

大分県温泉調査研究会

報 告 第 18 号

昭和 42 年 3 月

目 次

大分県下温泉の生成過程 (3~4)	吉 川 恭 三	由 佐 悠 紀	三	(1)	
大分県天ヶ瀬、湯の釣温泉の水系	山 下 幸 三 郎			(15)	
別府温泉の泉源保護について(1)	山 下 幸 三 郎			(19)	
別府市内および湯布院町の温泉孔における岩芯調査報告 (第4報)	森 山 善 藏			(25)	
くじゅう火山群の温泉 (1~2)	志 賀 史 光			(37)	
放射能障害の温泉療法 (第21報)	八 田 秋			(49)	
放射能障害と温泉治療 (第22報)	八 田 秋 輝			(54)	
温泉の障害防止に関する研究 (第1報)	伊 藤 嘉 夫	中 溝 慶 生	古 英 樹	野 秀 俊	(58)
的ヶ浜温泉における糖尿病患者の温泉治療	矢 野 良 一	永 松 昭 生			(64)
大分県における温泉水中のゲルマニウムおよびガリウムの分布 (その2)	川 上 弘 泰	川 村 照 子			(67)
チロシナーゼ活性に及ぼす温泉作用の研究 (第5報)	野 崎 秀 俊				(71)
湯布院温泉現況調査	山 田 不 二 丸				(76)

正 誤 表

頁	誤	正
3	左列(10)式 $=cdT+Td\left\{\frac{\ell(1-w)}{T}\right\}$	$=cdT+Td\left\{\frac{\ell(1-w)}{T}\right\}$
〃	〃 (10)式 $c\frac{dT}{T}+d\left\{\frac{\ell(1-w)}{T}\right\}=0$	$c\frac{dT}{T}+d\left\{\frac{\ell(1-w)}{T}\right\}=0$
〃	〃 (12)式 $c\ln\frac{T}{T_0}=\frac{\ell_0(1-w_0)}{T_0}-\frac{\ell(1-w)}{T}$	$c\ln\frac{T}{T_0}=\frac{\ell_0(1-w_0)}{T_0}-\frac{\ell(1-w)}{T}$
16	第1表温泉番号天ヶ瀬9 大庭 武 (本陣)	(本 陣)
〃	〃 〃 11 久積新一 (福往)	(福 往)
〃	〃 〃 湯の釣 4 江藤賀多生	江藤多賀生
37	九重町南山田壁湯温泉の採水期日 1965.7	1966.7
38	直入町湯原七里田温泉の採水期日 1967.10	1966.10
39	湯の平温泉東屋の採水期日 1967.8	1966.8
41	左列3行目 噴気の凝縮水	噴気の熱水
44	右列14行目 噴気凝縮水	噴気熱水
54	左列14行目 700rad	400rad
76	第3表左上 泉温	泉 量

大分県下温泉の生成過程

(3) 地下の沸騰、凝縮過程

京都大学理学部 吉川 恭三
由佐 悠紀

1 まえがき

火山山麓部に展開する大規模温泉地では、その中で温度の高い温泉ほどその塩素含有量も多いという関係のみられる場合が多く、温泉水に温度や化学成分を与える源として背後の山体内に貯溜されている高温熱水の混入が考えられている。吉川・志賀・友定は別府温泉全域にわたる塩素とヨウ素含有量の一次関係から、上流部の沸騰泉にみられるような含塩量に富んだ高温水がうすめられて下流部の温泉水をつくっていると、山下と森は塩素量などを基準として熱の供給源として^{2), 3)}の高温熱水混入率を計算している。

山麓部温泉の生成についてこの様な熱水供給機構は別府温泉だけではなく、登別温泉の地獄谷から旅館街への温泉水の流動や、⁴⁾アトサヌプリ火山から川湯温泉への熱水供給過程など、⁵⁾くわしい資料にもとづく推定が行なわれ、これらが火山体からの熱量放出過程に大きい役割をはたしているものとして注目される。以上の研究で地下熱水は山麓温泉への熱源であるばかりでなく山腹噴気孔への水蒸気の供給源でもあり、山体内部の熱水は地表に向う上昇途中で沸騰し水蒸気はそのまま上昇して噴気孔をつくり、残りの熱水は下流部の地下水に液体のまま混入して化学成分と熱を与えられている。そうすると我々が現在地表で観察できる噴気や温泉の大部分は地下で液状の熱水の形を経過した後につくられたものとなり、その熱水の生成由来はもとより、その熱水が液状のまま山麓の地下水中に混入する水理学的機構と沸騰による蒸気放出過程の熱力学的機構とが温泉生成の問題に重大な役割を占めることとなる。

だいたい沸騰泉、噴気、とくにその現在利用中のものの物理的諸量を測定することは非常にむづかしいが、別府温泉の上流部に密集するこれら高温温泉群について湯原は精力的な観測を行ない、とくにその各噴気における乾き度に関する測定はその測定精度に多くの問題を含みながらも別府温泉の生成過程の研究に⁷⁾重要な資料を与えた。湯原・友定はこの資料を利用し、噴気も地下熱水から沸騰生成されたものと一応仮定した上

で福富の沸騰泉における理論を使って、地下熱水の温度とその静止水頭の推定を行なった。ところがその結果は鉄輪地区の一部の沸騰泉を除いた大部分で熱水の静止水頭が平均海面下数百 m 以深とあまりにも深い値となり、あるいはこれらの噴気は始に仮定したような熱水の沸騰ではなく、地下深部からの一次的な蒸気の噴出を考えねばならないのではないかとの疑を持った。

もしそうだとすれば、例えば別府市街地温泉の温度や塩素量の供給源をどう考えるかの問題が再燃する。前に述べたように、これらの温泉に塩素量を与えるためにはそれを溶解した液状のまま混入する食塩泉型の熱水を考えるのが現状でもっとも適当とされており、水理学的にはその熱水は少なくとも平均海面上40 m 以上の静止水頭を持つものでなければならない。したがって前記のような深い水頭の熱水がそのまま流動して温泉水中に混入するとは考えられず、地下でいったん沸騰過程をへて後はじめて水蒸気と共に浅層温泉水に混入し得るとされねばならない。また、上流部の噴気がこの熱水と無関係に一次蒸気により生じたものとすればこれら地熱域の地下機構は非常に複雑なものになってしまう。

一方、湯原・友定の研究で静止水頭が深いとされた乾き度の大きい噴気では液状で放出される水の化学組成の非常にうすいことが認められる。吉川・志賀・友定は小倉地区で200 m 深程度の井戸からの噴気でもこれらの塩素量が10 mg/l にすぎず、同程度の深さの沸騰泉における500 mg/l 以上の値に比べて極端な差のあることを知った。このような噴気では地下の沸騰により熱水が水蒸気と共に上昇噴出したとするより、上昇途中の水蒸気が凝縮していると考えた方がよさそうである。

かつて吉川は別府市街地温泉につき、⁹⁾全体的に混入している地下水と南部海岸から浸入した海水の影響とを一応除いたと思われる化学組成の分布からる種の温泉水系を考え、海門寺温泉脈附近に見られる塩素量も温度も高い温泉水系が全体的な基礎をつくり、それに中央部では流川温泉脈のやや上流部に代表される塩素

量の比較的小さい割に温度と重炭酸量の高い水系が加わり、北部ではそれにかわって塩素量と温度が低く重炭酸の多い水系が混入しているとした。上流部に沸騰泉、噴気の開発された現状からこの結果をふりかえると、海門寺温泉脈で代表される塩素量の大きい温泉水系を沸騰泉に見られるような熱水のうすめられたものとし、流川温泉脈で見られるように浅くて温度の高い水系は上流部観海寺の噴気におけるような熱水から分離した水蒸気で熱せられた浅い地下水の混入との説明が浮んでくるのである。重炭酸その他の成分については気相としての混入のほか、熱水の沸騰現象に伴う岩相への沈澱物が風化、溶解することによる寄与も考えられるであろう。

このように考えると、沸騰によって熱水と水蒸気とが同じ速度で上昇するとした沸騰泉における理論的仮定を現実の地下状況にそのまま適用することに疑問がおこってくる。もしそのような状態があれば、沸騰現象を通じて熱水の塩素量はそのまま上方へ運ばれ、地表への噴出水や浅層の高温水にもかなりの高塩素量が含まれてよいはずだからである。福富はアトサヌプリ地熱地域の研究で、地下に空洞を考へそこで熱水と水蒸気が分離して別々に行動すると仮定したが、空洞を仮相しなくても地層中でこのような分離の過程を考へることはいろいろな現象を説明するに都合のよいことは事実である。

しかし、我々はこの仮説に立ち入る前に地下の沸騰過程に対する従来の熱力学的考察をさらに吟味し拡張する必要を感じた。先に述べた福富の沸騰泉の機構に対する先進的な研究以来、深部地熱の開発は飛躍的に進み、その理論を拡大適用するには、熱水の沸騰過程だけでなく水蒸気の凝縮過程をも含めたもっと広い範囲の理論的取扱を必要とするに至った。この報告の主眼は従来の沸騰泉理論とほぼ同程度の仮定の範囲内で熱力学的考察を進め、その不備を補なうと共に、この理論で説明しきれぬ実状の限界を求めて基礎的仮定の適用範囲の制限を明らかにする理論的吟味の段階である。

2 基礎方程式

福富は沸騰泉の機構を説明するのに⁸⁾、地下より上昇してきた液相のみの熱水が温泉管中で沸騰して熱水と水蒸気の混合流体として流動、噴出する過程を考察し、外部との熱の出入りが無いとの仮定のもとで、熱量の連続式として

$$c\theta_1 = w_0 c\theta_2 + (1-w_0)l + (1-w_0)c_v\theta_2 \quad (1)$$

管内での混合流体の流動の式として

$$\frac{1}{2g} (W_0^2 - W_1^2) + h_1 = \int_{p_0}^{p_1} v dp \quad (2)$$

を用いている。ここに θ_1 は沸騰のはじまる点での熱水の温度、 θ_2 は地表の噴出口での混合流体の温度、 c は水の比熱、 c_v は水蒸気の定容比熱で考える範囲において一定とする。 l は蒸発の潜熱で 100°C での値 539.1cal/g を用い、 w_0 は地表における混合流体単位重量中の水の割合を示し、湿度と呼ばれているものであり、したがって $1-w_0$ は水蒸気の割合を示し乾き度と呼ばれている。また W_0 、 W_1 はそれぞれ地表および沸騰のはじまる点での流速、 h_1 は沸騰の深度、 p は圧力、 p_1 は沸騰のはじまる点の圧力、 p_0 は大気圧、 g は重力の加速度、 v は混合流体の比体積である。

湯原・友定はこれらの式が井戸管中のみならず、より下方の地層中にも適用できるとして、別府における地下熱機構を推定した⁷⁾。

ところで(1)式を書きかえると

$$c(\theta_1 - \theta_2) = (1-w_0)(l - c\theta_2 + c_v\theta_2) \quad (1')$$

(1')式の左辺は温度差についての式であるが、右辺はそうではなく、例えば潜熱の数値をそのままとして、温度の値をセツ氏の代りに絶対温度を用いれば計算の結果はまったく異なる。また他の研究ではしばしば地下熱水と地表に噴出した混合流体のエンタルピーは変わらないとの仮定で地下熱水の温度を推定することが行なわれているが、これと(1)式との関係はどうであろうか。

これらの事情を追求するため(1)式の意味する所を改めて理論的に考察する必要があると思われる。

流体の熱量変化につき、熱力学の第1法則から次式が成立すると云われている。

$$dq = d\mathbf{u} + A p dv = d\mathbf{u} + A d(pv) - A v dp \quad (3)$$

ここに dq は他から与えられる熱量、 \mathbf{u} は内部エネルギー、 A は熱の仕事当量 J の逆数で $2.39 \times 10^{-8}\text{cal/erg}$ である。

いま管中の水と水蒸気が完全に混合して流動し、力学的には一相の流体として取扱える場合を考え、その単位質量当りの熱量変化について(3)式が適用されると仮定する。そのとき熱水および水蒸気の比体積をそれぞれ v_1 、 v_2 、内部エネルギーをそれぞれ u_1 、 u_2 とし、乾き度を $1-w$ とあらわせば、その混合流体の比体積と内部エネルギーはそれぞれ次のように与えられる。

$$v = (1-w)(v_2 - v_1) + v_1 \quad (4)$$

$$u = (1-w)(u_2 - u_1) + u_1 \quad (5)$$

(4)、(5)式を(3)式に代入して

$$dq = d\{ (1-w) \{ u_2 - u_1 + A p (v_2 - v_1) \} \} + d\mathbf{u}_1 + A p dv_1 - A (1-w)(v_2 - v_1) dp \quad (6)$$

この流動過程で水蒸気は常に飽和の状態を保ち、混合流体の温度と圧力は水と水蒸気に関する飽和曲線上を変化すると仮定すると、各温度での蒸発の潜熱 l は

次の関係をみたと考えられる。

$$l = u_2 - u_1 + A p (v_2 - v_1) \quad (7)$$

$$= AT (v_2 - v_1) \frac{dp}{dT} \quad (8)$$

ただし、Tは絶対温度。いま考えている変化範囲では水の定圧比熱は一定とみなせるとして、cとおくと

$$cdT = du_1 + A p dv_1 \quad (9)$$

(7)、(8)、(9)式を(6)式に代入して変形すれば、

$$dq = cdT + d \left\{ l (1-w) \right\} - A (1-w) (v_2 - v_1) dp \\ = cdT + T d \left\{ \frac{l (1-w)}{T} \right\} \quad (10)$$

この流動過程で外部との熱の出入りがなく、また摩擦により与えられる熱量が無視できるとすると、 $dq = 0$ となり、

$$c \frac{dT}{T} + d \left\{ \frac{l (1-w)}{T} \right\} = 0 \quad (11)$$

の関係が与えられる。

流動の任意点での乾き度、温度、蒸発の潜熱をそれぞれ $1-w$ 、 T 、 l とし、噴出する末端での状態を $1-w_0$ 、 T_0 、 l_0 とすると、上式を積分して、

$$c \ln \frac{T}{T_0} = \frac{l_0 (1-w_0)}{T_0} - \frac{l (1-w)}{T} \quad (12)$$

各温度についての $\frac{l}{T}$ の値をあらかじめ求めておくと、この式を利用して噴出口における $1-w_0$ 、 T_0 の観測値から管内における温度と乾き度の関係を知ることができる。

ところで実際の沸騰泉あるいは噴気孔において、噴出する混合流体の成因には二つの過程が考えられる。一つは沸騰泉の定義で示されるように、地下の熱水が上昇沸騰し、水蒸気の量を増す一方温度は低下するという過程、二つには地下で供給された水蒸気が上昇するにつれて断熱冷却を受け水蒸気の凝縮がおこる過程である。いま仮りに前者を沸騰過程、後者を凝縮過程と呼ぶことにすると、(12)式は外部と熱の出入りがなくまた水の比熱が一定と仮定される温度範囲でのこの両過程を説明しうる基本的な関係を表わしている。

地表での噴気の観測から、それに含まれる水分の由来を推定する一方法がつかいのように示される。

(12)式を微分して

$$\frac{d(1-w)}{dT} = \frac{1}{l} \left(\frac{1-w}{T} - \frac{1-w}{l} \frac{dl}{dT} - c \right)$$

地表での温度を 100°C とすれば、 $l = 539.1 \text{ cal/g}$ 、 $c = 1 \text{ cal/g}$ 、また $w = w_0$ 、および 100°C に近い範囲

では $\frac{dl}{dT} \approx -0.6428 \text{ cal/g} \cdot \text{deg}$ であるから

$$\left. \frac{d(1-w)}{dT} \right|_{T=373^\circ\text{K}} = \frac{1}{539.1} \left\{ 2.09(1-w_0) - 1 \right\}$$

この関係で $1-w_0 > 0.48$ ならば $\frac{d(1-w)}{dT} > 0$ で、水

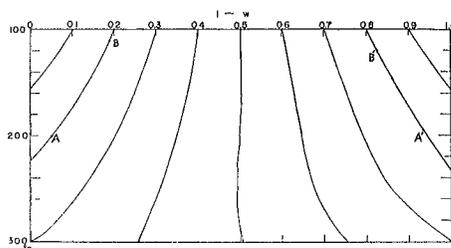
は水蒸気の凝縮で得られたものであり $1-w_0 < 0.48$

ならば $\frac{d(1-w)}{dT} < 0$ で沸騰過程を示すものであり、

この限界値0.48は地中において臨界温度の熱水が1気圧まで減圧されることにより沸騰した水蒸気量を示すと考えられるが、(12)式のc一定の仮定をこの温度範囲まで拡張することはできない。

今(12)式を実際の噴気・沸騰泉の機構に適用する場合の便宜のため、1気圧、 $T_0 = 373^\circ\text{K}$ の場合の $1-w_0$ の値を与えてそれに対する地中各温度での $1-w$ を求めた結果を図1を示して図1を得る。

図一1 地中温度と乾き度の関係



この図で例えばf点にある混合流体は線ABに沿って状態を変えながら沸騰を続けB点であらわされる混合流体になり、またA'点にある混合流体は線A'B'に沿って凝縮しながら点B'であらわされる混合流体になることを示している。

3 地下の沸騰過程

熱水が地中で蒸気量0の状態から沸騰を開始し、水蒸気は常にその温度における飽和水蒸気圧を保ちながら液体とともに流動する過程は、(12)式の $1-w = 0$ とおいた次式の場合にあたる。

$$c \ln \frac{T_1}{T_0} = \frac{l_0 (1-w_0)}{T_0} \quad (13)$$

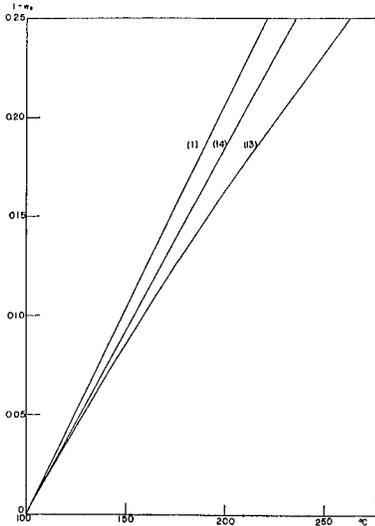
この T_1 は沸騰のはじまる温度、すなわち断熱過程という仮定のもとでの地下熱水の温度を示すものである。 T_1 が T_0 に近い範囲では(13)式の近似式として

$$c(T_1 - T_0) = l_0 (1-w_0) \quad (14)$$

が求められ、これは(10)式を求める過程で

$A(1-w)(v_2 - v_1) dp$ の仕事の項を他の熱量項に較べて小さいとして無視した場合にあてはまる。この近似度がどの程度であるかを知るため、図2に $T_0 = 373^\circ\text{K}$ (100°C) として、(13)と(14)式からそれぞれ計算した $1-w_0$ と T_1 の関係を示すが、地下熱水の温度が約 170°C 位までは(13)式の代りに(14)式を用いた T_1 の値の誤差は1割以内にとどまることが示される。

図一2 T₀ = 373°K (100°C) のときの地表における乾き度と沸騰温度の関係。各線は () 中に示した式からの計算値。



福富が沸騰泉機構の解析に用いた(1)式は、ここに得られた近似式(14)の形とも異なっている。他の研究例でもこの(1)式を基礎の熱量連続式として用いている場合が多いので、この(1)式の意味や近似度につき考察を進めてみる。いま水蒸気が完全理想気体とみなせるとすると、一般に(7)式から温度T'における潜熱 l' 、圧力 p' 、とT''における潜熱 l'' と圧力 p'' の間には水蒸気の定圧比熱を c_p として次の関係が成り立つ

$$l'' = l' - (c - c_v)(T'' - T') + A(c_p - c_v)(T'' - T') + A v_1(p' - p'') \quad (15)$$

ここでAを含む仕事の項は他の熱量項に較べてかなり小さく、ほとんどの場合無視されてよい程度であるから、温度をセツ氏であらわし、0°Cにおける潜熱をL、 θ °Cにおける潜熱を l とすると近似的に次の関係が求められる。

$$l = L - (c - c_v)\theta \quad (16)$$

(14)式の l_0 に(16)式であらわされる θ_2 °Cでの潜熱を代入すれば

$$c\theta_1 = w_0 c \theta_2 + (1 - w_0)L + (1 - w_0)c_v \theta_2 \quad (17)$$

となり(1)式と同じ形に書きかえられるから、もし(1)式を熱水の沸騰過程における熱量連続の関係(13)式の近似として用いるためには式中の l の値として福富のように100°Cでの値539.1cal/gを使わず、0°Cでの値595cal/gをとらねばならないことがわかる。参考として(1)式で l に100°Cでの値を入れた場合の $1 - w_0$ と T_1 との関係を図2中に示したが、ふつうの沸騰泉に多く見られるように $1 - w_0$ が0.02以下の範囲の解析では

地下熱水の温度の推定にそれほど大きな誤差は生じないとみられるが、 $1 - w_0$ が大きいほどその推定値は(13)式を用いた値より低くなり、 $1 - w_0 = 0.1$ ではおよそ10°Cほど低く見積られる。

沸騰泉における熱量に関する基礎式として(1)式の代りに(13)式を用いる一例として、地下沸騰における化学成分の濃縮を考えよう。

地下にある熱水が、井戸管中を上昇する途中で沸騰・蒸発すれば、その温度は低下し、熱水の化学成分は濃縮される。福富は沸騰前の濃度 x と地表の噴出口での濃度 m の間に(1)式を用いつぎの関係を求めた。

$$x = m \left[1 - \frac{c}{l} \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \frac{c - c_v}{l} \theta_2} \right] \quad (17)$$

これを(13)式から書きかえると

$$x = m \left(1 - \frac{c T_0}{l_0} \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \quad (18)$$

m を与えてこの両者の結果を比較するとき、 T_1 が430°K程度までの範囲では x の値にはそれほどの違いがない。

福富は伊豆半島の観測例で沸騰点以下の温泉水中の塩素濃度と泉温の間に一次関係のあることから、沸騰過程を経ない地下熱水の塩素濃度にも同じく、 $x = \alpha \theta_1 + \beta$ の一次関係が拡張されるとし、これと(17)式との連立から θ_1 の値を求めた。この計算を(18)式を用いて行なっても θ_1 の値として同じく107°Cの値が求められ、両者は一致するが、これは沸騰の温度が100°Cに近いからである。

4 沸騰の深度

1節に示したように、管壁における摩擦がないとすれば、熱量の連続式(10)と混合流体の運動に関するベルヌイの式(2)は連立する。このベルヌイの式を流管に沿う dz ごとの微分形であらわすと次のようになる。

$$v dp + g dz + W dW = 0 \quad (19)$$

(4)式から

$$v dp = (1 - w)(v_2 - v_1) dp + v_1 dp \quad (20)$$

(10)式から

$$(1 - w)(v_2 - v_1) dp = J [dq - c dT - d\{l(1 - w)\}]$$

この流管につき外部との熱の出入りがないとすると $dq = 0$ で、(19)式はつぎのように書きかえられる。

$$d\{l(1 - w)\} + c dT + A v_1 dp + A g dz + A W dW = 0 \quad (21)$$

$z = 0$ を地表とし、地中任意の点 z と $z = 0$ との間で積分して

$$l(1 - w) - l_0(1 - w_0) + c(T - T_0) + A v_1(p - p_0) + A g z + \frac{1}{2} A (W^2 - W_0^2) = 0 \quad (22)$$

$$z = \frac{\ell_o(1-w_o) - \ell(1-w) + c(T_o - T) + Av_1(p_o - p)}{Ag} + \frac{W_o^2 - W^2}{2g} \quad (23)$$

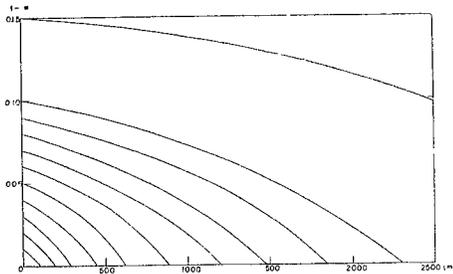
しかるに(23)式右辺第1項の分子は、温度Tで1-wの水蒸気を含んだ混合流体のエンタルピー*i*と、温度T_oで1-w_oの水蒸気を含んだ混合流体のエンタルピー*i*_oの差であるから

$$z = \frac{i_o - i}{Ag} + \frac{W_o^2 - W^2}{2g} \quad (24)$$

のように簡単な形に書きかえられる。

地表における温度、乾き度が与えられれば(19)式から地中でのTと1-wの関係が求められ、各温度における水と水蒸気それぞれのエンタルピーは表から求められるから、その混合比率1-wについての混合流体のエンタルピーが計算される。あとで述べるようにW_oとWを含む項はエンタルピーの項に較べてかなり小さい場合が多いから、これを無視できるとすると、(24)式より地下の深さzと1-wとの関係を知ることができる。図3にT_o=373°Kのときの例を示す。例えば、地表においてT_o=373°K、1-w_o=0.05のとき、200mの深さでも1-w≒0.043、そのときT=381°Kで地表の状態との差は小さく、状態が大きく変化するためには長い区間の流動を必要とする。

図3 地表の温度100°Cのときの乾き度と深さの関係



つぎに地下の深さh₁で沸騰がはじまる場合を考える。このときは、z=-h₁で1-w=0であり、また温度、圧力、流速はそれぞれT₁、p₁、W₁であるとすれば(22)式より

$$h_1 = \frac{c(T_1 - T_o) - \ell_o(1-w_o) + Av_1(p_1 - p_o)}{Ag} - \frac{W_o^2 - W_1^2}{2g} \quad (25)$$

右辺第1項の分子は(24)式と同様にエンタルピーを用いて書きかえられる。また質量の連続より

$$W_o = \left\{ 1 - \frac{\rho_v - \rho}{\rho_v} (1-w_o) \right\} W_1'$$

$$\approx \left\{ 1 + 1580(1-w_o) \right\} W_1$$

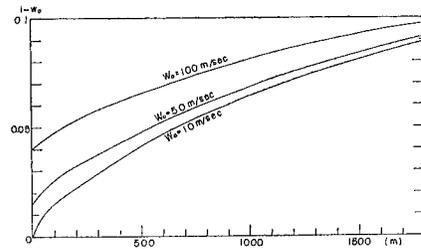
であるから、1-w_o>0.01ではW₁'²はW₁²に較べて

無視できるとしてもよい。したがって(25)式は近似的に下記のようにつける。

$$h_1 = \frac{i_1 - i_o}{Ag} - \frac{W_1^2}{2g} \quad (26)$$

ここでi₁は地下熱水のエンタルピーである。したがって、地表における温度、乾き度が与えられれば、(19)式から沸騰の温度T₁が求められ、さらに流速が与えられれば、(25)式から沸騰のはじまる深さhを推定することができ、図4にT_o=373°K、W_o=10m/sec、50m/sec、100m/secのときのhと1-wの関係を示す。

図4 沸騰深度と地表における乾き度との関係



この図から、W_oとh₁を与える事により、逆に地表における乾き度1-wを推定することができる。例えば地下300mの深さで沸騰をはじめたとすれば、地表における流速が10m/sec、50m/sec、100m/secのとき1-wはそれぞれ0.029、0.038、0.057であり、500mの深さで沸騰をはじめたとしても、それぞれ0.041、0.049、0.065である。これからすると、別府での資料で噴気孔の深度が300mに達しておらず、噴出速度が50m/sec以下のものでも、1-w_oが0.1以上のものがあり、また九重町の地熱発電用坑井の深度は500m内外であるにもかかわらず、1-w_oが0.2以上のものがあることからすれば、井戸底よりはるか下方の地層中ですでに熱水が沸騰をおこなっていると考へねばならない。

さて(25)式右辺の熱量項に(19)式の結果を代入すると

$$h_1 = \frac{c(T_1 - T_o) - cT_o \ln \frac{T_1}{T_o} + Av_1(p_1 - p_o)}{Ag} - \frac{W_o^2 - W_1^2}{2g}$$

T₁がT_oに近いとして対数項を展開し、第二次項までとって代入すれば

$$h_1 = \frac{c(T_1 - T_o)^2}{2T_o Ag} + \frac{v_1(p_1 - p_o)}{g} - \frac{W_o^2 - W_1^2}{2g}$$

T_o=373°K、およびA、gの数値を入れて計算すると、右辺第1項は57.5(T₁-373)²となり、右辺の力学項が小さく無視できるときには

$$h_1 = 57.5(T_1 - 373)^2 \text{ (cm)}$$

として近似的に h_1 を求めることができる。この関係は湯原・友定が福富の計算値から(2)式の $\int_{p_0}^{p_1} v dp$ の値が近似的に $61(\theta_1 - 100)^2 \text{ (cm)}$ とおけるとした事とほぼ一致するが、地下熱水の温度 T_1 の見積りがこの報告の(13)式で計算した値の方が大きいために、(20)式を用いて計算した h_1 の値は湯原・友定の推定より非常に大きく見積られる結果となる。例えば湯原の資料⁹⁾を用いて計算した別府の数孔での結果を比較すると表1のようになる。

表 1

噴気孔名	θ_1 (°C)	θ_1' (°C)	h_1 (m)	h_1' (m)
堀田 2	130	161	483	1970
堀田 3	132	195	619	9390
八幡 6	109	116	58	380
八幡 19	118	139	176	1240
観海寺 1	112	140	67	1380
観海寺 2	119	153	217	2010
観海寺 3	119	149	210	700

θ_1, h_1 は湯原・友定の結果

θ_1', h_1' はこの報告の理論による結果

表1にみられるように沸騰の深度は湯原・友定の推定よりもさらに深くなり、10000mに達するものさえある。ボーリング資料による地層の状況からみても、例えば生目神社附近の150m以深の輝石安山岩層に熱水の存在することが示されており、数千mの深所で沸騰した熱水がそのまま直接浅層まで上昇して来ているとは考えにくい。またまえがきに述べたように、もしこの熱水と別府市街地の温泉が水理的に連続している状態にあるならば、熱水が温泉水中に供給されてその化学成分や温度の源となることは考えられず、逆に市街地温泉水層から深部熱水層へ温泉水の供給が起っていないければならない。このような現象を推定することは現状としては非常に無理があるように思われる。

そこでこのように h_1 の値が大きく見積られた理由を(20)式にかえてもう一度考えよう。

(20)式を書きかえて

$$Agh_1 = c(T_1 - T_0) - \ell_0(1 - w_0) + Av_1(p_1 - p_0)$$

$$-\frac{W_2^2 - W_1^2}{2g}$$

h_1 の値として井戸の深さを採用し、大きく見積って300mとし、流速として別府における湯原の観測値より60m/sec、乾き度 $1 - w_0 = 0.1$ 、温度 $T_0 = 373^\circ K$ を仮定したとき、上式の力学項は熱量項に較べて微小となり無視できる。このような場合には、一般に行わ

れているように地下熱水のエンタルピーと地表に噴出する混合流体のエンタルピーは変らないものとして、近似的に地下熱水の温度を推定することができる。

ところが、 $T_0, 1 - w_0$ より(19)式を用いて地下熱水の温度を推定し、その値を用いて(20)式または(20)式から h_1 の値を推定する際には問題が生じてくる。つまり前述したように熱量項は力学項に較べて大であるから、熱量項におけるわずかの違いが力学項の h_1 には大きな違いとなってあらわれてくるのが考えられ、例えば温度の推定値が $1^\circ C$ 高く見積られると深度は約400m深く見積られる結果になるのである。したがって地下熱水の温度の推定はきわめて慎重に行なわれなければならない。しかし各孔井についての h_1 の値はすべて大きく見積られているのであるから、諸要素の測定やそれを用いて温度・深度を推定するときに生じる誤差のみが、 h_1 を過大に見積る原因とは考えられず、ほかにその原因を求めなければならないのではなからうか。

4 管壁における摩擦と冷却

前節に述べたように、この理論から推定された沸騰の深度は実情から離れたあまりに大きい値ではないかとの疑問が起る。すなわち、考えられた仮定の中に実情と合わないものがあるのではないか。その第1として考えられることは、熱水と水蒸気の混合流体が上昇する途中での管壁における摩擦や冷却を無視した効果である。

まずはじめに管壁における摩擦は無視でき、流体がdz間流動する間に系外に各単位質量あたり dq_a の熱の逸散がある場合を考える。これは(10)式において $dq = dq_a$ とした場合に相当する。この関係と(10)式および(20)式よりつぎの関係が求められる。

$$d\{\ell(1 - w)\} + cdT + Av_1 dp + Agdz + AWdW + dq_a = 0 \tag{27}$$

ここで地下熱水の温度、圧力、流速および沸騰の深度をそれぞれ T_2, p_2, W_2, h_2 とする。前に述べたように熱水の流速 W_2 は地表における混合流体の流速 W_1 に較べて無視できるから(27)式より

$$\ell_0(1 - w_0) + c(T_0 - T_2) + Av_1(p_0 - p_2) + Agh_2 + \frac{A}{2}W_0^2 = -q_a \tag{28}$$

また摩擦も冷却も無視した場合は(25)式より

$$\ell_0(1 - w_0) + c(T_0 - T_1) + Av_1(p_0 - p_1) + Agh_1 + \frac{A}{2}W_0^2 = 0 \tag{25'}$$

ここに T_1 は(13)式から計算された熱水の温度である。したがって(28)式と(25')式からつぎの関係が求められる。

$$q_a = c(T_2 - T_1) + Av_1(p_2 - p_1) + Ag(h_1 - h_2) \tag{29}$$

(29)式右辺第1項と第2項の和は実際の熱水のエンタルピーと、管壁における摩擦や冷却の効果を無視して推定した熱水のエンタルピーの差であり q_a に等しく、したがって $h_1=h_2$ となる。すなわちこの場合、熱の逸散がないとの仮定で(19)式より推定された熱水の温度は実際の温度より低く見積られるにもかかわらず沸騰の深度は結果的には同じ値になる。

つぎに管壁摩擦があり、流動の過程で冷却はない場合を考える。たとえば別府市の地熱地帯では地下の温度も高く、また地下のかなり広い範囲一帯に熱水が存在している可能性が強く、このような地域では管壁を通して系外に逸散する熱量は小さいと仮定して無視してもよいであろう。

さて、管壁摩擦があれば力学的エネルギーの熱への転移があり、これまで取扱って来たように熱量の連続式(3)で $dq=0$ とおいたものと、流動についてのベルヌイの式(10)は単独にはもはや成立せず、このような場合には全エネルギーについての連続を考えなければならない。すなわち各単位質量当りの摩擦による熱量変化を dq とすれば

$$dq + Agdz + A v dp + A W dW = 0 \quad (30)$$

という関係が成立する。この式と(10)式、(29)式を組みあわせ、(29)式を求めるときと同様の取扱いを行えばつぎの関係が求められる。

$$c(T_2 - T_1) + A v_1(p_2 - p_1) = Ag(h_2 - h_1) \quad (31)$$

このとき、地表で観測された温度や乾き度には管壁摩擦によって発生した熱量が加味されているのであるから、摩擦の効果を無視して(19)式から推定された温度 T_1 、ひいては圧力 p_1 は共に実際の温度 T_2 や圧力 p_2 より大きく見積られているとしなければならず、したがって沸騰の深度も実際よりは深く見積られていることになる。

それでは、摩擦の効果の大きさはどの程度であろうか。いま摩擦による水頭降下を dHr であらわせば、ベルヌイの式はつぎのように書ける。

$$v dp + g dz + W dW + g dHr = 0 \quad (32)$$

これを書きかえて

$$v dp + g(dz + dHr) + W dW = 0 \quad (32')$$

この式の左辺第2項と(19)式の左辺第2項を比べると、管壁における摩擦を無視して見積られた沸騰の深度は、実は実際の深度と摩擦による水頭降下量の和であることがわかる。

ただし(32')式の $v dp$ の項は力学的エネルギーが摩擦により熱に転移した効果を含むものであり、(19)式における摩擦のない場合の $v dp$ の値とは異なることに注意されたい。

まず井戸管壁の摩擦による水頭低下量を見積ってみよう。

井戸管の断面は一律で円形であるとし、全長を Z 、直径を D 、乱流摩擦係数を λ とすれば水頭低下量 Hr は

$$Hr = \int_{-Z}^0 \frac{\lambda W^2}{2 Dg} dz$$

と考えるのがもっとも一般的である。

W の分布は複雑であるから、この積分はむづかしい。しかし井戸管の全長を $200m$ とすると、前に述べたようにこの程度の流動区間では一般に混合流体の温度・乾き度の変化は小さく、したがって W の変化もさほど大きくないから、おおざっぱに平均流速 \bar{W} を用いて上式をつぎのようにあらわすとする。

$$Hr = Z \frac{\lambda \bar{W}^2}{2 Dg}$$

ここで乱流摩擦係数 λ はレイノルズ数と管壁の粗さの関数であり、さらに流れている流体が水と水蒸気の混合流体であるからこの λ の値を正確に見積ることは困難であるが、 $100^\circ C$ における水と水蒸気の動粘性係数はそれぞれ 0.02 、 0.1 とそれほど違わず、一方乾き度が 0.1 程度の混合流体の密度は $0.6 \times 10^{-3} g/cm^3$ であるから、流れている混合流体の動粘性係数を水蒸気と同じ値とみなして λ を見積ってもおおよその見当をつけることができる。

また管壁の粗さについては瀬野・湯原が噴気孔の研究において、管壁はなめらかであると仮定してブラジウスの式から λ の値を計算し実情とかなり合う結果を得ているので、これに習うことにする。

このようにして計算すると平均流速が $50m/sec$ のとき $\lambda=0.0171$ 、 $Hr=8800m$ 、 $10m/sec$ のとき $\lambda=0.0255$ 、 $Hr=520m$ となり、この摩擦による水頭降下量は(32')式からわかるように、そのまま沸騰開始点の深度の計算に効果を与える。

またこの摩擦の効果も温度に換算すれば、それぞれ $20.6^\circ C$ 、 $1.2^\circ C$ となり地下熱水の温度はこの流速の範囲内で、(19)式からの推定値より $1^\circ C$ から $20^\circ C$ ほど低いものと考えられる。

さらに管の下方の地層割れ目中ですでに沸騰して、その割れ目の中での摩擦効果も加えて考えるとすれば、その割れ目断面が円形とすると D の値は井戸の口径よりかなり小さい場合が考えられるから、摩擦による効果はますます大きくなり沸騰の温度や深度の推定は地下の流動摩擦により大きく左右されるという説明もありそうである。しかし乱流摩擦係数 λ ・流速 W の分布・流体が流れる区間の長さの推定は前にも述べたように困難であり、したがって摩擦効果を正確に見積ることは非常にむづかしい。

