

# 大分県温泉調査研究会報告

## 第 54 号

平成 15 年 7 月

### 目 次

由布院盆地の地下構造と堆積物に関する研究 .....	竹 村 恵 二 外 2 名 .....	( 1 )
塚野鉱泉の水質形成機構 .....	大 沢 信 二 .....	( 7 )
海地獄の呈色に関する色彩学的・地球化学的研究 .....	大 沢 信 二 外 2 名 .....	( 15 )
希土類元素による別府北部地域温泉水の流動経路の解明 .....	大 沢 信 二 外 4 名 .....	( 25 )
温泉を活用した入浴と運動プログラムの検討 ー温泉を健康づくりに生かすためにー .....	佐 藤 貴 子 外 16 名 .....	( 33 )
温泉入浴の睡眠時無呼吸症候群への影響 .....	畑 知 二 外 2 名 .....	( 41 )
鉱泥浴の保護効果並びに生体に及ぼす効果 .....	牧 野 直 樹 外 5 名 .....	( 47 )
慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(Ⅲ) .....	安 田 正 之 .....	( 51 )
最近の温泉(権)紛争(事例研究)について(上) .....	大 野 保 治 .....	( 53 )
大分県の地熱・温泉地帯に生息する好熱性微生物 ーその 2 好熱菌の工業利用ー .....	大 上 和 敏 .....	( 69 )
大分県北部地域における湧水・地下水の水文化学的研究 .....	河 野 忠 .....	( 73 )
地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究(3) .....	田 中 良 和 外 1 名 .....	( 85 )
自然電位調査による鶴見岳周辺域の地下熱水系の推定 .....	橋 本 武 志 外 3 名 .....	( 91 )
大分川の河川水質に及ぼす温泉水の影響について .....	川 野 田 實 夫 .....	( 97 )

---

# 序

書店をのぞくと、温泉に関する書籍や温泉地案内の雑誌類が目につきます。ここ10年以上も続いている温泉ブームは、かつての宴会享樂的な温泉ではなく、温泉そのものの価値に根ざしているように思えます。加えて、温泉が社会福祉の重要な側面を担っているという認識の高まりもあって、温泉の需要はますます増大しているように見えます。日本各地で進んでいる新規の温泉開発が、そのことの現われでしょうし、新規開発が大きくは望めない温泉地では、温泉水の効率的利用が図られています。

これらの行為は、温泉現象のしくみや温泉水の諸特性に関する基礎知識、および、水処理に関する一般的技術に基づいてなされなければならないはずですが、現状はどうでしょうか。たとえば、いくつかの温泉場で発生したレジオネラ問題は、認識の浅さを象徴しているように思われます。多面からの温泉研究と成果の公開が必要とされるゆえんです。

温泉行政の抛り所、敷衍すれば、温泉資源の保全と温泉管理に対する指針の策定を目的として、昭和24年に発足した大分県温泉調査研究会には、そうした要求に応える使命が与えられています。この使命を果たすには、温泉に対する考えを進化させること、具体的には、時代の要求に即した研究課題の導入が不可欠と思われます。

本研究会は、設立以来とぎれることなく調査研究の事業を続け、機関誌「大分県温泉調査研究会報告」を発行してきましたが、本年もここに第54号を出版する運びとなりました。

本号には14編の報告が掲載されています。研究課題は、理学・医学から社会科学まで多岐にわたっておりますが、いずれも会員諸氏が自主的に選択した課題であり、今回は健康問題と関わりあう課題が新たに導入されました。理学分野でも、斬新な観点と手法による研究が始まっています。

本報告の出版に当たり、調査研究をご担当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捧げ、それぞれの研究の進展と本会の持続的発展を期待し、引き続きのご協力をお願いいたします。

大分県温泉調査研究会

会 長 由 佐 悠 紀

# 由布院盆地の地下構造と堆積物に関する研究

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

竹村 恵二・井上 直人  
由佐 悠紀

## 概 要

由布院盆地で実施された反射法地震探査、重力探査等の物理探査結果を用いて、由布院盆地の地下構造を考察した。反射法地震探査では、由布一鶴見地溝の地下構造断面が示された。地溝を画する断層構造は不明瞭であったが、北部における扇状地性の地層の存在や、由布院盆地の堆積層の深度が1.8–2.0km程度と推定された。これらの地下構造形態は、重力解析による全体的な傾向と一致する。より精度の高い重力による地下構造モデルの構築には、今後、掘削データや反射法地震探査の結果から推定された地下構造と密度モデルを用いての解析が必要である。

## 1. はじめに

由布院盆地は由布一鶴見地溝（星住ほか，1988）の西部に位置する温泉地で、周囲を第四紀火山岩類に囲まれ、鈴木（1937）の研究以後、湖沼性の堆積層が分布することが知られている（図1）。由布院盆地では、由布院温泉に関する物理化学的調査は大分県温泉調査研究会・京都大学地球物理学研究施設などにより実施されてきた（川村，1974；由佐，1983など）が、地下構造に関する調査は数少ない。

本報告では、由布院盆地の地下構造に関して、由布一鶴見地溝の北縁である別府北断層、南縁の由布院断層をまたいで実施された、反射法地震探査や重力探査などの資料をもとに、由布院盆地の堆積層層厚、基盤深度、断層構造などの地下構造についてのべる。

## 2. 由布院盆地周辺の地形・地質概要

由布院盆地は東西に伸びる由布一鶴見地溝の西南部に位置している。地溝北縁は別府北断層、南縁は由布院断層で画されている。南北の幅は約5–7km程度である。別府北断層の断層崖上には標高700–900m程度の稜線がある。由布院断層の南側は雨乞岳や城ヶ岳などの標高1100m程度の山頂を持つ火山地形が広がっている。この地溝の南部には標高500m程度の由布院盆地が広がり、火山との間には、扇状地や岩屑なだれ地形がみられる。

別府北断層の北側の安心院付近には、鮮新世–前期更新世の安山岩を主とする火山岩・堆積岩からなる。由布院断層の南側は、雨乞岳・城ヶ岳・倉木山などの前期–中期更新世の安山岩類が占めている。地溝内部には、由布院盆地を取り巻くように、更新世中期以降の安山岩類（福万山や立石山など）や由布岳などの活火山の角閃石安山岩が分布している。由布院盆地には、湖沼性の堆積物分布が知られ、由布院盆地と火山岩地帯の間には扇状地堆積物、岩屑流堆積物、火砕流堆積物等が堆積している（星住ほか，1988）が、堆積層の層厚は明らかにされていない。

## 3. 反射法地震探査から得られる地下構造

由布院盆地の反射法地震探査は、湯布院町南部の由布院断層、由布院盆地、別府北断層を横断し

て、安心院町に至る測線（測線長18.8km：図2）で実施された（京都大学地球物理学研究施設、1995：由佐ほか、1995）。上記の2報告を基に概要をまとめる。調査は、マルチチャンネル仕様のデータ収録システムとパイプレーター震源によりデータ取得された。受震点間隔は25m、発震点間隔は50m、最大300チャンネル、標準最大オフセット4.5kmの展開が維持された。

データの標準処理（振幅補償、デコンボリューション、屈折波および反射波静補正、速度解析、CMP重合および時間マイグレーション等）を適用し、図3に示される時間重合記録が得られた。

由布院盆地内では往復走時1.0-1.2sec以浅に連続性の高い反射面（A）が認められることが示され、この盆地状構造の基底深度は約1.8-2.0km程度である（由佐ほか、1995）。また、これ以浅には水平の反射面の繰り返しが認められ、堆積層の存在が推定される。由布院断層付近では、水平の反射面構造の連続性が明瞭でなくなることから、断層位置を推定することは可能であるが、落差等の情報は得られない。北部の別府北断層との境界部は明瞭ではない。扇状地堆積物が推定される測線中央では、深度500m程度までに反射面が認められる。また、この反射法調査では、深度8.0-8.5km付近に比較的明瞭な反射面の存在が指摘され、この解釈は、この地域の花崗岩や領家帯基盤や地震発生層の課題とも関係して重要である。

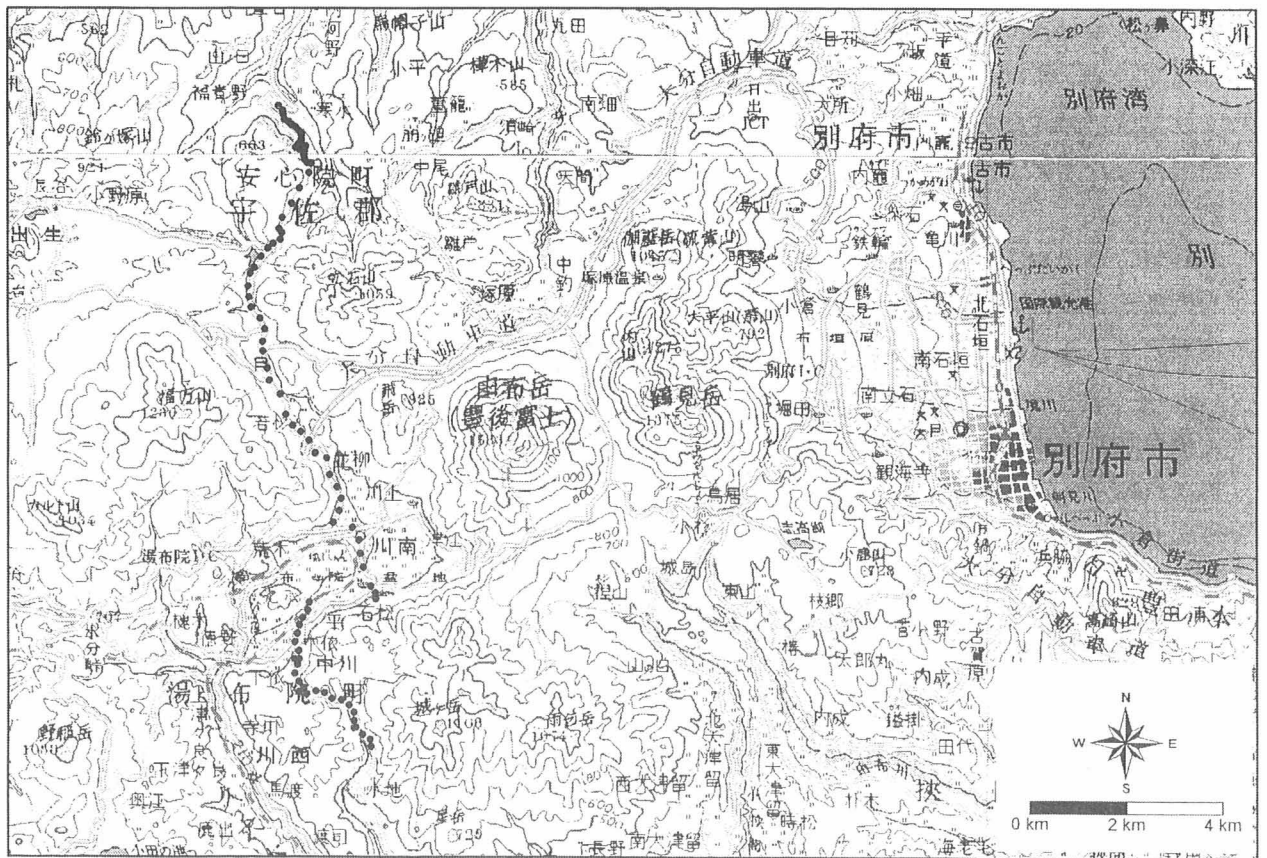


図1 調査位置図および重力測定点

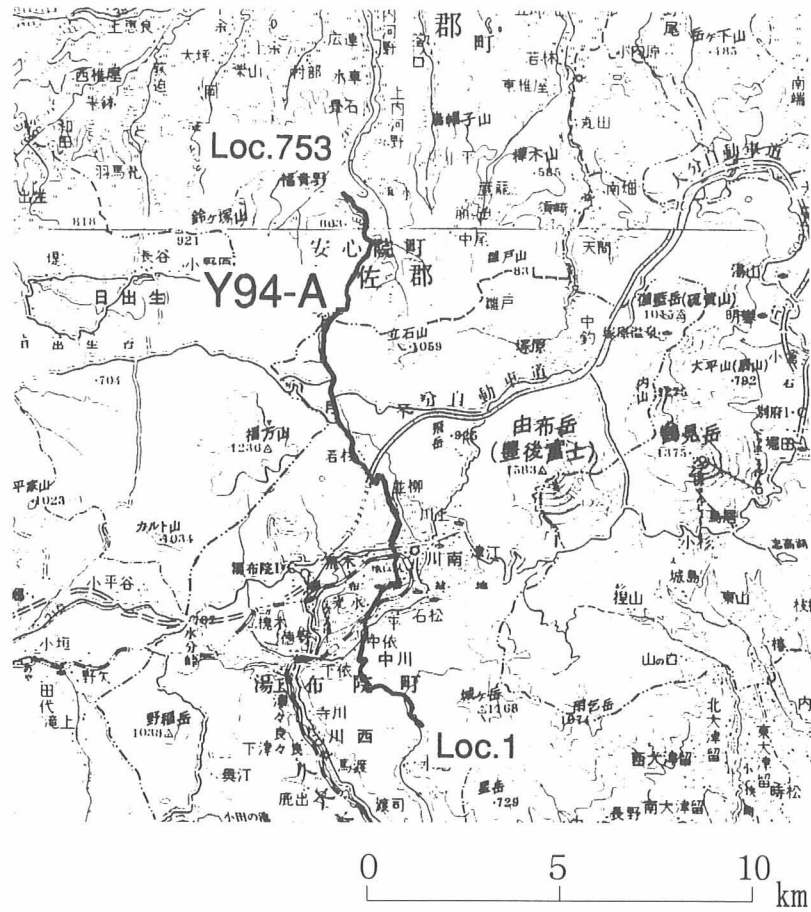


図2 反射法測線位置 (京大地球物理学研究施設, 1995)

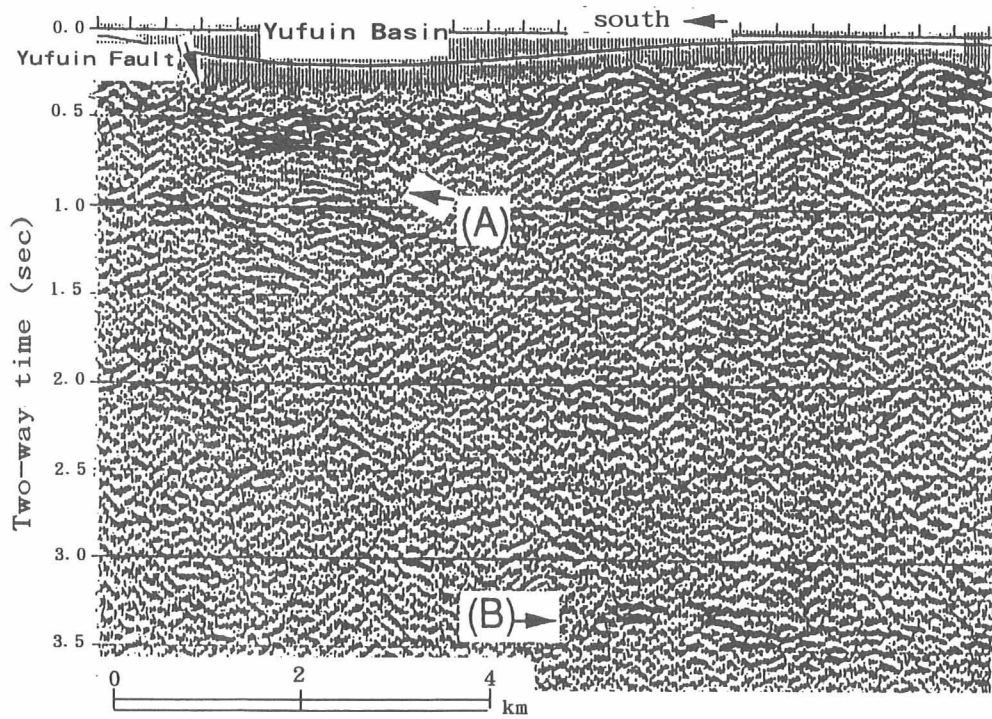


図3 反射法地震波探査結果：時間断面 (由佐ほか, 1995)

#### 4. 重力解析から得られる地下構造と反射法地震探査断面

由布院盆地で実施された反射法地震探査と比較・検討するために同測線上の重力データの解析をおこなった。使用データは、福田ほか (1995) により得られたデータを用いた。測線・測点は図1に示される。これらのデータはフリーエア補正まで行われている。ブーゲー補正を行うために、補正密度を $2.0 \text{ g/cm}^3$ から $2.6 \text{ g/cm}^3$ の間で $0.1 \text{ g/cm}^3$ ごとに変化させ、地形との相関を求め、適切な補正密度を求めた。補正密度と地形との相関関係 (図4) から地形との相関 $= -1.296$  補正密度 $+2.977$ の関係が得られた。これより、地形相関が最小になる補正密度は $2.297$ すなわち $2.30$ が得られ、補正密度として $2.3 \text{ g/cm}^3$ を用いた。このときのブーゲー異常断面を図5に示す。ブーゲー異常は全体として南に向かって低くなる傾向にある。

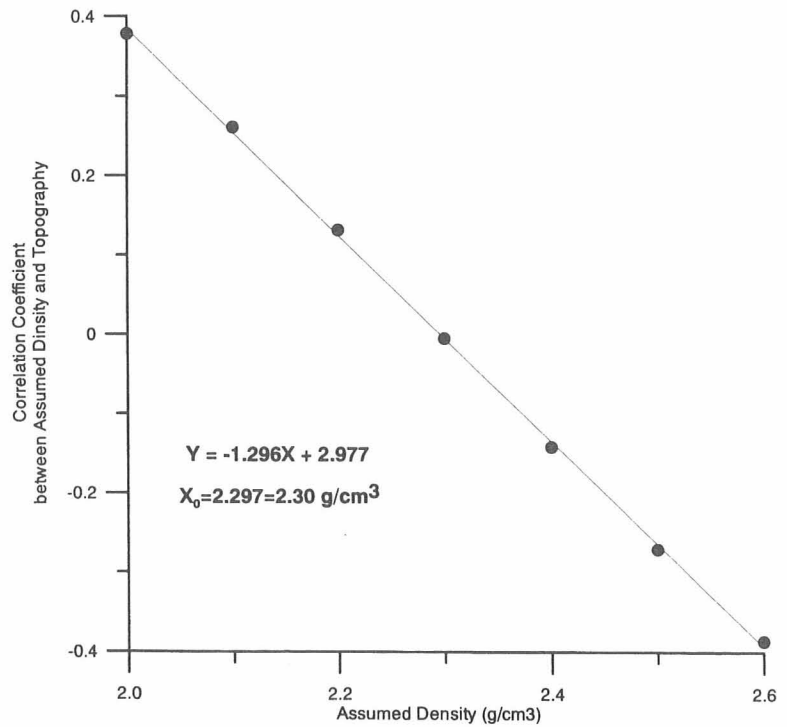


図4 各仮定密度におけるブーゲー異常と地形との相関。  
 $X_0$ : 最適密度 ( $\text{g/cm}^3$ )

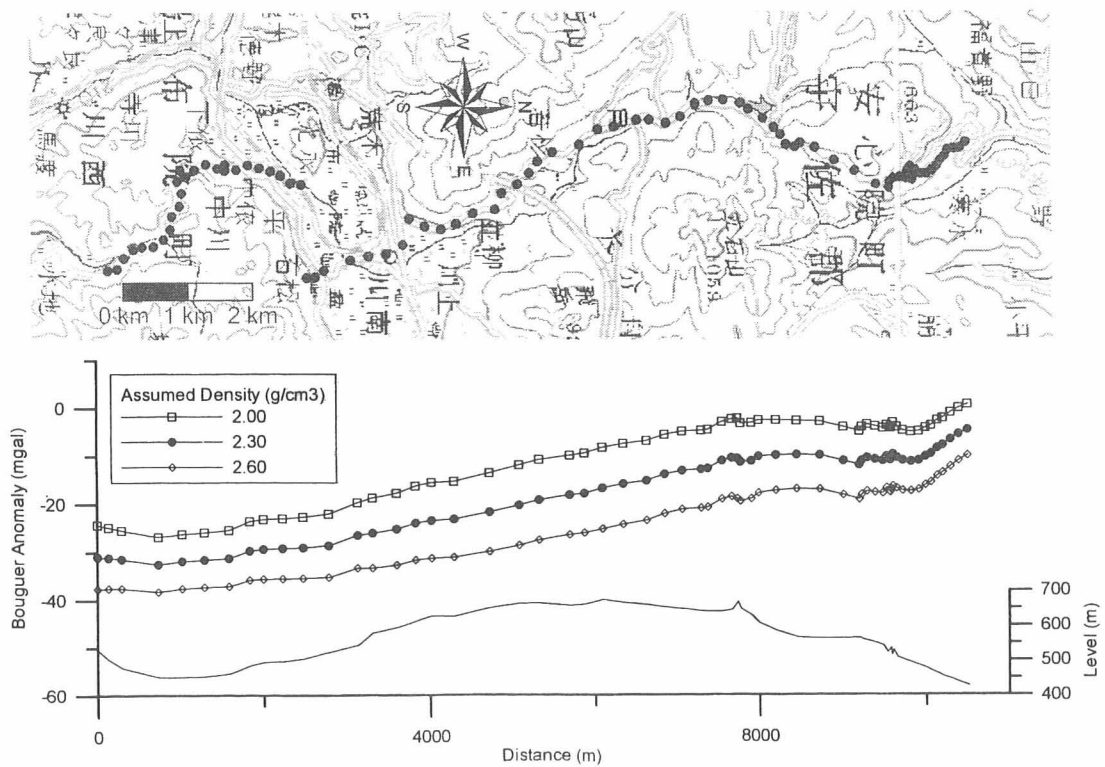


図5 各補正密度におけるブーゲー異常断面

次に、この断面による均質2層構造における2次元解析を試みた。対象地域付近に参照可能なボーリングデータがないので、新エネルギー・産業技術開発機構(1990)のG-G'測線の結果をもとに、断面の北端の基盤深度(先第三系)を0mと仮定した。広域トレンドは一次傾向面による近似で除去を行った。重力残差(実測値-計算値)に応じて少しずつモデルを修正する方法を適用した。反復回数における重力残差の標準偏差の変化を図6に示す。密度差が大きくなるほど、標準偏差は小さくなるが、密度差0.3 g/cm<sup>3</sup>以上では大きく減少しない。新エネルギー・産業技術開発機構(1990)の結果と

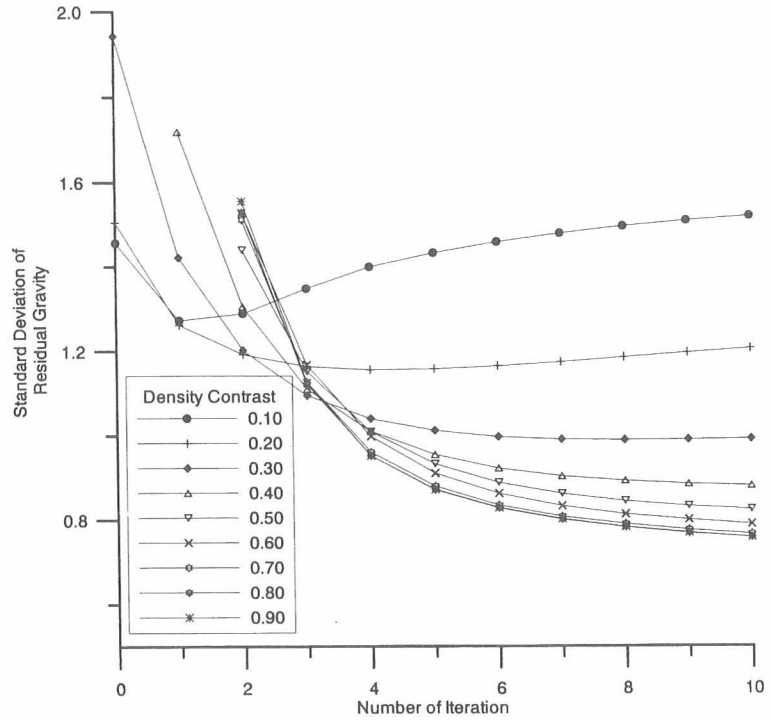


図6 フォワードモデリングの修正回数と重力残差の標準偏差との関係

あわせて考慮し、密度差 0.4 g/cm<sup>3</sup>のものを採用した。得られた地下構造(図7)は、先ほどのブーゲー異常と同様、南に向かって深くなる傾向にある。断面の南と北側に基盤が深くなる箇所がみとめられる。新エネルギー・産業技術開発機構(1990)による重力解析で得られた基盤深度図と比較すると、2次元解析結果では起伏の小さな落差やなだらかな形状が、断層状構造や重力リニアメントに相当している箇所が認められる。

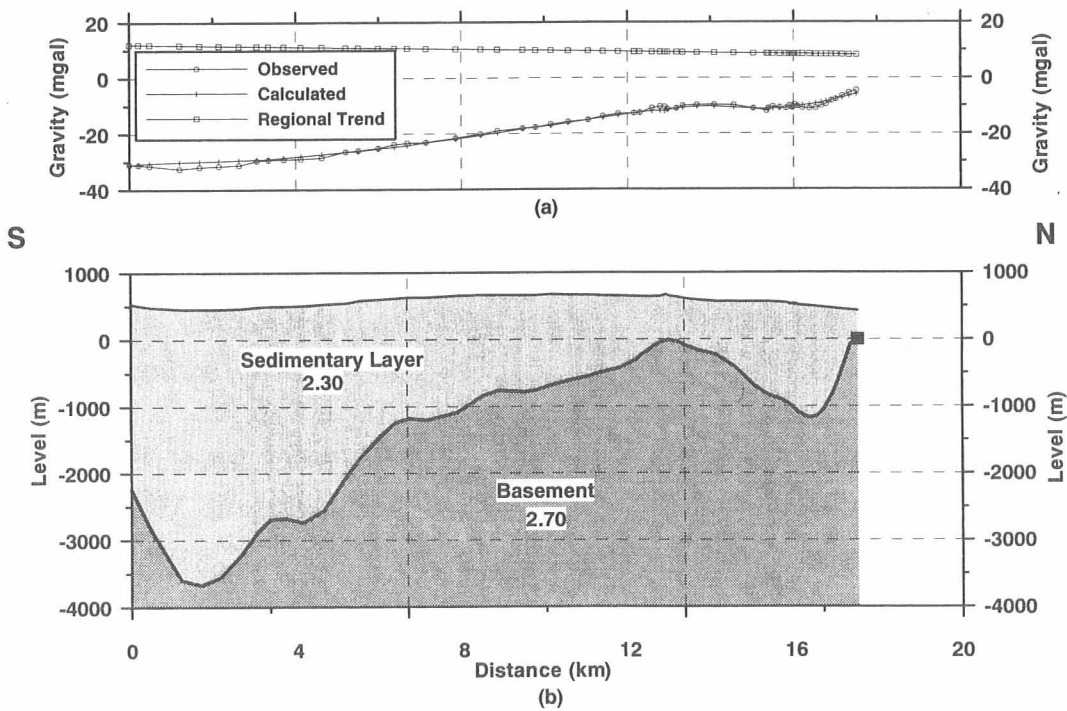


図7 均質2層構造より得られた密度構造モデル

反射断面との比較では、全体的な傾向として、由布院盆地で基盤深度が深く、北部にやや深くなる部分が存在することとは調和的である。これらは、由布院盆地内の堆積物と北部の火山の間に分布する扇状地性地層や小規模の堆積層の存在によるものと考えられる。ただ、2層構造（基盤岩と堆積層）での解析のため、重力解析では3.5km～4.0km程度の境界が示され、由布院盆地の反射法地震探査解析での約1.8～2.0kmの境界と大きく異なる深さが示されている。今後、掘削データや反射法地震探査の結果から推定された地下構造と密度モデルを用いての重力解析を行い、より精度の高い重力による地下構造モデルの構築が必要である。

## 5. まとめ

由布院盆地で実施された反射法地震探査、重力探査等の物理探査結果から、由布院盆地の地下構造をまとめた。反射法地震探査では、由布一鶴見地溝のおおまかな断面が示された。北部に扇状地性地層が存在し、由布院盆地の堆積層の深度が1.8～2.0km程度と推定された。これらの地下構造形態は、重力解析による全体的な傾向と一致するが、今後、掘削データや反射法地震探査の結果から推定された地下構造と密度モデルを用いての重力解析を行い、より精度の高い重力による地下構造モデルの構築が必要である。

## 6. 謝辞

本研究では、京都大学理学部附属地球物理学研究施設（現理学研究科附属地球熱学研究施設）が実施した反射法地震探査結果（由佐ほか，1995）を使用した。また、京都大学理学研究科地球物理学教室福田洋一助教授から重力測定結果のデータの提供を受けた。

## 文献

- 福田洋一・瀬木 哲・楠本成寿・馬渡秀夫・竹村恵二・由佐悠紀(1995)：別府地域の重力調査(2)。大分県温泉調査研究会報告，46，19-28。
- 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。
- 川村政和(1974)：由布院温泉の地下熱構造と熱エネルギー及び化学物質排出量。大分県温泉調査研究会報告，25，15-22。
- 京都大学理学部附属地球物理学研究施設(1995)：平成6年度大分県由布院盆地横断地下構造探査報告書。
- 新エネルギー・産業技術開発機構(1990)：広域熱水流動系調査，鶴見岳地域。平成元年度全国地熱資源総合調査（第3次）。
- 鈴木政達(1937)：別府附近の地史と温泉脈。地球物理，1，(1)，6-19。
- 由佐悠紀(1983)：由布院温泉の化学成分長期変化。大分県温泉調査研究会報告，34，18-29。
- 由佐悠紀・福田洋一・北岡豪一・大沢信二・井川 猛・阿部 進(1995)：由布院盆地における反射法地震探査（速報）。1995年度地震学会（静岡）予稿集，61。



# 塚野鉱泉の水質形成機構

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

塚野鉱泉の鉱泉水と付随ガスの化学・同位体分析を行い、鉱泉水の水質形成機構についての考察を行った。塚野鉱泉の鉱泉水は海水と天水が混ざり、これにマグマ起源のCO<sub>2</sub>が付加されてできたものであり、地層中での滞留によりSO<sub>4</sub>イオンの減少とCH<sub>4</sub>の生成が起こっている。炭酸成分を除くその他の主要溶存化学成分のほとんどが海水に由来し、陽イオンを形成する元素は地層中に貯留されている間に濃度に増減が生じている。1970年代に起こった鉱泉水の溶存化学成分濃度の大きな低下は、塚野鉱泉の貯留層にもともと存在するNa-Cl、HCO<sub>3</sub>型の高塩分水に高いHCO<sub>3</sub>イオン濃度を持つNa-HCO<sub>3</sub>型の地下水が混入したために生じたと推定される。回復の兆しが見られていた溶存化学成分濃度は、1997年現在はほぼ完全に1969年当時の値にまで回復し、Na-HCO<sub>3</sub>型地下水の混入は生じなくなったと考えられる。

## 1. はじめに

塚野鉱泉は、大分市中心街より南南西の方角約10kmに位置する大分市廻栖野の塚野に存在する自然湧出の冷泉である（図1）。湧出地点の標高は60~70m、湧出量は1分間におよそ13リットルであり（吉川ほか, 1976）、野津原古生層を貫く幅200mの蛇紋岩体の縁辺部から湧出している（川野・森山, 1974）。古くから泉水の飲用によって胃腸病そのほかに効能のある鉱泉として著名であり、最近では医療人類学的な観点からの研究対象としても注目されている（沖田・星野, 2002）。

塚野鉱泉は自然科学的にも興味深い研究対象であり、これまでも多くの調査研究がなされており（川野・森山, 1974；吉川ほか, 1976；野田・北岡, 1977；野田・北岡, 1981；野田, 1981）、1969年から1980年までの約10年間にわ



図1 塚野鉱泉の位置

たる貴重な水質データの蓄積がある。ところが、1981年3月のpH、塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)・炭酸水素イオン(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)濃度のデータ(野田・北岡, 1981)を最後にその後の水質データが公表されていないことから、ここ20年余追跡調査は行われなかったと思われる。また、塚野鉱泉の特徴の一つを成す気泡となって鉱泉水と一緒に流出するガス(付随ガス)の化学的調査はなされておらず、その実態は未だに明らかでない。さらに、水や溶存化学成分の起源の推定に有効である同位体地球化学的調査研究も十分に行われていない。

以上の研究の経過と現状を踏まえた上、本調査では、塚野鉱泉の水質分析ならびに鉱泉水の水と炭酸成分の同位体分析と付随ガスの化学分析を行った。そして、今回のデータと以前に得られている水質データを一緒に解析して、塚野鉱泉の水と溶存化学成分の起源および水質形成機構の推定を行った。本論文では、これらの調査・研究によって得た結果を報告する。

## 2. 試料の採取と分析

1997年11月7日に塚野鉱泉の鉱泉水を採取し、主要溶存化学成分の分析と溶存全炭酸の炭素安定同位体比(<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C)の測定を行った。また、同日に付随ガスを岩倉ほか(1999)の方法で採取し、化学分析を行った。さらに、水の水素・酸素安定同位体比(D/Hと<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O)の測定のために、2002年8月3日に鉱泉水と塚野鉱泉入口付近で園田川の河川水を、同年8月24日に大分市マリーンパレスで別府湾の海水を採取した。2002年8月3日採取分の鉱泉水と河川水については、検知管法(大沢, 2002)により塩化物イオンを定量した。なお、同位体比(D/H, <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O, <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C)は、慣例に従い標準試料の同位体比からの千分偏差として表した(それぞれδD、δ<sup>18</sup>O、δ<sup>13</sup>C)。

## 3. 結果

### 3-1. 鉱泉水および付随ガスの化学・同位体分析結果

鉱泉水および付随ガスの化学・同位体分析の結果を、表1に示す。

鉱泉水は、溶存化学成分の総量が水1リットル中に10グラムにもなる塩水である。主要な陰イオン成分は塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)と炭酸水素イオン(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)であり、硫酸イオン(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)は検出されなかった(測定法の検出下限が0.01 mg/lであり、試料水を千倍程度に希釈して分析しているので、実際のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度は1 mg/l前後であると思われる)。陽イオンは80%以上をナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)が占め、これに次ぐ成分はマグネシウムイオン(Mg<sup>2+</sup>)とカルシウムイオン(Ca<sup>2+</sup>)であり、カリウムイオン(K<sup>+</sup>)の陽イオン全体に占める割合はわずか2%にすぎない。

付随ガスはその95%近くを二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)が占め、これに次ぐ成分としてメタン(CH<sub>4</sub>)が約3%含まれる。0.4%程度検出される酸

表1 塚野鉱泉の鉱泉水および付随ガスの化学・同位体分析値(試料採取日: δDとδ<sup>18</sup>O: 2002年8月3日, その他: 1997年11月7日)

水		ガス	
水温(°C)	16.9	CO <sub>2</sub> (%)	94.9
pH	6.74	CH <sub>4</sub> (%)	2.9
Na <sup>+</sup> (mg/l)	2920	N <sub>2</sub> (%)	1.8
K <sup>+</sup> (mg/l)	67.7	O <sub>2</sub> (%)	0.36
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	272	Ar(%)	0.027
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	240	He(%)	0.00088
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	4200	H <sub>2</sub> (%)	0.00005
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	検出されず		
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	2960		
δD H <sub>2</sub> O(‰)	-45.2		
δ <sup>18</sup> O H <sub>2</sub> O(‰)	-5.6		
δ <sup>13</sup> C ΣCO <sub>2</sub> <sup>#</sup> (‰)	-5.0		

((その他の取得データ))

◆ 園田川の河川水(2002年8月3日採取)

δD H<sub>2</sub>O, δ<sup>18</sup>O H<sub>2</sub>O, Cl<sup>-</sup>濃度: -52.8 ‰, -8.1 ‰, 4 mg/l

別府湾海水(2002年8月24日採取)

δD H<sub>2</sub>O, δ<sup>18</sup>O H<sub>2</sub>O: -0.5 ‰, -0.3 ‰,

塚野鉱泉水(2002年8月3日採取)

