

# 大分県温泉調査研究会

## 報告 第23号

昭和47年3月

---

### 目 次

別府温泉の地下構造 (1) .....	吉 川 恭 三.....	(1)
別府温泉南部域の炭酸成分 .....	吉 川 恭 三.....	(11)
	由 佐 悠 紀	
九重火山地域における温泉の水系 .....	山 下 幸 三 郎.....	(20)
由布院温泉の静止水頭分布 .....	川 村 政 和.....	(30)
	山 下 幸 三 郎	
宝泉寺及び生竜温泉における揚水試験 .....	川 村 政 和.....	(33)
別府地方の地質図と岩石について .....	森 山 善 蔵.....	(43)
くじゅう火山の温泉群 (7) .....	志 賀 史 光.....	(50)
	川 野 田 実 夫	
湯平における温泉権の実態 .....	大 野 保 治.....	(56)
的ヶ浜温泉の糖尿病に及ぼす影響 .....	矢 野 良 一.....	(64)
	局 敏 郎	
	内 倉 洋 三	
原爆被爆者の温泉療法 (第3報) .....	八 田 秋.....	(67)
	辻 秀 男	
別府血の池地獄について .....	古 賀 昭 人.....	(72)

# 別府温泉の地下構造 (1)

京都大学理学部 吉 川 恭 三

## 1 従来の資料

別府温泉について、この50年来、じつに多くの論文、報告が発表された。これだけ長年間継続して調査、研究の対象となった温泉地は例がないと思われる。それにもかかわらず、別府温泉の実状を他に紹介しようとする時、その全容を図示、記述したもののあながい少ないことに気づく。初期に行なわれた地質構造に関する論文や、その後の温泉総調査の結果などの数種にすぎない。そのうち、別府市街地の温泉については、多くの井戸を利用した測定値の分布がしばしば発表され、研究者のみならず広く一般の利用に便宜を与えてきた。しかし、これらは旧別府でも比較的海岸よりの地域に限られ現在の別府温泉全域にくらべて1割にもみだぬ面積である。他の地域でもそれぞれ独立した調査がくり返されているが、その発表が各地区ごと、または各測定対象ごとに孤立して行なわれた感があり、別府温泉の現地に不案内な読者にはそれらを連続させ综合利用することがむづかしいのではないかとと思われる。昨年、別府保健所から源泉諸要素の分布図をふくむ別府温泉の現況が発表されたのは、この欠点を補なうものとして注目される。

このように全域にわたる総括的な記述の少なかった原因の第一は、従来の調査が研究者の学問的興味を主眼として進められてきたことで、とくに地球物理学系の研究は、時間的に変動する現象を利用してその因果関係を追求することが主眼であったため、現象を比較的限られた範囲ごとの問題として整理し、その積み重ねとして一般法則を求める方法がとられたことによる。さらに、その当事者たちが別府温泉の研究に関する長年の伝統を土台としているため、すでに頭の中にその全容がえがかれていて、改めて記述を要しなかったことも影響しているであろう。そこで重要なことは、そういう頭の中にある構造を紙の上に書きあらわす場合の技術上のむづかしさである。

たとえば、従来、別府市街地では温泉開発の進展につれ何度か泉温分布図が作られた。これは各湧出口で測定した泉温からその等温線を引いたもので、本来、どの附近でどの程度の温度の温泉を探っているかという温泉利用の形態を示すにすぎないものである。しかし、それにはいわゆる田の湯、海門寺温泉脈の存在などが現われていて、地下の温泉水の状態を示す一つの指標ともなっていた。しかし、別府温泉のその後が開発された地域では、ごく隣接した井戸でもはなはだしく泉温の違う場合があり、各測定温度に矛盾しない等温線を引くことは容易ではない。泉温だけでなく、化学成分の濃度についても同様のことがいえる。全体として重曹泉タイプの多い中に、点々と塩素イオンの濃い食塩泉の分布する地区がある。また、そういう食塩泉型沸騰泉と、成分濃度が極端にうすく明らかに地下の蒸気で加熱された型の温泉とが共存している地区もある。こういう複雑な状態がおこるのは各源泉における採湯の深度や方法の違いが主原因だと解釈される。一般に地下状態をうかがうために等値線をえがくという方法は、温泉水の持つ諸性質が地層中の流動に随い連続的に変化してゆく値であるとの考えにもとづいており、上記のような別府温泉の現状でこういう地下の連続的な変化をたどるには採湯方法の影響を受ける以前の地下の状態を直接測定した値によらねばならない。

大分県の温泉掘さくでは、その終了時に業者から掘さく明細書が提出されることになっている。それには掘さく中の各深度に対応する地質状況、温度や水位が完工時の湧出状態に関する記録と共に記入されており、地下の状態を知る上に有益な資料を与える。ただ、これらの測定や記入が業者の手で行なわれているため、その正確度に対する信頼性が問題となる。またたとえそれらが正確だとしても実際の測定値には掘さく工事による影響が加わり、とくに地熱地域の比較的浅層での測定に誤差が大

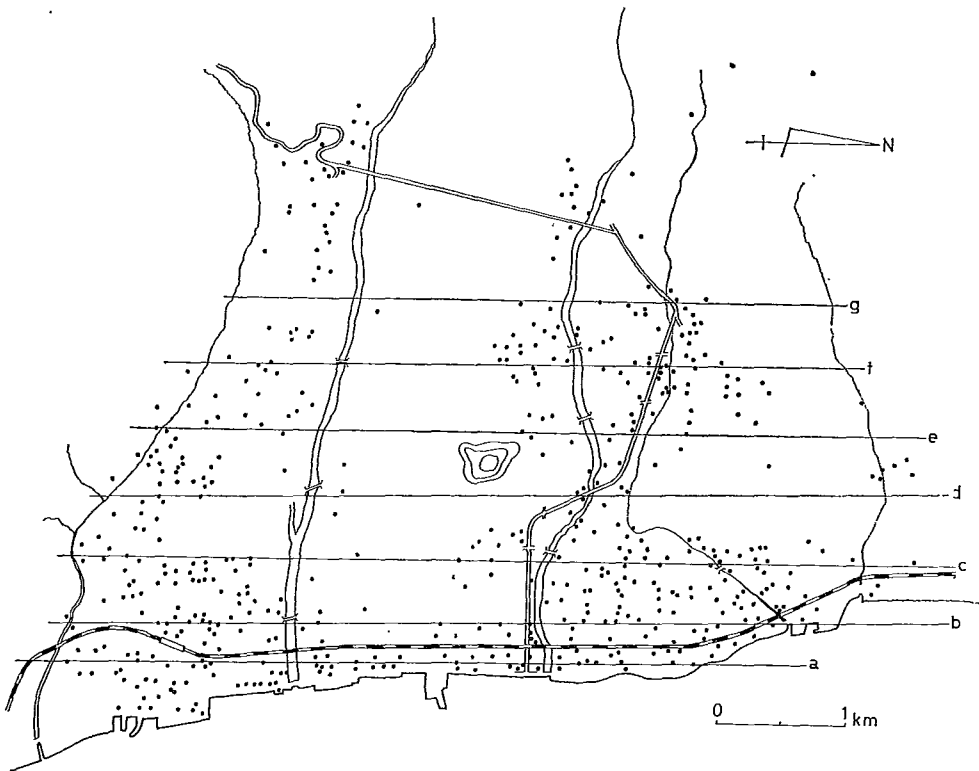
きい。しかし、これらを考慮に入れながらも、その資料は別府温泉全域にわたり非常に密度のこい測定値の分布を与えており、われわれの頭にえがかれている地下状態と比較検討し、それを補ないつつ全域にわたる構造上の分布を求めるに、現時点でこれにまさるものはない。ここでは昭和40年より45年に至る間に県庁に保管されていた掘さく明細書のすべてを一たん列記した後に、あまりに不適当だと思われるものをはぶき、誤差を考慮に入れつつその程度の不確かさに耐える範囲において、全般的な分布状態を求めることにする。そのうち、もっとも取りかかりやすいのは地温の分布である。

## 2 地中温度の分布

掘さく中に地温の測定されている井戸は 733点でその位置を大字別に示すと、次のようにほぼ全域に配分される。

鶴見	106	鉄輪	45	南立石	51	野田	12	内竈	8	亀川	69
北石垣	113	南石垣	54	別府	173	浜脇	2				

図1 地温測定井の分布

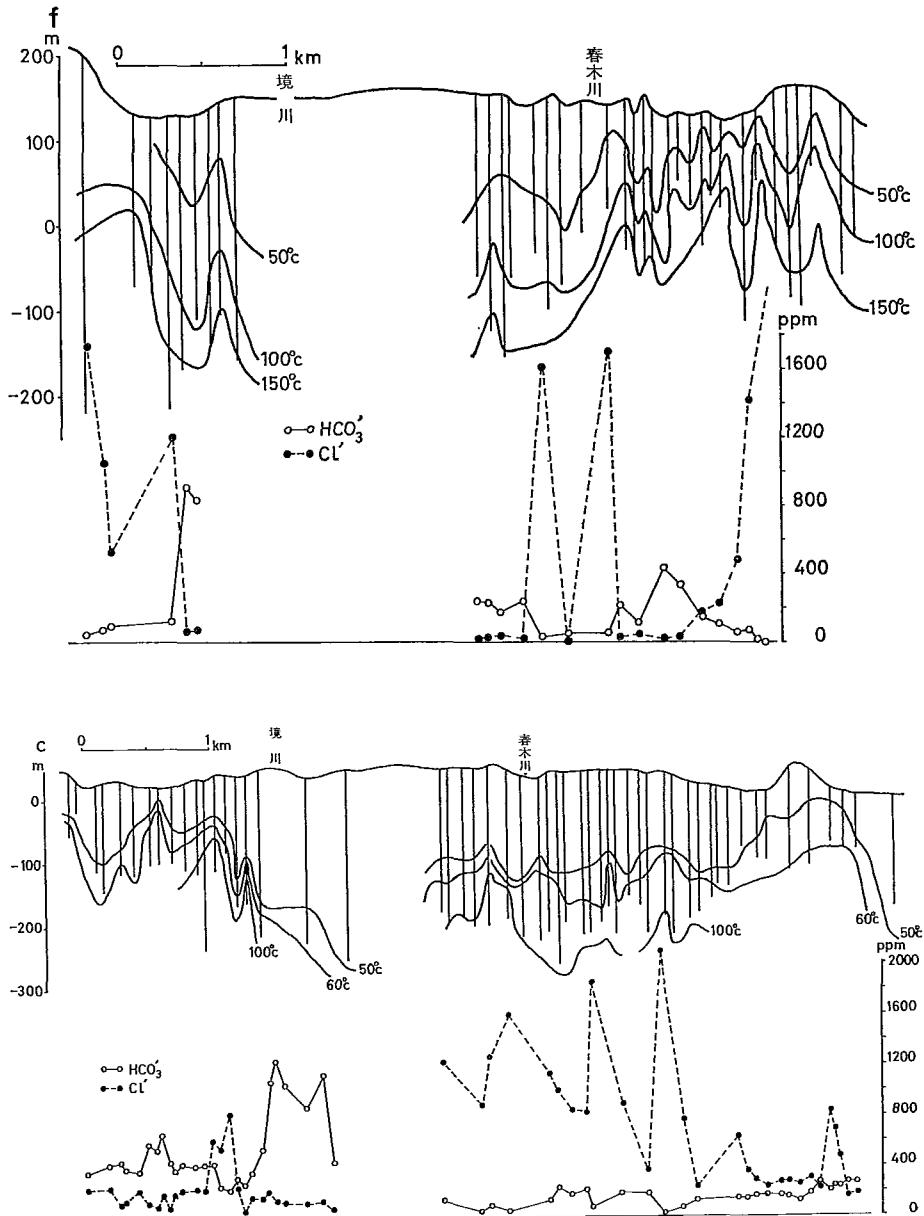


地図上にこれらの位置を記入したのが図1で、そこに a、b………g の如く海岸線にはほぼ平行な幾本かの直線を引き、その周囲の掘さく資料を用いて、その直線位置の断面における地温の分布を作ることにする。そのためには、まづ地図から各断面における地面高度を求め、各掘さく点ごとに縦におろした直線の長さで井戸の深さを示す。その直線上に掘さく中に測定された各深度での温度を記入しそれに適合するような等温線を引いて各断面での地温分布を得る。ここでは例として、a、cとfにおける断面の状態を図2に示す。図中の高度は平均海面からの高さで表わされている。前記のように測定された温度は必ずしもその場の地温を現わしているとはいえ、各深度と温度との絶対的な値については問題があるが、この程度の温度巾の等温線を描くには測定温度の分布にそれほどこのばはみられず比較的なめらかに線が引けることから、この各等温線で示される全体的な傾向は実状を

よく近似するものと考えられる。海岸近くでは断面一帯に資料があるが、それから離れた断面では図中の中央部に温泉が少なく資料不足のため空白の部分が残る。ここは従来の掘さく経験からしても、もっとも海岸近くの a 断面で示されると同様に地温の急低下している場所と推定される。

次に平面的な地温分布の全容を知るため、前記各断面での等温線分布とそのほかの各点での資料とから、地下の各一定深度における地温を求めて等温線を引いた。図3はそのうちの地下 200m におけるもので、もっとも資料数が多く、全域にわたる地温分布の大要を典型的に示すものとして掲載した。

図2 三つの南北断面における、掘さく深度、地温、化学成分濃度の分布



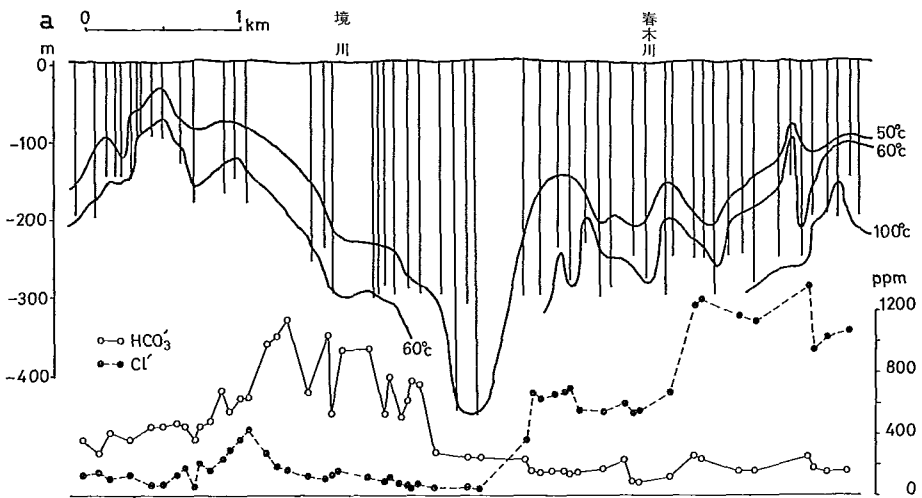
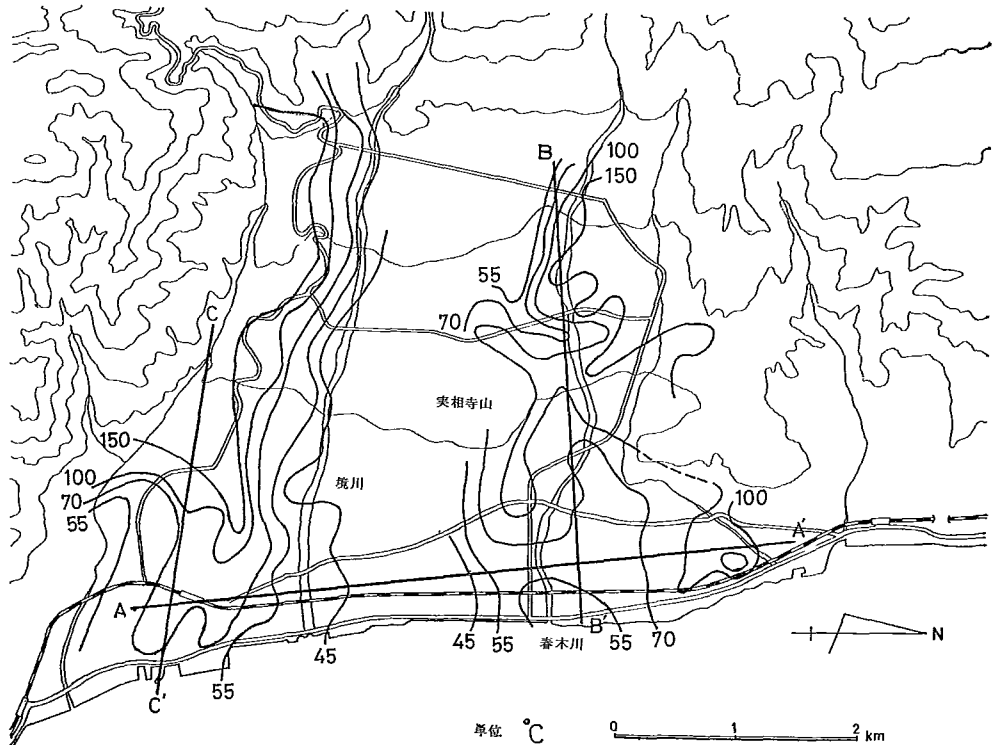


図3 地下200mにおける地温分布



以上の地温の垂直分布、平面分布にあらわれるおもな特徴は次のとおりである。

(1) どこでも深いほど地温が高く、温度測定が最高温度計で行なわれていることを考慮に入れてもなお十分そのことが認められる状態である。また浅層部を除いては等温線が比較的なめらかに連続して書け、この範囲内では局所的な熱の湧出や吸入による特異点をふくまないと考えてよい。

(2) 別府温泉の南と北で明らかに地温が高く、中央部の観光港附近から餅ヶ浜にかけてかなり急傾斜で地温の低くなる地域がある。そのため、図3の地温平面分布では、東西方向に延びる等温線が優勢で、上記の地温が急低下するふちの所では 100°から50°に至る平行して密集した等温線の分布がみられる。また高温域内でも海岸から離れるほどさらに高温となる傾向があり、これらは高地部から海

岸に向う温泉水の流動方向との関係を示唆する。したがってこれらの図に示される地温分布は地質環境に支配される地下熱水や地下水の流動混合状態を反映しているものと考えられる。

(3) 上流部では山地と扇状地との境界附近ほど高温で、熱水活動に対する断層の影響を現わしており、測定地温の最高は $200^{\circ}$ である。南部では境川ぐらゐまで、北部では春木川よりやや南までが掘さく深度内 $100^{\circ}$ 以上の高温状態を示す。北部では海岸部でも平田町附近に $150^{\circ}$ 以上の高温部が知られている。

(4) 海岸に近づくと、境川より南の地温の状態には、かつて示されたように<sup>2)</sup>、田の湯、海門寺両温泉脈に対応する等温線の上昇部が見られる。海門寺脈以北では等温線がかなり急激に深くなり、境川をこえて一たんやや平坦となった後、ふたたび降下して前記の中央低温帯をつくる。北部からは、春木川下流で一たんやや低温となった後にふたたび上昇し、実相寺山南麓から海岸線に向けて引いた垂線あたりから急激に等温線が降下して低温帯につらなる。この中央低温帯は巾約  $500m$  ぐらゐの深い谷状の形を示し、ここにも東西に延びる地質構造上の特性の存在がうかがえる。

地中の温泉水の流れという見地からすると、別府温泉の南部域と北部域とは、ここに示す深度内では、この谷状部分の緩衝地帯を隔ててその南北で別個の温泉域を構成していると考えてよい。

### 3 温泉水質との対応

前節で、地温分布は地下熱水や地下水の流動状態の反映であると述べた。つまり、この範囲では、熱源をふくむ地層から熱を与えられて地下水が温泉水に変るというよりも、熱水、水蒸気、地下水という地下流体の混合でつくられた温泉水の温度が地層の温度分布に支配的な役割を果しているということである。そうとすると、このような地下流体の混合状態はそうしてつくられた温泉水の水質にもっともはっきりと現われるはずだから、地温分布と温泉水の水質の分布との間にはきわめて短絡的な関係が見出されるに違いない。

従来われわれの頭に画かれている水質についての知識は大ざっぱには次の通りである。熱水は食塩泉型で塩素イオンに富んでおり、地下水にはそれが少ない。したがってその混合でつくられる温泉水は塩素イオンの多いほど温度の高い傾向がある。一方、炭酸成分は高温のものに少なく、より低温の水に集中する傾向があるから、熱水の混合率の多い温泉水には重炭酸イオンが少ない。したがって熱水と地下水との混合状態はまづこの塩素と重炭酸イオンの濃度分布にあらわれてよいはずである。この調査範囲内における両イオンの濃度分布は昨年、由佐、川村により求められた。しかし1節で述べたように、近接した井戸でもその深度や採湯状態の違いのため、採湯される温泉水の化学組成にはかなりの違いがあり、これを一平面上の分布図に表わすことはむづかしい。その温泉水がどの深さを流れていた水かという立体的な考慮が必要である。

そこで、ここでは平面分布を用いず、地温の垂直分布を表示するのに使った南北方向の各断面につき、昨年度の資料と、それで不足する部分は衛研、温研の温泉分析書から補ない、各源泉の塩素と重炭酸イオンの濃度を図2中に記入した。地温分布に用いた掘さく資料のある井戸とこの化学成分資料の井戸とは必ずしも一致しないが、その分布における対応関係をさぐるには十分なほど資料が多い。

予期の如く、地温の高い地域で塩素イオンの濃いことは明らかで、その地域的傾向はもっとも海岸近くのa断面に特によく現われている。別府温泉の南部と北部を比較すると、総体的に北部の方に塩素イオン濃度が大きく、しかも地温の高い地域に多くなっている。南部地域内では、c断面で図中に $100^{\circ}$ の等温線が現われる高温位置と塩素イオン極大部とがよく一致しており、いわゆる海門寺温泉脈附近で熱水混合量の大きい温泉水が採取されていることを示している。ところが、従来、別府市街地の温泉でもう一つの高温帯とされている田の湯温泉脈では、 $50^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ の等温線が海門寺温泉脈よりさらに浅層まで上昇している状態であるにかかわらず、塩素イオン濃度は他地域の温泉水にくらべて決して高くはない。c断面の図では、この地帯で重炭酸濃度の高い傾向が示されており、熱水混合量は

むしろ少ないとみられる。したがってこの地帯での等温線の上昇は、熱水が浅層まで上昇混入しているためではなく、他の機構で加熱された温泉水が浅層を流動していることによると考えねばならない。

この南部地域で特に注目されるのは重炭酸イオンの分布で、上記の極大部のほかに海門寺温泉脈の北側でさらに大きな極大部の現われることである。これは由佐、川村の報告にみられる800mg/ℓ以上の東西に延びた帯状地域に相当し、境川のやや北までの、地温の等温線が北に向って降下してゆく範圍一帯をふくみ、海岸部に近づくと南北方向の中が增してゆく傾向がある。この極大部は南部温泉地域の北限を示して、前記の中央部谷状低温帯に入ると重炭酸イオン量は少なくなる。したがって、このように大きい重炭酸イオン濃度は必ずしもこの地域の一般地下水の性質ではなく、地域的なその与えられ方の機構は興味がある。上流部の代表としてのf断面の図では、観海寺附近の朝見川断層からやや北よりで温泉水が塩素イオン型から重炭酸イオン型へ移行している。この重炭酸高濃度域は上記の北限の延長上に来るが、市街地でのもう一つの重炭酸イオン極大部である田の湯温泉脈上流の影響が見られるのはe断面までで、このあたりでは噴気か沸騰泉としての熱水が採取されているだけである。このような熱水と噴気、先に述べた田の湯温泉脈における温泉水への熱源、ここに示した重炭酸イオン濃度極大部出現の機構などの関係については本誌の他の報告で述べられ、またその地温分布との関連や、それをもたらす断層附近の温泉水流動過程については来年度報告に記す予定である。

北部温泉域の重炭酸イオン濃度は南部にくらべ格段に低いが、各源泉ごとの塩素イオンと重炭酸イオンとの間の相反性は明らかにみられる。それらの濃度は、海岸附近では比較的地的なまとまりを持っているが、上流部地熱地域に至るほど各源泉ごとのばらつきが大きくなり、温泉活動の地下垂直構造による影響がいちぢるしい。

別府温泉におけるもう一つの塩素イオン源として現海水の浸入のあることが知られている。図2のc断面の北の端近くに現われる塩素イオンの極大は亀川の新川下流域における海水浸入の影響である

温泉水の化学成分の分布からその地下状態を推定するには、塩素と重炭酸イオンだけでは不十分で特に北部温泉域については硫酸イオンの持つ意味が大きい。しかし以上の図示された状態から、この報告の骨となる地温の立体分布と対応させ、その分布を蒸気をふくめた熱水と地下水との混合流動過程の反映として理解するには、この2成分の検討だけでも非常に有力な資料となり得ることが知られた。

#### 4 温泉水系の立体構造

これまでに、地温の分布に地域的特徴をもたらす主要な原因は地下温泉水の流動状態にあると述べた。温泉水の流動状態とは、山岳部地下からの熱水と扇状地地表から浸透した地下水との混合流動過程であり、地温に立体的な分布があるということはこのような混合過程が立体的に行なわれていることを意味する。従来の地下水理のモデルとして基礎的な、不圧地下水、被圧地下水のほぼ水平方向の流れだけでは説明できない問題である。このような異水系の混合状態を推定するにはそれぞれの持つ水頭面高度の比較がもっとも重要であるが、これまでそのような資料は与えられていない。

また別府市街地のかねてより田の湯温泉脈として知られた部分で述べたように、浅層で高温な温泉水が必ずしも熱水混合率が大きいとは限らない。液体としての混合以外に、炭酸成分や熱を与える気体としての温泉活動も別府温泉の場合には無視できない。このような気体は水蒸気がその大部分を占めており、地下では液状の熱水から由来したものと考えられている。湯原、友定は別府地熱地域の沸騰泉における研究から、この地下熱水の水頭を推定しようとした。しかし、その結果では、熱水頭があまりに深く、液体のままでは下流部の温泉水に混合できないという、実状と矛盾する値となった。これは沸騰泉における測定の困難さと共に、理論的推定の過程にふくまれ得る多くの誤差に起因する可能性が大きい、水頭のような基礎的な資料には、できればそのような理論を経ない直接的な測定値

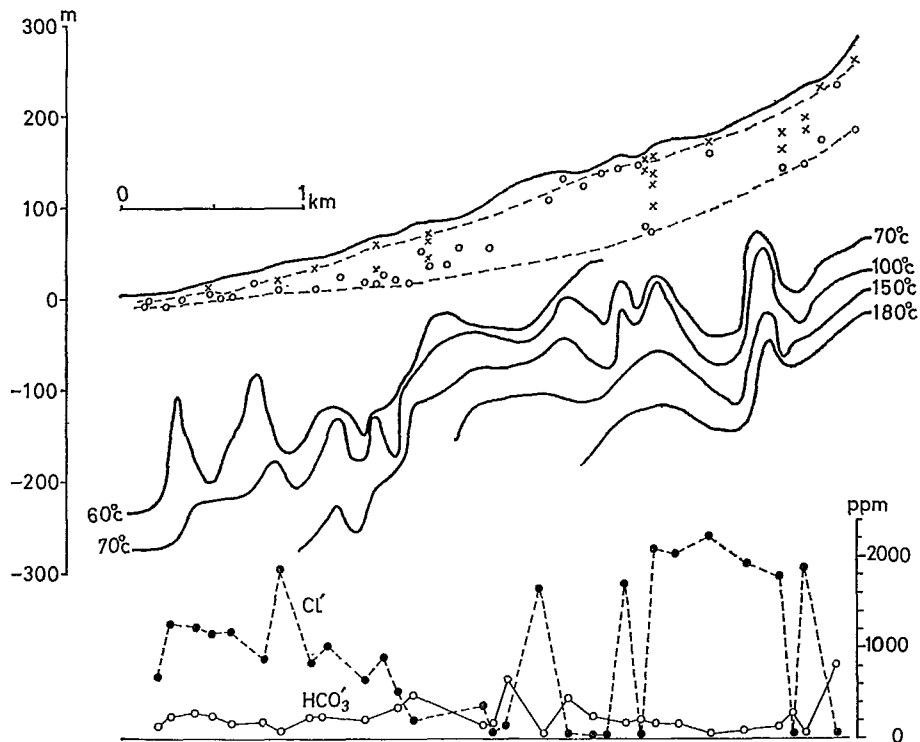
が望ましい。

温泉掘さく資料には井戸完工時の静止水位が記されており、また工事途中の各深度での水位が記入されたものもある。この測定値が正しいとすれば、その測定点の高度を用いてその井戸の深さでの静止水頭の値が求まるわけである。また、各源泉での動力装置設置にさいして県の手で静止水位の測定が行なわれており、その資料も利用できる。問題はそれらの精度で、それにもっとも大きく影響するのは水位測定点のみつもりである。ここでは地図上でその源泉位置の海拔高度をとり、水位測定点の高度としたが、当然それには誤差が大きい。特に上流部で地形勾配の大きい範囲ほどその誤差は大きくなる。しかし、他の理論的な方法で水頭を推定する時、それに関係する因子のちょっとした数値の違いが数十mもの差をおこすことを考えれば、この方法による誤差はせいぜい5m以内、大きくみても10mをこすことはなく、静止水頭の相対的な分布の状態を推定するには有効とみられる。

このようにして求めた静止水頭の平面的な分布図はこの報告には記載しなかったが、ほぼ地形に沿って海岸に向う勾配を持つ。ただ南部地域で海拔50m、北部地域で100m程度の静止水頭の所で、その値に地域的なでこぼこが目立ち、等水頭線の書きにくい状態になる。

こういう静止水頭分布で支配される温泉水流动状態の影響を知るため、南部地域と北部地域にそれぞれ1本ずつ温泉水の主流方向とみられるほぼ東西方向の線を引き、その断面での静止水頭分布を地温や温泉水の化学組成の分布と比較することとした。その位置は図3上に引いた直線BB'とCC'で示され、その断面での状態は、BB'線が図4に、CC'線が図5に画かれた。

図4 北部温泉域のBB'線における東西方向の断面、○完工時の静止水頭、×掘さく途中の水頭



まづこの直線上の地面高度を地図上で求めて図中に地形をあらわす線を引き、その線上に、掘さく資料で静止水位の記載される各源泉位置を求め、その水位までの深さをとって、完工時の値を○印掘さく途中の値を×印で表わした。掘さくが深く進むにしたがい、上流高地部ほど静止水頭の低下してゆく状態が明らかで、結局、完工時の水位は地下100m以上に達する地域がある。水頭勾配は全体としては高地部から低地部へ向い、それに応じる温泉水の流動のあることが知られるが、局地的には



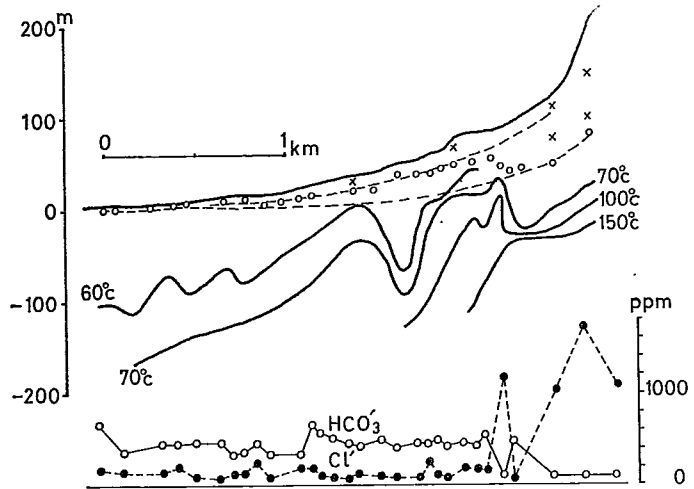
こぼこが烈しく、完工時の静止水頭だけを追ってゆくと、かえって低地から高地へ向う流動を考えねばならぬ場所もある。こういう複雑な分布を単純化して実状を理解しやすくするために、各断面で上部の○印と下部の○印をそれぞれ結ぶ2本の点線を引き、この地域における各深度の温泉水の持つ静止水頭はすべてこの2本の点線の間にあるようにした。浅い方の点線はもっとも浅い地下水頭を表わし、部分的に自噴する所もあるから必ずしも不圧地下水面とはいわれないが、それに近い値を持つものである。

深い方は、後に述べるようにその井戸から採取される温泉水の化学組成からも、深層の熱水の水頭を表わしているとみられる。このようにして、浅い地下水と深い熱水の2水系の流動が一応別個に考えられ、この間の層内では両者の間の交流状態（今の場合は下向き）により、その中間の値をとるとされる。

かって別府市街地の温泉で、温泉水の静止水頭と不圧地下水面の高度が比較され、海岸近くでは前者の方が高く、自噴するが、海岸から離れるにしたがいその差はちぢまり、海岸から1000mぐらいの距離で両者はほぼ一致するとされた。ここに図示した熱水頭と地下水頭とはそれに似た関係を示し、高地部では前者がかなり低く、低地に行くにしたがいその差はちぢまって、海岸から約1000m付近で両者はほぼ一致する。ここに用いた静止水頭をみつめる方法では、低地部のこまかな点についてはその精度をこえているが、この付近で熱水が地下水中に浸入するいわゆる流出域がはじまるものとみられる。これより上流では地下水は下向きに浸透し熱水中に混入供給され得る状態にあり、供給域を形成している。このように、深層と浅層とにかなりことなつた静止水頭を保ちつつ流動する温泉水が存在するためには、両層の間の透水性の違いはもちろん、両層にはさまれる透水性の悪い層の存在がなければならない。また、将来もっと深い掘さくが行なわれるようになると、さらに深い熱水頭の分布が見出されるようになるかもしれない。ここに図示した熱水頭は現状で採取されている範囲ではということである。

供給域では深い熱水が直接採取されているほかに、浅い地下水頭を持つ温泉水の採取されている地域もある。これはどういう状態であろうか。それについては、同図中に記入された地温や化学成分濃度の分布と対照させると理解しやすい。これらの分布は先に南北断面で行なつたと同様の方法で求めたもので、その資料を得た井戸と静止水頭を求めた井戸とは必ずしも一致しないが、地域的に密接な関係が見出される。完工時の静止水頭が下側の点線上にある井戸の多い地域では、塩素イオン濃度の濃く、重炭酸イオンの少ない温泉水が採取されており、逆に上側の点線上にある地域では、塩素イオンの少なく、重炭酸イオンの比較的多い化学組成を示している。これは下側の点線が熱水頭、上側の点線が地下水頭をあらわすとした上記の推論をうらづける。またBB'線では、下流部でふたたび塩素イオンの濃い温泉水が採取されており、流出域における熱水混入量の増加を示す。CC'線でも、塩素イオン濃度の値が小さいためにそれほど明瞭ではないが、それに似た傾向は認められる。両断面ともその中流部で地下水性の温泉が採取されており、その上流に地温の等温線がやや上昇している地点のことに注目される。これは、CC'線では旧八幡、BB'線では照湯から今井にかけての自

図5 南部温泉域のCC'線における東西方向の断面、○完工時の静止水頭 ×掘さく途中の水頭



然噴気地域に当る。こういう地域では熱水から分離した蒸気が上昇しており、そこで浅い地下水が熱やガス成分を与えられて温泉水として流動している可能性が大きい。このような噴気とか地下蒸気が地下熱水から出た二次蒸気であることは熱水頭の分布やその深層から塩素イオンの濃い沸騰泉の採取されることから推定される。別府市街地の田の湯温泉脈で地温の高い割りに塩素イオンが少なく重碳酸イオンの多い水系として指摘したのは上記の過程によるものである。このほか、別府温泉で比較的高地部の温泉では、深く掘ると地温は上昇するが水位が深く、また揚湯をしても水が集りにくいため、わざと浅層の水を深くにまわして温泉水として採取する方法もとられており、これも図中の浅い地下水頭を持つ温泉にふくまれる。

以上で、別府温泉は、ごく簡単には、深い熱水と浅い地下水の2水系から成りたち、両者とも扇状地の地下を高地部から海岸方向に向け流動しているという状態が図示された。上流部では熱水の水頭は深く、地下水が下向きに供給され熱水を稀釈する傾向にあり、熱水が液体として上層の地下水中に混入することはない。しかし、熱水から分離した蒸気が上昇して地下水に熱とガス成分を与える地域がある。こういう蒸気の逸出過程は、噴気存在範囲からみて、断層であらわされる地質環境と密接な関係がありそうで、来年度に推論を進めたい。またごく一部では蒸気と共に地下の沸騰泉のような状態で熱水もふくめて上層へ供給される可能性はあり得る。下流に行くほど両水系の水頭差はちぢまり、海岸近くの堆積層の厚くなっている地域では、熱水が液体のまま地下水中に混入し熱や塩素イオンなどの化学成分を与えている。

このように熱水は地下水を温泉水に変える基礎的な役割を果たすものであるにもかかわらず、その供給は上流高地部の地下深層からの流動で行なわれているにすぎない。したがって、温泉の保護にはこの熱水の流動を保つようなその水頭の保持が根本的な重要性を持つ。図4と5に下側の点線で示されているように、現在、熱水は海岸向けの水頭勾配を保って流れている。将来、この熱水域がさらに開発され、沸騰泉としての直接採湯量がふえ、もし、この勾配がなくなる部分ができたとすると、海岸部の既存温泉域に対する熱水の供給はとまることになる。もちろん、こうして低温になってゆくと、さらに増掘すると共に揚湯水位を下げ、熱水頭の下流向きの勾配を回復するように努力されるであろう。しかしそうして揚湯水位を下げることは、その場での浅層からの地下水混入を増すことでもある。これと、上流からの熱水流入量の増加とどちらがまさるかは今のところ何ともいえない。上流部での熱水直接採湯量の増加が下流部温泉の低温化を招くことは、すでに別府市街地温泉でみられてきた事実である。これは従来の揚湯影響のような局地的な水頭の低下、湧出量の減少とはことなる地域ぐるみの問題で、採湯量の地域的配分と自然環境としての温泉源保護、また絶対採湯量の増加という矛盾した欲望をふくめた本質的な問題である。



この本文中に随所に記したように、温泉水の流動過程に重要な影響を持つと思える地質環境との関連や、それらから導かれる別府温泉の基礎的な地下水理モデルについての検討は来年度に資料を加えて報告する。

#### 参 考 文 献

- 1) 別府保健所:別府温泉の現況と問題点、1971
- 2) 野満隆治、山下馨:別府旧市内の地中温度分布と温泉脈、地球物理、2巻、3号 pp.233~259.1938
- 3) 由佐悠紀、川村政和:化学成分からみた別府市中央部の温泉、大分県温泉調査研究会報、22号 pp.55~65.1971
- 4) 吉川恭三、由佐悠紀:別府温泉の炭酸成分、本誌pp.11~19、1972.

