

# 大分県温泉調査研究会

## 報 告 第 1 5 号

昭 和 3 9 年 3 月

---

### 目 次

温泉試錐孔における岩石試料の熱伝導率測定法について ……………吉 川 恭 三…(1) 川 西 博
別府海岸部における温泉の化学組成……………吉 川 恭 三…(6) 志 賀 史 光 岩 上 寿 子
別府周辺噴気孔の噴出熱量と熱力学的性質……………湯 原 浩 三…(15)
放射能障害の温泉療法 (第15報) ……………八 田 秋…(26)
放射能障害の温泉療法 (第16報) ……………八 田 秋…(29) 山 田 と み 子
六ヶ迫鉱泉における糖尿病集団の温泉治療……………矢 野 良 一…(34) 永 松 昭 生
別府温泉の化学的研究 (第33報) ……………川 上 弘 泰…(38) 橋 永 熙 子
別府温泉の化学的研究 (第32報) ……………古 賀 昭 人…(45)
チロシナーゼ活性に及ぼす微量成分の影響 (第2報) ……………野 崎 秀 俊…(51)
別府市内および湯布院町の温泉孔における岩芯調査報告 ……………森 山 善 藏…(56) 川 西 博

正 誤 表 (研究報告15号)

頁	行	誤	正
17	左 (14) 式	$S = \frac{2r_0 \bar{w}}{\mu \rho}$	$R = \frac{2r_0 \bar{w}}{\mu \rho}$
20	表1その5下よ り6行目	$\begin{cases} 2009.8 \\ 3940 \end{cases}$	$\begin{cases} 2009.8 \\ (3940) \end{cases}$
25	右下から19行目	(噴気井)	噴気井
26	左 4 行 目	52日	52名
〃	〃 〃 〃	49.9日	49.9名
29	左下から1行目	前期	后期
38	右下から4行目	同時に分る	同時に加わる
35	右上から19行目	著名	著明
36	表3.症例18.後	$0. \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$	$0. \frac{1}{2}, 0$
51	左 17 行 目	29. 鉛	29. 銅
54	左 図 5	表 題	図6の表題と入替える
〃	右 図 6	表 題	図5の表題と入替える
〃	右 式	$y = \text{反応生成物のCpm}$	$x = \text{反応生成物のCpm}$

# 温泉試錐孔における岩石試料の 熱伝導率測定法について

京都大学理学部 吉 川 恭 三

大分大学学芸学部 川 西 博

## 1 熱伝導率測定の必要性

近年、地球の内部構造と関連した大規模な問題として地殻熱流量の測定がさかんに行われるようになった。現在までの結果では、熱流量の値は地域により違いがあるが、ほぼ  $1.5 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$  を平均値として<sup>(1)</sup> 数倍程度の変化の範囲内にあるとされている。しかしこれらの測定は出来るだけ局所的な影響をさけて地球全体における定常的な分布を得ることを主眼としているため、おもに地質的に古い時期の堆積地層中での熱流量が測定され、常識的にも熱流がかなり高いと考えられる火山地帯での測定は極めて少ない。このような火山地域に属している日本では現在活動をくり返している活火山附近を除いても、全国に散在している温泉を通じて地表に放出される熱量は大量にのぼり、世界の平均値よりもかなり高い値が予想される。

たとえば、別府温泉について平均気温以上  $40^\circ\text{C}$  の泉温の温泉が  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{日}$  湧出するとして概算すると温泉水により地表へ運ばれる総熱量は約  $2 \times 10^{12} \text{ cal/日}$  となり、流域面積  $60 \text{ km}^2$  で割れば別府温泉地域を通じて平均  $4 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$  すなわち約  $3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{日}$  の熱量が放出されていることが分る。このほかに、熱伝導により地層を伝わって放出される熱量も当然加えられ総熱流量はさらに大きい値を示すに違いないが、この温泉水として地表へ運ばれる熱量だけを考えても世界の平均値の約30倍にも及んでおり、また、温泉現象を火山活動後地下浅処に残された余熱の影響との観点から見ると、火山噴火の機械的エネルギーは1回の爆裂で約  $10^{19}$  エルグ程度が多いとされているから、別府温泉では温泉水を通じて1日にそれ以上のエネルギーが放出されていることになり、火山エネルギーの分散放出の方法としての温泉の役割が重視される。では、温泉はどのようにしてこの役割をはたしているのだろうか。

地下比較的浅処に残された火山の余熱は岩石中の熱伝導と地層内の水または蒸気の運動により運ばれる。大きく見れば、地中を深くまで浸透降下した地下水が伝導、または、岩漿性流体の浸入による熱量を吸収し

つつ流動し、地質的または地形的に上昇しやすい水理条件の場所でこの熱量を地表近くまで持ち上げると考えられる。岩漿水の発生、浸入についてはいろいろ議論はあろうが、大部分の温泉地で地層の比較的浅処における熱量の運搬はこのような水の循環に起因するものが多いであろう。この場合、地下の深度と温度とを対応させたグラフを描くと、水の降下浸透する地域では、水の流動が熱の伝導上昇を押し下げる形になり、深度一温度曲線は温度軸に向って凹、すなわち、深いほど地温勾配が大きくなる傾向を示し、逆に、水が上昇浸出する地域では、浅いほど地温勾配の大きくなる傾向を持つことが考えられる。瀬野は多くの温泉地での深度一温度曲線を解析した<sup>(2)</sup> さい、曲線は必ず温度軸に向い凸であることを示したが、温泉採取の可能な地域ではほとんどこのような地下で熱量をうばった水が地層中を上昇してくるような水理状態にあるのではなかろうか。このように考えると、地温曲線の凹凸の程度、すなわち地下増温率の変化の程度は地下を垂直方向に下降または上昇する温泉水の速度と地層の熱伝導率との比に関係し、逆に、このどちらか一方が分れば他方も推算出来る可能性がうまれる。

実際にはいろいろの問題はあるとしても、温泉孔のボーリング途中での深度と温度とは少くともほぼ大体の値は測定可能であり、これから地下増温率は求められる。また、我々はボーリング中に採取されるコアにより地層中の岩石を実際に入手出来るから、これを試料として地層の熱伝導率についての知識を得られれば、地中での温泉水の流動状態や、地下の熱量を地表まで運搬して温泉を形成する経路についての推定を可能とする途が開かれると考えられる。ただし、実験室で測定した岩石試料の熱伝導率の値が地層中におけるものと同じ条件であるかどうかはかなりの問題を含みこれについては、従来も、含水量や温度をいろいろ変化させて熱伝導率の変化を測定した報告が行われているが、今後なお多くの研究の余地を残している。

次に、近年温泉の開発が急速に進み、従来温泉のなかった地域、さらには現状では地表から自然湧出など

の徴候のみられない地域にまでボーリングによる採湯の可能性を考える必要が生じて来た。先に述べたように、温泉湧出と火山活動の潜在余熱とは直接には結びついていない。これを結びつけるには、地下に残されている熱量をうばい、広い範囲に運び、さらに地下浅処の実際にポンプ揚湯の可能な深さまで上昇浸出する地下水または蒸気の流動が必要である。この流動はおもに地下の水理的因子により決定され、熱源による直接の影響は水の密度や粘性に関係する以外少ないと考えるのが妥当であろう。事実、常識的には火山余熱を多く内蔵していると考えられる火山体の中央部よりもその山麓部の堆積層中に湧出している温泉の多いことからこの機構が推定される。したがって、水理的にこのような地下水上昇流に恵まれず地表徴候の認められない地域でも、地中にはかなりの高温が示される所があり、たとえば、湯布院、山下池近くには、地表にはあまり温泉の徴候は認められないが、地層中約 200 m 程度の厚みの間、地温は深さに対しほぼ直線的に昇温し、その増温率は約  $0.7^{\circ}\text{C}/\text{m}$  に及んでいる。ボーリング資料からもその間にあまり大きい水の動きはないと考えられるから、この範囲では熱伝導によってだけ熱が運ばれるとして、岩石の熱伝導率を測定し増温率に乗じて熱流量を求めると、約  $3 \times 10^{-5} \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$  で、先に推算した別府温泉での平均的熱放出量に近い値を得る。これから考えて、現状では温泉は湧出していなくても、熱伝導だけでかなりの温泉に匹敵するだけの熱量を放出していて、もし人工的に地層内の水の循環を強めることが出来れば温泉採取の可能性の生じる地域がなお多く存在するのではないかと予想される。これらは既存温泉での温泉水強化の方法とともに、地層の熱流量の推定に基づいてはじめて計画出来るもので、その推定には地温勾配とともに岩石熱伝導率の測定を欠かすことが出来ない。

## 2 測定装置

岩石試料の熱伝導率は従来、「分割棒法」によって測定された場合が多い。これは岩石の薄片を熱伝導率既知の金属柱ではさみ、両端に熱源、冷源を与えて熱流が一定となった定常状態における両物質内部での温度勾配を比較して岩石資料の熱伝導率を求める方法である。この方法では、定常状態に達して測定を行うまでに相当の時間が必要であり、これを出来るだけ短時間にすますためには試料を薄くしなければならず、大きな岩石塊を代表するには試料がやや小さくなりすぎるくらいがある。また、試料と金属柱とを熱電対温度計をはさんで密着させる操作がむづかしくその間の熱的な接触抵抗が測定結果にかなりの影響を与えること

も考えられ、同じ試料で切断面を変えて多くの測定を試みる必要がある。今後多くの試料を測定する時に、このような複雑さを避けて出来るだけ敏速に熱伝導率の値を得られる方法として、次のような非定常的測定法を試み、その有効性を確めることとした。

ボーリングコアを岩石切断機によって長さ約 8 cm に切り、この円柱の軸を含み深さ約 2.5 cm の切りこみを 2 箇所に入れ、その間に試料が約 1 cm の厚さで残るようにする。切りこみの巾は約 1 mm で、一方には銅—コンスタンタン熱電対にニクロム線を巻いた発熱体 ( $J_1$ ) を入れ、他方には熱電対温度計 ( $J_2$ ) だけを設置した。そのあと、切りこみの空間を埋め、また試料表面との接触を良くするため、一ぱいに厚紙を挿入した。ニクロム線に対する電圧と電流とを同時に測定して発熱量を求め、発熱開始後の時間経過に対する温度上昇を二つの温度計により光示式電圧計を用いて読みとった。場合により、コアの表面温度も熱電対で測定した。

写真1 熱伝導率測定法



## 3 理論的考察

この方法の理論的基礎は無限固体内においた円柱状熱源による非定常的な二次元熱伝導の問題の解にある。すなわち、最初の温度が一様である媒質中に半径  $R$  の円柱状熱源をおき、その表面で円柱の単位長さについて  $Q$  の一定熱流を与えるとき、 $t$  時間後の円柱中心から距離  $r$  ( $\geq R$ ) の所での温度上昇  $T$  は次により与えられる。<sup>(3)</sup>

$$T = \frac{Q}{\pi^2 k} \int_0^{\infty} \left[ \text{Exp}\left(-\frac{\beta^2 K^2 t}{R^2}\right) - 1 \right] \frac{J_0(P\beta)Y_1(\beta) - Y_0(P\beta)J_1(\beta)}{J_1^2(\beta) + Y_1^2(\beta)} \frac{d\beta}{\beta^2} \dots (1)$$

ただし、 $P = \frac{r}{R}$  で、 $k$  と  $K^2$  とはそれぞれ媒質の熱伝導率、熱拡散率であり、媒質の比熱と密度とを  $c$ 、 $\rho$  とするとき、 $K^2 = \frac{k}{c\rho}$  の関係がある。

この解析では円柱状熱源内の熱伝導率は無限大で、

熱容量は無限小と仮定しているが、これは現在の我々が用いている発熱体の大きさや熱的諸係数の値の岩石に対する割合を考える時、ほぼ満足される仮定であろう。

十分長い時間が経過した後は(1)式は次の対数関数で近似出来るであろう。

$$T = \frac{q}{4\pi k} \ell n \frac{2.25K^2t}{r^2} \dots\dots(2)$$

この近似の程度をたしかめるため、片対数グラフの縦軸に $\frac{4\pi kt}{q}$ を、横軸に $\frac{t}{r^2}$ をとり、(1)式から計算される結果を図1に示した。この時、 $K^2 = 5 \times 10^{-3} \text{cgs}$ とし、(1)式においては、 $P = 1, 2, 10$ の場合を示してある。この図で、たとえば円柱熱源の表面温度の上昇

( $P = 1$ の場合)は、ほぼ $\frac{t}{R^2} > 104$ で時間の対数関数により近似されると見てよい。この時 $\frac{4\pi kT}{q}$ につき(1)2式からの値の差は約0.03であって、 $k$ と $q$ にそれぞれ適当な値を適用して温度に直すと約0.03°C以下となり、事実上温度測定の見積りに入る。現在の装置で発熱体の半径 $R$ はほぼ0.04cmであるから、発熱体内に装置した熱電対による温度は発熱開始後約16秒で(2)式の近似を適用出来ると考えられる。

このほかに、円柱発熱体と媒質との熱的接触抵抗を考慮しなければならない。すなわち、発熱体内部の熱電対が示す温度は必ずしもそれに接する岩石表面の温度を示さないことである。この接触抵抗の値を見積ることは困難ではあるが、円柱表面と媒質との間に単位長さ当り $\lambda$ なる接触抵抗があるとすると発熱体の温度上昇につき、(2)式は次の形で表わされる。

$$T = \frac{q}{4\pi k} \ell n \frac{2.25K^2t}{R^2} + \lambda q \dots\dots(3)$$

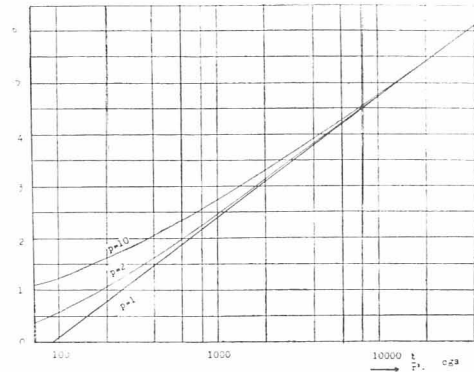
これから、温度上昇の時間に対する関係は接触抵抗に無関係と考えられ、我々はグラフ上で発熱体内部の温度上昇 $T$ と $\log t$ とを対応させた直線の勾配 $\alpha$ を求めることにより媒質の熱伝導率 $k$ を

$$k = \frac{q}{4\pi\alpha \log e} = 0.183 \frac{q}{\alpha} \dots\dots(4)$$

の関係により求めることが出来る。

発熱体から離れた所にある温度測定点 $J_2$ でも、挿入した熱電対と岩石表面との間には接触抵抗のあることが予想され、また、実際の試料が(1)式を求めるときに仮定された無限大の媒質ではないため、岩石コアの表面の影響が温度上昇に現われてくる可能性にも注意されねばならない。これらの影響の程度や実際の測定における注意は次節の予備実験により確かめられた。

図1 円柱状発熱体による無限媒質の温度上昇に関する理論値  $K^2 = 5 \times 10^{-3} \text{cgs}$



#### 4 実験の方法および結果

手元にあった別府市猪瀬戸附近のボーリングコア(角閃石安山岩)で予備実験を行うこととした。

図2 岩石コアの断面 (猪瀬戸400m)  
 $J_1$  : 発熱体  
 $J_2, J_3$  : 熱電対

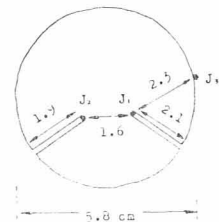


図3 熱伝導率測定における温度上昇と時間との関係 (猪瀬戸400m)

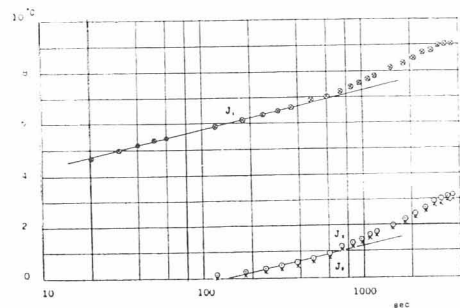


図3は地下400mの試料について実験した結果で、このとき発熱量は $q = 0.022 \text{cal/cm} \cdot \text{sec}$ であった。試料は図2に示すように、直径5.8cm、発熱体( $J_1$ )、熱電対( $J_2$ )を挿入した切りこみの深さがそれぞれ2.1、1.9cmで、 $J_1$ と $J_2$ との距離が1.6cm、また、 $J_1$ と表面温度測定用熱電対 $J_3$ との距離は2.8cmである。

図3を見ると発熱開始後 $J_1$ の温度は20~30秒位ですべて対数曲線にのるが、 $J_2$ ではややおくれ、4~5分以後となっている。表面温度はもっと緩慢ではあるが

上昇する。しかし、約10分を過ぎて表面温度が1°C内外上昇すると、3点とも温度は急激に昇りはじめる。これは熱流がコア表面で阻止され岩石内部に貯えられるためと考えられる。それから約1時間後に各点ともほぼ一定温度を保つようになり、定常状態に達したものと考えてよいであろう。

したがって、この大きさのコアについて測定を行うのに適当な時間は、発熱開始後30秒から10分位までと云うことになり、この時間内の温度上昇の読み取りを行うと、(4)式を利用して岩石の熱伝導率  $k$  を求めることが出来る。

次に、(3)式を変形して、

$$T = \frac{q}{4\pi k} (\ln 2.25 K^2 t - 2 \ln r)$$

と云う形にすると、発熱開始後のある時間において熱源からのいろいろな距離  $r$  に対しての温度分布から熱伝導率を求められることが分る。地下 100m の試料について、温度分布測定用熱電対を熱源から 0.65、0.95 cm の距離の所に設置し、発熱開始後 6 分でのこの 2 点での温度分布から  $k$  を求めると、 $3.16 \times 10^{-3}$  cgs となり  $J_1$  内部の時間に対する温度上昇から(4)式を用いて求めた値、 $2.88 \times 10^{-3}$  cgs とほぼ一致する。この場合  $J_2$  内部の温度は他の 2 点での温度からの対数分布からはずれ、とびぬけて高くなっている。このことから、発熱体と岩石表面との間の接触抵抗はかなり大きく、 $J_1$  で測定された温度の絶対値はその岩石の温度とはかなり相違するが、他の熱電対のみ設置した箇所ではその影響は小さく、熱電対の示す温度がその場所での岩石の温度と考えてもあまり誤りはないのではないかと推定される。

図4 熱源からの距離に対する温度分布

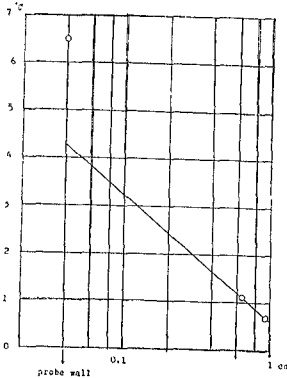
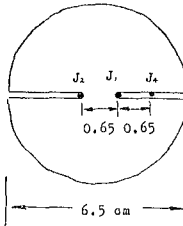


図5 猪瀬戸100m コアの断面



念のため、図5に示すように、地下100m の試料で  $J_1$ 、 $J_2$  のほかに切りこみにつめた厚紙の中の温度を

熱電対  $J_4$  で測定した。ただし、 $J_1 J_2$  と  $J_1 J_4$  の距離は等しく、いずれも 0.65 cm である。この時、発熱量  $q$  は  $0.00608 \text{ cal/cm}\cdot\text{sec}$  で、各温度計の温度上昇は表1に示される。ここで、 $J_2$  と  $J_4$  の温度はほぼ等しいから切りこみの部分を通して流れる熱は少く、 $J_4$  も  $J_2$  と同様に岩石内を通して来た熱であたためられていると考えてもよい程度である。かくて、熱源から流出する熱はほぼ一樣な二次元流を形成し、薄い切りこみによる擾乱の影響は無視出来るとしても差支えないであろう。

表1  $J_1 J_2 J_4$  の 3 点で測定された温度(°C)

時間(分)	$J_1$	$J_2$	$J_4$
0	0.00	0.00	0.00
1	4.65	0.20	0.18
2	4.77	0.25	0.22
3	4.82	0.29	0.28
4	4.89	0.35	0.34
6	4.92	0.45	0.40
8	4.95	0.49	0.44
10	4.98	0.53	0.52

以上から、発熱体から離れた温度計の部分で、岩石との接触抵抗が無視出来る程度と考えれば、その温度計 ( $J_2$ ) の読みから岩石の熱拡散率  $K^2$  を求めることが出来る。すなわち、図3で、 $J_2$  の読取値を片対数グラフに記入して 5~10分位にわたる点にもっともよく適合するよう発熱体中の  $J_1$  で求めたと同じ勾配で直線を引き、これが横軸と交わった点の示す時間を、 $t_0$  とすれば、(2)式から

$$K^2 = \frac{r^2}{2.25 t_0}$$

として、熱拡散率の値が求められる。ただし、 $r$  は熱源中心から  $J_2$  までの距離である。

以上の実験を準備として、猪瀬戸の地下 400m までのボーリングコアにつき、7 個の試料を選んで熱伝導率と熱拡散率の測定を行なった。試料を長期間放置して乾燥させた場合と、長期間水につけて湿らせた場合とについて調査し、その結果は表2に示される通りである。乾いた試料についての  $k$  の値はほぼ  $2.9 \times 10^{-3}$  cgs 程度で、数回の測定につき各深さの値は  $\pm 6\%$  程度の範囲でばらついているが平均値は大略一定である。ただ、350m のものは特に小さくなっている。熱拡散率  $K^2$  の値は平均して、 $7 \sim 11 \times 10^{-3}$  cgs 程度で、 $\frac{k}{K^2}$  から求めた  $cp$  の値は  $0.25 \sim 0.39$  の間にある。

湿らせた場合、 $k$  の値は  $3.1 \sim 3.5 \times 10^{-3}$  の間にあっ

て乾いた場合よりやや大きい、350mのものだけは  $2.3 \times 10^{-3}$  で特に小さい。数回の測定の際につきは乾いた場合より小さく、2%内外であった。 $K^2$  の値は  $5.3 \sim 9.4 \times 10^{-3} \text{cgs}$  で乾いた場合よりやや小さく、 $c\rho$

の値は0.34~0.56でやや大きくなっている。

別の方法で、各試料の密度を求め表に記入した。先に求めた単位体積当りの熱容量をこの密度で割ることにより、比熱  $c$  を求めることが出来る。

表2 猪瀬戸ボーリングコアについての測定値 (cgs)

深度(m)	熱伝導率		熱拡散率		単位体積の熱容量		密度	
	乾	湿	乾	湿	乾	湿	乾	湿
52	$2.91 \times 10^{-3}$	$3.08 \times 10^{-3}$	$11.2 \times 10^{-3}$	$9.2 \times 10^{-3}$	0.26	0.34	2.46	2.52
75	2.95	3.30	9.0	9.4	0.33	0.35	2.43	2.51
100	2.97	3.45	7.6	6.1	0.39	0.56	2.39	2.46
300	2.93	3.50	9.0	8.4	0.33	0.41	2.50	2.57
350	2.21	2.31	6.6	5.3	0.33	0.40	2.22	2.31
360	2.78	3.39	9.5	8.9	0.29	0.38	2.42	2.44
400	2.85	3.15	11.4	8.4	0.25	0.37	2.24	2.30

#### 4 結 び

温泉試錐中に採取された岩石コアの熱伝導率を測定するため、非定常的方法による装置を試作し、予備実験を行った。その結果、この方法は従来の定常的方法にくらべて次のような長所を持ち、操作が簡単であるとともに実用に十分な精度を示すと考えられる。

- (1) 発熱体内部の熱電対で示される温度上昇を用い、発熱開始後30秒から5分位の短時間で熱伝導率が求められる。
- (2) その場合、発熱体と岩石試料との間の熱的接触抵抗は求められる熱伝導率の値にほとんど影響を与えない。
- (3) 発熱体からやや離れたもう一つの切りこみの中の温度上昇から、熱拡散率の値も推定出来る。また、これらを組合わして熱容量を求めることが出来る。
- (4) 測定のために岩石に作った厚さ約1mmの切りこみ

が熱流に与える影響は、切りこみの中に厚紙を挿入することにより、無視出来る程度に小さくされる。

この研究を行う途中で、大分大学学芸学部森山助教授の御助力を受けたことが多く、ここに厚く感謝をささげる。

#### 参考文献

- (1) Lee W.H.K. : Heat Flow Data Analysis, Reviews of Geophysics, vol. 1, No. 3, (1963) PP.449-476
- (2) 瀬野錦蔵 : 温泉地帯における地温勾配の型式について、陸水学雑誌、21巻、3-4号 (1960). PP.237-244
- (3) Ingersoll L., O. Zobel and A. Ingersoll : Heat Conduction with Engineering, Geological and other Applications. (1954), P250

# 別府海岸部における温泉の化学組成

京 都 大 学 理 学 部 吉 川 恭 三  
 大 分 大 学 学 芸 学 部 志 賀 史 光  
 別 府 大 学 附 属 高 校 岩 上 寿 子

## 1 まえがき

別府温泉の化学分析資料は多数にのぼるが、組成分布についての研究<sup>(1)</sup>は、大正15年に行われた山下逸・木戸・丸田の調査に始まる。その時に測られた別府旧市内温泉の塩素量は大体うすくてほぼ $0.3g/l$ 以下のものがほとんどであったが、ただ、浜脇の朝見川以南地域の温泉だけが非常に濃く $1\sim 6g/l$ を示し、海水の影響<sup>(2)</sup>と考えられた。その後、昭和21年に吉川・軽部は旧市内温泉での塩素と重炭酸量とを再測し、一般的にはあまり変わっていないにもかかわらず、かつて、浜脇南部にのみ示された塩素量極大部が北に広がって、中部埋立地一帯に及び、この期間に温泉中への海水侵入が進んで来た<sup>(3)</sup>と推定した。これらの調査での等塩分線の分布をみると、塩素量 $0.2g/l$ から $1g/l$ の間が非常に狭く、その間に急激な塩分勾配の存在が認められるから、この報告では一応 $0.5g/l$ の等塩分線<sup>(4)</sup>でこまれた範囲で海水侵入域を定義することとする。その後、数回にわたり観測がくり返された結果、この海水侵入域中の各温泉での塩素量には相当の増減は認められるが、各温泉孔で、深度の増加や水頭の低下があるにもかかわらず、地域的にこの侵入域は昭和21年以降ほとんど変化していないことが示されている<sup>(5)</sup>。

一方別府温泉には、この海岸部の海水混入域以外にも塩素量の相当大きい( $1g/l$ 以上)温泉の湧出している地域がある。いわゆる、「地獄」地帯の沸騰泉や自然湧出泉がそれで、また旧別府市内でも最近開発されつつある山の手方面の沸騰泉は $0.8g/l$ 程度の塩素を含んでいる。これら高温温泉の含む大きい塩素量の起源にはなお議論がつきず、瀬野は、十万地獄の深度を深めたために化学組成が海水に近づいたことから海水混入の可能性を推定している。別府に限らず、温泉中に含まれる塩分の起源についてはなお疑問の点が多い。一般的には、海岸近くの温泉で塩分の濃いものには一応海水の直接混入の可能性が考えられるが、その含有成分を火山性源と海水源とに区別出来る指示法は確立されていない。瀬野は海水中の化学成分含有量比がほぼ一定であることに着目し、その主要六成分の塩素量に対する比をとり、各温泉でのそれと比較して

「偏度」を定義し、偏度の大小、つまり、海水化学組成への近似の程度により、主要化学成分が海水起源であるかどうかを判定する指示法としようとした。これは各温泉の化学組成を量的に比較出来る点で便利な方法ではあるが、上記の判定の指標としてはなお不十分であり、瀬野は一応偏度30をもって境としたが、これより大きいものでもなお海水侵入の疑は残るし、また海水組成からの違いの程度を、各化学成分同等にとり扱うことには問題がある。たとえば、この方法を別府海岸部の海水混入域の温泉に適用した過去の研究<sup>(6)(2)</sup>では大体海水組成に近い傾向が見られるがCaイオンだけが目立って大きいものがあり、またこの違いと塩素イオン量からみた海水混入比との間にはっきりした量的関係は見られない。これは、温泉中に混入する海水には実際の海におけるよりも多量のCaを含んでいるのではないかと云う疑をおこさせる。このように、各主要成分が、もし地球化学的に無関係に行動するものならば、これらの間の比は海水混入の指標とはなり得ない。

R.Revilleは海水の主要成分が地層中で変化してゆく過程を述べ、そのうち保存量とみなせるものは塩素だけとしている<sup>(6)</sup>。

そのため、同じハロゲン族に属して化学性質の似ている塩素、臭素、ヨウ素の間の比を海水と比較しようとする試みも行われて来たが、天然ガス附随水のように永く地層中に閉じ込められていた過去の海水中に臭素やヨウ素の非常に大きい濃縮のみられることから、これらが地層中をゆっくりと流動する時、実際的に保存量とみなせる程度かどうかには疑問の点があり、なお研究の余地を残している。

以上の困難をとく一つの方法は、実際の温泉地で海水が地層中を流動する時にどう言う変化をしていくかを実測で追跡することである。これらの可能な変化過程の一つ一つは実験室や野外の地下水について解析された例もあるが、温泉では、吉川が伊東<sup>(7)</sup>で、湯原が熱海で行なった研究にとどまり、それらの温泉に海水が混入していることを説明するための方法として、イオン交換や $CaSO_4$ の溶解を推定したにすぎない。とく



に、ハロゲン元素を追跡した例はほとんど見られないから、現実には海水が混入しつつある地域の温泉で、これらの総合的な変化過程の研究が望まれる。

さいわい、別府温泉では上記のように、時をへだてた観測で塩分の増加したことが明かであり、この海岸部で他に塩分を与えるような原因は見当たらないため、この地域の温泉にはたえず海水が混入しつつあると考えてもよいであろう。したがって、この地域の温泉での化学組成を測定し、主要元素やハロゲン元素の含有量を解析して海水のそれと比較することは、ただこの海岸部での海水浸入過程を追跡するにとどまらず、海水を通ず地層の性質や、ひいては、もっと内陸の温泉に含まれる塩分の起源を考察する上にも便宜を与えるものとして、興味のある問題である。

## 2 測定方法

前記、海水浸入域に当る浜脇から関西汽船棧橋附近に至る区域のほとんど全温泉35口と、それに隣接する市街地区温泉19口で採水し、化学分析を行った。これらの温泉の多くはポンプ揚水によるものなので、ポンプ開始後の時間により水質が変化することも考えられる。そこで、各温泉で揚水を始めてから3~5分後、水温が次第に上昇してほぼ一定値を保つようになった後に採水することにした。このほかに、別府旧市内温泉としては上流部に当る富士見通りから上原方面にある3ヶ所の沸騰泉と、別府海岸で4ヶ所の海水を採水し、比較のための資料とした。以上の採水はすべて1963年7月中旬に行われ、その試料は京大研究所に集められ、主要六成分と重碳酸イオンおよび臭素、ヨウ素の量が求められた。