Cl<sup>-</sup>濃度: 4230 mg/l

(脚注) # ΣCO<sub>2</sub>=CO<sub>2</sub>(aq) + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

素 (O<sub>2</sub>) は、試料採取時の大気汚染に由来するものと考えられる。

今回の分析により、1997年現在の塚野鉱泉の水質はNa-Cl, HCO<sub>3</sub>型であり、付随ガスの主体もその水質を反映してCO<sub>2</sub>であることが判った。そしてその他の際立った特徴として、付随ガスに著量のCH<sub>4</sub>が検出されることが明らかとなった。このような特徴を持つ地下水の帯水層は溶存酸素に乏しい還元的条件にあり、そこでは堆積性有機物のメタン発酵やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の還元などが進行しているとされている (水谷, 1995)。そのような性質の地下水は水質形成過程の末期段階でみられることから、塚野鉱泉の鉱泉水の滞留時間は相当に長いと考えられる。

### 3-2. 鉱泉水の溶存化学成分濃度の長期変化

鉱泉水の主要溶存化学成分濃度の時間変化を、図2に示す。1969年以後に化学成分濃度に急激な低下が見られ、1975年頃に最低レベルを記録し、その後は徐々に回復していたことはすでに知られていて (吉川ほか, 1976; 野田・北岡, 1981)、濃度低下の原因として周辺の温泉開発の影響 (吉川ほか, 1976) や地震

(1975年4月21日未明に起こったM6.4の大分県中部地震)の影響 (野田・北岡, 1981) が示唆されている。前述のように1981年3月以降は水質に関する報告がないので、どのような調子で濃度回復を続けたかは分からないが、1997年現在はほぼ完全に1969年当時の値に回復し、その後は少なくともCl<sup>-</sup>濃度に関しては2002年現在も一定の値を保っている。

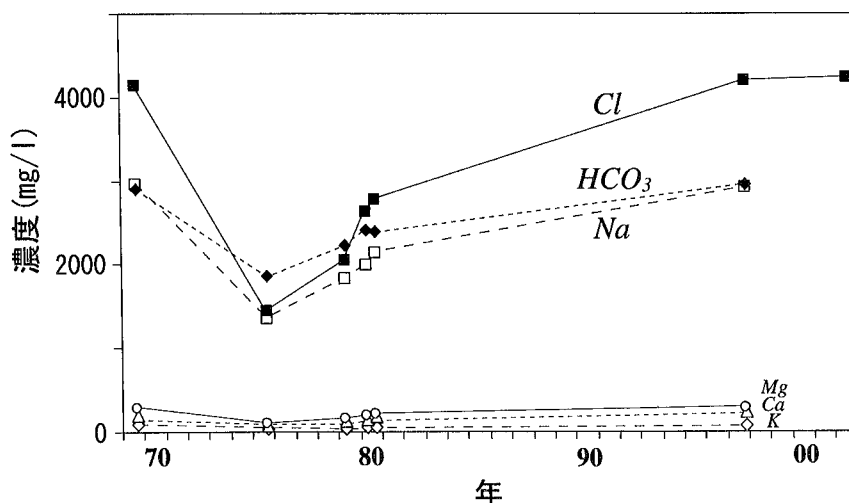


図2 鉱泉水の溶存化学成分濃度の長期変化

1997年以外のデータは、川野・森山 (1974)、野田・北岡 (1977)、野田・北岡 (1981)、野田 (1981) より引用。

## 4. 考察

### 4-1. 水の起源

塚野鉱泉の鉱泉水の水のδD値・δ<sup>18</sup>O値とCl<sup>-</sup>濃度を、園田川の河川水 (地域天水) と別府湾の海水のそれらとともに、水素・酸素安定同位体組成図 (δD-δ<sup>18</sup>Oダイアグラム) およびCl<sup>-</sup>濃度と同位体比の関係図 (Cl-δDダイアグラムとCl-δ<sup>18</sup>Oダイアグラム) 上にプロットした (図3)。また、同図には参照のために、九重硫黄山噴気地域から放出されるマグマ性水蒸気のデータ (Mizutani et al., 1986) もプロットした。

δD-δ<sup>18</sup>Oダイアグラム (図3のA) 上の塚野鉱泉 (TNと印した) は、マグマ性水蒸気と地域天水の混合線 (図中の点線) の近傍に位置している。しかし、Cl-δDダイアグラム (図3のB) とCl-δ<sup>18</sup>Oダイアグラム (図3のC) を見ると、マグマ性水蒸気と地域天水の混合線から大きく離れた位置にあり、塚野鉱泉の水がマグマ性水蒸気と天水の混合物ではないことを示している。

塚野鉱泉のデータポイント (TN) は、Cl-δDダイアグラム (図3のB) とCl-δ<sup>18</sup>Oダイアグラム

(図3のC)上ではむしろ海水と地域天水の混合線(図中の破線)に近い位置にプロットされており、塚野鉱泉の水は概略では海水と天水の混合によって生成しているとすることができる。しかし細かく見ると、データポイントは混合線上に完全には乗っておらず、混合水は同位体的に若干変質している( $\delta D$ の低下と $\delta^{18}O$ の増大)。これと同様な同位体的な変質は新潟平野の堆積層の層間水で見られ、粘土鉱物や沸石類の相転換時に排出される水が層間水の同位体的変質に関与していると考えられており(安田, 1996)、塚野鉱泉の帯水層でも類似の現象が起こっていると思われる。

上述のような同位体的変質がどのくらいの時間をかけて進行するかは不明であるが、水質からみると滞留時間は相当に長いと考えられるので(3-1項参照)、塚野鉱泉の鉱泉水は現在の海水と天水が混合して生成しているのではなく、過去に形成されたものであると推定される。

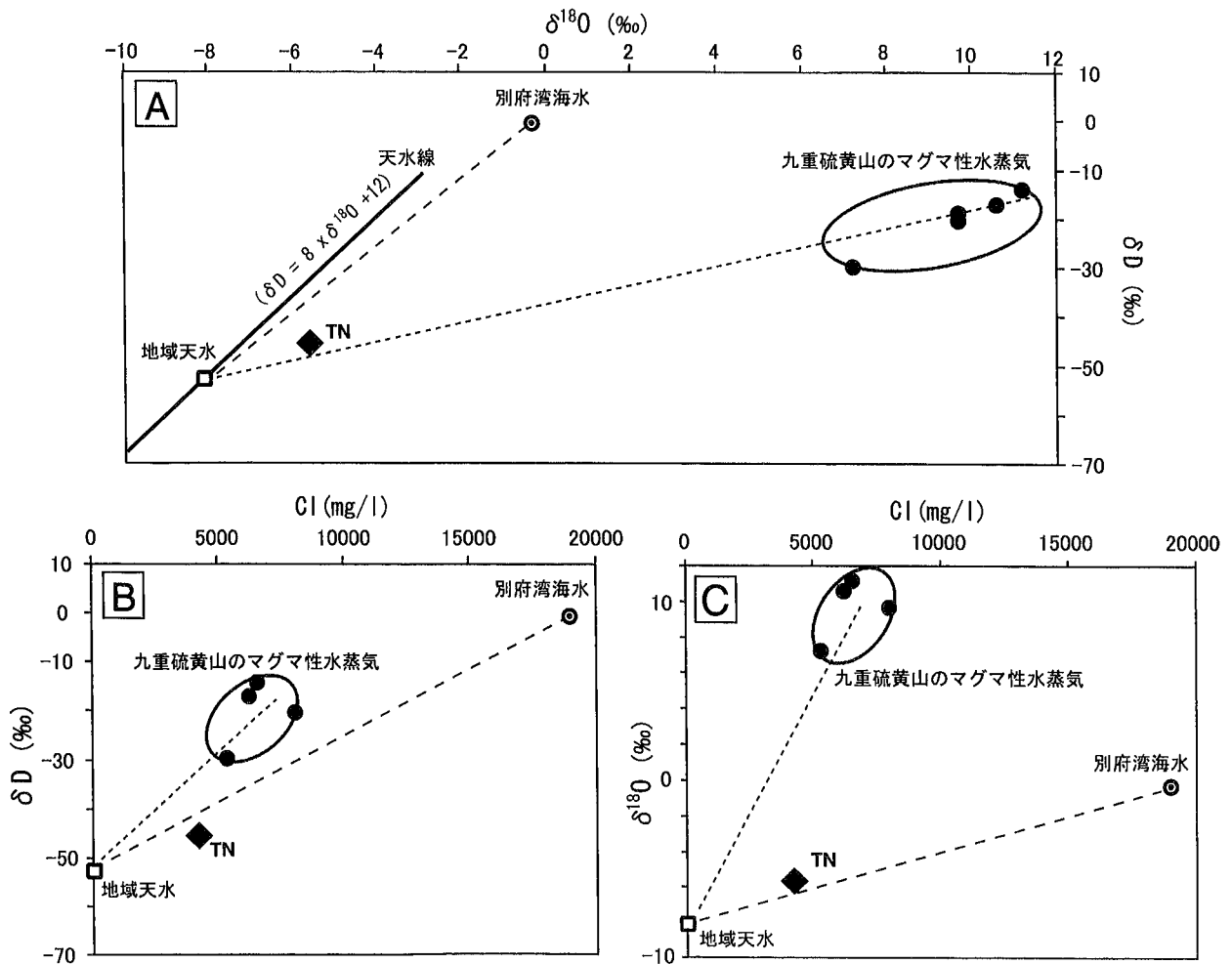


図3 鉱泉水(TN)の水素・酸素安定同位体組成図( $\delta D - \delta^{18}O$ ) [A] および塩化物イオン濃度と水素・酸素安定同位体比との関係 [B:  $Cl^- - \delta D$ , C:  $Cl^- - \delta^{18}O$ ]

#### 4-2. 炭酸成分の起源

海水と天水の混合時から現在まで帯水層の層間水中で $Cl^-$ は保存されているとして、塚野鉱泉の水に占める海水と天水の割合を計算すると、海水:天水=1:4となり、海水は天水によりおよそ5分の1に希釈されていることになる。そこで、この希釈率を用いてもともと海水に含まれていた $HCO_3^-$ の濃度(100mg/l)がどのくらいまで低下するかを求めると、約20mg/lとなり、実際の塚野鉱

泉のHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度 (2960mg/l) より明らかに低いことが分かる。これは、塚野鉱泉の帯水層へ外部からCO<sub>2</sub>が別経路で付加されたことを示している。

地下水や温泉水中に溶存する全炭酸 (DIC;  $\Sigma \text{CO}_2 = \text{CO}_2(\text{aq}) + \text{HCO}_3^-$ ) の  $\delta^{13}\text{C}$  値は、地下水や温泉水の炭酸成分の起源を知るのに有効であるとされている (大沢, 2001; 大沢ほか, 2002; Ohsawa et al., 2002)。塚野鉱泉のDICの  $\delta^{13}\text{C}$  値は-5.0‰であり (表1)、マグマ起源であることを示唆しており、その一方で、付随ガスの窒素-ヘリウム-アルゴン組成や二酸化炭素-ヘリウム-アルゴン組成にも (図4) 付随ガスへのマグマ起源CO<sub>2</sub>の混入の跡が認められる。これらのことから、塚野鉱泉の鉱泉水の炭酸成分はマグマ起源であることができる。なお、このことに関連して、大分平野の深層熱水の内、塚野鉱泉と水質が同じである高塩分泉 (Na-Cl, HCO<sub>3</sub>型) の炭酸成分が同様にマグマ起源であることは興味深い (大沢, 2001)。

### 4-3. 水質形成機構

ここまでの考察から、塚野鉱泉の鉱泉水は海水と天水が混ざり、これにさらにマグマ起源のCO<sub>2</sub>が付加されてきたものであり、地層中での滞留によりSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の減少とCH<sub>4</sub>の生成が起こったと結論される。従って、炭酸成分を除くその他の主要溶存化学成分 (Cl, Na, K, Ca, Mg) のほとんどが海水に由来すると考えられるが、そのうち陽イオンを形成する元素 (Na, K, Ca, Mg) は地層中に貯留されている間に粘土鉱物の生成や鉱物と水の間で起こるイオン交換により (水谷, 1995)、海水と天水の混合比から予想される濃度からいくらか変動している (表2)。

表2 海水-天水の混合水 (塚野鉱泉の水) が地層内で滞留する間に入り出る陽イオン元素 (ナトリウム[Na], カリウム[K], カルシウム[Ca], マグネシウム[Mg]) の量

元素	海水と天水の混合比から予想される濃度 (mg/l)	実際の鉱泉水の濃度 (mg/l)	増減 (mg/l)
Na	2340	2920	+580
K	85	67.7	-17
Ca	91	240	+149
Mg	280	272	-8

### 4-4. 溶存化学成分濃度の長期変化の原因

3-2項に記述したように、鉱泉水の溶存化学成分濃度は長期的に変化しており、1970年代に大きな濃度低下が起きた。図4に示された濃度の時間変化だけを見ると、この時期に希薄な地下水が混ざって濃度低下を起こしたように思える。しかし、図5のAに示したCl<sup>-</sup>濃度対HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の関係図の上でその長期変化を見ると、単に希薄な地下水 (図中の天水性地下水) の混入によって濃度低下を起こしたのではないことが判る。即ち、 $[\text{HCO}_3^-] = 0.3738 \times [\text{Cl}^-] + 1380$  (相関係数 = 0.992) で表される直線上で濃度変動しており、濃度低下の原因となる混合する水は図中のPで印したようなHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の極めて高い水であると推定される。また、そのような水が混入しても (即ちHCO<sub>3</sub>/Cl比の増加が起こっても)、陽イオンに占めるNaの割合はほとんど変化しないので (図5のB)、混入する水の水質はNa-HCO<sub>3</sub>型であると考えられる。

以上のようにもともと塚野鉱泉の貯留層に存在するNa-Cl, HCO<sub>3</sub>型の高塩分水に何かしらの原

因で混入する高 $\text{HCO}_3^-$ 濃度の $\text{Na-HCO}_3$ 型の水がどのような由来を持っているかは、溶存化学成分濃度が低下した時期の試料水の同位体データが得られていないため詳しく考察できないが、天水起源の地下水は水質形成過程で次第に $\text{Na-HCO}_3$ 型の水質になるとされていることから（水谷，1995）、おそらく天水を起源とする水で、 $\text{HCO}_3^-$ は土壌 $\text{CO}_2$ 起源であるとするのが妥当であろう。そして、そのような $\text{Na-HCO}_3$ 型の地下水がなぜ混入しなくなったのかは非常に興味を持たれる点であり、 $\text{Na-HCO}_3$ 型の水の起源とともに今後の研究課題としたい。

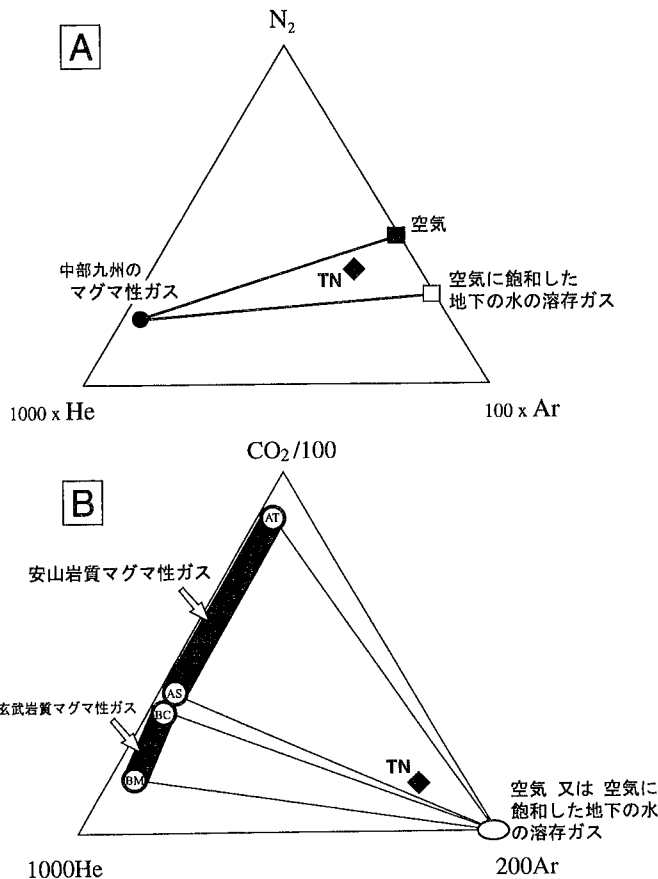


図4 付随ガス(TN)の窒素(N<sub>2</sub>)-ヘリウム(He)-アルゴン(Ar)組成 [A] および二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)-ヘリウム(He)-アルゴン(Ar)組成 [B]  
 プロットデータは、酸素(O<sub>2</sub>)が試料採取中の大気汚染に由来するとして、標準大気組成値を用いて補正したもの。

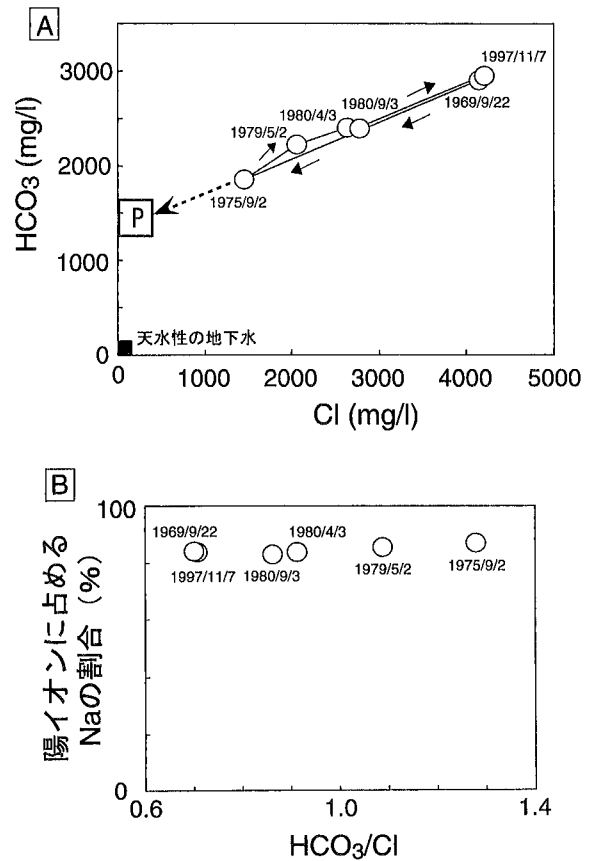


図5 1969年～1997年の鉱泉水の塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)濃度と炭酸水素イオン(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)濃度の関係 [A] およびHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>比と陽イオンに占めるNaの割合の関係 [B]

## 5. おわりに

本調査・研究により明らかになった点は、以下の通りである。

- (1) 塚野鉱泉の鉱泉水は海水と天水が混ざり、これにマグマ起源のCO<sub>2</sub>が付加されてできたものであり、地層中での滞留によりSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の減少とCH<sub>4</sub>の生成が起こっている。炭酸成分を除くその他の主要溶存化学成分 (Cl, Na, K, Ca, Mg) のほとんどが海水に由来し、陽イオンを形成する元素 (Na, K, Ca, Mg) は地層中に貯留されている間に、濃度に増減が生じている。
- (2) 1970年代に起きた鉱泉水の溶存化学成分濃度の大きな低下は、塚野鉱泉の貯留層にもともと

存在するNa-Cl, HCO<sub>3</sub>型の高塩分水に何らかの原因で高いHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度のNa-HCO<sub>3</sub>型の地下水が混入したために生じたと推定される。回復の兆しが見られていた溶存成分濃度は、1997年現在はほぼ完全に1969年当時の値にまで回復し、Na-HCO<sub>3</sub>型地下水の混入は生じなくなると考えられる。

塚野鉱泉は七瀬川断層と呼ばれる規模の大きい断層線上に位置しているとされており（川野・森山, 1974）、この直線的な地質構造線上には塚野鉱泉以外にも廻栖野鉱泉や妙見泉などいくつかの自然湧出の冷泉が存在する。吉川ほか（1976）や野田・北岡（1977）によれば、それらの多くが塚野鉱泉と同様の水質（Na-Cl, HCO<sub>3</sub>型）を示し、高いHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度を示している。それら冷泉の水質形成機構および地質構造との関わりについて興味を持たれ、この点の究明は「塚野鉱泉の帯水層にNa-HCO<sub>3</sub>型の地下水が混入したりしなくなったりする」という現象のメカニズムの解明につながると思われ、今回と同様な調査・研究を今後行いたいと考えている。

### 参考文献

- 岩倉一敏・大沢信二・大上和敏・網田和宏・高松信樹・今橋正征・野津憲治・由佐悠紀（1999）長湯温泉の温泉遊離ガスについて. 大分県温泉調査研究会報告, 50, 19-25.
- 川野田実夫・森山善蔵(1974)大分市塚野地区の鉱泉および地質調査. 大分県温泉調査研究会報告, 25, 27-30.
- 吉川恭三・北岡豪一・野田徹郎・大分県環境管理課・大分保健所（1976）挟間町ならびにその周辺の温泉調査. 大分県温泉調査研究会報告, 27, 25-33.
- Mizutani, Y., Hayashi, S., Sugiura, T. (1986) Chemical and isotopic compositions of fumarolic gases from Kuju-Iwoyama, Kyushu, Japan. *Geochemical J.*, 20, 273-285.
- 水谷義彦（1995）地下水の地化学特性, 島崎英彦・新藤静夫・吉田鎮男編, 「放射性廃棄物と地質科学地層処分の現状と課題」, 123-146, 東京大学出版, 東京.
- 中井信之・吉田 裕・安藤直行（1974）石油・天然ガス鉱床の同位体地球化学, 8, 87-98.
- 野田徹郎・北岡豪一（1977）挟間町ならびにその周辺の温泉調査（その2）高塩分泉の化学成分. 大分県温泉調査研究会報告, 28, 31-41.
- 野田徹郎・北岡豪一（1981）大分川流域温泉の継続観測の総括. 大分県温泉調査研究会報告, 31, 43-55.
- 野田徹郎（1981）大分市内温泉の化学的特性. 大分県温泉調査研究会報告, 31, 71-77.
- 大沢信二(2001)大分平野に産する深層熱水中の炭酸成分の起源. 大分県温泉調査研究会報告, 52, 21-26.
- 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・風早康平・安原正也(2002)島原半島の温泉・鉱泉の流体地球化学. 温泉科学, 52, 51-68.
- Ohsawa, S., Kazahaya, K., Yasuhara, M., Kono, T., Kitaoka, K., Yusa, Y. and Yamaguchi, K. (2002) : Escape of volcanic gas into shallow groundwater systems at Unzen volcano (Japan): Evidence from chemical and stable isotope compositions of dissolved inorganic carbon, *Limnology*, 3, 169-173.
- 沖田一彦・星野 晋（2002）人はなぜ湯治に行くのかー伝統的な湯治の効果に関する医療人類学的

検討一．第55回日本温泉科学会大会講演要旨集，26p.

安田善雄（1996）新潟地域油田水の深度に伴う塩化物イオン濃度減少の原因について．1996年度日本地球化学会年会講演要旨集，160p.



# 海地獄の呈色に関する色彩学的・地球化学的研究

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

東邦大学理学部化学科

恩 田 祐 二・高 松 信 樹

## 要 旨

海地獄の呈色の原因とされている遷移金属イオンや水分子による可視光の吸収、浮遊微粒子による太陽光のレイリー散乱の可能性を、色彩学的ならびに地球化学的に検討した。その結果、海地獄の熱水の色は一定しているのではなく、緑青から青緑色の間で変化していることが示され、海地獄の熱水は基本的に水分子による太陽光の長波長吸収によって青緑に着色しており、時として $0.1\mu\text{m}$ より小さなサイズの浮遊微粒子が熱水中に出現し、それによる太陽光のレイリー散乱によって青味が加わり、熱水の色を緑青にすると推定された。また、海地獄の熱水の浮遊微粒子濃度が他の青色熱水のそれよりも低いために、熱水の色を明瞭な青に色付かせることなく、さらに浮遊微粒子のわずかな濃度変化が海地獄の熱水の色の変化に投影されることが示唆された。

## 1. はじめに

別府温泉には海地獄と呼ばれる熱水池が存在し(図1)、熱水の色が海のように見えることからこの名がある。観光案内では「硫酸鉄による呈色である」と説明されており、また、「海が青いのと同じく、水の長波長可視光吸収による短波長可視光(青色)の選択的透過によって呈色している」との記述も見られる(星住ら, 1988)。この様に、熱水の着色の理由について幾つかの説明がなされているが、定説はなく、ごく最近になって本格的に研究が行われるようになり、その中で以下のような考察がなされている。

川村(1998)は、海地獄の熱水の呈色を $0.1\sim 0.45\mu\text{m}$ サイズのシリカコロイドによる太陽光のレイリー散乱が原因であると予想したが、熱水中にシリカコロイドは検出されず、遷移金属イオンの可視光吸収による呈色かその他の微粒子による太陽光のレイリー散乱による呈色であろうと推測した。また、半谷(1999)は、熱水池に堆積している温泉沈殿物や熱水中の浮遊微粒子が珪素(Si)とアルミニウム(Al)からなることから、海地獄の熱水の呈色をカオリナイ

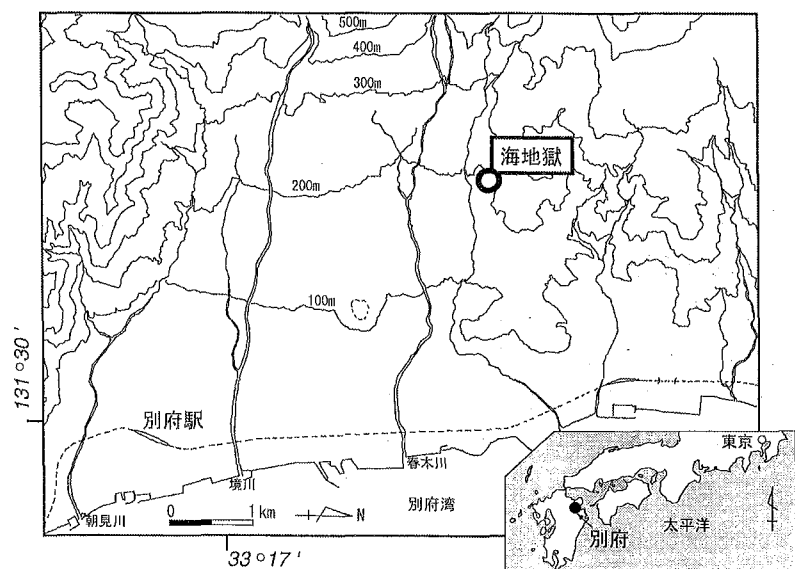


図1 海地獄の位置図。

トの前駆物質と考えられるアロフェンによる太陽光のレイリー散乱が原因であると推測した。しかしながら、どれも十分に検証されておらず、「定説がない」という状況は一向に変わっていない。

そこで本研究では、(1)遷移金属イオンや水分子による太陽光の吸収、(2)浮遊微粒子による太陽光のレイリー散乱を作業仮説として取り上げ、それぞれの可能性を色彩的・地球化学的に検討した。

## 2. 太陽光の吸収による呈色の可能性

海地獄の熱水中で太陽光を吸収する可能性のある物質として、遷移金属の鉄イオン ( $\text{Fe}^{2+}$ ) と銅イオン ( $\text{Cu}^{2+}$ )、ならびに水自身 (水分子) を取り上げ、熱水の  $\text{Fe}^{2+}$  および  $\text{Cu}^{2+}$  の濃度を用いた光の透過度の計算、海地獄の熱水の色彩測定結果と合成した  $\text{Fe}^{2+}$  溶液と  $\text{Cu}^{2+}$  溶液ならびに純水の色彩測定値との比較を行った。

### 2-1 実験方法

#### 2-1-1 熱水の採取

2002年の3月9日と2003年の1月7日に、海地獄の熱水を採取した。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ および陰イオン ( $\text{Cl}^-$ と $\text{SO}_4^{2-}$ )分析用の試料はポリ容器に直接保存し、 $\text{Mg}^{2+}$ および $\text{Ca}^{2+}$ 分析用試料は、 $0.1\text{mol dm}^{-3}$ 硝酸酸性にしてポリ容器に、また、シリカ ( $\text{SiO}_2$ ) 分析用試料は、塩酸を用いてpH2.0に調整してポリ容器に保存した。 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ および $\text{Cu}^{2+}$ 分析用試料は、孔径 $0.45\ \mu\text{m}$ のセルロース混合エステル系のメンブランフィルターでろ過した後、 $0.1\text{mol dm}^{-3}$ 硝酸 (多摩化学工業製分析用超純度試薬 TAMAPURE-AA-100) 酸性として滅菌スピッツ管に保存した。

なお、水温、pH、酸化還元電位および電気伝導度は、それぞれSATO KEIRYOKI製SK-1250MC (II) 型温度計、東亜電波工業株式会社製HM-14P型pH計、東亜電波工業株式会社製PTS-2019C酸化還元電位計、東亜電波工業株式会社製CM-14P型電気伝導度計を用いて現地で測定した。

#### 2-1-2 溶存化学成分の分析方法

採取した熱水の溶存成分の分析を以下の方法で行った。

$\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ および $\text{Mg}^{2+}$ の定量は、原子吸光光度法 (日立製作所製原子吸光光度計170-10形)、 $\text{Cl}^-$ および $\text{SO}_4^{2-}$ の定量は、イオンクロマトグラフ法 (DIONEX製IC IONCHRM ANALYZER)、 $\text{Al}^{3+}$ の定量は、誘導結合プラズマ発光分光分析法 (セイコーインスツルメンツ SPS3000形)、 $\text{SiO}_2$ の定量は、モリブデン青吸光光度法 (日立製作所製分光光度計U-3210形) で行った。

$\text{Cu}^{2+}$ の定量は、誘導結合プラズマ質量分析法で行った。Feに関しては1,10-フェナントロリン吸光光度法を用いて、以下のように $\text{Fe}^{2+}$ と $\text{Fe}^{3+}$ の分別定量を行った。試料水を二つに分け、一方には還元剤 (塩酸ヒドロキシルアミン) を加えて $\text{Fe}^{3+}$ を $\text{Fe}^{2+}$ とし全鉄イオン ( $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$ ) として濃度を求め、もう一方には還元剤を加えないで $\text{Fe}^{2+}$ のみを定量し、前者から後者を差し引いて $\text{Fe}^{3+}$ 濃度を求めた。なお、 $\text{Fe}^{2+}$ のみの分析の際には、pH4.6では共存する $\text{Fe}^{3+}$ が加水分解を起こして生成する水酸化鉄の沈殿が吸光度測定に影響を与える恐れがあるので、 $\text{Fe}^{3+}$ が加水分解しない程度に検液のpHを調整した (大沢, 1992)。

#### 2-1-3 色彩測定

##### 2-1-3-1 色彩測定について

色の見え方や伝え方には個人差があるため、肉眼観察によって色の違いを正確に表現することは

難しい。しかし、色彩計を用いた色彩測定により色を数値化することで客観的に色の違いを評価することが可能となる。最近では、岩石や鉱物について色彩測定を行った研究(例えば中島, 1994)、温泉沈殿物について色彩測定を適用した研究(例えば、高松ら, 1998)などが行われている。また、水についても非接触型の色彩計で測定可能であることが示されており (Ohsawa et al., 2002)、例えば、恩田ら (2003) は、天然水と試薬を用いて合成した溶液の色彩測定結果を比較することで、強酸性火口湖の呈色因子と呈色機構を明らかにした。

そこで、海地獄の熱水、合成 $\text{Fe}^{2+}$ 溶液と $\text{Cu}^{2+}$ 溶液ならびに純水の色彩測定を実施し、それらの測定値を比較することで、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、水分子による呈色の可能性を検討した。

### 2-1-3-2 色彩の測定方法

#### 海地獄での測定

ミノルタカメラ製の非接触型色彩色差計 (CS-100) を用い、熱水の色その場測定を行った。測器の校正は、暗室内の標準白色光源 (ワコム電創製ワコム太陽灯愛燦燦KIS DICS) の下で校正用標準白色板を用いて行った (以下の測定の校正も同様)。

#### 純水の色彩測定

長波長可視光を十分吸収しその補色が観察・測定できるように、Broun and Smirnov (1993) の方法を参考にして以下のように簡単な装置を自作して実験を行った。直径8cmの塩ビ管(長さ4m、2m、1mのものを準備した)の一方の端にプラスチック製の透明のフタを接着し、これを立てて純水を満たした。これらを暗室に持ち込み、下方側を標準白色光源で照らし、上方から前述の色彩計を用いて透過光を測定した。

#### $\text{Fe}^{2+}$ および $\text{Cu}^{2+}$ 合成溶液の測定

$\text{Fe}^{2+}$ 溶液および $\text{Cu}^{2+}$ 溶液の色彩測定は、以下の2つの方法で行った。

- (1) 純水の色彩測定に用いた装置に海地獄熱水の濃度相当の $\text{Fe}^{2+}$ 溶液あるいは $\text{Cu}^{2+}$ 溶液を満たして、色彩計による測定を行った。 $\text{Fe}^{2+}$ 溶液は、硫酸鉄(II)七水和物とL(+)-アスコルビン酸(還元剤)を用いて、また、 $\text{Cu}^{2+}$ 溶液は、硫酸銅(II)五水和物を用いて作製した。
- (2)  $\text{Fe}^{2+}$ 溶液および $\text{Cu}^{2+}$ 溶液の入ったガラス瓶(100 $\text{cm}^3$ )をスタンドに固定し、ピンの真横から標準白色光を当て、その方向に対して直角の方向から色彩計で色を測定した。その際、背景の色の影響を避けるために、黒色画用紙をガラス瓶の後に置いた。 $\text{Fe}^{2+}$ と $\text{Cu}^{2+}$ の濃度は、着色がはっきりと認められ、色彩測定が可能な程度に調整した。また、着色のpH依存性を見るために、 $\text{Fe}^{2+}$ 溶液および $\text{Cu}^{2+}$ 溶液のそれぞれについて、硫酸を用いて異なるpHの溶液を準備した。

### 2-1-3-4 色彩測定結果の表示方法

色彩測定の結果は、国際照明委員会 (Commission Internationale de l' Eclairage : CIE) で1931年に定められたCIE1931XYZ表色系のCIE1931色度図上に表した。CIE1931色度図では色の三要素である色相(色合い)、彩度(色の鮮やかさの度合い)、明度(明るさ)をY、x、yの3次元空間に表現することができる(図2)。Yは明度に対応する反射率を表し、x-y平面は色相と彩度を表している。色相は380nm~700nmの単色光軌跡に沿って変化し、彩度は無彩色点(x, y) = (0.3101, 0.3162)から単色光軌跡に向かって大きくなる。無彩色点と測定値の点を結んだ線の延長と単色光

軌跡との交点から色相を決定した。

## 2-2 結果及び考察

### 2-2-1 Fe<sup>2+</sup>およびCu<sup>2+</sup>による太陽光の透過度

海地獄の熱水の呈色に関与すると予想されるFe<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>はともに低濃度であるが(表1)、水深(光路長)によっては太陽光の長波長成分を吸収し、その補色によって熱水が着色する可能性がある。そこで、Fe<sup>2+</sup>溶液およびCu<sup>2+</sup>溶液のモル吸光係数と2002年3月の熱水のFe<sup>2+</sup>濃度とCu<sup>2+</sup>濃度を用い、熱水池の沈殿物(白色)を背景に熱水の色が十分に感知される深度(約1m以上)でどのくらいの光の透過度があるかを計算した。

Fe<sup>2+</sup>溶液の吸収波長のピークは385nm、446nm、471nmおよび504nmにあり、この中でFe<sup>2+</sup>溶液の色に特に関与するのは385nmにおける吸収である。この波長でのモル吸光係数は0.00479 mol<sup>-1</sup> dm<sup>3</sup> cm<sup>-1</sup>と求められており(日本化学会編, 1984)、海地獄の熱水のFe<sup>2+</sup>濃度0.20ppm (3.6 × 10<sup>-6</sup> mol dm<sup>-3</sup>)を用い、水深(光路長)を1.0mとして透過度(T)を計算すると、0.999であるという結果が得られた(表2)。これは、光は素通りして、ほとんど吸収されないことを示している。一方、Cu<sup>2+</sup>溶液の吸収波長のピークは822nmおよび250nmにあり、これらの波長でのモル吸光係数はそれぞれ12.3、199.5 mol<sup>-1</sup> dm<sup>3</sup> cm<sup>-1</sup>と求められている(日本化学会編, 1984)。そこで、熱水のCu<sup>2+</sup>濃度40ppb (6.3 × 10<sup>-7</sup> mol dm<sup>-3</sup>)を用い、水深(光路長)を1.0mとして計算すると、透過度(T)は0.97であることが示された(表2)。この結果もまた、光はほとんど吸収されないことを示している。

以上の計算結果は、熱水に溶存するFe<sup>2+</sup>とCu<sup>2+</sup>が海地獄の熱水の着色に関与している可能性は少ないことを示していると思われる。

表1 海地獄の熱水の化学分析結果.