- 5) 湯原浩三、友定彰: Thermodynamical Properties of Natural Steams and Hydrothermal Structure of Beppu Geothermal Area. Contribution Geophys. Inst. Kyoto Univ, no. 5, pp. 33—44. 1965
- 6) 瀬野錦蔵: 別府市街地における冷水頭分布、地球物理、4巻、4号、pp. 280—289. 1940

# 別府温泉南部域の炭酸成分

京都大学理学部 吉 川 恭 三  
由 佐 悠 紀

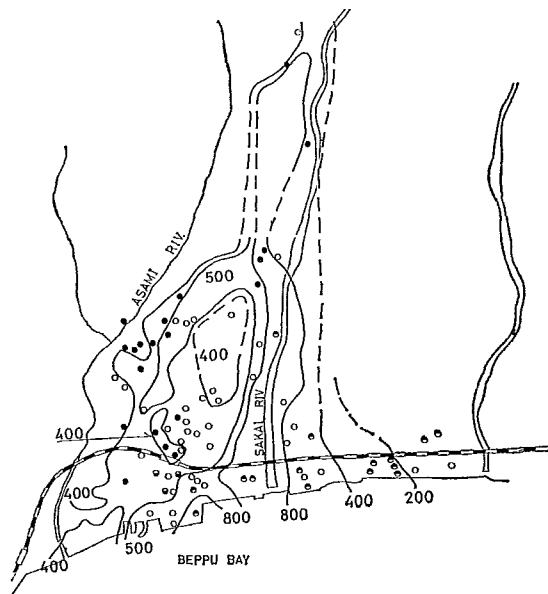
## 1 従来の研究

以前、著者の一人吉川<sup>1)</sup>は別府旧街地を中心にした温泉水系を、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$  および泉温をもとに調べ、冷地下水以外に3種の水系のあることを見出した。その後、温泉の開発が山の手一帯におよんだことにより、この3種の水系の特徴と分布が明らかになった。その一つは山岳部地下深所にある  $\text{NaCl}$  型の熱水である。他の2水系は $\text{Cl}$ 量が少なく比較的低温で、 $\text{HCO}_3^-$ 濃度の違いにその特徴が表われ、一つは $\text{HCO}_3^-$ が高濃度のもの(800~1000mg/l以上)、他の一つは500mg/l前後の濃度のものである。そして、全体として眺めるとき、 $\text{Cl}$ 量と泉温の間には、おおまかな意味での直線関係のあることが認められ、この地域での温泉水系は基本的には、 $\text{NaCl}$  型熱水と冷地下水との混合によって形成されていると、考えられるようになった。この考えは、吉川によって指摘された他の2水系の持つ $\text{HCO}_3^-$ 濃度と温度の特性が副次的に与えられたものであることを暗に示している。しかし、これまで測定されている熱水と冷地下水中の炭酸分量は非常に少なく、これらの単純な混合だけで、一般温泉水中の $\text{HCO}_3^-$ 量やこれに伴う $\text{Ca}^{++}$ や $\text{Mg}^{++}$ の量を生じ得る筈はなく、別に炭酸成分の供給機構が考えられねばならない。

古賀<sup>2)</sup>は炭酸を含む水と、別府で得られた岩石や土壌試料を種々の条件の下で反応させることにより $\text{HCO}_3^-$ が多量に生成されることを実験的に確めた。また由佐は、化学平衡の立場から $\text{HCO}_3^-$ 濃度と $\text{Ca}^{++}$ および $\text{Mg}^{++}$ 濃度の関係を調べた。これらの研究により、比較的低温(50℃前後)の温泉水中に特有の $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ などは、温泉水が流動する途中で、地層との相互作用によって生成されるとして説明される。しかし、これらの結果は温泉水が炭酸を含んでいるとの仮定の下で得られたもので、炭酸の源の問題にはおよんでいない。

由佐と川村は、温泉開発が山の手一帯にまで発展した現状での種々の化学成分濃度分布図を作成した。このうち $\text{HCO}_3^-$ の分布を図1に示す。これにより、 $\text{HCO}_3^-$ が800~1000mg/l以上の濃度を示す地域は、境川に沿って、海岸から遠く山の手まで細長く带状に延びており、500mg/l前後のものは、旧市街から、その上流部一帯に広く分布していることが明らかとなった。そして、高 $\text{HCO}_3^-$ 濃度域は井戸深が200~300mと深い地域とよく対応しており、また500mg/l前後の地域では、井戸深が100~200mあるいは、それより浅いことに注目される。ちなみに、500mg/l前後の地域はいわゆる田の湯温泉脈に代表されるような、

図1:  $\text{HCO}_3^-$ 分布



旧くは優熱な自噴地帯を含んでいた。

井戸のストレーナーの位置などの問題があって、井戸深の深いものが、そのまま深い層の温泉水を採取しているとは必ずしも云えないが、この南部域では孔底温度が50℃以上に達するまで掘さくするのが普通のもので、このことを考えると、一応は、 $\text{HCO}_3^-$ 高濃度の水は深い地層からのもので、一方低濃度の水は、比較的浅い所にあると考えても大きい誤りではないようである。このことは、 $\text{HCO}_3^-$ の供給機構に、ある暗示を与えているように思われる。

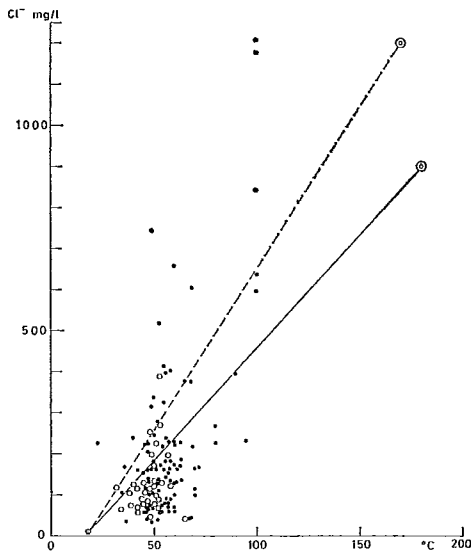
本報告では、熱水と冷地下水という基本の2水系から、下流部の $\text{HCO}_3^-$ を含む温泉水が生成される機構を考察する。

## 2 泉温とCl<sup>-</sup>量の関係から推定される炭酸供給機構の可能性

別府南部域では、他の大規模温泉地においてもみられるように、Cl量と泉温の間におおまかな意味での直線関係が成り立ち、このことが、山岳部地下のNaCl型熱水と冷地下水の混合過程を仮定する根拠となっている。

山下はこの観点に基き、泉温あるいは化学成分濃度から、熱水と冷地下水の混合割合を求めた。このとき、泉温から求められた割合の方が若干小さく、これは泉温が湧出口や元箱で測られているため地下での温度より低いためだろうとした。図2は昨年度の資料から、泉温とCl量を両軸にとって各温泉孔での値をプロットしたものである。これらの点には、おおまかな意味での直線関係が認められはするが、むしろばらつきが大きく、しかも系統的なずれのあることがうかがわれ、単純に熱水と冷地下水の混合だけでは説明できない点がある。

図2：Cl<sup>-</sup>量と泉温の関係



図中の実線は山下が選んだ熱水と冷地下水が混合したときに取るであろう関係、点線は熱水の温度を170℃と仮定し、Cl量を筆者らが測定した南部山の手での最大値1200mg/lとしたときに予想される関係である。もし、各泉温が低めに測定されているとすれば、この2つの直線は、プロットの下限を示す筈であるが、現実には、これらの直線より下方にあるものが、たくさんある。

たとえば、白丸は先に述べた境川沿いの $\text{HCO}_3^-$ 高濃度温泉の値で、Cl量が100mg/l前後と小さいものが多く、もし単純な混合のみによるとすれば、予想される温度は30℃前後を示すであろう。それにもかかわらず、50℃前後の値を示し、泉温測定の誤差から予想される方向とは逆の関係にある。したがって、冷地下水が熱水との混合だけで昇温したのではなく、他にCl量を伴わない何らかの熱的な供給を

受けていると解釈されねばならない。

このような熱の供給機構としては、熱伝導による加熱と地下蒸気の混入による加熱の2つが考えられる。このいずれが、より大きな役割を果たしているのかは、今後地温データなどの解析により検討すべきであるが、一つの考えとして、地下蒸気の寄与を仮定することもあながち根拠のないことではない。というのは、別府南部山の手一帯では以前から自然噴気孔が散在していたし、近年のボーリングによっても、山側では液体の水を得ることはむづかしく、蒸気のみを噴出する孔が多数あって、地下に優勢な蒸気層のあることが予想されているからである。

このとき、山の手一帯で地表から浸透した地下水は、地下に分布する蒸気と出合い、混合、昇温し

て下流へと流下する。

この機構を仮定すれば、生じた温泉水は蒸気中に含まれていたガス成分をも同時に吸収することになるだろうが、そのガス成分とは一体どのようなものであろうか。

かって野口は、南部域の噴気孔の一つ白竜井で、噴出蒸気の温度や成分を測定した。それによれば大部分は水蒸気で、次いで炭酸ガスを含み、この両者で99% (体積比) 以上を占めている。2回の測定を平均すると、炭酸ガスは1.4%である。

もし、この蒸気が上記のように冷地下水に混入したとすれば、その水は炭酸を含むことになり、定性的には、この蒸気が炭酸源となり得る。したがって問題は、このような過程によって下流部の  $\text{HCO}_3^-$  が  $500\text{mg}/\ell$  あるいは  $1000\text{mg}/\ell$  にも達するほどの温泉水を生じ得るかという、量的な説明の可否へとつながってゆく。

#### 4 地下温泉水のPH

前節の量的な見積りをするのに先立ち、各炭酸成分濃度を決定的に左右する pH について考察しよう。

別府温泉では多くの温泉でエアリフトによる揚湯が行なわれている。この方法は、もともと液体である温泉水を強制的に気液混合流体として地表に運びあげるものであるから、上昇途中で水中の炭酸成分が気相へと移り、その結果温泉水の pH に変化が起る。

由佐は、別府温泉における温泉沈澱物のうち、とくに炭酸カルシウム析出の判定をするため、温泉水の炭酸カルシウム飽和指数を求めたが、ほとんどの温泉水で過飽和の状態にあった。これは、ひとつには、地表での pH がエアリフトや井戸中の沸騰により地下の pH より大きくなっているためと解釈された。したがって、地下における温泉水の炭酸成分を考察するにあたって、この効果を見積り、地表の値を補正する必要がある。

エアリフト揚湯の際、気液両相は同じ速度で上昇し、その途中で温度変化がないとすれば、適当な条件下で地表における pH は次式で与えられる。

$$\text{pH} = \text{pH}_0 + \log \left\{ \frac{a_0}{a_0 + S/Q} \left( 1 + \frac{V}{\ell} \right) \right\} \quad (1)$$

ここに、 $\text{pH}_0$  と  $a_0$  は地下温泉水の pH と  $\text{H}_2\text{CO}_3$  のモル濃度、 $S$  は湧出途中で温泉水  $1\ell$  から析出した炭酸塩 (主に  $\text{CaCO}_3$ ) のモル数、 $Q$  は温泉水採湯量、 $V$  は温泉水流量に対する気相流量 ( $Q_v$ ) の体積比で、 $V = Q_v/Q$  で表わされる。また  $\ell$  は炭酸ガスに関するオストワルドの吸収係数である。

別府温泉のエアリフト泉では泉温が  $60^\circ\text{C}$  以上のいくつかの温泉で  $\text{CaCO}_3$  の析出が認められるが、

表1:  $\log \left( 1 + \frac{V}{\ell} \right)$

$^\circ\text{C}$	$\ell$	V									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	0.943	0.31	0.49	0.62	0.72	0.80	0.87	0.93	0.98	1.02	1.06
30	0.738	0.37	0.57	0.71	0.81	0.89	0.96	1.02	1.07	1.12	1.16
40	0.608	0.42	0.63	0.77	0.88	0.96	1.04	1.10	1.15	1.20	1.24
50	0.516	0.47	0.69	0.83	0.94	1.03	1.10	1.16	1.22	1.27	1.31
60	0.438	0.52	0.75	0.89	1.01	1.09	1.17	1.23	1.28	1.33	1.38
70	0.38*	0.56	0.80	0.95	1.06	1.15	1.23	1.29	1.34	1.39	1.44
80	0.34*	0.60	0.84	0.99	1.11	1.20	1.27	1.33	1.39	1.44	1.48
90	0.32*	0.62	0.86	1.02	1.13	1.22	1.30	1.36	1.41	1.46	1.51
100	0.30*	0.64	0.88	1.04	1.16	1.25	1.32	1.39	1.44	1.49	1.54

注:  $20\sim 60^\circ\text{C}$  の  $\ell$  の値は Bohr, Geffcken, Justらによる Bunsen の吸収係数からの計算値

\* は Sander による  $100^\circ\text{C}$  での値、Ellist による  $100^\circ\text{C}$  以上での実験値から求めた内挿値

沸騰泉と比べて少量であり、またこれより低温のものでは、析出が認められないから、沈澱物の効果は無視されてよく、(1)式は次のように簡単化される。

$$\text{pH} = \text{pH}_0 + \log \left( 1 + \frac{V}{\ell} \right) \quad (2)$$

表1には、 $\ell$ の値と共に、種々の温度とVの値に対する  $\log(1 + V/\ell)$  の値を掲げた。これにより、地表でのpH、温度、Vを測定すれば、地下での値pH<sub>0</sub>を求めることができる。

Vの値は、直接測定が困難なので、エアリフトの場合次式で計算されるので普通である。<sup>11)</sup>

$$V = \frac{H + h_e}{23 \log \frac{H_s + 10}{10}} \quad (3)$$

ここに、H、H<sub>s</sub>およびh<sub>e</sub>はメートル単位で表わした水柱の高さで、それぞれ揚程、エア管下端から動水位までの長さおよび摩擦による水頭損失である。

図3は、亀川温泉における  $\log(1 + \frac{V}{\ell})$  と実測されたpHの関係である。この場合第1近似としてh<sub>e</sub>を無視したが、両者の間にはほぼ直線関係のあることが認められ、各点はpH<sub>0</sub>=7の場合の理論直線のまわりに分布している。

そこで別府南部域についても同様の近似計算を行ない。各  $\log(1 + \frac{V}{\ell})$  とpHの関係を図1に示す地図上の位置と対比させて、図4のようにプロットした。

$\log(1 + \frac{V}{\ell})$  が大きいほどpHも大きいという傾向はあるが、各点はグラフ上に巾広い帯となって

分布し、地下のpH<sub>0</sub>値は、亀川と異なり、いろいろな値を示すことがうかがわれる。このことは、この地域の温泉水が、化学成分濃度、組成比、温度など多様であることから予想されることである。そのうちで、別府駅以北の海岸部では地表でのpHが8に近い値を示し、pH<sub>0</sub>=7.6の理論直線のまわりに分布している。しかし、資料不足のため、 $\log(1 + \frac{V}{\ell})$  を求めることのできなかつた温泉のうちには、地表の測定値でもpH=7.5より低い値を示すものがあり、さらに検討を要する。

この範囲を除くと、別府南部域の50~60℃前後のほとんどの温泉はpH<sub>0</sub>が6.4~7.2の間にあるとみなせる。そのうちでも黒丸で表わされる別府駅付近と山の手の温泉では6.4~6.8の間に分布している。また、別府駅より海岸方向の小地域にpH<sub>0</sub>が6.4以下の値を示すものがある。

さて、温泉水など陸水のpHは、HCl性やH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>性の強酸性の場合を除くと、それが地層と化学平衡にあれば、炭酸成分と地層中に広く分布する炭酸塩の溶解積によって決まるのが普通である。しかし、緑泥石やモンモリロナイトなどの粘土鉱物があれば、その影響を受けてpHの値は複雑な値をとることになる。

別府南部域の地下にはカルサイトと共に、粘土鉱物も見出されているから、温泉水のpH<sub>0</sub>はいたる所で、この両者との平衡関係により決められていると考えられる。この場合カルサイトのみによって

図3：亀川温泉におけるpHと  $\log(1 + \frac{V}{\ell})$  の関係

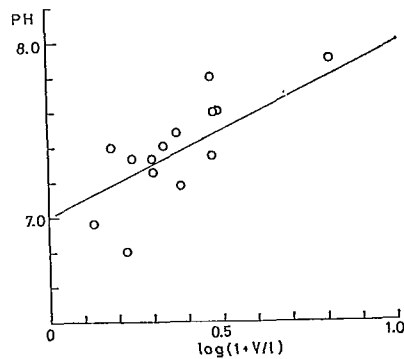
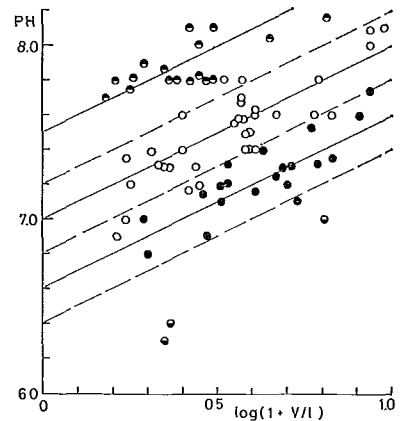


図4：別府南部域におけるpHと  $\log(1 + \frac{V}{\ell})$  の関係。  
(各印は図1のそれと対応)



決まる pH 値を最低値として、粘土鉱物の影響のされ方の度合い（粘土鉱物の種類による）にしたがって、これより高い値を示すことになる。このように考えれば、別府南部域で、上記の補正法により得られた上限に近い値  $pH_0 = 7$  は粘土鉱物の影響の大きい場合に当り、単にカルサイトとの平衡で決まる値（温度、与えられる炭酸量で異なる。5節および表3参照）が下限値を示すとみなすことができる。

#### 4 地下蒸気の特徴

野口<sup>9)</sup>による白竜井の噴気測定によれば、温度は 141°C で、過熱蒸気と思われる。測定は 1 気圧の下で行なわれたとすると、この蒸気のエンタルピーはおおよそ 660 cal/g で、熱水がこれと平衡状態にあるとすれば、その温度は約 170°C である。

古賀<sup>12)</sup>は山下<sup>5)</sup>のデータを用いて、Na/K 法により山の手の沸騰泉の地下での温度を 130~155°C と推定した。また山下は、ボーリング時に得られた地温のデータから熱の温度を 180°C としている。これらからみて、ここに仮定した熱水や、それに平衡する蒸気の熱的性質はこの地域における一般値に近いとみてさしつかえないであろう。

この蒸気につき地表で測定された炭酸ガスの体積百分率はおよそ 1.4% で、他のガス量はきわめて少なく、その他は近似的に水蒸気のみと仮定される。地下蒸気層中の組成がこれと同じとすれば、地下での炭酸ガス分圧  $P_{CO_2}$  は次式により計算される。

$$0.014 = \frac{P_{CO_2}}{P_{CO_2} + P_{H_2O}} \quad (4)$$

ここで、 $P_{H_2O}$  は水の飽和水蒸気圧で、170°C では 8.35 気圧であるから、 $P_{CO_2} = 0.11$  気圧と求められる。このとき、炭酸成分についても、平衡状態が成り立っているとすれば、熱水中の  $H_2CO_3$  のモル濃度は次式により与えられる。

$$[H_2CO_3] = \frac{\ell}{RT} P_{CO_2} \quad (5)$$

ここに、 $R$  は気体定数、 $T$  は絶対温度である。これに  $P_{CO_2} = 0.11$  気圧を代入すれば、 $[H_2CO_3] = 1.1 \times 10^{-3} \text{ mol}/\ell$  となる。

この地域の熱水層中にはカルサイトの存在が指摘されており、熱水がこれと化学平衡にあるとすれば、アルカリ度は次のようになる。

$$[Alk] = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \frac{\sqrt{[H_2CO_3] P}}{\gamma_1 \gamma_3 \sqrt{[Ca^{++}] \gamma_3}} + \frac{2 P}{\gamma_2 \gamma_3 [Ca^{++}]} \quad (6)$$

ここに  $K_1$ 、 $K_2$  は炭酸の 1 次および 2 次解離定数、 $P$  はカルサイトの溶解積で、それぞれ、 $K_1 \sim 10^{-6} (\text{mol}/\ell)$ 、 $K_2 \sim 3 \times 10^{-10} (\text{mol}/\ell)^{13)}$  および  $P \sim 10^{-11} (\text{mol}/\ell)^{214)}$  程度の値である。また  $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 、 $\gamma_3$  はそれぞれ  $HCO_3^-$ 、 $CO_3^{--}$  および  $Ca^{++}$  の活量係数で、沸騰泉のイオン強度が、およそ  $0.04 (\text{mol}/\ell)$  であることから、熱水もこれに近いとして、すべて 0.6 と仮定する。

(6)式に、これまで分析された沸騰泉での  $Ca^{++}$  のモル濃度  $10^{-4} \sim 10^{-3} (\text{mol}/\ell)$  を代入して求めると、 $[Alk] = [HCO_3^-] = 25 \sim 80 (\text{mg}/\ell)$  となって、測定されている値とそれほど違わない。

したがって、別府南部山の手一帯の地下蒸気の特徴として、上記の各値を用いる。

#### 5 地下蒸気の供給により生じ得る $HCO_3^-$ 濃度

前節に述べたような特性をもつ地下蒸気の供給による炭酸成分生成量を求めるため、ここではその上限値として、冷地下水に蒸気のみが混入し、液体として、熱水の寄与はない場合について考える。

エンタルピー  $i_1$  の蒸気  $x_1 \text{ gm}$  が、エンタルピー  $i_2$  の冷地下水  $x_2 \text{ gm}$  に吸収されて、エンタルピー  $i_0$  の温水になり、その後この系外と熱入がないとすれば、次式が成立つ。

$$x_1 (i_1 - i_0) = x_2 (i_0 - i_2)$$



したがって、この温水 1 gm中に含まれる蒸気の量は次のように求められる。

$$\frac{x_1}{x_1 + x_2} \frac{i_0 - i_2}{i_1 - i_2} \quad (7)$$

つぎに、蒸気が水蒸気と炭酸ガスのみで成り立っているとすれば、蒸気 1 グラム中の炭酸ガスの重量は

$$44V_{CO_2} / (18V_{H_2O} + 44V_{CO_2}) \quad (8)$$

で与えられるから、生じた温水 1 グラム中に吸収された炭酸ガスの重量 C は、(7)、(8)より

$$C = \frac{i_0 - i_2}{i_1 - i_2} \cdot \frac{44V_{CO_2}}{18V_{H_2O} + 44V_{CO_2}} \quad (9)$$

で与えられる。ここに、 $V_{H_2O}$ と $V_{CO_2}$ は蒸気の水および炭酸ガスの体積組成比である。ただし、冷地下水にもともと含まれている炭酸の量は無視する。

蒸気のエンタルピー $i_1$ は、 $CO_2$ などガス成分による寄与は小さいと考えられるから、水蒸気の値 660cal/gとする。また冷地下水の温度として、吉川は16°C、山下は18°Cとしたが、ここでは簡単のため20°Cとし、したがって、 $i_2 = 20\text{cal/g}$ となる。もし熱水混合後を考えるときは、もっと高温にとればよい。また $V_{CO_2}$ は0.014、 $V_{H_2O}$ はこれを差し引いた残りの0.986とおく。

これより、温水の温度が50°C ( $i_0 = 50\text{cal/g}$ ) および60°C ( $i_0 = 60\text{cal/g}$ ) になったとすれば、Cはそれぞれ1.6g/kgおよび2.1g/kgと計算され、温水の密度を1g/cm<sup>3</sup>とすれば、モル濃度は50°Cで36mmol/l、60°Cで48mmol/lとなる。

この温水が地下を流動する途中で地層と反応した場合、どの程度の $HCO_3^-$ を生ずることになるかを次に求める。

これまで別府南部域で得られたボーリングコア試料の分析によれば、地層に含まれている鉱物のうち、温泉水に炭酸成分を与えると考えられる主要なものは $CaCO_3$  (カルサイト) である。したがって、この温水がカルサイトを溶出したとき、 $Ca^{++}$ と同モル数の炭酸成分を新たに得ることになるから、物質の保存式より、

$$C + [Ca^{++}] = [H_2CO_3] + [HCO_3^-] + [CO_3^{--}] \quad (10)$$

さらに、この温水はカルサイトと化学平衡にあると仮定すれば、(10)式は次のように書ける。

$$C + \frac{P(H^+)}{\gamma_1 \gamma_3 K_2 [HCO_3^-]} = \frac{(H^+)(HCO_3^-) \gamma_1}{K_1} + [HCO_3^-] + \frac{K_2 [HCO_3^-] \gamma_1}{\gamma_2 (H^+)} \quad (11)$$

(11)式中の各定数値は表2に掲げたが、活量係数は別府市街部の温泉水のイオン強度がおおよそ0.03mol/l<sup>16)</sup>であることから求めたもので、50°Cと60°Cの場合、それほど変わらないから、同じ値を使用する。

表2 計算に用いる定数値

温度(°C)	$K_1(\text{mol/l})^{13)}$	$K_2(\text{mol/l})^{13)}$	$P(\text{mol/l})^{2,14)}$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	C(mol/l)
50	$5.3 \times 10^{-7}$	$6.6 \times 10^{-11}$	$1.9 \times 10^{-9}$	0.8	0.5	0.5	$36 \times 10^{-3}$
60	5.7 //	7.7 //	1.2 //	//	//	//	48

(11)式に表2の値と、pH値から換算される水素イオン活量 ( $H^+$ ) を代入すれば、 $[HCO_3^-]$  が求められる。

そこで、まず温水が海岸部を除く範囲でのpH<sub>0</sub>のおおよその上限に近い値7、したがって ( $H^+$ ) =  $10^{-7}(\text{mol/l})$ になったときの  $[HCO_3^-]$  を求めると、温度が50°Cの場合 31mmol/l ( $\approx 1900\text{mg/l}$ )、60°Cの場合 42mmol/l ( $\approx 2600\text{mg/l}$ )となり、多量の $HCO_3^-$ が生ずることになる。このとき、地層から溶出されるカルサイトの量は

$$[Ca^{++}] = \frac{(H^+) \cdot P}{\gamma_1 \gamma_3 K_2 [HCO_3^-]} \quad (12)$$

より求められ、50°Cおよび60°Cのとき、それぞれ $2.3 \times 10^{-4}$ および $9.6 \times 10^{-5}(\text{mol/l})$ となる。これは

非常に少ないようにみえるが、別府温泉のHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>が1000mg/ℓを越える温泉水で測定されたCa<sup>++</sup>濃度の最小値に近い値である。

つぎに、pH が粘土鉱物の影響を受けず、カルサイトによって決まる場合を考える。これは3節でも触れたようにpHの最小値の場合に当る。

このときは(10)の物質保存式と、Σアニオン=Σカチオンの電気的中性の式を連立させて解くことができるが、多次多項式となり計算がむつかしくなるので、ここでは第1近似として

$$2 [Ca^{++}] \approx [Alk] = [HCO_3^-] + 2 [CO_3^{--}] \quad (13)$$

が許されるものとする。

(10)、(13)式より

$$\begin{aligned} 2C &= 2 [H_2CO_3] + [HCO_3^-] \quad \text{炭酸成分の平衡より} \\ &= 2 \frac{(H^+)}{K_1} [HCO_3^-] \gamma_1 + [HCO_3^-] \end{aligned} \quad (14)$$

また、(12)、(13)式と炭酸成分間の平衡より

$$\frac{(H^+)}{K_2 [HCO_3^-]} = \left( \frac{K_2 \gamma_1}{(H^+) \gamma_2} + \frac{1}{2} \right) [HCO_3^-] \gamma_1 \gamma_3 \quad (15)$$

したがって(14)と(15)式より(H<sup>+</sup>)を消去して、[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = xと書けば、次式が得られる。

$$\left( \frac{\gamma_2 \gamma_1}{\gamma_3} K_2 - \frac{\gamma_3}{4 \gamma_1} K_1 \right) x^4 + \frac{\gamma_3 C K_1}{2 \gamma_1} x^3 - \frac{PK_1^2}{4 K_2 \gamma_1^3} x^2 + \frac{CPK_1^2}{K_2 \gamma_1^3} x - \frac{PK_1^2 C^2}{K_2 \gamma_1^3} = 0 \quad (16)$$

この式を試行錯誤的に解くと、[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]は50℃の場合 14mmol/ℓ (=850mg/ℓ)、60℃の場合 13mmol/ℓ (=790mg/ℓ)と求められる。またpHは(14)また(15)からそれぞれ、5.9および5.6となる。

以上の計算結果は表3にまとめた。

境川沿いのHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>高濃度域の泉温はおおよそ50℃であるから、[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]は表3より850~1900mg/ℓの値を、また[Ca<sup>++</sup>]はおおよそ280~10mg/ℓの値をとり得ることになる。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の上限値1900mg/ℓというような高濃度の水は見出されていないが、Cl量がいかに少ないとは云え、100mg/ℓは含んでるいから、熱水の寄与を受けているに違いなく、これに見あう分だけ供給蒸気量が少ないためもある。

表3 (11)、(16)式などによる計算結果

i) pH=7のときの[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]と[Ca<sup>++</sup>]

温度(℃)	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (mol/ℓ)	[Ca <sup>++</sup> ] (mol/ℓ)
50	31×10 <sup>-3</sup> (1900mg/ℓ)	2.3×10 <sup>-4</sup> (9.2mg/ℓ)
60	42 " (2600 " )	9.6×10 <sup>-5</sup> (3.8 " )

ii) pHがカルサイトとの平衡のみにより決まる場合

温度(℃)	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (mol/ℓ)	[Ca <sup>++</sup> ] (mol/ℓ)	pH
50	14×10 <sup>-3</sup> (850mg/ℓ)	7×10 <sup>-3</sup> (280mg/ℓ)	5.9
60	13 " (790 " )	6.5 " (260 " )	5.6

もっと詳しい見積りは将来にまつとしても、この範囲のHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>量は蒸気の混入を仮定することにより説明できるようである。

つぎに、旧市街およびその上流部のHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>が500mg/ℓ前後の地域について考える。

