

大分県温泉調査研究会

報告 第45号

平成6年3月

目次

庄内温泉の経時変化	川野田 実夫	(1)
	北岡 豪一	
	大沢 信二	
別府湾地域のテクトニクス	由佐悠 紀	(5)
	竹村 悠恵	
別府地域の火山岩調査(2)	竹村 恵二	(11)
	由佐 悠紀	
	馬渡 秀夫	
別府地域の重力調査	福田 洋一	(15)
	瀬木 哲夫	
	馬渡 秀恵	
	竹村 悠紀	
大分県内温泉の泉質分類と泉質分布図の作成	大沢 信二	(25)
	北岡 豪一	
	由佐 悠紀	
県内温泉の微量成分(3)	大沢 信二	(39)
不整脈と温泉(5)	矢武永 尚士	(47)
	熊居 光雄	
	野御堂 彰子	
	畑知 二樹	
	牧野 直樹	
リウマチ反応試薬としての温泉泥の応用	延永 正	(49)
	江崎 一子	
温泉権紛争の調査と研究(IV)	大野 保治	(53)
県内温泉地現況調査	大分県環境保全課	(63)
(深耶馬地区)	中津保健所	

序

年1回発行される大分県温泉調査研究会報告は本号で第45号を重ねることとなりました。これは、長年、資料の収集、調査研究活動に尽くされた歴代会員諸氏の御努力のたまものであり、また、関係行政機関の深い御理解、御援助によるものと厚く御礼申し上げます。

地域を限った調査研究会というような組織がこのように長期間続いていると、ともすれば会の存続そのものだけが優先され、事業内容の形式化、マンネリ化に陥りやすいものですが、本会の報告書にはそういう欠点がいささかも現われず、常に新しい資料、新しい視点、新しい方法を導入し、各地温泉現象の解明や利用の向上に貢献しようとする意欲的な試みが見られます。これは第一に、大分県の温泉が質量共に日本一と言うにふさわしい多様性を持ち、研究対象としてすぐれた魅力を備えていることによるものです。しかも、この45年間、県内温泉の新規掘削は絶えることなく精神的に進められ、その開発速度もまた常に日本一という、開発とそれに伴う利用施設への投資が活発に続けられています。温泉とは自然そのものではなく、自然と人工が適度に組合った産物です。その適度の基準をどこに求めるかが本研究会の大きな事業テーマでもあります。このような開発への活力により、採湯される温泉の範囲は面的にも深度的にもどんどん拡大し、それに応じた資料の増加が調査研究への意欲を刺激しつつ、本会の事業に活力を与え続ける大きな原因となりました。さらに見逃せないのは、調査研究に当たる会員メンバーの安定性であります。これは大正末期以来、京大、九大など温泉を主要な研究対象とする大学研究機関がこの地に設けられ、専門研究者を養成し続けた実績によるものです。その人たちの多くが県内に居住し温泉に密着し続けているという他県にみられぬ特徴が本会会員構成の基盤を作っています。以上のような、大分県の温泉が持つ地理、歴史、人の一体となった恵まれた環境が本調査研究会の45年に及ぶ活動にたえず新鮮さを与えた原動力であり、将来の発展を支える基礎となると思われまます。

本会の設立に尽力され、発足当初よりの役員を務められると共に、調査研究に多大の功績を残された山下幸三郎先生が本年3月逝去されました。昭和54年に本会の発行した「30年のあゆみ」の中に、本会設立の経緯とその前後の諸事情を詳細に先生が執筆されております。貴重な資料として将来にわたり読み返し続けられることを会員諸氏にお願いすると共に、生前の先生を偲び、深く哀悼の意を表します。

大分県温泉調査研究会

会長 吉川恭三

庄内温泉の経時変化

大分大学教育学部 川 野 田実夫
 京都大学理学部 北 岡 豪 一
 京都大学理学部 大 沢 信 二

1 はじめに

大分川中・下流域の温泉開発は、昭和40年代後半から60年代にかけて活発に行われ、現在、大分市、野津原町、挾間町、庄内町の温泉と鉱泉の泉源数は200を越えようとしている。

その内庄内町の泉源数は64を数え、社会福祉施設、旅館や個人の浴用として利用されている。

筆者らは昭和61年から63年にかけて庄内温泉の化学成分について調査研究を行った中で、同一泉源でも採水時が異なれば成分濃度が変化する泉源があることを報告した^{1) 2)}。また、平成5年度の本報告では、東長宝の泉源の場合、揚水ポンプの停止や作動を繰り返す中で、塩化物イオン濃度が2倍以上変化する現象を報告した³⁾。

本報告では庄内温泉の開発の歴史を振り返り、これまでに温泉調査研究会の会員が収集した化学分析結果を検討して、庄内温泉の化学成分濃度の長期変化について報告する。

2 温泉開発の経過

庄内町中央部の温泉は昭和43年に西長宝、小野屋で掘削深度400mされたものが最初の温泉であるといわれている。この地区での本格的な温泉開発は昭和49年から始まり、同51年までの3年間は年間1泉源の開発速度であったものが、昭和52年と53年にはそれぞれ20、10の泉源が開発され、その後も年間1~3泉源の開発が平成3年ごろまで続き、現在は60余の泉源が温泉台帳に記載されている。

図1は掘削深度の変遷を掘削終了時に対応させて表したものである。開発の初期は300m台であった掘削深度が開発が進むにつれて上昇し、昭和53年から58年までは一部を除き500mに達し、それ以降は700mを越えている。このことは開発の進行に伴って浅い層での熱水の確保が困難になったことを物語っている。

図2は掘削深度と掘削完了時に観測された湧出量(揚水量)の関係を表したものである。この図を一見すると両者に逆相関関係が成立しているように見えるが、実際は開発初期の比較的浅い層の熱水湧出量が多く、開発後期の深い泉源のそれが少ないことを示している。

また、温泉台帳によって掘削完了時の泉温を調べたところ、58泉源中、50℃以上のものは15泉源、45℃以上50℃未満が15泉源で最高温度

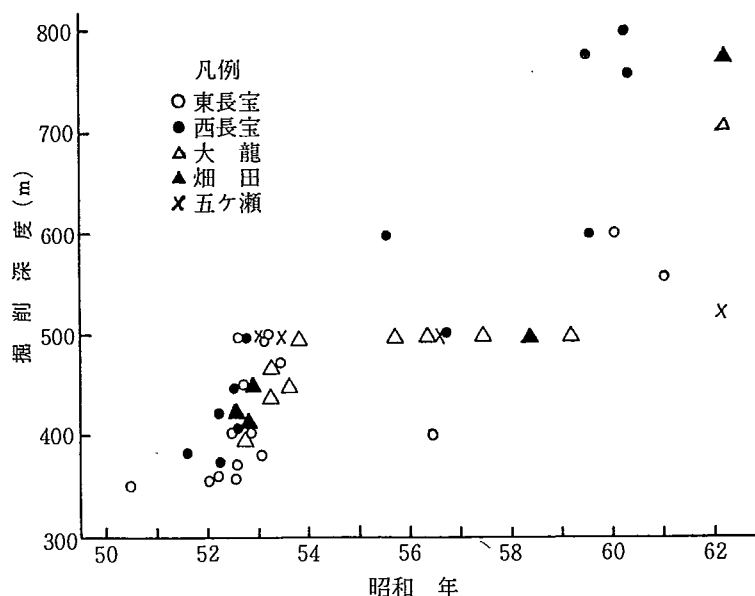


図1 掘削終了時と掘削深度の関係

は58℃が記録されている。この泉温と掘削深度の高まりとは必ずしも相関関係はなく、掘削深度の増大が湧出量や泉温の確保に有効に作用していないことを示している。

3 化学成分濃度の変化

庄内温泉は大分市街地の温泉と同様にフミン質を含む深層熱水型の温泉である。泉質は主要化学成分の濃度と組成から、溶存成分量が1,000mg/ℓ以下の単純泉とナトリウム-硫酸塩・塩化物泉に分類される。単純泉は掘削深度が海水面下400m以浅の温泉で、硫酸イオンを多く含む温泉はそれ以深の温泉に多い。

表1は、昭和55年9月に東長宝で地表面からの掘削深度600mの泉源である。開発当初は典型的なナトリウム-硫酸塩・塩化物泉の組成を示していたが、漸次ナトリウム、硫酸イオン、塩化物イオン濃度が低下してきた温泉で現在は単純泉に分類される。硫酸イオン濃度の値がこの表に記載されていないが、1980年は3,590mg/ℓ、1985年は798mg/ℓ、1993年は465mg/ℓと102mg/ℓである。前回報告したようにこの泉源は、揚水ポンプを一定時間止めて、再作動した時に一時的に成分濃度の低い温泉が湧出する。1993年4月8日の測定値が二つ記載されているのは、電気伝導度が当日の最大と最小を記録した試水である。

おそらくはこの泉源の場合、温泉使用量が成分濃度の高い熱水の供給速度を上回って、それよりも浅い位置にある低濃度の熱水が浸透してくることによってこのような結果になったのであろう。

表1 泉源A（東長宝）の分析結果の記録

採水年月日	泉温 (°C)	Na (mg/ℓ)	Cl (mg/ℓ)	HCO ₃ (mg/ℓ)	備考
1980. 9. 8	58.0	1,650	417	140	九大温研
1985.12.10	49.3	451	127	137	大分大学
1993. 4. 8	48.4	291	80.1	139	大分大学
1993. 4. 8	48.0	106	36.7	131	大分大学

表2は、庄内町で最初に掘削された温泉で、当初は自噴泉であった泉源である。その後、昭和52年12月に新たな掘削が行われている。最初の掘削後の分析記録は大分県と野田等⁴⁾のものがあるが、7年間の経過の中で特に目立った泉質の変化はない。

この泉源の最初の掘削深度は地表から400mで、2回目は500mである。この深度の増加によって泉温が約5℃上昇し、化学成分では塩化物イオンの上昇と炭酸水素イオンの低下がみられるが、泉質の上からは大きな変化は見られない。

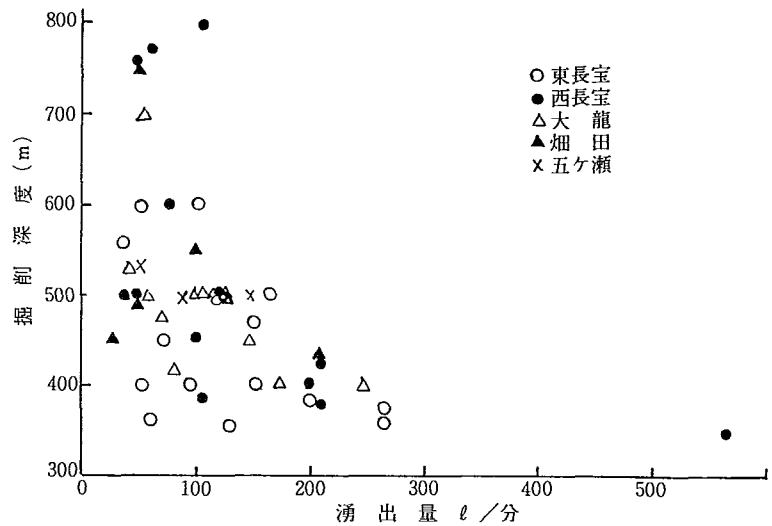


図2 掘削深度と掘削完了時の湧出量の関係

表 2 泉源 B (小野屋) の分析結果の記録

採水年月日	泉 温 (°C)	Na (mg/ℓ)	Cl (mg/ℓ)	HCO ₃ (mg/ℓ)	備 考
1968.10. 8	44.0	69.0	10.3	133	大分県
1975. 9.28	45.0	57	5.03	147	野田、北岡 ⁴⁾
1985.12.10	50.5	64.0	22.6	96	大分大学

表 3 は、温泉使用量が極めて少ない畑田の泉源である。掘削は昭和 52 年 9 月で、当初泉温は 40°C であったとの記録であるが、近年は温度低下でほとんど使用されていない。この温泉の主要化学成分濃度は 1985 年から 1994 年の 9 年間でほとんど変化していない。

表 3 泉源 C (畑 田) の分析結果の記録

採水年月日	泉 温 (°C)	Na (mg/ℓ)	Cl (mg/ℓ)	HCO ₃ (mg/ℓ)	備 考
1985.12.10		32.5	11.3	80.2	大分県
1987.12.12		34.0	3.3	76.4	大分大学
1994. 2.22		33.8	6.5	79.2	大分大学

表 4 は、五ヶ瀬の泉源で、複数の温泉管理組合員が利用している。揚水ポンプは水位センサーによって自動的に作動し、貯水タンクの水温は温泉の使用量に応じて 41°C から 48°C まで大きく変化する。この泉源では揚水される試水を直接採取することが出来なかったが、貯水タンク内の水の電気伝導度は 270 μS/cm を中心に ±5 μS/cm 程度変化することが確認された。それに伴う化学成分濃度の変動幅はナトリウムイオンと塩化物イオンが 10% で、炭酸水素イオン濃度は変動がなかった。表に示されたナトリウムイオン濃度は漸次低下の傾向を示しているが、変動幅は日変化量の範囲内にあり、経年変化があるとは判断できない。

表 4 泉源 D (五ヶ瀬) の分析結果の記録

採水年月日	泉 温 (°C)	Na (mg/ℓ)	Cl (mg/ℓ)	HCO ₃ (mg/ℓ)	備 考
1985.12.10	41.0	51.0	22.6	105	大分大学
1987.12.22		47.5	15.8	97.7	大分大学
1993. 4. 7	48.0	46.8	24.2	84.2	大分大学

参考文献

- 1) 川野田実夫・志賀史光・山口哲郎：大分川流域温泉の化学組成. 大分県温泉調査研究会報告, 37, 昭和 62 年
- 2) 川野田実夫・志賀史光・中村千恵子：庄内町の温泉の現況. 大分県温泉調査研究会報告, 38, 昭和 63 年
- 3) 川野田実夫・北岡豪一・大沢信二：庄内温泉の化学成分濃度の経時変化. 大分県温泉調査研究会報告, 45, 平成 6 年
- 4) 野田徹郎・北岡豪一：狭間町ならびにその周辺の温泉調査 (その 2). 大分県温泉調査研究会報告, 28, 昭和 52 年

別府湾地域のテクトニクス

京都大学理学部

由 佐 悠 紀
竹 村 恵 二

はじめに

別府湾をとりまく地域は、活発な変動帯とされる別府-島原地溝の北東端に位置している。この地域に展開している火山・地熱・温泉・地震などの諸活動は、地溝を形成した造構運動の所産であるに違いない。したがって、別府地域に展開している地熱温泉活動への理解を深めるには、熱水や温泉水の特性ばかりでなく、それらが分布・流動する場の特性と、その形成機構を解明する必要がある。他方、より広域的には、西南日本を横切って東西方向に延びる中央構造線は四国西部地域までは明瞭に追跡されるが、別府湾周辺地域でその位置付けが不明瞭であり、これに関する資料の取得が望まれている。こうした課題の研究の一環として、1989年から1990年にかけて、別府湾においてマルチチャンネル反射法地震探査と海底重力計による重力調査が行われた(由佐ほか、1992; 竹村ほか、1993; など)。これにより、さまざまな新知見が得られ、また造構運動に関するいくつかの考えが提起されている。この報告ではそれらの新知見やテクトニクスに関する考えについて述べる。

1 マルチチャンネル反射法地震探査

反射法地震探査というのは、地中に向けて地震波(音波)を発信し、地下から反射してくる波を受信することによって、地下構造を探ることである。マルチチャンネルというのは、反射波を複数の受信器(地震計)によって受信するという意味である。膨大な量の信号が得られるから、これを処理・解析するには、コンピューターの助けを借りなければならない。いわば、内科診療で行われる打診法を大がかりにして、地球に適用したものと思えばよい。

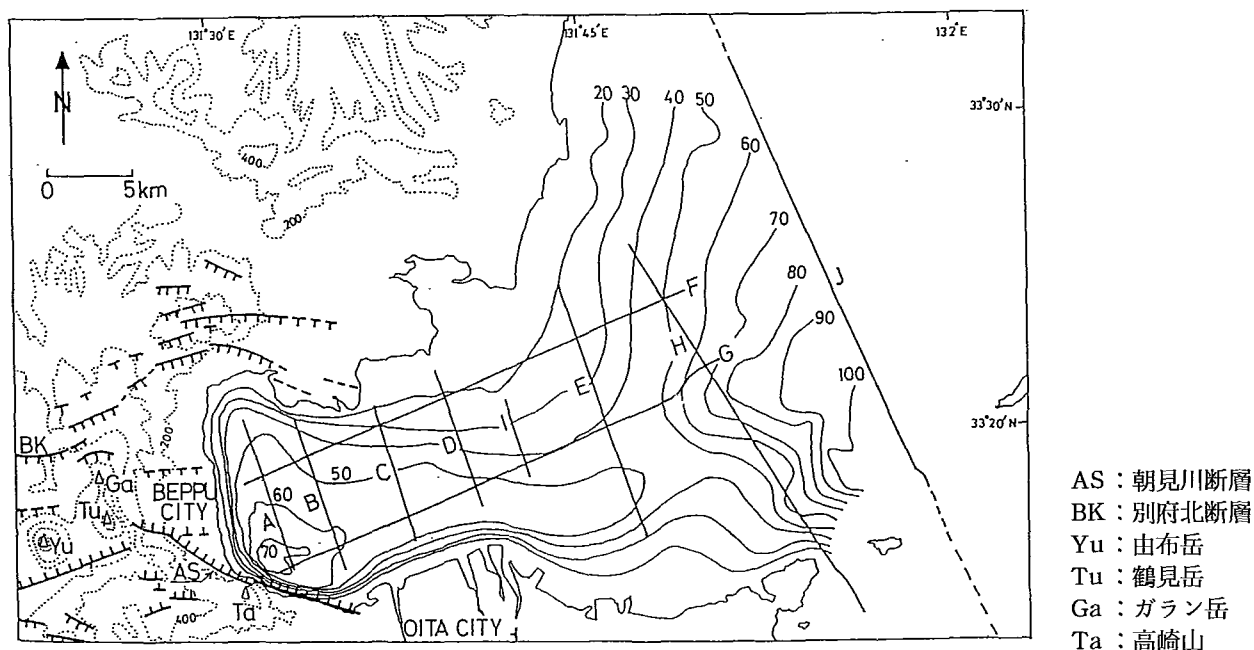


図1 マルチチャンネル反射法地震探査の測線 A~J (由佐ほか、1992)

海底地形のコンターは10m 間隔、陸上地形のコンターは200m 間隔
陸上部の太い実線と破線は断層を示す(毛羽は落ちの側)

別府湾での調査では、測線に沿って航行する船上に搭載した巨大なコンプレッサーで圧搾した空気を、25 mごとに瞬間的に解放して音波を発信させ、25m間隔で設置した24組(チャンネル)の受信器を組み込んだケーブル(全長は約600m)を曳航しながら、反射波を受信した。図1のA~Jが測線である。このうち、豊後水道のJ測線では48チャンネルにした。図の陸部に描かれている、ケバの付いた太い線は断層であり、ケバのある側が落ちていることを示している。別府地域が、陥没帯であることが読み取れるであろう。

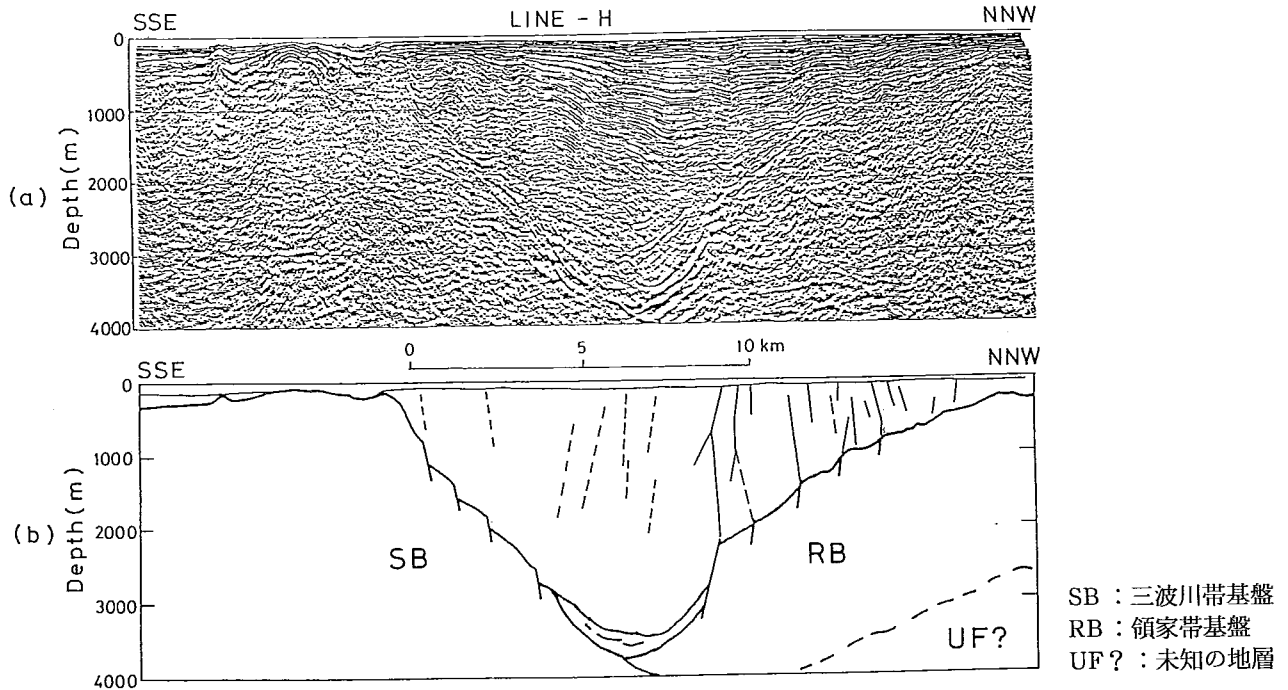


図2 測線Hに沿うマルチチャンネル反射法地震探査結果(a)とそのスケッチ(b)(由佐ほか、1992)

細い実線と破線は断層または断裂を示す。

別府湾の入り口の測線Hに沿う、4,000m深までの地層の断面を図2に示した。(a)は反射記録、(b)はそのスケッチである。縦軸(深さ方向)のスケールは、横軸(水平方向)の倍にしてあるので、深さが誇張されている。最上の水平な線(縦軸の0m)が海面、それよりわずかに下方にある線が、海底である。南東端(図の左・佐賀関半島側)の海面直下にみられる強い反射は、先第三紀の三波川帯基盤が海底に露出していることを示している。この強い反射面は、約30°の傾斜で北に向かって深くなるが、深部ではやや緩やかになり、全体の形状は上に凹である。他方、北西端(図の右・国東半島側)の深さ200m付近から南に向かって深くなる強い反射面は、先第三紀の領家帯基盤の上面である。この傾斜は、南側斜面のそれより緩やかで、全体とし

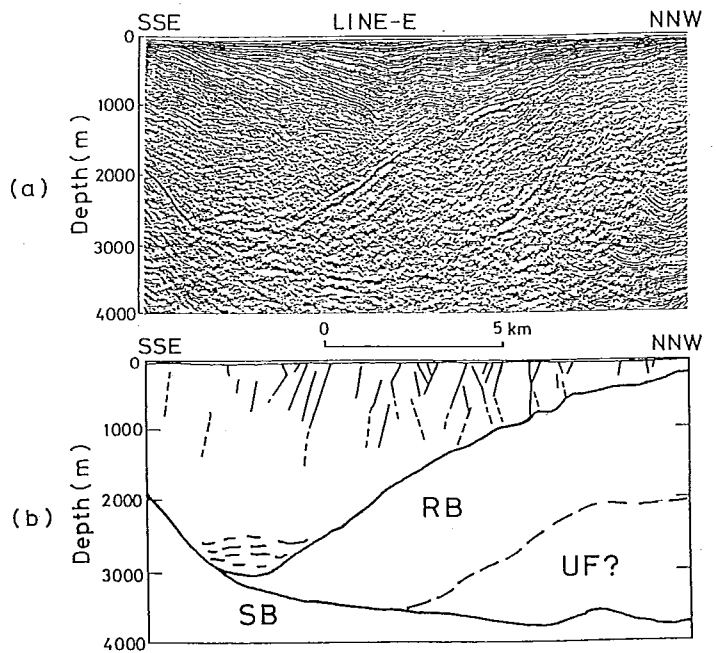


図3 測線Eに沿うマルチチャンネル反射法地震探査結果(a)とそのスケッチ(b)(由佐ほか、1992)

凡例は、図2と同じ。

ては上に凸の形状を呈している。そして、この2つの基盤の間の窪みは、大分川や大野川から運び込まれた土砂や粘土で埋められた堆積層である。この窪んだ堆積層こそが地溝であり、その形状が、この調査によってはじめて明らかにされた。また、この堆積層中に描かれている実線や破線は断層である。

図3は、測線Eに沿う断面図である。測線Hと類似であるが、両基盤の会う深さがやや浅い。

さらに注目すべきは、南の三波川帯基盤が北の領家帯基盤の下にまで延びていることである。その様子は、図3の測線Eに、とくに明瞭に現れている。この2つの基盤は、それぞれ西南日本の大構造線である中央構造線の南と北の基盤を代表するものであり、両者がこのような関係で接していることも、この調査によってはじめて見いだされた。また、湾の北部では、領家帯基盤と三波川帯基盤の間に、別の未知の地層が存在しているようである。以上に述べた地下構造は、湾の外の測線Jでも認められた。

