

大分県温泉調査研究会報告

第 72 号

令和 3 年 8 月

目 次

九重硫黄山における自然電位観測	網 田 和 宏 他1人	(1)
鉍泥浴治療における体温変動と治療効果の相関の検証	前 田 豊 樹	(13)
別府地域および周辺の地下構造 (2) -別府扇状地の物理探査の例-		
.....	竹 村 恵 二	(17)
分析機器を用いない噴気の簡易ガス分析	大 沢 信 二 他3人	(23)
大分県内の火山岩類の化学・Sr同位体組成 (6) 鬼箕山火山岩の地球化学的特徴		
.....	芳 川 雅 子 他2人	(35)
近代交通網の整備下における温泉地の観光地化に関する比較考察		
～別府温泉と南紀白浜温泉を事例として～	中 山 昭 則	(43)
大分県内の温泉施設の衛生管理状況について	甲 斐 美 穂 他2人	(53)

序

太平洋戦争が終結し、新しい国家の形成を目指して公布・施行された日本国憲法のもと、昭和23（1948）年7月10日には、「温泉の保護」及び「温泉の利用の適正」を図り、「公共の福祉の増進に寄与すること」を目的として、温泉法が公布されました。これを受けて、各都道府県には温泉審議会が設置され、温泉の新規掘削の可否をはじめとする温泉行政に関わる重要事項を審議することになりました。

審議会における審議を適切かつ円滑に進めるには、判断の基準となる科学的根拠が求められます。ここに温泉に関する科学的資料を得るための調査機関が必要となり、大分県では昭和24（1949）年7月16日、「大分県内における温泉の科学的研究をして公共の福祉の増進に寄与すること」を目的として、大分県温泉調査研究会（以下、本会）が発足しました。

以来、70年以上にわたって毎年途切れることなく、地質学・地球物理学・地球化学・医学・工学・人文／社会科学等、多岐にわたる分野の調査研究が実施され、それらの成果は、機関紙「大分県温泉調査研究会報告（以下、報告）」に収録・公開されてきました。昭和25（1950）年7月出版の報告第1号には別府温泉に関する5編の報文が掲載され、令和2（2020）年9月出版の報告第71号までの報文総数は624篇（温泉分析書や集会の記録は除く）を数えます。

以上のあゆみに沿って、本会設立72年目に当たる令和2（2020）年度も調査研究事業が計画されましたが、この年度は大きな災厄に見舞われました。新型コロナウイルス感染症の蔓延、及び、2020年7月初めの豪雨による大水害です。本会でも調査研究を実施した湯平温泉と天ヶ瀬温泉が大変な災害を被っています。

このような災厄の中で調査研究は遂行され、ここに7編の報文を収録した「大分県温泉調査研究会報告 第72号」を発行する運びとなりました。

厳しい条件のもとで調査研究を実施していただいた会員諸氏、ご支援いただいた関係行政機関並びに事務局の方々に深く感謝を申し上げます。そして、大きな災厄からの一日も早い復旧を衷心より願いますとともに、温泉の調査研究のさらなる進展と本会の持続的発展を祈念し、関係各位・諸機関の引き続いてのご協力をお願いいたします。

令和3（2021）年8月

大分県温泉調査研究会

会長 由 佐 悠 紀

九重硫黄山における自然電位観測

秋田大学理工学部システムデザイン工学科

網田和宏

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

大沢信二

要 旨

2010年代に入って以降、噴気活動の低下傾向が認められていた九重硫黄山において自然電位観測を実施した。観測の結果、得られた自然電位分布は山頂部に向けて電位の増加傾向が認められ、噴気の静穏期においても地下に熱水対流系が形成されていることが示唆された。一方で、山頂部の一部に急激に電位が低下する領域が観測され、標高 1500 m 付近に浅層地下水の涵養域が存在する可能性があることも示された。

今回得られた調査結果を、水蒸気爆発発生の直前にあたる 1993 年に実施された自然電位観測の結果と比較したところ、噴気活動が活発であった 1993 年の電位分布よりも、活動の静穏期に測定された本調査研究による自然電位の電位勾配の方が大きいことが明らかになった。この関係を説明するために、土壤中において噴気凝縮水が鉛直下方に浸透することによって地下深部側へ電荷が運ばれていき、電位勾配が抑制を受けるモデルを考えた。

1. はじめに

九重火山群の中心部に位置する星生山の北東斜面には、従来から活発な噴気活動があることが知られており、噴気地一帯は通称「硫黄山」と呼ばれてきた。かつては噴気温度が 200°C を超える高温噴気が多数存在(記録上の最高温度として 1960 年に 508°C ; Mizutani *et al.*, 1986, が報告されている)するなど、活発な地熱兆候の確認される地域であった。また 1995 年 10 月には星生山から東に伸びる尾根付近で水蒸気爆発が発生しており、新しい噴気孔群が形成されている。

1995 年の噴火以降もしばらくは硫黄山の噴気活動に急激な変化はみられていなかった(北岡ほか, 1996)ものの、地磁気観測では硫黄山浅部において冷却化が継続する様子が捉えられたり、また遠望観測でも噴気活動が衰退する傾向が確認されたりするなど、徐々に活動度の低下を示すデータも得られ始めていた(森ほか, 2019)。2005 年以降になると硫黄山浅部を震源とする地震の発生もみられなくなり、以後しばらくは火山・地熱活動の静穏期が続くことになる(森ほか, 2019)。その間、噴気活動も衰退をみせており、2010 年代の始めには目視でも明らかな噴気活動の低下を確認できる様になった(写真 1)。

そこで本研究では、九重硫黄山において自然電位観測を実施し、地熱活動の静穏期の電位分布がどのような特徴を示すものであるのか調査することにした。特に、硫黄山では水蒸気爆発の起こる直前にあたる 1993 年にも自然電位観測が実施されており(川平ほか, 1994)、

それらのデータとの比較を行うことで電位分布に生じた変化を確認することが可能である。噴気活動の活発な時期と静穏期における自然電位分布の違いが明確になれば、地下の熱水系の状況変容に関する新たな知見が得られることにもつながるため、重要な課題であると考えた。



写真1 九重硫黄山噴気地帯（Aリージョン）における噴気状況の変化

左の写真は1994年4月26日、右の写真は2014年10月20日に撮影されたものである。ほぼ同じアングルから撮られた2つの写真の比較からも、噴気活動が大きく減退していることが見てとれる。

2. 火山、地熱地域における自然電位

自然電位法（Self-potential ; SP）は地下における水の流動に対して感度の高い物理探査法であることが知られている。それは、多孔質媒体中を流体が流動する際に電荷が運ばれることで発生する電位差；流動電位、が存在することによるものと考えられている。例えば、地下において水と岩石とが接している境界面では電気的な分極が発生するが、このとき多くの場合、水の側が正、岩石の側が負に帯電する^{*注}。水は流動することで正の電荷を運んでいくことになるため、流動方向の先端側に正の電位が、その反対に位置する流動の元の側に負の電位が形成されることになる。

自然斜面などでは、地下水が地形に沿って低地側へと流下していくことから、標高の高い側が相対的に低電位を示し、標高が低くなるほど電位が上昇していくような自然電位分布が観測される。地形に応じた地下水の流れは普遍的に生じていると考えられるため、標高の変化と逆相関の関係にある電位分布の事を「地形効果」と呼んでいる。

一方、活動的な火山や地熱地域では、標高の高い火口近辺や噴気地帯などで数10 mV～数Vの高電位異常が観測されることがある。この様な電位分布は、通常の地形効果の考え方で説明できないが、火山や地熱地帯の熱源の上部に熱水の上向きの流れが生じており、これらの熱水による電荷の運搬が標高の高い地域に高電位を形成するとした、熱水対流系による流動電位として解釈されてきた。このように活動的な火山や地熱地域では、地下における熱水の流動が自然電位分布に影響を与えることが大きな特徴の一つとなっている。

*注：岩石と水の境界面で分極が生じる場合には、常に水の側が正に帯電するとは限らないため、その点は常に留意しておく必要がある（例えば、長谷ほか、2003）。

3. 現地観測

現地における観測は2014年12月4日に行った。観測地点の位置を図1B(右図)に示す。図にも示されているように観測は噴気地帯であるA-regionとB-regionの間の谷筋に沿った南北方向の約600m区間(水平距離)で行い、図1Aに示した川平ほか(1994)による観測ルートの一部と重なるように配置させた。また、図2には標高と緯度の関係を示したが、両者の間には傾きがほぼ一定の線形関係が認められ、南に位置する観測地点ほど標高が高くなる単調な地形関係にあることがわかる。この関係より、本調査ルートに関しては、大まかには標高の違い=南北方向の水平位置の違い、と捉えることができるため、以降で自然電位データを扱う際には標高と電位の関係を用いることにした。標高の高い地点におけるデータほど測線の南側の自然電位分布を示していることになり、その点に注意されたい。

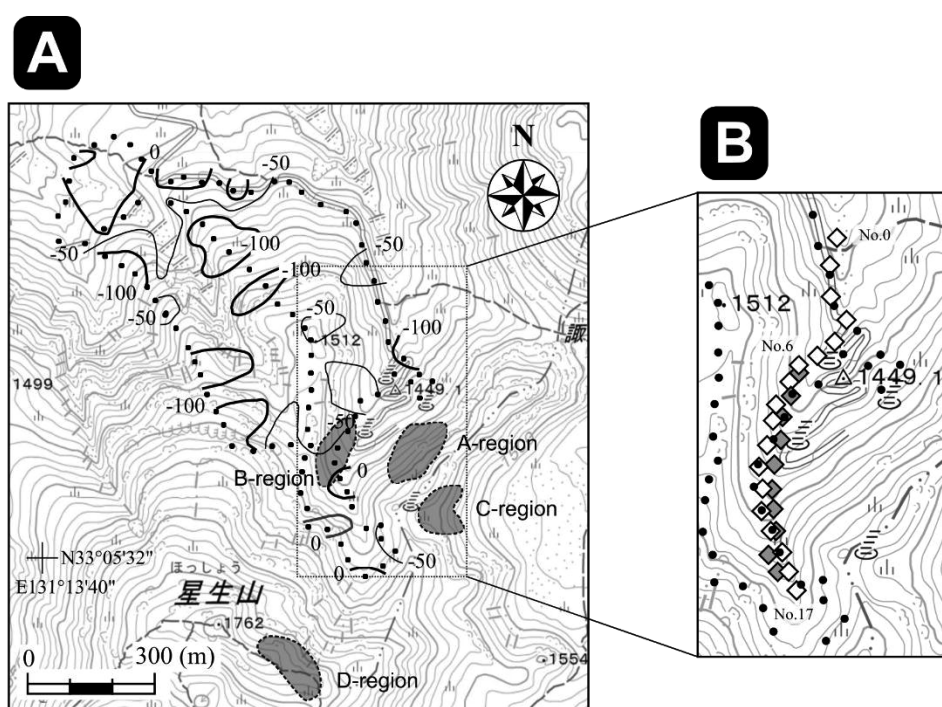


図1 自然電位の測定地点位置図

左の図(A)は川平ほか(1994)らによる図を原図として、観測地点および等電位線図の位置を、国土地理院発行の2万5千分の1地形図上に再描画したものに、一部(D-regionなど)加筆して作成した。黒い点が観測地点の位置を示し、図中の数字は等電位線の電位値を示している。また、網掛けを行っている領域は4つの噴気地域の位置を示した。右の図(B)には、本調査研究において自然電位測定を実施した観測地点の位置を示した。白い菱形で示したものが往路の測定地点、グレーの菱形が復路の測定地点を表しており、No.6の地点で往路と復路の測定地点を閉合させた(詳細は本文を参照)。

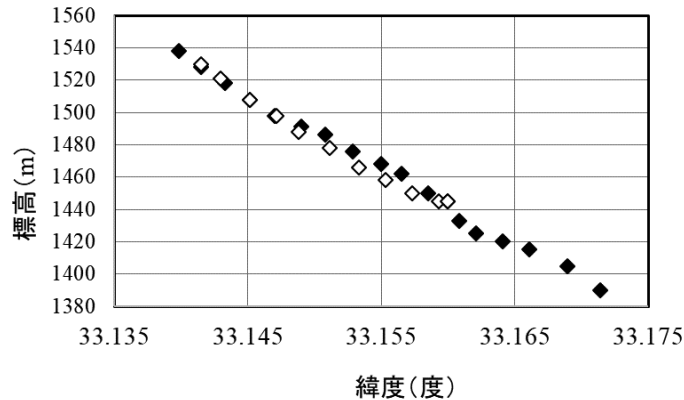


図2 自然電位測定地点における標高と緯度の関係

往路の観測地点は黒い菱形で、復路の観測地点は白の菱形で表示した。

測定にあたっては、観測地点ごとの測定誤差の補正を行うことに加え、測定データの再現性の確認を行うことも目的として、観測ルートの一部を閉合（ループ）させた。閉合させた区間は、最南端の観測点となった標高 1538 m の地点 (No.17) から標高 1445 m 地点 (No.6) までの範囲である。図 1B にも示されている様に、往路と復路では異なる地点で電位測定を行ったが、復路の最後の測定地点を No.6 に重ねることにより、この区間における観測地点のループを成立させている。

自然電位の測定には、非分極型電極である銅-硫酸銅電極を自作して使用した。電極本体部分には塩ビ製のパイプを使用し、底部には「吸収板」の商品名で市販されている厚さ 1cm の板（シリカ [SiO₂] とアルミナ [Al₂O₃] の粉末を焼成して制作されている）をパイプの形に合うように整形した後に、エポキシ樹脂系の接着剤で取り付けた。本体の内部に飽和させた硫酸銅溶液を入れ、溶液内に銅線のコイルを浸した。溶液内に浸す銅線をコイル状にするのは、銅と硫酸銅との接触面積を増加させるためであり、コイルとは反対側の一端が電位測定用端子となる。現地観測に際しては電極と測定面（地面）間の接触面積を増加させる目的で、吸収板の周囲をベントナイト（粘土）で覆った。ベントナイトは保水力の高い粘土であることから、電極底部をベントナイトで覆う事により、電極内部液の漏液量を低下させ、さらに地面との接触面の水分量を一定に保つ効果も期待できる。



(左) 写真 2 現地で使用した電極の設置状況

観測を行った当日は、地表が雪に覆われている場所もあったため、そのような場所では、スコップで表土を掘り出した後に電極を設置した。

観測を行った当日の気温については、特に現地測定など行わなかったが、くじゅう連山に比較的近い気象観測点の一つである熊本県南小国観測点（標高 448 m）におけるデータ（気象庁 HP より）で平均気温 3.2 度（最高気温 5.7℃，最低気温 -0.1℃）が記録されていた。測定地点は 1300 m を超えていることから推察されるように、かなり低温環境下における観測となり、当日は地表面もうっすら雪で覆われた状況にあった。そのため測定中に電極内部液の一部、硫酸銅の結晶の晶出が確認されたが電位の測定自体は問題なく行うことができた。

4. 結果

観測結果を図 3 に示す。グラフでは横軸に標高を、縦軸に自然電位をとっているが、前章でも述べたように、本調査の観測ルートについては、標高と緯度の間に傾き一定の線形関係があるため、グラフの右側（高標高側）に行くほど南側の地点における自然電位を示していることになる。また、電位測定の際に得られた電位値は黒丸で、復路で得られた電位値についてはグレーの丸で表示した。標高 1450 m の軸付近に円内が黒とグレーの 2 色で表示されているプロットがあるが、この地点（No. 6）が電位の閉合地点となっている。

往路と復路のデータを閉合させた時点で積算された自然電位値に 12.3 mV の差が確認された。そこで、観測地点 No.7 の以降に測定された 22 地点（最終地点である 22 地点目 = No.28 は No.6 と同じ地点となる）については、12.3 mV を 22 で除した値である 0.5595 mV を均等に配分して誤差の補正（閉合誤差補正）とした。

一般に、自然電位の観測結果を示す際には、観測地点の中に適当な電位の基準点を設定し、その地点における電位を 0 mV とおいて、他の地点の電位値は基準点に対する相対電位差として表示するのが通例である。しかし、図 3 中では、電位の値が 0 mV となる、いわゆる「基準点」が存在していない。これは、本調査で得られた結果を川平ほか（1994）のデータと比較するためにデータを補正したためである。

川平ほか（1994）は、観測結果を基にして硫黄山地域における等電位線図を作成した（図 1A）。そこで、この等電位線図に本調査における観測地点の位置図を重ねてみた結果、No.3 の地点が -100 mV の等電位線上に位置していることが分かったため、観測地点 No.3 における自然電位の値を -100 mV とし、他の地点の自然電位値は No.3（-100 mV）に対する相対電位差の関係を用いて再計算して求めた。

図 3 より、本調査で得られた自然電位分布は、測定開始地点である測定点 No.0（標高 1390 m）から標高の増加にあわせて電位値も増加していく関係にあることが示されていた。この右肩上がりの傾向は、往路のデータでは標高 1500 m 付近、復路のデータまで含めると標高 1478 m 地点まで続いた後、電位の急落部が認められた。電位の急落部については、標高 1510 m 付近で -100 ~ -120 mV まで電位が低下するが、その後は上昇に転じ、最高標高点である 1538 m 地点（76.3 mV）まで電位の上昇傾向が続いた。標高 1390 ~ 1500 m 区間における電位の増加と 1500 m 以上の区間における電位の急落については、測定の往路・復路の両方のデータで確認されており、これらの観測結果が再現性のある電位分布を反映したものであることが確認された。

次に、今回の観測ルートとほぼ同じルートで 1993 年に観測された自然電位分布（川平ほか、1994）と本調査における結果との比較を行った。図 4 は川平ほか（1994）の観測結果より求められた -100 mV、-50 mV、0 mV の 3 本の等電位線の位置（図 1A）と標高の関係を読

み取り，グラフ上に重ねたものである．白の三角形で示された川平ほか（1994）のデータは標高 1490～1500 m で -50 mV，1520～1530 m で 0 mV となり，電位を合わせた地点である標高 1420 m の -100 mV のプロットとの間に直線的な関係がみて取れた．そこで，これら 1993 年の自然電位データ（ SP_{ref} ）について回帰直線を求めてみたところ， $SP_{ref} = 0.94 H - 1445.7$ の関係式が得られた（図 4）．ここで，本調査ルートにおける，標高差≒水平移動距離の関係を用いれば，グラフの傾き 0.94 が 1993 年時点における電位勾配 [単位水平距離変化あたりの電位の上昇量] として扱うことが可能である．同様に，本調査で得られた電位の増加区間（1390～1500 m）における回帰直線を求めたところ， $SP_{obs} = 1.98 H - 2911.6$ が得られ，1993 年の電位分布が示した傾きに対しておおよそ 2 倍の電位勾配を有していることがわかった．

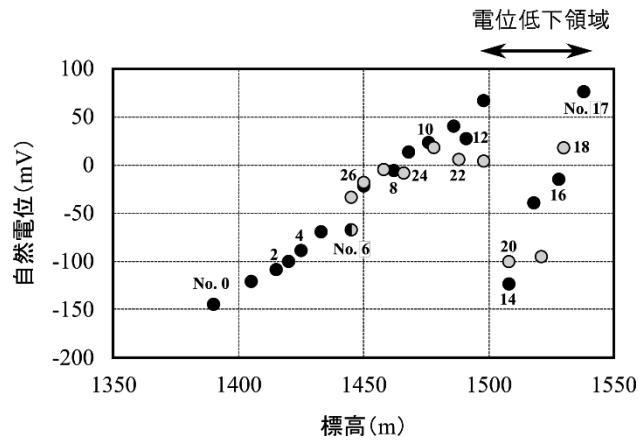


図 3 観測ルート沿いに測定された自然電位の分布

黒丸は往路に測定されたデータを，グレーの丸は復路に測定されたデータを示す．観測地点は No. 0, 6, 17 以外の地点については偶数番号の地点のみ数字で示した．

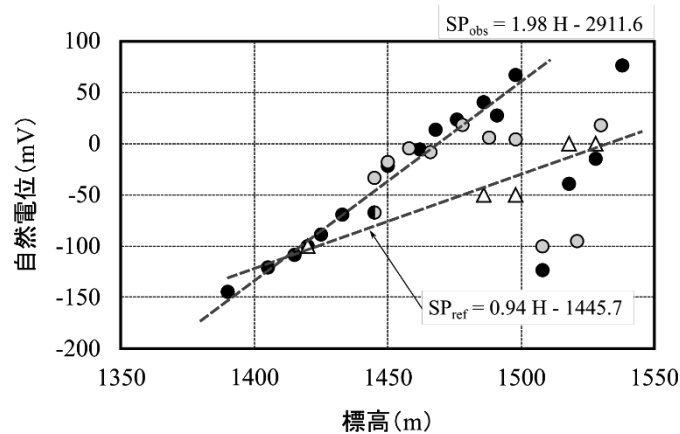


図 4 本調査研究で得られた自然電位分布と 1993 年観測(川平ほか 1994) による結果との比較

川平ほか（1994）のデータは白の三角形で示した．

5. 考察

本調査によって得られた九重硫黄山の自然電位分布にみられる特徴をまとめると（１）現在も山頂部付近に向けて自然電位の上昇傾向が存在していること，（２）標高 1500～1530 m 区間で、電位の急激な落ち込みが記録されるが、その後、電位の回復（上昇）傾向が認められること、の２点に要約される。

この内（２）の特徴については、水が鉛直下方に浸透する場所の上部地表面において測定される電位の負異常である、と考えることで説明することが可能である。実際、川平ほか(1994)は硫黄山の地域内において、２組の電極をデータロガーに接続して連続観測を行っているが、降雨が発生するなど、鉛直下向きの水の流れが生じた際には、電位の急激な低下が記録されたことを報告している。また、本調査ルートは標高 1762 m の星生山の北側斜面上に属しており、標高 1500 m やその近傍に、水の地下への浸透が優勢となる地域、いわゆる「涵養域」が存在していたとしても矛盾はない。以上の事から、電位の急落部については、浅層地下水の涵養域において水が地下へ浸透することによって発生した電位の負異常に対応するものであると考える。

（１）の特徴についても、硫黄山の地下に熱水対流系が存在しており、山頂部近傍の地下に上昇してくる熱水が電荷を運ぶことによって高電位異常が形成されている、と考えれば一応の説明は可能である。しかし、本調査で得られた正電位異常については、活発な噴気活動が続いていた 1993 年当時の電位分布と比較して、相対的な電位値も電位勾配も大きなものであった（図 4）。この結果を素直に解釈すれば、2014 年時点における地下の熱水対流系による熱水上昇は 1993 年時点のそれよりも活況である、となり、地表で観察される噴気活動や地熱兆候とは逆傾向となる地下熱水系の状態を想定しなければならなくなる。