この一帯の温泉は、境川沿いのものに比べ泉温が若干高く60℃前後を示すものが多い。このうち、いわゆる海門寺温泉脈に相当する範囲ではCl量が500mg/ℓと割合多く、熱水混合の割合が大きいと考えられる。一方泉温は極端に高いわけではないから、地下蒸気の供給量は境川一帯に比べ小さい解釈することもでき、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>量の少ない理由をこれに求めることも可能である。

しかし、井戸深が100m前後の、かつては優勢な自噴地帯であった田の湯温泉脈を中心とする一帯およびその上流部では、Cl量が100mg/ℓ前後と境川沿いのものと同程度であるから、熱水の寄与はほぼ同じ、したがって蒸気供給量はむしろ大きいと考えられる。温度が60℃になるときのHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>量は、

表より790~2600mg/ℓの範囲となるから、実測されている濃度よりもっと高濃度を示すものがあるてもよい筈であるが、そのようなものはひとつも見出されていないのはどうしてであろうか。

ここに考えた地下蒸気の圧力は、4節でみたように、およそ8.5気圧 ( $P_{H_2O} + P_{CO_2}$ )であるから、蒸気の冷地下水への混入は、水圧がこの圧力より低い所、すなわち静水圧で近似して地下水面から75mより浅い所で起る。この混入が起った場所では、水と蒸気泡の混在状態となっているであろうが、泡は水蒸気凝結の形で熱を周囲の地下水に与え、また同時にガス成分も与えつつ上昇しながら消滅してゆくであろう。前記の境川沿いにおける熱と炭酸供給機構は、このように泡として入ってきた蒸気の持つ全熱量と全ガス成分が地下水に吸収された場合に近いものと理解される。

しかし、蒸気の供給深度によっては、水圧と泡内部の圧力低下状態の兼ね合いで、蒸気泡が消滅するまでに地下水面を通して空気中へ逃げ去る場合が考えられる。たとえば、自由地下水面附近、すなわち1気圧に近い圧力、温度60℃で、蒸気泡と混在する温泉水について考えると、炭酸は、この温度の水蒸気圧約0.2気圧を差し引いた残り、したがって0.8気圧の炭酸ガス分圧に見合う量しか水中にとどまれない。この量は(5)式より、13mmol/ℓと計算される。

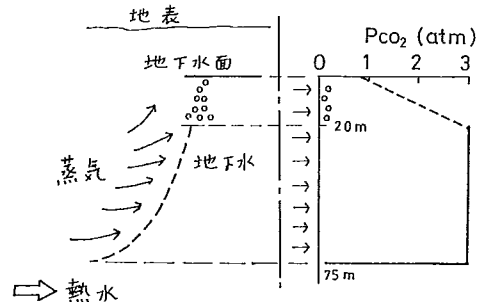
このときも先と同様に、地下水には蒸気の熱量とともに48mmol/ℓの濃度をつくるだけの炭酸ガスが与えられている筈であるが、水面を通してガスが逸出するために13mmol/ℓしか含み得ないわけである。

この温泉水がカルサイトに関して飽和状態となり、粘土鉱物の影響で  $pH=7$  となったとすれば、(11)式より  $HCO_3^-$  は11mmol/ℓ ( $\equiv 670mg/ℓ$ )となる。また下限として、カルサイトの溶出のみを考えれば(10)式などから、 $HCO_3^-$  は8mmol/ℓ ( $\equiv 490mg/ℓ$ ) および  $pH=6.1$  となる。ここに得られた範囲の  $HCO_3^-$  濃度は、対象としている地域の  $HCO_3^-$  濃度を説明できる値である。

図5は上に述べた境川沿いと旧市街域における炭酸の与えられ方の違いを比較するための模式図である。地表近くで地下蒸気の供給を受けたものが、図中の炭酸ガス泡発生域の水で、これが流下して旧市街地およびその上流部の水系を作る。また比較的深所で蒸気と出合ったため、炭酸ガス泡が発生せず、多量の炭酸を含み得た水が境川沿いの高  $HCO_3^-$  濃度の水系に相当する。

このように、南部山岳一帯の地下にある蒸気層が炭酸ガス供給源となり得る可能性が与えられ、また吉川により指摘されていた別府南部の3つの温泉水系は、冷地下水に対する熱水および蒸気の寄与に地域的な違いを考えて解釈できる。その地域的詳細については、別報告に述べる。

図5：蒸気供給による60℃地下温泉水の炭酸ガス分圧



### 参 考 文 献

- 1) 吉川:大分県温泉調査研究会報告2号、pp.53~66、1951
- 2) 古賀:同上20号、pp.59~62、1969
- 3) 由佐:温泉科学22巻1~2号、pp.27~37、1971
- 4) 由佐、川村:大分県温泉調査研究会報告22号、pp.55~65、1971
- 5) 山下:同上16号、pp.44~47、1965
- 6) 工業技術庁:地熱発電試験研究報告1集 p.80、1952
- 7) 由佐:大分県温泉調査研究会報告20号、pp.43~52、1969
- 8) 吉川、由佐:同上19号、pp.45~59、1968

- 9) Seidell,A.:Solubilities of Inorganic and Organic Substances., p228, 1919
- 10) Ellis,A.J.:Am. Jour. Sci. Vol.. 257, pp.217~234, 1959
- 11) 日本機械学会:機械工学便覧など
- 12) 古賀:大分県温泉調査研究会報告19号、pp.21~26、1968
- 13) Smith,F.G.:Physical Geochemistry:p.250、1963
- 14) Ellis,A.J.:Am. Jour. Sci., Vol. 257、pp.354~365、1959
- 15) Ellis,A.J.:同上、Vol. 261、pp.259~267、1963
- 16) 諸住:化学熱力学概説、pp.139~141、1969

# 九重火山地域における温泉の水系 (IV)

## 温泉水中のアルカリ元素について

京都大学理学部 山 下 幸 三 郎

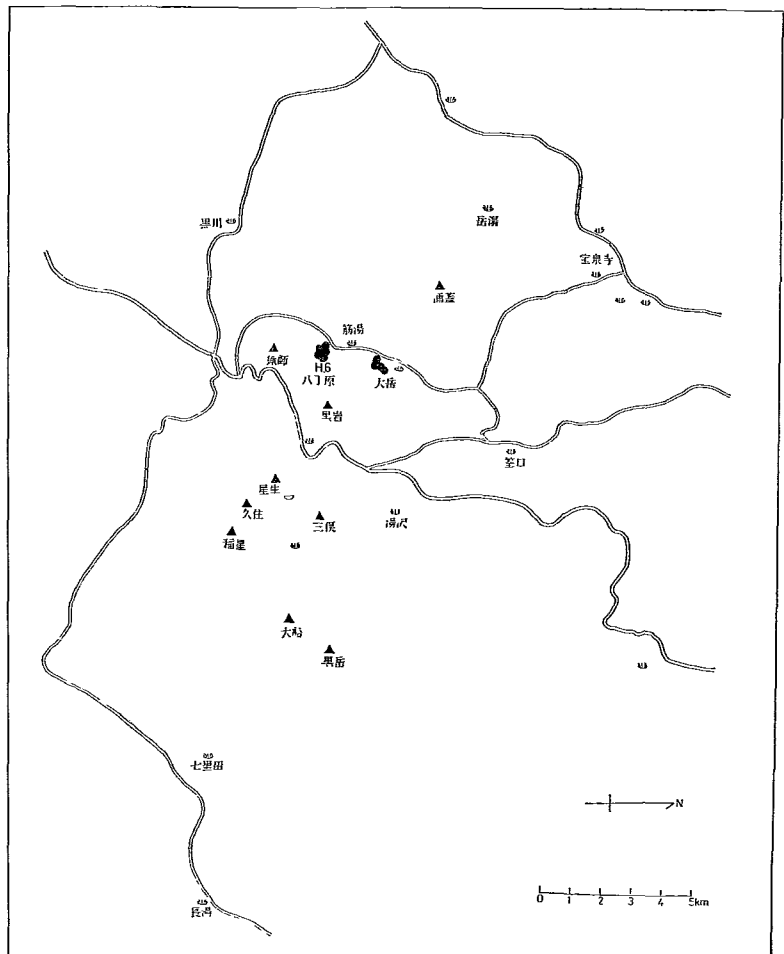
### 1 緒言

アルカリ元素は温泉水中の主要なカチオンであると共に、他の陸水と比較して著しき相違があって温泉水を特長づける成分である。又これらの成分は温泉水の生成や、湧出過程における物理化学的な条件を暗示する成分として注目されている。筆者は別府温泉や九重火山地域にある地熱発電井水中のアルカリ元素の含有量や溶存比と岩石中の含有量や含有比とを比較対照して、温泉水中のアルカリ元素はすべて壁岩からの溶出であると推測した<sup>1)</sup>。

同一地域内の温泉ではこれらの元素相互間には可成明瞭な相関関係を持つ例が多く、温泉水系の識別や、温泉水の流動拡散などの考察に有力な手がかりになっている。しかし温泉全般については可成り広範囲に亘る溶存量や元素間の溶存比に違いがあって、これが解明について各種の水系の混合のみでは説明出来ない多くの問題がある。

前回大岳、八丁原の地熱地帯の地下岩石の化学組成の変化から、熱水の生成過程について報告したが、今回八丁原で新たに掘られたH. 6井、(深度1238m)で得られたコアについてアルカリ元素を分析すると共に、九重火山地域内の温泉についても分析し、岩石中から熱水による溶脱状態と、温泉水中の溶存量とを比較対照して、地下における岩石と熱水の相互作用による溶脱、或は熱水変質鉱物の生成による熱水からの離脱や、これが結果の反映である温泉水中の溶存量や溶存比など、これら元素の行動につい

図1 九重火山地域における温泉分布



て考察した。

## 2 調査温泉の概況

調査した温泉は図1に示す九重火山地域内にある温泉で、大岳八丁原にある地熱発電井及び周辺の筋湯その他の自然湧出泉。涌蓋山西方山麓にある宝泉寺、その周辺の温泉、串野、壁湯、川底、の各温泉、岳湯にある通産省の地熱発電調査井。九重連山の南麓にある長湯、七里田、黒川の各温泉。北麓では湯沢、釜口の温泉である。

これらの温泉の内大分県内の温泉については多くの調査報告があるので省略する。<sup>2, 3, 4)</sup>

熊本県内にある岳湯の地熱発電調査井は岳湯、はげ湯の自然噴気地帯にあり、蒸気混りの熱水が多量に湧出している。泉質は大岳の地熱発電井水と全く同じである。又黒川温泉は獺師岳の西南麓にあり、谷川の川岸に湧出し、川岸には未利用の高温多量の自然湧出泉があるが、他はボーリングによるもので、沸騰泉に近い状態で湧出している。泉質は酸性 (pH3.2~4.3) で含芒硝弱食塩泉である。

表1 九重火山地域の温泉のアルカリ元素含有量 (mg/l)

温泉名	泉温(℃)	pH	Na	K	Li	Rb	Cs	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	
八丁原	H.1		8.2	1400	292	10.8	5.56	1.56	2430	59	138
	H.2		3.1	1170	194	6.1	3.35	1.12	1920	—	325
	H.3		5.2	1300	238	8.0	4.38	1.32	2080	12	70
	H.4		7.3	1370	286	9.9	5.34	1.50	2370	22	78
	H.6		7.6	1420	269	9.3	4.76	1.50	2340	35	74
大 岳	7		8.4	776	94	3.72	1.60	0.64	1070	86	269
	8		8.4	860	110	4.00	1.90	0.68	1270	58	248
	9		8.4	896	124	4.40	2.20	0.78	1380	49	180
	10		8.7	1030	130	4.95	2.20	0.94	1590	77	132
筋 湯	かくおや		3.4	174	34	0.96	0.55	0.20	246	—	100
	薬師湯	54.5	3.7	150	30	0.92	0.44	0.13	263	—	88
	ちくごや	59.0	3.5	178	35	1.06	0.50	0.16	295	—	90
ひぜん湯	穴 井	87.0	6.3	333	52	0.78	0.60	0.13	472	54	368
河原湯	森	66.0	6.0	27	12	0.038	0.086	0.006	35.2	95	74
黒 川	観光ホテル	77.0	3.3	382	81	2.20	0.90	0.24	574	—	290
	いこい旅館	99.0	3.2	438	94	2.50	1.00	0.31	668	—	312
	新明館(1)	95.0	3.4	338	78	1.88	0.80	0.22	479	—	276
	全 上(2)	97.5	3.4	358	78	1.94	0.84	0.24	514	—	276
	大名館	95.2	3.4	354	79	1.92	0.82	0.20	518	—	364
	地蔵湯	92.8	3.4	342	76	1.84	0.80	0.22	487	—	304
	青雲山荘	81.5	4.3	452	93	2.50	1.04	0.29	663	—	340
	お客屋	96.0	3.3	410	90	2.38	0.98	0.27	642	—	320
	自然湧出	99.3	3.3	410	87	2.32	0.98	0.29	609	—	304
	岳 湯	通産省	98.0	8.4	872	117	4.24	2.04	0.70	1380	73
七 里 田	上 湯	37.5	7.0	406	72	0.88	0.18	0.004	334	1640	548
	下 湯	38.2	6.3	362	63	0.78	0.17	0.004	293	1530	536
長 湯	甲 斐	40.0	6.5	378	62	0.78	0.18	0.006	162	2210	397
	豊泉荘	50.0	6.8	486	115	0.96	0.30	0.01	243	3140	496
	葛洲湯	40.5	6.6	426	69	0.86	0.19	0.0072	186	2350	428
	峯 野	42.0	6.6	430	70	0.84	0.20	0.0072	196	2560	450
	老人ホーム	44.8	6.7	462	79	0.92	0.23	0.008	211	2840	450
	愛泉館	37.2	6.5	374	59	0.68	0.19	0.006	168	2180	372
	松 山	38.6	6.5	326	60	0.62	0.19	0.006	160	2150	370
	大 塚	34.0	6.2	222	41	0.44	0.15	0.0048	102	1510	184

長湯	紅葉館	41.2	6.5	156	37	0.32	0.12	0.006	57.7	1650	98	
	大丸	49.1	6.8	436	83	0.76	0.21	0.009	210	2700	408	
	天満湯	45.3	6.7	274	70	0.54	0.21	0.009	156	2510	350	
	元天満湯	37.0	6.3	228	47	0.44	0.16	0.007	118	1590	284	
	町有	38.2	6.6	348	60	0.68	0.18	0.006	168	2020	396	
	長生湯	41.5	6.6	306	72	0.60	0.18	0.007	174	2420	380	
	丸善	43.5	6.7	430	81	0.70	0.20	0.011	201	2660	384	
	御前湯	41.8	6.5	362	68	0.62	0.19	0.009	165	2320	332	
	上野屋	38.8	6.5	290	55	0.46	0.16	0.008	132	1810	260	
	釜口	新清館	41.5	6.2	278	64	0.68	0.20	0.041	225	1070	366
湯	沢高尾	45.0	5.9	182	37	0.13	0.17	0.005	622	311	775	
	川底螢川荘	84.0	6.8	268	39	1.08	0.27	0.11	410	329	119	
串野	共同温泉	58.0	7.0	218	37	0.41	0.12	0.008	324	117	19	
	壁湯全上	39.1	7.4	68	5.4	0.23	0.046	0.018	98	61	8.8	
宝泉寺	観光ホテル	64.0	7.7	147	12.6	0.44	0.10	0.015	197	98	26	
	田籠	80.0	7.4	164	8.2	0.67	0.074	0.027	219	86	23	
	榎木	55.2	7.4	64	3.2	0.25	0.036	0.008	72	71	8.4	
	湯浅	83.5	7.6	191	12.0	0.71	0.12	0.070	226	86	29	
	松崎	80.0	7.0	194	10.4	0.80	0.096	0.041	262	83	21	
	山の湯	78.2	7.2	182	9.8	0.75	0.090	0.038	254	81	29	
	宝泉荘	87.2	7.3	216	12.0	0.95	0.11	0.059	302	79	17	
	竜泉閣	67.8	7.3	140	6.4	0.58	—	—	175	79	29	
	矢野	84.2	7.1	176	7.6	0.71	0.076	0.027	235	87	16	
	山光園	89.5	7.0	203	10.8	0.85	0.11	0.052	291	81	40	
	佐藤	45.0	7.4	50	10.8	0.13	0.086	0.009	70	65	11	
	宝泉寺駅前	中谷	—	7.8	84	6.0	0.17	—	—	116	64	8.5
		佐藤格次	—	8.5	32	2.4	0.065	—	—	37	59	2.6
		佐藤薬局	42.3	7.9	72	5.6	0.15	—	—	101	60	9.0
		友成病院	40.5	8.1	66	4.8	0.31	0.037	0.013	90	59	7.8
真鍋		34.2	8.4	28	2.4	0.05	—	—	23	54	1.6	
九重		42.5	8.1	54	5.2	0.12	—	—	75	60	6.6	
大扇		45.0	8.0	86	7.0	0.18	0.051	0.018	135	61	12	
竹尾		42.5	8.1	62	5.2	0.13	0.038	0.013	81	62	6.6	
生竜		佐藤熊太	42.0	7.8	106	4.4	0.19	0.040	0.008	141	60	18
		共同温泉(1)	43.2	8.4	98	3.8	0.16	—	—	135	60	23
	全上(2)	35.5	8.2	74	4.8	0.11	—	—	84	75	17	
	佐藤孫次	53.0	8.4	138	2.4	0.26	0.037	0.025	185	62	24	
	福竜	43.5	8.1	110	2.4	0.23	0.026	0.008	152	59	31	

### 3 アルカリ元素の含有量と相互間の関係

アルカリイオンの含有量を全般的にみると、大岳、八丁原の高温な食塩泉で最も多く、次いで黒川温泉である。長湯、七里田、湯沢、釜口などの炭酸物質を多量に含む温泉では Na、K は黒川温泉と略同じ量であるが、他の Li、Rb、Cs は著しく少ない。宝泉寺及びその周辺の温泉では比較的含有量が少なく、泉温の低い温泉程少なくなる。このような泉質や泉温の相違によって含有量に違いがあり、この関係を更に詳しく調べるため成分相互間の関係を求めた。

先づ温泉水で主要なアニオンである Cl と Na の関係を求めると 図 2 のように Cl と Na が主要成分である大岳、八丁原、その周辺の温泉など食塩泉や単純泉では両イオンの間には相関関係があり、Cl 量が 1500mg/l 附近までは両者間には一次関係が成立するが、それ以上の含有量を持つ八丁原の発電井水では Cl 量の増加に対し Na 量の増加が少なく、関係直線は Cl 軸の方向に曲る。この関係は後に述べる

図2 ClとNaとの関係

●八丁原大岳及びその周辺の温泉、宝泉寺及びその周辺の温泉、岳湯  
○黒川温泉  
×長湯、七里田、釜口の各温泉

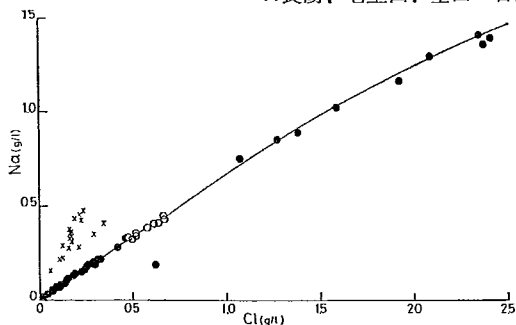


図3 NaとKとの関係

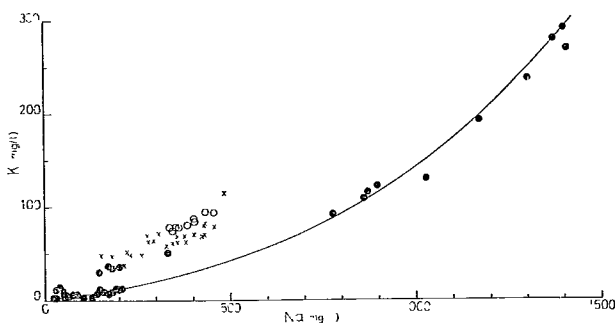


図4 NaとLiとの関係

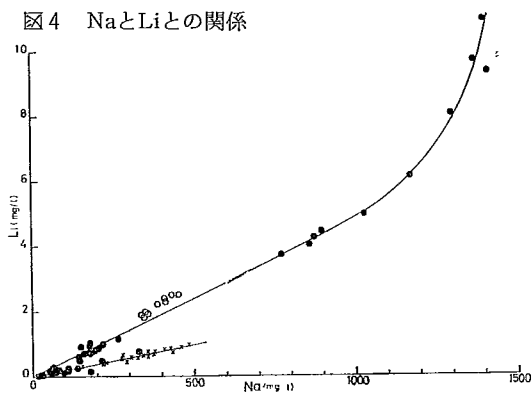
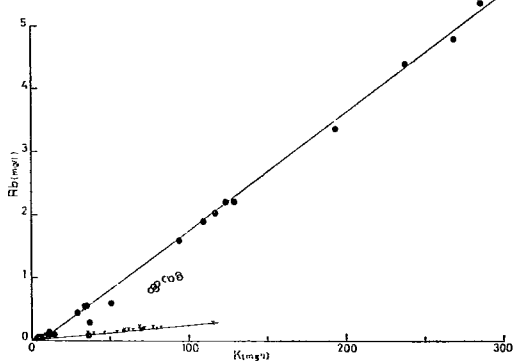


図5.A KとRbとの関係

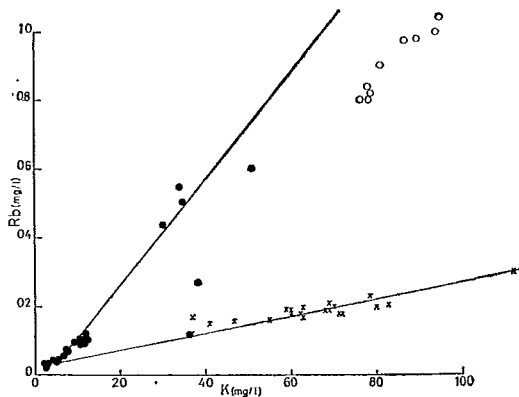


K, Li, Rb の含有量が高温温泉ほど著しく増大することと関連があり、この傾向は温度のみに依存するか否かなど興味ある問題を含んでいると思う。一方炭酸物質を多量に含む長湯、七里田、釜口の温泉では上述の関係から離れ Na 量が多い。これは重碳酸イオンに伴って溶出された Na が溶存することを示している。湯沢の温泉は Cl 量に比して Na 量が著しく少ない。炭酸ガスを多量に含み長湯温泉と同じ湧出状態であるが、化学組成に著しい違いがある。したがって他の温泉と比較して湧出機構が複雑であると思われる。

Na と K との関係 (図3) は Cl が主要なアニオンで、中性又は弱アルカリ性の温泉である大岳、八丁原、宝泉寺、及びその周辺の温泉では、両者の間に相関関係があり、高温な温泉程 Na 量に比して K 量が多くなる。これは壁岩からの両者の溶出比率が温度に関係するからである。したがって両者の関係は K 軸の方向に曲る曲線となる。一方黒川や、筋湯温泉のような酸性の温泉と長湯、七里田、釜口湯沢の各温泉のような炭酸物質を多く含む温泉では上述の関係曲線から離れ、K 量が著しく多くなる。このように両者の溶存比が大きく変化するのは壁岩からの溶出に参与するアニオンの種別や、pH、温度、などに関係があると思われる。

Na と Li の関係 (図4) は Cl が主要なアニオンで中性又は弱アルカリ性の温泉

図5.B KとRbとの関係





である八丁原、大岳、宝泉寺の各温泉では相関関係があり、Na量が1,000mg/ℓ、Li量が5mg/ℓまでの温泉では略一次関係が成立するが、これ以上の含有量をもつ八丁原の発電井水ではNaの増加に対して、Li量が著しく増加し、Li/Naは増大する。したがって両者の関係直線はLi軸の方向に曲る曲線になる。酸性の温泉である黒川、筋湯の温泉では上述の関係直線から離れ、Liが幾分多くなる傾向がある。重炭酸を主要なアニオンとする長湯、七里田、釜口の各温泉ではNa量に比してLi量が著しく少ない。これらの温泉も亦NaとLiの間に上述の関係とは別の一次関係が成立する。又宝泉寺周辺の泉温の低い温泉はこの直線上にある。このような関係からLiの壁岩からの溶出はこれに関与するアニオンの種類によって変化し、又NaとKの関係と同様、温度によっても変化することを示している。

岩石中においてはRbはKと行動を共にすることが認められている。温泉水でも同様な関係があり、

図5 A・Bで示すように、Clを主要アニオンとする温泉では両者間に一次関係が成立する。しかし酸性である黒川温泉では上述の関係直線から離れ、Kが多くRbが少ない。又炭酸物質を多く含む温泉ではKに比してRbは更に少ないが、これらの温泉も亦両者間に一次関係が成立する。したがってKとRbとの関係においてもNaとLiとの場合と同様に溶出に関与するアニオンの種類によって一定の溶出比率を以て壁岩から溶出されることを示している。

この場合、温度による影響はNaとLiとの関係に比して少ない。

温泉水中のKとRbの溶存関係については後述の岩石からのKとRbの溶出関係から更に詳しく述べる。

NaとCsとの関係(図6)では前述のNaとLiとの関係と略類似し、Clを主要なアニオンとする温泉では両者の関係は曲線となる。しかし関係曲線はCs量が高温な高濃度の温泉で急激な増加がないので直線に近い形となる。この関係でも酸性である黒川、筋湯の温泉ではNaに比してCsの溶出が幾分多くなる。一方炭酸物質を多量に含む、長湯、七里田、釜口の温泉ではCsの溶存量は著しく少ない。

RbとCsの関係は別府温泉でも

図6 NaとCsとの関係

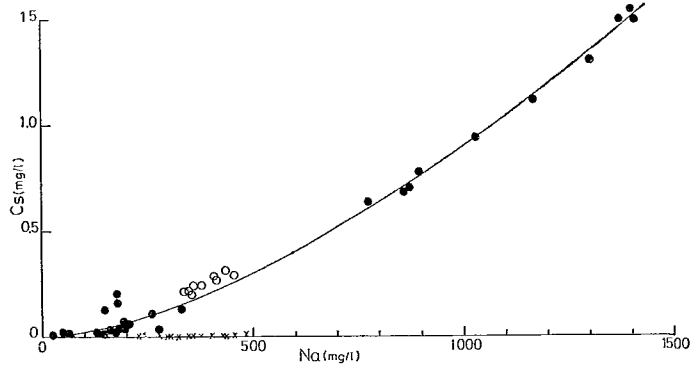


図7 RbとCsとの関係

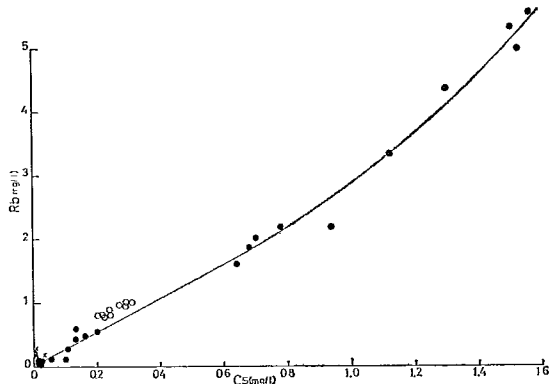
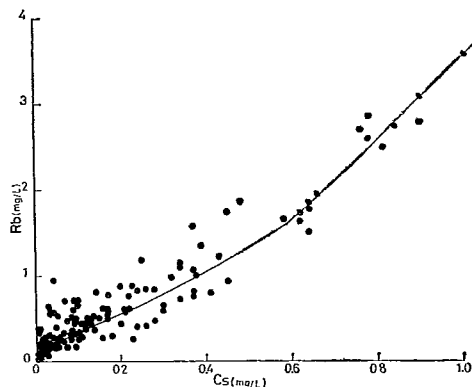


図8 別府温泉におけるRbとCsとの関係



同様な関係があるのでこれを図示すると図7のように、Clを主要なアニオンとする温泉では両者の溶存量が少ない場合略一次関係が成立するが、濃度が高くなるとRb軸の方向に曲る曲線になる。この関係は上述のNaとK及びNaとCsの関係から明らかのように、RbはKと共に温度の上昇により溶存量が急激に増大するのに対し、Csの増加が少ないからである。Csはアルカリ元素中最も活性が強いと云われているが、Li,Rbなどに比較して溶存量は少ない。これは岩石中の含有量がLi,Rbに比して著しく少ないからであろう。(表4参照)しかし温泉水中の溶存比は炭酸物質を多く含む温泉を除けば、岩石中の含有量比よりも可成り大きい。したがってCsの方が溶出されやすいことを暗示している。酸性である黒川温泉ではKに比してRb,Csの溶出が少ない。恐らく温泉は硫酸酸性であり、壁岩との相互作用による変質鉱物の生成と関係があるように思う。

以上述べた以外のアルカリ元素相互間の関係は既に述べた関係から推察されると思われるので省略する。

#### 4 岩石からの溶出と温泉水中の溶存量との関係

大岳八丁原の地熱発電井のボーリングで得られた地下岩石の資料から、化学成分の熱水への溶脱、或は熱水中から変質鉱物の生成による離脱について報告したが、今回はその後のH.6井のボーリングで得られたコアについてNa,K,Li,Rbを分析した。Csについては2種の岩石について分析した結果、表4のようにその含有量が著しく少なく、多くの資料についての分析は困難なため行なわなかった。しかし分析した成分の溶脱状態と温泉水中の溶存量についての成分間の関係から略その溶脱状態が推察される。岩石は全て変質しているので成分の溶脱、集積を考察するには変質していない原岩の含有量を知る必要があり、周辺の火山岩について分析した結果(表4参照) Naは2.36~2.24%、Kは1.91~1.54%、Rbは110~98ppm、Liは19~10ppmであった。尚前回の報告で述べたと同様な理由により、含有量は全て灼熱減量を除いた値である。

分析結果を表2に、又これを図にしたのが図9である。

#### 主要変質鉱物記号表

A; Alunite, An; Anhydrite, C;  $\alpha$ -Cristobalite,  
Ch; Chlorite, Ca; Calcite, F; Feldspar,  
G; Gypsum, H; Hydromica, K; Kaolinite,  
M; Montmorillonite, P; Pyrite, Py; Pyrophyllite,  
Q; Quartz,

表2 八丁原(H.6井)における地下岩石のアルカリ元素含有量(灼熱減量を除く)

深度(m)	Na (%)	K (%)	Li (ppm)	Rb(ppm)	主要変質鉱物
11	1.66	0.71	18	27	F, C
23	0.85	0.86	22	77	C, Q
54	1.16	1.47	8.7	98	F, C, Q, P, M
76	1.86	2.08	8.0	175	F, C, A, P, M
101	2.08	2.28	12	158	F, C, A, M
128	1.22	1.85	14	142	F, C, A
159	0.65	1.23	21	123	C, A, P
173	0.60	1.12	6.0	79	C, Q, A, K, P
206	0.39	0.82	14	34	F, C, Q, A, K, P, M
228	0.38	0.85	12	22	C, Q, A, K, P, M
253	0.32	0.42	8.3	20	C, Q, A, K, P
276	0.36	0.90	4.7	81	C, Q, P, M
299	0.71	1.70	5.4	144	F, C, Q, P, M
326	1.50	1.55	6.2	86	F, C, Q, P, M, An
350	1.39	1.58	2.9	102	F, C, Q, P, M, An
373	0.55	0.92	7.1	44	F, Q, P, M, An

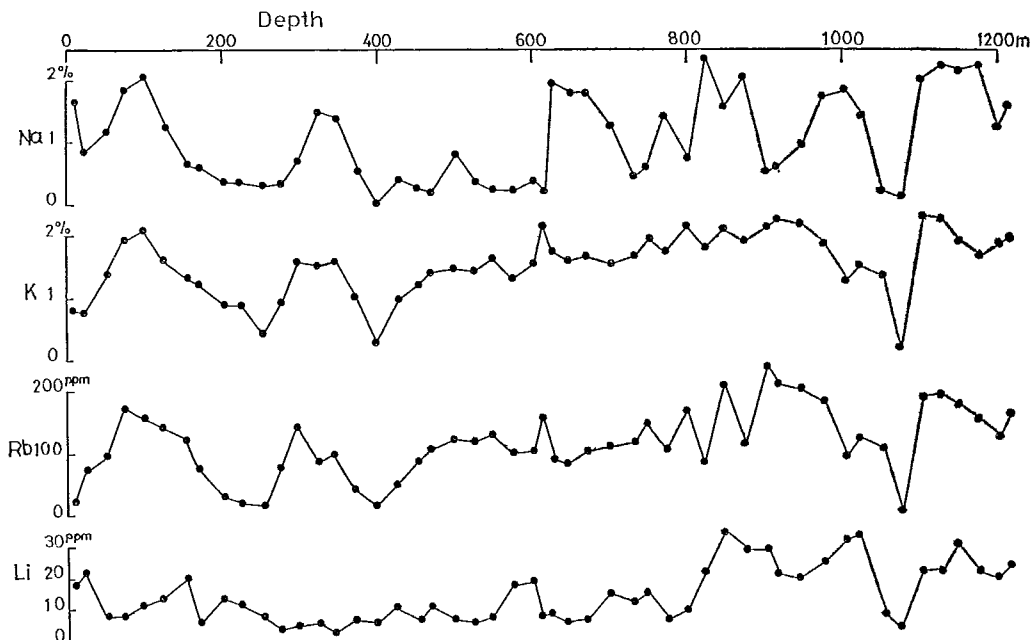
403	0.06	0.35	6.6	18	Q, K, P, An, G
429	0.43	0.99	11	52	Q, K, P, M, An, G
453	0.28	1.15	7.4	89	Q, Ca, K, P, M, An,
472	0.21	1.38	11	109	Q, Ca, K, P, M, An,
502	0.83	1.59	7.2	124	F, Q, Ca, K, P An,
528	0.36	1.73	5.8	121	Q, Ca, K, P, M, An,
549	0.26	1.62	7.7	137	Q, Ca, K, Ch, An,
575	0.24	1.32	18	101	Q, Ca, K, Ch, An,
606	0.42	1.51	19	103	Q, Ca, K, P, Ch, An,
616	0.21	2.26	8.0	158	H, Q Ca, P, An,
625	1.97	1.67	9.1	91	F, Q, Ca, K, M, An,
649	1.79	1.68	6.1	86	F, Q, Ca, K, M,
673	1.79	1.66	8.1	109	F, Q, Ca, K, Ch, An
703	1.29	1.65	15	112	F, Q, Ca, K, Ch, An
732	0.49	1.60	12	119	F, Q, Ca, K, Ch, An
749	0.64	1.85	15	150	F, Q, Ca, K, Ch, An
774	1.45	1.74	7.1	109	F, H, Q, Ca, K, Ch, An
801	0.76	2.18	10	170	F, H, Q, Ca, K, Ch, An
826	2.41	1.59	24	87	F, Q, K, Ch, An
850	1.59	2.06	35	210	F, H, Q, Ca, P, Ch, An
876	2.06	1.87	29	118	F, Q, Ca, K, P, Ch, An
906	0.53	2.32	29	240	F, H, Q, Ca, K, P, Ch, An
920	0.57	2.14	21	211	H, Q, Ca, K, P, An
952	0.93	2.21	20	203	F, H, Q, Ca, K, P, Ch, An
979	1.76	1.79	25	184	F, H, Q, Ca, K, Ch, An,
1006	1.85	1.29	32	95	F, Q, Ca, K, Ch, An
1025	1.44	1.55	33	122	F, Q, Ca, K, P, Ch, An
1051	0.20	1.32	8.4	106	Q, P, An, Py
1077	0.13	0.21	4.2	9.8	Q, An, Py
1103	2.01	2.17	22	190	Q, Ca, K, P, Ch, An, Py
1129	2.28	2.10	22	194	F, Q, Ca, K,
1150	2.16	1.83	31	178	F, Q, Ca, K, Ch
1177	2.27	1.68	22	155	F, H, Q, Ca, K, P, Ch
1200	1.29	1.09	20	125	F, Q, Ca, K, P, Ch, An, Py
1212	1.58	1.98	23	162	F, Q, Ca, K, Ch, An,