沸騰の温度・深度の推定値が過大である理由として、

もう一つ考えられることは沸騰開始点を $1-w=0$ と定義した点にある。

一般に水の沸騰現象を考える場合、乾き度 $1-w$ が非常に小さい範囲では、水蒸気は水と別個に運動し、おそらくは水よりはるかに早く上昇するであろう。そうしてある程度大きい $1-w$ の値に達してのち、しだいに水と同じ速度で混合流体としての運動がはじまると考えられる。したがってベルヌイの式が適用されるただ一相の混合流体としての流動範囲の下限界では $1-w$ は 0 ではなく、ある程度の値を持つとみななければならない。このような沸騰面近くでの水蒸気の行動についてはほとんど資料がなく、今後実験的研究によらねば解決しえない問題である。

さらに、この沸騰が井戸管内でなく、地層中の不連続面で行なわれるとき、水と水蒸気の分離の傾向はさらに強いと考えられ、福富がアトサヌプリ近くで仮定したように、熱水はそのまま地層中を下流へと流動し、水蒸気だけが割れ目の中を上昇する場合も考えられる。このような地中での沸騰にともなう水と水蒸気の分離運動は地下熱機構を探る上に根本的な問題であり今後の研究を必要とする。

また最近地下一帯に存在する熱水の化学組成は比較的明らかになって来たから、沸騰泉と噴気により地表に噴出する温泉水の化学組成を比較検討することから、

沸騰による熱水の上昇過程が推定される道も開ける可能性があると考えられる。

参 考 文 献

- (1)吉川、友定、志賀：大分県温泉調査研究会報告、17号、pp. 1~4、1966
- (2)山下：同上16号、pp.44~47、1965
- (3)山下、森：同上17号、pp.12~17、1966
- (4)福富：温泉科学、16巻、2号、pp.51~59、1966.
- (5)福富、須川、小林、徳永、和田、和氣：北大地球物理学研究報告、16号、pp.63~80、1966
- (6)湯原：大分県温泉調査研究会報告15号、pp.15~25、1964
- (7)Yuhara K. and A. Tomosada : Special Contribution Geophys. Inst. Kyoto Univ., no. 5 pp.33~44、1965
- (8)福富：地震、14巻、1号、1942
- (9)吉川：大分県温泉調査研究会報告、2号、pp.53~64 1951
- (10)Fukutomi T. : Jour. Fac. Science Hokkaido Univ., Ser II, Vol 3、1942
- (11)野口、林田：地熱エネルギー資源（日本鉱業会分科研究会資料）pp.21~34、1967
- (12)瀬野、湯原：火山、第2集、第5巻、第1号 pp. 1~8、1960

大分県下温泉の生成過程

(4) 外部浸出の効果および潮汐 影響に関する再考察

京大理学部 吉川 恭三
由佐 悠紀

1. まえがき

別府温泉の特徴はその井戸数の多さに表わされている。小面積当りの井戸密集度からはもっと大きい温泉地もいろいろあるが、これほど広い範囲にわたって大きい密集度を保っている所は見当らない。したがって別府温泉の研究にこれらの井戸群の影響を欠かすことができないと共に、密集井群に関する一般水理学の進展に別府温泉にまさる実験場はないと云える。密集井群の研究は人工的に掘られた一つ一つの井戸がそれ本来の目的を離れて単に地下水層からの水のもれ口として取り扱われることに特徴を持っている。すなわち普通の水理学から井戸を考える時には一つの井戸で水頭を変化させて、どのぐらい湧出量が変わるかというようなその井戸自身の湧出機構の性質に主眼があるのに対し、密集井群としての立場からは各井戸の湧出機構を単一化して考えその総合効果が地下水層内の流動にどのように影響するかを取扱う。その時の井戸の作用は地下水層という管からの水のもれ口に当り、管内外の水頭差に比例して水が浸出するとして取り扱われる。これをいままで研究されてきた各井戸での湧出機構と比較する時、管内の水頭は各井戸で実測される静止水頭に当り、管外の水頭は井戸の湧出水頭とみなせる。自噴井ではその湧出水頭は常に井戸の湧出水面に固定されているから湧出量の変化に影響を与えない。ポンプ揚湯の井戸では湧出量の変化に伴ない多少ともその湧出水頭も変化し、個々の問題としての取扱は面倒となる。しかし、密集井群という大きい立場からの研究対象としてはポンプ揚湯は単に各湧出水頭の切り下げ効果として、例えば湧出水頭を地面から5m下げた時というようなその切り下げた水頭の分布を与えて、地下水流動の変化状態を考える場合が多く、その時には湧出量と水頭との間の簡単な比例関係が予想される。

このような密集井群における地下水理の研究は野濤により始められ、別府温泉に対する海洋潮汐の影響を

説明し、後に吉川はこの理論の一般化をはかった²⁾。山下は別府温泉における多量の資料から各小区域における揚水影響にもこの理論の十分適用されることを確認するとともに密集井群を通じてのこの水もれ効果を数値化することに成功しこれを外部浸出と名づけた³⁾。

2. 外部浸出係数

井戸密集域での二次元の地下水流動で井戸を通じての湧出水頭および地下水層に対する外圧に変化がない時は一般に次の微分方程式が与えられている。

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = T \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) - bh \quad (1)$$

ここでhは地下水頭で一つの井戸で湧出をとめた時に測られるその点での静止水頭、Sは貯溜係数、Tは透水量係数、 $\frac{b}{T}$ は浸出係数である。この時地下水頭への潮汐影響は近似的には次式で示され、海岸からの距離xに対して振巾は $e^{-\sqrt{\frac{b}{T}}x}$ で減衰するが位相のおくれば殆どないことが別府温泉での実測結果とよく対応するとされた。

$$h = h_0 \cdot e^{-\sqrt{\frac{b}{T}}x} \sin \omega t \quad (2)$$

しかし別府温泉での従来の観測はすべて自噴泉について行なわれたものであるから実際には湧出量の変動qを観測し、aを各井戸の断面積、cを各井戸ごとの比例常数として、 $q = cah$ という実験式からhの変動を推定している。

このcの値の不整もてつだって、別府で従来観測されたqと海水面の変化Hとの比 $\frac{q}{H}$ の値にはかなりの散らばりがある。しかし全体として海岸からの距離xが大きくなるほど振巾の減少してゆく傾向は明かで、吉川はその散らばりのほぼ中央を通る線を引きその勾配から $\sqrt{\frac{b}{T}} = 0.005 (m^{-1})$ 、すなわち、 $\frac{b}{T} = 2.5 \times 10^{-5} (m^{-2})$ の値を得、(図2参照)、これが別府市街地温泉全般を通じて平均したような浸出係数の値であろうと考え、その全域に関する将来の開発余剰を推定する

にも役立つ係数であるとした。⁴⁾ところが山下が行なった揚水試験結果の解析はこの予想をうらぎり、浸出係数 $\frac{b}{T}$ とその周辺地域の井戸密度 N (単位面積当りに換算した井戸数) との間にはほぼ次の関係の保たれることが示された⁵⁾。

$$\frac{b}{T} = 1.2 \times 10^4 N + 2.84 \times 10^{-4} (m^{-2}) \quad (3)$$

これで右辺第1項の井戸密度に比例する項は前記のように井戸を通じての地表浸出に対する係数で外部浸出係数と呼ばれた。一方第2項は調査域を通じてほぼ一定値を示し地中での他の地下水層との交流に関する係数として内部浸出係数と名づけられた。

この内部浸出の効果はしばらくおくとして、外部浸出係数の値の大きいことに驚かされる。市街地中心部の泉源密集域では N の値は $3 \times 10^{-4} (m^{-2})$ をこえ、上流部で泉源分布図から一見かなりまばらに見える所でも $100m$ 平方に孔程度の井戸が分布し、これから計算した外部浸出係数の値は潮汐影響の場合の10倍から100倍以上のものとなる。揚水影響とか開発余剰量の推定など実用的な問題にこの係数の値が重要な関係を持つことから、この大きな違いをもたらす原因が注目された。

その一つとして考えられるのは揚水試験での他泉源への影響は比較的短期間の小地域に限られたもので、潮汐影響のように海岸線から始まる次元的な広範囲にわたる総合的な影響とはその伝播機構が違っているのではないかということである。たとえば内部浸出のような揚水の影響を受けない他水層からの水の交流の効果が潮汐影響でも同様に考えられるかには問題があるように思える。しかしこの内部浸出を全く無視したとしても潮汐影響における $\frac{b}{T}$ の値はあまりにも大きすぎる。

この違いが外部浸出係数の求め方の問題なのかまたはその他の地層中における伝播機構の問題なのかの疑問に答える一つの方法として、吉川は海岸線で海に開口し、水理的に連絡している2次元の地下水層に間隔 a m で規則正しく配列された自噴井群のある場合、海水面の変化が地下水を通じて各井戸からの湧出量にどのように影響するかを理論的に取り扱った。この時、各井戸での湧出量変化は海岸からの距離に応じて減少することが示され、これを(2)式での水頭変化の減衰と同じ形で表わして比較すると、

$$\frac{b}{T} = \frac{2\pi}{a^2 \ln \frac{a}{2\pi r}}$$

で示されることを知った。ここで r は各井戸共通の半径である。これに別府温泉での平均口径から r を $2.3cm$

とし、また $a^2 = \frac{1}{N}$ とおきかえて代入すると、

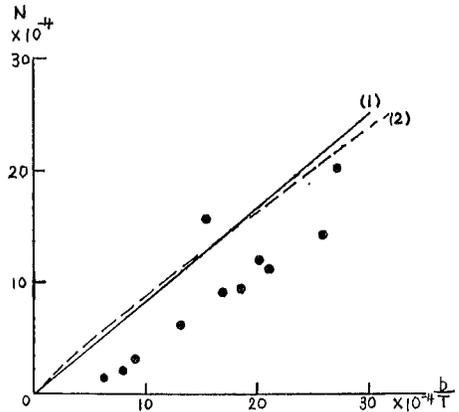
$$\frac{b}{T} = \frac{-4\pi N}{\ln(\pi r^2) + \ln(4\pi N)} = \frac{4\pi N}{6.4 - 2.3 \log(4\pi N)} \quad (4)$$

で与えられる。この $\frac{b}{T}$ と N との関係を示した図1で示されるとおり、別府で実際に揚水試験が行われた N が $30 \times 10^{-4} (m^{-2})$ 以下の地域ではこの関係は $\frac{b}{T} = 1.2 \times 10^4 N$ という先の実験式の結果とよく一致することが見出された。

図1 外部浸出係数 $\frac{b}{T}$ と井戸密度 N との関係
• 揚水試験の実測値

(1)実線: $\frac{b}{T} = 1.2 \times 10^4 N$

(2)点線: $\frac{b}{T} = \frac{4\pi N}{6.4 - \ln 4\pi N}$



この理論の結果は(3)式のような外部浸出係数の求め方が単に別府温泉だけでなく他の地域にも一般的に適用できる簡単で実用的な関係であることを示唆した点で価値があり、このようなモデルのもとでの潮汐影響でも外部浸出係数の値は当然揚水試験におけると同様に求められねばならないはずである。それではなぜ別府の潮汐影響の減衰率 $\frac{b}{T}$ の値が前記のように小さく見積られたのか、ここに別府温泉に対する潮汐影響の機構を再び考え直す必要がうまれた。

3. 潮汐影響

潮汐影響の機構をさぐるための観測は現状では非常にむづかしい。各温泉地でポンプ揚湯をする泉源がふえたためその採湯状態の一定しない効果が潮汐影響の観測に大きい妨害を与える。揚湯休止期間をねらって観測したとしても、各泉源から揚湯をしていない状態での潮汐影響の伝播はここに考えている密集井群での問題とは根本的に変わった状態にある。これは他泉源での揚湯を中止させて行なった揚水試験の結果が他泉源の採湯量への揚水影響という実的な問題に直接の貢献

をしないと同様である。しかし幸いにして我々はかつてほとんどが自噴泉であった時代に野満らにより行われたくわしい潮汐影響の資料を持ち、さらにその後揚水試験のためとかその他の目的で得られた資料の蓄積がある。比較的資料の少なかった亀川温泉では昭和39年12月に川端理博と別府市北部中学科学クラブの協力を得て自噴泉の潮汐影響を測定し、これまで資料の欠けていた南亀川にわずかに残る自噴泉地区で昭和41年11月由佐は大分大学学生諸氏の助力を得て数口の泉源の観測を行なった。これらの資料のうちには観測が短時間のため測定にあらわれた湧出量変化の不規則性の由来を十分確めることができないものもあり、これらの解析はまたの機会にゆずるとしてもっとも一般的と考えられる潮汐と湧出量との間にはほぼ一次関係のみられるものだけをとって解析の対象とした。

以上の資料からまず湧出量変化 q と海水面変化 H との一次関係から $\frac{q}{H}$ の値を求め、別府市街地温泉につき海岸からの距離 x との関係を示したのが図2と3である。観測時期による環境の違いの影響も一応は考えられるので、比較的時代の近い観測ごとにまとめて資料を2グループに分け図中に違った記号で記入した。

図2 別府市街地温泉における潮汐影響
●野満らの観測 ○山下、湯原の観測

$$(1) \frac{q}{H} = 57 e^{-0.005x}$$

$$(2) \frac{q}{H} = 150 e^{-0.019x}$$

$$(3) \frac{q}{H} = 150 e^{-0.0347x}$$

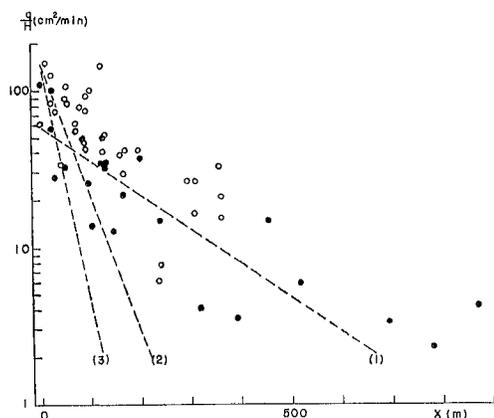


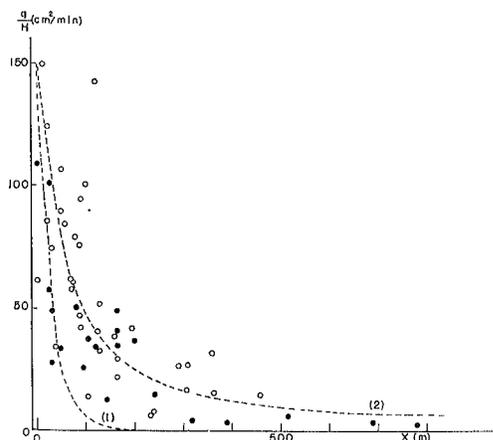
図2では $\frac{q}{H}$ の値が対数座標にとってあるがかなりの散らばりを示しつつ海岸からの距離と共に減少してゆく傾向は明らかである。先に吉川が野満らの結果だけをもとにしてとった、 $\frac{q}{H} = 57 e^{-0.005x}$ を示す直線はこの減少傾向とはほぼ一致はするが、この散らばりから見

図3 別府市街地温泉における潮汐影響

●野満らの観測 ○山下、湯原の観測

$$(1) \frac{q}{H} = 150 e^{-0.0347x}$$

$$(2) \frac{q}{H} = 100 \cot^{-1} \frac{x}{50}$$



て必ずしも実状をよく示しているとはいえない。とくに x の小さい150m以内ぐらいの範囲では潮汐影響の減衰はもっと大きいように見られる。一方、井戸密度を100m平方に10口およびる口として外部浸出係数を(3)式から計算した、 $\sqrt{\frac{b}{T}} = 0.0347$ と0.019に対応する直線を図中に書きこんだが、10口の時はもちろんる口の時でも海岸距離による減衰は非常に大きくとも実状に適するとは云えない。しかし、海岸に比較的近い範囲での減衰効果については先の $\sqrt{\frac{b}{T}} = 0.005$ の場合よりも実状にあうように思え、結局、この市街地全般を通じての潮汐影響の大勢をただ一つの指数関数で表示することは無理のように考えられる。

以上をまとめると、我々の当面する問題は海岸からの距離により振巾は減衰しながらも位相のおくれを伴わなない水圧の伝わり方であり、これに対してまず(2)式のような外部浸出を伴う機構が適合するように考えられたが、それでは振巾の減衰が大きすぎて海岸から500m以上離れても相当の影響の残る実状を説明できないことが分った。そうかといってこれ以上外部浸出係数の値を小さく見積ることは前節までの結果からしていかにも不合理である。

それでは野満の研究以来これまで解析の基礎としてきた外部浸出の効果だけでこの現象を説明しようとする考えを捨ててもう一度実状に則した潮汐影響の機構を考え直してみなければならぬ。かつて吉川は潮汐による地下水層への海水荷重の変化が地下水圧に作用し、それが地下水層を通じて内陸へ伝わってゆく場合を考え、海水荷重の変化 P と地下水頭の変化 h との間に

次の関係式を与えてその結果から従来の別府温泉での観測例にも荷重変化の影響が十分考えられるとした。

$$S \frac{\partial(h - \theta p)}{\partial t} = T \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - b h \quad (6)$$

ここで θ は地下水層の骨組だけの圧縮による貯溜効果 S' と全貯溜係数 S との比である。

(6)式の適用に当って吉川は解の簡単化のための近似として、 P は地表の加圧点直下のみ作用し周辺に広がらないと仮定して t のみの関数としたが、いま再び潮汐影響の実状をふり返る時、上記のような位相差を伴わない圧力伝播の実状は弾性体中の応力伝播とよく似た状態であることに思い当る。別府海岸部のように比較的均質な堆積層の表面に働く圧力は地層内を広がりながらほとんど瞬時に伝わると考えられ潮汐に伴ない地下水層に働く外圧変化 P は潮汐と位相を同じくすると共に深さ z と海岸よりの距離 x の関数として減少してゆく。このような応力の分布 P を考える時、外圧効果は海岸部だけでなくかなり内陸の地下水層にまで作用し各点での地下水圧に影響を与えるから従来地下水圧への潮汐影響は海水面直下のみ作用しそれが伝わってくるだけとしたよりも内陸遠くまで影響が働くことになり別府市街地での実状に近づく傾向を持つ

それでは海洋潮汐に伴なう内陸部地層内の P の分布をどのように考えればよいか。速水は堺市における地盤沈下の問題につき地層を完全弾性体として Love の理論から P の値を推定した。これによると、 $2a$ 、 $2b$ の長さの両辺を持つ矩形上に一様に単位置の荷重が加えられた時、矩形の中心を原点にとった応力分布は次により与えられる。

$$P = \frac{2}{3}(1 + \sigma) \frac{1}{2\pi} \frac{\partial V}{\partial z}$$

$$\frac{\partial V}{\partial z} = 2\pi \left\{ \begin{aligned} & -\cos^{-1} \frac{(a-x)(b-y)}{\sqrt{(a-x)^2 + z^2} \sqrt{(b-y)^2 + z^2}} \\ & -\cos^{-1} \frac{(a-x)(b+y)}{\sqrt{(a-x)^2 + z^2} \sqrt{(b+y)^2 + z^2}} \\ & -\cos^{-1} \frac{(a+x)(b-y)}{\sqrt{(a+x)^2 + z^2} \sqrt{(b-y)^2 + z^2}} \\ & -\cos^{-1} \frac{(a+x)(b+y)}{\sqrt{(a+x)^2 + z^2} \sqrt{(b+y)^2 + z^2}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここで σ はポアソン比でふつうの堆積層では 0.29 とされているが、この時 $\frac{2}{3}(1 + \sigma)$ の値は 0.86 となり簡単のためこれを 1 として近似しても全体の大勢に対する現在の問題にはさしつかえない。

(6)式で $\frac{b}{a} \rightarrow \infty$ とした帯状の荷重面を考えると、

$$P = \frac{1}{\pi} \cot^{-1} \frac{x^2 - a^2 + z^2}{2az} \quad (7)$$

これを別府温泉に適用するため実際の海洋で一般的に考えられるように荷重面が半無限と仮定される場合に拡張し、荷重変化が単位面積当り H (水頭で表わす) とすると(7)式は次の簡単な形となる。

$$P = \frac{H}{\pi} \cot^{-1} \frac{x}{z} \quad (8)$$

この式の x は海岸からの距離で(6)、(7)式におけるように荷重面の中心からとった距離でないことに注意しなければならない。

さて別府市街地の潮汐影響がこのような P の分布から説明される可能性をしらべる段階であるが、この時 z の値をどのようにとればよいかの問題がある。まず z として各井戸の深さをとるという考えが浮ぶが湧出量に外圧が影響する機構を考える時これとて必ずしも合理的とはいえず、全市街地の大勢をうかがうには簡単のためまず z をある一定値として海岸からの距離 x に関する P と $\frac{q}{H}$ の減衰のしかたを比較してみることが第一である。そこで野満らの観測資料による井戸の深さに一応適合すると考えられる $z = 50m$ をとり、また $\frac{q}{H}$ と P とを結ぶ係数の値を観測値分布に比較的よく適合するように択んで

$$\frac{q}{H} = 100 \cot^{-1} \frac{x}{50}$$

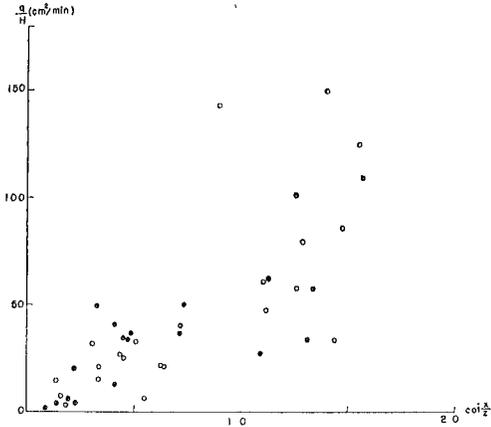
とし、その曲線を図 3 中に記入した。この曲線が実測結果によく合うとは必ずしもいえないが、実状の大勢をあらわすには先の指数関数の曲線よりはるかに好適で、とくに海岸から 200m 以上離れた遠い井戸ではその潮汐影響の傾向をよくあらわしている。これにより先述の位相差を伴わない振巾の減衰という別府の潮汐影響の特徴をこのような P の分布とそれに伴う水圧変化の機構の観点から説明できる可能性が大きくなった。

別府の海岸線には凹凸がありそれが海岸に近い井戸での P の分布に影響するため、埋土地の形状について(6)、(7)式を適用して(8)式を補正し、さらに各井戸の深さを Z の値として各観測点での補正された $\cot^{-1} \frac{x}{Z}$ の値を計算して $\frac{q}{H}$ と比較したのが図 4 である。これでは一次関係とまではゆかないが両者の間の相関はうかがわれる。

亀川温泉での潮汐影響は別府市街地ほど海岸距離との関係ははっきりせず潮汐影響伝播の機構がさらに複雑ではないかと考えられるが、一応別府と同様な取扱を行ない図 5 に対数座標でとった $\frac{q}{H}$ の値をとって x と比較した。図中に井戸密度を $3 \times 10^{-4} (m^{-2})$ とした場合の外部浸出係数の値を用いた直線を記入したが、別府の場合と同様にその海岸距離に対する減衰はあまり大きく実状を説明するには不適當である。次に海岸

図4 $\frac{q}{H}$ とPとの関係

●野満らの観測 ○山下、湯原の観測



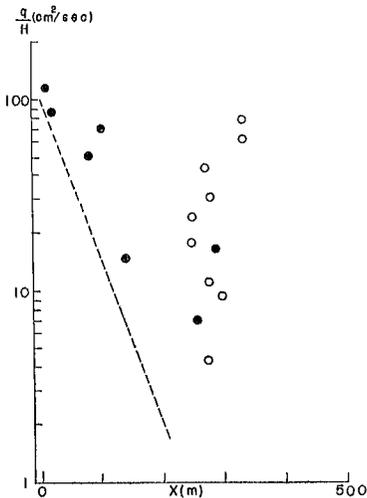
線の凹凸に対して補正した $\cot^{-1}\frac{x}{z}$ の値と $\frac{q}{H}$ とを図6で比較した結果、別府の場合と同じく両者の相関が認められて亀川温泉でも弾性堆積層を通しての海水荷重変化の伝播が温泉の潮汐影響の機構に大きい効果を及ぼしているのではないかと考えられる。

それではこのような応力分布により地下水圧の変化をおこす機構はどのように考えられるであろうか。

図5 亀川温泉における潮汐影響

●川端、由佐の観測 ○山下の観測

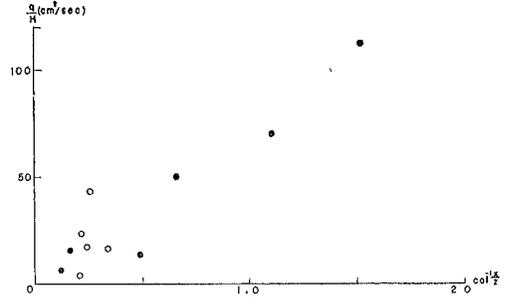
点線： $\frac{q}{H} = 100e^{-0.019x}$



もし全く一様な3次元の地層内に地下水が充滿し、しかもそれが直接海には開口せずただ海水荷重変化の影響だけで水頭を変化さす場合には次の関係が求められる。

図6 亀川温泉における $\frac{q}{H}$ とPとの関係

●川端、由佐の観測 ○山下の観測



$$S \frac{\partial (h - \theta_p)}{\partial t} = T \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right)$$

このとき、 $x < 0$ 、 $z = 0$ で $h = \theta H$ 、 $x > 0$ 、 $z = 0$ で $h = 0$ の条件を与えれば

$$h = \theta_p = \frac{\theta H}{\pi} \cot^{-1} \frac{x}{z}$$

の関係が求められる。しかしこれを実際に多量の湧出量変化をおこしている別府温泉の潮汐影響にそのまま適用できないことはいうまでもない。別府の場合には地層は一様でなくある深さに限って密集井が分布しており、おそらくは上記のような関係とともにその中で密集井を含み外部浸出を行なっている採水層を通しての水圧伝播とが組合わされた機構が考えられねばならないであろう。この報告ではまだそのような最終的な機構を提出するには至らない。しかし以上の議論でもこのような弾性体を通してのPの分布を考えに入れさえすれば従来の解析で非常に小さく見積られねばならなかった外部浸出係数に対する不信を除き、山下の報告による簡単な見積り方法をより広く利用できる可能性を示すに十分と考えられる。

4. 結 論

井戸密集域における地下水理では各井戸からの湧出量変化の相互影響が重要な因子となり、その効果を定量的に見出すには外部浸出係数の値の見積りが必要である。井戸の配置が等間隔と近似される程度の密集井群について、この係数の値が井戸の断面積と密集度だけの関数として表わされることが理論的にも実験的にも見出されているにもかかわらず、潮汐影響の実測結果に従来の密集井群の理論を適用して導かれた外部浸出係数の値はあまりにも小さく、この矛盾が説明しきれぬ限りこの係数の見積り方法やその効果を広く一般に適用することがためられていた。

この報告では、別府温泉における潮汐影響の特徴が従来の解析で無視されていた海水荷重影響の広がり

考えることにより、外部浸出係数にもっと大きい値を与えても十分説明できる可能性が示された。

これにより、 $\frac{b}{T} = \frac{-4\pi N}{\ln(\pi r^2) + \ln(4\pi N)}$ の関係式から外部浸出係数を求めることの一般性が強く主張され、井戸半径 r の値の極端な場合を除いた 5 cm 以下では N が 100 m^2 に 30 孔以下程度の密集度の場合、 $\frac{b}{T} = 1.1 \sim 1.2N$ という近似が十分満たされることが分る。したがって、井戸の密集度だけから外部浸出係数の値が見積れるという別府市街地温泉での簡単な関係がもっと広く他の温泉地にも適用できる見通しがつき、各地域での揚水影響などを予測するにもっとも実用的な方法としてその価値が重視されるに至った。

終りに当り、地層内の応力分布につきたびたび御助言をたまわった前副会長の速水頌一郎教授に深く感謝をささげる。

参 考 文 献

- 1) 野満隆治：地球物理、4 巻、2 号、pp.114~118、1940.
- 2) 吉川恭三：陸水雑、17 巻、3 号、pp.91~99、1955.
- 3) 山下幸三郎：大分県温泉調査研究会報、12 号、pp.31~40、1961.
- 4) 吉川恭三：陸水雑、20 巻、3 号、pp.101~110、1959.
- 5) 吉川恭三：28 回陸水学会大会要旨集、p. 3、1963.
- 6) 野満隆治、瀬野錦蔵、中目広安：地球物理、2 巻、1 号、pp. 1~23、1938.
- 7) 山下幸三郎：大分県温泉調査研究会報、7 号、pp. 9~19、1956.
同上、8 号、pp.13~51、1957.
- 8) 湯原浩三：火山、2 集、7 巻、1 号、pp.17~29、1962.
- 9) 吉川恭三：陸水雑、18 巻、2 号、pp.67~78、1956.
- 10) 速水頌一郎：大阪府臨海開発部委託研究中間報告、1963.

大分県天ヶ瀬、湯の釣温泉の水系

京都大学理学部 山下 幸三郎

1 概況

大分県天ヶ瀬町には天ヶ瀬温泉と湯の釣温泉とがあって、両者は約2軒を隔てて同じ玖珠川の川岸に湧出している。

天ヶ瀬温泉は久大線天ヶ瀬駅附近の玖珠川にかかる天ヶ瀬橋から上流の川岸に湧出している温泉群である。大部分の温泉は自然湧出で、川岸に2m角、深さ2～5m程度のコンクリート製の湯溜を作り、両岸の3～5m高い旅館の浴用にポンプ揚水している。しかし高温のためこの程度の揚程（吸込実揚程3～5m）でも揚湯がむづかしいので、揚水時には湯溜に水を注入して、泉温を60°C前後にまで低下させて揚湯する。この温泉群については既に昭和26年に調査され当時活動口数は20口であったが、その後の温泉開発により現在57口にまで増加している。前調査において左岸上流が最も高温で掘さくによる沸騰泉が1口あった。近時この附近赤岩川に沿った地域で深度200mに近い高深度の掘さくが行われ沸騰泉を得ている。右岸でも掘さくが行われたらしいが沸騰泉は得られなかった。（1図参照）

前調査時には左岸の高温地帯の川中には100°Cの熱水が自然湧出していた。その他の地域でも温泉の分布している地帯の川中には到る所自然湧出があり、自然湧出のある地点では白い沈澱が見られるので容易に発見出来た。今回の調査時には温泉孔の増加による採湯量の増大に伴い自然湧出は減少したらしく、川中の自然湧出は殆んど見られない。しかし泉温は前調査時と比較して顕著な低下はなく、又化学成分でもH₂Sを除けば大きい変動は見られない。したがって河水の直接浸入は未だ多くないと推察される。

湯の釣温泉は天ヶ瀬温泉から玖珠川上流約2kmの所にあり前調査時には玖珠川左岸に42°C程度の自然湧出があった。その後温泉開発によりこの附近7ヶ所にボーリングを行い深度100～150mで最高泉温58.5°Cの温泉が得られている。

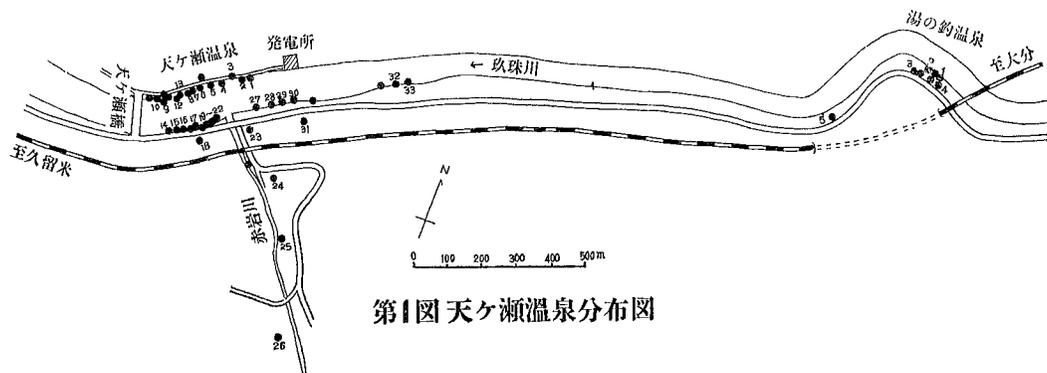
2 化学成分について

昭和26年の調査において陰イオンであるCl、HCO₃、SO₄と本温泉の特有成分であるH₂Sを分析し、これらの成分と温度との相関関係から1つの温泉水系であると推論した。しかし当時温泉口数は少なく各温泉の成分の相違が少ないためか、化学成分間の明確な関連は得られなかった。今回温泉水系についての考察において最も有効であると認められたイオンについて分析し前調査の結果につて再検討した。

前述の如く温泉孔の大部分は川岸にあって温泉水圧は河水位より高いがその差は小さく、洪水時に河水の流入を防ぐため湯溜は完全に密閉してあるから、ポンプ揚水井では泉源における採水は出来ない。又揚水時には水を注入するからこれらの温泉で採取した温泉水は揚水途中の冷却もあって附近自然湧出泉に比較して泉温は低く、且つ化学成分は薄くなっている。

分析した化学成分は陽イオンではLi、Na、K、Ca、Mgを、陰イオンはCl、HCO₃、SO₄である。Li、Na、Kは炎光法、Ca、Mgはキレート滴定法、Clはモル法、HCO₃はメチルオレンジを指示薬とする容量法、SO₄は比色法によって行った。

泉温や化学成分の地理的分布はポンプ揚水井の水の注入による化学成分の稀釈や泉温降下があって求められない。



第1図 天ヶ瀬温泉分布図

第1表 天ヶ瀬、湯の鈞温泉の分析資料 (mg/l)

温泉 番号	所 有 者	泉温 °C	PH	Li	Na	K	Ca	Mg	SO ₄	HCO ₃	Cl	備 考
天ヶ瀬 1	湯山発電所社宅	50.3	6.80	0.62	170	20.3	20	0.8	68	156	218	水混入
2	土橋好子(鳳陽館)	55.4	7.16	0.46	144	17.6	20	—	52	155	187	〃
3	大庭重登(大観荘)	51.3	7.26	0.60	200	19.4	22	—	74	163	201	〃
4	ブリジストンタイヤ寮	54.7	7.01	0.62	178	17.0	16	—	80	177	190	〃
5	大庭一邦(壁水園)	53.6	7.12	0.60	764	16.6	19	1.2	62	180	185	〃
6	古賀理美(成天閣)	47.0	6.61	0.60	150	17.0	23	0.5	80	147	189	〃
7	〃 (〃)	48.0	6.87	0.48	126	14.6	22	1.2	42	131	152	〃
8	大庭幸生(ちくし)	51.8	6.71	0.48	132	16.0	18	—	48	136	168	〃
9	大庭武(本陣)		6.90	0.20	100	12.8	14	—	32	121	130	〃
10	大庭保(天竜)	81.8	6.66	0.50	138	15.6	22	—	66	136	165	
11	久積新一(福佐社)	60.9	7.05	0.64	200	17.6	16	—	52	177	204	3口合流
12	森山松次(久寿屋)	86.9	7.00	0.84	280	26.4	23	—	78	220	288	〃
13	清時伸一	55.3	7.26	0.72	218	22.2	22	—	64	187	238	
14	織田元一郎	49.2	6.84	0.48	120	13.6	19	—	64	114	146	水混入
15	萩原利夫(水光園)	78.2	6.91	0.78	226	23.8	20	0.7	84	195	261	2口合流
16	安達カヨ(湯の香)	46.5	6.76	0.42	110	12.8	16	—	38	112	140	水混入
17	河野徳光	76.0	7.05	0.82	234	25.7	25	—	74	209	279	
18	古賀理美(成天閣別館)	50.9	7.13	0.08	18	5.8	2	—	6	30	13	
19	平川千里(白竜荘)	46.2	6.75	0.50	144	16.6	16	—	60	141	178	水混入
20	安達守	48.5	6.88	0.48	132	14.6	17	—	36	136	161	〃
21	佐藤勝治(日田屋)	51.1	7.07	0.45	126	15.2	22	—	64	157	159	〃
22	山田敏雄	46.0	6.68	0.48	126	14.6	15	—	26	133	160	〃
23	武石崎太郎(小松屋)	95.0	8.43	0.98	308	29.0	13	—	68	221	337	
24	平川千里(浮羽荘)	90.0	8.70	1.00	318	31.0	7	—	80	186	354	
25	山本ケサ子(山清)	49.5	8.85	1.04	356	31.4	7	—	76	173	378	2口合流
26	藤本正春	99.3	8.98	1.35	410	39.0	4	1.4	84	202	504	
27	日隈杉太	53.7	6.61	0.52	144	16.0	21	—	52	145	175	水混入
28	小野健太郎	45.7	6.75	0.48	138	16.6	24	1.9	76	142	157	〃
29	安部明(丸山荘)	71.2	7.75	0.68	200	20.0	16	0.5	76	192	215	〃
30	佐藤正一(江月荘)	35.0	6.89	0.68	178	18.4	19	—	82	155	198	〃
31	佐藤文子	61.7	6.71	0.96	264	30.6	44	1.4	—	163	264	
32	織田亮一	54.6	6.76	0.50	132	16.6	17	0.5	48	128	168	水混入
33	関根マツノ(水光園別館)	61.0	7.90	0.80	226	23.2	9	—	74	156	199	〃
湯の鈞 1	江藤武夫外4名	56.2	7.21	0.16	220	30.0	29	1.9	10	342	206	
2	江藤之外3名	52.0	7.10	0.11	200	28.2	25	2.3	10	312	176	
3	山下富士徳(溪仙閣)	44.2	7.15	0.04	44	11.0	22	0.9	4	158	30	
4	江藤(賀多)生	51.0	7.09	0.070	166	22.2	20	2.3	8	272	141	
5	山下稔子(養鱒場)	29.8	7.50	0.02	26.0	2.3	6	—	—	73	9	
	玖珠川水	15.2	7.67	0.02	11.6	3.7	11	2.2	6	43	18	
	赤岩川水	15.4	7.44	0.005	3.0	1.4	9	—	—	45	9	
	湯の鈞玖珠川水	15.0	7.17	0.02	9	3.3	14	—	1	42	14	

Cl⁻ は近時掘さくされた沸騰泉が最も多くこの量は湧出途中の沸騰による一部温泉水の蒸発による濃縮を考慮しても尚他の温泉より多い。このような現象は他の沸騰泉の存在する温泉群においても見られる。Na⁺ K⁺ はCl⁻ と略同じ関係がある。Ca²⁺ Mg²⁺ は全般的に少なく、特にMg²⁺ は大部分が1 mg/l 以下である。