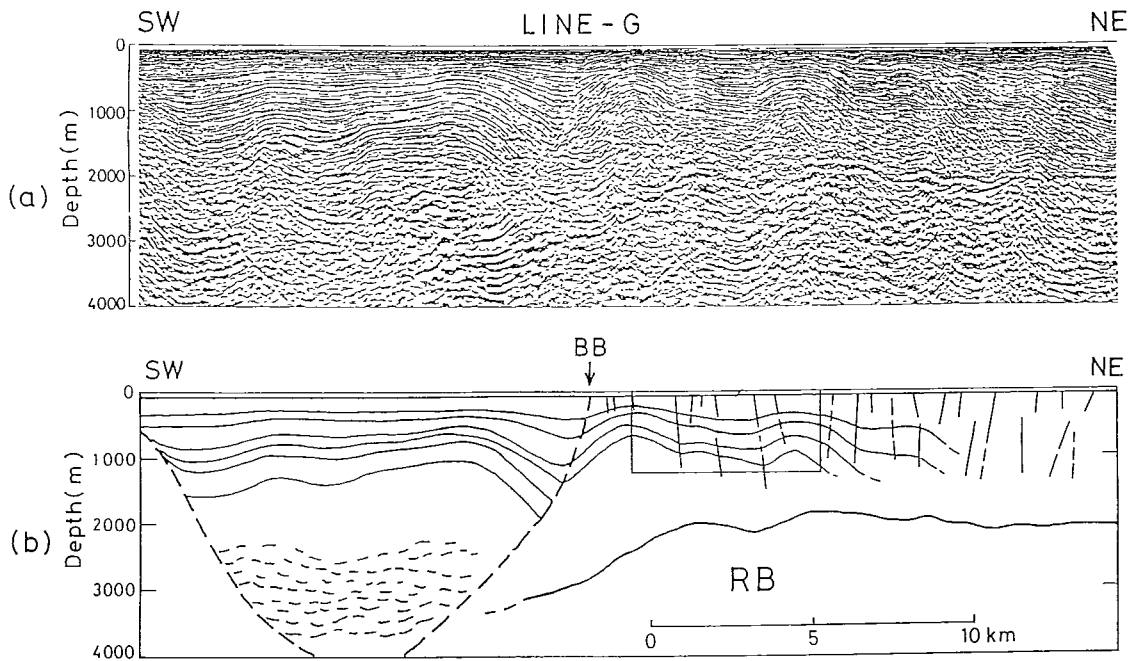


図4 測線Gに沿うマルチチャンネル反射法地震探査結果 (a) とそのスケッチ (b) (由佐ほか、1992)。

RB：領家帯基盤 BB：別府湾横断構造線

図4は、以上の測線に直交する測線Gの断面である。図の中央を境にして、東側（湾口部）と西側（湾奥部）では、構造が大きく違っていることが分かるであろう。すなわち、東側では地層の層理が褶曲しているのに対して、西側では緩やかなうねりが認められるだけである。また、東側の褶曲部では、数多くの断層や断層が発達しているのに対して、西側ではまったくみられない。一方、およそ2,000m深にみられるほぼ水平の強い反射面は、領家帯基盤の上面である。この反射面は、図の中央から西側に向かって深くなっており、(b)にスケッチされているように、深い盆状の構造になっている。

これらの調査結果をまとめて得られた地下構造区分を、図5に示した。図中のMTLは、これまで言われてきた中央構造線、すなわち三波川帯基盤と領家帯基盤の境界であるが、実際にはMTLより約7km北のRSが、両基盤の境界である。また、別府湾は、その中央部を横断する明瞭な構造線（BB）によって、東部海域と西部海域に区分される。図の東部海域（C）に描かれている曲線群は、基盤までの深さを表している。最も深い所で3,500mにも達する、舟底状の地溝が明瞭に見られる。

西部海域は、さらに北西部海域（A）と中央部海域（B）に区分される。北西部海域では、地層が盛り上がり、その上部の浅層に無数の断層が見られる。その例として、図6に測線Aの一部を拡大して示した。

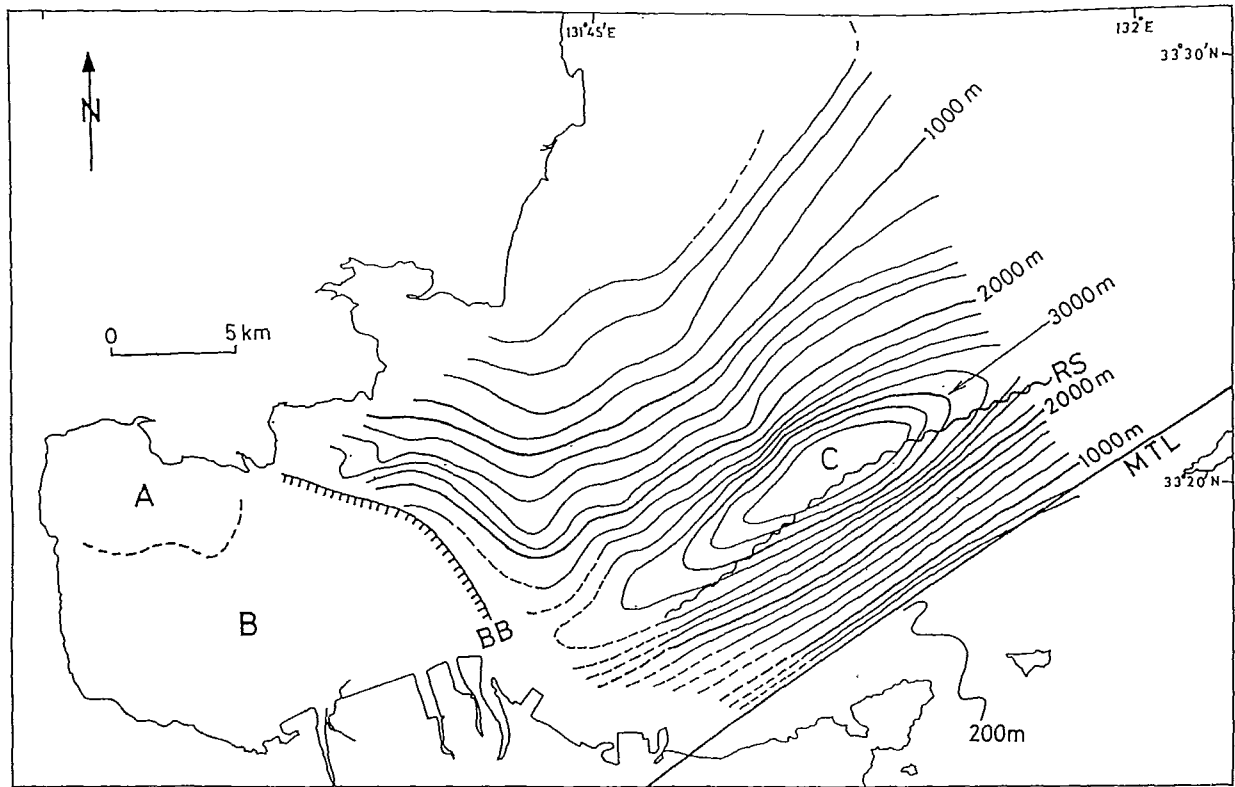


図5 マルチチャンネル反射法地震探査によって明かにされた別府湾の地下構造区分 (由佐ほか、1992)

A: リストリック断層の区域、B: 深い盆状構造の区域、C: 地槽の区域 (コンターは基礎深度 (m) を表す)
MTL: 従来考えられた中央構造線の位置、BB: 別府湾横断構造線、RS: 領家帯基盤の南限

浅部に弧状の断層があり、しかも、南側のものは北落ち、北側のものは南落ちと、対をなしていることが分かる。また、断層の深さは、たかだか 300m 深までと浅い。これらの断層はリストリック断層と呼ばれるもので、地層のブロックが回転して生じたと考えられる。記録を詳細に見ると、この断層運動は過去しばしば生じたことが明らかで、しかも、非常に新しい活断層のようである。したがって、今後も断層運動 (言い換えれば、地震) が起こるものと考えておかなければならない。しかしながら、このリストリック断層の深さは浅いので、マグニチュードはあまり大きくないであろうと考えられる。

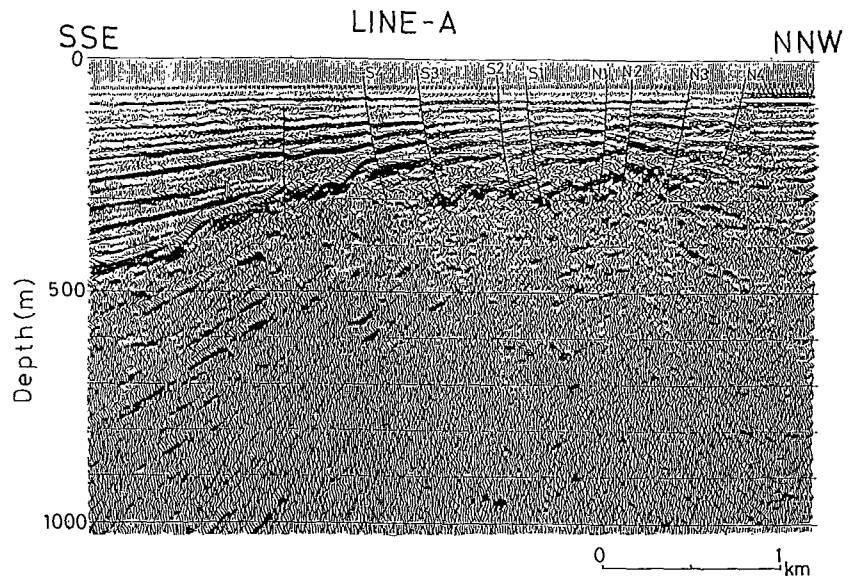


図6 A 区域に発達するリストリック断層群 (測線 A の一部) (由佐ほか、1992)

他方、中央部海域は深い盆状構造をしており、4,000m 深までを対象としたこの調査では、基盤を検出することができなかった。また、断層はまったく見られない。

2 重力調査

前節で述べた地下構造を、別の独立した調査によって検証するため、1990年の2月から3月にかけて、別府湾をほぼ2km×2km格子に区切り、その交点で重力（正しくは重力加速度のこと）を測定した。野外調査で一般的に用いられる重力計は、重りを吊るした精密なバネ秤である。重力の大きいところではバネが伸びるし、重力

が小さいところでは縮むから、その伸縮を計ることによって、逆に重力の大小を検出することができる。

得られた測定値には、各種の補正（地殻潮汐・緯度・地形などの補正）を施して、ブーゲー重力異常を求めた。ブーゲー重力異常というのは、基準となる重力値からの偏差と考えておけばよい。通常、mgal（ミリガル）という単位が用いられるが、1mgalは地球表面での重力加速度のおよそ100万分の1に当たる。たとえば、ブーゲー異常が0のところでは体重が100kg重の人は、-10mgalのところに行けば1g重ほど軽くなる、といった程度である。

図7はその結果である。中央海域に、最小値が-58mgalに達するきわめて明瞭な盆状の低い重力異常が認められる。重力が小さいことは、密度の大きい基盤岩が深く沈みこんでいることを意味するので、地震探査から推定された構造（図5）と調和している。また、東部海域における重力の等値線は、図5に描かれている基盤までの等深度線と、非常によく似ている。ただし、重力の谷の軸は、基盤の谷（地溝）の軸よりおよそ2kmほど北にずれており、構造の複雑さがうかがわれる。現在、陸上部においても重力の測定を実施しているので（福田ほか、1994など）、近いうちに、別府湾周辺地域における詳細な重力分布が明らかにされるであろう。

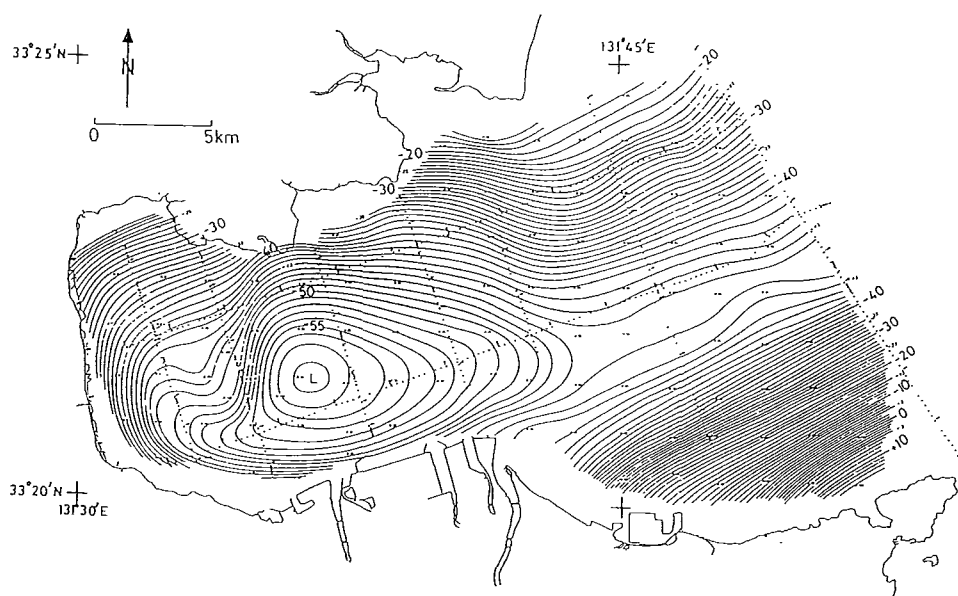


図7 別府湾におけるブーゲー重力異常（由佐ほか、1992）

コンター間隔は1mgal、仮定密度は2.00g/cm³

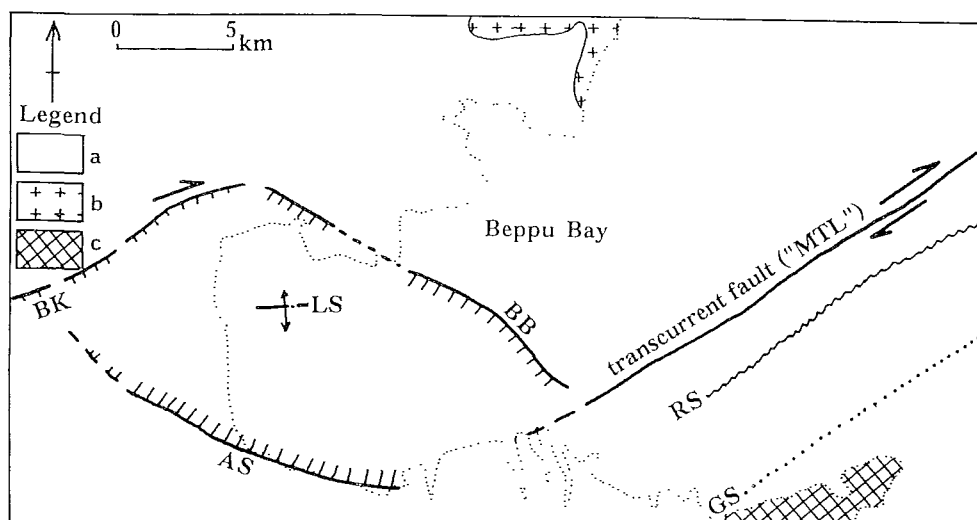


図8 別府湾周辺のテクトニクス（Takemura et al., 1994）

“MTL”：最近もっとも活動的だと推定される横ずれ断層の位置
 BB：別府湾横断構造線 RS：領家帯基盤の南限
 GS：溝状構造の南限

3 テクトニクス（土地の変動）

以上のように、別府湾で実施されたマルチチャンネル反射法地震探査と重力測定によって、別府一島原地溝東端部の地下構造に関するさまざまな情報が得られた。その中には、これまで想像もされていなかった新知見も含まれており、さらに、明らかにされた地下構造には、別府湾地域における土地の変動の歴史が秘められている。ここでは、その解釈だけを述べておこう。国東半島側の領家帯基盤が、佐賀関半島側の三波川帯基盤に沿って滑り落ち始めた。この運動には右横ずれ（三波川帯基盤側から見て）の成分が含まれている。この2つの運動が合成された結果、三波川帯基盤に対して、領家帯基盤が相対的に北東方向に動くこととなった。この運動によって、別府湾中央海域には深い盆状構造が生じ、東部海域には地溝が形成されたと考えられた（由佐ほか、1992）。このような全体的な考えが提起される一方、特に最近の動きについて、竹村ほか（1993）は地下構造のデータから、3カ所の現在も活動的な場所を指摘した。特に南北方向の測線には多数の横ずれ断層の活動の結果と考えられる構造がみられることが別府湾のテクトニクスにとって重要であることを明らかにした。そして、その横ずれ断層の証拠と別府湾奥の重力異常地域の形状、別府湾横断構造線、さらに陸上の断層（朝見川断層や別府北断層）と地震のメカニズムも含めて考えると、フィリピン海プレートのななめ沈み込み運動にともなう右横ずれ断層系の運動の結果として、別府湾の構造ができあがったと解釈できると考えた（Takemura et al., 1994）（図8）。このような解釈は仮説の段階であり、いろいろな観点から検討されねばならないのはもちろんである。また、深い盆状構造の境界部に展開している別府地域の火山・地熱・温泉活動と、この土地の運動との関連性の解明は、将来の大きな研究課題である。

参考文献

- 1) 福田洋一・瀬木 哲・馬渡秀夫・竹村恵二・由佐悠紀：別府地域の重力調査－由布院断層、朝見川断層調査－。大分県温泉調査研究会報告，45（印刷中），1994.
- 2) 竹村恵二・由佐悠紀・北岡豪一：別府湾と大分平野（深部）。地質学論集，41，35－42，1993.
- 3) TAKEMURA, K., YUSA, Y. and ITOH, Y. : Quaternary tectonic movements around Beppu Bay at the western end of the Median Tectonic Line, southwest Japan. Jour. Geod. Soc. Japan, (in press) 1994.
- 3) 由佐悠紀・竹村恵二・北岡豪一・神山孝吉・堀江正治・中川一郎・小林芳正・久保寺章・須藤靖明・井川 猛・浅田正陽：反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下構造。地震，45巻，199－212，1992.

別府地域の火山岩調査(2)

— 北 部 地 域 —

京都大学理学部

竹 村 恵 二
由 佐 悠 紀
馬 渡 秀 夫

はじめに

別府地域の火山岩について化学分析の資料が蓄積されつつある。竹村・由佐(1993)は主に別府南部地域の火山岩及びいくつかの参考試料について蛍光 X 線分析により化学分析を行った。今回は別府北部地域の火山岩の主要成分の分析結果と各岩石の化学的特徴についてまとめる。分析・試料採取にあたっては、I. Graham 博士(ニュージーランド)にご協力いただいた。また標準試料は地質調査所安藤厚氏にお世話になった。

分析試料の記載

分析を行った試料の試料番号、採取地点(火山岩類、地層名)、岩石名は表 1 に示される。層序的には下位より更新世中期輝石安山岩(鹿鳴越火山の輝石安山岩類)、西ノ台流紋岩類、更新世中期角閃石安山岩(高平山火山)、伽藍岳火山、及び鬼箕山火山である(図 1)。鹿鳴越火山の輝石安山岩類は由布一鶴見地溝の北側の唐木山や鹿鳴越(日出北方)に分布している。年代的にはブリュンヌ正磁極期の前半の 50 万年前程度と考えられる。西ノ台流紋岩は鹿鳴越火山の輝石安山岩を覆い、流紋岩の台地を形つくりしている。年代は 40 万年前程度と推定される。高平山火山の角閃石安山岩は直接の関係はわからないが、西ノ台流紋岩を覆うとされる(星住・森下、1993)。伽藍岳火山は由布一鶴見火山群に含まれている。現在も噴気活動が継続している場所である。この西方にスコリア丘からなる鬼箕山火山が位置している。この火山はアカホヤ火山灰(6,300 年前の南九州鬼界カルデラでの噴火による火山灰)に覆われている。

分析方法

分析は蛍光 X 線分析により行った。蛍光 X 線分析は試料に X 線を照射したときに発生する元素に固有の特性 X 線(蛍光 X 線)の波長とその強度から構成元素の濃度を測定する分析法である。分析は以下の手順で行った。

- ：岩石をある程度細かく砕き、さらにタングステンカーバイトミルを用いて粉末にする。
- ：粉末試料(0.5g)と四ほう酸リチウム(無水)(和光純薬製；蛍光 X 線分析用試薬)(5g)を混合し、ガラスビード作成機(東京科学製)を用いてガラスビードを作る。
- ：測定は RIGAKU システム 3030 を用いて行った。

測定結果の定量化は標準試料に工業技術院地質調査所より提供を受けた J シリーズの岩石粉末試料(JA-2、JG-1a、JR-1、JB-1a、JP-1)と京都大学総合人間学部巽好幸助教授より分析いただいた 4 試料を用い、絶対検量線法により行った。

別府北部地域の岩石の化学成分(蛍光 X 線分析結果)

分析は主要 10 成分(SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5)について

行った(表2)。分析結果について、更新世中期輝石安山岩(鹿鳴越火山の輝石安山岩類)、西ノ台流紋岩類、更新世中期角閃石安山岩(高平山火山)、伽藍岳火山、及び鬼箕山火山にわけて議論する。特に、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 、 Al_2O_3 のデータ(図2)に着目して分析結果の考察を行う。

更新世中期輝石安山岩(鹿鳴越火山の輝石安山岩類)は3試料について分析した。これらの岩石は SiO_2 の割合が56.8-57.3%の範囲で、 Fe_2O_3 は7.4-7.8%、 MgO については3.2-3.4%の範囲で、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ は4.5-4.8%の範囲で、 Al_2O_3 は17.4-18.0%である。

西ノ台流紋岩類は1試料である。 SiO_2 が69.7%、 Fe_2O_3 は1.5%で、 MgO については0.1%以下である。 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ は6.6%に達している。 Al_2O_3 は13.7%である。

更新世中期角閃石安山岩(高平山

表1 分析試料リスト

試料番号	採取地点・地層名・火山岩類	岩石名
ONI 01	鬼箕山	角閃石輝石かんらん石安山岩
A19	伽藍岳	角閃石安山岩
D17	伽藍岳	角閃石安山岩
A20	高平山	角閃石安山岩
91071707	高平山	角閃石安山岩
91071708	高平山	角閃石安山岩
D14	高平山	角閃石安山岩
D11	高平山	角閃石安山岩
91071705	鹿鳴越	輝石安山岩
91071706	鹿鳴越	輝石安山岩
A26	鹿鳴越	輝石安山岩
91071509	西ノ台	流紋岩

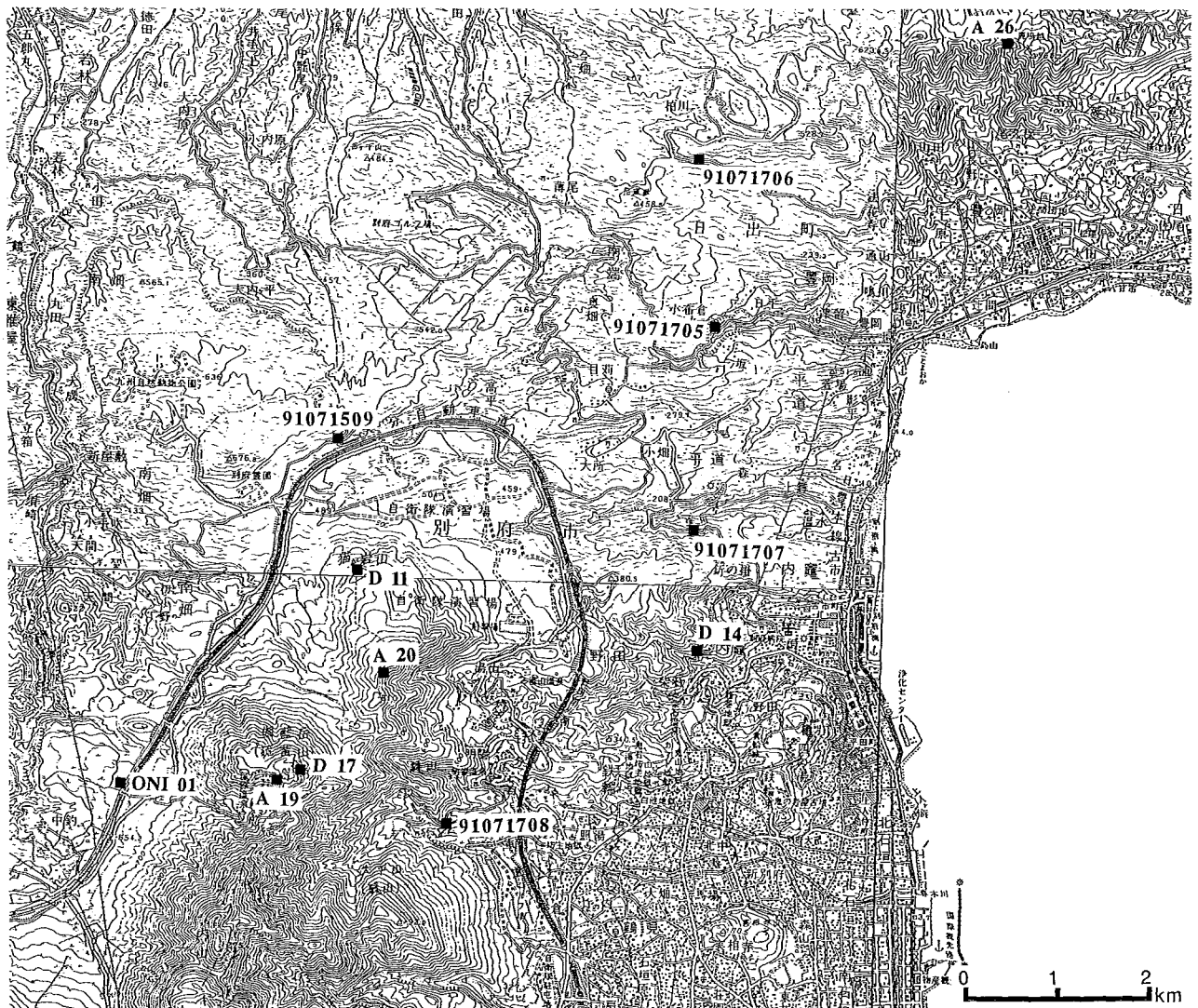


図1 分析試料採取地点(国土地理院発行、50,000分の1地形図『別府』『大分』『豊岡』『豊後杵築』を使用)

表2 蛍光X線分析による別府北部地域火山岩の主要10成分分析結果

試料番号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
ONI01	51.89	1.89	15.13	9.15	0.16	5.92	8.26	3.61	1.55	0.52	98.08
A19	60.71	0.78	16.61	6.00	0.14	2.83	6.09	3.41	1.84	0.17	98.58
D17	60.75	0.85	16.44	6.17	0.13	3.03	6.36	3.21	1.76	0.17	98.87
A20	63.41	0.70	16.18	5.33	0.12	2.30	5.53	3.61	2.09	0.15	99.42
91071707	59.07	0.89	17.26	6.90	0.12	3.03	7.20	3.49	1.51	0.18	99.65
91071708	60.18	0.77	16.34	6.19	0.13	3.60	7.01	3.53	1.62	0.18	99.55
D14	62.89	0.72	16.63	5.49	0.12	2.21	5.36	3.70	1.77	0.16	99.05
D11	64.81	0.62	16.30	4.99	0.12	2.11	5.34	3.70	2.13	0.15	100.27
91071705	57.29	1.04	17.93	7.72	0.15	3.30	7.88	3.66	0.90	0.22	100.09
91071706	56.80	1.09	18.04	7.69	0.14	3.21	7.80	3.62	1.20	0.26	99.85
A26	56.92	1.05	17.46	7.45	0.14	3.41	7.93	3.69	0.91	0.20	99.16
91071509	69.73	0.24	13.66	1.45	0.05	0.05	1.64	3.93	2.68	0.06	93.49