Na, K の変化の様相は既に報告した隣接の H. 3 井と略同じである。両元素の変化について特異な点は深度 400m までは略同じ変化をしているが、これ以深では両者の変化は一致せず、Na は尚溶脱の傾向にあるも、K は溶脱が少なくなり、600m 以深では各所に集積した所がある。1051~1077m において著しい溶脱があり、SiO<sub>2</sub> を除く他の成分は全て溶脱されている。恐らく熱水層が存在するか、或は過去において存在していたことを暗示していると思う。

Rb の変化は K の変化と全く一致する。これは Rb が K に随伴して溶脱、集積していることを示している。浅層の 100m 附近で K が集積した所があるが、この集積は X 線分析によれば明礬石があり、これが生成によるものと思われる。この場合 Rb も集積している。又 Na も溶脱も少なく、3 元素とも同一行動をしている。したがって明礬石の生成にはこの 3 元素が共に関与していると思われる。100~500m では K, Rb, 共に多量の溶脱があるが 500m 以深では溶脱が少なくなり、各所に集積された所がある。この集積した所では水雲母か絹雲母があり、この場合 Na の集積はない。

Li の変化は地下 800m までは溶脱されているが、800m 以深では多量の集積が起こっている。溶脱や集積の詳細な様相は上記 3 元素のそれとは異なり、別の行動をしている。浅部の明礬石の晶出した所

図9 八丁原における地下岩石中のアルカリ元素の変化



では Li は溶脱していて、明礬石の生成には関与しないようである。しかし深部の雲母類の生成された所では Li の集積があり、変化の様相は K,Rb, に似ている。したがって雲母類の生成には Li が関与して Na は関与してないように思われる。

K と Rb とは全く同一行動をしているので、両者の溶脱、集積の関係を更に詳しく調べるため、K 量と Rb 量との関係を図10に示す。

浅層では明礬石のような硫酸酸性の変質鉱物があり、熱水変質は酸性条件下で行なわれたと推察され、又 500m 以深ではカルサイトや水雲母などあって、熱水は中性又はアルカリ性であると思われる。したがってこのような熱水の性質による溶脱や集積に相違があるか否かを確認するため、K の溶脱の大きい500 m 以浅と、集積の多い以深とに分けると図のように溶脱、集積関係に違いのあることが認められる。即ち浅部の酸性条件下での溶脱集積は K の増減に対し Rb のそれは少なく、深部のアルカリ条件下では大きくなる。このような岩石中の成分の溶脱や集積はこの中を流れる熱水によって起こされたのであるから、この結果は熱水に反映するはずである。したがって岩石中の K と Rb との溶存比に略合致すると推察される。両元素の岩石中の溶出比率及び温泉水中の溶存比を求めると次表の如くなる。

図10 岩石中のKとRbとの関係

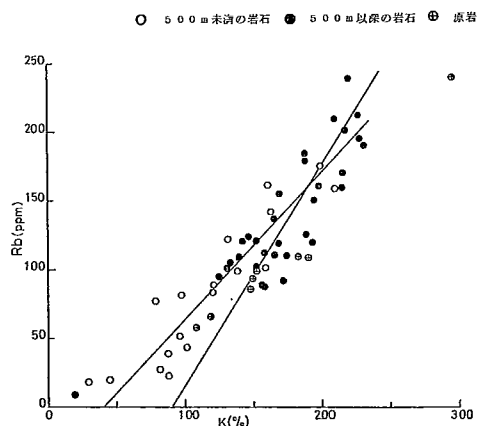


表3 Rb、Kの岩石からの溶出比と温泉水中の溶存比との比較(重量比)

種 別	H 6 井 岩 石		温 泉			原 石
	500m未満	500m以深	黒川温泉	八丁原、大岳井 発 電	長湯温泉	平均値
Rb/K	$10.5 \times 10^{-3}$	$16.0 \times 10^{-3}$	$10.8 \times 10^{-3}$	$17.8 \times 10^{-3}$	$2.93 \times 10^{-3}$	$7.0 \times 10^{-3}$

八丁原地熱地帯の 500m 以浅の岩石からの溶出比と酸性である黒川温泉の溶存比とは略等しい値を示した。これは両地における硫酸酸性熱水による壁岩からの溶出条件が略等しく溶出比が一定であることを意味し注目される。

又 500m 以深の岩石の溶出比と八丁原、大岳の発電井水の溶存比も略等しい。しかし大岳よりも高温である八丁原の発電井水が幾分大きい値を示す。したがって溶出比は温度にも関係し、高温程大きくなる傾向が認められた。

変質鉱物の生成において明礬石は K に比して Rb の取込は少なく、又雲母類においては多くなる事が推察される。

炭酸物質が主要アニオンである長湯、その他の温泉の溶存比は黒川温泉より更に小さい。

これらの温泉も亦図 5 B のように一次関係が成立する。この関係は単なる二水系の混合による結果のみではなく、壁岩からの溶出が一定の比率を以て溶出して来た結果とも解される。このように温泉中の溶存比はこれが溶出に關与するアニオンの種別によって変る。したがって壁岩中の含有量の大小には無関係と考えられ、事実次表の如く Rb の溶存量の少ない長湯温泉の岩石は K, Rb, Li 共に多く、Rb は大岳八丁原周辺の岩石の 3 倍以上の含有量である。

温泉中の溶存比と岩石中の含有量比を比較すると、八丁原、大岳の発電井水と黒川温泉は大きく、両元素の化学的性質と一致する。長湯温泉では小さくこの原因については十分な調査は出来なかったが、恐らく壁岩の成分との間に生成される変質鉱物の特性によると思われる。

表 4 九重火山地域の岩石のアルカリ元素含有量 (灼熱減量を除く)

採取場所	豊肥火山岩	黒岩山	獺師岳	涌蓋山	岳湯	長湯-30m	長湯-53m
岩石種別	安山岩	安山岩	安山岩	安山岩	安山岩	熔結凝灰岩	熔結凝灰岩
Na (%)	2.25	2.36	2.24	2.08	2.61	3.70	3.78
K (%)	1.91	1.54	1.84	1.51	1.49	3.53	2.93
Li (ppm)	10	12	19	10	12	28	27
Rb (‰)	110	98	110	94	86	375	238
Cs (‰)	0.39		0.42				

Li の壁岩からの溶出や熱水からの離脱は他のアルカリ元素とは別行動をしているので K と Rb のような相関関係は成立しない。しかし温泉中の溶存量に相関関係があることはアルカリ元素としての化学的性質の類似性によると思われる。特に浅層の酸性条件における溶出が大きいことと黒川温泉の如き酸性の温泉で Na に対する Li の溶存量が多いことと一致する。

岩石中の Cs 含有量についての測定は少ないが、表 4 で示すように Cs 量は Rb, Li に比較して著しく少ない。実測された岩石では Cs/Rb は 0.0037、Cs/Li は 0.030 にすぎない。温泉の Cs/Rb は八丁原、大岳では 0.340、黒川温泉では 0.285、又 Cs/Li は上記両地区の温泉で 0.17~0.12 と Cs の方が可成りよく溶出されている。しかし長湯温泉の Cs/Li は 0.02~0.009、Rb/Li は 0.2~0.03 と Li と比較して Rb、Cs 共に溶出は非常に少ない。したがって Cs は Cl や SO<sub>4</sub> が溶出に關与する場合は Rb、Li に比較して容易に溶出されるが炭酸物質による場合は溶出は著しく少なくなる。

#### 4 要約

九重火山地域の泉質の異なる温泉についてアルカリ元素の溶存量や元素間の溶存比率を調べ、更に八丁原における地下岩石から熱水による溶脱や、これら元素に關係ある変質鉱物の生成による熱水からの離脱などから、温泉水中のアルカリ元素は壁岩からの溶出時におけるこれに關与するアニオンの種別、物理化学的な環境、滞留時間の長短などによって溶出量や溶出比率が変化することが判明した。

特にアニオンの種別によって溶存比率が大きく変化するので次のように温泉を分類し、溶存関係の要点を摘記すると次のようになる。

Cl型; Clが主要なアニオンで中性又は弱アルカリ性の温泉

H型; 遊離鉍酸を含有する温泉

HCO<sub>3</sub>型; 炭酸物質を多量に含み主要アニオンがHCO<sub>3</sub>である温泉

1、Kの溶存量は泉温に関係があり、Cl型では泉温の高い温泉程Naに対してKの溶存量は多くなり、K/Naは温度の上昇と共に増大する。H型及びHCO<sub>3</sub>型ではKの溶出が多くCl型に比してK/Naは大きくなる。

2、Liの溶存量はCl型では温度の上昇と共に多くなり、Li/Naは温度の上昇と共に増大する。H型では溶出が多く、Cl型よりLi/Naは大きくなる。HCO<sub>3</sub>型では溶出が少なくLi/Naは最も小さい。

3、RbはKと行動を共にし、Cl型では両者間に一次関係が成立する。H型ではKの溶出に比してRbの溶出が少なく、Rb/KはCl型より小さくなる。HCO<sub>3</sub>型では更に溶出が少なく、Rb/KはH型よりも著しく小さい。

4、Csの溶存量も亦泉温に関係があり、Cl型ではCs/Naは温度の上昇と共に増大する。H型のCs/NaはCl型と大差はないがHCO<sub>3</sub>型では著しく小さい。

終りに資料を戴いた九電大岳調査所並に調査に協力した堀清和の諸氏に感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) 山下: 別府温泉水中のアルカリ金属イオンについて、日本温泉科学会第24回大会講演、昭46
- 2) 山下: 九重火山地域における温泉の水系(I)、大分県温泉調査研究会報告、19号、昭43
- 3) 志賀、川野: くじゅう火山の温泉群(1)~(5)、全 上、18~21号、昭42~45
- 4) 大分県厚生部: 大分県鉍泉誌、1970
- 5) 古賀: 地熱地帯における温度指示元素による化学温度計の適用、大分県温泉調査研究会報告、19号、昭43
- 6) Goldschmidt: Geochemistry; 1954
- 7) 1) に同じ
- 8) 山下: 九重火山地域における温泉の水系(II)~(III)、大分県温泉調査研究会報告20、22号、昭44、45
- 9) 山下: 九重火山地域における温泉の水系 III 全 上 22号、昭46

# 由布院温泉の静止水頭分布

京都大学理学部 川 村 政 和  
山 下 幸 三 郎

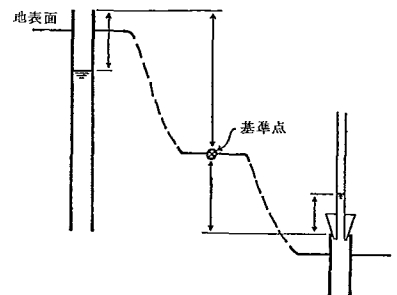
## 緒 言

静止水頭の地理的分布は地下水の流動状態を示し、それにより地域的な揚水の影響や地下水の供給源等が知られることから重要な調査の一つであるが、温泉の場合にも同様な事が云える。由布院温泉については既に湧出量・泉温等の現況調査<sup>1)</sup>、化学成分による温泉水系の調査及び各地域における揚水影響の調査<sup>4)~6)</sup>がなされているが、更に静止水頭調査を行なった上でそれらを総合すると由布院全体の温泉水の供給・取水の状態や賦存の状態等が明らかとなり将来の温泉開発や保護に役立つと考えられ、先年岳本・湯ノ坪地区の一部について静止水頭調査を行なった<sup>6)</sup>。その結果からそれらの地域における温泉伏流の状態が明らかになったが、本年は更に由布院全域について調査し、前年の調査と合わせて由布院温泉全域にわたる温泉伏流の様相を明らかにすることができた。

## 調査結果について

静止水頭調査では図1に示す様に既設の温泉の湧出を止め、その水面が上昇し静止した時の湧出口からの高さを測定し、更に一定の基準点からその湧出口の高さを水準測量で求めることによって各温泉井における静止水頭の高さが比較される。しかし温泉孔の施設の状態によっては測定が困難な場合があり、又石松地区の沸騰泉では施設の関係と高温多量の噴騰のため制止することのできないものが多かったが、11~12月にかけて由布院全域にわたる310孔で測定を行ない、略その調査目的を達成することができた。この内前年に測定した岳本・湯ノ坪地区の温泉井(69孔)については改めて測定せず、地域的な考慮を入れて選んだ8孔で温泉水頭の季節変化や開発等の原因による変化を測定し、両測定時期における変動を求めた結果 -81~103cmの差のあることがわかったので、前年の測定値にはそれらの値による補正を加えて用いた。

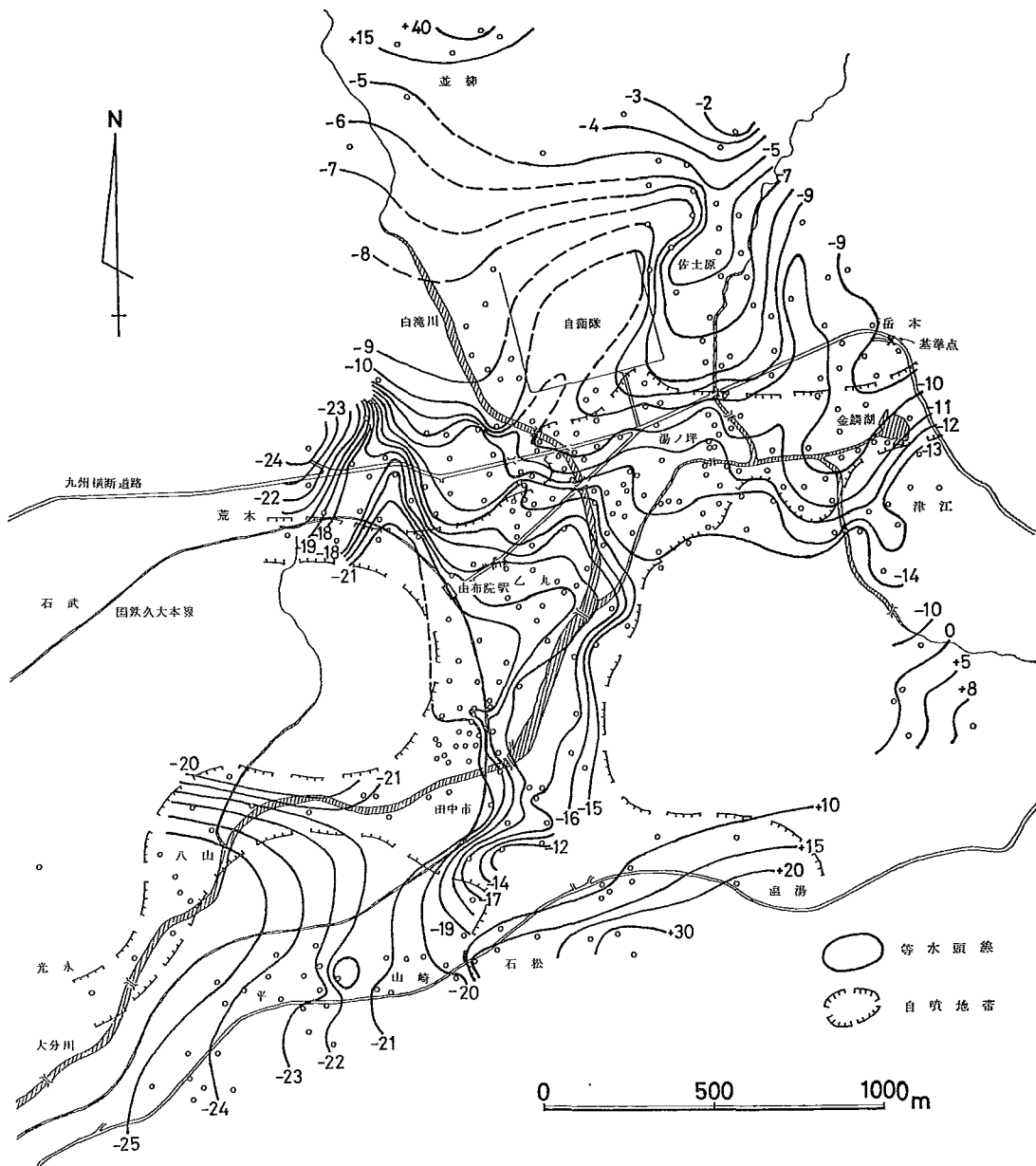
図1 静止水頭の測定方法



又、南東部の温湯・湯ノ坪・津江地区に囲まれた地域、西部の八山・荒木・石武地区に囲まれた地域、それに北西部の乙丸地区から並柳地区に至る地域は未開発のため温泉井が無く測定ができなかったため、これらの地域における温泉伏流の動向については明らかにできなかった。

図2は図中×印地点の地高を基準として温泉の静止水頭の高さを求めた等水頭線図であり、○印は測定を行なった温泉井の位置を示している。これによると、水頭の高い地域は北部の岳本・佐土原・並柳地区及び南部の石松地区にある。逆に水頭の低い地域は、南西部の光永地区と北西部の荒木地区の北側に見られる。温泉水は水頭の高い方から低い方へ等水頭線に直角に流れるから、由布院盆地における温泉水は大きくみて東部から南西部に向けて流下していることが知られる。こゝで北部の3つの高水頭域がそれぞれ別な水系によるものか、又は元々同じ水系のものが地下の地質の状態によって分断されているのかは分らないが、これらは金鱗湖・湯ノ坪・乙丸地区を結ぶ優勢な自噴地帯を涵養している。一般に、この様に多量の自噴がある地域では水頭勾配がゆるやかとなり等水頭線の間隔が大きくなるが、由布院においても旧くから優勢な自噴地帯であった湯ノ坪・乙丸・田中市地区で同様の

図2 由布院温泉における静止水頭分布と温泉自噴地帯



現象がはっきり見られる。一方、石松地区においては他地域と異なる種々の特徴が見られた。こゝで水頭が最も高いのは湯山方面にあるが、沸騰泉が大半を占めるこの高水頭域はそこを中心にして山崎地区の東側附近から温湯附近にまで拡っている。そしてこの高水頭域はその外側の低地部の温泉と極端な水頭の差を示しはっきり区別できる。鈴木<sup>7)</sup>の地質調査によれば石松地区を通り東西に走る地質構造線の存在が示されており、等水頭線はこの構造線に平行していることからこの断層が石松地区の温泉と低地部の温泉を分断していると思われるが、特にその西端部ではわずかに80mを隔て、36m以上もの水頭差があり注目される。山下はかつて由布院温泉の化学成分の分布について調査<sup>3)</sup>しているが、それによってもやはり同様な境界が見られ、上述の推定を裏づけていると思われる。しかしこの高水頭域の中央部から田中市方面にかけては多くの沸騰泉があることからその附近で漏れているものと思わ



れるが、静止水頭分布もその方向への流れを示す様相を呈している。又、この高水頭域では端側より中央部でむしろ水頭が低目の傾向があるのは、その附近で多くの温泉掘鑿がなされていることに原因していると思われる。

全般的にみて等水頭線は北部で東西方向に走っているのに対して、乙丸から石松地区にかけては逆に南北方向に走っているのが特徴である。以上の事から由布院における温泉水の流動状態は、先ず北部の岳本・佐土原・並柳方面から流下した温泉水は一部荒木地区の北側に流下するが、湯ノ坪・乙丸地区で優勢な自噴地帯をつくる。一方、優勢な沸騰泉域である石松地区では、断層によって閉じ込められた高温の温泉水がその中央部で田中市方面に流れ出している。この様に田中市附近には北の乙丸方面や南の石松方面それに東側からも温泉水が集中し、一部地表に自噴しながら八山方面からの流出も合わせて大分川沿いに南西方向に流下していつている。

図2には併せて自噴地帯も示しているが、上述の温泉水の流れと略同じ方向に分布している。又、これまで行なわれた揚水試験の結果と比較したが、揚水井の上流側と下流側とでその影響の現われ方に違いがあるといった様な関係は見出せない。これは揚水影響に対して、水頭勾配よりはむしろそれぞれの地域における温泉孔分布の不均一とか地下状態の複雑さによる要因がより大きく作用しているためであると考えられる。化学成分については、その分布状態と静止水頭分布とはかなり良く一致していることが知られるが、北東部の近時開発された高水頭域における化学成分の分布やその特性等の調査を行なうことにより更に明確となるであろう。

## 結 語

由布院温泉全域にわたる静止水頭分布から温泉水の流動状態が明らかになった。温湯・荒木・並柳附近については現在ほとんど温泉井が無いため温泉水の賦存状態や流動状態について充分調査をなしえなかったが、これからの温泉開発によってその様相が明らかにされることを期待したい。又、石松地区における極めて大きな水頭差によって形づくられている不連続域の熱水構造及び北部にある3つの高水頭部の熱水構造とそれらの交流関係等が今後に残された課題である。

終りに、本調査に御協力いただいた湯布院町役場、各温泉所有者、川越ボーリング工業それに京大地球物理学研究施設の由佐悠紀助手に厚く御礼申し上げる。

## 参 考 文 献

- 1) 佐藤光一、矢野行雄、羽田野宗人、片岡武雄：湯布院温泉現況調査  
大分県温泉調査研究会報告、18号、昭和42年
- 2) 軽部末蔵：大分県由布院温泉に於ける $Cl'$ 、 $HCO_3'$ 、 $SO_4''$ の分布について  
大分県温泉調査研究会報告、2号、昭和26年
- 3) KŌSABURŌ YAMASHITA：Hydrothermal System in Yufuin Geothermal Field,  
Oita Prefecture *Special Contributions, Geophys. Inst. Kyoto Univ., No.7, 1967*
- 4) 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
- 5) 由佐悠紀、川村政和：湯布院温泉における揚水試験（第1報）  
大分県温泉調査研究会報告、21号、昭和45年
- 6) 山下幸三郎、川村政和：由布院温泉における揚水試験（第2報）  
大分県温泉調査研究会報告、22号、昭和46年
- 7) 鈴木政達：別府附近の地史と温泉脈 地球物理、1巻、1号、昭和12年
- 8) 山下幸三郎：自噴井群における揚水の影響について  
大分県温泉調査研究会報告、12号、昭和36年

# 宝泉寺及び生龍温泉における揚水試験

京都大学理学部 川 村 政 和

## 緒 言

国鉄宮原線の宝泉寺駅附近には、町田川沿いに上流部から川底・宝泉寺・生竜・壁湯温泉がある。(図1) このうち宝泉寺・生竜温泉は町田川の右岸にのびる谷に沿って自然湧出又は自噴をしているが、いずれも揚水影響の大きいところで、特に宝泉寺温泉では温泉井を新掘すると必ず他の泉源の湧出量の減少又は停止を引き起し、そのため再び掘鑿するといったことを繰り返してきた。

調査は昭和46年10月18～23日にわたって宝泉寺温泉・宝泉寺駅前それに生竜温泉の3地区で実施されたが、宝泉寺温泉地区については更に調査の必要が生じたので11月18～20日の期間に再び行った。

## 揚水試験の結果について

揚水試験としては筆者らがこれまで由布院温泉調査等<sup>1),2)</sup>で行ったと同様な方法を採用した。即ち、試験井では3～4時間にわたって過剰揚水又は湧出停止を行い、一方観測井ではその影響をみるため9～17時の間に10～60分の間隔で泉温・湧出量又は水位を測定した。但し、宝泉寺温泉地区再調査の場合は試験井を変えて9時間20分の長時間にわたって揚水を行い、観測は揚水前後に各1回及び最中に2回を前の調査の際と略同じ泉源で行った。

尚、いずれの地域においても自然湧出泉及び自噴泉だけが利用されており、ポンプ又はコンプレッサーによる揚水を行っている泉源はなかった。

図1 宝泉寺附近の地形と温泉の位置

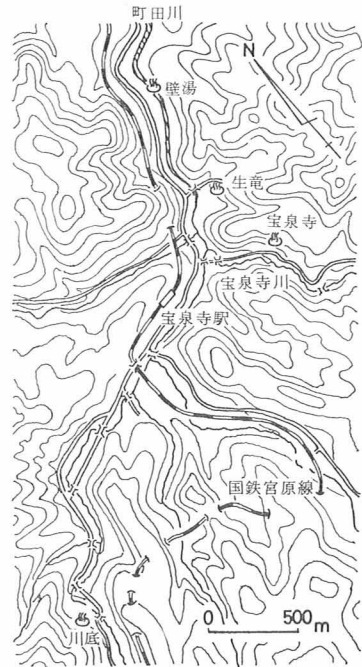


図2 宝泉寺温泉地区の温泉分布 (大円は試験井を中心とする半径100m)

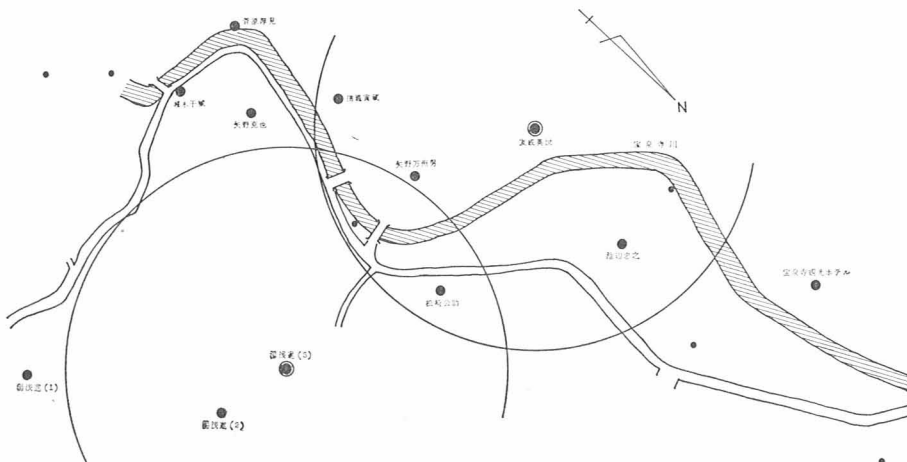


図3 友成英世井の揚水による周辺温泉の湧出量変化

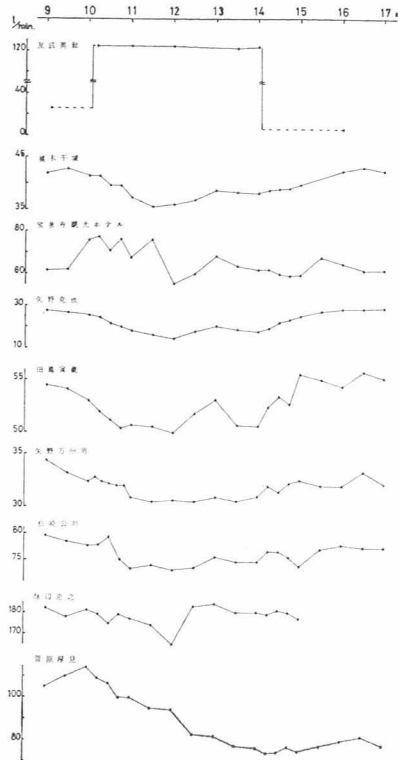
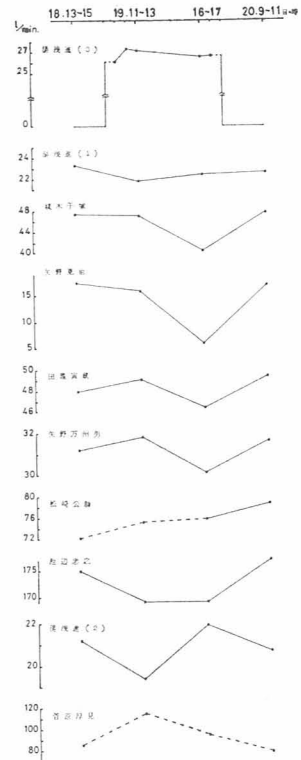


図4 湯浅進(3)井の揚水による周辺温泉の湧出量変化



宝泉寺温泉地区 (図2～4)

この地区には宝泉寺川に沿って比較的高温の温泉が帯状に分布しているが、初めの調査ではその略中間部にある深さ 250mの友成井を試験井とした。この泉源は通常約25.3 l/minの湧出量であるが、123.4 l/minにまで過剰揚水し、これを4時間継続した後5.9 l/minにまで抑制した。

観測は試験井から58～161mの距離にある8孔でなされた。揚水による影響はこれら総ての観測井にみられるが、榎木・菅原・矢野(克)・宝泉寺観光ホテル井とむしろ試験井から遠い距離にある観測井に大きく現れていることが注目される。特に菅原井における影響が著しく40.5 l/minもの減少をみたが、揚水の継続によっては更に減少するのは明らかであり、試験井と密接な関係にあることが知られた。揚水による影響は一般に揚水井に近い井戸ほど大きく現れるのが普通で、この様に遠くの井戸に大きく現れる場合は地下の crack 等の原因によりその間の流通が良くなっているからであると思われる。

又、試験井では略一定量を揚水していたにもかかわらずいずれの観測井においても13時に湧出量の増加がみられ、これがいかなる原因によるものか興味のあるところである。

この地区における2度目の調査は湯浅(3)井を試験井として行われた。この温泉井は自噴が止ったため使われておらず、深さも崩壊のため浅くなっており20m程度しかなかったが、水位は地表面下95cmのところであった。ここで9時間20分にわたって平均26.7 l/minの揚水を行った。観測井は先の調査の際と略同じであるが、宝泉寺観光ホテル井を省き湯浅(1)及び(2)井を加えた。試験井からの距離は35.5～161.5mである。この調査では、諸々の都合で十分な測定回数をとることができなかったので影響が定常になったかどうかは確認できないが、やはりどの観測井にも影響は現れたようである。それも揚水開始後5時間を経てから急に大きく現れており、特に榎木・矢野(克)井で大きく、後者の場合は

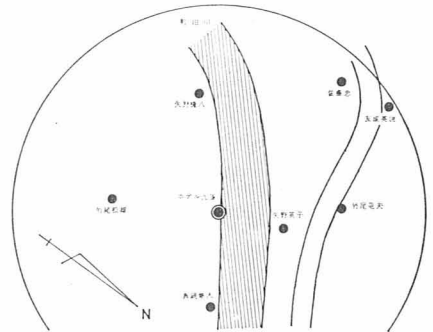
湧出量が $\frac{1}{3}$ 程度にまで減ってしまった。これらも試験井から比較的遠い位置にあり、初めの調査結果も考慮すると、この地域の地下状態が非常に複雑であることが知られる。尚、前回の調査で影響が最も大きかった菅原井については、送湯管の不備のため正確な湧出量を測定できず、その影響の程度を確認できなかった。

宝泉寺駅前地区 (図5、6)

この調査は宝泉寺駅附近の町田川をはさんで分布する温泉井で行われたが、地形的には前述の宝泉寺温泉地区の南隣の谷の下流部に位置している。試験井はその略中央部にある湧出量 $321l/min$ ・深さ $175m$ のホテル九重井で3時間にわたって湧出停止を行った。

観測は試験井から $32.5\sim 96m$ の距離にある7孔で行われたが、佐藤井の他にはあまり大きな影響はみられない。しかしこの佐藤井の場合は定常になっておらず、試験の継続によっては更に影響が大きくなるものと思われるが、この事は他の温泉井に対しても云えることであろう。

図5 宝泉寺駅前地区の温泉分布 (大円は試験井を中心とする半径 $100m$ )



生竜温泉地区 (図7、8)

この地区は宝泉寺温泉地区の約 $400m$ 北にあり、地形的には北隣の谷に位置する。この地区の温泉総数は8孔で、このうち3ヶ所は自然湧出泉、1孔は自噴停止井である。試験は湧出量約 $500l/min$ ・深さ $88m$ の佐藤(孫)井を約3時間半停止することによって行った。

観測は試験井から $97\sim 180m$ の距離にある残りの5孔でなされたが、影響は池辺井を除いた総てに現れ、特に安部・佐藤(熊)井に顕著だった。たゞいずれも定常になっておらず、試験の継続によって影響は更に大きくなると思われる。佐藤(熊)井の場合、自然湧出泉であるにもかかわらずこの様に大きな影響が現れたのは注目されるが、この事から浅層地下水との間に交流のあることが予想される。しかしながら、この温泉から $28\cdot 41m$ しか離れていない同じ様な2つの自然湧出泉にはそれ程大きな影響はみられない。これについては、これらの温泉が地形的に試験井のある谷よりはむしろその北隣の谷の下流部に位置しているため、その方面からの寄与を受けて影響が小さくなっているものと思われる。一方、試験井に最も近く、その掘鑿によって