そこで、噴気活動や地熱兆候が静穏状態にあるにもかかわらず、電位勾配の大きな自然電位分布が観測される要因として、図 5 に示す地下の水流動モデルを考えた。このモデルでは、地面の下を地下浅層と深部側とに分け、それぞれの領域を流れる水がそれぞれに流動電位を発生させているものとする。

図 5A は、地熱活動の静穏期における水の流動状態を表している。この場合、深部側では活動度は低いながらも熱水対流系は存在しているため、低地側から高地側へ向けて SP が増加していくような電位分布が形成される（図 5A 右下のグラフ）。これに対して、地下浅層では降雨などで供給された浅い地下水が斜面下方へ流下していくため、高地側から低地側へと SP が増加していく、いわゆる「地形効果」と呼ばれる電位分布が形成される（図 5A 右上のグラフ）。地表において観測される SP は、この両者の影響を重ね合わせたものとなるため、図 5A の例で考えると、地形効果の影響を受けつつも、熱水対流系によって形成された SP の方が大きいため、地表で観測を行った場合には右肩上がりの SP が観測されることになる。

図 5B は地熱活動が活発な時期の水の流動状態を表した。この場合、深部側については熱水対流系の活動も活発であるため、静穏期よりも大きな電位勾配を有する SP が形成される。一方で、地下浅層については 2 種類の水の流動が生じていると考えた。１つは静穏期にも存在した降雨の浸透によって形成される浅い地下水による SP（地形効果）である。月平均降水量や年間平均降水量が 10～数 10 年程度の期間では大きな変化が生じない事を考慮すれば、地形効果の SP が与える影響は、地熱活動の静穏期であっても活動期であってもほとんど同じものになると推察される。

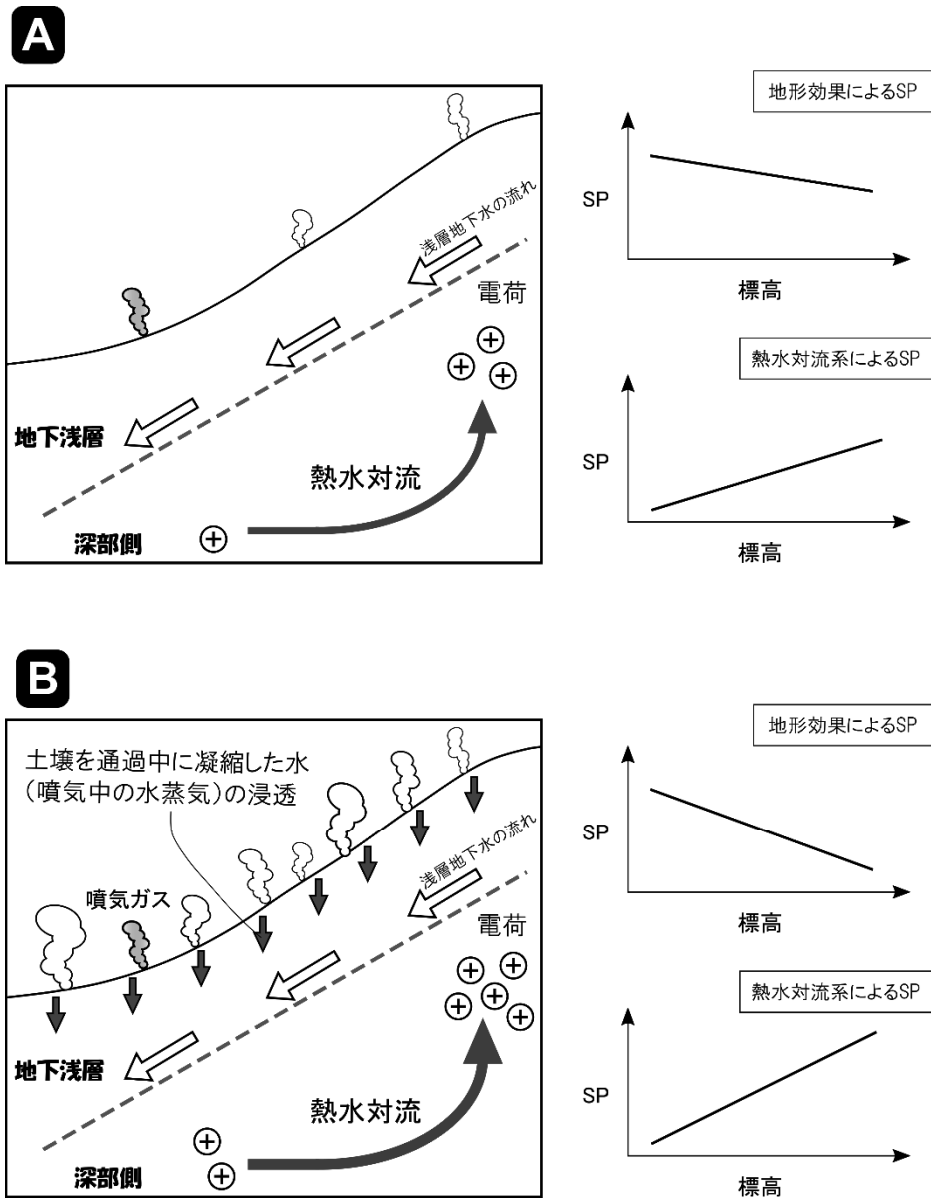


図5 噴気地帯の静穏期 (A) と活動期 (B) の違いによる自然電位形成機構を説明するための概念的モデル

矢印はそれぞれの深さ領域における水の動きを示す。地下浅層については地形に沿った流れ (高標高から低標高へ) が常に生じており、地形効果が形成されるが、噴気の活動期には、これに噴気凝縮水の浸透が加わるため、発生する地形効果は大きなものとなる (図 A と図 B の右上のグラフの傾きの違いとして表現される)。一方、熱水滞留系が作り出す SP は活動期の方が大きくなるが (図 B 右下のグラフ)、地形効果も大きいため相殺されるものと考えた。結果、電位勾配を打ち消す効果の小さな静穏期に観測される自然電位分布の電位勾配の方が大きな値を示すことになる。

そして浅層を流動するもう1種類の水として、鉛直下向きに浸透する噴気凝縮水を考えた。噴気ガスはその90%以上が水蒸気であることから、地下深部から地表に向けて上昇していく過程で温度が低下すると水の凝縮が生じる。大きな亀裂や断層系から勢いよく噴き出している高温の噴気ガスの場合は、ガスが上昇してくる通路内で凝縮が生じる状況は考えにくい。が、土壌ガスの様な形態で噴気地帯のいたる所から放出されている噴気ガスについては、土壌粒子の抵抗を受けてガスの移動速度が低速になることで冷却の効果を受けやすくなり、土壌粒子間で凝縮を生じさせることは起こり得るのではないかと考えた。実際、噴気地帯において地面をシャベルなどで掘り起こしてみると、砂交じり状の土の多くは表層から湿っており、噴気地帯の浅層部の水分が多いことは観察結果とも調和的である。単位時間あたりに生成される凝縮水の量は土壌粒間に留まるか、あるいは岩石の表面を濡らす程度であると思われるが、次々にガスが供給されることにより最終的には液滴が形成され、鉛直下方へ移動を始める。このようにして形成された凝縮水による地下への浸透は、自然電位に対して降水が地下へ浸透していくときと同じような影響、すなわち自然電位を負の方向へ引き下げる効果を有しているはずであり、結果的に地形効果を強めるように作用するものと考えられる。

以上の様に、地熱活動が活発な時期については熱水対流系によって作り出される正の電位が大きくなる一方で、それを弱める作用を持つ電位の発生源として、地形効果と凝縮水の浸透の2つが存在することにより負の電位の形成も強められ、両者が互いの影響を打ち消し合うような関係が成立する。結果、観測される自然電位分布は、右肩あがりのグラフにはなるものの、静穏期よりも電位勾配の小さなものになってしまったと考えれば、データにみられた傾向に一応の説明をつけることが可能である。

本項で行った考察に加え、観測結果も踏まえて2014年時点における九重硫黄山の自然電位モデルを図6に示した。2014年の硫黄山では噴気活動が極端に低下したことにより、ごく浅層における噴気ガスの凝縮が広い範囲で起こらなくなっており、熱水対流系によって形成される正の電位を打ち消す効果は地形効果程度のものに限定されている。その結果、1993年の自然電位分布よりも高い電位勾配が観測されることになったものとする。

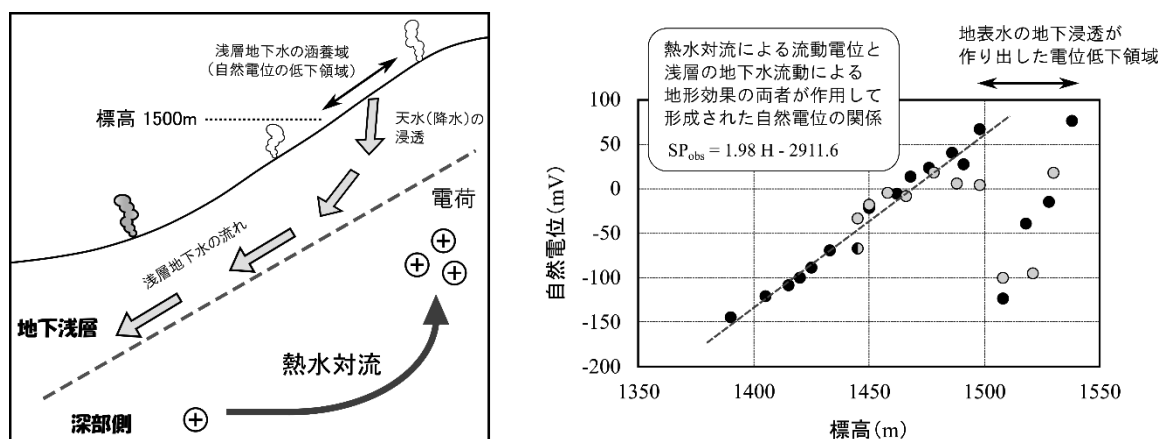


図6 2014年の九重硫黄山における自然電位の形成モデル。

また標高 1500 m 付近に、浅層の地下水の涵養域が分布しており、これらが電位の急落部を形成したものと考える。1993 年の観測では、この電位の急落部は観測されていないが、当時は熱水対流系による正の電位の形成が優勢であったことから、涵養域で形成される負の電位が観測量としては得られなかったのではないかと考えれば説明は可能である。

5. まとめ

本研究では、九重硫黄山噴気地帯において 2014 年に行った自然電位観測の結果を用いて、電位分布にみられた特徴を明らかにした。その結果、噴気活動や地熱兆候の減退が認められている状況下においても、山頂に向けて自然電位の増加傾向が認められ、地下には依然として熱水対流系が存在していることが示唆された。また標高 1500m 付近に、自然電位の急落部が認められ、地下への水の涵養がこれらの標高で生じている可能性があることも示された。

次に、1993 年にほぼ同じルートで実施された自然電位観測の結果との比較を行った。両者に認められた違いを説明するために、噴気ガスの凝縮水が鉛直浸透することによって、熱水対流系によって形成された電位勾配が引き下げられるモデルを提示した。このモデルにより、噴気活動や地熱兆候の減退が認められていた 2014 年の九重硫黄山において観測された電位勾配が 1993 年の観測結果のそれよりも大きなものとなっていることに一応の説明をつけることができた。

ただ、今回提示したモデルについては、定性的には観測結果を説明できているが、モデル自体を検証するような実測データがある訳でもなく、多くの部分が推測に頼るものである。また近年は、観測される自然電位分布は、流動電位のみではなく地下の比抵抗構造の違いによっても大きな影響を受けることが指摘されるようになってきており（例えば、Ishido, 2004, Aizawa, 2008, Onizawa, *et al.*, 2009）、その様な新たな視点や知見をモデルに反映させていくことも重要な課題の一つであろう。

九重硫黄山の火山・地熱活動については、2012 年以降は活動が活発化に向けて変化し始めているとの報告もあり（森ほか, 2019）、本調査による観測が行われた 2014 年は、硫黄山の活動が最も低下していた数年間に得られたデータの事例として、一つの指標となり得るものであると考える。今後も噴気活動の変動や消長に対応して繰り返し観測を行い、火山活動や地熱兆候の移り変わりに対してどのような自然電位データが得られるのかについて把握していくことが重要であると考えている。

謝辞

現地における自然電位測定にあたっては、京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設の柴田智郎准教授、および技術職員の三島壮智氏の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- Aizawa, K. (2008) Classification of self-potential anomalies on volcanoes and possible interpretations for their subsurface structure. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 175, 253-268.
- Ishido, T. (2004) Electrokinetic mechanism for the “W” shaped self-potential profile on volcanoes. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L15616.

- 川平雅子, 江原幸雄, 茂木透 (1994) 九重硫黄山における自然電位測定による地下熱水流動の解明 (その1), 九大地熱研究報告, 第3号, p.166-174.
- 北岡豪一, 大沢信二, 由佐悠紀, 日下部実 (1996) 九重硫黄山における深部循環熱水の沸騰による化学及び同位体組成の変化, 温泉科学, 第46巻, p.156-175.
- 長谷英彰, 石戸経士, 橋本武志, 神田径, 佐藤佳子 (2003) 九州火山の岩石のゼータ電位測定, 京都大学防災研究所年報, 第45号, B-1, 9P.
- Mizutani Y., Hayashi S., Sugiura T. (1986) Chemical and isotopic compositions of fumarolic gases from Kuju-Iwoyama, Kyushu, Japan, *Geochemical journal*, 20, 6, p.273-285.
- 森健彦, 谷口無我, 川村安, 平松秀行, 池田啓二, 菅井明, 菅原道智, 高田健一, 松本享, 気象庁福岡管区气象台, 気象庁大分地方气象台 (2019) 九重硫黄山における火山活動の変化について, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 講演要旨集, SVC38-10.
- Onizawa, S., Matsushima, N., Ishido, T., Hase, H., Takakura, S. and Nishi, Y. (2009) Self-potential distribution on active volcano controlled by three-dimensional resistivity structure in Izu-Oshima, Japan. *Geophys. J. Int.*, 178, 1164-1181.

鈇泥浴治療における体温変動と治療効果の相関の検証

九州大学病院別府病院 内科

前 田 豊 樹

緒言：温泉には、体温上昇効果があり、これが鎮痛効果つながる。九州大学病院別府病院では、体温上昇効果が特に高い鈇泥浴施設を有しており、これまで慢性疼痛を全身にきたす線維筋痛症の治療に用いてきている。昨年度、線維筋痛症患者における鈇泥浴入院治療経過中、毎朝の腋窩温が予想に反して鈇泥浴治療中には必ずしも上昇せず、むしろ低下する例が多いことを報告した。今年度は鈇泥浴治療が毎朝の深部体温（鼓膜温）の上昇に寄与しうるかどうかの検証を試みた。

方法：九州大学病院別府病院内科に入院となった、アメリカリウマチ学会線維筋痛症診断基準(1990)または診断予備基準(2010)により、線維筋痛症患者と診断された7名（男性1名女性6名 平均年齢 50.7 ± 7.7 歳）を対象として、平日連日 40°C 10分間鈇泥浴（期間： 17.1 ± 6.0 日間）を受けてもらった（表1）。この間の毎朝の腋窩温と鼓膜温測定を行うとともに、疼痛についてフェイススケール（5点満点）（FS）で評価し検討した。

なお、調査人数としては年度内に10人以上の解析を目指したが、COVID-19流行の影響で入院が制限され、協力が得られたのは7名に留まった。このため解析手法は昨年と異なり、回帰分析によって経過中の各パラメータの変化率を求めて検討することとした。

結果：表2に観察期間中の日ごとの腋窩温、鼓膜温、FSの推移を変化率として回帰直線の傾きで示した。さらに、評価をしやすくするため、体温変化、疼痛変化の各傾きの正負を上昇、低下、悪化、改善に置き換えを表3に示した。鼓膜温は低下4例上昇3例、腋窩温は低下6例、上昇1例、FSは改善2例、悪化5例であった。ほとんどの例で腋窩温が低下しているのは昨年の結果と同様であった。一部の患者で鼓膜温が上昇しているにもかかわらず腋窩温は低下していたが、鼓膜温が低下していながら腋窩温が上昇するという逆のパターンは見られなかった。また、鼓膜温、腋窩温のいずれの上下も疼痛緩和との関連は明確ではなかった。

考察・結論：入院後の体温については、腋窩温がほとんど例で低下を示していたのに対して、その中の一部で鼓膜温が上昇していた。このことは、鈇泥浴による深部体温上昇は、体表温度には反映されにくい事を示していると考えられる。多くの例でわずかながら下降傾向で鈇泥浴による深部体温上昇傾向が蓄積

するというよりも、一時上昇した体温を平均化するように低下傾向を示している可能性が考えられた。これは、鉱泥浴による体温上昇の後の体温放出の結果を見ているのかもしれない、あるいは、入院に伴う運動量低下による基礎代謝低下も加味されているかもしれない。しかし1例上昇しており、鉱泥浴により体温が上昇する場合もあり得ると思われる。

また、疼痛の推移についてであるが、今回、観察期間が短く、初期変化を見ているところが、昨年の報告と異なっている点の一つである。多くの例で鉱泥浴治療が開始されて1～3日の間に疼痛軽減傾向が見られ、疼痛緩和に伴い、各患者において、散歩やリハビリテーションなどの運動量を上げる傾向が見られ、それにつれて疼痛が再び悪化する。このため入院初期には見かけ上疼痛が一時的に悪化する例が見られる事が、今回のFS悪化傾向に反映されている可能性がある。

全体を通して、疼痛緩和はこれら腋窩温、鼓膜温のいずれの推移にも関連していなかった。毎朝の体温は、鉱泥浴の体温上昇や疼痛軽減効果と平行していなかった。したがって鉱泥浴治療は必ずしも翌朝の体温まで上昇させる効果があるわけではなく、疼痛緩和がもたらされるのは、おそらく入浴による深部体温上昇時間帯においてのみ見られるもので、それ以外の時間帯の疼痛緩和は体温とは無関係で、主として入浴中の疼痛軽減の実感が繰り返されることが、その後の継続的な疼痛緩和につながる可能性があると考えられる。

以上

表 1 解析対象患者プロフィール

患者番号	性別	年齢(歳)	観察日数
1	男性	58	21
2	女性	44	17
3	女性	49	23
4	女性	47	8
5	女性	60	24
6	女性	57	16
7	女性	40	11

表 2 観察期間中の各患者の体温と疼痛の日ごとの変化率

患者番号	鼓膜温推移 (°C/日)	腋窩温推移 (°C/日)	FS 推移 (ポイント/日)
1	-0.116	-0.04	+0.009
2	-0.04	-0.012	+0.024
3	-0.051	-0.003	-0.1
4	0.063	-0.055	+0.036
5	-0.006	-0.018	+0.027
6	0.0013	0.0176	0.0066
7	0.239	-0.191	-0.05

表 3 観察期間中の各患者の体温と疼痛の変化の評価

患者番号	鼓膜温 推移傾向	腋窩温 推移傾向	FS 推移傾向
1	低下	低下	悪化
2	低下	低下	悪化
3	低下	低下	改善
4	上昇	低下	悪化
5	低下	低下	悪化
6	上昇	上昇	悪化
7	上昇	低下	改善

別府地域および周辺の地下構造（2）

－別府扇状地の物理探査の例－

京都大学

竹 村 恵 二

摘要

別府温泉の利活用等を考察する上で、現在の水文学的情報の整理とそれを担う固体地球物理学や地質学的な入れ物に関する形成過程や物性的な情報の整理が重要である。今回は別府扇状地内の地下構造推定のための物理探査の例を紹介した。特に、扇状地域で南北方向に実施された、海岸部の国道 10 号線における探査および扇状地域の春木川から朝見川にかけての反射法地震探査結果からの地下物性構造についてまとめた。

はじめに

一般的に扇状地内の地下構造調査は、地表面付近に厚く分布する礫がちの地層の影響で、地表面付近における物理探査は困難な点も多い。現在の地質学的知見から、別府扇状地を含む別府地溝（由布一鶴見地溝；星住ほか、1988）の地下に分布する可能性のある地層群として、下位から、花崗岩類、豊肥火山活動の火山岩類および堆積岩類（この後半部分が別府周辺の第四紀火山岩類の観海寺安山岩から活火山である鶴見・由布火山群）であり、別府湾堆積盆地や別府地溝の形成にともなう断層活動（特に正断層活動による沈降運動）によって、別府扇状地地下にもこれらの岩石群の存在することが推定される。これらの地層がどのような深さでどのような分布をするかを種々の地球科学的探査の成果をまとめて、別府地域の地下構造を想定する研究の継続が必要である（竹村、2020）。

扇状地内での地球物理探査として、重力調査、反射法地震探査、レーダー探査等が実施されてきた。本報告では、地溝状構造と直交する南北方向で実施された、国道 10 号線における探査および春木川から朝見川にかけての扇状地内での反射法地震探査結果からの地下物性構造および地下地質との対応について議論した。

反射法地震探査とは

人工地震発振による調査は、屈折法地震探査や反射法地震探査が実施される。これらは、地下での地震波速度による構造を知ることができる。観測データは時間断面として解析され、それに基づいて速度構造を仮定することから深度断面として解釈が表示される。目的の深度に対応して、バイブレーターなど種々の振源等の種類が準備される。

別府湾周辺および別府扇状地内の反射法探査

別府地域の地下構造解釈には、別府湾における由佐ほか（1992）などの情報とテクトニクスの解釈（Itoh et al., 1998、2014；竹村ほか，1994；竹村，2019 など）が有用であり、西方の由布院盆地（京都大学理学部 1994 年度 由布院盆地パイプロサイス調査、竹村ほか，2003；井上ほか，2004）などを含めて、基盤岩類を含む地下構造が推定される。その上で、別府扇状地内における国道 10 号線（京都大学理学部 1989 年度 別府陸域パイプロサイス調査）、別府扇状地域での探査情報も整理活用することで、地下構造（地層の境界や分布形態など）が明らかにできる。本報告では、国道 10 号線の反射法探査の再解析結果と 2016 年別府扇状地内での地質構造調査結果を紹介する。再解析および別府扇状地南北測線探査は、（株）地球科学総合研究所により、文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科「別府一万年山断層帯（大分平野ー由布院断層帯東部）における重点的な調査観測」（平成 26 年度～28 年度）の一環として実施された。