火山)は5試料の分析を行った。SiO₂が59.1–64.8%の範囲で、Fe₂O₃は5.0–6.9%で、MgOについては2.1–3.6%で、Na₂O+K₂Oは5.0–5.8%の範囲で、Al₂O₃は16.2–17.3%である。

伽藍岳火山は2試料の分析を行った。SiO₂が60.7%で、Fe₂O₃は6.0–6.2%、MgOが2.8–3.0%、Na₂O+K₂Oは5.0–5.3%、Al₂O₃が16.4–16.6%である。

鬼箕山火山はSiO₂が51.9%、Fe₂O₃は9.2%で、MgOについては5.9%、Na₂O+K₂Oは5.2%で、Al₂O₃は15.1%である。

これらのデータをSiO₂-Fe₂O₃、SiO₂-MgO、SiO₂-Na₂O+K₂Oの関係図(図2)にプロットした。SiO₂-Fe₂O₃図では明らかな負の相関、SiO₂-MgO図では明らかな負の相関、SiO₂-Na₂O+K₂O図では明らかな正の相関が認められる。

別府北部地域の特徴は、南部地域と比較して、この60万年間に非常にSi分の変化に富む火山活動が続いたことである。すなわちSiの多い(70%)流紋岩(西ノ台火山岩)、角閃石安山岩(高平山火山と伽藍岳火山、Si量は60–64%)、輝石安山岩(鹿鳴越火山、Si量は約57%)、かんらん石安山岩(鬼箕山火山は約52%のSi)と約20%のSi量の幅がある。

由布-鶴見地溝南で朝見川断層の南側の山を構成する小鹿山火山の分析結果(竹村・由佐、1993)と今回報告の鹿鳴越火山の分析結果を比較する。この両者は火山活動の年代がほとんど同じでよく似た火山活動である輝石安山岩からなる。新鮮な乙原溶岩(小鹿山火山群)と今回の鹿鳴越の結果はSiO₂、Fe₂O₃、MgO、Na₂O+K₂Oからみても類似性が高く、星住・森下(1993)も指摘しているように同じ火山活動の産物である可能性が高い。

北部地域の火山岩の中で、塚原高原の鬼箕山は特異な火山として注目されてきた(Matsumoto、1968など)。最近、太田ほか(1992)により、詳細な岩石学的研究が行われ、プレート内の地溝でおこる玄武岩の活動との類似性が指摘されている。今回の分析結果でも、Si量が他の火山岩と比較して非常に低く、塩基性の火山活動であることが示され、同時期の活動である由布岳、鶴見岳、伽藍岳の活動とは成分が大きく異なっていることが理解される。九州中部域でこの種の火山としては阿蘇火山が知られている。竹村・由佐(1993)の阿蘇火山試料の分析結果と比較すると、全体の傾向としては鬼箕山と阿蘇火山試料は類似性が高い。鬼箕山試料がTiがやや多く、Feが少なく、Mg量が多い分析結果である。この特異な性格をもつ鬼箕山火山は別府地域の火山活動やテクトニクスの理解のための重要な火山である。

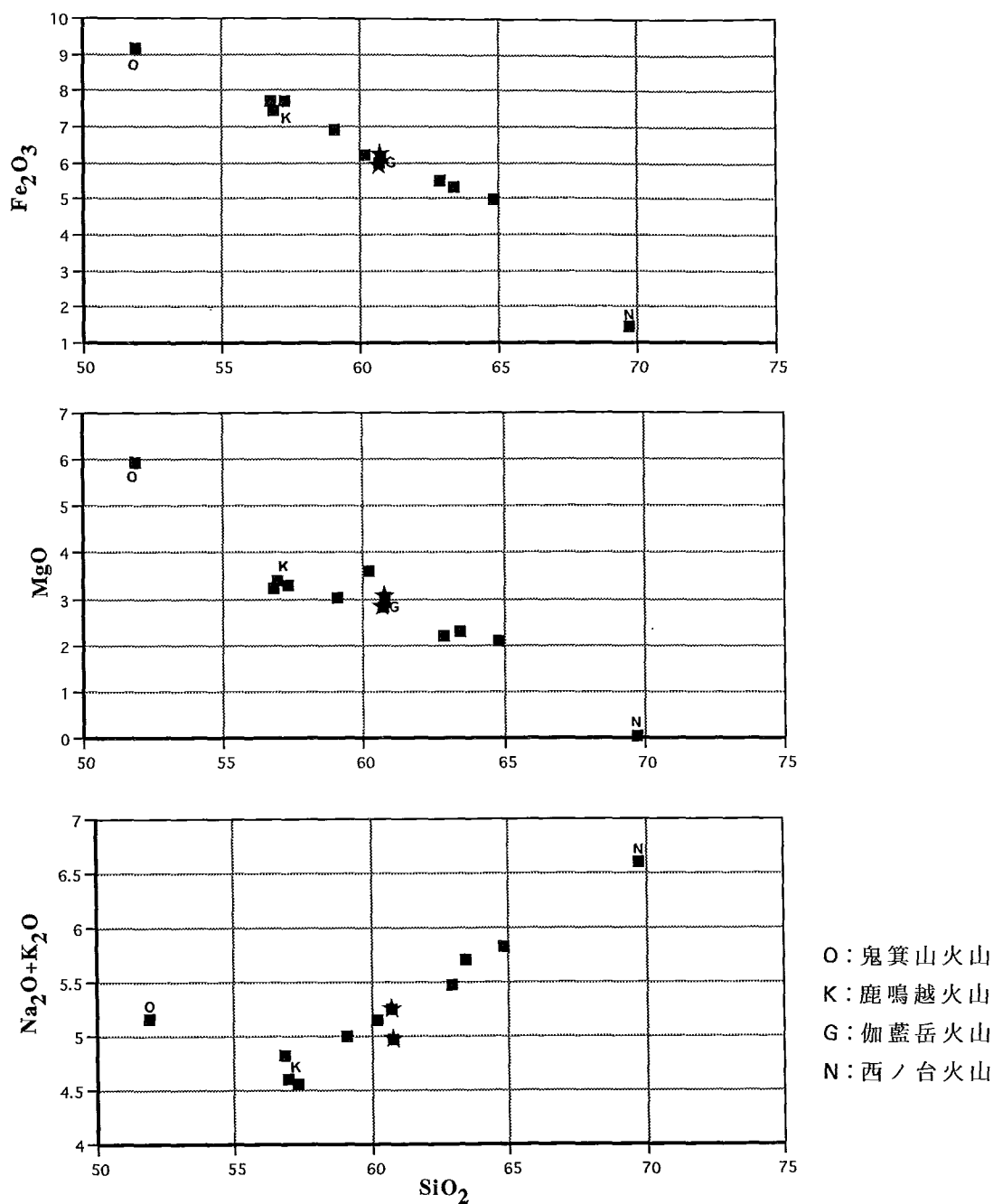


図2 SiO_2 と Fe_2O_3 、 MgO 、 Na_2O+K_2O の関係図

参考文献

- 1) 星住英夫・森下祐一(1993)：豊岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 75p.
- 2) 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, 131p.
- 3) Matsumoto, H.(1988)：Petrological study on rock from Oninomi-yama volcano, Beppu City, Oita Prefecture. Kumamoto Jour. Sci., Ser. B, Sec. 1, vol. 7, 91-94.
- 4) 太田岳洋・長谷中利昭・伴雅雄・佐々木実(1992)：由布-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, 119-131.
- 5) 竹村恵二・由佐悠紀(1993)：別府地域の火山岩調査. 大分県温泉調査研究会報告, 45, 15-24.

別府地域の重力調査

— 由布院断層、朝見川断層調査 —

京都大学理学部

福田 洋一・瀬木 哲
馬 渡 秀夫・竹 村 恵二
由 佐 悠 紀

1 はじめに

重力は、地球の引力と自転に伴う遠心力の合力として定義されており、その値には、地球の中心から地表にいたる密度分布や地球の形状など、多くの情報が含まれている。特に、ある限られた領域における重力の空間分布は、適当なデータ処理を施せば、大部分が比較的浅部の地下密度構造を反映することから、重力測定を利用した重力探査は、代表的な物理探査法の一つとして広く用いられている。京都大学理学部附属地球物理学研究施設においても、従来から、別府およびその周辺地域の地下構造探査の一環として、地震探査などと平行して、重力探査を実施しており（由佐ほか、1992）、別府湾内の地下構造モデルなども提唱してきた（FUKUDA *et al.*, 1994）。

このように、重力探査は、地熱・温泉現象の理解に不可欠な、地下構造を知る有力な手段の一つと考えられているが、平成5年度より、特に、地下水の流動と密接に関連すると考えられる断層系の調査に焦点を絞り、いわゆるマイクログラビメトリとよばれる精密重力探査の手法を用いた調査を開始した。この研究は、従来から実施している別府地域の重力異常データの蓄積を計るとともに、断層を横切る測線に沿って、高密度でかつ高精度の重力測定ならびに水準測定を実施することで、断層面の構造やその位置を精度よく決定することを目的としており、平成5年度は、由布院断層および朝見川断層についての調査を実施した。ここでは、新たに開始した精密重力探査による断層調査の概要について述べるとともに、平成5年度に実施した調査の予備的な解析結果について報告する。

2 精密重力探査と断層調査

空間的に重力値を変化させる最も大きな要因は、緯度の違いによる効果と、高さによる効果である。このうち、緯度の違いによる効果は、地球の形状が近似的には回転楕円体であり、赤道が極に比べ膨れていることと、地球の遠心力が高緯度ほど小さいことによる。これらの効果により、重力の値は赤道上で最も小さく、極で最大となり、その差は5,000mgal (10^{-3} cm/sec^2)にも達する。一方、高さによる効果は、引力が距離の2乗に反比例することによるもので、重力値は、地球の中心から遠いほど、即ち、測定点の標高が高いほど小さくなる。測定点の高さによる重力の減少は、地表付近では、およそ0.3mgal/meterであり、標高1,000mでは、重力値は、海面に比べて約300mgal程度小さくなる。

地球の形状そのものに依存したこれらの効果は、値としては極めて大きいですが、地球と同じ赤道半径、偏平率および質量を持ち、地球と同じ角速度で自転している回転楕円体による重力（これを標準重力とよぶ）によって、極めて良く近似することができる。そこで、重力値そのものの代わりに、このような標準値からのずれとして、フリーエア異常と呼ばれる、「測定点における重力の実測値から、同じ緯度、同じ高さ（正標高）における標準重力を差し引いた値」が定義されている。重力の空間的な分布を表現するために、一般的にはブーゲー異常と呼ばれる量を用いることが多いが、本研究では、後述するような理由で、フリーエア異常を最も基本的な量として用いる。

さて、現在広く用いられている、ラコスト重力計を用いた重力測定の精度は、注意深い測定を行えば、0.01 mgal 程度に達しており、これにさまざまな補正計算の精度等を考慮しても、0.05mgal の精度を確保することはそれほど困難なことではない。一方、フリーエア異常を計算する際に必要な位置および高さの精度は、最終的な精度を 0.05mgal と仮定すると、水平位置にして 20~30m、また、地表付近の重力鉛直勾配 0.3mgal/meter を考慮すると、高さにして 10cm の精度が確保できればよいことがわかる。これらの精度は、測定点の位置決めには 1/25,000 より大縮尺の地図を使用し、各測定点において水準測量を実施するならば容易に達成可能である。すなわち、測定値として 0.05mgal の精度を有するフリーエア異常を得ることは、現在の測定精度を考えるとそれほど困難なことではない。なお、以上の議論は、いずれも対象とする比較的狭い領域内での相対精度についてのものであるが、本研究の目的からは、それぞれの絶対値の精度はそれほど要求されないで、相対精度をもって最終的な精度と考えて差し支えない。

重力探査により地下の密度構造を求める場合、地表付近の地形の影響を避けるため、フリーエア異常に、さらに、地表とジオイド間の物質質量による重力への影響を補正したブーゲー異常¹⁾を用いるのが一般的である。しかしながら、ブーゲー異常を求める際には、地表とジオイド間の物質の密度を仮定する必要がある、その精度は、条件がよい場合でも 0.5mgal、通常は、せいぜい 1mgal 程度である。これは、地表付近の密度分布の仮定に、どうしてもある程度の曖昧さが残るためである。ブーゲー異常を用いる考え方は、基本的には、ジオイド面より下部の、比較的広範囲な密度構造を議論する場合には有効である。しかしながら、本研究の目的である比較的浅部の断層調査のような場合には、地表とジオイド間の密度分布についても、地下密度構造のモデリングの一環として取り扱うべきであり、地下の構造に関してはいかなる仮定も含まない、フリーエア異常を解析の出発点とすべきである。このことは、本研究の重要な主張の一つである。

一般に、重力探査による地下密度構造の推定においては、測定点が面的に分布している方が望ましいことは言うまでもない。しかしながら、本研究においては、精度重力探査による極めて微細な重力構造の検出を目的とし、空間的分解能については 200~300m 以上を目指しており、このような高分解能の測定を面的に実施することは大変な労力を伴うであろうし、また、現実的にも、地形や建造物など物理的な制約で、測定が不可能なことも少なくない。そこで、本研究では、調査の対象として、地形学的、地質学的知見などから、ある程度その位置や走向が予想される断層を選び、それらが基本的には 2 次元構造を持つものと仮定し、その詳細構造の解明に焦点を絞ることとした。このことは、すなわち、測定点の分布を断層に直交する測線に集中することを意味し、結果的に、全体の測定点数の軽減と空間的分解能の向上という相反する条件を両立させることになる。

3 1993 年度実施調査およびその結果

別府周辺地域の地形や地質の概略については、例えば、竹村・由佐 (1993) に簡明な解説があり、それによると、別府地域の地形は、南と北を東西性の断層の挟まれた地溝地域として特徴づけられる。このうち、地溝の北側を画するのが別府北断層であり、南側の境界が今回調査を実施した、由布院断層および朝見川断層である。

3-1 由布院断層系調査

由布院断層についての調査では、その測線を、図 1 に示すように、鶴見岳の南側で、断層の東端付近を横切り、城島高原から猪の瀬戸を経て大分自動車道に至る、由布・鶴見エコーライン沿いに設定した。測定点

¹⁾ ここで言うブーゲー異常は、いわゆる station Bouguer anomaly と呼ばれるもので、より厳密には、対象とする地域の重力鉛直勾配の異常を補正した real Bouguer anomaly を用いる必要がある (例えば、萩原、1978、p119 参照)。

の間隔は、ほぼ 200~300m である。この測線は、いずれ、別府北断層も横切るように、北方へ延長する予定である。

重力測定には、ラコスト重力計 (G-534) を使用し、0.05mgal の相対精度を得るために、全ての測定点で往復測定を行い、往復差の大きな測点については再測を行った。その他、具体的な測定方法、一次データ処理の方法等については、一般に、精密重力測定の際に採用される方法 (例えば、中井・中川、1983) に従った。また、ラコスト重力計では、相対的な重力差だけが測定可能であるので、重力の絶対値は、最終的に、JGSN'75 (国土地理院、1976) に準拠した大分地方気象台の一等重力点での重力値を基準として算出した。従って、重力の絶対値に関しては、JGSN'75 の精度である 0.1mgal 程度の値が推定されるが、先にも述べたように、本研究の目的には、絶対値の精度は問題とならないことに改めて注意しておく。

一方、各測定点の標高は、ウィルド社製 NA3000 デジタル・レベルを用いた水準測量によって決定した。NA3000 デジタル・レベルで

は、計測に、画像処理技術を応用したバーコード標尺の自動読取り方式が用いられており、また、測定値も内蔵のメモリーカードに自動的に保存されるため、人為的な測定ミスはほとんど発生しなくなっている。また、要求される標高の精度は、重力測定の精度との兼合から、10cm 程度でよく、作業効率を考慮し、水準測量については片道の測定だけを行った。なお、水準測量の基準点としては、最寄りの水準点を使用すべきであるが、今回の測線の近傍には適当な水準点が見つからなかったため、標高の絶対値の基準として、仮に、エコライン上の独立標高点の値を使用することにした。従って、標高の絶対値については、最大 1m 程度の誤差の含まれる可能性があるが、重力値の場合と同様に、本研究の目的には問題とならない。

測定結果の一覧を、表 1 に示す。表中の緯度、経度は、1/10,000 都市計画図、または、1/25,000 地形図から読み取ったものである。また、標高の値については、先に述べた理由で、今後改訂される可能性がある。図 2 に標高とフリーエア異常のグラフを示す。ただし、横軸は測定点の並びであり、実際の距離を表したものでないことを注意しておく。先にも述べたように、図 2 に示した標高およびフリーエア異常の精度は、全て測定に係わるもののみで、それぞれ、10cm、0.05mgal より良いと推定できる。従って、図中のプロットは、その原因が地表付近にあるのか、地下にあるのかは別として、値としては全く正しいと考えて差し支

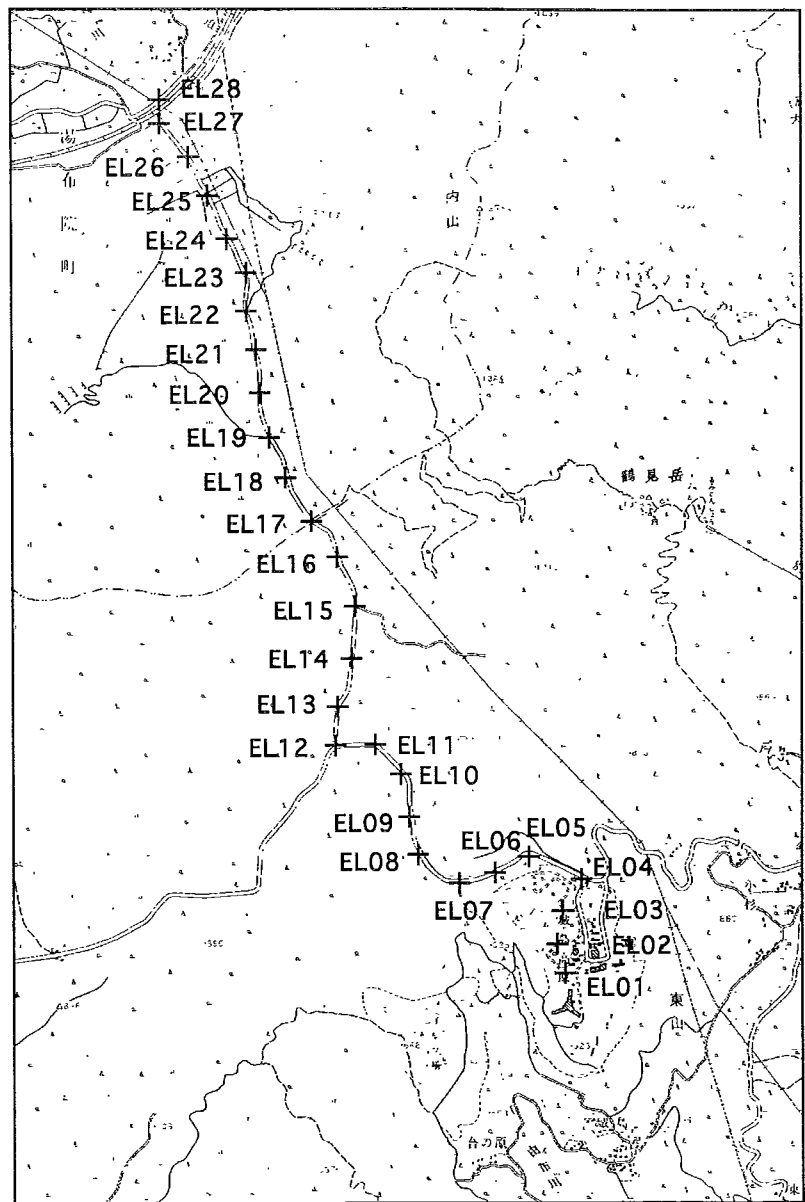


図 1 由布院断層重力調査測定点

表1 重力および水準測量結果 (由布院断層)

STATION NAME	LATITUDE 33°		LONGITUDE 131°		HEIGHT METER	GRAVITY MGAL	FREE-AIR ANOMALY MGAL
	MIN	SEC	MIN	SEC			
EL01	15	47.0	25	40.2	641.11	979421.481	31.36
EL02	15	50.3	25	38.0	653.14	979419.114	32.62
EL03	15	54.0	25	37.2	661.90	979417.451	33.58
EL04	15	57.8	25	42.1	680.72	979413.388	35.24
EL05	16	1.1	25	33.0	685.42	979412.114	35.34
EL06	15	58.9	25	26.2	688.44	979410.335	34.54
EL07	15	56.4	25	18.7	691.64	979408.797	34.05
EL08	16	1.2	25	10.2	695.69	979407.649	34.04
EL09	16	8.0	25	8.2	697.51	979408.422	35.22
EL10	16	15.9	25	5.2	699.11	979408.599	35.71
EL11	16	19.8	24	59.9	704.62	979407.711	36.43
EL12	16	19.6	24	52.2	709.70	979405.703	36.00
EL13	16	27.2	24	53.4	723.14	979402.982	37.25
EL14	16	34.8	24	55.6	748.80	979398.115	40.12
EL15	16	43.5	24	56.5	780.45	979391.654	43.23
EL16	16	52.0	24	52.7	808.24	979385.760	45.71
EL17	16	58.5	24	46.9	814.78	979384.422	46.25
EL18	17	3.3	24	43.0	801.02	979387.248	44.72
EL19	17	10.1	24	39.1	788.43	979389.908	43.33
EL20	17	17.6	24	37.3	773.34	979393.101	41.70
EL21	17	25.9	24	35.9	759.56	979396.098	40.25
EL22	17	31.3	24	34.6	744.25	979399.741	39.05
EL23	17	38.1	24	34.2	724.44	979404.614	37.65
EL24	17	44.0	24	30.7	702.42	979410.689	36.79
EL25	17	50.7	24	26.9	682.53	979416.307	36.12
EL26	17	57.4	24	22.2	660.71	979422.150	35.07
EL27	18	3.4	24	17.5	638.91	979427.817	33.87
EL28	18	9.2	24	20.1	628.96	979430.401	33.25

えない。

図2の一般的な傾向として、標高とフリーエア異常が良い相関にあることに気付く。これは、フリーエア異常が、まず、地形による質量過剰を反映していることを考えると当然である。従来のブーゲー異常を用いる考え方では、地下構造の解析に先立ち、適当な表層密度を仮定して、まず、このような地形の影響を補正していた。しかし、本研究では、地形の影響の除去と地下構造解析とを区別せず、両者のモデリングを同時に行うという立場である。このような方針での精密な解析は今後の課題であるが、図2では、EL06~EL09の測点付近で、フリーエア異常が標高の変化に対応しておらず、何らかの異常があることが推定できる。これらの測定点は、予想される由布院断層の位置と一致しており、低重力異常の原因としては、破碎による密度の低下等が考えられる。

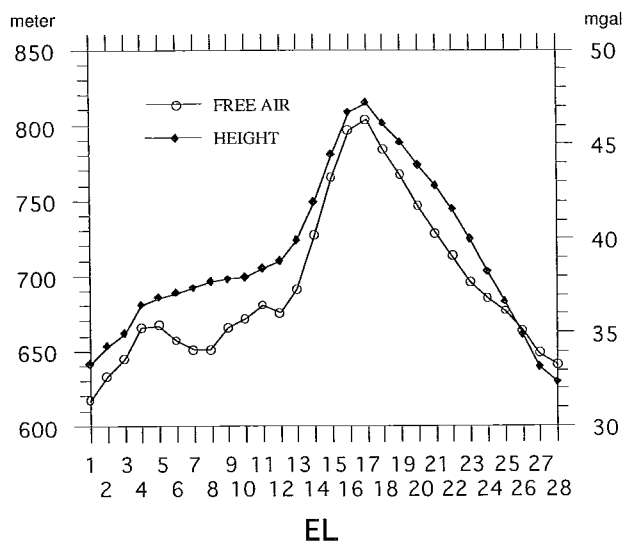


図2 フリーエア異常と標高（由布院断層）

3-2 朝見川断層系調査

朝見川断層は、地形的観察によると、鶴見岳東方からはぼ朝見川に平行して、観海寺、浜脇、別府湾へと続き、別府南部山地と別府扇状地との境界を為すと考えられる。しかし、その正確な位置や断層の構造については、必ずしも明らかではない。

今回の調査では、朝見川に直交する方向を基本として、図3に示すような測定点を設定し、重力測定ならびに水準測定を実施した。それぞれの測定方法については、基本的に、由布院断層系の調査と同じであるが、測定点の間隔は、100m~200m程度と、さらに高密度に設定した。また、水準測定の基準点としては、HM01~HM19については、国土地理院の水準点SF2217（図3ではHM16）を、その他の測定点については、BM1941と接続されている京都大学地球物理学研究所内の基準点を、それぞれ用いた。

表2は測定結果の一覧であり、緯度、経度の値は、1/2,500および1/10,000都市計画図に基づいている。図4. 1~4. 5は、測定点のプロファイルに沿ってのフリーエア異常と標高を示したもので、横軸は、図2と同様に、単に測定点の並びを示したものである。

これらの図の一般的な特徴として、フリーエア異常と標高の変化がよく対応しており、少なくとも、図2に見られるような、断層に関連

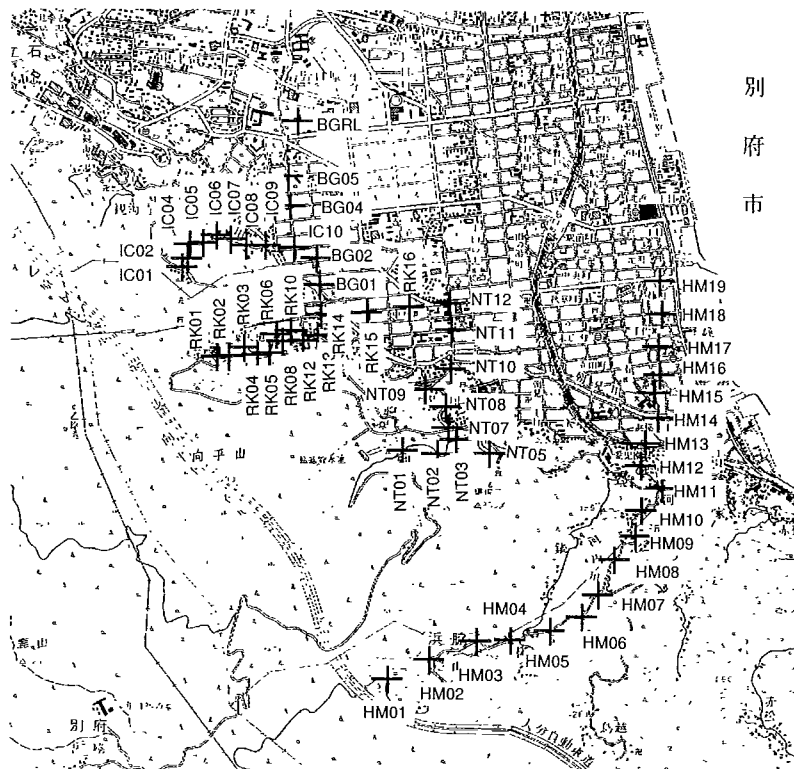


図3 朝見川断層重力調査測定点

した顕著な重力異常等は認められないことである。しかしながら、例えば、図 4. 1 の HM13 から HM19 にかけて、フリーエア異常の減少勾配がきつくなることなど、全般的には、朝見川を境とした傾向の違いがあるようにも思われる。詳細については、周辺の地形の影響等を考慮した、今後の解析を待つ必要がある。