採取年月日	2002年3月9日	2003年1月7日
pH	3.41	3.38
Tw (°C)	63.3	63.0
ORP (mV)	294	n.a.
Ec (mS/m)	378	n.a.
Na (mg/l)	640	657
K (mg/l)	136	138
Ca (mg/l)	54.6	52.7
Mg (mg/l)	9.2	8.7
Fe <sup>2+</sup> (mg/l)	0.20	0.24
Fe <sup>3+</sup> (mg/l)	n.d.	
Cu (μg/l)	40	1.1
Al (mg/l)	0.54	0.32
Cl (mg/l)	946	950
SO <sub>4</sub> (mg/l)	463	481
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	280	221

(脚注) Tw: 水温, ORP: 酸化還元電位, Ec: 電気伝導度, n. a.: 分析せず, n. d.: 検出されず

表2 海地獄の熱水中の銅イオン(Cu<sup>2+</sup>)と鉄イオン(Fe<sup>2+</sup>)による光の透過度.

Cu <sup>2+</sup>			
波長: λ (nm)	モル吸光係数: ε (mol dm <sup>-3</sup> cm <sup>-1</sup> )	熱水中の濃度 (mol dm <sup>-3</sup> )	透過度 水深=1.0m
822	12.3	6.29 × 10 <sup>-7</sup>	0.998
250	200		0.971
Fe <sup>2+</sup>			
波長: λ (nm)	モル吸光係数: ε (mol dm <sup>-3</sup> cm <sup>-1</sup> )	熱水中の濃度 (mol dm <sup>-3</sup> )	透過度 水深=1.0m
504	0.00776		0.999
471	0.00589	3.58 × 10 <sup>-6</sup>	0.999
446	0.00457		0.999
385	0.00479		0.999

## 2-2-2 色彩

### 海地獄の熱水

2002年3月および2003年1月の海地獄熱水の色度を図2に示した。今回のデータとこれまでに行われてきた海地獄の熱水の色彩測定結果（川村, 1998；半谷, 1999）を比較すると、1997年10月は490nm（It16+：greenish blue；緑青）、1999年9月は488nm（b18：blue；青）、2002年3月は490nmの単色光（It16+：greenish blue；緑青）に相当し、わずかではあるがその色相に違いが見られた（カッコ内の数値と色名は、財団法人日本色彩研究所監修、“新配色カード199 a”による）。そして、2003年1月の測定結果では496nmの単色光（It14+：blue green；青緑）に相当し、それまでの色相とは大きく異なることが示された。この海地獄の熱水の色が変化しているという観測結果は、寄与している呈色機構や呈色因子が一つではなく、かつ、それらの寄与の程度が時間とともに変化していることを示唆している。

### 水

純水の色度を図3に示した。純水の色は496nmの単色光（It14+：blue green；青緑）に相当し、深さ（光路長）によって彩度は変化するが、色相は変化しないことが判った。前述した2003年1月の熱水の色相（496nm）は純水の色相に全く一致し、その時期の海地獄の熱水は水分子による光の吸収のみによって着色していることを示している。

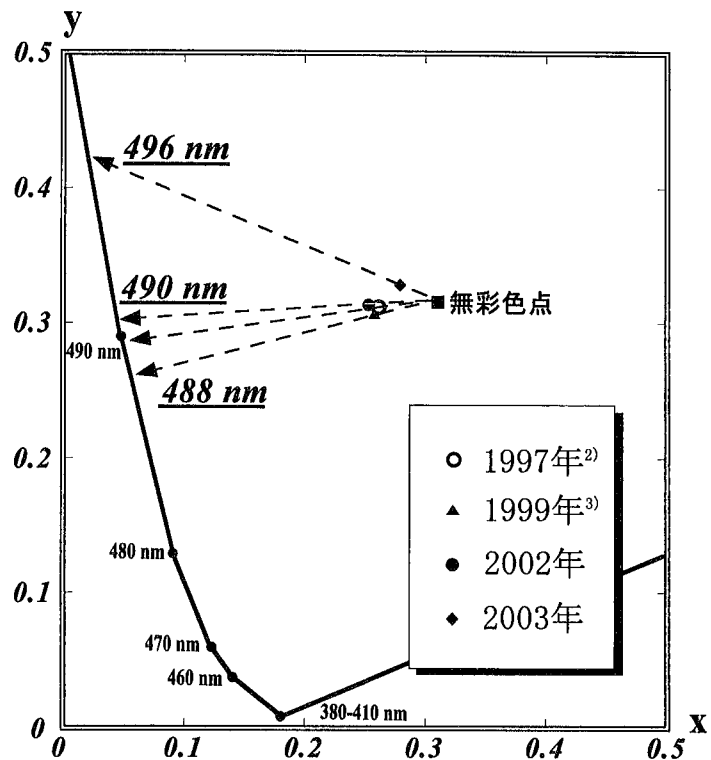


図2 CIE1931色度図上で表した海地獄熱水の色の変化。

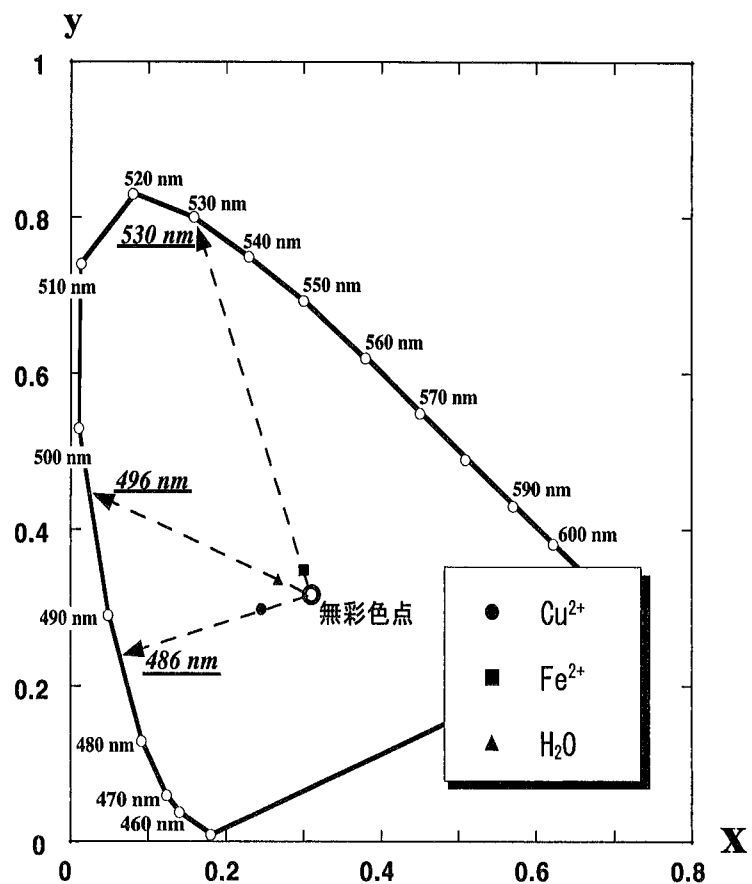


図3 CIE1931色度図上に表した純水、合成Fe<sup>2+</sup>溶液、合成Cu<sup>2+</sup>溶液の色。

## Fe<sup>2+</sup>およびCu<sup>2+</sup>

Fe<sup>2+</sup>溶液およびCu<sup>2+</sup>溶液の色度を図3に示した。Fe<sup>2+</sup>溶液とCu<sup>2+</sup>溶液はいずれも、pHや溶存濃度によって色相に変化がないということが確認され、Fe<sup>2+</sup>溶液の色は530nmの単色光に相当し、Cu<sup>2+</sup>溶液の色は486nmの単色光に相当することが示された。また一方で、熱水と同等の濃度のFe<sup>2+</sup>溶液(0.2ppm)とCu<sup>2+</sup>溶液(40ppb)の色は、いずれも純水の色相と完全に一致していることも示された。これらの結果は、Fe<sup>2+</sup>およびCu<sup>2+</sup>が、海地獄の熱水の呈色に実質関与していないことを示す有力な証拠であると考えられる。即ち、Fe<sup>2+</sup>が関与するならば純水の青緑色より緑になり、Cu<sup>2+</sup>が関与するならば純水の青緑色より青くなるはずであり、海地獄の熱水のFe<sup>2+</sup>やCu<sup>2+</sup>の濃度程度では着色に寄与しえないことを明確に示している。

以上より、海地獄の熱水池の呈色にはCu<sup>2+</sup>やFe<sup>2+</sup>は関与しておらず、水分子による太陽光の長波長吸収が着色の基本としてあり(青緑色)、時として熱水の色をより青味がからせる呈色因子が出現するものと考えられる。以下では、その呈色因子として有力視される微粒子の存在の可能性について検討を加える。

### 3 太陽光の散乱による呈色の可能性

ここでは、海地獄熱水池の熱水中に浮遊する微粒子の粒度分析と化学分析を行い、入射太陽光のレイリー散乱による熱水の着色の可能性を検討した。

#### 3-1 実験方法

##### 3-1-1 浮遊微粒子の分析

##### 3-1-1-1 光散乱光度計による粒度分布測定

大塚電子株式会社製粒径アナライザーFPAR-1000希薄型プローブ仕様を用いて、2003年の海地獄熱水に浮遊する微粒子の精密粒度分布測定を行った。メンブランフィルターを用いて試料水から微粒子を分離する方法(例えば、Ohsawa et al., 2002)では、フィルターの孔径で区切られた段階的な粒度分布のみが得られるが、この方法では3nm~5 $\mu$ mサイズの連続的な粒度分布測定が可能である。

##### 3-1-1-2 浮遊微粒子の化学分析

2002年3月と2003年1月に採取した海地獄の熱水の一定量を、採水後できるだけ速やかに孔径0.45 $\mu$ mと0.025 $\mu$ mのメンブランフィルターでろ過し、フィルターに捕らえられた微粒子をフィルターのまま蛍光X線分析装置で分析し、微粒子の主成分であるSiとAlを定量した。0.025~0.45 $\mu$ mの間の大きさ(レイリー散乱に関与する粒径)を持つ微粒子のSiとAlの組成や熱水に浮遊している時の濃度は、0.025 $\mu$ m以上の微粒子の定量値から0.45 $\mu$ m以上のそれを差し引くことで求めた。

定量は絶対検量線法により行い、その際標準物質として、化学組成が既知である2002年3月9日に採取した海地獄熱水池の堆積物(温泉沈殿物)と地質調査所発行の標準岩石(JR-1とJA-2)を用いた。標準物質はメノウ乳鉢で細粉して秤量し、蒸留水とエタノールを用いて均一に分散して、熱水試料と同様にメンブランフィルターでろ過し、フィルターのまま蛍光X線分析装置にかけた。検量線濃度は、分散溶液のろ過量を変えることにより調整した。なお、分析に用いた蛍光X線分析装置は、日本電子製エネルギー分散型蛍光X線分析装置(JSX-3220エレメントアナライザ)で、

測定条件は、管電圧：30kV、管電流：自動、フィルター：全開、ライブタイム：600secである。

### 3-2 結果及び考察

#### 3-2-1 浮遊微粒子の粒度分布

光散乱光度計によって求めた2003年1月の海地獄の熱水に浮遊する微粒子の粒度分布測定結果を、シリカコロイド（シリカの微細粒子）による太陽光のレイリー散乱によって青く着色しているとされている熱水（神和苑の露天風呂）の測定結果とともに図4に示す。レイリー散乱の原因となる微粒子の大きさが $0.03\sim 0.04\ \mu\text{m}^{\#}$ であるのに対し、少なくとも2003年1月の海地獄の熱水中にはそのような大きさの微粒子は検出されないことが判った（レイリー散乱に関与しない $0.16\ \mu\text{m}$ 付近、 $3\ \mu\text{m}$ 付近および $80\ \mu\text{m}$ 付近に分布のピークが出現している）。

一方、表3には、2002年3月および2003年1月の浮遊微粒子の粒径別（ $0.025\sim 0.45\ \mu\text{m}$ および $0.45\ \mu\text{m}$ 以上）のSiとAlの定量結果を示した。熱水が緑青を呈していた2002年の3月には $0.025\sim 0.45\ \mu\text{m}$ サイズの微粒子が浮遊しているのに対し、水分子による光の吸収により熱水が青緑に着色していた2003年1月には微粒子は検出されなかった。2003年1月には熱水中に微粒子が検出されないという結果は、上述の光散乱光度計による粒度分布測定の結果と整合的である。従って、2003年1月の青緑色に比べて2002年3月の色が青味が強いのは、SiとAlからなる $0.025\sim 0.45\ \mu\text{m}$ サイズの浮遊微粒子の濃度が2003年1月のそれに比べて高いことが原因である可能性が高いと考えられる。

(#) Ohsawa et al. (2002) は、レイリー散乱に関わるシリカコロイドの粒径を、メンブランフィルターを使った粒度分析から $0.1\sim 0.45\ \mu\text{m}$ の範囲にあると推定したが、今回の精密測定によって $0.03\sim 0.04\ \mu\text{m}$ の大きさであることが判った。フィルターを使った方法により示される粒径が大きいのは、熱水試料のろ過が進むほど目詰まりを起こして、孔径より小さなシリカコロイドもフィルター上に捉えられるようになったことが原因ではないかと考えられる。

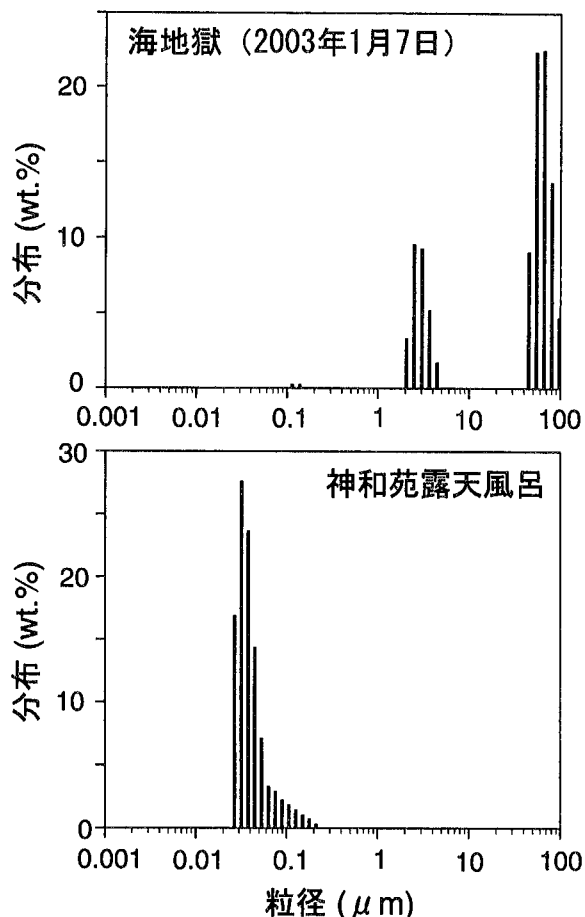


図4 光散乱光度計による海地獄熱水中の浮遊微粒子の粒度分析結果。下図は、シリカコロイド（シリカの微細粒子）による太陽光のレイリー散乱によって青く着色しているとされている熱水の測定例。

表3 海地獄熱水の浮遊微粒子の化学分析結果。

	粒径： $0.025\sim 0.45\ \mu\text{m}$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	$0.45\ \mu\text{m}$ 以上 ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	$0.025\ \mu\text{m}$ 以上 ( $\text{mg dm}^{-3}$ )
<b>2002年3月9日</b>			
SiO <sub>2</sub>	0.39	1.83	2.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0.92	1.10
合計	0.57	2.75	3.32
-----			
<b>2003年1月7日</b>			
SiO <sub>2</sub>	0.073	1.43	1.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.005	0.72	0.72
合計	0.078	2.14	2.22

### 3-2-2 海地獄熱水の着色の原因

ここまでに得られた結果から、「海地獄の熱水は、基本的に水分子による太陽光の長波長吸収によって着色しており（青緑色）、時として $0.025\sim 0.45\mu\text{m}$ サイズの浮遊微粒子が出現し、それによる太陽光のレイリー散乱によって青味を加わり、熱水の色を緑青にする」と結論される。

レイリー散乱が原因で呈色しているとされている青色熱水（川村, 1998; Ohsawa et al., 2002; 恩田ら, 2002）と2002年3月および2003年1月の海地獄の熱水の浮遊微粒子の粒径別濃度を表4に示した。これらを比較すると、海地獄の熱水の微粒子濃度は、海地獄以外の青色熱水のそれに比べて著しく低いことが判る。これは、「海地獄の熱水の浮遊微粒子濃度が他の青色熱水のそれに比べて低いために、熱水の色を明瞭な青に色付かせることがなく、さらに浮遊微粒子のわずかな濃度変化が海地獄の熱水の色の変化に投影される」ことを示唆している。

表4 青色を呈する熱水中の浮遊微粒子の濃度.

産出場所	浮遊物質	0.025~0.45 $\mu\text{m}$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0.45 $\mu\text{m}$ 以上 ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	合計 ( $\text{mg dm}^{-3}$ )
神和苑 *	シリカ ( $\text{SiO}_2$ )	138	6.0	144
いちのいで会館 金鉱の湯 *	シリカ ( $\text{SiO}_2$ )	104	14.0	118
いちのいで会館 景観の湯 *		8.0	25.0	33.0
かまど地獄 *	シリカ ( $\text{SiO}_2$ )	27.0	15.0	42.0
阿蘇山の火口湖:湯だまり #	イオウ (S)	55.3	501	556
草津白根山の火口湖:湯釜 #		19.3	142	162
海地獄 2002年3月9日	アルミノケイ酸塩	0.57	2.7	3.3
海地獄 2003年1月7日		0.08	2.1	2.2

(脚注) \*:川村(1999), Ohsawa et al.(2001) ; 恩田ほか(2002)

### 4 まとめ

海地獄の熱水の着色の原因について、①遷移金属イオン ( $\text{Fe}^{2+}$ および $\text{Cu}^{2+}$ ) と水分子による可視光吸収の可能性、②浮遊微粒子による太陽光のレイリー散乱の可能性を、色彩学的手法と地球化学的手法を用いて検討し、以下の事が明らかとなった。

- 2002年3月の海地獄の熱水の色相は490nm（緑青）に、一方、2003年1月の熱水の色相は496nm（青緑）に相当し、2003年1月の色に比べ2002年3月のそれが青味が強いことを示しており、海地獄の熱水の色は一定しているのではなく変

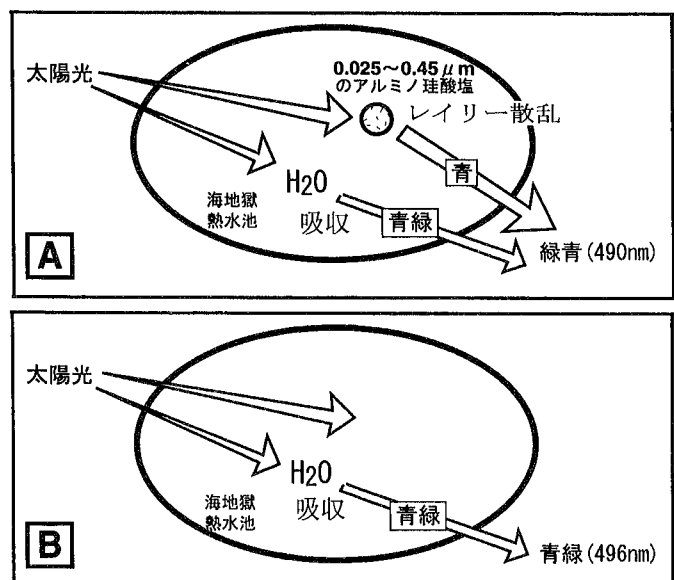


図5 海地獄の熱水の呈色機構(モデル).  
[A] 2002年3月9日; [B] 2003年1月7日.



化していることがわかった。

2. 2003年1月の海地獄熱水の青緑色は、水分子による太陽光の長波長吸収によって着色しており、2002年3月はその色に太陽光のレイリー散乱による青色が重なって緑青色になったとして説明可能である。この状況を模式的に図5に示した。
3. 海地獄の熱水に浮遊する微粒子の定量分析から、太陽光のレイリー散乱の原因となる物質は、0.025～0.45  $\mu\text{m}$ の範囲にある大きさのSiとAlからなる微粒子であると推定された。2003年1月の海地獄の熱水の色に比べて2002年3月のそれが青味が強いのは、そのような浮遊微粒子の濃度が2003年1月のそれに比べて高いことによると考えられた。そして、浮遊微粒子の濃度が他の青色熱水に比べて低いために、熱水の色を明瞭な青に色付かせることがなく、さらに浮遊微粒子のわずかな濃度変化が海地獄の熱水の色の変化に投影されるということが示唆された。

2003年現在の海地獄の熱水中には、熱水の色を青味がからせるのに関与していると考えられる0.025～0.45  $\mu\text{m}$ の範囲にある大きさの微粒子が採取できるほど存在しないため、そのような微粒子がどんな鉱物からなるかまでは特定できなかった。また、それを明らかにするとともに、浮遊微粒子が出現したりしなかったりするのとはなぜかといったことも解決しなければならない。これらは、今後の研究課題としたい。

## 謝辞

本研究は、海地獄の所有者のご理解と従業員の皆様のご協力により実現いたしました。また、粒径アナライザーによる熱水中の浮遊微粒子の粒度分布データは、大塚電子株式会社の正木孝治氏のご助力によって得られました。ここに深謝いたします。さらに、試料採取等でご協力いただきました京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設の網田和宏氏と山田誠氏に感謝いたします。

## 参考文献

- Broun, C. L. and Smirnov, S. N. (1993): Why is Water Blue?. J. Chemical Education, 70(8), 612–614.
- 半谷亜有美 (1999): 大分県・別府海地獄における青色呈色因子. 東邦大学理学部化学科卒業論文.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988): IX. 1 温泉及び地熱, 「別府地域の地質」. 地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅 福岡(14)第75号, 明文社, 東京.
- 川村隆夫 (1998): 青色温泉水の発色機構と生成条件. 東邦大学大学院理学研究科化学専攻修士論文.
- 松尾貞士 (1989): 地球化学. 講談社, 249(付録8), 東京.
- 中島 悟 (1994): 地球色変化?鉄とウランの地球化学—. 近未来社, 名古屋.
- 日本化学会編 (1984): 化学便覧基礎編 改訂3版. 丸善株式会社, 基礎編II-594, 東京.
- 大沢信二 (1992): 水溶液中における準安定硫黄化合物の挙動に関する地球化学的研究—火山学への応用—. 東京大学博士論文.
- Ohsawa, S., Kawamura, T., Takamatsu, N. and Yusa, Y. (2002): Rayleigh scattering by aqueous colloidal silica as a cause for the blue color of hydrothermal water. J. Volcanol. Geotherm. Res., 113, 49–60.
- 恩田 裕二・大沢 信二・高松 信樹 (2002): 活動的強酸性火口湖の呈色因子に関する色彩学的・地

球化学的研究. 陸水学雑誌, 64, 1—10.

高松信樹・大上和俊・大沢信二・加藤尚之・由佐悠紀 (1998) : 別府血の池地獄沈殿物コアの主要  
および微量元素の垂直分布. 温泉科学, 48, 36—43.

# 希土類元素による別府北部地域温泉水の流動経路の解明

東邦大学理学部化学科

真田 哲也・山崎 一  
恩田 裕二・高松 信樹

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

別府北部地域における温泉水中の希土類元素濃度を測定し、それらの濃度分布を検討した。その結果、主要成分分析からは同じ泉質に分類される温泉水でも、希土類元素パターンは異なることがわかった。Na-Cl型温泉水とH-SO<sub>4</sub>型の温泉水を混合した場合、Al及びFe質沈殿物が生成し、軽希土類元素がそれに取り込まれ、温泉水から選択的に除去されることがわかった。温泉水中の希土類元素濃度を測定することで温泉水の履歴について詳細な情報を得ることができ、熱水の混合系を解釈する上でひとつの手がかりとなることが期待された。

## 1. はじめに

天然水には河川水、湖沼水、地下水、海水等種々の形態の水が存在し、その水質も様々である。特に温泉水は通常の地下水よりも水温が高く、溶存成分が豊富である。一般にそれらの成分は水-岩石相互作用によりもたらされるが、火山活動との密接な関係を持つものが多い(中谷, 1964)。これまで温泉水の流動経路や湧出機構の推定には温度やpH、含まれる主要成分の濃度や同位体比が用いられてきた。温泉水中の溶存成分はマグマからの寄与や岩石との相互作用などにより、その化学成分は大きく異なる。温泉水中の主要成分は濃度が高く分析・測定が比較的容易で結果も精度良く得られるため、これまでも数多くの研究報告がある(例えば、大沢ら, 1994; 加藤ら, 1994)。近年、分析機器の発達により主要成分のみならず微量成分についての研究も多く、それらの温泉水中での挙動が注目されている。なかでも、希土類元素に関する研究が盛んに行われるようになり、それらの温泉水中での挙動等に関しての測定方法や分離濃縮方法の研究が検討されている(高久ら, 2002)。

希土類元素は種々の地球化学的過程で、イオン半径の効果が大きく寄与する興味深い元素群である。筆者らは秋田県玉川大沸泉の30年間にわたる希土類元素濃度の変動について考察し、硫酸イオン濃度との相関を見出した(真田ら, 2002)。希土類元素の分別は天然水の流動過程を推測する上で、有力な情報源となることが期待される。特に温泉水の希土類元素は水-岩石相互作用からもたらされると考えられ、その特性を反映していると考えられる。

本研究では種々の泉質が存在する別府北部地域における温泉水中の希土類元素濃度を測定し、それらの濃度分布(希土類元素パターン)を精査して、種々の室内模型実験などから、別府地域の温泉水の流動経路を希土類元素濃度から推定する可能性を検証する。

## 2. 試料の採取

### 2. 1. 温泉水

別府北部地域において温泉水を採取し（図1）、温泉水中の希土類元素濃度を測定した。試料はポリエチレン製の容器に入れ密栓した。現地ではpH、酸化還元電位及び電気伝導度の測定を行った。

なお、混合実験に使用した山田屋旅館及び平和園の温泉水は空気中の酸素の混入を防ぐため水槽中に保存した。

希土類元素及び微量成分測定用の試料は採取後、孔径が $0.45\ \mu\text{m}$ のアドバンテック製のメンブランフィルターを用いてろ過し、 $0.01\ \text{mol dm}^{-3}$ 硝酸溶液となるように調整した。

### 2. 2. 鶴見岳岩石

主要成分に代表されるように希土類元素もそのほとんどが水-岩石相互作用により温泉水中にもたらされるとすると、温泉周辺の岩石に含まれる成分が重要となってくる。そこで、別府北部地域の温泉水の起点と考えられる鶴見岳の未風化の岩石を採取し希土類元素の分析を行った。

## 3. 分析方法

### 3. 1. 温泉水試料の前処理方法

温泉水試料は孔径が $0.45\ \mu\text{m}$ のメンブランフィルターで吸引ろ過して試料溶液とした。

### 3. 2. 岩石試料の前処理方法

岩石試料はハンマーを用いて周りを削り取り、続いてCu-Sn合金製乳鉢を用いて約5 mm以下の粒径に粉碎した。次に自動粉碎機を用いて200メッシュ以下に微粉碎し分析試料とした。

分析試料はマイクロウェーブ分解装置を用いて分解し、 $0.45\ \mu\text{m}$ のメンブランフィルターで吸引ろ過して試料溶液を調製した。

### 3. 3. 主要成分の分析

主要成分分析には原子吸光光度法 ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 及び $\text{Mg}^{2+}$ )、イオンクロマトグラフ法 ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Br}^-$ 及び $\text{NO}_3^-$ )、吸光光度法 ( $\Sigma\text{Fe}$ ) 及びICP-AES ( $\text{Al}^{3+}$ ) を用いた。

### 3. 4. 希土類元素の分析

希土類元素の分析はICP-MSで行った。測定中の感度の変動を補正するために、試料溶液及び標準試料溶液に内部標準元素として既知量のRhを添加し、最終的に測定溶液が $0.1\ \text{mol dm}^{-3}$ となるように調整した。

### 3. 5. 混合実験

別府の温泉水は単一の温泉水が湧出しているのではなく、特に北部地域の場合はNa-Cl型、H-SO<sub>4</sub>型及びCa、Mg-HCO<sub>3</sub>型の三種類の熱水が混在する地域である。従って、明礬地区から流下

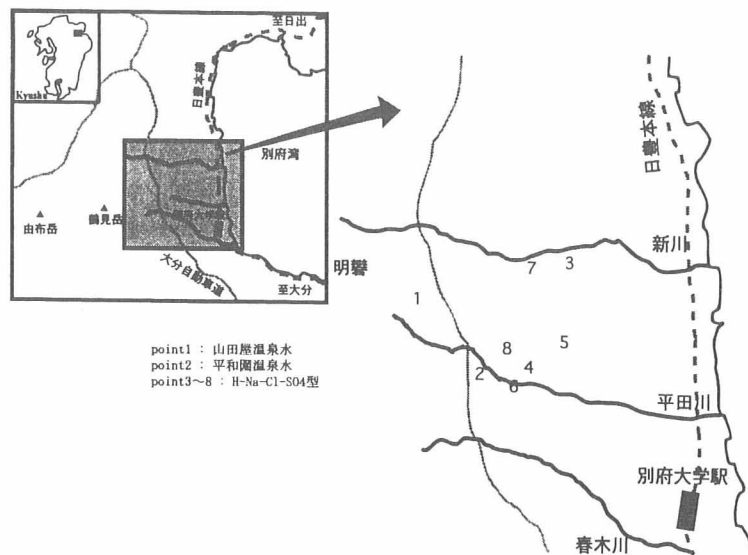


図1 温泉水採取地点

し、比較的浅所を流動した希土類元素を多く含む酸性のH-SO<sub>4</sub>型の熱水と高温でpH 8 付近の地下深部を流動したNa-Cl型熱水またはCa、Mg-HCO<sub>3</sub>型熱水との混合による希土類元素の挙動の把握が重要である。

そこで、これらの温泉水を混合した場合の希土類元素の挙動を検討するため、北部地域で採取された温泉水を用いて混合実験を行った。今回はNa-Cl型温泉水として平和園の温泉水を用い、H-SO<sub>4</sub>型の温泉水として山田屋旅館の温泉水を使用した。

混合実験の加圧合成装置は日電理化硝子(株)ミニオートクレーブMAC-2を用いた。この容器に採取した温泉水を入れ、送風定温乾燥機に入れて加熱し沈殿を生成させた。放冷した後、孔径が0.45 μmのメンブランフィルターで吸引ろ過して沈殿を分離した。ろ過した溶液中の希土類元素濃度をICP-MSにより測定した。

なお、平和園の温泉水は塩濃度が高くさらに希土類元素濃度が低いため、前処理なしにICP-MSで測定することはできない。そのため、脱塩と濃縮を目的としてキレートディスクを用いた処理を行った。キレートディスクはスリーエム製エムポアディスクを用い濃縮倍率は80~250倍であった。

#### 4. 結果及び考察

##### 4. 1. 別府北部地域における温泉水の希土類元素パターン

別府北部地域において採取された温泉水のうち、H-Na-Cl-SO<sub>4</sub>型の温泉水6地点の希土類元素パターンを図2に示す。これらのパターンは大きく4つに分類でき、軽希土類元素が重希土類元素と比較して相対的に低いパターン、La及びCeがやや持ち上がっているパターン、重希土類元素が下がっているパターン及び中希土類元素が相対的に高いパターンの特徴が認められた。これらは主要成分分析からは同じ泉質に分類されることから、希土類元素濃度を解析することにより、温泉の履歴についてさらに詳細な情報が得られることが示唆された。

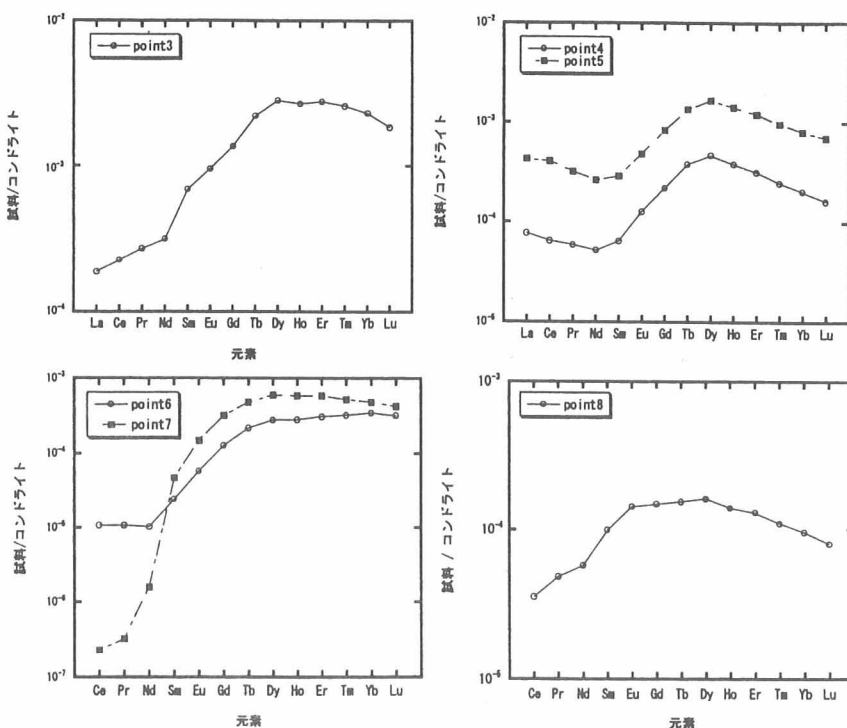


図2 別府北部地域におけるH-Na-Cl-SO<sub>4</sub>型温泉水の希土類元素パターン (ポイント6及び7のLaは検出下限値以下であったため除いた)

#### 4. 2. 山田屋旅館及び平和園の温泉水

混合実験を行うにあたり、温泉水の成分を把握するために、山田屋旅館の温泉水と平和園の温泉水中希土類元素、主要成分及び微量成分分析を行った。結果を表1に示す。

山田屋旅館の温泉水はpHが2.04で湧出温度が62.3℃であり、Fe、Al及びSO<sub>4</sub>等の成分を含む典型的なH-SO<sub>4</sub>型の温泉水であった。希土類元素濃度はppbオーダーで含まれており、pHが低いことから希土類元素は水-岩石相互作用により温泉水中にもたらされたと考えられる。

一方、平和園の温泉水はpHが7.85で湧出温度が98.8℃であり、Na及びClを多く含みFeやAlをほとんど含まない典型的なNa-Cl型の温泉水であった。希土類元素濃度も極めて低く定量下限値以下であった。

地下深部からもたらされる中性のNa-Cl型熱水中に希土類元素含量が極めて少ないことから、希土類元素は元々の地下水には含まれておらず、地上へ湧出するまでの過程における水-岩石相互作用により浸出され、温泉水中にもたらされると推測される。このことから、温泉水中の希土類元素を考察する場合、周辺の母岩中の希土類元素濃度、及びそのパターンを把握することが重要である。