以下分析法の概要を記す。

PH：柳本製ガラス電極で測定した。

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>：メチルオレンジを指示薬として0.02N塩酸で測定した値より求めた。

Cl<sup>-</sup>：Mohr法により求めた。

SO<sub>4</sub><sup>-</sup>：硫酸バリウムとして沈澱させる重量法により求めた。

Ca<sup>++</sup>：キレート滴定により求めた。

Mg<sup>++</sup>：キレート滴定により求めた。

Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>：日立製分光光度計により炎光光度法により測定。

Br<sup>-</sup>：試水を炭酸ナトリウム溶液でアルカリ性にし沈澱が生ずれば濾過し、これを塩酸でメチルオレンジの変色点までもどし更にリン酸ナトリウム溶液によりpH6.5に調節し、これに次亜塩素酸ナトリウムを加えてBr<sup>-</sup>およびI<sup>-</sup>をBrO<sub>3</sub><sup>-</sup>、IO<sub>3</sub><sup>-</sup>に酸化し、過剰の次亜塩素をギ酸ナトリウムで分解し、次いでこれにヨウ化カリウムを加え塩酸でpHを1.0にしN/200又はN/500のチオ硫酸ナトリウム溶液で滴定する。この滴定値から次にのべるヨウ素の定量に要した滴定値を差引いて求めた。

臭素、ヨウ素の含有量が0.2mg/l以下の時は炭酸ナトリウムによって試料をアルカリ性にしたのち濃縮し上記の方法により分析した。

I<sup>-</sup>：試水に炭酸ナトリウムを加えてアルカリ性にし沈澱が生ずれば濾過し、これを塩酸でメチルオレンジの変色点までもどし、これに次亜塩素酸ナトリウム溶液を加え更に塩酸でpH1.5に調節し、湯煎上で加熱しI<sup>-</sup>をIO<sub>3</sub><sup>-</sup>に酸化し、ついで過剰次亜塩素酸ナトリウムをギ酸ナトリウムで分解し、以下上記Br<sup>-</sup>の定量の場合と同様にしてヨウ素量を求めた。ヨウ素量が0.2mg/l以下のときは濃縮して上記操作を行った。

表1 調査温泉の主要成分含有量(昭33年7月)温泉番号は昭和34年の総調査資料による。

温泉番号	泉温 °C	PH	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l
浜脇6	53.0	6.83	390.4	54.9	486.0	152	19.8	61.0	33.2
10	57.8	6.74	411.3	69.7	627.6	298	41.5	91.2	55.1
43	45.5	6.73	7244.5	183.2	417.3	737	45.3	94.0	95.6
45	44.5	6.65	3075.9	400.6	494.6	1681	79.0	132.9	212.6
46	49.0	6.90	7094.9	936.6	342.7	3819	164.5	284.2	446.3
47	50.1	6.90	712.1	105.6	533.0	413	35.2	82.4	67.4
68	41.0	7.05	357.1	43.8	468.9	247	24.5	48.0	40.7
69	48.0	6.59	1973.3	227.7	523.9	950	98.0	167.8	167.3
107	39.8	7.60	4990.6	646.7	203.6	2470	150.0	271.3	271.9
112	40.8	8.39	1787.8	245.9	312.2	1019	53.0	72.5	82.9
119	42.8	7.95	3462.4	479.9	472.0	2032	82.5	115.6	213.3
123	45.0	8.20	2216.1	243.7	434.2	1165	78.6	111.7	161.6
139	40.6	7.45	1905.1	266.9	314.6	1158	52.6	64.3	114.6

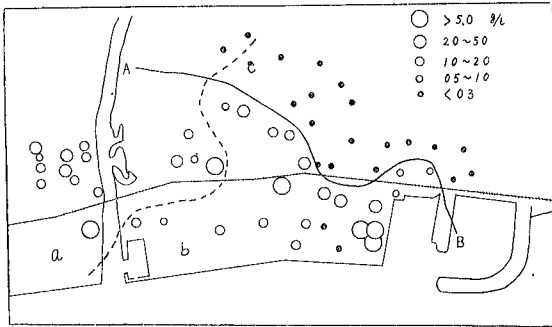
149	41.1	7.15	8889.1	1067.5	324.4	4517	170.0	298.9	530.4
別府4	52.5	6.74	652.2	84.7	536.1	312	40.2	132.0	84.1
5	52.0	6.65	4601.6	615.2	390.9	2400	109.0	205.4	317.9
6	54.0	6.70	1866.8	311.5	479.3	912	50.8	177.2	149.7
8	57.1	6.55	181.6	77.6	513.5	145	19.8	68.6	39.8
55	48.5	6.70	179.8	57.7	303.6	118	12.8	47.6	31.9
58	44.5	6.25	128.7	64.4	391.5	119	12.3	52.0	28.7
67	43.5	6.80	144.8	52.8	322.6	112	10.8	44.0	28.5
69	56.5	7.10	208.0	59.3	531.2	151	18.3	75.0	43.5
73	48.0	6.90	126.9	55.0	445.8	111	12.6	58.4	35.4
76	48.9	7.70	167.6	60.0	607.4	144	25.4	77.0	42.9
80	57.5	7.15	167.6	52.7	517.8	122	16.5	76.0	39.6
186	61.1	7.50	704.7	33.1	707.5	390	60.8	123.5	66.7
190	53.5	7.10	859.8	76.4	425.6	360	42.7	186.8	98.4
192	43.8	7.25	193.9	49.9	539.1	150	18.2	75.0	43.5
194	57.8	7.10	648.0	57.5	578.1	279	39.5	140.4	77.2
196	54.1	6.90	2159.3	290.3	461.0	977	70.0	241.1	187.1
197	44.0	6.85	739.3	61.2	317.1	106	10.3	49.0	29.8
199	50.3	6.60	1690.1	224.9	439.1	395	49.0	158.8	143.5
200	60.8	6.90	109.3	39.6	439.7	99	13.5	60.8	33.6
203	55.2	6.71	133.9	45.3	475.1	119	14.7	62.7	36.0
1010	48.0	6.80	167.5	42.9	340.3	116	73.5	55.9	31.0
1011	52.3	7.12	2357.9	271.1	356.1	1043	80.8	274.4	152.5
1012	46.1	6.75	214.5	722.0	333.6	141	14.0	65.6	38.5
1013	44.5	6.90	6135.3	415.0	414.6	2008	319.0	1074.1	339.4
1014	52.5	6.91	8467.1	841.0	531.8	4050	247.5	701.7	543.5
1015	53.0	7.22	592.2	92.3	346.9	275	27.5	111.0	62.0
1016	53.0	7.30	412.5	55.2	417.7	198	22.2	111.0	49.5
1018	45.5	7.29	1733.5	167.3	349.4	847	57.3	199.9	126.8
1022	40.9	7.30	1267.6	726.6	344.8	520	42.8	200.0	100.9
1023	53.2	6.85	11798.3	1407.2	235.9	4913	232.5	1132.9	903.4
1043	45.2	6.95	163.0	51.5	610.5	175	21.5	63.2	36.4
1048	50.3	7.10	155.1	67.6	463.9	142	16.5	62.0	36.1
1033	42.8	6.64	119.9	51.9	429.3	121	12.7	55.0	29.2
1084	46.3	7.35	156.9	56.0	343.9	104	11.4	54.2	35.1
1088	48.1	6.85	174.5	55.2	448.8	123	14.0	60.2	34.7
1150	48.0	7.05	993.1	107.1	334.8	333	40.5	173.0	90.7
1151	45.7	7.16	1015.8	94.8	328.7	388	70.5	181.3	83.3
1152	49.1	7.09	6757.9	457.1	507.4	2376	301.0	1100.0	408.6
1154	43.5	7.20	1023.3	125.3	339.7	524	64.4	114.5	71.5
1155	41.0	7.60	969.8	128.5	315.2	564	31.0	72.0	59.8
日本猿酒 KK	86.3	8.85	537.6	70.0	292.1	337	39.0	15.2	16.1
後藤豊三 郎氏宅	96.9	9.00	740.3	79.1	182.3	546	59.0	6.4	3.5
ふじみ荘	98.0	9.05	884.8	91.5	170.1	584	52.4	39.2	6.2

### 3 海水混入域

各温泉で測定した採水時の泉温と、実験室で分析した各化学成分の量とを表1と2に記し、このうち、各温泉でのCl量の分布を図1に示す。これによると、従来の調査の時と同じように0.5g/l程度の含有量を境として海水混入域がはっきり分けられる。その境界を図中にA—B線で表わしたが、その位置は昭21年調査時のものとあまり大きくは変わっていない。もっとも、この混入域の中でも各温泉のCl量はまちまちで、中にはもっとうすいものもあるが、これらは採湯深度やポンプの状態などいろいろな影響によるものと考えられ、今回はこれらについて深い考察は行わない。

図1 海岸部温泉水のCl<sup>-</sup>含有量

A—Bは0.5g/lの等Cl<sup>-</sup>量線



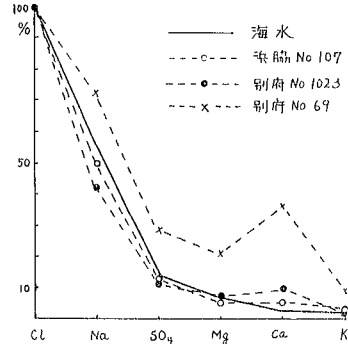
### 4 主要元素間の関係

瀬野は昭和8年の分析値にもとずき、これらの温泉に含まれる主要元素について解析し、朝見川以南の塩分の多い温泉では化学組成が海水に近似することを示した<sup>(6)</sup>。また、吉川、榎部はその後の塩分激増域の温泉で同様のことを明かにした<sup>(2)</sup>。前述のように、そのいずれも海水組成にくらべてCaイオンの多いことが特徴である。

今回の分析値についてもほぼ同様な結果が得られ、その代表的な例を図2に示す。この調査地域は別府市大字浜脇と別府の二つに分れており、便宜上、図1中に引いた点線により地理的にこの二つの地域を分けて前者をa地区、後者をb地区、また海水混入域以外の地域をc地区と三つの区域に分ける。そうして、a地区の代表として浜脇 No.107泉 (Cl.4.99g/l)、b地区の代表として別府No.1023泉 (Cl.11.8g/l)、さらにc地区を代表するものとして、別府 No.69泉 (Cl.0.208g/l)、をとり、各主要成分のCl量に対する百分率を求めて海水のそれと対比したのが図2である。aとbとはcにくらべて海水組成に似ているが、海水よりもNaが小さくCaの大きいことが目立ち、こ

図2 区域別の化学組成

- a地区
- b地区
- × c地区

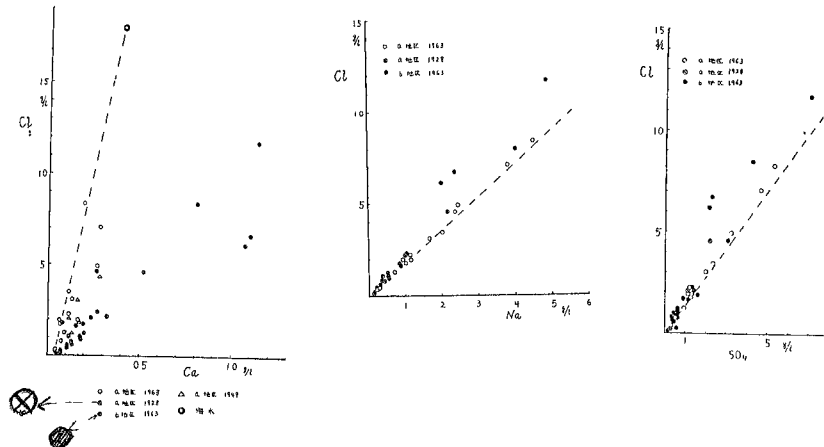


の傾向が塩分の多いbの方に大きいことに注意される。また、温泉水cと海水とがそのままの形でいかなる割合に混合してもこのような組成にならないことは明かであるから、この地層中では、上流から流れて来た温泉水に海水が単純に混合しただけではなく、海水の浸入に伴ってその化学組成を変化させる何かの過程が存在していると考えねばならない。

この点をもっとはっきりさせるため、調査した全温泉につき、Clに対する各イオンを対応させた図3を描き、前述のように海水混入域をa、bの両地区に分けて考えると、aに属する温泉群は各グラフ上でほぼ海水比に対する直線上に並び、本来の濃度のうすい温泉水に海水がいろいろな割合で混合したと考えるとほぼさしかえのないような化学組成を示しているが、bの温泉群では、やはりClの大きいほど他成分も大きくなるような関係を示しながらも、海水比の直線からかなりはずれて、Caの増加、Na、SO<sub>4</sub>の減少が目立っている。このように、Cl含有量からみた海水混入の現状は同様と思われるような隣接地域で、その化学組成に違いのみられる原因は何であろうか。

大正15年<sup>(9)</sup>から昭和8年にかけて行われた化学分析の資料によると、当時Cl量が0.5/l以上を示した温泉はa地区でも南部の朝見川以南のものだけであったが、その4口の資料を図3中に記入すると、これは現在のa地区よりもむしろb地区の温泉群に近い組成を示している。しかし、その後昭和24年にa地区内の別の4口で分析した結果をCl—Caグラフ上に△印で記入すると、Caが減少して海水の単純混合と解釈される現在の状態に近づいており、このように同じ地域の温泉でも、海水混入以後の期間により次第に化学組成の変化

図3 各温泉水の化学組成、点線は海水における比をあらわす。



してゆく傾向のあることに注目される。

かって、b地区に海水の混入する以前に存在した8口での分析資料は表2に示されるように、現在の海水混入域の外側の温泉の組成と大体似ていて、海水混入以前と以後とでこの地域に流入する温泉水の性質はあまり変わらず塩分のうすいものと考えられるから、現在この地域の温泉水に含まれている主要成分のほとんどは海水の混入に伴って現れたものであろう。それなのに、実際の海水の8倍以上のCaイオンを含んでいるものがあると言う事実は、同じ地層中を温泉水が流れていた間は加わらなかった成分が、海水が混入しだしてから加わるようになったと考えねばならず、地層からの溶解よりも、土壌とのイオン交換による組成の変化の方がより可能な過程と推定される。

このイオン交換の過程をさらに量的に考察するために次のような解析を行う。先述のように、この地域で海水混入以前に存在していた8口の温泉の化学組成が大体近似していることから、その各成分の平均をとりこれを海水が混入する前の温泉水の組成とし、A水系と呼ぶことにする。これに海水だけがいろいろな割合で混入して現在のa,b両地域の温泉水をつくっていると仮定するが、ここに混合する海水は本来の海中におけるものとは化学組成を異にすると考えねばならず一応B水系と名づけ、その化学成分のうちClだけは地層を流動中に変化を受けず標準海水の含有量548meq/lを保っているとする。この両水系のCl含有量を基準とし、測定された各温泉水のCl量について両水系の混合比を求め、A水系にこの割合で混合して各温泉水の化学組成を形成するためのB水系の組成がどうかを計算する。このとき、各陽イオンのイオン交換による増減を考えるために、meq/lで表わした各イオン含有量の総陽イオン量に対する比で組成を表わすこ

ととし、A水系のそれを海水とともに表2に記す。

表2 海水混入以前の化学組成と海水との比較

		Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Na	Mg	Ca	K
A水系	meq/l	4.5	1.2	6.5	5.4	2.7	3.2	0.4
	%				48.2	22.1	26.3	3.2
海水	%				77.4	17.6	3.4	1.6
差	%				-29.2	4.8	22.9	1.6

各温泉についてこの方法で求めた混入海水の組成のうち、Naの総陽イオン量に対する百分率の分布を示したのが図4で、海水混入域内ではCl含有量に関係なく浜脇南部から北に向かって次第にNa含有率の減少してゆく傾向がよく現われており、この状態は我々の知る範囲での、この地域へ海水の混入しだした時期の分布と矛盾しない。したがって、次の推論を導くことが出来る。すなわち、海水が地層中へ混入するとともに接触する土壌との間にイオン交換を行い、その過程はおもにNaの減少、Caの増大として現われる。この土壌中を次々と新しい海水が通過して行くにしたがい土壌のイオン交換能は減少し、海水組成との平衡関係に近ずき、遂には通過する海水の化学組成に影響を与えないような状態となる。今回の調査範囲では、a地区はすでにほぼ平衡関係に達していると考えられるが、b地区のNa対総陽イオン量の比はなお海水混入以前のA水系における値に近く、全地域が平衡に達するには相当の年月を要するであろう。

この解析の初に仮定したA水系の化学組成や、B水系のCl量を標準海水と同じとしたこと、また、A・B水系のみの混合として他の地下水の混入などを無視したことなどは計算で求められた混合比やB水系の化学組成に誤差を与える原因となり得る。たとえば、実

際に採水した沿岸海水の Cl 量は仮定した値よりもかなり小さいものであった。図4で、浜脇南部の Na 対総陽イオンの比が80%以上と海水の値よりも大きく出ていることなど、このような原因による誤差の疑がこく、厳密な考察には適しないが、図に示されるような相対的な分布を大きく変えるほどの影響はないと考えられる。

以上から、地層中へ海水の浸入が進むにしたがい、地層とのイオン交換により海水の化学組成の変化してゆく過程がたしかめられ、その平衡関係に達するまでにかなりの長期間を必要とすることから、逆に、ある海水混入域における温泉や地下水の化学組成の分布を解析することにより、さかのぼって過去の海水浸入の過程を推察出来る可能性が考えられる。たとえば、別府温泉における図4からみると、温泉中への海水の浸入は、この地域の海岸線一帯から行われたと言うよりも、朝見川下流部から浸入した海水が次第に広がって行ったとの疑も持たれた。これについては議論の余地が残り、なお詳細な検討が必要であろうが、著者らはこの可能性を大きく考えている。

図4 浸入海水のNa対総陽イオン量(%)の分布

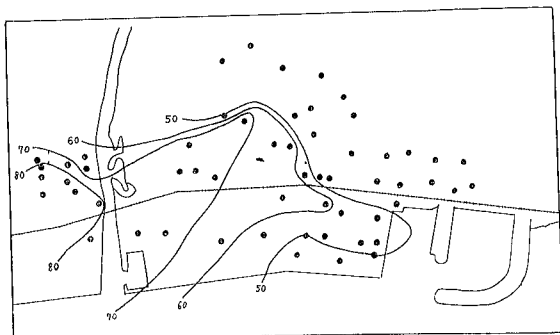
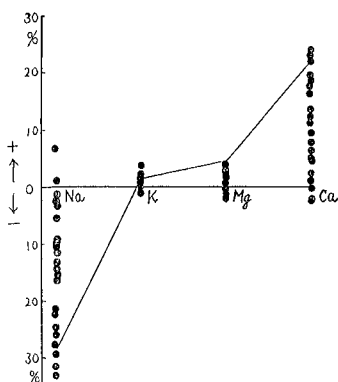


図5 浸入海水の陽イオン含有率の変化



次に問題となるのは土壌とのイオン交換の機構につ

いてである。今の場合、海水はNaを失いCaを得ているが、これが地層中に浸入した海水のたどる一般的な傾向であろうか。

先に各温泉について計算した混入B水系の化学組成から、各陽イオンの総陽イオン量に対する百分率をとり、表2に示した海水のそれから引き去った差を混入海水が地層中でうけたイオンの得失を示す値とする。各成分についてこの値を示したのが図5で、プラスは海水の百分率より大きいもの、マイナスはそれより小さいものを表わす。先に述べたような解析の精度を念頭においた上でこの図を見ると、大体においてNaが失われK, Mg, Caが土壌から得られたと云ってよい。また、表2に示されたA水系の各成分について海水の百分率からの差をとり、その間を直線でつないで図中に記入すると、先の各点はほぼこの差の範囲内に分布し、また、各成分ごとの変化量の散らばりはA水系の海水からの偏差の大きさにほぼ比例して、Na, Ca, Mg, Kの順になっている。

これから次のような機構が考えられる。この地域の地層は表2に示される組成を持つ温泉水と永く接触していて、それと平衡状態になっていた。その後、人工的原因による温泉水圧の低下のため海水が浸入して来て、土と水との間の平衡関係が破れ、かって空隙を占めていた温泉水より過剰のNaイオンが土に吸着され、逆に不足しているCa, Mg, Kイオンが水中に出て来て、あらたに海水と土壌との間の平衡関係が生れようとしているのが現状である。この過程を模式的に示したのが図6で図中の曲線は土と水とが共存して平衡関係にある時、両者でのNa含有率の割合を示すように、簡単な仮定の下でNaの交換係数を0.17として計算して求めたものである。もちろん、水の化学組成によりこの曲線の形がいろいろ変

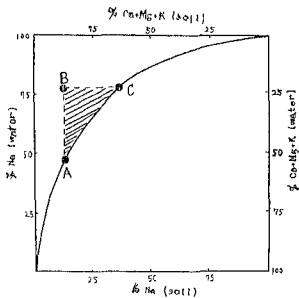
ることは当然考えられるが、今、かりにこの曲線が現在の場合にも当てはまると仮定すると、最初に温泉水と地層とが平衡していた状態は曲線上のA点で示される。そこにB点で示される異質の海水が浸入して地層中を流動してゆくにつれ、海水は次第にNaを失って平衡曲線上のA点に近づく。その後、ひき続き海水が浸入を続ける時、ある場所での混入海水の組成はAを離れて、海水と土との平衡関係を示すC点に達する。したがって、この段階内のある時期においては、土と水とは図中斜線の範囲内の化学組成分布を示し得る。

以上が、今回の調査範囲で浸入海水と地層との間のイオン交換の進んでゆく大体の過程であるが、他の地域に海水が浸入した場合にも、同様にNaの減少、Ca

Mg、Kの増加がおこるとは云えない。浸入海水中のどのイオンが増減するかは海水混入前に永く土壌と接していた温泉水の化学組成できまると考えられる。

このようにイオン交換で海水の化学組成が変わってゆくと、地層中の土壌の組成も変わってゆく。従来、灌漑水の水質が土に与える影響の研究で、土壌がCaを失いNaを得て行くにつれ、その透水性がかなり害されることが知られている<sup>(10)</sup>。地下の温泉層に海水が浸入する時にも同様の現象の起り得る可能性が考えられ、かって温泉水だけを通していた時にくらべて透水性が低下し浸入海水とのイオン交換が進むにつれて、地層が海水の浸入をさまたげるような傾向が生れて来ることも考えられる。これは別府温泉海岸部での海水混入域が昭和21年以降あまり拡大せず、比較的安定した状態を保っていることとも考え合わせて興味のある問題で、今後も研究を続けてゆきたい。

図6 浸入海水と土壌との陽イオン交換過程を示す説明図



### 5 ハロゲン元素間の関係

温泉水中のヨウ素や臭素の含有量は一時盛んに研究され、太素らはハロゲン間の比につき、Br/Clは $1 \sim 4 \times 10^{-3}$ 、I/Clは $1 \sim 10 \times 10^{-4}$ の間にあると述べている<sup>(11)</sup>。古賀は別府温泉内の各地域で多くの分析を行い、前者は $2.3 \sim 7.8 \times 10^{-3}$ 、後者は $2.7 \sim 14 \times 10^{-4}$ とほぼ同程度の範囲を得ている。これに対し、海水のBr/Clは $3.4 \times 10^{-3}$ 、I/Clは $2.6 \times 10^{-4}$ と云う値が一般に知られており、温泉水における値と、特にI/Clでは大きく異なっていて、温泉水中のこれらハロゲンの起源について示唆を与えている。

今回分析したこれらの元素の含有量とそのClに対する比を表3に示す。これによると、海水混入域内の温泉でのBr/Clはほぼ0.3~0.35%内にあり、同表中に記した別府湾海水における比0.33%とほぼ同じと云え、海水混入域外ではその比は0.2~0.3%の間に密集して、このような組成の温泉水に海水が混合したとして調査域の温泉水がほぼ説明出来ることは図7から明

らかである。

図7 調査温泉水の塩素と臭素との関係  
点線はBr/Cl=0.34%を表わす。

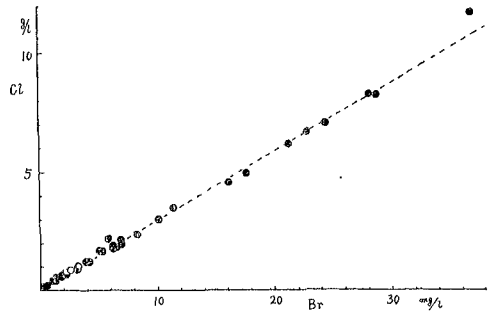
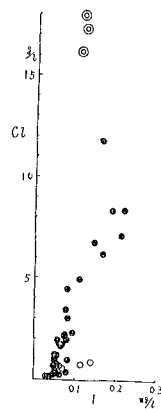


図8 温泉水の塩素とヨウ素との関係



一方、I/Clの値は、別府湾海水では $6.3 \times 10^{-6}$ で一般に用いられる海水の値よりは大きく、海水混入域内の温泉水では平均して $3.15 \times 10^{-6}$ 、その域外では平均 $2.5 \times 10^{-6}$ で、この比の値からみると、その値の小さい海水が大きい温泉水に混合したと言えるが、一般に2水系の混合を考える場合に、比の値からの議論では不十分であり、それら

の絶対値の間の関係を求めなければならない。調査温泉の塩素とヨウ素とを対応させた図8を見ると、Clの大きく海水混入率の大きい温泉ほどIも大きくなる傾向が認められ、海水の混入により温泉中のヨウ素が増加していると考えられる。しかし、そのヨウ素量の絶対値は別府海岸近くの海水よりもかなり大きく、他の元素の含有量から示されたような、この地域の温泉水が単に上流からの温泉水と海水との混合とみた場合には、海水が地層中に浸入する時相当大きいヨウ素の濃縮を受けていると考えねばならない。ヨウ素含有量の分析精度からグラフ上の多少の散らばりは考慮した上で、この分布を直線関係と仮定して混入海水のヨウ素量を求めると、実際に採水した海水の3倍程度にヨウ素が濃縮された混入海水を認めねばならない。また、このグラフでは前節で述べたようなa、b両地域における違いは認められず、現在の分析精度の範囲内では浸入海水におけるヨウ素の濃縮はあまり広い範囲にわたって行われたものではなく、地層中へ浸入初期の小地域でだけ余分のヨウ素が与えられているのではない

かと推定される。この原因については有機性堆積物からの溶解がもっとも容易に考えられるが、今回はまたこれを確かめる段階には至らず、今後、他の海水浸入地域にも調査を広げてこのヨウ素濃縮の機構を追求したい。一般に油田水やガス付随水など堆積地層内に永く貯留されていた海水には、著しいヨウ素の濃縮と共に、それとほぼ同量の臭素も濃縮されていると言われている。今回の調査でも、臭素にいくらかの濃縮が認められるが、ヨウ素量に対して臭素量が非常に大きいためその割合は小さく、濃縮量について十分な検討を行えるほどの精度が望めない。これらについては、海水混入以前の温泉水中のハロゲンの起源とともに今後の研究を期している。

表 3 調査温泉のハロゲン含有量とその比  
(昭38年7月)

温泉番号	Cl (mg/l)	Br (mg/l)	I (mg/l)	Br/Cl (%)	I/Cl (%)
浜脇 6	190.4	0.44	0.047	0.231	0.0247
10	411.3	1.17	0.056	0.285	0.0136
43	1244.5	3.90	0.052	0.314	0.0042
45	3075.9	10.15	0.086	0.330	0.0028
46	7094.9	24.40	0.207	0.342	0.0029
47	712.1	2.29	0.048	0.332	0.0068
68	357.1	1.35	0.080	0.379	0.0224
69	1973.3	6.99	0.081	0.355	0.0041
107	4990.6	17.66	0.110	0.355	0.0022
112	1787.8	5.79	0.060	0.323	0.0034
119	3462.4	11.29	0.078	0.344	0.0023
123	2216.1	5.85	0.076	0.265	0.0033
139	1905.1	6.22	0.058	0.327	0.0031
149	8389.1	28.15	0.130	0.336	0.0016
別府 4	652.2	2.22	0.058	0.340	0.0090
5	4601.6	16.20	0.082	0.352	0.0018
6	1866.8	6.43	0.053	0.345	0.0028
8	181.6	0.43	0.063	0.237	0.0346
55	179.8	0.43	0.048	0.240	0.0239
58	128.7	0.17	0.036	0.132	0.0278
67	144.8	0.37	0.039	0.255	0.0269
69	208.0	0.45	0.050	0.216	0.0240
73	126.9	0.40	0.038	0.315	0.0295
76	167.6	0.43	0.044	0.256	0.0262
80	167.6	0.41	0.041	0.245	0.0245
186	704.7	2.26	0.065	0.321	0.0092
190	859.8	3.29	0.055	0.332	0.0061
192	193.9	0.39	0.047	0.201	0.0242
194	648.0	1.89	0.050	0.302	0.0077
196	2159.3	7.48	0.078	0.347	0.0036
197	139.3	0.29	0.038	0.208	0.0272

199	1690.1	5.31	0.066	0.314	0.0041
200	109.3	0.26	0.041	0.239	0.0376
203	133.9	0.39	0.049	0.291	0.0266
1010	167.5	0.44	0.044	0.262	0.0262
1011	2357.9	8.26	0.095	0.350	0.0040
1012	214.5	0.61	0.060	0.285	0.0280
1013	6135.3	21.06	0.164	0.345	0.0027
1014	8467.1	28.65	0.220	0.338	0.0026
1015	592.2	1.91	0.060	0.323	0.0103
1016	412.5	1.22	0.082	0.295	0.0197
1018	1783.5	6.17	0.072	0.350	0.0040
1022	1267.6	4.22	0.057	0.334	0.0045
1023	11798.3	36.38	0.158	0.309	0.0013
1043	163.0	0.36	0.047	0.221	0.0288
1048	155.1	0.36	0.052	0.233	0.0336
1083	119.9	0.30	0.037	0.253	0.0311
1084	156.9	0.42	0.041	0.268	0.0261
1088	174.5	0.46	0.047	0.263	0.0269
1150	998.1	3.13	0.048	0.314	0.0048
1151	1015.8	3.19	0.054	0.314	0.0053
1152	6757.9	22.80	0.146	0.338	0.0022
1154	1028.3	3.19	0.056	0.310	0.0054
1155	969.8	2.93	0.081	0.302	0.0086
日本 猿酒 KK	537.6	1.30	0.071	0.243	0.0132
後藤 豊三 郎氏 宅	740.3	2.18	0.116	0.305	0.0157
ふじ み荘 海水	884.8	2.26	0.140	0.255	0.0158
1	17976.0	54.16	0.115	0.302	0.00064
2	17346.0	58.49	0.118	0.337	0.00066
3	16104.0	54.16	0.102	0.342	0.00063
4	18051.0	61.40	0.103	0.340	0.00057