表 2 重力および水準測量結果（朝見川断層）

STATION NAME	LATITUDE 33°		LONGITUDE 131°		HEIGHT METER	GRAVITY MGAL	FREE-AIR ANOMALY MGAL
	MIN	SEC	MIN	SEC			
BG01	16	26.4	29	21.8	45.37	979554.581	-20.30
BG02	16	30.9	29	21.2	50.25	979553.341	-20.13
BG04	16	39.6	29	16.0	66.10	979549.347	-19.44
BG05	16	44.7	29	15.4	72.66	979547.797	-19.08
BGRL	16	54.4	29	16.9	75.66	979546.565	-19.61
HM01	15	19.6	29	36.8	268.47	979503.652	-0.84
HM02	15	22.2	29	44.4	216.70	979515.200	-5.33
HM03	15	26.4	29	54.3	182.00	979522.510	-8.82
HM04	15	25.9	30	1.2	161.07	979527.049	-10.73
HM05	15	27.4	30	8.6	134.42	979532.612	-13.43
HM06	15	29.6	30	13.8	114.16	979536.646	-15.69
HM07	15	33.3	30	17.8	101.63	979539.287	-17.01
HM08	15	39.4	30	21.1	93.74	979541.264	-17.61
HM09	15	43.8	30	25.9	75.64	979545.059	-19.50
HM10	15	47.9	30	26.2	59.10	979548.593	-21.16
HM11	15	52.2	30	30.9	41.63	979552.255	-22.99
HM12	15	56.1	30	26.8	9.90	979559.028	-26.10
HM13	15	59.6	30	27.6	5.68	979560.547	-25.96
HM14	16	4.1	30	30.0	3.38	979561.002	-26.32
HM15	16	8.2	30	29.4	1.98	979560.991	-26.86
HM16	16	11.9	30	30.7	3.00	979560.206	-27.41
HM17	16	16.4	30	30.3	2.26	979559.737	-28.21
HM18	16	21.8	30	31.0	2.82	979558.825	-29.08
HM19	16	27.6	30	30.0	2.62	979558.301	-29.80
IC01	16	29.3	28	52.9	188.24	979526.190	-4.66

IC02	16	30.2	28	55.2	174.90	979529.156	-5.84
IC04	16	32.6	28	55.3	152.32	979533.549	-8.47
IC05	16	33.3	28	57.9	136.54	979536.547	-10.36
IC06	16	34.5	29	0.7	112.81	979541.209	-13.04
IC07	16	33.2	29	4.0	96.85	979544.332	-14.82
IC08	16	33.2	29	7.2	78.89	979547.635	-17.06
IC09	16	33.2	29	11.4	62.94	979550.816	-18.80
IC10	16	32.6	29	17.1	56.76	979551.893	-19.61
NT01	15	59.3	29	40.1	151.07	979529.674	-11.96
NT02	15	57.5	29	46.7	133.00	979534.097	-13.07
NT03	16	0.3	29	48.9	118.19	979537.323	-14.48
NT05	15	58.4	29	56.1	89.82	979542.829	-17.69
NT07	16	2.2	29	48.6	71.59	979547.818	-18.41
NT08	16	6.2	29	47.3	61.41	979551.457	-18.01
NT09	16	9.1	29	44.1	49.27	979554.193	-19.08
NT10	16	11.6	29	47.4	28.36	979558.729	-21.06
NT11	16	18.5	29	48.8	21.27	979560.362	-21.77
NT12	16	23.6	29	48.4	23.13	979559.587	-22.09
RK01	16	13.5	29	1.5	191.95	979524.445	-4.90
RK02	16	14.2	29	4.4	175.08	979527.860	-6.71
RK03	16	16.0	29	6.9	163.59	979530.777	-7.38
RK04	16	14.4	29	8.9	141.85	979534.905	-9.92
RK05	16	14.4	29	11.8	129.07	979537.219	-11.55
RK06	16	17.1	29	12.6	120.72	979538.751	-12.66
RK08	16	16.5	29	13.3	101.10	979542.573	-14.88
RK10	16	18.0	29	15.4	82.86	979546.380	-16.73
RK12	16	17.1	29	19.0	58.24	979551.547	-19.14
RK13	16	18.4	29	21.8	48.58	979553.698	-20.01
RK14	16	21.6	29	22.7	41.11	979555.478	-20.60
RK15	16	22.0	29	31.3	33.97	979557.487	-20.81
RK16	16	22.8	29	39.7	28.23	979558.845	-21.24

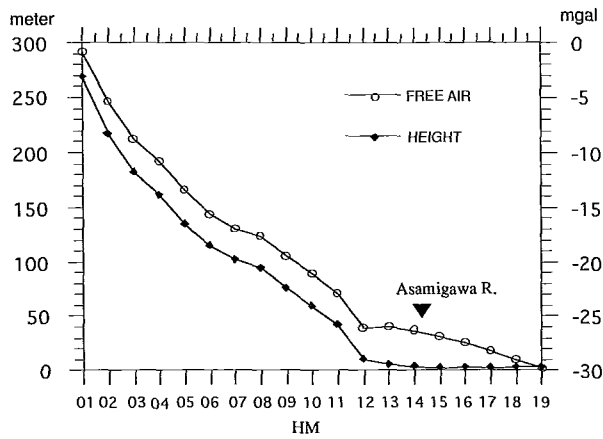


図 4. 1 フリーエア異常と標高
(朝見川断層、浜脇測線)

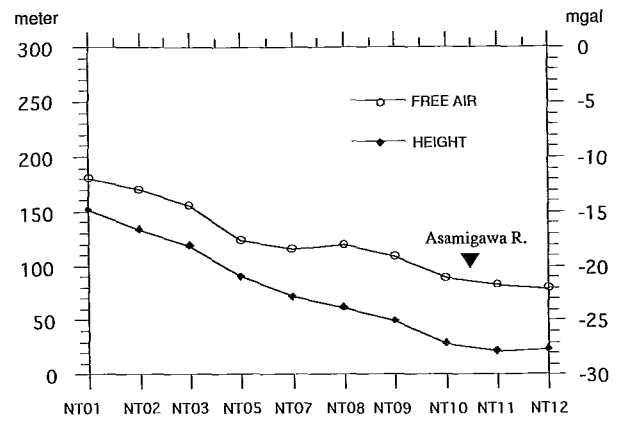


図 4. 2 フリーエア異常と標高
(朝見川断層、朝見神社測線)

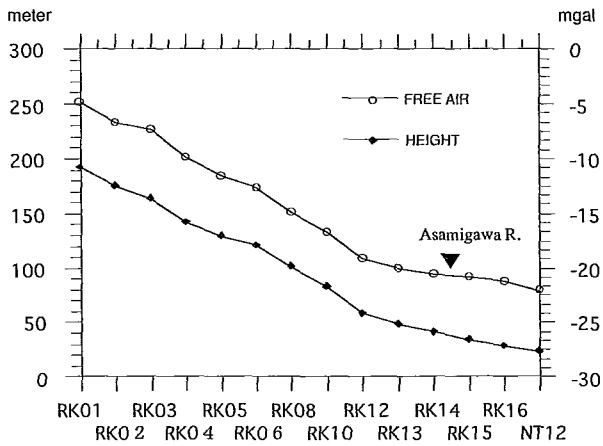


図 4. 3 フリーエア異常と標高
(朝見川断層、ラクテンチ測線)

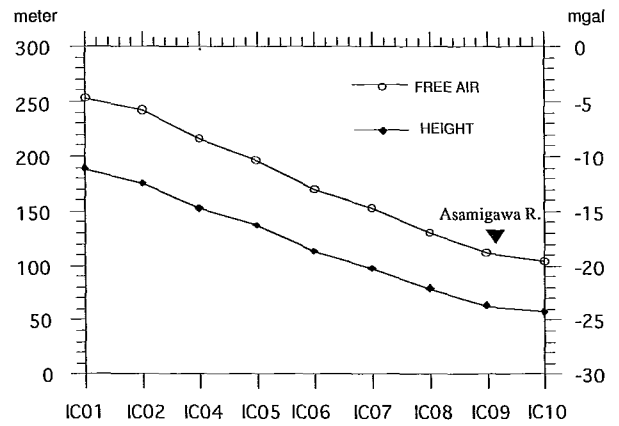


図 4. 4 フリーエア異常と標高
(朝見川断層、一の出測線)

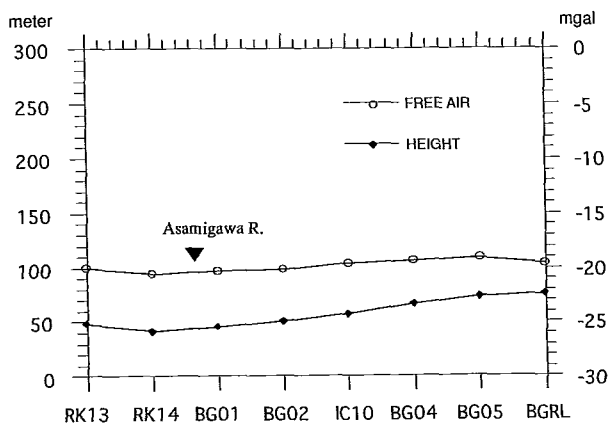


図 4. 5 フリーエア異常と標高
(朝見川断層、研究所測線)

4 おわりに

精密重力調査による断層構造の調査は、平成5年度より新たにスタートした研究課題であり、特にその意義と、調査の概要について報告した。得られたデータの詳細な解析は今後の課題であるが、由布院断層については、かなり顕著な低重力異常が見受けられる。一方、朝見川断層系については、今のところ、そのような異常は見受けられないが、重力、水準ともに高精度のデータを取得しており、今後、地形、地質データを加味し、これらの精度に見合う解析を行えば、また、新たな知見を得る可能性も残されている。

本研究は、まだスタートしたばかりであり、今後、解析の進行状況にあわせ、必要に応じて補遺的な測定を実施するなど、両断層の調査を継続するとともに、別府北断層など、新たなフィールドについても同様な調査を実施する予定である。

最後に、重力測定ならびに水準測定に際しては、京都大学理学部地球物理学教室の学生諸氏の協力をいただいた。また、株式会社西日本後楽園には、敷地内における測定を快く許可いただいた。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) Fukuda, Y., Y. Yusa, K. Kitaoka, K. Takemura, S. Ohsawa, T. Hayama, T. Segi, T. Higashi and I. Nakagawa (1994) : Gravity survey at a tectonic singularity, the Beppu bay area, North-east Kyushu, Japan, Submitted to Proc. CRCM'93.
- 2) 萩原幸男 (1978) : 地球重力論, 共立全書, pp. 242.
- 3) 国土地理院 (1976) : 日本重力基準網 1975 の設定, 測地学会誌, 22, 65-76.
- 4) 中井新二・中川一郎 (1983) : LaCoste 重力計 (G 型) による精密重力測定および国際重力結合における問題点, 月刊地球, 45, 175-178.
- 5) 竹村恵二・由佐悠紀 (1993) : 別府地域の火山岩調査, 大分県温泉調査会報告, 44, 15-24.
- 6) 由佐悠紀・竹村恵二・北岡豪一・神山孝吉・堀江正治・中川一郎・小林芳正・久保寺章・須藤靖明・井川猛・浅田正陽 (1992) : 反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下構造, 地震, 45, 199-212.

大分県内温泉の泉質分類と泉質分布図の作成

京都大学理学部

大 沢 信 二
北 岡 豪 一
由 佐 悠 紀

1 はじめに

泉質の形成されるプロセスは、温泉を研究する者にとって大変興味深い問題である。昨年度の報告で、泉質形成過程を理解するための1つの手段として、化学熱力学を応用した方法が有効であることを紹介した(大沢ほか、1993)。しかし、当然のことではあるが、研究手法は複数あってしかるべきであり、むしろ複数の手法を適用して、それぞれの結果を相互に比較しながら真の解答を探るとというのが、最も確実な方法であると信ずる。

他の方法の1つとして、温泉水の化学分析値を適当な基準により分類し、これをもとに温泉の生成機構を論じるという伝統的な方法がある。D. E. White, A. J. Ellis and W. A. J. Mahon, A. H. Truesdellなどの行った研究が、このスタイルをとったものである(野田・高橋、1992)。しかし、このような手法をとる場合には、偏った物の見方をしないように、可能な限り多くの分析データを収集する必要がある。理想的には、存在する全ての泉質の温泉水を採取・分析しなければならないが、存在する全ての泉質を網羅しているかどうかは、神のみぞ知ることである。現実的には、絨毯爆撃的にデータを収集するしかないが、少数のデータに基づいた一人よがりの議論を展開するよりは良心的であろう。しかしながら、一口に多くのデータの収集とはいっても、簡単に行えることではない。また、収集できたとしてもデータの整理や分類といった作業は大変な労力を要するものである。しかし、幸いにも大分県は温泉の開発や研究の盛んなところであり、多くの温泉の水質分析値が整備されている。また、近年のパーソナル・コンピュータは性能を格段に上げ、かなり高度なデータの処理事業を可能にした。したがって、大分県の温泉についても、温泉水の化学分析データの分類に基づいた温泉の生成機構を論じる研究を行うための下地ができたと考えてよいであろう。

これまでに大分県全体の温泉について、温泉の水質形成機構の解明を念頭に置いた化学分析値の整理・分類に関する研究が断片的にしか行われなかった理由は、ひとえに基礎資料の整理・分類の難しさにあったと思われる。我々は、以上のような情勢を踏まえ、本年度より、温泉水の化学的分類に基づいた温泉の水質形成過程の解明に関する研究を行うことにした。

本年度は、まず大分県全体の温泉の化学分析値の整理・分類および県全体の大雑把な泉質分布図の作成を試みた。これら一連の作業には、市販のパーソナル・コンピュータ(NEC PC9801DX および Apple Macintosh Classic II)を使用した。なお、化学分析データは、大分県温泉調査報告温泉分析書のものを利用した。先にも述べたように、大分県全体についての研究を進めていくためには、できる限り網羅的なデータを準備することが不可欠である。我々の所属する京都大学理学部地球物理学研究施設では、県内温泉の地球科学的研究が行われ、データの蓄積も多いが、残念ながら研究の対象となった温泉は地理的に偏りがある。自前のデータを利用しなかった最大の理由はここにある。長年にわたり温泉水の化学分析にたずさわってこられた関係者の方々に敬意を表します。

2 県内温泉の化学分析データの整理・泉質分類および泉質分布図作成の方法

2-1 データの整理

自然状態での泉質形成過程の議論を最終目的としているため、温泉水の形成に人手の入った温泉の化学

分析データは利用しなかった。すなわち、蒸気吹込み型・混合泉・引き湯などの記載のある温泉はできるかぎり除外した。また、源泉名が同じものについては、湧出地の住所や分析値を比較し、別個の温泉とするか否かを決めた。整理の対象にした温泉の要素は、水温、pH、蒸発残渣（TSM）および主要化学成分（ Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HSO_4^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} ）である。以上の構成要素を1つのデータセットとした。なお、多くの構成要素を欠くセットは整理の対象から除外した（例えば、陽イオンのデータが Na^+ 、 K^+ のみのものなど）。ただし、微量であるために分析されていないと経験的に判断できるもの、例えば、地熱開発により採取されるようなNa-Cl型温泉水の Mg^{2+} の分析値は、ゼロとして取り扱った。また、湯布院町の塚原温泉にみられるような強酸性の温泉水には著量の Al^{3+} 、 Fe^{2+} が溶存しており、本来ならば主要成分として取り扱う必要がある。しかし、これらをデータセットの中に入めると、かなりの数の温泉がデータ整理の対象からはずれてしまい、「はじめに」の項で述べたような危険性が生じてくる。したがって、当面は Al^{3+} 、 Fe^{2+} はデータセットから割愛した。今後必要であることが明確になった段階で、修正をすることにしたい。

実際のデータの整理には、簡単なデータベース機能を備えた市販の表計算ソフト（Lotus 1-2-3）を利用し、化学分析に関するデータは、後々の化学的なデータ解析を考慮し、当量濃度値で入力した。その一例を表1に示す。なお、この表には、後述の泉質分類のための陽・陰各イオンごとの当量百分率値（例えば、アルカリ元素については、 $\{(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \times 100\}$ ）も示してある。以上の入力作業を県内58市町村について行った。

入力の対象としたデータセットは、原則としてこれまでに報告のあるもの全てであるが、別府市・九重町・大分市・湯布院町の4市町については分析値が余りにも膨大なため過去10年間のものに限った。

2-2 泉質の分類

「2-1」で示した1データセットの9個の構成要素のうち、 Na^+ と K^+ 、 HSO_4^- と SO_4^{2-} および HCO_3^- と CO_3^{2-} をそれぞれ単一の要素としてalk、sulf、carbで表した。そしてこれら6個の要素の中から含有割合の大きい要素を用いて泉質名を表わす分類法を採用した。これら6つの要素の組合せのうち、陽イオングループのみ、あるいは陰イオングループのみでの組合せは化学的に存在しないので、それらを除くと組合

表1 大分県内温泉の化学データの整理の一例

安心院町												
#1 巻	#2 源泉名	水温	pH	TSM(g/kg)	当量 (meq/l)*****							
					Na	K	Na+K	Ca	Mg	Cl	HSO4	SO4
29	A	21.20	7.50	0.10	0.64	0.11	0.75	0.66	0.72	0.25	0.00	0.03
31	B	45.00	7.59	4.41	59.20	2.79	61.99	6.49	4.15	67.10	0.00	0.01
44	C	43.00	7.80	2.00	31.91	0.59	32.50	0.80	0.35	20.70	0.00	0.01
39	D	40.30	8.44	0.43	5.31	0.23	5.54	0.53	0.04	4.26	0.00	0.01
	平均	41.65	8.12	1.21	18.61	0.41	19.02	0.67	0.19	12.48	0.00	0.01
34	E	38.70	8.08	0.53	7.92	0.08	8.00	0.31	0.21	1.20	0.00	0.04
33	F	46.00	8.57	0.22	2.65	0.04	2.69	0.03	0.01	0.13	0.00	0.03
34	G	34.50	8.58	0.73	10.92	0.05	10.97	0.09	0.04	1.47	0.00	0.07
30	H	48.50	9.10	0.31	3.05	0.09	3.14	0.12	0.05	0.19	0.00	0.02
	平均	41.93	8.58	0.45	6.13	0.07	6.20	0.14	0.08	0.75	0.00	0.04

#1 大分県温泉調査報告温泉分析書の巻番号 #2 実際は実名が記載してある #3 alk : $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, carb : $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$

せの数は49となる。即ち、陽・陰イオンはそれぞれ3個の要素をもつので、それぞれ7個の組合せが存在する。陽・陰イオンを合わせると7×7の合計49個の組合せが存在することになる。一方、酸性の温泉水は、これら49種の泉質の温泉とは基本的に別のものと考え、酸性のグループ (pH4以下) として acid という要素を与え、さらに21種を準備した。ここで酸性泉の泉質の数が、それ以外の温泉のものより少ないのは、酸性泉が HCO₃ と CO₃²⁻ を主要成分として含みえず、carb が組合せの要素に含まれないからである (酸性泉では、炭酸物質は遊離炭酸の形をとる)。以上の操作で、合計70種の泉質が準備されたことになる。なお、各温泉水のデータセットを70種の泉質に分類するに当たって、次のような基準をもうけた。すなわち、陽イオン・陰イオンのそれぞれについて当量百分率で20%未満のものは、泉質を決める要素にはならないとした。この20%という数値は、分析データを次項でのべるヘキサダイアグラムで表示した際、視覚的に主要成分とそうでないものを区別する値として設けたもので、何らの化学的意味はもたない。泉質形成過程を議論する段階に入る前に化学的な裏付けを行うか、あるいは化学的に意味のある値に置き換える必要がある。この点は今後の課題としたい。

2-3 泉質分布図の作成

泉質分布図の形式としては、由佐 (1988) がくじゅう地域の温泉に適用した主要化学成分のヘキサダイアグラム (図1) を湧出地点に添えたものに準じた。ただし今回は、個々の温泉のヘキサダイアグラムを各湧出地点に添える方法は採らず、次に示す方法を採用した。まず、各市町村ごとの温泉水のデータセットを各泉質に割り当て、泉質ごとに分析値の平均を求める。この平均値を用いて、ヘキサダイアグラムを作成し、大分県市町村区域図の上に貼込む。このような大雑把な泉質分布図を、これより「平均的な泉質分布図」と呼ぶことにする。

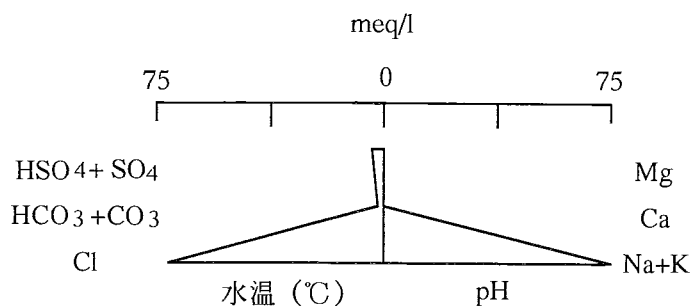


図1 主要化学成分を用いた水質のヘキサダイアグラムの一例

当量百分率 *****										# 3
HSO4+S04	HC03	C03	HC03+C03	Na+K	Ca	Mg	Cl	HSO4+S04	HC03+C03	
0.03	1.85	0.00	1.85	35.14	31.03	33.83	11.53	1.46	87.01	alk,Ca,Mg-carb
0.01	3.51	0.00	3.51	85.35	8.94	5.71	95.02	0.01	4.97	alk-Cl
0.01	13.08	0.07	13.15	96.58	2.38	1.04	61.13	0.03	38.84	alk-Cl,carb
0.01	1.33	0.32	1.65	90.67	8.67	0.65	71.96	0.17	27.87	alk-Cl,carb
0.01	7.21	0.20	7.40	93.63	5.53	0.85	66.55	0.10	33.35	
0.04	6.83	0.96	7.79	93.90	3.64	2.46	13.29	0.44	86.27	alk-carb
0.03	2.54	0.00	2.54	98.53	1.10	0.37	4.81	1.11	94.07	alk-carb
0.07	9.18	1.73	10.91	98.83	0.81	0.36	11.81	0.56	87.63	alk-carb
0.02	2.47	0.37	2.84	95.06	3.49	1.46	6.28	0.69	93.03	alk-carb
0.04	5.26	0.77	6.02	96.58	2.26	1.16	9.05	0.70	90.25	

3 結果および考察

データ整理の過程で、大分県の58市町村のうち、温泉（正確には温泉分析値）のある市町村は37であることがわかった。なお、記載のなかった市町村は、中津市・安岐町・大山町・中津江村・上津江村・佐賀関町・荻町・朝地町・大野町・犬飼町・千歳村・緒方町・清川村・野津町・本匠村・津久見市・上浦町・弥生町・鶴見町・米水津村・蒲江町の21市町村であった。また、わずか1個のデータセットしか存在しないところは、姫島村・院内町・香々地町・国東町・前津江村・三重町・武蔵町・大田村・佐伯市・宇目町の10市町村であった。

今回の整理および泉質分類の対象となった温泉は、総計783源泉であった。このうち別府市・九重町・大分市・湯布院町は、それぞれ186、118、80、103データセットであり、過去10年間の資料に限ったがそれでも全体の62%に及んでいる。このことから、今回整理をしたデータの総括的な統計処理、例えば県全体での水温やpHの頻度分布図の作成などは、これら4市町村の情報を過分に含んだものである可能性があり、取り扱いには注意を要する。本報告では、各市町村ごとの水温・pH・蒸発残渣量（TSM）の頻度分布表を示した（表2-1、2-2、2-3）。これらの表から次のような事柄が読み取れる。

- (1) 水温が65℃を越える温泉が2件以上ある市町村は、天瀬町・別府市・九重町・湯布院町である。これらの市町はいわゆる別府-島原地溝内に位置し、別府市・九重町・湯布院町には鶴見岳・ガラン岳・九重硫

表2-1 大分県内温泉の水温・pH・蒸発残渣量の頻度分布表（水温）

Temp. (℃)	Temp. (℃)									合計
	-25	25-35	35-45	45-55	55-65	65-75	75-85	85-95	95-	
安心院	1	1	2	4						8
天瀬		1	5	15	13	9	6	12	5	66
別府		3	13	59	56	42	41	10	22	186
豊後高田	3									3
挾間	2	3	7	5						17
日出	1	4	1	2						8
姫島	1									1
久住	1	4	6	2		1				14
日田	1		6	2						9
本耶馬溪	2		1	1						4
院内						1				1
香々地			1							1
杵築		3	6	1						10
九重	4		26	19	33	8	12	7	9	118
国東	1									1
国見		3								3
玖珠	1	4	12	6	3			1		27
前津江	1									1
真玉			6							6
三重	1									1
武蔵		1								1
直入		2	11	22						35
直川	4									4
野津原	7									7
大分	1	4	15	55	5					80
大田		1								1
佐伯	1									1
三光	3									3
庄内	6	2	5	4	3					20
竹田	4	2								6
宇目	1									1
宇佐	2	1	2							5
白杵	3									3
耶馬溪		2	16	2						20
山香	2									4
山国		3	1							4
湯布院		4	12	21	34	12	11	6	3	103
合計	54	50	154	220	147	42	41	36	39	783