・1989 年度京都大学理学部別府陸域パイプロサイス調査（国道 10 号線）の再解析結果

探査測線位置を図 1（別府西岸陸域測線）に示す。別府湾西岸測線は、大分県速見郡日出町より、国道 10 号線沿いに、別府市街南東端を経て大分市との境界に至る約 11.2km の測線であり、大型パイブレータ 2 台を用いて、展開長約 960m の移動展開（北端発震）によってデータが取得された。国道 10 号線は非常に車両通行量が多く、大型車両に起因する顕著なノイズレベルを回避するため、発震作業は夜間に実施された。

・2016 年別府扇状地南北横断測線（Line-B）の探査結果

探査測線位置を図 1（Line B）に示す。Line-B は、測線北端の大分県別府市石垣地区を起点とし、県道 645 号亀川別府線を南進し、別府市田の湯町流川 8 丁目交差点を経て、市道朝見光町線を南進し、測線南端の別府市朝見地区に至る約 3.6 km の測線である。本測線では、車両通行ノイズが卓越しており、基底ノイズレベルが極めて高く、約 200 m 間隔で実施した高エネルギー発震の記録においても、屈折初動が確認可能なオフセット距離は約 1.5 km 程度に限定された。但し、中型パイブレータ 1 台（制御出力 30%）による低エネルギー発震の制約があったが、往復走時 0.5-0.8 秒まで反射波列の把握が可能であった。

・別府扇状地域の探査結果解釈と地下構造との関連

別府扇状地全域（図 2 および図 3）では、深度 1200m 程度まで非常に 'Reflective' な特徴を示すが、その下位では、相対的に反射波群の同定が困難である。深度 300m 程度までの表層部には 'Truncation' や 'Channel' 構造等を認定することができ、堆積構造が明瞭である。その下位にマウンド状の形状を示唆する構造が確認でき、やや強振幅を伴うが、大分平野で確認された厚い堆積層は別府陸域では存在しないことが示唆される。

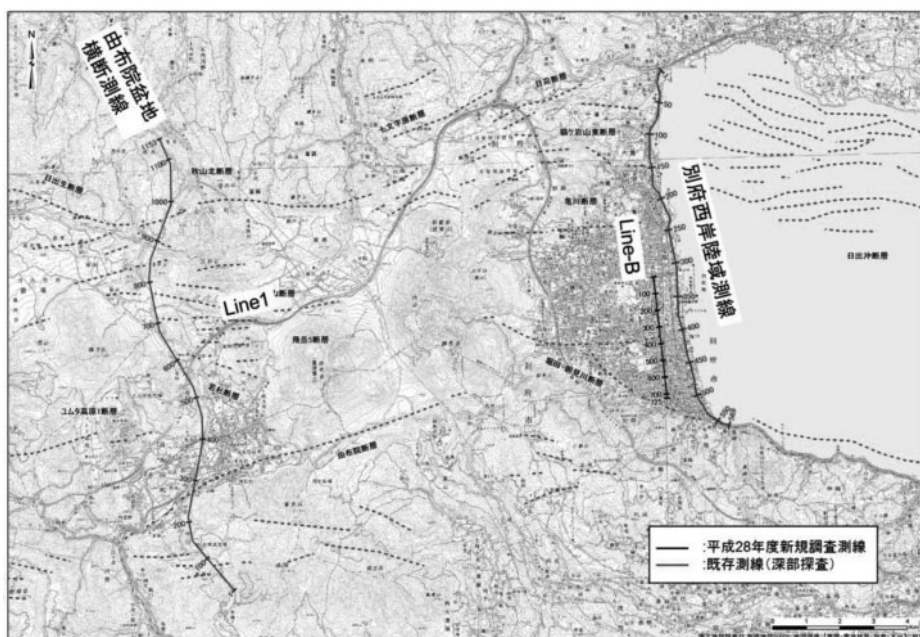


図1 反射法地震探査測線位置図(文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科, 2017)

現在の地質学的知見から、別府地溝(由布―鶴見地溝)の地下に分布する可能性のある地層群として、下位から、基盤岩とされる花崗岩類(密度や速度情報から推定される)、約6 Ma から始まる豊肥火山活動(鎌田、1985 など)の火山岩類または堆積岩類(この後半が整理した別府周辺の第四紀火山活動と対応する)であり、別府湾堆積盆地や別府地溝の形成にともなう断層活動(特に正断層活動による沈降運動)によって、別府扇状地地下にこれらの岩石群の存在することが推定される。この火山活動や沈降運動に伴い、地溝内に層厚の礫層が堆積しており、関連する火山活動期と対応した礫種構成や地下分布が想定できる。

基盤岩の分布する深度は、本調査からは明らかにできなかったが、別府湾での反射法地震探査からの推定(Itoh et al., 2014 など)や星住ほか(1988)、竹村(2019)などを参照して、2-4 km程度の深度に分布すると考えられる。深度1200m程度まで非常に'Reflective'な特徴を示す部分は、火山岩と堆積層が短い区間で繰り返す分布状況を示していると考えられる。由布川火砕流、浜脇層、乙原火山岩や実相寺山火山岩等の分布との関連が想定される。深度300m程度までの表層部には'Truncation'や'Channel'構造等が認定され、堆積構造が明瞭である。この深度範囲は礫がちの扇状地堆積物等の分布形状との関係が推定できる。

まとめ

反射法探査などの人工地震探査は別府湾および周辺域で多く実施され、地域の地下構造の解釈に大きく貢献してきた。陸域の火山地域や扇状地域では、この手法が有効な

水平構造の連続性の保証が乏しく、精度は低くなるが、地下の地震波構造の特徴を明らかにし、地質構成や地質構造との対比を考察できる手法である。別府地域の地下構造の推定のために、陸域から分布が想定される地層がどのような深さでどのような分布をするかを他の地球科学的探査の成果を含めて、別府地域の地下の構造を想定する研究の継続が必要である。

文献

- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎（1988）「別府地域の地質」5万分の1地質図幅及び説明書。131頁。地質調査所。
- 井上直人・竹村恵二・由佐悠紀（2004）由布院盆地の地下構造と堆積物（2）。大分県温泉調査研究会報告，55号，77-80。
- Itoh, Y., Kusumoto, S. and Takemura, K. (2014) Evolutionary process of the Beppu Bay in central Kyushu, Japan: a quantitative study of basin-forming process under the control of plate convergence modes. *Earth, Planet and Space*, vol. 66, 66-74 (doi:10.1186/1880-5981-66-74).
- Itoh, Y., Takemura, K. and Kamata, H. (1998) History of basin formation and tectonic evolution at the termination of a large transcurrent fault system: deformation mode of central Kyushu, Japan. *Tectonophysics* 284:135-150
- 鎌田浩毅（1985）九州中北部における火山活動の推移と地質構造。地調報告，264，33-64。
- 竹村恵二（2019）九州中部のテクトニクスからみた熊本地震。第四紀研究，58，91-99。
- 竹村恵二（2020）別府地域および周辺の地下構造－地下地質の概要および調査手法－。大分県温泉調査研究会報告，71号，19-27。
- 竹村恵二・井上直人・由佐悠紀（2003）由布院盆地の地下構造と堆積物。大分県温泉調査研究会報告，54号，1-6。
- 竹村恵二・由佐悠紀・北岡豪一（1993）大分平野と別府湾（深部）。地質学論集，41，35-42。
- 文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科（2015）「別府一万年山断層帯（大分平野－由布院断層帯東部）における重点的な調査観測」平成26年度成果報告書、230p。
- 文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科（2017）「別府一万年山断層帯（大分平野－由布院断層帯東部）における重点的な調査観測」平成26～28年度成果報告書、526p。
- 由佐悠紀・竹村恵二・堀江正治・北岡豪一・神山孝吉・中川一郎・小林芳正・久保寺章・須藤靖明・浅田正陽・井川 猛（1992）反射法地震探査および重力調査による別府湾の地下構造。地震，45，199-212。

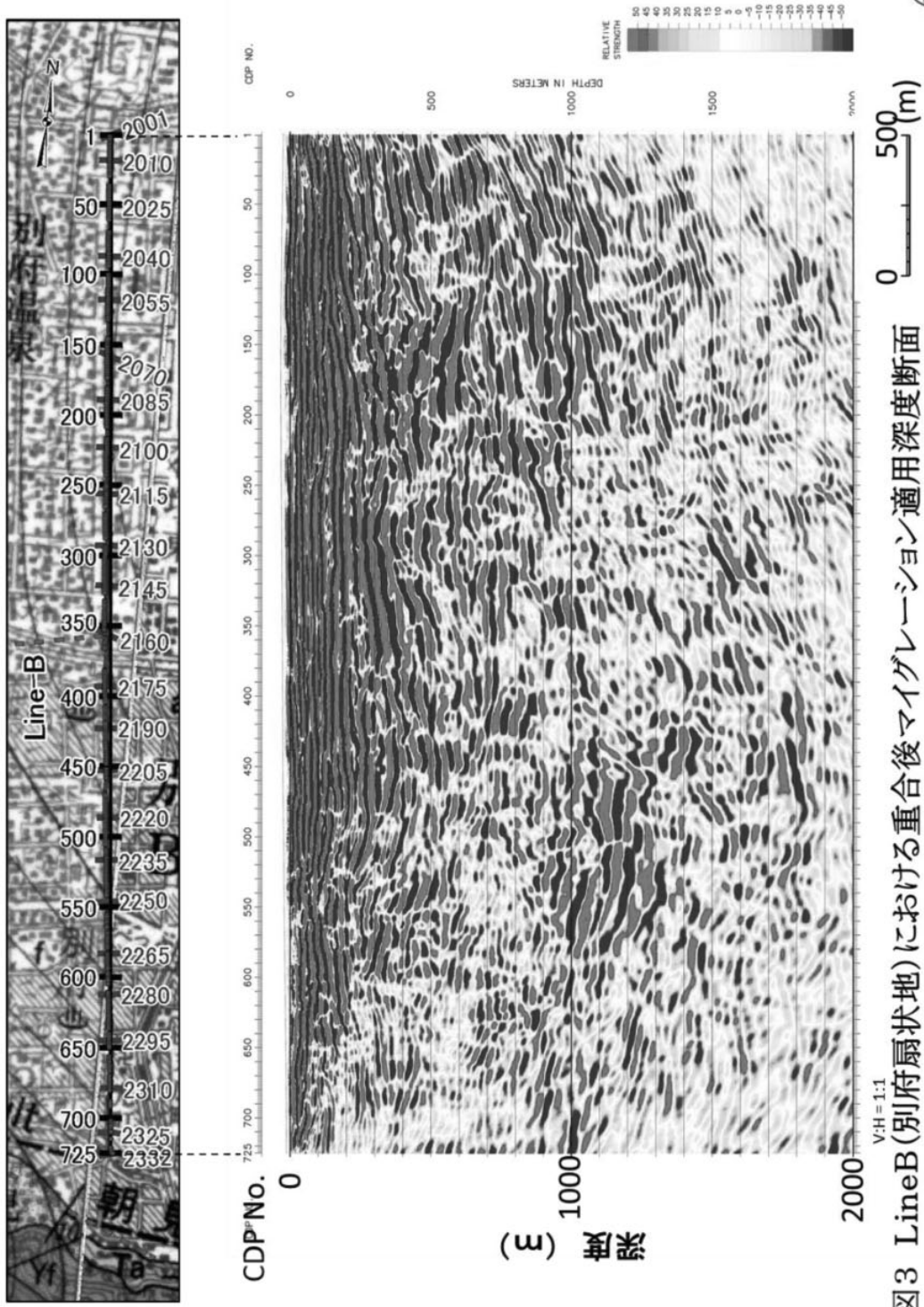


図3 LineB(別府扇状地)における重合後マイグレーション適用深度断面
図[浅部表示結果] (文部科学省研究開発局・京都大学理学研究科, 2017)

分析機器を用いない噴気の簡易ガス分析

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

大 沢 信 二・三 島 壮 智

信州大学理学部理学科地球学コース

齋 藤 武 士

秋田大学工学部システムデザイン工学科

網 田 和 宏

要 旨

水質分析のように普及していない噴気の化学分析（ガス成分組成の測定）を簡便化するために、通常用いられる機器分析に頼らず、代わりに利便性の高いガス検知管と溶存イオン検知管を活用した方法を検討した。噴気に含まれる水蒸気(H₂O)、二酸化炭素(CO₂)、硫化水素(H₂S)、R-gas(残留ガス：水に溶けないガス成分の総和)の組成データを、簡便・迅速に得ることができる従来法に比べても遜色ない方法が構築された。

1. はじめに

別府温泉のあちこちから立ち上る湯けむりは、蒸気井や沸騰泉、自然噴気地帯（地獄）から発せられる噴気である。温泉法では噴気も温泉に含まれるからというわけではないが、噴気も化学分析することができ、泉質（温泉の水質）データと同様に、分析によって得られるガス成分組成のデータを使って、温泉地の地下に潜む地熱流体や地熱系の物理・化学的な性状についての情報を得ることができる。このような理由から、一般にはあまり知られていないが、別府温泉では噴気の化学的な研究も古くから行われており、その成果はこの「大分県温泉調査研究会報告」にも関係論文として掲載されている（例えば、川上・小田，1965；古賀・野田，1973；大沢ほか，1998；網田ほか，1999；大沢，2000；大沢ほか，2015）。

噴気は温泉水や温泉沈殿物などに比べて分析試料の採取から成分の分析まで器具の取り扱いや分析作業が容易でなく、これが多くの人々に馴染みのある温泉の研究とは違って距離を置かれる理由のひとつになっていると思われる。そこで本研究では、試料採取の難しさ（空気の混染を避けながら 100℃を超える噴気を密閉可能な容器に採取する！）への対応は一先ず置いておき、“分析の敷居”を下げることで噴気の化学分析が少しでも身近な存在になるよ

うに、通常用いられる機器分析（ガスクロマトグラフィーや質量分析法など）に頼らず、代わりに利便性の高い北川式ガス検知管（以下、ガス検知管）と溶存イオン検知管（後者は「水質検知管」や「液体検知管」という製品名で市販されている）を活用した簡便な方法を構築することにした。本論文では、その研究成果を報告する。

2. 研究方法

2-1. 研究に用いた器具・道具

本研究で提案する噴気簡易分析法で使用する主な器具や道具を、写真によって、**図1**に示す。後ほど2-3-2項「簡易法による噴気の現地測定・試料採取と化学分析」で詳述するが、簡易分析では、分析は大きく二つの作業に分けて行われる。ひとつは、(1)「噴気を（従来法のように）予め水酸化カリウム水溶液を含んだ噴気採取容器に採取した後、実験室で水蒸気（ H_2O ）、硫化水素（ H_2S ）および残留ガス(R-gas)*組成を求める」であり、もうひとつは、(2)「現地で、 H_2S と二酸化炭素（ CO_2 ）用のガス検知管を直列に連結して噴気の CO_2/H_2S 比を求め、その比を（1）で得られた H_2S 組成に掛け合わせることで CO_2 組成を求める」という作業である。

*噴気に含まれる水に溶けにくいガス成分の総称。噴気採取容器中で「水酸化アルカリ溶液に溶け残ったガス」という意味で、残留ガス（Residual gas ; R-gas）と呼ばれる。

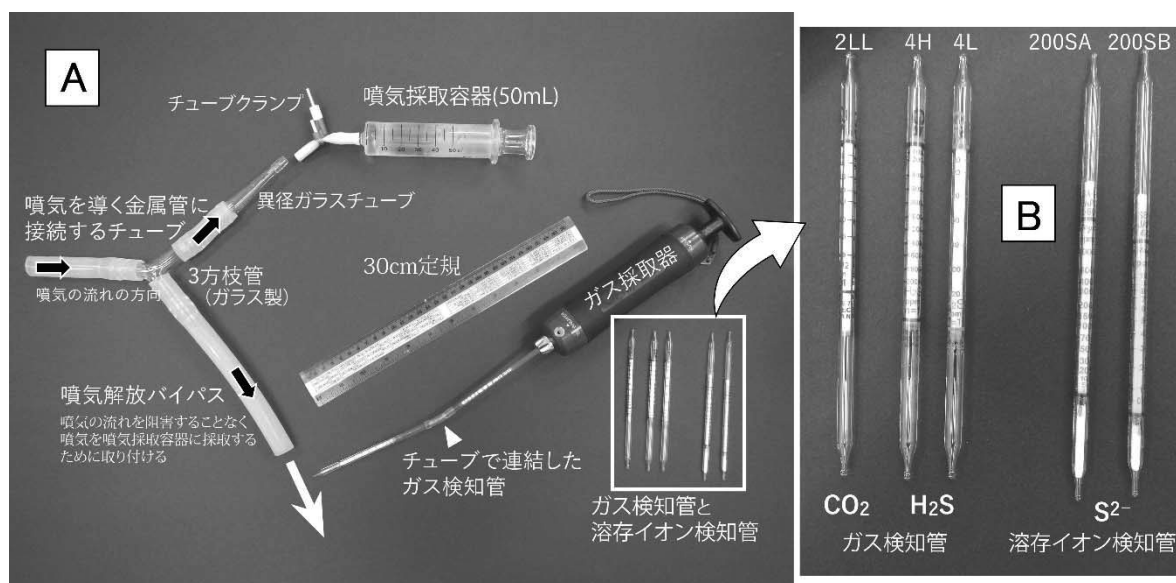


図1 本研究で用いた測定器具や道具, BはAの右下囲みの拡大図.

Aのチューブ付き3方枝管の使い方は、図4のAを参照.

(1) で用いる水酸化カリウム水溶液入りのガラス注射器が、**図1**の「噴気採取容器」である。従来法（例えば、網田・大沢，2001；齋藤ほか，2019）では100mLないし200mLのガラス注射器（最近はガラス製浣腸器を使用）を用いるが、簡易分析では、後述する理由に

より測容に十分な量の R-gas が噴気採取容器に導入されればよいので、取り扱い易い下限サイズの 50mL のガラス洗腸器を使った。噴気導入管に噴気採取容器を接続するためのゴム製チューブのクランプには、取り外ししやすいスイングジョー式チューブクランプを用いた。

(2) で用いるガス検知管は、今回は、CO₂用はガステック社製の 2LL、H₂S 用は同社の 4H と 4L であった。それぞれの検知管に用いている化学反応の原理とガス検知時の検知剤の色の変化、測定濃度範囲、共存ガスの影響（干渉）について、メーカーの情報に基づいて、表 1 の A にまとめた。使用前に、H₂S および CO₂ の検知管の両端を所定の方法でカットし

(筆者は小型のニッパを使っている)、固めのゴム管を用いて両者を直列につなぎ（連結の順番は後述）、図 1 のようにガス採取器に取り付け、ハンドルを引き、噴気を検知管に導入する（検知管への噴気の導入のさせ方については後述）。このように異なる種類のガス検知管を直列につないで用いることでガス成分比（本研究では CO₂/H₂S 比）を求めるが、ガス採取器の取り扱いは通常の使用方法に従った。

表 1 本研究で用いた検知管の諸元(メーカー公表資料より作成)

A. ガス成分分析用					
化学種	検知管番号 (製造会社)	反応原理	変色	測定範囲 (ppm)	干渉
CO ₂	2LL (ガステック)	CO ₂ + N ₂ H ₄ → NH ₂ NHCOOH	淡青→紫	300~5000	記載なし
H ₂ S	4H (ガステック)	H ₂ S + (CH ₃ COO) ₂ Pb → PbS + 2CH ₃ COOH	白→茶	100~2000	SO ₂ :1倍以上+
H ₂ S	4L (ガステック)	H ₂ S + (CH ₃ COO) ₂ Pb → PbS + 2CH ₃ COOH	白→茶	10~120	SO ₂ :1倍以上+
B. イオン成分分析用					
化学種	検知管番号 (製造会社)	反応原理	変色	測定範囲 (ppm)	その他
S ²⁻ (硫化物)	200SA (光明理化学)	S ²⁻ + (CH ₃ COO) ₂ Pb → PbS + 2CH ₃ COO ⁻	白→茶	2~1000	使用温度:5~60°C pHの影響:1~12でなし 干渉:特記なし
S ²⁻ (硫化物)	200SB (光明理化学)	S ²⁻ + (CH ₃ COO) ₂ Pb → PbS + 2CH ₃ COO ⁻	白→薄茶	0.5~10	使用温度:5~40°C pHの影響:7~14でなし 干渉:Cl ⁻ :2000ppmで指示高

図 1 には、ガス検知管とは別の種類の検知管「溶存イオン検知管」も示されているが、これは、(1) で採取された噴気試料の水溶液部分に溶存する硫化物イオンを分析するために用いる。本研究で使用したのは、光明理化学社製の 200SA と 200SB であり、用いている化学反応の原理とイオン検知時の検知剤の色の変化、測定濃度範囲、使用条件や共存成分の影響について、メーカーの情報に基づいて、表 1 の B にまとめた。使用にあたっては、メーカー指定の方法に従った。

2-2. 分析のための準備

検知管を使った分析（濃度測定）では、通常、検知管表面に印刷されている濃度目盛（**図2**の検知管イラストの数字が付された目盛）を使って、測定対象成分による検知剤の変色の先端（変色境界）の位置をそのまま読み取る方法が取られる。この濃度直読方式により、現場で簡単に、しかも短時間（だいたい数分）で測定できることがガス検知管法の最大の特徴であるが、変色層先端が目盛と目盛の間に来る場合は比例配分して濃度を読み取るので誤差が大きく（濃度目盛が等分でない検知管の場合はさらに大きい）、分析の正確さや精度とはトレードオフ関係にある。このことから、検知管による測定は半定量分析が限界であると考えられており、濃度の概略値の把握を目的として使われることが多い。

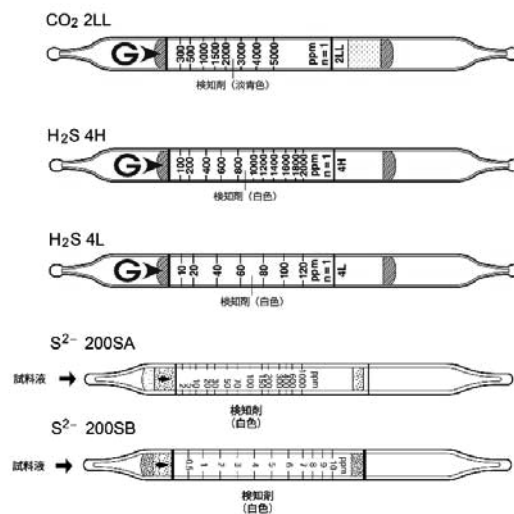


図2 本研究で用いた検知管の概略図(メーカーのカタログから転載)

大沢（2002）は、検知管による分析の定量性を高める方法として、検知管に印刷された濃度目盛の値と原点（濃度ゼロ目盛）から各濃度目盛までの長さの関係を表す関数（関係式）を導出しておき、変色層の長さをその関係式に当てはめることによって濃度を算出する方法を考案した。その研究では、塩化物イオン検知管の温泉水分析への適用性が検討され、有効数字 2 桁程度で定量値が得られることが示されている。本研究でも、大沢の方法に倣い、分析前の準備として、使用する検知管ごとに濃度目盛の読みと濃度目盛までの長さの関係を表す関係式を導出した。以下で、硫化物イオン検知管の例を使って、その導き出し方をやや詳しく説明する。

図3の左のグラフは、検知管に印刷された濃度目盛の値と、原点（濃度ゼロ目盛）から各濃度目盛までの長さの関係を示した図である。原点から濃度目盛までの長さは、デジタル式ノギスを使って測定した。この図から一見して分かることは、変色層の長さとの間に正比例の関係が無いことで、このことから濃度直読方式では分析の正確性に難点があることが容易に理解できるであろう。**図3**の右のグラフは、**図3**の左グラフの読み取り点に透けて見える曲線的な関係を回帰分析によって関数として表し（本研究では Microsoft Excel の近似曲線作成機能を使用）、破線にしてグラフ上の読み取り点に重ねて示した図である（**図3**の左右の

グラフは縦軸と横軸が入れ替わっていることに注意). 回帰曲線は読取り点によくフィットしており, グラフ内に指し示す要領で, その関係を表す近似式を使って目的成分による変色層の長さから濃度を求めることができる.