図6 ホテル九重井の湧出停止による周辺温泉の湧出量変化

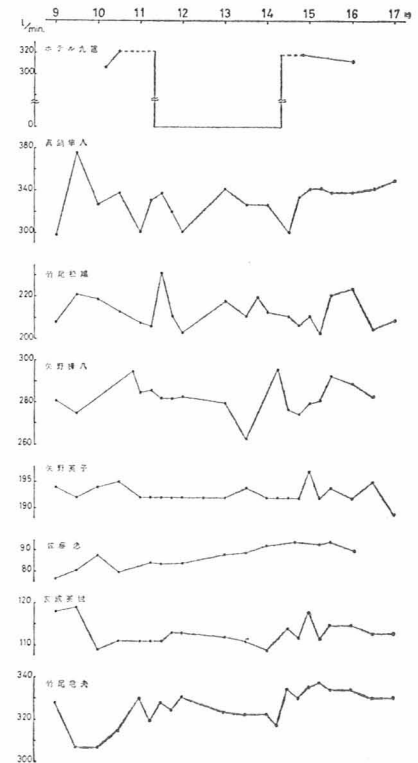
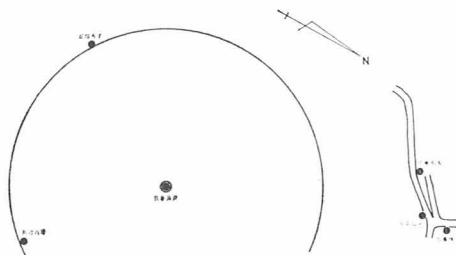


図7 生竜温泉地区の温泉分布 (大円は試験井を中心とする半径 $100m$ )



湧出が停止したという池辺井については、当初水頭の上昇と共に再び自噴することを予想していたのであるが、逆に水頭低下をきたしているのは意外であった。

以上の3地区はそれぞれ隣接して一つの温泉群の如き分布であり、又地形的にも同一系統の温泉のように思われるが、泉温において宝泉寺温泉地区では殆んどが80℃以上であるのに対し、宝泉寺駅前地区では最高48℃、生竜温泉地区では53℃と可成りの違いがある上、相互間に連続した泉温分布もみられないので別系統の温泉と思われ、地区相互間の揚水試験は実施しなかった。

山下の九重火山地域の温泉について化学組成からみた温泉水系の研究によれば、この地域の温泉の泉質は総て単純泉で、 $Cl^-$ 量と $Na^+$ 量との間には一次関係が成立し同一系統の温泉のように思われるが、 $Cl^-$ 量と $K^+$ 量及び $Na^+$ 量と $Li^+$ 量の関係は図9・10のように各地域の温泉でそれぞれ別の相関関係がある。特に後者の溶存関係において、宝泉寺温泉は大岳の発電井水に類似しているが、宝泉寺駅前及び生竜温泉は長湯温泉のような炭酸物質を多量に含む温泉に類似している。熱源は同じであるとしても、このような化学組成の相違は壁岩からの溶出過程における物理化学的環境の違いを暗示し、従って各地区間の温泉はそれぞれ別系統のもので相互間に直接の交流はないと思われる。

図9 宝泉寺及び生竜温泉の $Cl^-$ と $K^+$ の関係

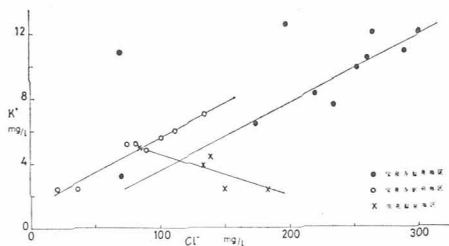
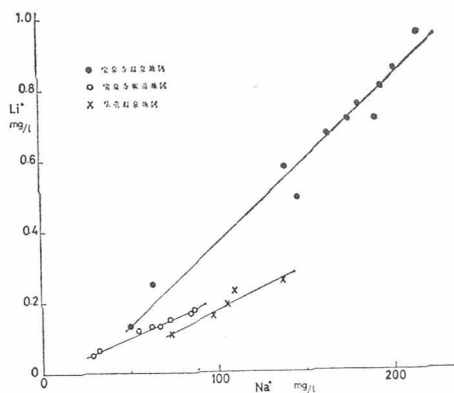


図10 宝泉寺及び生竜温泉の $Na^+$ と $Li^+$ の関係



### 揚水影響について

揚水試験を行った場合、試験井における揚水又は停止量とそれによる各観測井での湧出量の減少又は増加量の総量との割合から影響の程度を知ることができるが、この結果は表1に示されている。

これによると宝泉寺温泉地区では100%あるいはそれ以上である。揚水量より減少総量が多くなることもあり得るかどうかについては更に検討を要するが、測定誤差や湧出量の時間変化による誤差が入っているとすると周りには観測をしていない温泉井もあり、当然それらにも影響は現れている筈であるから影響量はむしろもっと多いと考えられる。いずれにしろ宝泉寺温泉地区については過剰揚水

図8 佐藤孫次井の湧出停止による周辺温泉の湧出量又は水位変化

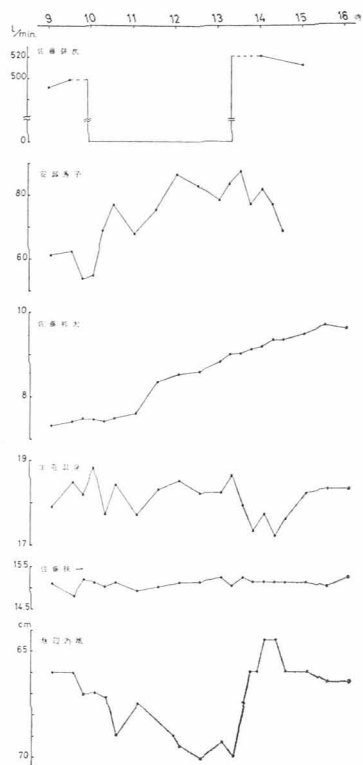


表1 揚水試験による影響度と滲出に関する係数 (b/T)

	試験量 l/min	影響総量 l/min	影響度 %	b/T $m^{-2}$	b/T 平均値 $m^{-2}$
宝泉寺温泉地区 (1)	117	117	100	$7.8 \times 10^{-10} \sim 6.4 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-4}$
〃 (2)	26.7	37.4	140	$1.2 \times 10^{-9} \sim 7.3 \times 10^{-4}$	1.3 〃
宝泉寺駅前地区	318	122	38	$9.5 \times 10^{-5} \sim 5.3 \times 10^{-4}$	3.9 〃
生竜温泉地区	499	38.8	8	$6.4 \times 10^{-5} \sim 6.8 \times 10^{-4}$	3.8 〃

が総て即他泉源における湧出量の減少につながり、新泉源の掘鑿によっても現在以上に湧出量が増す余裕は全く無いということが云える。

宝泉寺駅前地区については、試験井附近の7孔だけで38%の増加になっている。しかしこの周りには他に12孔程の泉源があるから、ここでも影響はもっと大きかったとみなすべきであろう。7孔で、38%の増加があったとして、この附近全体(19孔)ではどれ程の影響があったかを単純比例計算によって求めると104%にもなる。但し、距離的な関係も考慮しなければならないので実際はもっと小さいと思われるが、いずれにしろこの地区についてもあまり多くの余裕があるとは思われない。

生竜温泉については調査時段階で他に温泉はなく、影響の程度も小さいのでまだ開発の余地はありそうであるが、たゞ泉源によっては影響が大きく出ることが知られているから注意を要する。

ここで揚水影響に対して別府温泉や由布院温泉の揚水試験の際と同じ解析を試みると、観測井において湧出量が測定される場合、滲出に関する係数 (b/T) は次式によって表わされる。

$$\Delta q_r = Q \frac{K_0(\sqrt{b/T} r)}{K_0(\sqrt{b/T} r_0)}$$

$\Delta q_r$  は Qなる量を揚水又は停止する井戸半径  $r_0$  の試験井から r の距離にある観測井における湧出量の減少又は増加量である。 $K_0(x)$  は第2種零階の変形されたBessel函数である。

この式から得られた各地区の滲出に関する係数 (b/T) の値も表1に示されている。但し、いずれの調査においても影響が充分定常になっていない場合もあったが、目安を得るためこれらに対しても同様の解析を試みた。

この表によると宝泉寺温泉地区におけるb/Tの値はいずれも非常に大きなバラツキを示しており、この事からもこの地区の地下状態が非常に複雑であることが窺える。この様に大きなバラツキのある場合、この地区としての平均値を求めることにはあまり意味があるとは思えないが、敢えて求めると2度の調査共その値が全く同じであることは注目される。宝泉寺駅前及び生竜温泉地区については、いずれもその地区内で値に大きなバラツキはなく、両地区共略同じ値を示している。

## 結 語

以上、揚水影響について考察を試みてきたが、どの地域においてもそれは距離に関係なく不規則的に現れていることから、この地域の地下状態の複雑さが推定される。又、これらの地域では生竜温泉地区を除いて温泉の余裕は少く、現在以上の量を確保することは難しいと思われる。

尚、これらの地域では前述の如く人工的な揚水が行われていないにもかかわらず、いずれの泉源においてもその湧出量の時間的変化が大きくその原因が注目される。

終りに、本調査及び本報告の作成にあたって終止御協力、御指導いただいた当時玖珠保健所主査安藤重人氏と京大地球物理学研究施設の山下幸三郎博士、由佐悠紀助手に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 由佐悠紀、川村政和：湯布院温泉における揚水試験（第1報）  
大分県温泉調査研究会報告、21号、昭和45年
- 2) 山下幸三郎、川村政和：由布院温泉における揚水試験（第2報）  
大分県温泉調査研究会報告、22号、昭和46年
- 3) 山下幸三郎：九重火山地域における温泉の水系（IV）温泉水中のアルカリ元素について  
大分県温泉調査研究会報告、23号、昭和47年
- 4) 山下幸三郎：自噴井群における揚水の影響について  
大分県温泉調査研究会報告、12号、昭和36年

揚水試験資料

宝泉寺温泉地区 (1) 昭和46年10月18日～19日

時刻			時刻			時刻			時刻		
日	時	分	日	時	分	日	時	分	日	時	分
揚水量 ℓ/min	泉温 ℃	湧出量 ℓ/min	泉温 ℃	湧出量 ℓ/min	泉温 ℃	湧出量 ℓ/min	泉温 ℃	湧出量 ℓ/min	湧出量 ℓ/min	泉温 ℃	
友成 英世 試験井			30	36.9	55.5	45	59.3	62.0	45	23.4	58.0
			13.00	38.7	55.5	15.00	59.3	62.0	15.00	25.1	58.0
19. 9.05	25.3	57.3	30	38.3	55.5	30	67.8	61.5	30	27.4	57.9
10.05	揚水開始		14.00	38.1	55.5	16.00	64.9	61.5	16.00	28.4	57.9
10	124	76.3	15	38.7	55.5	30	61.7	62.0	30	28.6	58.0
11.00	124	76.3	30	38.9	55.5	17.00	61.7	63.0	17.00	28.8	57.9
12.00	124	76.3	45	39.1	55.5	矢野 克也			田 籠 寅 蔵		
13.30	122	76.6	15.00	39.8	55.5						
14.00	123	76.5	30	—	55.5	18.12.00	30.2	58.0	18.13.10	50.1	82.1
05	揚水停止		16.00	42.4	55.8	13.00	28.9	58.0	30	50.7	81.7
16.00	5.94	34.0	30	43.1	55.8	30	29.0	58.0	14.00	50.7	81.8
榎木 干 城			17.00	42.4	55.8	14.00	28.1	57.9	30	57.7	81.7
			宝泉寺観光ホテル			30	30.5	57.9	15.00	58.3	81.8
18.11.40	43.4	55.5	18.15.30	86.1	—	15.00	32.4	57.9	30	57.9	81.6
12.00	43.5	55.5	16.00	86.0	59.5	30	32.9	57.9	16.00	57.4	81.6
13.00	43.5	55.5	30	82.8	59.3	16.00	34.6	57.9	30	57.4	81.7
30	43.6	55.5	30	—	—	30	36.1	57.9	19. 9.00	54.5	81.8
14.00	43.8	55.6	19. 9.00	61.5	64.0	19. 9.00	27.6	58.0	30	54.1	81.8
30	45.3	55.5	30	62.0	64.0	30	26.7	57.9	10.00	53.0	81.6
15.00	46.8	55.5	10.00	75.7	63.5	10.00	25.4	57.9	15	52.0	81.8
30	48.2	55.5	15	77.3	63.0	15	24.4	57.9	30	51.2	81.8
16.00	49.0	55.5	30	70.9	63.0	30	21.7	58.0	45	50.4	81.6
30	50.0	55.5	45	76.2	62.5	45	20.1	58.0	11.00	50.7	81.6
19. 9.00	41.9	55.5	11.00	67.8	62.0	11.00	18.2	57.9	30	50.6	81.6
30	42.7	55.5	30	76.2	62.0	30	16.3	57.9	12.00	50.0	81.8
10.00	41.4	55.5	12.00	55.3	62.0	12.00	14.6	58.0	30	51.8	81.8
15	41.4	55.5	30	60.0	62.0	30	18.0	58.0	13.00	53.1	81.8
30	39.6	55.5	13.00	68.2	61.5	13.00	20.2	58.0	30	50.7	81.6
45	39.6	55.5	30	63.8	61.5	30	18.8	58.0	14.00	50.6	81.8
11.00	37.3	55.5	14.00	62.0	61.5	14.00	18.0	58.0	15	52.4	81.8
30	35.6	55.5	15	62.0	61.5	15	19.3	58.0	30	53.4	81.6
12.00	36.0	55.6	30	59.9	61.5	30	22.0	58.0	45	52.7	81.8

時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温
日時分	ℓ/min	℃	日時分	ℓ/min	℃	日時分	ℓ/min	℃	日時分	ℓ/min	℃
15.00	55.5	81.8	15	31.9	84.2	14.00	74.5	88.7	30	181	81.5
30	55.0	81.8	30	31.4	83.6	15	76.5	88.5	45	180	81.5
16.00	54.4	81.6	45	32.2	84.3	30	76.5	88.7	15.00	177	81.5
30	55.8	81.8	15.00	32.5	84.5	45	75.5	88.9	菅原厚見		
17.00	55.2	81.8	30	32.0	84.2	15.00	73.8	88.5			
矢野万州男			16.00	32.0	84.2	30	77.0	88.5	18.15.15	112	67.0
18.13.30	33.8	84.5	30	33.3	84.0	16.00	77.8	88.9	30	109	67.0
14.00	34.2	84.5	17.00	32.2	83.7	30	77.3	88.5	16.00	106	66.5
30	34.1	84.0	松崎公助			17.00	77.3	88.5	30	117	67.0
15.00	33.8	84.5	18.13.50	80.0	88.0	池辺忠之			19.9.00	105	67.0
30	34.4	84.0	14.00	80.0	88.5	18.14.30	183	81.0	30	110	67.0
16.00	34.4	84.0	30	82.1	88.7	15.00	181	81.0	10.00	114	66.5
30	34.6	83.5	15.00	83.3	89.0	30	182	81.0	15	109	—
19.9.00	34.4	84.0	30	81.2	88.9	16.00	180	—	30	107	66.5
30	33.2	84.5	16.00	83.3	88.7	19.9.00	182	80.5	45	100	—
10.00	32.4	84.5	30	83.6	89.0	30	178	81.0	11.00	100	67.0
10	32.8	84.5	19.9.00	79.5	88.1	10.00	181	81.5	30	94.8	67.0
20	32.4	84.0	30	78.4	88.7	15	179	81.5	12.00	94.1	67.5
30	32.2	84.0	10.00	77.6	88.5	30	175	81.5	30	82.6	67.5
40	32.0	83.5	15	77.8	88.7	45	179	81.5	13.00	81.5	66.5
50	32.0	83.8	30	79.2	88.9	11.00	177	81.5	30	76.9	67.0
11.00	30.9	84.0	45	75.0	88.7	30	174	81.3	14.00	75.9	67.1
30	30.5	84.0	11.00	73.3	88.7	12.00	165	81.0	15	73.5	67.1
12.00	30.6	84.0	30	74.0	88.5	30	183	80.5	30	74.0	67.1
30	30.5	83.8	12.00	73.0	88.3	13.00	184	81.0	45	76.6	67.0
13.00	30.9	83.0	30	73.5	88.5	30	180	81.5	15.00	74.5	67.0
30	30.5	83.8	13.00	75.5	88.9	14.00	180	81.5	30	77.0	67.0
14.00	31.0	84.2	30	74.5	88.0	15	179	81.5	16.00	79.2	67.0
									30	81.5	67.0
									17.00	77.3	67.0

宝泉寺駅前地区 昭和46年10月20日～21日

時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温
日時分	ℓ/min	℃	日時分	ℓ/min	℃	日時分	ℓ/min	℃	日時分	ℓ/min	℃
ホテル九重 試験井			11.00	324	34.8	30	338	34.8	16.00	338	34.8
			30	307	34.8	45	320	34.8	30	342	34.8
21.10.10	306	42.0	12.00	307	34.8	12.00	301	34.8	17.00	350	34.8
30	321	42.0	13.00	324	34.8	13.00	342	34.8	竹尾松雄		
11.20	湧出停止		30	327	34.8	30	327	34.8			
14.20	湧出開始		21.9.00	298	34.8	14.00	327	34.8	20.10.30	215	43.0
50	318	42.2	30	376	34.8	30	301	34.8	11.00	224	42.8
16.00	312	42.0	10.00	327	34.8	45	334	34.8	30	221	42.8
真鍋隼人			30	338	34.8	15.00	342	34.8	12.00	223	42.8
20.10.30	367	34.7	11.00	301	34.8	15	342	34.8	13.00	216	42.8
			15	331	34.8	30	338	34.8	30	225	43.1



時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温
日 時 分	ℓ/min	℃	日 時 分	ℓ/min	℃	日 時 分	ℓ/min	℃	日 時 分	ℓ/min	℃
14.00	215	43.0	45	282	45.5	佐藤 忠			13.00	112	40.5
30	221	42.8	12.00	283	45.5				30	111	40.7
15.00	224	42.8	13.00	280	45.5	20.11.30	72.9	41.8	14.00	109	40.5
30	213	42.8	30	263	45.5	12.00	82.7	41.8	30	114	40.6
16.00	223	42.8	14.15	296	45.5	13.00	78.8	41.8	45	112	40.6
30	219	42.8	30	277	45.5	30	79.4	41.8	15.00	118	40.4
21. 9.00	208	42.8	45	275	45.5	14.00	75.3	41.5	15	112	40.3
30	221	42.8	15.00	285	45.5	30	71.1	42.0	30	115	40.3
10.00	219	42.8	15	286	45.5	15.00	73.8	42.1	16.00	115	40.3
30	213	42.5	30	293	45.5	16.00	79.4	42.3	30	113	40.5
11.00	208	42.8	16.00	289	45.5	30	80.4	42.0	17.00	113	40.4
15	206	42.8	30	283	45.5	21. 9.00	76.2	42.3	竹尾 竜夫		
30	231	42.8	矢野 英子			30	80.4	42.3			
45	211	42.8				20.12.00	207	37.0	10.00	87.7	42.1
12.00	203	42.8	13.00	203	37.2	30	79.4	42.2	12.00	324	—
13.00	218	42.9	30	192	37.2	11.15	83.9	42.2	13.00	343	39.5
30	211	42.8	14.00	194	37.2	30	83.3	42.2	30	339	39.5
45	220	42.9	30	192	37.2	12.00	83.9	42.4	14.00	317	39.5
14.00	213	42.7	15.00	192	37.2	13.00	88.0	42.4	30	330	39.5
30	211	42.8	30	192	37.2	30	89.0	42.4	15.00	317	39.5
45	207	42.8	16.00	192	37.2	14.00	92.2	42.2	30	327	39.8
15.00	211	42.9	30	192	37.2	40	94.1	42.4	16.00	335	39.8
15	203	42.9	21. 9.00	194	37.2	15.15	93.3	42.4	30	312	39.5
30	221	42.9	30	192	37.2	30	94.1	42.4	21. 9.00	328	39.8
16.00	224	42.8	10.00	194	37.2	16.05	91.1	42.4	30	307	39.5
30	205	43.2	30	195	37.2	友成 英世			10.00	307	39.5
17.00	209	42.9	11.00	192	37.2				20.11.30	119	40.2
矢野 藤 八			15	192	37.2	12.00	118	40.4	11.00	330	39.5
			20.11.00	255	45.3	30	192	37.2	13.00	121	40.5
30	266	45.5	45	192	37.2	30	117	40.5	30	328	39.5
12.00	266	45.5	12.00	192	37.2	14.00	114	40.5	45	325	39.6
13.00	254	45.5	30	192	37.2	30	116	40.4	12.00	331	39.5
30	279	45.5	13.00	192	37.2	15.00	114	40.7	13.00	324	39.6
14.00	292	45.5	30	194	37.2	30	115	40.6	30	323	39.6
30	289	45.5	14.00	192	37.2	16.00	116	40.4	14.00	323	39.5
15.00	294	45.5	15	192	37.2	30	117	40.4	15	318	39.6
16.00	300	45.5	30	192	37.2	21. 9.00	118	40.3	30	335	39.6
30	282	45.4	45	192	37.2	30	119	40.3	45	331	39.6
21. 9.00	281	45.5	15.00	197	37.2	10.00	109	40.3	15.00	336	39.5
30	275	45.5	15	192	37.2	30	111	40.3	15	338	39.5
10.00	—	45.5	30	194	37.2	11.00	111	40.4	30	335	39.5
40	295	45.5	16.00	192	37.2	15	111	40.3	16.00	335	39.5
11.00	285	45.5	30	195	37.2	30	111	40.4	30	331	39.5
15	286	45.5	17.00	189	37.2	45	113	40.4	17.00	331	39.5
30	282	45.5				12.00	113	40.3			

生竜温泉地区 昭和46年10月22日～23日

時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温	時刻	湧出量	泉温
日時分	ℓ/min	℃	日時分	ℓ/min	℃	日時分	ℓ/min	℃	日時分	ℓ/min	℃
佐藤 孫次 試験井			佐藤 熊 太			30	18.3	43.2	15	15.0	35.5
22.13.30	532	53.0	22.10.10	11.4	41.5	15.00	17.6	43.1	30	15.1	35.5
14.30	509	53.0	30	11.3	41.5	30	18.1	43.1	11.00	14.9	35.5
15.30	531	53.0	11.00	11.1	41.8	16.00	17.5	43.1	30	15.0	35.5
16.30	521	53.0	30	11.2	41.7	30	18.8	43.1	12.00	15.1	35.5
23. 9.00	492	52.9	12.00	11.4	42.0	23. 9.00	17.9	43.1	30	15.1	35.5
30	499	53.0	13.00	11.5	42.0	30	18.5	43.1	13.00	15.2	35.5
55	湧出停止		30	11.5	42.0	45	18.2	43.1	15	15.0	35.5
13.20	湧出開始		30	11.4	41.8	10.00	18.8	43.1	30	15.2	35.5
14.00	521	53.0	14.00	11.5	42.0	15	17.7	43.1	45	15.1	35.5
15.00	513	53.0	30	11.5	42.0	30	18.4	43.1	14.00	15.1	35.5
安 部 秀 子			15.00	11.3	42.1	11.00	17.7	43.0	15	15.1	35.5
22. 9.30	62.0	48.0	30	11.5	42.0	30	18.3	43.1	30	15.1	35.5
10.00	61.7	48.0	16.00	11.4	42.1	12.00	18.5	43.2	15.00	15.1	35.5
30	61.7	47.8	30	11.4	41.9	30	18.2	43.0	30	15.0	35.5
11.00	63.8	48.7	23. 9.00	7.32	42.2	30	18.2	43.1	16.00	15.2	35.5
30	61.7	48.5	30	7.41	42.2	15	18.6	43.1	池 辺 為 雄		
12.00	55.7	48.5	45	7.49	41.8	30	17.9	43.1	22.12.00	63.0 cm	
30	72.0	49.1	10.00	7.44	41.8	45	17.3	43.1	30	66.0	
13.00	65.6	49.1	15	7.39	41.7	14.00	17.7	43.1	13.30	60.0	
30	54.7	48.9	30	7.46	42.0	15	17.2	43.1	14.00	63.0	
14.00	57.7	48.5	11.00	7.58	42.0	30	17.6	43.1	15.00	63.0	
30	55.1	48.5	30	8.34	42.0	15.00	18.2	43.1	30	63.0	
15.00	65.1	48.5	12.00	8.51	42.1	30	18.3	43.2	16.00	63.0	
30	44.7	48.3	30	8.57	41.9	16.00	18.3	43.1	30	65.0	
16.00	69.0	48.8	13.00	8.80	42.0	佐 藤 棟 一			23. 9.00	66.0	
30	55.4	48.2	15	8.97	42.0	22.10.00	15.7	36.0	30	66.0	
23. 9.00	61.2	48.4	30	9.00	42.0	30	15.6	35.8	45	67.0	
30	62.4	48.5	45	9.10	41.9	11.00	15.1	35.5	10.00	67.0	
45	53.9	48.3	14.00	9.16	42.0	30	15.1	35.5	15	67.2	
10.00	54.5	48.1	15	9.33	42.0	12.00	15.7	35.5	30	69.0	
15	68.2	48.8	30	9.30	42.0	35	15.5	35.4	11.00	68.5	
30	76.8	49.1	15.00	9.46	42.0	13.00	15.4	35.5	50	69.0	
11.00	67.6	49.7	16.00	9.58	42.0	30	15.3	35.5	12.00	69.5	
30	75.2	50.1	生 竜 温 泉			14.00	15.3	35.5	30	70.1	
12.00	86.2	50.2	22.10.00	18.9	43.0	30	15.1	35.5	13.00	69.4	
30	82.7	50.5	30	17.9	43.0	15.00	15.1	35.5	15	70.0	
13.00	78.1	50.5	11.00	18.3	43.0	30	15.7	35.5	30	67.5	
15	83.3	50.5	30	17.6	43.1	16.00	14.7	35.5	40	66.0	
30	87.2	50.5	12.00	17.9	43.1	30	15.3	35.5	50	66.0	
45	77.0	50.2	13.00	17.6	43.1	23. 9.20	15.1	35.5	14.00	64.5	
14.00	81.8	50.0	30	17.5	43.1	30	14.8	35.5	15	64.5	
15	77.0	49.8	14.00	18.0	43.1	45	15.2	35.5	30	66.0	
30	68.6	49.3				10.00	15.1	35.5	30	66.5	
									16.00	66.5	

宝泉寺温泉地区(2) 昭和46年11月18~20日

湯浅 進 (3) 試験井

時刻	日時分	19.8.30	10.15	10.45	12.00	16.00	17.45	17.50
揚水量	ℓ/min	揚水	26.1	27.3	27.1	26.5	26.6	揚水
泉温	℃	開始	71.0	71.5	72.2	73.0	73.0	停止

	18日 13~15時		19日 11~13時		19日 16~17時		20日 9~11時	
	湧出量 ℓ/min	泉温 ℃	湧出量 ℓ/min	泉温 ℃	湧出量 ℓ/min	泉温 ℃	湧出量 ℓ/min	泉温 ℃
湯浅 進(1)	23.3	—	21.8	83.0	22.4	82.8	22.6	83.0
楳木 干城	47.3	—	46.9	57.0	40.3	56.8	47.6	57.0
矢野 克也	17.3	—	15.8	57.2	5.94	57.1	16.8	57.7
田籠 寅藏	47.9	81.7	49.0	81.6	46.3	81.5	49.3	82.0
矢野 万州男	31.2	84.0	31.8	84.7	30.1	84.5	31.6	84.8
松崎 公助	* 72.2	88.6	* 75.2	89.0	75.7	89.5	78.6	89.0
池辺 忠之	175	—	169	81.0	169	80.9	177	80.1
菅原 厚見	85.0	61.2	115	59.0	95.1	62.6	78.6	59.8
湯浅 進(2)	21.2	42.6	19.4	43.3	21.9	43.6	20.7	42.8

\* 漏水あり

# 別府地方の地質図と岩石について

大分大学教育学部 森 山 善 蔵

## 1 まえがき

別府地方の地質についてはこれまで多くの研究者によって調査・研究されてきたが、主な研究は松本唯一、鈴木政達、笠間太郎などにより行なわれ、地形と地質の関連、火山岩類の相互関係、火山系の問題などが論ぜられてきた。本報告はこれまでの資料に加え、最近の調査で解った事実をもとに本地方の地質図を作製したので、地質図および地質図に示した地質各項についてその概要を述べたいと思う。

別府地域の火山は笠間太郎により速見火山区として一括され、同火山区の区画は由布岳・鶴見岳を主峯とし、別府湾を東縁に、北は豊岡から北西の日出生台、南は大分川に沿う一帯まで、西は水分峠を西端とすると述べられている。すなわち東西20Km、南北20Km、広さはおよそ400km<sup>2</sup>におよぶ。また速見火山区の岩石学的位置は瀬戸内系、山陰系の二者が中部九州で合するあたりにあり、これら両火山系の交差の問題、また九州で最も新しい火山系とされる琉球火山系が本地域にも及んでいないかなどが重要課題とされてきた。

速見火山区の火山活動の期間は新第三紀中新世（約 3,000万年前）から第四紀にいたる長期にわたるもので、このうち主要な火山活動は豊肥火山岩類として一括される小鹿・鹿鳴越火山岩類と旧期、新期の両山陰系火山岩類（各種の角閃石安山岩類よりなる）の活動とである。

別府地方の温泉の生成と密接な関係があるものと考えられる火山活動は山陰系の火山活動であり、山陰系の火山岩類の下底に、より塩基性の豊肥火山岩類が存在することも、温泉の生成、維持を助けるという意味から重要な要素となっていることが考えられる。

温泉生成の直接の原因となった山陰火山系の火山岩はカルクアルカリ岩系に属すると考えられるが一般的に噴火形式の特徴として、爆発的活動によって形成された火山砕屑丘の上にトロイデ群が載った形式のものが多。

このような山陰系火山の構造的な特性は別府地方の火山においても認められ、鶴見岳山塊の構造をみると、鶴見岳の東側山腹を浸食してできた鶴見溪谷においてはトロイデを形成する鶴見岳溶岩の噴出に先立って、境川安山岩と呼ぶ凝灰角礫岩とこれを覆う同質の熔岩流の活動があって、これら砕屑丘と溶岩流の上部に鶴見岳溶岩がトロイデをなして噴出しているのがみうけられる。

瀬戸内系の火山岩は別府市内ではみられず、笠間太郎によると南方の大分川付近に、向の原火山岩類同尻、篠原、池久保火山岩類が瀬戸内系火山岩に類似していることを示唆されているのみである。

瀬戸内系火山岩の特徴の一つとされている古銅輝石を含む岩石片はこれまでの別府市内における20本におよぶボーリング岩芯採取物中の小岩片にただ1個見出したのみである。この岩石は石英を比較的多く含み、灰白色の特異な岩質のもので、紫蘇輝石と古銅輝石を含み、石英、角閃石安山岩と称すべきものであった。その後の調査でも、周辺の山体には類似の岩石はなく、現在までこの例外を除いて古銅輝石を含む安山岩は別府地方では見出されない。

最近、松本幡郎は伽藍岳の西山麓にある鬼箕火山岩について詳細な岩石学的検討を行ない、これが琉球系火山岩であることを証明した。鬼箕火山岩は狭小な独立峯であるが、琉球系の火山の活動が本地域にも及んでいることを指摘されたのは注目すべきことである。

2 別府地方の火山岩と堆積岩の層序

別府地方の火山岩と堆積岩を表示すると次のようになる。

3 地質および岩石について

第1表 別府地方の層序

別府地方の地質および岩石について、古いものから説明を行なう。第1表に表示したものよりさらに古い基盤石、すなわち新第三紀以前のものを古期岩類として一括し、続いて各種火山岩類および堆積層について述べる。

a、古期岩類＝別府湾周辺の古期岩類には領家変成岩・花崗岩・結晶片岩・古生層・中生層などがある。領家変成岩と花崗岩は別府湾の北方、杵築市から速見郡山香町にかけて点々と露出し、また、国東半島の東南海岸には相当量の花崗岩の分布がみられる。三波川結晶片岩は佐賀関半島部から大野川の右岸まで連続して分布する。古生層は七瀬川（大分川の支流）の流域に野津原古生層があり、中生層は大野川の中流域に大野川層群（白垩系）がある。

別府市近傍の古期岩類には天間の北方、津房川中流、丸田付近に花崗閃緑岩があり、さらにその下流1 Kmの鶴付近には雲母片岩と花崗岩がある。いずれも領家式変成岩および内帯花崗岩に属するものと思われる。

由布岳・鶴見岳・大平山の溶岩中にはしばしば捕獲岩として花崗岩・閃緑岩の岩片が獲り込まれているのがみられる。また、別府市の東南端に近い耳取山付近の山腹に掘削された浄水用通水ずい道（小鹿山系の輝石安山岩からなる）中からも領家式雲母片岩や花崗岩・閃緑岩の捕獲岩片が採取された。したがって、別府市地域の基盤岩としては領家式の変成岩および内帯花崗岩が存在することは疑いない。

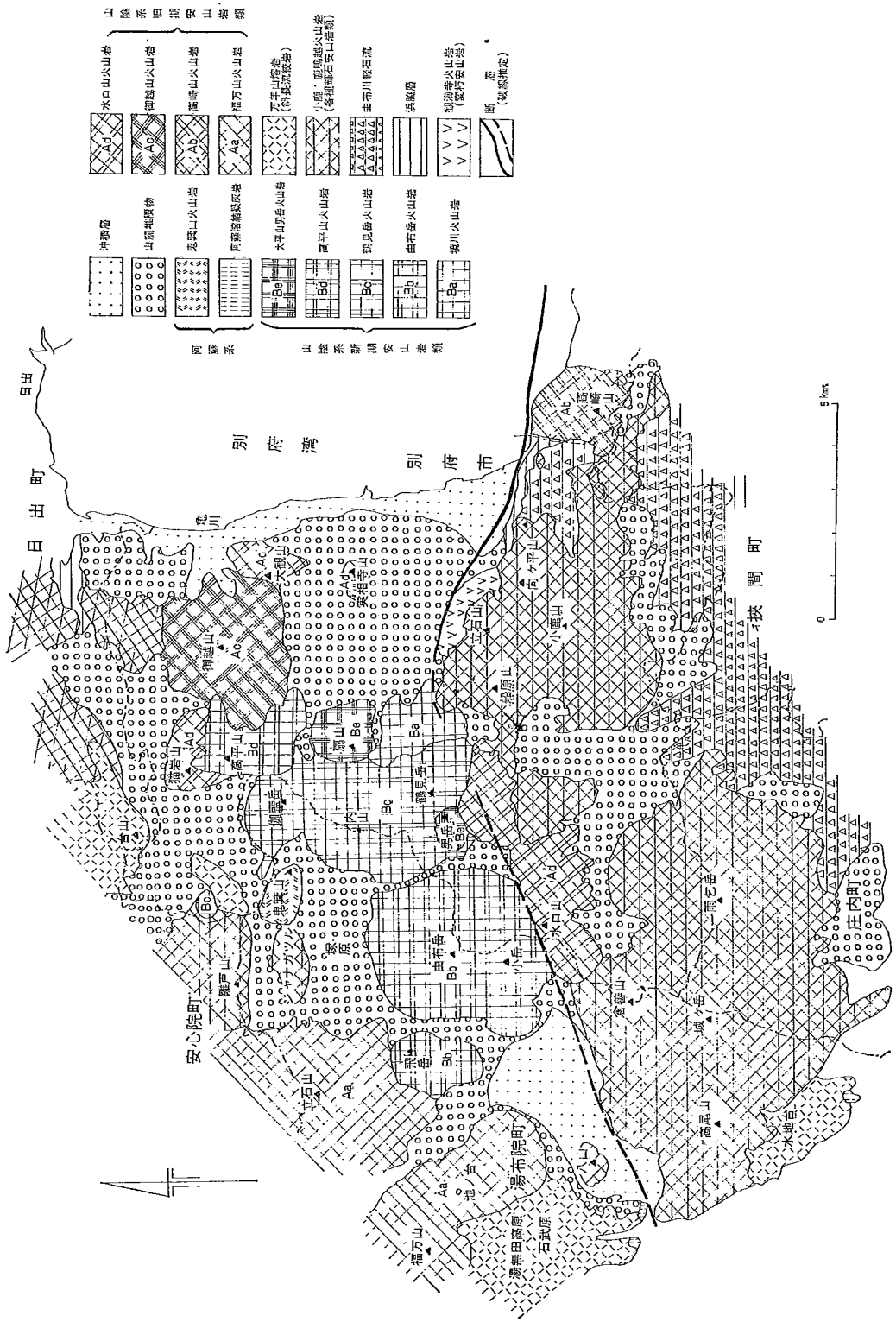
b、観海寺火山岩＝観海寺火山岩は別府地方の火山岩としては最も古いものとされている。別府市の西南部の南立石・観海寺付近に分布する。その位置は朝見川断層線の南側で、断層線沿いに細長く小範囲に露出している。外觀が緑色または紫赤色のいわゆる変朽安山岩と呼ばれるものである。この岩石は宇佐郡や速見郡に広く分布する変朽安山岩（宇佐層と呼ぶ）と同時期の新第三紀中新世中期の噴出物といわれている。これらの変朽安山岩は溶岩噴出後、引き続いて放出する熱水の変質作用によって生成されたものである。

観海寺火山岩中には斜長石や緑泥石のほか単斜輝石を多く含み、珪化や炭酸化などの作用を強くうけている。弱変質部の岩石の組織や残留する斑晶などからみて、おそらく本岩石の原岩は輝石安山岩であったと思われる。

区 分		構 成 岩 石
	沖 積 層 山麓堆積物 おにのみ 鬼箕山火山岩 阿蘇溶結凝灰岩	淤泥・砂・粘土 岩屑・扇状地堆積物 橄欖石・普通輝石塩基性安山岩 両輝石玻璃質安山岩
山陰系新期	大平山・男岳火山岩 高平山火山岩 鶴見岳火山岩 由布岳火山岩 境川火山岩	石英・角閃石安山岩 角閃石安山岩 含石英・両輝石・角閃石安山岩 含橄欖石・両輝石・角閃石安山岩 含橄欖石・両輝石・角閃石安山岩
山陰系旧期	水口山火山岩 御越山火山岩 高崎山火山岩 福万山・立石山・池の台火山岩	角閃石・球顆玻璃質安山岩 角閃石玻璃質安山岩 含両輝石・角閃石安山岩 紫蘇輝石・角閃石安山岩
	万年山溶岩 かなてえ 小鹿・鹿鳴越火山岩 由布川軽石流 浜脇層 観海寺火山岩	黒雲母・斜長流紋岩 各種輝石安山岩類 無層理含黒雲母、軽石灰砂層 層理ある軽石・シルト・砂層 変朽安山岩

別府市および周辺の地質図

1672. 3.