表2-2 大分県内温泉の水温・pH・蒸発残渣量の頻度分布表（pH）

pH	pH											合計
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11		
安心院							3	4	1			8
天瀬						8	31	23	4			66
別府		7	5	5		12	78	77	2			186
豊後高田						3						3
挾間					1	5	5	6				17
日出							4	4				8
姫島						1						1
久住	1				4	8	1					14
日田		1					4	4				9
本耶馬溪						2	1	1				4
院内								1				1
香々地							1					1
杵築						1	8	1				10
九重	1	1	20	5	8	19	36	27	1			118
国東							1					1
国見							1	1	1			3
玖珠	1	4	12	6	3		2	12	11	2		27
前津江		1										1
真玉						3	3					6
三重								1				1
武蔵							1					1
直入					1	21	12	1				35
直川							2	2				4
野津原							6	1				7
大分						1	5	12	62			80
大田								1				1
佐伯							1					1
三光							1	1	1			3
庄内						2	4	3	10		1	20
竹田							3	2	1			6
宇目									1			1
宇佐							3	2				5
白杵								2	1			3
耶馬溪								12	8			20
山香							2	2				4
山国								1	3			4
湯布院	1						2	36	62	2		103
合計	3	10	25	10	17	113	278	314	12	1		783

水温・pH・蒸発残渣量の分類欄の数値の範囲（A-B）はA以上B未満を表す。

黄山という噴気活動が認められる火山が存在する。大雑把に、これらの高温泉の存在する原因を活火山からの熱に求めることは可能である。しかし、天瀬町の周辺には熱源となりうるような活動的な火山は存在しないことから、活火山以外の熱源あるいは高温熱水を遠方から運びうる地質構造を考えなくてはならない。本研究の性格上この問題にこれ以上深く立ち入ることはできないが、いずれにせよ、天瀬町に飛び地的に存在する水温が65℃以上の一群の高温泉の存在は興味深い事実である。

(2) pHについては、いずれの市町村も6から9までのものが多い。酸性泉は別府市・久住町・日田市・九重町・前津江村・湯布院町にみられるが、日田市・前津江村のものを除くと、水温と同様にその原因は活火山の存在に関係するとみることができる。活火山から離れた位置にある前津江村・日田市に酸性泉が存在する理由については、本研究のレベルから明確にすることはできないが、いずれも水温20℃以下の硫酸酸性の冷泉であることから、非火山性のおそらく硫化物のような還元型硫黄化合物の酸化により生成した硫酸が酸性の原因と推測される。

(3) 蒸発残渣量(TSM)については、水温・pHほど特筆すべきものはないが、あえて挙げるとすれば10g/kg以上の多量の物質の溶存した温泉水の湧出が、挾間町・日出町・香々地町・国見町・真玉町・野津原町・大分市・山香町の8市町でみられた。このような高い塩濃度を示す温泉が存在することは、周知の事実であるが、どのようなプロセスで生成されるかについての詳細な地球化学的研究が望まれる。

表 2-3 大分県内温泉の水温・pH・蒸発残渣量の頻度分布表 (蒸発残渣量)

TSM (g/kg)	-0.5	0.5-1	1-5	5-10	10-	合計
安心院	4	2	2			8
天瀬	9	31	26			66
別府	22	79	83	2		186
豊後高田		1	2			3
挾間	3	5	3	2	4	17
日出	3	1	3		1	8
姫島			1			1
久住	1	2	11			14
日田	6		3			9
本耶馬溪		3	1			4
院内		1				1
香々地					1	1
杵築	10					10
九重	44	40	32	2		118
国東	1					1
国見			2		1	3
玖珠	24	2	1			27
前津江		1				1
真玉		1	4		1	6
三重	1					1
武蔵			1			1
直入			35			35
直川	4					4
野津原	2	1	3		1	7
大分	4	18	40	15	3	80
大田	1					1
佐伯				1		1
三光		1	2			3
庄内	11	2	6	1		20
竹田	2	2	2			6
宇目	1					1
宇佐	1		4			5
臼杵	3					3
耶馬溪	15	3	2			20
山香	2		1		1	4
山国	3		1			4
湯布院	26	64	12	1		103
合計	203	260	283	24	13	783

次に泉質分類の結果と大分県全体の平均的な泉質分布図をそれぞれ表3、図2に示す。考える泉質70種類のうち、実際に存在するのは、40種であることが分かった。また、泉質の種類が多い市町村の上位5つを挙げると次のようになる。

(1) 九重町 (24種)、(2) 別府市 (21種)、(3) 久住町、庄内町、湯布院町 (各9種)

ただし、ここで仮に陽イオン・陰イオンのそれぞれの当量濃度の和が5meq/lに満たない、極めて溶存物質量の少ない泉質のものをまとめて1つと数えると上記の順位は次のように変更される。

(1) 別府市 (21種)、(2) 九重町 (18種)、(3) 久住町 (9種)、(4) 挾間町 (8種)、(5) 湯布院町 (7種)

若干の順位の変更はあるが、別府市と九重町は他の市町村を大きく引き離しており、泉質の豊富なところであるということに変わりはない。

さて、泉質分類表(表3)と平均的な泉質分布図(図2)の作成により、明らかとなった2、3のことがらについて下に列挙する。なお、列挙した事項には、若干の考察内容も付記する。

(1) 少なくとも今回のデータセットを用いた分類からは、 Mg^{2+} が単独では主成分となることはないことが判明した(例外なし)。これは、 Mg^{2+} が岩石から単独で溶出することがないか、あるいは地下を流動中の温泉水の中の Mg^{2+} は Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} に比べて二次鉱物として水中から除かれ易いことを示唆していると思われる。

(2) Ca^{2+} が単独で主成分となる機会は少ない。例外的に、Ca-硫酸塩(Ca-sulf)型とCa-炭酸塩(Ca-carb)型が存在する。この理由も Mg^{2+} と同じように主要陽イオンの中 Ca^{2+} が単独で行動することはまれであることを暗示している。なお、例外の存在理由として

は次のように一応考えられる。Ca-sulf 型の温泉の記載は九重町の 1 例と庄内町の 1 例のみであるが、これらはいずれも硫酸カルシウム系鉱物（石膏や硬石膏）の二次的溶解で生成した温泉であろう。しかし、これ以上の議論を行うためには、硫酸カルシウム系鉱物の生成に関する地質環境をも包括した総合的かつ詳細な検討が必要である。一方、Ca-carb 型温泉は、久住町に 2 例、国見町に 2 例そして直入町に 1 例存在する。その理由も Ca-sulf 型の温泉と同様に炭酸カルシウムの二次的溶解と推測されるが、より詳細な検討は今後の課題としたい。

- (3) 酸性の温泉については、組合せとして考えられる泉質 21 種の内、実際に存在するのは、わずか 6 種類であり（表 3）、酸性泉全体に対する割合は 30%ほどである。中性からアルカリ性の温泉水のそれは 51%程度であり、酸性泉は種類の少ないことが分かる。その理由の 1 つとして、陰イオンが塩化物イオンからのみなる酸性の温泉が非常に少ないことが挙げられる。この後に述べるように、アルカリ-塩化物泉（alk-Cl）との混合といったケースを除けば、酸性泉の塩化物イオンは主に火山発散物に由来すると考えられるので、恐らく温泉生成に関わる火山発散物中では塩化水素が単独、ないし卓越した割合で含まれることが少ないことを示唆しているものと思われる。

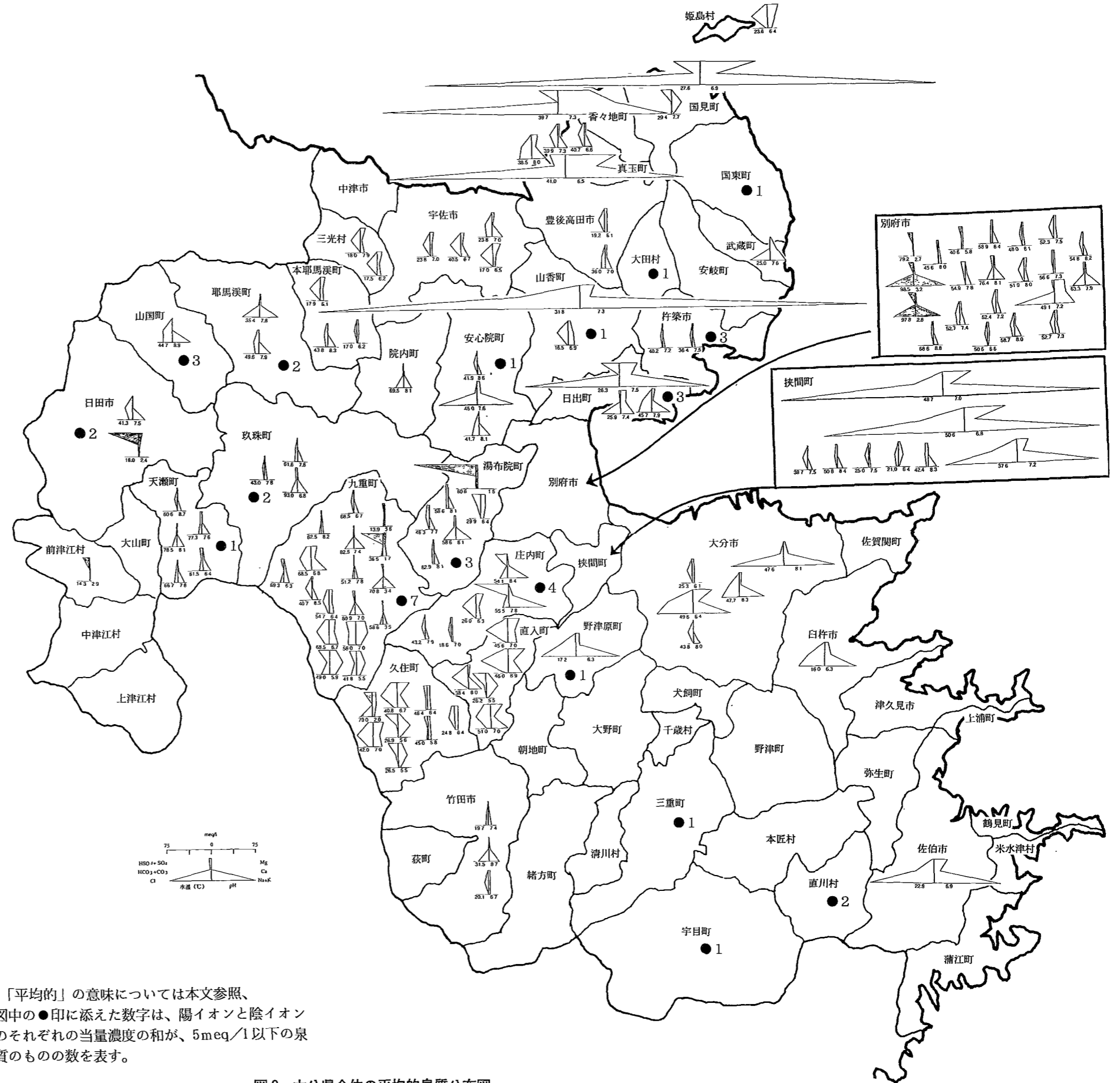
別府市と九重町に見られる酸性-アルカリ-塩化物泉（acid-alk-Cl）と酸性-アルカリ-塩化物、硫酸塩泉（acid-alk-Cl、sulf）は、塩化物イオンの当量に対するアルカリ元素イオンの当量の比率が 1 に極めて近い（1.0-1.2）。このような温泉水の生成プロセスには典型的なアルカリ-塩化物泉（alk-Cl）との混合過程が存在するものと推察され、酸性の原因は、硫酸にあると考えられる。

- (4) 平均的な泉質分布図（図 2）から、泉質の豊富な市町村は、県中部に集中していることが分かる（別府市・湯布院町・九重町・挾間町・庄内町・久住町）。これらの市町村は、新しい火山噴出物、特に更新世中-後期および完新世の主として安山岩質の火山岩類が分布するないし隣接しているところであり（図 3）、このことが多種類の泉質が見られることに強く関与しているものと思われる。このことは、泉質形成過程を理解するための重要な情報であろう。しかし、一方で国東半島にも第四紀後期の安山岩質火山岩類の分布域が存在するにもかかわらず、近辺の市町村では特に泉質数が多いわけではないこともまた事実である。これは今後解決すべき重要な課題であると考えられる。

また、蒸発残渣のところで述べたように、アルカリ元素と塩化物イオンを主要成分とする極めて溶存物質量の多い温泉が存在し、それらは国東半島のいくつかの町（国見町・香々地町・真玉町・山香町・日出町）と挾間町に分布することが分かる。これらはおそらく海水ないしそれに関連したものを起源とすると考えられる。この点については、水の安定同位体測定を行うなどして確かめる必要がある。

4 おわりに

温泉の水質形成過程の解明を最終的な目標として、本年度は大分県全域に分布する温泉の化学的データの整理・分類および県全体の泉質分布図の作成を行った。本研究により、県内の温泉の分布状態・泉質等の温泉の化学的特徴を概観することができた。また、大雑把なアプローチであったにもかかわらず、いくつかの興味ある問題を引き出すことができた。例えば、酸性泉の種類が、中性からアルカリ性の温泉のそれに比べ少ないことである。それらを詳細に検討することは、泉質形成過程の解明に直接結びつくことであると考えられる。今後は、各市町村ごと、あるいは各地域ごとのより詳しい研究、特に化学的特徴に対する詳細な検討や詳しい泉質分布図の作成を行いたい。泉質の形成には地下を流動中の温泉水だけが関与するものではなく、流動経路となる岩石もその形成過程に深く関わっていることに疑問の余地はない。したがって、随所に地質学や固体地球物理学の研究成果も盛り込んでいきたい。



「平均的」の意味については本文参照、
図中の●印に添えた数字は、陽イオンと陰イオンのそれぞれの当量濃度の和が、5meq/l以下の泉質のもの数を表す。

図2 大分県全体の平均的泉質分布図

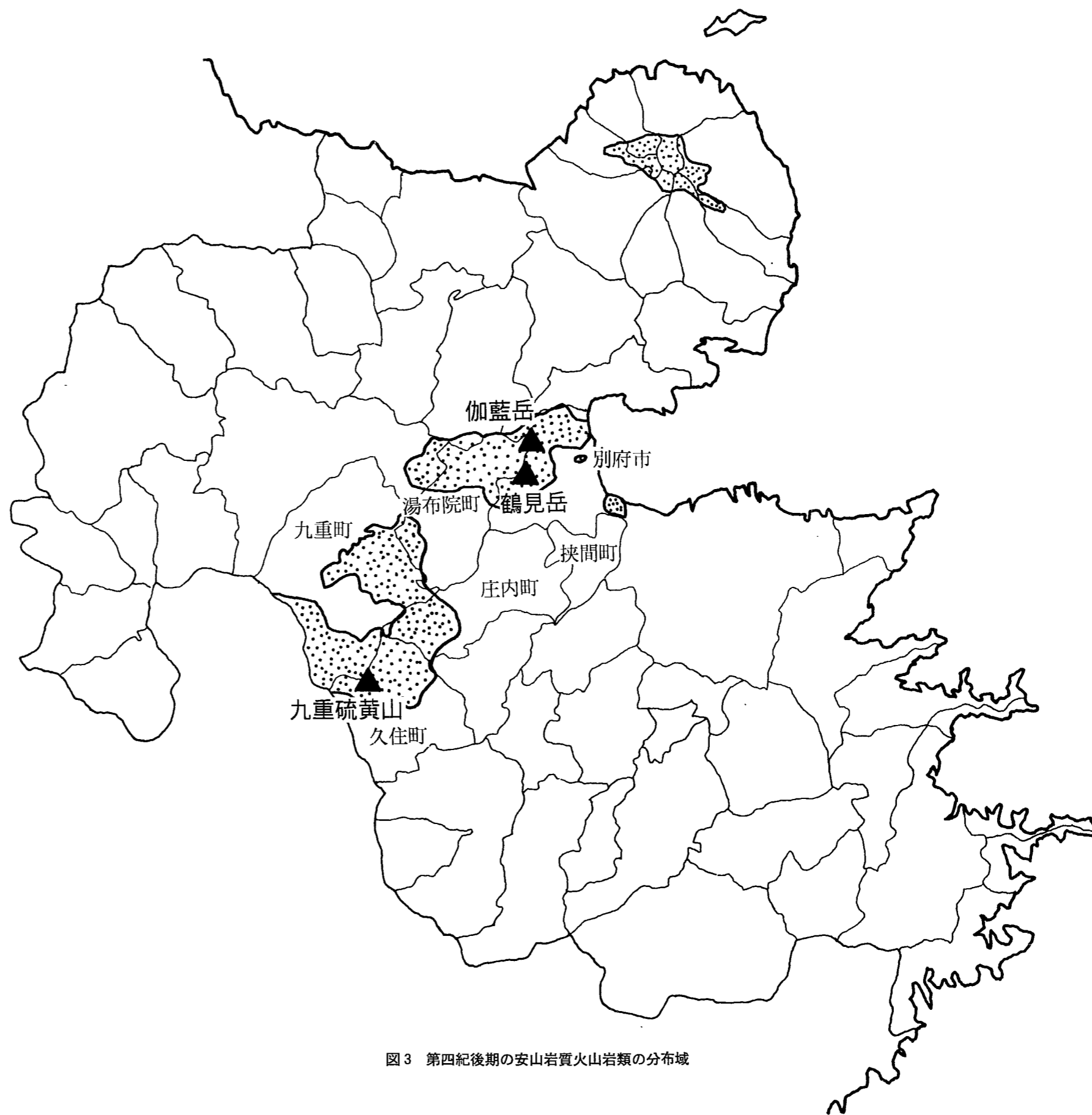


図3 第四紀後期の安山岩質火山岩類の分布域

参考文献

- 1) 大分県厚生部（1970）：大分県鉱泉誌
- 2) 大分県保健環境部環境保全課・大分県衛生研究所・大分県公害衛生センター・九州大学温泉治療学研究所（1971-1993）：大分県温泉調査報告温泉分析書、第22号-第44号.
- 3) 大沢信二・由佐悠紀・北岡豪一（1993）：県内温泉の微量成分(2)-アルミニウムの定量の意義と分析上の問題点、大分県温泉調査研究会報告、44、7-13.
- 4) 野田徹郎・高橋正明（1992）：地熱系に關与する起源水の地球化学的分類とその意義、地球化学、26、63-82.
- 5) 由佐悠紀（1988）：くじゅう地域の温泉、阿蘇くじゅう国立公園くじゅう地域学術調査報告書、pp.21-24、大分県.

県内温泉の微量成分(3)

温泉水中のアルミニウムの化学分析法と試料採取について

京都大学理学部

大 沢 信 二

1 はじめに

昨年度の研究報告で、温泉水中の微量アルミニウムの定量の意義と分析上の問題点について解説・議論した(大沢ほか、1993)。すなわち、(1)温泉の水質を水-岩石相互作用の結果ととらえ、熱力学データを用いた数値シミュレーションによりこれを再現するためにはアルミニウムの分析値が不可欠であること、(2)アルミニウムの分析法には様々なものが報告されているが、感度・共存成分の影響・分析コストなどを考慮した場合、現時点では適当な方法は見当たらず、安価で、簡便・迅速な分析法の構築が是非とも必要であることを説いた。

本年度は、昨年度の報告のむすびで述べたように、温泉水中の微量アルミニウムの定量に関する分析化学的研究を行った。報告内容は、(1)今回新たに取上げた分析法に関する実験的検討の結果と、(2)分析方法の検討中に、新たにもちあがった試料採取に関する問題点とそれについての若干の検討結果である。

2 微量アルミニウムの分析法

2-1 分析法の選択

温泉水中のアルミニウム濃度は、強酸性の温泉水を除くと通常 $1\text{mg}/\ell$ 未満であることが多く、 $0.1\text{mg}/\ell$ を下回ることもしばしばである。現在推奨されている温泉水のアルミニウム分析法の多くは分析感度の点から必ずしも満足できるものではない。そこで、次に示す手順により、新たな分析方法を見いだすことにした。

高い分析感度をもつ分析法を、共存元素の影響の多少に関する情報を考慮に入れながら、文献から検索し、最も有力であると判断したものに対して実験的な検討を加えた。筆者は、現在、温泉水中の微量アルミニウムの分析法として最も期待できる迅速で簡便な方法は、ICP 質量分析法であると考えている(検出限界; $0.2\mu\text{gAl}/\ell$: 原口、1986)。この分析法は、機器の市販が始まって10年目にあたり、分析上の性能もかなり明らかにされ、装置の改良も進んでいる(山崎、1994)。しかし、この分析装置はかなり高価なため(2,000万円以上)、現時点では高嶺の花であり、コストの面から通常分析法には残念ながら不向きであると言わざるを得ない。そこで、検索の対象としては、どのような分析機関でも十分に設置が可能と判断される分光光度法に的を絞った。

種々の検索の結果、ピロカテコール・バイオレット法(以下、PV法と呼ぶ)を実験による検討の候補として選んだ。この方法は、モル吸光係数 6.4×10^4 と現在報告されているアルミニウムの分光光度分析の中でも最も高感度の部類に入る(同仁化学研究所、1978)。しかも、試薬自身の吸収も少なく(吸光度で0.1以下)、発色後の吸光度の時間変化も小さいため安定した分析が可能である(Dougan and Wilson、1974)。また、アルミニウムと水溶液内で極めて安定な錯イオンを形成するフッ素イオンの妨害も少なく、分析操作が簡単・迅速である(同仁化学研究所、1978)。

2-2 分析操作

分析操作、特に発色操作は、Dougan and Wilson (1974) に準じたが、読者の便宜をはかり、試薬調整法と発色操作を以下に掲載する。

[試薬の調整]

- ヘキサメチレンテトラミン緩衝溶液 (30%) : 以下 HMT と略記
HMT (特級) 150g を約 350ml の蒸留水に溶かす。塩酸を加えて pH を 6.1 に調整した後 (pH メータを用いる)、蒸留水をさらに加えて全容を 500ml にする。ポリエチレン瓶に保存する。
- オルソフェナントロリン溶液 (0.1%) : 以下 o-phen と略記
塩酸ヒドロキシルアンモニウム (特級) 50g を約 400ml の蒸留水に溶かす。これに 0.5g の o-phen (特級) を加え、完全に溶解した後、蒸留水を加えて全容を 500ml にする。ポリエチレン瓶に保存する。なお、この溶液はわずかにピンクに着色するが、分析上全く支障はない。
- ピロカテコール・バイオレット溶液 (0.0375%) : 以下 PV と略記
ドータイト試薬製ピロカテコール・バイオレット 0.075g を蒸留水に溶かし、全容を 200ml にする。硬質ガラス瓶に保存する。
- アルミニウム標準原液 (1,000mg/l)
和光純薬製の原子吸光分析用標準液 (ベースは 0.1M 塩酸) を用いた。
- その他: 10% 水酸化ナトリウム溶液、0.1% メチルオレンジ指示薬

[発色操作]

25ml メスフラスコを準備する。これにアルミニウム 0-7.5 μ g を含む溶液を容量が 15ml を越えないように加える。液量が少ない場合は、蒸留水を加え 15ml 程度に調整しておく。次の順序に従って試薬を加えていき、溶液を発色させる。10% 水酸化ナトリウム溶液の必要量 (メチルオレンジ指示薬中性まで中和するのに必要な液量をあらかじめ求めておく)、o-phen 溶液 1.0ml、PV 溶液 1.00ml、HMT 緩衝溶液 5.0ml。蒸留水で標線合わせをし、良く混合する。約 20 分ほど放置した後、1cm ガラスセルを用いて 576.5 nm で吸光度を測定する (再検討の結果、上記の波長に最大吸収を認めたので変更を加えた)。

2-3 検量線

前述の発色操作にしたがって得たアルミニウムの検量線を図 1 に示す。使用した分光光度計は、日立製 181 型可視・紫外分光光度計である。なお、参考のために、改訂版鉍泉分析法指針 (1978) に記述されているクロムアズロール S 法による検量線も同図に示した。図から明らかなように 0-0.3mg/l の範囲で良好な直線性を示し (相関係数: 0.9997)、かなり高感度な方法であることがわかる (吸光度 0.100 に相当するアルミニウム濃度: 0.036mg/l)。また、アルミニウムを含まない、いわゆるブランク溶液の吸光度は、0.042 であり満足できるものである。

2-4 回収率の検討

次に実試料を用いた既知量添加による回収率の検討結果を表 1 に示す。検討に用いた温泉水は、泉質の異なるものを選択した。すなわち、Na-Cl 型、Na-HCO₃ 型、Ca、Mg-HCO₃、Na-Cl と Na-HCO₃ の混合型の 4 種類である。なお、これら温泉水試料は、いずれも塩酸を加えてある (約 0.1M)。Na-Cl と Na-HCO₃ の混合型である天満温泉の値 (回収率: 103%) 以外は必ずしも満足できる結果ではない。しかも、回収率が常に高く出るといった傾向があるわけでもなく、回収率の悪さの原因は判然としない。しかしな

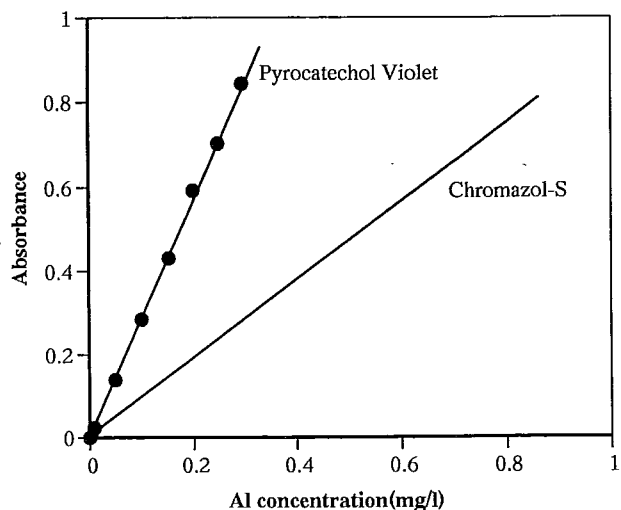


図 1 ピロカテコール・バイオレット分光光度法によるアルミニウムの検量線
(直線のみで示してあるのは、鉍泉分析法指針で採用されているクロムアズロール S 法による検量線)

がら、回収率（この値は、標準添加法の検量線の傾斜と単一溶液の検量線の傾斜の比に等しい）がほぼ 80—120%の範囲に収まっているため、実際の試料分析にあたっては標準添加法を用いることで、分析値を出すことができる（保田、1980）。

標準添加法には外部から濃度既知の溶液を加える操作が加わるため、おのずと試料溶液の希釈率は高まり、定量濃度下限値はいくぶん大きくなるが、本法は高感度であるため、この点はあまり深刻な問題ではない。