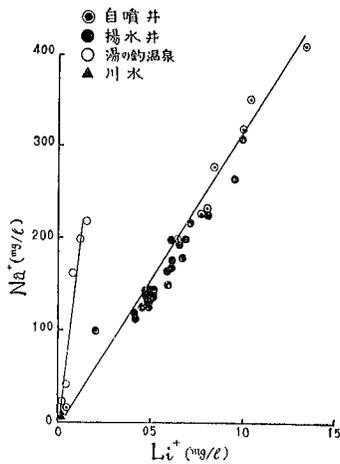
Li⁺ はCl⁻ と同様沸騰泉に多く最大 1.35 mg/l である。湯の釣温泉ではLi⁺ は少なく、天ヶ瀬温泉の約半程度にすぎない。又Li/Naの値は0.4~0.9×10⁻³ (重量比) と玖珠川の水より小さい値を示した。

陰イオンの主要なものはCl⁻ とHCO₃⁻ である。

天ヶ瀬温泉は硫化水素泉であるが大分県衛生研究所の分析結果によればH₂S或はΣSは昭和26年の調査時と比較して著しき減少を示している。この減少が温泉勢力の減衰に関係あるかどうかは他の化学成分や泉温が変化してないので明確な断定は出来ない。

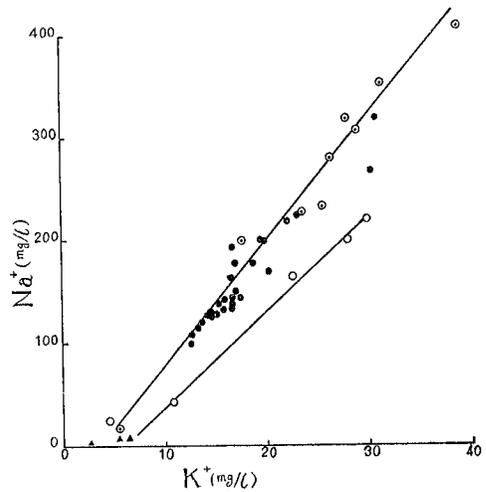
3 泉温化学成分相互間の関係

先ずアルカリ金属イオンであるLi⁺Na⁺の関係を図にすると第2図の如く、天ヶ瀬地区では両者は一次関係を示しNa⁺の多いものほどLi⁺も多く両者の最も多

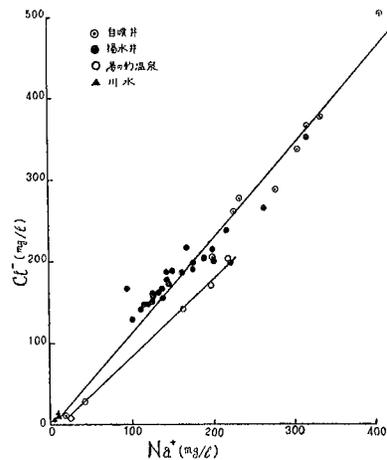


い温泉は赤岩川に添った沸騰泉である。この地区の沸騰泉もまたその化学組成において他の地熱地帯の沸騰泉と共通した特性を持っている⁴⁾。一次関係を示す直線は原点近くの河川水や湯の釣温泉における低温泉の成分の近くを通る。したがって天ヶ瀬温泉は沸騰泉水の如き地下の高温熱水に浅層地下水が混入して湧出していると推察される。湯の釣温泉ではLi⁺量は天ヶ瀬温泉より少ないがNa⁺ Li⁺の関係は天ヶ瀬温泉と同様に一次関係が成する。Li/Na (重量比) の値は天ヶ瀬温泉の2.2×10⁻³玖珠水の2.0×10⁻³より更に小さく0.7×10⁻³である

第3 NaとKとの関係



第4図 ClとNaとの関係

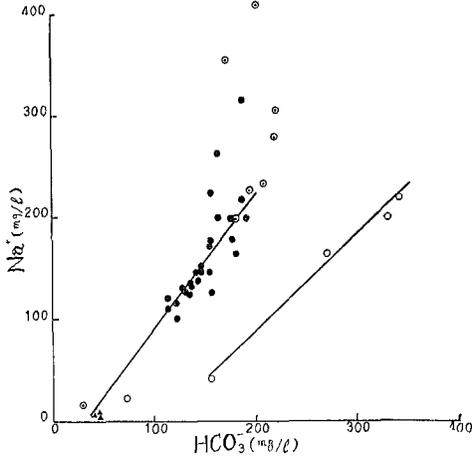


Na⁺ K⁺量との関係(第3図)では天ヶ瀬、湯の釣両地区はそれぞれ別の一次関係を示し、両地区共に高温水程両イオンを多量に含む。湯の釣温泉は天ヶ瀬温泉に比較してNa⁺量に対するK⁺の量が多い。この関係はLiとNaとの関係とは逆である。

Na⁺とCl⁻との関係(第4図)は上述の関係と同様一次関係が成立する。湯の釣ではCl⁻量に対するNa量が天ヶ瀬より幾分か大きい、両地区の相違は上述の2関係程明瞭ではない。

NaとHCO₃の関係(第5図)では湯の釣の温泉間には一次関係があるが、天ヶ瀬ではNa⁺の少ない温泉では殆んどがポンプ揚水井で水が注入されているので両者は略一次関係を示す。しかしNa⁺が200 mg/l以上の温泉ではHCO₃⁻は略一定の値になる。このような温泉は泉温が高く恐らく炭酸ガスの溶解度と関連があると思われる。

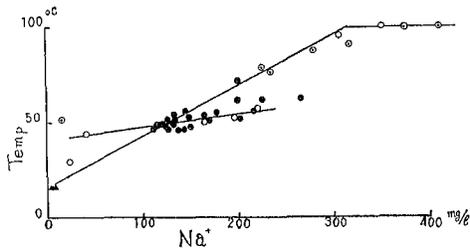
第5図 NaとHCO₃との関係



Ca+Mg²⁺の含有量は全般的に少なく、又他の成分との間に明確な相関は認められない。SO₄²⁻については前回の調査結果と大差なく、他の成分との相関も明らかでない。大分県衛生研究所の分析結果から天ヶ瀬温泉の全硫黄を求めて泉温や他の成分との関係を調べたが明確な相関は得られなかった。又全硫黄は前回の調査時の最低値以下で著しき減少を示していることが注目される。

泉温とNa⁺の関係は第6図の如くなる。大部分の温

第6図 泉温とNaとの関係



泉の温度はポンプ揚水の出口における測定であるから水の混入や揚水途中の冷却による泉温降下が加わった温度である。100°C以下の泉温ではNa⁺量と略一次関係が成立する。

図の直線は人工による泉温降下の最も少ない自噴温泉のみを対象にして求めた関係直線で川水の成分、温度附近を通る。

沸騰泉の湧出口における泉温は100°Cに近い一定の値である。図ではNa⁺が315mg/L附近で泉温は100°Cとなりこれ以上のNa⁺を含む温泉は沸騰泉でNa⁺を多量に含む温泉程地下における泉温が高いことを暗示している。ボーリング業者の測定によればNa⁺量の

最も多い沸騰泉No26の掘さく当時孔底（地下200m）での温度は145°Cであったとの由である。

天ヶ瀬温泉のNo18は他の温泉が何れも玖珠川の川岸に湧出しているが、これらの温泉より約3m高い通路面に自噴している。化学成分相互間の関係では他の温泉の成分間の関係直線上にあり、川水に近い濃度であるが、泉温-Na⁺の関係図では関係直線から離れた特異点を示している。このような関係から他の温泉の如く、原温泉水と浅層水とが混合して湧出しているとの説明は困難である。この温泉の熱は地下の高温熱水から熱伝導か或は蒸気によって供給されていると推察される。

湯の鈞温泉においても両者間の関係は略一次関係が成立するとみられ、この関係直線は地下水の成分量の値において泉温は冷地下水温より高温であると推測され、したがって原温泉水に混入する地下水は高温な地下水であり、この地下水の熱は深部の高温熱水から熱伝導によって得られたか、或は地下深くを循環してきた水であらう。

終りに本調査に協力した森忠敬氏に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 山下幸三郎：大分県天ヶ瀬温泉調査報告。大分県温泉調査研究報告、第3号、1952
- 2) 1)に同じ
- 3) 大分県衛生研究所・大分県温泉調査報告、全上、第9～17号、1958～66
- 4) K Yamashita: The Chemical Character of the Boiling Spring in the Beppu Hydrothermal Field, Special Contribution, Geophys. Inst., Kyoto Univ., No. 5, 1965

別府温泉の泉源保護について (I)

別府旧市内温泉群について

京都大学理学部 山下幸三郎

1. 緒言

近時の観光ブームにより温泉地では各種施設の増設や新設に伴い温泉使用量が增大して湯量が不足し、新泉源の開発、温泉水の長距離輸送、地下の温泉水量の増強、高度利用等の必要が生じて、この方面の調査研究が盛んになると共に、既存の有名な温泉地では新温泉の掘鑿や既設温泉の採湯量の増加により、全般的な泉温降下、湧出量の減少、水圧降下、或は化学成分の変化等が起り、これに伴い温泉利用者互間の利害関係も生じて温泉保護対策も重要な課題になっている。

この問題の解決には温泉群全体の温泉源からの採取可能温泉量か、或は賦存量を知らなければならないが、この見積りは実際には困難な場合が多く、特に温泉では地下における温泉水層の構造や湧出機構が複雑なところが多く、各種の調査研究を行っているが正確な量の算出は容易でない。一般には開発が進展して極度の水圧降下や、泉温低下が起って始めてこれが対策を実施するが、しかしこの時には既に過剰揚水が行われていて早急な回復は望めない場合が多い。したがって有名な温泉地程温泉の枯渇は重要な問題として、その対策について各種の調査研究が実施されているが、正確な採取限界量を見いだすことは困難なことで、温泉取締関係官庁では安全を期する目的で、温泉源の共有化を進め、開発は公共団体によって行うように行政指導を行い、地域によっては採取制限をして新泉源の発見、開発や温泉水の増強方法等を促進している。山梨県石和温泉では県営による温泉開発が行われ、福島県飯坂温泉では温泉組合によって開発している。又静岡県では殆どどの温泉地で掘鑿制限（温泉保護地区）が制定されている。

大分県においては別府温泉が最も古くから開発され各種の温泉現象が広範囲に見られ、その熱勢力は強大ではあるが開発利用の温泉口数、湧出量も亦多く、施設の増築、新築により温泉量は尚不足して新温泉の掘鑿が相ついで申請されている。近時ボーリング技術や揚水技術の進歩により自噴温泉地帯から離れた温泉水面の非常に低い温泉が開発されているが、このためか自噴が停止し、自噴温泉地帯は漸次縮小の傾向にある。したがって別府温泉では最早や開発より温泉源の保護

と温泉水の高度利用に重点を移さねばならないような情勢になってきた。既に一部の旧市内鶴水園地区では新温泉の掘鑿は禁示されている。

温泉や地下水の採取可能量を定量的に求める有力な方法に揚水試験があるが、別府の如き広範囲な温泉湧出地帯では温泉水層の構造に地域的な相違が大きく、特に沸騰泉や噴気は測定が困難な上に多額の経費を要し、今だ十分なる調査は実施されてない。しかし揚水試験の結果のみで十分とは言い得ない。別府温泉の水系についての考察から海岸部に湧出する熱水は山の手の高温地熱地帯の地下において生成された高温熱水と地下水とが混合して湧出していると考えられ、この高温熱水の生成機構、地下水の混入機構等が解明されなければ正確な採取限界量の推算は困難である。この問題は今だ未解決で今後に残された重要かつ興味ある問題である。したがって現時点における温泉の保護対策を行う上の科学的基礎資料としては揚水試験の結果が最も適切であると思われる。

筆者は昭和24年以来別府温泉の各所において揚水試験を実施してきたが、特に別府旧市内の温泉密集地帯を重点に実施したので最も多くの資料があり、又過去における各種調査研究もこの地域が最も多い。したがって先づこの温泉群について各種調査資料を総合し開発の限界について考察した。しかし現在までの資料で十分とは言えない。将来この問題についての調査研究の進展により新しい成果が得られ次第改善して行くことが最善の方法であると思われる。

2. 別府旧市内温泉の開発経過の概要

別府旧市内温泉の現況調査は過去4回実施されその概況が明らかにされている。第1表はその統計結果である。

第1表 別府旧市内温泉の概況調査

年次	活動口数	平均深度	平均泉温	平均湧出量	総湧出量
		m	°C	l/min	m ³ /min
1924年8～9月	741	47	53.74	12.88	9.54
1933年7～8月	702	69	54.50	16.09	11.33
1949年7～8月	653	82	52.35	18.09	11.81
1959年2～3月	713	99	52.30	14.09	10.04

上表によれば平均深度は年と共に増深し、1959年には1924年の2倍以上の深さになり、現在も尚増深の傾向にある。しかるに総湧出量は1933年以降は殆んど増加してない。温泉水層は年と共に深部のものが開発されてきているにも拘らず、総湧出量が増加しないことは地下の温泉水層が特異な構造であることを暗示するもので、揚水試験の結果も亦この特異性を示した。

瀬野、吉川らの温泉静止水頭の調査結果によれば、1938年から1960年の間に大部分の地域において水頭は降下し、特に1 m以上の降下地域が相当広い範囲に亘っている。

野満、瀬野、山下らは別府市内温泉の湧出量と水頭との関係についての実測から両者の関係は次式によって表わされた。

$$q = ca(H - h) \quad (1)$$

ここにqは湧出水頭がhのときの湧出量、cは各井戸についての常数、aは温泉孔の断面積、Hは湧出量が零のときの温泉水頭である。実測からcの平均は20 (min⁻¹)、温泉口径の平均値は4.5cmである。したがって温泉の供給量に十分の余裕があれば、上記関係式と水頭の降下によって期待される総湧出量の増量は約50%程度と見積られるが、実測湧出量は増加してない。昭和41年別府保健所の調査によればポンプ揚水井は全活動口数の32%で、昭和24年調査時の10倍以上に増加している。この原因は温泉水面の地表面より低い地域の開発にもよるであろうが、自噴地帯の水頭低下にも大きく関係している。例えば鶴水園、海門寺、以北は昭和34年には多量の自噴をしていたが、現在は殆んどがポンプ揚水に変わっている。

3. 旧市内温泉の揚水影響

別府旧市内温泉の自噴温泉地帯における揚水試験の結果から揚水井周辺温泉の密集度と揚水影響との間には密接な関係があることを見出し、両者の関係は各自噴温泉からの湧出を揚水層から全面的に水が滲出するとし、その滲出量の変化は揚水層の水圧変化に比例すると仮定した理論的な考察によって得られた結果と一致し次式によって表わされた。

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

$$\Delta q = \frac{K_0 \left(\sqrt{\frac{b}{T}} r \right)}{K_0 \left(\sqrt{\frac{b}{T}} r_0 \right)} \quad (3)$$

ここにs及びΔqは揚水井からrの距離にある温泉の水圧降下量と湧出量の減少量、Qは揚水量、Tは揚水層の滲透量係数、b/Tは滲出に関する係数、r₀は井戸半径、K₀(x)は第2種零階の変形された

Bessel函数である。

実測からb/Tと揚水井周辺の温泉密集度の間には次式の如き一次関係が成立した。

$$\frac{b}{T} = 1.20N + 2.84 \times 10^{-4} \quad (4) \quad \begin{matrix} N(m^{-2}) \\ \frac{b}{T}(\text{ }) \end{matrix}$$

(4)式において温泉密集度Nが零になってもb/Tは零にならない。この原因は地下の揚水層から浅部の温泉水層への滲出、或は深部温泉水層から揚水層への滲出があるため(4)式の右辺第2項はその滲出に関する係数である。この値は地下の温泉水層の構造に関するもので旧市内の如き広範囲な湧出地帯では地域的に違いがあり、特に温泉脈上では深部から浅部への流出が多いと予想されるところで、b/Tの大きいことが示された。

このような関係から揚水影響は掘鑿深度に幾分の違いがあつて、採湯温泉水層が違つても揚水の影響が現われるはずである。したがって前述の第1表に示される温泉深度の増深は温泉口数の増加による湧出量の減少から増掘又は湧出水頭の低下を行い湧出量の増加を計るが、この増量は浅層への滲出の減少となり、周辺温泉で浅層から湧出している温泉では湧出量の減少、泉温の低下が起つて、この温泉も亦増掘せざるを得ない状態となる。かくして全体的な深度の増大となつたと推察される。

温泉開発が進み口数が増加したところで新温泉を掘鑿して揚水した場合、新温泉の揚水量とこの揚水による周辺温泉の減少量の総量とが等しくなれば、最早や温泉開発の意義を失うことになる。旧市内温泉の揚水による影響から揚水井周辺温泉の湧出量の減少総量は上記関係式によって求めることが出来る。

(4)式において温泉密集度による滲出に関する係数をb₁/T、温泉水層間の滲出に関する係数をb₂/Tとして、揚水井から半径rまでの距離にある温泉湧出量の減少総量ΔQ₁は

$$\begin{aligned} \Delta Q_1 &= \int_0^r 2\pi r b_1 s dr \\ &= Q \frac{b_1/T}{b/T} \left[1 - \sqrt{\frac{b}{T}} r K_1 \left(\sqrt{\frac{b}{T}} r \right) \right] \quad (5) \end{aligned}$$

又揚水温泉水層から浅部温泉水層への滲出量の減少量、或は深部温泉水層から揚水温泉水層への流入の増加の総量ΔQ₂は

$$\begin{aligned} \Delta Q_2 &= \int_0^r 2\pi r b_2 s dr \\ &= Q \frac{b_2/T}{b/T} \left[1 - \sqrt{\frac{b}{T}} r K_1 \left(\sqrt{\frac{b}{T}} r \right) \right] \quad (6) \end{aligned}$$

ここにK₁(x)は第2種1階の変形されたBessel函数である。

(4)式の実測値から揚水井周辺温泉の密集度と揚水による湧出量の減少総量を計算すると次表の如くなる。

第2表によれば新温泉の湧出、或は既設温泉の湧出量の増量による周辺温泉の湧出量の減少総量は口数の増加と共に急激に多くなり、100m 以内、口数25以上では90%以上になる。尚温泉水層間の滲出に關係するものも全く無關係

第2表 別府旧市内温泉の揚水影響
(揚水量に対する減少総量のパーセント)

温泉口数 (10 ⁴ m ² 内)	b/T (m ⁻²)	$\frac{b/T(\sqrt{r}K(\sqrt{r}))}{b/T(\sqrt{r}K(\sqrt{r}))} \times 100$		$\frac{b/T(\sqrt{r}K(\sqrt{r}))}{b/T(\sqrt{r}K(\sqrt{r}))} \times 100$	
		m		m	
		r=50	r=100	r=50	r=100
1	4.0 × 10 ⁻⁴	12	22	28	50
5	8.8 "	39	60	19	28
10	1.48 × 10 ⁻³	57	76	14	18
15	2.09 "	67	83	11	14
20	2.69 "	74	88	9	10
25	3.28 "	79	90	8	9
30	3.38 "	83	92	6	7

ではあり得ないから、影響は一層大きい値となる。したがって口数の増加と共に個々の温泉の湧出量も急激に減少して、或る口数以上になれば需要量以下に減少

第3表 別府旧市内温泉の密集度と湧出量

口数 (10 ⁴ m ² 内)	平均湧出量 (ℓ/min)			口数 (10 ⁴ m ² 内)	平均湧出量 (ℓ/min)		
	1933年	1949年	1959年		1933年	1949年	1959年
1	19.8	26.1	21.6	18	14.4	16.3	14.7
2	26.8	23.6	16.2	19	8.8	12.8	
3	20.4	27.3	22.0	20	15.2	16.1	12.7
4	14.0	19.6	18.2	21		13.6	11.8
5	19.9	18.0	20.2	22	20.2		
6	14.9	15.0	12.9	23		11.6	13.9
7	15.3	17.4	16.6	24	18.4	14.2	
8	15.1	14.9	18.8	25		11.4	11.4
9	15.3	13.4	17.1	26		13.0	12.3
10	21.2	13.7	16.2	27		15.8	15.1
11	11.9	12.5	11.7	28			14.7
12	17.8	16.1		29			
13	16.0	14.0	14.2	30	10.2		
14	11.1						
15	14.9	12.2	12.1				
16		15.1					
17	10.0	13.6	16.7				

するであろう。別府旧市内の自噴温泉地帯の湧出量は開発の進展によって如何なる変化をしているかについて過去の現況調査結果から調べてみた。

4. 旧市内温泉の密集度と湧出量との関係

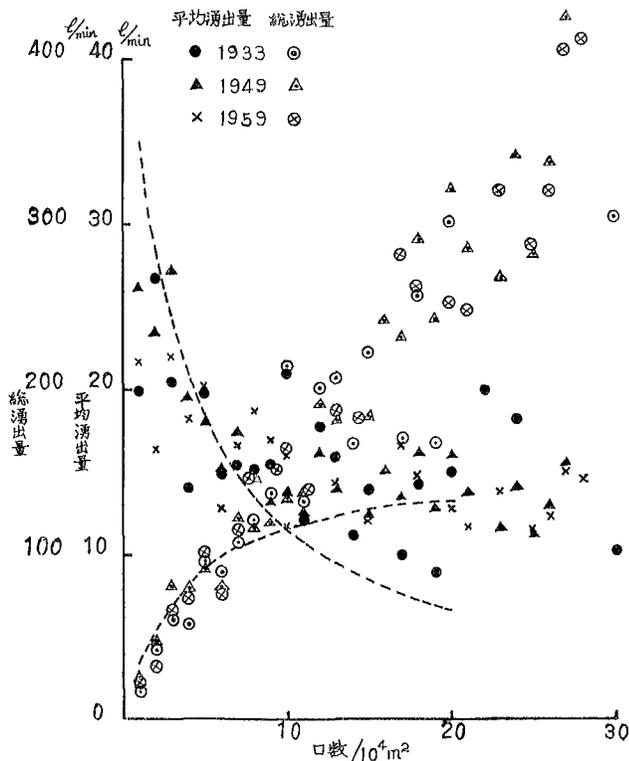
別府市旧市内温泉は昔時浜脇及び田の湯温泉脈上にあった自然湧出泉を中心にして温泉は開発され、漸次湧出地域が拡大されていったと思われる。殆んどが自噴温泉であり、その湧出水頭は一部地下のところがあるが、大部分は地表面が基準とされている。したがって温泉口数の増加と共に個々の温泉の湧出量は減少してきていると思われる。このような考えから過去の一回の一斉調査の結果自噴温泉地帯を 100m 間隔に網目状に分割して、その 100m 平方内の温泉口数と全温泉の平均湧出量及び総湧出量を求め図にすると第1図の如くなる。

個々の温泉の湧出量は採取している温泉水層の構造性質などの地域的な相違、湧出水頭の低下量、取水工事の相違、ボーリング後の経過年数などに關係するので統計結果に幾分のバラツキが生ずるのは当然であるが、全体的に見れば口数の少ないところでは湧出量が多く、口数の増加と共に急激に減少している。しかし口数が7~10口附近、湧出量12~14ℓ/minからは口数が増加しても湧出量は減少しない。したがって総湧出量は口数の増加と共に増加し、10口附近からは湧出量が変わらないから口数の増加に比例して増加している。

平均湧出量の実測値の減衰傾向から、100m 平方内に1口の温泉があって、その湧出量が 35ℓ/minあったとし前述の揚水試験の結果から求めた揚水影響の關係式である(5)式を用い、揚水影響が揚水井から 100m 以内であるとし、湧出水頭を一定にして口数を増加して行った場合の平均湧出量及び総湧出量を求めると、第1図の点線で示す値になる。この値と実測値とを比較すると両者は7~10口附近までは略一致する。計算値は10口以上でも尚減少してゆくので、両者の違いは口数の増加と共に大きくなる。湧出量の総量も同様に10口までは略一致するが10口以上では計算値の増加は鈍化し、20口以上では殆んど増加しない。

このような両者の違いの原因は温泉水層の構造、性質の地域的な相違、特に温泉口数の多い田の湯泉脈上では内部温泉水層間の滲出に關する係数が大きいことにもよるであろうが温泉開発において口数の増加と共に個々の温泉の湧出量は減少してゆき、最早や需用を満たすことが出来なくなり、己むを得ず湧出水頭の切下げか、増掘による深部の水圧の高い温泉水層からの取水によって必要量を確保する処置が取られるであろう。10口以上の地域の平均湧出量は個々の温泉所有者の必要量の最小限を示していると考えられ、したがって口数が如何に増加してもこの量を確保する処置が取られ

第1図 別府旧市内温泉の密集度と湧出量との関係



るからであろう。このような地域で尚口数が増加して行けば増堀のみではなく、湧出水頭の低下も合わせて行われると、この影響は周辺地域に波及して全般的な水圧低下となる。温泉の静止水頭の調査において田の湯温泉脈上で大きい水頭低下が示されているが、この低下は温泉が過密に存在する事にも原因があると思う。

近時密集地帯の周辺で温泉水面の地表面より非常に低い山の手の未開発地での温泉開発が盛んになり、温泉分布は昔時に比較して地域が拡大されてきているがその結果自噴地帯の温泉水圧は大きく低下の傾向をみせ、自噴が停止し、ポンプ揚水を行う温泉が増加しつつある。したがって密集地帯における新温泉の掘鑿は勿論、温泉の少ない周辺地域における開発にも十分の配慮が必要である。

5. ポンプ揚水地域における揚水影響

別府温泉では温泉口径が小さいので温泉水面が地下深くあるところでは水面の微小変化の測定はむづかしい。揚水試験においては既設温泉を利用するので揚水量を大きくすることが出来ないから周辺温泉への影響量も少なく、したがって水面の測定も高い精度を要する。近時開発された地域は温泉水面の低いところであ

り、揚水試験も行われてない。これらの地域におけるテストケースとして今回のヶ所において揚水試験を行った。測深方法として先端以外は絶縁された2本の電線を用い、先端が水面に達すると電気回路が形成されるこの点を電流計で知る電気的な方法を用いた。この方法による測深は深くなる程精度は悪くなり、15m以深では解析可能な十分の精度を以て測深することは困難である。

揚水試験の場所及び Hantush の解析方法によって求めた b/T を第4表に示す。

旧市内北部弓ヶ浜附近(清岡所有泉)は温泉口数の増加と共に温泉水圧は顕著な低下を示し、昭和34年調査時には殆んどの温泉が地表面において多量に湧出する自噴井であったが現在では温泉水面は地下1~5mまで低下している。求められた b/T は他の地域に比較して非常に小さい。周辺温泉で調査時揚水されていた温泉は3口程度であり、自噴

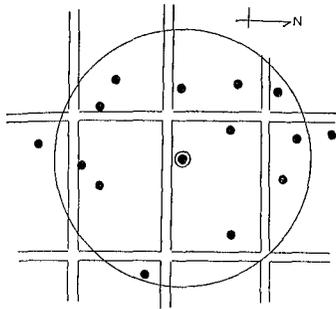
地帯で求められた値の1/10程度である。このような小さな値を示すことは内部温泉水層間に殆んど交流のないことを意味し、したがって揚水に対して内部温泉水層間の滲出による補償が少ないから、口数の増加による揚水量の増量は大きい水圧降下によって補給されることになり、自噴の停止が起ったと推察される。この地帯の温泉ボーリングの結果によれば、浅層の低温地下水程水圧が高いことが報告されている。又浅層におけるケーシングの破損により自噴量は増量するが低温化した温泉が窺々見られる。この事実は浅層水と深部の高温水との間に交流のないことを暗示し、揚水試験の結果とも符合する。

以上の結果からこの地域における揚水による影響或は温泉採取可能量の決定に自噴地帯での揚水試験の結果を適用することは適当でない。この地域の採取可能

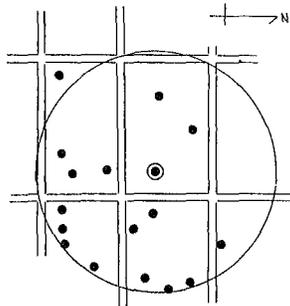
第4表

揚水井の位置	所有者	$b/T(m^{-2})$
別府市京町6	清岡婦美子	5.0×10^{-5}
別府市田の湯2046-9	有田 登	1.6×10^{-3}
別府市流川通り15丁目	雲泉寺温泉 経営KK	6.4×10^{-4}

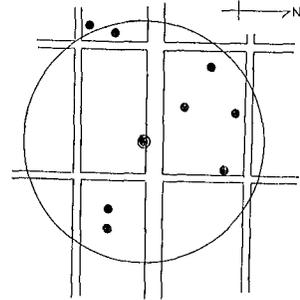
第2図 清岡所有泉周辺温泉分布
二重丸揚水井、円の半径
100m



第3図 有田所有泉周辺温泉分布



第4図 雲泉寺経営KK所有泉
周辺温泉分布



量の正確な決定にはただ一ヶ所における揚水試験の結果のみでは尚資料が不足であり、地下温泉水層の構造、性質、地下温泉伏流の状態などの資料が必要である。

田の湯有田所有泉附近は田の湯温泉脈上にあり、北西部には温泉が少ないが、南東部は多い。

揚水試験中大部分の温泉では揚水が停止されているが揚水されているものもあり、これらが自噴井と同じ作用を及ぼすとすれば、期待される b/T は 4×10^{-4} 以下と見積られ、したがって求められた b/T の大きいことは主として内部温泉水層間の滲出に関する係数が大きいことを示していると思われる。この値は不老泉附近で求められた値 (1.4×10^{-3}) に近い。

流川通り15丁目の附近は近時開発されたところである。この地点での揚水試験中にも周辺温泉で2~3口揚水しているものがあり、求められた値は自噴地帯で得られた値に略等しい。

以上の調査地域は何れも近時開発せられ尚開発が望まれている地域であるが、未だ多くの調査は実施されてなく、地域も広いから温泉水層の構造、性質に地域的な相違があると考えられ、しかも旧市内温泉では温泉伏流の上流に当る地域で開発の如何は既設温泉に大きい影響を及ぼす恐れがあり、早急な調査研究が必要である。

6. 要約

以上の各種調査結果を総合すれば、別府旧市内温泉では既に開発の限界を越えた温泉密集地帯があり、これが温泉水圧の低下を誘発しており、更にこの地帯の周辺地域で限界を越えた温泉掘鑿が行われたならば、温泉水圧の低下は一層激しくなり、遂には自噴地帯の消滅に止まらず、冷地下水の混入の増大、海岸部における海水混入の増大等により温泉は枯渇する恐れがある。したがって今後の開発においては採取量か、温泉口数を制限する必要がある。その限界は既に述べた如

く十分なる断定資料とは云い得ないが、上述の揚水試験の結果と、自噴地帯の湧出量の現況から、最大限100m平方内に温泉口数7~10口、総湧出量にして120ℓ/min以内に制限する必要がある。しかし正確な限界の決定には尚各種の調査資料が必要であり、早急な調査研究が望ましい。

特に近時開発されつつある旧市内山の手地域は温泉伏流の上流に当る地域で、沸騰泉があり高温熱水の存在が明らかにされ、しかもこの熱水は旧市内温泉を涵養する原温泉水であると見做され、旧市内の温泉水はこの熱水と地下水の混合されたもので両者の混合割合は2:8と推算された。したがってこの高温熱水の多量な採取は海岸部に湧出する温泉の熱源を枯渇させる原因になると考えられ、この地域の開発を如何にすべきかは重要な問題であるが、これを解決する調査資料は未だ少なく、今後早急にこの地域につての調査研究を実施する必要がある。

尚山の手にある噴気も地下の高温熱水の生成に無関係ではあり得ないから、無計画な開発による無駄な放出も厳に取締る必要がある。終りに本調査に協力した京大別府研究所員並に温泉所有者の諸氏に厚く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 山下：別府温泉の現況、温泉科学、17. 2、1967
- 2) 山下：自噴井群中の揚水の影響について、大分県温泉調査研究会報告、12、1961
- 3) 瀬野・吉川：別府市街地温泉の静止水頭調査、全上
- 4) 野満・瀬野・山下：別府温泉の湧出量と水頭との相関（其の一）、層状泉、地球物理、2. 3、1938
- 5) 未発表
- 6) 2) に同じ
- 7) 京大地球物理学研究所：別府旧市内温泉の概観(1) 地球物理、1. 1、1937

- 山下：別府温泉の調査の結果について、大分県温泉調査研究会報告、1、1950
- 矢野：別府旧市内温泉の現況調査(1)、大分県温泉調査研究会報告、10、1959
- 8) 3) に同じ
- 9) M.S.Hantush: Analysis of Data from Pumping Tests in Leaky Aquifer, Trans.Amer.Geophys. Union, 37. 6, 1956
- 10) 2) に同じ
- 11) 吉川・志賀・岩上：別府海岸部における温泉の化学組成、大分県温泉調査研究会報告、15、1964
- 12) 山下：別府旧市内温泉のLi⁺量の分布と水系について、全上、16、1965

別府市内および湯布院町の温泉孔における 岩芯調査報告（第4報）

大分大学教育学部 森 山 善 藏

1. 緒 言

昭和41年度中に別府市内の山ノ手にあたる4地点について、温泉ボーリングの岩芯記載をおこなったので報告する。

従来、海岸付近の扇状地地帯の記載が多かったが、今回は山ノ手を選択した。南帯[※]の温泉にあたる3孔と他の1孔は鉄輪と新別府の間にある古殿地区（沸騰泉地帯）の4孔で、そのうち2孔は噴気または沸騰泉で、2孔は温泉であった。

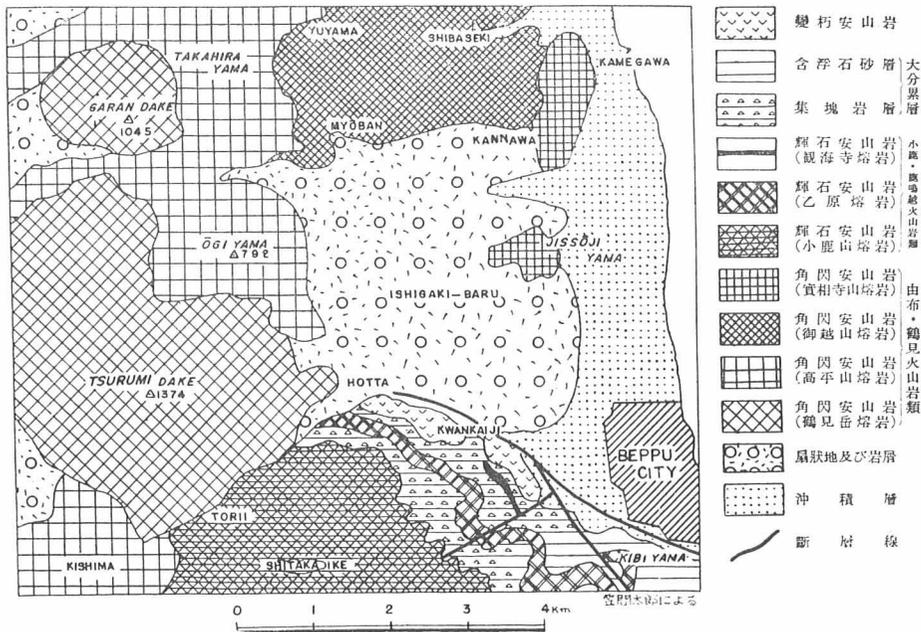
収集岩芯の記載の方法はプレパラートによる検鏡記載と含有斜長石の浸液法による屈折率の測定をおこなった。

なお、岩芯収集の現状について一言すれば、本来岩芯収集の目的は地下地質の詳細な構造を知るためのも

ので、完全な柱状図を作るためには岩石、砂、泥、火山灰にいたる全試料の採取が望ましいことはいうまでもないが、現状では5~10m間隔の岩石質岩芯の採取が主になっており、その間の粘土層や火山灰の薄層などが幾重にも繰返す場合（とくに扇状地の堆積物ではこのような繰返しが多い）には記載漏れの可能性も強くなる。かといって、数ヶ月もかかるボーリング作業に常駐して柱状図の記載や岩芯の収集にあたることはできないことであり、止むを得ず柱状図についてはボーリング業者によって作製されたものを利用している。

おそらく掘鑿従事者にとっては作業中その地点が熔岩か集塊岩、また扇状地堆積物の礫や粘土、火山灰の挟み、温泉沈澱物であるかなどはロッドの下降具合や岩芯の形、岩芯の採取状況などからほとんど推定が

Fig. 1 別府市周辺地質図



※ 従来、別府市内において南帯・北帯という呼称は旧別府市内の田ノ湯温泉脈（略東西方向で、流川通と駅前および北浜を結ぶ道路に挟まれた地帯を指す）を境にして南帯・北帯と呼ばれていたが、ここでいう南帯は朝見川断層線に沿う噴気地帯を南帯と仮称し、北帯は鉄輪付近を略東西に走る噴気地帯を北帯と仮称する。

つくと思われる。今後も地下構造解明のためにより良い柱状図の作製が望まれるところである。

上述の理由で、記載結果が地下構造の解明よりも、産出岩芯の造岩鉱物を記載する方向に傾いて了った。ボーリング岩芯の記載も今回で4回を終えることになるが、結果的に当初の目的からいささか外れた点もあり、一応お断わりする次第である。

II 岩芯の収集地点

岩芯の収集地点は次の4地点である。

1. 別府市大字別府字野口原3088-39 (生目神社東方300m) = 別府市温泉開発公社、深度350m
2. 別府市大字別府字中島2555 = 間瀬昭子(ホテル南) 深度200m
3. 別府市大字鶴見字古殿430-2 = 後藤武夫 深度250m
4. 別府市大字南立石字下板地1966-65 = 郵政互助会 深度200m

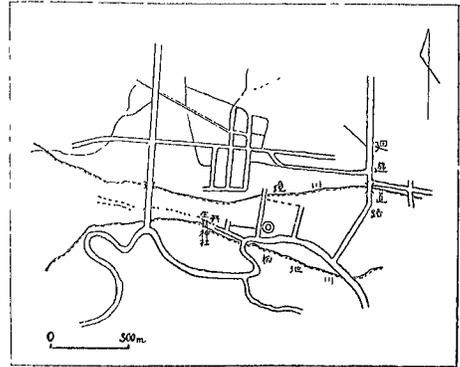
III 岩芯の記載

1. 生目神社東方 (別府市)
温泉孔 = 別府市開発公社 (第3077号)
昭和41年7月

位置 = 別府市大字別府字野口原3088-39
 深度 = 251m (許可深度350m、口径100mm)
 種類 = 温泉。孔底温度90°C、揚湯温度63°C
 揚湯量 = 83 l/m 7.5IP

地質 = 鶴見岳の東方にあたり、鶴見岳東麓から海岸にいたる緩傾斜地帯で、扇状地堆積物が厚く覆っている。境川の中流右岸にあたり近くに既存の温泉は少ない。

Fig. 2 野口原 (生目神社東) 温泉開発公社 記載孔の位置



註 記載孔は○印の地点、以下同様。

Tab. 1 生目神社東方 (別府市) の岩芯の記載 (市開発公社) (a)