## 6 要約

① 別府温泉海岸部の海水混入域はその後あまり拡大していない。

② 海水が地層中に浸入すると、それ以前には温泉水と平衡状態にあった土壌との間にイオン交換が起こり、海水にはNaの減少、Caの増加が現われる。海水浸入後の経過につれて、この過程は次第に平衡状態に近ずき、浜脇地区の地層ではほぼ海水との間の平衡が完了したと見られる。逆に、温泉水の陽イオン中に占めるNaまたはCa含有率の分布から、海水浸入の進行過程をたどれる可能性が求められた。

③ 浸入海水中のBrはClとほぼ同一の行動をとると考えても差支えない程度である。浸入海水のIは、本来の海水よりもかなり濃縮されており、有機性堆積物の

影響も考えられる。

④ 土壤が浸入海水のため変質されることにより、透水性の低下する可能性があり、地下水中之の海水浸入の過程へ影響を与えていることも考えられる。

終に当り、本研究調査の糸口を与えられた瀬野錦蔵教授に深く感謝をささげるとともに、採水、分析の労をつくされた大分大学学生諸氏に感謝する。

#### 参考文献

- (1)山下逸二郎・木戸隆・丸田頼三：別府市内温泉のCl量分布、地球物理、1巻、2号、昭12
- (2)吉川恭三・軽部末蔵：別府温泉のCl量分布の変動について、地球物理、8巻2～4号、昭25
- (3)瀬野錦蔵・吉川恭三：別府市内温泉の化学成分長期変化に関する調査報告、大分県温泉調査研究会報告10号、昭34
- (4)瀬野錦蔵：別府に於ける「地獄」に関する若干の考察、同上、6号、昭30
- (5)瀬野錦蔵：温泉水中の塩分源としての海塩、地球物理、7巻2号、昭18
- (6)Revelle R. : Criteria for Recognition of Sea Water in Ground-water, Trans. Amer. Geophys. Union, 1941.
- (7)Kikkawa K. : On the Salinities and Overdraft Conditions in Ito Thermal Springs、地球物理9巻2号、昭29
- (8)Yuhara K. : Hydrological Study of Atami Hot Springs. Mem. Coll. Science, Univ. Kyoto, 29巻3号、1961
- (9)木戸隆・丸田頼三：別府市内温泉分析表、地球物理1巻1号、昭12
- (10)Evan Harris A. : Effect of Replaceable Sodium on Soil Permeability. Soil Sc., 1931.
- (11)太秦康光・那須義和：温泉水中の塩素・臭素・ヨウ素について、日化雑、81巻3号、1960
- (12)古賀昭人：別府温泉の化学的研究（第13報）臭素・ヨウ素の分布、同上、80巻4号、1959



# 別府周辺噴気孔の噴出熱量と熱力学的性質

京 都 大 学 理 学 部

湯 原 浩 三

## § 1 別府周辺の噴気孔

別府温泉の背後には南西から北西にかけて多くの噴気孔が散在している。これらは西北西—東南東、西南西—東北東の線上に並んでいるものが多く、その配列と地質構造との関係については既に詳しく論じられている。

これらの噴気孔は、全く天然のままのもの、半人工的なもの、掘さくによるものなどがあり、用途からみても、冷水加熱用、暖房用、炊事用、観光用等、様々であって、外見上の構造は全く一定していない。この様な複雑さに加えて、高温蒸気が高速で噴出するという噴出現象そのものために、噴気孔についての測定観測は、温泉に比して著しく困難を伴うものであり、未だあまり行われていない。

しかし、直接的間接的に噴気は温泉のもとと考えられるので、別府周辺の噴気の状態を知ることは別府温泉の研究のためにはどうしても必要なことである。又、噴気は量的にも質点にも時間的变化の著しいものである。その変化は孔口に作用する外的条件や、地中や上昇通路での条件、更には噴気孔相互間の条件に関係するものであって、未解決の問題が多く、噴気現象そのものの究明のためにも、噴気の量的質的測定を進めて行かねばならない。

噴気の測定法として、工学的な方法は勿論知られている。しかし工学的な方法はかなり大がかりな装置を必要とするので、一つの噴気で長期の測定を行う場合には適しているけれども、ある時点での噴気孔群の実態をつかむためには不適當である。そこで簡便な方法を考案しながら、別府周辺の噴気孔について温度、蒸気密度、噴出速度等の測定を行い、それより噴出量、噴出熱量を求め、更に噴気の熱力学的性質について論じる。測定は主として昭和36年の3月から5月にかけて行われた。

## § 2 噴気孔の分類

噴気、噴気孔という語の意味を明確にするため、ここでは、地中から主として天然蒸気を噴き出す現象を噴気と云い、その孔を噴気孔と称することにする。そうすると、孔の出来方によっても、又噴出蒸気の熱力学的性質によっても、噴気孔を分類することが出来る。即ち、

### I 孔口の形態(成因)による分類

#### a) 自然噴気孔(記号 N)

自然に出来た割れ目や小孔から蒸気を噴出するもの他に、洞穴や泥池や Steaming Ground からの噴気も含める。又、簡単な手掘りの孔からの噴気や、自然の小孔に土管等を挿入したもの等もこの中に含める。

#### b) 噴気井(記号 B)

ボーリングによる掘さく井から噴出するのであって、ほとんどの場合鉄管が挿入されていて、噴出口の断面は円形である。

### II 熱力学的分類

#### a) 乾き噴気孔(記号 D)

##### 1) 過熱蒸気孔

##### 2) 乾き飽和蒸気孔

##### 3) 見掛乾き噴気孔

(1)(2)はいずれも温度—圧力—密度等の関係から熱力学的に定まる。

(3)は見掛上は乾いた蒸気を噴出している如く見えるけれども、熱力学的には湿り蒸気を噴出しているもの。即ち蒸気と共に噴出した微細な水滴は噴出後すぐ蒸発し、周辺を濡らすことは全くない。

#### b) 湿り噴気孔(記号 W)

##### 4) 霧状噴気孔

##### 5) 水混り噴気孔

##### 6) 沸とう泉(噴湯泉)

(4)は(3)に比して水滴が大きくて、蒸発しても尚水滴として地面に達し周辺を濡らす。しかし水として流れ出る程の水量は含まれていない。(5)はかなりの量の水と蒸気と一緒に噴出するもので、更に水の割合が大きくなると「熱湯を噴き上げる」という(6)の状態になる。

以上の様な分類と記号を用いれば、噴気孔の形状と噴気の性質を併せて、ND3とかBW4というふうに表示することが出来る。第1表にそれを示した。又、この表でSは温泉をAはSteaming Groundを示すものである。

§ 3 熱力学的諸量の測定と噴出量噴出熱量の計算

1) 温度測定

温度は孔口に於て水銀温度計又は留点温度計で測定すればよい。しかし、噴気の流れエネルギーが温度計の球に衝突して熱エネルギーに変わり、球の近くの温度が真の噴気温度よりいくらか高くなるので、噴出速度が大きい時はこの点を考慮しなければならない。この効果による温度上昇は

$$\Delta T = \frac{A \cdot w^2}{2gC_p} \quad (1)$$

であらわれ、Aは仕事の熱当量、Cpは定圧比熱、wは速度、gは重力加速度である。水蒸気のCpとしてLewis-Randallの式<sup>2)</sup>

$$C_p = 0.49 - 0.0001\theta + 0.00000012\theta^2 \quad (2)$$

(θは絶対温度)

を用いると、80°C~160°Cの範囲でCp=0.47cal/g°Cであるから、wをm/sであらわすと

$$\Delta T'' = \frac{w^2}{3.93 \times 10^3} \quad (3)$$

となる。水の場合はCp=1cal/g°Cであるから

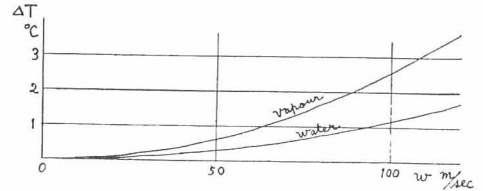
$$\Delta T' = \frac{w^2}{8.37 \times 10^3} \quad (4)$$

水と蒸気の混合の場合は、乾き度をxとすれば、

$$\Delta T = \frac{(0.53x + 0.47)w^2}{3.93 \times 10^3} \quad (5)$$

で与えられる。これによってΔTとwの関係を図示したものが第1図である。実際に別府周辺で観測された噴気井の最高速度は50~80 m/secであったからΔTは1°C前後である。

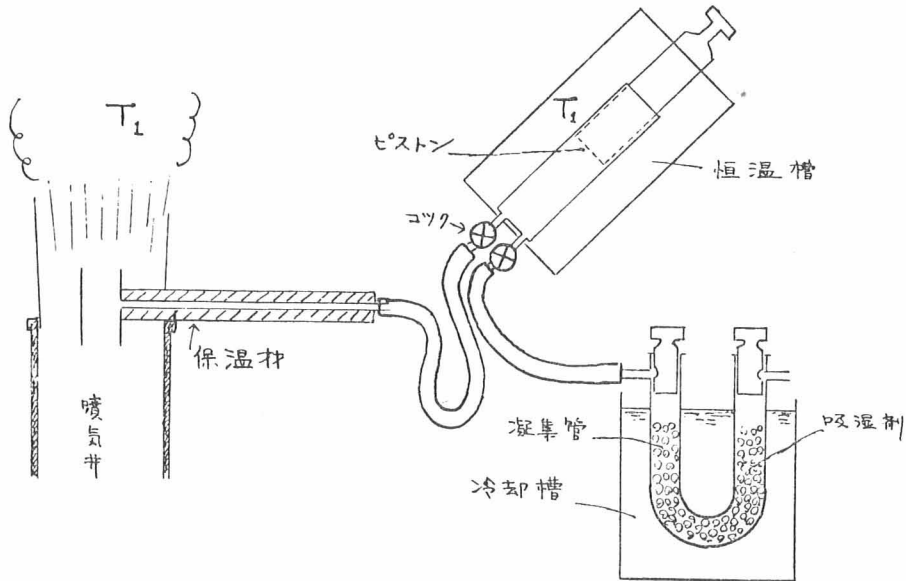
第1図 温度測定の補正項



2) 密度測定

噴気の密度測定は第2図に示した如く、一定容積の噴気を採取し、それを凝集管に集めてその重量増加から求めた。ここで最も重要かつ困難なことは、噴気を噴出の際の条件を保ったまま一定容積採取することであって、一応の工夫として、吸気管を恒温槽の中へ入れ、その温度を噴気のと等しくして採取を行った。しかし孔口での噴気の圧力については全く考慮されなかったし、恒温槽も完全なものではなかったのでかなりの誤差を生じる因となったと思われる。

第2図 噴気密度測定法

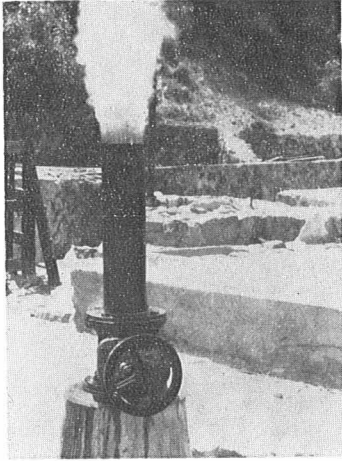


3) 蒸気及び水の噴出量

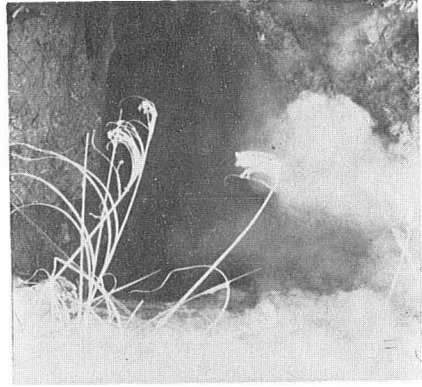
噴気中に含まれている永久ガスの量がごくわずかで無視される程度である場合を考える。即ち噴気は水蒸気と同温度の水のみだけの混合流体であるとし、混合流

体の密度をρ、単位時間に噴出する体積をV、蒸気の密度と体積をρ″、V″、水の密度と体積をρ′、V′'とすると、

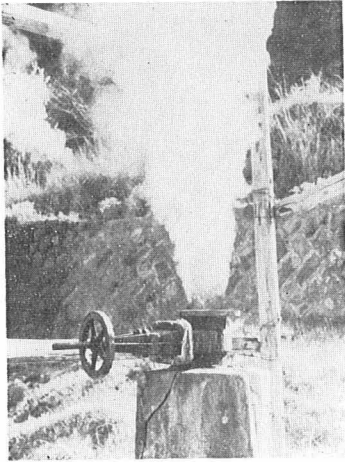
$$\rho''V'' + \rho'V' = \rho V \quad (6)$$



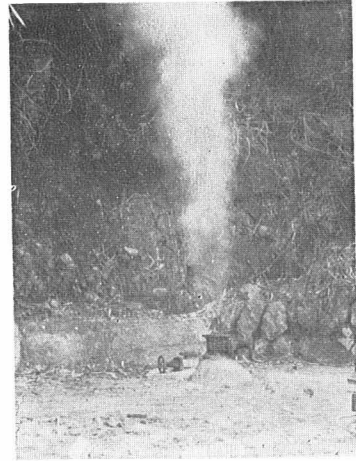
堀田 No. 3



堀田 No.11



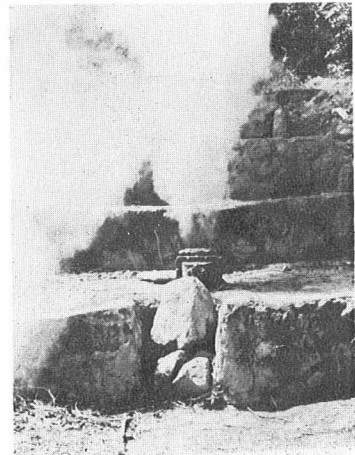
八幡 No. 4



八幡 No.13



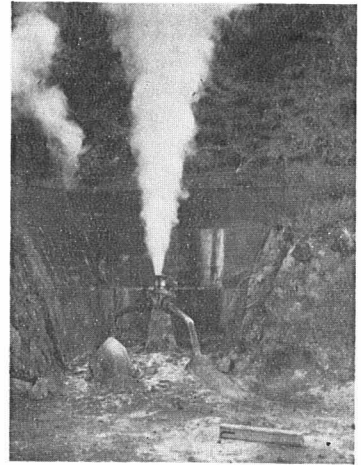
観海寺 No. 4



観海寺 No. 7



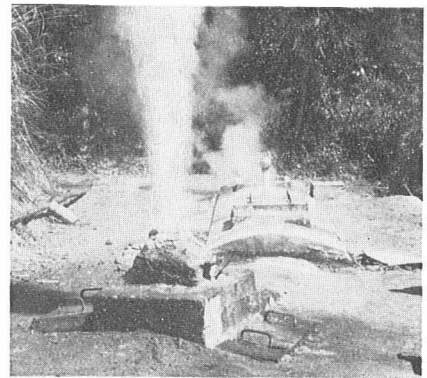
観海寺 No.14



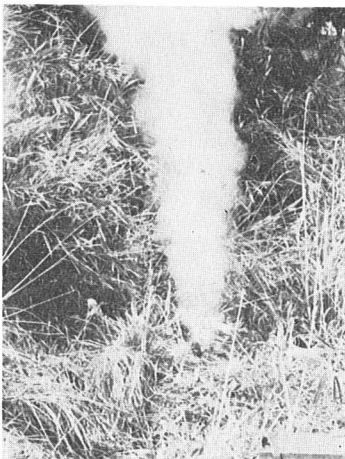
観海寺 No.19



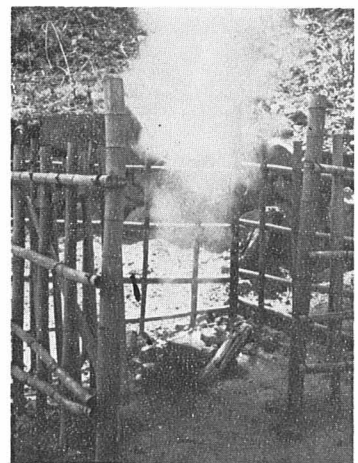
観海寺 No.22



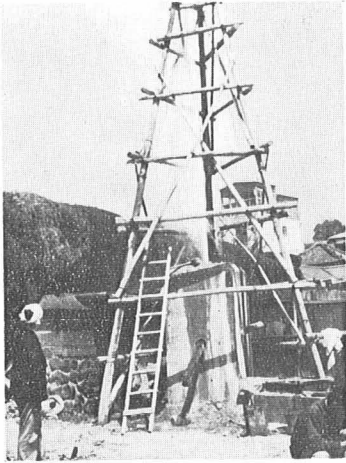
観海寺 No.24



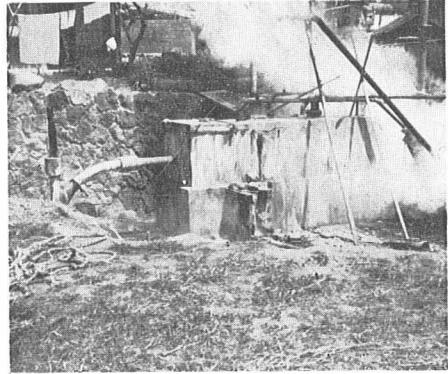
観海寺 No.28



観海寺 No.29



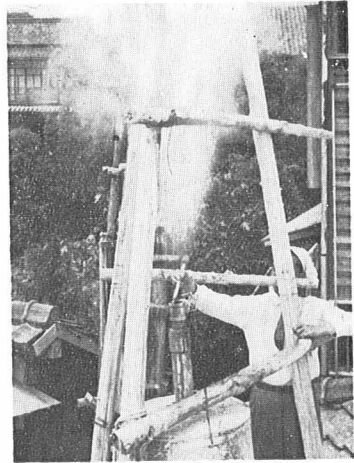
鉄輪 No. 6



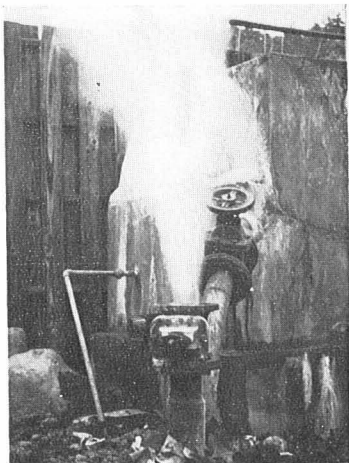
鉄輪 No. 7



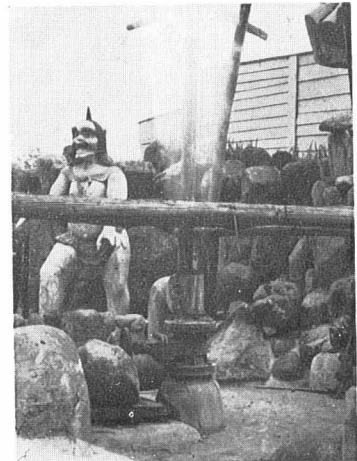
鉄輪 No. 13



鉄輪 No. 19



鉄輪 No. 25



鉄輪 No. 28

$$V'' + V' = V \quad (7)$$

なる関係から、単位時間に噴出する蒸気及び水の質量は、噴出口の断面積を  $F$ 、平均噴出速度  $\bar{w}$  とすると

$$\rho'' V'' = F \bar{w} \rho'' \frac{\rho' - \rho}{\rho' - \rho''} \quad (8)$$

$$\rho' V' = F \bar{w} \rho' \frac{\rho - \rho''}{\rho' - \rho''} \quad (9)$$

で与えられる。

$\rho''$ 、 $\rho'$  は飽和蒸気表から知ることが出来るので、 $\rho$ 、 $\bar{w}$  を測定すればそれぞれの噴出量を求めることが出来る。

#### 4) 噴出速度

Pito 管を用いて噴出口中央の最大速度  $w_{\max}$  を測定し、断面内の速度分布が指数法則で示されると仮定する。即ち

$$w = w_{\max} \left( \frac{y}{r_0} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (10)$$

ここに  $r_0$  は管の半径、 $y$  は管壁からの距離、 $n$  は Reynolds 数によってきまる速度指数である。管の中心からの距離を  $r$  とすれば、断面内の平均速度は、

$$\begin{aligned} \bar{w} &= \frac{1}{\pi r_0^2} \int_0^{r_0} 2\pi r w dr \\ &= w_{\max} \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \end{aligned} \quad (11)$$

次に  $n$  を知るために Reynolds 数を知らねばならない。今、混合流体の粘性係数は蒸気と水の混合の容積比によって与えられると仮定する。即ち

$$\mu = \frac{\mu'' V'' + \mu' V'}{V} \quad (12)$$

$\mu''$ 、 $\mu'$  は蒸気及び水の粘性係数である。

$V = F \bar{w}$  であるから、(8)(9)を(12)に代入して

$$\mu = \frac{\mu''(\rho' - \rho) + \mu'(\rho - \rho'')}{\rho' - \rho''} \quad (13)$$

故に Reynolds 数は

$$S = \frac{2r_0 \bar{w}}{\mu} = \frac{2r_0 \bar{w} \rho'(\rho' - \rho'')}{\mu''(\rho' - \rho) + \mu'(\rho - \rho'')} \quad (14)$$

実際の  $R$  を見積るため次の二例について計算する。

#### 例 1 八幡 No.17

$$\begin{aligned} 2r_0 &= 10 \text{ cm}, T = 98^\circ \text{C}, \rho = 0.011 \text{ g/cm}^3 \\ \rho' &= 0.95979 \text{ g/cm}^3, \rho'' = 0.00056 \text{ g/cm}^3 \\ \mu' &= 0.00284 \text{ g/cm} \cdot \text{sec}, \mu'' = 0.00013 \text{ g/cm} \cdot \text{sec} \\ \bar{w} &= 0.8 w_{\max} = 1273 \text{ cm/sec} \\ \text{より } R &= 8.78 \times 10^5 \end{aligned}$$

#### 例 2 鉄輪 No.2S

$$\begin{aligned} 2r_0 &= 10.3 \text{ cm}, T = 114^\circ \text{C}, \rho = 0.0024 \text{ g/cm}^3 \\ \rho' &= 0.94796 \text{ g/cm}^3, \rho'' = 0.00093 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\mu' = 0.00284 \text{ g/cm} \cdot \text{sec}, \mu'' = 0.00013 \text{ g/cm} \cdot \text{sec}$$

$$\bar{w} = 0.8 w_{\max} = 3595 \text{ cm/sec}$$

$$\text{より}, R = 9.19 \times 10^5$$

上の二例より、 $R$  は  $10^5 \sim 10^6$  程度であることがわかる。

次に噴気井の鉄管は粗面管と考えてよく、この場合には  $R = 10^4 \sim 10^6$  の範囲、即ち粗面の程度  $r/k$  が 15 ~ 507 ( $k$  は粗面の凹凸の高さ) の範囲では (10 式の  $n$  は、4.2 ~ 7.5 であることが知られているから、この値を (11) に代入すると、

$$\frac{\bar{w}}{w_{\max}} = 0.722 \sim 0.827$$

となり、平均値として 0.77 が得られる。結局、

$$\bar{w} = 0.77 w_{\max} \quad (15)$$

を用いて平均流速を計算した。

#### 5) 噴出熱量

前と同様噴気が飽和蒸気であると仮定すると、蒸気と水のエンタルピー  $i''$ 、 $i'$  は表から得られるから、単位時間に噴気によって運び出される熱量は

$$\begin{aligned} Q &= \rho'' V'' i'' + \rho' V' i' \\ &= \frac{F \bar{w}}{\rho' - \rho''} \left\{ \rho'' i'' (\rho' - \rho) + \rho' i' (\rho - \rho'') \right\} \quad (16) \end{aligned}$$

で与えられる。

#### 6) 乾き度、湿り度

乾き度、湿り度はそれぞれ次式から計算することが出来る。

$$\text{乾き度} \quad x = \frac{\rho''}{\rho} \frac{\rho' - \rho}{\rho' - \rho''} \quad (17)$$

$$\text{湿り度} \quad 1 - x = \frac{\rho'}{\rho} \frac{\rho - \rho''}{\rho' - \rho''} \quad (18)$$

### § 4 測定結果と地区別の噴出熱量

前節で述べた方法で測定し計算した値を第 1 表に示す。

第1表 その1 堀田地区

番号	所在地	通称	種別	深度 m	温度 °C	平均 速度 m/sec	密度 g/cm <sup>3</sup>	噴出量 kg/h	噴出 蒸気量 kg/h	噴出水量 kg/h	湿り度	噴出熱量 ×10 <sup>5</sup> kcal/h
1	616	市	BW4	110	97.5	1.70	0.032	1537.2	25.2	1512.0	0.984	1.6
2	593の1	市	BD3		96.5	48.0	0.0047	6368.4	716.4	5652.0	0.888	10.0
3	592	市	BD3	108	97.0	31.2	0.0037	3261.6	475.2	2786.4	0.854	5.7
4	595		BD3		73.0			S *				
5			ND3		96.5	25.1	0.0025	536.4	111.6	424.8	0.792	1.1
6	601		ND3		95.0			S				
7	603		ND3		93.0			S				
8	849	松本	BD2-3		120.5	31.1	0.0013	561.6	493.2	68.4	0.122	3.3
9	943の2		BD3		95.5	20.5	0.0030	2098.8	356.4	1742.4	0.830	3.9
10		上郎	BW6		83.0			421.2	—	421.2	1.000	0.3
11		恵下地獄	NW4		95.5			S				
12		〃	NW5		95.0			S				
13		〃	NW5		93.0			S				
14		恵下奥	NW4		69.0			S				
計								14785.2	2178.0	12607.2		25.9

\*Sは少量であることを示す

第1表 その2 八幡(南立石)地区

番号	所在地	通称	種別	深度 m	温度 °C	平均 速度 m/sec	密度 g/cm <sup>3</sup>	噴出量 kg/h	噴出 蒸気量 kg/h	噴出水量 kg/h	湿り度	噴出熱量 ×10 <sup>5</sup> kcal/h
1	1973の7	市	ND3		98.5			S				
2	〃	〃	ND3		95.5			S				
3	〃	〃	ND3		98.5			S				
4			BD2-3		133.0	13.0	0.0037	1962.0	856.8	1105.2	0.563	7.1
5	1977の3	島村	BD3		99.5	1.70	0.0030	136.8	10.8	126.0	0.921	0.2
6	1973の7	市	BD3		99.5	1.10	0.0200	489.6	14.4	475.2	0.971	0.6
7	〃	〃	ND3		80.5			S				
8	〃	〃	ND3		97.5			S				
9	〃	〃	ND3		90.5			S				
10	1977の3	島村	ND3		98.0			S				
11	1713	市	BD3	110	103.0	16.3	0.0047	2167.2	302.4	1864.8	0.860	3.9
12	〃	〃	BD3		103.0	40.2	0.0035	3970.8	748.8	3222.0	0.811	8.1
13	〃	〃	BD2-3		117.5	63.2	0.0022	3931.2	1854.0	2077.2	0.528	14.4
14	1765	〃	BW4		99.0	12.5	0.0100	2872.8	165.6	2707.2	0.942	3.7
15	1712の1	〃	ND3		96.5			S				
16	1759の1	嘉麻	BW4		98.5	1.60	0.0130	867.6	36.0	831.6	0.959	1.0
17	1735	伊藤	BW4	150	98.0	12.3	0.0110	3808.8	190.8	3618.0	0.950	4.8
18	1731の2	嘉麻	BD2-3	100	120.5	41.9	0.0025	4266.0	1944.0	2322.0	0.544	15.4
19	1962の5	〃	BW4	132	97.5	26.7	0.0075	5652.0	410.4	5241.6	0.927	7.7
20	1995	郵政省	BW5		98.0	19.0	0.0100	7736.4	428.4	7303.0	0.945	9.9
21	1719	小宮	ND3		98.0							
22		鶴見地獄	BW4									
23		〃		約100				*2448.0	1065.6	1382.4	0.565	8.2
計								40309.2	8028.0	32281.2		85.0

\* 山下氏の測定による

第1表 その3 観海寺—乙原地区

番号	所在地	通称	種別	深度 m	温度 °C	平均 速度 m/sec	密度 g/cm <sup>3</sup>	噴出量 kg/h	噴出 蒸気量 kg/h	噴出水量 kg/h	湿り度	噴出熱量 ×10 <sup>5</sup> kcal/h
1	2306	杉の井	BD3	176	98.0	23.30	0.0075	7120.8	529.2	6591.6	0.926	9.8
2	2356	白雲山荘	BD3	180	97.5	2.00	0.0060	187.2	18.0	169.2	0.904	0.3
3		杉の井新	BW5	230	99.0	62.70	0.0030	14162.4	1026.0*	13136.4	0.926	19.6
4		国武1号	BD3		98.0	24.50	0.0058	4010.4	385.2	3625.2	0.904	6.0
5		〃 2号	BD3		107.0	12.00	0.0044	1486.8	252.0	1234.8	0.831	2.9
6		〃 3号	BD3		98.0	12.70	0.0049	1753.2	198.0	1555.2	0.887	2.8
7		〃 4号	BD2-3		127.0	12.70	0.0039	3142.8	1101.6	2041.2	0.649	9.8
8		〃 5号	NS6		88.5			1897.2		1897.2	1.00	1.7
9		白湯山苑	ND3		91.0			S				
10	2595		ND3		96.5			S				
11	2561		ND3		97.5			S				
12	2559	佐藤	ND3		97.5	2.60	0.0035	169.2	28.8	140.4	0.830	0.3
13			NA3		97.5			S				
14		白湯1号	BW4		97.5	29.50	0.0033	9975.6	655.2	9320.4	0.934	13.3
15		〃 2号	BD3		113.5	8.80	0.0030	903.6	277.2	626.4	0.693	2.5
16		〃 3号	BD3		96.2	24.00	0.0060	3672.0	316.8	3355.2	0.914	5.2
17		〃 3の1	BD3		96.5	15.20	0.0060	3114.0	273.6	2840.4	0.912	4.5
18		〃 6号	BW4		92.2			S				
19		〃 7号	BD3		97.0	49.80	0.0060	8449.2	756.0	7693.2	0.911	12.3
20		〃 8号	BD3		96.8	41.40	0.0055	6433.2	630.0	5803.2	0.902	9.7
21			ND3		98.2	2.40	0.0041	892.8	118.8	774.0	0.867	1.5
22		田頭	BD3		97.0	31.60	0.0060	5349.6	478.8	4870.8	0.910	7.8
23		宮地	BW5		98.0	20.50	0.0180	10407.6	320.4*	10087.2	0.969	12.0
24	2630	国際観光7号	BD3		99.0	19.20	0.0068	5320.8	453.6	4867.2	0.915	7.7
25	2628	〃 1号	BD2-3		115.0	19.40	0.0025	1371.6	522.0	849.6	0.619	4.3
26	2630	〃 2号	BD3		97.5	8.40	0.0045	1159.2	140.4	1018.8	0.879	1.9
27	2513	〃 5号	BD3		98.5	2.70	0.0047	478.8	57.6	421.2	0.880	0.8
28	2583	〃 6号	BD3		97.5	3.70	0.0042	356.4	46.8	309.6	0.869	0.6
29	2611	〃 3号	BD2-3		115.0	3.60	0.0036	882.0	234.0	648.0	0.776	2.3
30	2661	ラクテンテ1号	BD3		98.0	7.30	0.0044	1037.2	136.8	950.4	0.874	1.8
31	2658	〃 2号	BW4		98.0	6.60	0.0031	176.4	75.6	100.8	0.571	1.5
32	2658	〃 3号	BD3		98.0	4.70	0.0048	698.4	82.8	615.6	0.881	1.1
33	2658	〃 4号	BD3		99.0	4.00	0.0033	46.8	7.2	39.6	0.846	0.1
計								94705.2	9122.4	85582.8		144.1