2-5 実試料の分析（標準添加法）

回収率の検討を行った温泉水について、標準添加法を適用し、アルミニウムの定量を行った。結果を表 2 に示す。なお、試料の一部は ICP 質量分析でも分析値が得られているので、比較のために同表に掲載した。ICP 質量分析法とかなり良い一致を示しており、10 $\mu\text{g}/\ell$ オーダーまでの微量分析が可能である。ただし、共存する元素濃度がかなり高くなると、例えば試験液中の NaCl 濃度が 1g/ ℓ を越えだすと、添加実験による回収率も 50% を大きく下回り、正しい定量値が得にくくなっていくことを付記しておく。

3 アルミニウム分析のための試料採取法

3-1 問題の提起

前項で示した温泉水中のアルミニウムの定量値を良く見ると、農協リハビリセンター 2 号井と京大温泉実験井 200m は他の 2 温泉に比べ、1 ないし 2 桁ほど濃度の高いことが分かる。独立の分析法で定量値のクロスチェックを行っているので、分析法自体に問題があるとは考えられない。そこで昨年度の報告で紹介したパーソナル・コンピュータ支援の鉱物—熱水の化学平衡計算法を適用してみる。計算に必要な完全なデータを揃えている農協リハビリセンター 2 号井について計算を行った。データセットを表 3 に、計算結果を図 2 に示す。図 2 から明らかのように、飽和指数 0 の軸上で各鉱物の飽和曲線が 1 点に収束する傾向は全く見られない。分析値のデータセットの信頼性が高ければ、昨年度の報告で示した天満温泉のように、地化学温度計で得られた温度近辺でいく

表 1 実試料を用いたアルミニウム標準溶液の添加実験における回収率

試料名	泉質	添加 (mg/ ℓ)	回収 (mg/ ℓ)	回収率 (%)
農協リハビリセンター 2 号井 (93/4/19)	Na-Cl	0.160	0.135	84
京大温泉実験井 200m (88/1/27)	Ca, Mg-HCO ₃	0.080	0.092	115
天満温泉 (93/2/23)	Na-Cl+Na-HCO ₃	0.080	0.082	103
京大温泉実験井 300m (92/12/24)	Na-HCO ₃	0.080	0.097	121

表 2 ピロカテコール・バイオレット分光光度法による温泉水中のアルミニウムの定量分析結果

試料名	本法 (mg/ ℓ)	ICP-MS	
		PF (mg/ ℓ)	YG (mg/ ℓ)
農協リハビリセンター 2 号井 (93/4/19)	0.37	0.23	0.36
京大温泉実験井 200m (88/1/27)	4.8	4.7	6.4
天満温泉 (93/2/23)	0.080	NA	NA
京大温泉実験井 300m (92/12/24)	0.028	NA	NA

(REM) PE: パーキンエルマー・ジャパン

YG: 横川アナリティカルシステムズ

NA: not analyzed (分析せず)

表 3 農協リハビリセンター 2 号井の温泉水、分離蒸気の化学分析値および噴出流体の湿り度の測定結果

噴出流体温度: 99.3°C	
噴出流体湿り度: 0.95	
化学組成	
蒸気	H ₂ O 99.74 (vol.%)
水を除くガス成分	
	H ₂ S 3.4 (vol.%)
	CO ₂ 90.5
	R-gas 6.1
水	pH 8.0
	Na 1,160 (mg/ ℓ)
	K 86.5
	Ca 74.0
	Mg 0.032
	Cl 2,160
	SO ₄ 204
	HCO ₃ 43.2
	SiO ₂ 365

つもの鉱物の飽和曲線が飽和指数 0 軸上に収束する結果が得られる。筆者は、次の理由から本研究で利用しているコンピュータ・コード (千葉、1990) には信頼を寄せている。すなわち、(1)かなり入念な熱力学データのチェックの上で作られたこと (Chiba, 1986)、(2)幾度となく実際に運用してみて、特に不都合と感じられる点がないからである。主要化学成分の分析がひどく間違っているとは考えにくいから、ここに矛盾が生じたことになる。一応、熱力学計算が正しいと考えて、千葉 (1990) が行ったように、鉱物の飽和曲線が 1 点に収束するように、試行錯誤的にアルミニウム濃度を代入し、計算を行った。そうしたところ、図 3 に示すように、アルミニウム濃度 0.05mg/l 程度で満足いく結果が得られた。この値は、天満温泉や京大温泉実験井 300m の分析値と同じオーダーである (表 2)。なお、このように実際の温泉水の分析値が、計算値よりも高く出る場合のあることを、千葉 (1990) も指摘している。

分析法、計算法のいずれにも問題がないとすれば、疑う余地が残されているのは温泉水の採取方法である。筆者は、次のような作業仮説をもうけ、次項でいくつかの検討を行ってみた。

「採水の際には、溶存している微量のアルミニウムイオンが、採水瓶の器壁に吸着しないように塩酸が加えられている。アルミニウムの実際の分析値が、計算値 (期待値) より高く出る温泉水中にはアルミニウムを主成分とする懸濁粒子 (例えば粘土鉱物) が含まれており、これを除くことなく塩酸を加えたために懸濁粒子が溶解し、温泉水中のアルミニウムイオン濃度を高める結果となった」

3-2 作業仮説の検証

前項で示した作業仮説のようにアルミニウムを主要成分として含む懸濁粒子が温泉水とともに地表に運ばれている例は、別府温泉の血の池地獄で見ることができる (吉田ほか、1978)。したがって、筆者が提示

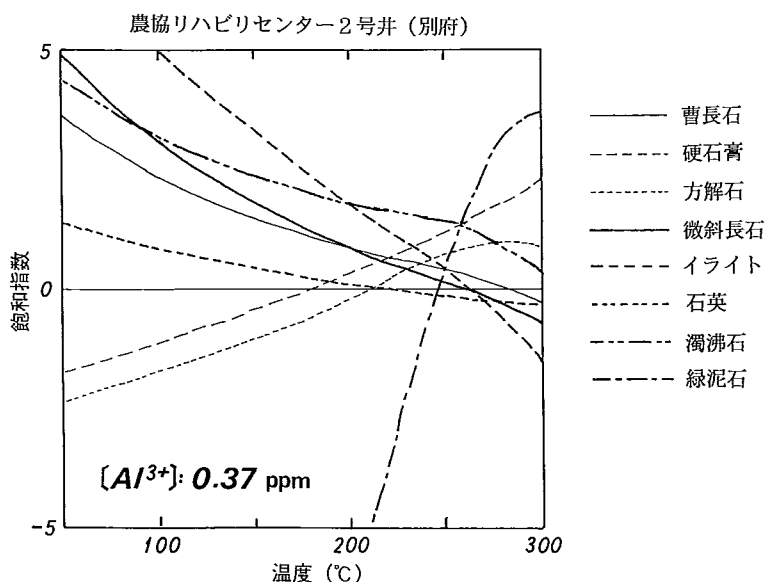


図 2 農協リハビリセンター 2 号井温泉水の鉱物飽和指数-温度図

飽和指数=活動度積-溶解度積、縦軸は対数スケール
詳細については、千葉 (1985) を参照。

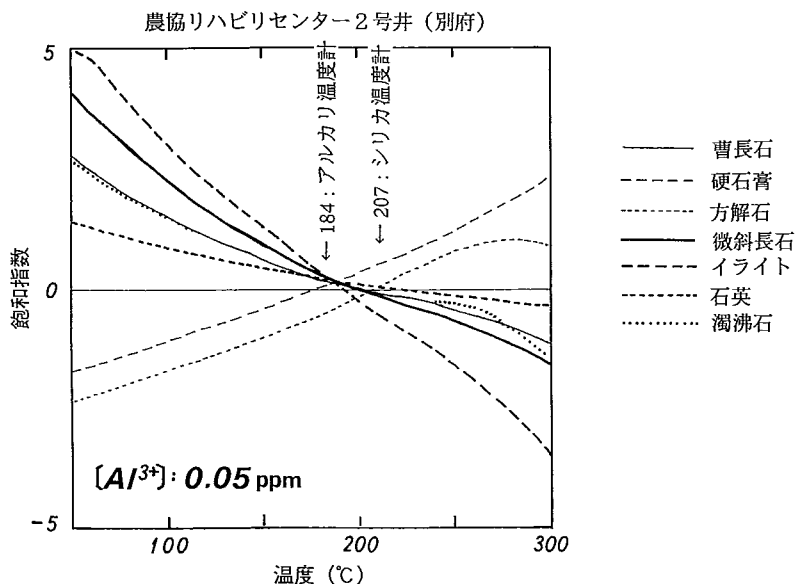


図 3 アルミニウム濃度を仮定した場合の農協リハビリセンター 2 号井温泉水の鉱物飽和指数-温度図

仮定したアルミニウム濃度は、0.05mg/l
(図中にも記載)

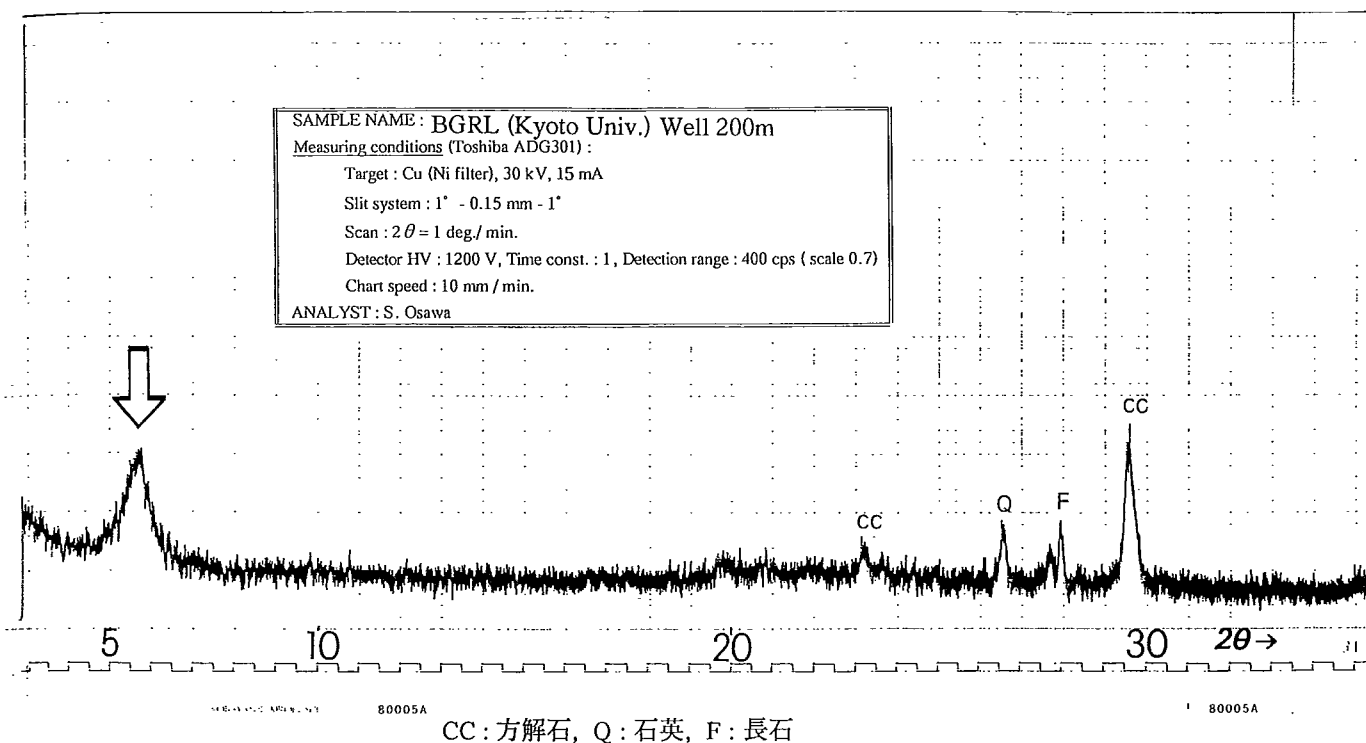


図4 京大温泉実験井 200m深より得られた温泉水試料から濾過回収された物質の粉末X線回折パターン

矢印は、粘土鉱物による回折線（詳細は本文参照）、その他のピーク上に記された略号については図中の凡例を参照。

した仮説は全くの空想ではないと考える。しかし、これだけでは根拠不十分であり、何らかの実験的な検証を必要とする。そこで本項では、現時点で可能な限りの検討を加えてみた。検討内容は、(1)温泉水中の懸濁粒子の鉱物分析、(2)温泉水採取方法の違いによるアルミニウム分析値の比較である。

3-2-1 温泉沈殿物の分析

塩酸を加えていない京大温泉実験井 200m深の温泉水試料が保存してあったので (2ℓ)、これを 0.45 μ のメンブランフィルターで濾過・回収し、粉末 X 線回折分析を行った。回収された粒子状物質の重量は、1ℓ 当たり約 0.1g であった。結果を測定条件とともに図4に示す。2θ = 5.8° 付近にかなり幅の広いピークが得られている (図中の太い矢印)。このピークは、スメクタイト、バーミキュライト、緑泥石の底面間隔に対応した特徴的な反射である。試料を常法により試料ホルダーへ充填したため、本測定は定方位測定に相当すると思われる。したがって底面反射のみが強く現われており、これらの粘土鉱物のいずれであるかを本測定のみから決めることは困難であるが、いずれにせよアルミニウムを主成分として含む鉱物であることに変わりはない。今後、不定方位法や薬品・加熱処理を行って種を同定する必要があるが、井戸掘削時に用いる泥水に使用されるベンナイトはスメクタイトを主成分とすること、また、検討に用いた温泉水は掘削完了の3日後に採取されたものであることから、高いアルミニウム濃度が得られた原因を、採取温泉水中の混入粘土粒子の酸溶解にあると考えることは十分可能である。しかし、懸濁粒子の濾過を温泉水採取直後に行ったわけではないので、回収した物質がもともと懸濁粒子として

表4 濾過操作を施した農協リハビリセンター 2号井温泉水のアルミニウム分析結果

(94/4/11)

試料	Al (mg/ℓ)
濾過あり (0.45 μメンブランフィルター)	0.049
濾過なし	0.048
ブランク	0.003

存在したものかあるいは採水後に沈殿したものは判然とせず、本実験の結果は仮説を支持する決定的な証拠と見なせないとするのもまた可能である。しかし残念ながら、本温泉水はすでに採取不可能となっているため追加調査を行うことができず、これ以上の検討は諦めざるを得ない。

3-2-2 濾過操作を施した採水

仮説の検証法として有効と考えられる実験としては、実際の温泉水の分析値が計算値よりも高く出る温泉水を用い、濾過操作のあるなしでの分析値の比較を行ってみることが挙げられる。農協リハビリセンター2号井の温泉水を用い、温泉水に含まれると思われるアルミニウムを含む懸濁粒子を濾過により取り除き、溶存アルミニウムの分析を行った。濾過操作は、0.45 μ のメンブランフィルターを用い、現地で行った。濾過した温泉水試料は、数日間希塩酸を満たして洗浄したポリエチレン瓶に移し、約0.1Mになるように特級塩酸を加えて密封して実験室に持ち帰った。一方で、温泉水の濾過を行わず直接採取して塩酸を加えたものも採水した。また念のために、蒸溜水に塩酸を加えたもの（ブランク）も検水とした。アルミニウムの化学分析は、標準添加によるPV法で行った。分析結果を表4に示す。3-1で示した化学平衡計算による期待値(0.05mg/l)とほぼ等しい0.049mg/lが得られた。ブランクのアルミニウム濃度である0.003mg/lを差し引いても0.046mg/lであり、良い一致を示している。しかしながら、濾過を行わなかった試料もだいたい同じ結果(0.048mg/l)を示しており、今回はアルミニウムを含む懸濁粒子は存在していなかったと見なければならぬ。しかし、前回(93/4/19)採取した温泉水のアルミニウム濃度(0.37mg/l)は、同様に濾過をしていない今回の試料の値(0.048mg/l)より明らかに高い。この原因として次のようなことが考えられる。農協リハビリセンター2号井は掘削の沸騰泉であるが、温泉水の放出状態に前回と今回では違いが見られた。すなわち、前回はかなり激しく放出してあり周辺が水浸し状態であったのが、今回は周辺の環境を考慮してか放出量をおさえているようであった。したがって、放出の勢いが強かった前回は、温泉水とともに懸濁粒子が地表に運ばれ易い状態にあったと見ることも出来よう。このように考えれば、一応の説明はつく。しかしながら、前項における検討の場合と同様、説得力に欠ける実験結果とみなすことも可能である。

以上のように、作業仮説に対して、いくつかの実験的検証を試みたが、残念ながら決定的な証拠をつかむことはできなかった。しかし、白黒の判定が下せない現状では、出来るかぎり濾過操作を施した採水を行っておく方が良いと思われる。最近では、100℃で十分な耐久性をもつ軽量で頑丈なプラスチック製のフィルターホルダーやメンブランフィルター、さらに手押し式の真空ポンプも市販のものが簡単に手に入り、濾過操作は簡便・迅速に行うことができるからである。

4 ま と め

本研究では、温泉水中の微量アルミニウムの定量に関する分析化学的研究を行った。内容は、(1)ピロカテコール・バイオレット分光光度法に関する種々の実験的検討、(2)試料採取に関する問題点とそれについての若干の実験的検討についてである。ピロカテコール・バイオレット分光光度法を利用すると、定量下限値や共存元素の影響にやや不満足な点はあるものの、温泉水中の10 μ g/l程度の微量なアルミニウムを定量できることを示した。いくつかの実試料に本法を適用したところ、異常に高いアルミニウム濃度を示すものや実際の分析値と化学平衡計算による期待値に大きな差の見られる試料水があることが見いだされた。その原因を試料水の採取過程にあるものと考え、いくつかの実験的検討を加えた。温泉水中には、アルミニウムを主成分とした懸濁粒子が存在する可能性があり、このような温泉水試料に酸を加える試料保存法を適用すると、見かけ上アルミニウムの分析値が高目に得られる恐れがあるということを示唆する結果を得ることが出来た。しかし、この仮説を立証するための証拠とするにはやや問題があるため、本研究は問題点の提起に留まった感がある。がしかし、仮に仮説が事実であるとするならば、地球化学的な議論を展開していく以前の

基礎的な事柄に関わるため、今後データを増やし、詳細な検討を行っていく必要がある。

謝 辞

数度にわたる温泉水採取を快諾された農協リハビリテーションセンター施設管理課の藤井英世氏に深謝いたします。また、アルミニウム分析に関する文献検索の際に、幾度となくお世話になった同仁化学研究所マーケティング部の野尻氏および田中・上村両女史に感謝いたします。さらに ICP 質量分析により温泉水のアルミニウム分析値を出してくださったパーキンエルマージャパンおよび横川アナリティカルシステムズの分析担当各位に感謝いたします。なお、農協リハビリセンター 2 号井の温泉水の化学分析値の一部と噴出流体の湿り度の測定結果は、京都大学理学部附属地球物理学研究施設の由佐悠紀教授と馬渡秀夫氏によるものである。記して感謝します。

参考文献

- 1) 千葉仁 (1990) : 地熱水の溶存化学種組成の推定とその応用, 地熱エネルギー, 10, 279-292.
- 2) Chiba, H. (1986) : Compilation of Dissociation Constants of Major Aqueous Species Present in Geothermal Fluids, Comparison of Thermodynamic Data Base of Aqueous Speciation Codes, Technical Report of Institute for Study of the Earth's Interior (Okayama University), Ser. B, No.3, 129p.
- 3) 千葉仁 (1990) : 地熱水の化学種組成の計算—地熱流体への適用と問題点—, 日本地熱学会誌, 12, 113-128.
- 4) Dougan, W. K. and Wilson, A. L. (1974) : The Absorptometric Determination of Aluminium in Water. A Comparison of Some Chromogenic Reagents and the Development of an Improved Method, Analyst, 99, 413-430.
- 5) 同仁化学研究所 (1978) : Al の比色定量試薬の比較検討, Dojin News, No.10, 10-11.
- 6) 原口紘丞 (1986) : “ICP 発光分析の基礎と応用”, 講談社サイエンティフィック, 東京, 291p.
- 7) 鉱泉分析法指針 (改訂), 温泉工学会誌, 13, 75p.
- 8) 大沢信二・由佐悠紀・北岡豪一 (1993) : 県内温泉の微量成分 (2) — アルミニウムの定量と意義と分析上の問題点 —, 大分県温泉調査研究会報告, 44, 7-13.
- 9) 保田和雄 (1980) : “原子吸光分析の実際”, 講談社サイエンティフィック, 東京, 154p.
- 10) 山崎慎一 (1994) : ICP 質量分析法, ぶんせき, 4, 290-295.
- 11) 吉田哲雄・湯原浩三・中江保男・野田徹郎 (1978) : 別府「血の池地獄」の温泉水及び沈殿物について, 温泉科学, 29, 10-18.

不整脈と温泉(5)

九大生体防御医学研究所気候内科

矢永尚士・武居光雄
熊埜御堂 彰子・畑 知二
牧野直樹

1 はじめに

不整脈は誰もが経験する症状である。不整脈は全く治療を要しないものから、急死に結びつくものまで、その重症度のスペクトルは広い。その治療法には薬物療法と非薬物療法がある。薬物療法は有害作用もありあまり好ましくなく、できれば避けたい。非薬物療法といえば通常は、外科的療法をさす。しかし私共は温泉の脱ストレス作用が、不整脈の治療に有効か否かについて検討を続けてきた。

今回は特に人工温泉浴が精神ストレスの治療に有用か否かについて、精神性発汗を指標として明らかにしようとした。

2 方 法

健常者 11 名 (女 1、男 10、年齢 26 ± 5.7 歳) を対象とした。臥位 5 分ののち、右拇指部に新しく開発された発汗連続測定装置を装着後 CV 値、血圧、暗算による発汗誘発を行った。次に血漿カテコラミン、 β エンドルフィン測定のための採血を行った。ついでサラ湯、あるいは人工温泉浴 (200 l の浴槽にトリム 1 錠) に入浴させ (40°C、5 分間)、出浴後同様の測定を行った。

3 成 績

心拍数、血圧、CV 値は、サラ湯、人工温泉入浴後変化はなかったが、精神性発汗はいずれの入浴においても著明に減少した (表 1)。

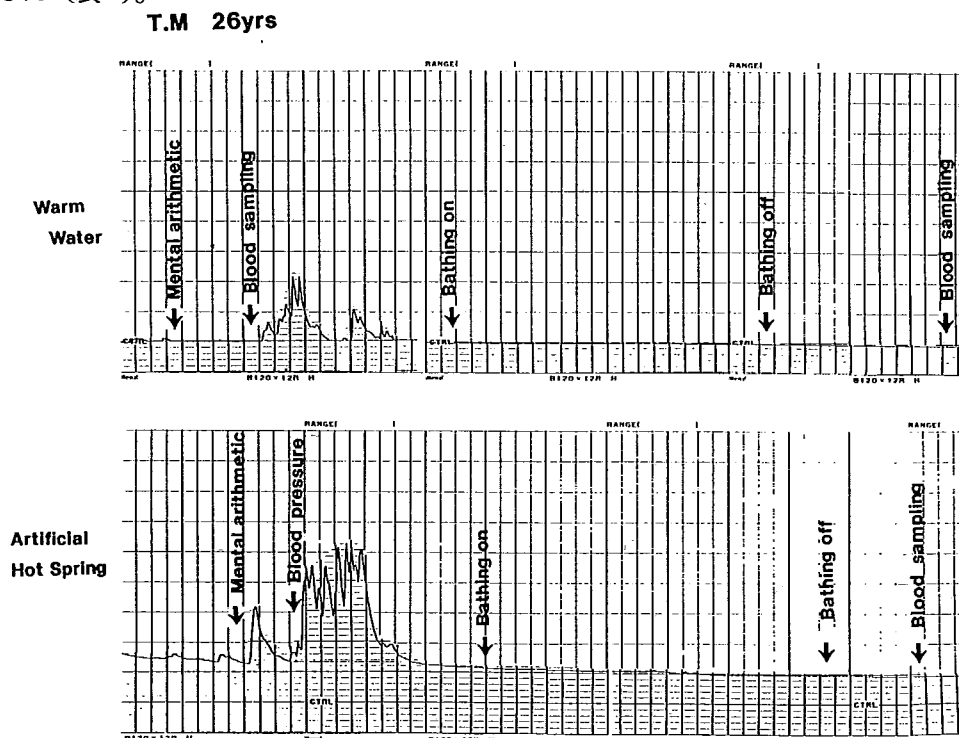


図 1 入浴後の精神性発汗の変化

図1は典型例を示す。入浴後は精神性発汗は著明に減少した。

表2はホルモンの変化を示す。サラ湯、人工温泉入浴後アドレナリン、ノルアドレナリン、ドーパミン、 β エンドルフィンに有意の変動はなかった。

CV値と精神性発汗、カテコラミン、ホルモンと精神性発汗の間には有意の相関はなかった。

表1 人工温泉浴の作用

	サラ湯		人工温泉	
	前	後	前	後
心拍数(拍/分)*	65 ± 11	64 ± 8	69 ± 10	66 ± 10
血圧(mmHg)*				
最高	108 ± 9	109 ± 8	110 ± 9	110 ± 8
最低	71 ± 7	67 ± 4	69 ± 6	69 ± 5
C V 値**	5.1 ± 2.3	5.1 ± 1.2	4.4 ± 1.9	5.4 ± 2.1
精神性発汗**	11.5 ± 19.6	1.09 ± 2.7	14.9 ± 21.9	16 ± 5.1

* n=10 ** n=11

表2 ホルモンの変化

	サラ湯		人工温泉	
	前	後	前	後
アドレナリン	47.3 ± 16.1	46.7 ± 15.6	47.3 ± 16.1	49.0 ± 15.9
ノルアドレナリン	450.8 ± 250.4	464.6 ± 255.9	450.8 ± 250.4	408.1 ± 124.4
ドーパミン	15.8 ± 9.9	14.8 ± 7.6	15.8 ± 9.9	13.7 ± 5.2
β エンドルフィン	12.9 ± 4.5	12.0 ± 3.7	12.9 ± 4.5	12.1 ± 3.4

n=11

4 総 括

- 1) 精神性発汗はサラ湯、人工温泉浴後に著明に減少した。
- 2) 温浴による精神性発汗の減少は温浴による脱ストレス作用を示すものと推測される。
- 3) 脱ストレス作用は不整脈抑制的に作用する可能性が大である。

