて土壌で、高さ約20cm、幅約80cmの畝が南北に5列作られ、暖房用鉄パイプは直径6.0cmのものが床上約30cmの所に4列畝に平行に配置されている。ただし、両側だけ2本ずつあるので、パイプの総数は6本である。室内では、一部で草花の苗等が植えられているが全体としては裸地条件に近い。

温室のほぼ中央、第1図のA点にポールを立て、気温の垂直分布を測るため高さ3.2mまでの4点に熱電対温度計を設置した。また天井部と側部との2か所(第1図のB、C点)でガラス内面と外面の温度を測るために熱電対をはりつけた。温室内外のD、E点にはそれぞれ純放射計を設置した。これらはいずれも±0.5mvフルスケールの打点式記録計に接続してある。また、地中の熱交換量を測定するため、前報同様、地表面と地下1cmとの温度差を熱電対で自記させ、同時に土地の熱伝導率を測定した。その他、温室内外での読取り観測として、アスマン通風乾湿計で蒸気圧を、水銀温度計で地中温度を、ゴルチンスキー日射計で日射量の測定をそれぞれ行なった。

3 観測結果及び考察

観測期間中は晴天日が多く、特に12月23日から24日にかけての連続観測期間中は快晴であった。ただし、25日夕方から26日朝にかけては曇りで一時小雨があった。毎夕4時過ぎに窓を閉じ、5時頃からスチーム暖房を開始し、朝は9時頃に暖房を止め、晴天ならば窓をあけている。

得られた観測資料の一部として、第1表には気温、ガラス温度、地温、蒸気圧等を、また第2表には日射量、純放射量等が示されている。これらのうち、地温、蒸気圧、日射量はその時刻における読取値を示し、その他のものは自記記録によってその時刻を中心に読取った1時間にわたる平均値を示

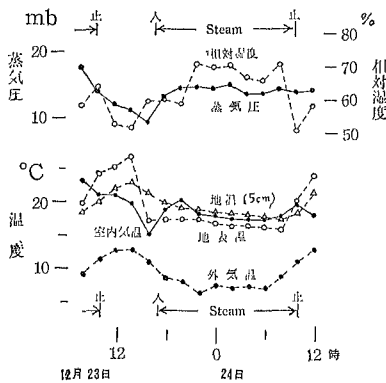
22	-0.04	-0.03
26 0	-0.05	-0.06
2	-0.05	-0.06
4	-0.05	-0.03
6	-0.04	-0.02
8	0.00	0.05

す。

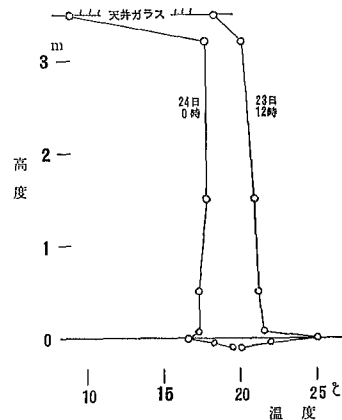
a) 気温、地温、蒸気圧等

夜間窓を閉じ、暖房をしたとき、室内気温は外気温に比べて10℃内外高く保たれている。ガラスの温度は一般に日中、天井部が側部に比べて高く、夜間は逆になる。特に晴れた夜間には天井ガラスの外表面温度は外気温より1℃内外低くなって、ガラス外面からの放射冷却の効果を示している。蒸気圧は一日中、室内の方が室外より高く、特に蒸発の少ない夜間に外気との蒸気圧差が大きくなっているのは窓を閉じたためである。相対湿度は外気と大差なく、50~70%の間にある。これら日変化の有様は第2図に示される。