以上のようにして, 本研究で用いた検知管(ガス検知管と溶存イオン検知管)のそれぞれについて求めた濃度導出用の近似式を, 表2にまとめた. 近似式の導出は多項式近似によりトライアンドエラーで行ったが, 次数が高すぎると計算式が煩雑になるので, 相関係数 R^2 値において小数点以下3桁まで9が連続で並ぶ最低次数を導出の条件とした(その結果, ガス検知管は3次関数, 溶存イオン検知管は4次関数となった). また, 近似式には原点を通る条件も与えた(定数項がないのはその結果である).

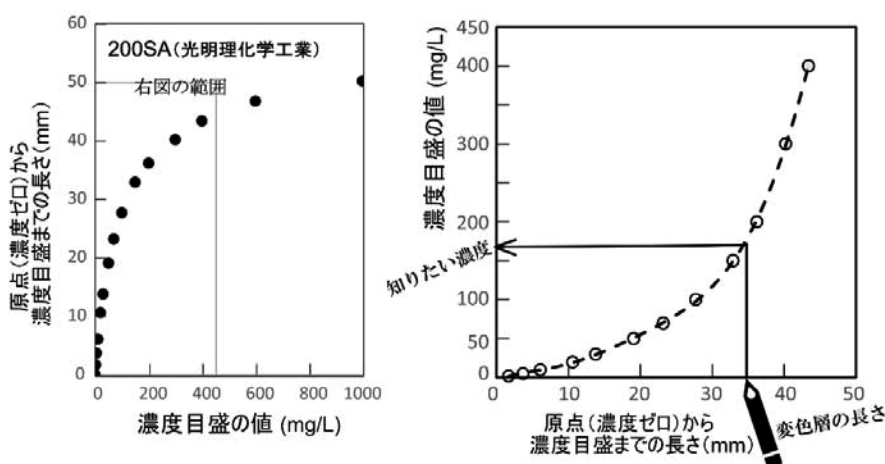


図3 (左)検知管に印刷された濃度目盛の値と原点(濃度ゼロ)から濃度目盛までの長さの関係, (右)濃度目盛の値と濃度目盛までの長さの間に見られる線形関係(回帰曲線)

表2 検知管を使って $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比および溶存硫化物濃度を得るため計算式

A. ガス成分分析用			
化学種	検知管番号 (製造会社)	濃度導出用の近似式 y : 濃度 (ppm), x : 読み(目盛り間)の長さ(mm)	相関係数 R^2
CO_2	2LL (ガステック)	$y = -0.000046 x^3 + 1.769515 x^2 + 78.452424 x$	0.999632
H_2S	4H (ガステック)	$y = -0.000066 x^3 + 0.060240 x^2 + 42.996992 x$	0.999819
H_2S	4L (ガステック)	$y = -0.000024 x^3 + 0.002638 x^2 + 2.475109 x$	0.999948
B. イオン成分分析用			
化学種	検知管番号 (製造会社)	濃度導用の近似式 y : 濃度 (ppm \equiv mg/L), x : 読み(目盛り間)の長さ(mm)	相関係数 R^2
S^{2-} (硫化物)	200SA (光明理化学)	$y = 0.000331 x^4 - 0.009709 x^3 + 0.177891 x^2 + 1.947840 x$	0.999711
S^{2-} (硫化物)	200SB (光明理化学)	$y = 0.00000256 x^4 - 0.00012615 x^3 + 0.00321434 x^2 + 0.11123487 x$	0.999697

2-3. 試料の分析

2-3-1. 従来法による噴気の採取と化学分析

本研究で提案する簡易分析法の妥当性や信頼性を評価するために、既存の方法と比較する。比較に用いた噴気の採取・分析法は、京都大学理学部附属地球物理学研究施設（現在の理学研究科附属地球熱学研究施設）に導入された方法である（例えば、大沢ほか，1995；網田・大沢，2001）。大分県温泉調査研究会報告にも、その方法を用いた調査研究の報告がされているので、方法の詳細を知るにはそれらを参照されると手っ取り早い（インターネットからでも報告論文を入手可能：<https://www.pref.oita.jp/site/onsen/onsen-kenkyu.html>）。

2-3-2. 簡易法による噴気の現地測定・試料採取と化学分析

本研究で分析の対象としている噴気は、噴気変質地帯の自然の噴気孔、蒸気井や沸騰泉のセパレータから放出される噴気であるが（火山ガスのように HCl や多量の SO₂ を含む噴気は今回は視野に入れていない）、噴出状況は様々であるので、状況に応じて臨機応変に試料採取や現地測定を行う。実際によく遭遇するタイプの噴気における試料採取の方法を図解的に説明した例を、**図4**に示す。本研究でも、この図の A と B に示す 2 通りの方法によって噴気を金属パイプに導いて試料の採取を行ったが、噴気の流れを阻害することなく噴気を採取するために取り付ける「バイパス連結器」には、A に示す 3 方枝管（**図1**には実物の写真を示した）を使用した。噴気はそのほとんどを水蒸気(H₂O)が占めるので、試料採取や測定用の出口に至るまでに凝縮を受けやすく、それを防ぐ工夫が必要である。特にバイパス連結器のところで水蒸気の凝縮が起りやすいので、実際の作業ではこの部分にタオルを多重に巻きつけて断熱した。

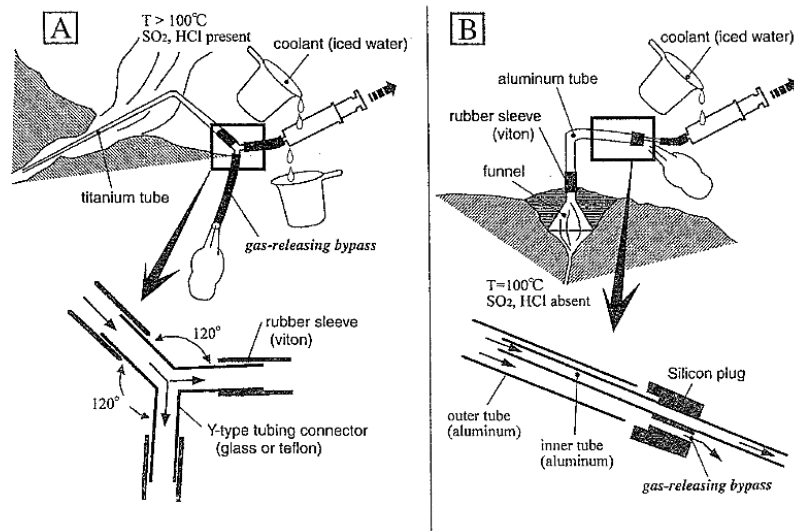






Fig. 2 ガス試料の採取方法とバイパス連結器の構造（大沢ほか，1998 に加筆）

A: 通常の噴気孔や蒸気井の場合
B: パイプを挿入できない小噴気孔の場合

図4 噴気試料採取方法の模式図（網田・大沢，2001 より転載）

a) 現地での CO₂/H₂S 比の測定

噴気の CO₂/H₂S 比の測定は、H₂S および CO₂ 用のガス検知管を直列につなぎ、これに噴気を導入することで行う。2-1 節「研究に用いた器具・道具」でも手短かに述べたが、現地で測定の直前に、H₂S と CO₂ それぞれの検知管の両端を小型ニッパなどによってカットし、固めのゴム管を用いて両者を直列につなぎ、1に示したように、ガス採取器に取り付け、通常の使用方法と同じ要領でハンドルを引き、噴気解放バイパス (4の A に示されている gas-releasing bypass もこれと同じ) から流出する噴気を検知管の先端から導入した。なお、導入の際、噴気流出の流れの中心に検知管の先端をかざすと検知管内での水蒸気の凝縮が目に見えて多く、流れの中心を少し外してやると凝縮は軽微でガス採取器に負荷がかからなかったため、そのような取り込み位置で測定を行うことにした。変色層の長さは、測定後直ちに定規で測り (本研究ではデジタル式ノギスを使用)、2の濃度導出用近似式によって濃度を算出し、CO₂/H₂S 比を求めた。

H₂S 検知管に対する CO₂ の影響、CO₂ 検知管に対する H₂S の影響ともに「有り」の情報はなく (1 参照)、また反応原理的にも考慮する必要がないため、検知管の連結の順番はいつでもよいはずである。しかし、別府温泉明礬地区の噴気を用いた予備的実験で、噴気導入側から見て CO₂→H₂S の順につないだ場合の CO₂/H₂S 比は 11.8 および 14.9 (2 回測定) であるのに対して、その逆 (H₂S→CO₂) の場合の CO₂/H₂S 比は 6.5 および 7.5 (2 回測定) という結果が得られた。明礬地区の噴気の既存データ (古賀・野田, 1973) を参照すると CO₂/H₂S 比は 3~4 と低いのが特徴であり、前者 (CO₂→H₂S) では値の隔たりが大きいので、噴気導入側から見て H₂S→CO₂ の順に連結することにした。なお、この判断が妥当であったことは、3-1 節の「簡易法と従来法の CO₂/H₂S 比」で明らかとなる。

b) 噴気の採取

50mL ガラス浣腸器の口にゴム管 (本研究ではファーマードチューブを使用) を取り付け、そのピンチコックにはスイングジョー式チューブクランプを使い、噴気採取容器とした。この容器に加熱・脱気した 5mol/L の KOH 溶液を 5mL ほど気泡をかまないようにして入れ、クランプした後に電子天秤で重さを測り、緩衝材に包んで現地に持ち運んだ。

2-3-2 項に示すようにして、噴気解放バイパスの反対側の噴気流出口の方から、接続した噴気採取容器に水をかけて冷しながらゆっくりと噴気を導入する。実験室に持ち帰ってから、噴気採取容器を鉛直に立てて円筒状になった R-gas の部分の高さと浣腸器ピストンの直径 (事前に計測しておく) から R-gas の体積を求めるが、R-gas 部分の高さが十分に測れるまで噴気を噴気採取容器に導入する。本研究では、噴気採取容器が鉛直に立っていることの確認をピストンの取手の上に置いた水平器アナログ水準器で行い、R-gas 部分の高さはデジタル式ノギスで測って R-gas の体積を求めた。測容の際の気温と気圧を測っておき、理想気体の状態方程式によって R-gas 体積を標準状態における平均分子量 (mol) に換算した。

室温まで冷却させた噴気採取容器は、さらに、電子天秤で重さを測り、噴気採取前との重量差を採取した水蒸気 (H₂O) 量とした。その重量から理想気体の状態方程式を用いて、噴気試料の H₂O の標準状態での分子量 (mol) を算出した。なお、水蒸気は噴気の 90%以上、大抵は 99%以上を占める成分であるので、噴気採取前後の噴気採取容器の重量差を水蒸気量と近似しても差し支えない。

c) 室内における分析

b)での噴気採取前後の噴気採取容器の重量差と R-gas 部分の体積の測定を終えたら、噴気採取容器内の水溶液部分の全量をメスフラスコ (本研究では 50mL のものを使用) に移して、脱イオン水でメスアップする。そのうちの適量をピペットで別のメスフラスコに分取し、脱イオン水でメスアップしてその希釈溶液中の硫化物イオン (S²⁻) の濃度を溶存硫化物イオン検知管で分析する。S²⁻によって変色した部分 (変色層) の長さを測り (本研究ではデジタル式ノギスを使用)、表2の濃度導出用近似式によって濃度を算出し、それと上記希釈率から 50mL メスフラスコ中の S²⁻の量を求める。この量に H₂S と S²⁻の重量比 (H₂S/S=1.063) を乗じた値が噴気採取容器に採取された噴気 H₂S の量に当たるので、その値から理想気体の状態方程式を用いて、H₂S の標準状態での分子量 (mol) を算出した。さらに、この値と a)で求めた CO₂/H₂S 比から噴気試料の CO₂ の分子量 (mol) が算出される。

3. 結果および考察

3-1. 簡易法と従来法の CO₂/H₂S 比

予備実験で利用した別府温泉の明礬地区の噴気地のほかに、九重町の野矢地区の噴気地においても本研究の簡易法と従来法の比較をする機会を得たので、ガス検知管を用いて現地で測定した CO₂/H₂S 比と従来法による噴気分析で得た値とを比較した (表3)。簡易法と従来法で得た CO₂/H₂S 比の違いは、簡易法/従来法の比率として表すと 0.8~1.4 の範囲に収まっており (表中の B/A, 両者の測定値が同じであれば 1 となる)、これは CO₂ と H₂S の濃度差にバリエーションがある噴気を対象にした比較であるにも関わらず、満足のいく結果である。

表3 同一噴気でガス検知管を連結する方法と従来法を用いて測定した CO₂/H₂S 比

噴気番号	噴気所在地	CO ₂ /H ₂ S比		
		従来法(A)	直列ガス検知管法(B)	B/A
FM	明礬(別府市)	5.6	6.4*, 7.5*	1.2, 1.4
NY1	野矢(九重町)	111	125#	1.1
NY2	野矢(九重町)	91	77#	0.8

使用したガス検知管(ガステック社): * CO₂: 2LL, H₂S: 4H, #: CO₂: 2LL, H₂S: 4L

表3に示した番号 FM の噴気は、2-3-2 の a) で述べた CO₂ 検知管と H₂S 検知管の連結の順序に関する予備実験を行った噴気であるが、従来法で得た CO₂/H₂S 比 5.6 は、噴気導入側から見て CO₂→H₂S の順にガス検知管を連結して測定した値 (11.8, 14.9) とは明らかに隔たっており、H₂S→CO₂ の順の連結が適切であるという先の判断が妥当であるということが理解されよう。

3-2. 測定や分析における共存成分等の影響

本研究で用いたガス検知管 (CO₂ と H₂S) については、高温火山ガスのような HCl や多量の SO₂ を含む噴気を対象にしなければ、反応の原理やメーカーの資料 (表 1) から考えて、共存ガスの影響はほとんどないと言える。その中において H₂S 検知管に対して等量以上の二酸化硫黄 (SO₂) はプラスの測定値を与えるとされているが (表 1 参照), SO₂ が共存する場合は、その分析のために、SO₂ 検知管と H₂S 検知管をこの順に連結した方法 (例えば、齋藤ほか, 2019) で SO₂/H₂S 比の測定を行ってみたり、SO₂ が 6% 以下の共存であれば影響しないとされる H₂S 検知管 (例えば、光明理化学社製 120SC) を用いることで影響を十分に回避できるであろう。ただ、今回実験的に明らかになったように、CO₂→H₂S の順序で連結した CO₂/H₂S 比の測定で、期待される値より 2~3 倍高く測定されてしまう理由が判然とせず、検討課題として残った (両者の検知管の太さの違いが原因に結びついているのではないかと推測している)。

一方、溶存硫化物イオン検知管についても、共存成分の影響はほとんどないに等しく、硫化物イオンの酸解離特性から影響が懸念される pH についても、高濃度用の 200SA で 2~12 の広範囲で問題なく使用できるとされ、低濃度用の 200SB でも pH7~14 の範囲で影響なしとされている。念のために 200SA に対して、噴気採取容器内の水溶液試料を使って塩酸で pH を変化させて pH の影響の有無を確かめてみたが、図 5 に示すようにメーカー資料に否定的な結果は得られなかった。また、使用温度の制限については (表 1 参照), 水溶液温度が高いままで濃度測定を行うことはないので問題はない。

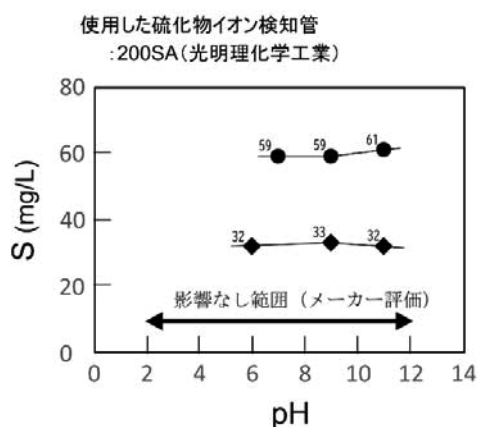


図5 硫化物イオン検知管測定における分析時の pH の影響

3-3. 簡易法と従来法の比較

本研究の総括の意味を込めて、別府温泉明礬地区の噴気地の同一噴気で行った簡易法と従来法による全分析の結果 (H₂O, CO₂, H₂S, R-gas に関する組成) を比較する (表4)。検知管を使った本研究提案の方法で得られる CO₂/H₂S 比が従来法のそれより高めに出了ことが反映されて、CO₂組成がやや高い値になっていることが目につくが、総じて簡易法と従来法のデータはよく合っていると見え、分析機器を用いない噴気の簡易ガス分析が達成されたと結論付けた。

表4 本研究で提案する簡易法と従来法による噴気分析データの比較

サンプリング場所: 別府温泉明礬地区岡本屋噴気地

方法	H ₂ O (%)	H ₂ O(水蒸気)を除くガス成分			CO ₂ /H ₂ S比
		CO ₂ (%)	H ₂ S(%)	Rガス* (%)	
簡易法	98.9	86	13	0.9	6.4
	98.7	88	12	0.9	7.5
従来法	99.1	83.8	15.0	1.2	5.57

* 残留ガス(residual gas), 主にN₂, CH₄, H₂など水に難溶性のガス成分から成る。

4. おわりに

本研究によって分析機器を保有しなくても噴気の分析が行えることを示せ、噴気がどのような主要ガス組成を持っているかを知りたいと思う人たちの一助になるものと考えられる。しかしながら、この簡易分析法でガス組成を知ることができるのはわずかに H₂O, CO₂, H₂S, R-gas (残留ガス; 水に溶けないガス成分の総和) の4成分だけであり、これらは噴気の地球化学的研究においてはアクセサリ的なデータであることが多く、研究方面での恩恵は少ないと言わざるを得ない。研究や探査の目的において有用な噴気ガス成分は、実は、R-gas の中に含まれる成分 (He, Ar, N₂ や H₂, CH₄, CO) であり、常温での化学反応性に乏しいこれらのガス成分の検知管等による簡易な分析は諦めざるを得ないと思われるも仕方がないところである。しかし、ガス検知管の製品リストを眺めると、水素 (H₂) ガス検知管の存在に目が止まり、この利用を今後検討してみたいと考えている。これの活用により H₂ 組成のデータが合わせて得られれば、CO₂/H₂ 比や H₂S/H₂ 比を用いる地化学温度計 (例えば, Arnórsson and Gunnlaugsson, 1985) による地下温度の推定が行えるようになり、さらに、そのようにして得られる地下温度の情報をベースにした CO₂/H₂S 比の解析から、噴気として放出される CO₂ や H₂S の地下における挙動を推定できるようになるため (例えば, Giggenbach, 1997), 検討の価値は大いにある。また、今回は検討対象外とした HCl や多量の SO₂ を含む噴気 (火山ガス) への拡張性についても、HCl ガス検知管や溶存塩化物イオン検知管を活用する方向で検討してみたい。

謝辞

噴気試料の採取は、土地所有者や管理者の方々のご理解のもとに円滑に行うことができました。これらの方々に心から感謝申し上げるとともに、本研究で提案した噴気の簡易分析法によってひとりでも多くの方が噴気の化学分析にトライしてもらえるようになればと願っています。

参考文献

- 網田和宏, 大沢信二, 由佐悠紀 (1999) 噴気ガス化学組成の経時変化に関する研究. 大分県温泉調査研究会報告, **50**, 27-32.
- 網田和宏, 大沢信二 (2001) 噴気ガス採取用改良注射器法. 九大地熱・火山研究報告, **10**, 158-167.
- 古賀昭人, 野田徹郎 (1973) 別府地熱地帯の噴気ガス成分. 大分県温泉調査研究会報告, **24**, 55-63.
- 大沢信二, 由佐悠紀, 北岡豪一 (1995) 霧島火山群の噴気不活性ガス組成. 温泉科学, **45**, 290-294.
- 大沢信二, 大上和敏, 由佐悠紀 (1998) 伽藍岳の地熱調査-噴気ガスの地球化学-. 大分県温泉調査研究会報告, **49**, 5-10.
- 大沢信二 (2000) 噴気ガスの化学・同位体組成からみた別府温泉の地熱流体の起源及び性状. 大分県温泉調査研究会報告, **51**, 19-28.
- 大沢信二 (2002) 検知管による温泉水中の塩化物イオンの簡易定量. 大分県温泉調査研究会報告, **53**, 13-19.
- 大沢信二, 三島壮智, 酒井拓哉 (2015) 別府・恵下地獄の地球科学的調査. 大分県温泉調査研究会報告, **66**, 17-27.
- 川上弘博泰, 小田敏之 (1965) 別府温泉における噴気ガスの化学的研究. 大分県温泉調査研究会報告, **16**, 13-16.
- 齋藤武士, 澤村 俊, 田村理納, 関 晋, 網田和宏, 三島壮智, 大沢信二 (2019) 焼岳火山の噴気の化学・同位体組成. 火山, **64**, 1-9.
- Arnórsson, S. and Gunnlaugsson, E. (1985) New gas geothermometers for geothermal exploration - calibration and application. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **49**, 1307-1325.
- Giggenbach, W. F. (1997) The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems. In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 3rd Edition (Barnes, H.L. Ed.), 737-796, John Wiley & Sons, INC.