謝 辞

本研究は大分県温泉調査研究会と株式会社ツムラの協力を得た。

リウマチ反応試薬としての温泉泥の応用

— IgG の担体としての温泉泥の有用性 —

九州大学生体防御医学研究所

リウマチ膠原病内科

延 永 正
江 崎 一 子

1 はじめに

温泉浴によって風邪を引かなくなるとは俗間良く言われることであるが、われわれは温泉地である湯平地区と温泉地でない庄内地区の学童の風邪罹患率を比較したところ、湯平地区の学童において風邪罹患率が有意に低いことが確かめられた¹⁾。その機序として温泉浴の免疫機能に及ぼすプラスの影響が考えられ、温泉と免疫の問題は大変興味あるテーマであるが、従来この点に関する研究は意外に少なく、今後に残された課題と思われる。さきにわれわれは冷泉である寒の地獄泉浴が免疫系に対して抑制的に働くことを報告したが²⁾、高温浴として知られる草津温泉浴も免疫抑制的に作用すると報告されている³⁾。したがってもし快適温度の温泉浴が免疫増強的に働くとすれば、はなはだ興味深く、この点を液性免疫と細胞性免疫の両面から追究する予定で本年度の研究テーマを温泉浴と免疫機能としたのであるが、たまたま温泉泥がリウマチ反応試験の試薬として用いる可能性が明らかとなったので、急遽予定を変更してその方の研究を先に行った。以下はその報告である。なおこのような研究も温泉と免疫に関する研究ということができる。

リウマチ反応は連鎖球菌凝集反応に始まり、ヒツジ血球凝集反応を経てラテックス凝集反応⁴⁾へと発展してきた。さらにその後無機の珪酸アルミニウムを主成分とするベントナイトも凝集反応の担体として用いることが明らかとなった⁵⁾。いずれもヒトやウサギの γ グロブリンないし IgG の担体として有用なのである。リウマチ反応はこの IgG や γ グロブリンを結合した担体が患者の血清によって凝集するか否かをみる検査である。

一方、坊主地獄などの温泉泥（鉱泥ともいう）には珪酸アルミニウムが含まれていることが知られている上に、自然のままでも極めて微細な粒子であるため、凝集反応の担体としてはなはだ好都合のようにみえる。よってわれわれは自然に湧出する温泉泥をそのまま担体として用いる受身凝集反応を考案し、その有用性について検討を加えたところ、満足すべき結果が得られたので以下に報告する。

2 材料と方法

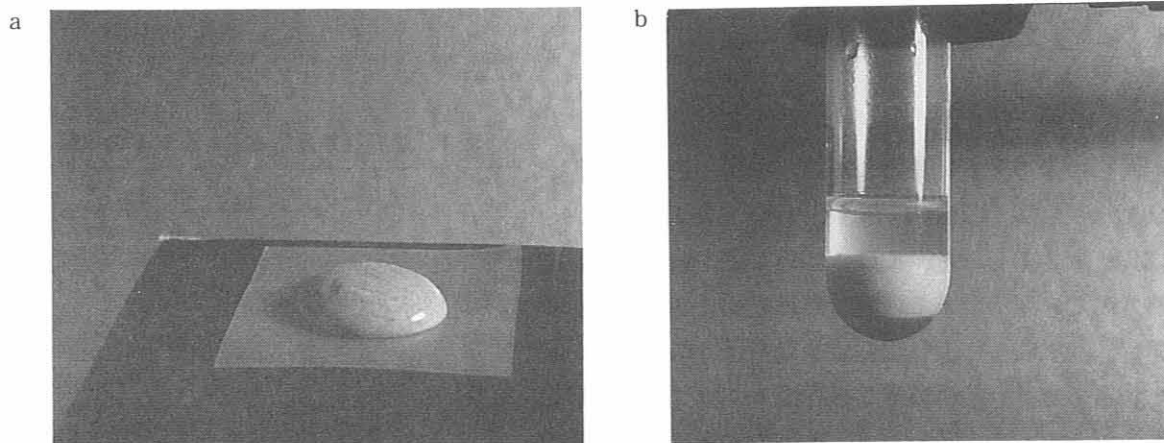


図1 本坊主地獄の鉱泥

(1) 鈇泥粒子の分離

別府市鶴見の本坊主地獄の鈇泥 (図1 写真 1a) に 10 倍量の 0.1M グリシン緩衝液 (pH8.2) を加えてよく振盪し静置すると写真 b に示すように三層に分離する。このうち乳白色をした中間層をとり、さらに倍量のグリシン緩衝液を加えてよく混合し、800rpm、20 秒の遠心分離を 2 回繰り返して洗浄し、担体となる鈇泥粒子とする。

(2) 鈇泥粒子の感作

分離した鈇泥粒子を OD650nm で 0.03%T となるように調整し、その 1 容とヒト IgG 分画 (Cohn Fraction II) 20mg/ml の 1 容とを合わせ、4°C にて 1 夜軽く振盪する。それを約 3 倍量のグリシン緩衝液で 3 回洗浄後、OD650nm で 0.03%T に調整し、感作鈇泥粒子とした。

(3) 感作鈇泥粒子によるリウマトイド因子の検出操作

被験血清をグリシン緩衝液で 20 倍に希釈し、56°C、30 分非働化したのち、スライドガラス上に 1 滴滴下し、それに感作鈇泥粒子 1 滴を加えて静かに混合し、凝集の有無を判定する。

(4) RA テスト

対照として最も広く行われている RA テスト (ポリスチレン・ラテックス粒子にヒト Cohn Fraction II を coat した感作ラテックス粒子によるリウマトイド因子検出法) を定法通りに行った。

3 結 果

リウマトイド因子陽性血清と陰性血清を用いて鈇泥凝集反応と RA テストを行った結果は図 2 のようであった。上段が RA テスト、下段が鈇泥凝集反応であるが、両者とも陽性血清 (右列) では明らかな凝集がみられ、陰性血清 (左列) では凝集は認められなかった。すなわち鈇泥凝集反応も RA テストとほぼ同様にリウマトイド因子の検出に用いることが分かった。

また、多数の血清について両方法による成績を比較したのが表 1 であるが、本法は感度において RA テストに劣っていた。すなわち RA テストで + ないし ++ を示した 7 例が本法ではいずれも - であったし、RA テスト ++ の 3 例は本法で ±、また他の RA テスト ++ の 3 例も本法では + であったからである。結局 RA テストの + 以上が 22 例中 15 例、68.2% であったのに対して、本法の ± 以上は 22 例中 8 例、36.4% に止まった。ただ特異性は高く、本法の ± 以上の例はいずれも RA テストで ++ を示すもののみであった。

4 考 案

古賀昭人らによる分析結果によると、本坊主地獄の鈇泥は SiO₂ 52.05%、AlO₃ 36.02%、SO₃ 3.9%、Mn₂O₃ 1.85%、Fe₂O₃ 1.8%、Na₂O 1.38%、K₂O 1.36% などを含む微粒粘着性の高熱 (99°C) 泥土である (大分県鈇泉誌、1970、大分県厚生部発行)。SiO₂、AlO₃ は蛋白質を効率よく吸着する性質を有しているため、今回の簡単な操作で γ グロブリンの吸着担体を作成できたものと思われる。粒子の大きさも肉眼観察で凝集反応を判定するのに適したものであり、結果の判定に

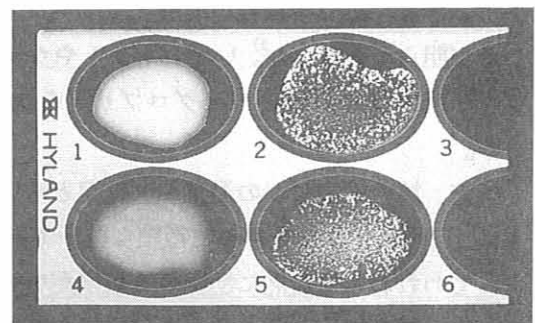


図 2 RA テストと鈇泥凝集反応

(上列 RA テスト: 左陰性、右陽性)
(下列 鈇泥凝集反応: 左陰性、右陽性)

表 1 鈇泥凝集反応と RA テストの比較

		RA テスト				計
		-	±	+	++	
鈇泥凝集反応	-	4	3	3	4	14
	±				3	3
	+				3	3
	++				2	2
計		4	3	3	12	22

支障はなかった。かくてRAテストの代用として応用可能と思われるが、ただ現状では感度が低い点に問題があり、改良の余地が残されている。粒子の洗浄の徹底、pHの見直し等によって γ グロブリンの鉍泥粒子への結合が十分起こるように工夫すべきであろう。

温泉泥のこのような性質を考えると、リウマトイド因子の検出だけでなく他の抗原抗体反応にも広く応用可能であると思われるし、粒子の大きさをさらに厳密に選択して用いれば定量的凝集反応にも十分応用できるものと思われる。

現在、地球規模での資源の有効利用や環境保全が強く求められているので、このような鉍泥を利用した検査法は自然資源活用の1例ということができ、さらなる発展が期待される。しかもこのような検査に用いる限りその資源は無限といってもよからう。

参考文献

- 1) 穂吉真之介・桑田幸央・佐藤哲郎・其田和也・森勝久・小沢秀樹・延永正：習慣的温泉入浴と風邪罹患率。第59回日本温泉気候物理医学会総会，1994.
- 2) 延永正・立川啓二・石井公展・吉田史郎：慢性関節リウマチに対する寒の地獄泉入浴の影響に関する研究補遺——主として免疫学的パラメーターの変動——。日温気物医誌，57：113-122，1994.
- 3) 白倉卓夫：高温強酸性泉。日温気物医誌，52：18-20，1988.
- 4) Singer JM, Plotz CM: The latex fixation test: Application to the serologic diagnosis of rheumatoid arthritis. Amer J Med 21: 888-892, 1956.
- 5) Bozicevich J, Bunim JJ, Freud J, et al: Bentonite flocculation test for rheumatoid arthritis. Proc Soc Exp Biol Med 97: 180-183, 1958.

温泉権紛争の調査と研究 (IV)

(大分医科大学) 大 野 保 治

目 次

はじめに

- | | |
|--|------------------------------------|
| I 温泉の権利にかかわる紛争と形成要因 | 3 近代的温泉権をめぐる紛争 |
| II 温泉の掘削にかかわる紛争と形成要因
(以上 会報第 42 号 — 報告 (I)) | (以上 会報第 44 号 — 報告 (III)) |
| III 温泉権紛争の具体的事例 | IV 温泉の掘削紛争と具体的事例
(以上 本第 45 号報告) |
| 1 序 説 | V 温泉 (権) 紛争の防止と調停 |
| 2 旧慣温泉権の解体過程に現われた紛争事例
(以上 会報第 43 号 — 報告 (II)) | VI 結 び
(以上 次号報告予定) |

IV 温泉の掘削紛争と具体的事例 (再説)

温泉の掘削をめぐる、いわゆる「掘削紛争」とその形成要因について、概念なり論理構成については本誌第 42 号 (平成 3 年 3 月刊) で総論的に報告しておいた。本報告書では、各論的に再説を試み、併せて県下の温泉地での具体的事例を記述することを目的とする。

以下に、その紛争原因と考えられる事項を項目別に分説することにする。

1 温泉の掘削と源泉地をめぐる紛争

温泉を掘削し利用しようとする者 (以下、「掘削者」と称す) は、まず掘削に必要な土地 (源泉地) の何らかの使用権を取得しておかねばならないことは、ここに記述するまでもない (温泉法第 3 条 2 項)。掘削者が自己の所有地に掘削する場合には、紛争を生じる余地は少ないが、他人の土地の場合には、充分な法的対策を講じておかないと後日に紛争 (いわゆる「掘削紛争」) を生じる事態にもなりかねない。

他人の土地に温泉を掘削する一般的な手続としては、地価が比較的安い温泉地方にあっては①源泉地購入、また地価が高い地方にあっては②源泉地借用の 2 型が見られる。

前者①型にあっては、掘削者は、掘削に先だって温泉湧出が有望視される他人の源泉地を必要な限度で購入し、自己のものにしておく必要がある (土地所有権の売買契約による取得)。しかし、湧出が実現しなければ購入地は無駄となり (投機的な土地売買)、それ故、買主は「危険負担」を強いられることになる。かかる場合、民法法理上では債権者主義と債務者主義で見解を異にするが、特定物に関する双務契約について日本では債権者主義が採られている (第 534・535 各条) ことから、掘削者は「利益の帰するところに損失も帰する」とか「買主は危険を買う」の考え方で損失を負担すべきは当然である。但し、源泉地の購入に際しては、次に述べるように掘削地のみならず、その周辺の掘削工事に必要な土地 — それはまた湧出後の温泉施設の設置に使う — を取得しておかないと、後日隣接地主との間に悶着を起こすことも予想される。この点、配慮すべきであろう。

つぎに、後者②型の源泉地借用を見よう。この場合、掘削者は、源泉 (予定) 地 1~3 坪と掘削に必要な土地使用権、併せて当該土地への出入に必要な立入権をも確保しておかないと、その目的を果たすことができない。仮に湧出を見なければ、原状に回復して地主に返還すればよく、この点、①型の短所ともいえるべき投機性は避けられる。

また、源泉地盤所有者が掘削者に土地の譲渡にも借用にも応ぜず、自らも温泉利用を希望する場合はあ

る。かかる場合は、温泉が湧出を見た段階で温泉利用を協議すればよく、その手続としては、一定面積の源泉地（鉱泉地）を掘削者に無償で譲渡し、その代償に温泉利用を留保しておく④無償譲渡型と、源泉地所有者と掘削者とが源泉地を共有しておく⑤源泉地共有型との2型が見られる。県下の温泉地では、後者の事例が多いように見受けられる。

以上、①②のいずれの型をとるにしても、温泉湧出後の利用については、掘削開始の前段階（第1段階）で両者の契約の中で予め定めておく方法と、その時の契約内容は掘削のための土地使用契約に留め湧出実現の段階（第2段階）で湧出後の対策を改めて契約しなおす方法、の2つが見られる。両者の契約上の方式は、前者が1つの契約で処理されて便利であるのに対して、後者のそれは、2つの契約で構成される（混成契約か？）。私見によれば、温泉湧出の確率が高い場合には前者の契約方式が、逆に低い場合には後者の方式が望ましいのではないかと考える。

さて、叙上の④（源泉地）無償譲渡型と⑤（同）共有型をめぐる掘削紛争について、紛争の形成要因を再び記述してみよう。

前者の形態は掘削者の側に有利であり、その法的性格は、源泉地（鉱泉地）所有権と温泉利用権との経済的価値が等価であることである。掘削者にとっては、その評価には温泉掘削に要した経費一切が含まれる。また、その法的形式も等価交換契約——もっとも税法上では不動産売買契約として譲渡税の対象となることが予想される——と考えられる。また、温泉利用については、両者の必要度に応じて協議の上で「温泉何口分」とか「湧出温泉（総量）の何割」とかの形で、各割合（持分権）が決定される。これらの際、紛争原因として考えられるのは、両者の経済的評価がくい違って等価性を欠くとき、温泉利用面で持分権に変動が起きたとき、また湧出温泉に異変が生じたとき、などである。

後者の形態にあって、紛争原因と考えられるのは、まず掘削経費の分担問題である。通常は鉱泉地名義で1~3坪程度を共有にするが、例えば鉱泉地の持分を各2分の1にするからには掘削経費も折半にし、併せて温泉利用権も同様にしておくことが理想的で、このような配慮が紛争防止には役立つであろう。だが実際問題としては、かように事はうまく運ばず、紛争を生じるのは鉱泉地所有権（持分権）と温泉利用権とが分裂に陥ったとき、である。例えば、源泉（第1次温泉権）の一部を譲り受けた者が、それがどのような性格の温泉権なのかの法的知識を欠き、安易に温泉利用関係に加わったがために紛争（温泉権紛争）に立ち至った事例については、本誌第43号で報告したところである。⇒ <事例12><事例15>など

さて県下では、掘削者の多くは一般民間人（私人・法人）であるが、ときには宅地造成業者や温泉掘削営業（ボーリング業）者もいたりする。いずれにしる、温泉の掘削紛争の特徴は、温泉水という天然の「物」（民法上、権利の客体）で「温度」・「湧出量」という特異性と並んで、地表に湧出という自然現象が年月の経過の中で可変性（不確実・不安定性）をもつ点である。そこでの最悪の事態は、源泉の枯渇ないし休止である。そのため温泉利用をめぐる契約締結の時点で、源泉が危機に遭遇したときの緊急措置条項を特定しておくことが肝要と考えられる。

<事例22>

昭和40年頃、別府温泉近郊（新別府地区）に居住の別荘住人・某は、戦後、新別府温泉組合の役員で引湯温泉と諸施設の管理に携っていた。温泉の法知識や掘削技術にも詳しくなったことから、自らも自宅近くの所有地にボーリング業者と諮って掘削にのり出したが、ついに湧出を見なかった。この時の業者との契約内容は、風聞によれば、湧出が成功した暁には湧出総流の3分の1を自家用に使い、他は業者に与えること、掘削経費は全て業者負担というものであった。湧出が実現せず、源泉地は原状回復して某氏に返還された。その後しばらくして、某夫妻は本籍地の子供の家に帰り死去した。（そのため詳細は不明である）

<事例 23>

別府鉄輪温泉近くの住宅地の住民数人は、昭和 40 年頃、かねて共同で温泉を掘削し利用し会おうと話合っていた。当時は、現在と違って周辺に源泉も少なく掘削経費も高く、規制も厳しかった（保護地域設定以前）。掘削が具体化する段階で湧出の可能性をめぐってグループ内で紛糾し、結局、2 名（姉と弟の親族関係どうし）のみが試掘を決意し、弟宅地内に掘削して湧出をみた。他の人たちは後日、掘削経費の分担を条件に「分湯」を望んだが拒否された。姉宅は弟の家から東方約 100 米の位置にあるため、のち引湯管敷設をめぐってその中の 1 人に反対された。やむなく姉は遠距離を迂回して引湯管を埋設した。温泉の分湯を断られた周辺住民は、その後はいずれも個別に掘削したり、他人の源泉から引湯したりしている。なお、弟宅地内の源泉地は分筆登記していない（親族関係でも「鉱泉地」名義にして地目変更しておくことが望まれる）。

2 掘削をめぐり周辺の既設温泉権者との紛争（周辺との温泉掘削紛争）

温泉の掘削とその利用をめぐり、近隣の既設権者との間で掘削紛争を生じるといった事態は、かつては再三見られたところである。温泉県の本県でも珍しいことではなく、かかる紛争を未然に防止するため、昭和 34 年以降、県所管課では掘削者に近隣温泉権者の「承諾書」（掘削同意書）を取らせていたが、昭和 51 年 12 月（第 200 回温泉審議会）以降、この制度も廃止された。

昭和 30 年代中頃から全国の主要温泉地で、掘削技術の向上、経済力の高揚、併せて観光ブームによって掘削競争（乱掘現象）が起き大きな社会問題となった。昭和 40 年代に入り「温泉保護地域の設定」が実現し、漸く下火になった。審議会での許可処分も距離制限が適用されることになったため、この種の紛争も次第に影をひそめるに至った。その具体的事例は、ここには再び取り上げないことにする。

3 増掘と代替掘削にかかわる紛争

(1) 増掘をめぐり紛争（増掘紛争）

温泉法に「増掘」を定めた規定は、特に見当たらない。もっとも法第 8 条は、これに触れて「温泉の湧出路を増掘したり、又は温泉の湧出量を増加させるため」の動力装置には知事の許可を要する旨規定している。環境庁資料（『逐条解説温泉法』）によれば——増掘とは、①湧出路の口径の拡張、②深度の増加、③その他、湧出路に変更を加えて湧出量を増加させる行為、をいう。したがって自然湧出泉について、その湧出口を掘削する行為もまた本条の「増掘」に該当する（昭 31.8.27 国発第 460 号通知）。

ちなみに、ここにいう「湧出路」とは、温泉を掘削技術の側面から把握する概念（説明概念）であり、法社会学の権利の側面から把握するなら、掘削者が湧出口の源泉を直接に支配し、かつ第 1 次的に利用する「湯口（支配権）ないしは「第 1 次温泉権（源泉権）」として——権利概念として——理解することも可能である。

このように「湯口権」の内容は、単に温泉の採取・利用・処分を目的とする権能（温泉そのものの利用権）だけに尽きるのではなく、湯口の支配は、その中に増掘したり浚渫したり、またポンプを設置したり等の方法によって温泉の湧出そのものを増加したり、あるいは湯口を閉塞して温泉の湧出を減少・停止したりすること、すなわち「温泉の湧出そのものをコントロールすること」までを含んでいる。本県別府地方での温泉裁判判例（判旨）も、その湯口（権）について「湧出温泉につき増掘浚渫ないしは引湯をなし得る（権利）」と概念規定しているのである（大分地裁 昭和 36 年 9 月 15 日判決参照）。このように公権（司法）解釈を通して、温泉行政を進める上で無用の混乱や紛争（解釈紛争）を招くことを避けているのである。

<事例 24>（再録）

別府市近郊の新興住宅地で温泉権付き分譲宅地を購入した 13 名は、造成分譲の不動産会社から鉱泉

地（共有）と温泉利用施設（湯湯工作物や引湯埋設管など）全てを譲り受けた上で「温泉組合」を結成し、組合員がそれぞれ利用していた。数年後、組合有源泉が完全に湧出を停止したため、当該組合では急遽臨時総会を開き復旧工事にのり出すことになった。ところが再掘（増掘もしくは代替掘削）に当たり、積極的にこれを進めようとする者（グループ）と再掘しても湧出の可能性は低いとする者との対立が起きて紛糾し、容易に解決をみなかった。当温泉組合では、組合員全員の同意が得られなかったことから再掘はこれを見送り、解散して今日に至っている。

（講 釈）

本事例は昨年号（本誌第 44 号）記載の〈事例 20〉の再録である。そこで報告した論旨は、温泉組合の規約の問題（源泉の緊急事態に対応する組合意思の規定の不備）、地下温泉源に対する専門的・技術的知識の欠如、それに日常生活に果たす温泉の持つ医学的効果への無理解、温泉の必要性への稀薄など、であった。一方、民法上の規定からする問題点としては、「共有物の変更には組合員全員の同意を必要とする」（第 251 条）が阻害要因となって再掘が実現されなかったのである。かかる場合、特約事項として「組合員全員の同意」ではなく、出席者（委任状を含む）の 4 分の 3 とか 5 分の 4 の承諾があれば再掘できる、などと規定しておくことが望まれる。

(2) 埋設管取り替えについて

増掘に関連して、法（温泉法）の解釈と運用の上で論議を呼んだものに「埋設管取り替え」問題があった。この点に関して、温泉法および同施行規則に格別の定めは見当たらない。

本県では、従来、温泉審議会運営規程第 9 条に基づき、増掘と同様に解して処理してきた。埋設管の取り替えが湧出量の増大につながるとの認識から、温泉源保護の目的（第 1 条）達成のため新たに知事の許可が必要であると解釈し、増掘手続に準じて知事の許可事項として処理してきたのであった。

この問題をめぐる論争（解釈紛争）の背景には、一般に埋設管取り替えをもって増掘とみるか浚渫（管理行為）とみるか、の見解の対立があった。国の見解もまた、当初（厚生省所管時代）は両説に分かれ、統一見解は示されなかった。しかし、その後、温泉行政が環境庁に移管されてから、全国の主要な温泉場での実情に鑑みて後者の「管理行為」説に傾き、これに統一をみた。すなわち、埋設管取り替えは「しゅんせつ（浚渫）の管理行為と解して知事の許可を要しない」との統一見解（行政解釈）が示された（前掲『温泉法』）。

ちなみに「管理」ないし「管理行為」とは、民法上財産の所有に対して財産につき保存・利用・改良をなすこと（保存行為・利用行為・改良行為）をいい、通常は財産の処分行為（既存の権利の変動を直接の目的とする法律行為）に対立する概念、と説かれている（『法学辞典』）。

以上のように、本県での「埋設管取り替え」問題では、解釈（概念の構成）と実務（行政手続）の面で上級庁である環境庁のそれとは必ずしも一致しなかった。法規範のもつ統一性と公正性に照らしても、それは望ましいことではないことから平成 3 年 3 月 13 日（第 268 回審議会）以降、県温泉所管部課では、埋設管取り替えは知事の許可を要しない「届出事項」に改められた（県環保第 121 号通知）。それによれば、「埋設管取り替え（工事）とは現存の管を回収して同一地点に当該管と同一口径および同一深度の管を打ち込む行為」と概念構成（規定）をみた。したがって、埋設の管の口径と異なる管や深度を増大させるなどの工事は、従前どおり「許可事項」として県知事の許可を要することが改めて確認された。

(3) 代替掘削をめぐる紛争（代替紛争）

代替掘削に当たっても、増掘問題と同様に、とかく紛争を生じやすい。温泉審議会（現温泉部会）の審議に際しては、現孔と代替予定孔との間に温泉利用の継続性と法形式上の同一性とが要請される。

ここでは、代替掘削により従前の温泉利用秩序が乱されたり、また既存温泉者の既得権が損なわれる

ようなことがあってはならない。そのため、現孔からの距離が規制されており、県温泉部会内規（第9条(1)）では「現孔から1m以内」と定められている。よって正当な理由がなく1mを大きく超え、代替予定孔が新規掘削と実質的になんら異ならないと認められる限りにおいては、代替掘削はこれを認めない、として処理されている。

過去の審議会で論議を招いたのは、距離規制を解除する「正当な（合理的）理由」の客観的基準と、これに関連して1mの距離の許容範囲をどこまで認めるか、の2点であった。前者の客観的基準としては、①都市計画や区画整理など公共事業による温泉孔の位置変更、②公共道路の拡幅・変更、河川の改修工事などの公共的要請に基づく場合、この他、③現孔が堅固な工作物に囲繞され、もしくは近接して規定1m以内では代掘工事に支障をきたす場合、が挙げられた。①②の公的理由に拠る場合は止むを得ぬこととして、看過できぬのは③の私的理由に拠る所定距離違反のケースである。そこでの法的問題は、法規範のもつ強制力（規範力）であり、違法行為を放任する無責任な対応にあった。

昭和51年3月25日、県温泉行政所管課では県下各保健所（長）あて通知を発し、今後の新規掘削工事に際しては「源泉の周囲は適当な空地を確保し、維持管理や代替掘削の申請の際に支障のないようにすること」と指導を強化した（県環管第1797号通知）。最近では、この種の混乱も、既設温泉権者とのトラブルもあまり見られなくなっている。

最後に、現孔と代替孔との許可条件にかかわる法形式的な同一性の問題では、先の距離規制と違って統一的基準を要するものではなく、個々の申請件ごとにケース・バイ・ケースで処理されている。同一条件でなければ許可しないほどのものでなく、周辺源泉との兼ね合いを総合的に判断して公正な審議がなされている。許可条件をめぐる中で比較的重要な「口径」と「深度」については、後項(5)で改めて取り上げることとする。