第2図：気温、地温、蒸気圧等の日変化



第3図：気温、地温の垂直分布



第3図には室内温度の垂直分布を示すが、日中は地面が最も高温で受熱型を示し、夜間暖房時には地表が最も低温で放熱型になっている。しかし、気温の勾配は前報の時と比べて全般的にかなり小さい。

b) 放射量

第2表によれば、日射のガラスによる減衰率は平均約18%で、前報の13%に比べてもかなり大きな値である。これは温室の棟が南北を向いているので入射角が大きく反射率が大きくなったためとも考えられる。一方、日中の純放射量は室外の方が大きくなっている。すなわち、室内床面ではガラス板による長波入射の増加よりも日射の減衰の方が大きいと思われる。前報でもこれに近い結果が得られている。夜間の純放射量が室内で小さくなることはすでに見た通りである。しかし、夜間の室内純放射量は晴天でも曇天でも大差なく-0.05cal/cm²min程度である。このことは夜間天井ガラスの内側表面と地表面とが黒体放射をするものとして、室内の純放射量がそれらの温度差によってほぼ決まるものであることを示唆している。

c) 温室の熱収支

温室内の単位底面積をもつ垂直柱の部分についての熱収支の式は

$$Q_R + Q_H + Q_S + Q_G = 0 \quad (1)$$

とあらわされる。ただし、前報と同様、

- Q_R : 放射熱収支 (室内純放射量)
- Q_H : 暖房発熱量
- Q_s : 熱貯留量の変化
- Q_G : 外界との熱交換

であって、各項の符号は室内で熱源となる場合を正と定め、cal/min なる単位を用いる。これらの各項のうち直接に測定出来たのは Q_R のみであって、その他の項の算定は次のようにして行なわれた。

外界への放熱が室内温度 θ と外気温 $\bar{\theta}$ との差に比例するとすれば、 λ を熱伝達係数として

$$Q_G = -\lambda (\theta - \bar{\theta})$$

とおける。また、温室全体としての熱容量を m とすると、

$$Q_s = -m \frac{d\theta}{dt}$$

であって、(1)式は

$$m \frac{d\theta}{dt} = Q_R + Q_H - \lambda (\theta - \bar{\theta}) \quad (2)$$

と書ける。 λ や m の値は室内の熱源 (Q_R や Q_H) に変化が起ったときの室温 θ (以下の議論では室内気温で代表させる) の変化の有様から求めることが出来る。今、 $t = 0$ で $\theta = \theta_0$ 。として(2)式を積分し、

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \theta_\infty - (\theta_\infty - \theta_0) e^{-\lambda' t} \\ \lambda' &= \frac{\lambda}{m}, \quad \theta_\infty = \bar{\theta} + \frac{Q_R + Q_H}{\lambda} \end{aligned} \right\} (3)$$

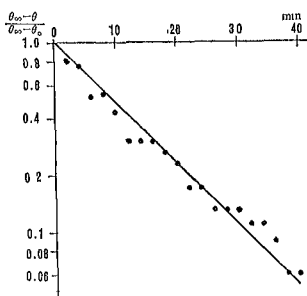
が得られる。

12月23日17時00分に窓を閉じて暖房を開始して後の室温上昇の有様は(3)式にあてはまり、

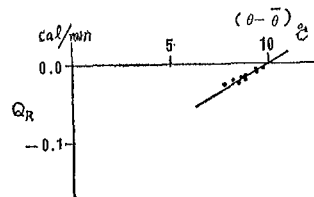
$\log \frac{\theta_\infty - \theta}{\theta_\infty - \theta_0}$ を時間 t に対してplotした第4図の直線の傾きから

$$\lambda' = 0.074 \text{ 1/min}$$

第4図：暖房開始後の室温変化
(12月23日17時0分～
17時40分)



第5図： Q_R と $\theta - \bar{\theta}$ の関係
(12月24日8時16分より
全48分まで)



となる。ただし、この場合 $\theta_\infty = 19.5^\circ\text{C}$ 、 $\theta_\infty - \theta_0 = 4.7^\circ\text{C}$ としてある。また、翌24日8時頃、まだ窓をしめて暖房が行なわれていたが、室内純放射量 Q_R が増加して来たため室温の上昇が見られた。その時の $\theta - \bar{\theta}$ を Q_R に対して4分毎にplotしたのが第5図であるが、ほぼ直線関係が得られる。(2)式で $m \frac{d\theta}{dt}$ と Q_H を、この30分位の間に一定であるとする、この直線の傾きから