深度(m)	C 温度(地中)	色	岩 相	記載	岩 石 名	斜 長 石			
						屈 折 率(n _r)	An %		
10	56°	淡 灰		○	角閃石安山岩	1.5488~1.5496	42~43		
40		淡赤褐		○	酸化角閃石安山岩	1.5488~1.5496	42~43		
70		淡 灰		○	酸化角閃石安山岩	1.5488~1.5496	42~43		
84		淡 灰		○	角閃石安山岩	1.5480~1.5496	40~43		
90		淡 灰		○	含石英、角閃石安山岩	1.5488~1.5496	42~43		
100		淡 灰		○	含石英、角閃石安山岩	1.5488~1.5496	42~43		
145		灰		○	角閃石安山岩	1.5488~1.5496	42~43		
150		黒 灰		○	両輝石安山岩	1.5520~1.5528	46~47		
170		60°(160)		濃黒灰	被 変 質	○	含角閃石、両輝石安山岩	1.5520~1.5536	46~48
190		66°		赤 褐		製作不能	1.5504~1.5536	44~48	
200		81°		濃黒灰		○	両輝石安山岩	1.5520~1.5528	46~47
210				濃黒灰		○	両輝石安山岩	1.5512~1.5520	45~46
230		86°							
251		90°							

註 記載の項に○印のあるものはプレパラートの製作ならびに記載をおこなったものである、以下同様。

Tab. 2 生目神社東方（別府市）の岩芯の記載 (b)

深度(m)	岩石名	検 鏡 記 載
10	角閃石安山岩	斑状組織。3 mm程度の大型の斜長石の斑晶が目立つ。累帯構造顕著。角閃石は4 mmにおよび、大型で量も多い。オパサイト化をうけ、磁鉄鉱の中心部に稀に角閃石が残留している。0.2mm程度の黒雲母含有。0.4mm程度の石英（円形）を含む。石基は微斑晶質。
40	酸化角閃石安山岩	斑状組織。4 mmにおよぶ大型斜長石あり。角閃石は酸化角閃石で、ほとんど直消光、多色性X=黄色、Y=褐、Z=暗赤褐、オパサイト縁をもつ。紫蘇輝石0.5~0.6mm程度のものあり。石基はいくらか脱玻璃状。
70	酸化角閃石安山岩	斑状組織。3 mm程度の斜長石多し、ほとんど粘土化をうけていない。角閃石は酸化角閃石でオパサイト縁があり、磁鉄鉱と輝石の微粒からなる酸化角閃石である。石基は玻璃基流晶質。
84	角閃石安山岩	斑状組織。2~3 mmの斜長石あり、累帯構造がみられ、各種の双晶がみられる。角閃石は2~3 mmのオパサイト縁をもつ典型的角閃石。石基は玻璃基流晶質。
90	含石英、角閃石安山岩	斑状組織。2 mm以下の斜長石多く、累帯構造の発達がよく認められる。角閃石は3 mmにもおよぶ、ほとんどがオパサイト化して、磁鉄鉱と分解物のみからなるものあり。紫蘇輝石は微斑晶程度、単斜輝石は分解したオパサイト中に見出される。1.5mmの石英粒あり、0.3mmの黒雲母を含む。石基は微斑晶質
100	含石英、角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は4 mm程度の聚斑晶をなすものあり。角閃石は3 mm程度の大型、オパサイト縁をもつもので、オパサイト縁中には単斜輝石微粒を生じている。紫蘇輝石は0.3mm程度の微斑晶。石英は0.7~1 mmで粒状、黒雲母は0.2mm程度のものを含む。
145	角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は2 mm程度、変形その他はうけていない。角閃石は2~3 mmの大型角閃石多し。オパサイト化をうけない美麗結晶とオパサイト縁をもつものがある。
150	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は2 mm以下のもので、小さいものは外形が破碎されたものが多い。角閃石は見あたらない。斜方輝石は単斜輝石と聚斑晶をなすものが多い。単斜輝石は双晶多く、2 mm程度で斜方輝石より量が多い。0.1~0.3mmの磁鉄鉱多し。石基は微斑晶質、磁鉄鉱微粒多し一般に輝石安山岩には石基に磁鉄鉱微粒多く、これが岩石の色を濃くみせる原因となっている。
170	含角閃石、両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は2 mm以下のもので、方解石により交代されたものもある。また中心部に方解石が生成したものもある。角閃石はただ1個大型で2 mmに近いもの、0.3mm幅の磁鉄鉱縁をもつ。紫蘇輝石、単斜輝石の聚斑晶が多く紫蘇輝石を包裹している単斜輝石もある。一般に単斜輝石の方が紫蘇輝石より量も多く形も大きい。単斜輝石は1 mm前後のものを含む。二次的間隙に緑泥石を生じている。石基は毛氈状の微晶質、流状組織が見える。
300	被変質両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は2 mm以下で分解または粘土化をはげしくうけている。両輝石が含まれるが、緑泥石や方解石が多く含まれており、方解石の縁辺部には緑泥石が生じている。方解石が舌状に充填生成しているものもある。
210	被変質両輝石安山岩	全 上

註 記載にあたり、鉱物粒の大きさ0.5mm以上のものを斑晶（Phenocryst）とし、0.1~0.3mm程度のものを微斑晶（Microphenocryst）、0.1mm以下のものを石基鉱物（Groundmass mineral）とした。以下同様。

記載結果

生目神社の東方 300mで、朝見川断層線より明らかに北側にある。緩傾斜の平坦な扇状地地形で、野口原と呼ばれている。地形図によると海拔 185mの地点にあたる。岩芯は-145mまで角閃石安山岩からなり、-150mから両輝石安山岩が最下底まで続いている。-150mから下の岩芯では変質が認められる。即ち-150mの岩芯では斜長石がいくらか破碎され -170mになると方解石や緑泥石を生じている。さらに-200mになると方解石・緑泥石の量が増加し、斜長石の分解や粘土化がはげしくなる。上述の角閃系と輝石系の両境界は Tab. 1 および 2 からわかる通り、劃然としたもので、輝石系にはいつてから岩芯中の斜長石は明瞭に屈折率が上昇する。また柱状図によると、浅い部分の温度が記載されていないが、一応輝石系にはいつてから温度勾配も上昇しており地表から -150mまで砂礫層、-150~-200m付近まで安山岩（熔岩?）、-200~251mまで風化安山岩（熔岩?）となっているが、-150m以下の輝石系が一次的の熔岩または集塊岩からなるか、二次的扇状地堆積物であるかどうかは興味のあるところである。最後に角閃系・輝石系の境界は海拔35mにあたる。

2. 別府市西小学校付近（流川14丁目）

温泉孔＝間瀬昭子（ホテル南）（第3407号）

昭和41年 8月

位置＝別府市大字別府字中島2555

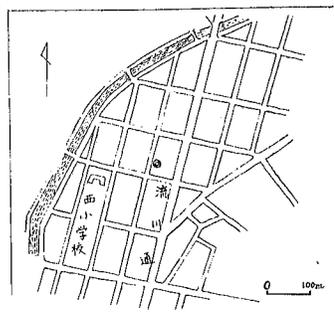
深度＝150m（許可深度200m）

種類＝温泉。孔底温度35°C、揚湯温度50°C

揚湯量＝54ℓ/m 7IP

地質＝既存の地質図によると、沖積地帯となっているが、地下では西方からの扇状地堆積物によって占められるものと思われる。

Fig 3 流川14丁目間瀬記載孔の位置



Tab. 3 別府市西小学校付近（流川14丁目）の岩芯の記載 (a)

深度(m)	C 温度(地中)	色	岩 相	記載	岩 石 名	斜 長 石	
						屈 折 率 (n ₁)	An %
0~2			表 土				
5		灰	砂礫層	○	単斜輝石・角閃石安山岩	1.5496~1.5504	43~44
10.5		灰	〃	○	角閃石安山岩	1.5504~1.5512	44~45
12.5		黒 (多孔質)	〃	○	斜方輝石安山岩	1.5520~1.5536	46~48
18		灰 白	〃	○	角閃石安山岩	1.5520~1.5528	46~47
20		灰	〃	○	両輝石安山岩	1.5528~1.5536	47~48
24.5		〃	〃	○	角閃石安山岩	1.5520~1.5528	46~47
30		黒 灰	〃	○	両輝石安山岩	1.5520~1.5528	46~47
33		淡灰褐	〃	○	〃 〃	1.5520~1.5528	46~47
34		黒 灰	〃	○	〃 〃	1.5520~1.5528	46~47
37		〃	〃	○	〃 〃	1.5536~1.5544	48~50
41		〃	〃	○	〃 〃	1.5528~1.5536	47~48
44		〃 (多孔質)	〃	○	〃 〃	1.5536~1.5544	48~50
46	41.5°	黒 灰	〃	○	角閃石・両輝石安山岩	1.5536~1.5544	48~50
50		〃	〃	○	両輝石安山岩	1.5536~1.5544	48~50
63A	42°	〃	〃	○	〃 〃	1.5528~1.5536	47~48
63B	〃	〃 (褐色斑)	〃	○	〃 〃	1.5528~1.5536	47~48

72	43° (73)	〃	〃	○	両輝石安山岩	1.5536~1.5552	48~51
100	45° (95)	黒 灰	—112—	○	〃 〃	1.5528~1.5536	47~48
	49° (120)		粘土質	○	〃 〃	1.5536~1.5544	48~50
130		〃	114 集塊岩	○	〃 〃	1.5536~1.5544	48~50
150	53°	紅 褐	—128— 砂礫層	○	〃 〃	1.5544~1.5552	50~51

Tad. 4 別府市西小学校付近（流川14丁目）の岩芯の記載 (b)

深度(m)	岩石名	検 鏡 記 載
5	角閃石・単斜輝石安山岩	斑状組織。斜長石は4mm程度の大型のものがあり、中心部に粘土化がみられる。累帯構造や各種の斜長石がみられる。角閃石は殆んど2mm以下で、酸化角閃石になったものが多く普通角閃石もいくらか混じっている。斜方輝石は見あたらず、単斜輝石は0.5mm前後のものがある。またオパサイト中にも微斑晶程度のものが多くみられる。石基は微斑晶質、磁鉄鉱は微斑晶程度の塊状のもの。また明らかに角閃石がオパサイト化して生成したのものがある。
10.5	角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は1~2mm程度のもの。角閃石は2mm以下でオパサイト化をうけており、一部は単斜輝石微粒を生じている。斜方輝石はみられず、単斜輝石は微斑晶程度のものが多い。石英0.5mm程度のものを少量含んでいる。石基は微斑晶質で流状組織が目立つ。
12.5	黒色多孔質斜方輝石安山岩	斑状組織。黒色多孔質で、斑晶として斜方輝石のみがあり、角閃石は見られず、石基鉱物としては単斜輝石もみられる。石基中には短冊型の斜長石の流状組織がみられ、ガラスを含むなど比較的特異である。斜長石は2.5mm以下、表面は破碎されたものが多く、中に微細斑点状の褐色ガラスを含む。斜方輝石は1~1.5mmで長柱状をなすものが多い。単斜輝石は0.1mm程度の石基鉱物として認められ、干渉色低く、斜消光をなす。磁鉄鉱は0.25mm以下で必ずしも量は多くない。石基は全体が黒褐色で、これは黒褐色のガラスからできているためである。Cavityの内壁に沿い、赤褐色のガラス質のものが付着しているものがある。
18	角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は2mm程度のものが多い。2mm程度の大型角閃石を含み全部オパサイト化している。オパサイトは磁鉄鉱と輝石の集合したもの。斜方輝石はわずかに微斑晶程度の長柱状のものが含まれる。単斜輝石は角閃石の分解によって生成されたと思われる微細片の集合したものがみられる。
20	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は1.5mm以下と比較的小さい。角閃石はなく、斜方輝石が優勢で1mm前後のものも多く、単斜輝石と聚斑晶をなすものがある。石基に磁鉄鉱多し。石基は微斑晶質。
24.5	角閃石安山岩	斑状組織。斜長石にはいくらか累帯的粘土化がみられる。角閃石はオパサイト化しており、単斜輝石と磁鉄鉱の微粒集合からなる。2mm以下で分解が激しい。斜方輝石は微斑晶以下のものも少ない。単斜輝石は0.5mm程度の干渉色の低いものからなる、量は少ない。微斑晶以下のものは極めて多量。石基の構造は流状組織。
30	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は短冊型で1.5mm以下で比較的小型のものが多い。角閃石はなく、紫蘇輝石は1mm以下で量は相当多い。微斑晶程度の磁鉄鉱多し。石基には磁鉄鉱の微粒多く、石基は細粒質で流状組織は見られない。
33	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は2.2mm以下で短冊型。斜方輝石は量多くすべてのものが結晶粒の周囲に赤褐色の酸化鉄の付着した長柱状のものをみる。単斜輝石は1.5mm、周囲に汚染はみられず斜方輝石より少ない。

34	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は短冊型。紫蘇輝石は2mm程度の大型斑晶をも含む長柱状のもの多く、大部分は1mm以下で、単斜輝石より量が多い。単斜輝石は2mm程度の大型斑晶を含み双晶をなすこと多し。微斑晶程度の磁鉄鉱を含む。石基は微細な玻璃基流晶質。
37	両輝石安山岩	全 上
41	両輝石安山岩	全 上
44	両輝石安山岩	多孔質 全 上
46	含角閃石、両輝石安山岩 (一定方向に斑晶が並列する)	斑状組織。斜長石は短冊型で2mm以下で定方向に配列している。角閃石を含み、黒色のオパサイト縁がある。輝石は両輝石が含まれ、紫蘇輝石は量が多いが小型。単斜輝石は2mm前後であるが量が少ない。両輝石安山岩の中に唯一個含まれる角閃石安山岩であり、この角閃石は興味深い。
50	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石は短冊型。紫蘇輝石は長柱状のものが多く単斜輝石より量多く小型。単斜輝石は大型で双晶をなすこと多し。
63A	両輝石岩安山岩	以下の岩石も同様の両輝石安山岩が続くが特記すべきことのみ記載すれば斜長石はいくらか破壊された組織を示す。cavityにわずかな方解石を認める。石基鉱物には単斜輝石より斜方輝石の方が多い。
63B	両輝石安山岩	斜長石は中心部がいくらか粘土化している。角閃石は黒色大型雲状体が残留している。方解石と思われるものがかかり生成している。赤褐色半透明な脈状または斑点状の生成物があり、脈状体は斜長石、輝石を同時に切ったものもあり、後期の生成物と思われる。濃色部と淡色部とあり濃色部は短柱状で明らかに異方性を示し、直消光、淡色部は被染色状のもので十字ニコル下で等方性を示す。
72	両輝石安山岩	方解石脈などは認められない。
100	両輝石安山岩	全 上
130	両輝石安山岩	斑状組織。斜長石や紫蘇輝石のあるものは方解石により交代されている。また全体に相当量の方解石が交替的に生成している。
150	両輝石安山岩	斑状組織。肉眼では紅褐色であるが鏡下では輝石の周囲に酸化鉄の若干の汚染がみられ、微粒の赤鉄鉱様のものがわずかに認められる他、著しい変化はない。なお黒雲母の0.5mmが1個見られた。

記載結果

この地点は前回記載した山村定氏(上原区)の地点に近く、その東400mの位置にあたり、上原区では角閃系の礫層と輝石系の礫層(?)の境界が-50m付近にあったが、この地点ではこの境界が-30m付近にある。

今回この境界付近では、特に2~3mの間隔で試料の採取をおこない、その間の異種岩石の採取に努めたが、記載の通り、両輝石安山岩のみが-30m以下では採取され、僅かに-46mにおいて角閃石を含む両輝石安山岩が認められた。また、掘鑿従事者の柱状図によると、-120m付近に15mの厚さで集塊岩が挟まれていることが記載されている。

この掘鑿地点はこれまでの記載孔中、最も南に位置

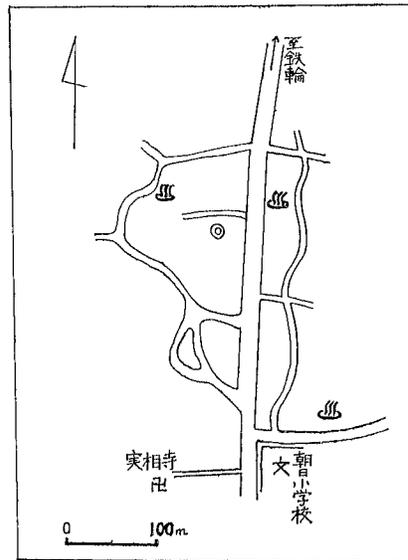
するが、角閃系と輝石系の境界は-30mと最も浅く、採取岩芯に角閃石安山岩が最も少なかった。このことは別府の扇状地堆積物の礫の岩質は南部(境川以南)では南に、また山の手(西)にゆくに従い、角閃系・輝石系の礫層の境界が浅くなり、全採取岩芯中両輝石安山岩混入の割合が角閃石安山岩に比して多くなるといことが云える。

3. 朝日小学校北、鉄輪中組

温泉孔=後藤武夫(第3278号)昭和41年7月
位置=別府市大字鶴見字古殿430-2
深度=184m(許可深度250m)口径50mm

Fig 4 古殿、後藤記載孔の位置

種類=沸騰泉、孔底温度163°C、揚湯温度99°C
 揚湯量=湧出量極めて大(詳細不明)自噴。
 地質=本地域は実相寺山の北で、扇山の東にあたる扇状地および岩屑地帯である。鉄輪と新別府の中間で付近には噴気や沸騰泉があり高変質帯ということが出来る。この地点は一応北帯の地熱地帯に属すると考えられる。



Tab. 5 朝日小学校北、鉄輪中組の岩芯の記載 (a)

深度(m)	C m 温度(地中)	色	岩 相	記載	岩 石 名	斜 長 石 類	
						屈 折 率 (n ₁₁)	An %
0~30(A)		灰	砂 礫 (粘土層の 挟み数枚)	○	含石英・黒雲母、単斜輝 石・角閃石安山岩	1.5496~1.5504	43~44
0~30(B)		紅	砂 礫	○	含兩輝石、酸化角閃石安 山岩	1.5450~1.5465	34~37
70~109	50°(60) 55°(70) 65°(80) 75°(90) 98°(100)	灰	大氣中で崩 壊被激変質	○	角閃石安山岩	1.5528~1.5536	47~48
109		黒灰	被 激 変 質	○	〃 〃	1.5496~1.5504	43~44
110	105°(110)	灰	被 変 質	○	〃 〃	1.5488~1.5496	42~43
124~126	123°(120)	灰白 (帯淡 緑)	白 色 脈 116~124 (黒色粘土)	○	〃 〃	1.5504~1.5512	44~45
133(A)	130°(130)	黒灰 (帯淡 緑)	被 変 質	○	〃 〃	1.5504~1.5512	44~45
133(B)		灰白	被 激 変 質	○	〃 〃	1.5496~1.5504	43~44
133~137		〃	被 変 質	○	〃 〃	1.5488~1.5496	42~43
137	133°(140)	〃	〃	○	〃 〃	1.5504~1.5512	44~45
150	143°	〃	〃	○	〃 〃	1.5480~1.5488	40~42
160	150°	灰	軽石様岩盤	○	〃 〃	1.5465~1.5496	37~43
170	153°	〃	〃 〃		採 取 不 能		
180	163°	〃	〃 〃		〃 〃		

Tad. 6 朝日小学校北、鉄輪中組の岩芯の記載 (b)

深度(m)	岩石名	検鏡記載
0~30(A)	含石英・黒雲母、単斜輝石・角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は2~3mm程度で、累帯構造、各種の双晶が多い。角閃石は大きく量も多い。大きいものでは4mmにもおよぶ。紫蘇輝石は微斑晶以下のものがいくらか含まれる。単斜輝石には2mm前後のものが含まれている。石英は0.7~0.8mmのものが少量、黒雲母は小型で斑晶または微斑晶をいくらか含んでいる。
0~30(B)	含両輝石、酸化角閃石安山岩	斑状組織。プレパラートでは半分がmatrixで半分がxenolithである。同源のものともみられる。前者は両輝石を含む酸化角閃石からなり、酸化角閃石は狭いオパサイト縁をもつ、含有輝石は微斑晶・石基両者に酸化鉄の汚染がみられ、粒状の石英が含まれる。後者は等粒の結晶質の岩石で前者に比し細粒である。斜長石の長柱状結晶が目立ち他の輝石も同様な長柱状を示すものが多い。酸化角閃石はほとんどがオパサイト化している。さらにこの中の微斑晶をなす輝石も両輝石からなり、両輝石共酸化鉄に汚染され赤褐色を呈する。
70~109	被変質角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は粘土化が激しい。角閃石は周縁がオパサイト化されたものが多く、全面に酸化鉄の汚染がみられる。cavityにバルサムより屈折率の低いものがある。方解石が多量に生じている。また濃赤褐色を呈する赤鉄鉱が生成している。
109	被変質角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は斑晶がよく残留し、内部は壁閉にそって粘土化が激しい。角閃石は外縁のオパサイト中の磁鉄鉱の残留物の形から角閃石とわかる程度。輝石は分解してははっきりわかるものはない。磁鉄鉱の斑晶が残留している。石基は全体が粘土化され、微細な構造がみられ、干渉色もほとんどなく全体が黄色化(平行ニコル下)している。
110	被変質角閃石安山岩	斑状組織。斜長石は粘土化したところもあるが、形はよく保存されている。角閃石は大型でオパサイト化をうけている。中心部に方解石の微粒が生じているものがある。斜方輝石や単斜輝石が僅かに残留している。方解石は脈状や輝石を交代して二次的に生じ、cavityには二次的な石英を生じている。微斑晶程度の黒雲母があり、二次的な赤鉄鉱が多い部分がみられる。石基は脱玻璃作用をうけていると思われる。
124~126	被激変質角閃石安山岩	斑状組織。斜長石はほとんど残留していない。輝石の外形を示すものの中に緑泥石が認められる。岩石中の脈状の間隙に多数の沸石が生じている。扇状にひろがったものと、平行条線のある繊維状のものもあり、0.5mm程度の大きさで二次的生成物と思われる。全体が水化作用をうけている模様で波動消光を示す石英もある。石基は脱玻璃状を呈し、鏡下では源岩の推定はできない。肉眼では明らかに角閃石の外形を示すものがあり、角閃石安山岩と思われる。
133(A)	被変質角閃石安山岩	方解石の細脈が貫き、石基は黒点多く、温泉の影響を受けたものと思われる。角閃石は1mm以下のものが相当量残留している。斜長石はいくらか粘土化しているが、形は比較的保存がよい。輝石は緑泥石化して、ほとんど残留していない。石基は脱玻璃状。
133(B)	被激変質角閃石安山岩	外觀は崩壊しやすい粘土状体となり、熱水の影響を強くうけている。オパサイト化をうけた角閃石の痕跡を認める。1mm前後の多数の沸石が双晶または繊維状を示している。繊維状のものは負の伸長方向を示す。
133~137	被変質角閃石安山岩	斑状組織。角閃石の残晶を認める。沸石が相当量認められる。脱玻璃状の石基があり、一部に緑泥石が生成している。

150	被変質角閃石 安山岩	斑状組織。肉眼では強い変質作用はうけていないように見えるが鏡下では斜長石など外形が相当程度破壊されている。石基は脱玻璃状。
160	被変質角閃石 安山岩	斑状組織。肉眼では緑泥石の細脈が走る外はひどい変質はみられない。鏡下では斜長石が相当量完全な形で認められる。硫化鉄が一部に認められる。角閃石は緑泥石にかわっているか、溶解脱落して、オパサイト縁中の磁鉄鉱の形から角閃石と認められる。輝石類は斑晶・石基にも認められない。

記載結果

本地域は噴気または沸騰泉地帯で、-70m付近から下方の岩石はほとんどがかなりの変質をうけている。-124mの岩芯中に繊維状の沸石と、方射状の沸石が認められた。また-133mの岩芯にも多数の沸石が生成している。

方解石は脈状をなすものや輝石を交代して出るものなどがある。

なお、Tab.5において斜長石の屈折率の測定をおこなったが、当初沸石の存在を知らず測定したもので、一部に屈折率の低いものも混じられているが、なお検討を要する。

-120mの岩芯には両輝石が含まれ、単斜輝石がいくらか大きく、どちらも方解石により一部が交代されている。

一般に輝石類が変質される場合、泉質にもよるが斜方輝石の方が変質されやすく、また酸化鉄の汚染などうけることが多く、単斜輝石の方は元の状態で保存されていることが多い。

4. 観海寺、杉乃井ホテルの下（北側）

温泉孔 = 郵政互助会（第3406号） 昭和41年8月

位置 = 別府市南立石字下板地1966-65

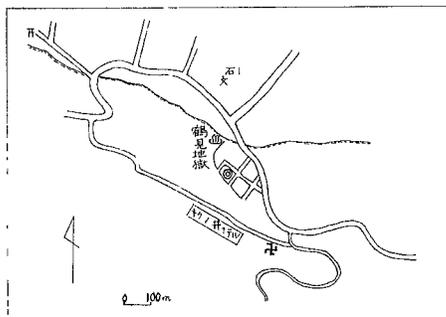
深度 = 120m（工事中）（許可深度 200m）口径 75mm

種類 = 噴気

揚湯量 = 未完了のため測定不能。

地質 = 本地域は観海寺の北側直下、朝見川断層線の北に沿う部分で、別府南帯の有力な噴気地帯にあたる。従来までの地質図によると、沖積層と扇状地堆積物の境界線付近になっており、付近には八幡地獄などの噴気がある。その南側30mには停止中の噴気孔があり、現在交換掘鑿中のものである。

Fig 5 南立石、郵政互助会記載孔の位置



Tab. 7 観海寺、杉の井ホテルの下（北側）郵政互助会の岩芯の記載 (a)

深度(m)	C 温度(地中)	色	岩相	記載	岩石名	斜長石	
						屈折率(n)	An %
28	102° (80) 132° (94) 132° (101) 130° (113) 130° (115) 135° (118)	黄+灰 +紅褐	被変質	○	角閃石安山岩 (凝灰角礫岩)	1.5465~1.5504	37~44
35		黒灰	被変質	○	単斜輝石・角閃石安山岩	1.5450~1.5465	34~37
40		濃黒灰	被変質	○	角閃石安山岩	1.5480~1.5488	40~42
75		濃黒灰	被変質	○	単斜輝石・角閃石安山岩	1.5480~1.5488	40~42
91		濃黒灰	被変質	○	単斜輝石・角閃石安山岩	1.5488~1.5496	42~43
93		濃黒灰	被変質	○	単斜輝石・角閃石安山岩	1.5450~1.5465	34~37
110		灰	被変質	○	凝灰岩 (角閃石安山岩質)	1.5435~1.5450	30~34
118		白+灰	石英脈	○	方解石・石英脈	測定不能	---
120		白+灰	石英脈	○	方解石・石英脈	測定不能	---

Tab. 8 観海寺、杉乃井ホテルの下（北側）郵政互助会の岩芯の記載 (b)

深度(m)	岩石名	検鏡記載
28	被変質角閃石安山岩 (凝灰角礫岩) 凝灰部も同岩質	大小の亜角礫または円礫を含む集塊岩で、matrixの部分は同質の火山灰からなり、礫の色は灰色・灰緑色と紅褐色の三種がみられ、火山灰は黄白色を呈し、方解石・沸石その他が認められる。 角閃石は1~2mmの酸化角閃石でオパサイト化しているものが多い。単斜輝石は0.5mmの斑晶がある。方解石と沸石が無数に生じている。沸石を取り囲んで方解石を生じているところもあり、方解石の周囲に沸石を生じているものもある。石英がいくらか含まれており、石英の周囲にオパサイト縁ができていたものもあるが、これはオパサイト縁をもつ角閃石を、水化作用によって、石英が交代して、生じたものであろう。石基の斜長石は溶出したものが多い。また石基中には単斜輝石の微粒が含まれるが、赤褐色に色付いており酸化鉄が生成汚染したものであると思われる。
35	被変質単斜輝石・角閃石安山岩	外観は非常に変質をうけたようにみえるが、鏡下では、造岩鉱物の保存が比較的良い。方解石脈が数条貫いている。角閃石は磁鉄鉱縁をもち、2mm前後の大きいものがあり、内容は失はれている。両輝石があるが、単斜輝石は形も大きく量も多く、斜方輝石は殆んど含まれない。微斑晶以下のものでは両輝石があり、単斜輝石の方が量が多い。石英を含み、硫化鉄多し。石基は一部に溶解されたあとがみられる。
40	被変質単斜輝石・角閃石安山岩	斑状組織。前者同様外観に比して、鏡下では造岩鉱物の保存が良好。角閃石は黒色のオパサイト化したもので磁鉄鉱微粒のみからなるものと、単斜輝石と磁鉄鉱の微粒集合よりなるものなどがある。輝石は微斑晶以下の両輝石があり、単斜輝石の方が量が多い。石英がいくらかあり、脈状の方解石が相当量見られる。
75	被変質単斜輝石・角閃石安山岩	斑状組織。角閃石は3mm程度の大きなものがある。なかには方解石によって完全に交代されたものもある。単斜輝石は1~2mmのものがあり、紫蘇輝石は微斑晶程度で量も少ない。石英は相当量あり、そのうちの3mmの大型のものは二次的なものである。方解石脈も多い。
91	被変質単斜輝石・角閃石安山岩	斑状組織。わずかな石英と多量の緑泥石を生じており、緑泥石は主に輝石の斑晶と、石基鉱物から変ったものらしい。輝石は聚斑晶をなし、単斜輝石からなる。
93	被変質単斜輝石・角閃石安山岩	斑状組織。オパサイト角閃石を含む。単斜輝石の0.7mm前後のものが聚斑晶をなすものあり。黒雲母の小斑晶1個、またバルサムより屈折率低く、中空のオパールが含まれる。また、石英および方解石を含む。
110	被変質凝灰岩 (角閃石安山岩質)	斑状組織。斑晶程度の斜長石や酸化角閃石を多数含み、円型の石英や他形放射状の沸石が多数生成している。火山灰質で、相当程度固結されている。或いは熔岩が強度に変質された結果生成したものかもしれない。
118	方解石・石英脈	白色石英脈で所々に空隙を有し、肉眼でも灰色（硫化鉄微粒?）の波型の模様ができている。当地点は別府金山の西方延長でもあり、合金の可能性あり。空隙のまわりの石英は微斑晶程度で粒子が大きい。方解石は石英の間に縞状にはいつているものと、斑晶を交代して粒状をなすものがあり、粒状のものは干渉色が美麗である。
120	方解石・石英脈	前者と略同様で、この中では方解石は石英とは別の脈をなし、石英中にはほとんどみられない。灰色の部分は熔岩か火山灰の残留物で、一部に沸石を生じており、硫化鉄をも生じている。また一部にオパサイト縁の形をした部分も残留している。

記載結果

全岩石は最下部の石英脈の部分を除き、単斜輝石・角閃石安山岩からできている。この岩石は角閃石を主に、単斜輝石を従としていて、最上部の岩石から最下部-120mの岩芯まで、程度の差はあるが、全岩石に変質が認められ、源岩の岩質は方解石・石英脈の部分を除いて皆等しいと思われる。

なお、相当量の沸石や方解石を含み、見かけ上、凝灰岩質の部分には方解石・沸石が多い。緑泥石を生じた部分も認められ、緑泥石は主に輝石類を交代して生成している模様である。また一部にオパールが生成している。

Tab. 7 の記載 (A) の斜長石の屈折率測定値中、異常に低いもの(110m)があるが、3、の記載結果(33頁)と同様の理由で、今後検討を要するものである。

なお、岩芯中で二次的に生じた交代生成鉱物中、最も多いのは方解石であり、脈状に貫入する他、他鉱物をも交代しており、沸石は空隙部に、特に凝灰岩状部に晶出し、石英は-120m以下に石英脈をなして多量に生成し、粒状集合状をなし、きわめて堅硬である。

IV 総括および今後の課題

① 今回の記載は別府市内の山の手に4孔を選んでおこなった。前回、岩芯中に産出する粘土鉱物以外の主要な鉱物について、石基部・斑晶部とに分け、それぞれ表にして記載したが、それに今回の調査で沸石およびオパールが加わる。

② 北帯(噴気・沸騰泉地帯)の古殿にある後藤武夫氏の掘鑿孔から沸石と思われるものが二次的生成物として産出した。同種のもは南帯にあたる郵政互助会 Tab. 8 にもあり、同岩芯では凝灰岩状変質部に特に多いが、最下底にある方解石・石英脈の部分にも方解石に伴って認められる。

この種沸石と思われるものは鏡下で双晶を示すものもあり、屈折率および干渉色共に低く、直消光、伸長方向は負、二軸性負号を示し、斜方晶系に属するものと思われる。

③ 従来、別府の扇状地(境川以南の旧市内)において、角閃系の礫層の下方に輝石系の礫層を含む堆積物があり、温泉の掘鑿はこの輝石系の中まで掘られて採取されていることを報告してきたが、今回は流川14丁目(ホテル南)の岩芯において、この両岩系の境が地表から-25m付近にあることがわかった。

④ 南帯の朝見川断層線付近(断層線の北側)にあたる郵政互助会の岩芯においては最上部から孔底にも沸石があり、方解石脈や石英・オパールなどもみられたが

-120m以下では微細な石英粒からなる石英脈が多くなる。肉眼では採取岩芯の大多数は黒色化して、変質の激しいことが予測されたが、鏡下では造岩鉱物の保存が比較的良好で、明らかに単斜輝石の斑晶をもった酸化角閃石安山岩からできており、小鹿山系の両輝石安山岩とは異なり、また変杓安山岩とも角閃石の多い点で異なっている。今後この岩石と鶴見系の角閃石安山岩との比較が必要である。

⑤ 前記鉄輪、古殿の後藤氏の掘鑿孔においては地表から160mの孔底まで角閃石系の岩芯があり、輝石系は現われていないが、これは未だ深度が浅いためであるのか、北部のこの地帯では輝石系の岩芯が下方まで存在していないのか、現状でははっきりしたことは云えない。

⑥ 生目神社付近の温泉開発公社の記載孔では地表から-150m(海拔35m)に輝石安山岩が現われ、最底深度-210mまで輝石安山岩が続いている。この地点は南帯の朝見川断層線より明らかに北側に位置するが西方の鶴見山の基底に続くと思われる位置にあるだけに、-150m以下が輝石系の二次的な礫層でなく、もし一次的な熔岩が集塊岩(凝灰角礫岩)からできているとすると、鶴見山の基底の問題とも関連して興味あることである。なお、-150m以下の輝石系の岩石は明らかに小鹿山系の輝石安山岩からできており、また小鹿山系の岩質は薬田地南の峠返りの滝付近や向ヶ平の山、六枚屏風などで、全岩石の厚さが400m以上あり、凝灰角礫岩を主にして、その中に同岩質の4~5枚程度、10数mの厚さの熔岩を挟んだものからできているが、上記-150m以下の岩石は掘鑿業者の柱状図でもはっきりしないが、熔岩がらしい記載もあり、この種の一次的な熔岩が凝灰角礫岩の可能性が考えられる。

⑦ 境川以南では扇状地々帯においても輝石安山岩系の砂礫層まで掘鑿して温泉を採取している事実は、九州大学・松下久道教授の云われる火山系の温泉では輝石安山岩の熔岩中からほとんどの温泉が採取され、その上の角閃石安山岩中からは、ほとんど温泉がでないという事実とも照らして注目すべきことであろう。

今後の課題として、次のようなことが挙げられる。

① 境川付近を境(東西方向)として、北側では温泉の掘鑿深度が深く、また輝石系の砂礫層は下方にも現れなくなるが、この境が断層の生成によるものか、北に漸傾したものであるか、また、このような境が海岸付近だけでなく、山の手(廻遊道路付近)においても認められるものかどうかと云う問題等。

② 実相寺山熔岩は大型の角閃石をもった比較的特徴的な岩石であるが、粗質であり、鶴見系よりも古いものとされながら、扇状地の堆積物中の礫としては極めて稀れである点。

③ 前回の調査で、平田川中流付近には石基に玻璃質の球顆を含む酸化角閃石球顆安山岩の熔岩があり、ほとんどの地帯にのみ認められ、地下-70~-157 mの深さに約80 mの厚さで堆積する地下熔岩層であるが、柱状図によると、この熔岩の下方にいたり温度勾配が急激に上昇し、孔底(-217 m)では100°Cと異常に高く、この種の熔岩が一種の帽子岩(Cap rock)をなしていると考えられる。今後この熔岩が西側の台地または地上の何処かに露出していないかどうか、またこの熔岩の地下での分布範囲の問題。

④ 南帯の断層線(朝見川断層線)の南側に分布する変朽安山岩の源岩とその噴出時代の問題。これは未だ2、3のプレパラートしかみていないが、斜長石のほか、緑泥石が多く、輝石には単斜輝石の大型斑晶しか見あたらず、組織や斑晶の形からみて両輝石安山岩の可能性が強いが、さらに検討を要する。

⑤ 京大地球物理学研究所の山下幸三郎博士が指摘されたが、南部扇状地々帯の一部(野口付近)に角閃系の(礫層?)中に輝石系の(礫層?)が挟在されているところがあるそうであるが、その種輝石安山岩(礫層?)の検討と上下の角閃系(礫層?)中の礫の比較と田ノ湯温泉脈を境とした南北両地帯の地下から出てくる輝石系岩石の生成状態が一次生成物か、二次かの検討。

⑥ 最後に先にも述べたが、記載にあたって正確な柱状図の入手が現状では困難であり、その表現に一次

的な噴出物(熔岩または集塊岩(凝灰角礫岩))か二次的な扇状地の堆積物か明瞭でないなどの点もあり、掘鑿業者の提出される柱状図の岩石名・岩相名の表示にも今後の改善が望まれる。

謝 辞

温泉ボーリングの岩芯の記載をはじめから4年を経過したが、終始御助言、御鞭撻頂いた京都大学理学部地球物理学研究所吉川恭三助教授、山下幸三郎博士をはじめ、種々御便宜を与えられた大分県庁厚生部薬務温泉課の方々、岩芯収集に御協力頂いた緑ヶ丘高校北野敬一教諭、別府市内の温泉掘鑿関係諸会社、美濃部正氏、小野一夫氏、藤本憲明氏、芥藤歳雄氏、首藤政利氏、雪満氏の方々に感謝する。またプレパラートの作製や測定などに労をつくされた大分大学教育学部地学教室の学生諸君、分析その他に労を頂いた大分大学教育学部志賀史光助教授に深く御礼申し上げる。

追 記

記載鉱物のうち沸石類については鉄輪、古殿の後藤氏のものおよび観海寺北の郵政互助会の掘鑿孔からそれぞれ同種類のものと思われるものが産出するが、九州大学温泉治療学研究所古賀昭人助教授によるX線廻折試験および九州大学理学部種子田定勝助教授のプレパラートによる鑑定の結果、確実なことは精査を要するとしても、総括の②の諸性質や屈折率が沸石類としては比較的高いなどの点からみて、トムソン沸石 Tomsonite $\text{Na Ca}_2 \{(\text{Al}, \text{Si})_5 \text{O}_{10}\}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ の可能性が強いといえる。