#### 4. 3. 鶴見岳岩石中の希土類元素パターン

北部温泉水の起点と考えられている鶴見岳岩石の希土類元素パターンを山田屋温泉水の希土類元素パターンとともに図3に示す。鶴見岳岩石は軽希土類元素が重希土類元素よりも相対的に多く含まれ、ほぼ直線的に右下がりとなる傾向であった。

山田屋温泉水の希土類元素パターンはLa及びCeが大きく下方へ変化しており、鶴見岳のパターンとは軽希土類元素で異なることがわかった。これは、岩石から浸出される際に軽希土類元素と他の希土類元素との間に浸出率に差があるか、または温泉水が高所から流下していく過程で分別が起こり、軽希土類元素濃度が相対的に少なくなったと考えられる。

表1 山田屋旅館温泉水と平和園温泉水の主要成分、Fe, Al, 希土類元素及び微量成分濃度

	山田屋	平和園
Tw(°C)	62.3	98.8
pH	2.04	7.85
ORP(mV)	-9	-293
Ec(ms/m)	638	sc out
<b>主成分</b>		
Na / ppm	36.9	1090
K / ppm	13.7	73.6
Ca / ppm	138	65.4
Mg / ppm	33.2	<0.1
Cl / ppm	2.39	1780
SO <sub>4</sub> / ppm	3040	106
Fe / ppm	65.2	<0.1
Al / ppm	175	0.377
<b>希土類元素</b>		
La / ppb	14.0	<0.005
Ce / ppb	46.3	<0.005
Pr / ppb	7.35	<0.005
Nd / ppb	34.9	<0.005
Sm / ppb	8.26	<0.005
Eu / ppb	2.41	<0.005
Gd / ppb	8.44	<0.005
Tb / ppb	1.36	<0.005
Dy / ppb	7.29	<0.005
Ho / ppb	1.47	<0.005
Er / ppb	4.34	<0.005
Tm / ppb	0.576	<0.005
Yb / ppb	3.83	<0.005
Lu / ppb	0.563	<0.005
<b>微量元素</b>		
V / ppb	161	nd
Mn / ppb	3350	nd
Co / ppb	9.18	nd
As / ppb	nd	1820
Rb / ppb	92.4	445
Sr / ppb	168	1350
Cs / ppb	4.39	247
Ba / ppb	30.5	143

sc out : scale out  
nd : not detected

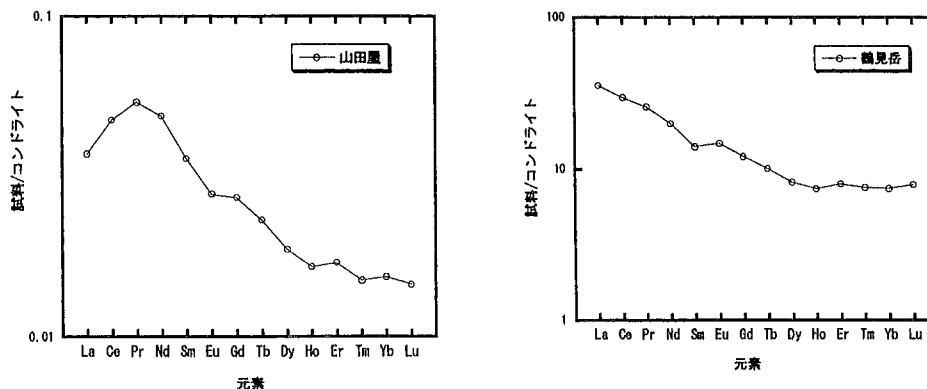


図3 山田屋旅館温泉水及び鶴見岳岩石の希土類元素パターン

#### 4. 4. 混合実験

H-SO<sub>4</sub>型の温泉水として山田屋旅館の温泉水とNa-Cl型の温泉水として平和園の温泉水を用いた混合実験を行った。加熱前及び150℃並びに200℃で混合・加熱後、ろ過した溶液の希土類元素パターンを図4に示す。また、主要成分の濃度を表2に示す。

その結果、希土類元素パターンは温度により大きく変化した。特に軽希土類元素(La, Ce, Pr及びNd)においてその変化は顕著であり、さらに加熱温度が高いほど軽希土類元素が大きく減少した。これは、加熱により生成した沈殿物に軽希土類元素が取り込まれ、溶液中から除去された結果であると言える。また、K, Fe, Al及びSO<sub>4</sub>の主要成分濃度も同時に減少しており、加熱前と比較して特にFe(約1/60)及びAl(約1/12)の減少が著しかった。

加熱後生じた沈殿物を蛍光X線装置(JEOL製SX-3220 ELEMENT ANALYZER)を用いて元素分析した。その結果、加熱温度が150℃ではAl, Fe, S及びSiのピークが認められた。200℃で加熱した試料はAl, Fe, 及びSのピークが認められたことから、生成した沈殿はAl及びFe質沈殿物であると考えられる。

大上ら(1998)は、山田屋旅館の温泉水を200℃で4時間加熱したところ、硬石膏(CaSO<sub>4</sub>)とアルナイト(KAl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>)の沈殿が生じたことを報告している。アルナイト鉱物の一般式はAB<sub>3</sub>(XO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>として与えられており、Aには12配位の大きな陽イオン(Na, U, K, Ag, NH<sub>4</sub>, Pb, Ca, Ba, Sr及びREE)が入る。BにはAl, Fe, Cu及びZn等の6配位イオンが入る。さらに、XO<sub>4</sub><sup>x-</sup>にはSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, AsO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>及びSiO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等のイオンが入ることが知られている(Dill, 2000)。

加熱前後において溶液中に含まれる含量が減少した元素は表2からNa, K, Fe及びAlである。一般に元素が鉱物のどのサイトに入るかはイオン半径が大きく寄与する結晶構造支配則に従う。生成した沈殿物がアルナイト鉱物だと仮定すると、そのイオン半径によりAには軽希土類元素、KまたはNaが入ると考えられる。また、同様にBには、FeまたはAlが、XO<sub>4</sub><sup>x-</sup>にはSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が入るものと思われる。

また、微量成分の結果も同様な傾向を示している。すなわち、Aに入ると考えられるイオン半径を有するSr及びBaも加熱前後で温泉水中の含量が減少していたことから、軽希土類同様イオン半径の近い元素は比較的容易に置換していることが推測された。

表2 混合実験における加熱(150℃及び200℃)後の温泉水中の主要成分濃度

	pH	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Cl	SO <sub>4</sub>
加熱前①	-	563	43.7	102	16.6	32.6	87.7	890	1573
150℃, 4時間加熱①	1.90	524	33.3	104	20.0	13.2	30.8	907	1420
150℃, 8時間加熱①	1.85	527	31.8	107	19.9	0.59	17.9	917	1400
200℃, 4時間加熱①	1.69	528	35.6	103	20.0	0.56	7.02	925	1390
加熱前②	-	36.9	13.7	138	33.2	65.2	175	2.39	3040
150℃, 4時間加熱②	1.73	38.7	8.23	142	40.3	7.27	150	2.20	3016
150℃, 8時間加熱②	1.68	36.6	3.94	141	40.6	3.90	129	2.42	2966
200℃, 4時間加熱②	1.57	25.7	0.53	135	40.1	5.23	36.3	2.50	2700

単位: ppm

- ① 山田屋温泉水 20cm<sup>3</sup> + 平和園温泉水 20cm<sup>3</sup>
- ② 山田屋温泉水 40cm<sup>3</sup>

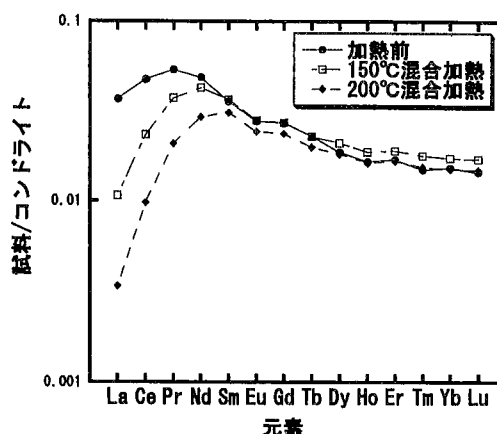


図4 150℃及び200℃で混合加熱前後の溶液中の希土類元素パターン(混合割合: 山田屋旅館温泉水20mL及び平和園温泉水20mL)

このように別府北部地域の混合系では、低温のH-SO<sub>4</sub>型熱水に高温のNa-Cl型熱水が混合することで水温が上昇し、アルナイト鉱物が生成してそれに軽希土類元素が取り込まれ、温泉水中から除去されることが推測される。

#### 4. 5. 軽希土類元素とFe及びAl濃度の減少傾向

混合実験における加熱前後の軽希土類元素とFe及びAlの減少率を表3に示す。この結果から、軽希土類元素の減少傾向はFeではなくAlと類似していた。すなわち、加熱の結果Alの沈殿物が生成し、軽希土類元素はそのAl沈殿物に取り込まれて温泉水から除去されたと考えられる。

#### 5. おわりに

種々の泉質が存在する別府北部地域の温泉水の流動経路を希土類元素を用いて推測する目的で室内実験を含めた検討を行った。今回は特にNa-Cl型温泉水とH-SO<sub>4</sub>型の温泉水が混合した場合を中心に検討を行った。

その結果、主要成分分析からは同じ泉質に分類される温泉水でも、希土類元素パターンは異なることがわかった。これは、温泉水の履歴について主要成分よりもさらに詳細な情報が得られることを示唆するものである。

温泉水を用いた混合実験から、Na-Cl型温泉水とH-SO<sub>4</sub>型の温泉水が混合した場合、生成した沈殿物に軽希土類元素が取り込まれ、温泉水から選択的に除去されることがわかった。

温泉水の混合により生成した沈殿物はAl及びFe質沈殿物であり、軽希土類元素はこれに取り込まれた可能性があると考えられる。また、生成した沈殿物がアルナイト鉱物だと仮定すると、イオン半径の近い例えばKやNaを軽希土類元素が置換していると推測された。

温泉水中の希土類元素濃度を測定することで主要成分元素濃度から得られる情報よりもさらに詳細な情報を得ることができ、希土類元素は熱水の混合系を解釈する上でひとつの手がかりとなることが期待される。しかし、希土類元素パターンも詳細に見れば形が異なっておりその評価方法も定性的である。従って、今後は数値化した評価方法の検討や生成した沈殿物の組成を明らかにするために粉末X線回折分析を行う等、詳細な検討が必要である。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、希土類元素濃度の測定にご指導を賜りました、東邦大学医学部化学教室の加藤尚之助教授に深謝いたします。試料採取にあたり快く対応していただいた明礬温泉山田屋旅館及び別府平和園の皆様へ感謝申し上げます。

表3 混合実験における加熱（150℃及び200℃）後の温泉水中の軽希土類元素、Al及びFe濃度の減少率(%)

①混合水(山田屋温泉水20cm<sup>3</sup>+平和園温泉水20cm<sup>3</sup>)

	pH	La(%)	Ce(%)	Pr(%)	Nd(%)	Al(%)	Fe(%)
150℃, 4時間加熱後	1.90	64.5	47.8	31.5	15.7	64.9	59.5
150℃, 8時間加熱後	1.85	71.3	50.9	30.8	12.4	79.6	98.2
200℃, 4時間加熱後	1.69	90.9	79.4	61.5	39.6	92.0	98.3

②山田屋温泉水40cm<sup>3</sup>

	pH	La(%)	Ce(%)	Pr(%)	Nd(%)	Al(%)	Fe(%)
150℃, 4時間加熱後	1.73	22.6	13.8	9.87	4.37	14.3	88.8
150℃, 8時間加熱後	1.68	37.7	23.3	14.9	5.83	26.3	94.0
200℃, 4時間加熱後	1.58	97.4	89.6	71.1	45.0	79.3	92.0



## 参考文献

- 1) 中谷省三：温泉の分析，水の分析，464-473，化学同人，東京
- 2) 大沢信二，由佐悠紀，北岡豪一(1994)：別府温泉南部地域における温泉水の流動経路，温泉科学，44，199-208
- 3) 加藤尚之，高松信樹，北岡豪一，大沢信二，由佐悠紀(1994)：Rb及びCs含量からみた別府温泉における地熱流体の移動過程，温泉科学，44，183-198
- 4) 高久雄一，工藤友華，木村盛児，林匠馬，太田郁子，長谷川英直，植田真司(2002)：環境水中の希土類元素のイミノニ酢酸キレート樹脂ディスク予備濃縮/誘導結合プラズマ質量分析法による定量，分析化学，51，539-544
- 5) 真田哲也，高松信樹，吉池雄蔵，今橋正征，樋口英雄(2002)：秋田県玉川温泉における温泉水中の希土類元素の経年変化と地球化学的挙動，陸水学雑誌，63，137-147
- 6) 大上和敏，大沢信二，中川理恵子，高松信樹，由佐悠紀(1998)：別府血の池地獄の色彩変化に関わる沈殿物の鉱物組成・温泉水の化学組成の変化，温泉科学，47，157-165
- 7) Dill, H. G. (2001)：The geology of aluminum phosphates and sulphates of the alinite group minerals：a view, Earth-Science Reviews, 53, 35-93



# 温泉を活用した入浴と運動プログラムの検討

－ 温泉を健康づくりに活かすために －

別府ONSEN地療法研究会

佐藤 貴子（大分県中央保健所）、他16名

## 要 旨

温泉を活用した運動の教室を展開しながら、入浴と運動プログラム及び健康づくりへの活用法について検討した。

入浴と運動プログラムについては、独自のプログラムのパターン化や、その効果について実証はできなかった。

しかし、温泉を使った水中運動に対する需要は高く、健康づくりには活用可能である。

## はじめに

当研究会は、平成12年度に別府市医師会と別府市旅館組合連合会（当時）が中心になり立ち上げた。温泉の新たな活用策を模索し、地域活性化に役立てようとする各種の取り組みをしている。そのひとつとして、温泉療法医や健康運動指導士、理学療法士、温泉利用指導者、管理栄養士、保健師が中心となり、温泉を活用した入浴と運動プログラムの検討を開始した。

平成13年度には、その検討と併行して肥満、糖尿病のハイリスクグループを対象に教室を開催し、入浴と運動プログラムを個別処方するなど実践指導を展開した。

今年度は、特に水中運動を中心とした「温泉を利用したスマート教室」（以下、教室）を展開し、入浴と運動プログラムについて検討を重ねた。プログラムのパターン化には至らなかったが、温泉の健康づくりへの活用について考察したので報告する。

## 研究方法

教室前後の参加者の状況を、身体面・心理面・行動面から分析し、プログラム及び教室の効果と健康づくりへの活用について考察する。

## 教室の概要

### 1) 対象

13年度対象者及び一般に公募し集まった肥満など生活習慣病の予防、改善を希望する概ね65歳以下の男女36名

【表 1】

【表 1】対象者（参加者）の状況

	人 数 (人)	平均年齢 (才)	BMI 25以上 (人)
男	7	61.9	4
女	29	60.0	17
計	36	60.3	21

### 2) 期間および内容：【表 2】

【表2】期間および内容

回	年月日	目標	内 容				その他	場所	参加者	スタッフ	
			運動① (マーン)	運動② (水中)	入浴	グループワーク				講師	HC
1	14.8.21 14.8.22	教室の目的を理解する。 メンバー間の交流をはか る。				・オリエンテーション ・健康チェック ・体力測定 ・運動プログラム②の提示 ・写真撮影	別府大学 健康センター	39	長野	2	6
2	14.8.29		○		自己紹介		北浜温泉 テルマース	39	長野	3	4
3	14.9.5		○		教室日以外の運動状況に ついて		北浜温泉 テルマース	39	長野	3	3
4	14.9.12	自分の目標を設定し、運 動を楽しむことが出来る。	○			・運動①と入浴プログラムの 提示 ・栄養について ・血液検査結果の説明 ・写真貼付 ・運動①プログラムの訂正 ・目標心拍数の確認	湯都ピア浜脇	37	長野 矢野	3	4
5	14.9.19		○ 選択		今までの運動と栄養につ いて		湯都ピア浜脇	38	長野 矢野	1	6
6	14.9.26		○				北浜温泉 テルマース	37	長野	2	5
7	14.10.10	自分の体力や生活習慣の 変化を振り返り、課題を 見つけることが出来る。		○	行動、運動、食事から生 活を振り返り、具体的 な目標を設定する		湯都ピア浜脇	33	長野 矢野	2	5
8	14.10.24		○			・生活習慣表の返還(スタッ プからのコメントを赤ペンに て追記) ・講義1：栄養と食習慣 ・講義2：生活習慣病と運動	北浜温泉 テルマース	32	長野	3	5
追加 ①	14.10.31	自分の目標を再確認し、 運動を楽しみ、生活改善 に向けて臨むことができ る。	○ 希望				湯都ピア浜脇	31	畑	2	5
9	14.11.21		○		教室日以外の運動習慣に ついて		北浜温泉 テルマース	25	長野	2	5
10	14.12.18 14.12.19	運動習慣の改善に向けた 意志確認が出来る。			評価と今後の取り組みに ついて	・体力測定 ・健康チェック ・写真撮影	別府大学 健康センター	36	長野	2	5
追加 ②	14.12.27	これまでの取り組みと結 果を参照し、今後の生活 習慣改善に向けた意志確 認ができる	○ 希望		教室に参加しての感想、 反省、今後の決意表明	・写真貼付 ・教室全体の結果説明 ・個人結果の見方 ・公開講座の実行委員選出 ・励ましの手紙 (公開講座案内)	湯都ピア浜脇	31	長野 矢野	3	6
追加 ③	15.1.16	運動をはじめ、改善され た生活習慣の継続意志を 喚起、向上できる。									
追加 ④	15.2.17					・公開講座	つるみ荘	31	長野 小西	1	5

第1回研究会(8/6)  
・本年度計画  
・評価方法  
・各種様式例

第2回研究会(8/27)  
・個人処方の作成  
・留意事項確認

第3回研究会(10/15)  
・経過報告  
・今後の指導計画

第4回研究会(1/21)  
・教室、個人の結果報告および評価  
・研究報告のまとめ方、方向性

第5回研究会(3/24)  
・今年度のまとめ  
・今後の取り組み

3) 評価項目

【表3】評価項目

	項 目	備 考
身体面	体重	毎回
	体脂肪率	毎回
	血圧	毎回
	ウエスト・ヒップ比	
	総コレステロール	
	HDLコレステロール	
	中性脂肪	
	血糖	
	Hb-A1C	
	心電図	教室開始時のみ
	上体起こし	
	長座位前屈	
	トレッドミル	
	血圧脈波	DMの者のみ
心理面	自覚症状調査	教室終了時のみ
行動面	生活習慣調査	

4) 個人に配布した入浴と運動プログラム

初回の検査結果を基に、立案し2回目の教室時に提示した。教室での様子を考慮しながら訂正を加えた。【表4】

【表4】個人に配布した入浴と運動プログラム



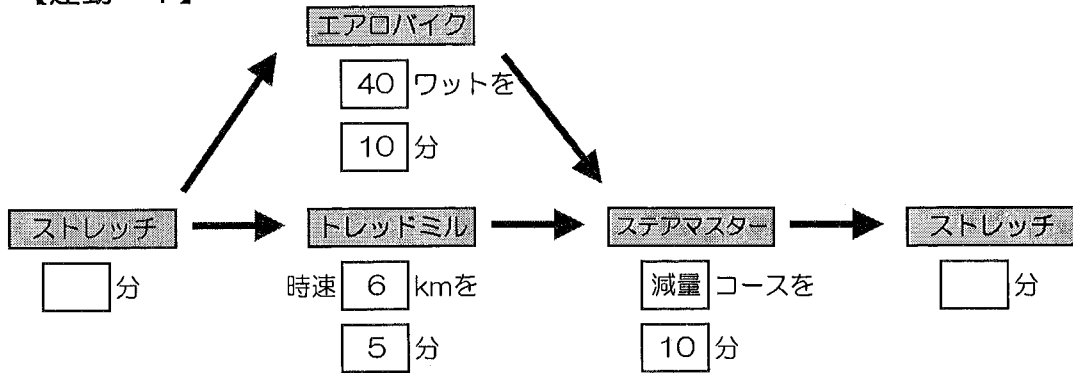
## あなたの運動・入浴プログラム



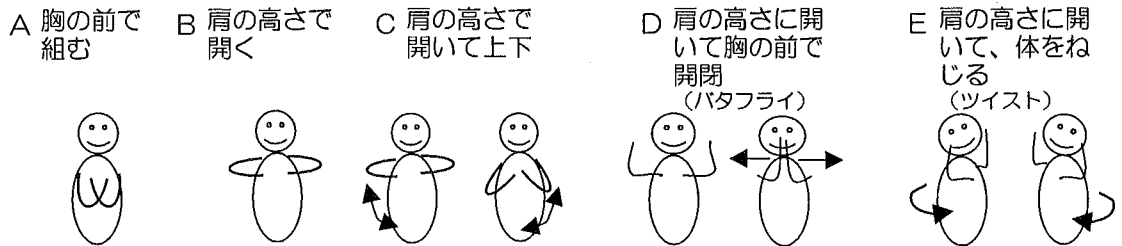
氏名 \_\_\_\_\_ 歳 男( ) 女( )

作成年月日 (平成14年8月27日)

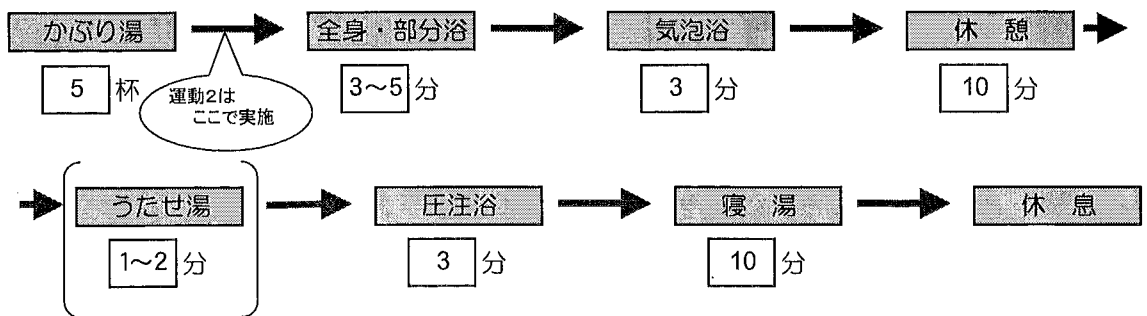
### 【運動 1】



### 【運動 2】 湯都ピアでは、距離が短いため2倍にしてください



### 【入浴】



きつい時は無理をせず、休みましょう

結 果

1) 身体面

教室開始時の体重や体脂肪率で効果に差は見られなかった。

中性脂肪では、異常変化なし5人のうち3人は、異常値ではあるものの、132~188mg/dlの著しい低下が見られた。

【表5】

	体 重 が 減 又 は 変化なし	体脂肪率が 減 又 は 変化なし	動脈硬化 指 数 が 改 善
男 7人	6人	1人	4人
女 29人	27人	20人	25人
計 36人	33人	21人	29人
平均	-1.68kg	-0.37%	-0.51
最高	-5.80kg	-5.40%	-2.89

【表7】 中性脂肪 150以上

改 善	異常→正常	15人(41.7%)
正常変化なし	正常→正常	16人(44.4%)
異常変化なし	異常→異常	5人(13.9%)
悪 化	正常→異常	0人(0.00%)

【表6】 HDL-コレステロール 40以上

改善	正常・異常に関わらず増加	25人(69.4%)
悪化	正常範囲だが低下	7人
	異常値でさらに低下	3人
	正常値から異常値へ	1人
	小 計	11人(30.6%)

【表8】トレッドミル

改善	10拍以上の低下 30秒以上の延長 中断者の完歩	13人(36.1%)
変化なし	10拍未満の増減 30秒未満の増減	12人(33.3%)
悪化	中断・10拍以上の増加	7人(19.4%)
	未実施	4人(11.1%)

2) 心理面

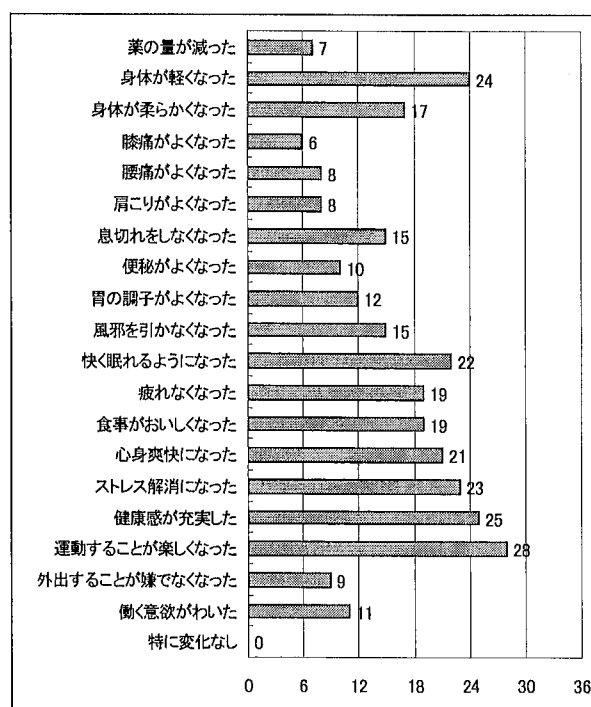
メディカルチェックでははかれない自覚症状を自記式アンケートで調査した。

全員何らかの快刺激を得ている。

【グラフ1】

主治医の指示のもと、血糖降下剤や降圧剤の服用が中止になったり、膝関節痛の通院治療が終了したなど医療面における変化もあった。

【グラフ1】



### 3) 行動面

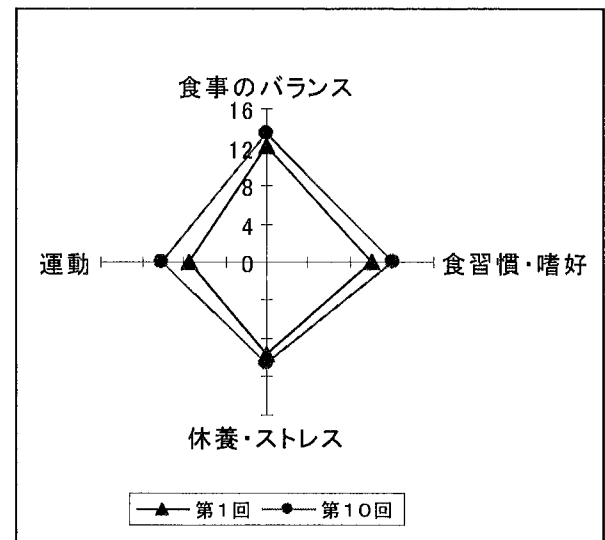
「食事のバランス」、「食習慣や嗜好」、「休養・ストレス」、「運動」の4分類各8項目について、自記式アンケート調査をした。

1分類16点満点で採点し、各自でバランスシートに記した。運動をはじめ各分類とも改善している。【表9】【グラフ2】

【表9】平均点

	初回	終了時
食事のバランス	12.1	13.4
食習慣・嗜好	10.0	12.0
休養・ストレス	9.6	10.6
運動	7.5	10.1

【グラフ2】生活習慣バランスシート



## 考 察

### 1) 入浴と運動プログラムについて

個人毎に作成した入浴と運動プログラムの適合性や効果については、判断できない。その要因としては、教室生は水中運動の楽しさもありプログラム以上の運動をしたり、他の運動にも取り組んでいることが挙げられる。

また、入浴や水中運動の前後における身体変化をみるなど、分析方法が十分でなかったことが挙げられる。

水中運動の効果については、先行研究で明らかである。しかし、今後、健康づくりのひとつとして温泉を活用した水中運動を普及するには、より身近なところでのエビデンスを得る必要がある。各自の生活が大きく影響する住民を被験者とすることから、画一された条件下での実験研究は困難性を伴うが、如何に条件を整えて臨むかが課題である。

### 2) 健康づくりへの活用について

今回、この教室は30名の募集に対し180名を越える応募があり、その後も問い合わせが続いた。

このほか、教室以外への波及効果もみられた。参加者が教室日以外も仲間や家族で温泉施設を利用するようになったり、健康づくりの自主組織が引き続き水中運動に取り組もうと準備を始めていたりしている。また、講師をつとめた健康運動指導士は、他から依頼された教室でも温泉を利用して展開しようと進めている。

ここまで人々の関心を高め、健康づくりの普及啓発につながった要因として、次のことが挙げられる。



①温泉の魅力・・・水中では浮力によって体に負荷がかからないことから、関節疾患を持つ人でも楽に体を動かせる。それが温水プールではなく温泉であれば、もっと効果があるのではないかという期待を高めた。

また、参加者はロケーションや湯温の心地よさ等から気分転換、ストレス解消にもなったと述べている。

②カリキュラムの魅力・・・教室で体験した運動の心地よさと楽しさが、参加者の意欲を高め、参加者自身が周囲に口コミで伝えるという行動を起こさせた。こうした参加者からの口コミは、住民により身近な情報となった。

③マスコミの活用・・・地元新聞への取材依頼・掲載を機に、他紙やテレビ局からの問い合わせが続いた。テレビ取材では参加者の様子が放映されたことから、声をかけられた参加者は多い。温泉施設への問い合わせも多くあり、温泉施設のPRや施設職員が活用方法を検討する機会となった。

#### まとめ

温泉を使った水中運動は、需要が高く、健康づくりに活用できる。

しかし、今後、普及するため、身近なところでのエビデンスを得る必要がある。

#### 参考文献

- 1) 小西薫：ウォーターパワーワークアウト、環境工学社（2000）
- 2) 小西薫：水中ウォーキング、リーベル出版（2000）
- 3) 松沢佑次：肥満で悩む人に、NHK出版（1999）
- 4) 細谷憲政、馬場茂明：新しい糖尿病の食事療法・栄養療法、株式会社チーム医療（2002）



## 温泉入浴の睡眠時無呼吸症候群への影響

仁泉会畑病院

畑 知 二・畑 洋 一  
矢 永 尚 士

### 要 旨

睡眠時無呼吸症候群(SAS)は事故の原因、夜間突然死の原因とも推測されている。そこで温泉入浴によるSASへの影響をポリソムノグラフィー(PSG)を用いて検討した。症例は74歳男性。脳梗塞、高血圧で入院中。簡易検査では無呼吸指数(AI)42/hと重症SASを示した。PSGを入浴(+)と入浴(-)の2晩行った。結果は、入浴(-)、入浴(+)順に、AI11.9/h、8.0/h、無呼吸低呼吸(AH)合計回数112回、70回、AHI20.6/h、12.1/h、最低酸素飽和度5%以上低下回数101回、12回と改善を示した。この改善の理由として、温泉入浴により睡眠効率が57.4%から63.9%と改善したことが一因と推測される。

### <はじめに>

睡眠時無呼吸症候群(Sleep Apnea Syndrome : SAS)は1976年、ギルミノーらにより提唱され、睡眠中10秒以上の呼吸停止が睡眠1時間あたり平均5回以上あることと定義される。主な原因は上気道の閉塞によるもので肥満がその促進因子とされる。先ごろの新幹線の事故で注目されたが、睡眠深度が浅くなる為、頻回の覚醒、熟睡感の欠如、日中傾眠等の症状により事故の原因や仕事効率の低下の原因として注目される他、循環器系の疾患、高血圧、動脈硬化や不整脈、更に夜間突然死の原因とも推測されている。米国の統計では夜間突然死症例の約半数にSASが認められていたとの報告がある。又、無呼吸は比較的睡眠深度の浅い段階で見られる。一方温泉入浴は、入浴による爽快感、適度なカロリー消費などにより睡眠深度の改善が期待される。そこで温泉入浴によりSASがどう変化するかにつきポリソムノグラフィー(PSG)を用いて温泉入浴の有無による違いを検討した。

### <方法>

症例は74歳男性。脳梗塞、高血圧の既往あり。リハビリテーション目的で入院。SASを疑われ簡易型アプノモニター施行し、無呼吸指数(Apnea Index : AI) 42/hと明らかなSASを示した患者である。入院後2週間経過し入院に慣れた段階で当院の入浴施設(ナトリウム-塩化物・炭酸水素塩泉、弱アルカリ性低張性温泉)に入浴した日としなかった日の2回PSGを行った。入浴以外の日常activityは同程度であった。PSG測定・解析(Compumedic社:スリープ・ウォッチャー)は帝人在宅医療九州株式会社の協力を得て行った。

### <結果>

#### (1) 睡眠状況

入浴(-)および入浴(+における睡眠状況を表1と図1に示す。睡眠時間には差を認めなかったが、睡眠時間中の覚醒時間および覚醒回数は入浴(-)で明らかに長く多かった。また、睡眠ステージは両条件間で差を認めなかったが睡眠効率{消灯時間(TIB)/就寝中の睡眠時間(TST)}

は入浴(-)で57.4%に対し入浴(+)で63.9%と入浴した日の睡眠効率の改善がみられた(表2)。

表1. 検査時間

	入浴(-)	入浴(+)
消灯時間 (TIB) 分	570	542.5
就寝時間 分	510	473.5
就寝時間中の睡眠時間 (TST) 分	327	346.5
就寝時間中の覚醒時間 分	183	127
睡眠潜時 分	60	69
REM潜時 分	214	114

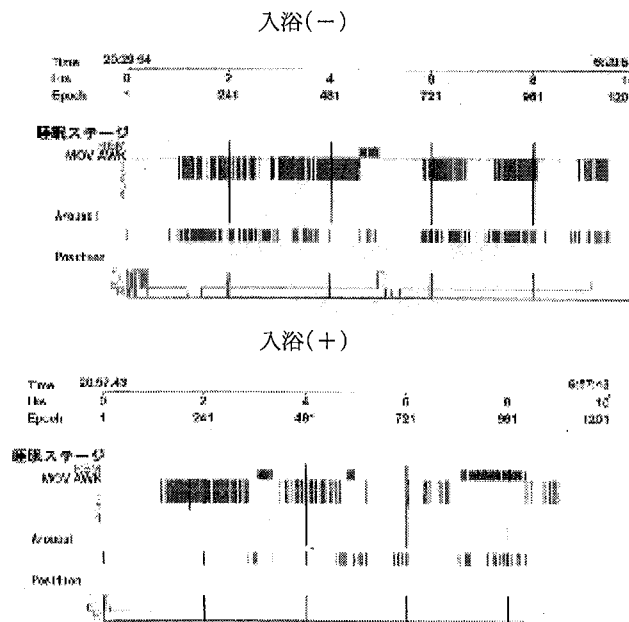


図1. 入浴の有無における睡眠状態

表2

睡眠ステージ	入浴(-)	入浴(+)	標準参考値 %
ステージ1 %/分	8.9/29.0	23.5/81.5	5-15%
ステージ2 %/分	84.9/277.5	48.3/167.5	40-60%
ステージ3 %/分	0.5/1.5	0.1/0.5	20-30%
ステージ4 %/分	0.0/0.0	0.0/0.0	30-5%
REM睡眠 %/分	5.8/19.0	28.0/97.0	20-25%
睡眠効率 (TST/TIB) %	57.4	63.9	

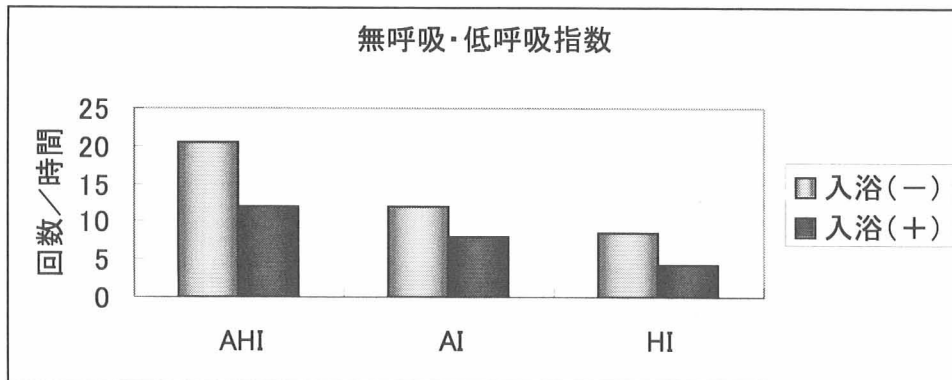
(2) 睡眠時無呼吸

表3に全データを示すが、入浴(-)の時、無呼吸合計回数65回、AI11.9/h(図2)、無呼吸低

呼吸合計回数112回(図3)、AHI20.6/h(図2)、最長無呼吸時間54秒に対し、入浴(+)では、無呼吸合計回数46回、AI8.0/h(図2)、無呼吸低呼吸合計回数70回(図3)、AHI12.1/h(図2)、最長無呼吸時間104秒と改善を示した。