\* 水として流れ出しているものを含む。



第1表 その4 明バン一湯山地区

番号	所在地	通称	種別	深度 m	温度 °C	平均 速度 m/sec	密度 g/cm <sup>3</sup>	噴出量 kg/h	噴出 蒸気量 kg/h	噴出水量 kg/h	湿り度	噴出熱量 ×10 <sup>5</sup> kcal/h
1		岡本屋	BW5		100	1.80	0.0037	763.2	39.6	723.6	0.948	1.0
2		篤	BD3		98.3	25.10	0.0020	3823.8	1090.8	2736.0	0.715	9.7
3		えびすや	BD3		96.0	4.70	0.0042	277.2	36.0	241.2	0.870	0.5
4		大分トヨベント	BW4		98.4	13.90	0.0081	3186.0	223.2	2962.8	0.930	4.3
5		紺屋地獄	NS6		98.3			468.0		468.0	1.000	0.5
6		国武	BW4		98.0			1681.2		1681.2	1.000	1.7
7		明バン附近	NA4		100			不測				
8		湯山1号	BW5		97			不測				
9		湯山2号	BW5		97			不測				
10		冬ヶ城	NA4		99			S				
計								10202.4	1389.6	8812.8		17.7

第1表 その5 小倉地区

番号	所在地	通称	種別	深度 m	温度 °C	平均 速度 m/sec	密度 g/cm <sup>3</sup>	噴出量 kg/h	噴出 蒸気量 kg/h	噴出水量 kg/h	湿り度	噴出熱量 ×10 <sup>5</sup> kcal/h
1		地熱発電	BD3		97.3	5.70	0.0049	126.0	14.4	111.6	0.886	0.2
2		本坊主奥	BD2-3		123.0	41.80	0.0036	2721.6	918.0	1803.6	0.663	8.2
3		中央拓殖	BD3	120	96.0	5.30	0.0056	1886.4	176.4	1710.0	0.906	2.8
4		市	BD1-2		126.0			不測				
5		国武	BW4		99.0	34.80	0.0057	2865.6	277.2	2588.4	0.903	4.3
6		梶原村	BD3		98.6	27.20	0.0033	2923.2	435.6	2487.6	0.851	5.2
7		中	BW4		98.7	1.20	0.0085	860.4	57.6	802.8	0.933	1.2
8		原爆センター	BW5		98.8			1018.8		1018.8	1.000	1.0
9		本坊主	NS6					不測				
10		々	NW5					不測				
11		安部	BW5		98.4			4860.0		4860.0	1.000	4.8
12		国武	BD3		99.2	8.60	0.0042	2008.8	273.6	1735.2	0.864	3.5
13		市	BD3		99.0			3940	(3940)			25.2
14		みかえり温泉	BW5	250	97.5			5007.6		5007.6	1.000	4.9
15		安部卓雄	BD3	65	102.2	23.30	0.0029	950.4	208.8	741.6	0.780	2.1
16		新別府ホテル	BW5		94.0			34200.0		34200.0	1.000	32.2
計								59428.8	2361.6	57067.2		95.6

第1表 その6 鉄 輪 地 区

番号	所在地	通 称	種 別	深度 m	温度 °C	平均 速度 m/sec	密度 g/cm <sup>3</sup>	噴出量 kg/h	噴 出 蒸気量 kg/h	噴出水量 kg/h	湿り度	噴 出 熱 量 ×10 <sup>5</sup> kcal/h
1		よろずや	BD2-3		130.0	63.7	0.0024	2768.4	1728.0	1040.4	0.876	12.6
2		国東荘	BW5		99.0	18.3	0.0290	8168.4	165.6	8002.8	0.980	9.0
3		みどりや	BW4		97.0	11.1	0.0180	2448.0	72.0	2376.0	0.971	2.8
4		中野屋	BW5		97.5			702.0		702.0	1.000	0.7
5		えびすや	BD3		98.7	0.7	0.0055	90.0	10.8	79.2	0.880	0.1
6		秋山	BW5		98.0		0.0092	3474.0		3474.0	1.000	3.4
7		ひょうたん	BW5		99.0	2.8	0.0073	6195.6	54.0	6141.6	0.991	6.4
8		やまとや	BW4		97.5	43.6	0.0140	9720.0	378.0	9342.0	0.961	11.5
9		伊藤	BW4		97.0			S				
10		双葉荘	BW5		99.5			11278.8		11278.8	1.000	11.2
11		ちくぜんや	BW5		99.0	1.1	0.0184	82.8	3.6	79.2	0.957	0.1
12		後藤	BW5		99.0			576.0		576.0	1.000	0.1
13	143	寿屋	BW5		98.5	16.6	0.0057	1310.8	169.2	1641.6	0.907	2.7
14	150の1	さかえや	BW4	138	98.5	15.5	0.0130	6904.8	298.8	6606.0	0.957	8.4
15		上富士	BD3		99.5	3.1	0.0012	10.8	3.6	7.2	0.667	0.0
16		筑後屋	BW5		99.0			1224.0		1224.0	1.000	1.2
17	151	長生湯	BW5		97.5			2415.6		2415.6	1.000	2.4
18		鉄輪地獄	BD3		108.0	61.6	0.0033	3236.4	752.4	2484.0	0.768	7.5
19		本 田	BD3		98.5	45.3	0.0065	2797.2	244.8	2552.4	0.912	4.1
20		楽 天 荘	BD3		97.0	4.4	0.0049	2743.2	302.4	2440.8	0.890	4.3
21		安 楽	BW5		97.0			2520.0		2520.0	1.000	2.4
22	262の3	金 子	BD3		95.0			S				
23	266	加 藤	BD3		98.5			S				
24		墓 地 内	ND3					S				
25	8525	湯河原旅館	BD3		98.0	46.3	0.0044	3070.8	388.8	2682.0	0.873	5.1
26		雷 園	BW4	180	98.0			8226.0	1260.0	6966.0	0.847	14.9
27		楽 々 園	BW5		99.0			262.8		262.8	1.000	0.2
28		五さいほ地獄	BD2-3		114.0	34.6	0.0034	3528.0	961.2	2566.8	0.728	9.1
29		雷 園 内	BD3		98.0	24.3	0.0040	1756.8	244.8	1512.0	0.861	3.1
30		林 田	BW4		98.3	12.2	0.0063	1065.6	97.2	968.4	0.909	1.6
31		十万地獄	BW5		98.0							
32		かまど1号	BW4	80	98.0	49.8	0.0086	12099.6	784.8	11314.8	0.935	16.1
33		かまど2号	BD3	22	98.2	1.9	0.0066	284.4	25.2	259.2	0.911	0.4
34		森 山	BD3		99.0	31.2	0.0055	3927.6	410.4	3517.2	0.896	6.1
35		貴 船 城	BD3		94.0	10.3	0.0011	352.8	154.8	198.0	0.561	1.2
36		貴船城下1号	BD3		97.7	2.2	0.0024	244.8	57.6	187.2	0.765	0.6
37		貴船城下2号	BD3		96.5	3.3	0.0011	147.6	68.4	79.2	0.537	0.5
38		海地獄内	BD3		98.6	24.4	0.0037	637.2	100.8	536.4	0.842	1.2
39		鬼石坊主奥	BD3		99.5	57.7	0.0032	5220.0	957.6	4262.4	0.817	10.4
40		金 竜	BW4		99.0	15.0	0.0140	5922.0	241.2	5680.8	0.959	7.2
41		白 池	BD2		116.0	24.6	0.0010	3614.4	36.0	3578.4	0.100	23.2
42		鬼 山	BD3		100			33768.0		33768.0	1.000	33.8
43		かまど3号			99			270.0		270.0	1.000	0.3
44		鬼石坊主	NW5					不測				
45		竜 巻	BW5		100			*6264.0		6264.0	1.000	6.3
計								159829.2	13514.4	146314.8		232.2

\* 山下氏の測定による

第1表 その7 南亀川地区

番号	所在地	通称	種別	深度 m	温度 °C	平均 速度 m/sec	密度 g/cm <sup>3</sup>	噴出量 kg/h	噴出 蒸気量 kg/h	噴出水量 kg/h	湿度	噴出熱量 ×10 <sup>5</sup> kcal/h
1	325の1	篠崎セメント	BW5	145	99.0	1.20	0.0087	550.8	3.6*	547.2	0.993	0.6
2	317の3	黒木	BW5		98.0	0.90	0.0140	6062.4	32.4*	6030.0	0.995	6.1
3	2022の2	佐伯	BW5		99.5	0.90	0.0310	3956.4	21.6*	3934.8	0.995	4.1
4	2019の2	工藤	BW5		98.5	2.00	0.0085	2567.6	10.8*	2556.8	0.996	2.6
5	411の6	住友金属	BW5	200	99.0	1.70	0.0085	1429.2	7.2*	1422.0	0.995	1.3
6	2005の2	今永	BW5	178	99.2	2.30	0.0090	2034.4	18.0*	2066.4	0.991	2.2
7	2013の2	川又	BW5	173	99.2	1.50	0.0101	4439.2	50.4*	4438.8	0.989	4.7
計								21140.0	144.0	20996.0		21.6

\* 水として流れ出しているものを含む

噴気孔の位置は第3図に示す様に別府温泉の南西部と北西部に多いが、これらを便宜上次の七群に分ける。

- I 堀田、II 八幡（南立石）
- III 観海寺～乙原、IV 明パン～湯山

V 小倉、VI 鉄輪、VII 南亀川

これらの各群の噴気は物理的性質に関する限り類似していて、いずれも100°Cよりやや低い水混り噴気孔が大部分である。ただ明パン～湯山群と南亀川群以外に

第3図 別府周辺の噴気孔の分布 ●は100°C以上のもの



は少数の120°C前後の比較的湿度の小さい噴気孔が含まれている。

各地区毎の噴出熱量は第2表に示す。

第2表

地区名	孔数	噴出量 kg/h	噴出蒸気量 kg/h	噴出水量 kg/h	噴出熱量 kcal/h
堀田	14	14,785.2	2,178.0	12,607.2	25.9×10 <sup>5</sup>
八幡(南立石)	23	40,309.2	8,028.0	32,281.2	85.0 //
観海寺	33	94,705.2	9,122.4	85,582.8	144.1 //
明バン	10	10,202.4	1,389.6	8,812.8	17.7 //
小倉	16	59,423.8	2,361.6	57,062.2	95.6 //
鉄輪	45	159,829.2	13,514.4	146,314.8	232.2 //
南亀川	7	21,140.0	144.0	20,996.0	21.6 //
計	148	400,400.0	36,738.0	363,662.0	622.1 //

鉄輪地区には第1表以外に

	水温	噴出量	噴出熱量
海地獄	72°C	12816kg/h	9.2×10 <sup>5</sup> Kcal/h
血池地獄	59°C	15696kg/h	9.3×10 <sup>5</sup> Kcal/h

があり、すべての地区に第1表に含まれていない普通

の温泉がいくつかあるので、温泉と噴気を併せた噴出熱量は第2表よりも大きい。

昭和31年の山下の調査と比較すると、比較対象となるのは本稿中の小倉地区と鉄輪地区を併せたものであって、第3表の如くなる。

第3表

小倉地区と鉄輪地区の合計	噴出量 kg/h	噴出蒸気量 kg/h	噴出水量 kg/h	噴出熱量 kcal/h
1956年度 (噴気78温泉43)	211,920	26,520	185,400	271.2×10 <sup>5</sup>
1961年度 (噴気61)	219,258	15,876	203,382	327.8 //

これよりみれば、調査孔数は前回よりも少いが全噴出量はほぼ等しい。しかしこれに前述の如く普通の温泉を加えると噴出量は大きくなるから、小倉、鉄輪を併せた地区では噴出量したがって噴出熱量は昭和31年に比して数割増加しているものと思われる。増加の理由としては開発の進展がもっとも大きいであろう。

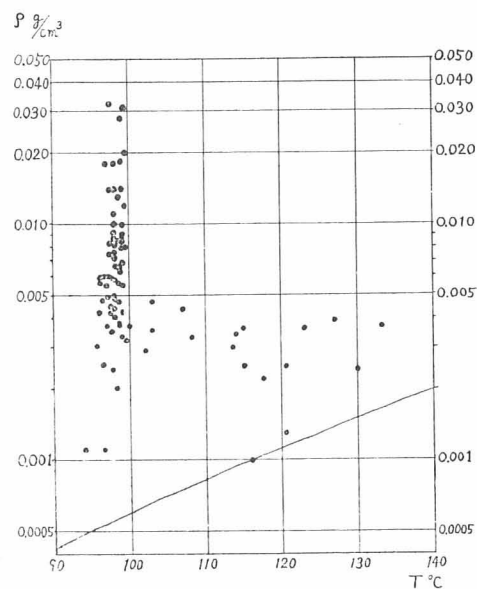
### § 5 密度と温度の関係

第1表にみる如く噴気の温度は大部分 95°C から100°Cの間にあるけれども、100°C以上のものも全部で18孔あり、最高は133°Cが観測された。

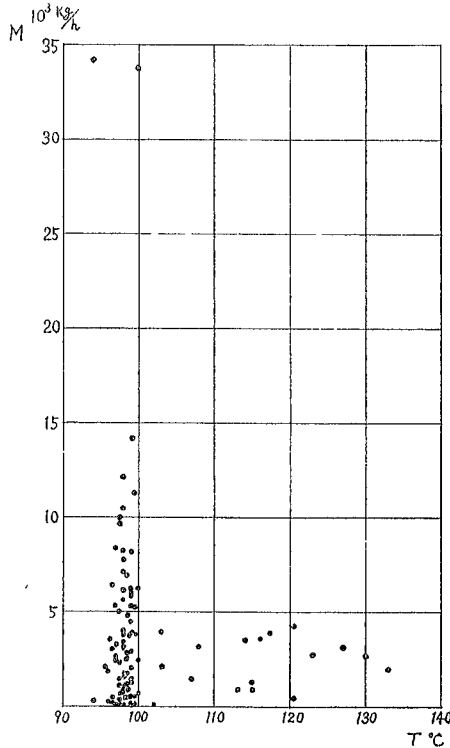
これらの100°C以上のものは、100°C以上であるからといって直ちに熱力学的に過熱蒸気であるとは云えない。即ち温度測定を行なった点が1気圧よりも高い圧力である場合には100°C以上の飽和蒸気であり得る。

観測された蒸気密度を温度に対比させると第4図が得られる。これからみると、100°C以下のものは密度の大きな範囲で変化していて、乾き飽和蒸気に近いものからかなり多くの水を伴って噴出しているものまで

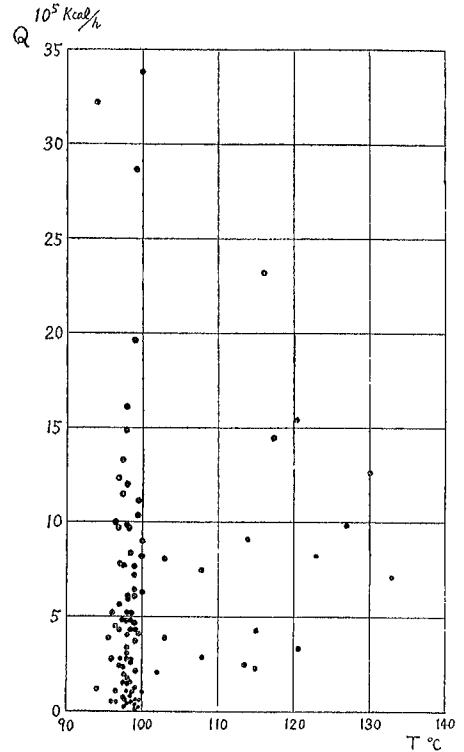
第4図 噴気密度と温度の関係



第5図 噴出量と温度の関係



第6図 噴出熱量と温度の関係



ある。100°C以上のものでは一般に100°C以下のものよりは密度が小さいが、飽和蒸気曲線よりはまだかなり上にあって、この図に関する限り湿り飽和蒸気とみななければならない。この点についての解釈の一つとして、かりに上述の如く1気圧以上の所で温度を測定したためと考えても、120°Cの飽和圧力は約2気圧であって、その様な圧力は開放状態の孔口ではとても考えられない。したがって第4図の如き結果が得られた原因としては

a) 密度測定に際して、吸気管及びゴム管内の温度が噴気温度よりも低く、噴気がそこで冷却されて凝縮し、意図する以上の容積の噴気を吸い込む結果となった。

b) 噴気中に銹泥やスケールの粉末等の微細な固形物が存在しているために、密度が過大に計算された。

この二つが考えられる。これらはいずれも可能性は大きい、(a)は測定装置の改良によって避けることができる。

### § 6 噴出勢力と温度の関係

噴気孔の勢力の強弱を示すための指標としては、噴出温度、噴出速度、噴出量、噴出熱量等が考えられる。噴出速度は噴と上げる高さを支配し、一見勢力の強

弱をよく示す如く思われるが、これは孔口の大きさ(弁の開閉によっても)に左右されることが大きい。次に噴出量は湿り度によって大きく支配され、水を多く含むもの程大きくなってあまり適当ではない。したがって、噴出温度と噴出量の両者を包括した噴出熱量が噴気勢力の指標としてはもっとも適していると思われる。

第5図、第6図に温度と噴出量、温度と噴出熱量の関係を示す。これよりみると、温度の高いものが必ずしも噴出勢力が大きいとはいえない。むしろ110°Cから120°C程度のものには噴出勢力が弱いにも拘らず温度だけ高いものがいくつかある。しかもこれらのものは噴出井が破損したり不完全に埋没したりしているものが多い。このことは、一般に、地熱地帯にみられる100°C以上の高温蒸気の成因に対して一つの示唆を与えるものと思われる。

### § 7 過熱蒸気の成因

100°C以上の高温蒸気は必ずしも過熱蒸気ではない。しかしたとえ第4図ではすべて湿り飽和蒸気であっても測定誤差を考慮すれば、過熱蒸気か或は過熱蒸気に近い(湿り度が小)高温蒸気が存在するとみなければならない。

過熱蒸気又は過熱蒸気に近いものが天然に存在することの理由としては、次の二つが考えられる。

第一は、地熱現象の本質は地下深处たとえば岩漿から上昇して来た過熱蒸気であって、これが冷却し又は地下水を加熱して湿り蒸気や温泉をつくっているとするものであって、天然にみられる過熱蒸気こそ地熱の熱源そのものの露頭であるとする考えである。

第二は、地熱の本質はさておいて、少くとも現在の段階で地表に噴出している天然蒸気は地下深处にある熱水の蒸発したものであって、湿り蒸気も噴出径路の条件如何によっては過熱蒸気になり得るとする考えである。

以上二つの考えは当然各過熱蒸気孔毎に検討しなければならないものであるが、ここでは第二の考えの可能性について考察する。

湿り蒸気の流れる管路の途中に於て流れの断面積が絞られると、圧力が下り温度も下る。断熱変化と考えると絞り前後のエンタルピーが等しいからエンタルピーを  $i$ 、潜熱を  $r$ 、乾き度を  $x$  とすると

$$i_1' + x_1 r_1 = i_2' + x_2 r_2 \quad (19)$$

ここに添数 1、2、はそれぞれ絞り通過前後の状態を表わすものである。しかるに

$$i_1' - i_2' = T_1 - T_2 \quad (20)$$

であるから(19)より

$$x_2 - x_1 = \frac{(T_1 - T_2) - x_1(r_2 - r_1)}{r_2} \quad (21)$$

ここに  $T_1 > T_2, r_1 < r_2$  であるが、 $T_1 \leq 215^\circ\text{C}$  では  $T_1 - T_2 \geq r_2 - r_1$  であり、又  $x_1 \leq 1$  であるから、

$$T_1 - T_2 \geq x_1(r_2 - r_1) \quad (22)$$

故に

$$x_2 \geq x_1 \quad (23)$$

となって絞りを通過することによって乾き度は常に増加する。

前節で述べた如く  $100^\circ\text{C}$  以上の蒸気を噴出する噴気には、半ば埋没して自然に絞りが出来ている可能性の大きいものがある。(例えば、掘田 No. 8、観海寺 No. 29、鉄輪 No. 41 等)。勿論、これら噴気井に絞りを兼ねたものが自然に形成されているとは考えられなくて、あるとしても複雑な形の割れ目を持った栓乃至は多孔質の栓である。しかしこの場合も事柄は全く同様であって、第7図のモリエル図では状態 1 から 2 にほぼ直線的に移って行くものと考えられる。

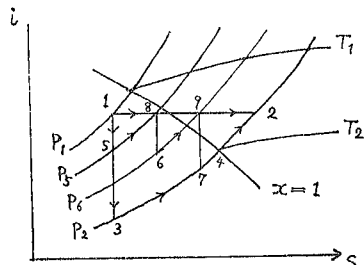
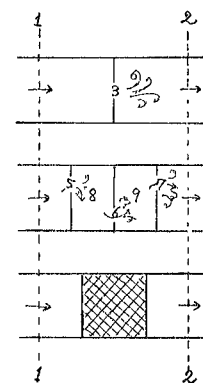
絞りによって乾き飽和状態になるときは(21)式で  $x_2 = 1$  とおいて

$$x_1 = \frac{r_2 - (T_1 - T_2)}{r_1} \quad (24)$$

又、湿り蒸気が過熱蒸気となるときは

$$x_1 = \frac{i_2'' - i_1'}{r_1} \quad (25)$$

なる関係が満足されなければならない。現在のところ第7図 絞りによる乾き度の増加



(噴気井について絞り前(状態1)の温度、圧力、密度の測定がないので、これらの関係式の成立を確認することは出来ないが、可能性は十分考えられることであって、 $100^\circ\text{C}$  以上の過熱蒸気が存在するからといって直ちにこれが岩漿から直接来た一次蒸気であるとするのは危険である。

終りに噴気観測に協力された大分県庁矢野行雄氏及び京都大学地球物理学研究施設の諸氏に感謝する。

## 文献

- 1) 鈴木政達：地球物理，1，P 6，(1937)
- 2) 川下研介：工業熱力学，P 70，(1954)
- 3) 藤本武助：応用流体力学，P 422，(1940)
- 4) 山下幸三郎：大分県温泉調査研究会，8，P 9 (1957)

# 放射能障害の温泉療法 (第15報)

## 原爆被爆者別府温泉利用研究所の実績 (V)

九州大学温泉治療学研究所 八 田 秋

前回に引続き昭和38年4月より昭和39年3月までのその後の1年間について、湯治成績を求めて見た。

入所者利用者数は11月に最も多く、1日平均利用者数は1月の52日が最高で、次いで9月の49.9日、2月

4月、5月も定員の40名を越える利用度であった。尚年間の月別利用度の傾向は、前々回、前回に比較し、ほぼ同様の傾向であった。(第1表第1区)

第1表 利用者男女別年令表

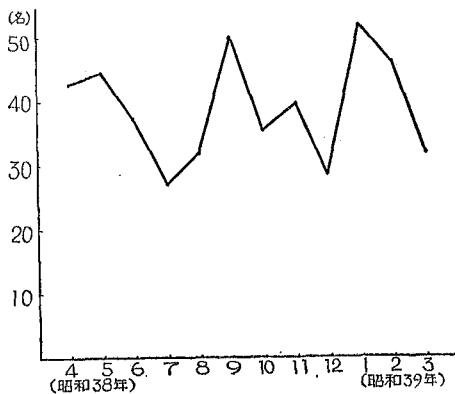
38年度

利用者とその延数

年令 月別	男女	年令									計									
		<30才	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66>											
38年	男女	0	0	0	2	4	8	15	15	44										
4月	男女	2	3	11	8	8	16	17	15	80										
5月	男女	3	7	4	4	2	9	11	30	70										
6月	男女	3	11	2	8	14	15	17	31	101										
7月	男女	2	2	1	3	3	9	10	13	43										
8月	男女	3	10	3	6	12	10	12	19	75										
9月	男女	2	8	0	3	2	7	5	17	44										
10月	男女	5	7	5	4	5	5	5	11	47										
11月	男女	10	4	2	4	8	12	15	10	65										
12月	男女	6	9	6	14	21	10	8	7	81										
39年	男女	0	2	0	2	4	6	16	24	54										
1月	男女	0	7	0	4	20	11	9	26	77										
2月	男女	0	3	3	0	0	2	8	31	47										
3月	男女	1	5	1	0	2	2	34	42	94										
4月	男女	0	2	4	5	5	12	39	41	108										
5月	男女	4	1	7	10	9	26	20	19	96										
6月	男女	3	7	7	5	2	7	16	29	76										
7月	男女	0	15	4	9	9	12	13	14	76										
8月	男女	14	16	8	8	8	16	5	6	81										
9月	男女	12	22	10	7	18	22	18	8	117										
10月	男女	3	4	4	3	6	8	13	41	82										
11月	男女	3	6	10	13	14	23	15	21	105										
12月	男女	4	3	2	3	4	12	10	24	62										
計		86	158	96	180	183	276	349	529	1,807										

月別	利用者数	延入員	一日平均
4月	124	1,284	42.8
5月	171	1,374	44.3
6月	118	1,374	37.5
7月	91	852	27.4
8月	146	998	32.1
9月	131	1,497	49.9
10月	141	1,114	35.8
11月	204	1,228	39.3
12月	152	873	28.2
1月	198	1,549	52
2月	182	1,374	46
3月	144	995	32
計	1,807	14,263	39

第1図 月別入所利用度の一月平均 (昭和38年4月~昭和39年3月)



又、この間の利用者実数は、前々回の1年間の926人、前回の1年間の1,553人に対し、1,807人と利用者の増加が著しい。

利用者の男女別は第1表に示した様に、前々回、前回と同様に女性が多い。

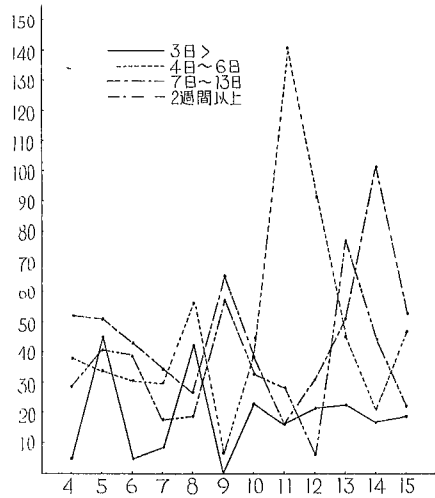
これ等利用者の滞在日数を調べると2週間以上の滞在者はほぼ4分の1であるが、その実態は第2表第2図の如く、1週間以上の長期滞在が60%以上を占めている。

2週間前後滞在した985名中、被爆距離、被爆状況の判然とした113名について湯治の前後に検査を行なった。この113名は年間利用者総数の約6.2%、1週間以上滞在者の11.4%にあたる。

第2表 湯治期間

月別	3日以内	4日~6日	7日~13日	2週間以上	合計
	(名)	(名)	(名)	(名)	(名)
昭和37年					
4月	5	38	52	29	124
5月	45	34	51	41	171
6月	5	31	43	39	118
7月	9	30	34	18	91
8月	43	57	27	19	146
9月	0	7	66	58	131
10月	24	45	36	33	141
11月	17	141	17	29	204
12月	22	92	31	7	152
昭和39年					
1月	23	46	51	78	198
2月	18	22	102	45	187
3月	20	48	53	23	144
合計	231	591	566	419	1,807

第2図 湯治期間



113名の被爆距離及び被爆状況を示すと第3表の如くである。

第3表 被爆状況

Km	例数	遮 蔽		不明
		+	-	
0.5<	0	0	0	0
1.0	5	1	4	0
1.5	16	9	6	1
1.8	11	10	1	0
2.0	14	9	2	3
3.0	19	10	8	1
3.5	2	1	1	0
4.0>	5	2	3	0
直後入市	41			
合計	113	42	25	5

今回は直接被爆したもの以外に、爆発直後から2日目に市内に入り数日滞在した例が多く41例、約37.1%を占めていたので新たに1項目をもうけた。この41例を除くと2km以内のものは72例中46例、約63.8%でその中遮蔽物の無かったものが約4分の1である。

尚、検査項目中の集中値限界は、前々回及び前回と同じ基準に置いた。(第4表)

今湯治前後の検査成績が、この基準よりはみだした例数を調べ、被検総数に対する割合で百分率で表わした第5表にしめた。

前回の成績と対比して見ると、前回と同様に白血球数異常例及び最高血圧異常例が多い。

そこで各項目について前回の成績と比較して見ると

第4表

検査項目	集中値限界
赤血球数	300万~500万/mm <sup>3</sup>
血色素量	75~90%
白血球数	5000~8000/mm <sup>3</sup>
最高血圧	100~150mmHg
尿糖	陰性
尿蛋白	〃
尿ウロビリノーゲン	正常
デヴィス反応	陰性

第5表 湯治前バラツキ頻度

検査項目	湯治前(%)	湯治後(%)	
		全例(%)	残留例(%)
赤血球数減少	1(0.8)	0(0)	0(0)
血色素量減少	3(2.6)	2(1.7)	2(1.7)
最高血圧異常	31(27.3)	30(26.5)	25(22.1)
尿蛋白異常	1(0.8)	1(0.8)	1(0.8)
尿糖陽性	5(4.4)	4(3.5)	3(2.6)
白血球数異常	30(26.5)	19(17.7)	16(14.1)
尿ウロビリノーゲン陽性	1(0.8)	0(0)	0(0)
尿デヴィス反応陽性	0(0)	0(0)	0(0)