くじゅう火山の温泉群

(1) 化学組成より見た温泉の類型と特徴

大分大学教育学部 志賀史光

1 緒言

くじゅう山地は九州本島の最高峰久住山（1788m）および大船山（1787m）を主峰とする連山とその山ろく一帯の高原で、その大部分は大分県玖珠郡九重町および直入郡久住町に属しているが西南方一帯の高原台地は熊本県阿蘇郡小国町に属している。

この山岳地および高原台地一帯の地質は山陰系火山帯の熔岩で、中心部には第四紀洪積世の角閃安山岩からなるドーム状の火山が群集している。その基底となる岩類は第三紀末期の万年山熔岩やそれから誘導される熔結岩からできており、これらはすべて輝石系安山岩である。

この地域における火山の噴出活動は第四紀に入って少なくとも2回あったと推定されており、現在でもなお硫黄山においては火山ガスの活発な活動が見られることなどからして、比較的浅いところまで岩漿性発散物が上昇していることがうかがい知れる。この中心部および周辺山ろく部には種々の泉質の温泉が多数湧出しており火山性温泉の研究対照として好適なフィールドである。また湯坪の大岳地熱地帯においては近時九州電力K.K.によって地熱発電所の開発が進められておりこの方面からも今後ますます重要性を増すものと思われる。

この方面に散在する個々の温泉群について地球物理学的な面から研究したものとして山下や湯原の報告が

あるが、筆者は地球化学的な面からこの地方に存在する温泉の類型と特徴を明らかにするため、主に1966年7月～10月に試料を採取し、その主成分を分析したので、これにもとづいて報告する。

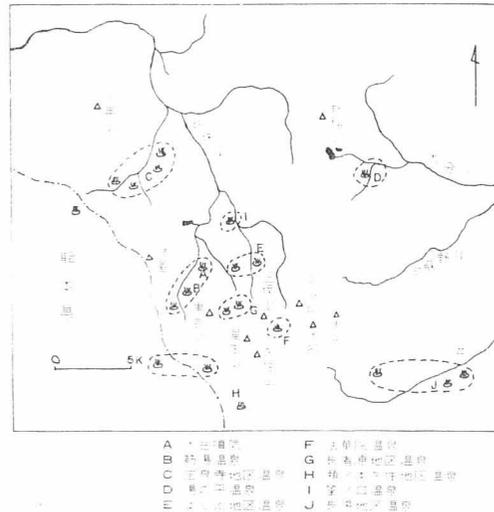


図1 くじゅう地区温泉所在地

2 調査温泉および分析結果

調査温泉の所在地略図を図1に、主成分の分析結果を表1に記した。

表1 くじゅう地方温泉分析結果 単位 mg/l、泉温 °C

町名	温泉名	泉温	PH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	Li	採期	水日	備考
九重町	壁湯温泉	39.27.10	81.4	5.5	12.0	1.2	107.1	21.0	60.4	0.25	1965.7			
	生竜温泉共同湯	44.27.75	115.9	4.3	12.6	0.5	143.7	20.6	87.4	0.20	〃			
	宝泉寺温泉竜泉閣	84.37.05	188.7	11.0	11.0	0.0	254.7	28.4	82.0	0.80	〃			
	〃 足立正平	37.17.15	36.8	3.4	7.0	0.0	30.1	13.6	57.7	0.10	〃			
	〃 宝泉荘	98.27.43	260.0	15.0	18.0	0.6	388.7	27.2	83.0	1.28	〃			
南山田	〃 矢野万州夫	91.87.22	228.3	11.5	15.9	0.1	324.1	29.6	86.8	0.98	〃			
	〃 戸沢栄子	45.77.41	168.7	7.3	16.8	0.1	223.6	39.9	80.9	0.63	〃			
	〃 佐藤薬局	44.07.45	91.5	6.8	15.0	1.0	119.2	25.9	66.3	0.16	〃			
九重町	筋湯温泉癒瀨湯	44.03.33	138.9	23.5	9.8	1.5	202.1	81.5	0.0	0.77	〃			Fe 3~5mg/l
	〃 かくおや	60.83.20	215.0	35.5	11.8	1.5	321.3	117.3	0.0	1.20	〃			〃
	〃 薬師湯	59.63.25	197.9	32.7	10.3	1.6	287.1	112.8	0.0	1.10	〃			〃

湯 坪	大岳	湯	大岳	7号井	55.7	3.20	200.9	35.0	10.7	1.5	312.0	96.7	0.0	1.19	〃	〃
	〃	〃	〃	8号井	93.4	8.11	882.6	24.0	14.6	3.8	1272.2	168.3	80.3	4.50	〃	〃
	〃	〃	〃	9号井	84.5	8.36	335.0	23.0	40.5	1.2	313.7	354.7	79.3	0.38	〃	〃
	〃	〃	〃	10号井	95.8	7.00	1051.6	31.0	21.0	5.1	1617.2	148.6	11.9	5.40	〃	〃
	湯坪	河原湯	〃	〃	93.0	7.84	1179.6	32.6	24.9	3.8	1829.8	92.6	41.0	6.80	〃	〃
	〃	田の中湯	〃	〃	57.0	6.12	32.6	15.0	39.1	7.1	40.4	102.1	77.1	0.015	〃	〃
	〃	かくおや2号	〃	〃	62.0	6.40	21.8	13.3	21.0	2.6	20.7	23.0	89.5	0.05	〃	〃
	〃	ひぜん湯	〃	〃	48.3	7.10	299.8	18.0	32.6	3.7	216.0	393.0	86.3	0.45	〃	〃
	〃	小松地獄	〃	〃	81.5	6.72	338.4	48.0	99.0	6.4	481.7	326.3	66.9	0.90	〃	〃
九 重 町 田 野	長者原牧ノ戸温泉	〃	〃	45.2	3.42	2.8	1.0	3.4	0.7	7.9	32.5	0.0	0.00	〃	〃	
	〃	〃	〃	19.5	5.16	1.5	1.1	3.2	0.2	8.3	13.2	3.8	0.00	〃	〃	
	〃	〃	〃	48.2	6.90	3.0	1.6	7.5	2.3	10.4	35.0	7.0	0.00	〃	〃	
	〃	〃	〃	55.2	7.40	49.7	2.3	3.7	0.5	6.2	55.1	72.8	0.015	〃	〃	
	〃	〃	〃	50.2	2.20	86.0	12.5	132.3	45.6	91.6	1808.6	0.0	0.10	〃	Fe 79.2mg/l	
	〃	〃	〃	13.7	3.72	23.9	3.6	44.1	8.8	30.1	153.1	0.0	0.025	〃	〃	
	飯田高原	大將軍湧泉	〃	〃	28.7	5.60	71.0	14.0	178.0	48.3	216.0	395.9	123.5	0.15	〃	〃
	〃	〃	〃	〃	18.5	7.17	33.0	6.3	68.5	24.3	122.0	141.6	59.9	0.05	〃	〃
	〃	〃	〃	〃	45.0	5.94	167.0	33.6	407.8	118.6	594.3	814.8	288.5	0.34	〃	Fe 24mg/l
久 住 町 久 住 赤 瀬 本 国 郷 町	笠の口温泉新清館	〃	〃	41.6	6.68	344.9	55.0	130.5	79.2	223.6	326.3	1050.0	0.73	〃	Fe 7~8mg/l	
	〃	〃	〃	38.8	7.35	242.3	49.0	135.3	82.1	192.8	272.2	879.5	0.63	〃	CO ₂ 700~900 mg/l	
	〃	〃	〃	41.0	6.84	261.9	53.0	143.0	86.8	199.7	291.8	942.6	0.66	〃	〃	
	法華院温泉 1号	〃	〃	43.5	6.21	91.0	26.0	87.0	41.8	120.9	293.4	188.7	0.14	〃	H ₂ S 7.6mg/l	
〃	〃	〃	44.7	6.05	86.0	25.0	86.8	45.2	122.7	298.4	190.4	0.13	〃	〃		
〃	〃	〃	35.3	5.90	61.5	16.0	75.0	36.1	79.0	239.1	146.7	0.10	〃	〃		
久住山鍋谷	〃	〃	23.4	5.30	60.5	20.4	300.2	29.2	14.6	942.4	31.1		1962.11	H ₂ S 54.0mg/l		
赤川温泉	〃	〃	26.0	5.65	52.0	9.0	389.2	43.5	96.8	1028.0	241.0	0.25	〃	H ₂ S 82.0mg/l		
瀬の本雀地獄	〃	〃	16.0	3.65	13.3	8.8	30.1	9.2	5.6	330.8	0.0		1964.10	H ₂ S 66.3mg/l		
直 入 町 湯 原	七里田温泉	〃	〃	38.8	6.26	337.0	63.6	186.9	209.7	304.3	537.7	1545.0	1.12	1967.10	CO ₂ 1060mg/l	
	長湯温泉	〃	〃	34.2	6.27	372.0	63.0	173.6	265.8	168.1	351.1	2203.0	0.93	〃	〃 1448	
	〃	〃	〃	35.1	6.31	262.0	52.0	143.0	202.8	125.6	214.5	1738.0	0.61	〃	〃 1047	
	〃	〃	〃	35.2	6.30	233.0	41.6	128.1	175.1	106.7	238.3	1487.0	0.56	〃	〃 1144	
	〃	〃	〃	35.7	6.45	223.0	50.6	178.7	206.6	80.4	112.7	1900.0	0.52	〃	〃 939	
	〃	〃	〃	38.0	6.54	368.0	60.2	191.8	270.5	175.2	359.2	2258.0	0.93	〃	〃 898	
	〃	〃	〃	39.3	6.52	335.0	60.0	182.5	251.9	161.2	309.0	2114.0	0.95	〃	〃 792	
	〃	〃	〃	39.5	6.45	374.0	62.4	197.4	273.1	179.7	372.7	2212.0	0.81	〃	〃 862	
	〃	〃	〃	40.0	6.41	302.0	61.5	176.7	234.6	148.7	260.4	1989.0	0.71	〃	〃 887	
	〃	〃	〃	40.8	6.55	307.0	63.6	174.3	246.8	151.2	263.3	2105.0	0.78	〃	〃 774	
	〃	〃	〃	40.9	6.55	400.0	65.0	199.9	270.1	179.9	387.1	2286.0	1.08	〃	〃 781	
	〃	〃	〃	41.7	6.42	312.0	68.5	191.2	275.4	170.3	294.6	2341.0	0.86	〃	〃 799	
	〃	〃	〃	42.2	6.60	350.0	74.2	179.5	287.2	176.6	311.0	2837.0	0.90	〃	〃 726	
	〃	〃	〃	42.3	6.66	435.0	71.6	223.1	300.7	201.0	420.0	2570.0	1.16	〃	〃 730	
	〃	〃	〃	43.0	6.82	392.0	66.5	182.1	285.3	176.5	411.0	2298.0	1.06	〃	〃 818	
	〃	〃	〃	43.1	6.67	450.0	75.5	214.3	305.5	205.3	439.0	2662.0	1.23	〃	〃 779	
〃	〃	〃	44.0	6.62	407.0	81.0	217.4	312.1	201.1	356.7	2698.0	1.04	〃	〃 766		
〃	〃	〃	45.0	6.70	475.0	78.8	229.6	332.2	207.1	474.8	2784.0	1.28	〃	〃 737		
〃	〃	〃	49.0	6.80	425.0	93.5	235.7	334.1	212.0	387.1	2846.0	1.08	〃	〃 585		

湯 布 院 町 湯 の 平	湯の平温泉東屋	(73.1)	6.80	230.0	15.3	32.7	1.6	291.7	66.4	192.2	0.84	1967.8
	〃 大津屋	(66.0)	6.78	240.0	15.0	32.9	1.5	301.6	68.0	213.5	0.86	〃
	〃 右丸	(65.0)	6.62	284.0	17.0	39.9	1.6	346.1	79.1	226.9	0.99	〃
	〃 白滝	(65.0)	6.83	195.0	13.0	18.1	6.2	251.4	58.2	164.1	0.70	〃
	〃 大正館	(69.6)	7.35	265.0	19.5	46.2	1.4	299.5	86.1	264.7	0.95	〃
	〃 新屋	(66.6)	7.52	284.0	19.8	37.0	1.5	308.0	89.0	267.2	0.96	〃
	〃 大湯	(87.2)	7.54	500.0	28.8	54.0	1.1	606.7	122.7	311.1	1.71	〃
	〃 鶴屋本家	(61.0)	7.26	192.0	14.5	40.1	4.9	141.3	101.8	117.7	0.53	〃
	〃 白雲荘		7.25	389.0	21.5	42.5	1.5	469.7	108.3	254.4	1.30	〃
	〃 北部屋	(70.6)	7.45	415.0	25.5	47.1	2.0	508.9	137.1	267.2	1.50	〃
	〃 鶴屋隠宅	(47.0)	7.15	85.0	8.5	23.2	1.5	105.9	58.2	73.8	0.27	〃
	〃 大観荘		6.74	291.0	16.3	23.9	0.7	317.8	91.9	213.8	1.03	〃
	〃 砂湯	(64.0)	7.18	362.0	20.5	36.1	2.0	406.1	116.2	252.5	1.28	〃
	〃 秀泉閣	(54.6)	7.30	380.0	21.0	39.3	1.5	427.3	110.4	253.8	1.30	〃
	〃 橋本湯	(71.4)	7.79	406.0	24.5	35.8	3.2	445.0	91.9	305.0	1.36	〃
熊小 本國 泉町	岳ノ湯	八幡製鉄ボ ーリング井	92.0	8.50	780.0	81.0	6.8	1.8	1164.0	73.8	91.5	1963.12
	〃 岐の湯	温泉	76.5	6.90	31.0	14.8	110.0	6.1	3.1	61.0	365.4	〃
	〃 地獄		70.8	2.70	27.3	27.3	24.4	6.8	0.0	450.7	0.0	〃 Fe 77.6mg/l

3 温泉の類型と特徴

3.1 カチオンとアニオンの相関より見た温泉の地域的相違

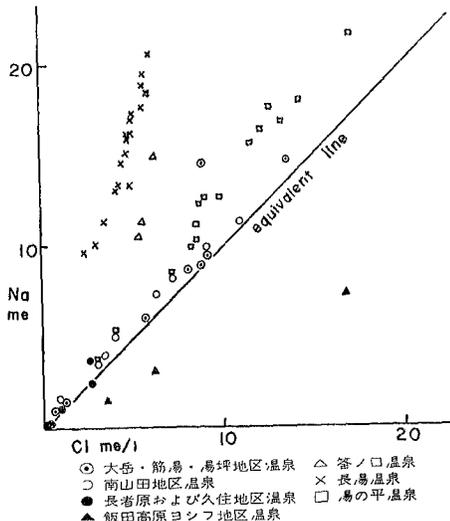


図2 NaとClとの相関

NaとClとの相関を図2に示した。この地方に湧出するほとんどすべての温泉は図中に示した当量線(NaとClとの等当量を示した線)より一般にNaの多い方にかたよって分布している。然してこの分布を各温泉群別に見た場合、いずれも両者の間に正の相関が認められるがその相関係数は各温泉群によってかなり相違している。

このうち南山田地区温泉群(宝泉寺温泉、生竜温泉、壁湯温泉など)湯坪地区温泉群(筋湯温泉、大岳温泉

など)および岳の湯噴気凝縮水等はNaとClとがほぼ等当量含まれていてそのほとんどが当量線上に分布している。これらの温泉は一般に泉温が高く大岳や岳の湯では90°C以上である。

一方釜の口温泉、七里田温泉および長湯温泉等はいずれも正相関を示しているがNaの方がClよりも圧倒的に多く当量線の上の方にかたよって分布しており、Na/Cl当量比は2~3である。このことはNaに対応するアニオンとしてCl以外のものがかんり溶存していることを示すものである。これらのアニオンは主としてSO₄であるが長湯温泉や釜の口温泉ではHCO₃も相当量含まれている。分析表から求めるとアルカリ金属(NaおよびK)に対応するアニオンは釜の口温泉新清館ではCl=6.3me/l、SO₄=6.8me/l、HCO₃=3.3me/l、長湯温泉憩の家ではCl=5.8me/l、SO₄=9.9me/l、HCO₃=6.9me/l、七里田温泉ではCl=8.6me/l、SO₄=7.7me/l、HCO₃=0me/lとなる。これらの温泉は一般に泉温が低く遊離炭酸や結合炭酸を多く含んでおり、中心部から距離的に少しはなれたところ(9~13km)に湧出している。遊離炭酸を多く含む水は火山岩を溶解する力が強く特に被圧下ではその力は一層大きくなる。故にこれらの温泉においては岩石から溶出して来たNa量が増大しNa/Cl比が高まったと解釈できる。

湯の平温泉群は以上の2つの型の中間的な型で長湯温泉群に比べてCl量が多く当量線からの偏差もさほど小さくなくむしろ宝泉寺温泉群と類似の型である。ちなみに湯の平大湯温泉におけるアルカリ金属に対応す

るアニオンをあげれば $Cl=17.1me/l$ 、 $SO_4=2.6me/l$ 、 $HCO_3=2.8me/l$ でその76%は Cl と対応している。

以上の温泉群に対し、湯沢温泉など九重飯田高原の「よしぶ」から大將軍谷にかけて散在する2〜3ヶの温泉はいずれも Na の少ない方にかたよるといふ特殊な相関を示している。このことはこれらの温泉中には Cl に対応するカチオンとしてアルカリ金属以外のものを含んでいることを示しており、 Ca や Mg のうち Cl に対応して溶存しているものがあることを意味する。湯沢温泉においては溶存する Ca 20.39me のうち 8.64me が Cl と対応して溶存している。

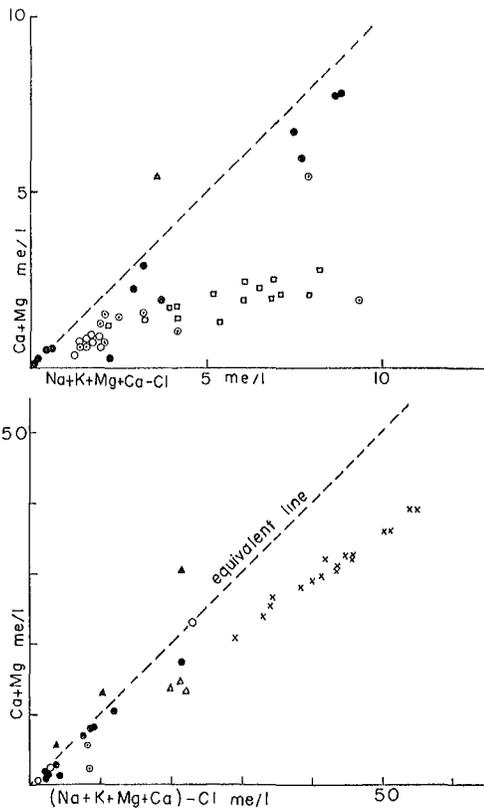


図3 (Ca+Mg) と (Na+K+Mg+Ca)-Cl との相関 図中の符号は図2に同じ

このような温泉中における対応するアニオンとカチオン間の量的関係は図3により一層明確に示される。図3は $(Na+K+Ca+Mg)-Cl$ と $(Ca+Mg)$ との相関を示したもので温泉中のアルカリ金属が Cl と等当量含まれているならばそれらの値はすべて当量線上に分布すべきである。ところでこの地方の温泉のほとんどすべては前述のように Cl に対し当量以上に $Na+K$ が溶存しているため当量線よりも下側にかたよって分布するようになる。この当量線から下側へ向って

の偏差は SO_4 や HCO_3 に対応する Na の当量をあらわしており、また各温泉の基線からの垂直距離は SO_4 や HCO_3 に対応する $Ca+Mg$ の当量を示している。釜の口温泉、七里田温泉および長湯温泉等では $Ca+Mg$ は 25〜40me/l 含まれていてそのほとんどが HCO_3 と対応しているし、法華院温泉においては SO_4 に対応する Ca が 4.35me/l、 HCO_3 に対応する Mg が 2.78me/l 溶存している。

一方湯沢温泉等「よしぶ」地方の温泉は逆に当量線より上の方に分布している。この場合の当量線からの偏差は塩化物として溶存している Ca や Mg の当量を示しており、 $CaCl_2$ や $MgCl_2$ 等の溶存が考えられるもので天然水には海水以外にはこのような組成を示すものはあまりないようである。この意味ではこれらの温泉は特殊な類型に属するものといえる。

湯の平温泉の場合は HCO_3 や SO_4 に対応する Na 量は 1me から 5me の範囲を変動しているが、これに対して HCO_3 に対応する Ca 量 (Mg 量はほとんど無視できるほど小さい) は 1.5〜2.5me のせまい範囲内を変動しているにすぎない。このことからこの地域の原温泉中の Ca 量は少なくせいぜい 2.5me の程度であることがわかる。従って Na/Ca 比は Cl 量の増加に伴って高くなってくる。

3.2 アニオン比よりみた温泉の類型

くじゅう地方の各地区を代表する温泉について、主要アニオンの全アニオンに対する当量百分比を表2に示し、調査各温泉についてのアニオン当量百分組成を三角ダイアグラムにして図4に示した。

表2に示されているように、この地方の温泉群はアニオン組成比からみた場合 Cl 型温泉、 SO_4 型温泉および HCO_3 型温泉の3つの類型に大別できる。

Cl 型温泉に属するものとして大岳温泉群、南山田地区温泉群、筋湯温泉群および湯の平温泉群があってこ

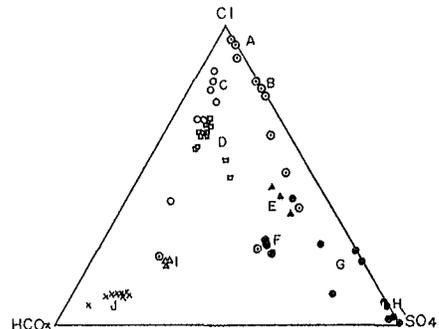


図4 主要アニオンの三角ダイアグラム 図中の記号は図1に同じ

表2 調査地区代表鉱泉における主成分の当量百分率

温泉名	泉温	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	当量合計	Cl/ΣA	SO ₄ /ΣA	HCO ₃ /ΣA	Na+K/ΣC	(Na+K)/Cl/Σion
大岳温泉 九電10号井	93.0	7.85	47.5	0.8	1.2	0.3	47.8	1.8	0.6	107.9	95.2	3.6	1.2	97.1	94.8
岳の湯 八幡製鉄ボーリング井	92.08	8.50	46.9	2.8	0.5	0.2	45.4	2.1	2.1	72.3	91.5	4.3	4.2	98.7	90.8
宝泉寺温泉 宝泉荘	98.2	7.43	44.3	1.5	3.5	0.2	43.0	2.2	5.3	25.5	85.0	4.5	10.5	92.5	85.9
筋湯温泉 かくおや	60.8	3.20	41.7	4.1	2.6	0.5	40.3	10.8	0.0	22.5	78.8	21.2	0.0	93.5	80.6
湯の平温泉 大湯	55.7	7.54	43.4	1.5	5.4	0.2	34.3	5.1	10.0	50.0	69.1	10.3	20.6	89.0	68.4
筋湯温泉 ひぜん湯	81.5	6.72	34.3	2.9	11.6	1.2	31.6	15.8	2.6	42.9	63.3	31.6	5.1	74.3	63.2
峠の湯 地獄	70.8	2.70	9.1	5.4	9.3	4.3	0.0	71.9	0.0	13.1	0.0	100.0	0.0	51.5	0.0
雀の湯 地獄	16.0	3.65	5.7	2.3	14.8	7.5	1.6	68.2	0.0	10.1	3.3	97.7	0.0	26.4	3.2
星生温泉 泉	50.2	2.20	6.9	0.6	12.1	6.9	4.7	68.8	0.0	54.7	6.4	93.6	0.0	28.1	9.4
久住山 鍋谷	23.4	5.30	6.4	1.3	36.5	5.9	1.0	47.7	1.2	41.1	2.0	95.5	2.5	15.3	2.0
寒の湯 地獄	13.7	3.72	12.8	1.1	27.3	8.9	10.5	39.5	0.0	8.1	21.0	79.0	0.0	27.8	20.9
赤川温泉 泉	26.0	5.65	4.2	0.4	36.3	6.7	5.1	39.9	7.4	53.6	9.7	76.2	14.1	9.8	9.3
法華院温泉 1号	43.5	6.21	15.5	2.7	17.4	13.8	13.7	24.6	12.4	24.9	27.0	48.5	24.5	36.8	27.2
湯沢温泉 泉	45.0	5.94	9.5	1.1	26.7	12.7	21.8	22.0	6.2	76.7	43.6	44.1	12.3	21.2	21.2
湯坪河原湯	57.0	6.12	16.0	4.3	22.1	6.5	12.9	24.1	14.2	8.9	25.1	47.1	27.8	41.5	25.7
長湯温泉 愛泉館	38.0	6.54	16.4	1.6	8.8	22.7	5.1	7.6	37.9	97.8	10.0	15.1	74.9	36.4	10.1
七里田温泉 泉	38.8	6.26	16.3	1.8	12.3	11.7	9.5	12.4	28.0	90.1	19.0	24.8	56.2	36.2	19.0
釜の口温泉 泉	41.6	6.68	25.2	2.4	10.9	10.8	10.6	11.4	28.7	59.8	20.8	22.4	56.8	55.7	21.1

註 当量合計はその左に記した7イオンの当量和である。単位me/l
 $\Sigma A = Cl + SO_4 + HCO_3$, $\Sigma C = Na + K + Ca + Mg$ の当量和

れらは前項においてのべた NaとClとがほぼ当量関係を保っている温泉群である。このうち大岳温泉や岳の湯温泉などは泉温92～93℃の沸騰泉で噴気の凝縮水をサンプリングしたものである。これらの温泉では全アニオン中Clが92～95%を占め、カチオン中ではNa+Kが97～99%を占めており、完全にNaCl型を呈している。またこれらの温泉においてはCaなどは沸騰濃縮によってCaSO₄やCaCO₃として析出沈澱していくことが考えられるためにCa、Mg、SO₄および

HCO₃の含量が一般に小さくなっている。そのほか筋湯温泉ではpHが3.2～3.3付近であるためHCO₃の溶存はなく図4においてCl-SO₄線上に分布している。また、宝泉寺温泉および湯の平温泉ではSO₄が一般に少ない。

以上のCl型温泉は図5に見られるようにカチオンの中ではNaが圧倒的に多くMgが極端に少ないことが共通しており、ほとんどすべての温泉がNa+K-Ca線上の頂点Na+Kに近いところに分布している。

SO₄型温泉は中心山岳部付近に湧出し、一般に硫化水素を多量に含み、カチオンのうちでは図5に見られるようにCa含量比が高く、酸性で低温のものが多い。この型のものは火山及び温泉変質帯付近に湧出し、噴気と共存するものが多く降水の多少によって湧出口が移動したり涸死したりする場合がある。噴気ガスに地下水または川水等を通じた場合もこの型の温泉になる。このうちHCO₃=0、SO₄≫Cl型の温泉は所謂地獄に湧出するもので、くじゅう地方では小松地獄、峠の湯地獄、牧の戸温泉および星生温泉等がこれに属し一般に湧出量は少なくpHは4より小さい。これらの中心部よりやや離れてSO₄≫HCO₃>Cl型の温泉が湧出しpHは5～6位に高まる。これに属するものとして赤川温泉及び久住鍋谷温泉がある。また法華院および

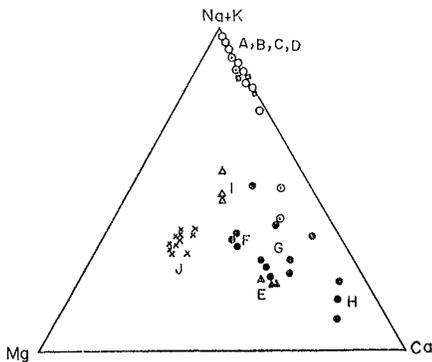


図5 主要カチオンの三角ダイヤグラム
 図中の記号は図1と同じ

び湯沢温泉など中心部の東北方に湧出する温泉は $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$ の型を示している。

HCO_3 型の温泉として釜の口温泉、七里田温泉および長湯温泉がある。これらの温泉群の泉温は一般に低く $36 \sim 50^\circ\text{C}$ で、遊離炭酸を多く含んでいる。カチオンとしてはCaやMgを比較的多量に含み $\text{Mg} > \text{Ca}$ の関係を示すことが特徴である。Mg/Ca 当量比は釜の口温泉ではほぼ1であるが七里田温泉や長湯温泉等では約2である。これは地下において高濃度に溶解している $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ や $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ が CO_2 の逸散により

平衡が破れCaのみが CaCO_3 として析出していくためと思われる。

3.3 主成分の当量分率による類型

溶存するイオンを当量分率であらわすと、対応するカチオンとアニオンの種類およびその当量比がよくわかり、温泉水中に数種の塩類が溶存していると考えた場合、主要塩類の種類が推定できるので、泉質決定の上で甚だ便利である。表2に調査地区の各温泉群を代表する温泉についてその主要イオン当量分率を百分率で示し、この表をもとにして図6に温泉の類型を示した。

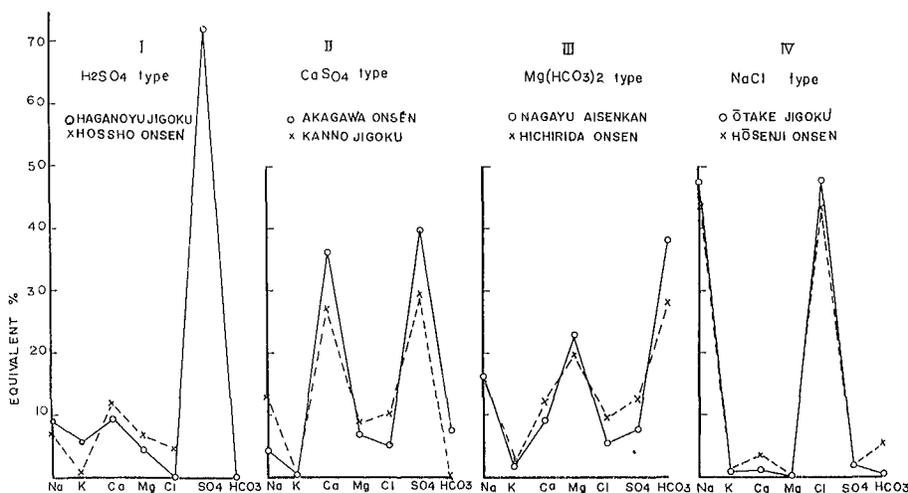


図6 主イオン当量百分率よりみた温泉の類型

I型は H_2SO_4 型ともいふべきもので3.2項でのべた $\text{HCO}_3 = 0$ 、 $\text{SO}_4 \gg \text{Cl}$ 型に相当する。この型の温泉は表2に記した4つのカチオン以外に H^+ や Fe^{2+} 等をかなり多く含有している。当量分率はこの2つのイオンを除外して求めているためこれらの温泉においてはアニオン含量がカチオン含量より多くなり、そのために SO_4 が50%をこえている。

II型は CaSO_4 型でカチオンの中ではCaが圧倒的に多く SO_4 とほぼ等当量含まれている。赤川温泉等がこの型の温泉でI型の温泉より少しはなれたところに湧出しpHも $5 \sim 6$ と高まっている。この型の温泉は一般に H_2S を多量に伴って湧出する。赤川温泉の場合温泉中のCaモル濃度と SO_4 モル濃度の積は 1.04×10^{-4} で、鍋谷温泉の場合は 7.4×10^{-5} である。これらの値はいずれも CaSO_4 の溶解積 6.1×10^{-5} より大きく、この地方のこの型の温泉ではCaは過飽和に溶存していることを示している。しかしてこのことはこの地方の温泉の湧出経路に石こう層が広く存在しているのではないかと思わせるものである。

III型の温泉はくじゅう山地の周辺部に湧出している温泉で、アニオンでは SO_4 の衰退に伴って HCO_3 の増加がみられ、カチオンではCaの減少に伴ってMgの増加が起っている。pHは6.5前後に高まりMgとCaの関係は当量比だけでなく重量比においても $\text{Mg} > \text{Ca}$ となっている。故にこの型の温泉は図6に見られるように $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 型というべきもので七里田温泉や長湯温泉などがこれに属する。

このII型とIII型の間中間的な型を示す温泉として法華院温泉、湯沢温泉などがあるが、同じ型の温泉でも久住地域の温泉と九重飯田地域の温泉とではCl含量に相違がみられ、前者の方は極端に含量が小さいが後者はかなりの程度の含量を示している。

以上のI～III型の温泉はアニオン分類よりみた場合 SO_4 型、 HCO_3 型の温泉であるが、くじゅう地方にはこれらの型のはかにNaClで代表されるIV型の温泉がある。これは前述のCl型に相当する温泉群でNaClの総イオンに対する割合は90%以上になっている。この型の温泉は高温でpHも7.5以上が普通であるが、筋湯

温泉だけは pH3.3位である。この地域にボーリング（150m）して湧出をみた「かくおや2号井」および小松地獄ボーリング井などの泉質を参考にすれば筋湯におけるH⁺の寄与は比較的浅部で行なわれていることになるが、その機構については今後の研究にまちなたい。

この研究をなすにあたり採水に協力した大分大学教育学部化学科の学生諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 山下幸三郎：大分県長湯温泉調査報告、大分県温泉調査研究会、3号、昭27
- 2) 山下幸三郎：大分県九重町（南山田地区）及び久住都町温泉調査報告、同上、7号、昭31
- 3) 湯原浩三：湯の平温泉調査報告、同上、10号昭34

くじゅう火山の温泉群

(2) くじゅう温泉群中のハロゲン

大分大学教育学部 志 賀 史 光

大分県津久見市保戸島中学校 石 原 彰

1 緒言

著者らは先年来別府温泉群について温泉中のハロゲン含量を測定し、それら相互間の量的関係を検討することにより温泉一般の塩分起源を推定することが可能でありかつ有効な方法であることを知った。別府温泉の場合その塩分が海洋性のものであるかあるいは火山性のものであるかを推定する際、Cl量 $0.5g/l$ 以上の温泉をえらびそのBr/ClおよびI/Cl比を検討し次のようなことがわかった。

(1) 海水混入域に湧出する温泉でCl量の多いものはBr/Cl 値は海水における値 3.4×10^{-3} とほぼ同じ値であり、I/Cl 値は海水における値 2.6×10^{-5} より大きくて $1 \sim 3 \times 10^{-5}$ 付近である。

(2) 一方火山性熱水にその塩分の起源があると考えられる温泉ではBr/Cl値は $2 \sim 3 \times 10^{-3}$ で海水混入温泉よりも小さくなるのに対し I/Cl 値は逆に平均 15×10^{-5} と大きくなる。

(3) さらに Cl 量が $0.5g/l$ よりも少ない温泉ではI/Cl値は $2 \sim 25 \times 10^{-5}$ とばらつきが大きくなるが、一般的にこの値は高くなる傾向を示す。

これらのことは主成分間の相互関係が異なる温泉の場合でも共通していえることで、主成分の量関係からはいくつかの異なる水系の温泉が存在するように見える場合でもこれらをハロゲン含量から見れば、ハロゲン相互の量関係が一定に保たれている簡単な水系がも

とになっており、それらが湧出過程において濃縮されたり希釈されたりしているにすぎないことを示している。このことは温泉の生成機構を論ずる上に一つの示唆を提供する。

一般的には以上のことがいえるが、別府市照波園地区の高熱水では前年この報告で述べたように Cl 量が $2g/l$ 以上になるとBr/Cl値は 3.0×10^{-3} 付近になりこの比からだけでその塩分の起源を火山性と断定することはいささか危険である。故に今回は九州の中心にあって地理的及び地質学的に見て海水の混入など考えられない “くじゅう” 地方の温泉についてこれらの比を検討し、火山性温泉中のこれらの相関をはっきりおさえることにした。この地方の温泉は大岳地熱地帯の噴気凝縮水以外は Cl 量が少なく、ほとんどの温泉が $0.5g/l$ 以下である。別府温泉については主としてCl量 $0.5g/l$ 以上を対象として検討したが、このように塩分のうすい温泉におけるこれらハロゲン量間の相関を知ることは、ただ単に塩分の起源を追求するのに有効であるだけでなく “くじゅう” 地方の温泉におけるハロゲンの分布状況ならびに火山性温泉の特徴を知る上にも興味あることである。

2 調査温泉と分析結果

“くじゅう” 地区の調査温泉名とその分析結果は表1に記した。なお表1には対照のため別府照波園の高温泉数口の分析値を併記した。分析方法は既報のと

表1 くじゅう地区温泉群における塩素、臭素およびヨウ素イオン含有量

町名	温 泉 名	Cl (mg/l)	Br (mg/l)	I (mg/l)	Br/Cl $\times 10^3$	I/Cl $\times 10^5$	Br/I	採水期日
九重町 南山田	壁 湯 温 泉	107.1	0.29	0.035	2.71	32.7	8.3	1966年7月
	生 竜 温 泉 共 同 湯	143.7	0.36	0.040	2.51	27.8	9.0	〃
	宝 泉 寺 温 泉 竜 泉 閣	254.7	0.62	0.045	2.43	17.7	13.8	〃
	〃 宝 泉 寺	388.7	1.01	0.114	2.60	29.3	8.9	〃
	〃 矢 野 万 州 夫	324.1	0.84	0.108	2.59	33.3	7.8	〃
	〃 戸 沢 栄 子	223.6	0.59	0.053	2.64	23.7	11.1	〃
	〃 佐 藤 榮 局	119.2	0.31	0.041	2.60	34.4	7.6	〃