表3. 無呼吸・低呼吸

	入浴(-)	入浴(+)
無呼吸・低呼吸合計回数 / 1晩	112	70
無呼吸・低呼吸指数(AHI) / h	20.6	12.1
無呼吸指数(AI) / h	11.9	8
低呼吸指数(HI) / h	8.6	4.2
無呼吸・低呼吸の平均持続時間 秒	32.9	42
最長無呼吸持続時間 秒	54	104
最長低呼吸持続時間 秒	150	71
無呼吸のタイプ		
中枢型無呼吸 / h	1.1	1.9
閉塞型無呼吸 / h	10.8	6.1
混合型無呼吸 / h	0	0



AHI：無呼吸・低呼吸指数、AI：無呼吸指数、HI：低呼吸指数

図2. 入浴の有無における無呼吸・低呼吸指数の違い

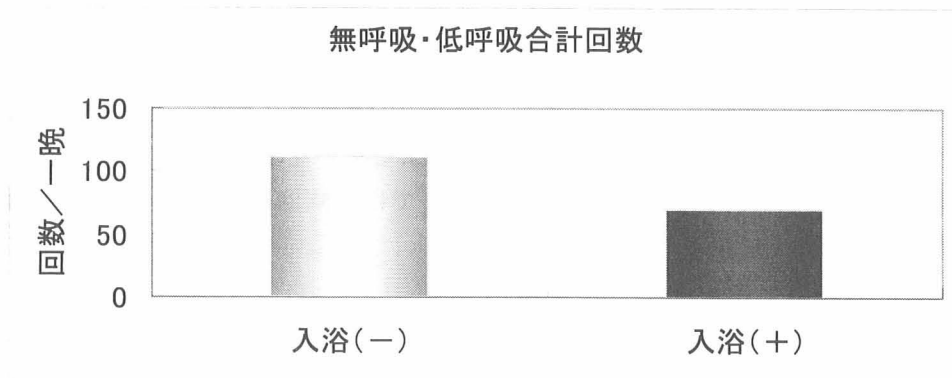


図3. 入浴の有無における睡眠中無呼吸・低呼吸回数の違い

(3) 睡眠中酸素飽和度

無呼吸の程度が強くなると血中の酸素分圧、酸素飽和度が低下する。結果を図4と5に示す。この症例では図4の如く温泉入浴した日の方がしなかった日にくらべ明らかに酸素飽和度低下の頻度は減少していた。また、最低酸素飽和度は両条件下とも81%と高度であるが差はみとめられなかったが、図5に示すように酸素飽和度が5%以上低下する高度の低下は入浴（-）で101回に対し、入浴（+）で12回と明らかに入浴（+）で減少していた。

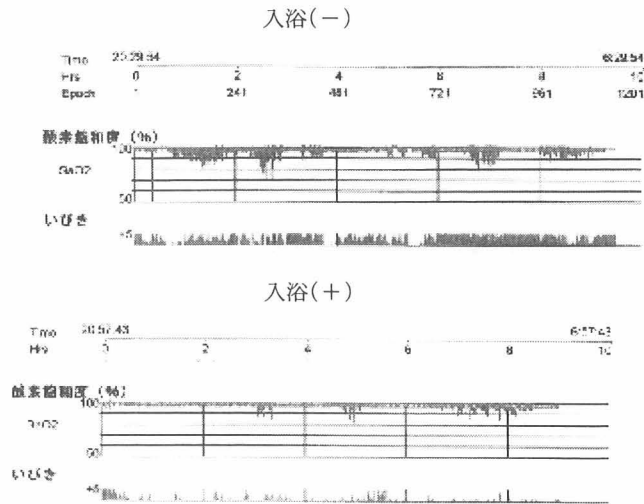


図4. 入浴の有無における睡眠中酸素飽和度の変化

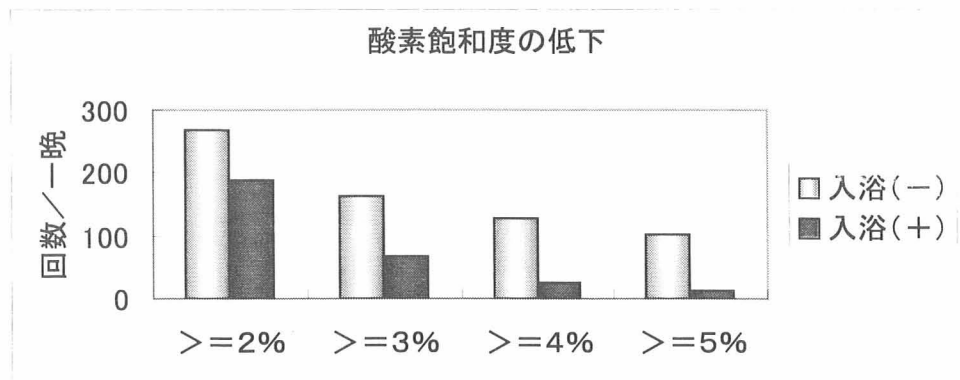


図5. 入浴の有無における睡眠中酸素飽和度低下の程度の違い

(4) 睡眠中の覚醒反応

睡眠時無呼吸症候群では睡眠ステージが浅く、睡眠中の覚醒反応頻度が増加することが知られており、この症例でも例外ではない。温泉入浴の有無による違いを表4に示すが、入浴（-）で覚醒回数221／一晚、覚醒指数40.6回／hに対し入浴（+）では覚醒回数46回／一晚、覚醒指数8回／hと明らかに覚醒反応の減少を認めた。

表4 睡眠中の覚醒反応

	入浴(-)	入浴(+)
覚醒反応の合計回数 / 1晩	221	46
覚醒反応指数 (Arousal Index) / h	40.6	8

<まとめ>

以上よりこの症例では温泉入浴は睡眠時無呼吸症候群を明らかに改善した。この改善の理由として、睡眠深度の改善はみられなかったが睡眠効率が入浴（－）で57.4%から入浴（＋）で63.9%と改善したことが一因ではないかと推測される。

睡眠時無呼吸症候群は1980年代米国で相次ぐ事故で注目され、また、日本では先頃の新幹線の事故で注目されたが、まだまだ一般に認知されておらず多くの患者が放置されたままの状態であるが、事故の発生、仕事や学業の効率の低下、動脈硬化の進展、夜間突然死の一因としてその重要性は今後増していくものと考えられる。CPAP療法が開発されるまでは、睡眠深度が深くない現象をとらえて、様々な睡眠薬や抗鬱剤などの神経作動薬が試みられてきたが、そのほとんどがかえって病態を悪化させるものであった。その原因としてそれら薬物のもつ筋弛緩作用が考えられている。今回一例ではあるが温泉入浴により睡眠効率の改善と睡眠時無呼吸症候群の改善がみられた。今後、再現性、予後との関連、長期効果、作用機序の検討、泉質との関連、入浴プロトコールなどを症例をかさねて検討し、同様の結果が出るようなら、温泉入浴による自然な睡眠の改善による睡眠時無呼吸症候群の治療として発展する可能性がある。

最後に、この研究を施行するにあたり、帝人在宅医療九州株式会社大分営業所のご協力をいただいたことに感謝いたします。





## 鈹泥浴の保護効果並びに生体に及ぼす効果

九州大学生体防御医学研究所気候内科

牧野直樹

九州大学生体防御医学研究所付属病院慢性疾患診療部

西山保弘・工藤義弘  
山元裕子・岡田玉樹  
尾山純一

### 要 旨

対象は健康な成人6名に対し、鈹泥浴に10分間入浴後の保温効果を熱画像検査装置を用いて検討した。また、入浴前後における心拍数、血圧、末梢酸素分圧、血糖値、並びに内分泌物質（カテコラミン、 $\beta$ -エンドロフィン）について併せ検討し、鈹泥浴の入浴が生体に及ぼす反応について研究した。その結果、入浴後の保温効果は浴後30分まで続き、 $\beta$ -エンドロフィン濃度の増加が見られた。一方、一過性の血圧の上昇は浴後20分で見られたが、心拍数、酸素分圧、血糖値、血中カテコラミン値には入浴後の変動は認めなかった。鈹泥浴の入浴は保温効果と精神安定化作用があると推察される。

### 【方法：被検者を室温】

健康成人6名（男5名、女1名、平均年齢=32.8歳）に対し、鈹泥浴に10分間入浴後の保温効果を検討した。保温効果は熱画像検査装置を用いて検討し、 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度60%以下の室内で被検者に測定部位である上半身及び手掌を露出した状態で20分間安静臥位保持後、皮膚温の熱画像検査装置（熱画像）NEC三栄製サーモレーサTH3107を使用し、撮影した。熱画像データは、座標温度をマイクロソフト社製EXCELに $34^\circ\text{C}$ 以上、 $34.5^\circ\text{C}$ 以上、 $35.0^\circ\text{C}$ 以上、 $35.5^\circ\text{C}$ 以上に分類し、座標温度を算出処理した。熱画像測定は、刺激後の皮膚温低下を追跡撮影の終了とした。また、心拍数、末梢酸素分圧、血糖値、カテコラミン、 $\beta$ -エンドロフィンを測定し、鈹泥浴の入浴が生体に及ぼす反応について研究した。

### 【結果】

熱画像検査装置の結果では皮膚温は入浴後30分までは入浴前に比較して、高く保持したが、入浴後40分には入浴前値に復した。心拍数は入浴直後には18%増加を認めたが、入浴後20分では入浴前値に戻った。血圧は収縮期血圧が入浴後20分で32mmHg増加したが、拡張期血圧は一定の傾向は得られなかった。また、入浴前後の血糖値には差を認めなかった。入浴後30分の血中アドレナリンおよびノルアドレナリン値は入浴前値に比べ低下傾向を認めたが、有意差は得られなかった。一方、血中 $\beta$ -エンドロフィン値は一人を除き、増加を見た。

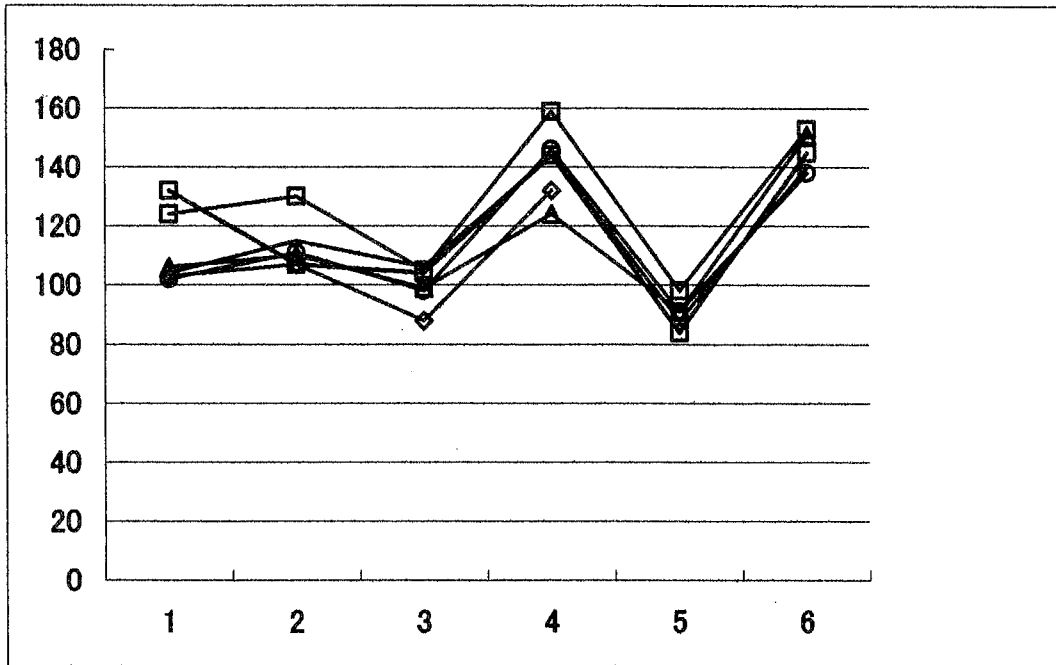
### 【考察】

鈹泥浴に10分間入浴後の保温効果を熱画像検査装置を用いて検討した結果、入浴後30分間は保温

効果を認めた。これは真湯とは明らかに長く、鉱泥浴の保持する成分によることが推察される。また、入浴直後の血圧低下は認めず、入浴後20分に明らかな血圧の上昇を認めた。これも一過性であり、入浴後30分には前値に復した。内分泌物質の測定では、入浴後のアドレナリンおよびノルアドレナリン値は低下傾向を認めた。また、血中 $\beta$ -エンドロフィン値は一人を除いて増加した。しかし、これらの物質はいずれも統計上の有意差は得られなかった。これは対象が20代から50代と年齢層が幅広かったためと考えられる。しかし、 $\beta$ -エンドロフィンの増加は精神安定化作用、即ち安らぎ感があると言われていることから、今回、入浴により増加傾向があったことからそれらの作用があると推察される。

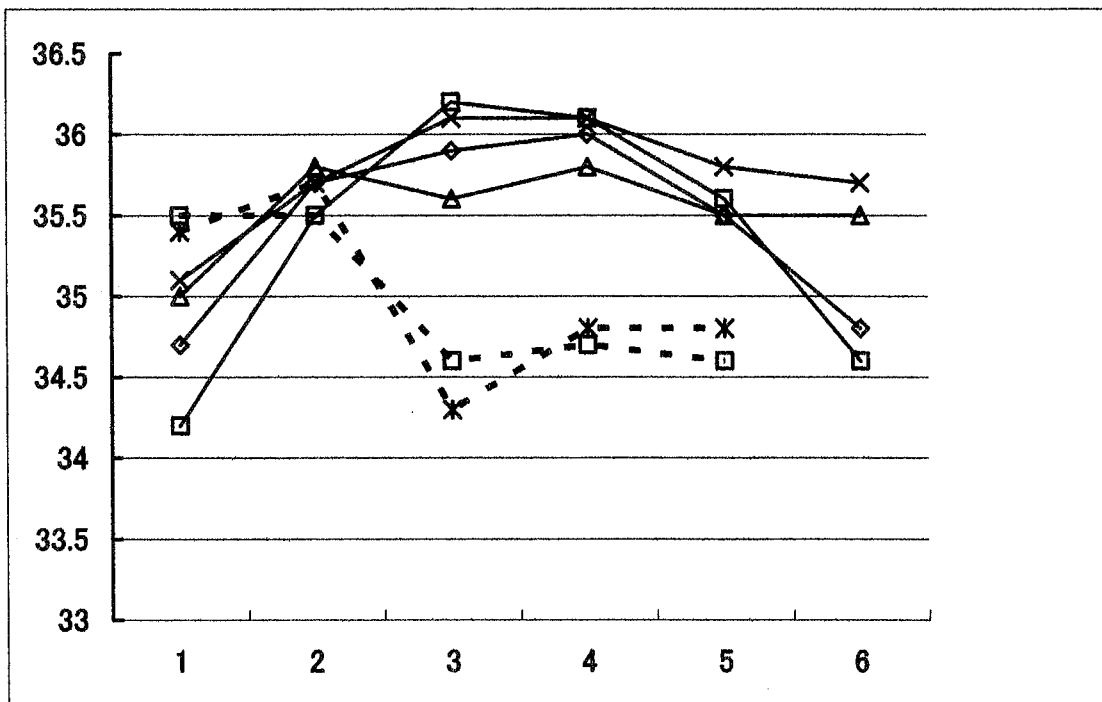
将来、年齢構成を考慮した研究を行えば、この問題は解決されるであろう。

鉱泥浴は別府地区にのみ湧出するミネラルを多く含んだ温泉種であり、種々の疾患にその有効性が確認されている。今回、鉱泥浴の持つ保温効果を科学的に検証したが、他の温泉種や真湯との比較検討は行っていない。今後、この点についても研究を重ね、鉱泥浴の有用性を解明したい。



1 : 入浴前、 2 : 直、 3 : 10分後、 4 : 20分後、 5 : 30分後、 6 : 40分後

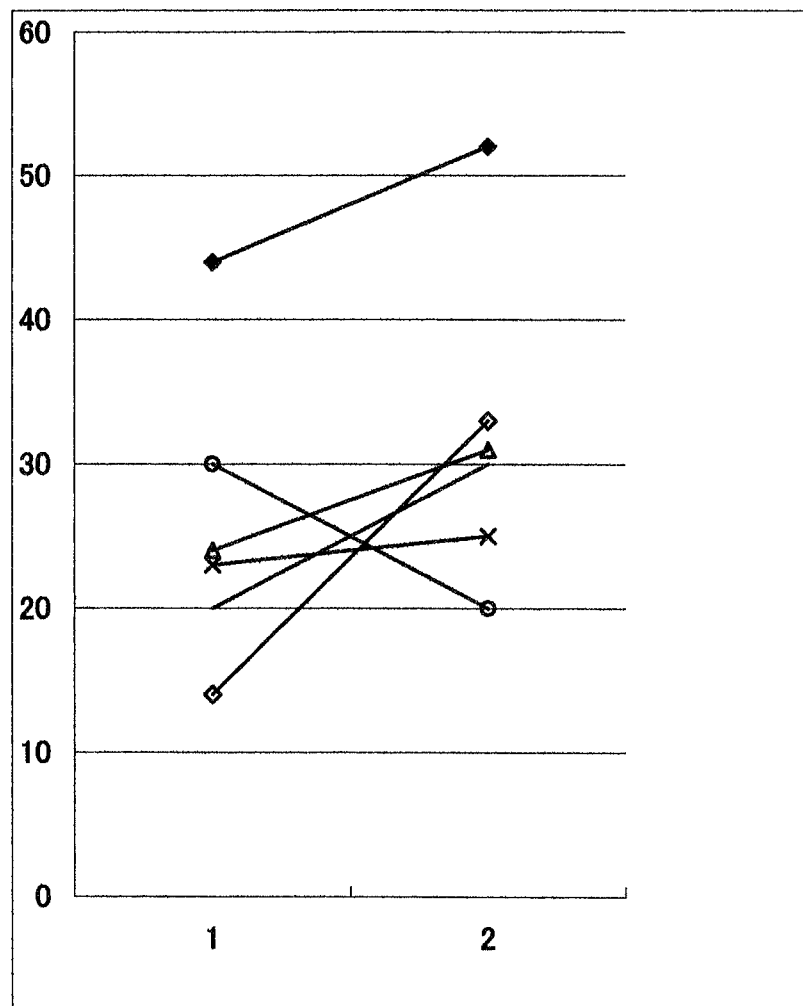
図-1 鉱泥浴の入浴前後の血圧の変化



1 : 入浴前、 2 : 直、 3 : 10分後、 4 : 20分後、 5 : 30分後、 6 : 40分後

実線は入浴側の手掌、波線は非入浴側の手掌

図-2 鉱泥浴の入浴前後の手掌温度の変化



1 : 入浴前、 2 : 入浴30分後

図-3 入浴前後の血中のβ-エンドルフィン濃度

## 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(Ⅲ)

国立別府病院リウマチ・膠原病センター

安田正之

### 要 旨

リハビリテーション・温泉浴により抗炎症作用を有するIL-1レセプター拮抗物質(IL-1ra)とIL-6がどのような変化をするかを検討するために、午前9時30分に前採血し、リハビリテーション・温泉浴へ行き、PT/OT訓練に続いて運動浴や温泉浴を行い、10時30分から11時までの間に帰棟すると同時に後採血した。その結果、IL-1raの値に変化はなく、また、IL-6濃度にも変化を認めなかった。したがって、未加療で強い強張りを示すような患者を対象に再検することが必要であろう。

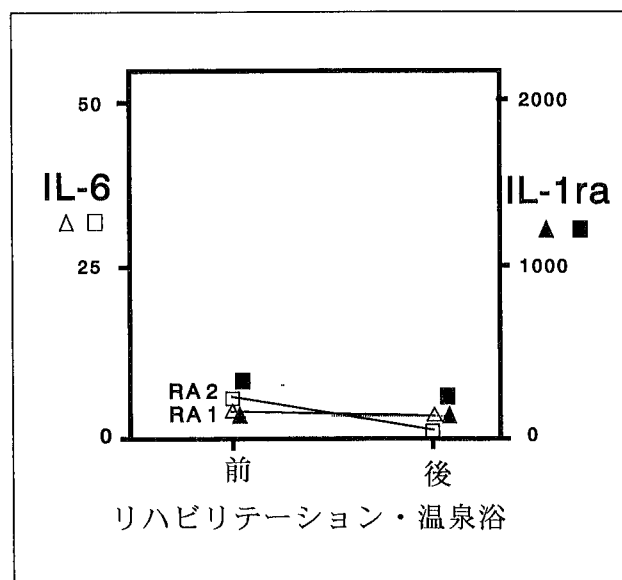
### 緒言

IL-6の血中濃度は、関節リウマチの炎症の程度を反映するとされている。我々は、リハビリテーション訓練や温泉浴により、高値を示す関節リウマチ患者のIL-6濃度が低下することを報じてきた[1]。

今回は、リハビリテーション・温泉浴により抗炎症作用を有するIL-1レセプター拮抗物質(IL-1ra)とIL-6がどのような変化をするかを検討した。

### 方法・結果

午前9時30分に前採血し、リハビリテーション・温泉浴へ行き、PT/OT訓練に続いて運動浴や温泉浴を行い、10時30分から11時までの間に帰棟すると同時に後採血した[1]。図1に示すように、2例の関節リウマチ患者では、IL-1raの値に変化はなく、また、IL-6濃度にも変化を認めなかった。



## 考察

Drenth JPらは、マラソンにより高騰したIL-6濃度が低下する頃にIL-1raが上昇することを示し、IL-1raが抗炎症的に作用していることを示唆した[2]。今回の検討では、リハビリテーション・温泉浴によるIL-1ra濃度に変化を認めなかったが、前値でもIL-6にも上昇を認めておらず、患者の状態が検討対象として不適切であったことは否定できない。未加療で強い強張を示すような患者を対象に再検することが必要であろう。

## 文献

- [1] 安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変(II). 大分県温泉調査研究会報告 52 : 45-47, 2001.
- [2] Drenth JP, Van Uum SH, Van Deuren M, Pesman GJ, Van der Ven-Jongekrijg J, Van der Meer JW. Endurance run increases circulating IL-6 and IL-1ra but downregulates ex vivo TNF-alpha and IL-1 beta production. J Appl Physiol 1995 ; 79 : 1497-503.

# 最近の温泉(権)紛争(事例研究)について(上)

(元大分大学)

大野保治

## 要 旨

本誌・大分県温泉調査研究会報告の第42号(平成3年刊)～第47号で、6回にわたり「温泉権紛争の調査と研究(I～VI)」のテーマで報告した。昨年の地元新聞で、温泉施設でのレジオネラ菌騒動や掘田温泉(別府八湯)での権利紛争(訴訟)などが報ぜられたことから、再度、当該研究テーマを取り上げることにした。

本稿の記載内容については、温泉法・温泉権に関する「法社会学」の領域を越えて、歴史学(西洋史・日本史・歴史社会学)から更に法制史・行政史・政治学等の隣接諸学にまで深く介入しすぎたとの感を拭えない。21世紀に突入した現在、世界環境は、挙げて国際法学や関連諸学までボーダレスの学際的基礎知識の習得(inter-disciplinary study)が肝要と思えばこそ、である。筆者の意のあるところを汲まれ、会員諸兄のなにぶんのご寛恕を切望したい。

## 目 次

### はじめに(要旨)

#### I 温泉法・温泉権の概観

- |          |                   |
|----------|-------------------|
| 1 戦後の温泉法 | 2 温泉に関する法整備の遅れた理由 |
|----------|-------------------|

#### II 旧慣温泉権と地下水利用権

- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| 1 温泉権—近代的温泉権と旧慣温泉権 | 4 戦前の地下水利用権をめぐる紛争   |
| 2 旧慣温泉権と(戦前)地下水利用権 | 5 大分県鉱泉取締規則(次号報告予定) |
| 3 温泉に対する私的支配       |                     |

#### III 旧慣温泉権の歴史的背景

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| 1 日本の農村社会の史的展開(概説) | 3 日本古代と中世の土地制度 |
| 2 法社会学上の「村落」の支配構造  |                |

#### IV 旧慣温泉権とその基礎的法理

- |                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| 1 温泉の権利と入会権(民法)の類似性 | 3 ローマ法と「法人」     |
| 2 ゲルマン法と「総有」団体      | 4 英米法と大陸法両体系の相違 |

(以下 次号)

# I 温泉法・温泉権の概観

## 1 戦後の温泉法

わが国では、古来、国民は温泉の利用とりわけ入浴に関しては強い関心と執着をいただき、全国各地に湧出する温泉を愛し、古くは『古事記』（3巻 紀元712年）や全国の『風土記』（713年 和銅6年）にも記述が見られたほどである。

この温泉を法社会的視点から考察するなら、温泉に対する私法（その代表は「民法」）上の権利関係は、第二次大戦前からしばしば問題視されてきた。しかし、温泉に関する法規範としては「温泉法」（昭和23年制定 法125号）があるだけである。そして、当該法規の性格も「温泉の掘削および利用に関する行政的監督ないし取締を内容とするもの」（川島他編著『温泉法』勁草書房）として、（衛生）行政法の領域に位置づけられている。温泉に対する私法上の権利関係を規定する実体法規（権利・義務などの法律関係や内容を規定する法規、実質法）としては、全く存在しないというのが実情である。

戦前、主として公法関係学者（たとえば美濃部達吉博士ら）を中心にして取り組んでいた立法問題を、第二次大戦後、私法の領域からアプローチしたのは「法社会学」の領域を開拓し体系化した碩学、川島武宜教授ら温泉研究グループのごく限られた人たちであった。

## 2 温泉に関する法整備の遅れた諸理由

第1に考えられる理由は、温泉の権利にかかる現実の慣行の多くは、今日のいわゆる「近代（法的な法体系）」とは全く異質な近代以前の法体系、すなわち後に述べる現実の物的支配事実を中心とする権利秩序（法学界でいう「ゲヴェール Gewere」の体系）の下において成立したものであり、それが近代明治期以降、多くの社会的変化を遂げながらも今日なお基本的にその特質を維持しているということ、である（後述第3章Ⅲ参照）。

第2に、日本の歴史的な社会変革の過程で、全国の温泉地の法的秩序は実に多様な展開を遂げ、千差万別の地方差をもって現われたこと、である。よって、全国で画一的な近代法規範をもって律することが著しく困難な状況におかれていた点も、留意すべき点であろう。さらに第3に、日本資本主義経済の全国的な滲透・成熟の波に揺れて源泉権や温泉利用権が取引（売買）もしだいに多くなり、ために温泉権紛争も発生をみたこと、である。だが、その取引をめぐる判断基準（商取引行為の慣習規範）も確定しなかったという、社会的事実を無視できなかったという事情も存した。最後に、温泉をめぐる種々の社会的紛争、たとえば「温泉公害」等の環境問題がすすみ（昭和40年代後半から同50年代前半期）、温泉利用の公共的利益も複雑化してきた理由も挙げねばならぬ事情が考えられる。

以上のような社会的諸要因から、国会での立法化が阻害されてきたのであった。

加えて一般的な国民の性向として、日本人は古来「和」をもって社会秩序の根幹とする風潮があり、国家機関による訴訟のごときを嫌悪するのが支配的であった。そのため、温泉をめぐる民事訴訟においても、判例の上では僅かしか明らかにされていないのが実情であったのである（この事実については第5章に後述）。



## II 旧慣温泉権と地下水利用権

### 1 温泉権 — 近代的温泉権と旧慣温泉権

温泉の権利をめぐる紛争（温泉権紛争）に関しては、その権利の性格について、温泉利用の歴史的経過にかんがみ次の2型が存在することにまず留意することが肝要である。

その1つは、本稿で主に採り上げる近代以前の藩政時代の旧体制下、共同社会とりわけ農村落共同体の枠組みの中で「慣習」により成立した、いわゆる学界にいう「旧慣上の温泉権」（略して「旧慣温泉権」）の性格のものである。他の1つは、明治維新（1868年）以降における国家法次元で制定された旧明治民法（明治31年制定）の近代法体系下で権利関係として成立した「近代（法的温泉権）」と称されるものである。

叙上2つの時代を異にする異質の温泉の権利体系は、観念の上では分離・対抗する法的基本概念として認識されるものであるが、その態様においては相互に影響しあいながら、且つ流動（変化）する社会現象として理解すべきものである。前者の旧慣温泉権は、要するに、近代以前の旧慣秩序に基づく温泉利用の伝統的旧タイプのもので、今日なお鄙びた温泉場に見られる「部落（共同）湯」で、今日少数ではあるが現に生き延びている。それらは、かつて地域共同体を構成する各地域住民が、その構成メンバーの資格に基づいて、当該部落湯（ほとんどが自然湧出泉）を共同に支配（維持・管理）しながら、入り会い利用してきたもの（温泉の入会権）であった。法制度（民法）上の厳格な概念構成ではいささか問題が残るにしても、一般にそれは「温泉入会権」の範ちゅうに入れても敢えて異を唱えるには当たらない、と考える。

このような権利の性格は、民法講学上、所有権（民法の基礎的概念）の枠内の「総有」に該当すると考えられる（後述）。徳川期以前の伝統的・古典的な温泉利用の形態は、後述の「入会権」に類似する一種の物権とされるが、その後の歴史的変遷の中で自然的・歴史的・経済的諸要因（広義の環境的要因）に因って規定されて、その温泉利用団体が解体若しくは変質を余儀なくされた。したがって温泉の権利主体（後述）も再編成され、共同体的集団利用からしだいに近代法的な個別利用へと進んでいったのであった。

このように、いわば温泉利用の近代化傾向が地域社会に滲透すると、旧来の温泉権は共同体的支配から個別的支配へと転化し、温泉支配の客体もまた変容することは当然の理である。こうして時代と法理を異にする両温泉権の間に社会的矛盾が生じ、対立関係から温泉権紛争へと発展した。近代的温泉権の中にあっても、新旧の源泉をめぐる湧出の地点、湧出量、温度など相互の対抗関係が表面化する紛争事例が多くなった。ここに旧慣温泉権対近代的温泉権、さらに近代的温泉権相互の、いわば二重の紛争が絡み合って複雑な展開を遂げるに至ったのである。明治から大正期、さらに昭和前半期に見られた温泉権紛争は、およそこのような性格のものであった。

### 2 旧慣温泉権と（戦前）地下水利用権

近代（明治期）に入って、私有財産権制度（土地の私的所有権制度）が確立をみた。この制度の概説をしよう。—

これは個人に日常生活の消費財（商品）のみならず、土地や工場等の生産手段に対する「所有権」をも認め、原則として自由にその財産を使用・収益・処分する機能を認めるとする制度である（民法第206条）。国又は地方公共団体も、基本的にこの「私的所有権」を侵すことは許されず、ただ公

益のために必要な場合にのみ、これらを制限又は正当な補償をして収用することが許される（憲法第29条）。

しかし、私有財産制度における所有の私的生活と生産の社会的性格としての矛盾が、大量の失業・貧困や恐慌等の社会的混乱をひき起こすことが明白になった今日では、19世紀の自由放任時代に認められたが如き「財産権の不可侵」（絶対性）を容認するわけにはいかないので、法律によって私的所有権の内容を制限せざるを得なくなった（上掲第29条Ⅱ項）。その結果、財産権の保障は所有の自由権の保障ではなく、私有財産制度の保障という性格を帯びるに至ったのである（前掲『法学辞典』）。

上述のように、「土地」所有権は、各種所有権のうちでも基本的（中心的）地位を占める。かかる意味で、所有権制度の変遷は、典型的に土地所有権に具顕するといってもよいだろう。よって、「権利濫用の法理」も、ここで最大の活用を見る（後述）。その範囲は、法令の定める範囲（制限内）において土地の上下、すなわち地上・地下に及ぶ（民法第207条）、とされる。このことから、国家法制度の上では、論理必然的に土地の私的支配権は地下水に対する私的支配権を含むもの、と法的構成されるに至った。しかし、これはあくまでも、国家法の平面における言葉の上での観念的構成に過ぎなかった。現実の社会における地下水一般の支配関係は、民法の出現によって直ちに変わったというわけではなく、多くの場合において、共同体（主に農村社会共同体）の支配が旧慣としてその多くが維持されてきた。このことは、別府八湯など古来の自然湧出温泉場でも、実態調査により確認されているところである。

### 3 地下水利用権と温泉に対する私的支配

一般に地下水は、これを地下にある状態のままでは直接に支配することが出来ないことは、言うまでもない。地下から地上に湧出した時点で、現実には支配可能となることから、地下水利用権というものは、その湧き口の土地（源泉地）の支配権なくしては成立しえないものなのである。しかし、その支配権は、現在の法理では私的支配権となったことも前述した。かつて戦前、一部の公法学者（たとえば美濃部達吉博士ら）から地下水を公有とするべきだとの見解があったことも、本誌ですでに報告したところである（第42～43号）。

かくして、地下水に対する共同体的支配と源泉地に対するという、二重構造の複雑な状態が生じるに至ったのである。もちろん、源泉地の私的支配権を共同体自体が取得するときには、共同体の支配関係が地表から地下まで貫徹するから、上記の二重構造の矛盾は法的には生じえない。だが、源泉地が個人の私有地となるときには、上記の法的矛盾は避けられないことになる。このような事例は、筆者の実態調査で県下の温泉地でも、さして珍しいことではなかった。

ところで、地下水一般（温泉を含む）に対する共同体的支配は旧慣によって規律され、一方の土地に対する私的支配は制定法（民法）によって規律されるが、両者は、その内容を異にするということが事態をいっそう複雑なものにした。このような二重支配構造によって、旧慣上の共同体支配と民法上の個人支配との矛盾・対抗とがどう展開したかは、各温泉地のおかれた自然的・社会（経済的）・歴史的諸条件によって、当然それぞれ異なる。すなわち、共同体的支配の強い温泉地にあっては、源泉地所有権者にも全く温泉権は認めず、地下水はこれを一括して共同体が支配するところも少数ながら見られたのである。しかし、これは極端な事例であり、むしろその多くは、源泉地所有権者（若しくは借地権者）が共同体のコントロールに服することを条件に、温泉権を認めるよう

になった。その具体的な適例が兵庫県日本海側所在の温泉地、城崎温泉である（前掲『温泉権の研究』他）。

この共同体的コントロールの内容はどうか。通常は、内湯（外湯に対する）の禁止と制限、掘削に対する禁止と制限などが重要なものであった（詳細は前掲書に譲る）。

このことは、上述の二重構造の矛盾において、一方では温泉権の私的支配を認めた点において共同体的社会の譲歩を意味し、他方では、旧慣の支配を認めた点において私的権利者の譲歩を意味するであろう。俗にいう“痛み分け”といった類のもので、妥協の産物に他ならない。

これを要するに、旧慣に基づく温泉権の制限、すなわち権利行使の限界は「村落共同社会の一定のメカニズムによってその内容が規定され、且つ同時に担保されていた」のであり、したがって国家法上の問題とは成り得なかったのである。

だが、しかし、現今のように権利意識の昂揚から自己権利の主張が日常化した社会になると、国家法次元での裁判訴訟といった形で具現化するのである。冒頭に述べた別府温泉八湯の1つ、掘田温泉での訴訟も、こうした社会環境の中で発生をみた今日の事例と考えられる（現在、訴訟継続中）。

#### 4 戦前の地下水利用権をめぐる紛争

さて、社会紛争が国家法の平面に出てくるのは、このような共同体的規制が弛緩して源泉地所有者が旧慣を無視して民法上の権利行使を主張する時である。たとえば掘削禁止規定を無視して掘削を始めるなどが、その典型的事例であろう。このような違反者が現われるということ事態が、すでにそれだけ共同体社会の社会統制秩序が後退（旧慣に因る社会的紐帯意識の弛緩）したという生きた証佐、に他ならないであろう。