大分県内の火山岩類の化学 Sr 同位体組成 (6)

鬼箕山火山岩の地球化学的特徴

広島大学先進理工科学研究科

芳川雅子・永廣滉介
柴田知之

鬼箕山火山岩の岩石記載および主要元素・微量元素組成と $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体 (Sr 同位体) 比分析の結果から、鬼箕山火山岩は高 Nb 玄武岩質岩に分類され、堆積物成分で汚染されたクサビ形マントルを起源とすることが推定された。

1. はじめに

鬼箕山は鶴見岳・由布岳とほぼ同時期に活動した第四紀火山であり、由布 - 鶴見火山群に含まれる (太田ほか, 1992)。鬼箕山火山の玄武岩類の微量元素組成の特徴は非島弧的であり (太田ほか, 1992), 各種の区分図において島弧火山岩の領域ではなくプレート内玄武岩 (WPB) や海洋島玄武岩 (OIB) の領域にプロットされることから、OIB的であるとされてきた (Kita et al., 2001)。

芳川ほか (2018) は、当火山の2試料について24元素の微量元素組成を分析し、それらの特徴から高Nb玄武岩質岩に分類される可能性を指摘した。本研究では、鬼箕山火山岩の地球化学的特徴をより明確化しその起源について考察するため、芳川ほか (2018) で報告した試料ON-04のSr同位体比に加え、新たに3試料の微量元素・Sr同位体組成分析を行った。

2. 試料

鬼箕山火山は伽藍岳西麓にある小型の単成火山で、鶴見火山群に属し、由布 - 鶴見地溝帯に位置する (星住ほか, 1988)。本研究では、鬼箕山東部から ON-1, ON-2, ON-3 の3試料を採取した。

斑晶は斜長石、かんらん石、普通輝石、不透明鉱物からなり、石英を含む。斜長石の多くは短冊状の自形で、粒径は 0.2~1.0 mm 程度であった。リム付近に帯状の汚濁帯があるものが多く存在する。かんらん石の多くは自形で、粒径は 0.1~3.0 mm であった。普通輝石は多くが自形であり、粒径は 0.1~3.0 mm 程度で、全体的に不透明鉱物に置き換わっているものも確認された。石基は主に針状から短冊状の斜長石で構成され、かんらん石、普通輝石などが観察された。

3. 分析方法

主成分・微量成分組成は広島大学先進理工学研究科に設置されている蛍光 X 線装置 (RIGAKU ZSX-101e) を使用し 1 : 2 希釈ガラスビード法 (Kanazawa et al., 2001) を用い分析した。Sr の化学分離は芳川ほか (2015) に従い、Sr 同位体比は広島大学先進理工学研究科に設置された表面電離型質量分析計 (ThermoFinnigan MAT262) を用いて測定した。

4. 結果

本研究で得られた主要元素組成は、SiO₂ 含有量が 51.0~53.1 wt%，全アルカリ含有量 (Na₂O + K₂O) = 4.6~4.67 wt% で、Le Bas et al. (1982) の全アルカリ - シリカ図で玄武岩から玄武岩質安山岩の猟奇に連続的にプロットされる。ハーカー図 (Harker, 1909) では、SiO₂ 含有量に対し MgO や TiO₂ 含有量などの間で負の相関が観察された (図 1)。

Nb 含有量は、21.2~22.8 ppm と平均的な中央海嶺玄武岩 (MORB ; 2~8ppm ; Sun & McDonough, 1985) と比べると高い。

Sr 同位体比は 0.70482~0.70488 であり、米国立標準技術研究所 (National Institute of Standards and Technology ; NIST) Sr 標準物質 (NIST987) の繰り返し測定再現性とほぼ同じ程度のばらつきであった。

5. 考察

Reagan and Gill (1989) は中央アメリカ島弧に産する玄武岩のうち、一般的な島弧のカルクアルカリ岩と比べ、Ba/La 比や La/Nb 比が海洋島玄武岩 (OIB) の値 (Ba/La 比 = 9.9~14.4, La/Nb 比 = 0.8~0.9) と類似し、Nb 濃度が 20 ppm より高いものを高 Nb 玄武岩 (HNB) と呼んだ。その後、これら HNB と類似した地球化学的特徴を持つ玄武岩~玄武岩質安山岩が世界各地で観察され、Nb に富む玄武岩 (NEB) や Nb に富む島弧玄武岩 (NEAB) と呼ばれている (例えば Sajona et al., 1993 ; Kepezhinskas et al., 1995)。Castillo (2008) はフィリピン南部 Sulu 弧の HNB と NEB では、始源マントル (PM) で規格化した重希土類 (例えば Yb) とイオン半径の大きな元素や軽希土類元素 (例えば La) の比が、前者の方が大きいことを指摘した (HNB は $La/Yb_{PM} = 7.6\sim 10.0$, NEB は $La/Yb_{PM} = 2.8\sim 4.3$)。Kita et al. (2001, 2012) は、鬼箕山の火山岩を含む九州に産する玄武岩質岩のうち Nb/Yb 比 (>0.75) を示すものをプレート内玄武岩 (WPB) や OIB の火山岩に分類しているが、HNB である可能性については検討していない。鬼箕山の玄武岩と玄武岩質安山岩は、Nb 含有量が 20 ppm 以上で $La/Yb_{PM} = 5\sim 16$ であり、HNB であると考えられる。

図 1 で観察される鬼箕山火山岩の SiO_2 量と TiO_2 量や CaO 量の負の相関から、太田ほか (1992) は、それらのトレンドがマグマだまりでの結晶分化作用または地殻物質の同化で生じた可能性を示した。さらに彼らは、地殻物質の捕獲岩や斜長石のリム付近の汚濁帯の観察から、鬼箕山マグマへの地殻物質の同化を示唆している。本研究でも、この考えを支持するかんらん石と石英の非平衡な共存が観察された。一般に地殻物質は SiO_2 含有量や $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比が MORB と比べ著しく高いため、地殻物質の同化が起こるとマグマの SiO_2 含有量や $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比はともに上昇する。しかしなが SiO_2 含有量 - $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比図において、鬼箕山火山岩は SiO_2 含有量の変化に対し、ほぼ一定の $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比を示し (図 2)、明瞭

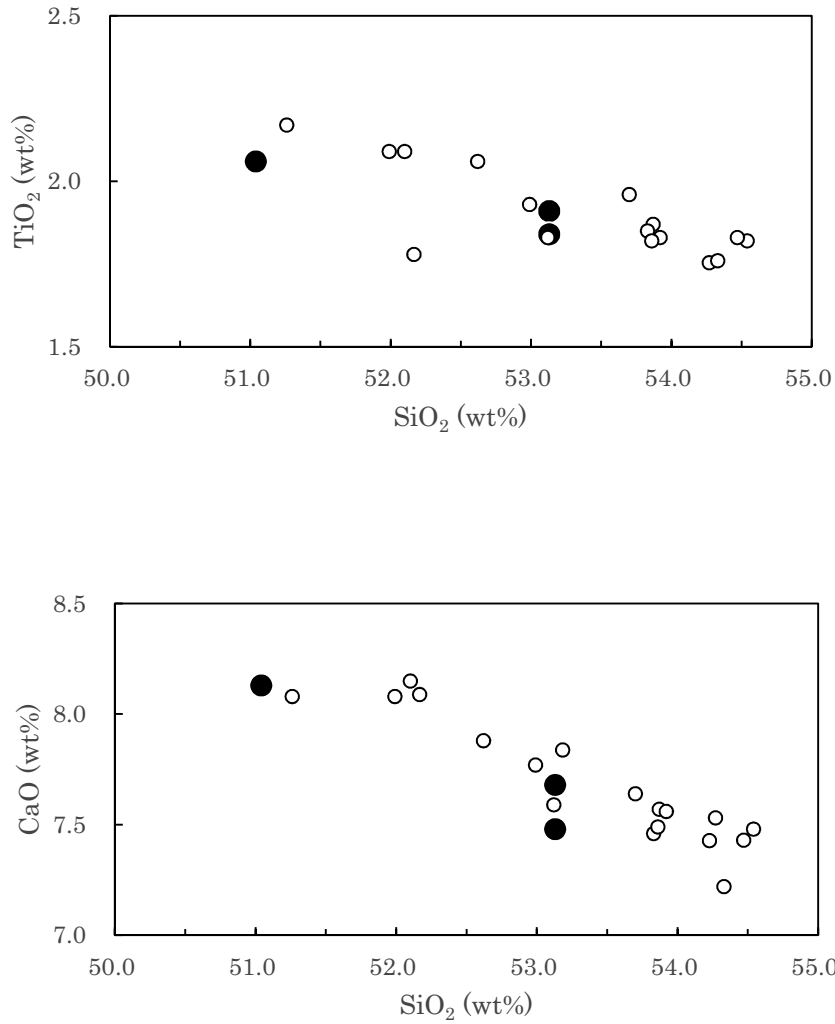


図 1. ハーカー図

- : 本研究,
- : 先行研究 (太田ほか1982 ; Kita et al., 2001 ; 芳川ほか, 2018)

な地殻物質の同化の傾向は観察されない。このため、地殻物質の同化の程度は小さく、化学組成の組成幅は結晶分化作用で生じたと推測される。この場合、鬼箕山の起源マグマの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は約 0.70485 であったと考えられる。鬼箕山火山岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比 - Ba/Nb 比は、Shinjo et al. (2000) が琉球弧北部の火山岩の研究で示したクサビ形マントルと堆積物の混合線近くにプロットされる (図 3)。このことから、鬼箕山火山岩は沈み込んだスラブ中の堆積物成分で汚染されたクサビ型マントル由来のマグマから生じたと考えられる。

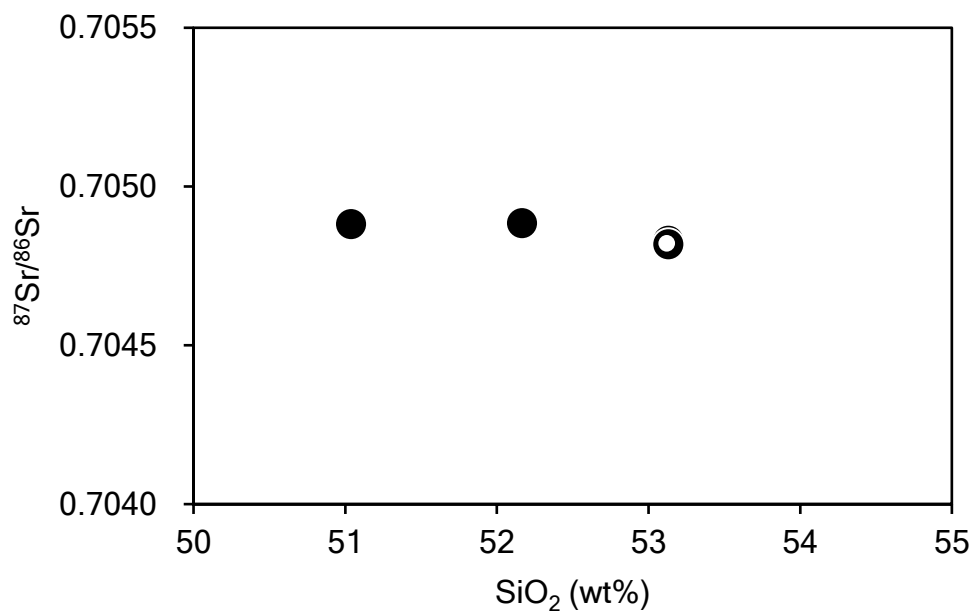


図 2. SiO₂ 含有量 (wt%) - ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比図.

● : 本研究, ○ : 鬼箕山報告値 (Kita et al., 2001)

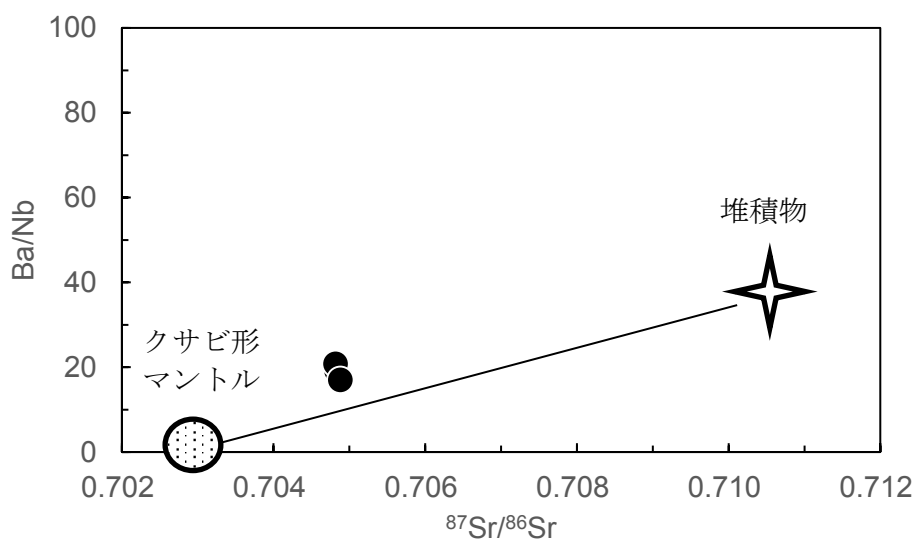


図 3. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr - B/Nb 比図.

クサビ形マントルと堆積物およびそれらの混合線はShinjo et al. (2000) を参照した。

4. まとめ

鬼箕山火山岩は高 Nb 玄武岩質マグマであり、堆積物成分で汚染されたクサビ形マン
トル由来であると推定される。

謝辞

本研究を進めるにあたり、竹村恵二教授、小林哲夫教授、杉本 健博士には、試料採
取や試料提供など多岐にわたりご協力いただいた。深く感謝いたします。

参考文献

- Castillo, P.R. (2008) Origin of the adakite–high-Nb basalt association and its implications for
postsubduction magmatism in Baja California, Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.* 120,
451–462.
- Harker, A. (1909) *The natural history of igneous rocks*, Macmillan, New York, pp 383.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988) 別府地域の地質. 地域地質研究報告
(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 131pp.
- Kanazawa, T., Sager, W.W., Escutia, C., et al. (2001) *Proceedings of the Ocean Drilling
Program, Initial Reports Volume 191, 2. EXPLANATORY NOTES.*
- Kepezhinskas, P., Defant, M.J., Drummond, M.S. (1996) Progressive enrichment of island arc
mantle by melt-peridotite interaction inferred from Kamchatka xenoliths, *Geochimica et
Cosmochimica Acta*, 60, 1217- 1229.
- Kita, I., Yamamoto, M., Asakawa, Y., Nakagawa, M., Taguchi, S., Hasegawa, H. (2001)
Contemporaneous ascent of within-plate type and island-arc type magmas in the
Beppu–Shimabara graben system, Kyushu island, Japan. *J. Volcanol Geotherm Res* 111,
99–109.
- Kita I, Asakawa Y, Yuri, T., Yasui, M., Shimoike, Y., Yamamoto M, Hasegawa, Taguchi, S.,
Sumino, H. (2012) Rifting of Kyushu, Japan, based on the fault-controlled concurrent
eruption of oceanic island basalt-type and island arc-type lavas, *Bull Volcanol.*, 74,
1121–1139.
- Le Bas, M. J., Le Maitre R.W., Woolley A.R. (1992) The constuction of the total alkali-silica
chemical classification of volcanic rocks. *Mineral. Petrol.* 46, 1–22.
- 太田岳洋・長谷中利明・伴雅雄・佐々木実 (1992) 由布一鶴見地溝帯内, 鬼箕単成火
山の非島弧的な地質学的, 岩石学的特徴, *火山*, 37, 117-131

- Reagan M.K. and Gill J.B. (1989) Coexisting calcalkaline and high-niobium basalts from Turrialba volcano, Costa Rica: implications for residual titanites in arc magma sources. *J. Geophys. Res.* 94, 4619–4633.
- Sajona F.G., Maury R.C., Bellon H., Cotton J., Defant M.J., Pubellier, M. (1993) Initiation of subduction and the generation of slab melts in western and eastern Mindanao, Philippines. *Geology* 21, 1007–1010.
- Shinjo, R., Woodhead, J.D., Hergt, J.M. (2000) Geochemical variation within the northern Ryukyu Arc magma source compositions and geodynamic implications. *Contrib. Mineral. Petrol.* 140, 263 - 282
- Sun S.-S. and McDonough W.F. (1989) Chemical and isotope systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Lon. Spec. Pub.* 42, 313–345.
- 芳川雅子・柴田知之・公門駿・杉本健・竹村恵二 (2015) 大分県内の火山岩類の化学・Sr-Nd 同位体組成 (その1) 鶴見岳・由布岳, 大分県温泉調査研究会報告, 67, 35-39.
- 芳川雅子・柴田知之・杉本健・公門駿・竹村恵二 (2018) 大分県内の火山岩類の化学・Sr-Nd 同位体比 (3) 伽藍岳・鬼箕山, 大分県温泉調査研究会報告, 67, 35-39.

近代交通網の整備下における温泉地の観光地化に関する比較考察 ～別府温泉と南紀白浜温泉を事例として～

別府大学

中山 昭 則

要 旨

明治以降近代交通網の整備が進み、とりわけ鉄道の開通は地域に大きなインパクトを与え、江戸時代より展開している温泉場は地域限定の湯治場からより広域からの集客が可能となった。

一方、鉄道は土地買収と敷設工事に時間とコストがかかることから、明治新政府は江戸時代から基盤のある船舶と航路の近代化と整備を急いだ。大阪商船もこれに呼応する形で大阪を拠点として瀬戸内航路とともに紀州航路の整備を進めた。中でも南紀白浜温泉を南紀観光の拠点として重点的に観光開発に関与した。この大阪商船による南紀白浜温泉の開発は、自治体および地域の有力者と連携を図り、「別荘地開発」および「地元バス会社による遊覧バス運行」などが事業化され観光地化が進んだ。

しかし、紀伊半島南部にも鉄道開業の波が押し寄せてきた。大阪商船は鉄道との連携を図り旅客の利便性を高めるとともに、廉価な料金と夜行運航という船舶の強みも宣伝し南紀白浜温泉の観光地化に大きく関与した。

1 はじめに

明治期になり鉄道、舟運、道路等の整備が進み所謂近代交通網が急速に発展した。中でも鉄道の開通は地域社会に大きなインパクトを与えた。例えば、兵庫県の城崎温泉は1909(明治42)年の山陰本線が開通すると、大阪方面からこれまで一日がかりであったが一気に6時間で到達可能となり、湯治場として栄えた温泉地の入浴客は明治初期の80倍に至った。このような状況は全国各地の温泉地でも見られた¹⁾。確かに鉄道は地域社会に多大な影響を及ぼしたが、開業までの道のりは土地の買収、運行システムの構築、信号等の施設整備にかかる時間的・経済的コストが大きい。そのため所謂鉄道の威力が全国津々浦々で発揮されるまで1872年の最初の鉄道開業からおよそ半世紀の時間を要した。

明治新政府は江戸時代から確立されている舟運を踏襲し、更に西洋船舶の導入を奨励した。前述した城崎温泉も鉄道開通以前のアクセスとして兵庫県豊岡から円山川の舟運もさかんに利用されていた。このように鉄道開業までは全国の多くの地域で舟運が人とモノの輸送手段として活躍していた。

今や全国最大規模を誇る温泉観光地大分県別府市においても、鉄道が開通する40年前には既に海路で大阪と結ばれていたのである。一方、今日も南国ムードを売りにして人気の高い和歌山県白浜温泉も海路が大阪からの主要なアクセスであった。

こうした有力温泉地を積極的に海路で結んだのは大阪商船である。大阪商船は明治中期以降積極的に西日本の観光地と大阪を結ぶ海路を開拓していった。しかし、全国に鉄道網の整備が進むと多くの観光地は鉄道との競合に敗れることになる。

とはいえ、大阪商船が温泉地の観光地化に果たした役割は大きなものであった。本研究は大阪商船によって積極的に開発が行われた和歌山県白浜温泉(以下、南紀白浜)を事例として、地域観光に果たした役割を検討するとともに、迫りくる鉄道開業への対応も追っていく。また、今日なおも海路が健在である別府温泉と比較することで、温泉地が近代交通網の整備下によって観光地化されていく様相を提示する。

2 大阪商船の温泉地進出

大阪商船は1884(明治17)年5月1日「有限会社大阪商船会社」として設立された。その背景には当時瀬戸内海運が小規模海運会社乱立の状況にあった。そして過当競争による共倒れを防ごうと大連合の構想が繰り

返されながら紆余曲折の結果設立されたのである²⁾。大阪商船は早速佐賀県伊万里、宮崎県細嶋、広島市、広島県尾道市を結ぶ航路を運航した。その後日清、日露、第一次世界大戦により多くの船舶が徴用され多大な影響を受けた。さらに全国各地で鉄道網の整備も進み各地で競合が始まった。こうした事態を受け大阪商船は国内航路の立て直しを図るため1907(明治40)年「内航部」を設立した。

大阪商船はこの設立を契機に新航路の開発に努め、既に瀬戸内航路があり、温泉観光地としても発展途中にある別府温泉の将来性を見込んで1912(明治45)年5月別府航路を新設した。

一方、南紀白浜に向けては、その前年の1911(明治44)年に大阪と紀伊勝浦(三輪崎)航路を開設している³⁾。この南紀航路も内航部独立による国内航路立て直しの一環であることは間違いない。

3 大阪商船の紀伊半島進出

大阪商船による紀伊半島進出は、会社設立年の1884年に早々に大阪・和歌山航路を開いたのが始まりである。1899(明治32)年には和歌山県田辺、御坊、串本、勝浦を帰港する航路が運航された(表1)。当時紀伊半島南部は海岸まで迫る山地が障壁となり輸送の主要部分は海運が担っていた。鉄道敷設も部分的な開通を繰り返す状況にあった。

大阪商船はおよそ20年間で航路を延伸(延航)し寄港地を増やし利便性を高めていった。とりわけ1899年の延航は、地元荷主および大阪郵便局から強い要望がなされた結果とも記されており、地元の期待の大きさともに郵便制度の整備拡大の様子が見て取れる。

表1 大阪商船の紀伊半島航路の変遷(開業から勝浦進出まで)

西暦年	元号年	航路線	寄港地
1884	明治17	大阪商船開業 大阪・和歌山線運航開始	
1899	同 32	4月1日 田辺まで延航 大阪・田辺線と改称	兵庫、和歌山、湯浅、比井、御坊
同	同	12月27日 三輪崎(現新宮市)まで延航 大阪・三輪崎線と改称	和歌山、湯浅、比井、御坊、田辺、串本、古座、勝浦
1911	同 44	大阪・三輪崎急航線と改称	和歌山、御坊、田辺、串本、勝浦
1915	大正3	大阪・勝浦線と改称	