これらの岩体はしばしば石英脈や方解石脈に貫かれており、その中に高品位の金銀鉍脈を含むものがあり、かってラクテンチ付近では別府金山として採鉱されたことがある。

この種の岩石の原岩と生成時代については、原岩が輝石安山岩であり、その周辺に岩質的にきわめて類似した小鹿山系の輝石安山岩があること、分布地点が別府市の南部で、現在噴気活動の最も激しい地帯にあたることから、小鹿山系の輝石安山岩が新期の温泉・熱水の作用によって変朽安山岩を生成したとする考え方も成立つ訳で、北方の噴気地帯（鉄輪周辺）にもこの種の変質岩が多く生成されている事実からも、その噴出生成の時代については今後も検討が必要である。

c、浜脇層—東別府駅付近から朝見神社付近にかけての急崖は朝見川断層線の断層崖とみられる。この崖に露出する明瞭な層理のみられる堆積層が浜脇層である。厚さ 100m 程度で、両郡橋付近まで広がっている。標式的な露出地域は東別府の河内川溪谷でシルト層、砂層と軽石の互層、軽石層などからなり、北方に緩傾斜を示す。これらの層の上部には浜脇中学校付近で見られるように数cmの薄い白色軽石・玻璃質の黒色細礫からなる薄層を幾重にも含む砂層がのっている。この種の上部層は高崎山の溶岩の基底をなす堆積層の一部にきわめて類似している。

浜脇層は次の由布川軽石流に被覆されており、分布面積は狭い。由布川軽石流との相違はシルト層が多く、層理が明瞭で、砂層中に黒雲母がほとんど認められないこと、などである。類似の堆積層が亀川の北方豊岡の一部にもあり、これをも浜脇層と呼ぶには適当ではないが岩質の類似から浜脇層の一部とした。

d、由布川軽石流—由布川軽石流は別府市の西南部から南方に広がり、挾間町の北部、庄内町の北部に広く分布する。標式的な露出地は大分川の支流である石城川・由布川・小挾間川の流域一帯で、上限約370m、下位60m位まで露出し、厚さは300mを越えている。

城島高原ホテル付近（海拔700m）の温泉ボーリングの結果によると、この地点では由布川軽石流とみられる黒雲母含有の凝灰岩層が海拔235mから145mの間に90mの厚さに堆積している。また、東別府付近では隠山・穴守付近に浜脇層を被覆して分布する。

無層理であること、軽石を多量に含むことなどから熱雲の生成物であろうと考えられるが、後述の小鹿山系の輝石安山岩類の活動以前に噴出したものである。

由布川軽石流は軽石礫が最も多く、ガラス質珪長質岩・角閃石安山岩・輝石安山岩等の礫を含んだ火山灰質砂層である。これら灰砂層の色は灰色から淡桃色を帯び、黒雲母細片が普遍的に含まれており、軟質である。

由布川軽石流は軟質で、固結度も低く、浸食されやすいため、由布川溪谷（挾間町）などの深い浸食谷を形成している。

由布川軽石流に対比される地層は首藤次男によると大分層群の羽田部層に相当するものとされている。第2表に別府・大分地方の新生界の層序対比表を示す。

e、小鹿・鹿鳴越火山岩類—小鹿・鹿鳴越火山岩類は朝見川断層線（東別府—鳥居—川西）以南の小鹿山火山岩をはじめとする一帯の輝石安山岩類と豊岡—塚原—日出生台を連ねる線より以北にある鹿鳴越火山岩類の輝石安山岩類を一括してこう呼んだものである。

従来、豊肥火山岩類としてまとめられている一連の火山活動があり、その最終期に比較的溶岩を多く含む輝石安山岩を噴出した火山活動があって、この種輝石安山岩を筑紫溶岩と呼んでいる。小鹿・鹿鳴越火山岩類も豊肥火山岩類中の筑紫溶岩に当たるものであろう。これら筑紫溶岩は当地では山陰系の火山岩の基底に分布するもので、中・北部九州の各地に見られるものである。活動期は万年山系の斜長流紋岩よりも古期の火山活動によって形成されたものとされているが、おそらく更新世初期の噴出にかかわるものと思われる。

第2表 別府・大分地方の新生界の対比

		別府地方	大分地方(首藤次男1953による)	備考
第四紀	更新世 後期	阿蘇溶結凝灰岩 由布・鶴見火山岩類	九重層群	約33,000年前
	更新世 中期	万年山溶岩	大分層群 鶴崎層 滝尾層	旧象 <i>Stegodon orientalis</i> 約38~45万年前(牧砂礫層中) 豊肥火山岩の活動
	更新世 初期	小鹿・鹿鳴越火山岩類 由布川軽石流 浜脇層		
新第三紀	鮮新世	同尻火山岩	碩南層群 東植田層 判田層 東庄内層	瀬戸内系火山岩の活動
	上新世	篠原火山岩		
	上部中新世	池久保火山岩	宇佐層群	
	中部中新世	観海寺火山岩		

東別府南方の小鹿山・向ヶ平山・耳取山付近において、これら輝石安山岩類の活動様式を観察したところでは凝灰角礫岩と溶岩が交互に重なっており、高度 500m以上の火山体が形成され、このうち溶岩からなる部分は厚さ10数mのものが5~6枚あって、他の大部分は凝灰角礫岩からできている。

輝石安山岩類を造岩鉱物の種類で分けると、大略5種類に分けられる。その種類と産地は次のようである。

- ①両輝石安山岩—小鹿山・向ヶ平山・耳取山・吉備山・雨乞岳・高尾山・シヤナガヅル・鎌戸山
- ②単斜輝石安山岩—船原山
- ③斜方輝石安山岩—城ヶ岳
- ④橄欖石・輝石安山岩—鳥居・城島・湯布院町中依東方
- ⑤角閃石・両輝石安山岩—倉喜山

#### f、万年山溶岩

万年山溶岩は玖珠郡の万年山頂上部の台地、通称「上パネ」を構成する溶岩を指す、黒雲母を含む流紋岩で、球顆を含み、一部真珠岩や球顆岩などからなる。

万年山溶岩と同系の溶岩は久大線沿線の地域に多く、湯布院町の石武原(湯無田高原)、水地台の他、別府地域では別府市の北部、天間・台山(通称西の台)などに分布し、地形的に台地を構成していることが多い。

玖珠郡の万年山では万年山溶岩は輝石安山岩からなる「前パネ」の上ののっており、筑紫溶岩と考えられるこれら輝石安山岩より新期の噴出物と考えられていたが、最近宮久三千年は従来の万年山溶岩といわれているものを検討して新旧の二種にわけ、輝石安山岩(筑紫溶岩)より新しいものと古いものがあることを指摘している。別府付近の万年山式溶岩が新旧のいずれにあたるかははっきりしていないが、ここでは一応小鹿・鹿鳴越火山岩類より新しいものとして記載し、今後の検討をおこないたい。

#### g、山陰系旧期火山岩類

山陰系旧期火山岩類は由布岳・鶴見岳などの山陰系新期火山岩類の周辺にこれを取囲むように分布している。岩石の特徴はこれらがすべて角閃石安山岩類からなることである。また、これらの一部は朝見川断層線以南にも水口山・高崎山などのように噴出している。

山陰系旧期火山岩類を岩質によって分けると Aa~Ad の4種に大別される。Aa~Adの新旧については各々が離れているため不明である。山陰系旧期火山岩類は山陰系新期のものより酸性のもの



が多い。

福万<sup>ふくま</sup>火山岩は福万山・立石山（湯布院町）・池の台等に分布し、紫蘇輝石を含む角閃石安山岩からなり、八山は両輝石を多く含んだ角閃石安山岩・高崎山火山岩は両輝石をわずかに含む角閃石安山岩、御越山火山岩は玻璃質石基からなる角閃石安山岩、水口山火山岩は球顆を含む玻璃質石基からなる角閃石安山岩である。水口山火山岩は水口山をはじめ実相寺山・大観山（板山付近）・猫ヶ岩山に分布する。

#### h、山陰系新期火山岩類

山陰系新期火山岩類は速見火山区の中央部に比較的新しく噴出した火山岩類である。これら火山岩類は造岩鉱物の種類と岩質によってBa~Beの5種に分けられる。これらのうち、最初に活動したのは境川の上流右岸にある境川火山岩で、下部は凝灰角礫岩、上部は同質の溶岩からなり含橄欖石・両輝石・角閃石安山岩で、鶴見岳の下底にひろがっている。次の活動は由布岳火山岩で、由布岳とその西にある飛岳も同質の安山岩からなる。由布岳火山岩は含橄欖石・両輝石、角閃石安山岩で、由布岳と鶴見岳はともに中央火口丘をなす。

鶴見岳火山岩は上述の境川火山岩の活動後噴出生成されたもので、内山・伽藍<sup>がらん</sup>岳と同質で、少量の石英橄欖石・両輝石を含む角閃石安山岩からできている。

次に、鶴見岳火山岩の活動後、鶴見岳・内山・伽藍岳等の山腹に寄生火口丘として生成されたのが高平山・大平山（扇山）・男岳などである。高平山火山岩は石英をいくらか含む角閃石安山岩から構成されている。大平山・男岳は最も酸性で石英・角閃石安山岩からなる。大平山は通称扇山と呼ばれるように逆扇形の端麓なスロープをみせる山体をなしているが、火山灰の多い凝灰角礫岩からできおり軟質ルーズであるため、裾を引いたような形態を現出せしめたものであろう。

#### i、阿蘇溶結凝灰岩

阿蘇溶結凝灰岩は阿蘇外輪山から放出された熱雲形式の噴出物として、ほとんど九州一円をおおい広大な分布を示すものである。その放出物のうち、本地方に分布するものはその噴出期が約33,000年前（外輪第3回目の放出物）のものとされている。

別府の域内には分布せず、わずかに湯布院町川西付近と、久大線沿線の大分川・芹川の河床一帯などに分布する。黒色の玻璃質レンズを含む両輝石安山岩質の溶結凝灰岩からできている。

#### j、鬼箕<sup>おにのみ</sup>山火山岩

鬼箕山火山岩は伽藍岳の西方山麓に、小範囲に分布する。馬蹄型ないし、半円形の分布を示す。津房川の右岸の峡谷にはこの種の溶岩からなる7~8mの露頭がみられる。

最近、鬼箕山火山岩について、松本幡郎により詳細な岩石の分析と造岩鉱物の比較検討がおこなわれ、阿蘇中央火口丘の岩石と類似性の多いことから琉球系の火山岩とされた。橄欖石・紫蘇輝石からなる塩基性安山岩で、岩石の組織も玄武岩組織をなし、化学組成も玄武岩に近いものである。一見、岩相的には境川火山岩に似ている。

## 4 ま と め

本地質図について、従来の資料と異なる主な点を述べると、

- i 由布川軽石流と小鹿山系火山岩の相互関係および由布川軽石流の分布の北限を示したこと。
- ii 本地質図では小鹿・鹿鳴越火山岩については岩質による細分を図上に示さず、一括して図示した。各溶岩の詳細な区分と分布は今後の調査によって示したいと思う。
- iii 万年山式溶岩の新分布地域として鎌戸山東方に小分布地域を図示した。

- iv 山陰系旧期火山岩類のうち、水口山溶岩に類似するものが猫ヶ岩山一带に分布していることを図示した。
- v 山陰系新期火山岩類のうち、新たに境川火山岩をもうけた。
- vi 従来、高崎山と高平山を一緒にして高平山溶岩としていたが、これを分離し、高平山火山岩を山陰系新期火山岩類中に入れた。

#### 参 考 文 献

- 松本 唯一 由布・鶴見火山群 地質学雑誌 25巻 (1918)
- 鈴木 政達 別府付近の地史と温泉脈 地球物理 1巻 (1937)
- 富田 達 } 地学より見た別府 (別府市) (1952)  
山口 勝 }
- 笠間 太郎 速見火山区の地質 地質学雑誌 59巻 (1953)
- 〃 〃 速見火山区の岩石 (英文) 大阪市大研報 1、3巻 (1954、1958)
- 久野 久 火山及び火山岩 岩波全書 (1954)
- 宮久三千年 九州の新生代金属鉱床生成期試論 九鉱山誌 28巻 (1960)
- 首藤 次男 九州の最近統地史の問題点 地質雑誌 68巻 (1962)
- 小野 晃司 五万分の一地質図幅説明書「久住」 地質調査所 (1963)
- 〃 〃 阿蘇カルデラ東部の地質 地質学雑誌 71巻 (1965)
- 松本 幡郎 鬼箕火山岩の岩石学的研究 (英文) 熊大紀要 7巻 (1968)
- 森山 善蔵 別府温泉の貯湯岩層について 九大理研報 9巻 (1969)

# くじゅう火山の温泉群 (7)

## 田野および町田地区温泉の重金属

大分大学教育学部 志賀史光  
川野田実夫

### 1 緒言

筆者らは昭和45年度より、くじゅう火山周辺の温泉群について、重金属の分布状況を調査している。昨年度は九重町湯坪地区（大岳、八丁原の地熱発電ボーリング井および筋湯温泉群）について調査研究し、本報告第22号にその結果を報告した。今回はくじゅう火山群の北部に散在する九重町田野地区温泉群および町田地区温泉群について重金属（鉄、マンガン、亜鉛、銅、鉛、カドミウムおよびひ素）の定量を行ったのでその結果を報告する。

### 2 採水状況

調査温泉等の位置を図1、2に示す。図中の数字は表1、2中に記した調査番号である。

採水期日

田野地区温泉群

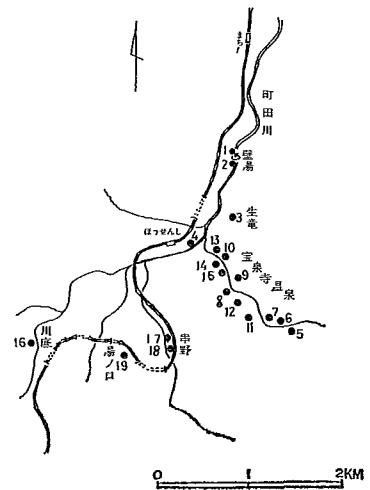
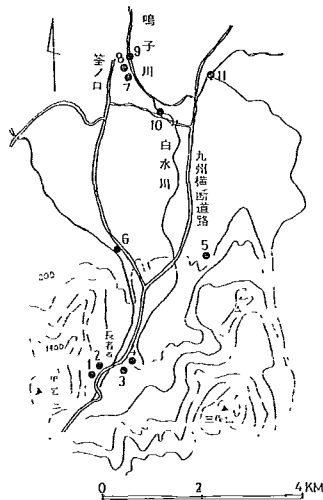
昭和46年10月19日

町田地区温泉群

昭和46年10月22～23日

図1 田野地区採水点

図2 町田地区採水点



### 3 分析方法と結果

重金属の分析に供する試水は、現地で1ℓにつき塩酸5mlを加えてもち帰り、実験室において分析した。

分析方法

分析方法は前回<sup>2)</sup>に同じ

分析結果

各調査温泉について、その重金属含量と主要化学成分含量を分析し、前者を表1に後者を表2に記した。

### 4 調査温泉中の重金属含量

#### 4.1 田野地区温泉の重金属

この地区には図1に示すように、山岳部とその谷間に近いところ、すなわち長者原地区に牧ノ戸温泉および寒の地獄などがあり、これらより少しはなれたところに湯沢温泉や大將軍谷温泉が湧出しており、更にはなれて釜ノ口温泉場がある。

長者原地区のものは一般に塩分中の硫酸根やカルシウムの含有比が高く炭酸水素イオンは極端に少ないものが多く、pHは一般に酸側にかたよっている。これらから距離的に遠ざかるに従い湯沢温泉

表1 調査温泉中の重金属含量 (単位はmg/ℓ)

1) 田野地区温泉群 (1971.10.19採水) 9~11は川水

調査番号・泉名	泉温	pH	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	As
1 牧ノ戸Ⅰ	92.5	7.39	0.07	0.07	0.016	0.002	0.005	0.000	0.000
2 牧ノ戸Ⅱ	75.5	6.29	0.35	0.18	0.016	0.005	0.009	0.000	0.000
3 星生温泉	44.0	2.00	28.25	8.08	0.072	0.006	0.012	0.000	0.007
4 寒ノ地獄	12.2	4.46	0.36	1.12	0.013	0.007	0.014	0.000	0.000
5 湯沢温泉	42.6	5.70	19.00	12.10	0.025	0.006	0.005	0.000	0.002
6 大將軍谷温泉	29.0	5.55	6.68	4.72	0.019	0.003	0.010	0.000	0.000
7 釜ノ口新清館	42.6	6.15	7.06	0.66	0.021	0.014	0.016	0.000	0.093
8 釜ノ口共同湯	49.1	6.60	7.76	0.60	0.010	0.006	0.010	0.000	0.167
9 白水川	14.0	4.03	1.32	2.32	0.041	0.014	0.010	0.000	0.000
10 鳴子川釜ノ口橋	15.8	7.40	0.85	0.64	0.022	0.012	0.006	0.000	0.003
11 鳴子川旭橋	17.2	7.49	0.59	0.46	0.015	0.007	0.009	0.000	0.000

2) 町田地区温泉群 (1971.10.22~23採水)

調査番号・泉名	泉温	pH	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	As
1 壁湯川岸	39.1	7.22	0.036	0.014	0.010	0.008	0.004	0.000	0.071
2 壁湯共同湯	40.7	7.48	0.026	0.005	0.004	0.004	0.004	0.000	0.070
3 生竜共同湯	48.6	8.10	0.023	0.012	0.008	0.012	0.018	0.000	0.083
4 宝泉寺佐藤忠志	43.6	7.82	0.038	0.016	0.012	0.006	0.025	0.000	0.027
5 〃足立正平	31.8	7.10	0.044	0.076	0.008	0.008	0.004	0.000	0.027
6 〃佐藤惣三郎	45.5	7.30	0.026	0.012	0.009	0.005	0.028	0.000	0.038
7 〃梅木宣夫	56.5	7.30	0.026	0.009	0.018	0.006	0.004	0.000	0.065
8 〃矢野万州夫	88.8	7.23	0.034	0.028	0.012	0.005	0.020	0.000	0.056
9 〃宝泉荘	85.4	7.30	0.114	0.012	0.018	0.005	0.020	0.000	0.187
10 〃戸沢スエ子	44.0	7.33	0.132	0.210	0.012	0.004	0.012	0.000	0.166
11 〃湯浅進	83.8	7.30	0.033	0.012	0.016	0.003	0.012	0.000	0.166
12 〃田籠勝	80.0	7.28	0.038	0.014	0.021	0.006	0.008	0.000	0.209
13 〃竜泉閣	67.8	7.28	0.024	0.010	0.048	0.005	0.010	0.000	0.078
14 〃ホテル山の湯	78.2	7.00	0.064	0.012	0.012	0.002	0.010	0.000	0.157
15 〃観光ホテル	64.0	7.50	0.056	0.252	0.014	0.003	0.018	0.000	0.114
16 川底温泉螢川荘	88.6	6.69	0.023	0.016	0.021	0.006	0.008	0.000	0.089
17 串野共同湯	57.8	7.00	1.38	0.576	0.008	0.005	0.024	0.000	0.098
18 串野南共同湯	49.6	7.49	0.024	0.040	0.010	0.006	0.008	0.000	0.030
19 湯ノ口温泉	31.8	7.02	0.035	0.012	0.008	0.002	0.011	0.000	0.040

表2 調査温泉中の主要成分含量 (単位はmg/ℓ)

1) 田野地区温泉群 (1971.10.19採水)

調査番号・泉名	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
1 牧ノ戸Ⅰ	3.70	4.0	3.0	0.4	11.3	37.6	87.4	72
2 牧ノ戸Ⅱ	49.2	5.1	13.4	5.0	12.4	117.0	70.3	83
3 星生温泉	93.6	16.1	166.0	54.7	200.7	1880.0	0.0	103
4 寒ノ地獄	12.6	4.1	49.4	8.2	37.0	148.0	3.1	92
5 湯沢温泉	188.8	37.8	428.0	142.2	612.1	890.0	326.4	173
6 大將軍谷温泉	73.8	14.7	192.5	49.2	216.1	418.0	131.1	151
7 釜ノ口新清館	288.5	68.6	165.0	116.0	236.7	344.0	1130.8	148
8 釜ノ口共同湯	316.0	72.2	175.5	127.0	258.3	368.0	1207.8	199

9	白水川	23.4	6.0	61.0	15.9	63.8	210.0	0.0	77
10	鳴子川釜口橋	16.4	3.6	39.3	10.6	37.7	72.0	55.6	53
11	鳴子川旭橋	13.3	2.9	29.8	8.4	18.5	43.0	88.6	58

2) 町田地区温泉群 (1972.10.22~23採水)

調査番号・泉名	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
1	壁湯川岸	69.3	5.4	12.3	1.8	107.0	9.0	61.4	88
2	壁湯共同湯	72.5	5.7	12.9	1.8	107.0	10.0	61.7	89
5	生竜共同湯	100.0	4.0	14.6	0.1	136.1	14.8	58.7	77
4	宝泉寺佐藤忠志	73.0	5.7	13.8	0.9	104.5	8.7	59.6	92
5	〃足立正平	24.8	3.8	8.9	0.4	25.7	4.3	59.9	106
6	〃佐藤惣三郎	43.5	10.4	15.7	0.4	71.1	6.5	65.1	136
7	〃梅木宣夫	64.2	3.0	4.9	0.0	84.3	8.4	69.4	114
8	〃矢野万州夫	176.5	8.0	14.7	0.1	245.9	17.5	85.0	138
9	〃宝泉荘	214.5	11.1	20.2	0.2	312.0	19.8	77.9	143
10	〃戸沢スエ子	133.5	5.6	16.1	0.8	168.7	28.8	82.8	106
11	〃湯浅進	185.0	11.2	30.2	0.2	278.4	17.8	84.0	153
12	〃田籠勝	163.5	8.1	12.0	0.1	223.5	16.5	82.5	153
13	〃竜泉閣	138.7	6.0	8.2	0.2	183.0	15.4	75.8	137
14	〃ホテル山の湯	185.0	9.6	16.3	0.2	258.1	17.8	79.8	134
15	〃観光ホテル	147.0	11.8	16.7	0.8	205.2	16.3	95.4	126
16	川底温泉螢川荘	261.2	39.4	30.9	2.8	410.5	23.6	76.4	236
17	串野共同湯	219.5	36.7	23.7	2.4	337.3	16.8	111.9	172
18	串野南共同湯	38.8	6.1	7.2	0.4	36.6	3.6	75.2	150
19	湯ノ口温泉	45.5	8.3	15.0	3.3	52.8	7.5	79.2	72

や釜ノ口温泉にみれるように塩素イオンや炭酸水素イオンが増大し、カチオンではナトリウムイオンが多く含まれるようになり、特にマグネシウムイオンが著しく増加するという特徴があらわれてくる。このため田野地区温泉群においては、長者原地区の温泉と釜ノ口温泉とでは主成分含有比からみて明らかに異った泉質を示している。

田野地区の調査温泉中の金重属は表1の1)に示している。

鉄の含量は一般に高く、特に星生温泉や湯沢温泉などは多量の鉄を含有しており、前者は28.3 mg/lの鉄を硫酸第一鉄として、後者は19 mg/lの鉄を炭酸水素鉄として含有している。その他の温泉中には一般に7 mg/l程度の鉄が溶存しており、この地区に湧出する温泉(牧ノ戸のボーリング噴気井を除く)中の鉄含量の平均は13.8 mg/lである。

マンガン含量は長者原地区の温泉が高く、この地区から遠ざかるに従って低下する。最高は湯沢温泉の12.10 mg/lで、田野地区温泉の平均は3.44 mg/lであり、別府平均の1.05 mg/l、本邦平均の2.3 mg/lより高い。

亜鉛は星生温泉が最も高く0.072 mg/lであるが、他は含量が小さく0.01~0.03 mg/lである。この地区の平均は0.024 mg/lで、別府温泉の0.31 mg/l、本邦平均の0.90 mg/lよりはるかに小さい。

銅は釜ノ口新清館が最も高く0.014 mg/lを示したが、他はほとんどがこの1/2以下で、この地区の平均としては0.006 mg/lであった。これは別府温泉の平均0.01 mg/lより僅かに小さいが、本部平均の0.80 mg/lにくらべると著しく低い値である。

鉛は平均0.01 mg/lで、銅より僅かに高い値を示している。

カドミウムはすべての温泉が定量限界以下で、検出できなかった。

ひ素は長者原付近の温泉にはほとんど含まれておらず周辺部の釜ノ口温泉は約1~1.6 mg/l程度含

まれている。この地区平均としては $0.034 \text{ mg/l}$ で、九重町湯坪の大岳や八丁原の発電用噴気の附随水の $2.5 \text{ mg/l}$ にくらべると非常に小さな値である。

#### 4. 2 町田地区温泉の重金属

九重町町田地区には町田川に沿って北より壁湯温泉、生竜温泉、宝泉寺温泉、串野温泉および川底温泉などが散在している。この地区の温泉群は筆者らが先にのべたように、その泉質は相互に類似している。すなわち、塩分量は $300 \sim 1000 \text{ mg/l}$ でナトリウムイオンと塩素イオンがカチオンとアニオンを代表する成分であり、泉質は典型的な弱食塩泉型で、主要成分のうちカルシウムイオンや硫酸イオンが少なく、マグネシウムイオンは極端に少ない。宝泉寺温泉では自然湧出泉は一般に泉温が $50 \sim 60^\circ\text{C}$ のものが多く、ボーリングによるものは掘削深度 $50 \sim 80 \text{ m}$ のものは泉温が高くほとんど沸騰泉であるが、深度が $170 \sim 200 \text{ m}$ のものは逆に温度が低下し $43 \sim 46^\circ\text{C}$ である。

この地区の温泉中の重金属含量を表1の2)に示す。

鉄は最高 $1.38 \text{ mg/l}$ 、最低 $0.024 \text{ mg/l}$ で、ほとんどの温泉は $0.02 \sim 0.05 \text{ mg/l}$ の範囲でその平均は $0.044 \text{ mg/l}$ である。これは別府平均の $1.64 \text{ mg/l}$ よりはるかに小さく、鉄含量の甚だ小さい温泉群である。

マンガン含量は $0.005 \sim 0.576 \text{ mg/l}$ の範囲内にばらついており、 $0.1 \text{ mg/l}$ をこえるものは僅かに3口で、ほかはすべてこれ以下であり、その平均は $0.06 \text{ mg/l}$ である。この値は別府温泉や本部温泉の平均にくらべてはるかに小さく、鉄と同様にこの地区の温泉群中のマンガン含量は非常に低い値を示している。

亜鉛は最高 $0.48 \text{ mg/l}$ 、最低 $0.004 \text{ mg/l}$ で、そのほとんどが $0.01 \sim 0.02 \text{ mg/l}$ の間にある。その平均は $0.014 \text{ mg/l}$ で、これもまた別府温泉などにくらべて一けた以上小さい値である。

銅はその平均が $0.005 \text{ mg/l}$ で、温泉口によるばらつきが少なくほとんどがこの程度の含量を示している。これも他地区の温泉にくらべて低い値である。

鉛は平均 $0.012 \text{ mg/l}$ で銅よりやや高い値である。

カドミウムはどの温泉にもほとんど含まれておらず、いずれも検出限界以下であった。

ひ素は $0.027 \sim 0.21 \text{ mg/l}$ の間で、その平均は $0.093 \text{ mg/l}$ であり、別府温泉の $0.22 \text{ mg/l}$ の約 $1/2$ であるが、田野地区温泉より高い値を示している。

### 5 調査温泉の重金属と他成分との相関

#### 5. 1 塩素量との相関

前報に記したように九重町湯坪地区温泉群(大岳、八丁原筋湯など)ではひ素と塩素との間に正の相関がみられた。今回の調査区域の温泉群のうち、宝泉寺地区温泉群では図3にみられるように、塩素量の多い高温泉ほどひ素の含量は高くなっており、両者の間に正の相関がある。このことは両者の起源は同じで同一熱水に由来するものであろうという一つの示唆を与えるものである。

図3 町田地区温泉中のClとAsの相関

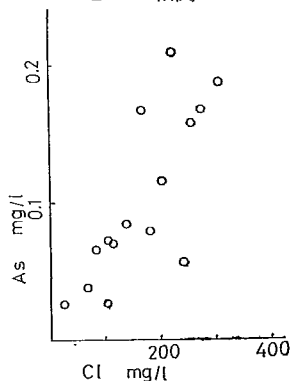
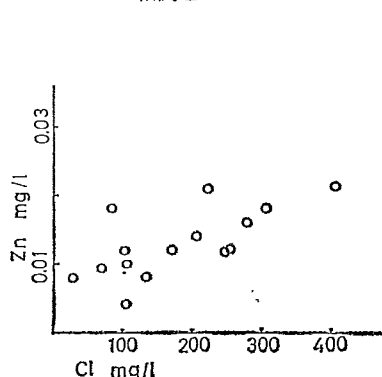


図4 町田地区温泉中のClとZnの相関と



一方長者原地区の温泉は前にものべたようにひ素含量が極めて小さく、このような温泉においては塩素量との相関はみられない。

宝泉寺温泉群における亜鉛と塩素との相関を図4に示した。一般

に、この地区の温泉群は筆者らが先にのべたように、その泉質は相互に類似している。すなわち、塩分量は $300 \sim 1000 \text{ mg/l}$ でナトリウムイオンと塩素イオンがカチオンとアニオンを代表する成分であり、泉質は典型的な弱食塩泉型で、主要成分のうちカルシウムイオンや硫酸イオンが少なく、マグネシウムイオンは極端に少ない。宝泉寺温泉では自然湧出泉は一般に泉温が $50 \sim 60^\circ\text{C}$ のものが多く、ボーリングによるものは掘削深度 $50 \sim 80 \text{ m}$ のものは泉温が高くほとんど沸騰泉であるが、深度が $170 \sim 200 \text{ m}$ のものは逆に温度が低下し $43 \sim 46^\circ\text{C}$ である。