九重町湯坪	大岳7号井	1272.2	3.72	0.366	2.92	28.8	10.2	〃
	〃 8号井	313.7	0.91	0.086	2.90	27.4	10.6	〃
	〃 9号井	1617.2	4.59	0.390	2.84	24.1	11.8	〃
	〃 10号井	1829.8	5.54	0.456	3.03	24.9	12.2	〃
	筋湯温泉 ひぜん湯	481.7	1.53	0.095	3.18	19.7	16.1	〃
	〃 疍 瀨 湯	202.1	0.54	0.054	2.67	26.7	10.0	〃
	〃 かくおや	321.3	0.93	0.059	2.89	18.4	15.8	〃
	〃 かくおや2号	216.0	0.63	0.081	2.93	37.5	7.8	〃
	〃 薬師湯	287.1	0.79	0.089	2.75	31.0	8.9	〃
〃 大 湯	312.0	0.90	0.065	2.88	20.3	13.9	〃	
九重町田野	釜ノ口温泉新清館	223.6	0.50	0.068	2.23	30.4	7.4	〃
	〃 共同湯 男	192.8	0.42	0.056	2.18	29.1	7.5	〃
	〃 共同湯 女	199.7	0.45	0.060	2.25	30.1	7.5	〃
	星 生 温 泉	91.6	0.15	0.026	1.59	28.4	5.8	〃
	大 将 軍 湧 泉	216.0	0.21	0.033	0.97	15.3	6.4	〃
	湯 沢 温 泉	594.0	1.29	0.065	2.17	10.9	19.9	〃
タ デ 原 湧 水	122.0	0.12	—	0.98	—	—	〃	
久住町久住山	法華院温泉1号	120.9	0.54	0.058	4.47	48.0	9.3	〃
	〃 2号	122.7	0.52	0.054	4.24	44.0	9.6	〃
	赤 川 温 泉	96.8	0.18	0.024	1.86	24.8	7.5	〃
	七 里 田 温 泉	304.3	0.66	0.128	2.17	42.1	5.2	〃
直入町湯原	長湯温泉愛泉館1号	168.1	0.42	0.057	2.50	33.9	7.4	1966年10月
	〃 御前湯川岸	125.6	0.36	0.080	2.87	63.7	4.5	〃
	〃 大塚 茂	106.7	0.26	0.045	2.44	42.2	5.8	〃
	〃 丸 長	80.4	0.22	0.035	2.74	43.5	6.3	〃
	〃 愛泉館2号	175.2	0.45	0.023	2.57	13.1	19.6	〃
直入町湯原	長湯温泉 松山茂	161.2	0.45	0.053	2.79	32.9	8.5	1966年10月
	〃 町営田の中	179.7	0.47	0.073	2.62	40.6	6.4	〃
	〃 上野屋	148.7	0.42	0.019	2.82	12.8	22.1	〃
	〃 天満湯	151.2	0.40	0.018	2.65	11.9	22.2	〃
	〃 御前湯	170.3	0.39	0.023	2.29	13.5	16.9	〃
	〃 長生湯	176.6	0.45	0.043	2.55	24.4	10.5	〃
	〃 大塚、峰野	201.0	0.52	0.080	2.59	39.8	6.5	〃
	〃 豊泉荘	176.5	0.49	0.018	2.78	10.2	27.2	〃
	〃 葛洲湯	205.3	0.58	0.038	2.83	18.5	15.3	〃
	〃 丸善湯	201.1	0.44	0.075	2.19	37.3	5.9	〃
	〃 惣の家	217.1	0.54	0.095	2.49	43.8	5.7	〃
	〃 町長田の中	177.9	0.51	0.023	2.83	12.8	22.2	〃
〃 大丸湯	212.0	0.47	0.055	2.22	25.9	8.6	〃	
湯布院町	湯の平温泉東屋	291.7	0.66	0.066	2.26	22.6	10.0	1966年8月
	〃 大津屋	301.6	0.72	0.062	2.39	20.6	11.6	〃
	〃 右丸	346.1	0.84	0.054	2.43	15.6	15.6	〃
	〃 白滝	251.4	0.61	0.067	2.43	26.7	9.1	〃
	〃 大正館	299.5	0.70	0.074	2.34	24.7	9.5	〃
	〃 新屋	308.0	0.72	0.071	2.34	23.1	10.1	〃
	〃 大湯	606.7	1.53	0.082	2.52	13.5	18.7	〃
	〃 鶴屋本家	141.3	0.30	0.034	2.12	24.1	8.8	〃
	〃 白雲荘	469.7	1.13	0.027	2.41	5.8	41.9	〃

湯の平	北 部 屋	508.6	1.25	0.045	2.46	8.9	27.8	〃
	鶴 屋 隠 宅	105.9	0.26	0.051	2.46	48.2	5.1	〃
	大 観 荘	317.8	0.83	0.037	2.61	11.6	22.4	〃
	砂 湯	406.1	1.04	0.060	2.56	14.8	17.3	〃
	秀 泉 閣	427.3	1.00	0.043	2.34	10.1	23.3	〃
	橋 本 湯	445.0	1.10	0.056	2.47	12.6	19.6	〃
別府照波園	安 部	1515.0	4.22	0.211	2.79	13.9	20.0	1966年12月
	吉 葉	1346.0	4.12	0.219	3.06	16.3	18.8	〃
	住 友 金 属	2297.0	7.46	0.309	3.25	13.5	24.1	〃
	日 豊 建 材	869.0	2.50	0.146	2.88	16.8	17.1	〃
	中 川	2229.0	7.71	0.293	3.46	13.1	26.3	〃
	福 野 商 店	238.0	0.64	0.083	2.69	34.5	7.8	〃
藤 本 テ セ	863.0	2.39	0.163	2.77	18.9	14.7	〃	

おりである。なお調査温泉の所在地及び化学組成は本号の別報告に記している。

3 ハロゲン含量

分析に供した“くじゅう”地区温泉群のうち大岳10号井はCl、BrおよびIのいずれにおいても最高の含量を示した。Cl量はこの大岳10号井の1829.8mg/ℓが最高で最低は星生温泉の91.6mg/ℓとなっており、大岳地区

以外の温泉はすべて600mg/ℓ以下である。Br量は大岳10号井の5.54mg/ℓが最高、タテ原湧泉の0.12mg/ℓが最低で、I量は大岳10号井の0.456mg/ℓが最高で長湯温泉天満湯の0.018mg/ℓが最低であった。

表2に各地区温泉群の平均含量と含量比の平均を、また表3にBrとIの含量ヒン度を百分率で示した。

表2 各地区温泉のハロゲン平均含量と平均含量比

地 区	Cl mg/ℓ	Br mg/ℓ	I mg/ℓ	Br/Cl ×10 ⁻³	I/Cl ×10 ⁻⁵	Br/I	試料数
南 山 田	280.6	0.57	0.062	2.58	27.9	9.2	7
くじゅう山岳部	441.7	1.22	0.115	2.77	25.1	10.6	20
湯 の 平	348.4	0.85	0.055	2.43	15.9	15.5	15
長 湯	168.7	0.44	0.047	2.58	28.1	9.4	18
別 府 照 波 園	133.7	4.15	0.203	3.10	15.2	20.4	7

表3 各地区温泉の臭素およびヨウ素の含量ヒン度 (%)

地 区	臭 素 (mg/ℓ)				ヨ ウ 素 (mg/ℓ)			
	0~0.5	0.5~1.0	1.0~3.0	3.0<	0~0.05	0.05~0.1	0.1~0.2	0.2~0.5
くじゅう山岳部	33.3	40.7	14.8	11.2	25.9	55.6	7.3	11.2
湯 の 平	13.3	46.7	40.0	0.0	33.3	66.7	0.0	0.0
長 湯	73.7	26.3	0.0	0.0	52.6	42.3	5.3	0.0
別 府 照 波 園	0.0	14.3	28.6	57.1	0.0	14.3	28.6	57.1

4 臭素量およびヨウ素量の塩素量に対する相関

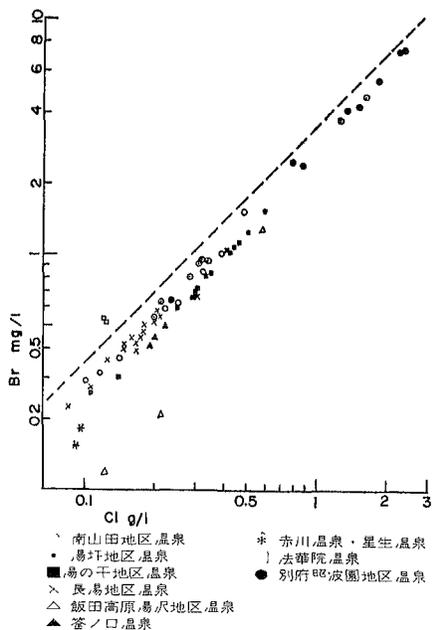
Br量およびI量とCl量との相関をそれぞれ図1および図2に対数グラフで示し、Br/ClおよびI/ClとCl量との相関を図るに示した。

Br/Cl値の地区別平均(表2に記した)は南山田地区で 2.6×10^{-3} 、くじゅう山岳部で 2.8×10^{-3} 、湯の平地区で 2.4×10^{-3} 、長湯地区で 2.6×10^{-3} となっており、ほとんどすべての温泉が $(2.1 \sim 3.0) \times 10^{-3}$ の間に

分布している。

Br量とCl量間の相関は図1に見られるようにはっきりとした正相関をなしているが、法華院温泉以外はすべて海水中におけるこの2成分の量比を示す線($Br/Cl = 3.4 \times 10^{-3}$ で図中に破線で示した)よりBr量の少ない方にかたよって分布している。別府温泉群中海水混入域の温泉では、ほとんどが海水比を示す線上に分布し、そのことがそれらの温泉中の塩分が海洋

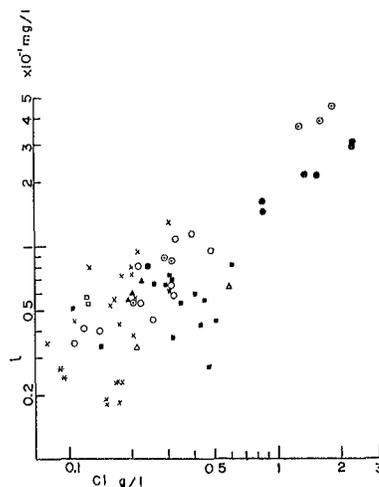
図1 BrとClとの相関



性のものであることの裏付けになることを前報告でのべた。ところで“くじゅう”地方の温泉ではBr/Cl値は $2\sim 3 \times 10^{-3}$ の間に分布しており大岳噴気凝縮水のようにCl量が $1g/l$ 以上のものでも $(2.8\sim 3.0) \times 10^{-3}$ で明らかに海水とは異なる相関を示している。太妻らは北海道の火山性温泉について同様の報告をしているが、“くじゅう”地方でもこの値が 3.0×10^{-3} より小さいものは一応火山性起源の塩分を溶存していると推定できる。ただしこの地方においても大岳噴気凝縮水に見られるようにCl量の多い温泉ではBr/Cl値は 3.0×10^{-3} 程度になり、図2中において別府照波園地区の高熱水と同じ相関を示すようになる。なお“くじゅう”地方において、このBr/Cl値は図3に見られるようにCl量 $0.8g/l$ 以上の温泉ではほぼ一定の比を保っているが、 $0.5g/l$ 以下になるとかなりのばらつきが見られるようになり地域的にもいくらかの相違があらわれてくる。それでもなお湯坪地区温泉群ではCl量に変化してもこの値は変わらず、そのほとんどが $(2.8\sim 3.1) \times 10^{-3}$ の間に分布している。しかしながら同じようなNaCl型の温泉でも湯の平地区の温泉は $(2.1\sim 2.6) \times 10^{-3}$ で前記の温泉群より低い値であり、中心山岳部は近くに湧出する SO_4 型の温泉では更に低い値になり 2.0×10^{-3} 付近になる。またこれらとは逆に法華院温泉では $(4.2\sim 4.4) \times 10^{-3}$ と高くなり特異な量関係を示している。火成岩中のBr/Cl値はK.RANKAMAらによれば、平均値として 5.2×10^{-3} が与えられてお

図2 IとClとの相関

図中の符号は図1に同じ



り、この地区の温泉群のそれより大きく約2倍である。また岩崎らによると温泉水中のCl量と火成岩中のCl量について、火成岩から直接溶出する量は極めて少ないとしており、Clと行動を共にすると思われるBrやIについても同様であると考えられる。以上のことからこの地区の温泉水中のBrが主として岩石の溶離によって寄与されたとは考えられない。つまり火山性発散物にその起源があると考えるのが最も妥当であり、法華院温泉の場合だけ岩石からの寄与率が高いとすることはできない。このことは今後の研究によって解決されるものと思う。

IのClに対する量的関係は図2に示しているように、対象温泉を全般的に見た場合正の相関を示しているがBr量の場合のようにBr/Cl値のせまい範囲内での正相関ではなく、かなりのばらつきが見られる。このばらつきの原因は湯の平温泉群や長湯温泉群においてI量とCl量との間にはっきりした相関が見られないためで、これらの温泉ではIはBrやClほど保存的な量として溶存していないことを示している。これはハロゲンのうちではIが最も酸化還元電位が低いことによるものと考えられる。すなわち溶存する全Iのうち IO_3^- の状態では $IO_3^- + 6H^+ + 5e \rightleftharpoons \frac{1}{2}I_2 + 3H_2O$ ($E_0 = 1.70V$)の平衡を保っていたものが、酸性物質や還元物質に出会うことにより平衡がやぶれて右に移動し、その結果 I_2 を遊離して逸散するためであらう。

然しながら湯坪地区や南山田地区の温泉のように

NaCl 型の温泉におけるこれらの量の関係は Br の場合と同様にせまい範囲内での正相関を維持しており、ほとんどが I/Cl 値 $25 \sim 28 \times 10^{-5}$ 内に分布している。

一般的に見た場合、この比の平均は表 2 に記しているように湯の平地区の 15×10^{-5} 以外は $25 \sim 28 \times 10^{-5}$ の範囲内にあって、大岳噴気凝縮水のように Cl 量が 0.6 g/l 以上の高熱水中においてもこの値は変わらず、図 3 に見られるように別府照波園地区の高熱水の 15×10^{-5} にくらべると I の対 Cl 濃縮は 2 倍程度になっている。またこれを別府海水混入域温泉の $1 \sim 3 \times 10^{-3}$ にくらべると 10 倍ほどの対 Cl 濃縮である。“くじゅう”地区温泉群では、この I/Cl 値は Cl 量の減少と共にますます大きくなる傾向が図 3 に見られる。

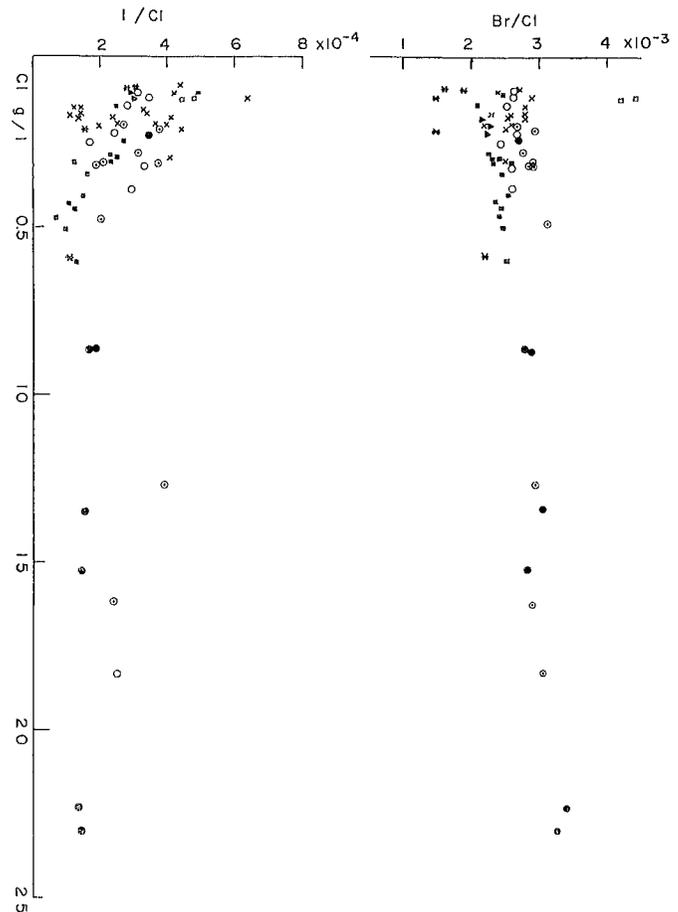
本多らは本邦各地の火山ガス中のハロゲン量を測定し、火山ガス中の Br/Cl 値は各火山でよく一定しており、その値は $1.2 \sim 2.0 \times 10^{-3}$ であるのに対し、I/Cl 値は各火山ガスによって異なり、 $12 \sim 100 \times 10^{-5}$ の間をばらついているとのべている。著者らが測定した温泉中の Br/Cl 値及び I/Cl 値と本多らの火山ガス測定値とをあわせて考察すれば、“くじゅう”地方の温泉水中のハロゲンは火山性発散物に由来すると考えるのが最も妥当であり、その塩分起源が火山性発散物に由来するいわゆる火山性温泉中では Br/Cl 値は 3.0×10^{-3} より小さく、一般に $2 \sim 3 \times 10^{-3}$ の値をとり、I/Cl 値は 15×10^{-5} より大きな値をとるといえる。

最後に本研究を行なうに当たり、採水に大分大学教育学部化学科学学生諸氏の協力があったことを記して感謝する。

参 考 文 献

- (1) 吉川恭三・志賀史光・岩上寿子：別府海岸部における温泉の化学組成、本研究会報告、15号、昭40
- (2) 吉川恭三・志賀史光・岩上寿子：別府海岸部における温泉の化学組成、(その3) 臭素とヨウ素、

図 3 Br/Cl、I/Cl と Cl 含有量
図中の符号は図 1 に同じ



本研究会報告、16号・昭40

- (8) 吉川恭三・友定彰・志賀史光：大分県下温泉の生成過程、(1)別府北部温泉群のハロゲン、本研究会報告、17号・昭41
- (4) (1)に同じ
- (5) 志賀史光：くじゅう火山の温泉群、(1)化学組成より見た温泉の類型と特徴、本号
- (6) K.RANKAMA, et al, : "GEOCHEMISTRY" P760, (1949)
- (7) 岩崎岩次・桂敬・坂戸直行・平山光衛：本邦火山の地球化学的研究(その41) 火山岩中の塩素、日化、78、1、昭32
- (8) 本多文洋、杉浦孜・水谷義彦：火山ガス中の沃素について、地球化学討論会講演要旨集(1964)

放射能障害の温泉療法

原爆者別府温泉利用研究所の実績 (VIII)

(21報)

九州大学 温泉治療学研究所 外科 八 田 秋

前年に引き続き、昭和41年4月より昭和42年3月までの1年間について、湯治成績を求めて見た。

入所者利用数は、5月及び6月、2月に多く、各1日平均48.7名、41.4名、40.8名と定員40名を越えている。7月、9月、11月が各18.8名、24.7名、23.3名と少いが他の月は殆んど30名を越えている。年間の傾向を比較すると、1日平均利用者の各月の多少は殆んど変わらない。年間平均32.9名は前回の37.4名より少々低いが、そのグラフの高低を見ると、その差が少く常時利用者の数が一定して来たと考えられる(第2表、第1

第2表 利用者とその延数

	利用者数	利用者延人員	一日平均
4月	150	1099	36.6
5月	162	1511	48.7
6月	109	1225	40.8
7月	75	584	18.8
8月	94	854	27.5
9月	78	722	24.7
10月	129	892	28.8
11月	89	701	23.3
12月	183	975	31.4
1月	158	1285	41.4
2月	131	928	33.1
3月	172	1248	40.2
計	1530	11,484	32.9

第1図 月別入所利用者の一日平均

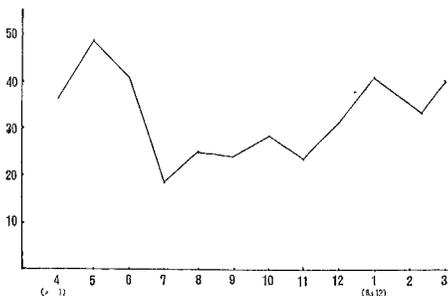


図)。又、今回の1年間の利用者実数は、1,530名で前年よりやや少い。

利用者の男女別は、第1表に示したように今回も前回と同様女性が多い。

第1表 男女別、年齢別利用者数

年令 月日	男女	年齢										計
		<30才	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66>			
41年	男	3	4	1	4	3	7	15	25	62		
4月	女	4	4	3	6	8	16	16	29	88		
5月	男	1	3	0	3	8	12	17	30	74		
	女	2	2	2	7	11	14	17	33	88		
6月	男	2	0	1	0	2	1	9	27	42		
	女	3	2	2	5	4	8	18	25	67		
7月	男	8	3	1	1	3	3	5	15	39		
	女	4	3	1	1	3	8	6	11	39		
8月	男	8	4	1	1	2	4	7	14	41		
	女	8	6	3	1	5	14	7	9	53		
9月	男	1	0	1	1	2	4	8	14	31		
	女	1	4	4	2	4	5	8	19	47		
10月	男	13	6	3	1	6	8	5	16	58		
	女	2	2	7	5	8	16	14	17	71		
11月	男	1	2	0	3	4	6	9	20	45		
	女	2	4	5	5	1	7	12	8	44		
12月	男	5	8	5	3	3	11	18	30	83		
	女	6	4	7	3	14	18	23	25	100		
1月	男	4	4	1	3	2	12	15	23	64		
	女	5	7	3	6	13	19	15	26	94		
2月	男	0	6	2	3	8	3	6	22	53		
	女	3	3	6	4	13	14	15	20	78		
3月	男	7	5	4	4	8	13	18	23	82		
	女	8	3	6	7	13	14	18	21	90		
計		101	99	69	79	150	237	303	502	1530		

これ等、利用者の滞在日数を調べると、12月の「4~6日滞在者」は高値を示し、「7~13日滞在者」は約30%を占めている。これは「3日以内」の短期滞在者 303名の約2倍を示している。然し2週間以上の長期滞在者は8分の1と昨年とほとんど変わらない。(第3表、第2図)。

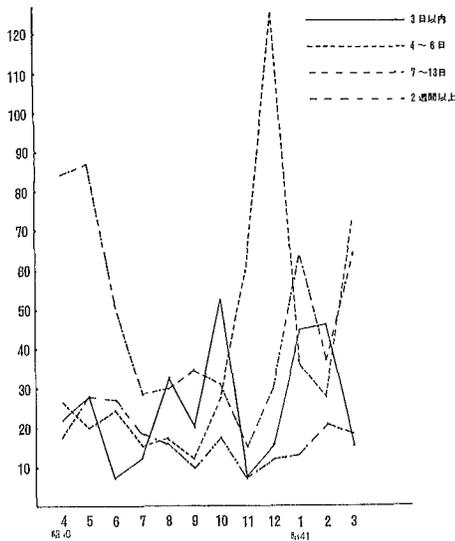
更に前回と同様に、2週間前後滞在了した862名中希望によって60名につき湯治前後の検査を行った。これは年間利用者総数の3.9%、1週以上滞在者の7.9%にあたる。

この60名のうち21名(28.6%)は直接の被爆者でな

第3表 利用者日数別月表

日数 月別	日数				計
	3日以内	4日 ～ 6日	7日 ～ 13日	14日	
4月	22	27	83	18	150
5月	28	20	86	28	162
6月	7	24	51	27	109
7月	12	15	29	19	75
8月	31	17	30	16	94
9月	20	13	35	10	78
10月	52	27	32	18	129
11月	7	60	15	7	89
12月	16	125	30	12	183
1月	45	37	63	13	158
2月	46	28	36	12	131
3月	17	72	64	19	172
計	303	465	554	208	1530

第2図 湯治期間



第4表 被爆状況

Km	例数	遮蔽		
		+	-	不明
1.0	4	2	2	0
1.5	6	4	2	0
1.8	10	7	3	0
2.0	11	6	5	0
3.0	6	5	1	0
4.0	2	1	1	0
不明	0	0	0	0
爆発後入市	21	0	0	0
計	60	29	14	0

く爆発直後から数日の間に市内に入り数日を過ぎた例である。この21例を除くと、2 Km以内のものは39例中31例(79.5%)で、その内遮蔽物のなかったものは、約3分の1である。(第4表)

検査項目の集中値限界は、前々回、前回と同じ基準に置いた。(第5表)

第5表

検査項目	集中値限界
赤血球数	300万～500万/ mm^2
血色素量	75%～95%
白血球数	5,000～8,000/ mm^3
最高血圧	100～150mmHg
尿蛋白	陰性
尿糖	陰性
尿ウロビリノーゲン	正常
デヴィス反応	陰性

今、湯治前後の検査成績をこの基準にあてはめ、はみ出した例数を調べ、被検者総数に対する割合を百分率で表わし第6表に示した。

第6表 湯治前後のバラつき頻度

検査項目	湯治前	湯治後	
		全例	残留例
赤血球数減少	4(6.7)%	4(6.7)%	4(6.7)%
血色素量減少	3(5)	3(5)	3(5)
白血球数異常	23(38.3)	14(23.3)	9(15)
最高血圧異常	15(25)	10(16.6)	7(11.7)
尿蛋白陽性	0(0)	0(0)	0(0)
尿糖陽性	1(1.7)	1(1.7)	1(1.7)
尿ウロビリノーゲン異常	5(8.3)	5(8.3)	5(2.3)
デヴィス反応陽性	0(0)	0(0)	0(0)

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

いま各項目について、前回の値と比較すると湯治前では赤血球減少は6.7%で前回の2.6%より高い。湯治後もこれらの例は、集中限界に達していないが個々の値を調べると集中限界に近づいている。

血色素減少例は、5%で前回の1.3%より高い。その湯治成績では赤血球減少と同様のことがいえる。

白血球数異常例は38.3%で前回の41.3%とほぼ同じである。その湯治成績は、残留例15%とかなりの好転を見せている。残留例15%の個々の値を詳細に見るとこれもまた集中限界に近づいている。

最高血圧異常例25%は、前回よりやや低く、湯治成

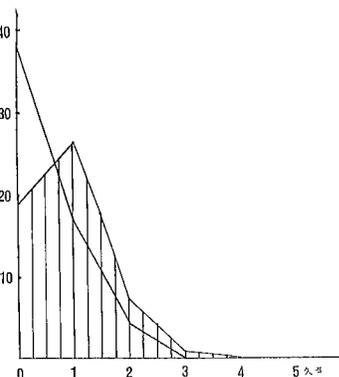
績は残留例11.7%にすぎず好結果を得ている。尿糖陽性は1.7%で、湯治後も変わらない。この1例の尿糖陽性例について詳細な検査が行われなかったので如何なる種類のものであったかを判定しがたい。

尿ウロビリノーゲン異常例は8.3%で、前回の13.3%より低い。尿ディヴィス反応陽性例は0%であった。以上の結果より検討すると、湯治後の成績は、ほぼ従来の如くであって、殊に白血球異常例及び最高血圧異常例で著明な効果を見ているといえる。

更に詳細検討して見ると、湯治前には異常がなく、湯治後に却って出現した異状例は前回の3例(4.0%)に比較して、0例(欠点数4)で入浴指導が非常によく守られたと考えられる。

ここで湯治前後の各人の持っている欠点数と例数とのHistogramを作ってみると、第3図のようになる。

第3図



またその好転度を、湯治前の総欠点数から湯治後の総欠点数を差し引きこれを被検者総数で割って算出すると0.3166となり、前回の0.3733より低いが、前々回の0.2857より高く、かなり効果のあったことを示している。

要するに本年度は入浴の意義が良く一般に知られ、これが正しく守られたことを示している。すなわち、利用者実数、毎月の利用者の差が比較的少ないこと、湯治後の好転度0.3166など、このことを裏付けるものであろう。

さらに大分県原被協の企画により県下在住の被爆者11名が2週間の湯治を行った。それ等については、湯治前後の検査を詳細に行ない、各人の体調に合った入浴を指示した。

この11名は、男性6名、女性5名で、年齢分布は第7表の如くである。

第7表

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

この11名中、61才以上が4名(36.4%)で、66才以上は1名(9.09%)で、78才の高令者であった。これ等11名に行われた検査項目と成績は、胸部X線間接撮影のほか第9表の如くである。なお集中値限界は第8表の如くである。

第8表

検査項目	集中値限界
赤血球数	300万~500万/mm ³
血色素量	75%以上
白血球数	5,000~8,000/mm ³
最高血圧	100~150mmHg
尿蛋白	陰性
尿ウロビリノーゲン	正常
尿ディヴィス反応	陰性
B. S. P	45分2.5~5.0%
ソーンテスト	減少率50%以上

そのおのおのについて検討すると、血色素赤血球数では前後ともに異常はないが、詳しく検討すると湯治前後ではそれぞれ90%~100%、400万~500万の間に略々一定して来て、個体差が少なくなって来ている。白血球数では増加例が2例、減少例が5例あり、湯治後増加例の2例はいづれも集中値限界に減少、減少例の5例中3例は集中値限界に復帰している。

BSPは湯治前では1例が集中値限界を越したが、湯治後に集中値限界を越す4例の増悪例がみられたのは注目に価する。

このことは他の検査が充分でないため推定の域を出ないが、おそらく過入浴のためであろう。

副腎機能、ソーンテストでは湯治前50%以上のものが2例(18.2%)で湯治後集中値限界に復した。湯治前集中値限界にあったものが、湯治後2例(18.2%)に増悪例がみられた。

脳下垂体副腎系の機能面では少くともソーンテストで検査した限りでは、今回の湯治によって好転したとはいい難いであろう。

尿蛋白、尿糖、アビス反応は全例とも湯治前後陰性であった。

最高血圧を検討すると、湯治前集中値限界を越えたものは4例、湯治後4例中3例は集中値限界に復した共同研究者

辻 秀男、中村泰也、曾我部輝久、豊永輝、工藤寛昭、阿部充満、石川晃、野口志郎、松山家昌、和田浩一、村上信夫、久下衷、有馬正士、山田とみ子、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：大分県温泉調査研究会 第9報 昭36
- 3 八田：臨床と研究 37. 4 .529 昭35
- 4 Osamu Hatta
Balneotherapy for the Survivors of Atomic
Bomb Injuries 温泉科学 12. 1 昭和36
- 5 Saito:Zangeu Baderu Klimaheilkk
- 6 八田：大分県温泉調査研究 特別号
第11報、昭35

放射線障害と温泉治療 (第22報)

中性子障害に対する温泉効果についての 実験的研究

九州大学温泉治療学研究所外科 八 田 秋
豊 永 輝

はじめに

原子爆弾の放射線は主としてγ線と中性子とからなるとされている。われわれは数年来原爆被爆者に対する温泉治療の効果を種々の角度から発表し、更にγ線障害に対する温泉効果についての実験的研究には山田の報告がある。

わたくしは、昨年中性子障害に対する温泉効果を検討するため別府市内3ヶ所の温泉を用いた春期実験成績について報告した。

今回は4ヶ所の温泉による秋期実験について報告する。

実験方法

- 1、実験動物、純系マウス(雄)、各群に10匹を使用
- 2、照射方法、10匹中9匹に中性子線量 700rad相当1回爆射、残り1匹は非照射対照とした。
- 3、使用温泉、温研泉、原爆センター泉、堀田泉、柳湯、その他対照として無浴、淡水を用いた。
- 4、泉浴方法、照射翌日より1日1回38°C 10分間の13日連浴を行った。
- 5、検査項目、体重、血色素、赤血球、白血球、網状赤血球
- 6、検査時期、各項目について中性子照射前、後1日、5日、9日、13日に検査を試みた。体重のみは連日計測した。

実験成績

I 体重

1、無浴対照群

照射後5~7日に体重減少の谷を持ったものが4匹、9~12日に谷を持ったものが6匹、2つの谷を持ったものが1匹、体重減少の谷を示さなかったものが1匹であった。

2、温研泉浴群

5~7日の減少の谷をもったものは6匹であるが照射前値をわずかに下まわる程度であり他のマウスは殆んど谷を示さなかった。

3、原爆センター泉浴群

6~8日に比較的深い谷を示すものが1匹、他は殆

んど体重減少の谷を示さなかった。照射後1日に比較的著るしい体重減少を示したものが4匹あるが連浴時の体重減少の谷を示さなかった。

4、堀田泉浴群

5~7日に深い谷を示すものが6匹であったが9~10日にはすでに前値または前値以上に回復した。本群の体重変動は殆んどそろった過程を示した。

5、柳湯泉浴群

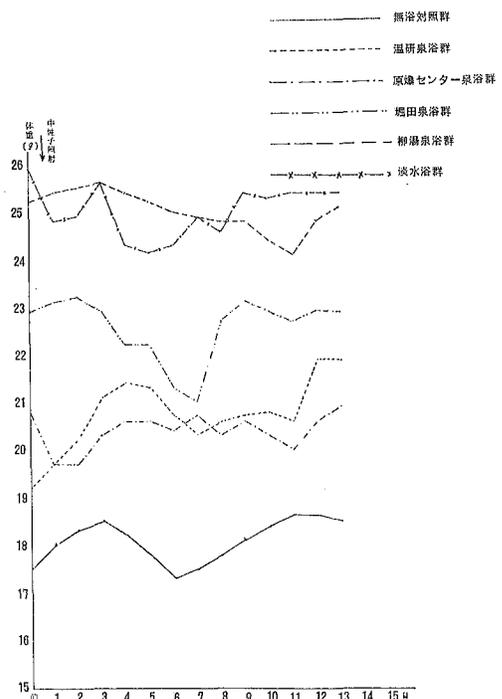
11日に浅い谷を示すものが4匹あったが、5~7日に深い谷示したものはない。

6、淡水浴群

4~7日に6匹が減少の谷を示し1匹を除き前値への回復が見られなかった。

今これ等各群の平均値を取りそれを図示すると第1図のようになる。すなわち無浴対照群では6日に谷を示

図1 中性子照射 体重



しているが淡水浴群では5日、堀田泉浴群では7日、柳湯泉浴群では11日と泉浴群では谷の出現がやや遅く体重減少の程度も軽度でまたその回復もより速かである。温研泉浴群、原爆センター泉浴では殆んど谷が認められない。(図1)。

II 赤血球数

1、無浴対照群

8%匹が9日に減少の谷を示し他の1匹は5日に谷を示した。

2、温研泉浴群

9日に減少を示すものが8%匹、5日に減少を示すものが4%匹にすぎず、減少の程度を無浴対照群に比較すると浅かった。

3、原爆センター泉浴群

4%匹が9日に減少の谷を示すのみで他は減少を示さなかった。しかも13日にはほぼ集中を示した。

4、堀田泉浴群

8%匹は減少を示さず、9%匹は5日と9日にわずかな減少を示したが、13日にはその回復が著しく殆んどが850万~900万の間に集中した。

5、柳湯泉浴群

8%匹が5日に減少の谷を示し、その他ではわずかな減少かほとんど減少を示さずその回復も早く13日には一定の範囲に集中の傾向を示した。

6、淡水浴群

連浴開始後全例が減少を示し、そのほとんどが回復のきざしを示さなかった。

上記の結果より体重と同様泉浴によりかなり赤血球数の減少を防ぐとともに減少したものでもその回復を速めるものと見られる。特に堀田泉浴の5~13日の回復は著しい。また各泉浴群ともに13日に一定の範囲に集中の傾向を示していることは注目し得るところである。

各群の平均値を図示すると第2図の如く、無浴対照群が11日、淡水浴群が5日に減少の谷を示し、しかもその増減の動きがはなはだしいのに対し泉浴群ではその増減の動きが小さくほとんど減少は見られず、各泉浴群ともに13日には一定値に集中している。(図2)

III 血色素

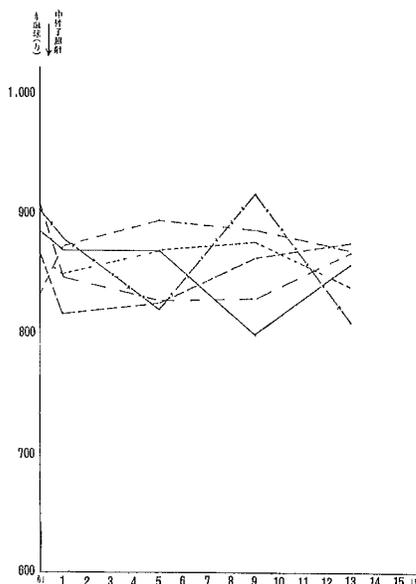
1、無浴対照群

照射後5~9日に減少の深い谷を示したものが4%匹、ほとんど増減のなかったものが8%匹、著明な増加を示したものが1%例で一定の傾向を示さなかった。

2、温研泉浴群

照射後5日に減少の谷を示したものが8%匹、9日目に谷を示したものが8%匹、その他では連浴中の減少を示さ

図2 中性子照射 赤血球数



なかった。13日目には85~95%の間に回復集中する傾向を示した。

3、原爆センター泉浴群

照射翌日の著しい減少を示したものが8%匹、連浴時の減少を示したものが8%匹、その他では著しい減少を示していなかった。その回復傾向は著しく全例が9~13日増加を示した。

4、堀田泉浴群

全例が照射翌日著明な減少を示した。連浴中にもかかわらず減少したものが8%匹だが9日にはほとんどが著しい増加傾向を示し、13日には照射前値を上まわる増加を示した。

5、柳湯泉浴群

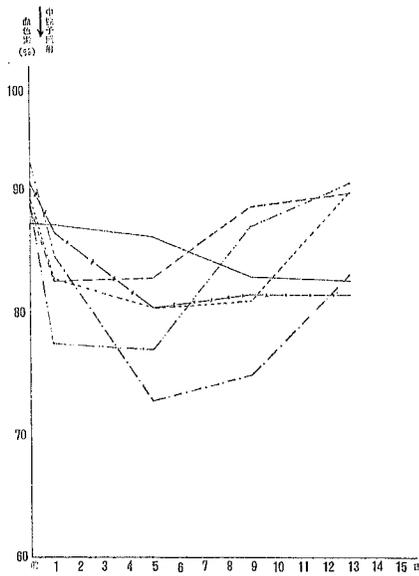
照射の翌日に8%匹が減少を示したが、連浴中に深い谷を示すものは8%匹でその他は増加傾向を示した。したがって照射翌日減少を示したのもも泉浴により5~9日の増加傾向が著しい。

6、淡水浴群

5日の減少を示したものが8%匹、9日に減少を示したものが8%匹、その増加回復経過は著明でなくほとんどが横這い状態を示した。13日の集中傾向を示さない。

名群の平均値を図示すると第3図の如くなる。すなわち無浴対照群では徐々に減少を示しているのに対し泉浴群では5日に谷を示したものが多く増加回復は著しく、13日にはいずれも無浴対照群、淡水浴群を上まわっている。とくに柳湯泉浴群、堀田泉浴群では照射翌日の減少が著しいのに対し13日の値は1、2位を示している。(図3)

図3 中性子照射 血色素



IV 網状赤血球

1、無浴対照群

照射翌日に減少を示し日とともに徐々に増加を示すが著しい増加を示さない。

2、温研泉浴群

照射翌日泉浴開始前に $\frac{2}{100}$ 匹の増加を除き他は減少を示した。連浴中では5日に著しい増加が全例に認められ、9日では $\frac{4}{100}$ 匹が増加、 $\frac{5}{100}$ 匹が僅かな減少を示している。

3、原爆センター泉浴群

$\frac{2}{100}$ 匹の増加例を除き $\frac{7}{100}$ 匹が照射翌日に減少を示した5日には $\frac{8}{100}$ 匹が著明な増加を示し、9日には僅かな減少を示すもの $\frac{4}{100}$ 匹があるが13日にはふたたびほとんどすべて増加を示した。本群では血色素の減少が最大であったのでその反応としてかような増加を示したものと考えられる。