いずれにせよ、ここに生じた紛争は、地下水の一種たる温泉に対する共同体的支配と土地に対する私的支配という、これまで縷言してきたような「二重構造に内在する矛盾が顕在化した」という点に（学問的）意味が存するというべきである。よって、当該紛争の権利の社会関係は、時代と性格を異にする両支配の対立関係以外の何物でもないのである。以上の対立関係が裁判所に登場した段階で、司法機関たる当該裁判所は、これをどのような視点から理論構成（裁量）して受け止めるのかを次に見てみたい。

一このような裁判に類似の訴訟事案は数少ないのであるが、戦前の大審院（現最高裁）で典型的とも思われる2事例を採り上げて私見を述べてみたい（事例は武田軍治著『地下水利用権論』昭和18年 岩波書店刊参照）。

その1つの事例は、古く明治38年（1905）12月20日判決であるが、ここでは旧慣の存在を否定する立場をとっている。今、1つは昭和に入った7年（1932）10月10日東京控訴院（現東京高裁）判決で、これは旧慣を支持する立場を採っている。この相反する司法判断について前掲書著者（武田軍治氏）は、その判決要旨で「明治期の前例を改めて旧慣として尊重したものと思料する」旨、判示している。かような旧慣尊重主義の潮流は昭和期に入ってから現われたようであり、それまでの下級審判決（具体的には数事例）ではいずれも旧慣を否定し、民法上の土地所有権の効果として源泉地所有者が自由にその土地から湧出する地下水を利用する権利、すなわち「地下水利用権」を認めているのである。

これを要するに、一般的な権利の社会関係としては、旧慣秩序を破って新たに掘削したり地下水利用を開始する者は、通常は当該地下水利用にかなりの資本を投下するのに対して、旧慣上の権利

者はさしたる資本も投下せず自然の状態のまま地下水を支配していたこと、その経済的効果（経済性）に着目した上で旧慣の権利の存在を否定したのであった。これらを斟酌する限り、既設権利者の擁護よりも新規掘削者の権利を優先とする基本的姿勢を伺い知ることが出来るかと思う。

叙上のような裁判所裁量の傾向は、第二次大戦後に「温泉法」が施行されるに至った段階での温泉権紛争、とりわけ近代的温泉権相互の掘削紛争で、かかる潮流が継承されているように筆者には思えるのである。

## 5 大分県鉱泉取締規則について

本節の草稿は未完成のため、次年度号（第55号）に譲る。ご了承願いたい。

# Ⅲ 旧慣温泉当時の歴史的背景

## 1 日本の農村社会の史的展開（概略）

旧慣温泉権の温泉利用が、歴史的には、封建社会体制の中で生成した権利体系（慣習法規範システム）であることに異論はない。その法的性質が入会権（民法規範での権利体系）類似のものであることも、再三述べてきた。そこで、封建時代の社会の村落構造をみてみよう。

わが国での封建時代。一ここに述べるまでもなく、中世（12世紀末成立の鎌倉幕府から室町時代の終了、ないしは戦国時代まで）から、近世に入って17世紀江戸幕府創設以降～幕末の明治維新（1868年）までの約700年とされている。ちなみに西洋史のそれでは、ゲルマン民族移動の6世紀頃から15世紀ルネッサンス末期までとされている。

封建社会の政治的特色としては、周知のごとく領主が家臣に封土を給与し、代りに軍役の義務を課する主従関係を中核として存立していた。西洋史では、カロリング朝初期（フランク王国 751年）に国家制度となり、その11～13世紀が最盛期であった。日本の「領主」に当たるものは国主・貴族・家臣・教会等で、これら支配階級に対して被支配者は農奴が基本的階級であった。わが国での封建制を概観すると、その萌芽は荘園制に胚胎し、鎌倉幕府の創立とともに発展し、江戸時代にはやや内容が変わったが外形は完備した、とされる。

往古、大化改新（645年）後の律令国家では、当時の先進国・中国（当時は隋・唐の時代）の行政区画制度を採り容れて「郷里制」（国・郡・里制）とした。この制度は、全国を直接に統治すべく国・郡・里の3段階に編成し、郡には郡司を国造級の豪族から任命し、里には現地の村落の有力者を里長にした。国と郡とは、おおむね自然的・歴史的区画に拠ったのであるが、その規範は必ずしも一致しなかった。しかし、里は、およそ50戸をもって1里と画一的に定めたのであった（「行政史」関係史料集など）。

この解体期の1時期に現われたのが「惣」と称する村民の共同体的な結合である。この概念は、村民全体の名によって村の意思を表示し、また行動を共にするものであった。中世から近世にかけて古文書の中に見られる「惣中」「惣村」の名称は、この当時の村落の生活行動様式を示すと説かれる。南北朝前後に現われる村落民の結合「惣」は、幕府ないし守護豪族の支配の「二重性に抵抗した地縁的・共同体的なムラ（邑）」として独自の成長を遂げたのである。

それより以前、荘園の構成単位を成していたのが「名」で、名田は平安時代へ中世の公領・荘園

の賦課単位であり、名主は名田を保有し年貢・夫役の納入責任者であった。自営農民を中心とした地縁的結合は13世紀後半頃から目立ちはじめ、山林（植林）・原野（草刈場）の入会権、沿岸漁村では入会的漁撈、農村では用排水の水利問題から年貢減免、他町村との紛争等を通じて社会的結合を強めていったのである（京大文学部国史研究室編『日本史辞典』）。

つづいて、近世期の農村社会の生活の仕組み（メカニズム）について見てみよう。

先掲の大化改新以降の「郷村制」が村落社会で開花するのは、近世に入った江戸幕府（1603～1867年）終了の約260年であった。この間の社会制度の特異性としては「共同体的生活と貢納収取の支配との二面性」をまず指摘しなければならないだろう。まず前者—本来、近代的単一家族をなす「自営農」が小規模の土地所有者であり、それが農耕上の共通の利害による1村主義的な形態をもつ封建的小農村の性格に由来する、という側面である。つづいて後者—これは同じ歴史過程に立つ幕藩体制の成立にともなう商工業の発達、都市の農村部支配に対処して家臣団の組織化、農民の固定化の諸要因を通して地代（年貢・米納ほか、のちに金納化）収取を期する、という点に社会的問題（矛盾）があった。

このような新（改革）秩序は、自営小農民が支配的であった元禄時代（1688～1713年）頃までは互助連帯によって生産力の維持発展を追求するもので、移動禁止・戸口（家の出入）調査・検地・土地永代売買の禁止から、果ては新田開拓等の施策に顕著に現われたのであった。しかし、商業の発達や農村工業の広汎な成立、家臣団の窮乏等によって幕藩体制は、土地所有を地代の上に実現する「郷村秩序」の強化に向い、その圧政的性格が現われたのは元禄・享保の時代（～1728年）である。土地が唯一の財産形態であり、農民をその付随機能として封建秩序が資本主義的秩序にすだいに転化することによって、やがてその社会が解体の方向へと進んだのであった。

この崩壊過程で、社会変動現象として発生したのが「農民一揆」なのである。わが国でのその端緒は室町時代（1392～1573年）に起きた「土一揆」で、これは近畿地方を主にしばしば土民（農民）が年貢の減免や徳政をもとめ、あるいは守護職の支配権力に抵抗して起したものである。一方、江戸時代の「百姓一揆」は、同じく封建支配者に対する反抗で、それは彼等への負担の加重とともに増大する。一揆の原因には年貢・課役・検地・割地均田制・備荒施設（義倉＝窮民救済目的から平時に穀物を貯蔵しておく制度）等の諸政策や負担に対して抵抗し、反動的に通貨政策や専売制度等を通して果敢な集団闘争に立ち向わせたのであった。

このような一揆の発生状況について、慶長8年（1603）から元禄15年（1702）にかけて521件、翌3年から慶応3年（1867）には499件、年平均7.7件と江戸後期にかけて次第に拡大していった。また、その闘争形態も、逃散という消極的抵抗から次第に越訴・直訴・強訴へと発展し、弾圧の加重とともに集団的に組織化されていった。こうして百姓一揆は幕藩体制を崩壊へと導く原動力となり、明治維新から西南戦争にかけても全国各地で頻発したのである（前掲書『日本史辞典』）。

## 2 法社会学上の「村落」（支配構造）

江戸時代の「村落」とは、どのような内容を指した概念であったのだろうか。歴史学上に登板する村落と法社会学のそれとは、多少とも、その内容を異にする。そこで法社会学上視点から、江戸時代（それ以前の中世も含めて）の封建体制の下での「村落」の仕組み（構造・機構）や役割を研究の対象とするとき、両者の基礎概念を整理し認識しておくことが肝要であろう。

法社会学が対象とする「村落」も、歴史的には徳川期の「村」（邑）を原型とすることに变りは

ない。一般的には、伝統的な地域社会の共同生活集団である。だが、徳川期の「村」がすべて法社会学上、これに該当するものではない。村の下位集団がむしろ「村落」を形成していることも有るからである。

しかし、いずれにしろ、その「村落」とは①単なる地域集団ではなく、伝統的に存在してきたもので、それは②1つの自己完結的な生活共同体であり、且つ③封建的な秩序を形成している集団であること。併せて④その秩序を維持するために諸々のメカニズム（仕組み）を持っていること、である。まず、この5点を指摘しておかねばならない。要するに、それは、その社会の特異性として「伝統的・包括的（慣習による）支配の体系（システム）によって規定されている」と説明することが出来る、とする（渡辺洋三著『入会と法』東大出版会）。

さらに敷衍して述べてみよう。—各村落は、まず第1に、それぞれに固有の規範（部落規範、おきて）を持つ。これには成文のもの和不文のものもある。また寄合（部落民總會）で定められたものから、自然発生的に生成したものが後に寄合で承認されたもの、もあるであろう。いずれにしろ、ここでは、規範を定立したり承認したりする何らかの機関が必要である。それは近代国家という「機関（の一種）」に類似するもの（原型）と考えることも出来るであろう。

さらに、これらの規範に基づいて、村落の事務を担当し執行する役職（これも機関）も必要で、そのためには村長（部落長）を頭とする役員が選挙ないし推薦という形で選ばれ、各種の村役職者（村政治の重立ち衆）が村政を執る（執行）。また、村落自体、それらの村規範（村極めとも）を遵守（強制）するための力（強制力、社会的サンクション）を持っている。とくに村極めの違反者には、公的に承認された一定の手続きを経て、何らかの罰が科せられる。その典型的な事例が徳川期以降の「村八分」であったのである。

これを要するに、法社会学上の視点から認識した藩政時代の農村生活の「村落構造」は、現代政治国家の統治機構、すなわち立法・司法・行政の三権をその中に内包している「小国家のごとき存在」であった。叙上のごとき3権（3機能）を併せ持たないような村落は、たとえ農村に存在する伝統的社会集団であったにしても、ここに言う「村落」とは称し得ないものである。よって通常、村落の下位集団と考えられる〇〇組とか、小字ムラ単位の小集落では、原則として、この村落のジャンル（実現様式）に入りえないと考えられる（渡辺洋三著『日本の社会と法』）。

歴史学の視点から、いまだ少し封建時代の村落をより具体的に見ておこう。

たとえば村極め、別名村定めは、室町時代はどうであったろうか。室町期の村落の自治結合は、村落を踏まえた国人（南北朝～室町時代の地方の土豪）・地侍層の成長とともに緊密になり、老百姓を中心とする村寄合の協約によって「惣中定め」「惣中掟」等が決められ、それによって村落生活を規制した。江戸時代には既述のとおり、村定めの内容も体制も整備され、かつ領主的支配の影響が強く反映することとなった。村定めの内容は時代と村により必ずしも一定しないが、邪宗門（邪宗＝江戸時代のキリシタン宗、邪教）・盗賊・博打・放火・作荒し等の取締りのほか、入会・雇傭・休日等の規約にまで及んでおり、通常、違反者の検証法や制裁法をも附記し、庄屋以下百姓一同が連名捺印（押印）を施している。しかし、小前百姓（小百姓）ないし無高・水呑百姓（田畑を所有しない貧農層）層の利害を無視する條項もあり、その制定への発言権が無かったことが知られる（大竹・牧編『日本法制史』）。

つづいて地方三役について。もともと、中世村落の自治組織を母胎として発達した江戸時代の村落自治機関のこと、をいう。首座は庄屋（名主・肝煎など）で、通常は1村に1名、補佐役として組頭（年寄り・長百姓・組合頭など）が置かれ、村の規定によって3～5人を併任した。その外、

貢租諸掛（係）りの割当ての際、一般村民の利害を代表して立会う百姓代（惣百姓代・年寄・老百姓）などがおり、この三者を特に「地方三役」と呼んでいた。

封建領主にとって村落のもつ意味は、まず貢租賦課の単位であったから、豊臣秀吉の検地（1582～98年）以降、貢租賦課の形式が全国的に画一化してくるに従って、地方行政の組織も定まり、幕藩体制の基盤として「郷村制」が成立したとき、「封建農政の末端機関たる性格を強くもつに至った」のである。

### 3 日本古代と中世の土地制度

ここで、大化の改新における「公地公民制」を回顧してみよう。――

当時の先進国・隋や唐を模範にした改革が何故に日本で成功し永続しえなかったかは、その後の歴史的展開に大きく影響するからである。

そこで、当時の<班田収受>制を検討してみよう。

大化改新より平安初期にわたり行なわれた当該制度は、公有となった土地を6歳以上の男女良賤に一定の口分田として班給し、終身の使用収益を許し、死すれば公に還させた（還公）。良民の男子には、約2段（約23アール）、女子にはその3分の2（約1反120歩）、賤民のうち官有の官戸・公奴婢は良民の3分の1を基準として与え、その収穫の約3%を団租（団体の税）として徴収するという制度であった。

ここに触れる「官戸」と「公（官）奴婢」について説明しておこう。往時は階層制社会で官戸は元来、中国の随・唐の官有の賤民で、宋代以降は科擧に合格して官僚になった家をいう。戸籍面で区別され、賦役免除などの特典を与えられた。日本の律令制では、官戸は同じ賤民でも公（官）奴婢よりは上位で、家族生活を許された。この頃の賤民は「五賤」と称され陵戸・官戸・官奴婢は官有、家人・私奴婢は家族生活を許されなかった。なお、陵戸とは治部省（律令制の8省の1つで、5位以上の継嗣・婚姻・祥瑞・喪葬・外交などを司どる）の諸陵寮に隸属し、課役の代りに山陵の警備に従った。

わが国での<班田制>について。中国（唐）の均田制と基本的に異なる点といえば、均田制（均田法とも）制では「授田と賦課との対応関係が常に考慮されている」が、一方、班田制では「その関係が緩かにしか考慮なれない」とする相違である（前掲『日本法制史』）。その理由として、大和朝廷が唐に対して日本令を提示するに際して「その仁政ぶりを誇示したいとする外交的動機があったのでは」と説いている。ちなみに均田法の発祥は、元来、中国古代の土地制度で、5世紀後半の北魏のときに創始され、北朝の諸王朝に継承されて隋・唐の時代に至って口分田・永業田と、その代償としての祖・調・庸・兵役などの徴収は中国全土に貫徹したが、8世紀半ばには崩壊した。大和朝廷が課した「祖・調・庸」はよく知られている。すなわち「祖」は税金・年貢で、律令制では現物納租税の1つ。口分田・位田・職田など私的用途を許した田から収穫の1部を現物納させた。その率は大化改新後、おおむね田1段につき1束5把、すなわち収穫の約3%。租の大半は諸国に蓄積して正税と呼び、毎年推挙して利稲を官費に使用した。「調」もまた律令制下の現物納租税の1つである。大化改新では田の面積に応ずる田調と戸ごとの戸調とがあった。7世紀末から唐制にならって成人男子の人頭税とし、繊維製品・海産物・鉱山物など土地の産物を徴収した。分量は、例えば麻布・袴布の場合に1人当たり2丈8尺、ほかに調の副物として付加税もあった。「庸」（傭）も同じく現物納租税の1つで、仕丁・采女の衣食用として1戸につき布1丈2尺、米なら5斗。大宝

律令制定後は唐制にならって毎年10日間の歳役の代納物として、成年男子1人につき布2丈6尺、または米6斗。奈良・平安時代を通じては、布1丈4尺または米3斗が一般的であった。

なお、付記するなら、大化の改新で律令の土地制度はその大半を国民に班給し、もって民生安定をはかること、それと貢納源の確保の2目的をもって実施された。民に班給されない土地としては、山川藪沢のごとく「公私共利」の原則に立つもの。官田・駅田のごとく国家にとって特殊な用途に当てられるもの等々があるが、前者は利用度の低い未開墾地であり、後者は開墾地中のごとく1部にすぎなかった、と推定されている。

また、民に班給されない田は、それぞれ特定人が「地主」（この概念は現代用語としての地主ではなく、当時の田主の意味と解されている）としてこれを管理し、その種目には口分田・園田・宅地・位田・功田等々があった。これらの土地に対する地主の権利は、国有地を賃借する権利とは質的に異なっている、と説かれている（前掲『日本法制史』）。それがどのような権利の実体であるかについて、法社会学的意味での解説は今日なお見出されていないようである。筆者も今後、この点を究明したいと考えている。

## IV 旧慣温泉権とその基礎的法理

自然湧出泉を主体にした温泉利用が支配的であった明治期以前は、原則として温泉は、私的支配の対象となり得なかったといつてよい。大化の改新時の「公地・公民意識」が潜在的にあったのかどうか、「自然に湧き出る湯は本来、皆（地域全体の）もの」とする共通の意識に支えられていたからである。その背景には、後述するように温泉はすべて「総有」的支配におかれていたのである。

要するに歴史的に見ても、近代以前の温泉権の古典的形態は林野における入会権、農耕上の灌漑水利権、沿岸漁業での入漁（入浜）権などに類似する共同体的権利と規定することができるであろう。この権利は、近代法上の「権利」とは全く異質のものである。

そこで当時の典型的な生活規範（慣習法）と考えられ、また明治期に入って民法上にも登板する「入会権」について、具体的に触れることにする。

### 1 温泉の権利と入会権の類似性

民法講釈上、入会権とは、どんな権利なのか。一

それは「村落共同体が土地（従来は主に山林原野）に対して総有的に支配する（後述）慣習上の物権」と規定される。ここでの主要な問題点は①入会権の権利の主体、②その客体、③その権利帰属の態様、さらに④その性格（物権性）と内容、⑤その法源（歴史的根拠）の5点が挙げられている（戒能通孝著『入会権の研究』）。

このうち、①の入会権の主体は封建遺制のムラ制度である。ここに言う「ムラ」は通常、里村の意味で漢字ではよく邑の字（大きな邑が「都」（宮処））が当てられている。ヨーロッパ中世のゲルマン国家の、いわゆる「村落共同体」と同性格・構造を有する概念、と説かれる。江戸幕府体制下のムラの地域は、旧町村制（明治22年4月制定）や後の地方自治法にいう町村の行政区画の1部に編入され、大字小字の地名で現に今日遺されているものも少なくない。

このような歴史的過程の中で、政治的・行政的に種々の社会問題に発展したが、その1つが、こ



こにいう「入会権」問題であった。その核心は「入会権の主体が行政権の1部に編入されるか否か」の提起であり、これについては結局、入会権の帰属が町村なのか、町村の1部たる財産区に帰属するのか、はたまた公有でなく私有なのかをめぐり所轄行政庁、同裁判所、学説上での見解が交錯して容易に解決が定まらなかった、という経緯が見られた。

多数説の見解では、制度改正によって江戸時代のムラの政治機能はその大部分が町村に吸収されたが、生活共同体としての住民集団は依然存続し、その間、多くの変貌を遂げつつ今日に至っていると、のである（その概要については川島他編『入会権の解体』1・2・3）。

ところで、先述ゲルマン国家の村落共同体の社会構造で、その特質は何か戦前から学界（学会でも）で問われていた。斯道の先覚者である中田薫・大塚久雄の両博士は、その著作で次の2点を指摘している。

- ① それは独立して相互に平等・対等な構成員、すなわち「仲間」（家族ないし代表者）により構成された共同集団であること。
- ② このような構成員から成る仲間集団は、各団体ごとに特徴のある地域的伝統と個性を確立している（地域性と個性）こと。

さらに、具体的に分説しよう。①について。構成員によって成り立つ村落共同体が一定地域の耕作地並びにそれに従属する林野・水面（湖・河川・海上沿岸）等を現実支配し（広い意味での「所有」）、その農耕地を構成メンバーが分割して個別に使用しつつ、その客体物（土地や諸利用施設など）に対しても共同して権利行使するとの形態が、他ならぬゲルマン村落での典型的な支配である、と説いている。

つづいて②について。入会権の利用形態として㊶個別的利用形態、㊷直轄利用形態、㊸分割利用形態、㊹契約利用形態を指摘することができる。ゲルマン社会での詳細は、紙面の都合で割愛する。

さて、旧慣温泉権に類似するとする、日本での戦前の利用の実態を見ていこう。

㊶ 個別的共同利用形態 これは、入会地を個々の入会権者の利用のために割り当てることなく、入会権者が同一時期に共同して入会地に立ち入り、入会地のどの地域からも一定の産物（具体的には小柴・下草・萱・用材等）を採取して、自己の個人的所有とする。旧慣温泉権の利用形態もまさにほぼ同様で、自然湧出泉を共同浴舎などを設備して入浴などの利便を享受する。源泉の管理や浴舎などの維持・管理は共同して行なうことは勿論である。

㊷ 団体直轄利用形態 これは、入会団体が全体として入会地の産物を取得する形態。通常は、入会団体が構成メンバー全員で植林（造林）・下刈・枝打ち等の事業を行ない、その結果たる産物を取得するもの。当該形態の特徴は、産物の取得が団体構成員の「個人の自由」に委ねられることなく、また個人が勝手に別途の利用を許さない点にある。温泉利用の場合も同様で、源泉の利用を個別にすることを許さない（温泉の個人利用の禁止ないし制限）。

㊹ 契約利用形態 これは、入会団体が個人の入会権利、もしくは入会権者でない者（団体）と特に「契約」を結び、入会地の利用を許可する場合である。入会権の場合、契約は「入札」によるケースも見られる。旧慣温泉権では、温泉利用で源泉に余裕がある場合、周辺の入会権者でない入浴希望者に有料で入浴を許したり、入会権者の中で特に「内湯」を希望する場合、湧出量が豊富で余分があるとき有料で温泉利用を認める場合、もある（その数は少ないようである）。

以上のような山林原野入会の利用諸形態は、単一の形態で行なわれる場合はもちろん、幾つかの形態が複雑に絡み合い結びついている事例が多いようである。一般的にいうなら、かつて㊶の利用

形態が原初的・普遍的であったが、それが次第に影をひそめ、代って㊸と㊹の団体直轄利用と分割利用の比重が大きくなった。その社会的・歴史的背景には、入会林野が単純な「農用材」から「経済林」へと推移した事情、すなわち林地（原野）の利用が日常生活の使用価値中心から貨幣収入を目的とするものに転換してきたという「経済的要因」を見逃がしてはならないであろう（前掲書『日本の社会と法』）。

最後にく入会権の解体>という社会的かつ経済的現象に触れてみよう。

江戸時代の入会権は、そもそも農民（第1次産業就業者、全人口の7～8割を占める）が農業経営を行なうのに必須不可欠な飼料・肥料を供給する「(牛馬の)草の供給地」で、併せて日常に必要な「薪炭材や燃料の供給源」として深く結びついて生成した自然発生的、また根源的ともいえる「自然権（天賦人権もしくは生活権）」のごとき存在であった。よって、政治的社会における権力者といえども勝手に侵犯はなしえないとされ、これへの侵犯は「抵抗権」「革命権」として正当化されるに至った（中国やヨーロッパ、日本では江戸時代後半期～明治初期）。「自然権」の内容（概念構成）は必ずしも一定しないが、自由の権利・平等の権利・所有権等は人類の歴史の上でその代表的なものであり、これらの権利を確保することこそが近代国の実定法上の主要任務とされていたのである（山林直樹著『憲法講義』東大出版会）。

ところで、入会権解体の過程で急速に変貌を遂げる契機になったのが、日本では戦後昭和40年代の「入会林野等に係る権利関係の近代化の助長に関する法律」（昭和41年制定 法第126号）である。当該制定法の目的（第1条）は、農業および林業近代化政策の一環として入会林野または旧慣使用林野たる土地の農林業上の利用を増進するため、これらの土地の権利関係の近代化を助長することにあった。

## 2 ゲルマン法と「総有」団体

前節で触れたように、江戸時代の「ムラ」（村・邑）は、法社会学上の法理では、一般に「総有団体」であったと考えられている。では、この総有団体の法的性格はどのようなものであったか、が次の問題である。西洋法制史学でゲルマン法上の団体概念を示すために用いられているのが、この総有の概念であり、別名「実在的結合人」とか、「土地総有団体」とも称されている。

その特異性として指摘できるのは、まず第1に、その団体の構成員に変動があっても同一性を喪失しないこと、である。この点、ローマ法（後述）上の「法人」と同じとされる。しかし、法人のように個々の構成員から独立した観念的法人格が認められるわけではない。この総有団体は、その現実の構成員の全体なのであり、現実の構成員の意思や利益と離れた団体としての意思や利益は考えられない、とする。また、その財産関係も「総有」を成し、処分と管理の機能は団体自身に有って個々の構成員には無く、これに対して使用と取得の機能は、団体に分属する。このように総有制は、当時の社会での「共同所有の1形態」である。共同体とそれを構成する団体員とが「総有団体」を形成し、ゲルマン民族の村落共同体において典型的に発達をみたもの、と説かれている（前掲『法学辞典』）。

ここで参考までに、この「ゲルマン法」体系について概要を述べてみよう。

一般にゲルマン（民族、国家）とは、紀元前5～4世紀に北ヨーロッパに住んでいたインドヨーロッパ系の民族を称し、フランクやアングロサクソンなど多くの部族から成っていた。のちに民族大移動（紀元5～6世紀）により原住のケルト人（5世紀頃までアルプス以北のヨーロッパの大部

分に住んでいた)を席捲し、また西ローマ帝国の没落をもたらす一方、これらの部族はその影響を受けてキリスト教化していった。

この段階で生成したのが「ゲルマン法」体系であり、紀元前1世紀頃に現われたとされる。その特徴は「慣習法」中心であり、西ローマ帝国滅亡まで約500年つづいた。その後、9世紀頃まで「部族法」中心時代が現われる。これにつづくのが前節に述べた封建体制時代であり、この時代に「慣習法」時代が再現をみた(10~15世紀頃)。このゲルマン法体系の特徴としては、ゲルマン人中心の部族法であること、その内容は各部族によって相異するという点にあった。また、原始的民族制度に根ざす団体主義を基調とし、そのため部族的・地域的分立から個性的色彩が希薄で論理的法体系の欠如が指摘されている(『法学辞典』)。土地総有関係に見られる具象的かつ団体的法理の点で、次に述べる「ローマ法」体系が個人的・抽象的法理に立つ点で対照的である。

西洋の法制史に触れた機会に、参考までに古代社会の法(古代法)を概述しておこう。—

歴史の時代区分として<三分法>の史観がある。これは古代—中世—近代に大別される。世界史的には「原始時代」の後を受けて、文明と階級とが成立しながら、しかも封建社会には進んでいない段階、主として奴隷制度を土台とするのがここにいる「古代」とされている。日本史では、一般に奈良・平安時代を指し、大和朝廷時代(特に「原始古代」と呼ぶ)を含めても古代とも呼ぶことがある(だが、このような時代区分には批判的見解もあると聞いている)。

さて、ヨーロッパにおける原始社会での人間の生活は、諸社会規範(宗教などの信仰規範、風俗規範、さらに文化規範など)の複合体によって規律されていた。しかし、古代国家の成立によって「古代法」は分化を遂げた。だが、古代法にはそれ以前の社会規範、とくに「慣習法」の影響が著しく、早くもこの段階ですでに「制定法」が現われている(完全な形で残る人類最古の法典はバビロン第1王朝時代のハムラビ大王が發布した「ハムラビ法典」である。慣習法を制定化したもので全文262条から成る。石に彫まれたものがイランのスーサで発見された)。

古代法は一般には「慣習法」が大きな役割を荷なっていた。また、ローマ以前の古代法には、原始社会における共同的な私的所有の制度がその痕跡をとどめ、さらに「タリオ刑(「目には目を、歯には歯を」の結果責任主義をとる古代モーゼ時代の刑罰制度)の同害報復(反産制)の考え方が維持されていた。古代法の特徴としては、奴隷の私的所有を認め、奴隷を法の客体とみなした点にある。古代法の中でも、特別にローマ法が最高の発展を示した(前出『歴史事典』など参照)。

### 3 ローマ法と「法人」について

「法人」概念の端緒は、すでにローマ法体系の中に発現していた、と説かれている。だが筆者はこの点、全く浅学で無知である。そこで、近代法の基礎知識の範囲内で「法人」の法理の沿革を探ってみたい。その前に、ローマ法的前提を成す「ローマ帝国の歴史」を一瞥しよう。

周知のごとくローマ帝国は、西欧古代最大の帝国であり、イタリア半島にエトルリア人が紀元前7世紀頃建った都市国家に発する。政体は王政—共和制—第1次・第2次三頭政治を経て、前27年オクタヴィアヌス帝が政権を握り「帝制」時代を確立した。最盛期の版図は、東は小アジア、西はイベリア半島、南はアフリカ地中海沿岸、北はイギリスに及んだが、395年テオドシウス帝のとき東・西に分裂した。文学・美術・哲学ではギリシャ文明の域を出なかったが、軍事・土木・法制の領域では卓越した稀有の才能を発揮し、のちのヨーロッパ文明の基礎を築いたのであった。

さて、ここで、ローマ法体制の概要と特徴を見てみよう。ローマ法の出自は紀元前8世紀の頃、

都市国家の成立に発するが、当初期は素朴な古代法から始まる。さらに共和制時代末から元首政時代にかけて、法の組織化・体系化がすすみ、「古典ローマ法」を現出した。この間、ローマ市民にのみ適用される法令も作られるに及んで、家族中心的で厳格主義の「農民法」から、個人主義的方式もまた自由な「世界法的取引法」にと変質していった（「世界法」については次節に後述）。16世紀中頃のローマ法進化の総決算ともいべきものがコスチアヌス法典であり、世界各国の法令は多かれ少なかれ、ローマ法の影響下に立つようになったのである。

時代は降って、近世から近代に入る。

一「近代」は、広義には近世と同義であるが、一般には封建社会の後を受け継いだ資本主義社会についても近代の名で呼んでいる（和歴では、明治維新から太平洋戦争の終結までとするのが通説）。したがって「近代化」とは、産業化・合理化・民主化・資本主義化を意味する（捉える側面により多様な視点が存在する）。また、一般に「近代国家」とは、中世末期の封建国家の崩壊後に、絶対主義下の近代ヨーロッパに成立した領土・国民・主権（国家構成の3要素）を備えた中央集権的な国家を称し、広域の地域社会に排他的な国家主権をはじめて宣言した。日本では「幕藩体制の崩壊と明治維新によって樹立された中央集権的な天皇制的統一国家」が即、近代の明治国家と解されている（『政治学辞典』）。

近代法体系の中で、私法の中核をなすのは「明治民法」である。民法は実質上、広く公法に対して私法一般を規律し、民法典は総則、物権・債権（併せて財産法と称す）、親族・相続（同家族法）の5編から成り、民法普通法規の大部分を収めている（公布は明治29・31年＝1896・1898 昭和22＝1947年12月に家族編のみ大改正がなされた）。

民法典の上で「法人」とは、どのような存在なのであろうか。法人とは「自然人以外のもので法律上の権利義務の主体とされているもの」で、個人の自然人を離れて、社会的活動の単位となっている組織体について権利能力を付与されている。これには「財産」を主とした「財団法人」と、一定の目的のために結合した人の集合体「社団法人」（私法人たる社団法人には公益法人と営利法人とがある）の存在もよく知られている。

法人をめぐる、学問的論争を呼んだのが「法人实在説」と「法人擬制説」の対立とである。争点は、法人のもつ権利能力・行為能力・不法行為能力に関してであった。現在のところ、「法人实在説」の方が支配的である。この説では、いずれの領域でも「その範囲が拡大されてきている」とするのが世界の実情のようである。

そこで、対立する「法人擬制法」から先に見てみよう。この説では、実在する権利の主体は、自然人のみで法人には実在しないものをあたかも実在するかのように擬制している、というのである。その背景には、もともと、権利の主体、個人のためにのみ存在するという基本観念に立脚し、法の擬制によって「法人」を認めるのは、人間の集団または財産を媒介にして法人の個人への帰属問題を説明するための方便である、と説く。この見解は、宗教的な教会法理論（キリスト教の教義中心の法理。ローマ法・封建法と並んで中世の法生活を規律した）から説くものであり、特にドイツのザヴィニー（Savigny 1799～1861年 歴史法学の始祖とされる）によって主唱された。

一方の「法人实在説」はどうか。

この説では、法人は構成された独自の法人意思を有し、代表機関によって社会活動をする。自然人の他に権利主体に適する実在体があるのであり、それこそが「法人の本体である」と説く。この学説は、ドイツの法哲学者オート・ギールケ（Gierke Otto 1875～1921年）が著書『団体法』の中で説いたのであった。

当該学説は、さらに次の2つに岐れる。①法人有機体説と②法人組織体説とである。前者①節は、法人の本体は個人と同様に意思主体として実在し行動する「有機体」(生活機能を持つように組織された物質系。多くの部分が1つに組織され、その各部分が一定の目的の下に統一され部分と全体とが必然的関係を有するもの)なのである。そして人の結合体は、人の単なる総和ではなく、総和に内在し同時に超越する単一体で「人間の意思を基盤とする考え方」を採っている。

これに対して後者②説は、法人の本体は法以前の社会的実在ではなく、権利主体に属するものに法実定的に組織された組織主体である、とみる。この考え方は「実定法の形をとる組織体を重視する」点にある。生物学で説く「組織体」とは、ほぼ同形・同大で働きにも似通った細胞の集団で集まった器官を構成する。動物では上皮組織・結合組織・筋繊維・神経組織などがある。社会学上では、社会を構成する各要素が結合して有機体的な働きを有する統一体、またその構成の仕方を「組織」と呼んでいる。

ちなみに、法学上の「組織法」とは、人間の行為の基礎または組織に関する法。商法における会社法の類をいう。これに対するのが「行為法」で、これは人間の行為自体に関する法であり、特に商法において商取引の基礎または組織に関係なく、取引自体だけに関する部分、例えば商事売買・運送に関する法の類である。ここに法律で取り上げる「行為」とは、明らかに目的観念または動機を有し、思慮・選択・決心を経て意識的に行なわれる意志的動作をいい、善悪の判断の対象となることから、とりわけ刑法犯でその「行為」が論ぜられる。

#### 4 英米法と大陸法両体系の相違

前節で「ローマ法」と「ゲルマン法」とを取り上げたのを機会に、本節では現在、世界法(後述)の主流とまで見られてきた2法体系、すなわち「英米法」と「大陸法」での相違点を見ることにしよう。

その前に、先の20世紀(西暦1900年=和暦明治33年~同1999年=平成11年)で前半は「戦争」、後半は「平和」の確立に奔走したと言われていた。思うに人類は、悲惨で残虐な2回の世界大戦を経験した。

第1次世界大戦(1914~18年)後、アメリカの首唱(ウィルソン大統領)によりヴェルサイユ条約の締結によって1920(大正9)年1月に成立をみたのが「国際連盟」であった。加盟国は50数カ国(1936年現在)に達したが、アメリカは当初から不参加。一方、わが国は1933年3月満洲国(もと清の宣統帝で溥儀を執政に建国、昭和9年皇帝に即位。昭和20=1945年に消滅)問題が原因で脱退し、のちにドイツとイタリーもこれにならい、一端加盟のソ連(当時)もフィンランドとの戦争で除名され、その存在は有名無実とになった。本部は、スイスのジュネーブにおかれていた。