にせまい地域内で同じ源泉に由来すると考えられる温泉群では、この両者間に正の相関がみられるとの報告があるが、この図にも同様な傾向みられる。

一方田野地区温泉群については、ひ素の場合と同様にこの両者間に何らの相関も見出せなかった。

図5 調査温泉におけるPbとClとの関係

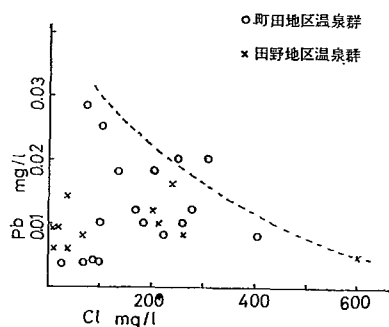


図6 田野地区温泉中のMnとSO<sub>4</sub>の相関

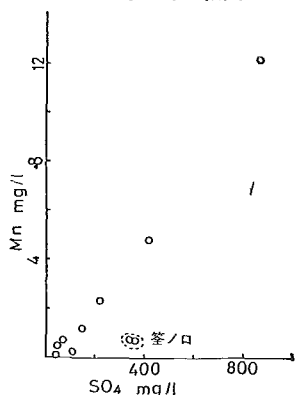
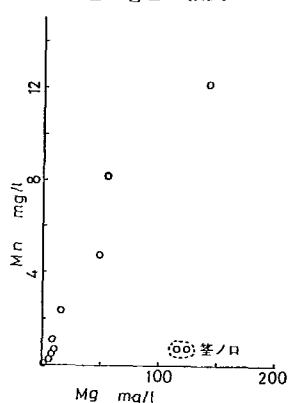


図7 田野地区温泉中のMnとMgとの相関



更に今回の調査温泉等全部についての鉛と塩素との相関を図5に示した。この図では塩素量に対する鉛の最大量の間には全般的に負の相関がうかがえるし、各測定値は図中の点線の下に分布している。このことからある一定量の塩素に対し溶存しうる鉛の量には限界があるように思われる。

### 5. 2 マンガンと硫酸根、マグネシウムとの相関

田野地区の温泉におけるマンガンと硫酸根との間には図6にみられるように正の相関がある。一般に硫酸根は地熱地帯では地表近くで生成されるものであるが、マンガンはこの硫酸根と正の相関を示すことから、温泉水中のマンガンは熱原水に由来するものではなく、主として地表近くの岩石から溶出してきたものであろうと思われる。またこの地区におけるマンガンはマグネシウムと図7にみられるように正の相関を示している。田野地区釜ノ口温泉や直入郡長湯温泉群など、くじゅう山地周辺部にマグネシウムの多い炭酸泉が多く湧出しているが前記の理由でこれらの温泉中のマグネシウムもマンガンと同様に比較的浅い岩石から溶出してきたものと思われる。このことは、これらの温泉中の化学成分の起源について一つの示唆を与えるものと思われる。

一方宝泉寺温泉で代表される町田地区温泉群は、いずれも硫酸根含量が少なく河川水程度しか含有しておらず、かつマグネシウムは極端に少ないので、これらの成分間に田野地区にみられるような相関はみられない。

## 6 結 言

今回くじゅう火山群の温泉中、田野地区および町田地区の温泉群について重金属の含量を調査したが、その結果を要約して次にのべる。

今回の調査地域の温泉水中における重金属含量は別府温泉や本邦温泉の平均にくらべてはるかに小さく、わずかに田野地区の鉄とマンガンだけが上記の2地区の平均より多く含まれている。

塩素と正の相関を示すものは宝泉寺温泉群の亜鉛とひ素だけで、他の重金属は正相関を示さず塩素とその行動を異にしている。宝泉寺温泉においては泉温の高いものは塩素を多く含み、それに伴ってひ素や亜鉛の含量も高い。これらのことからこの温泉群におけるひ素や亜鉛は原熱水に由来するものがその大部分を占めているものと思われる。

一方田野地区温泉においては、マンガンと硫酸根やマグネシウムとの間に正相関がみられることか

らして、この地区の温泉中のマンガンやマグネシウムは温泉の湧出経路にある岩石や土壌などから溶出してきたものと思われる。

おわりに大分県温泉調査研究会が当研究の費用の一部を負担されたことを付記すると共に、採水、分析の労をお願いした大分大学学生佐藤憲正君に感謝する。

#### 参 考 文 献

- 1) 川野田実夫、志賀史光:大分県温泉調査研究会報告、22号、1971
- 2) 1) に同じ
- 3) 志賀史光:大分県温泉調査研究会報告、18号、1976
- 4) 志賀史光、川野田実夫:同上、21号、1970
- 5) 古賀昭人:温泉科学、10、2、1959
- 6) 岩崎岩次:『火山科学』、1970
- 7) 3) に同じ
- 8) 吉川恭三、志賀史光、森山善蔵:九重町・菅原地域温泉調査報告書、1964
- 9) 1) に同じ
- 10) 5) に同じ
- 11) 一国雅己:日化誌、80、10、1959
- 12) 4) に同じ



# 湯平における温泉権の実態

—— 集中管理の実態とその法律関係 ——

大分大学教育学部 大 野 保 治

## 1 ま え が き

まず、地理について述べるなら、湯平温泉は大分郡の西端に位置し、東は南庄内、南は南庄内と阿蘇野、西は飯田、北は由布院の各地区に境している。三方山を繞らし、中央部を大分川の支流花合野川が西より東に流れ、標高は約500メートルである。

明治維新前、湯平村は、大部分が延岡領に属し、他は府内藩と幕府直轄地であった。明治四年の廃藩置県で日田郡に編入され、同二十二年町村制実施の際、速見郡の管轄になったが、さらに同三十三年大分郡に編入をみた。大正期を経て昭和に至り、鉄道久大線の敷設が大分川の溪流に沿って建設される（昭和九年）や、大分市や大分郡との結びつきが密接になり、一段と温泉場の賑わいを増した。戦後昭和二十四年、由布院町も大分郡に編入されたが、同三十年二月に由布院・湯平の両町村が合併して現在の湯布院町が誕生した。

湯平温泉は由布院から約10キロメートルの地点にあり、現在旅館は55軒、商店や土産品店、飲食店など約10軒が軒を並べ、その周辺に農家40余軒が散在している。年間浴客数は約20万人といわれ、久大線湯平駅から西へ花合野川に沿ってバス便約15分で到着する。

湯平温泉の起源については詳かではないが、ほぼ次のようである。往古、土地の狩人が花合野川の溪流に毎日姿を見せていたサルが突然姿を消したので行って見たところ、川岸に温泉が湧出していた。多分、手負いのサルが傷の手当に利用していたのであろう、と。これが大湯（現在の金の湯）の起源である。降って、室町時代に、京都から来たといわれる麻生摂津守という人が湯平の西の台地（カマガダイ山）に叢祠を建てて居を構え、上記の大湯を湯治場として開発したと伝えられる。江戸時代中期以降、阿蘇野や大分郷の農民が山を越えて入湯に来るようになって、今日の湯平温泉の基礎が固められた。当温泉場は自然湧出泉の共同浴場を中心に発展してきた湯治場であり、大湯（金の湯）を主に、その後、銀の湯・中の湯（白竜温泉）・砂湯（中央温泉）・見はらし湯がつぎつぎに地区民により開発され、部落民によって共同利用と共同管理がなされてきたのである。

かって以前、大正末期から昭和初期にかけて、当湯平温泉は県下でも別府浜脇温泉に匹敵する賑わいをみせ、年間15～18万人の湯治客が参集していた。昭和初期、九大温泉治療研究所（別府市荘園）の小野寺博士により胃腸病に特効があるとの研究と宣伝がなされたことも発展の一因であったといわれる。現在でも、なお鉱泉として年間120万円の販売がなされ、九大温研では、今日に至るまで胃腸病手術の後に飲ませている。湯平の各共浴場には次のような掲示が見られる。「無償で温泉の汲み帰りを禁ずる。温泉を汲み帰る方は壺斗につき金四百五拾円で代金を温泉事務所に支払いの上汲んで下さい。湯布院町」。

昭和初期から第二次大戦までかなりの繁栄をみた湯平温泉も、戦後は全くすたれ、閑古鳥の鳴く日が続いた。戦時中、温泉街全体が陸軍に接収され、大分陸軍病院湯平分院として旅館の大半が負傷兵・病兵の療養所にあてられたことも再起を遅らせた一要因であった。当時は、部落の入口に営兵が立ち、湯治に来た客を追い帰したという。この陸軍病院時代も約1年で終り、終戦を迎えることになったが、活気を取りもどしたのは昭和二十五、六年頃からであった。温泉場につきものの遊廓も12、3軒を数え遊女の数も数十名に達し、売春防止法（昭32）が制定されるまでおおいに栄えたという。しかし何分にも温泉の規模が小さく、地形的条件にも恵まれぬことから近代的温泉都市への脱皮は難しく、今な

お戦前の湯治的性格を遺している。別府温泉等の著名温泉地が観光ブームで賑わいを見せる中で、当温泉場は戦前からの実績を買われて比較的長期逗留の浴客があとを絶たず、最近ようやく地域開発の一環として温泉資源が再編成されることになった。叙述のように、当湯平温泉は本来、共浴場中心で「外湯主義」を基本的に採ってきたのであるが、近年来一般に、温泉地の傾向として内湯を設置して浴客を誘致する方法がとられているため、温泉地間の競争を意識して内湯設置の要望が高まっていた。とくに、当温泉場が由布院町と合併し、由布院温泉が九州観光道路に沿い、山の中で湯として脚光を浴びるようになったことも加わって、これに対抗する必要上、温泉資源の公的開発と適正かつ合理的の共同利用の気運が熟したことから、「集中管理方式」が採用されて関係者の関心を呼んでいる。

## 2 湯平温泉の沿革と概況

湯平温泉は、自然湧出の共浴場を基軸に、旅館業者と部落住民との協力のもとに発展してきた農村湯治客中心の温泉場である。こうした基本的性格は、今でも変わっていないように思われる。本章では、当温泉の歴史的沿革と概況を、法社会学的観点から概述することにする。

### (1) 明治期

明治以前と明治期の温泉利用の実態は、遺された文献もまた資料もなく判明しないが、故老の談によれば、川縁に湧出する自然温泉を部落民は誰でも自由に利用していたようである。当時、すでに大湯・中の湯・砂湯は存在していたといわれるが、永年の慣行に支えられた原初的な温泉利用も、町村制実施の頃(明22)から問題を生じたという。その頃、村から選ばれた数名が共浴場の世話をしていたが(江戸時代から、湯株のような権利を持っていたのではないかと推察されるが判明しない)、いつの間にか源泉地の土地所有権を確保して自らのものにし、温泉組合をつくって湯銭の徴収を始めようとしたから紛争を生じた。こうした事態は、いきおい、永年にわたって共同支配を続けてきた旧慣上の温泉利用集団と、明治の土地改革に基づく国家法次元での近代土地所有者との間の矛盾・対抗を一層鮮明にしたばかりか、内部抗争をますます熾烈化せずにおかなかった。すなわち、一方では旧慣の強固な温泉権秩序が存在するのに、他方では近代的な土地所有権の自由が貫徹し、両者は緊張関係に立たざるを得ないからである。このような場合、日本の温泉地の一般的傾向としては、温泉の私的支配が進むにつれて総有的支配に基礎をおく旧慣上の温泉権は後退し、変質あるいは解体を余儀なくされるという過程をとる。当温泉場としてこの例外ではないが、それはいささか趣を異にし、後述するように共同体的支配は変質しながらも直ちに解体の方途はたどらず、その速度もかなり緩慢なものであったように思われる。

### (2) 大正—昭和(戦前)期

明治も末期には、すでに川の両岸に十数軒の温泉宿・旅館が建ち並び、農村湯治客で賑わっていたが大正に入り、とくに第一次大戦後は一層活況を呈したという。当時、旅館数も三十数軒にまで増加して浴客も十万人を越えていたことから、前記温泉組合では湯銭の徴収を強化し、「各旅館の部屋に上りこんで湯治客から直接に集めようとした」と言われている。この頃から、内湯を持たない旅館は結束して、金の湯・銀の湯に対して特権的支配を振る温泉組合とその組合員であり内湯をもつ少数の有力旅館に対して根強い反感と反撥を懐くことになる。当時、内湯を設けていたのは大正館・新屋・鶴家本家・鶴屋隠宅・石丸の五軒とされ、他はいずれも「外湯」に頼らざるを得ない状況にあった。

大正も後半に及んで、いよいよ活気を帯びた当湯平では旅館の優劣の差が明らかになり、有力旅館は建物や浴場の改築、自家泉源の「浚渫」や「穿掘」を盛んに行なった。当時の記録によると、大正二年に旅館大正館と新屋が改築しており、旅館志美津は「湧出カ所(公有川敷)湯平村字社野川沿岸鉦泉ヲ湯平村大字谷川字屋敷上二七七番地ニ自家浴用トシテ大正十二年九月三日使用許可」を得、さらに旅館東屋も「昭和八年十一月二十日付湯平村麻生喜久ニ対シ、七九八番地内鉦泉ヲ利用シ宿屋兼営業用浴場設置ノ許可」等、営業上の浴舎の建築許可が出されている。また、泉源の状況は、資料に

よれば、旅館鶴屋は大正十二年つづいて十五年に淺渌（大字谷川字ホウノキ 567—2番地）、この間同十二年に穿掘許可、さらに昭和二年淺渌許可を、旅館白雲荘も大正十三年に淺渌（同前581—2番地）、その他、旅館新屋も大正十三年に淺渌許可を得ている（同前582—2番地）。昭和に入って、旅館大観荘が穿掘申請をなし（八年）、泉源の開発に一応成功している。

もともと、湯平は、地下泉源の規模が狭小で湧出地区も限定されており、そのため新泉源の開発は不可能視されていた。こうした内湯実現の願望を阻む決定的な自然条件に加えて、地形的にも、山間溪流に沿い、狭隘地に限界づけられるという地域性は資本主義の滲透を阻止するとともに、一面では、共同体的社会基盤にもすでに弛緩の予兆を見せ始めていた旧慣秩序をその内部から解体するまでには育たず、依然として当温泉のもつ基本的性格を維持し続けたのであった。しかしながら、温泉組合の優越的支配と半強制的な湯銭の徴収への反撥は、内湯を持たない二十数軒の弱小旅館群をして共浴温泉の公有化実現に向わしめた。当時、共浴温泉の中で、国（国有地）から借り受けていた「砂湯」は浴槽が狭く浴客にはあまり利用されず、また温泉街入口近くにある「橋本温泉」は、かつての自然湧出の見はらし湯で住民に開発されたものであったが、これまた湧出不良で殆んど利用されないままに、大正末期頃転入して来た橋本氏が宅地造成中に発見した新泉源を、代替の共浴場として住民に提供したものであった。内湯のない大半の弱小旅館グループでは、浴客専用の「上等温泉」である金の湯・銀の湯の解放を期するためには、まず上記二温泉の村有化が必要であるとして地域利用者集団とともに——一説によれば、旅館グループ側が結束して暗に地区住民に強要し住民側から要求させたという——強く村当局に働らきかけた。村でも、これら大半の旅館業者の意向を無視できず、昭和十一年に至って、ついに村有化を実現した。すなわち、貧弱な村財政では買収資金にも困っていたことから国の融資を受け、まず同年六月七日付で金の湯を、ついで同月十五日付で銀の湯を買収、国有地にあった砂湯も大蔵省の払下げを受けていずれも湯平村名義に変更した。これでひとまず旅館業者内の対立的感情は納まったものの、内湯設置をめぐる潜在的対立意識は根本的に解決しえたわけではなく、集中管理が実現して待望の内湯設置が可能となった最近まで、それは長らく続いたのである。集中管理が他の温泉地（例えば宝泉寺温泉）に比較してスムーズに発足しえた社会的背景には、叙上のような多年にわたる抗争が潜在していたことにも留意する必要がある。

### (3) 戦後期

資料によると、湯平温泉には昭和四十六年三月末現在、温泉総孔数は23口あり、その内訳として、湧出形態別には自然湧出泉13口、人工掘さく泉7口、涸渇（休止中）3口である。所有形態別には町有6口、個人有13口、会社有4口となっている。泉温はいずれも60度～90度、総湧出量は1日につき約300立方メートル（約1500石）で戦前・戦後とさして変らない。

町では昭和四十四年十一月、集中管理方式の準備作業として新泉源の開発を試み、これに成功した。これが現在活躍中の2号泉である（温度79度、毎分約200リットル）。町では、これより早い昭和三十八年にも新泉源の開発を試みたが成功せず、さらに同四十年地点を変えて推さくしたところ一応の成功をみたが、湧出量が毎分30リットルと少なく、加えてスケールが付着することから役立たず、現在この1号泉は集中管理用の泉源としては使用していない。町では、現在使用中の2号泉の増強用として、さらに別に掘るかどうかが検討中である。

### (4) 総括

全国の温泉地において、一般的・普遍的傾向として、次のような発展過程をまず指摘することができよう。すなわち、明治末期までは自然湧出泉が中心的役割を果たしていたが、大正期に入って人工掘さくが開始され、昭和期に入るに及んでこうした掘さく傾向は一段と拍車をかけられ、そのため、従来の自然湧出泉ははだいに湧出量や温度に異変を生じ、やがては涸渇するに至る——といったプロセスである。このことは法社会学的に解説を加えるなら、次のようになろう。旧慣上の温泉利用は元来、地域社会（村落）の住民によって共同体的に支配され、その秩序はその地域社会集団の内部統制

によって維持されていた。ところが、村落集団の旧来の秩序は、日本経済の発展過程にまき込まれるにしたがって解体ないしは変質し、また明治以降の町村制も、結局は、この村落秩序の解体を促進し、その結果、集団内部における社会統制の機能は無力化していく。このため、これに代わるものとして国家法による規制が必要になってくる、と。

要するに、叙上のような全国温泉地に見られる一般的・普遍的な発展過程とこれを必然ならしめる自然的・社会（経済）的・歴史的諸条件による存在規定は、当湯平温泉をして独特の個性ある温泉地たらしめている。具体的に述べれば、今日なお自然湧出を続ける共浴温泉を中心にしながら、併せて各旅館の内湯との共存をはかるといふ「内湯併置主義」が採られ、個人による源泉所持と利用はさほど見られないのである。この点、山陰の城崎温泉（兵庫県）と似たような状況にあると言えよう。

### 3 集中管理の実態

#### (1) 経過と目的

湯平温泉の集中管理は、述べるまでもなく「湯平温泉の適正な利用と泉源保護をはかるため」になされたものである（湯平温泉事業管理条例第一条）。この方式が実現した社会的（歴史的）背景としては、前章にも触れたように、川を挟んで立錐の余地のないまでに旅館が立ち並び、永年にわたって大半の旅館に内湯実現の要望が強かったこと、このままの状況で推移すれば少数の有力旅館が泉源を独占排他的に支配し、共浴温泉自体にも影響が出るのではないかと専門家の調査では、すでに湧出減退の傾向が出始めているという一との危惧が存していたこと、また技術的にも実施可能な条件にあったこと、などを指摘することができる。

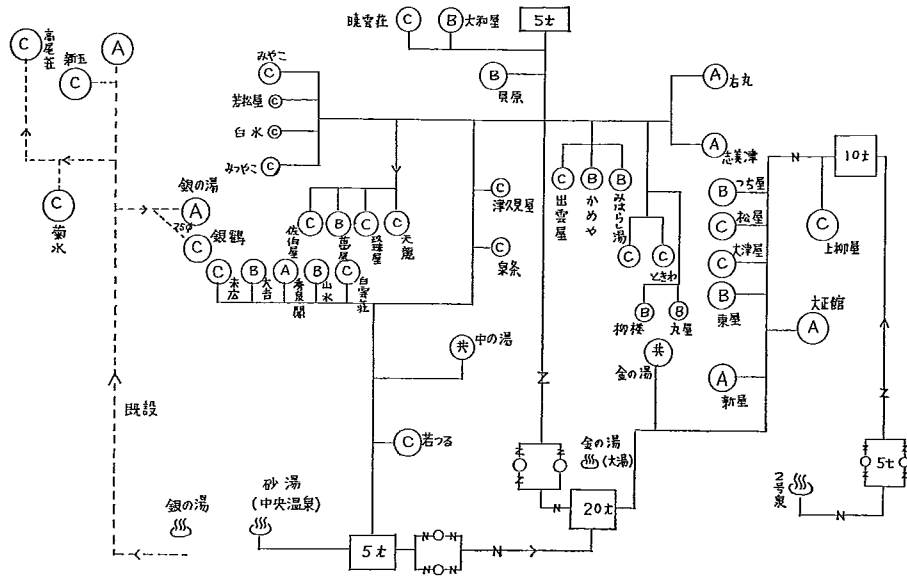
集中管理が最適の解決策であると識者に指摘されたのは約10年も前のことであり、将来を憂慮した町当局と一部達識の旅館業者は再三にわたって地域住民と旅館業者を説得し、強い決断の下に湯平温泉の泉源確保と湧出量の増大、共浴諸温泉の保全と一部旅館業者の独占的利用の排除、各旅館への給湯による内湯の設置、温泉利用の計画的合理的配分等を目指して、これが実現に多大の努力を重ねたのである。しかし、一面では、町当局としては「過疎地域の産業振興の一環」としての性格も併せ持たせてもいた。由布院温泉が雄大な山の間で湯として風光に恵まれ、交通の便も開かれているのに対し、ここ湯平は、鉄道沿線から入りこみ山間溪流の狭隘地に位置するため、町ではその発展策として、早くから九州横断道路より直ちに山下ノ池を経由して湯平に通ずる観光兼産業道路を新設し、当温泉場をも含めて大分・鶴崎新産物の一大休養レジャー・センターとして再編成し、地域産業を振興するとともに町財政の確立に寄与させようとしていたのである。

幸い、ここ数年、地元有志たちからも積極的な温泉再開発と保養施設拡充の声が盛り上っていたため、町当局としては、第一に新泉源の開発と採取量の増大を図ること、第二に最近湧出減退ぎみにある共浴温泉の保全を期するとともに旅館すべてに多年の内湯設置を実現すること、第三に湧出源泉を最も合理的・効率的に活用するためには是非とも「集中管理方式」に頼るほかなく、これによって挙げて共存共栄の実を促進すること、以上の基本構想に立脚して万全の努力をすることを約し、また地元での全面的協力を要請した。湯平地区では、再三にわたって慎重に討議した結果、町の要請を容れることに決定して直ちに開発促進協議会がつくられ、とかく実施が困難視されていた集中管理の技術面と財政面、さらに配湯をめぐる法律問題など詳細な検討を加えた。これを受けて、町当局では、昭和四十四年度に総工費 3,000万円を経上して同年三月に着工、同十一月には完工して直ちに給湯を開始したのである。

#### (2) 配湯状況

集中管理方式による循環式配湯の実施状況について述べるなら、おおむね次のとおりである。新たに掘さくされた二号線の湯はエアー・ポンプによって傍の5トン貯湯槽に集められ、金の湯まで川岸に沿って引湯されるが、その間7軒の旅館に配湯される。この残湯と金の湯源泉の余湯は傍の20トン大

図1 配湯状況の概略図



貯湯槽に集められ、再びポンプ・アップによって後背地の高台地区の旅館等に圧送されたあと、原貯湯槽に環流する。この湯は、一方では川岸南地域の傾斜地を自然流下する間、数本の支線を通じて約30軒の旅館等に給湯されたあと、温泉街入口の川下にある10トン槽に流入する。このタンクには砂湯源泉の余湯も合流されるが、湯は再びポンプ・アップによって金の湯20トン大貯湯槽に繰り上げられるという仕組みになっている。当温泉場が、溪流に沿ってかなりの急勾配をもって流下し得る条件にあることから採られたループ式による環流式給湯装置は全国でも珍しいとされ、熱損失の防止や合理的配分において格段の効率を發揮し、例えば別府温泉に見られるような個別利用による余湯や残湯の河川への廃棄などに比較して、それは画期的なものと言わねばならないだろう。

この給湯が受けられるのは「旅館業者とその他の者」（町条例第三条）で、優先的立場にある旅館業者はその経営規模や需要量の多少からA・B・Cの三ランクに、「その他の者」（個人）の受湯者はDにランクされる。現在のところ、Aランクは7軒、Bは17軒、Cは20軒、Dは17軒、合計61軒に配湯されて大半の旅館が多年の夢を実現したのであった（今日なお内湯のない旅館は4軒）。受湯者は町が貸与するメーターで使用量が計られ、規定による使用料金を町（温泉事務所）に納めねばならない。詳細な規定は、使用料並びに手数料条例に定められている。つぎに、町の泉源使用料徴収状況調（昭46・11・15現在）を見ると、使用量は月およそ3,000トンであり、4,000トンを超えたのは昭和四十五年の四月だけであった。また、滞納金額が月3～5万円に上っており、使用料金中に占める割

表1 料金負担表

工事費負担額	ランク	パイプ口径	基本トン数	基本料金
60万円	A	1インチ	(月)50トン	5,000円
45	B	0.8	40	3,500
30	C	0.6	30	2,000
25	D	0.4	25	1,500

(注) 超過分については、1トンにつき50円の使用料を納める。

表2 町有湯平温泉配湯使用料

種別	区分	単位	金額	摘要
1. 基本料金	A	月70屯まで	6,000円	
	B	〃50屯まで	4,200円	
	C	〃30屯まで	2,500円	
	D	〃25屯まで	2,000円	
2. 超過料金		1屯につき	100円	

この条例は昭和47年4月1日から施行。

表3 町有湯平温泉使用料

種 別	区 別	単 位	年 額	備 考
業 態 割	内湯を有する旅館	1 世帯	3,000円	
	内湯を有する商店	〃	2,500円	
	内湯を有しない旅館	〃	3,000円	
	内湯を有しない商店	〃	2,500円	
	特 別 営 業 者		3,600円	大分バスKK湯平(営)
居 住 者 割	内湯を有しない旅館	1 人	1,000円	
	内湯を有しない商店	〃	1,000円	
	花合野、中山上湯平地区		600円	
	温 泉 場 地 区	〃	1,000円	
	特 別 地 区 A	〃	1,000円	
	〃 B	〃	600円	

合が二十数パーセントにも達しているのは、旅館業者の過当競争から経営困難な業者が出てきたのではないかとのことである。

(3) 給湯契約

集中管理の地域および対象者は、町条例で定められており（第三条）、町長の許可によって個人にも許されていることは前述のとおりである。この点、例えば入来温泉（鹿児島県）において、町の給湯対象者が旅館業者や公設温泉に限られてとるのは異なる（旅館6軒、簡易旅館9軒、公衆浴場2）。

給湯される温泉の権利の法的性格については、私権としての温泉配湯請求権と何ら

表4 使用料徴収状況調（昭46.11.15現在）

年度	月別	使用量	使用料金	滞納額	摘要
昭45	10	2,308トン	229,500円	8,500円	1件
	11	3,037	253,400	22,400	4
	12	2,076	237,500	20,600	4
	1	2,710	237,800	27,250	8
	2	3,153	254,050	37,450	9
	3	2,630	226,350	45,900	13
	4	4,078	291,550	93,700	21
	5	3,014	238,200	47,500	6
	6	2,878	235,650	23,800	4
	7	2,673	226,050	40,500	5
	8	3,673	264,950	54,350	5
9	3,001	248,300	51,450	7	
10	3,023	244,600	54,400	8	

異なるものではなく、それはまた第二次温泉権である。配湯業者が会社であろうと公営であろうと、私的人格であることを否定するものではない。ただし、町有共浴温泉の浴舎・浴槽などの諸施設は勿論、集湯槽・揚湯ポンプ・配湯管などの給湯諸装置は行政主体である町の营造物であって、その管理・運営については条件による公法的規制を受けること勿論である。なお、配湯施設の利用条件、受湯者としての義務などについては町の規制に服することも言うまでもない。しかし、その手続によって成立した利用関係については、私有の施設の利用と本質的な差異はないから私法関係である。一方利用者たる受湯者は、营造物たる配湯施設の管理者である町に対し継続的に配湯給付を請求できる権利を有し、その権利はまた町長の許可があれば他人に譲渡することもできる（第 条）のであって、基本的には私法上の債権（対人権）と解すべきであろう。したがって、温泉受湯権の移転については町長の許可を対抗要件としていること、また温泉使用料を規定したように徴収することなどは一般の施設の利用と同じ性格のものであって、受湯者が、私法上の債権者であることを否定するものではない。ただ、管理主体としての町長は、受湯者が料金の滞納その他前述の条例に違反した行為があった

場合には温泉の供給を停止することができる（第9条）などは、公法的制限を受けた私法上の権利であると言えよう。この点について、前掲入来温泉が、受湯者の自由意思に基づく権利実現の余地が少ないのに比べて、本町における公法的規制はさほど強くないように思われる。

#### 4 集中管理の問題点

##### (1) 個人の掘さくに対する規制

温泉とは、一定程度以上の温度を有し、特殊の利用価値（交換価値）を有する天然の地下水をいうのであるが、温泉が利用価値すなわち財産価値を有する故に人の管理支配の客体となる。このような意味で、温泉に対する人の管理支配の仕方について社会的承認、つまり温泉の権利秩序が成立する。一般に、地上に湧出した温泉については管理支配が可能であり、まだ湧出していない温泉に対しては支配が不可能である。ところが、部落集団が一定地域内に湧出するすべての温泉を部落の共有所有物として総有的に支配管理しているところでは、その地域内に将来湧出するであろう温泉に対しても、部落が支配力をもつことが潜在的に承認されるところが多い。それは、人間の個別労働力によらない天然産物については、個人の支配を否定して地域住民の共同所有とする入会権としての慣行規範である。<sup>14)</sup>このような慣行規範の存在している地域では、個人の温泉掘さくは禁止もしくは制限されることになる。当湯平温泉地区では、そのような個人の掘さく制限—禁止とまではいかない—の部落規範とこれを支える共同体的意識が最近まで残されていたように思われる。その理由として、すでに指摘してきたような当温泉場の性格を規定する地形的条件、地下泉源と湧出地域の自然条件、共浴温泉を主軸としてきた温泉利用の歴史性、内湯設置を阻止した社会的条件、地域の狭隘からくる人間合和など、自然的・社会—経済的・歴史的要件を挙げることができよう。

##### (2) 外湯主義の原則の貫徹

本湯平温泉の場合、縷言してきたように、その特質として「外湯主義」の原則が明治以降採られてきており、これをめぐって「内湯主義」との対立・抗争の社会的展開を指摘することができよう。前者の原則は、歴史の展開過程でしだいに後者を支持する大半の中小旅館との力関係によって侵蝕され、その比重の度合を軽いものにしてきた。永年の共同体的・総有的温泉支配を解体（変質）に向って一歩前進させたものは地方自治体による公的管理であるが、この点、前掲入来温泉にも似ており、「現在においても、個人の掘さくと内湯設置について地域団体としての町—村が規制する力をもっていること」<sup>15)</sup>が何より肝要である。行政自治体指導者の将来を予見する鋭い卓見、周到な計画とこれを裏づける財政、忍耐強い説得と撻まぬ実行力などが期待される所以である。

##### (3) 地方自治体による管理経営

最近各地の温泉場で、観光プールに乗って温泉開発を急いだことから泉源の乱掘現象を招き、その結果、「集中管理」方式を検討中のところが多いと聞く。そうした場合、管理主体としては市町村・財産区などの地方自治体が公営事業として温泉の統合管理をしているのが最も多く、その他株式会社（給湯会社）や温泉組合ないしは協同組合といった組織に管理を集中して行なう管理形態のものもある。<sup>16)</sup>市町村という地方自治体を実施する場合、企業経営に不馴れのため、必ずしも順調な企業ペースにのっているとは思えない経営上の問題を抱え込んでいる。当温泉場でも、総工費 3,000万円の投資に対し、毎月平均の使用料収入総額は20数万円程度であるから、弱体の地方自治財政では相当の無理が生ずることも容易に考えられる。本町では、町長を始めとする行政指導者の積極的熱意と地区住民、なかでも利害の相反する旅館業者の下から盛り上げる熱意に支えられて一応成功をみているが、経営の細部にわたってはまだ問題が残されているようである。

##### (4) 法律上の問題点

集中管理に伴う法律問題もまた難解である。一応、地方自治体は、この管理関係を「条例」という公法形式によって解決しているが、その根拠法がないだけに、温泉の集中管理の法律関係はいろいろ

ろの形態のものが存続し複雑である。地方自治体が集中管理を実施する場合、当然給湯の対象者は公衆浴場・旅館業者を優先的にし、なお余裕があれば本温泉場のように一般個人にも給湯を認めている。その場合、受給関係の成立およびその内容、すなわち受給権の発生、使用料金、徴収方法などについては条例に規定するのが一般的である。しかし、これら温泉の利用関係については、その法的性格は学説も分かれており、行政解釈もまた必ずしも一致していないようである。この点、今後の立法措置による解決が望まれる。

〔付 記〕

- 1) 兼子俊一『大分県の地理』参照
- 2) 渡辺洋三『日本の社会と法』（財産）126頁以下
- 3) 川島武宜他『温泉権の研究』481頁以下
- 4) 同上2—3頁、409頁など
- 5) 宝泉寺温泉の集中管理方式が採用され得ない実態については次号で報告する予定
- 6) 玖珠保健所資料による
- 7) 8) 10) 前掲 川島他408頁、382頁
- 9) 武田軍治『地下水利用権論』頁
- 11) 12) 石神兼文「南九州の温泉権に関する研究」（鹿児島大学『法学論集』第6巻第1号）に  
 入来温泉の例が見られる。また山陰城崎温泉もほぼ同様の装置のようである。
- 13) 14) 前掲 川島他6頁
- 15) 前掲 石神兼文論文
- 16) 拙稿「最近の別府における温泉権の問題状況」（大分大学研究紀要第3巻第3号）、「由布院地方における温泉権の実態」（同上同第3巻第4号）、「別府温泉の法社会学的研究」（別府大学『生活と科学』第11号など参照（近刊の別府市教委編「別府市誌」の「温泉編」で概況を述べてあるので参照されたい）
- 17) 公法関係説と私法関係説とがあるが、一般的見解は私法関係説と解する。学説科例の中では公法関係をとるものもあるが、学説の多数説、判例の一般的見解は社法関係説をとっている。

〔付記〕

校務の都合により、詳細な調査をなす時間的余裕がなかったので、細部にわたっては誤解やミスがあることを危惧している。この点ご了承いただきたい。なお、調査に協力して下さった湯布院町役場、湯平温泉事務所、旅館業者に厚く感謝する。



## 的ヶ浜温泉の糖尿病に及ぼす影響

九州大学温泉治療学研究所内科 矢 野 良 一  
局 敏 郎  
内 倉 洋 三

### はじめに

糖尿病はインスリン作用の不足に基づく代謝の異常状態と解されており、糖代謝の異常がもっともはやく知られたが、脂質化学の進歩により、脂質代謝の異常が大きいことがわかってきた。糖尿病によってひきおこされる種々の合併症、たとえば動脈硬化、高血圧症などを考えると、むしろ脂質代謝の異常がより大きくこれらにあづかっているように思われ、脂質代謝の異常とこれら合併症との関係をしらべてゆくことも今後の一つの大きな課題であろう。