$$\lambda = 0.016 \text{ cal/min}^\circ\text{C}$$

が得られ、従って

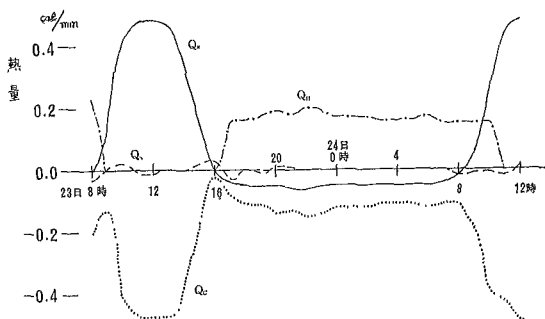
$$m = 0.022 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

となる。元来、 m や λ の値はこの温室固有のものであるが、 λ は窓の開閉状況や外界の風速などによ

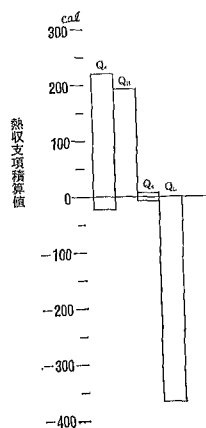
って変化するものである。しかし、夜間は風も弱く、窓を閉じてあるので λ の値も不変であると見ることにする。

昼間窓をあけた時にはこの m の値と室温変化とから Q_s が求まり、 $Q_H = 0$ であるから Q_C が定まるまた、夜間窓をしめて暖房をした時には Q_s は同様にして求まり、上で得られた λ の値と $\theta - \bar{\theta}$ の実測値から Q_C が得られるので、 Q_H が定まる。このようにして12月23日8時から24日12時までの各熱収支項を算定した結果が第6図に示される。

第6図：熱収支項目変化
(12月23日8時～24日12時)



第7図：熱収支項目符号別積算値
(12月23日8時～24日12時)



それによると、前報の場合と同様、日中は主として日射により、また夜間は暖房によって室内に与えられた熱量は殆んど全部外界に放出され、室内に貯留される熱量は無視し得るほど小さい。日中は多量の Q_r を放出するよう窓をあけて Q_C を大きくし、夜間は窓をしめて Q_H を逃がさないようにしており、夜間の Q_C の値は比較的小さくなる。また第7図に示したように、12月23日8時から24日12時までの積算値について見ると、暖房発熱量は194calで日中の放射受熱量220calと同程度で、夜間の室温を外気温に対して 10°C ほど高く保つことが出来るわけである。しかし、この値は前報で報告された温室での暖房発熱量394calに比べて約半分である。前報の温室では 9.3m の幅に対して $6\sim 8\text{cm}$ 直径のパイプが14本使っていたが、今回の温室では 7.4m の幅に対して 6cm 直径のパイプが6本になっており、 1m 幅について比較すれば、ほぼ同じ径のものがそれぞれ1.5本及び0.8本の割合になっていてこの点から見ても単位床面積当りの発熱量がほぼ2:1の比になるものと期待してよい。これは勿論パイプの温度が同じとした場合のことである。

d) m 及び λ の値について

熱の放出及び貯留において温室の代表的な熱容量が m であるが、ここで求められた $0.22\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ という値は前報で得られた $2.3\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ の約 $1/10$ である。それは、温室の内容物が少なく、殆んど裸地条件であったためと思われる。

夜間窓を閉じたときの λ の値は一定であると見て、

$$\lambda = 0.016 \text{ cal}/\text{min}^{\circ}\text{C}$$

が得られたが、昼間窓を開いた時には Q_C の値とその時の内外温度差から λ の値が求められ、12月23日の日中については

$$\lambda = 0.08 \sim 0.03 \text{ cal}/\text{min}^{\circ}\text{C}$$

の程度で、13時頃に最大になっている。この値は主として外界の風速によって支配されるものと思われるが、窓を閉じたときの5~2倍の値である。この増加分は勿論、窓をあけたための通風効果を示す。