4、堀田泉浴群

$\frac{8}{100}$ 匹に5日著明増加を示し以後は横這状態を示した本群では血色素が5日まで減少し9日目に著しい増加回復を示したので網状赤血球の動きもこれに対応的であると解される。

5、柳湯泉浴群

5日著増が $\frac{5}{100}$ 匹、減少 $\frac{4}{100}$ 匹(中2匹が著明)と一見まちまちであった。本群でも血色素の変動と対応的に逆変動を示している。

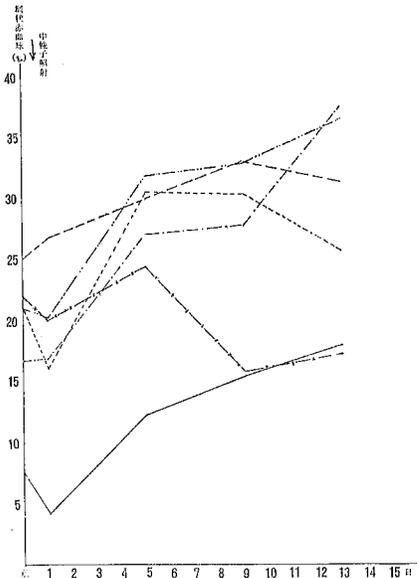
6、淡水浴群

5日目増加が $\frac{4}{100}$ 匹、9日の減少が $\frac{4}{100}$ 匹に認められたさらに13日の値はすべて前値または9日より低値を示

した。本群では血色素の変動との対応性が明瞭でない。

各群の平均値を図示すると第4図の如くである。すなわち各群ともに照射後多少とも減少を示し、以後の増加が無浴対照群、淡水浴群では著しくないのに対し各泉浴群ともに著明な増加を示しており、ことに13日では原爆センター泉と堀田泉が1、2位を示しているこれを血色素の変動(第3図)と比較して検討する

図4 中性子照射 網状赤血球



と各泉浴群では血色素の減少時には網状赤血球の増加を示し血色素の増加回復と共に網状赤血球の増加率が減じている。これに対し無浴対照群、淡水浴群ではこの様な対応性が認められないのである。(図4)

V 白血球数

本実験中最も著明な変化を示したものが白血球であり且つ温泉効果が著明であった。

1、無浴対照群

照射翌日全例著しい減少を示し5、9、13日とほとんどすべて横這状態を示し、 $\frac{3}{100}$ 匹にわずかな増加を示すのみであった。

2、温研泉浴群

照射翌日の著しい減少を示した後5、9日と著しい増加回復を示し、13日にはやや低値を示した。

3、原爆センター泉浴群

照射翌日の減少後全例5、9日と増加し13日は横ばいである。

4、堀田泉浴群

原爆センター泉浴群の変動と類似した経過を示した

5、柳湯泉浴群

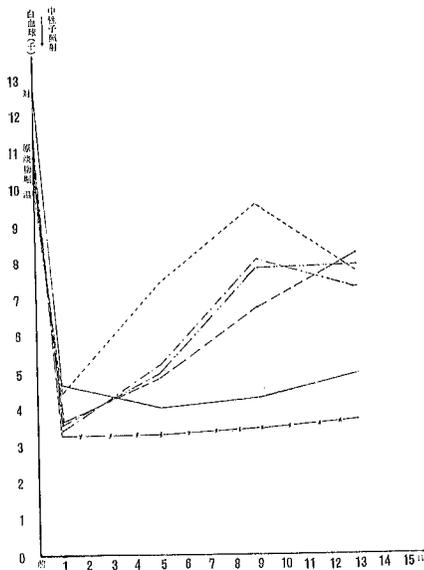
照射翌日の減少後5、9、13日と経日的に増加回復し13日にも最も高値を示した。

6、淡水浴群

照射翌日の減少後回復のきざしはほとんど認められなかった。

各群の平均値を図示すると第5図の如くである。す

図5 中性子照射 白血球数



なわち泉浴の効果をも最も明瞭に示している。9日に最高値を示した湯研泉浴群の中には2匹が9日に死亡しこれらは異常と思われる高値を示したもので炎症性疾病の合併が考えられ、したがって9日の平均値が異常に高くなったことは注意を要する。

以上体重、赤血球、血色素、網状赤血球、白血球の変動を各々無浴対照群、湯研泉浴群、原爆センター泉浴群、掘田泉浴群及び淡水浴群の各群について検討して来たが、もっとも著明な泉浴効果を示しているのは白血球であり、その他赤血球数、血色素値、網状赤血球、体重でも明らかな温泉効果と思われる点が認められる。

さらに各泉浴群を全項目にわたり詳細検討するともっとも効果的と思われるのは柳湯泉浴群であり、ついで原爆センター泉浴群が好成績を示し、次に湯研泉浴群、掘田泉浴群となる。すなわち緩和な温泉の正常化作用に適度なチオール作用、造血作用と関係ある温泉成分などがこの場合にも働らくことが判明したのである。

むすび

以上の成績は中性子照射による急性の障害に対する連泉浴の効果であり、亜急性ないし慢性障害に対しては、温泉の性格上さらに効果が期待されるであろう。他方本実験成績は、原爆後障害に対する温泉作用機序の一端を明らかにし得たものと信ずるものである。

温泉の障害防止に関する研究 (第1報)

九州大学温泉治療学研究所

皮膚泌尿器科 伊藤嘉夫

中溝慶生

古屋英樹

温泉理学科 野崎秀俊

I 緒言

我々が多大な恩恵を受けている温泉も文化の発達、人口の増加に伴い汚染される機会もふえ従って汚染により人体に対し障害が起る可能性が考えられる。河川などの地表水を噴気で加熱し温泉化したいわゆる人工造成泉においては地表水が汚染される機会が多いため人体に対し障害をおよぼす可能性も高いものと思われる。また天然湧出泉においても引き湯の途中で汚染物が混入したり地表水で希釈された際にも汚染が起る事が考えられる。これらの汚染は晴天の時よりも降雨時に増加するであろう。

我々は温泉水の土壌成分による汚染の人体におよぼす障害について調べるため温泉水中の不純物の人体に対するアレルギー性、温泉水中の人体病原性真菌の検策を目的とした真菌の同定および温泉水中の農薬とくに人体に有害な有機水銀剤による汚染について調査した。

調べた温泉は人工造成の単純硫化水素泉である別府市堀田の堀田泉(堀田東温泉)および自然湧出の酸性硫化水素泉である別府市明礬のえびす湯である。各温泉について約1年間にわたり晴天または曇天の3日以上続いた日および雨天の日に浴槽への流入口から泉水を採取し調査した。

II 温泉水中の不純物のアレルギー性

(1) 方法

各温泉について晴天または曇天が3日以上続いた時の泉水と雨天の日の泉水を浴槽への流入口から採取し濾紙で濾過し濾物を乾燥し鳥居薬品株式会社でUnger法(第1表)で作られた1000倍アルゲンエキスを抗原液として人体皮膚に皮膚反応を行った。

被験者は健康者および皮膚疾患患者合計26名で前日より抗アレルギー剤の投与を中止させ前腕屈側皮内に抗原液を0.02mlづつ注射した。同時に对照液を同量注射し非特異反応を除外した。

注射後15分(即時反応)および24時間(遅延反応)

に注射部の発赤と膨疹の径を測り第2表の様な判定基準にしたがって判定した。

第1表 Unger法

脱脂(エーテル)
 乾燥
 秤量
 10倍量のD.P.液に浸し4日浸漬
 濾過
 凍結乾燥し更にD.P.液でもとの重量の10倍とする。
 透折(24時間)
 生理食塩水で10倍100倍1000倍に希釈
 シャンペランで無菌濾過
 バイアルに充填
 D.P.液 (ブドウ糖 4.5g
 重曹 0.2g
 重炭酸 0.5g
 蒸留水 加100ml)

第2表 判定基準

判定	皮膚反応
-	発赤径10mm以下
±	〃 11~20mm
+	〃 21mm以上で膨疹径9mm以下
++	〃 21~40mmで膨疹径10~14mm
+++	〃 41mm以上で膨疹径15mm以上および明らかな偽足を呈するもの

(2) 結果

日常入浴に温泉を使用していない健康者9名については即時反応では堀田泉(雨)および(晴)に11.1%の陽性を雨天のえびす湯に22.2%の陽性をみとめた。遅延反応では雨天のえびす湯に±が1名みられた。(第3表)すなわち雨天の泉水に陽性率が高い事は泉水中に雨水とともに抗原性を有する物質が混入し増加するたためと思われる。

第3表 日常温泉に関係のない健康者における皮内反応

判定 抗原液	即時反応						遅延反応					
	-	±	+	++	+++	陽性率	-	±	+	++	+++	陽性率
堀田泉 (晴)	8		1			11.1%	9					0%
堀田泉 (雨)	7	1	1			11.1%	9					0%
えびす湯 (晴)	9					0%	9					0%
えびす湯 (雨)	6	1	2			22.2%	8	1				0%

日常入浴に温泉を使用している健康者8名では雨天の堀田泉に±が2名いたのみであった。(第4表)

第4表 日常入浴に温泉を使用している健康者における皮内反応

判定 抗原液	即時反応						遅延反応					
	-	±	+	++	+++	陽性率	-	±	+	++	+++	陽性率
堀田泉 (晴)	8					0%	8					0%
堀田泉 (雨)	6	2				0%	8					0%
えびす湯 (晴)	8					0%	8					0%
えびす湯 (雨)	8					0%	8					0%

皮膚疾患の患者10名については、これらは湿疹、尋常乾癬、尋常魚鱗癬、光線皮膚症、リウマチ性紫斑、扁平紅色苔癬、播種状紅斑性狼瘡などの患者であるが

即時反応では晴天の堀田泉に1名、雨天の堀田泉に3名の±があり、遅延反応では雨天の堀田泉に±が1名あった。(第5表)

第5表 皮膚疾患の患者における皮内反応

判定 抗原液	即時反応						遅延反応					
	-	±	+	++	+++	陽性率	-	±	+	++	+++	陽性率
堀田泉 (晴)	9	1				0%	10	1				0%
堀田泉 (雨)	7	3				0%	9					0%
えびす湯 (晴)	10					0%	10					0%
えびす湯 (雨)	10					0%	10					0%

日常温泉を使用していない者に泉浴を行わせ発赤径の変化をみると第6表のごとく発赤径の増加したものもあり減少したものもあり症例が少ないのでなんとも言えない。今後症例を増して検討を加えたい。

全26例について接触アレルギーを示す遅延反応をみると雨天の堀田泉とえびす湯に一例ずつ±があり雨天に接触抗原が増加するものと思われる。

Ⅲ 温泉水中にみられた真菌

(1) 方法

昭和41年2月から昭和42年1月迄毎月晴天または曇天が3日間以上続いた日及び雨天の日についておのおの2回ずつ調査した。滅菌した50ccの遠心管2個に泉

水を100cc採取し3000回転で10分間遠心器にかけた。

沈査を上清とともに滅菌したコマゴメペットでとり1ccずつ4個のシャーレに入れサブローぶどう糖寒天培地で希釈し平板培養を行なった。土と幼児の毛髪を入れ滅菌したシャーレ2個にも同様に1ccずつ加え昭和41年7月からは4匹のマウスの腹腔内に1ccずつ注射した。

サブローぶどう糖寒天培地はクレゾール石けん水でひたした紙で包み25ccで14日間培養し5、7、10、14日目に観察した。

土と毛髪を入れたシャーレは滅菌蒸留水で湿潤にしクレゾール石けん水でひたした紙で包み25℃で30日

第6表 泉浴と皮内反応の発赤径の關係

症 例	性	年齢	使用泉名	泉浴日数	抗 原 液	即 時 反 応		遅 延 反 応	
						泉 浴 前	連 浴 後	泉 浴 前	連 浴 後
原○ み○	女	51	温 研 泉	47日	堀 田 泉(晴)	2×2	3×3	2×2	3×3
					堀 田 泉(雨)	4×4	3×3	3×3	5×5
					えびす湯(晴)	2×2	2×2	0×0	2×2
					えびす湯(雨)	2×2	4×4	2×2	8×8
松○ 良○	女	24	温 研 泉	41日	堀 田 泉(晴)	5×5	8×8	8×8	5×5
					堀 田 泉(雨)	13×14	11×11	13×13	5×5
					えびす湯(晴)	7×7	7×7	6×6	2×2
					えびす湯(雨)	8×8	8×8	3×3	4×4
林 ○み	女	19	温 研 泉	50日	堀 田 泉(晴)	3×3	0×0	3×3	0×0
					堀 田 泉(雨)	5×5	5×5	4×3	2×2
					えびす湯(晴)	0×0	2×2	2×2	2×2
					えびす湯(雨)	4×4	3×3	2×2	2×2
橋○ 晋	男	21	えびす湯	(29日) 60日	堀 田 泉(晴)	3×3	(3×3) 3×3	2×2	(2×2) 2×2
					堀 田 泉(雨)	3×3	(5×5) 5×5	2×2	(2×2) 1×1
					えびす湯(晴)	3×3	(0×0) 2×2	0×0	(0×0) 2×2
					えびす湯(雨)	3×3	(5×5) 2×2	2×2	(0×0) 2×2
原○ 梅○	男	57	えびす湯	19日	堀 田 泉(晴)	3×3	2×2	0×0	0×0
					堀 田 泉(雨)	3×3	3×3	0×0	3×3
					えびす湯(晴)	3×3	2×2	4×4	3×3
					えびす湯(雨)	2×2	3×3	4×4	5×5

間培養した。

マウスは2週後と4週後に殺し開腹し、肝脾をサブローぶどう糖寒天培地上で培養した。

それぞれの培地に発生した集落はその一部をサブローぶどう糖寒天、ツアベック・ドックス氏液寒天、コウジ汁寒天、坂口・王氏液寒天などの培地でガラス板培養を行い生殖器管の形態、菌糸の形態などから種類を属名まで同定した。

(2) 結果

サブローぶどう糖寒天培地への稀釈培養からは *Alternaria* sp. *Aspergillus* sp. *Cephalosporium*

sp. Fnsarium sp. *Hormodendrum* sp. *Mucor* sp. *Penicillium* sp. *Scopulariopsis* sp. *Trichoderma* sp. を検出した。土と毛髪培地からは11月の雨天のえびす湯から *Aspergillus* sp. を1個検出したのみであった。マウスの肝脾からは真菌を検出できなかった。

検出結果は第7、8表に示し、検出真菌数の月別変動は第1図に示した。各泉とも冬に菌数は減少し春秋に増加を示した。大体において雨天日の方が菌数が多いようであった。

検出した真菌は生理食塩水で稀釈液を作りマウスの腹腔内に注射したが病原性を示したものはなかった。

第7表 堀田泉より検出した真菌の月別変化

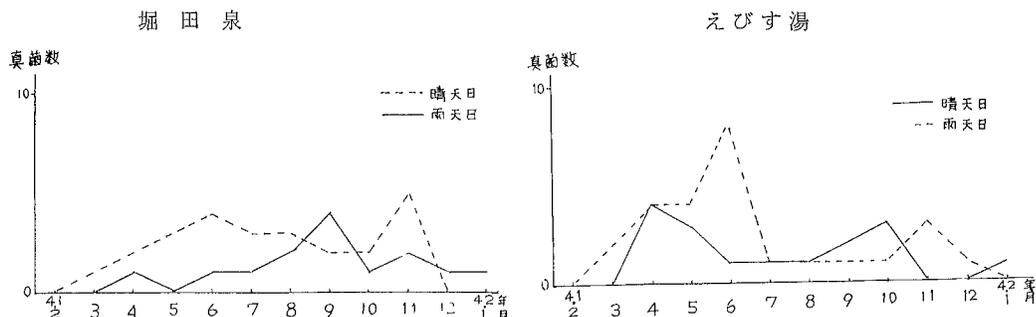
年月	天候	Cephalo- sporium sp.	Hormo- dendrum sp.	Peni- cillium sp.	Scopulari- opsis sp.	Tricho- derma sp	不 明	合 計
41. 2	晴 雨							0 0
. 3	晴 雨						1	0 1
. 4	晴 雨			1			2	1 2
. 5	晴 雨						3	0 3

.6	晴雨			1				1
				2			2	4
.7	晴雨				1			1
				2			1	3
.8	晴雨	1		1				2
				2			1	3
.9	晴雨			3	1			4
				1		1		2
.10	晴雨			1				1
							2	2
.11	晴雨			1				2
				2		2	1	5
.12	晴雨		1					1
								0
42.1	晴雨					1		1
								0

第8表 えびす湯より検出した真菌の月別変化

年月	天候	Alter-naria sp.	Asper-gillus sp.	Cephalo-sporiu-m sp.	Fusariu-m sp.	Hormo-dendru-m sp.	Mucor sp.	Penilli-um sp.	Scopula-riopsis sp.	Tricho-derma sp.	不明	合計
41.2	晴雨											0
												0
3	晴雨										2	2
			1		1				1		2	4
4	晴雨										3	4
			1				1	1			1	3
5	晴雨	1					1				2	4
			1									1
6	晴雨		1	1			1	2			3	8
						1						1
7	晴雨									1		1
												1
8	晴雨		1			1						1
								1				1
9	晴雨					1				1		2
												1
10	晴雨		1							1	1	3
												1
11	晴雨		1					1		1		3
												0
12	晴雨							1				1
												0
42.1	晴雨							1				1
												0

第1図 検出真菌数の月別変動



IV 温泉水中の水銀の定量

最近農薬として有機水銀剤が大量に使われこれによる食品や水の汚染が問題となっている。温泉水の農薬による汚染を調べるため昭和41年1月から12月迄温泉

水中の水銀を定量した。

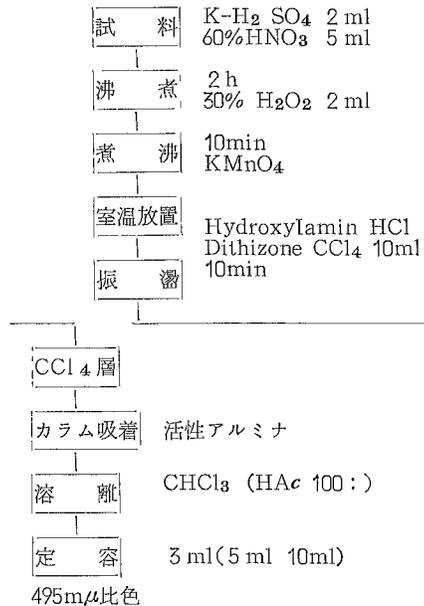
(1)試薬および装置 ジチゾンの特級試薬を常法により精製、酸化物を除去、四塩化炭素、酢酸、硝酸は和光特級、クロロホルムはドータイトスペクトロゾール、硫

酸は和光の特製特級を、また活性アルミナはメルク製を使用した。測定には日立 EPS-2 U 自記分光光度計を用いた。

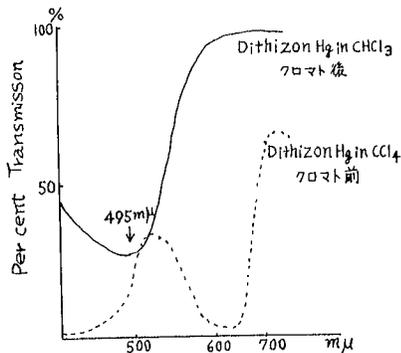
(2)測定方法

温泉水200ml をとり、コルベンに入れ濃硫酸2 ml、濃硝酸5 mlを加え、還流冷却器ならびにガス吸尿管（硫酸：水=1：100 50ml）を付し、2～3時間煮沸、冷後30%過酸化水素水、2 mlを加え、10分間再び加熱、生じた亜硝酸を酸化する。後過マンガン酸カリ0.5gを加え24時間以上室温放置、後5%塩酸ヒドロキシルアミン溶液を加え、過マンガン酸を完全に分解する。次に分液ロートに移し $2 \times 10^{-4}M$ ジチゾン四塩化炭素10mlを加え10分間シェーカーで振盪、その四塩化炭素層5 mlを分取、径1 cm、長さ約5 cmの活性アルミナカラムに吸着させ、酢酸クロロホルム（1：100）で溶出水銀バンドを取り一定容とし495m μ で測定する。

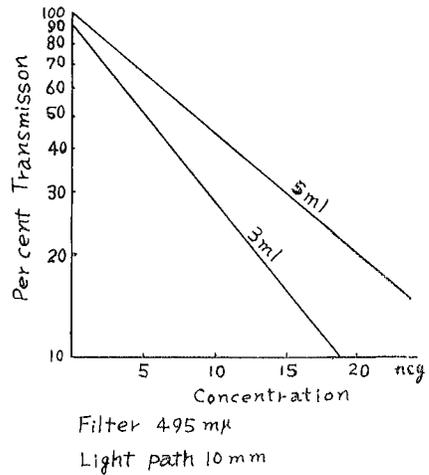
第9表 水銀分析方法



第2図 Dithizon-Hgの吸収曲線



第3図 Hgの検量線



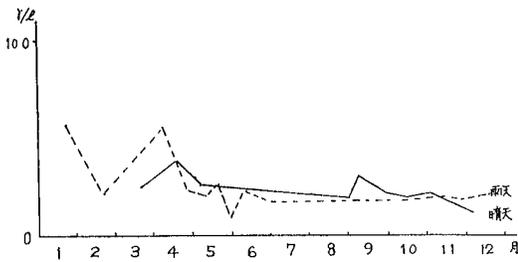
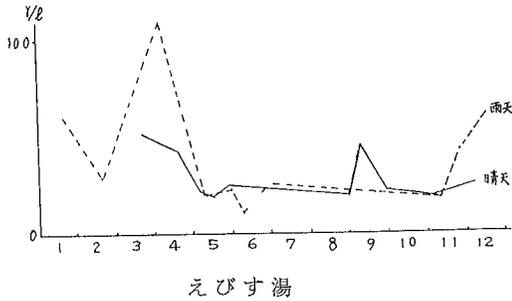
第10表 温泉水中の水銀含有量 (γ/l)

月日	天候	堀田泉	えびす湯
1.20	雨	6.0	5.5
2.20	雨	2.8	2.1
3.20	晴	5.2	2.5
4.7	雨	10.8	5.5
4.16	晴	4.3	3.7
4.26	雨	5.4	2.3
5.6	晴	2.2	2.5
5.11	雨	2.0	2.2
5.19	晴	2.0	2.5
5.20	雨	2.0	2.5
5.26	晴	2.5	2.1
5.31	雨	2.2	0.8
6.9	雨	1.0	2.1
6.30	雨	2.5	1.6
8.3	晴	2.2	2.7
8.30	晴	2.0	2.0
9.9	晴	4.5	3.0
9.29	晴	2.5	2.2
10.7	雨	1.9	1.8
10.15	雨	2.0	2.0
11.4	晴	1.9	2.2
11.13	雨	1.7	2.0
11.29	雨	4.2	2.0
12.8	晴	2.5	1.2
12.18	雨	6.2	2.2

(3)結果

結果は第10表に示した。これを図示すると第4図のごとくなり両泉ともに4月の雨天の日に多量の水銀が含まれていた。また12月の雨天の堀田泉、1月の雨天の両泉にも多量の水銀が含まれていた。他の月は水銀

第4図 温泉水中の水銀含有量の年間変化
堀田泉



量は少く雨天と晴天の差は小さかった。水銀含有量は厚生省の飲料水の水質判定基準以下で人体に対する障害を起す量以下と思われる。

V 総括

我々は過去約1年間にわたり堀田泉およびえびす湯の土壌成分による汚染について調査した。雨天の日は晴天の日よりも泉水中にアレルギー性を示す物質や真菌数および水銀量が増加しこれは雨天の日に汚染成分の混入が増加するためと思われた。人体病原性真菌は検出できず、水銀量は人体に障害をおよぼす量以下であった。

(真菌の固定に関し御指導を頂いた国立別府病院皮膚科部長松崎統博士および九州大学農学部甲斐秀昭博士に深謝いたします。

またアレルギーエキスを作って頂いた鳥居薬品株式会社に謝意を表します。)

的ガ浜温泉における糖尿病患者の温泉治療

(第4報)

九州大学温泉治療学研究所内科

教授 矢野良一
副手 永松昭生

はじめに

昭和36、37年の長湯温泉（含土類炭酸泉）、昭和38、39年の六カ迫鉱泉（含炭酸硫酸重曹食塩泉）昭和40年の的ガ浜温泉（含食塩重曹泉）での糖尿病患者集団の温泉治療による成績は、すでに本誌15、16、17号に報告した。昭和41年度は再び別府市の的ガ浜泉を使用する12週間の長期にわたる温泉治療を試みた。現在温泉の過血糖抑制の作用機序に関しては、未だ定説をみない。したがって糖質代謝において重要な位置をしめ、その中間代謝産物である焦性ブドウ酸及びα-ケトグルタル酸の3週間にわたる温泉治療前後の血中動態について、血糖値の変動と対比させ、その変化を追求し糖尿病患者の温泉による過血糖抑制の作用機序解明を同時に試み、若干の新知見をえたので報告する。

検査対象

糖尿病患者16名（男12、女4）について、逐次的に過血糖に及ぼす影響を検討した。なお、的ガ浜泉の詳細はすでに本誌17号で、また温泉治療中の食餌及び薬

物療法と温泉の飲用、入浴方法は本誌15、16号に記載したので省略する。

検査項目

眼底検査を除き、血糖、尿糖、血清総コレステロール、心電図、血圧、腎機能（尿蛋白、PSP）、肝機能（尿ウロビリノーゲン、チモール及びクンケル）並びに血中焦性ブドウ酸（以下PyAと略す）、血中α-ケトグルタル酸（以下α-KGAと略す）についてその影響を観察した。

検査成績

1、血糖

表1のごとく3週間の治療を行なった5例中全例に血糖値の好転をみ、4週間で6例中5例83.3%、5週間で2例であり、うち1例は明らかに過血糖の抑制効果を認めたが他の一例は判定不能であった。さらに8、10、12週間にわたり血糖の消長を検討した3例では全例に改善をみせるなど16例中14例87.5%に明らかな過

表1 糖尿病患者の長期（3～12週間）にわたる的ガ浜泉連飲、連浴による血糖の逐次的消長

症例	氏名	年齢	性	血糖 mg/dl				症例	氏名	年齢	性	血糖 ml/dl			
				食前	食後2時間	食後3時間	前					食後2時間	食後3時間		
1	保○	43	♂	前	253	400	342	6	木○	15	♀	前	323	360	234
				1週	136	225	120					1週	156	400	232
				2週	127	227	127					2週	183	211	166
				3週	52	213	164					3週	198	250	234
2	井○	55	♂	前	116	213	173	4週	170	224	194				
				1週	60	127	130	前	146	278	272				
				2週	100	224	163	1週	100	177	120				
				3週	114	156	110	2週	102	167	128				
3	坂○	58	♀	前	114	189	194	3週	88	119	141				
				1週	115	191	165	4週	98	178	135				
				2週	90	170	150	前	111	194	178				
				3週	90	168	160	1週	96	162	134				
4	界○	43	♀	前	200	278	243	2週	91	167	178				
				1週	279	355	338	3週	84	126	125				
				2週	—	—	—	4週	96	147	129				
				3週	168	159	168	前	111	194	178				
5	橋○	68	♂	前	108	207	188	1週	96	162	134				
				1週	—	—	—	2週	91	167	178				
				2週	—	—	—	3週	84	126	125				
				3週	96	185	173	4週	96	147	129				
9	磯○	54	♀	前	108	207	188	前	141	241	219				
				1週	—	—	—	1週	117	150	136				
				2週	—	—	—	2週	124	247	234				
				3週	—	—	—	3週	110	168	181				
4週	96	185	173	4週	125	213	221								

考按並びに総括

現在、糖尿病の代謝異常は糖質代謝異常を中心とし脂質、蛋白、鉍質及び水分代謝異常が明らかにされ異論のないところである。かように複雑かつ広汎に障害されている物質代謝異常の調整に、温泉の生体に及ぼす修復ないし正常化作用を利用し、一次的な糖尿病状態あるいはそれによって惹起された二次的、三次的代謝異常の是正を目的として欧州各国においては、古くから本症の温泉治療が繁用されている。これは1916年⁵⁾ Arnoldiの実験⁴⁾、Minkowski, Aranyi, Ettinger⁶⁾、Kühnau, Stransky, Wiechowsky, Heubner, また¹⁰⁾ 本邦では村橋、島津、そして当科では曾我部(明)、今¹³⁾ 吉、西田¹⁴⁾ また矢野、児玉、永松らの諸報告がある。

糖尿病の温泉治療は、その治療期間の短い人(1週間前後)ほど概して血糖その他に及ぼす好影響が少ないことはすでに報告した。よって今回は、3~12週間の長期にわたる治療を行なった結果、過去のる週間単位の治療期間に比べ、明らかにその過血糖抑制効果が増強された。これはHalhuberの4週間2クールが治療期間として最適であるとのべていることと一致し、興味ある成績であった。また、長期の温泉治療の逐次的な血糖値の変動の観察から、その過血糖抑制効果は第1~2週目より発動するものが大部分であったが、まれには5~6週後より徐々にその効果の発現をみ、3週間程度の治療で有効か否かの判定は危険であることが証明された。

本泉はさきに述べたごとく含重曹食塩泉であるが、Evers¹⁹⁾は重曹泉がインシュリン産生を直接的に刺激すると報告し、矢野²⁾らは食塩泉にも軽度の過血糖抑制作用のあることを認めている。

次に糖尿病患者の過血糖抑制作用機序解明の試みとして血中PyAの検討から温泉治療後、明らかに血中PyAの著増、すなわち正常範囲内への復元傾向をみたことは、糖尿病患者に起りやすいミネラルの不足が温泉の飲用、入浴により是正されglycogenまたはglucoseからPyAまで分解される過程において重要な意味を持つ酵素の賦活因子としてのミネラルの供給が、解糖系の円滑な進行をうながす1因となるのではないかと想像された。事実、対照健康群の食餌性過血糖についての実験でPyAの著変を認めなかったことから理解されよう。

おわりに

糖尿病に対する温泉治療は欧州では盛んであるが、

本邦では未だその認識にとぼしい。本症の代謝障害は極めて複雑であるが、温泉の泉質、飲泉量、入浴その他の条件を吟味することによって充分治療的使用が可能であろう。

文 献

- 1) 矢野良一、永松昭生：
 - (1) 大分県温泉調査研究会報告15：34、1964
 - (2) 大分県温泉調査研究会報告16：10、1965
 - (3) 大分県温泉調査研究会報告17：37、1966
- 2) Arnoldi, W : Berl. Klin. Wschr. 23 : 619, 1916
- 3) Minkowski, O : Dtsch. med. Wschi. 57 : 804, 1931
- 4) Aranyi, G : Gyogyaszat. 21 : 485, 1928
- 5) Arnoldi, W., Ettinger, S : Klin Wschr. 1 : 2082, 1922.
- 6) Kühnau, J : Z. angew. Bäder-u. Klimaheilk. 1 : 25, 1954.
- 7) Stransky, E :
 - (1) Arch. exp. Pathol. Pharmakol. 1 : 172, 2 : 149, 1953
 - (2) Arch. exp. Pathol. Pharmakol. 4 : 176, 5 : 510, 1934.
- 8) Wiechowsky, W : Verh. dtsch. Ges. inn. Med. 36 : 6, 1924.
- 9) Heubner, W : Mineralbestand des Körpers. In : Handb. norm. u. path. Physiol., hrsg. v.A. Bethe Bd. 16, S. 1505. Springer, Berlin, 1931.
- 10) 村橋善高：鹿児島医専学術報告、1 : 7、1956.
- 11) 島津邦造：東北医誌、50 : 589、1954.
- 12) 曾我部明：日温気誌、5 : 60、1939.
- 13) 今吉武雄：医学研究、15 : 5、1941.
- 14) 西田 弘：日温気誌、8 : 379、1943.
- 15) 矢野良一：診断と治療、52 : 50、1964.
- 16) 児玉嘉生：温研報、7 : 1、1955.
- 17) 永松昭生：温研報、15 : 200、1963.
- 18) Halhuber, M, J. : Z. angew. Bäder-u. Klimaheilk. 4, 1 : 30, 1957.
- 19) Evers, A. : Arch. phys. Ther. 2 : 1115, 1955.
- 20) 矢野良一、永松昭生：温研報、18 : 1、1966.

大分県における温泉水中のゲルマニウム およびガリウムの分布 (その2)

九州大学温泉治療学研究所

温泉理学科 川 上 弘 泰
川 村 熙 子

1 緒言

前報に引続き、大分県中部から南部にわたる炭酸泉系統の鉱泉、長湯・赤川・七里田温泉および塚野・六ヶ迫鉱泉に関するゲルマニウム・ガリウム定量結果、ならびにそれに基づく考察を述べる。

2 分析方法

分析方法は従来どおり、ゲルマニウムの定量にはフ

ェニルフルオロンによる比色法を、ガリウムの定量には8-オキシキナルジンによる蛍光法を用いた。

3 結果

長湯・赤川・七里田・塚野・六ヶ迫地区の温泉および鉱泉24個所のゲルマニウム・ガリウム定量結果を表1に示す。

表1 ゲルマニウム、ガリウム含有量

地区	No.	泉名	採水年月日	泉温(°C)	pH	E.R. ($\frac{mg}{l}$)	Ge ($\frac{\mu g}{l}$)	Ge/R.E. ($\times 10^{-4}$ %)	Ga ($\frac{\mu g}{l}$)	Ga/E.R. ($\times 10^{-6}$ %)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	CO ₂ (mg/l)	H ₂ S (mg/l)
長湯	1	御前湯	'66.9.13	41.5	6.65	2481	7.11	2.87	0.43	1.73	159.1	2339	293.0	1406	0.511
	2	丸善旅館	"	43.5	6.70	2718	3.98	1.49	0.15	0.55	194.5	1901	351.8	1143	0.682
	3	上野旅館	"	39.5	6.58	2287	0.43	0.19	0.31	1.36	152.0	797.5	269.9	613.6	0.682
	4	大丸旅館	"	49.0	6.80	2817	2.33	0.83	0.19	0.67	206.9	2264	374.9	871.3	0.682
	5	天満湯	"	40.0	6.70	2354	0.57	0.24	0.05	0.21	146.1	1424	273.6	949.2	0.341
	6	長生	"	41.0	6.70	1754	3.89	2.22	0.51	2.91	166.2	1473	293.4	710.4	0.682
	7	丸豊	"	35.5	6.45	2445	0.64	0.26	0.31	1.27	84.88	1406	111.9	1354	0.784
	8	豊泉荘	"	40.0	6.60	2656	1.00	0.38	0.65	2.45	173.3	1808	411.5	1086	0.511
	9	甲斐泉	"	41.5	6.65	2625	2.30	0.88	0.66	2.51	168.0	1968	388.9	1183	0.682
	10	葛洲温泉	"	43.0	6.70	2964	2.19	0.74	0.09	0.30	196.0	2800	387.2	1346	0.682
	11	愛泉館①	"	34.5	6.58	2557	1.92	0.75	0.20	0.78	160.9	2192	313.1	1690	0.750
	12	"②	"	37.0	6.60	2526	1.17	0.46	0.06	0.24	176.8	2472	325.1	1486	0.511
	13	松山茂	"	39.0	6.62	2413	1.98	0.82	0.11	0.46	155.6	2099	297.5	1261	0.682
	14	大塚茂	"	35.5	6.25	1684	2.05	1.22	0.09	0.53	95.49	1352	199.6	2050	0.511
	15	緒方町「憩の家」	"	44.5	6.70	3351	1.73	0.52	0.11	0.33	215.7	2542	456.8	1222	0.579
	16	大塚千久止	"	42.0	6.70	3035	2.58	0.85	0.21	0.69	194.5	2100	422.2	1010	1.193
	17	直入町宮	"	39.0	6.58	2664	1.43	0.54	0.27	1.01	175.0	1847	359.2	1421	0.341
(B)	18	赤川温泉	'66.9.14	26.5	5.60	1870	1.73	0.93	0.33	1.76	8.842	2149	1059	1292	53.95
(C)	19	七里田温泉	'66.9.14	38.0	6.30	2890	0.00	0.00	0.15	0.52	295.3	1376	539.9	1654	0.682
(D)	20	塚野鉱泉	'66.9.30	15.0	6.15	7559	9.03	1.19	0.19	0.25	3259	2901	5.761	2321	0.341
六ヶ迫	21	遠藤晴海	'66.9.30	17.0	6.40	5553	30.30	5.46	0.06	0.11	2095	2014	6.173	1937	0.341
	22	齊藤寅生	"	17.0	6.15	1771	9.85	5.56	0.14	0.79	618.9	1326	38.68	2551	0.511
	23	俵屋旅館	"	16.0	6.12	3581	13.70	3.83	0.05	0.14	1160	1113	228.4	2142	0.341
	24	遠藤分次郎	"	16.0	6.10	2838	12.40	4.37	0.11	0.39	1186	897.6	2.880	1727	0.341

ゲルマニウム含有量最高値は試料 №.21の 30.30 $\mu\text{g}/\text{l}$ で、この値は別府温泉において4・5・6位を占める海・竜巻・血の池地獄のそれらにも匹敵する。2位：№23—13.70 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、3位：№24—12.40 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、4位：№22—9.85 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、と上4位はすべて含炭酸硼酸重曹食塩泉である六ヶ迫鉱泉に占有されている。5位はこれまた泉温、泉質ともに六ヶ迫鉱泉に酷似する塚野鉱泉で、その値9.03 $\mu\text{g}/\text{l}$ 。7位、長湯御前湯7.11 $\mu\text{g}/\text{l}$ 。他17泉はいずれも4 $\mu\text{g}/\text{l}$ 未満、全24泉の平均値は4.76 $\mu\text{g}/\text{l}$ 。

ガリウム含有量は0.66 $\mu\text{g}/\text{l}$ を最高に、以下0.65 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、0.51 $\mu\text{g}/\text{l}$ ……。また、ゲルマニウムほどの地域性もみられない。全平均0.23 $\mu\text{g}/\text{l}$ で、ゲルマニウムの約 $\frac{1}{20}$ 。

4 考察

4.1 ゲルマニウム・ガリウムの地域的分布

地区別平均ゲルマニウム・ガリウム含量を表2に示す。

表2 地区別平均Ge、Ga含量

地 区	泉数	Ge		Ga	
		Ge ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Ge/E.R. ($\times 10^{-4}\%$)	Ga ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Ga/E.R. ($\times 10^{-5}\%$)
長 湯	17	2.19	0.90	0.26	1.06
赤川温泉	1	1.73	0.93	0.33	1.76
七里田温泉	1	0.00	0.00	0.15	0.52
塚野鉱泉	1	9.03	1.19	0.19	0.25
六ヶ迫	4	16.56	4.81	0.09	0.36
全平均	24	4.76	1.52	0.23	0.92