第2次世界大戦(1940~45年)後、平和と安全の維持、各国間の外交関係の促進、経済・社会・文化・人道の上での諸問題について国際関係を達成するために設立をみたのが「国連」(United Nations)。1945年10月24日に正式に設立をみた。国際連盟の精神を受け継ぎ、さらに強化した組織で加盟国も159カ国(1990年現在)、本部はアメリカのニューヨーク。日本の加盟は1956(昭和31)年であった。主な機関として総会をはじめ、安全保障理事会・経済社会理事会・信託統治理事会・国際司法裁判所、それに事務局等が設置されている。

ここで、簡明に「国際法」(international Law)に触れておこう。これは国家間の関係を規律する法で、古くは「万国公法」と称されていた。国際法は慣習国際法と条約国際法とから成り、さらに



# 大分県の地熱・温泉地帯に生息する好熱性微生物

## — その2 好熱菌の工業利用 —

大分大学工学部

大 上 和 敏

### 要 旨

大分県には、別府温泉をはじめ多くの地熱・温泉地帯が存在している。前年度の報告で、大分市および別府市の温泉水から、澱粉分解能を有した32菌株の好熱性細菌を分離することができた。本報告では、これらの菌株の工業利用性を検討するために、菌体内酵素について、澱粉および $\beta$ -CDを基質とした際の酵素活性の測定を行った。検討の結果、別府市より分離した2菌株がグルコースおよびオリゴ糖類の生成能力が高いことが明らかとなった。

### 1 はじめに

食品加工に始まった微生物の利用は、いまや化学工業全般にわたって重要な生産手段となっている。特に、微生物の有する各種の酵素は、医薬品や家庭用品など様々な方面で利用されている。高温、高塩濃度、極端に酸性・アルカリ性の環境といった、いわば極限条件下で、安定に触媒能を発揮することができる酵素類は、耐熱性酵素、耐塩性酵素、耐酸性・耐アルカリ性酵素とよばれ、工業的にも利用価値が高く、様々な方面で使用されている<sup>1)</sup>。その中でも、耐熱性酵素は、有機溶媒、界面活性剤等の変成剤に対しても安定で、これらの工業利用は大きく注目を集めている。例えば、工業用酵素の約15%のシェアを占めている澱粉加工用酵素においても、耐熱性に優れた酵素の需要は大きく、現在までに様々なアミラーゼをはじめとした糖質加工用酵素が世界各地の地熱地帯や温泉地帯に生息する微生物などから分離され、工業的に利用されている<sup>2) 3)</sup>。

大分県は、別府温泉をはじめ多くの地熱・温泉地帯に恵まれている世界でも有数の温泉県である。これらの温泉地帯について、化学的・物理的側面から様々な研究が行われており、温泉水の成因や分布等について明らかになってきている<sup>4) 5) 6)</sup>。しかし、生物学的な研究はほとんど行われておらず、新規な耐熱性酵素を有する好熱性細菌の探索を行うには絶好のフィールドである。本研究の前年度の報告で、筆者は別府市および大分市の温泉水から35株の好熱性微生物を単離することができた<sup>7)</sup>。本報告では、これらの単離菌株の糖質加工への利用の可能性について検討を行った。

### 2 実験方法

#### 菌体の培養および酵素溶液の調整

温泉水から分離した菌株を2ml液体デンプン培地 (pH 6.8: 可溶性デンプン 0.5%、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0.5%、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.1%、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.1%、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.01%、酵母エキス 0.05%) に植菌し、60℃、24時間で振とう培養した。この培養液を200ml同組成の澱粉液体培地に添加し、さらに60℃、24時間振とう培養を行い、培養液を7000rpmで30分間遠心分離して菌体を回収した。回収した菌体を超音波破碎したのち、10000rpmで遠心分離し、上澄みを粗酵素溶液としてアミラーゼ活性等の活性測定に用いた。

### 還元糖およびグルコースの定量

調整した粗酵素溶液150  $\mu$  l を、3%可溶性デンプン溶液 (pH7.0、10mM KPB) および 3%  $\beta$ -CD溶液 (pH7.0、10mM KPB) それぞれ500  $\mu$  l に添加し、60°Cで2時間反応させ、生成された全還元糖量 (G1+G2+G3+...) とグルコース (G1) を定量した。全還元糖量についてはSomogyi-Nelson法で、グルコースについてはグルコースオキシダーゼ法で定量を行った。酵素活性の1単位は、1分間に1  $\mu$  mol の還元糖を生成することのできる酵素活性と規定した。

## 3 結果と考察

### 優良菌株の選択

単離した菌株の粗酵素溶液を、デンプン溶液 (pH6.8 10mM KPB溶液) および  $\beta$ -CD (pH6.8 10mM KPB溶液) に添加し、60°Cで2時間反応させたときの、還元糖生成量を図1-1と図1-2にそれぞれ示す。

可溶性澱粉溶液を基質とした場合 (図1-1) および  $\beta$ -CD溶液を基質とした場合 (図1-2) とともに、No.10株、No.15株、No.22株から分離した粗酵素溶液がを添加したときの還元糖生成量が特に高くなっている。これらの菌株は、 $\beta$ -CDを基質とした方が可溶性澱粉を基質としたときに比べ、2~3倍程度還元糖生成量が増加している。

澱粉加工用酵素として利用されている酵素の多くは、*Bacillus subtilis* や *Bacillus licheniformis* などのように *Bacillus* 属の微生物から分離されたものが多く報告されている<sup>3) 8)</sup>。しかし、今回分離できた菌株の中で2番目に還元糖生成量が高かったNo.15株は、16Sr RNAの塩基配列に基づく系統分類では *Thermus* 属に分類される細菌であった<sup>7)</sup>。そこでNo.15株と、還元糖生成量が最も高かったNo.22株についてさらに詳細な検討を行った。

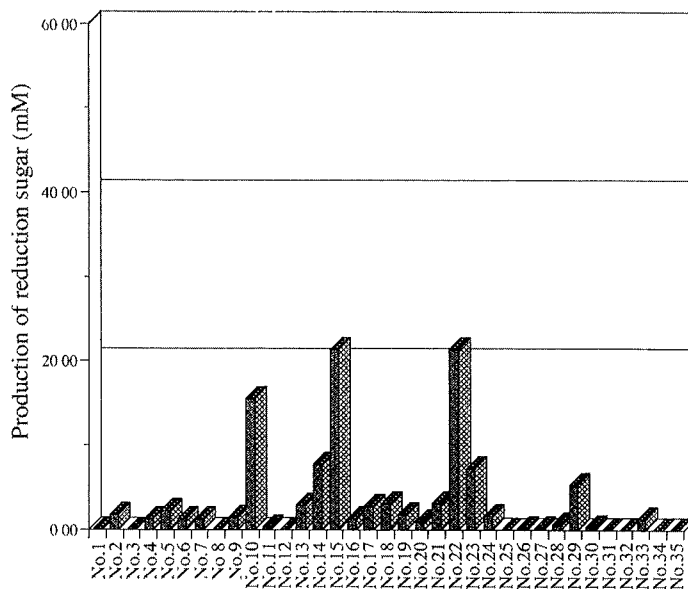


図1-1 可溶性デンプンを基質としたときの還元糖生成量  
3%可溶性デンプン溶液 (pH7.0) 500  $\mu$  l に、各菌株からの粗酵素溶液150  $\mu$  l を添加し、60°Cで2時間反応したときの生成量

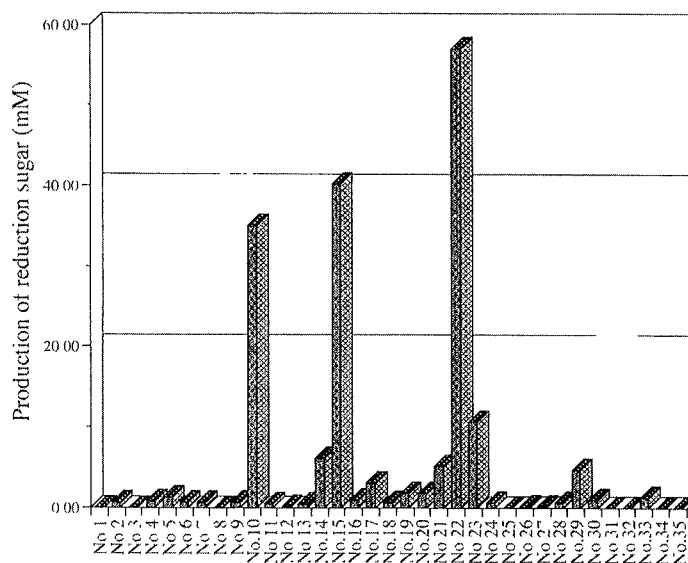


図1-2  $\beta$ -CDを基質としたときの還元糖生成量  
3%  $\beta$ -CD溶液 (pH7.0) 500  $\mu$  l に、各菌株からの粗酵素溶液150  $\mu$  l を添加し、60°Cで2時間反応したときの生成量



No. 15株およびNo. 22株の菌体内酵素の特性

No. 15株とNo. 22株から分離した菌体内酵素を、可溶性澱粉およびβ-CDに反応させた際の、グルコース (G1) とオリゴ糖類 (G2+G3+...) の生成量の温度変化を図2-1と図2-2にそれぞれ示す。

可溶性澱粉を基質とした場合 (図2-1)、両菌株ともに30℃および60-70℃では、オリゴ糖類はほとんど生成されていなかった。しかし、50℃付近ではグルコースの生成量が3倍近く増加し、オリゴ糖類の生成量も増加していた。

β-CDを基質とした場合 (図2-2)、30℃ではグルコースとオリゴ糖類が少量生成されているが、70℃付近では両者とも生成されなくなっていた。最も生成量の高かった50℃付近では、可溶性澱粉を基質とした場合に比べて (図2-1)、オリゴ糖類の生成量がNo. 15株で2倍程度、No. 22株で3倍程度多くなっていた。

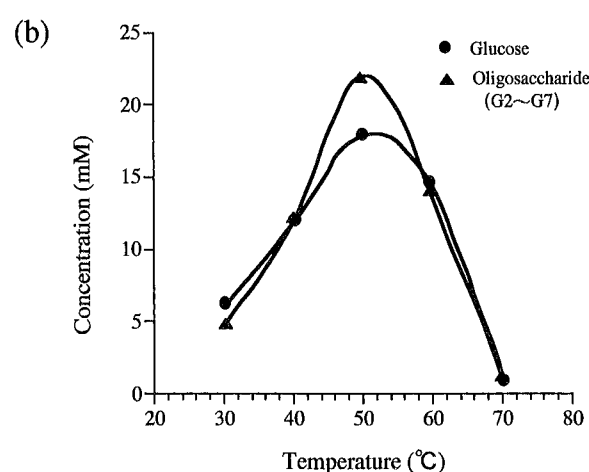
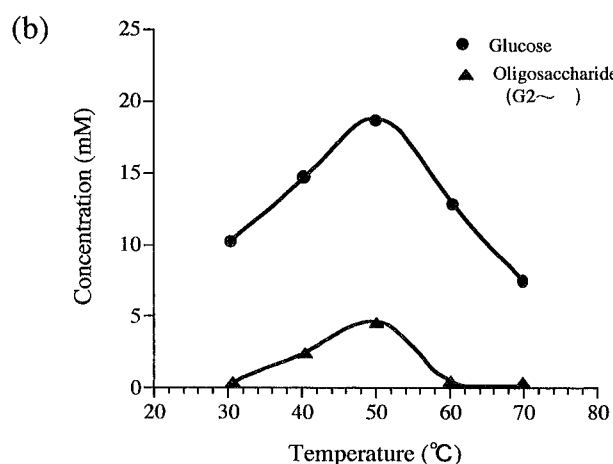
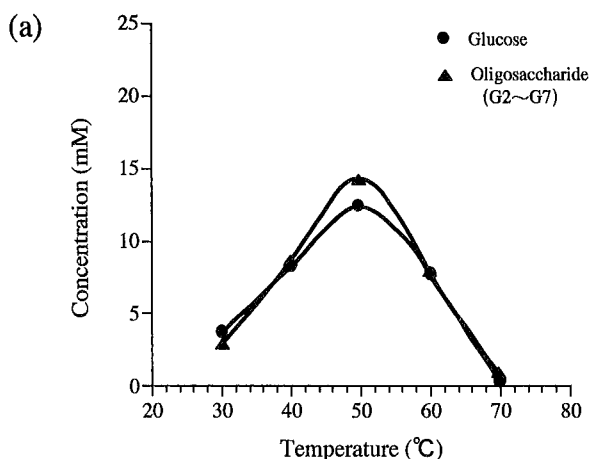
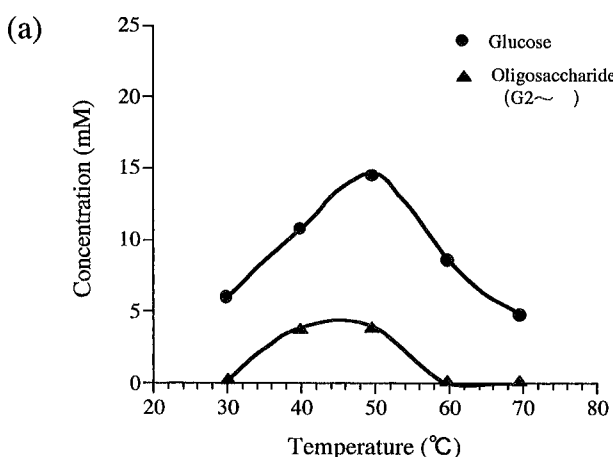


図2-1 可溶性澱粉を基質としたときのグルコース、オリゴ糖類の生成量の温度変化

反応基質：3% 可溶性澱粉、反応時間：1時間、pH；7.0 (10mM KPB)

(a) No. 15株、(b) No. 22株

図2-2 β-CDを基質としたときのグルコース、オリゴ糖類の生成量の温度変化

反応基質：3% β-CD、反応時間：1時間、pH；7.0 (10mM KPB)

(a) No. 15株、(b) No. 22株

以上の結果より、No. 15株とNo. 22株の有する酵素は、澱粉やβ-CDのような単糖類のポリマー

分子を末端から切断するエキソ型アミラーゼと、内部結合をランダムに切断するエンド型アミラーゼの混合物であると考えられる。

## 5 まとめ

本研究では、大分県の別府市および大分市の温泉水から分離した細菌類について、糖質加工への利用性の検討を行ったところ、以下の知見を得ることができた。

- (1) 分離した菌株35株のうち、*Thermus*属と相同性の高かったNo. 15株と、*Bacillus*属と相同性の高かったNo. 22株を糖質分解能の高い菌株として選択することができた。
- (2) No. 15株とNo. 22株について、さらに詳細な検討を行ったところ、これらの菌株の有する酵素は、エンド型アミラーゼとエキソ型アミラーゼの混合物であると考えられる。

今後は、(1) No. 15株、No. 22株の有する菌体内酵素について、酵素の精製を行い、pH依存性、共存元素の影響等、工業化に必要な基礎データの検討を行うこと、(2) 分子生物学的手法等を用い、温泉水中の好熱菌類のより詳細な分布状況を明らかにすることを予定している。

## 6 参考文献

- 1) 堀越弘毅：極限微生物－新しい遺伝子資源－，講談社，138－166（1988）
- 2) 大島泰郎：好熱性細菌，東京大学出版会（1978）
- 3) 中村道徳：アミラーゼ 生物学へのアプローチ，学会出版センター（1986）
- 4) 湯原浩三，瀬野錦蔵：温泉学，地人書館（1969）
- 5) Yusa, Y., Ohsawa, S., Kitaoka, K.: Long-term changes associated with exploitation of the Beppu hydrothermal system, Japan, *Geothermics*, 29, 609－625 (2000)
- 6) Allis, R. G., Yusa, Y.: Fluid flow process in the Beppu geothermal system. Japan., *Geothermics*, 19, 743－759 (1989)
- 7) 大上和敏，森口充瞭：大分県の地熱・温泉地帯に生息する好熱性微生物－その1 温泉水中に生息する好熱性微生物－，大分県温泉調査研究会報告，53, 29－36（2002）
- 8) 野本政雄：酵素工学，学会出版センター，75－132（1993）

# 大分県北部地域における湧水・地下水の水文化学的研究

日本文理大学環境科学研究所

河野 忠

## 要 旨

大分県北部地域における湧水・地下水について、自然科学的観点や温泉の涵養源、防災的な観点からも重要な基礎データを得ることを目的に、現地調査を実施した76ヶ所のサンプルから水文化学的な特徴を考察した。その結果、対象地域の湧水は、湧出量が非常に少なく、多様な水質を示すことが分かった。また、湧出量と水質から①国東半島、②鹿鳴越山群とその隣接地域、③その他の地域、の3つの地域に細分できることが分かった。

国東半島の湧水はそのどれもが非常に湧出量の少ないもので、かつ数も少なかった。湧出量と水質からは、大きな火山体としての涵養湧出機構とは無関係の、局所的な湧出機構を持ったごく小規模な湧水といえるであろう。またその分布は、両子山を通る南北方向の中心線上に存在していることが特徴である。

鹿鳴越山群の湧水はその数も量も非常に豊富で、水質の地域的な特徴はほとんどなく、典型的なCa-HCO<sub>3</sub>型の水質を示した。

その他地域の湧水は多少の違いはあるものの、国東半島ほどではなく、概ね安山岩地域の地質を示し、平野部の湧水を除いて人為的汚染の影響はみられなかった。

## 1. はじめに

大分県は霧島火山帯に属し、鶴見岳、由布岳、久住山などの火山に恵まれている。それに付随して火山性の湧水が無数に存在し、全国的にも湧水の豊富な地域である。しかし、大分県内には水の乏しい地域や石灰岩などの堆積岩地域などがあり、湧水の分布や性質は決して一様ではない。平成11年度の研究「硫黄山噴火後の周辺湧水の動向」の研究(河野, 2000b)では、湧水の水文化学的研究によって、地下水や熱水系の変化を事前に察知できる可能性を示唆することができた。また、北岡・河野(1999・2000a)は、くじゅう連山周辺の湧水と河川水から涵養湧出機構を明らかにしておくことの重要性を述べた。そこで県内の湧水について水文化学的特性を明らかにしておくことは、自然科学的観点のみならず、温泉の涵養源や防災観点からの基礎データとしても重要である。また一連の研究における副産物として、薬水伝説のある水に特異な水質を持つものがあり、温泉医学や民間療法の観点からも注目される。

筆者は1993年度より大分県内の湧水マップを作成する目的で、県内各地の湧水を探し出し、その湧出量の測定及び水質分析を行ってきた。河野(2001・2002a)では、南部、中部の湧水と大分県内の湧水の概況を報告した。本年度は3年計画(総括を入れて4年)の最終年度に当たり、ひととおり大分県の湧水・地下水の悉皆調査が終了する。まだ未調査の湧水が多数あり、北部のみの報告だけでも膨大なデータとなるために、詳細な検討は次年度の最終報告に譲り、今回は北部地域の湧水の概況について報告する。

## 2. 調査地域の概要

大分県は北東部に国東半島が位置し、主に北部はなだらかな丘陵と小規模な沖積平野の続く地形を示す。中部は鹿鳴越山群から、鶴見岳、由布岳を通り、くじゅう連山へと続く火山地域である。南部は中央構造線の外帯に位置し、ほとんど平野が見られず山がちな地形である。

大分県北部は第三紀の地質が占めており、国東半島はその代表的な地域である。国東半島は、東西30km、南北39kmの長円型の半島で、桂川・安岐川地溝帯で九州本体と接続している。北部は沈水海岸線、南部は隆起海岸線の景観を示している。国東半島は、両子山を中心とした非常に大きな火山である。しかし、第三紀火山であるために浸食が進み、開析の進んだ火山体となっている。森山ほか(1983)によると、国東半島の大部分は新第三紀火山噴出物の輝石安山岩質凝灰角礫岩を主とする成層集塊岩からなっている。また、これを基盤に両子山や文殊山のごく一部に第四紀に噴出した角閃安山岩が載っている。国東半島北方の周囲17km、面積7.18km<sup>2</sup>の姫島は四つの小火山島が砂州で結合した火山島である。また、国東半島は年間1,500mm前後の降水量で、大分県内ではもっとも小雨の地域であり、東岸は太平洋側の気候で、西岸は日本海側の気候を示す。また、夏季に10日以上続く無降水日が年1回の割合で生じる地域である。

国東半島南部に接続する鹿鳴越山群は、東西10km、南北8kmの輝石安山岩からなる第四紀火山で、標高612mの経塚山を主峰として、鳥屋岳や唐木山といった標高約600mの山々が東西方向に連なっている。国東半島とは、安芸川地溝帯によって接続し、北西部は八坂川と三川を境界として別府の鶴見岳火山群と接している。地質は、第四紀の輝石安山岩から成っており、北麓の一部を安山岩質凝灰角礫岩が覆っている。

県の北部には第三紀末の噴出による古期火山地域がある。山国川流域から玖珠盆地付近に及ぶ耶馬溪山地は、溶岩台地として知られている。第三紀中新世～鮮新世の噴出に始まる花崗岩・安山岩は・凝灰岩・玄武岩等の基盤の上に、角閃石安山岩質の火山噴出物からなる、いわゆる成層集塊岩が堆積して、耶馬溪式地形の景勝地をなしている。

## 3. 大分県北部の湧水・地下水とその故事来歴

### (1) 国東半島

国東半島の湧水・地下水には古来から使用され語り継がれてきたものが多く、弘法大師にまつわる水の多いことが特徴である(河野, 1996)。次に代表的な湧水・地下水の由来について述べる。

国東半島の北方5km沖にある姫島の両瀬には「姫島の七不思議」の一つ、拍子水がある。この水は、お姫様(比売語曾の神)がお歯黒をつけた後口をゆすごうとしたが水がなく、手拍子を打って祈ったところ冷泉が湧き出たという話が伝えられる鉱泉である。またの名を「おはぐろ水」という。おそらく浅い地中で出口を探していた鉱泉水が、地震や津波など何らかのインパクトにより、地上に湧出したものであろう。またこの水は湧出口では透明であるが、すぐに鉄分が酸化して血の池地獄のような様相を呈している。拍子水のすぐ裏には、このお姫様を祀った、比売語曾神社がある。

文珠山山頂に近い清滝観音の湧水は、岩盤自体が千手観音の御神体であり、その割れ目から湧出している。この湧水は古来涸れたことなく、常に一定の水が湧出している。子供のカンの虫封じに効果があるといわれている。

走水観音の霊水(写真1)は「両子山の七不思議」の一つで、湧出量一定の霊水として知られ、観音様の石像背後にある岩盤の割れ目から湧出している。

清水寺の霊水は、大分県が選定した「豊の国名水」の一つで、不老長寿の水として今日に伝えら

れている。宝陀寺に隣接する歴史の古い清水寺の境内の一角にある岩山から湧出する清水は、遠く平安の昔から水量に変化がなく、どんな大雨や早魃時でも影響を受けたことがないといわれている。年間を通して湧出量は変化せず、今日でも付近の田畑を潤している。この水は胃腸病に効き目があるといわれ、遠くから訪れる人も多い。

弘法大師の霊水は、1,200年の歴史を持つ真玉町椿光寺と椿堂の境内の岩窟内から湧出する。後者の別名は椿大師の御霊水ともいわれ、ごく僅かな湧出量にも関わらず、万病に靈験のある水として参詣する人が絶えない。また、弘法大師の霊水、弁分一畝の霊水(別名：弘法大師の水)、横岳の弘法水(写真2)、安心院町の弘法井戸(写真3)と香々地町の走水(涸渴)は、その名の通り弘法大師由来の湧水で、大分県内には弘法大師にちなんだ多くの湧水が存在している。いずれの湧水も、水の得られない地域の人々が早魃で苦しんでいるのを見かねた弘法大師が、杖を突き立てたところ湧出したといわれており、水資源の乏しい地域に生活する人々の「命の水」として大切に利用されてきた名水である。弘法水は日本全国に1352ヶ所存在しており、大分県には21ヶ所あることが分かっている(河野, 2002b・2003)。

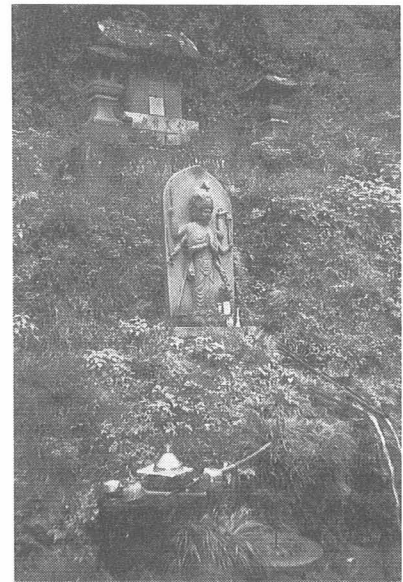


写真1 走水観音の霊水(安岐町山内) 両子寺七不思議の一つ



写真2 弘法水(大田村横岳山頂) 弘法大師伝説の水



写真3 弘法井戸(安心院町房ヶ畑) 弘法大師伝説の水

## (2) 鹿鳴越山群の湧水と図跡考

鹿鳴越山群の湧水は、昔から生活用水として利用されているが、その湧出点さえも知らない住民が多い。いくつかの湧水を除くと、そのほとんどが「出水」と総称され、固有の名称では呼ばれている湧水は少ない。しかし、日出町(1986)が出版した『日出町誌資料編』に、寛政9年(1797)二宮兼善により著された当時の地理書『図跡考』が再録されており、そこに鹿鳴越山群の湧水に関する記述が多数見られる。これらの湧水はそのほとんどが現存し、大小合わせて80近くの湧水を数えることができる。水の口湧水は鹿鳴越第一の湧水で、国東半島の清水寺の霊水とともに「豊の国名水」に選出された湧水である。湧出量は日量約3,000~5,000トンで、八坂川の源流となっている。天明4年(1784年)大早魃が生じたとき、山野の草木は枯死状態となったが、鳥屋岳より水の口湧水に至る地中泉上の草木は緑を保ち、一条の草木で道を連ねたといわれている。付近の住民は毎年7月16

日になると常提水神社(水の口水神社)に参拝し、盛大に水祭りを行っている。

(3) その他の地域

豊の国大分県には『豊後風土記』が残り、神々や天皇の記述、伝説が数多く残されている。安心院町木裳には、水沼井という「天真名井」がある。「天真名井」とは、天皇や神が利用した水のことをいい、日本各地にも伝えられ、非常に美味しい水が該当すると考えられる。県内は神武天皇にまつわる水が多く、宇佐市北宇佐には、化粧井戸(写真4)という神武天皇に由来する傀儡人形の化粧水がある。宇佐市辛島の泉神社の湧水(写真5)は、御神酒用の醸造水として利用された。この水は平野部の湧水としては軟水であり、酒造にも向いていたのであろう。



写真4 化粧井戸(宇佐市北宇佐)  
神武天皇ゆかりの傀儡人形の化粧水

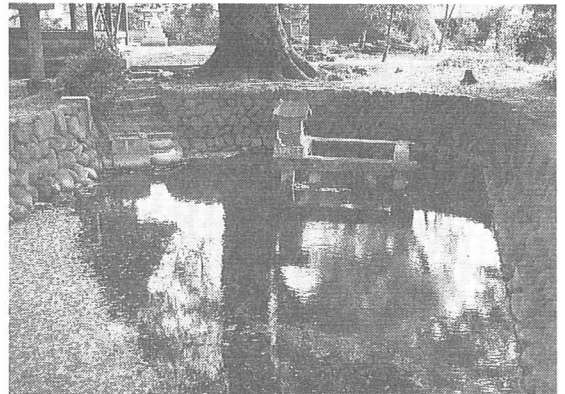


写真5 泉神社湧水(宇佐市辛島)  
酒造用に用いられた湧水

院内町大門龍岩寺には、不滅水・飢饉水・乱水・福貴水という「四水」がある。不滅水は干ばつ時でも水の絶えた事がなく、福貴水の出る年は豊作、乱水に赤い水が出ると天変地異、飢饉水の出る年は凶年不作になると伝えられている。この付近は中央構造線から延びる断層が発達しており、その活動により、多量の溶存成分を含む地下水が上昇し、ここに湧き出るのであろう。同じような水が、中央構造線に沿った各地に伝えられている。普段は不滅水のみが湧出している。

山香町御許山山頂と津波戸山山頂直下(写真6)には、硯水という湧水がある。どちらも仁聞菩薩が法華經の書写をしたとき、筆の軸で岩を掘ると清水が湧き出した、と伝えられている。前述の弘法水の中には硯水が多く見られるが、これは大師が書の達人であったことにちなみ、この水を使用して字を書くと上手くなると伝えられている。硯水で字が上手くなるとは考えられないが、墨の乗りの良い水で書けば、多少は美しく見えるはずである。硯水には水分子のクラスターが小さく、溶存成分の少ない水が適しているといわれており、御許山・津波戸山の硯水も蒸留水に近い水である。

杵築市の岩鼻の井戸(写真7)は、城下町唯一の井戸水で武士、町民、農民を問わず利用していた。藩命により井戸浚いも行うほど貴重な井戸水であったが、水道の普及とともに忘れられてしまった。まだ水はあるものの、中にはゴミが投げ込まれている。

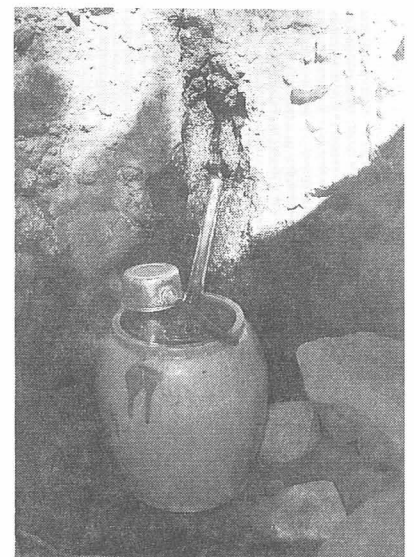


写真6 硯水(山香町津波山山頂直下)  
仁聞菩薩ゆかりの硯水

中津市の乳貰い水は河岸段丘崖下からの湧水であり、喉の渴いた北条時頼が錫杖で掘った水と伝えられ鎌倉井戸ともいわれる。この水でご飯を炊いて妊婦に食べさせると乳の出が良くなるという伝説があり、現在でもこの話を伝え聞いた人が水を汲んでいく姿を見かけることができる。

#### 4. 調査方法

本研究は大分県に存在する湧水の悉皆調査を目的とするため、役所をはじめとして様々な情報を集め、現地での水文化的調査と利用状況などの聞き取り調査を実施した。調査は1993年より随時実施してきた。各湧水の調査時期は一定ではなく、特に湧出量の比較は困難であるが、大分県内の湧水の概要を知るためには問題ないと思われる。現地での観測項目は、湧出量、水温、電気伝導度(以下EC)、pH、RpHで、一部のサンプルのみORPの測定も行っている。

湧出量の測定は、三協精密製SV-101型微流速計で横断方向に3ヶ所以上の流速を測定し、それぞれ断面積をかけたものを合計して湧出量とした。またパイプなどから湧出しその全量を取水できるものについては、大きな肉厚のビニール袋で一定時間を取水し、その量をメスシリンダーで測定して湧出量とした。測定困難な湧水は、目測により推定した。水温とECはTOA電波製CM-11P型電気伝導度計を使用し、水銀温度計を用いて水温を補正した。なおECは25℃の値に補正した。pH、RpHは比色法を用いたが、2000年前後からはHORIBA製Twin-pHを用い、pHのみの測定を行っている。RpHはサンプルを試験管にとり、5分間攪拌した後測定した。ORPはTOA電波製ORP Meter RM-10型を使用した。

水質分析は湧出地点で250ccのポリビンに採水し、氷冷して実験室に持ち帰り実施した。水質分析項目は、主要無機成分の $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SiO}_2$ である。無機主要成分の分析には、日本文理大学環境科学研究所のダイオネクス社製イオンクロマトグラフDXAQ-1211と島津科学製PIA-1000を用いた。サンプル水は、富士フィルム製 $0.2\mu\text{m}$ のディスクカプセルにより濾過した後、イオンクロマトグラフに用いた。 $\text{HCO}_3^-$ は、JIS-K0101に基づき、pH4.8アルカリ度として定量、換算した。 $\text{SiO}_2$ はHach社製DR-2000分光光度計を用いて、モリブデン黄法により分析した。水質分析結果を表1に示す。