また、夜間窓を閉じたときの λ の値は、前報で得られた観賞用温室での値

$$\lambda = 0.018 \text{ cal/min}^\circ\text{C}$$

とほぼ同じである。前回の温室も窓は閉じてあったが、保温比(=床面積)/(壁面積)は0.41、ガラス板の厚さ4mmであった。一方今回の温室は保温比0.71、ガラス板の厚さ3mmである。一般に保温比が大きいほど λ の値は小さくなると期待されるが、ガラス板の厚さが薄くなると λ の値を大きくすることになるので、これら両者の効果によって前回とほぼ同じ値が得られたのではないかと思われる。

なお、温室内外の水蒸気量の差に注目すれば、夜間窓を閉じたときの λ を $\lambda_1 + \lambda_2$ として純粹に通風によるもの(λ_1)とガラス等の熱伝導によるもの(λ_2)とに分離することが出来る。夜間観測された室内土壌面からの蒸発量Eは平均0.031mm/hrであり、室内外の比湿差($q_\infty - q$)は0.0036g/gであるから、cを空気の比熱として、

$$\lambda_1 = \frac{cE}{q_\infty - q} = 0.0034 \text{ cal/min}^\circ\text{C}$$

従って

$$\lambda_2 = 0.0126 \text{ cal/min}^\circ\text{C}$$

となって、窓を閉じたとき外界への熱放出は約80%までがガラスを通して熱伝導によって行なわれていることがわかる。

4 結 論

前回の観測結果と比較しながら、温室の構造とその熱的特性量の関係など、温室暖房設計の基礎資料を得ることが目的であったが、調査の結果は次のような一覧表にまとめられる。

観測日	第 1 回 目 1969年1月8日~9日 熱帯植物観賞温室	第 2 回 目 1969年12月23日~24日 両屋根式40坪温室
温室特性		
棟の方向	東 西 方 向	南 北 方 向
大きさ(縦・横・高さm)	12.8×9.3×8	18×7.4×3.5
保 温 比(=床面積/壁面積)	0.41	0.71
ガラスの厚さ	4 mm	3 mm
ガラスによる日射減衰率	13%	18%
暖房パイプの直径と本数	6~8 cm、14本	6 cm、6本
(カッコ内は1mの幅に ついてのパイプの本数)	(1.5本/m)	(0.8本/m)
内 容 物	熱帯植物密生、鉢物やコンクリート造作物多い。	小草花若干あるが、全体として裸地条件に近い。
温室熱容量(床面1㎡当り) (カッコ内は空気の熱容量)	2.3 cal/°C (0.2 %)	0.22 cal/°C (0.08 %)
熱伝達係数(λ) {窓閉じる (床面1㎡当り) {窓開く	0.018 cal/min°C —	0.016 cal/min°C 0.08~0.03 %
暖房発熱量(1㎡・1hr当り)	2.5×10 ⁵ cal	1.0×10 ⁵ cal
夜間暖房時の内外気温差	20~23°C	10~12°C
暖房時のパイプ表面温度	約95°C	—

2種類の温室について、保温比の違いにもかかわらず、窓を閉じたときの熱伝達係数はほぼ同じ値である。従って暖房時の内外気温差は各温室の暖房発熱量に比例し、また暖房パイプの密度に比例する結果となった。温室の熱容量は、内容物等の状態によりかなり変化するが、いづれにしても室内の貯留熱量は極めて少なく、暖房発熱量の大部分は直ちに外界に放出される。今回の調査では、暖房発熱量のうちガラス板を通しての熱伝導で放出されるものが全体の80%位、すき間風など通風によるも

のが20%位であることがわかった。

謝辞 前年度にひきつづくこの観測の遂行にあたり、大分県温泉熱利用農業研究所の川田計所長をはじめ職員各位及び大分大学教育学部高田正純教官より多大の御好意御支援を賜わり、本論文作成にあたっては京都大学理学部地球物理学研究施設の吉川恭三博士より御指導をいただいた。ここに記して深甚の謝意を表わしたい。また、大分大学教育学部学生衛藤修、川村京子、小畑善実各氏には観測及び資料整理の労を分担願った。厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 川西博：大分県温泉調査研究会報告 20号、1969