湯治前では赤血球数減少は0.8%で前回の0%より多い、血色素量減少は2.6%で前の6.5%より低い。白血球数異常は26.5%で前回の21.3%より高い。最高血圧異常は27.3%で前回の28.9%より少々低い。尿蛋白陽性は0.8%で前回の6.0%より低い。尿糖陽性は4.4%

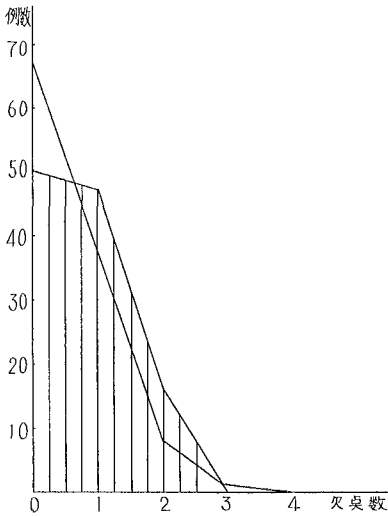


で前回の4.3%とほぼ同様であった。

湯治後の成績は、著明な好転がみられている。殊に白血球数異常例では著明な効果が認められている。更に、残留例でなお集中値限界内にまで治らなかった例でも、個々の数値を見ると、殆んどの例が湯治前より集中値限界に近ずいていることが湯治の効果を示している。又湯治前には無く、湯治後に却って出現した異常例は、白血球数異常が3例、最高血圧異常が5例、尿糖陽性が1例と云う僅かに9例7.9%で、前回の13例11.0%に比して稍々減少している。これは漸く湯治に対する理解が深まり、入浴指示が守られて来たためと思われる。

ここで、湯治前後に各人の持っている欠点数と例数とのHistogramを作ってみると、第3図の様に成り

第3図 欠点数と例数のHistogram



湯治後の著しい好転の様子がよく理解される。又その好転度を湯治前の総欠点数から、湯治後の総欠点数を差引き、被検査総数で割って算出すると0.2035と成る。

これは前回の0.2923より稍々低いが前々回の0.1429と比すと、前々回同様かなり高く、その効果が有ったことを示している。

なお、湯治前なかった異常例が湯治後に出て来た例が数例あり、頻回の入浴が大いに影響するものでありなお嚴重に入浴指導を行う様にし、注意を喚起しなければならぬ。

#### 共同研究者

辻 秀男、中村泰也、安藤太介、徳永恒尋、工藤寛昭、曾我部輝久、阿部充満、石川晃、豊永 輝、野口志郎、山田とみ子、田中三治、永石照美

#### 主要文献

- 1 八田：大分県温泉調査研究会特別号 第8報 昭35
- 2 八田： “ ” 第9報 昭36
- 3：臨床と研究 37.4.29昭35
- 4 Osamu Hatta : Balneotherapy for the Survivors of Atomic Bomb Injuries  
温泉科学 12.1 昭36
- 5 Saito : Z. angew. Baeder u. Klimaheilk.  
Nr. I/ Feb. 80. 1962
- 6 八田：大分県温泉調査研究会特別号 第11報 昭37
- 7 八田： “ ” 第13報 昭38

# 放射能障害の温泉療法 (第16報)

## γ線障害に対する湯の花浴の効果

八 田 秋  
山 田 とみ子

### はじめに

比較的緩和な温泉浴が、放射能障害の予防や回復に効果を示すことは、多数の研究の示すところである。

その作用が如何なる機序によるものであるかを分析解明するため、これまで一連の研究が行われて来たが今回われわれは、2,000Curieの<sup>137</sup>Csの泉源を用い、体重2.5kg 前後の成熟かたとに500γの半致死量の1回全身照射を行い(第1表)これ等に照射当日より2週間

第1表 セシウム照射量

セシウム	137(2,000)9.5γ/m
距離	45cm
照射野	16×16 47.5γ/m
時間	10.30min (合身一回)
総量	499γ

各種の連泉浴を行わせた。

泉浴は、毎回不感温、10分浴とし、使用温泉としては温研泉(単純泉)原爆セ

ンター泉(単純泉)とし、これに無浴対照群と、Cysteamine注射群(25mg/kg×7)とを加え、湯の花加温研泉(0.5g/kg)と比較した。なお各群とも5羽のかとを使用した。

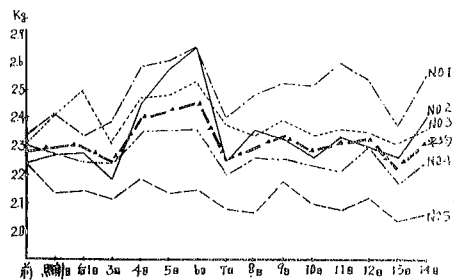
検査には、まづ体重の測定連日行うとともに、大耳静脈から1ccを採血してをAmperometerによる血清Thiolの測定、大腿骨上部、下部各 $\frac{1}{3}$ と脛骨上部 $\frac{1}{3}$ などの骨髓穿刺による骨髓有核細胞数と、その塗抹Giemsa染色標本についての骨髓細胞の分類などを前後4回にわたって行なった。なお骨髓細胞の分類は九州血液研究同好会の分類に従った。

### 実験成績

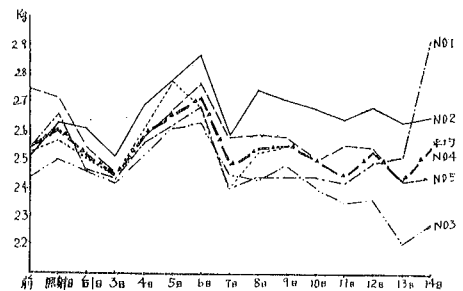
まづ体重は、<sup>137</sup>Cs照射のみの無浴対照群では、3日までに初期減少を示したが4~6日には反動的増加を来し、以後は多少の増減をくり返す程度の変動であった(第1図)。

同様の傾向はセンター泉群(第2図)と、Cysteamine群(第3図)にも見られ、とくにちがいは見られなかったが、温研泉群(第4図)と湯の花加温研泉群(第5図)とでは、多少趣をこととし、初期体重減少が幾分阻止されたほか、11~12日には、前期

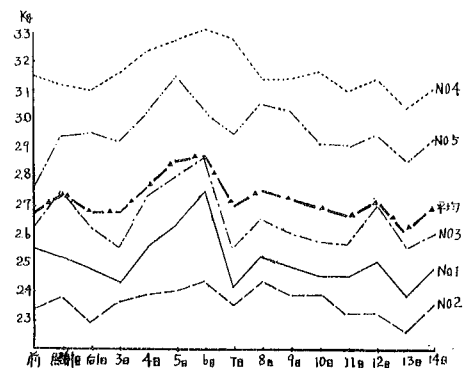
第1図 セシウム照射と体重  
対照群



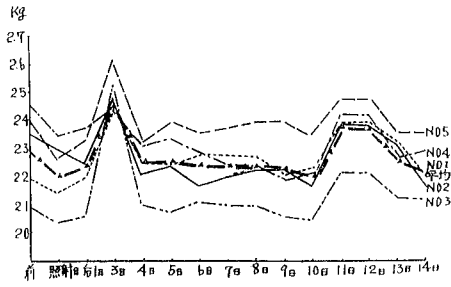
第2図 セシウム照射と体重  
原爆センター泉群



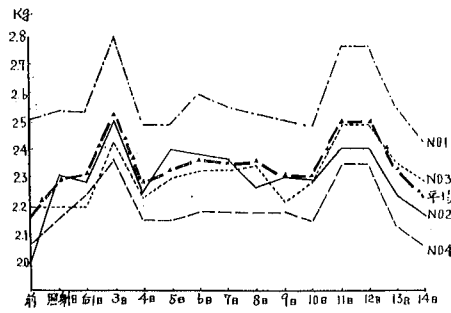
第3図 体重  
チステアミン注射群



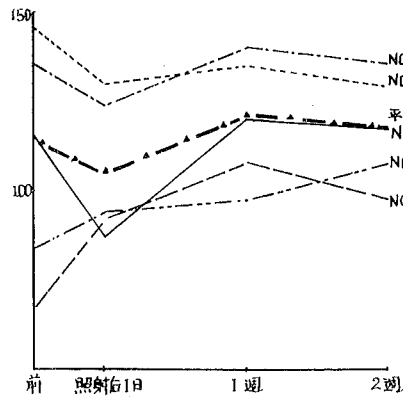
第4図 セシウム照射と体重  
温研泉群



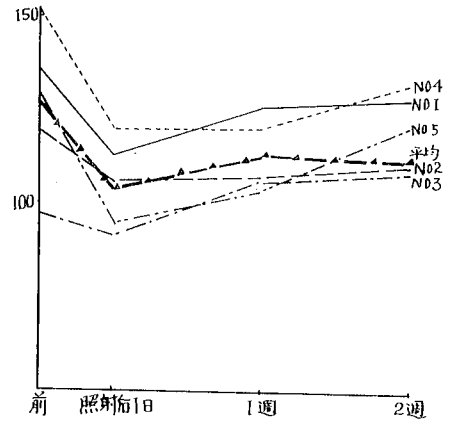
第5図 セシウム照射と体重  
温研泉+湯の花群



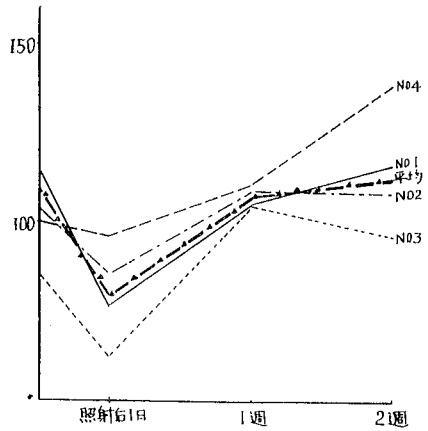
第6図 セシウム照射と血清チオール値  
対照群



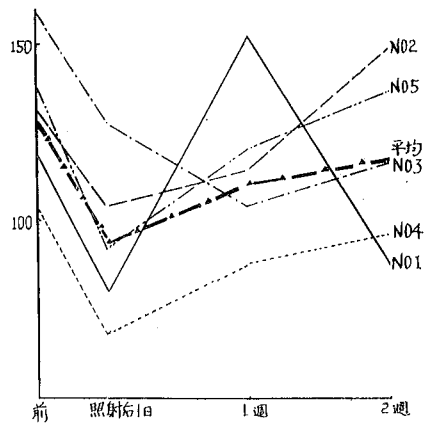
第7図 セシウム照射と血清チオール値  
チステアミン注射群



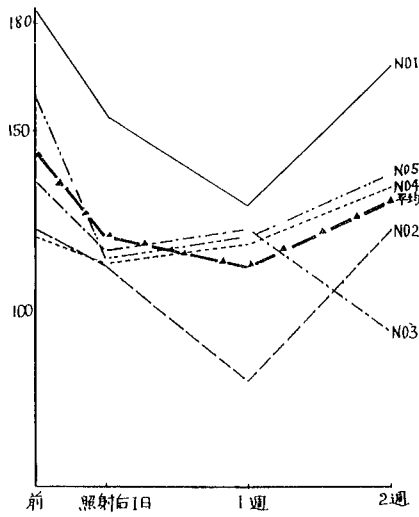
第8図 セシウム照射と血清チオール値  
温研泉+湯の花群



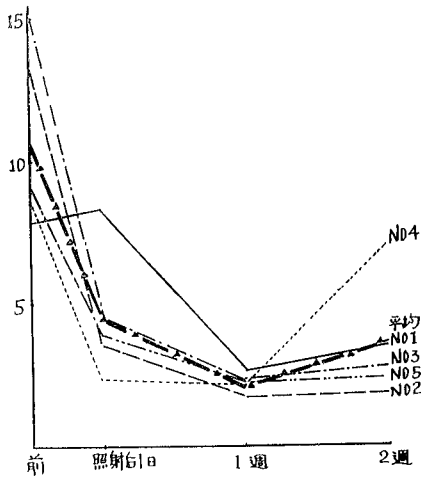
第9図 セシウム照射と血清チオール値  
温研泉群



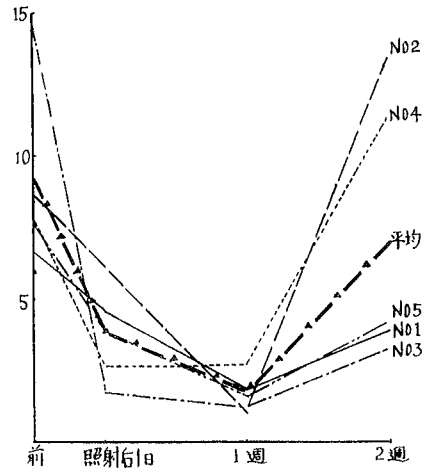
第10図 セシウム照射と血清チオール値  
原爆センター群



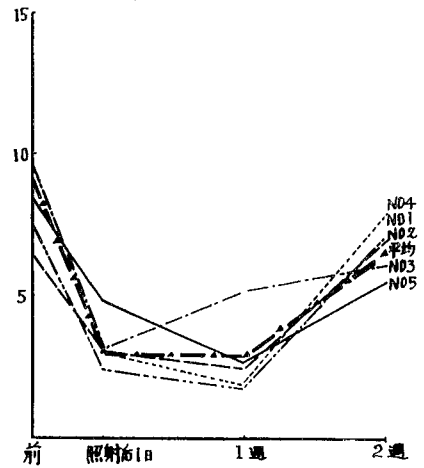
第11図 セシウム照射と骨髓有核細胞数  
対照群



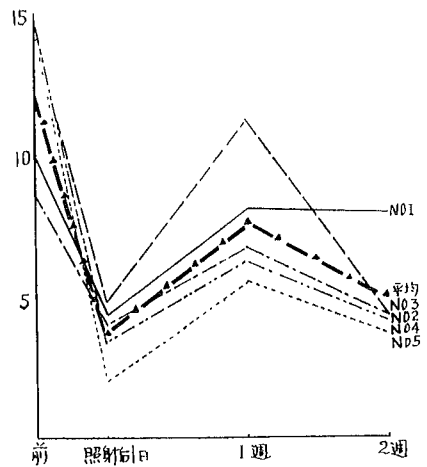
第12図 セシウム照射と骨髓有核細胞数  
チステアミン注射群



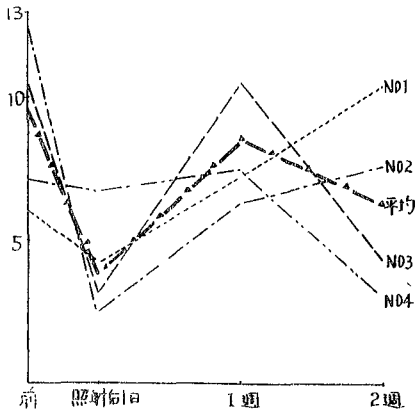
第13図 セシウム照射と骨髓有核細胞数（泉浴）  
原爆センター群



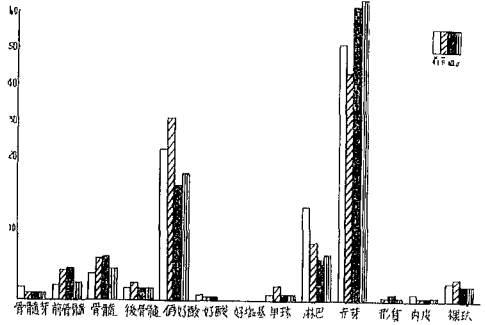
第14図 セシウム照射と骨髓有核細胞数（泉浴）  
温研泉浴群 $10^4/mm^3$



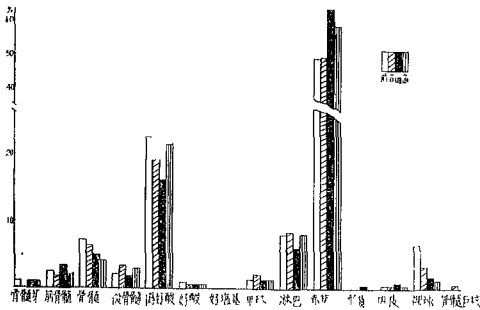
第15図 セシウム照射と骨髓有核細胞数 (泉浴)  
温研泉+湯の花群 $10^4/mm^3$



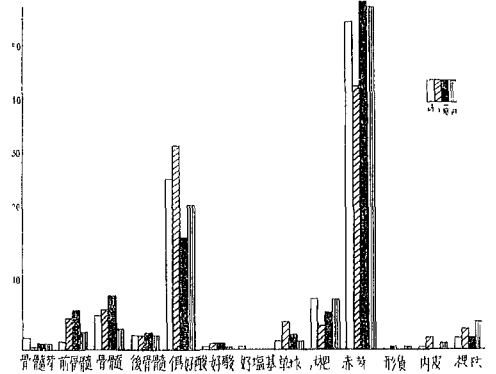
第18図 セシウム照射と骨髓細胞分類  
原爆センター泉浴群



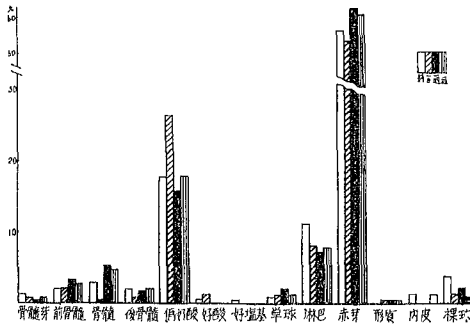
第16図 セシウム照射と骨髓細胞分類  
対照群



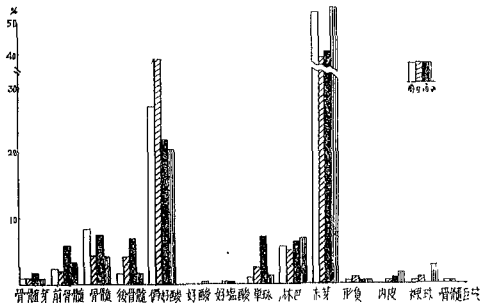
第19図 セシウム照射と骨髓細胞分類  
温研泉浴群



第17図 セシウム照射と骨髓細胞分類  
チステアミン注射群



第20図 セシウム照射と骨髓細胞分類  
温研泉+湯の花泉群



増加を示した。

血清Thiol量は、対照群では1日目にやや減少するが、前値の低いものがあったので、さ程著明ではなく1～2週間で回復する程度であった(第6図)。

Cysteamine群(第7図)でもほぼ同様であったが、泉浴群になるとかなりバラつきが多く、平均値で見ると、2週後の回復のよいのは湯の花群(第8図)、温研泉群(第9図)、センター泉群(第10図)の順であった。

骨髓有核細胞数は、対照群では照射後1日目にすでに著明に減少しており、2週後にも回復は見られない(第11図)。Cysteamine群(第12図)と、センター泉群(第13図)では2週後にはかなり回復しており、温研泉群(第14図)と湯の花群(第15図)とでは、すでに1週後にある程度の回復を示している。

骨髓細胞の分類では、対照群に目立つ変化は、偽好酸球百分率が、照射後1日、1週と漸減して、2週後に回復傾向を示していることと、赤芽球が1日目にはあまり減少しないで、1～2週後に増加を示すものが多いことである(第16図)。

これに対してCysteamine群では、逆に偽好酸球が1日目に増加し、1～2週後には回復しており、赤芽球では1日目に減少し、1～2週後には軽度の増加が見られる(第17図)。センター泉群もこれに似た変動

を示したが(第18図)温研泉群(第19図)と湯の花群(第20図)ではやや異なり、偽好酸球が1日目に増加し、1～2週後には減少しているし、赤芽球は1日目に減少して、1～2週後には回復となっている。

#### 総括ならびに考案

以上の成績を通じて興味深いことは、Cysteamine群と、原爆センター泉群とか、体重の変動、骨髓有核細胞数、骨髓細胞分類など、多くの点で似通っていることである。

また温研泉群と湯の花加群とが似ているが、Thiolの2週後値が、前値と比較して、湯の花加群により高く、また骨髓細胞に対しても、よく早く安定させるものようである。この点は昨年度の成績とも一致するのである。放射線障害に対するCysteamineの効果はすでに一般に認められたところであるが、この程度の量では、血清Thiolに対して、対照群より著しい成績を得ることは出来なかった。恐らく注射の影響は短時間内に経過するためであろう。

泉浴の作用が、Thiol作用のみでないことは勿論であって自律神経、ホルモン系、酵素系などに対する作用も同時に分るであろう。

本実験は秋に行われた実験であって、同様な実験を春にも行ない、さらに検討を重ねる方針である。

文献省略

# 六ヶ迫鉱泉における糖尿病集団の温泉治療

九州大学温泉治療学研究所内科

(指導 矢野良一教授)

副手 永松昭生

(本論文要旨は昭和39年4月10日福岡における第7回日本糖尿病学会総会において発表した。)

## はじめに

糖尿病の温泉治療は1916年 Arnoldi の炭酸泉浴による実験<sup>1-3</sup> いろいろ諸家によりその有効性が実証されている。昭和38年7月9日より22日間、大分県臼杵市効外六ヶ迫鉱泉において西日本糖尿病協会所属の各県の糖尿病患者28名(男20、女8)の温泉治療ならびに講習会をおこなった。そのうち前後の臨床的観察をおこなった26名の成績を報告する。

## 検査項目

血糖：飽食試験により glucomesser で測定  
 尿糖：テストテープによる半定量  
 血清総コレステロール：Zak-Henly法  
 その他肝機能 (TTT、ZnTT)、心電図、眼底検

査、血圧、尿蛋白などである。

※glucomesserについて。

今回、血糖を測定するに用いた glucomesser についての詳細は当科延永らにより「酵素による血糖定量法の検討」と題して報告されている。glucomesser の組成は Peroxidase と glucose Oxidase とからなっている。その原理は次に示すような酵素反応の組合せにより glucose を特異的に比色定量する。

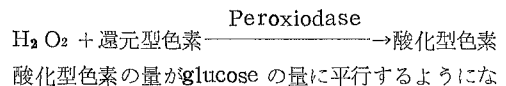
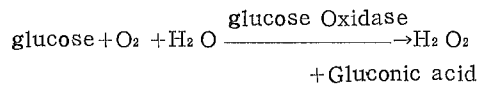


表1 六ヶ迫鉱泉(大分県)  
 泉質：含炭酸硼酸重曹食塩泉  
 泉温：18°C(気温25°C)  
 PH：7.6比重(摂氏20/4度における)1.009  
 分析表(温泉水中1kg中に含有する分量)

カチオン	ミリグラム	ミリバール 又はミリモル	ミリバール %	アニオン	ミリグラム	ミリバール 又はミリモル	ミリバール %
H <sup>+</sup>	0.0014	0.0016	0.00	Cl <sup>-</sup>	1095	30.88	65.83
Li <sup>+</sup>	5.042	0.727	1.54	Br <sup>-</sup>	1.380	0.017	0.04
K <sup>+</sup>	37.56	0.961	2.04	I <sup>-</sup>	0.445	0.004	0.01
Na <sup>+</sup>	341.5	36.59	77.57	SO <sub>4</sub> <sup>- -</sup>	0.001	0.000	0.00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	8.850	0.492	1.04	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	975.3	15.99	34.09
Ca <sup>++</sup>	94.92	4.737	10.04	HPO <sub>4</sub> <sup>- -</sup>	0.695	0.014	0.03
Mg <sup>++</sup>	41.90	3.446	7.31				
Fe <sup>++</sup>	3.215	0.012	0.03				
Al <sup>+++</sup>	1.825	0.203	0.43				
Mn <sup>++</sup>	0.030	0.001	0.00				
計	1034.8	47.169	100.00		2072.8	46.905	100.00

H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>(meta) 75.60mg 0.968m、mol  
 HBO<sub>2</sub> (〃) 245.3 5.598  
 CO<sub>2</sub> 1738 39.50  
 H<sub>2</sub>S 0.646 0.019  
 微量成分Ag、Cu、Pb、Sn、U、Zn

分析所 九大温研「温泉理学科」による

っている。したがってこの酸化型色素を比色定量すればglucoseの量を測定することができるわけである。

### 温泉治療中の食餌指導

糖尿病治療の基礎は現在なお食餌療法である。かような意味から患者教育をかね別府大学山川教授並びに栄養士の参加を頂き現地の旅館で調理していただいた。

なお温泉治療前の薬物療法はそのまま続けるように指示した。

### 飲泉と入浴方法

飲泉は初日600cc(3合)から毎日200cc(1合)ずつ増量、最高1.8ℓ(1升)を限度とし入浴は1日2~3回と指示した。しかし療養会終了後のアンケートで飲泉量は1日1ℓ(約5合)入浴は1回20~30分、1日2~3回と応答したものが大部分であった。

### 六ヶ迫鉱泉について

本泉はすでに昭和11年元九大温研高安教授によって糖尿病治療泉として臨床的に卓効あることが証明されている。本泉は上元湯と下元湯の2カ所の湧出口があり18.5~22°Cの冷泉で無色無臭、炭酸食塩味を呈しその主成分は含炭酸硼酸重曹食塩泉である。今回は主として下元湯を中心とした療養をおこなったがその分析表は表1のとおりである。

### 成績

前後の検索をおこなった26名(男18、女8)の年齢構成は60才代が12名、推定罹患年数は5~10年末満が10名とそれぞれ最も多く、また全参加者28名中8名(28.6%)に遺伝性を想像せしめた。自覚症については表2のアンケートに示したごとく顕著な改善を認めることができた。

表2 温泉治療による自覚症の変化

	自覚症	治療前	治療後			有効率
			消失	軽快	不変	
糖尿病一般病状の状	全身倦怠感	14	4	10	0	100.0
	口 渴	14	3	6	5	64.3
	多 尿	10	2	3	5	50.0
	皮膚のかゆみ	5	1	2	2	60.0
	性欲減退	18	0	2	16	11.1
循環器系	動き、息切れ	14	1	5	8	42.9
	心臓部圧迫感など	4	3	0	1	75.0
	めまい、耳鳴り	12	2	1	9	25.0
	頭痛、頭重感	11	2	1	8	27.3
	顔面、四肢のはれ	10	1	5	4	60.0
その他	四肢のしびれ感	12	1	5	6	60.0
	神経痛	10	0	3	7	30.0
	便秘不整	13	1	12	0	100.0

### 臨床検査成績

血糖：療養期間は患者により一律ではないが前後の検索をした24例中、食前、食後とも療養前に比較し糖耐忍能力が増強したものは15例61.7%、食後のみ好転し糖処理能力が上昇したと思われるもの2例、計17例70.8%に明らかな温泉治療の効果を認めることができた。血糖面では特にその治療期間の短い人ほど概して過血糖抑制の効果が充分でなかったものごとくであった(表3)。

尿酸：明らかに減少傾向を示したものは24例中11例45.8%と約半数近くに改善が認められた(表3)。

血清総コレステロール：250mg/dl以上を示したものは25例中11例44.4%であった。この11例中8例72.7%が正常化傾向を示した。

その他尿蛋白では14例中9例64.3%が、治療前に高血圧(最高血圧150mm/Hg、最低血圧90mm/Hgの両方またはいづれか一方でも)を示していた8例中6例77.8%が好転し、また肝機能、心電図の改善傾向もかなり著名でみるべきものがあった。

### 考按ならびに総括

40余年前インシュリンが発見されその改良進歩と、また数年来優秀な内服治療剤の開発にもかかわらず、ヨーロッパ、特にドイツでは現在なお糖尿病の温泉治療が泉医(温泉専門医)の指導のもとに盛んにおこなわれている。当所でも15年前曾我部の実験的過血糖の抑制作用は迷走神経の刺激をとおして行なわれることが立証され、ついで西田は温泉による生体内での塩類不均衡の調整を大きくとりあげ、また児玉は glucose toleranceの改善を認めている。

すなわち、糖尿病の過血糖とアチドーシスは腎の排泄機能を越えると糖尿およびケトン尿を生ずるが、そのさい腎は調節器官として正常値以上の血糖上昇を阻止せんとし、このため大量の水分排泄を必要とするようになる。重症のアチドーシスにおいては生体は電解質を失いアルカリ予備量の低下が認められている。その他、Mg、Ca、K、Pも糖質代謝に関与し、銅および亜鉛のような微量の因子はホルモンおよび酵素の合成に関与する。そのため本症における水分、鉍質代謝障害の出現は当然であり、これが温泉への入浴、飲泉により体内のアチドーシス傾向の是正とともに水分および鉍質代謝、さらに他の代謝相に好影響を与え、ひいては過血糖の抑制へつながるものではないかと想像される。

今回の温泉療養で特殊な1部の例外をのぞきその治療期間が短い人ほど概して血糖その他に及ぼす好影響は少なく、糖尿病の温泉治療が1週間位の短期間では



表 3

症例	氏名	年齢	性別	推定 罹年	定病 数	温療 期	泉養 間	血糖 (酵素法 glucomesser)			尿糖 (テストテープ法)		
								食前値	食後2時間	食後3時間	食前	食後2時間	食後3時間
1	長。	47	♂	約2.5年		22日	前後	100mg/dl 104	264mg/dl 210	188mg/dl 148	0%	1/2%	1/2%
2	八。	60	♂	5		22	前後	114 68	210 122	160 114	0	1/2	1/10
3	伊。	71	♂	6		22	前後	— 142	— 250	— 236	— 0	— 1/2	— 1/2
4	西。	68	♀	8		22	前後	148 164	332 —	340 —	1/10 1/10	1/2 —	1/2 —
5	森。	69	♂	0.9		21	前後	102 100	210 164	202 118	0	0	0
6	藤。	61	♀	6		20	前後	156 163	310 274	290 218	1/10 0	1/2 1/2	1/2 1/2
7	安。	57	♂	7		16	前後	100 116	144 172	194 124	0	1/2 0~1/10	0 0
8	岡。	38	♂	6		15	前後	98 122	254 274	222 272	0	1/10 1/2	1/4 1/2
9	河。	61	♀	10		15	前後	152 130	300 250	228 146	0	1/2 1/2	1/2 1/2
10	縄。	65	♀	17		15	前後	258 200	482 364	474 304	1/10 1/10	1/2 1/2	1/2 1/2
11	林。	63	♀	4		15	前後	170 124	282 232	254 194	0	1/4 1/2	1/2 1/2
12	大。	74	♂	35		14	前後	86 92	158 234	130 214	0	1/2 1/2	1/2 1/2
13	宮。	70	♂	5		14	前後	132 100	200 178	184 140	0	1/2 1/10	1/2 1/4
14	梶。	69	♀	44		12	前後	176 132	272 196	166 140	0~1/10	1/2 0~1/10	1/4 0~1/10
15	土。	69	♂	27		11	前後	118 86	200 162	188 174	0	1/2 1/2	1/2 1/2
16	宝。	60	♂	4		10	前後	88 80	236 208	230 176	0	1/2 1/2	1/2 1/2
17	山。	45	♂	13		10	前後	118 108	210 182	276 208	0	1/2 1/4	1/2 1/10~1/4
18	川。	46	♂	1		10	前後	100 116	154 130	156 108	0	1/2 1/2	1/10 1/2
19	吉。	74	♂	34		10	前後	112 94	246 204	250 162	0	1/2 1/10~1/4	1/2 1/4
20	和。	69	♂	6		10	前後	130 118	210 210	194 200	0	1/2 1/2	1/2 1/2
21	司。	58	♂	8		10	前後	— 140	222 240	178 250	— 0~1/10	— 1/2	— 1/2
22	金。	56	♂	4		10	前後	214 172	388 268	354 240	— 0	1/2 1/2	1/2 1/2
23	大。	59	♂	5		10	前後	94 —	194 —	204 —	0	1/4 —	1/2 —
24	山。	74	♂	10		10	前後	154 —	264 —	232 —	1/2 —	1/2 —	1/2 —
25	柴。	53	♂	10		10	前後	104 118	184 246	174 210	0	1/2 1/2	1/2 1/4
26	坂。	55	♀	5		8	前後	204 164	304 278	346 254	0~1/10	1/4 1/2	1/2 1/2
27	坂。	51	♂	3		7	前後	104 140	134 166	154 128	1/10 0	1/4 1/4	1/2 1/2
28	河。	64	♀	4		7	前後	152 130	172 192	164 140	0	1/10 0~1/10	0 0~1/10

良好を示しえないという従来の人体、動物実験と全く一致している。また当科、植山<sup>12)</sup>は温泉の連浴により過コレステロール血の抑制と腎機能回復を報告しているが、本講習会における過コレステロール値の改善と蛋白尿の推移とも一致しており興味深い成績であった。

かような事実から怪症糖尿病では食餌療法の併用によって、より一層の効果が期待できるのは確実であろう。

したがって糖尿病に有効と科学的に実証されている温泉を利用することは極めて大きな意義があるものと思われ、強く推奨するものである。

稿を終るに臨み、ご指導、ご校閲を賜った恩師矢野教授に深甚の謝意を表します。また協力を頂いた当科小林助教授、別府市児玉博士、佐伯通信診療所長伊藤博士、九大勝木内科平田博士、熊大体研三村博士、別府大学山川教授ならびに栄養士諸嬢にお礼を申し上げます。

なお西日糖協庄野理事長、白杵市および関係各位のご後援に感謝するとともに、大分県温泉調査研究会よりご援助をいただいたことに深謝する。

#### 主要文献

- 1) W. Arnoldi : Berl. Klin. Wschr 23 : 619, 1916.
- 2) W. Arnoldi et al : Dtsch. med. Wschr 8 : 250, 1922
- 3) H. Fornius : Balneologe 2(8)349, 1935.
- 4) 延永 正他 : 温研報16 : 36, 昭39
- 5) 高安慎一 : 日温気誌 5 : 142, 昭14.
- 6) 矢野良一 : 診断と治療46 : 1586, 昭33.
- 7) 矢野良一 : 診断と治療52 : 50, 昭39.
- 8) 曾我部明 : 日温気誌 5 : 60, 昭14
- 9) 西田弘 : 日温気誌 8 : 379, 昭18.
- 10) 児玉嘉生 : 温研報 7 : 1, 昭30.
- 11) 齊藤達雄 : 現代内科学大系 (代謝異常Ⅱ) 37頁, 中山書店, 昭35.
- 12) 植山信夫 : 温研報12 : 159, 昭35.