出典)大阪商船(1936):『大阪商船株式会社五十周年史』174-175ページより筆者作成

明治から大正の頃になると紀伊半島南部沿岸地域にも鉄道敷設の波が押し寄せてきた。1913(大正2)年には新宮鉄道の勝浦・三輪崎間(10.1km)が開通、翌年には三輪崎・新宮間(5.3km)も開通し、新宮と勝浦という紀伊半島南部の主要都市が鉄路で結ばれた。この開通は大阪商船にとっても脅威に映ったに違いないが、1913年には既存の航路を「大阪勝浦線」と改称し、新宮鉄道との連携を図ったのである。具体的にみるとこの航路は勝浦を連絡口として新宮鉄道の旅客を対象とした「船車連絡」とした(図1)⁴⁾。

「大阪勝浦線」は、1914(大正4)年には湯崎(白浜)に臨時寄港することになり、翌年には往路は和歌浦・比井・田辺・串本に寄港、復路は古座・串本・田辺・御坊・和歌浦への寄港を開始した。また、この年から4月から9月までの期間は湯崎への定期寄港も始めている。さらに1923(大正12)年には大阪を連絡口として国鉄との間で連携も始めた。

このように大阪商船の紀伊半島進出は少しずつ航路を伸ばしつつも、鉄道という新しい交通アクセスの進出を迎え、無理な競合を避けお互いの長所を補完する形で展開していったのである。この背景には全国で鉄道の整備が進んでいたとはいえ、紀伊半島は海岸近くまで山地が迫り鉄道敷設には困難を伴っていたことが挙げられよう。この証左として鉄路が紀伊半島の沿岸を完全に繋いだのは1959(昭和34)年のことである。

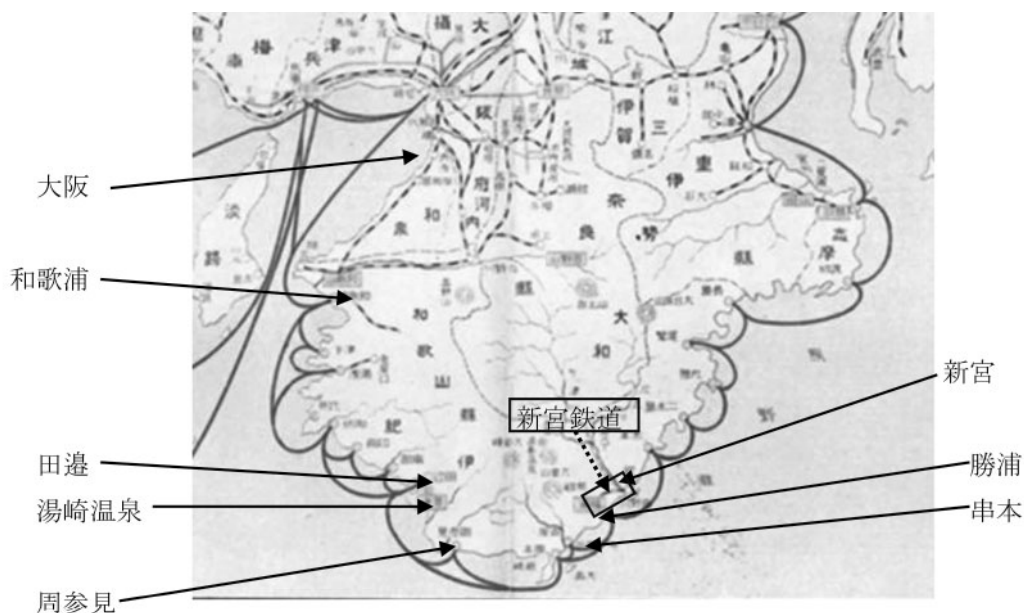


図1 明治から大正期における大阪商船の紀伊半島航路図
出典)大阪商船株式会社(1927):紀州航路案内から一部抜粋

4 大阪商船と白浜温泉の発展

これまで述べたように、大阪商船は阪神地区の都市住民を対象とした観光地として紀伊半島南部をターゲットにして進出をしていった。こうした中でも古い歴史を持つ白浜温泉への集客に力を注いだ。本節ではその展開を検討していく。

(1) 白浜温泉の観光地化への流れ

白浜温泉の歴史は古く『日本書紀』には持統天皇・文武天皇が訪れていると記されている。さらに『古事記』にも記載のあることから道後温泉(愛媛県)・有馬温泉(兵庫県)とともに“日本三大古湯”と称され、古くは「牟婁の湯」と呼ばれていた。この「牟婁の湯」と呼ばれたのは湯崎地区(鉛山地区)の温泉場を指し、明治から大正期の文献・ガイドブックには鉛山温泉の記載もみられる。今日の南紀白浜温泉は湯崎温泉と後に開発が進む瀬戸地区の白浜温泉の総称である。

湯崎地区を中心に発展してきた白浜温泉に一つの転機をもたらしたのは、言うまでもなく大阪商船による航路開設であろう。前述の通り大阪商船は紀伊半島南部に航路を開拓し大阪との利便性向上に努めてきた。

大阪からの利便性の高まりとともに、後に南紀白浜温泉と称される瀬戸地区では、有志が湯崎地区に対抗しようと新たな泉源をもとめて温泉掘削を始めたのである。3年後の1922(大正11)年白良浜周辺で源泉発掘に成功した。実は「白浜」の名称がつけられたのはこの時からとされている。

さらに鉄道敷設も進み、1933(昭和8)年には紀勢西線が白浜口まで伸び大阪から直通運転も可能になったのである。

(2) 大阪商船による白浜温泉への進出

『白浜温泉』の名称は大正時代後期に付けられたもので、それ以前は前述の通り温泉地は湯崎温泉が中心的存在であった。小池(1962)によれば「大正3年発行の地形図には白浜の地名はなくまた温泉記号も湯崎地区にしか認められない」としている⁵⁾。さらに小池はこの『白浜温泉』の名称は大阪商船が宣伝に使い始めた」と記している⁶⁾。さらに『白浜』の呼称は1935(昭和15)年町制施行の際これまでの瀬戸鉛山(せとかなやま)村から改名して町名として使用されている。瀬戸鉛山村は新町名を申請する理由として「名勝白良浜の名に因み白浜となす」と記したという⁷⁾。さらに申請書には「温泉地の使命を全うせん」とも記している⁸⁾。

このように大正期の後半に大阪商船によって使用された名称が町名となったことから、大阪商船の進出が地域に与えた影響力の大きさを窺い知ることができよう。

さて、地元白浜温泉に多大な影響を与えた大阪商船であるが、この地をどのように宣伝し地域はどのように対応したのか、大正期から昭和初期を中心に検討してみたい。

大阪商船が1926(大正15)年に発行したパンフレット『紀州航路案内』には湯崎温泉と白浜温泉は個別に紹介されている(図2)。

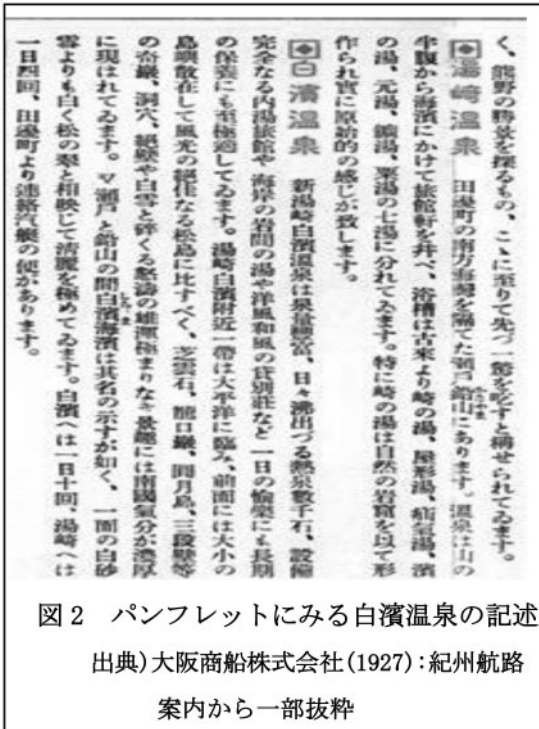


図2 パンフレットにみる白濱温泉の記述
出典)大阪商船株式会社(1927):紀州航路案内から一部抜粋

この中で白浜温泉については「新湯崎白濱温泉は泉量豊富、…」と記されており、表題では“白濱”と名乗りながらも説明文では“新湯崎白濱温泉”と銘打っていることから、知名度の点で伝統的な湯崎温泉の名称を借りなければならない状況にあったことが窺える。

一方では、アクセスとしては「白濱へは一日十回、湯崎へは一日四回、田邊町より連絡汽船の便があります」と紹介されており、白浜温泉へのアクセスの優位性を誇示しているといえよう。

また、白浜温泉の紹介の最後には「……白雪と砕くる怒濤の雄渾極まりなき景趣には南国気分が濃厚に現はれてゐます。」と記しており、この時期から所謂『南国』イメージを打ち出している。白浜温泉の南国イメージ形成に関しては神田(2001)が詳細に検討を加えている⁹⁾。神田によれば取り上げている大阪商船発行のパンフレットと同年に刊行された旅行記から「快樂の南国樂園神話を生み出していることを確認しう

る」と記している。

大阪商船の文言はあくまでも海岸の景観を取り上げて南国イメージを作り出しているが、その一方では、既然大正期の末には違う視線から南国イメージへと繋げる手法も始まっていたのである。

大阪商船は頻繁に『遊覧日程と費用』と銘打ったパンフレットを発行している。1929(昭和4)年版を見ると、「(其十二)湯崎、白濱温泉入湯」の項目がある(表1)。

表1 大阪から南紀白浜温泉への旅程(1929年)

一日目				二日目			
大阪	田邊	網不知	白濱温泉	白濱温泉	網不知	田邊	大阪
14:30	22:00/22:00	22:30	22:40	12:40	13:00	13:00/13:00	20:30
			湯崎温泉	湯崎温泉			
			22:50	12:50			

注)大阪商船(1929):「旅游日程と費用」をもとに筆者作成。

*1 尚時刻表示は判り易いように24時間表記に改めた。

*2 田邊での“乗り換え時間なし”は出典のまま表記。

提示している行程は、大阪午後2時30分に出発し、田邊には午後10時に到着、連絡汽船と自動車を乗り継いで白濱温泉には午後10時40分、湯崎温泉には午後10時50分到着となっている。帰路は白濱温泉が午後12時40分発、湯崎温泉12時50分発、自動車と連絡汽船を乗り継いで田邊着、ここから大阪商船に乗り換えて、大阪には午後8時30分着となっている。

現実的には、白濱温泉の宿到着は夜の11時を廻っていたであろう。そして次の日の昼前には宿を出なければならなかっただろうから、白濱温泉での滞在時間は12時間程度とかなりハードな日程を紹介している。

このハードなスケジュールは実質的には「土曜日午後発・日曜夜帰着」をメインとして阪神地区在住の勤労者を当て込んだものといえよう。このスケジュールを見る限りパンフレット等では南国イメージを打ち出しているが、訪れた観光客はどの程度それを実感したのかは疑問である。また、この短い滞在時間でどのような観光行動をとったのか、観光できるのは実質二日目の午前中だけである。

この白濱温泉への観光旅行の様子は、大阪商船が発行していた宣伝用小冊子『『船』1927(昭和2)年版』の記述から窺い知ることができる¹⁰⁾。これによると「海上は極めて穏やかに其晩十時頃田邊棧橋に到着した。其隣に白良濱行湯崎行と夫々行先を示したモーターボートが横着してゐる。……中略……ボートは夢の様に迂って網不知(つなしらず)棧橋に到着した。……中略……上陸すると灰汁抜けのしたバンガローがたつてゐる。ここで自動車に乗る道は僅か十町あまり、時間にして三分足らず料金は二十銭、温泉旅館白濱館に泊ま。……中略……宿の前は有名な白良濱である。…」大阪から田邊までは大阪商船の汽船に乗船料金は2円85銭と記されている。田邊からは白濱温泉に近い網不知まではモーターボート(料金は往復で七十銭)、そこから自動車で白濱温泉に向かっている(往復五十銭)。旅行記によると翌日は白良浜と湯崎にある千畳敷・三段壁を見学し、白良浜は「ふくよかな乙女の肌」、湯崎の海岸は「壮漢の盛上がった肩の肉」とその対比を記している。

以上のように、大阪商船は白濱温泉を大々的に宣伝している。この背景には大正期から昭和にかけては紀伊半島南部においてはまだ鉄道からの優位性を十分に発揮できたからであると考えられる。

5 大阪商船の進出と地元の対応

(1) 南紀保勝会

大阪商船による白濱温泉への進出と大掛かりな宣伝活動に対して地元はどのような対応をしたのだろうか。大阪商船は大型外部資本ではあるが、デベロッパー的な大規模施設の建設とは違い、自社船舶の乗船者増加を企図して阪神地区住民をターゲットとした活動であり、結果この地の知名度アップに多大な貢献をしたことは間違いないだろう。その証左に前述したとおり後に町名をも「白浜」としたのである。

笠井(2015)は1935(昭和10)年に大阪商船が発行したパンフレットの以下の一文「白濱温泉…、十年前我が社によりて世に紹介せられて以来その風光美と温泉の豊富とを以て近畿附近第一の遊覧地として、入湯地として、溫柔境として急速に発展せし所…」を用いて大阪商船と白濱温泉の関係を述べている¹¹⁾。大阪商船自身白濱温泉を切り開いたとの自負の大きさを窺い知ることができよう。

大阪商船は田辺町と新宮町役場に「南紀保勝会(以下、保勝会)」の設立を働きかけている。結果、本部は大阪商船会社内に置き、支部を田辺町と新宮町の両役場に設置した。目的は言うまでもなく保勝会と田辺・新宮の両町を拠点とした南紀地域の観光開発にあった。その背景には「陸上交通機関の発達によりて沿岸航路が漸次重要性を失いたる結果に外ならない」と大阪商船株式会社五十年史で述べられている通り、全国的に鉄道整備が進み、また自動車も普及し始めたのである¹²⁾。

紀伊半島南部は前述したとおり山地帯が海岸に迫る地形によって鉄道敷設が困難であり、海上交通の優位性がまだ保たれていたいわば“最後の砦”であったに違いない。

保勝会は阪神地区の市民に向けて鳥瞰図を用いたパンフレットも作成し、南紀地域の宣伝に努めている(図3)。鳥瞰図は大正から昭和にかけて観光パンフレットとして大いにもてはやされ、代表的な作家であった吉田初三郎は全国各地で観光用の鳥瞰図を製作している。

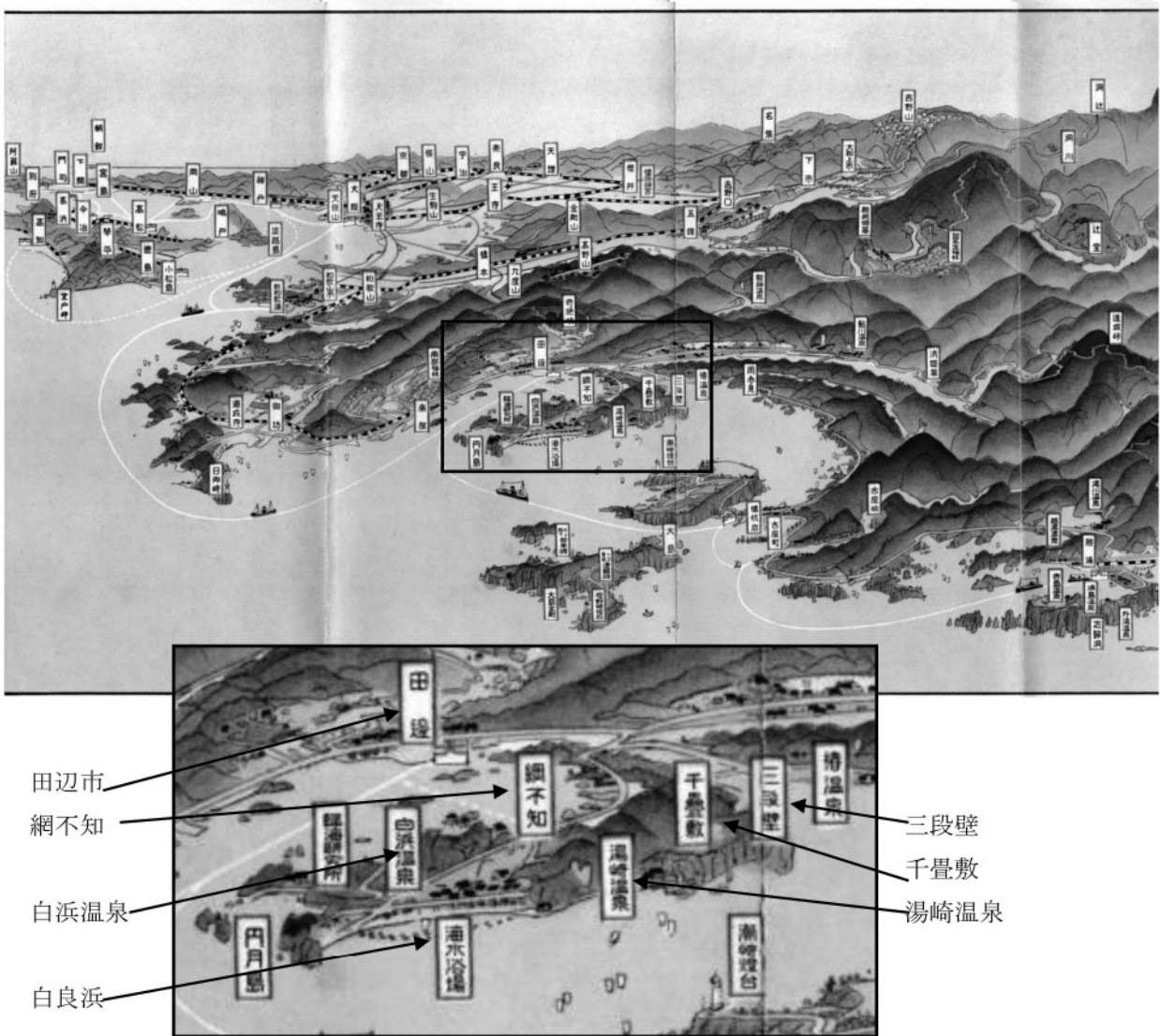


図3 南紀保勝会作成のパンフレット「紀州名所案内」の鳥瞰図(一部)

出典) 南紀保勝協会 1932(昭和7)年発行

紀伊半島南部は熊野三山と那智の滝といった古来由来の霊場があるが、今日「熊野古道」と言われている陸路はかなり険しい山道を歩かなければならない。明治維新以降の都市社会の成立から半世紀を経ていた当時の人々にとって、海路で上陸し行程での徒歩が短い参拝は魅力的であったことだろう。

(2) 白良浜土地建物株式会社

白浜温泉の近代的開発に着手したのは1933(大正8)年に設立された「白良浜土地建物株式会社(以下、「白良浜土地」といえよう。「白良浜土地」の設立の背景には江戸時代から続く鉛山(湯崎)地区と瀬戸地区との根深い対立も見え隠れする¹³⁾。その詳細は小池(1962)が詳細に述べている。温泉資源を持たない瀬戸地区にとっては地区内に温泉資源を持つことは重要な課題であったようだ。白良浜周辺に泉源の存在は以前から有望視され、1899(明治32)年には地元の有力者芝田与七らによって掘削を試みていたようだが失敗している¹⁴⁾。これを本格的に掘削して開発に着手したのが「白良浜土地」である。

「白良浜土地」は当時紀伊半島南部で手広く事業を展開していた実業家小竹岩楠によって資本金50万円で設立された。小池(1962)は芝田と小竹は大阪商船田辺支部支配人小峰庄平の仲介で接点を持ったと記している¹⁵⁾。この記述から「白良浜土地」の設立に大阪商船が関与していることが判る。

「白良浜土地」は、当時田辺からの連絡モーターボートの発着地であった網不知地区から白良浜付近までのおよそ8万坪の土地を買収し温泉別荘地開発を計画した。芝田の土地も多く含まれていたようであるが短期間に広大な土地買収にこぎつけた背景には、やはり温泉の湧く鉛山地区への対抗心は瀬戸地区住民が共有しかつ深く浸透していたからではないか。

「白浜土地」による白浜温泉の開発に関しては改めて別稿で述べることにするが、この会社設立発起人の大半が地元外の人々で占められていたことは、同時期の別府温泉の開発過程と類似したものである¹⁶⁾。

(3) 明光バス株式会社

地元バス会社の「明光バス株式会社(以下、「明光バス」)」も白浜温泉の開発に大きな影響を与えている。「明光バス」は1930(昭和5)年に設立され、1933(昭和8)年紀勢西線が田辺駅まで延伸されると白浜温泉と結ぶ路線を開設したが、1カ月半後には白濱口駅も開業したためバス路線も変更した。

白濱口駅の開業によって、大阪鉄道管理局は特急「黒潮号」を週末に運行させ天王寺・白濱口を3時間という当時としては驚異的なスピードで結んだ。「明光バス」はこれら鉄道と接続させ“明光バス千人輸送”と称される大規模輸送を行った¹⁷⁾。白濱口駅からは乗り合いバスを運行し、その車中で当時「白浜湯崎の一名物」であった「女車掌解説」による「名所巡り遊覧バス」の案内および省線(国鉄)と南海電鉄との連絡切符販売の案内をしている¹⁸⁾。

「明光バス」による遊覧バスは前述の通り「女性バスガイドによる解説付き」を前面に売り出している。これは1927(昭和2)年に運行を始めた別府温泉郷の「地獄巡り遊覧バス」の実施から数年遅れているが、当時の遊覧バス運行の全国的動向は検討すべき課題であろう。

遊覧バスは白浜温泉を基点として「湯崎・千畳敷・三段壁・平草原・大浦」を巡るコースと「東白濱・江津良・臨海を巡る(反対廻りも有)」コースであった。解説書では途中の乗り降りは自由と案内するよう記されている¹⁹⁾(図4)。また、バスは20分毎に出発、遊覧の所要時間は1時間40分、バス料金75銭、一日乗り降り自由、と記されている。



図4 明光バス催行「女車掌解説」遊覧バスパンフレット
出典)明光バス. 昭和10年頃

さらに、「バスと汽車の一枚通し切符」と銘打って白濱口から天王寺ならびに難波まで2円85銭で販売している。こうした地元バス会社と鉄道会社とのコラボレーションは大阪商船にとっては大きな脅威となったであろう。