ゲルマニウムは六ヶ迫が最高、塚野鉱泉がこれに次ぐ。ガリウムは各地区ともに低値だが、赤川・長湯・塚野・七里田・六ヶ迫の順。

4.2 ゲルマニウム・ガリウム含量のヒン度分布

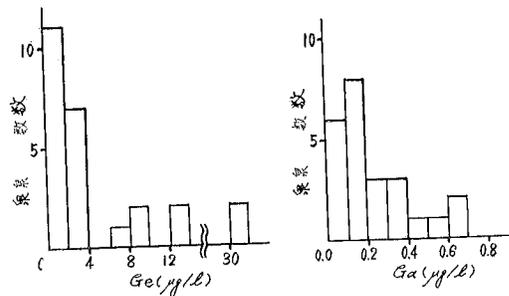
図1はゲルマニウム・ガリウム含量の度数分布図である。

ゲルマニウムはL字型分布を呈している。累積相対度数0.75の点は、ゲルマニウムにおいて4.00 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、ガリウムにおいてはその約 $\frac{1}{10}$ 単位の0.30 $\mu\text{g}/\text{l}$ である。

4.3 他成分との関係

試料数の多い長湯温泉についてゲ

図1 Ge、Ga含量のヒストグラム



ルマニウム、ガリウムと他の主成分 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} との関係を検討してみた。

長湯温泉分布図を図2に示す。山下は主陰イオン Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} と泉温との関係を解析した結果、長湯温泉群は単一源泉に由来し、源泉と地下水との混合よりなる中央部に密集せる一群、他水系との混合はなく源泉からの流出過程における泉温降下のみが行なわれていると考えられる北東側一群、およびそれと複雑な絡みあいをみせて南西部にらばる一群、以上三群を推論している。

著者らも参考までに山下の分類に基づき、 Cl^- — HCO_3^- 、 Cl^- — SO_4^{2-} 、 HCO_3^- — SO_4^{2-} 関係を図示してみた(図3A・B・C)。もちろん、温泉口自体十数年前とはかなり変動している。ここに掲載した図は中央部●、南西部×でプロットしてある。 Cl^- — SO_4^{2-} に2群を通じての正の相関が認められるが、他は明らかな相関はみられない。

以上より類推しても、Ge・Gaと Cl^- ・ HCO_3^- ・ SO_4^{2-} とを関連づけることは困難と思われたが、実証のためこれら関係図を作成してみた(図4A・B・C、図5A・B・C)。やはり何ら記すべき関係はみられな

図2 長湯温泉分布図

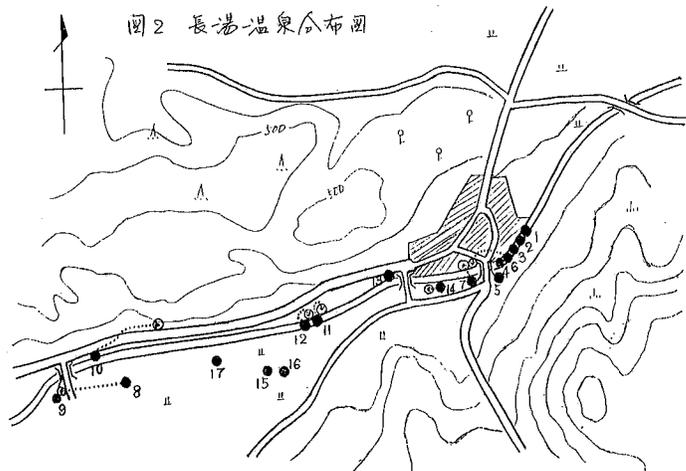


図3 長湯温泉における主陰イオン関係

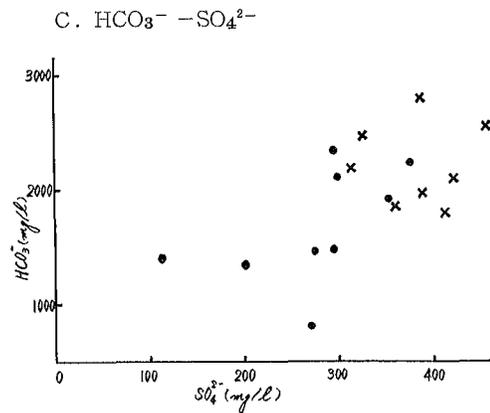
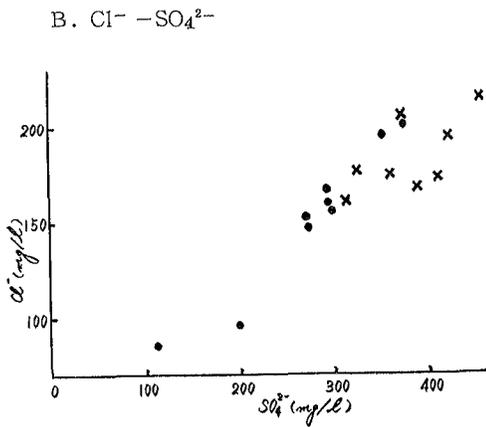
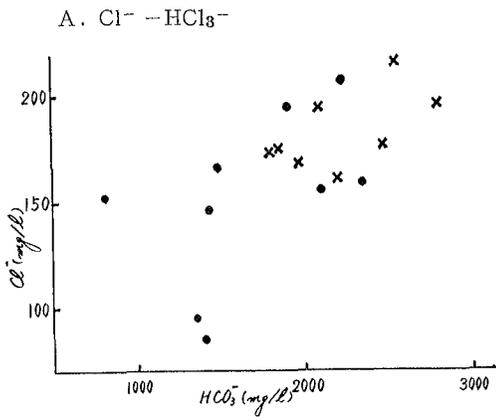


図4 Geと他成分との関係(長湯温泉)

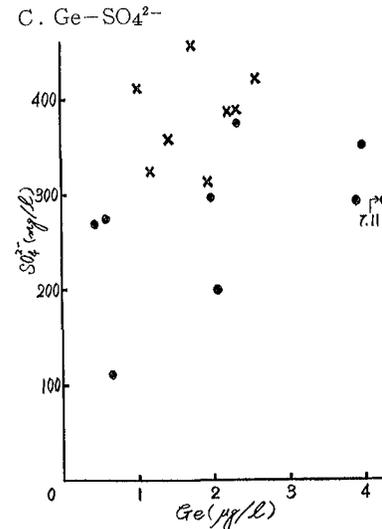
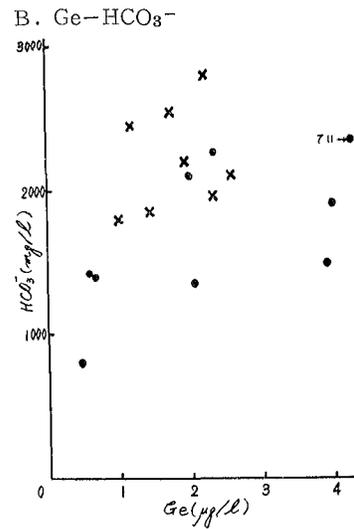
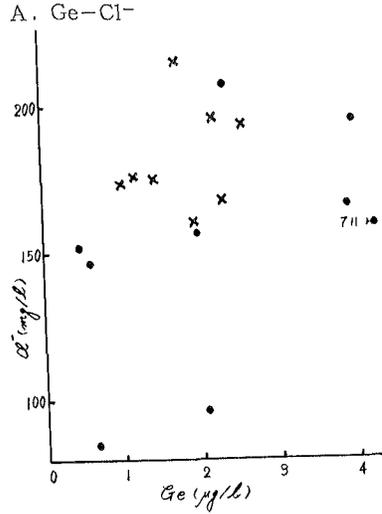
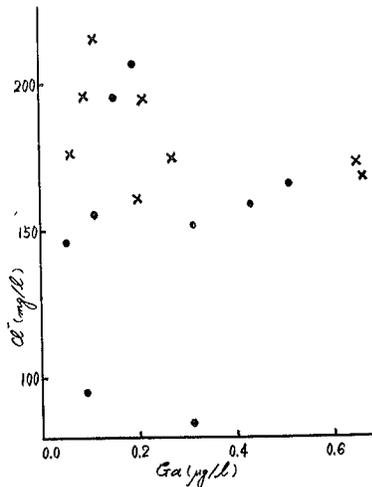
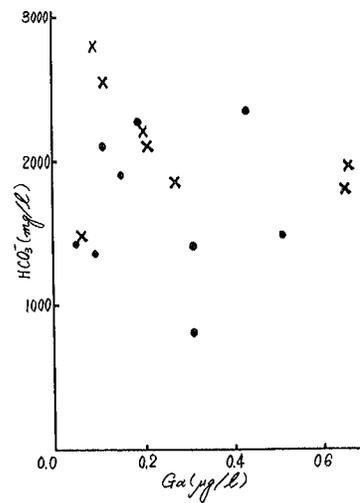


図5 Gaと他成分との関係（長湯温泉）

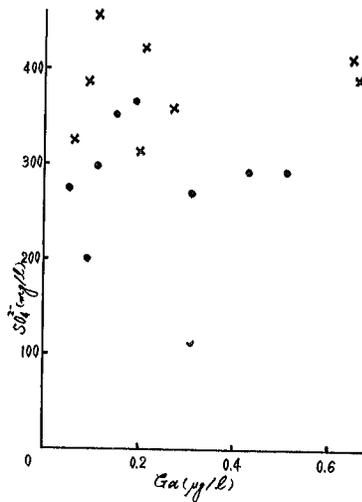
A. Ga-Cl⁻



B. Ga-HCO₃⁻



C. Ge-SO₄²⁻



い。

今回は分析試料僅少のため、分析結果の羅列に終始し、信頼しうる考察を加えることができない。次報において、前報・本報をも含めて大分県全域におけるゲルマニウム・ガリウム分布を総括検討する所存である。

5 結論

長湯・赤川・七里田温泉および塚野・六ヶ迫鉱泉、計24個所のゲルマニウム・ガリウム定量の結果、つぎの結論を得た。

1. ゲルマニウム含量は最高30.30µg/l、平均4.76µg/lで、六ヶ迫鉱泉が全体的に高い。ガリウム含量は最高0.66µg/l、平均0.23µg/l。
2. 度数分布図における75%値はゲルマニウム4.00µg/l、ガリウム0.30µg/l。
3. 他の主成分、Cl⁻、HCO₃⁻、SO₄²⁻ 相互関係も山下の2水系を辿りうるほど明瞭ではない。

終りに当研究費の一部を負担された大分県温泉調査研究会ならびに現地調査に御協力下さった直入町役場役員、長湯愛泉館、赤川温泉に厚く感謝する。

文 献

- (1) 川上、橋永：大分県温泉調査研究会報告 17、44 (1966)
- (2) 川上、橋永：大分県温泉調査研究会報告 15、38 (1964)
- (3) 山下：大分県温泉調査研究会報告 3、12 (1952)
- (4) 伊藤、坂上、川上、他：温研紀要、特別号X (1966)

チロジナーゼ活性に及ぼす温泉作用の研究

第5報 明礬地区温泉の作用機点及び 亜鉛と硫化水素の影響

九州大学温泉治療学研究所

温泉理学科 野 崎 秀 俊

諸言

酵素作用の活性の状況を指標として生体に対する温泉作用を検討した。別府温泉については、すでに第3報で温泉水の酵素活性に対する影響を調査し、弓ヶ浜、京町温泉近辺の温泉群と、明礬地区の温泉に、この酵素活性を高めるものがある事を報告した。前者については、第4報に於いて詳しく報告したが、今回は後者について研究報告する。

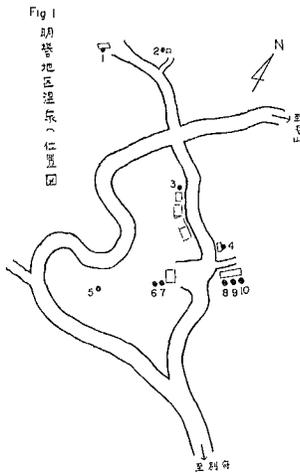


Fig. 1 明礬地区温泉の位置図

実験方法

a) 反応生成物の測定

バルビタール酢酸ソーダ緩衝液 1 ml

¹⁴C チロジン溶液 0.5 ml

試料 0.5 ml

以上にチロジナーゼ水溶液0.5 mlを加え、37.5°Cの恒温槽中で30分間反応させ、後、5 μのミリポアフィルターで濾過、端窓GM測定器で測定。

※バルビタール酢酸ソーダ緩衝液

14.7 gのバルビタールソーダと 9.7 gの酢酸ソーダを蒸留水500 mlに溶解、この液 5 mlに 1/10 N塩酸6.5 ml

0.85%食塩水2 ml、蒸留水11.5 mlを加える。(pH6.7)

※¹⁴Cチロジン溶液

L-チロジン¹⁴C(u)をLチロジン飽和水溶液に溶解。使用時の放射能は0.5 mlあたり10256.4cpmであった。

※チロジナーゼ水溶液

500 unit/mg のものを用時 1 mg/ml となる様に調整。

※GM測定器

日本無線 β線用 端窓形 マイカ厚1.7 mg/cm²のGM管を使用、試料との距離12 mm。

尚、硫化水素による実験については、バルビタール酢酸緩衝液中に、硫化水素を吹き込み、ヨード滴定法で定量し、適当に緩衝液で希釈し、各硫化水素の濃度のものを作った。

b) スルファニール酸トラップ法

バルビタール酢酸ソーダ緩衝液 1 ml

チロジン飽和水溶液 0.5 ml

試料 0.5 ml

スルファニール酸水溶液 1 ml

以上に前項と同様のチロジナーゼ水溶液 0.5 mlを加え、直後より5分間毎に自記分光光度計(日立E P S

Tab. 1 明礬地区温泉の亜鉛、銅及び硫化水素量

No.	泉名	蒸発残渣	pH	亜鉛	銅	硫化水素
		mg/l		mcg/l	mcg/l	mg/l
1	地ぞう泉	420	7.26	24.3	6.2	25.0
2	露天風呂	948	1.95	30.2	7.6	4.61
3	平野屋上源泉 (岡本屋)	664	2.17	27.4	10.4	5.04
4	鶴寿泉	592	2.20	32.4	7.5	1.55
5	硫黄源泉 (えびす屋)		2.62	10.7	6.8	15.6
6	えびす屋硫黄泉	520	2.70	10.3	6.8	3.41
7	えびす屋炭酸泉	224	7.90	5.3	4.2	1.52
8	岡本屋硫黄泉	421	2.62	6.0	6.4	1.26
9	岡本屋薄明ばん泉	462	2.52	25.6	7.0	1.21
10	岡本屋明ばん泉	596	2.30	26.3	9.6	1.31

一2)で340m μ から600m μ までの吸収を測定した。

※スルファニール酸水溶液

950mlのスルファニール酸を少量の $\frac{1}{10}$ N水酸化ナトリウム溶液に溶解、水で薄め、更に $\frac{1}{10}$ N水酸化ナトリウム溶液で、注意しながらpHを6.7に調整し、水を加えて100mlとする。本溶液は冷所に貯蔵する。

c) 温泉水についての分析

亜鉛についてはジチゾン法、銅についてはバソクプロイン法、硫化水素についてはヨード滴定法を用いた。

実験成績及び考察

新鮮泉を附加して実験結果は表2に示す様に活性抑制的なものと、活性促進的なものと双方存在する。これは別府温泉で活性促進的であった弓ヶ浜地区の温泉群の様に近くにある一群が程度の差はあれ同様な傾向を示したのと異り、この様に近くに存在する一群が全く個々様々な傾向を示すことは興味あることである。

今回も前報と同様に、ドーパーキノンと結合するスルファニール酸を加え、その生ずる褐色生成物量を吸光度の変化より求め、メラニン反応系のどの点に働くかを推定した。蒸溜水を基として考えれば、この反応系前半に賦活的に働くと考えられるものは、露天、平野屋上源泉(岡本屋)、鶴寿で、その賦活力は前4報の弓ヶ浜、京町温泉に比し弱い。又岡本屋の3泉及びえびす屋硫黄泉は殆ど蒸溜水を使用した対照と同様である。反対に前半抑制的なものは、地ぞう泉及び硫黄泉源泉(えびす屋)でZn及びCoに於ける場合よりも抑制能は強い。えびす屋炭酸泉は蒸溜水対照に比し、抑制的であるが、その力は弱く又、Zn、Co 附加の際の実験よりは高い値を示す。

強く抑制的であった地ぞう泉、硫黄泉源泉(えびす屋)は、表1の如く硫化水素量が共に多く、これらは硫化水素に原因するであろうということが先づ考えら

れる。最終的な生成産物である放射性生成物量についても、同じ様に対照に比し抑制的で、硫化水素がこの反応系の前半に強く抑制的に働き、結局この系の反応を全般的に阻止したと考えると良いであろう。次にえび

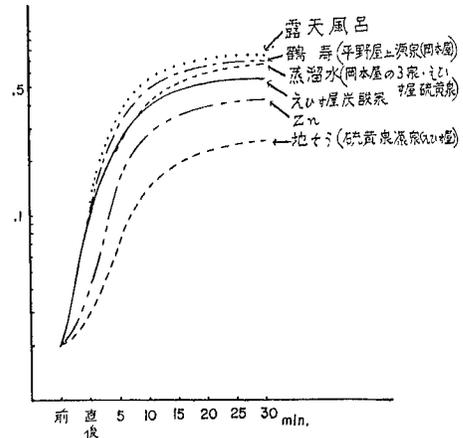


Fig. 2 フルフェニール酸トラップの際の吸光度の変化

Tab. 2 明ばん地区温泉添加による放射性反応生成物量

No.	泉名	反応時緩衝pH	反応生成物量 cpm
1	地ぞう泉	6.4	107.3
2	露天風呂	5.8	917.4
3	平野屋上源泉(岡本屋)	6.3	727.3
4	鶴寿泉	6.2	540.5
5	硫黄泉源泉(えびす屋)	6.8	132.3
6	えびす屋硫黄泉	6.8	456.4
7	えびす屋炭酸泉	7.0	114.5
8	岡本屋硫黄泉	6.8	317.2
9	岡本屋薄明ばん泉	6.7	427.4
10	岡本屋明ばん泉	6.8	516.5

※対照 150.3cpm

Tab. 3 スルファニール酸トラップの際の吸光度 (460m μ)

	地ぞう泉	露天風呂	平野屋上源泉(岡本屋)	鶴寿泉	硫黄泉源泉(えびす)	えびす屋硫黄泉	えびす屋炭酸泉	岡本屋硫黄泉	岡本屋薄明ばん泉	岡本屋明ばん泉	Zn mg/ml	Co mg/ml	蒸溜水
前	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
直後	0.03	0.11	0.11	0.11	0.03	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.04	0.05	0.12
5min	0.08	0.35	0.30	0.32	0.08	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.16	0.25	0.24
10	0.15	0.45	0.49	0.51	0.16	0.44	0.40	0.44	0.41	0.41	0.28	0.37	0.40
15	0.19	0.65	0.60	0.62	0.20	0.54	0.47	0.55	0.52	0.53	0.36	0.42	0.52
20	0.23	0.71	0.65	0.68	0.24	0.59	0.50	0.60	0.58	0.58	0.40	0.45	0.60
25	0.25	0.73	0.69	0.71	0.27	0.61	0.52	0.62	0.61	0.61	0.42	0.46	0.64
30	0.26	0.75	0.70	0.72	0.29	0.63	0.54	0.64	0.62	0.62	0.44	0.48	0.67

す屋炭酸泉は、この実験においては対照よりも抑制的でありそれは弱い、同様に最終生成物も負の結果が出ている。硫化水素はさほど多くないが、前半が抑制され、後半の促進剤である微量元素も少くやはり反応系全体として阻止されるものと考えられる。岡本屋のる泉、及びえびす屋硫黄泉は対照と殆ど同じであるが、最終生成物は対照に比し促進的である。Zn、Co は共にこのスルファニール酸トラップの実験では抑制的でありながら最終生成物量は非常に多い。前報では、これはこの反応系の後半に働く為と結論づけたが、この岡本屋のる泉及びえびす屋硫黄泉も弱いながら、この様な微量元素の反応系後半の促進性によるものであろう。本実験促進的であった露天風呂、平野屋源泉（岡本屋）、鶴寿は共に最終生成物も対照に比し促進的である。これらがこの反応系前半に働くことは判明したが、それが何に起因するかということを確認するのは困難である。唯、露天風呂、平野屋上源泉（岡本屋）共コロイド硫黄の折出が顕著である。それらが主たる原因であるとするならば、同様にコロイド硫黄の多い地ぞう、硫黄泉源泉（えびす屋）が反対の結果をもたらしていることについては相反することとなる。しかしこの後者2泉については、硫化水素が特に多く、その為の抑制と考えれば問題はないであろう。鶴寿についてはコロイド硫黄の折出があまり見られない。これについては別の原因があるのかも知れない。平野屋上源泉と岡本屋まげん泉は殆ど同じものであるとのことであるが、実験結果は異った値を生じた。途中の輸送により減ずるもの、主としてガス状の硫化水素或は析出直後の粒子の小さいコロイド状硫黄であるとすれば、前述の如き理由であっても説明が成り立つであろう。

第3報において明礬地区温泉の活性上昇、或は抑制作用双方の存在について、その原因として酸性泉である為に活性賦活作用を有する微量元素を可成り多量に含んで居る可能性があり、それによる活性増強、又H₂S等硫黄還元物質によるそれらの働きの抑制、この

Tab. 4 放射性生成物量に及ぼす硫化水素の影響 (その1)

H ₂ S	放射性生成物量
mcg/ml	C.P.m
607	63.7
456	64.4
304	123.9
228	154.8
0	3563

※ Zn 200mcg/ml

※ 対照(蒸溜水) 157.3cpm

両者の兼ね合いであろうと報告した。

そこで今度は、微量元素中最も活性増強力の強いZnと、それに対する硫化水素抑制の度合を知る為に、人工的に色々な濃度の溶液を作り、実験を行った。先づ第4表の如く Zn で活性を増強させ、それに硫化水素を加え放射性生成物量を求めた。この程度の濃度においては、明らかに亜鉛による活性増強を完全に近い程度抑制する。抑制の度合が急激であるので次に薄い濃度に於いて実験を行った。

結果は第5表 第3図に見られる通りで、硫化水素

Tab. 5 放射性生成物量に及ぼす硫化水素の影響 (その2)

H ₂ S	放射性生成物量	Zn/H ₂ S 含量比	Zn/H ₂ S 当量比
mcg/ml	cpm		
8.6	549.0	1.46	0.76
6.45	746.2	1.94	1.01
4.3	913.2	2.90	1.52
3.57	1146	3.57	1.83
2.87	1263	4.36	2.27
2.15	1283	5.82	3.03
0	683.8		

※ Zn 12.5mcg/ml

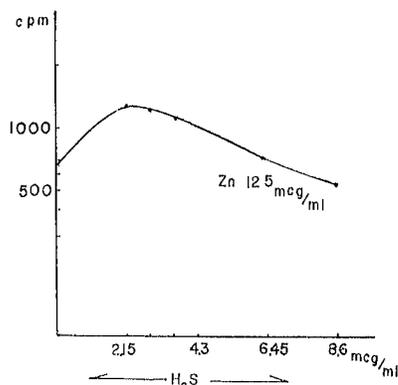


Fig. 3 放射性生成物量に及ぼす硫化水素の影響

の濃い領域、或は常識的に考えた予想と全く異なり、硫化水素を含まない場合よりも少量の硫化水素を加えた場合高い値を示すことが判った。この実験の場合 (Zn12.5mcg/mlの条件で) 硫化水素、2.15mcg/mlの条件で) を含む時には硫化水素を全く含まない時に比し、約2倍近い活性増強である。硫化水素は抑制的に働くという常識、又は濃い濃度では知られなかった結果が出て来たのである。更に次に、硫化水素量を一定にしてZn添加量を交えて実験を行った。表6 図4に見られる様に、硫化水素の存在下では、Zn濃度が

Tab. 6 放射性生成物量に及ぼす亜鉛の影響

Zn mcg/ml	放射性生成 物量 cpm	Zn/H ₂ S 含量比	Zn/H ₂ S 当量比
200	6154	23.26	12.12
100	8163	11.63	6.06
75	8194	8.72	4.55
50	8332	5.82	3.03
37.5	5864	4.36	2.27
31.5	4866	3.67	1.91
25	3670	2.91	1.52
12.5	549.0	1.46	0.76
0	76.8		

※ H₂S 8.6mcg/ml

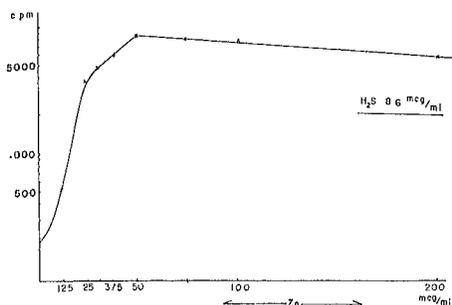


Fig. 4 放射性生成物量に及ぼす亜鉛の影響

上るに従って、高い値が出るという前報迄の結果に反し、Zn量が硫化水素8.6mcg/mlの条件下では、58 mcg/mlの添加を最高とし、以後Zn添加量が増い従い生成量が下って来る。前第5表、第3図の実験、又この実験の解釈について困り、最初は実験のミスかと疑ったが、たまたま、Zn/H₂Sの含有比を取るに及び両実験の最高値を示したものが一定値を示した。又当量比で表すに従ってこの事は更に明らかになり、当量比、3を示した。次にZn添加量を各々変え、硫化水

Tab. 7 放射性生成物量に及ぼす硫化水素と亜鉛の影響

H ₂ S mcg/ml	Zn添加 25mcg/ml	Zn添加 31.5mcg/ml	Zn添加 37.5mcg/ml	Zn添加 50mcg/ml	Zn添加 100mcg/ml
	cpm	cpm	cpm	cpm	cpm
8.6	3670	4866	5864	※8332	8163
6.45	4824	※※6120	※7592	7560	6812
4.3	※5922	※※※6056	5816	5722	5524
3.57	5840	5620	5652	5413	5190
2.87	5720	5221	5210	5220	4786
2.15	5606	5016	4721	4712	4412
0	2673	3107	3210	3490	3533

※ Zn/H₂S 当量比 3.03
 ※※ // 2.55
 ※※※ // 3.82

素濃度も変化させ、第7表第5図に見られる結果を得た双方に見られる如く、Zn添加量の増加に従い生成物量最高値を示す硫化水素含有量は、段々と高濃度になって来る。本実験で行った硫化水素2~8.6mcg/mlの範囲では、Zn量が当量比で3倍あれば、活性は特に高くなる事が判明した。これについてどのような結合のものがこの反応を促進するのかは不明であるが、亜鉛の硫化物、しかも私達が普通考えて居る様なZnSの様な形のものでなく、Zn量が硫化水素の3倍量の時に鉛塩の如きものが出来、それが活性増強に働くものと考えられる。

ともあれ、Znが硫化水素量の3倍近く有る時酵素活性が最も高くなる事は事実で、この事はZn豊富な温泉においては、勿論Znも共に体内に侵入すると思われるが、割に温泉に広く分布し、しかも体内侵入容易と考えられる硫化水素が、SH⁻の如き形をとりながらZnの多い臓器に達し、酵素活性を高め得るであろうことを物語るものと思う。

まとめ

- (1) 明礬地区温泉の本酵素に対する作用機点は、最終生成物抑制的な温泉水にあってはこの酵素系前半ですすでに抑制的で、硫化水素が大なる原因であらう。最終生成物促進的な温泉水に

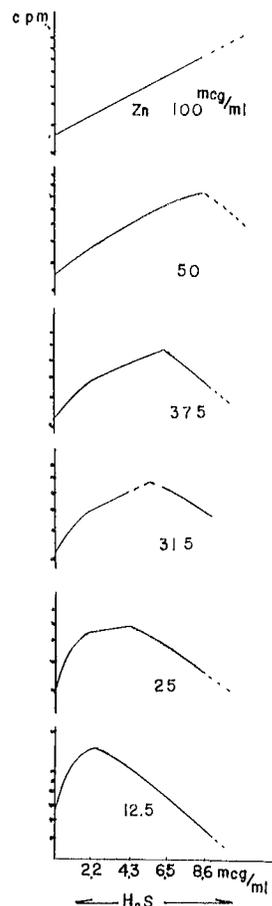


Fig. 5 放射性生成物量に及ぼす硫化水素及び亜鉛の影響

あつては、本酵素系前半促進的で、コロイド硫黄に起因すると思われる。勿論系後半に促進的に働く Zn、Co 等の微量元素の含有も考えられるので、促進的な泉水では、系後半に対するこれら微量元素。促進も併せ有るものと考えられる。系前半におい著てしく阻害されたものについては、後半における微量元素の促進性は期待されない。

- (2) Znと硫化水素の酵素系に及ぼす影響の実験で、硫化水素が多量の場合、あくまで抑制的であるが、微量では促進的に働く、特にZn/H₂O当量比の点が最も促進的で Zn 単独の場合よりもその力は大である。
- (3) この事は温泉治療学上、温泉中に広く分布する硫

化水素が体内に入り、Zn含有臓器等に達し、それらの酵素系に促進的働く事を意味するものと思われる。

終りにあたり、研究費の一部を負担された大分県温泉調査研究会に感謝いたします。

主 要 文 献

- (1) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 14、15 (1963)
- (2) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 15、51 (1964)
- (3) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 16、21 (1965)
- (4) 次谷次夫：化学の領域増刊 67、256(1965)
- (5) 野崎秀俊：大分県温泉調査報告 17、51 (1966)

湯布院温泉現況調査

佐藤光一
 矢野行雄
 羽田野宗人
 片岡武雄

1 まえがき

由布院及び湯平温泉の調査は京都大学において昭和11年に瀬野博士、昭和25年に本会で同大学山下博士により調査が行なわれている。昭和34年国民保養温泉地に指定され、ついで九州横断道路が開通して以来特に由布院地区一帯で観光施設等を含め急速に温泉需要が増大し、温泉の新掘改掘等が非常に多くなってきた。そのため以前からの温泉ゆう出状態等に変化がみられたりするところもしばしばあり、また前回調査から相当期間もたっているので、今回全体の現況を把握し将来の秩序確立の資とするため調査を行った。

調査は昭和42年1月下旬から4月上旬の間に行い、温泉所在地、温泉所有者等を確認し、ゆう出状況については、温度、ゆう出量、動力装置および利用形態等

を調べ、なお字図により温泉分布図を作成した。

2 湯布院温泉

由布院盆地一帯の温泉のほか奥江、山下湖畔の温泉ならびに硫黄山の中腹にある塚原温泉を対象とした。

I 概況

調査は県温泉台帳を主体に447孔について行ったがそのうち活動孔309孔、閉止孔57孔、残りの78孔は現孔不明で確認することが出来なかった。

昭和25年の調査と比較すると活動孔は108孔増加しているが、自然ゆう出泉は66孔あったものが、37孔に減少した。また最高泉温は98°Cで同じであったが、平均温度は58.76°Cで若干高くなっている。一日の総ゆう出量は前1回の調査時より200m³減少を示した。

第1表 湯布院温泉概況

年次	総孔数	活動孔数	最高泉温	平均泉温	最高ゆう出量	平均ゆう出量	最高深度	一日総ゆう出量
			°C	°C	L/M	L/M	m	m ³
昭和25年	297	201	98.0	54.92	1200	45.93	150	1.32×10 ⁴ (72,600石)
昭和42年	447	309	98.0	58.76	574	29.86	635	1.30×10 ⁴ (71,700石)

(註・平均ゆう出量の数字は自噴温泉のみのもの、動力揚湯の推定平均ゆう出量は26.13)

その概況は第1表の如くである。

(イ) 泉温について

泉温は第2表のように分類され、地域的には、石松、田中市に沸騰泉がみられ、八山も高温を保っている。

泉温41~70°Cのものが221孔で活動孔全体の72%を占めている。また泉温と孔数をグラフで示せば第1図のとおりである。

(ロ) ゆう出量について

最高ゆう出量を示したのは岳本の自然ゆう出泉で574L/M、平均ゆう出量は29.86L/Mであった。ゆう出量を10L/Mごとに分類すると第3表及び第2図のごとくなる。

(ハ) 深度について

掘さく井の深度は、大部分掘さく等の工事の確認に

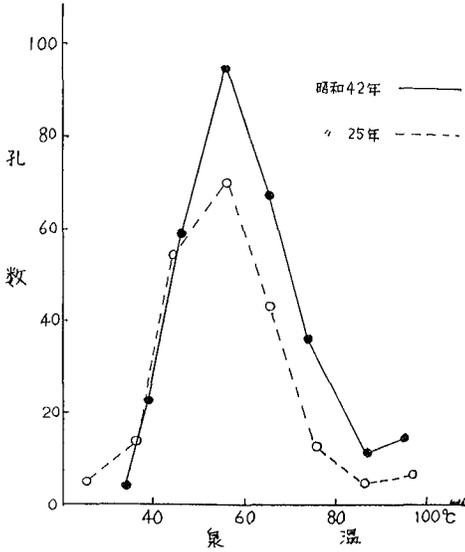
第2表 泉温分類

泉温	孔数	
	25年	42年
°C		
<30	4	4
<40	13	22
<50	54	59
<60	70	95
<70	42	67
<80	11	36
<90	4	11
<100	5	14
合計孔数	203	308
平均泉温	54.92	58.76

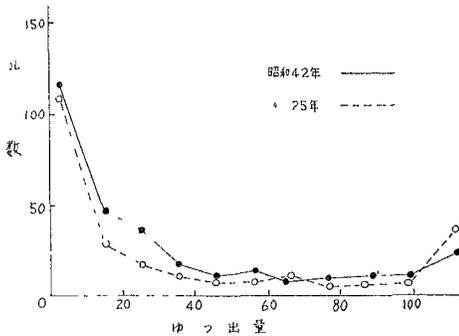
第3表 ゆう出量(自噴)

泉温	孔数	
	25年	42年
L/M		
<10	110	117
<20	27	46
<30	13	38
<40	10	18
<50	9	8
<60	5	11
<70	3	2
<80	1	6
<90	1	3
<100	0	3
>100	16	12
合計孔数	195	264
平均ゆう出量	45.93	29.86

第1図 泉温と孔数



第2図 ゆう出量と孔数



基く温泉台帳記録により、一部は所有者などの聞き取りによった。深度と孔数との関係を深度50mごとの分類は第4表及び第3図に示した。

(一) 動力装置について

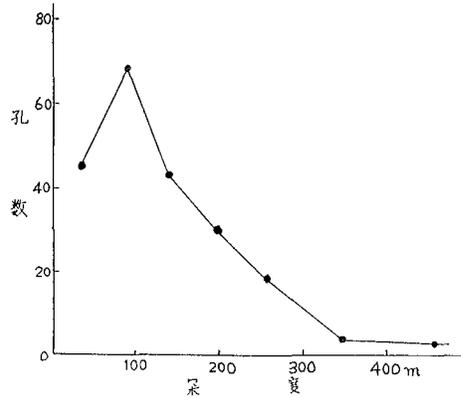
動力装置により揚湯しているもの39孔で乙丸地区に数在し活動孔の約13%にあたる。エアリフトポンプが32基でその他は渦巻式ポンプであった。

II 温泉利用状況

第6表 湯平温泉概況

種別	年次		動力装置数	最高泉温	平均泉温	平均ゆう出量	一日総ゆう出量
	総孔数	活動孔数					
昭和11年				86.7 °C	66.5 °C	15.7 L/M	295m ³ (1630石)
昭和25年	26	15	2	80.0	62.7	14.6	274m ³ (1510石)
昭和33年		16	5	87.2	62.2		288m ³ (1595石)
昭和42年	21	18	6	88.0	57.7	14.8	297m ³ (1650石)

第3図 深度と孔数



温泉の利用を旅館保養所、病院診療所、公衆浴場、給湯、個人(自家浴用)に分類すると、第5表のような結果となった。温泉法でいうところの公共用として供されている温泉は2891L/Mで、総ゆう出量の32.5%にあたり、個人利用の比率がわりに大きい。

第4表 深度統計

深 度	孔 数
< 50	45
< 100	67
< 150	43
< 200	30
< 300	19
< 400	3
< 500	2
> 500	1

第5表 温泉利用状況

	温泉所有軒数	所有活動孔	ゆう出量	ゆう出量率
			L/M	%
旅 館	32	41	1,532	17.2
保 養 所	9	10	284	3.2
病院診療所	3	4	329	3.7
公衆浴場	17	23	746	8.4
引 湯	1	4	611	6.7
個人所有		196	4,820	54.1
そ の 他		34	620	6.7
計		310	8,942	100

3 湯平温泉

I 概 況

湯平温泉は4月上旬に調査を行った。その概況は第6表のとおりである。

温泉は川岸から自然ゆう出するものをポンプ揚湯または下流に自然流下させ使用している、山腹に横穴を掘って温泉水を集めたものもあるが従来から殆んど全部自然ゆう出泉の利用である。今回の調査結果と昭和11年、25年および33年に行なわれた調査の結果を比較すると、平均温泉は前回のいずれの調査時よりも降下している。平均ゆう出量および総ゆう出量には大きな差はみられなかった。

利用状況についてはすべて公共浴用（旅館、公衆浴場）として使用され、個人用（自家用）は全くない。

4 むすび

湯布院温泉

- (1) 昭和25年以來17年間に活動孔が掘さくにより108孔増加し、自然ゆう出泉は66孔あったものが37孔に半減した。
- (2) 活動孔は5割近くも増加したにもかかわらず、総ゆう出量は200 m^3 減っている。調査の季節の差などからみて、減少とはみられないと思うが総体量の増加も現況からでは今後期待されないものと考ええる。
- (3) 動力揚湯は39孔に増加している。山下池や宮の

原のような水位の低い新開発地の動力揚湯もあるが、数年前から従来の自噴地帯にポンプを設ける傾向があらわれたことは平均ゆう出量の減少とあわせて温泉水圧の低下を示すもので、このままの状況で開発が行われると今後動力装置はますます増えるものと予想される。

湯平温泉

- (1) 湯平温泉は自然ゆう出泉で平均泉温が前回より4.5°C降下したが、ゆう出量は過去30年間ほとんど変動していない。終りにあたり本調査の資料を提供された京都大学並びに調査に協力をいただいた湯布院町山本住民課長および大分保健所星野係長、安部主事に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 山下幸三郎、大分県由布院温泉について：
大分県温泉調査研究会報告、2号 昭和26年
- (2) 瀬野錦蔵、大分県湯平温泉について：
地球物理4巻4号、昭和15年
- (3) 湯原浩三、湯の平温泉調査報告：
大分県温泉調査研究会報告、第10号、昭和34年