糖尿病に対する温泉治療の効果はすでに確かめられており、われわれも的ヶ浜泉について検索をおこない、すぐれた血糖低下作用をみとめているが、同時にトリグリセライド、遊離脂肪酸の低下作用があることを認め、前回においてこれを報告した。今回は脂質成分のうちβリポ蛋白、リン脂質の変動、糖質と同時に脂質代謝にも密接な関連を有するピルビン酸、αケトグルタル酸の変動を観察し温泉の影響がどの程度の期間持続するかをしらべた。

### 対 象

対象はすくなくも2ヶ月以上入院中で食餌療法をうけており、重大な合併症（感染症、肝障害、腎不全、心不全）を有しない糖尿病患者で、年齢は45才～70才、男19、女6を選んだ。

### 実 験 方 法

前回と同じく的ヶ浜泉（含食塩重曹泉、pH7.65）をもちい、初日0.18ℓ、2日目より0.18ℓづつ増量し、7日目より1日量1.0～1.8ℓとし、起床時より午後7時まで主に空腹時に5～8回にわけて飲用せしめた。飲泉温度は38℃とした。入浴は午前、午後、1日2回、入浴時間は5～10分とした。

血糖はグルコースオキシダーゼ法、βリポ蛋白は結合沈澱法、リン脂質はヘーフルマイヤーフリート変法、αケトグルタル酸、ピルビン酸はLDHと共役させてNADHの減少をみる酵素法、コレステロールはザック・ヘンリー法、中性脂肪はアセチルアセトン法、遊離脂肪酸はダンカン法によって測定した。

### 結 果

#### 1 βリポ蛋白（図1）

飲泉入浴開始前平均値415mg/dlで正常値範囲内ではあるがやや高値を示した。飲泉入浴開始後1週間ではβリポ蛋白が上昇するもの、下降するもの相半ばして、平均すると前値の状態であったが、2週経過以後は低下の傾向を示し、3週後に最低値をとり、4週後には平均してやや上昇の傾向がみられた。

#### 2 リン脂質（図2）

飲泉入浴開始前平均値は205mg/dlで正常値の上限を示した。温泉治療開始後1週ではかえってリン脂質は上昇、2週後にやや低下、4週後にはやや上昇の傾向があった。

図1 的ヶ浜使用によるβリポ蛋白の変動

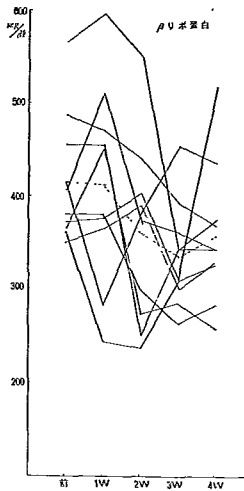


図2 的ヶ浜泉使用による血清リン脂質の変動

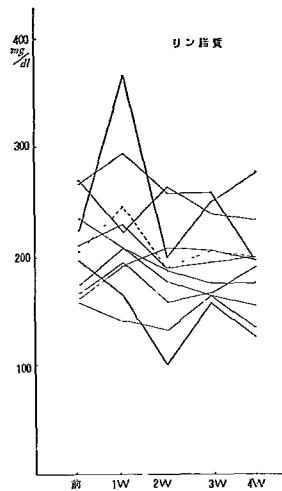


図3 的ヶ浜泉の血中ピルビン酸におよぼす影響

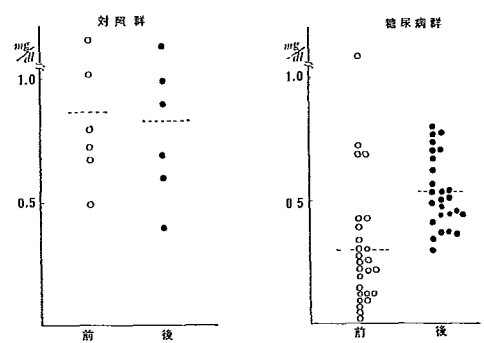


図4 的ヶ浜泉の血中α-ケトグルタル酸におよぼす影響

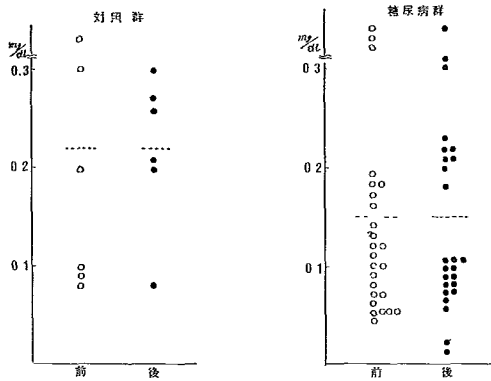


図5 的ヶ浜飲泉による血糖、遊離脂肪酸の時間的変動

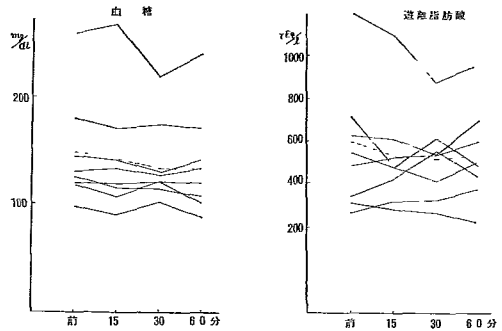


図6 温泉治療中止後の血液各成分の変化

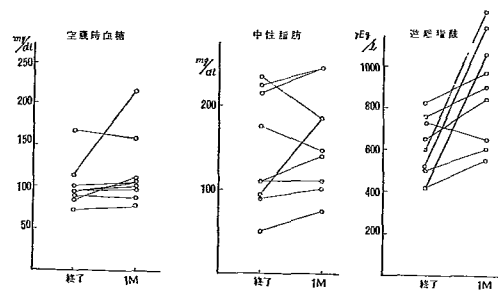
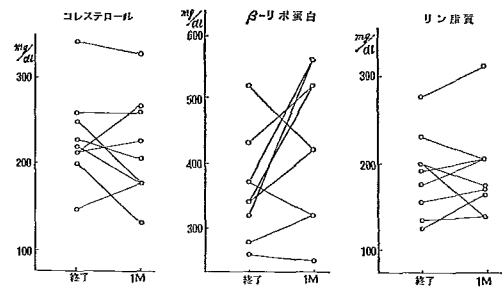


図7 温泉治療中止後の血液各成分の変化



### 3 ピルビン酸 (図3)

温泉治療開始前は平均0.3mg/dlであり、対照の平均0.87mg/dlに比し明らかに低値をとっていたが飲泉後は0.54mg/dlに上昇するのがみとめられた。

### 4 αケトグルタル酸 (図4)

温泉治療開始前は0.15mg/dlで対照の0.22mg/dlに比べ低値であったが温泉治療後もこの値に変動は

認められなかった。

#### 5 飲泉後の血糖及び脂質の経時的変動 (図5)

飲泉後血糖は直ちに低下をはじめ60分後においてもなお低下の傾向があった。遊離脂肪酸値は飲泉後低下したが15分経過後はほとんど一定値を保った。

#### 6 温泉治療中止後の血液各成分の変化 (図6、7)

温泉治療終了1ヶ月後においては、血糖値はおおよそ終了時の値を保ったが、中性脂肪、遊離脂肪酸はいずれも上昇の傾向を示した、コレステロール、 $\beta$ リポ蛋白、リン脂質については一定の傾向が認められなかった。

### 考 按

$\beta$ リポ蛋白には、血中脂質の大半が含まれ、脂質の輸送に重要な役割を演じているが、糖尿病においてはこれが増加すると云われている。その脂質成分にはコレステロールが多いためか、温泉治療でコレステロールと似かよったパターンを示したが、変動巾は大きく、糖尿病に対して好影響をあたえることがうかがわれる。リン脂質については大きな変動はみとめられなかったが、元来この物質は分子内に疎水性、親脂性基をもっているのもので水と脂質との橋渡しの役割をなしており、脂質の移動に関係あるが熱量素、構成素としての役割はちいさいのでこのような結果もうなづける。ビルビン酸は糖代謝産物であるが脂質代謝の径路と極めて近い位置にある。これに反して $\alpha$ ケトグルタル酸と脂質代謝との関係はそれほど近くない。

温泉治療によりビルビン酸の上昇がみられるのに反し、 $\alpha$ ケトグルタル酸の上昇はみとめられなかったことから温泉治療は糖代謝よりも脂質代謝に影響が大きいのではなかろうかと想像される。効果の持続については、脂質成分が温泉治療中止後しだいに上昇したのに反し糖は長く低下を示し温泉治療の有用性が認められた。糖、脂質の変動の不一致については説明が困難で、今後の追求が必要である。

# 原爆被爆者の温泉療法（第3報）

原爆センター 八 田 秋  
 九大温研 辻 秀 男

原爆被爆者別府温泉利用研究所の10周年に当り、昭和45年9月から同46年3月にわたって行われた改築は、自転車振興会、広島県、広島市、大分県、大分市、別府市などのご援助によって、約6,500万円の予算をもって完成し、昭和46年4月6日に開所式を挙行、翌日から入所を受付ける運びとなった。これを機会に所名も原爆被爆者別府温泉療養研究所と改められたのである。

改築による建物は、鉄筋コンクリート4階建、延坪 1306.49㎡で、診察室、レ線室、調剤室、男女別温泉浴室、食堂、ロビー、エレベーターなどの外、管理的な諸室、冷暖房設備を備え、収容定員は72人である。

診療設備としては、X線透視台、炎色分析器、分光光度計、心電計、眼底鏡、血圧計、赤沈検査器、マイクロ波治療器、直角低周波治療器などが設備された。

## 利用者概況

昭和46年4月業務再開から、昭和47年3月末までの約1年間の利用者実数（表Ⅰ）は、3,709名で5月、1月、2月などに多く、7月、8月、12月に少なく、これまでとほぼ同様な傾向を示した。利用者延数は、20,427名で利用率は平均1日56.84名、79%となる。

利用者の男女別、年齢別（表Ⅱ）では、60才以上が半数以上を占め、男女比は、ほぼ2:3である。

表Ⅰ 利用者数とその延数

月別	利用者数	利用延数	平均一日延数
4	291	1,497	62.4
5	357	2,140	69.0
6	302	1,805	60.1
7	264	1,412	45.5
8	329	1,368	44.0
9	273	1,568	52.0
10	312	1,832	59.0
11	330	1,778	59.3
12	242	1,261	40.6
1	373	2,109	68.0
2	361	1,905	65.6
3	275	1,752	56.52
合計	3709	20,427	56.84

表Ⅱ 利用者男女別年齢表

月別	年令	年齢									計
		<30才	31~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66<		
4	男女	2	1	6	8	18	11	24	65	135	
		2	0	3	6	12	23	32	78	156	
5	男女	4	5	5	2	7	21	23	76	143	
		8	5	3	11	16	26	40	105	214	
6	男女	5	3	4	3	4	10	16	58	103	
		9	7	5	9	15	24	29	101	199	
7	男女	12	13	3	3	4	18	7	48	108	
		9	12	6	15	33	17	21	43	156	
8	男女	30	13	9	5	6	13	12	36	124	
		38	24	11	23	26	20	26	37	205	
9	男女	1	1	2	5	20	11	21	79	140	
		3	1	7	8	16	17	27	54	133	
10	男女	1	2	3	2	2	9	15	85	116	
		3	6	5	10	16	26	38	92	196	
11	男女	2	4	5	1	5	16	27	91	151	
		7	2	6	3	22	21	50	68	179	
12	男女	3	2	1	1	1	7	9	52	76	
		10	11	4	11	8	18	28	76	166	
1	男女	16	4	6	16	10	12	37	64	165	
		14	7	13	15	20	34	33	72	208	
2	男女	4	4	4	6	13	20	22	90	163	
		5	6	14	12	16	30	30	85	198	
3	男女	11	4	1	4	3	18	17	58	116	
		12	3	8	7	19	23	15	72	159	
合計	男女	91	56	49	56	93	163	230	802	1,540	
		120	84	85	130	219	279	369	838	2,169	

表Ⅲ 温療期間

温療日数 月別	3日>	4日 ~6日	7日 ~13日	14日<	計
4	157	33	98	3	291
5	127	105	107	18	357
6	131	86	63	22	302
7	91	89	68	16	264
8	208	63	49	9	329
9	91	82	89	11	273
10	116	59	108	29	312
11	83	200	42	5	330
12	64	155	17	6	242
1	138	87	143	5	373
2	125	106	123	7	361
3	89	67	82	37	275
計	1,420	1,132	989	168	3,709

表Ⅳ 温療后集中値限界

検査項目	集中値限界
赤血球数	300万~500万
ヘモグロビン値	75~90%
白血球数	5,000~8,000
最高血圧	100~150mmHg
尿蛋白	—
尿糖	—
尿ウロビリノーゲン	—

滞在日数別(表Ⅲ)では、1週間以上が約1/3であり、3日>が1/3強となっている。それぞれ多忙な仕事のある人々に長期の滞在を望むことは、むづかしいことではあろうが、ほんとに温泉の効果を挙げるためには、やはり2週間の滞在が必要であることを知っていた方がいいのである。

表Ⅴ 温療前後のバラつき頻度(18例)

検査項目	前	后	
		全例	残留例
赤血球数減少(過多)	0(3)	0(3)	0(2)
ヘモグロビン値低下(過剰)	4(1)	0(6)	0(1)
白血球数減少(増多)	7	4	3
最高血圧	4	4	3
尿蛋白陽性	0	0	0
尿糖陽性	0	0	0
尿ウロビリノーゲン陽性	4	2	2

検査例

温療の前後に検査を受けたものは、わづかに18例に過ぎない。1つには数ヶ月間看護婦不在のため、検査の時機を失ったものがあったためである。

これらの例について従来と同様な集中値限界(表Ⅳ)をもとにして、温療前後のバラツキの頻度を示すと表Ⅴの如くで、好転の様子

がうかがえる。表中( )内は限界値をこえるもので、赤血球数やヘモグロビン値に関しては病的なものとはいいたいが、参考のためにしるした。今回もっとも著明な点は、赤血球数とヘモグロビン値の増加例がめだつことである。

診療例

何らかの訴えをもって、診療を求めた症例は49例であった(表Ⅵ)。

表Ⅵ 診療症例 昭.46

No.	月	姓	性	年	病名	滞在日数	治療法	転帰	備考
1	5	山	♂	56	左脛骨骨折後	10			
2		重	♂	71	右偏癱・喘息	42		喘息発作全治	
3		小	♀	70	胃炎・高血圧	10		軽快	
4	6	田	♀	71	乳がん・胃がん術後	21		倦怠感軽快	長崎
5		田	♀	76	胆石症・肝炎	21		倦怠感軽快	〃
6		三	♂	48	胃潰瘍術後	12		倦怠感軽快	
7		高	♂	59	五十肩	10	フローミン錠	疼痛著減	
8	7	梶	♂	73	腰椎軟骨ヘルニア・メニエール	15		軽快	
9		松	♂	62	慢性胃炎・陰部掻痒症	5			事故退所
10		和	♂	71	両跟骨骨折後、気管枝拡張	16		疼痛軽快	

11		前	♂	54	後頭神経炎	8		軽快	
12		国	♂	39	胃潰瘍	8		疼痛軽快	
13		国	♀	67	自律神経症	8		不変	
14		神	♂	71	末期直腸がん・腹水	10	プリンペラン錠 強心剤・輸血	死亡	
15		国	♂	81	痛風疑	54			
16		佐	♀	54	右肩・肘関節強直	7		不変	
17		佐	♂	59	右膝関節強直・高血圧	7		不変	
18	8	新	♂	52	むち打症	11		軽快	
19	9	田	♀	71	乳がん・胃がん術後	21		不変	長崎
20		田	♂	76	胆石症	21		食欲亢進	〃
21		久	♂	74	肺気腫	21	セデス錠	軽快	〃
22		高	♀	68	下腹痛	10		不変	
23		高	♂	74	胃潰瘍・胆石術後・高血圧	10		不変	
24		山	♀	56	高血圧	6			
25	10	上	♂	73	高血圧・慢性湿疹・両下肢麻痺	8	オーゴスペル	軽快	長崎
26		里	♂	63	高血圧・喘息	8		軽快	

昭.47

27	1	高	♀	45	自律神経症	72		軽快	
28		杉	♀	61	大腸運動失調症	11	プリンペラン錠	軽快	
29		荒	♀	69	腰痛	11		軽快	
30		宇	♀	42	筋痛	29	セデス錠	軽快	
31		谷	♂	78	左偏癱	12		やや軽快	
32		竹	♂	68	慢性肝炎	12	チオクタン錠	不変	
33		羽	♀	65	慢性ロイマ	18		疼痛減退	
34		藤	♂	77	右偏癱	27	デュラボリン注	軽快	発作 婦人科 受診
35		青	♀	32	腸癒着	11		軽快	
36	2	山	♀	58	頸椎軟骨ヘルニア	13		やや軽快	入浴控
37		林	♀	56	甲状腺がん術後	10		肩こり軽快	
38		山	♀	59	肝炎・糖尿病・高血圧	10		軽快	
39		向	♂	60	両側五十肩・左イシアス	13	フローミン錠	著軽快	
40		山	♂	70	高血圧	7		不明	
41	3	片	♂	80	むち打症・便秘	15	プリンペラン錠	軽快	
42		城	♂	83	前立腺肥大	11	オバホルモン錠	軽快	
43		深	♀	72	頸部リンパうつ滞・心肥大	12		頸の腫張消失	
44		増	♀	72	便秘・難聴・心肥大	11		便秘軽快	
45		上	♀	67	慢性気管支炎	10		軽快	
46		香	♀	74	右偏癱	10		不変	
47		藤	♀	56	十二指腸潰瘍・心肥大	3		不明	
48		古	♂	73	高血圧・蛋白尿	10		軽快	
49		庭	♂	76	高血圧・蛋白尿・肝炎?	10	チオクタン錠	軽快	

これらの病例は、ほとんどすべて滞在中の内服薬を主治医からもらってきているので、特に投薬を行ったものは11例のみであり、1例に低周波治療を併用した。

疾患別に見ると33種類に分られ(表Ⅶ)、高血圧(10例)胃炎・胃・十二指腸瘍(5例)、偏癱痺肝炎、がん術後などの各4例、胆石症、心肥大の各3例の外は、各1~2例であった。

不変8例、不明2例の外はどれも軽快しているが、第14例は手術不能の直腸がん末期の症例で、本人の強い要望によって来所したものである。輸血や強心剤などの投与でやや好転し、帰宅を目前にして、気分爽快といいながら屋上から周囲の景観を楽しんだのであるが、急に悪化して心臓死を来したものである。

表Ⅶ 疾患別分類

病 名	例数	病 名	例数	病 名	例数
偏 癱	4	下腹痛・癒着	2	メニエール	1
両下肢麻痺	1	便秘・デストニア	3	頸部リンパうつ滞	1
神経痛・神経炎	2	肝 炎	4	前立腺肥大	1
むち打症	2	胆石症	3	ロイマ	1
軟骨ヘルニア	2	がん術後	4	腰 痛	1
自律神経症	2	高血圧	10	筋 痛	1
喘 息	2	心肥大	3	関節強直	2
気管枝炎・拡張症	2	蛋白尿	2	五十肩	2
肺気腫	1	痛 風	1	骨折後	2
胃炎・胃・十二指腸潰瘍	5	糖尿病	1	慢性湿疹	1
胃潰瘍術後	1	難 聴	1	陰部搔痒症	1

将諸来設備の整備、充実にともない、各種の検査や処置を行なう方針である。

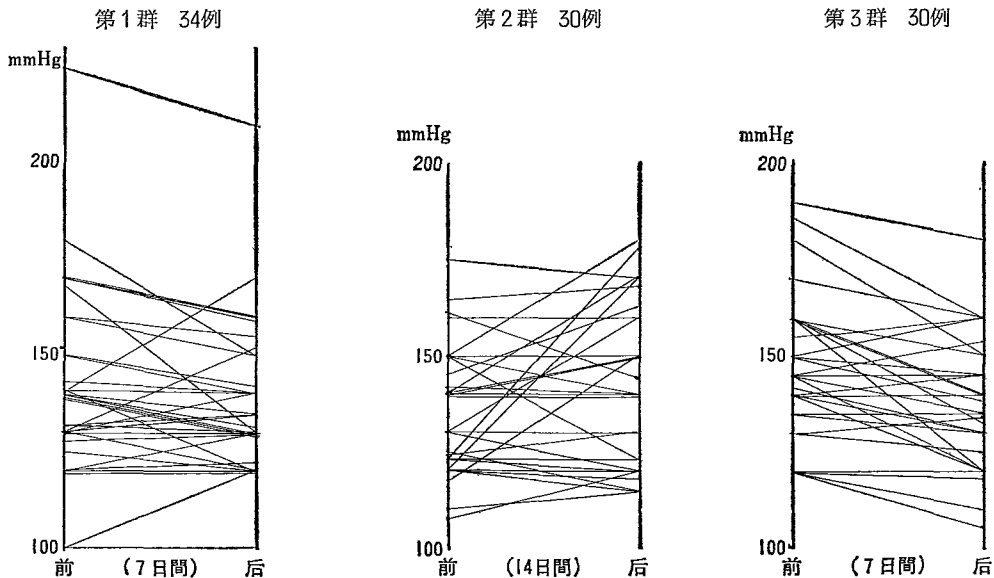
### 血圧測定

入所者の温療方法について、適切な指示を与えるための一助として、入所者のすべてについて、入所後可及的速かに血圧測定を行なうこととした。高血圧のものについては高温浴をさけ、37°~40°の中温浴を指示する。

なおがん手術後のものには、控目に1日1回入浴程度にするよう指示するのである。

この中で退所前に再度血圧測定を行った3群についての成績は、図1の如くである。

図1 温療前後の最高血圧



第Ⅰ群と第Ⅲ群とは滞在日数がともに7日であり、第Ⅱ群は14日であった。大体において正常化ないし、低下の傾向が認められるが、第Ⅱ群中の6例に、後値が却って150mmkg以上に上昇したものがあつた。

血圧は元来精神的ならびに肉体的要因で大きく左右され、ことに運動後には著明な一過性上昇を示すことがある。これらの6例は前値はいずれも正常値限界内にあるので、後値は外出などによって1過性の上昇を示したものと解される。

× × × ×

改築後は従前の約5割増の利用者を迎え得たことは喜ばしいことであるが、さらに有効な利用に向けて努力がつけられなければならない。

#### 参 考 文 献

- 1) 八田:原爆被爆者の温泉療法 臨床と研究 37(4)、昭35.4
- 2) 八田:原爆被爆者の温泉療法 長崎医学会雑誌 36:239、昭36.12
- 3) O.HATTA:Balneotherapy for the Survivors of Atomic Bomb Injuries,  
温泉科学 12(1)、昭36
- 4) 八田:原爆被爆者の健康管理としての温泉療法、大分県原対協 昭44.4



# 別府血の池地獄について

九州大学温泉治療学研究所

古賀 昭 人

## 1 はじめに

別府のいわゆる地獄観光めぐりにおいて、海地獄の青と対照的に真赤な色を示すのが血の池地獄である。本邦において、このような鮮やかな朱の色を示す鉄質沈澱物は他にないし、世界的にもかかる大規模のものはないといわれる。

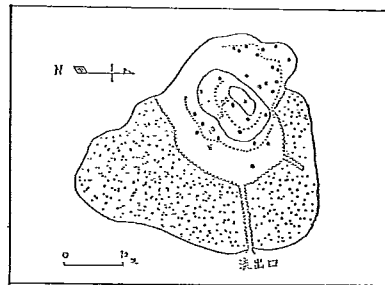
真赤な色は温泉水の色ではなく沈澱物の色であり酸化鉄の色である。この赤色沈澱物はどのようにできたのか、幾つかの疑問がある。もちろん、温泉水が湧出してから、含有している鉄が沈澱したのではなく、湧出時にすでに微細な赤色の沈澱物を含んでいることは、採水して、しばらくおくと底に赤くたまることから知られる。

著者は血の池地獄の温泉水ならびに赤き沈澱物の成因など、オートクレーブやX線回折装置を用いて化学的調査を行なったので、それらの結果について述べる。

## 2 血の池地獄水の化学成分

血の池地獄は図1のように直経凡そ40mのおむすび状の池で、湧出口は深くなっており暗褐色に見える。流出口の温度は60℃であるが、湧出口は山下によれば25m下で135℃あるという。また、山下は湧出口の温度測定から低温と高温の温泉水が混合していると推定している。すなわち、湧出口の温度を深度毎に測定すると、25m位までは70℃位で、それを越すと急激に温度は上昇し、135℃となる。ところが、この二系統の水は化学成分がほとんど同じであって混合比が変わっても成分は余り変わらず温度が変化する位だが大体泉温が一定なので混合比はまず安定していると思われる

図1 別府血の池地獄深度図(m)



血の池地獄は時々沈積物がたまって爆発するが最近では昭和2年の大爆発で、その後は年に1回沈澱物を流し出すので大きな爆発はない。その時は下流の柴石川は真赤な色を呈し時ならぬ血の川が出現する。

爆発があっても長く続いたことがないのでみると135℃の高温水は低温水に比し量が少ないことを示している。赤い沈澱物はもちろん高温水が運んでいるが、その量は1日約400kgにも達するといわれる。それを地下深くから高温水が運び出すとして、高温水の湧出量が少なければ運べないし、多ければ血の池全体ももっと高温のはずである。沈澱物の粒子は大体0.05から1mm程度だから、ストークスの法則により1分間に約50ℓの湧出量があれば、かかる沈澱物を流せることになる。血の池地獄全体の温泉の湧出量は1分間に約250ℓであるから、低温の温泉水は高温水の約4倍の200ℓというところであろう。そして、低温水は53～55℃と山下は推定している。

血の池地獄の温泉水の分析結果は表1に示す。また、現在までに当所でなされた微量元素の数も相当に多く、この中には亜鉛、銀、ラジウムなど別府温泉で最大値を示すものがある。温泉の泉質は含芒硝食塩酸性泉で他の海地獄、竜巻地獄と同様である。

## 3 血の池地獄沈澱物

本研究の主目的は、この赤い沈澱物がどのように生じたかを解明するにある。表2に血の池地獄沈澱

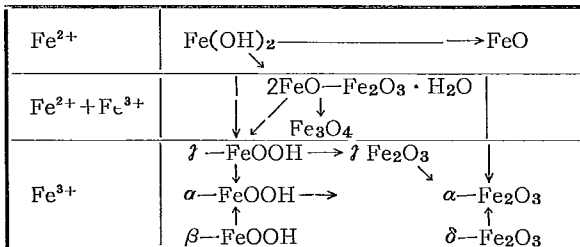
表1 別府血の池地獄温泉水の化学成分

pH	2.4	Cu	5ppb	Ra	$6.5 \times 10^{-12}$
Li <sup>+</sup>	3.0ppm	Zn	2900	Rn	$0.15 \times 10^{-10}$
K <sup>+</sup>	103	Co	0		
Na <sup>+</sup>	700	Ni	2.6		
Rb <sup>+</sup>	1.7	As	936		
Cs <sup>+</sup>	0.4	Ge	32		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.74	Ti	80		
Ca <sup>2+</sup>	42.0	Cr	8.5		
Mg <sup>2+</sup>	17.6	Mo	0.5		
Fe <sup>2+</sup>	2.65	Be	4.0		
Fe <sup>3+</sup>	2.52	Cd	1.5		
Al <sup>3+</sup>	2.28	V	73		
Mn <sup>2+</sup>	4.3	Zr	6.0		
F <sup>-</sup>	2.5	Se	27		
Cl <sup>-</sup>	1003	Ag	40		
Br <sup>-</sup>	3.86	Au	0.7		
I <sup>-</sup>	1.1	Hg	3.4		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	570	Th	<4		
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	1.9	U	0.03		
HBO <sub>2</sub>	72				
SiO <sub>2</sub>	230				

表2 別府血の池地獄泥分析表

分析者	古賀	岩崎ら
SiO <sub>2</sub>	51.91%	58.05%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.86	11.67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.55	18.24
CaO	3.28	1.25
MgO	0.87	—
MnO	0.03	—
SO <sub>3</sub>	0.00	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	—
Na <sub>2</sub> O	6.09	—
K <sub>2</sub> O	1.45	—
灼熱減量	9.50	10.51
合計	100.54	99.72

表3 酸化鉄および水酸化鉄間の関係



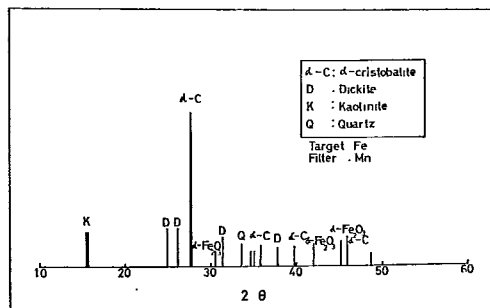
泉にはFe<sup>3+</sup>の多いものもある。Fe<sup>2+</sup>はpH7附近まで安定であるがFe<sup>3+</sup>はpH2附近から水酸化物となりうる。しかしながら、水酸化物から酸化物になるためには  $2\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  のように脱水反応が起らねばならず、著者のX線回折的実験によれば少くとも500℃以上700℃位までに加熱しなければ完全にこの反応は進行しない。溶液中で、しかも酸性(pH=2.4)で1気圧の下でこの反応が起るはずはなく、後述のように含有している鉄はα-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>であることから、この点からも別府血の池地獄の赤色粘土が湧出後に沈澱したのではないことが分る。したがって、沈澱物という名称は不適當であるかも知れない。

以上の事から血の池地獄粘土は地下深所で作られ、これが地表に運び出されていることが分った。このX線回折図をとってみると図2のようでありα-クリストパライトの線が大きくでているのが判る。また少し石英の線も出ている。その他、カオリナイト、ディカイトの他にα-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の線がでており、血の池地獄粘土はこのようなものの混合物

物を風乾したものの分析結果を示す。一つは著者の分析したもの、他は岩崎らの分析によるが、何れもSiO<sub>2</sub>が主成分であり、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が20%弱、そしてFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が10%前後と極めて少ないのは注意すべきことである。つまり、大部分がFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>でない。このことは別府血の池地獄沈澱物生成のメカニズムを暗示しており、SiO<sub>2</sub>とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が結びついたケイ酸塩にFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>がくっついたものであろうとの解釈である。

水酸化鉄および酸化鉄間の関係には表3のようなのが考えられる。一般に温泉中の鉄はFe<sup>2+</sup>のものが多く、酸性

図2 別府血の池地獄粘土のX線回折図



であることを示している。

そこで、オートクレーブを用いて人工的な血の池地獄粘土を作らんと試みた。問題は pH2.3~2.5 の酸性下で鉄溶液から水酸化物を経て赤い酸化鉄にまで変りうるかどうかにあったが、圧力 5 kg/cm<sup>2</sup> (温度 135°C) で赤い酸化鉄が生成し始め、10kg/cm<sup>2</sup> (温度 170°C) では完全に  $Fe^{2+} \rightarrow Fe(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3$  の反応が起った。この事は、前述の 1 気圧下で不可能なできごとが高圧下で容易に起ることを示し、1 気圧下で少なくとも 700°C 以上加熱せねばならぬ反応が生じたことを示している。もちろん酸性が強い程、高圧を要するが、別府血の池地獄の環境下で (25m 下は 135°C)、鉄イオンが存在すれば地下浅所でも容易に赤い酸化鉄の生じることが確認された。

つぎに、シリカゲル、アルミニウム塩、硫酸鉄の酸性溶液をオートクレーブに入れて加熱した所 (35kg/cm<sup>2</sup>, 250°C)、見掛上は血の池地獄の粘土そっくりの赤色沈澱物を得たが、X 線回折像は  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> だけで他は何の線も現われず無定形であった。そこで、同じ溶液を 90kg/cm<sup>2</sup> で 7 日間加熱して得た沈澱物について調べてみると、 $\alpha$ -クリストバライトの線は強力に現われたが、他には NaAl(SiO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O (Sodium Aluminium Silicate) の線が現われており、血の池地獄状粘土の合成はもっと高温高圧を要すると考えられる。

別府血の池地獄粘土を加熱した結果は X 線回折的にそれ程の変化は見られない。一般にカオリン鉱物を加熱すると、ムライトの線が現われ、過剰の SiO<sub>2</sub> がクリストバライトの線を示さねばならないが別府血の池地獄の場合、僅かにムライトの線らしきものが現われ、クリストバライト線が強くなったように見える。SiO<sub>2</sub> と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は強固に結合しているのであろう。

また、うすい塩酸で煮沸すると、赤色は消えるが、X 線回折像は  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が消失するだけで他に変化はなく、この点からも SiO<sub>2</sub> と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は強力に結びついており、別府血の池地獄粘土はアルミノシリケートに  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> がついたものであるとの感を深くする。

以上をまとめてみると、別府血の池地獄粘土は火山性の熱水・熱気の作用により酸性の粘土鉱物を生じ、これに鉄イオンの多い酸性溶液から高温高圧下の所産により  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を生じて混合したものであると考えることができる。

#### 4 おわりに

別府血の池地獄の赤色沈澱物は酸化鉄とアルミノシリケートであり、これは別々に作られて混合したものであると報告したが、一方通常の温泉の鉄質沈澱物は吸着作用のために多くの元素を共沈している。血の池地獄ではその作用は余り強くない。たとえば、 $Ra=0.98 \times 10^{-12} g/g$ 、 $Au=23.3\gamma/g$ 、 $Ag=38.3\gamma/g$  と比較的少量の元素を含有しているが、温泉水と比較すればそうではなく、海地獄の沈澱物が強力に吸着しているのに比し吸着力は小さい。この点、海地獄が湧出後沈澱したのに対し、血の池地獄は湧出時すでに沈澱している違いによるものと思われる。

#### 文 献

- 1) 山下幸三郎(1961)、第26回日本陸水学会講演要旨集
- 2) 岩崎岩次、福富博、樽谷俊和：温泉沈澱物の地球化学的研究(第2報)鉄質沈澱物について(その1)、日化、75、282—286(1954)

大分県温泉調査研究会 報告第23号

昭和47年3月 印刷

昭和47年3月 発行

発行者 大分県温泉調査研究会  
大分市大手町3丁目1番1号  
大分県厚生部薬務温泉課内

印刷者 別府市野口中町6番20号  
日新印刷株式会社  
電話 ☎ 3288番