一方、大阪商船はこうした動きに呼応して『船をお宿の紀州巡り』という文言を使い、夜行便の長所を前面に打ち出した宣伝を大々的に行った。

6 おわりに代えて～観光地化への過程、別府温泉との比較考察～

先ず、南紀白浜温泉と別府温泉の共通点としては「鉄道開通の30年程度前に海路が開かれた」点にある。別府温泉は周知の通り1873(明治6)年には開商会によって大阪と航路で結ばれ、鉄道開業は1911(明治44)年で38年後のことであるが、大阪商船が別府航路を開設したのはその翌年である²⁰⁾。

白浜温泉に関してはこれまで述べてきた通り大阪からの航路は田辺が連絡地となっていた。その田辺と大阪間は1876(明治9)年に海路が繋がっていた。大阪商船が大阪と田辺を結んだのは1899(明治32)年である²¹⁾。その田辺まで鉄路が延びてきたのは1932(昭和7)年11月のことで、航路開設から実に56年後、そして大阪商船の進出からは33年後のことである。このように海から開かれた点は共通するが、我が国の近代交通網の展開を鑑みれば両者だけの共通事項とは言い切れないだろう。愛媛県の道後温泉は松山の外港である三津浜に航路が開かれると、三津浜と松山・道後温泉を結ぶ四国で初めての鉄道も開業している。

国内航路は鉄道に押されて廃止の憂き目にあったところが多いので、全国的な視点で振り返ってみると「鉄道が開通するまでの繋ぎ役」的な機能が強調される場所であるが、果たしてそうであったのか?これまた検討すべき課題である。

また遊覧バスの発着場を船着き場の近くに設定したのも白浜温泉と別府温泉の共通点でもある。今回取り上げた白浜温泉と田辺港とをモーターボートという当時珍しかったに違いないモダンな手段で連絡していた。

一方、相違点としては温泉の規模の差と言えよう。これは自然現象なのでどうしてもならない点ではあるが…。この違いは温泉地の観光地化の視点からみると、人による地域資源への働きかけの差として生じてくる。別府温泉は「別府八湯」と呼ばれる広域にわたり温泉場が分布しており、開発の手は時代ともに開発当事者にも大きな違いがみられる。これに対して白浜温泉は「白浜土地」によって初期における開発の大半が担われた。白浜温泉自体は昭和になって温泉掘削が成功して形成された比較的新しい温泉地であり、隣接する鉛山地区の湯崎温泉は「日本三古湯」と称される古い温泉場である。両地区は古くから対立関係にあり、その背景の一つには泉源地の画定も絡んでいたという²²⁾。

以上、近代交通網の整備下における温泉地の観光地化の過程について、和歌山県白浜温泉を主たる事例地として検討してきた。本研究の問題意識の根底には「別府温泉には今日なお大阪を結ぶ航路が健在なのに、白浜温泉は撤退を余儀なくされたのはなぜか」という視点がある。大阪からの距離という最大の相違点は容易に判別できよう。しかし、紀伊半島の沿岸部を廻る鉄路(紀勢本線)が全通したのは1959(昭和34)年まで待たなければならなかったのである。そのはるか前に大阪商船は撤退しているのである。そこには近代交通網の整備と地域社会の間にはさまざまなストーリーが展開していたに違いあるまい。

こうした近代交通網の整備と地域社会の関係を検討するには、より詳細な分析とともに各地の事例を積み上げて比較材料を増やしていくことで、より体系的な指標を提示することができよう。

【お詫び】

本研究を進めるにあたり、2020年3月18日～20日に現地調査を実施した。この調査はいわば2020年夏に予定していた本調査の予備調査的な位置づけで実施したものである。しかし、その後新型コロナウイルス感染の蔓延により本調査は実施できなかった。よって本研究は予備調査で得た知見と収集した資料に依存する処が大きく、調査報告としては不十分なものとなってしまった。昨今の非常事態ともいえる状況を鑑みてお許し願いたい。

【注・文献】

- 1) 鉄道網の整備と温泉地の発展に関しては笠井の論考を参照されたし。笠井雅直(2015):温泉地開発と鉄道網の確信-歴史的経験-.名古屋学院大学ディスカッションペーパー109.1-257 ページ.
- 2) 大阪商船五十周年
- 3) 笠井正直(2015):戦前温泉地を巡る鉄道と汽船の競合に関する試論:南紀の温泉地をめぐる交通網の確信.名古屋学院大学論集 社会科学篇.29-33 ページ.
- 4) 大阪商船(1936):『大阪商船株式会社五十周年史』175 ページ.
- 5) 小池洋一(1962):白浜温泉観光地の近代的開発(I).和歌山大学学芸学部紀要 12.115 ページ.
- 6) 前景 5).116 ページ.
- 7) 前景 5).113 ページ.
- 8) 前景 5).115 ページ
- 9) 神田幸治(2001):南紀白浜温泉の形成過程と他所イメージの関係性-近代期気における観光空間の生産についての省察-.人文地理第 53 巻第 5 号.37 ページ.
- 10) 大阪商船株式会社(1927):「船」.68-69 ページ.
- 11) 笠井前掲 3).29 ページ.
- 12) 前掲 4).
- 13) 前掲 5).126-127 ページ.
- 14) 前掲 9).32 ページ.
- 15) 前掲 5).126 ページ.
- 16) 前掲 5).127 ページ.
- 17) 前掲 3).38-39 ページ.
- 18) 明光バス株式会社(1939):白濱・湯崎温泉泉都巡り説明指針車掌用.2 ページ.
- 19) 前掲 18).25-49 ページ.
- 20) 1885(明治 18)年に宇和島運輸が大阪・宇和島航路を開き別府にも寄港している。1906(明治 39)年には大阪商船と宇和島運輸は運行協定を結び、大阪商船も別府航路に何らかの関与はしていたものと思われる。
- 21) 角克明(1997):近代における紀州沿岸航路の発展と陸上交通-和歌山県のばあい-.交通史研究 43.57 ページ.
- 22) 前掲 5).12-127 ページ.

大分県内の温泉施設の衛生管理状況について

公益社団法人大分県薬剤師 検査センター

甲斐美穂・中渡瀬真樹
大城あやめ

1. はじめに

大分県の温泉は日本一の源泉数と湧出量¹⁾を誇ることで知られ、多くの公衆浴場や旅館業等が温浴施設として温泉を利用している。また、県内には温泉の飲用利用施設も 142 箇所²⁾あり、これらの温泉施設は適切な衛生管理のもとで利用者に提供されなければならない。

このため、厚生労働省は公衆浴場及び旅館業における衛生等管理要領において、温浴施設で使用する水の水質基準³⁾等を示している。大分県でも、公衆浴場法と旅館業法の施行条例において、レジオネラ属菌による危害防止など温浴施設の衛生措置の徹底を図っている。特に、レジオネラ症の届け出は全国で年間 2,000 件を超え、年々増加の一途をたどっており、公衆浴場等の温泉施設は主要な感染経路の一つとされている。

大分県薬剤師会検査センター（以下、当センター）では、これら温浴施設に係る水質等の基準に基づき、公衆浴場等の衛生管理に必要な源湯や原水、浴槽水等の検査を行っている。また、温泉の飲用（以下、飲泉）に関しては、環境省が飲用利用基準⁴⁾を示して年一回以上の微生物学的衛生検査を行うよう定めており、当センターでも公共の飲用利用に係る同検査を実施している。

県内は温泉を利用している温浴及び飲泉施設が極めて多いことから、当センターで実施した水質等の検査結果をとりまとめて県内温泉施設の衛生管理の現状を把握するとともに、衛生管理の在り方についても検討を加えたので報告する。

2. 調査方法

2.1 検査件数及び集計方法

2.1.1 水質検査等

当センターで実施した県内温泉施設の水質検査等の状況を表 1 に示す。

なお、同一施設及び同一の浴槽を基準超え等の理由により複数回検査した場合は管理状況が異なると考え、集計データとして含めた。また浴槽水のうち、内湯、半露天、露天等浴槽の屋内外の区別が集計データ上困難であったことから、区別は行っていない。

表 1. 温泉施設の水質検査等の状況

検査期間	検体名	検査件数	根拠法令等
2015 年 4 月 ~	浴場の源湯、原水、上がり用湯及び上り用水	28	公衆浴場における水質基準等に関する指針 ³⁾ (厚労省)
	浴槽水	233	
2020 年 3 月	浴槽水	4,702	公衆浴場法及び旅館業法の大分県施行条例
	飲泉	78	温泉の飲用利用基準通知 ⁴⁾ (環境省)

2.1.2 レジオネラ属菌検査

表2に、当センターで実施した県内温泉施設のレジオネラ属菌検査の状況を示す。

なお、検査した温泉施設は、施設の設備状況、消毒の有無、換水の頻度について調査解析するとともに、レジオネラ属菌が基準値を超えた施設の一部についてはレジオネラ属菌が生育しやすい箇所や施設管理の方法等の現地調査を行った。

表2. 温泉施設のレジオネラ属菌検査の状況

検査期間	検体名	検査件数	根拠法令等
2010年4月～2020年3月	源湯	103	公衆浴場法及び旅館業法の大分県施行条例
2019年4月～2020年3月	浴槽水	976	

2.2 水質基準及び検査方法

公衆浴場における水質基準等に関する指針³⁾に基づく水質基準とその検査方法を表3（源湯、原水、上がり用湯及び上り用水）及び表4（浴槽水）に示す。

表3. 源湯、原水等の水質基準と検査方法

項目	基準値	検査方法	検査法の出典
色度	5度以下であること	透過光測定法	水質基準に定める検査方法
濁度	2度以下であること	積分球式光電光度法	
pH値	5.8以上8.6以下であること	ガラス電極法	
有機物			
全有機炭素	3mg/L以下であること	全有機炭素計測定法	
過マンガン酸カリウム消費量	10mg/L以下であること	滴定法	
大腸菌	検出されないこと	特定酵素基質培地法	薬生衛発0919第1号通知法
レジオネラ属菌	検出されないこと(10cfu/100mL未満)	ろ過濃縮方法	

表4. 浴槽水の水質基準と検査方法

項目	基準値	検査方法	検査法の出典
濁度	5度以下であること	積分球式光電光度法	水質基準に定める検査方法
有機物			
全有機炭素	8mg/L以下であること	全有機炭素計測定法	
過マンガン酸カリウム消費量	25mg/L以下であること	滴定法	
大腸菌群	1個/mL以下であること	デシコロト培地法	下水の水質の検定方法等に関する省令
レジオネラ属菌	検出されないこと(10cfu/100mL未満)	ろ過濃縮方法	薬生衛発0919第1号通知法

次に、大分県公衆浴場法施行条例及び大分県旅館業法施行条例における浴槽水の水質基準とその検査方法を表5に示す。

表5. 大分県公衆浴場法施行条例及び大分県旅館業法施行条例における浴槽水の水質基準及び検査方法

項目	基準値	検査方法	検査法の出典
レジオネラ属菌	検出されないこと(10cfu/100mL未満)	ろ過濃縮方法	薬生衛発0919第1号通知法

また、温泉の飲用利用基準⁴⁾における微生物学的衛生管理の基準とその検査方法を表6に示す。

表 6. 飲用利用における微生物学的衛生管理基準及び検査方法

項目	基準値	検査方法	検査法の出典
一般細菌	1ml中の検水で形成される集落数が100以下であること	標準寒天培地法	飲用利用基準
大腸菌群	検出されないこと	LB培地法 (乳糖ブイヨン培地法)	
全有機炭素(TOC)	5mg/L以下であること。	全有機炭素計測定法	

3. 結果及び考察

3.1 公衆浴場における水質基準等に関する指針³⁾に基づく検査

3.1.1 源湯等の水質検査結果

公衆浴場における水質基準等に関する指針に基づき、浴場で使用する源湯、原水等の水質検査を 28 件行った。内訳は、温泉を原水とした源湯が 18 件、地下水や湧水等が 8 件、不明が 2 件であった。28 件中 23 件 (82.1%) が水質基準に適合していなかった。(図 1)

検査した 28 件に占める水質基準超過の項目は、色度 8 件 (28.6%) が最も多く、次いで濁度 7 件 (25.0%)、大腸菌又は大腸菌群 5 件 (17.9%)、レジオネラ属菌 2 件 (7.1%)、有機物 1 件 (3.6%) で、pH 値による超過は無かった。(図 2)

なお、2019 年 9 月に、基準項目が大腸菌群から大腸菌に改正されたため、改正後は大腸菌で評価を行った。



図 1. 原水の種類

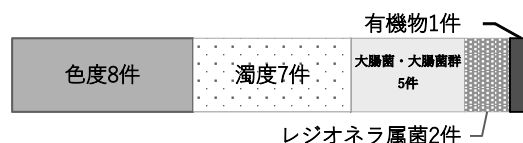


図 2. 原湯、原水等における水質基準超過の項目

3.1.2 浴槽水の水質検査結果

浴槽水の水質検査では 233 件中 27 件 (11.6%) が基準に適合していなかった。

233 件に占める水質基準超過の項目は、レジオネラ属菌 15 件 (6.4%) が最も多く、次に濁度 10 件 (4.3%) が多かった。大腸菌群による基準超過は 2 件 (0.9%) で、ほとんどの浴槽水が基準を満たしていた。有機物による基準超過は無かった。(図 3)

なお、浴槽水の水源については調査していない。

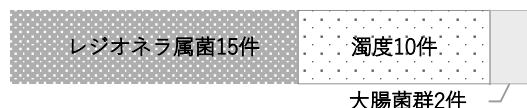


図 3. 浴槽水における水質基準超過の項目

3.2 大分県施行条例に基づくレジオネラ属菌検査と施設管理の状況

レジオネラ感染症の原因菌であるレジオネラ属菌は自然界に広く生息しており、温泉施

設の配管部分等で同菌が繁殖しやすい環境になることがある。レジオネラ属菌の動態は、温泉施設の環境や設備、衛生管理等が密接に関係していることから、浴場の給湯方式、消毒設備、換水状況などを把握して施設の管理に資することがレジオネラ感染症を未然に防ぐ観点からも極めて重要である。

そこで、大分県公衆浴場法施行条例及び大分県旅館業法施行条例に基づいて実施したレジオネラ属菌検査と施設管理の状況を調べた。

3.2.1 浴槽水のレジオネラ属菌数

大分県の施行条例に基づく浴槽水のレジオネラ属菌は、検査した4,702件中479件(10.2%)が水質基準(10cfu/100mL未満)を超過していた。浴槽水100mL中の検出菌数は、10cfuが最も多く166件で34.7%を占めたが、100cfu以上の高菌数が120件(25.1%)あり、最高値は250,000cfuを示した。(表7)。

表7.検出レジオネラ属菌の菌数分布

レジオネラ属菌 (cfu/100mL)	件数	割合
10	166	34.7%
20～50未満	133	27.8%
50以上100未満	60	12.5%
100以上500未満	69	14.4%
500以上	51	10.6%
合計	479	100.0%

3.2.2 源湯からのレジオネラ属菌の検出

大分県の施行条例に基づき、2010年4月～2020年3月の間に源湯を検査した103件中6件(5.8%)からレジオネラ属菌を検出した。

また、源湯の湧出地、掘削深度、温泉の分類、泉質等について、レジオネラ属菌検出との関連性を検討したが、検出源湯が6件と少なく、明白な傾向等は確認できなかった。

3.2.3 施設管理の状況とレジオネラ属菌の検出

大分県の施行条例に基づいて2019年4月から2020年3月の間に行った浴槽水976件について、施設管理の状況とレジオネラ属菌検査の結果とを比較検討した。

(1) 給湯方式及び水源の状況

浴槽水976件の給湯方式は、掛け流し浴槽が736件(75.4%)、循環式浴槽が229件(23.5%)で、給湯方式の不明な浴槽が11件(1.1%)あった。大半の浴槽が掛け流し方式を採用していた。(図4)

水源別では、温泉水が最も多く 749 件(76.7%)を占めた。掛け流し浴槽では 626 件(85.1%)が温泉水を利用していった。循環式浴槽でも 118 件(51.5%)が温泉水を利用しており、これに次いで地下水 57 件 (24.9%) と水道水 44 件 (19.2%) が高い割合を示した。(表 8、図 5)

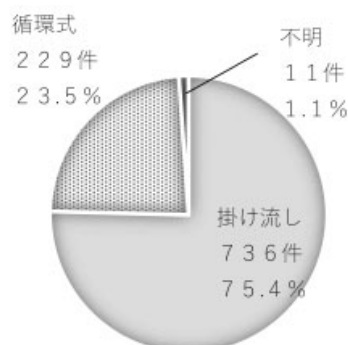


図 4.給湯方式の状況

表 8.給湯方式別の浴槽水の水源分布

	掛け流し浴槽	循環水浴槽	不明	合計
温泉	626	118	5	749
地下水	30	57	1	88
水道水	56	44	2	102
その他	23	4	0	27
不明	1	6	3	10
合計	736	229	11	976

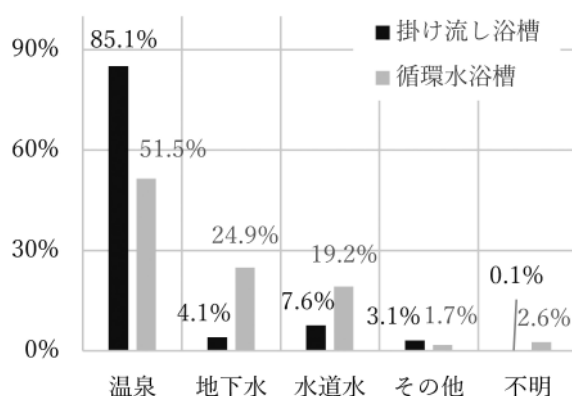


図 5.給湯方式別の浴槽水の水源分布

(2) 消毒設備及び換水頻度の状況

消毒設備では、掛け流し浴槽は 736 件中 594 件 (80.7%) が消毒設備を設置しておらず、設備を有する浴槽は 122 件 (16.6%) で、不明が 20 件 (2.7%) あった。消毒設備のある 122 件中 118 件 (96.7%) が塩素系消毒剤を使用していた。(図 6)

一方、循環式浴槽は 229 件中 209 件 (91.3%) の施設が消毒設備を設置しており、未設置施設が 17 件 (7.4%)、不明の施設が 3 件 (1.3%) あった。消毒設備を有する施設のうち、201 件 (96.2%) が塩素系の消毒設備を設けていた。(図 7)

次に、換水頻度は、掛け流し浴槽では毎日換水が最も多く 636 件(86.4%)、1 日おき以上の頻度で換水している施設が 70 件 (9.5%) あった。(図 8)

一方、循環式浴槽では毎日換水が 85 件(37.1%)、1 日おき以上の頻度で換水が 132 件 (57.6%) で、掛け流し浴槽の換水頻度の状況と比べて明らかに異なっていた。(図 9)

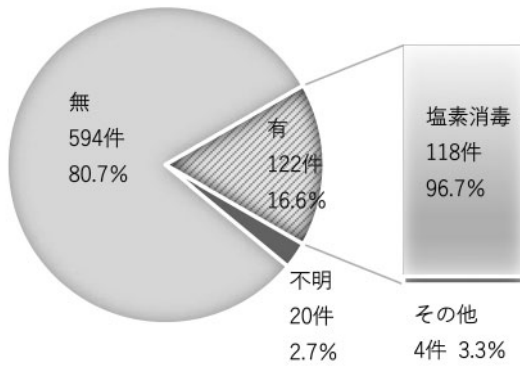


図 6.消毒設備の状況（掛け流し浴槽）

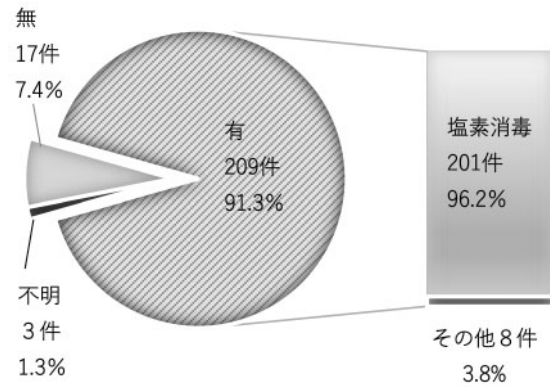


図 7.消毒設備の状況（循環式浴槽）

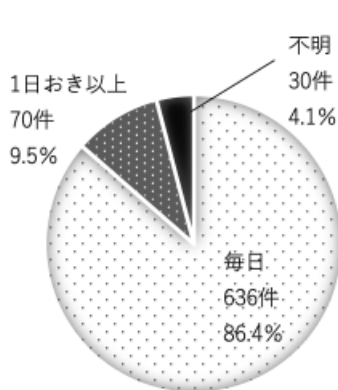


図 8.換水頻度の状況（掛け流し浴槽）

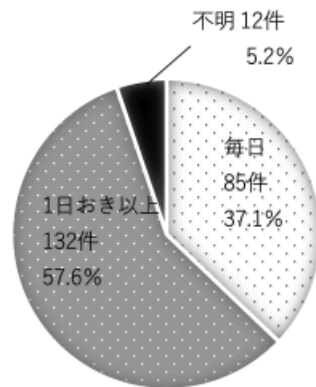


図 9.換水頻度の状況（循環式浴槽）

(3) レジオネラ属菌の検出状況

給湯方式別にみたレジオネラ属菌の検出状況を図 10 及び図 11 に示す。

掛け流し浴槽でレジオネラ属菌が検出された浴槽水は 736 件中 90 件（12.2%）あった。このうちの 78 件が消毒設備の未設置施設で、同菌検出浴槽の 86.7%を占めた。また、同菌検出の 90 件中 60 件（66.7%）は毎日換水していたにもかかわらず、レジオネラ属菌が検出された。

一方、消毒設備の設置施設 12 件からもレジオネラ属菌が検出された。レジオネラ属菌には塩素消毒が有効とされているが、12 件中 11 件は遊離残留塩素濃度が不検出（0.05mg/L 未満）～0.2mg/L の低い濃度範囲にあり、同菌対策の消毒基準濃度 0.4mg/L を下回っていた。また、遊離残留塩素が検出された浴槽水の水温はいずれも 23°C～54°Cであり、レジオネラ属菌対策で貯湯槽の衛生措置の基準温度とされる 60°Cより低かった。