# 別府温泉の化学的研究 (第33報) 別府温泉の微量成分 (その16)

## ゲルマニウムの分布

九州大学温泉治療学研究所 川 上 弘 泰  
橋 永 熙 子

### 1 緒言

別府温泉の微量成分定量シリーズの一環としてゲルマニウムについて報告する。ゲルマニウムはクラーク数 $6.5 \times 10^{-4}$ で43番目に多い元素である。本邦における温泉水中のゲルマニウムについては、木村、西村、川上らの分光分析による半定量の報告があり、最近では太秦らがフェニルフルオロンによる比色法を用いて北海道および青森県の温泉を対象として定量を行っている。著者らは別府温泉45箇所についてゲルマニウムの定量を試み、昭和28年に実施された分光分析による半定量値と比較しながら、種々の考察を加えてここに報告する。

### 2 分析方法

被検試料中の微量ゲルマニウムの定量法<sup>5)</sup>としては、現在比色分析が最もすぐれていると考えられる。ゲルマニウムの比色分析試薬としては、モリブデン酸アンモニウムを始め、酸化ヘマトキシリン、フェニルフルオロン、クエルセチン、キナリザリンアセタイトなどが報告されているが、著者らは、1951年 H. J. Cluley

が発表し、太秦らが既に北海道および青森県の温泉水中のゲルマニウム定量に適用しているフェニルフルオロンによる比色法を用いた。表1にそれを示す。すなわち試水0.5~2ℓをとり、フェノールフタレインを指示薬としてアルカリ性を呈するまで水酸化ナトリウムを加え、蒸発乾固する。硫化水素を多量に含む場合には3%過酸化水素で分解する。残渣を熱水70mlで蒸溜フラスコに洗い移し、濃塩酸80mlを加え6N塩酸溶液から四塩化ゲルマニウムとして蒸溜分離する。初溜液50mlに水を加えて全量100mlとする。比色時に塩酸濃度が1.2Nになるよう計算量の溜出液および濃塩酸を50ml褐色メスフラスコにとり、0.25%ポリビニールアルコール5ml、0.040%フェニルフルオロン溶液15mlを加え水で50mlに希釈し、30分間放置後試薬ブランクを対照として495m $\mu$ で比色定量した。

### 3 結果

別府温泉45箇所のゲルマニウム定量結果は表2に示される。1953年川上らが同じく別府温泉について行った分光分析によるゲルマニウム半定量値とほぼ似た値を示している。ただ十萬地獄、堀田、砂湯に著しい含量変化がみられるが、十萬地獄は新たにボーリングしたため、又、堀田は経時変化の激しい噴気を水にあてて製した人工温泉の故に、10年前とは泉原そのものが異っており、ゲルマニウム含量の不一致もしかるべきものと考えられる。砂湯のデータに関しては今のところその原因は不明である。

太秦らによれば、ゲルマニウム含量は他の微量金属成分と同様一定のものではなく、かなり大きく変動するとされているが、別府温泉特に鉄輪地区に関しては比較的安定している。

### 4 考察

4・1、別府温泉水中、ゲルマニウムの地域的分布  
別府温泉水中のゲルマニウム含有量の最高は白池地獄の88.5 $\mu\text{g}/\ell$ であり、鬼山地獄66.7 $\mu\text{g}/\ell$ 、十萬地獄65.4 $\mu\text{g}/\ell$ がこれにつぐ。これらを図1(A、B)に示す。全般的に鉄輪地獄地区に多く、ついで亀川地

表1 温泉水中のゲルマニウム定量法

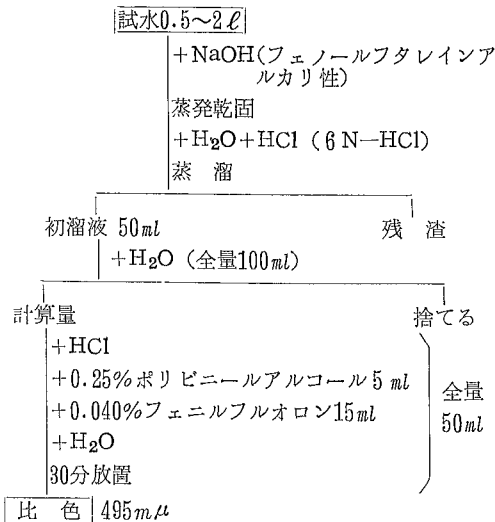


表2 別府温泉水中のゲルマニウム含有量

地区	No.	泉名	泉温 (°C)	pH	蒸発残留物 (mg/ℓ)	Ge (μg/ℓ)	Ge/蒸発残留物 (%)	Ge(73) (μg/ℓ)
明 礮	1	鳶ノ湯	54.0	7.14	446	5.8	1.30×10 <sup>-3</sup>	—
	2	地蔵	51.3	2.85	420	0.0	0.00	—
	3	野天風呂	42.0	2.15	940	1.3	0.14	—
	4	山田	70.0	1.60	2295	4.9	0.21	—
	5	鶴寿	61.5	2.50	750	0.0	0.00	0
	6	紺屋	54.5	1.90	1130	0.0	0.00	—
鉄 輪	7	海地獄	75.0	2.10	3680	32.8	0.89	40
	8	十万地獄	96.0	5.60	5810	65.4	1.13	150
	9	鬼山地獄	92.5	6.58	5790	66.7	1.15	—
	10	白池地獄	92.6	6.40	3790	88.5	2.34	—
	11	雷園地獄	84.0	3.50	5850	23.2	0.40	20
	12	柴石	65.0	2.98	1910	8.9	0.47	2
	13	血の池地獄	60.0	2.28	3390	31.6	0.93	20
	14	竜巻地獄	98.2	2.48	3350	32.1	0.96	20
亀 川	15	御夢想	43.0	6.8	720	3.3	0.46	—
	16	浜田	58.0	7.0	1370	18.0	1.31	20
	17	砂湯	56.0	7.2	1446	11.5	0.80	—
	18	亀陽	55.0	7.3	1070	13.2	1.23	5
	19	筋湯	52.0	7.4	1080	11.6	1.07	—
	20	四ノ湯	54.0	7.4	1310	8.9	0.68	—
21	望潮	52.0	7.2	440	4.8	1.09	—	
堀田・観海寺	22	堀田	59.0	6.2	390	21.3	5.46	0
	23	観海寺	57.3	7.1	430	2.6	0.60	0
	24	鶴見園	49.8	7.5	431	4.0	0.93	—
	25	温研	53.7	7.3	390	0.0	0.00	—
	26	々(堀田)	53.2	6.9	350	1.7	0.49	—
旧 市 内	27	弓ヶ浜	46.0	7.0	1550	1.8	0.12	5
	28	的ヶ浜	51.0	7.6	1230	4.0	0.33	0
	29	上のヶ浜	50.0	6.7	1510	3.5	0.23	—
	30	春日	51.5	6.7	1150	10.7	0.93	—
	31	弓松	64.0	7.4	1620	11.3	0.70	—
	32	海門寺	58.2	6.6	1170	5.7	0.49	5
	33	北町	60.2	6.6	1140	5.5	0.48	5
	34	竹瓦	59.5	6.8	1190	7.4	0.62	5
	35	砂湯	57.5	7.2	1420	3.9	0.27	30
	36	霊潮	60.0	6.6	1170	7.5	0.64	2
	37	々(蒸湯)	61.0	6.9	1190	4.0	0.34	—
	38	梅園	54.0	6.7	1290	4.0	0.31	—
	39	楠園	55.0	6.4	880	3.7	0.42	2
	40	柳原	46.0	6.6	970	2.9	0.30	2
	41	松原	54.0	7.1	880	2.5	0.28	—
	42	永石	52.0	6.9	810	0.0	0.00	—
	43	紙屋	52.0	7.1	880	2.2	0.25	—
	44	不老	52.0	6.9	870	4.1	0.47	2
	45	田の湯	46.0	6.4	720	3.9	0.54	2

図1 別府温泉のゲルマニウムの分布 (A)

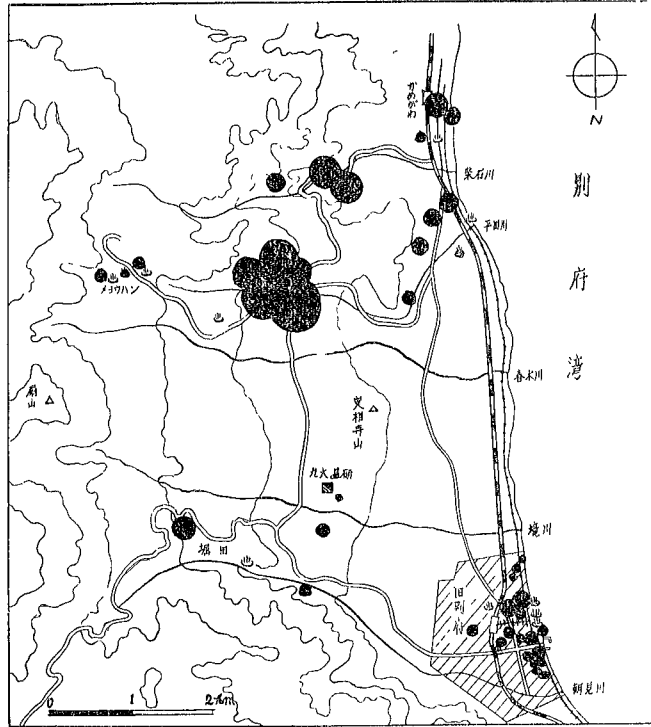


図1 別府温泉のゲルマニウムの分布 (B)

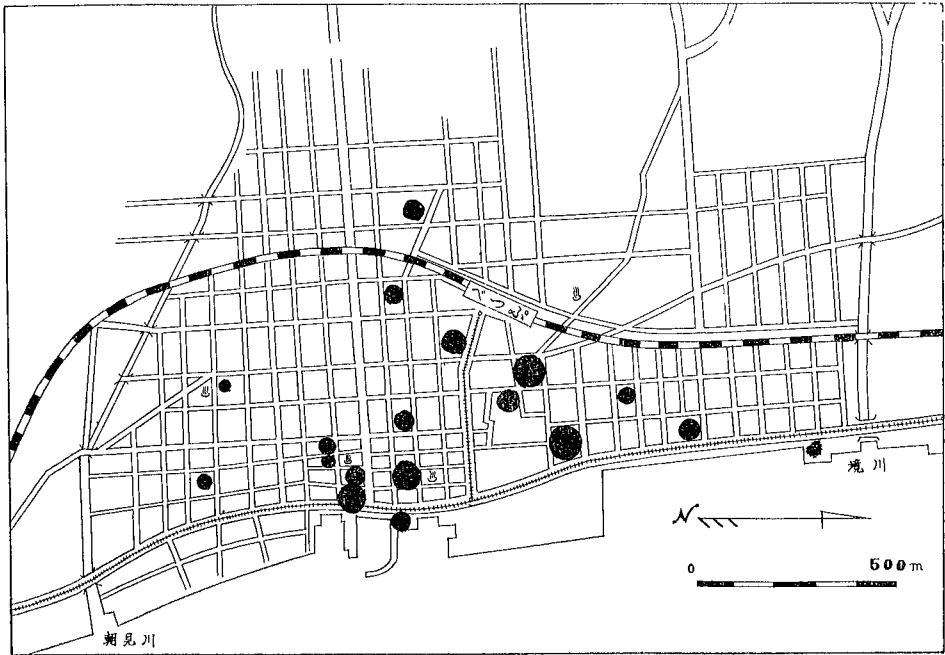


図2 別府各地区のGe含量

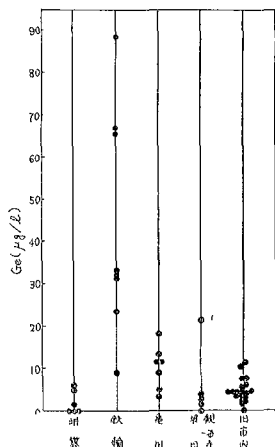


表3 別府各地区の平均ゲルマニウム含量

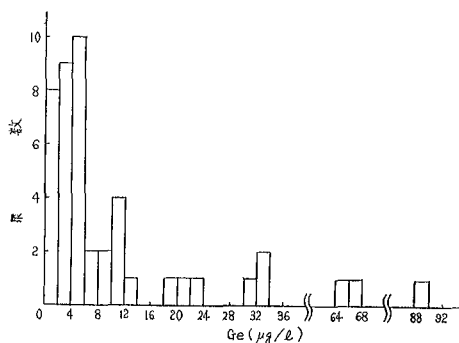
地区	泉数	Ge(µg/l)	Ge/蒸発残分(%)
明礬	6	2.0	$0.28 \times 10^{-3}$
鉄輪	8	43.7	1.03 //
亀川	7	10.2	0.95 //
堀田・観海寺	5	5.9	1.50 //
旧市内	19	4.7	0.41 //
全平均	45	12.2	0.71 //

区である。明礬、堀田・観海寺は少ない。旧市内では中央部が南・北部より多い。

各地区別のゲルマニウム含有量及びその平均値を図2と表3に示す。平均値は鉄輪、亀川、堀田・観海寺、旧市内、明礬の順になり、45個所の平均は12.2µg/lで銀、銅、セレン、カドミウムなどと大体同程度である。又、北海道、青森県のおの平均値9.5µg/lに近い値を示している。

蒸発残分に対する比は他の微量成分とは異なり明礬地区が最も小さく、鉄輪地区が大き。全体の平均は

図3 ゲルマニウム含量のヒン度分布



$0.71 \times 10^{-3}$ %でクラーク数とはほぼ一致している。銀がクラーク数の78倍、セレン64倍、カドミウム11倍などと比較して興味ある点である。

4・2、ゲルマニウムの含有量ヒン度

別府温泉のゲルマニウム含有量のヒン度分布を図3に示す。0~6µg/lが60%、0~10µg/lで全体の約80%を占めている。

4・3、pHとの関係

別府温泉のpH とゲルマニウム含量との間には明らか

図4 GeとpHとの関係

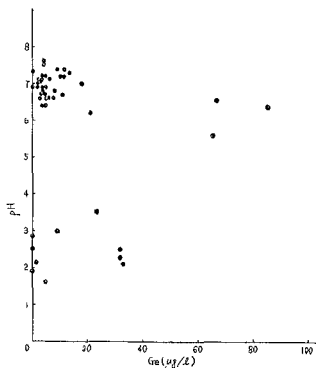


表4 pHによるゲルマニウムの分布

pH	泉質	泉数	Ge-濃度範囲(µg/l)	平均含量(µg/l)	
				別府	北海道青森県
<4	酸性泉	10	0.0~32.8	13.5	11.8
4~8	中性泉	35	0.0~88.5	11.8	9.1
>8	アルカリ性泉	0			11.0

表5 別府温泉の泉質とゲルマニウム含有量

泉質	Ge(µg/g)	Ge濃度範囲(µg/l)
酸性泉	酸性硫化水素泉	1.2
	含芒硝食塩酸性泉	32.2
	含食塩酸性泉	32.9
食塩泉	含ホウ酸食塩泉	77.0
	弱食塩泉	11.3
	含土類食塩泉	7.3
	含芒硝食塩泉	18.0
重曹泉	含食塩土類重曹泉	2.9
	含食塩重曹泉	5.4
単純硫化水素泉	21.3	21.3
単純泉	3.0	0.0~5.8

かな相関は認められない(図4)。しかし表4のように温泉をpHによって大別し、その間におけるゲルマ

ニウム平均含量をみると、pH4以下の酸性泉は中性泉に比較して北海道、青森県の温泉群と同程度多いことがわかる。

4・4、泉質との関係

別府温泉の泉質とゲルマニウムとの関係は(表5)、酸性硫化水素泉を除く酸性泉に多く、次に食塩泉特に含ホウ酸食塩泉に多い。重曹泉と単純泉は少ない。

4・5、他成分との関係

ゲルマニウムは、 $\text{GeF}_4$ 、 $\text{GeCl}_4$ などの蒸気圧の小さいハロゲン化合物をつくる。別府温泉水中のゲルマニウムと塩素イオンとの間には確かに正の相関がみられる(図5、6)。このことは温泉水中のゲルマニウムが

図5 Geと $\text{Cl}^-$ との関係 (A)

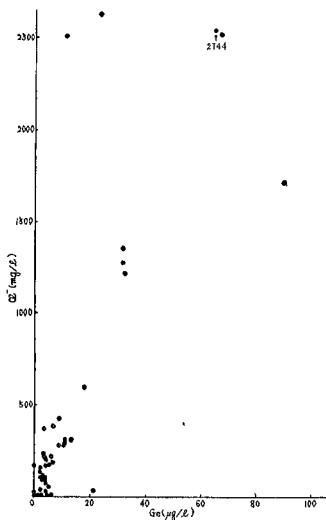
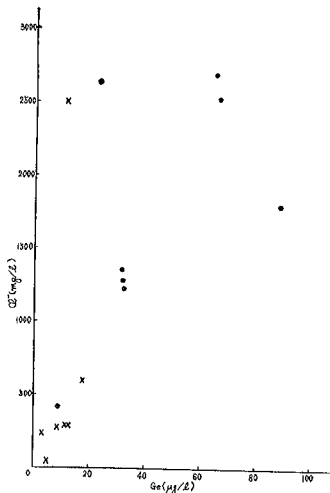


図6 Geと $\text{Cl}^-$ との関係 (B)

●：鉄輪地区 ×：亀川地区



$\text{GeCl}_4$ のような型で熱とともに火山性発散物から供給されることを予想させる一助となるかも知れない。しかし塩素イオンよりさらに揮発性化合物をつくるフッ素イオンとの間には相関は認められない(図7)。

図7 Geと $\text{F}^-$ との関係

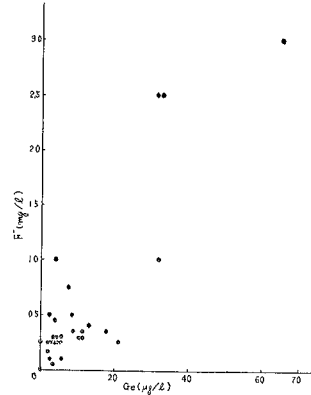
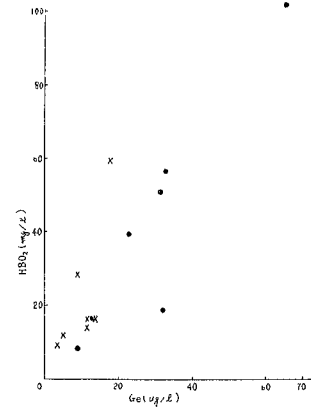


図8 Geと $\text{HBO}_2$ との関係

●：鉄輪地区 ×：亀川地区



また、揮発性成分の1つと考えられるホウ素との間には、鉄輪、亀川地区では正の相関が認められるが(図8)、この相関は旧市内の温泉群においてはみられない。

ゲルマニウムは4価のイオン半径が周期律表上同一族のケイ素の4価のイオン半径に近似しているためにゲルマニウムはケイ素に“擬装”して微量ではあるが広くケイ酸塩鉱物中に分布していることが認められている。別府温泉においてもケイ素含量の増加と共にゲルマニウム含量も増していく傾向がみられる(図9)。

西村は北海道の温泉についてゲルマニウムの多い温泉にガリウムも多いと報告しているが、別府温泉においては、両者の相関は認められない(図10)。

図9 GeとSiとの関係

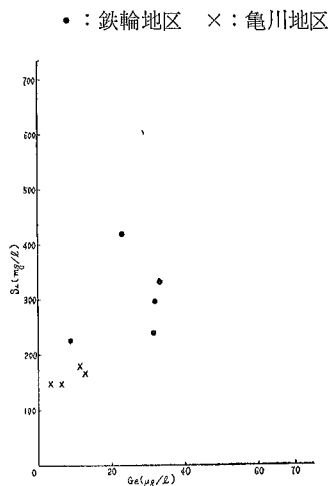


図10 GeとGaとの関係

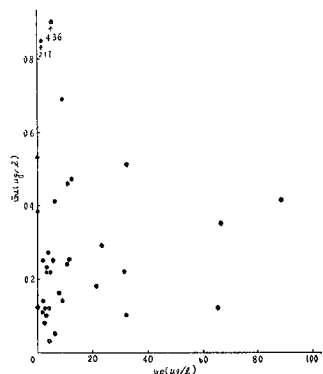


図11 GeとHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>との関係

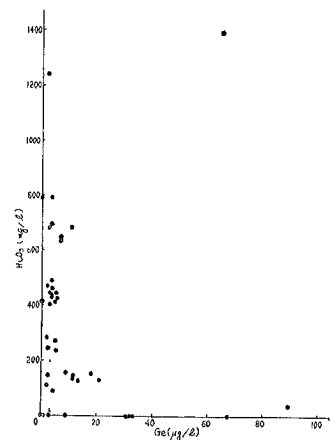
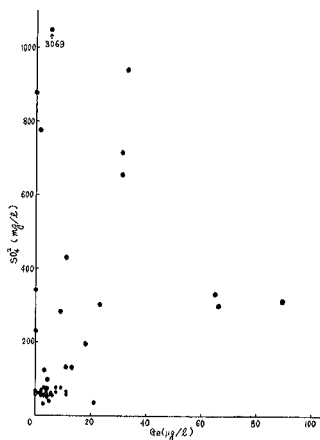


図12 GeとSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>との関係



その他の主成分HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>との間には特別な関係はみられなかった(図11、12)。

### 5 微量成分間の関係

別府鉄輪地獄地区の微量成分間の相関係数を表6に示す。カドミウム、ヒ素、モリブデン、銅と正の相関がある。

### 6 結論

別府温泉水45個所のゲルマニウムを定量した結果、つぎの結論をえた。

1、10年前の半定量値に近似した値を示した。最大値は白池地獄の88.5μg/lで、鉄輪地区がとくに多く、45個所の平均は12.2μg/lで銀、銅、セレン、カドミウムなどと大体同程度含有されている。

2、10μg/l以下が80%を占める。

3、pHとの間には明白な関連性はないが、平均含量は酸性泉の方が中性泉よりやや多い。

4、泉質との関係では、酸性硫化水素泉を除く酸性泉に多く、ついで食塩泉に多い。

5、他成分の間では塩素、ケイ素と正の相関がある。フッ素、カリウム、ヒドロ炭酸イオン、硫酸イオンとの相関はない。鉄輪、亀川地区においてはゲルマニウムとホウ酸は正の相関をもつ。

6、別府地獄地区の微量成分間の関係ではカドミウム、ヒ素、モリブデン、銅と正の相関がある。

(終りに当所費の1部を負担された大分県温泉調査研究会に感謝する。)

### 文 献

- 1) 木村：温泉、35(1943)
- 2) 西村：日化 79、172(1958)
- 3) 川上、古賀、野崎：日化 77、1785(1956)
- 4) 太秦、瀬尾：日化 80、1118(1959)



表 6 別府地獄地区の微量成分間の相関係数

	Cu	Zn	Mn	As	Cr	Mo	Ag	Au	V	Ti	Se	Cd	Ga	Ge
Cu		+0.21	+0.10	-0.20	-0.14	-0.14	-0.12	0.00	+0.23	-0.12	-0.32	+0.00	-0.43	+0.71
Zn	+0.21		+0.71	+0.57	+0.56	-0.31	+0.61	0.14	+0.79	-0.50	+0.55	+0.22	-0.16	+0.45
Mn	+0.10	+0.71		-0.01	+0.84	+0.72	+0.47	+0.59	+0.99	-0.86	+0.86	+0.39	+0.40	+0.01
As	-0.20	+0.57	-0.01		+0.38	+0.55	+0.10	-0.04	+0.06	+0.35	-0.01	+0.70	-0.18	+0.81
Cr	-0.14	+0.56	+0.84	+0.38		-0.30	+0.31	+0.85	+0.88	-0.53	+0.88	+0.24	+0.38	+0.49
Mo	-0.14	-0.31	+0.72	+0.55	-0.30		-0.65	-0.12	-0.72	+0.87	-0.52	+0.84	-0.14	+0.80
Ag	-0.12	+0.61	+0.47	+0.10	+0.31	-0.65		+0.35	+0.58	+0.55	+0.38	+0.66	+0.03	+0.38
Au	-0.00	0.14	+0.59	-0.04	+0.85	+0.12	+0.35		+0.49	+0.51	+0.66	+0.40	+0.60	+0.06
V	+0.23	+0.79	+0.99	+0.06	+0.88	-0.72	+0.58	+0.49		-0.71	+0.81	+0.40	+0.15	+0.21
Ti	-0.12	+0.50	+0.86	+0.35	+0.53	+0.87	+0.55	+0.51	+0.71		+0.81	+0.64	+0.58	+0.19
Se	-0.32	+0.55	+0.86	-0.01	+0.88	-0.52	+0.38	+0.66	+0.81	-0.81		+0.22	+0.69	+0.03
Cd	+0.00	+0.22	+0.39	+0.70	+0.24	+0.84	+0.66	+0.40	+0.40	+0.64	+0.22		+0.00	+0.82
Ga	-0.43	+0.16	+0.40	+0.18	+0.38	-0.14	+0.03	+0.60	+0.15	+0.58	+0.69	+0.00		+0.14
Ge	+0.71	+0.45	+0.01	+0.81	+0.49	+0.80	+0.38	+0.06	+0.21	+0.19	+0.03	+0.82	+0.14	

5) ゲルマニウム研究委員会：「ゲルマニウム、

6) 古賀：日化78、1717(1957)

7) 川上、古賀、野崎：日化77、1327(1956)

8) 古賀：大分県温泉調査研究会報告13、7(1962)

9) 古賀、橋永：大分県温泉調査研究会報告14、9  
(1963)

10) 古賀：温研紀要12、203(1960)

11) 古賀：日化80、31(1959)

# 別府温泉の化学的研究 (第32報)

## 別府温泉の微量成分 (その15)

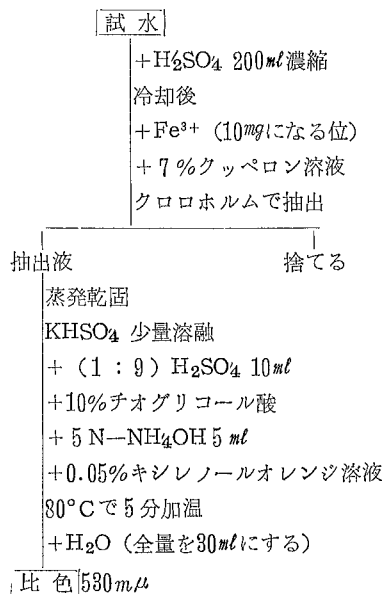
### ジルコニウムの分布

九州大学温泉治療学研究所 古賀昭人

#### 1 緒言

別府温泉水の微量成分定量の一環として、今回はジルコニウムについて報告する。ジルコニウムは週期律表の第4属のチタン、ジルコニウム、ハフウムと同系に属する。クラーク数は0.02で第20番目に大きい元素で、クラーク数から云えば、それほど少ない元素ではない。火成岩では200PPM、火崗岩では460PPMを含有している。一方、温泉中のジルコニウムの定量例は黒田が行った箱根の湯の花沢温泉で $30\mu\text{g}/\ell$ をあげているが、他には見当たらない。しかし、蒸発残留物の分光分析では木村は0%、西村は4%、鎌田は南九州で検出せず、川上は別府温泉で41%の検出ひん度を得ており、別府ではジルコニウムが他地区温泉に比し多いことを示している。なほ、著者はかつて温泉100ℓから濃縮して作った希土類元素分析用の試料からも、蛍光X線分析でジルコニウムをはっきりと検出した。このため、別府温泉で微量成分としてジルコニウムを取上げ定量したので報告する。