(4) 不明孔をめぐる紛争（不明孔等紛争）

代替掘削に当たり、ときに現孔（原口）の位置が不明なため掘削地点が特定できず、代掘が事実上不可能となって紛争に発展するといった事例も、間々見受けられる。源泉地盤所有権とともに、または源泉権（の一部）を譲り受けた者がのちに代掘を試みようとして取引相手や利害関係者と争い、争訟に発展するというのがこのタイプである。

本来、代替掘削は「温泉を継続して採取し、かつ、利用する」（前掲内規第9条(1)、上掲点は筆者）場合に認められることから、不明孔や停止孔（枯渇泉）、未利用孔（以下、「不明孔等」と称する）に対する適用は原則として認められない、と解される。しかしながら、県下の主要温泉地での永年の温泉利用の実情や温泉取引の慣行をみると、上記の不明孔等が取引の対象となっていることも、さして珍しいことではない。

そこで、このような温泉地での実情や慣習を信頼して不明孔等を購入した者に対して一律に代替掘削を認めないとすれば、購入者に不測の損害を与え、その結果、私権の侵害（判例上でも温泉権は「物権に類似した権利」として認められている）行為にもなりかねないであろう。民法法理で「公信の原則」（第192条の善意取得はその顕著な現われ）の尊重は、また「公示の原則」と相まって、完全に第三者の権利の保護と取引の安全を確保するための制度なのである。

代替掘削紛争のうち、不明孔等紛争を未然に防止するため、本県では行政措置として平成2年3月「指導要綱」を定めた。それによれば「現孔が（不明孔として）確認できない場合は、温泉台帳に登載している、いないにかかわらず、代替掘削は認めない」と厳格に解する規定において、この種の紛争に歯止めをかけることになった。その具体的事例については、後日報告の予定である（現在係争中）。

4 掘削許可の附款（条件）にかかわる紛争

温泉掘削に当たり知事の許可処分の附款——この場合は「許可条件」——には「湧出路（埋設管による）

の口径」「掘削深度」「揚湯量（動力装置）」の3条件が示される（温泉法施行規則第1条（申請書の記載事項—4））。これらにかかわる解釈や手続事務等に共通の理解がないと、温泉行政推進の実務の上で無用の混乱を招き紛争に至ることも考えられる。

(1) 埋設管の口径をめぐる統一見解

新規掘削や増掘等の場合、埋設管の口径は「（使用目的）公共浴場の場合—50mm以内」「（同）自家浴用の場合—40mm以内」と、その基準が示されている（県温泉部会内規第9条(3)）。温泉利用で口径の幅に差を設け、前者の使用に50mmまで許しているのは、それが不特定・多数の人々の「公共性」に着眼してのことであることは明瞭である。審議に際して混乱を招かないため、公・私的利用の2段階に分かつ便宜的措置である。

ここにいう「口径」とは、埋設管のどの部分を指しているのだろうか。通常、それは「埋設管の仕上りの内径を指す」とされるが、従来の実務取り扱い（掘削申請書や温泉台帳などの記載）の上では“呼び径”（注—日本工業規格の規定による呼称）によるものもあり、これまで紛らわしかった。本県温泉行政担当課では、昭和59年12月1日から「申請書、台帳等への記載にあたっては、実測の内径（mm）を記載し、その後に括弧書きで呼び径を記載すること」に統一した（昭和59年12月3日、県環保第111号）。具体的に示せば、配管用炭素鋼管で呼び径が40A（外径48.6mm、内径41.6mm）の場合、その記載は「42mm（40mm）」と決められたため、書面上での混乱は避けられるに至っている。

(2) 掘削の深度をめぐる統一見解

つづいて、掘削許可の条件「深度」を見よう。

周知のように、温泉台帳上では埋設管の深度を記載することになっており、別段の問題はないかとも考えられる。通常は、掘削深度と埋設管深度とは同一と考えられているからである。しかし、厳密に解すれば、これには「掘削許可深度」「掘削深度」「埋設管挿入深度」の三態様—区分概念ないし分析概念として—が考えられ、そのいずれを指すかは紛らわしい。

一般に温泉の掘削に当たっては、許可指令書に記載された深度の範囲内であれば、どの地点の深さであれ、掘削目的が達せられた時点で工事を中止し、温泉を採取し利用することができることに争いはない。しかし、掘削許可深度を一定深度の範囲内に限定する—例えば上限と下限の深度を指示する—場合、具体的に例示すれば「地下200米以上300米以下」とした場合、これに違反して地下200米以内か同300米以上の深度（地層）から採湯（または高熱蒸気）としたときは、明白に許可条件違反と解される。よって、違反掘削者には、強い指導を加えて許可条件を厳守させるべきである。指導に服さなければ、法第6・7各条に徴して処罰されるべきものとする。

(3) 熱交換方式による人工温泉について

温泉の掘削許可に際して、熱交換方式による人工造成温泉の取り扱いをめぐるも、過去何回か論議を呼び問題化した（筋湯温泉など）。

その工事手法は、地下の熱水もしくは高温水蒸気中に耐熱性ステンレス管の類を設置し、水（地下水や河川水など）を注入して温泉源の熱を吸収させた上で地上で回収する方法であり、その造られた温泉（人工温泉、造成温泉）が温泉法にいうところの「温泉」に該当するか否か—該当するなら温泉法所定の手続や規制に従う—、の紛争であった。ここでの論点は、①かかる造成温泉にも知事の掘削許可を要するのか、②仮に要するとして、当該温泉を県の温泉台帳に登載する必要があるのか、また③近隣の新規掘削者に対して掘削のための制限（例えば距離規制など）を加えることが妥当か、の3点に要約できよう。このような温泉の亜種とも見られる特種な人工温泉に対しては、温泉法の立法目的（第1条）に照らして検討してみる必要があるように思える。

結論を急げば—熱交換方式による人工温泉は、地中において温泉源の熱を吸収する行為（熱採取行

為)であり、温泉法が保護対象にしているのも、まさに地下水の「温度、又は物質を有するもの」(法第2条1項)であることに着眼すれば、当該地下での熱採取行為は当然「温泉の採取」と類推解釈が可能と考えられる。よって人工温泉もまた、温泉法にいう「温泉」の範疇——特殊な製法による温泉の変(亜)種?——に含まれる、と解してもよいのではあるまいか。よって知事の許可を要することは無論、温泉台帳にも記載すべきものと考えられる。もっとも、その記載に際しては、その旨特記(例えば「備考欄」などに)しておけば、後日参考資料として役立つであろう。また、④の課題に関しては、当該人工温泉は、地下の温泉源から直接に採取した温泉(法第9条)には該当せず、したがって「温泉の採取」とは解し難いので、近接の新規掘削予定者に制限を加えることは望ましくないであろう。環境庁の回答もまた、そのように解しているようである。

5 掘削地が特殊な地域にある場合の紛争

(1) 掘削地が河川敷にある場合

掘削に必要な源泉地が河川敷にある場合、掘削申請に際して河川の所管庁との関係がまず生じる。河川法(昭39、法167)によれば、河川敷での掘削と温泉利用には、まず河川敷の「占用許可」と揚湯・引湯施設等の「工作物設置許可」を取得しなければならない(法第18・24各条ほか)。この河川敷占用権は、権利の分類上では、それが公権力の形式的な統制下に置かれているため、一応「公権」と解されている。しかし、その権利や行使の実態に即してみると、その実体は、私権のそれとさほど変わらない。また、社会的事実としても、河川行政推進の上でも私権性が尊重されており、柔軟な行政対応が示されていることは以下に述べるとおりである。

法社会学的問題点として、このような私権性の承認とともに留意すべきは、温泉権存立の基盤でもある占用権の消滅・否定が直ちに温泉権の消滅・否定に連なるという事実——それはまた論理的帰結——である。すなわち、温泉権がたとえ河川敷上に存在するからといって、憲法上(第29条)で「(一種の)財産権」と認められるからには、その全面的否定もしくは軽視は違憲の謗を免れない、と解される。とはいえ、それはまた「公共の福祉」の観点から制限される(同条第2項)ことから、河川敷上の占用権も、河川敷管理者が公益目的に照らして必要とする場合には、その必要な限度においてのみ公用収用に準じて「正当な補償の下に」(同条第3項)その占用権を制限・消滅しうる、と解すべきであろう(小林直樹『憲法講義』)。

温泉場は古来、河川に沿った地で発見された例が多く、また現に全国各地に所在している。大分県でも、その典型的な温泉場として玖珠川に沿う天カ瀬温泉(玖珠郡天瀬町)を挙げることができる。この温泉場の場合、河川敷での源泉の分布状況は一定地域(天瀬橋の上流約200mまでの両岸)の湯山地区に集中して26口を数え、当温泉場地域の源泉総数(61口)の約4割を占めている。26口のうち、枯渇泉5口(うち未利用孔1口)を除く21口は、地区共浴場目的の2口を除いて全て旅館・ホテルの公共目的に供されている。深度は1~3mが多く、最深のもので6.5mである。また一方、河川敷での揚湯・引湯など諸施設のための工作物設置許可件数は27件を数える。なお詳細な状況は、拙稿報告書(昭和55年3月刊「天瀬における温泉権の実情」)を参照して頂きたい。(もっとも、調査時より十数年経過しているので、多少の変動が見られるかも判らない)

上掲報告書で触れておいたように、地元の古老や温泉関係者の聴き取り調査の結果でも、温泉行政機関(日田保健所・同土木事務所)の側に河川敷での温泉掘削と利用について理解と協力が得られていること、また温泉(権)紛争についても現在までさしたるものが見られなかったことは、ここに再記しておく必要がある。

通常、河川敷での場合、行政対地域温泉利用集団、利用者どうし、利用者対利用集団(団体)などで紛争が生じる事例が多く、とりわけ地域での有力温泉営業者(例えば観光大資本とか、政治力をバック

にしたホテル業者などが限られた湧出地を先占して河川敷占用権を独占的に利用したり（温泉権の独占的支配）、温泉施設の設置で争ったり、また温泉権譲渡でトラブルを起こす（県では占用権の移転は禁止していない）、等々のことが考えられる。当温泉場では、このような特記すべき温泉（権）紛争——掘削紛争をも含めて——は見られないのが実情である。

ここで、当天カ瀬温泉での近況を報告する。先年の自然災害（注一平成3～5年の台風・豪雨）による河川被害に対して、県では現在改修工事を進めている。この工事中、県側と既存温泉権者との間に起きた河川敷湧出の温泉をめぐる紛争をつぎに掲げる。

<事例 25>

当該河川改修工事中（平成5年11月30日～翌6年6月15日）、既存の源泉者数人——具体的には湯山共有財産区（関係源泉数は1口）、B保険組合保養所（同1口）、並びに民間温泉営業者3人（同3口）——は、これまで利用していた湧出温泉が前記工事の影響を受けたとして工事中の補償と工事完了後においても原状に回復しない場合の補償を行なうよう県に要求した。ところが幸いに、同町大字湯山字湯瀬1160-12番地先に自然湧出の温泉が発見された（コンクリート枠組 1.5m×1.5m、深度1.4m、温度89℃、湧出量130ℓ/分）。補償請求者らは、この新源泉をもって補償（補充）用に充当すべきだと主張した。そのため県では、「温泉の発見」の場合の手続を取り新規掘削申請を提出し、知事により許可された（第280回温泉部会、諮問12923号）。現在、県と関係者との間で協議中である。

(2) 掘削地が国有地にある場合

掘削地が国有地上にあるとき、掘削申請者と土地所有者である国との契約（国有地貸付契約）は、国有財産法・国有林野法・国立公園法・会計法など国有財産管理に関する諸法規の適用を受けるため、その具体的内容もまた複雑なものとならざるを得ない。

国有地上の温泉利用を内容とする契約にあっては、河川敷での占用の場合とほとんど変わらず、貸付期間は5年（参考—植樹・建物等は60年・30年・10年（法第21条））、また公益上必要があると認められれば解除される（法第24条）。源泉地盤が国有地に編入された結果、公権的色彩の濃い形式的統制の下に国の同意なくして温泉は利用され得なくなったのである。

ここで、温泉湧出地盤が国有地に編入された歴史的沿革について、回顧してみよう（『入会権の研究(1)～(3)』『注釈民法(7)』など）。

——温泉の所在する国有地の多くは、明治初期、官民有区分のときに国有に編入（没収）されたものである。それ以前の旧慣上の温泉権（旧慣温泉権）は、自然湧出泉として何らかの利用権が永年にわたって成立していたのが普通である。そこでは、主に湯口と共同浴場敷地を利用し得た場合が多かった、と推測される。それが国有化という国策的処理により、近代的所有権制度の導入という制度改革と相まって、国家の私的所有権の中に埋没させられ、「貸下」とか「貸付」という債権関係に形態変化させられたのである。それは当時、広範に生じた国有地上の^{かしきび}入会権・小作権と同様の形態変化と軌を一にするものである。ここでの論点は、旧慣上の権利を近代法の上でどう取り扱うか、であった。これには、国有地上の入会権を承認すべきか否か、の問題と共通の要素をはらんでいたのである。

現在、国や県が利用者と結んでいる温泉利用契約には、種々の形態のものが見られる。しかし、判例によれば、温泉利用権は一般に「一種の物権」と認められており、特に明治以前からの慣習（旧慣）に基づく温泉利用権（旧慣温泉権）については、判例の態度は極めて明確であった。そこでは温泉利用権が一種の物権と認められていることは、これが私法上の財産権（私有財産権）として裁判所に認められていたことを意味するのであり、これが法律上の保護の対象となり現行憲法（第29条）に結実している事実は、これまで縷述してきたとおりである。よって、国有地上の入会権や灌漑用水権を否定しさがとが許されないように、温泉利用権——一部の研究者はかかる温泉権をもって「温泉入会権」とも呼ん

でいる——もまた最大の尊重を必要とするのである。

さて、国有地に所在する温泉場は、全国的に見て栃木県・長野県・北海道に多い（前掲川島書）。本県においても、くじゅう高原地域（阿蘇国立公園）に散在する温泉（くじゅう温泉群）に幾つか見られる。その温泉利用の実態については、拙稿になる報告書「筋湯における温泉権の実態(上)(下)」(本誌第27・28各号)の中の「国立公園内での温泉利用」の項目を参照されたい。以上を要するに、温泉利用権は、温泉を湧出する地盤の所有権が国有地となることによって消滅することなく存続したもの、と認めなければならないのである。

ここで、本報告書課題の論旨をしばらく離れ、国有地上の入会権の存否をめぐる争われた地域紛争の事例を取り上げてみよう。

——戦後、昭和32、3年ごろ、別府市街の西方後背丘陵地（俗に別府では扇山と呼んでいる）にゴルフ場が開設されることになった。この扇山の山麓丘陵地一帯は敗戦まで陸軍演習場で、戦後国有地（大蔵省）に編入された。この地には、かつて旧3カ村（旧朝日村の小字ムラすべてと石垣・亀川各町村の小字ムラの一部）が入り会う採草組合（組合員約300戸）が存在していたため、開発を進める別府市側と農民側とが採草の入会権の存否をめぐる補償問題で対立した。市側では、第二次大戦後は採草していない事実を挙げ、大正4年時の大審院判決（この審判で国有地上の入会権は否定されたが、戦後学会で大きな批判を呼んだ）を論拠に、このような旧慣上の権利は認められないとの見解に固執し、入会集団の農民組合と激しく対立した。結局、採草組合側の見解が容れられ、応分の補償金が支払われて当該補償紛争は落着いたのであった（詳細は昭和48年刊『別府市誌』中の別府ゴルフ場開設の項の拙稿を参照）。

（つづく）

県内温泉地現況調査 (深耶馬地区)

大分県環境保全課
中津保健所

県内温泉地現況調査は、県内各温泉地の温泉のゆう出量、泉温等の調査を実施し、その調査結果と既存資料との比較、検討を行うことによって、その温泉地の現況を把握し、今後の温泉保護施策等の基礎資料とするために実施しているもので、本年度は耶馬溪町深耶馬地区について、2月7、8日に調査を実施した。

調査方法は昨年度のとおり、温泉台帳登載の源泉について泉温、ゆう出量の測定を行った。

調査結果

調査結果については第1表、第2表のとおりであり、過去の調査結果と比較してみた。

- (1) 活動孔数 16孔
- (2) 総ゆう出量 1,225m³/日
- (3) 平均ゆう出量 53.2ℓ/分
- (4) 平均泉温 42.1℃

第1表

No.	温泉所有者 (源泉名)	源泉ゆう出地	掘さく許可 年 月 日	口径	深度	動力装置 種類出力	利用状況	温泉のゆう出量及び泉温の記録		
								測定年月	ゆう出量(ℓ/分)	泉温(℃)
1	耶馬溪観光ホテル(株)	大字深耶馬字鳴良 2968-1	S62.10.15	51	500	エア-リフト 2.2kW	ホテル浴用	H元. 6 H 6. 2	75 48	51.5 49
2	岡本輝武	大字深耶馬字宮の谷 2959-3	S62. 3.25	40	500	自 噴	民宿浴用	S62 H 6. 2	50 26	49 42.7
3	高榎伸弘	大字深耶馬字南平 3146-4	S62.12. 7	51	500	エア-リフト 2.2kW	自家浴用	S63. 2 H 6. 2	40 55	43.5 42
4	松葉元義	大字深耶馬字石原 3263	S62.10.15	51	500	エア-リフト 2.2kW	民宿浴用	S63. 6 H 6. 2	20 37	45 44
5	小畑知彦	大字深耶馬字小杉 3191	S39.10.25	50	300	自 噴	未利用	S40 S57. 4 H 6. 2	120 45 33	41 39 36.1
6	耶馬溪観光開発(株)	大字深耶馬字漆原 3098	S38.11.28	75	300	自 噴	共同浴用	S40. 8 S57. 4 H 6. 2	120 60 21.8	43 43 36.3
7	相良幸也	大字深耶馬字程平 3150-3	S35.11.28	51	285	エア-リフト 1.5kW	未利用	S36 S57. 4 H元. 5 H 6. 2	374 200 97.5 —	42 42 41 —
8	松葉敬太 外1名	大字深耶馬字奈女川 1894	S57. 6. 7	50	300	エア-リフト 1.5kW	民宿浴用	S57 H 6. 2	57 32	44.6 40.3
9	高野太司	大字深耶馬 2149	S61. 6.17	51	500	エア-リフト 2.2kW	公共浴用	S62. 9 H 6. 2	30 24	46 44.1
10	尾林太 外4名	大字深耶馬字下 2062-1	S61.12.18	51	500	エア-リフト 2.2kW	椎茸栽培用 自家浴用	S62. 3 H 6. 2	46.9 32	44.7 42.2
11	矢野勝利	大字深耶馬字杉ノ谷 3222	S63. 3.29	50	400	エア-リフト 2.2kW	公衆浴用	S63. 8 H 6. 2	45 84	42 43.1

No	温泉所有者 (源泉名)	源泉ゆう出地	掘さく許可 年 月 日	口径	深度	動力装置 種類出力	利用状況	温泉のゆう出量及び泉温の記録		
								測定年月	ゆう出量(ℓ/分)	泉温(℃)
12	(株)ネサンスアイエヌシー	大字深耶馬字測尻 3177-4	S63. 9.28	53	500	エア-リフト 2.2kW	保養所浴用	H元. 6 H 6. 2	25 9.6	44.5 39
13	古 園 静 馬	大字深耶馬字宇太郎 3088	S63. 7.14	40	500	動力未設置	未 利 用	H元 H 6. 2	50 —	35 —
14	藤 本 忠 雄	大字深耶馬字立 3211	H元. 5. 8	51	450	自 噴	公衆浴用	H元.11 H 6. 2	18 22.2	40 40.3
15	藤 本 輝 雄 外 2 名	大字深耶馬字程平 3153-10	H元. 2.15	51	360	エア-リフト 1.5kW	自家浴用	H 2. 7 H 4. 9 H 6. 2	42 64 80	43.5 42 44
16	矢 野 博 嗣	大字深耶馬 3155-16	H元. 8.15	51	320	エア-リフト 0.4kW	民宿浴用	H元.12 H 6. 2	45 64	42.6 43.6
17	耶 馬 溪 町 長	大字深耶馬字奥川内 3166-4	H2. 2. 3	51	450	エア-リフト 3.7kW	公衆浴用	H 5. 3 H 6. 2	120 162	43 43.4
18	相 良 幸 也	大字深耶馬字程平 3150-2	H2. 3.17	51	500	エア-リフト 1.5kW	旅館浴用	H 5. 6 H 6. 2	120 120	44 43.1

現在、深耶馬地区の活動孔は16孔であり、1日総ゆう出量は1,225^mである。温泉所有者の内訳は、個人所有が15孔で、町有が1孔となっている。

ゆう出状況については、すべて掘さく泉であり、自噴しているものが4孔で、他は動力揚湯がなされている。温泉利用形態については、旅館、民宿等の公共利用が11孔で、個人利用は4孔である。その他自噴泉の未利用孔が1孔ある。

次に、昭和63年の調査結果と比較してみると、活動孔数は4孔増加しており、自噴泉が1孔減少し、動力泉が5孔増加している。ゆう出量については、一日総ゆう出量は164^m増加しているが、平均ゆう出量は8.2ℓ/分減少している。泉温については特に変化はみられない。

第2表

種別 年次	活動孔数	自噴泉	動力泉	最高泉温	平均泉温	平均ゆう出量(ℓ/分)	一日総ゆう出量(^m)
昭和63年	12	5	7	50.2	42.1	61.4	1,061
平成5年	16	4	12	49.0	42.1	53.2	1,225

終わりに、深耶馬地区全体としては、昭和63年の調査時に比べゆう出量は増加しており、泉温も特に変化はみられなかった。しかし、1孔当たりのゆう出量については減少がみられるので、今後、温泉の集中管理化による効率的な温泉利用を図るなど、温泉の有効利用に一層努めていく必要があると思われる。

参考文献

- 1) 山下幸三郎(1959)：大分県本耶馬溪村、耶馬溪町村に於ける温泉探査報告。大分県温泉調査研究会報告第10号。
- 2) 大分県薬務温泉課(1971)：温泉現況調査。大分県温泉調査研究会報告第22号。
- 3) 北岡豪一・川野田実夫・葛城啓子・大石郁朗・由佐悠紀(1989)：県北地域(下毛郡、宇佐郡、宇佐市)。大分県温泉調査研究会報告第10号。

大分県温泉調査研究会会則

第1条 この会は大分県温泉調査研究会（以下「会」という。）という。

第2条 会の事務所は大分県保健環境部環境保全課内に置き、調査研究の必要に応じては出張所を設けることができる。

第3条 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増進に寄与することを目的とする。

第4条 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) その他会の目的達成に必要な事業

第5条 会は下記の構成員をもって組織する。

学識経験者

県及び温泉所在地市町村の代表

関係行政庁の吏員

第6条 会の役員は下記のとおりとし、総会によって選任する。

会 長	1 名
副 会 長	2 名
常 務 理 事	1 名
理 事	若干名
監 事	2 名

2 役員任期は2年とする。ただし、役員に欠員を生じた場合の補欠役員任期は前任者の残存期間とする。

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会の常務に従事する。ただし、会の出納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 監事は会計及び会務を監査する。

第8条 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 役員は名誉職とする。ただし、常時会務に従事しておる者及び職員はこの限りでない。

第10条 会に下記の役員を置く。

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

第11条 会議は総会及び役員会とする。

第12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、通常総会は毎年4月、臨時総会は会長が必要と認めるとき、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13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14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の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15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) 臨時急を要する事項
- (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16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17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18条 会は議事遂行上必要がある場合は、専門委員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定める。

第19条 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20条 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ることができる。

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。

大分県温泉調査研究会会員名簿 (順不同)

顧 問

九州大学名誉教授 矢 野 良 一
 大分県議会福祉生活 盛 田 智 英
 保健環境委員長 河 野 数 則
 別府市議会議長

職 名	氏 名	備 考
京都大学名誉教授	吉 川 恭 三	会 長
大分県保健環境部次長	荒 瀬 範 己	副 会 長
九州大学生体防御医学研究所教授	延 永 正	〃
大分県保健環境部環境保全課長	丹 生 皖 皓	常 任 理 事
大分大学教育学部教授	川 野 田 実 夫	理 事
日本文理大学工学部教授	森 山 善 蔵	〃
九州大学生体防御医学研究所教授	矢 永 尚 士	〃
京都大学理学部教授	由 佐 悠 紀	〃
九州大学名誉教授	古 賀 昭 人	
大分大学名誉教授	志 賀 史 光	
〃 名誉教授	川 西 博	
前大分大学教育学部教授	大 野 保 治	
大分総合検診センター理事長	辻 秀 男	
九州大学生体防御医学研究所助教授	麻 生 宰	
大分県教育委員会教職員第二課参事	日 高 稔	
京都大学理学部助教授	北 岡 豪 一	
〃 助教授	竹 村 恵 二	
〃 助教授	福 田 洋 一	
〃 助 手	大 沢 信 二	
	大 内 太 門	
	大 石 郁 朗	
大 分 市 長	木 下 敬 之 助	理 事
別 府 市 長	中 村 太 郎	〃
臼 杵 市 長	芝 崎 敏 夫	
杵 築 市 長	石 田 徳	
真 玉 町 長	近 藤 正 勝	
国 見 町 長	矢 野 丈 夫	

職 名	氏 名	備 考
挾間町長	川野秀夫	
庄内町長	佐藤三千生	
湯布院町長	佐藤雄也	理事
久住町長	衛藤龍天	〃
直入町長	岩屋万一	〃
九重町長	坂本和昭	
玖珠町長	濱田欣次	
天瀬町長	高倉柳太	理事
本耶馬溪町長	井上次男	
耶馬溪町長	平田宣彦	
山国町長	吉峯高幸	
院内町長	川野哲也	
安心院町長	徳光正則	
大分県衛生環境研究センター所長	大友信也	理事
別府保健所長	小村一寿	監事
別府市観光経済部長	小林健三	
別府市温泉課長	池部光	監事
別府市温泉課温泉係長	竹中万寿夫	
大分県保健環境部環境保全課課長補佐	衛藤伸一	
別府保健所次長兼総務温泉課長	緒方節治	
大分県衛生環境研究センター化学部長	首藤秀樹	
〃 主幹研究員	久枝和生	
〃 主幹研究員	恵良雅彰	
〃 主任研究員	小野文生	
大分県保健環境部環境保全課課長補佐	徳丸一守	書記
〃 主任	清家和重	〃
〃 主事	三好一夫	〃

大分県温泉調査研究会報告 第45号

平成6年3月 印刷

平成6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
大分県保健環境部環境保全課内

印刷者 大分市新川町2-5-4
（株）大分プリント社
電話 32-3717