次に、循環式浴槽でレジオネラ属菌が検出された浴槽水は 229 件中 13 件（5.7%）であった。このうち 3 件は、消毒設備の未設置浴槽からの検出であった。

消毒設備の設置施設では、10 件の浴槽水からレジオネラ属菌が検出された。このうち 8

件は遊離残留塩素濃度が不検出(0.05mg/L 未満)~0.3mg/L の低濃度であり、1 件のみが消毒の基準濃度 0.4mg/L を満足していた。

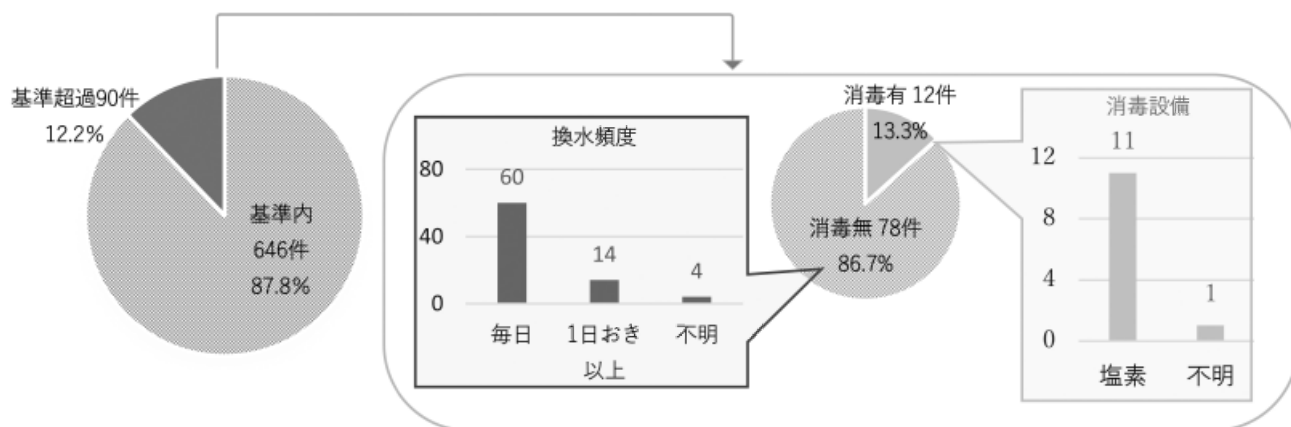


図 10.掛け流し浴槽におけるレジオネラ属菌の検出と施設環境の状況

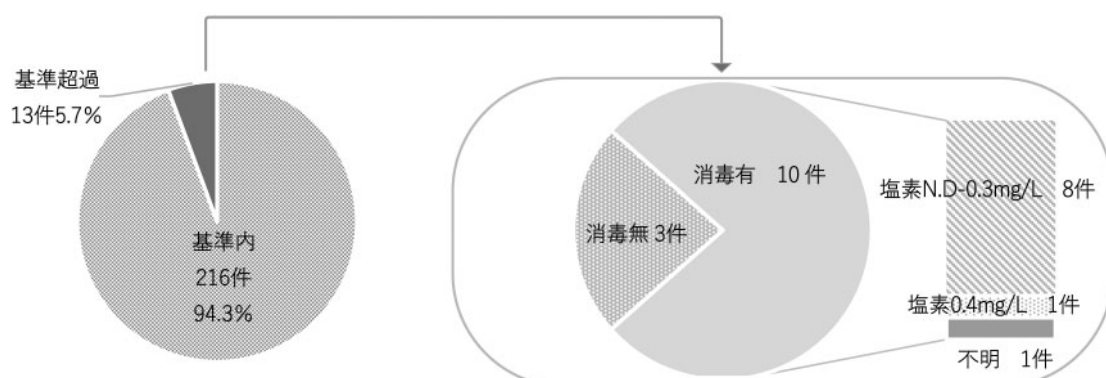


図 11.循環式浴槽におけるレジオネラ属菌の検出と施設環境の状況

(4) 浴場施設の現地調査

以上の検討から、県内浴場の 75.4%が掛け流し浴槽であり、その 80.7%が消毒設備を設けていなかった(図 4、図 6)。このため、消毒設備の未設置施設では衛生管理方法が適切でない場合、レジオネラ属菌の汚染や基準値超過を繰り返すおそれがある。

そこで、レジオネラ属菌が検出された消毒設備の未設置施設について、浴用施設の衛生管理状況等を現地調査した結果を表 9 に示す。

表 9. レジオネラ属菌が検出された浴用施設の現地調査結果

施設名	給湯設備	貯湯槽	換水頻度	残留塩素	現場状況	改善案
施設 1	掛け流し	有	毎日	検出されない	・建物の隙間から風、浴槽に土埃が付着しやすい環境	・建物の隙間から浴槽に土埃が侵入しないように改善する ・清掃時に塩素系薬剤を使用 ・流入口・浴槽ともに同類の雑菌が多数検出された
施設 2	掛け流し	有	毎日	検出されない	・清掃場所と、清掃時塩素系薬剤の使用の有無を管理者が把握していない・F5	・清掃時に湯垢、滑りの除去、塩素系薬剤の使用 ・管理者の清掃状態の管理の改善 ・流入口・浴槽ともに同類の雑菌が多数検出された
施設 3	掛け流し	無	毎日	検出されない	・海水にて加水	・清掃時に湯垢、滑りの除去、塩素系薬剤の使用 ・給湯水、海水槽ともに同類の雑菌が多数検出されなかった
施設 4	掛け流し	有	毎日	検出されない	・源泉が40℃程度のため貯湯槽にて49℃に加熱	・貯湯タンクの温度設定を60℃以上に加熱する または、浴槽内に塩素系薬剤を入れて管理する ・貯湯槽からレジオネラ属菌は検出されなかった
施設 5	掛け流し	有	毎日	検出されない	・浴槽浴室がタイル地	・清掃時に湯垢、滑りの除去。特にタイル地は汚れが付着しやすい ・清掃の記録が無いので清掃記録簿の作成 ・貯湯槽、貯水槽からレジオネラ属菌は検出されなかった
施設 6	掛け流し	有	毎日	検出されない	・液性が弱アルカリ性 ・浴槽に温泉成分が析出・付着・硬化 ・建物隙間から風、浴槽に土埃が付着しやすい環境	・液性が弱アルカリ性のため塩素系消毒剤の殺菌効果の低下 ・浴槽内に硬化した温泉成分が付着してため清掃が必要 ・建物の隙間から浴槽に土埃が侵入しないように改善する ・浴槽流入口からレジオネラ属菌は検出されなかった
施設 7	掛け流し	有	不定期	検出されない	・温泉水は別施設に配湯しているため貯湯槽内は循環しているが、浴槽の使用頻度が不定期のため途中配管内が滞留しやすい環境	・貯湯槽から浴槽までの途中配管が滞留しやすい環境なので注意する ・清掃時に湯垢、滑りの除去 ・浴槽流入口よりレジオネラ属菌が検出された

今回調査した 7 件の施設はいずれも掛け流し浴槽であり、毎日換水が 6 件、貯湯槽の設置施設が 6 件であった。以下に、現地調査の結果と改善提案の概要を記す。

施設 1 と施設 6 は半露天形式の浴槽であり、外部からの土埃等によりレジオネラ属菌に汚染される可能性が考えられた。

施設 4 は貯湯槽の加熱が 49℃であった。レジオネラ属菌は 60℃以上で死滅するとされていることから、貯湯槽の温度が 49℃では加熱が不十分になると考えられた。

施設 5 は浴槽及び浴室がタイル地であった。浴槽、浴室の凸凹やタイル地の目地等には汚れが付着しやすく、このような場所にはバイオフィームが形成され、レジオネラ属菌の常在住処となるおそれがある。このため、清掃時にブラシ等でよく汚れを落とすことが必要である。

施設 6 は浴用水の液性が弱アルカリ性のため、塩素消毒の際に殺菌効果が低下する可能性がある。また、温泉成分が析出しやすい泉質のため、温泉スケールが浴槽付近に付着して清掃時の汚れが落としにくい状態になっていた。このほか、貯湯槽内の温度が、レジオネラ属菌が好む 40℃付近になっていることから、貯湯槽から浴槽までの配管経路で湯が溜まりやすい場所では特に注意が必要と思われた。

今回の現地調査では、レジオネラ属菌の汚染原因となる場所等について検証し、施設ごとに適した清掃方法や塩素剤の使用方法等の提案を行った。その結果、改善策を実施した後の再検査では、全施設の浴槽でレジオネラ属菌は検出されなかった。

3.3 温泉利用基準（飲用利用基準）⁴⁾に基づく微生物学的衛生管理の検査

環境省の飲用利用基準に基づき、2015 年 4 月から 2020 年 3 月の間に当センターで微生物学的衛生管理の検査を行った 78 件中 3 件（3.8%）が基準に適合していなかった。

基準超過の項目は、大腸菌群が2件(2.6%)、全有機炭素(TOC)が1件(1.3%)であった。(表10)

飲泉²⁴⁾については、飲泉場から飲用目的で持ち帰らないこと、飲泉には自身専用又は使い捨てのコップなど衛生的なものを用いること、温泉飲用の1回の量は一般に100~150mL程度とし、その1日の総量はおよそ200~500mLまでとすること等、飲用の際の注意事項が飲泉場に掲示されており、これらの注意事項を守ることが大切である。

表10.飲用泉の微生物学的衛生管理基準超過の項目

	件数	78
項目	一般細菌	0 (0.0%)
	大腸菌群	2 (2.6%)
	TOC	1 (1.3%)

4. まとめ

公衆浴場における水質基準等に関する指針に基づき行った、浴場で使用する源湯、原水等28件の水質検査結果では、色度、濁度、大腸菌又は大腸菌群、レジオネラ属菌、有機物の項目において基準値超えが確認された。また、同指針に基づく浴槽水233件の水質検査結果では、レジオネラ属菌、濁度、大腸菌群の項目において基準値の超過が認められた。

公衆浴場法及び旅館業法の大分県施行条例に基づく源湯103件の検査では6件(5.8%)でレジオネラ属菌が検出された。また、同条例に基づく浴槽水4,702件の検査では479件(10.2%)からレジオネラ属菌が検出され、100mL中の検出菌数は10cfuが166件(34.7%)、100cfu以上が120件(25.1%)で、最高値は250,000cfuであった。

レジオネラ属菌を検査した浴場施設976件については、給湯方式、消毒設備、換水状況等を調査した。給湯方式は、掛け流し浴槽が736件(75.4%)を占め、循環式浴槽より明らかに多かった。また、浴場の原水は温泉水が76.7%で、特に掛け流し浴槽では温泉水が85.1%を占めた。掛け流し浴槽の80.7%が消毒設備を有しておらず、掛け流し浴槽の12.2%からレジオネラ属菌が検出された。消毒設備を有する掛け流し浴槽では12件からレジオネラ属菌が検出され、このうち不明を除く11件は遊離塩素濃度が0.2mg/L以下の施設であった。一方、循環式浴槽229件中209件(91.3%)は消毒設備を有していたが、遊離塩素濃度が0.3mg/L以下の施設8件からレジオネラ属菌が検出された。これらの結果は、レジオネラ属菌対策には0.4mg/L以上の残留塩素濃度が重要であることを示唆している。

今回、消毒設備を設けていない浴場7施設については、施設環境等の現地調査を実施してレジオネラ属菌の汚染要因の検討と改善提案を行った。

また、飲泉に伴う微生物学的衛生管理78件の検査では、概ね良好な結果が得られた。

県内では多くの公衆浴場等が掛け流しの温泉水を利用しており、温泉が持つ本来の泉質

や風情を楽しむことができる。また国内外からの利用者も多いなか、レジオネラ症対策には適切な衛生管理を確実に行うことが大変重要である。当センターでは、今後も公衆浴場等の水質検査を通して、安心して温泉施設を利用できるよう浴場や飲泉施設の衛生管理方法について提案等を行っていききたい。

5. 参考文献

- 1)平成 30 年度温泉利用状況報告書（総括表）：大分県生活環境部自然保護推進室編
- 2)「おんせん県おおいたの飲泉スポット 30 調査本 2017」：公益社団法人大分県薬剤師会（2017 年 9 月）
- 3)公衆浴場における水質基準等に関する指針：平成元年 9 月 19 日付け厚生労働省通知（生食発 0919 第 8 号）
- 4)温泉の飲用利用基準：平成 19 年 10 月 1 日付け環境省通知(環自総発第 071001002 号)

大分県温泉調査研究会会則

第1条 この会則は、大分県温泉調査研究会（以下「研究会」という。）の組織及び運営に関し必要な事項を定めるものとする。

第2条 研究会の事務局を大分県生活環境部自然保護推進室内に置く。

第3条 研究会は大分県内における温泉の科学的調査研究をして公共の福祉の増進に寄与することを目的とする。

第4条 研究会は前条の目的を達成するために下記の事業を行う。

- (1) 温泉脈及び温泉孔の分布状況調査
- (2) 噴気に関する研究調査
- (3) 温泉に対する影響圏の調査
- (4) 化学分析による温泉調査
- (5) 療養的価値よりみたる温泉の調査
- (6) 温泉に関する図書及び機関紙の発行
- (7) その他研究会の目的達成に必要な事業

第5条 研究会は下記の構成員をもって組織する。

- (1) 学識経験者
- (2) 県及び温泉所在地市町村の代表
- (3) 関係行政庁の吏員
- (4) 本研究会の趣旨に賛同する団体及び個人

第6条 研究会の役員は下記のとおりとし、総会によって選任する。

- (1) 会 長 1名
- (2) 副 会 長 2名
- (3) 常務理事 1名
- (4) 理 事 若干名
- (5) 監 事 2名

2 役員は任期は2年とする。ただし、役員に欠員を生じた場合の補欠役員の任期は前任者の残任期間とする。

第7条 会長は会務を総理し、会議の議長となる。

- 2 会長に事故のあるときは副会長が、会長及び副会長に事故があるときは常務理事がその職務を代理する。
- 3 常務理事は会長を補佐して研究会の庶務に従事する。ただし、研究会の会計事務は常務理事が処理するものとする。
- 4 理事は会務に従事する。
- 5 監事は会計を監査する。

第8条 研究会に顧問を置くことができる。

- (1) 顧問は役員会の承認を得て会長が委嘱する。この場合、総会に報告しなければならない。
- (2) 顧問は研究会の事業について会長の諮問に応ずるものとする。

第9条 研究会に下記の職員を置く。

- (1) 書記 若干名
- (2) 書記は会長が任命又は委嘱する。
- (3) 書記は上司の指示を受け庶務に従事する。

第10条 会議は総会及び役員会とする。

第11条 総会は会長が招集する。

- 2 総会は通常総会及び臨時総会とし、臨時総会は会長が必要と認めたとき、又は会員の5分の1の請求があったときに招集する。
- 3 総会の招集は開会の5日前までに会員に届くように会議に付議する事項、日時及び場所を通知しなければならない。

第12条 総会において下記の事項を議決する。

- (1) 会則の変更
- (2) 役員を選出
- (3) 予算及び事業計画
- (4) 解散
- (5) その他重要事項

第13条 総会は会員の過半数が出席しなければ議事を開き議決することはできない。

- 2 議事は出席会員の過半数で決し、可否同数のときは議長が決するところによる。
- 3 議事に関しては議事録を調整し、会長の指名した2名以上の者がこれに署名しなければならない。

第14条 下記の事項について会長は専決することができる。

- (1) 総会の議決事項であっても軽易な事項
 - (2) 緊急を要する事項
 - (3) 会員の入会・退会
- 2 下記の事項については総会に報告し、承認を得なければならない。
- (1) 前項の専決事項
 - (2) 前年度の事業及び決算

第15条 役員会は会長が招集する。

- 2 役員会は総会に付議する事項、顧問の推薦、その他会長が必要と認める事項を審議する。

第16条 第14条第1項及び第2項の規定は役員会に準用する。

第17条 研究会は議事遂行上必要がある場合は、専門委員会を設けることができる。

- 2 前項の委員会に関する事項は総会で決定する。

第18条 研究会の経費は負担金及び補助金、委託料、寄附金等その他の収入をもってこれにあてる。

第19条 研究会の会計年度は毎年4月1日から始まり翌年3月31日に終わる。

- 2 年度における余剰金は翌年度に繰越すことができる。
- 3 会計証拠書類は5年間保存する。

附 則

前条の規定にかかわらず、昭和24年度の会計年度は6月1日から始めるものとする。

附 則

この会則の改正は、昭和46年4月1日から適用する。

この会則の改正は、昭和48年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成2年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成7年5月1日から適用する。

この会則の改正は、平成9年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成16年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成18年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成21年8月3日から適用する。

この会則の改正は、平成26年8月27日から適用する。

この会則の改正は、平成28年8月26日から適用する。

大分県温泉調査研究会会員名簿 (所属・職名五十音順)

(令和3年5月1日現在)

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
京都大学 名誉教授	由 佐 悠 紀	会 長
大分大学 名誉教授	川 野 田 實 夫	副 会 長
大分県生活環境部自然保護推進室 室長	大 海 靖 治	副 会 長
大分県生活環境部自然保護推進室 主幹(総括)	手 島 淳	常務理事
秋田大学大学院理工学研究科システムデザイン工学専攻 土木環境工学コース 助教	網 田 和 宏	
大分産業保健総合支援センター 総括主幹相談員	青 野 裕 士	
大分大学教育学部 教授	大 上 和 敏	理 事
大分大学医学部 精神神経医学 教授	寺 尾 岳	
大分大学医学部 大分県立病院精神科 (元)岡山理科大学理学部基礎理学科	塩 月 一 平	
九州大学 名誉教授	矢 永 尚 士	
九州大学 名誉教授	牧 野 直 樹	理 事
九州大学 名誉教授	糸 井 龍 一	
九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門 助教	松 本 光 央	
九州大学病院別府病院内科 教授	堀 内 孝 彦	
九州大学病院別府病院内科 准教授	前 田 豊 樹	
京都大学名誉教授	竹 村 恵 二	
京都大学名誉教授・阿蘇ジオパーク推進協議会地球科学専門員	鍵 山 恒 臣	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 教授	大 沢 信 二	理 事
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 教授	楠 本 成 寿	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 准教授	柴 田 智 郎	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 技術専門職員	三 島 壯 智	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設・火山研究センター 助教	宇津木 充	
東海大学海洋学部 教授	齊 藤 雅 樹	
広島大学先進理工系科学研究科地球惑星システム学専攻プログラム地球惑星化学グループ 教授	柴 田 知 之	
広島大学大学院先進理工系科学研究科 地球惑星システム学専攻 研究員	芳 川 雅 子	
別府大学国際経営学部国際経営学科 教授	中 山 昭 則	
別府大学食物栄養科学部 発酵食品学科 講師	加 藤 礼 識	
別府大学食物栄養科学部 研究員	西 田 友 美 子	
北海道大学総合博物館 准教授	山 本 順 司	
立命館アジア太平洋大学 アジア太平洋学部 准教授	マヒチ・ファエゼ	
立正大学地球環境科学部 教授	河 野 忠	
龍谷大学経済学部 准教授	山 田 誠	
(一財)九州環境管理協会 技術部長	川 村 秀 久	
(一財)九州環境管理協会 先進領域課長	芦 川 信 雄	
(一財)九州環境管理協会 品質管理課長	天 日 美 薫	
(一財)九州環境管理協会 分析試験課長	右 田 義 臣	
(一財)九州環境管理協会 環境調査課長	小 野 孝	
(株)SARABiO温泉微生物研究所 所長	宮 田 光 義	
環境工研(株)代表取締役	松 尾 広 暁	
環境工研(株)技術営業部	秋 月 香 菜 子	
九電産業(株)環境部 取締役環境部長	佐 藤 信 治	
九電産業(株)環境部 地熱グループマネージャー	西 村 眞 吾	
九電産業(株)環境部 課長	能 登 征 美	

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
九電産業（株）環境部	小 野 光 一	
（公社）大分県薬剤師会 会長	安 東 哲 也	
（公社）大分県薬剤師会検査センター 施設環境課 課長	甲 斐 美 穂	
社会保険診療報酬支払基金大分支部 審査委員長	安 田 正 之	
タナベ環境工学（株）代表取締役	藤 澤 剛	
タナベ環境工学（株）環境部 部長	後 藤 弘 樹	
タナベ環境工学（株）環境調査課 課長代理	相 垣 明 子	
西日本技術開発（株）地熱業務本部 地熱部 部長	松 田 鉦 二	
日鉄鋳業（株）	酒 井 拓 哉	
別府 ONSEN 地療法研究会（畑病院）	畑 洋 一	
別府 ONSEN 地療法研究会（畑病院）	畑 知 二	
GERD 地熱技術開発（株）探査部	長 谷 英 彰	
大 分 市 長	佐 藤 樹一郎	理 事
別 府 市 長	長 野 恭 紘	理 事
中 津 市 長	奥 塚 正 典	
日 田 市 長	原 田 啓 介	理 事
臼 杵 市 長	中 野 五 郎	
竹 田 市 長	土 居 昌 弘	理 事
宇 佐 市 長	是 永 修 治	
由 布 市 長	相 馬 尊 重	理 事
国 東 市 長	三 河 明 史	
姫 島 村 長	藤 本 昭 夫	
九 重 町 長	日 野 康 志	理 事
玖 珠 町 長	宿 利 政 和	
別府市観光・産業部温泉課 課長	中 村 賢一郎	監 事
別府市観光・産業部温泉課 参事	後 藤 隆	
大分県東部保健所 所長	内 田 勝 彦	監 事
大分県東部保健所 次長	立 脇 一 郎	
大分県衛生環境研究センター 所長	都 甲 一 朗	理 事
大分県衛生環境研究センター微生物担当 主幹研究員（総括）	岡 崎 嘉 彦	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 主任研究員	溝 腰 朗 人	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 主任研究員	佐々木 麻 里	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 研究員	高 野 真 実	
大分県衛生環境研究センター水質担当 主幹研究員（総括）	後 藤 郁 夫	
大分県衛生環境研究センター水質担当 主任研究員	百 武 裕 美	
大分県衛生環境研究センター水質担当 主任研究員	松 田 貴 志	
大分県衛生環境研究センター水質担当 研究員	秋 吉 貴 太	
大分県衛生環境研究センター水質担当 研究員	安 藤 佐和乃	
大分県衛生環境研究センター水質担当 研究員	山 村 知 紗	

（会員数 83名）

書 記

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
大分県生活環境部自然保護推進室 主査	石 田 加奈子	
大分県生活環境部自然保護推進室 専門員	小 田 文 教	
大分県生活環境部自然保護推進室 非常勤職員	西 口 勝 次	

（書記 3名）

大分県温泉調査研究会報告 第72号

令和3年8月 印刷
令和3年8月 発行

発 行 大分県温泉調査研究会
〒870-8501 大分市大手町3丁目1-1
大分県生活環境部
自然保護推進室内（事務局）
T E L 097-506-3025
F A X 097-506-1749

印 刷 有限会社 舞鶴孔版
〒870-0936 大分市岩田町二丁目3番27号

毎年の「大分県温泉調査研究会報告」は、大分県のホームページで閲覧することができます。