表1 温泉水中のジルコニウム定量法



#### 2 分析方法

ジルコニウムの精度ある分析方法としてJIS法による鉄鋼中のジルコニウムの分析法がある。著者は、これを改良し表1のような温泉中のジルコニウムの定量法を作製した。温泉中のジルコニウムの捕集剤として鉄(III)を用いクッペロンで共沈させた。すなわち、試水3ℓに硫酸を加えて200ml位まで加熱濃縮する。このさい、硫酸濃度が濃縮後、1:9位になるよう20mlを加える。冷却後、キャリアーとしてFe<sup>3+</sup>を10mg位になるよう加え7%クッペロン溶液を滴下して褐色液にする。ついでクロロホルムでジルコニウムを鉄と共に無色になるまで抽出する。ジルコニウムの抽出液を白金深皿で蒸発乾固し、これを焼き、少量のKHSO<sub>4</sub>を加えて暗赤色に加熱して融解して透明にし、冷却後(1:9)硫酸10mlを加え温めてケイクをとく。これにFe<sup>3+</sup>をマスクするため10%チオグリコール酸を滴下し、一度生じた青色が再び消失するまで加える。つぎに5N-NH<sub>4</sub>OH 5mlを加え、さらに0.05%キシレノールオレンジ溶液10mlを加えて80°Cの水溶液中に浸して5分間加温する。冷却後、水で30mlにうすめ530mμで比色定量した。なお、ジルコニウムとキシレノールオレンジのレーキが有機溶媒で抽出できれば感度は更に上昇するが、現在までにその有機溶媒は見出されていない。

#### 3 測定結果と考察

別府温泉水38個所のジルコニウムの含有量は表2に示される。

##### 3・1、別府温泉水中のジルコニウムの地理的分布

別府温泉水中のジルコニウム含有量の最大なのは竜巻地獄の $16.8\mu\text{g}/\ell$ であり、ついで山田湯の $7.2\mu\text{g}/\ell$ であった。微量成分で、常に最高か、それに近い値を示す十萬地獄は目下採水不可能であり、また鬼山・雷園地獄も様相が異って蒸発残留分が激減している。表2を図示すれば図1(A、B)のようである。明礬、鉄輪地区に含有量の高いのがあり、亀川地区に少なかった。別府各地区のジルコニウム含有量およびその平

表2 別府温泉のジルコニウム含有量

地区	No.	泉名	泉温 °C	pH	mg/l 蒸発残留物	μg/l Zr	% Zr/蒸発残留物
明 礬	1	地蔵	51.3	2.85	420	4.0	0.95×10 <sup>-3</sup>
	2	野天風呂	42.0	2.15	940	6.8	0.72
	3	山田湯	70.0	1.60	2295	7.2	0.31
	4	鶴壽	61.5	2.50	750	4.0	0.51
鉄 輪	5	海地獄	75.0	2.10	3680	6.7	0.18
	6	鬼山	92.5	6.58	125	1.2	0.96
	7	白池	92.6	6.40	3790	1.5	0.04
	8	雷園	84.0	3.50	685	1.6	0.23
	9	柴石	65.0	2.98	1910	2.8	0.15
	10	血の池地獄	60.0	2.28	3390	6.0	0.18
亀 川	11	竜巻	98.2	2.48	3350	16.8	0.50
	12	御夢想	43.0	6.8	720	0.1	0.01
	13	亀陽	55.0	7.3	1070	1.0	0.09
	14	筋湯	52.0	7.4	1080	0.1	0.01
	15	四の湯	54.0	7.4	1310	2.6	0.20
堀田・ 観海寺	16	堀田	59.0	6.1	390	2.2	0.56
	17	観海寺	57.3	7.1	430	1.2	0.28
	18	温研	53.7	7.3	390	3.0	0.77
	19	〃(堀田)	53.2	6.9	350	2.0	0.57
旧 市 内	20	弓ヶ浜	46.0	7.0	1550	2.0	0.13
	21	的ヶ浜	51.0	7.6	1230	0.0	0.00
	22	上のヶ浜	50.0	6.7	1510	1.2	0.08
	23	春日	51.5	6.7	1150	2.7	0.32
	24	弓松	64.0	7.4	1620	0.7	0.04
	25	海門寺	58.2	6.6	1170	1.2	0.10
	26	北町	60.2	6.6	1140	1.3	0.11
	27	梅園	54.0	6.7	1260	1.1	0.09
	28	竹瓦	59.0	6.8	1190	3.3	0.28
	29	砂湯	57.5	7.2	1420	0.4	0.03
	30	霊潮	60.0	6.6	1170	0.7	0.06
	31	〃(蒸湯)	55.0	6.9	1190	2.0	0.17
	32	楠柳	46.0	6.4	880	0.8	0.09
	33	柳	54.0	6.6	970	2.5	0.05
	34	松原	52.0	7.1	880	0.6	0.30
	35	永石	52.0	7.1	880	1.1	0.01
	36	紙屋	52.0	6.9	810	2.5	0.19
	37	不老	52.0	6.9	870	2.9	0.33
	38	田の湯	46.0	6.4	720	0.5	0.35

図1 別府温泉のジルコニウムの分布 (A)

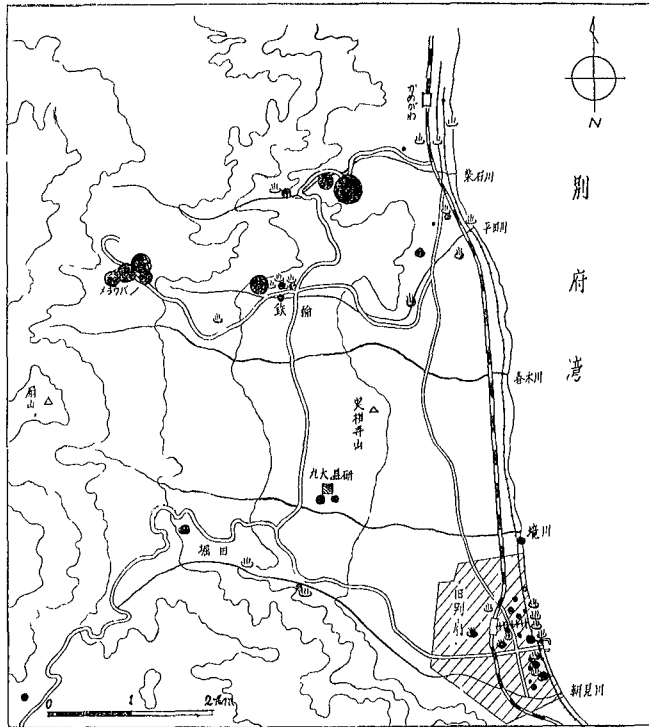


図1 (B)

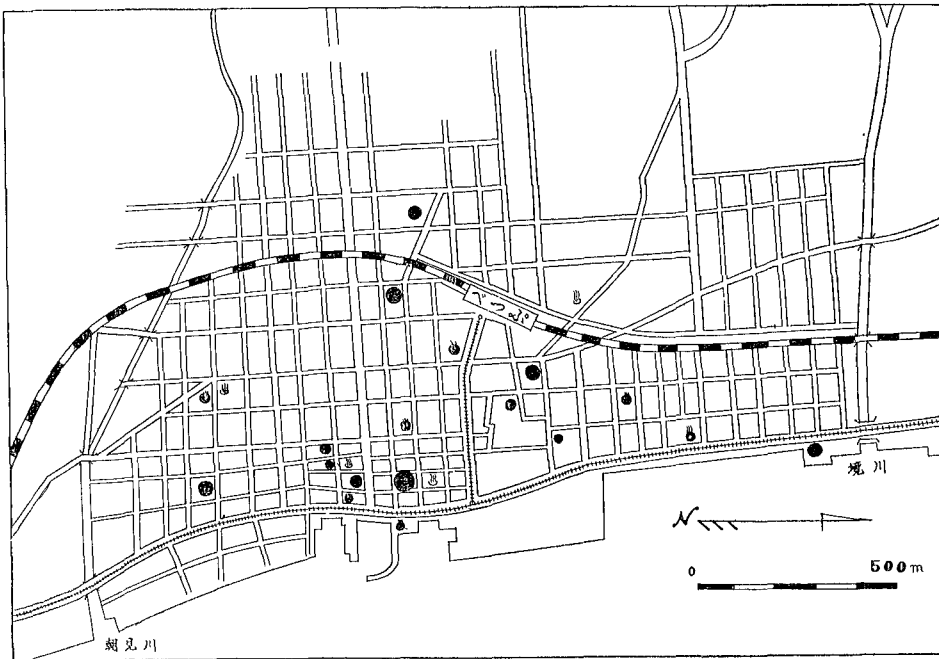


図2 別府各地区のジルコニウム含有量

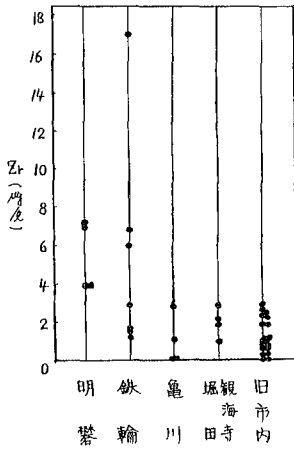


表3 別府各地区のジルコニウムの平均含有量

地区名	個数	Zr(μg/l)	Zr/蒸発残留物
明礬	4	5.4	0.62×10 <sup>-3</sup> %
鉄輪	7	5.2	0.32 "
亀川	4	1.0	0.08 "
堀田・観海寺	4	2.1	0.54 "
旧市内	19	1.5	0.14 "
全平均	38	2.6	0.26 "

均値をとれば図2と表3のようである。すなわち、鉄輪地区はばらついているが、大体明礬地区と同程度含有しており、平均値をみれば以下、堀田・観海寺・旧市内・亀川地区の順となり、大多数の微量の重金属元素と同じ順序である。38個所の平均は2.6μg/lであり蒸発残留物に対するパーセントも0.26×10<sup>-3</sup>%と小さく、クラーク数が比較的大きいのに比し温泉水中のジルコニウムは少ないようである。表4に現在までにな

表4 別府各地区の微量成分の平均含有量

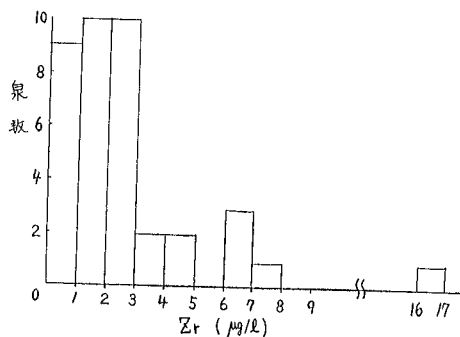
クラーク数の多さの順	元素	地区					全平均
		明礬	鉄輪	亀川	堀田・観海寺	旧市内	
25	Cu (μg/l)	8.5	18.1	10.1	4.0	7.5	9.6
31	Zn ( "	114	1355	34	10	20	307
29	Co ( "	0	0	0	0	0	0
24	Ni ( "	2.54	1.99	0.57	0.53	0.36	1.02
12	Mn (mg/l)	0.66	3.24	0.43	0.30	0.63	1.05
49	As (μg/l)	0	633	326	0	105	217
43	Ge ( "	0	32	9	0	5	12
10	Ti ( "	128	135	81	19	72	87
75	Au ( "	0.55	1.25	0.20	0.20	0.34	0.53
69	Ag ( "	39.0	22.8	1.7	1.6	4.9	10.9
41	HBO <sub>2</sub> (mg/l)	2.6	42.4	28.0	13.1	24.9	24.4
37	Mo (μg/f)	1.6	5.7	4.6	2.1	8.5	6.3
21	Cr ( "	7.4	7.9	3.6	2.8	2.4	4.3
23	V ( "	14.3	54.5	13.5	7.0	14.1	21.1
70	Se ( "	17.7	22.3	2.9	0.8	7.5	9.6
62	Cd ( "	11.1	22.4	6.0	2.2	4.1	8.6
47	Be ( "	20.6	3.01	0.61	1.71	1.10	5.16
20	Zr ( "	5.4	5.2	1.0	2.1	1.5	2.6
17	F (mg/l)	0.30	1.90	0.37	0.17	0.35	0.58
46	Br ( "	0.04	4.49	1.69	0.08	0.89	1.59
64	I ( "	0.01	1.11	0.15	0.03	0.14	0.31
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ( "	1.42	1.27	0.22	0.33	0.27	0.65
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μg/l)	3	9	10	19	6	8
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( "	20	70	1480	410	43	236
88	Rn(×10 <sup>-10</sup> c/l)	2.36	1.26	0.21	0.24	0.64	0.83
84	Ra(×10 <sup>-12</sup> g/l)	2.24	1.69	0.36	0.25	1.28	1.13
53	U (μg/l)	—	0.071	0.013	—	0.018	0.040

された別府温泉の微量元素の地理的分布を示す平均含有量をあげておく。これによって分る通りクラス数の多さの順序と別府温泉水の平均含有量の多さの順序は一致しないのが普通である。これは、もちろんその元素の溶液中における行動、性質によるもので、イオンポテンシャル、地下深所から湧出する温泉水の主要成分、pH などが関係して、その温泉特有の元素分布を作りあげることになる。したがって、表4 にあげられた別府温泉の微量元素含有量は、別府温泉の1つの性格を示すものといえよう。

### 3・2、ジルコニウムの含有量ひん度

別府温泉水38個所のジルコニウムの含有量ひん度は図3に示す。これによると3 μg/l 以下が76%を占め

図3 別府温泉のジルコニウムの含有量ひん度

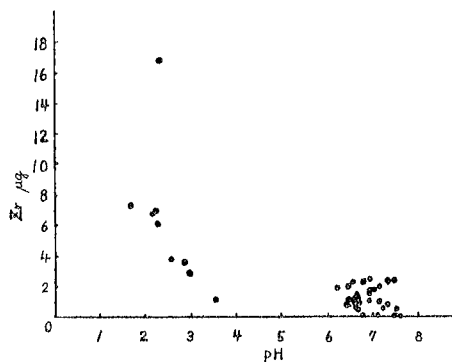


ており、しかも0~1 μg、1~2 μg、2~3 μg/l 間が大抵同数であった。

### 3・3、pHとの関係

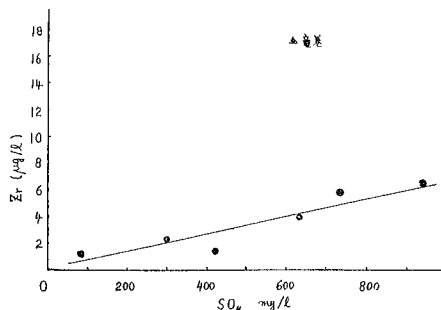
pH とジルコニウムとの関係は図4 に示される。こ

図4 pHとジルコニウムとの関係



れによると竜巻地獄をのぞき、明礬、鉄輪地区の酸性泉では pH に反比例していることが分る。このことは、これらの地区の酸性を支配している因子の1つである硫酸根との比例関係を意味しており、図5 に示すよ

図5 鉄輪地区のSO<sub>4</sub>とZrの関係



うに竜巻地獄をのぞき、ほぼ正の比例関係がある。ジルコニウムの酸化状態は4価であり陽イオンは、おそらくZr<sup>4+</sup> や ZrOH<sup>3+</sup> のような形のもが存在し、ZrO<sup>2+</sup> や縮合イオンの存在することも確かであり、ZrO<sup>2+</sup> やZr<sup>4+</sup> はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup> との錯化合物は安定でありCl<sup>-</sup> とは不安定である。F<sup>-</sup>とは極めて安定である。したがって、最近F<sup>-</sup>を定量していないので分らないがSO<sub>4</sub><sup>2-</sup> と比例するのは当然であり、ジルコニウムは硫酸塩として湧出したものと思われる。

### 3・4、泉質との関係

表5 に別府温泉水の泉質とジルコニウム含有量との

表5 別府温泉の泉質とジルコニウム含有量

泉 質	(μg/l)	(μg/l)	
	平均 Zr	最大値—最小値	
酸性泉	酸性硫化水素泉	5.4	7.2—4.0
	含芒硝食塩酸性泉	9.8	16.8—6.0
	含食塩酸性泉	2.8	2.8
食塩泉	含ホウ酸食塩泉	1.5	1.5
	弱食塩泉	1.2	2.6—0.1
	含土類食塩泉	1.4	2.7—0.7
重曹泉	含食塩土類重曹泉	1.5	2.0—1.1
	含食塩重曹泉	1.3	3.3—0.0
単純硫化水素泉	2.2	2.2	
単 純 泉	1.5	2.9—0.1	

関係を示す。これによればジルコニウムは酸性泉とくに含芒硝食塩酸性泉に多い。また、硫化水素泉に多い傾向がみえるのは興味深いことである。食塩泉や重曹泉には、特別の傾向は見えなかった。

## 4 結 論

別府温泉水38個所のジルコニウムを定量し、つぎの結果を得た。

1、最高値は竜巻地獄の16.8 μg/l であり、38個所の平均は2.6 μg/l でありクラス数の比較的大きい割には温泉水中のジルコニウムの含有量は少なかった。

2、地区別では、明礬、鉄輪地区に多いのがあり、ふつう少ない堀田、観海寺地区に、シリコニウムが認められた。

3、シリコニウムの含有量ひん度は $3.0\mu\text{g}/\ell$ 以下が大部分を占め76%を示している。

4、pH との関係は明礬、鉄輪地区では竜巻地獄をのぞいて反比例しており、このことは $\text{SO}_4^{2-}$  と比例関係があることを示している。したがって元の塩は硫酸塩として生じたものであろう。

5、泉質との関係に酸性泉とくに含芒硝食塩酸性泉が多かった。食塩泉、重曹泉には少なくとも硫化水素を含有している温泉にも、多い傾向がみられた。

6、微量成分間の相関係数は、鉄輪地獄地帯の様相が少し変わったので求めなかった。

(終りに、当所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)Cu, Zn, Co, Mn : 川上、古賀、野崎、日化77、1327(1959)
- 2)As : 川上、野崎、古賀、日化77、1785(1956)
- 3)ポリチオン酸 : 古賀、温研紀要9、93(1957)
- 4)Ti : 古賀、日化78、1713(1957)
- 5)Ag : 古賀、日化78、1717(1957)
- 6)B : 古賀、日化78、1721(1957)
- 7)Mo : 古賀、日化79、461(1958)

- 8)Cr : 古賀、日化80、362(1959)
- 9)Br, I : 古賀、日化80、365(1959)
- 10)U : 古賀、日化80、369(1959)
- 11)V : 古賀、日化80、1249(1959)
- 12)Au : 古賀、日化82、1476(1961)
- 13) $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}_3$  : 古賀、大分県温泉調査研究会報告12、6(1961)
- 14)Ni : 野崎、大分県温泉調査研究会報告12、12(1961)
- 15)F : 松浦、国分、脇元、時政、古賀、温研紀要7、43(1955)
- 16)Se : 古賀、大分県温泉調査研究会報告13、7(1962)
- 17)Be : 野崎、大分県温泉調査研究会報告13、13(1962)
- 18)Cd : 古賀、橋永、大分県温泉調査研究会報告149(1963)
- 19)黒田 : „温泉化学、(化学実験学第1部第12巻)昭和16年631
- 20)木村、温泉35(昭和18年)
- 21)西村 : 日化79、172(1958)
- 22)鎌田、大西、鹿児島大学理科報告、第5号9(1959)
- 23)川上、温泉科学9、112(1958)
- 24)古賀 : 日本温泉科学会発表(1963.7)

# チロジナーゼ活性に及ぼす温泉作用の研究

## 微量成分の影響 (第2報)

九州大学温泉治療学研究所

温泉理学科 野 崎 秀 俊

### 1 緒言

生体に及ぼす温泉作用の一つとして、微量成分による影響が上げられる。(5) 前報に於いては、生体中で重要な働きを示す酵素について、その活性に及ぼす微量元素の影響を検討した。その結果、酵素に対してこれら元素が、或る物は促進的に、或る物は抑制的に働いており、しかも微量でその働きを現すことを実験的に証明出来た。しかしその方法として、初めは従来の活性測定法であったワールブルグ法を用いたが初期の目的を達成することは困難であったので、後に  $^{14}\text{C}$  を使用して反応生成物量を放射能的に測定する方法を考案し或程度の目的は達したが、データの安定性について可成不安な点も無きにしても有らずであったことと、実験を行った微量元素の数も少なかったため、本法では測定方法についての検討及び添加元素として、アトミニックナンバー、25. マンガン; 27. コバルト; 28. ニッケル; 29. 鉛; 30. 亜鉛; 33. 砒素; 重金属として80. 水銀; 82. 鉛; についてチロジナーゼ性に与える影響を検討した。

### 2 方法

反応容器はワールブルグ用のゲフェースを使用、主室には、pH 6.7、緩衝液 1 ml、基質として  $^{14}\text{C}$ -Lチロジン含有飽和Lチロジン溶液 0.5 ml、添加試料 0.5 ml を入れ、反応温度は  $37.5^\circ\text{C}$  とした。

使用したチロジナーゼ液は  $800 \text{ units/mg}$  の物を  $1 \text{ mg/m}$  になるよう使用の都度溶解した。

$^{14}\text{C}$  を含む Lチロジン溶液は、使用直前に東洋濾紙 No. 5 c で濾過して用いた。反応生成物は、Millipore  $5 \mu$  で濾過、一夜自然乾燥をし、放射能を測定した。測定器はトレスラップ製、GMチューブは東芝 GMB-5 を、試料棚は最上段を使用した。

### 3 燐酸緩衝液使用時の問題点、特に微量

元素の添加場所の相異による生成物量の変動

表 2 及び図 1 に示すような結果が得られた。コバルト、ニッケル、亜鉛については側室添加、つまり試料を初めチロジナーゼと混合し、反応開始と同時に緩衝液と混合する方法の方が、多量の反応生成物が得られ

表 1 測定方法

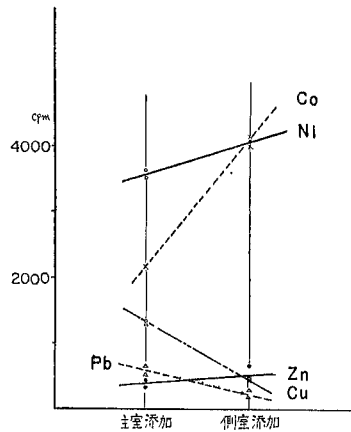
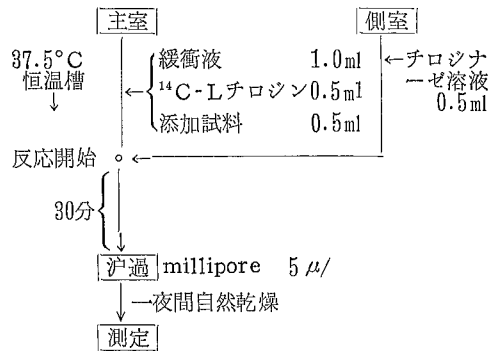


図 1 燐酸緩衝液使用時に於いて微量元素の添加場所の相異による生成物量の変動

る。特にコバルトはその傾向が著しい。銅、鉛等は反対の傾向を示し、銅においては著しい。

コバルト、ニッケルの場合、肉眼的には、長時間放置せねば判明しないが、明らかに白濁を起す。この燐酸イオンととの沈澱反応が起る為、初めに緩衝液と混合すると活性値促進能が低下するのであろう。銅の場合について考えて見ると、チロジナーゼ自身は、分子中に銅を有する酵素として知られているが、この酵素が高濃度の銅 (実際は微量であるが主室の方へ銅を加える場合と比較すると高いという意味で) と接すると活性値促進性が低下するという事は興味ある問題である。



これまでの実験で、同時に行ったものについては、良い値が出ているが、時を変えるか、日を変えると、傾向は同じであるが、得られる値が異り、比較には同時に実験を行う必要があった。試料と緩衝液の混合時より反応開始までの時間が不定である為、前にのべた沈澱反応が徐々に進行していた結果であろう。添加試料は濃度的に稀薄である故、沈澱反応が緩徐に進行するだろうという推察もあながち不当な考えではないであろう。

表2 磷酸緩衝液使用時に於いて微量元素の添加場所の相異による生成物量の変動

添加元素	添加量	生成物量 (cpm)		対照
		主室添加	側室添加	
Co	0.2mg/ml	2089.3	4035.3	145.3
		3613.6	4184.3	
Ni	0.2mg/ml	3502.3	4125.3	145.3
		1560.8	468.8	
Cu	0.2mg/ml	1500.8	424.3	157.8
		300.9	560.9	
Zn	0.2mg/ml	453.7	390.1	167.7
		544.8	252.4	
Pb	0.15mg/ml	683.2	216.4	127.6

#### 4 緩衝液の差による生成物量の変動

前節で添加試料と緩衝液との反応が認められたので

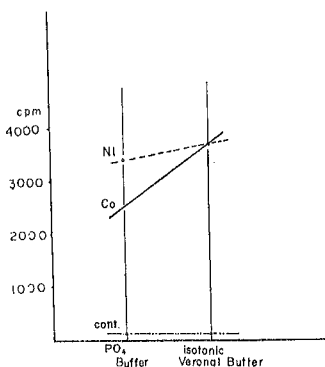


図2 緩衝液の差による生成物量の変動

他の緩衝液を使用することとした。

他の緩衝液としてペロナール酢酸ソーダ緩衝液(以下ペロナール緩衝液という)を使うこととし、塩化ナトリウムで等張になるようにした。

この二つの緩衝液を使用し、添加試料ニッケル、コバルト及び対照についてその比較を行った。

コバルトについては反応生成物の増量が認められたが、ニッケルについては著しい変化は見られなかった等張ペロナール緩衝液の際、コバルト、ニッケルとも同程度の活性促進能を有している。又対照液について

は、緩衝液の差異による変化は見られない。

表3 緩衝液の差による生成物量の変動

添加元素	添加量	PO <sub>4</sub> Buffer	Isotonic Veronal Buffer
Co	0.2 mg/ml	2544.0 cpm	3740.0 cpm
Ni	0.2	3417.2	3737.0
Cont		177.2	162.7

表4 ペロナール緩衝液使用時の反応生成物量

	生成物量 (cpm)	
	第I図	第II図
1	3324.3	3572.7
2	3412.7	3416.2
3	3102.3	3405.9
4	3509.3	3473.9
5	3463.0	3216.5
6	3172.3	3372.9
7	3316.7	3482.9
8	3376.3	3386.5
平均	3340.1	3415.9
S.D.	±139.3	±103.5
Cont	107.5	116.2

添加試料 Co 0.2mg/ml

進的な第1群のうち、第1のタイプは亜鉛で、極く薄い濃度より高い活性値促進能を有する。第2のタイプは、コバルト、ニッケル、銅、鉛で亜鉛に見られるようには強くはないが、その濃度と反応生成物量との関係図に見られるようにならな活性値上昇能を有する第3のタイプはマンガンで、濃度と生成物量との関係がゆるやかに上昇する。他の一群は、水銀、砒素で、活性値抑制能を有する。

第1群の第2のタイプに属する鉛は、図上では他の

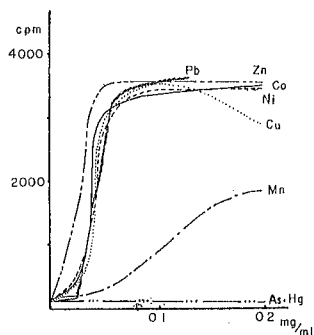


図3 微量元素の添加量と生成物量の関係(その1)

表5 微量元素添加時の反応生成物量 (その1)

添加元素	添 加 量					対 照	働 考
	0.2mg/ml	0.1mg/ml	0.05mg/ml	0.025mg/ml	0.012mg/ml		
Co	3534.7	3392.7	3049.7	446.0	204.1	136.7	F = 0.828
Ni	3460.0	3438.7	2745.0	570.0	218.4	176.0	
Cu	2904.8	3536.8	2984.0	406.1	282.1	109.4	
Zn	3534.7	3491.3	3408.7	2673.3	810.7	190.7	
Pb		3579.1	2353.1	163.1	161.8	152.4	
Mn	1859.8	877.8	282.1	209.1	197.1	145.1	
As	73.6	67.4			110.7	137.8	
Hg	68.3	72.1			77.1	137.8	

のタイプに属する元素の場合と変わらないが、0.021mg/mlの濃度迄は殆んど活性値上昇能は無く、以後急激に上昇する。又このタイプの銅は濃度が高くなると活性値促進能の低下が見られるようになる。第3節に於ける実験の際、銅濃度が高くなる為、活性値の促進性が低下するのであろうと推論したが、この実験の結果とも併せて、まず間違いのないことと思われる。

b 極微量添加

前項第1群の第1タイプ及び第2のタイプに属する

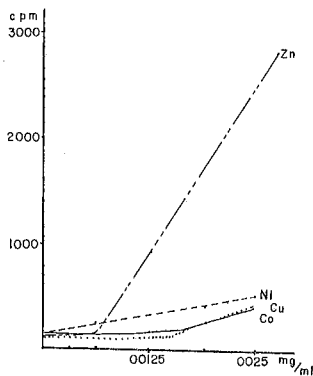


図4 微量元素の添加量と生成物量の関係 (その2、極稀薄濃度の場合)

微量元素は、添加量と反応生成物量の関係が、第3図に示すように、極微量域で上昇することと、活性促進能が強い為、基質濃度の減少が当然考えられ、この両者の関係を論ずるのは困難である為、更に薄い濃度で活性値促進性を検討した。

亜鉛は0.006mg/ml以上の濃度でその促進的な性質を現し、その添加濃度と反応生成物量との間に直線的な関係が見られる。ニッケルは、初めから直線的関係が見られるが、その促進能は強くはない。銅、コバルトは共に低濃度では弱い促進能しか示さない。0.0125mg/mlの濃度までは殆んど生成量に変化が見られない。データの不足から変異点と言えるか疑問であるが、一応亜鉛、ニッケル同様、直線関係が成立し、変異点があるものと仮定し、計算により求めた。前項の鉛、マンガンについても同様のことが言えるかも知れない(データが少ないのではっきりとした値が出ない)。

これらの変異点の濃度を活性最低濃度とし、表7に示す。同時にこの反応生成量と添加試料濃度との関係を一次式

$$y = xk + a$$

$y$  = 反応生成物の量  
 $x$  = 添加試料濃度mg/ml  
 $k$  = 活性化定数

で表わし、 $k$ を活性化定数とした。

表6 微量元素添加時の反応生成物量 (その2)

添加元素	添 加 量					対 照
	0.025mg/ml	0.0188mg/ml	0.0125mg/ml	0.0063mg/ml	0.0031mg/ml	
Co	404.3	228.3	159.7	159.0	149.0	149.0
Ni	524.3	317.7		246.3		149.0
Cu	424.5	259.6	143.7	125.3	110.7	110.1
Zn	223.3		917.7	170.3	129.3	120.2

表7 活性最低濃度及び活性化定数

添加元素	活性最低濃度 mg/ml	活性化定数 ×10 <sup>-2</sup>	a
Co	0.016	3.81	162
Ni	0	1.30	149
Cu	0.017	2.61	213
Zn	0.006	13.11	170

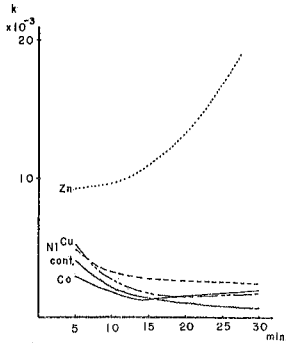


図5 (0.025mg/ml添加時に於ける反応経過時間と生成物量の関係)

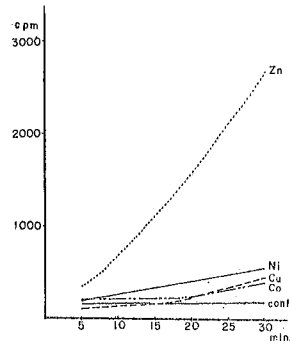


図6 0.25mg/ml添加時の反応速度恒数の変化

c) 反応速度恒数の変化

一定濃度における反応速度恒数を求めた。添加試料濃度は0.015mg/mlとし、速度恒数は次式により求めた

$$k = \frac{1}{t} \log \frac{a}{a-x} \quad k = \text{反応速度恒数}$$

a = <sup>14</sup>C-Lチロジン溶液  
0.5mlのcpm

y = 反応生成物のcpm

t = 経過反応時間min

表8 0.025mg/ml添加の場合各反応時間の生成物量

添加元素	反 応 時 間						対 照
	5 min	10min	15min	20min	25min	30min	
	cpm	cpm	cpm	cpm	cpm	cpm	cpm
Co	115.9	145.3	155.3	230.9	337.9	445.2	190.9
Ni	189.5	255.5	339.7	416.5	479.7	550.9	163.4
Cu	206.0	210.3	212.2	246.2	325.0	409.3	113.4
Zn	355.7	701.3	1126.1	1592.9	2249.5	2699.7	162.1
Cont	161.5	172.7		175.2		176.1	176.1

表9 反応経過時間の速度恒数 (×10<sup>-3</sup>)

添加元素	反 応 時 間					
	5 min	10min	15min	20min	25min	30min
Co	2.90	1.83	1.30	1.47	1.86	1.96
Ni	4.82	3.31	2.93	2.75	2.55	2.47
Cu	5.22	2.70	1.80	1.58	1.69	1.78
Zn	9.28	9.69	11.19	13.13	16.46	21.22
Cont	4.06	2.20		1.12		0.75

a = 3510cpm

反応速度恒数はZnを除き、最少反応時間の5minの時が最も大きく、時間とともに減少傾向にあるが、コバルトは15min、銅は20minの値を最少と値して幾

分上昇気味である。亜鉛のみは、その値も他の添加元素に比し1オーダー近く高く、時間と共に上昇し、その反応促進能は抜群である。



# 別府市内および湯布院町の温泉孔 における岩芯調査報告

大分大学 学芸学部

森 山 善 蔵  
川 西 博

## 1 緒 言

従来、別府地方の温泉掘さくは扇状地の砂礫層という軟質地盤の掘さくが主であったため、その殆んどが衝撃式の「上総掘り」でおこなわれ、岩粉となるため今日のような岩芯の収集もできなかったと思われる。しかし、その後ロータリーボーリングに変わってからも掘さく孔数が余りに多く、整理、保存などに手間がかかるところから岩芯の収集もほとんどおこなわれておらず、従って垂直的地質構造の記載や観察は全くないと云ってよい。

今後、岩芯の収集と記載によって、温泉湧出地帯の地下地質の層序、構造、変質状態、またこれらと地表調査による分布岩石との比較をおこなうことによって地下構造、温泉包含層の状況や火山活動史の解明などいくらかの手掛りとなる資料が得られることと思わ

れる。

今回は岩芯の収集に手間どり、充分な資料の検討もできなかったが、一応このような目的で、岩芯の収集をはじめたことの報告もかねて岩芯の記載を報告する次第である。

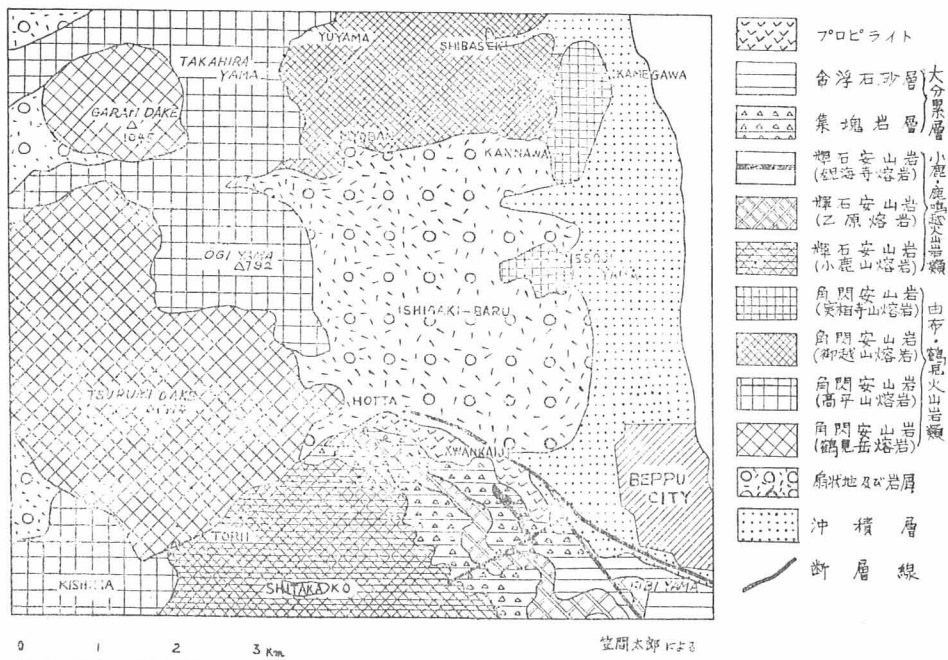
## 2 岩芯収集地点

岩芯の収集については次の五地点のうちⅠ、Ⅱ、ⅢⅤの地点を主にしておこなった。

	深度
Ⅰ…別府市観海寺地区=杉ノ井ホテル	220m
Ⅱ…別府市上原区=山村定氏宅	132m
Ⅲ…別府市上のケ浜=矢田医院(矢田淳氏宅)	270m
Ⅳ…別府市丘ノ湯=原爆治療研究所	220m
Ⅴ…湯布院町山下池付近=九州林産2号	224m

注 深度は採集コアのうち、最も深度の深いもので

Fig.1 別府市周辺地質図



空間太郎 による

ありⅠ、Ⅱ、Ⅲ、では掘さく孔の最終深度でもある。  
 以上の諸地点を従来行われた地質調査により作られた地質図からみると、Ⅰの観海寺地区は変朽安山岩 (Propylite) 地帯にあたるといわれており、Ⅱ、Ⅲの地点は沖積層、Ⅳは扇状地 (Fan deposits) または崖錐堆積物 (Talus deposits) となっている。またⅤの山下池付近の地質は地質調査所発行の20万分の1地質図によれば、鮮新世の輝石安山岩 (角閃石安山岩を含む) となっている。

3 岩芯の記載

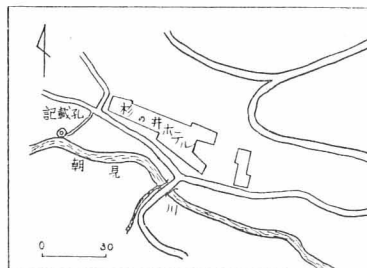
Ⅰ 別府市観海寺地区

温泉孔=杉ノ井ホテル (第2194号) 昭和39年2月  
 位置=別府市大字南立石2272  
 深度=220m (許可深度250m、口径75mm)

種類=噴気

地質=当地域のプロピライトは朝見川の右岸にそって乙原川の合流点付近から南立石にかけ、幅約300mの細長い露出がみられる。

Fig. 2 杉の井記載孔の位置



Tab.1 観海寺地区の岩芯の記載 (a)

深度 (m)	色	岩相	薄片	岩石名	組織	分析番号
40~50	緑	熔岩	○	プロピライト	残存	No. 1
60~70	赤+緑混在	〃		〃	〃	
70~80	緑	〃	○	〃	破碎	
90	緑 紫	〃		〃	残存	
100~110	赤 紫	〃		〃	〃	
120	緑	〃	○	〃	〃	
150	緑	〃	○	〃	〃	
150~155	赤 紫	〃		〃	〃	
180	緑	〃		プロピライト+方解石脈	〃	
190~195	白	岩脈	○	方解石脈	殆んど残存せず完全交代	
210	緑	熔岩		プロピライト	破碎	No. 3
220	緑	〃	○	含緑泥石・方解石、単斜輝石安山岩	残存	

Tab.2 観海寺地区の岩芯の記載 (b)

深度(m)	岩石名	検鏡記載
40~50	プロピライト	炭酸化はげしく、斜長石の斑晶はほとんど方解石により交代されている。組織は斑晶・石基が明瞭に保存されている。鏡下では斑晶は角がとれて粒状化し、磁鉄鉱は残存している。
70~80	〃	はげしい変質作用のため、組織がほとんど破壊されているが、わずかに斑晶の輪廓は認められる。
100~110	〃	組織は残存し、斑晶・石基の区別はみとめられる。斜長石の斑晶は方解石により交代されている。石基は黒褐色の微細鉱物、恐らく赤鉄鉱によって充填されている。
120	〃	組織は前者同様残存、輝石の部分が緑泥石にかわり、斜長石の部分は方解石に変わったものと思われ、両者の斑晶からできている。輝石は恐らく斜方輝石と思われる。
150	〃	斑晶・石基の区別ができるが、変質はげしく、斑晶の縁辺部は黒ずんで不明瞭、500ミクロン程度の放射状で波動消光を示すクリストバル石類似の鉱物がみられる。
190~195	方解石脈	完全に方解石により交代されている。これら方解石の結晶には斑晶である斜長石の外形は保存されている。
220	単斜輝石安山岩	殆んど変質をうけていない安山岩で、脈状に方解石脈、緑泥石脈が走っている。

分析値

大部分が温泉の熱水液による変質作用をうけているために、赤紫色または緑色に変色している。ここでは分析試料として、赤紫色に変質した部分 (No. 1) と

方解石脈により完全に交代作用をうけた白色の部分 (No. 2) と、緑泥石化のはげしい緑色の部分 (No. 3) の三者を分析に供した。分析結果は Tab. 3 に示す。

Tab. 3 観海寺地区の岩芯の分析値

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
SiO <sub>2</sub>	50.77	1.67	53.63	59.59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	22.41	2.56	23.65	13.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.49	0.66	6.68	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO) 6.46
CaO	1.83	53.74	1.85	5.80
MgO	0.90	0.32	0.65	2.75
Na <sub>2</sub> O	2.99	—	3.80	3.58
K <sub>2</sub> O	0.41	—	2.89	2.04
MnO	0.24	—	0.10	0.18
Ig loss	7.46	43.03	5.22	} 1.26
H <sub>2</sub> O(-)	1.83	0.41	1.97	
T o t a l	100.33	102.39	99.84	100.00

No. 4 は多数の安山岩の分析結果から算出された平均化学成分 (坪井誠太郎、岩石学 I より)

総括

以上のように変質作用は炭酸化作用が主であり、緑泥石化、酸化作用による赤鉄鉱化などがおこなわれている。本来プロピライト化作用の本質は斜長石類の曹長石化にあるのであるが、炭酸化作用が激しいために斜長石類の殆んどが方解石により置換交代されて、方解石のみからなる部分もある。

変質作用の激しい部分は70~80m、190~210mと交互になっており、ここでは岩石中の斑晶の各結晶面が破壊されて細粒化されている。なお最深部にあたる220mの岩石は弱い変質をうけた単斜輝石安山岩であった。従って、深部では必ずしも一樣に強い変質作用がおこなわれてはいないことになる。

また、これらプロピライトの源岩石は変質の少ない岩石中の斑晶の構成からみて、輝石安山岩類から変質して生成されたものと考えられる。掘さく従事者の話によると孔底までオールコアの採取が可能といわれる

II 別府市上原区

温泉孔=山村定氏他4名共有孔(第2311号)昭和39年2月

位置=別府市大字別府字中原3109-27(別府球場の南)

深度=132m(許可深度180m、口径50mm)

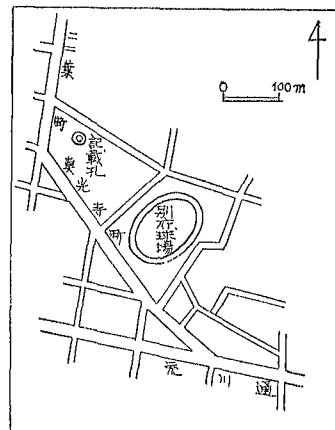
種類=温泉、孔底温度60°、揚湯温度57°、水位-14m  
揚湯量50ℓ/m 5Hp

地質=本地域は既存の地質図からみると、沖積層地帯にあたるが、地下では扇状地の堆積物からできていて

火山灰または火山砂の中に安山岩の礫が混じているものと思われる。

したがって掘さくの途中で礫の部分に遭遇すれば岩芯の採取が可能である。しかしながら礫の固定がわるく、岩芯に廻し切り、2度切りになっているものも多く見うけられた。掘さくの結果120mにいたって、盤に達したといわれる。

Fig. 3 山村氏宅記載孔の位置



Tab.4 上原区の岩芯の記載 (a)

深 度 (m)	温 度	岩 相	薄 片	岩 石 名	斜 長 石 類	
					屈 折 率 ( $n_f$ )	An %
0 ~ 6	50°C 52° 55° 61°	砂 礫			1.5506~1.5509	44~45
6 ~ 9		砂層+転石				
9 ~ 10.1		砂 層				
10.1 ~ 18		砂層+礫	○	角閃石安山岩	1.5481~1.5506	41~44
22 ~ 25		砂 層				
31 ~ 34		砂層+礫	○	角閃石安山岩	1.5576~1.5586	56~58
43.5 ~ 52.5		砂層+礫				
53 ~ 60		砂層+礫	○	複輝石安山岩		
66 ~ 66.4		砂 層			1.5586~1.5639	58~68
69 ~ 75		砂層+礫	○	複輝石安山岩		
85					1.5536~1.5561	48~53
98 ~ 102		砂層+礫	○	複輝石安山岩		
105 ~ 110		砂層+礫				
110 ~ 115		火山灰層			測定不能	
115 ~ 120		集塊岩状	○	変質複輝石安山岩		
120 ~ 124	砂層+礫		変質複輝石安山岩			
124 ~ 132	砂 層					

Tab.5 上原区の岩芯の記載 (b)

深 度 (m)	岩 石 名	検 鏡 記 載
9 ~ 18	角閃石安山岩	斑晶として角閃石が多く、角閃石はすべてオパサイト化をうけている。石基は微斑晶質である。
31 ~ 34	含単斜輝石 角閃石安山岩	前者より角閃石に少ないが、前者同様、すべてオパサイト化をうけている。石基は微斑晶質である。
53 ~ 60	複輝石安山岩	斜方、単斜の両輝石共に多く、形もいくらか大きい。石基は玻璃質。
69 ~ 75	複輝石安山岩	斑晶は単斜輝石の方が多く、両輝石は聚晶の傾向あり、石基は玻璃質。
98 ~ 102	複輝石安山岩	両輝石共に多く、形もいくらか大きい。石基は玻璃質。
115 ~ 120	変質複輝石安山岩	組織が破壊され、変質をうけている。形からみて複輝石安山岩が変質されて、変わったものと思われる。1mm以下の褐紅色、半透明の変質物が散点している。

総 括

岩芯の記載(a)からみて、砂層中に礫が混じられているものであるが、含有されている礫が深度50mを境にして、角閃石安山岩系と複輝石安山岩系に明瞭に分けられる。また、斑晶部分の斜長石の屈折率  $n_f$  の測定値も輝石安山岩系では明らかに高く、An 分の多いものであることがわかる。

なお、115~120~132m の間に含存される礫は変質がはげしい。盤といわれる124~132mの間は細粒の砂層からできている。

Ⅲ 別府市上のケ浜

温泉孔=矢田医院(矢田淳氏) (第2234号) 昭和39年2月

位置=別府市大字別府字仲間995-2

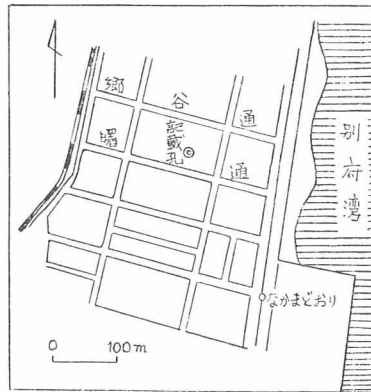
深度=270m (許可深度270m、口径38mm)

種類=温泉

地質=既存の地質図によれば沖積層の部分にあたるが地下のある深さからは扇状地堆積物よりできていると思われる。したがって、前者の場合とほとんど状態にはかわりがないと思われる。



Fig.4 矢田医院記載孔の位置



Tab.6 上のヶ浜の岩芯の記載 (a)

深度 (m)	岩 相	薄片	岩 石 名	そ の 他
40	砂 層			
69 ~ 75	砂層 + 礫	○	角閃石安山岩	
98	砂層 + 礫	○	角閃石安山岩	
100	砂層 + 礫	○	含単斜輝石、角閃石安山岩	
114 ~ 121	粗粒砂層			含植物化石
122 ~ 128	凝灰岩層			含植物化石
129 ~ 133	砂層 + 礫	○	複輝石安山岩	
133 ~ 154	凝灰岩層			含植物化石
154 ~ 199	{ 上 部 砂層 + 礫層 下 部 凝灰岩層			
216 ~ 222	砂層 + 礫			
224 ~ 250	砂層 + 礫	○	含方解石、複輝石安山岩	
250 ~ 270	{ 上 部 含礫凝灰岩層 下 部 凝灰岩層			下部に含植物化石

Tab.7 上のヶ浜の岩芯の記載 (b)

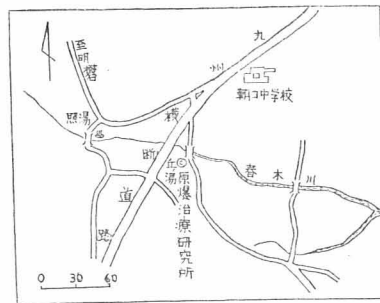
深度(m)	岩 石 名	検 鏡 記 載	斜 長 石 類	
			屈折率 (n <sub>1</sub> )	An %
69 ~ 75	角閃石安山岩	斑晶の角閃石はほとんどオパサイト化をうけ磁鉄鉱化しており、赤褐色の角閃石がいくらか残っている。石基は微斑晶質である。	1.5481~1.5506	41~44
98	角閃石安山岩	斑晶の角閃石は褐色、石基は玻璃質のものにいくらかの微斑晶を混じている	1.5481~1.5506	41~44
100	含単斜輝石 角閃石安山岩	斑晶の角閃石はオパサイト化をうけている。石基は微斑晶質で流理構造明瞭。	1.5506~1.5509	44~45
129~133	複輝石安山岩	斑晶には斜方・単斜の両輝石を含むが斜方輝石多く石基は玻璃質。	1.5639~1.5654	68~70
224~250	含方解石 複輝石安山岩	単斜輝石は斜方輝石より量は少ないが大型、石基は玻璃質、いくらか変質して方解石が含まれている。	1.5536~1.5561	48~53

総括

岩芯の記載にみられるとおり、ここでも角閃石安山岩系と複輝石安山岩系の境界が認められ、深度 120m 付近にこの境界がある。したがって、上原区との高度差が20mとすると、上原区が深度70mにおいて両岩系の境界が認められたので、両地区の両岩系の境界の深度差は90mということになる。

最深部224~250mの間において採取した岩芯にはいくらかの変質が認められ、若干の方解石が含まれていた。

Fig. 5 原爆治療研究所（丘ノ湯）



IV 別府市丘ノ湯

温泉孔＝原爆治療研究所

Tab. 8 原爆治療研究所の岩芯の記載

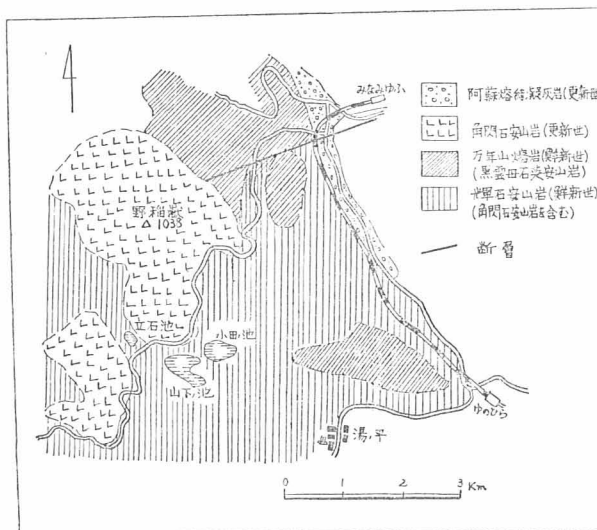
深度(m)	色	薄片	岩石名	記載
116	黒 灰	製作不能	変質安山岩	部分的に角閃石の斑晶がみられるが、変質甚だしくボロボロで黒色化している。
130	黒 灰	製作不能	変質安山岩	岩質は前者に同じく、黄鉄鉱の微粒により鉄染をうけ、方解石脈に貫かれている。
150	灰 白	○	角閃石安山岩	鏡下において、一部が方解石により交代されている。角閃石はオパサイト化をうけ、組織に甚だしく破壊されて全体に汚染され、斑晶の識別が困難。
200	灰白+紫赤	○	粒状化した角閃石安山岩	角閃石はオパサイト化をうけ、組織の破壊甚だしく、斑晶は粒状化している。

V 湯布院町山下池付近

温泉孔＝九州林産（第2046号）九林2号昭和39年2月  
位置＝大分郡湯布院町大字湯ノ平字ユノト1244-24

深度＝224mまで記載（許可深度300m、口径50mm）  
種類＝温泉

Fig. 6 山下ノ池付近の地質図



地質調査所20万分の1地質図による

Tab.9 九林2号の岩芯の記載 (a)

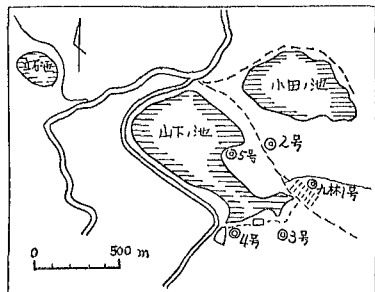
深 度(m)	色	岩 相	薄片	岩 石 名	斜 長 石 類	
					屈 折 率 (n <sub>1</sub> )	An %
5	灰	表土+転石			1.5481 ~ 1.5506	41~44
20	〃	〃	○	含複輝石、角閃石 安山岩	1.5399 ~ 1.5436	21~31
46	〃	凝灰角礫岩			1.5456 ~ 1.5481	35~41
71	〃	〃	○	含単斜輝石、角閃 石、安山岩	1.5481 ~ 1.5506	41~44
80	〃	〃			1.5481 ~ 1.5506	41~44
100	〃	〃			1.5399 ~ 1.5436	23~31
115	紫 灰	火山灰層を含み 変質甚だし	○	変質角閃石安山岩	1.5436 ~ 1.5456	31~35
116.5	黄 白	〃				
120	灰 白	〃	○	含複輝石、角閃石 安山岩	1.5456 ~ 1.5481	35~41
126	灰	〃	○	角閃石安山岩		
119~130	紫 灰	熔 岩	○	角閃石安山岩	1.5399 ~ 1.5436	23~31
130~150	灰	凝灰角礫岩			1.5456 ~ 1.5481	35~41
151	黒 灰	〃			1.5481 ~ 1.5506	41~44
160	灰	〃			1.5481 ~ 1.5506	41~44
166.3	灰 白	熔 岩	○	変質角閃石安山岩	1.5481 ~ 1.5506	41~44
174	紫 灰	凝灰角礫岩	○	変質角閃石安山岩	1.5481 ~ 1.5506	41~44
224	淡緑黒	〃	○	変質角閃石安山岩	変質のため測定不能	

Tab.10 九林2号の岩芯の記載 (b)

深 度(m)	温 度	岩 石 名	検 鏡 記 載
20		含複輝石、角閃石安山岩	典型的な角閃石岩、斑晶の角閃石はオパサイト化をうけていない。石基は玻璃質。
71	(67m) 25°	含単斜輝石、角閃石安山岩	〃 〃
115		変質角閃石安山岩	斑晶の角閃石はオパサイト化して黒色。石基は紫灰色で微斑晶質。
120		含複輝石、角閃石安山岩	斑晶の角閃石は5mm位のものがある。オパサイト化はうけていない。斜方輝石の方が単斜輝石より大きい。微斑晶質、石基には単斜輝石多し。
126	36.2°	角閃石安山岩	斑晶の角閃石は全部オパサイト化して黒色にかわっている。石基は玻璃質。
119~130		角閃石安山岩	斑晶の角閃石は全部オパサイト化して黒色。石基は微斑晶質で流理構造がみられる。
166.3	41.5°	変質角閃石安山岩 (含方解石)	角閃石は黒色のオパサイトにかわり、斜長石の部分は方解石により交代され、中心部に未交代の斜長石が残っているものがある。
174	42.5°	変質角閃石安山岩 (含方解石)	斑晶の角閃石はオパサイト化したものと、そうでないものが混じられている。全体に組織が破壊されている。また方解石により交代されている。
224		変質角閃石安山岩	最も変質が甚だしい。斑晶の角閃石は黒色のオパサイトに変っている。組織が破壊され、全体が鏡下で黒ずんでみえ、方解石は脈状に貫いている。

(参考) 九林2号の東南約300mにある九林1号における、孔内の温度は160m—55°、190m—68°、250m—97°、280m—121°、350m—137°、420m—170°、470m—169°となっている。

Tab.7 九林2号山下ノ池附近



総括

当地域の岩芯にみられる岩石は、すべて記載にみられるとおり、角閃石安山岩系のものであった。一般に角閃石安山岩系の岩石においては石基中の微斑晶にみられる輝石は斜方輝石のみよりなる場合が多いが、本地域の岩芯においては斜方輝石のみよりなる場合のほか、単斜輝石を含むものも多くみうけられた。

熱水による変質をうけたときみられる岩石は 115m のものと 166.3m 以下にある岩芯にみうけられた。し

たがって両者の中間には非変質の部分が挟まれている訳である。166m 以下の岩芯においては斜長石が方解石によって置換、交代されているものが多い。

4 岩芯の熱的識性質

Tab.11 は別府市杉の井ホテル、丘の湯及び由布院町山下池に於けるボーリングコアの熱的特性を示す諸量の測定値を示す。熱伝導率及び熱拡散率の測定方法は別報に述べられている(吉川、川西)。単位体積当りの熱容量は、熱伝導率を熱拡散率で除して求められ密度は質量及び体積を直接測って算出したものである。

これらの測定結果によると、熱伝導率は山下池及び丘の湯のものではいずれも  $3 \times 10^{-3}$  内外であるに比し杉の井のものは  $4 \sim 5 \times 10^{-3}$  でかなり大きく、密度も、2.5~2.7で山下池、丘の湯のもの(2.1~2.4)に比し高いことが注目される。ただ、乾燥させた資料が水につけて湿めさせたものに比べて熱伝導率が大きく出ていることには問題があり、今回の測定結果だけでは資料不十分で議論し難い。

Tab.11

場所	深度(m)	熱伝導率 (cal/cmsec°C)		熱拡散率 (cm <sup>2</sup> /sec)		熱容量 cal/cm <sup>3</sup> °C		密度 (g/cm <sup>3</sup> )	
		乾	湿	乾	湿	乾	湿	乾	湿
杉の井ホテル	40~50	$4.0 \times 10^{-3}$	$3.5 \times 10^{-3}$	$16.4 \times 10^{-8}$	$10.3 \times 10^{-8}$	0.25	0.33	2.52	2.54
	150	5.0	5.1	18.0	8.8	0.28	0.58	2.66	2.67
	150~155	4.4	3.9	15.7	5.2	0.28	0.75	2.43	2.50
	180	4.4	4.4	9.6	7.3	0.46	0.59	2.53	2.57
	190~195	4.9	4.3	15.2	7.6	0.32	0.56	2.63	2.64
	220	4.8	3.9	12.3	8.9	0.39	0.44	2.68	2.70
山下池	120	$1.7 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$	$4.7 \times 10^{-8}$	$3.8 \times 10^{-8}$	0.32	0.52	1.93	2.16
	122.5	3.3	3.0	7.7	6.7	0.43	0.45	2.37	2.40
	126	3.2	2.9	11.0	7.5	0.29	0.39	2.36	2.38
	119~130	3.3	2.6	7.0	3.0	0.47	0.87	2.37	2.41
	152	2.5	2.1	7.7	3.7	0.32	0.56	2.16	2.27
	166	3.4	3.3	8.0	6.2	0.42	0.53	2.32	2.38
	175	3.0	2.9	9.7	3.7	0.31	0.70	2.08	2.20
224	3.3	2.5	9.6	3.5	0.34	0.72	2.31	2.43	
丘の湯	150	$3.3 \times 10^{-3}$	2.1	$7.3 \times 10^{-8}$	$5.0 \times 10^{-8}$	0.45	0.43	2.19	2.34
	200	3.4	2.2	6.0	4.8	0.56	0.47	2.06	2.24

参照文献

- 1、笠間太郎：速見火山区の地質 (1953)
- 2、T. KASAMA : On the Rocks of the Hayami Volcanic Area (1954、1958)
- 3、松本唯一：由布鶴見火山群 (1918)

- 4、鈴木政達：別府付近の地史と温泉脈 (1937)
- 5、坪井誠太郎：岩石学I (1948)
- 6、久野 久：火山及び火山岩 (1960)
- 7、A. N. WINGHELL : The Element of optical Mineralogy (1933)