写真7 岩鼻の井戸(杵築市杵築)  
杵築城下町唯一の井戸水

表1 大分県中部地域湧水・地下水調査結果

No.	名称	所在地	測定日	湧出量 l/sec	湧出量 t/day	水温 ℃	EC(25) μS/cm	pH	RpH	ORP mV	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	種類	
1	両河の水	大分県豊後高田市池部字影平	03/02/27	0.10		9 15.3	169	6.8		156	8.8	2.7	11.6	4.7	4.2	6.1	74.4	0.9	59.6	S	
2	雨引社の湧水	大分県豊後高田市嶺崎字小崎	02/01/30	0.50	43	10.4	63	6.9		187	3.9	0.4	4.0	1.7	6.8	6.2	11.0	1.1	20.3	S	
3	小崎の湧水	大分県豊後高田市嶺崎字小崎	02/01/30	0.01	1	8.2	67	7.0		123	4.8	0.6	4.1	1.9	6.9	6.4	15.0	0.0	28.4	S	
4	拍子水(飲薬水)	大分県東国東郡姫島村福積	95/03/26	0.31	26	24.6	2780	6.2	8.1		117.5	5.8	262.5	213.1	193.0	139.8	1537.7	0.0	106.2	S	
5	比売語曾社井戸	大分県東国東郡姫島村福積	95/03/26			13.6	630	6.2	7.4		92.5	5.4	9.9	6.3	60.9	130.2	20.3	5.7	74.5	W	
6	訖波田社樋水	大分県東国東郡国見町西方寺山	94/12/22	-0.30	-26	13.7	119	7.3	7.7		9.6	1.9	8.6	3.4	2.3	7.7	49.8	1.3	48.8	S	
7	タラ追水飲場	大分県東国東郡国見町小熊毛	94/12/22	2.58	223	13.6	136	7.1	7.6		12.2	4.0	8.7	3.1	5.1	10.9	52.2	0.6	73.3	S	
8	自噴井戸	大分県東国東郡国見町赤根バス停	95/03/26	0.30	26	18.6	172	7.1	8.0		11.0	2.6	11.2	7.9	2.8	8.8	81.8	0.6	76.5	W	
9	雲崎井戸	大分県東国東郡国見町雲崎	95/03/11	-0.01	-1	20.2	210	6.8	7.8		19.7	3.4	13.2	5.3	11.7	14.3	79.6	2.3	85.4	W	
10	田中社湧水	大分県東国東郡国見町雲崎	95/03/11	-0.20	-17	18.8	168	6.7	7.6		13.9	3.2	10.6	5.1	6.0	10.9	67.9	2.1	82.2	S	
11	ランブ屋湧水	大分県東国東郡国見町雲崎	94/12/22	-0.30	-26	21.3	202	6.9	7.8		15.8	2.8	14.6	7.2	5.6	12.3	89.1	1.9	76.8	S	
12	天神様の水	大分県東国東郡国見町鬼籠	95/03/11	-0.10	-9	8.0	100	7.1	7.4		8.0	1.1	6.3	2.7		8.2	29.5	5.6	37.0	S	
13	畑湧水	大分県東国東郡国見町赤根字畑	03/02/17	0.10	9	9.5	163	7.3		120	8.7	0.4	12.8	3.8		9.2	46.9	2.0	15.3	S	
14	赤水観音堂の水	大分県東国東郡国見町赤根字一円坊	03/02/17	1.00	86	14.0	533	3.1		515	6.5	1.1	44.1	5.5	2	7.1	0.0	0.0	26.8	S	
15	山神社裏の湧水	大分県東国東郡国見町赤根字一円坊	03/02/17	0.01	1	16.6	225	6.2		276	14.0	0.6	19.9	3.8		7.6	57.4	0.3	18.2	S	
16	清滝観音湧水	大分県東国東郡国東町成弘文殊山	98/10/13	-0.10	-9	13.6	98	6.9	7.4		200	8.4	0.5	7.5	2.0		7.2	20.0	6.3	16.3	S
17	養珠の井	大分県東国東郡安岐町福屋心月寺	02/06/23	-0.01	-1	17.7	179	5.6		228	21.2	1.7	11.8	3.7		15.5	57.8	1.8	26.9	S	
18	走水観音の霊水	大分県東国東郡安岐町山内	98/10/13	-5.00	-432	13.5	91	6.8	7.5		8.7	7.5	7.7	3.0		6.4	32.2	0.8	50.6	S	
19	大師堂の霊水	大分県東国東郡安岐町弁分字一嶺	95/03/26	0.03	2	13.6	131	6.7	7.6		10.1	3.0	9.5	3.5		6.9	54.2	0.7	76.5	S	
20	迫田湧水	大分県東国東郡安岐町矢川字山浦	94/08/30	0.17	14	21.5	93	6.6	7.6		7.0	2.7	6.3	2.7		2.8	46.4	1.8	70.1	S	
21	清水寺の霊水	大分県西国東郡大田村大字香掛	98/10/13	0.12	10	15.2	139	6.3	7.6		11.6	7.1	12.0	5.1		9.1	50.0	0.9	59.4	S	
22	弘法水	大分県西国東郡大田村檜岳	01/04/15	0.01	0	13.6	70	6.6		122	5.7	0.5	3.9	1.6		6.3	13.9	4.5	6.0	S	
23	高熊山霊水	大分県西国東郡大田村高熊山山頂	97/12/16	-0.01	0	9.5	95	6.7	7.2		7.4	0.5	5.7	2.0		7.7	14.6	6.8	14.3	S	
24	弘法大使の霊水	大分県西国東郡真玉町椿堂	02/01/30	0.01	1	10.1	96	7.6		152	7.3	1.0	4.5	1.8		11.3	7.3	0.4	29.5	S	
25	小畑走水樋湧水	大分県西国東郡香々地町椿光寺	02/01/30	0.00	0	10.5	378	7.4		17	21.3	4.2	21.8	15.5		13.1	113.3	0.0	63.4	S	
26	乳貰い水(鎌倉井戸)	大分県西国東郡香々地町小畑	01/04/15	0.50	43	14.4	147	7.1		142	8.9	3.1	12.0	3.0		9.3	48.8	3.2	23.9	S	
27	最明寺井戸	大分県中津市下池永鐸失堂バス停下	03/02/16	-0.10	-16.2	16.2	241	6.2		136	14.0	3.2	15.7	5.7		15.9	64.7	8.7	30.5	S	
28	泉神社湧水	大分県中津市下池永字吹上団地	03/02/16		10.9	10.9	316	7.0		104	27.7	3.5	19.7	8.8		25.4	92.0	4.9	30.4	W	
29	三つの井戸	大分県中津市相原瑞福寺	01/04/08	0.00	0	16.5	304	8.0		27	7.1	4.1	6.2	1.0		9.4	26.8	0.0	6.2	L	
30	化粧井戸(真名井)	大分県宇佐市南字佐宇佐神宮	02/10/16		17.2	17.2	122	6.2		111	11.6	5.9	31.6	7.2		12.0	132.0	8.6	14.0	S	
31	権現水	大分県宇佐市北字佐	01/04/08	枯濁						227	17.3	2.6	5.8	2.3	10.7	7.8	48.6	0.0	68.9	W	
32	水口湧水	大分県宇佐郡安心院町南畑字小田	95/02/18	29.90	2,583	14.3	57	6.7	7.4		5.6	2.7	2.9	0.9	2.0	3.1	19.8	3.4	57.3	S	
33	水沼井(天の真名井)	大分県宇佐郡安心院町南畑字大内ヶ平	95/03/27	0.24	21	9.5	47	7.0	7.4		5.0	1.9	2.6	0.8	2.4	2.3	18.1	0.8	46.4	S	
34	弘法井戸	大分県宇佐郡安心院町木裳	01/08/26	0.10	9	21.7	198	6.8		153	8.9	3.2	21.0	4.0	13.0	6.9	82.3	8.6	21.0	W	
35	流地蔵の水	大分県宇佐郡安心院町房分畑字徳瀬	03/02/12	-0.10	-9	11.4	77	6.8		158	8.0	0.7	4.4	1.5	4.7	4.5	23.2	5.3	16.6	S	
36	三清寺の佛性水	大分県宇佐郡安心院町新原不動明王	03/02/12	-0.01	-1	5.9	169	7.0		125	19.3	14.0	3.6	1.7	14.7	17.1	36.6	3.7	58.2	S	
37	三清寺の佛性水	大分県宇佐郡院内町定別当字岳切	97/06/05	0.30	25	13.4	56	6.8	7.5		7.6	6.7	3.9	2.0	2.0	4.1	23.2	1.5	45.2	S	



No.	名称	所在地	測定日	湧出量 l/sec t/day	水温 ℃	EC(25) μS/cm	pH	RpH	ORP mV	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	種類
39	不滅水	大分県宇佐郡院内町大門龍岩寺	01/04/08	0.00	10.8	111	8.0	112	7.8	3.5	5.5	2.9	10.9	8.8	30.3	0.0	47.3	S	
40	宇道路脇湧水	大分県宇佐郡院内町月俣	01/04/08	-0.10	9	13.2	52	7.6	148	4.2	1.0	3.5	1.0	5.6	3.0	18.3	1.8	28.9	S
41	岩鼻の井戸	大分県杵築市杵築	02/01/30		14.2	777	7.6	148	64.4	12.0	55.3	13.1	127.6	73.2	142.4	8.3	25.2	W	
42	お栗師様の水	大分県速見郡山香町向野平山	98/05/30	-0.05	4	16.9	78	6.7	7.2	5.8	0.6	4.7	1.9	8.9	5.6	13.9	5.8	20.4	S
43	御軒の湧水	大分県速見郡山香町向野御新山	01/04/15	0.01	0	14.5	84	6.6	113	6.9	1.0	4.8	1.6	6.0	9.8	10.0	11.7	18.0	S
44	硯水(馬蹄の跡)	大分県速見郡山香町向野御新山	01/04/15	0.00	0	10.0	58	6.7	112	5.2	0.5	4.0	1.3	8.1	5.2	11.7	0.0	22.5	S
45	硯石水	大分県速見郡山香町向野宇佐供	03/02/27	0.01	1	11.5	82	6.5	148	6.0	0.6	5.7	1.7	3.8	4.8	29.3	1.8	20.7	S
46	轟	大分県速見郡山香町	94/12/03	0.85	73	14.6	123	6.7	7.8	9.2	1.9	10.4	4.2	2.1	5.9	59.8	4.8	64.7	S
47	羽門の滝水源	大分県速見郡山香町	94/12/03		15.3	99	7.3	7.7	7.4	1.6	7.9	3.2	1.3	1.3	3.1	51.7	0.9	48.2	S
48	徳田東口	大分県速見郡山香町	95/04/02	0.37	32	12.6	72	6.6	7.4	4.9	0.8	5.5	2.0	0.9	5.4	27.1	4.5	25.9	S
49	水の口湧水	大分県速見郡山香町南畑字水の口	95/03/27	60.51	5,228	15.4	88	7.1	7.6	6.3	2.0	6.8	2.5	1.0	2.2	44.2	0.6	55.0	S
50	元河内道路脇	大分県速見郡山香町	94/12/10	1.83	158	16.3	86	7.4	7.7	6.5	1.8	7.2	3.0	1.4	3.1	48.6	0.1	56.1	S
51	釜水	大分県速見郡山香町野原甲尾山	95/04/02	0.01	1	10.2	57	6.6	6.8	6.7	0.5	2.8	0.3	5.8	5.1	6.3	7.6	26.7	W
52	瑞倉寺井戸	大分県速見郡山香町野原	95/04/02	0.00	0	10.4	192	7.6	7.7	9.2	1.2	22.6	2.8	40.5	6.0	43.4	6.5	25.4	W
53	大内原の水神様	大分県速見郡山香町大内原	95/02/18	5.51	476	16.6	70	6.9	7.5	6.2	2.8	3.9	1.8	2.0	2.5	31.0	1.7	58.2	S
54	土田陸水宅	大分県速見郡山香町今畑	97/12/16	0.38	32	17.9	116	7.3	7.6	7.0	2.5	7.9	4.9	2.5	7.1	56.1	0.3	46.6	S
55	出水	大分県速見郡山香町今畑	97/12/16	-0.10	-9	17.3	151	7.0	7.9	8.6	3.6	9.6	6.1	3.1	8.2	69.8	0.3	55.0	S
56	小野義美宅	大分県速見郡山香町越井	97/12/16	-0.05	-4	15.8	93	7.2	7.8	7.9	1.0	6.5	2.0	6.3	6.8	31.5	3.3	31.4	S
57	ポンプ小屋の水	大分県速見郡山香町越井	97/12/16		16.4	93	7.2	8.8	6.9	2.4	6.8	2.7	3.1	7.4	45.4	2.5	43.1	W	
58	鏡山トンネル湧水	大分県速見郡山香町妙法寺	98/05/02	-0.05	-4	15.9	155	7.1	8.0	11.2	4.7	17.0	9.5	7.3	5.2	116.4	0.4	46.2	S
59	川野 猛宅	大分県速見郡山香町妙法寺	98/05/02		14.1	121	6.6	7.7	10.6	1.5	9.3	2.9	6.0	8.2	46.4	0.9	46.4	S	
60	おいの井の子	大分県速見郡山香町下字六太郎	98/05/02	0.10	9	14.1	121	6.6	7.7	10.6	1.5	9.3	2.9	6.0	8.2	46.4	0.9	46.4	S
61	馬上八幡湧水	大分県速見郡山香町下字金山	98/04/25	0.11	9	14.8	258	5.8	7.1	9.9	7.4	13.1	3.4	54.6	4.9	22.4	4.2	63.8	S
62	黄金の泉	大分県速見郡山香町立石字米子瀬	98/05/30	0.01	1	16.3	109	5.8	7.1	6.8	4.2	5.8	2.6	7.6	5.3	42.9	0.0	62.9	S
63	白金水場	大分県玖珠郡玖珠町小田	02/06/01	-0.10	-9	13.1	51	7.0	152	6.2	2.3	2.7	0.6	1.8	3.2	21.7	0.0	39.6	S
64	伐株山登山口湧水	大分県玖珠郡玖珠町小田	02/06/01	0.01	1	16.9	66	7.0	137	7.2	2.4	4.1	0.8	2.0	4.3	26.4	1.3	44.6	S
65	岩清水の水場	大分県玖珠郡玖珠町角理山	02/06/01	0.01	1	13.4	52	7.1	175	7.0	0.7	3.2	1.1	2.4	3.3	24.2	0.4	21.9	S
66	馬頭観音湧水	大分県玖珠郡玖珠町帆足字影の木	02/06/01	-0.20	-17	14.7	53	6.9	149	3.5	1.0	2.9	0.9	1.1	2.0	19.0	0.0	24.5	S
67	宝八幡砂見草壺水	大分県玖珠郡九重町松木宝八幡宮妙見	02/06/01	0.00	0	13.5	55	6.5	175	5.1	0.2	2.8	1.0	5.6	5.0	13.4	0.0	24.5	S
68	八面山の湧水	大分県下毛郡三光村田口八面山	97/12/24	0.03	2	4.7	37	6.4	6.6	2.6	0.3	2.0	0.9	3.6	4.3	3.2	0.8	8.0	S
69	清水元の湧水	大分県下毛郡本耶馬溪町今行	97/12/24	0.12	11	14.9	126	7.1	7.8	7.7	3.0	7.5	6.6	2.0	4.9	66.9	0.6	49.6	S
70	鳥越の清水	大分県下毛郡本耶馬溪町今行字鳥越	97/12/24	-0.01	-1	15.9	151	6.6	7.7	9.0	3.2	9.6	6.7	2.8	6.4	77.9	1.2	51.0	S
71	庄元の清水	大分県下毛郡本耶馬溪町今行字鳥越	97/12/24	-0.10	-9	16.6	113	6.7	7.7	7.9	3.2	7.2	4.8	1.5	5.1	59.5	0.3	50.5	S
72	岩屋水場	大分県下毛郡耶馬溪町深耶馬字岩屋	97/06/05	0.13	11	13.3	73	6.3	7.6	5.7	1.6	4.8	1.2	1.8	4.8	34.2	0.0	41.8	S
73	耶馬溪トンネル湧水	大分県下毛郡耶馬溪町津留	97/12/24	-0.10	-9	15.4	130	7.4	7.7	8.3	2.3	9.4	6.1	1.6	4.8	70.3	0.4	43.2	S
74	中村の湧水	大分県下毛郡耶馬溪町川原口字中村	03/02/15	0.02	2	8.9	48	8.9	119	4.8	0.3	3.1	1.2	3.0	4.3	17.1	0.0	18.7	S
75	長尾野湧水	大分県下毛郡山国町長尾野	97/12/24	0.21	18	14.3	64	7.1	7.4	3.9	1.2	4.9	1.5	3.5	4.6	22.0	1.9	21.8	S
76	釜水湧水	大分県下毛郡山国町守美草木	02/06/02	-1.00	-86	14.9	75	7.5	178	3.8	1.2	5.8	2.5	1.6	2.3	36.6	0.0	25.4	S

一は推定値

### 5. 水文化学的特徴

#### (1) 湧水の分布とその湧出形態

図1に大分県内の湧水・地下水の分布図を示す。河野(2001)で述べたように大分県の湧水・地下水の分布は次の三地域に分類できる。1)北部第三紀地域、2)中部第四紀火山地域、3)南部堆積岩地域。また湧水の分布状況や水質などを考慮すると、大分県北部地域は、①国東半島、②鹿鳴越山群とその隣接地域、③その他の地域に細分することができる。大分県北部地域は、中部地域に比べると非常に湧水の数が少なく、その分布は鹿鳴越山群と国東半島の両子山山頂付近の第四紀火山噴出物に覆われた地域に集中している。

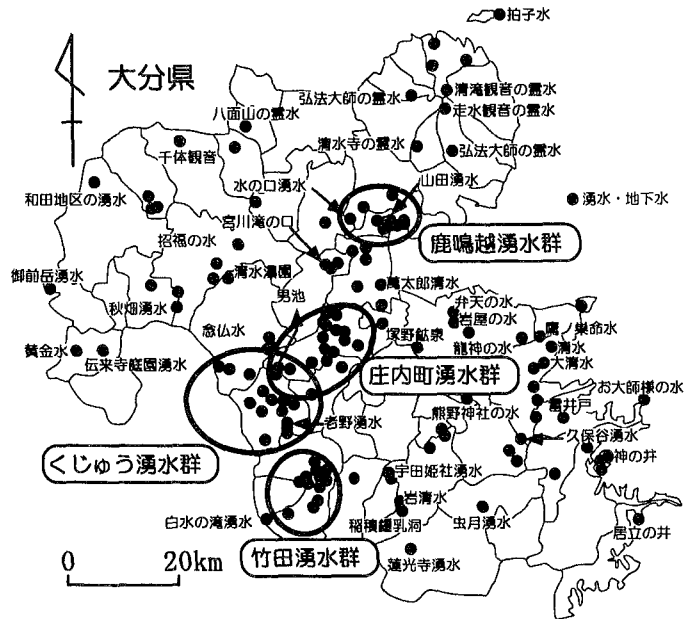


図1 大分県内の主な湧水・地下水の分布

国東半島の湧水は両子山を南北に通る軸線上に集中する傾向が認められる(河野ほか, 1996)。半島北部の田中社湧水、許波田社極水周辺地域には、急傾斜の斜面に沿って小さな湧水が点在し、地域の人々の生活用水として利用されている。国東半島の湧水は、いくつかのタイプに分類される。多くは第三紀噴出物の中を流動する局地的な涵養湧出機構を持つ湧水と考えられるが、半島北部の田中社湧水とランプ屋湧水では、浅層地下水が地下水面を切る形で沖積平地から湧出するタイプの湧水となっている。雲崎井戸は山地と平地の境界点に位置し、井戸底まで8mもある自噴井戸となっている。また、清滝観音の湧水と走水観音の霊水は、第三紀層の基盤と第四紀火山噴出物との境界付近から湧出するタイプである。タタラ迫水飲場と許波田社極水、迫田湧水などは、谷頭湧水に分類される。弁分一畝の霊水は谷が形成した崖線から湧出する。清水寺の霊水は、ごく低い丘陵地と沖積平地との崖線から湧出するが、その地形的集水域面積はごく小さい。しかし、古来湧出量の変化しない湧水といわれ、1994年の渇水にも涸渇することは無かった。清滝観音湧水と走水観音の霊水および弘法大師の霊水は、岩盤の割れ目から湧出する「列か水」の形態を示す湧水である。

国東半島はもともと水の乏しい地域として知られているが、それは湧出量にも反映し、どの湧水の湧出量も非常に少ないことが特徴である。最も多い湧出量を示すタタラ迫水飲場の湧水でさえ、毎秒2.58ℓにすぎない。国東半島は大きな目で見れば第三紀の火山としてみる事ができるが、火山としての大きな地下水流動による湧出形態はみられず、ごく小規模で局地的な湧水のみがみられる。

鹿鳴越湧水群は、すでに、河野ほか(1996)で概要を明らかにしたが、隣接する鶴見岳と由布岳を含めた大きな火山地域としての湧水群とみなすこともできる。鹿鳴越山群は第四紀火山噴出物によって覆われた火山であり、他の例に漏れず多くの湧水が存在する。特に南麓はその数も湧出量も多いことが特徴である。北麓には水の口湧水および隣接地域の権現水以外に、目立った湧水はみられない。水の口湧水は谷頭近くの斜面から湧出し、崖線湧水タイプに分類される。

その他の地域では、八面山山麓や中津市の山国川が形成した河岸段丘崖などに湧水が散見できる。耶馬溪にはその溪谷美に反してごく小規模の湧水がいくつかみられるにすぎない。湧水量は毎秒1ℓ以下であり、その多くが毎秒0.1ℓ以下である。

(2) 水質の特徴

大分県北部の湧水温は、ほとんどが13~17℃であった。全体的には、鹿鳴越山群よりも国東半島の方が水温が低く、より浅い地下水が湧出したと考えられる。国東半島北部の沖積地にある田中社湧水等では、冬季に観測したにも関わらず20℃前後と高い値を示した。近くに温泉などは無く地熱の高い地域でもないで、その原因は不明である。また、国東半島の標高の高い地域にある湧水と、低い地域にある湧水との水温差は少なく、火山体の流動機構の中に位置する湧水ではないことを裏付けている。一部非常に低温の湧水がみられるが、これは冬季に観測したために、湧出地点から導水管で引いていることが原因である。電気伝導度の値は、鹿鳴越山群で100 μS/cm前後を示す。ところが国東半島では、鉱泉の拍子水は別として、94~311 μS/cmと多様であり、特に半島北部の湧水群と弘法大師の霊水で高くなっている。その他の地域の湧水は37~304 μS/cmの値を示すが、概ね100 μS/cm前後の値を示す。pHの値は6.2~7.3で弱酸性~中性の値となり、目立った地域差はみられない。pH3.1を示す赤水観音堂の水は赤根鉱山跡から湧出する水で、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の影響が大きく現れている。ORPの値は、真玉町椿光寺の弘法大師の霊水と中津市瑞福寺の疣石の水が非常に低い値を示している。疣石の水は単なる岩の窪みの溜まり水で、湧水・地下水とは言い難い水である。しかし、ORPの値が低い水は温泉医学の分野で注目されており、特に皮膚病への効能が期待されている(大河内ほか, 1999・2000)。

(3) 無機主要成分

無機成分の分析値から、図2にトリリニアダイアグラム、図3にヘキサダイアグラムを示す。大分県北部地域は、一部安山岩質の第四紀火山に属する湧水があるために、湧出量が比較的多く、Ca-HCO<sub>3</sub>型の水質を示す水がみられる。大分県における火山地域の湧水・地下水は基本的に同じパターンを示すと考えて良いであろう。

国東半島を代表とするごく小規模の湧水は、Ca-SO<sub>4</sub>型を示すサンプルが多くみられる。これらは第三紀火山地域に多くみられる。志賀ほか(1983)によると、これは火山活動の影響ではなく、岩質の影響が大きいと考えられる。また、中央構造線に平行して発達する断層が東西方向に伸びていることから、深層地下水や熱水の影響を受けていることも否定できない。国東半島一帯には、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>濃度の非常に高い鉱泉が多く知られており、その影響を示唆している。水質パターンをみると、それぞれの差が大きく、局所的な涵養湧出機構を持っていることがわかる。国東半島の中で、唯一第四紀噴出物の地域で文殊山山頂付近に湧出する清滝観音の湧水と両子山の走水観音の霊水は、他の湧水と比較して溶存成分濃度が小さく、ごく狭い集水域を持つことがわかる。

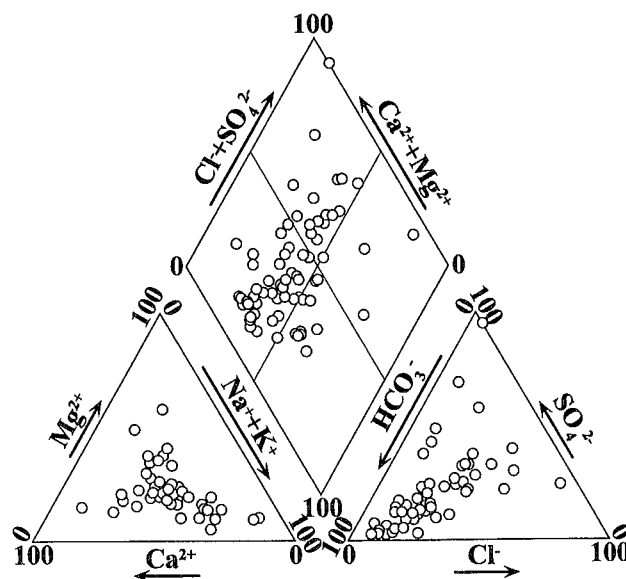


図2 トリリニアダイアグラム

椿堂弘法大師の霊水は今回紹介する湧水の中で最も異質なものの一つで、特に $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{42}^-$ 濃度が高く $\text{Ca-SO}_4$ 型となっている。国東半島北部の湧水群は $\text{Na-HCO}_3$ 型に近いパターンを示すが、 $\text{Cl}^-$ 濃度が低いことから、風送塩起源ではなく地質起源であることを示している。

鹿鳴越山群の湧水はどれもほぼ一定のパターンであり、典型的な $\text{Ca-HCO}_3$ 型の水質を示している。

その他地域の湧水は、概ね安山岩質の水質パターンを示し、国東半島の湧水ほど濃度が極端に高いものはみられない。したがって、これらの湧水は局所的な涵養湧出機構を持ち、深層地下水や熱水の影響をほとんど受けていないと考えてよいであろう。

$\text{SiO}_2$ 濃度は鹿鳴越山群より国東半島の値が高く、地質の差を考慮に入れても、より長い流動時間を経た後に湧出したものと考えられる。その他地域の値は、その差が大きく、濃度が高くなる傾向にある安山岩質の地質の有無を反映している。

人為的汚染の指標となる $\text{NO}_3^-$ 濃度は一部の湧水を除き概ね $5 \text{ mg/l}$ 以下で、ほとんど汚染は認められない。比較的濃度の高い乳貰い水、泉神社湧水と岩鼻の井戸は、台地や平野部の地下水が湧出することから、田畑への施肥による汚染と考えてよいであろう。また、人為汚染の全く考えられない国東半島の文殊山山頂付近にある清滝観音の湧水、御許山山頂の硯水と甲尾山山頂の霊水で比較的高い値を示している。場所から考えてその起源は不明であるが、林内地の樹幹流から比較的高濃度の $\text{NO}_3^-$ 濃度が観測されている(井倉ほか, 1994)ことから、その典型例として考えられる。また大分県という位置関係から酸性雨の影響も考慮されよう。

河野(2002 a)で述べたように、大分県の湧水は薬水伝説のある湧水が多く、「疣水」というイボや皮膚病に効能があるという水をはじめとして、万病、眼病に効能があるという水が多数みられる。今回の調査でも、清水寺の霊水、弘法大師の霊水、疣石の水、乳貰い水、水沼井などに薬水伝説が残されていることが分かった。医学的な因果関係は不明であるが、病気に効能のある水は特異な水質を示すことが多く(河野, 2000 c)、今後、温泉医学、民間療法の観点から調査、研究が行われることを期待している。

## 6. おわりに

大分県内には数多くの湧水が存在するが、その分布は偏っている。その分布状態から、北部の非常に湧水の少ない地域、中部の多数の湧水が分布する火山地域、南部の数は少ないがバラエティーに富んだ地域の3地域に分類される。この中で、大分県北部地域の湧水・地下水はごく小規模の湧

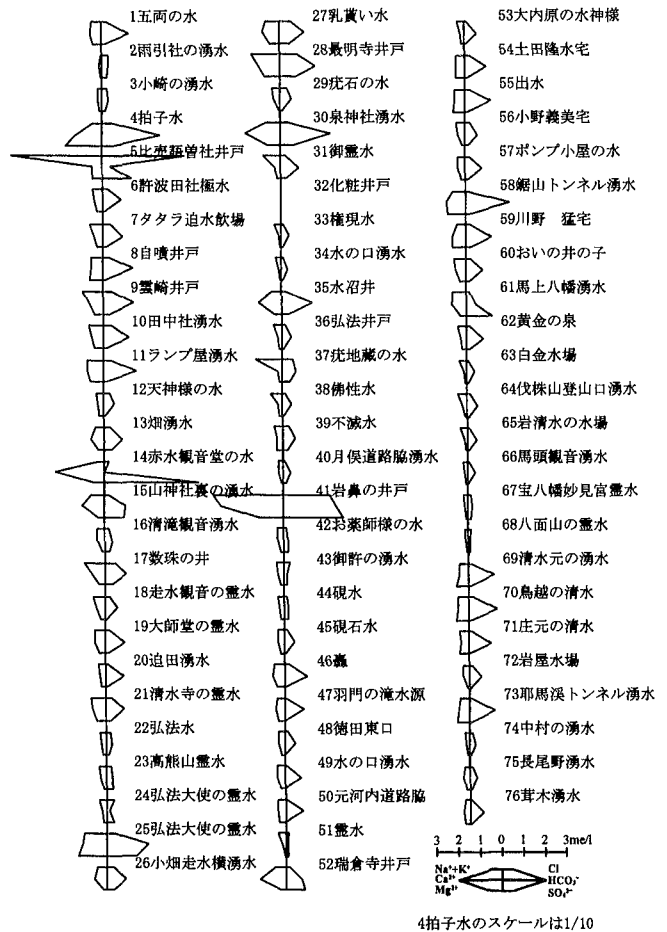


図3 ヘキサダイアグラム

水がほとんどで、多様な水質を示すことが特徴といえるであろう。また、湧出量と水質から更に、①国東半島、②鹿鳴越山群とその隣接地域、③その他の地域、の3つの地域に細分できることが分かった。

国東半島の湧水はそのどれもが非常に湧出量の少ないもので、かつ数も少なかった。湧出量と水質からは、大きな火山体としての涵養湧出機構とは無関係で、局所的な湧出機構を持ったごく小規模な湧水といえるであろう。またその分布は、両子山を通る南北方向の中心線上に存在していることが特徴である。それぞれが異なる水質を示しているが特に特徴的な湧水は、第四紀噴出物から湧出する清滝観音の湧水と弘法大師の霊水、赤水観音堂の水および鉱泉の拍子水であった。

鹿鳴越山群の湧水はその数も量も非常に豊富で、水質の地域的な特徴はほとんどなく、典型的なCa-HCO<sub>3</sub>型の水質を示した。

その他地域の湧水は多少の違いはあるものの、国東半島ほどではなく概ね安山岩地域の地質を示し、平野部の湧水を除いて人為的汚染の影響はみられなかった。

大分県北部地域の湧水は、第三紀層に覆われた表流水の非常に乏しい地域にあり、そこは旱魃被害の非常に多い土地柄であった。それを物語るように、国東半島の湧水は、弘法大師が住民の苦難を見かねて見つけ出したと伝えられる湧水が多く見られる。これらの湧水は、水の乏しい地域に生活する人々にとっては命の水であり、どれも霊水として崇められ大切にされてきた。対照的に鹿鳴越山群の湧水は数量ともに豊富であり、水の存在自体が当然のこととして、伝説などもほとんど無く、住民のほとんどが知らない状況であった。しかし、鹿鳴越山群の湧水は、1797年二宮兼善によって著された「図跡考」の記述通りの湧水が存在し、200年間その利用形態にほとんど変化がないという点で貴重である。

近年の名水ブームで大分県各地の湧水は、休日ともなると県内、県外から多数の人々が訪れ賑わっているが、湧水は地下水環境のよい指標であり、将来の水資源としても貴重なものである。災害防止の観点からも湧水の動向には非常に注目すべき点があり、現在の環境に安心することなく、しっかりとした保全体制をとってほしいと願う次第である。

## 謝辞

日本文理大学環境科学研究所元所長村谷俊雄教授には実験室およびイオンクロマトグラフを快く使用させていただいた。大分県民の方々には多くの情報をいただき、湧水を紹介していただいた。また日本文理大学学生諸君には現地調査を手伝っていただいた。ここに記して感謝の意を表する。

## 参考文献

- 志賀史光・川野多実夫・小石哲史(1983)：国東半島陸水の水質、『国東半島 一自然・社会・教育一』大分大学教育学部，72～84.
- 森山善蔵・日高 稔・堀 五郎・津崎俊幸(1983)：国東半島の地質、『国東半島 一自然・社会・教育一』大分大学教育学部，29～62.
- 日出町(1986)：『日出町誌 資料編』日出町，1243 p.
- 井倉洋二・吉村和久・久保田勝義・中尾登志雄・荒上和利(1994)：九州山地中央部における降水および樹幹流のpHと溶存成分．九大演報，No.71，1－12.
- 河野 忠・田川豊治・藤原秀二(1996)：国東半島と鹿鳴越山群の名水．地下水学会誌，Vol.38，No.2，137～143.

- 北岡豪一・河野 忠(1999)：くじゅう火山群の湧水と河川水の安定同位体比とトリチウム濃度. 大分県温泉調査研究会報告, No.50, 15~18.
- 大河内正一他(1999)：温泉水および皮膚のORP(酸化還元電位)とpHの関係, 温泉科学, Vol.49, No.2, 59-64.
- 北岡豪一・河野 忠(2000 a)：くじゅう連山の湧水調査(Ⅱ). 大分県温泉調査研究会報告, No.51, 73~80.
- 河野 忠(2000 b)：硫黄山噴火前後の周辺湧水の動向. 大分県温泉調査研究会報告, No.51, 29~34.
- 河野 忠(2000 c)：地下水・湧水の湧出形態と水質形成機構の解明 —弘法水を例として—. 河川整備基金助成事業研究成果報告書, 69p.
- 大河内正一他(2000)：二酸化炭素泉のORPとpHの関係, 温泉科学, Vol.50, No.2, 94-101.
- 河野 忠(2001)：大分県南部地域湧水の水文化学的研究. 大分県温泉調査研究会報告, No.52, 27-35.
- 河野 忠(2002 a)：大分県中部地域湧水の水文化学的研究. 大分県温泉調査研究会報告, No.53, 21-28.
- 河野 忠(2002 b)：高知県の名水. 地下水学会誌, Vol.45, No.4, 325-335.
- 河野 忠(2003)：大分の伝説の水を科学する. 辻野 功編『大分学・大分楽』明石書店, 99-113.

## 地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究(3)

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

田 中 良 和・宇津木 充

### 要 旨

2000年7月から2003年5月の期間に、伽藍岳では白土鉾山の北部に位置する3地点で1~2 n T/年の磁場減少が観測されたが、他の5地点では変化が認められない。一方、鶴見岳の赤池噴気地域では、噴気に近い点で約+5 n T/年、やや北の地点では約-5 n T/年の磁場変化が観測され、地下における磁化の増加、つまり冷却の進行が示唆される。3年におよぶ繰り返し観測により、両地域での磁場変動の概要を把握出来たが、磁化変化の位置や大きさの決定には至らない。考察を深めるには、連続観測を含む観測地点を増やすことが必要である。

### 1. はじめに

火山岩には多くの磁性鉱物が含まれていて帯磁している。地球磁場の環境下で冷却した際に熱残留磁化を獲得したものである。この磁化は通常、200℃以上で強い負の温度依存性を示し、約600℃あたりで磁性を失う。熱変質や酸化を受けない限り、温度変化に対して可逆的である。この性質を用いると、地表面での磁場観測から地下の温度状態を把握出来る。筆者らは阿蘇火山の火口近傍において、多地点の連続や繰り返し地磁気観測を行って、活動火口直下の蓄熱状態の時間推移を把握し、火山活動予測に役立てている。大分県九重硫黄山では1995年の水蒸気噴火直後からプロトン磁力計による地磁気全磁力観測を行って、最大の変化地点では40 n T/年を超える変化が持続していることを見出した。多数地点の観測結果を用いて、磁化変化の中心は在来噴気のC領域付近の深さ数百mで、磁化が増加していることを求めた。火山岩の磁化は温度上昇で減じるから、地下では冷却の進行していることが示唆される。磁化の変化から、地下の火山岩を冷却するために要した熱量は数100メガワットに及び、九重硫黄山における定常的な噴気放出エネルギーと整合的である。このことは、地下深部からの熱の供給ではなく、噴気地域の地下に蓄積していた熱が噴気活動を通して放散している事を示唆する。本当に、水蒸気爆発以前に蓄熱が進行していたか否かは、噴火以前に地磁気観測がなされていないので分からない。しかし、阿蘇火山の火口直下の熱的状态は、火口が湯溜り状態で閉塞されている場合には蓄熱が進行し、開孔状態では放熱過程に転じて、消長を繰り返すことが知られている。地熱兆候を示す地域において噴気の増大が認められた場合、磁化が増大すれば浅い部分に蓄積されていた熱が放散されているので危険度は比較的少ないと判断できるし、逆に噴気が減少した場合に磁化が減少すれば蓄熱が進行しているので遠からず水蒸気爆発などを生じる危険が予想される。このようなわけで、本研究では、鶴見岳山頂部にある赤池噴気と別府伽藍岳を対象として、地磁気観測によって地下浅部の熱的推移を把握しようとする。

この報告では、2003年4月までに繰り返し観測で得られた別府鶴見岳赤池噴気孔近傍および別府伽藍岳における磁場変化の傾向を提示して磁場観測の問題点を考察する。

地表で観測される地磁気変化には地殻内部に起因する現象に加えて、電離圏や磁気圏あるいは太陽に起源する磁場変化が重畳している。従って、一地点のみの磁場観測だけでは地殻内部に起因す

る磁場変化は見いだせない。通常、外部磁場変動は比較的一様な場を作るから、2地点の差を求めると概略除去できる。この様にして参照地点との差を求めたものを単純差と称している。ここでは京都大学火山研究センターにおけるプロトン磁力計の毎分値を参照している。

## 2. 鶴見岳赤池噴気孔近傍での磁場変化



図1. 鶴見岳の繰り返し磁気点

鶴見岳は角閃石安山岩からなる鐘状火山である。867年に噴火の記載があり、内山への縦走路の東部には赤池噴気孔が現存しており、活火山に上げられている。この噴気活動の消長は明らかではないが、磁場観測による把握を目標として、噴気孔の北部50mあたりに1台のプロトン磁力計(KM622)を設置して、5分値を測定している。また、縦走路から赤池噴気孔に至る約500mの区間に4点の繰り返し磁気点を設けて、GSM-19型オーバーハウザープロトン磁力計を用いて繰り返し測定を行っている。センサー中心の地上高さは2.38mで、支柱は非磁性の三脚と玉レベルを用いて鉛直を保っている。これらの観測地点を図1に示す。

### 2-1. 赤池噴気での繰り返し磁場観測について

2000年8月から2003年4月までに実施された6回の観測結果を図2に示した。各地点での測定は約5分程度の中に30から60回なされ、日変化や外部磁場変動の影響は、同時刻の京都大学火山研究センターの磁場測定値を差し引くことで除去してある。図2では4地点の磁場変化の傾向が一覧で

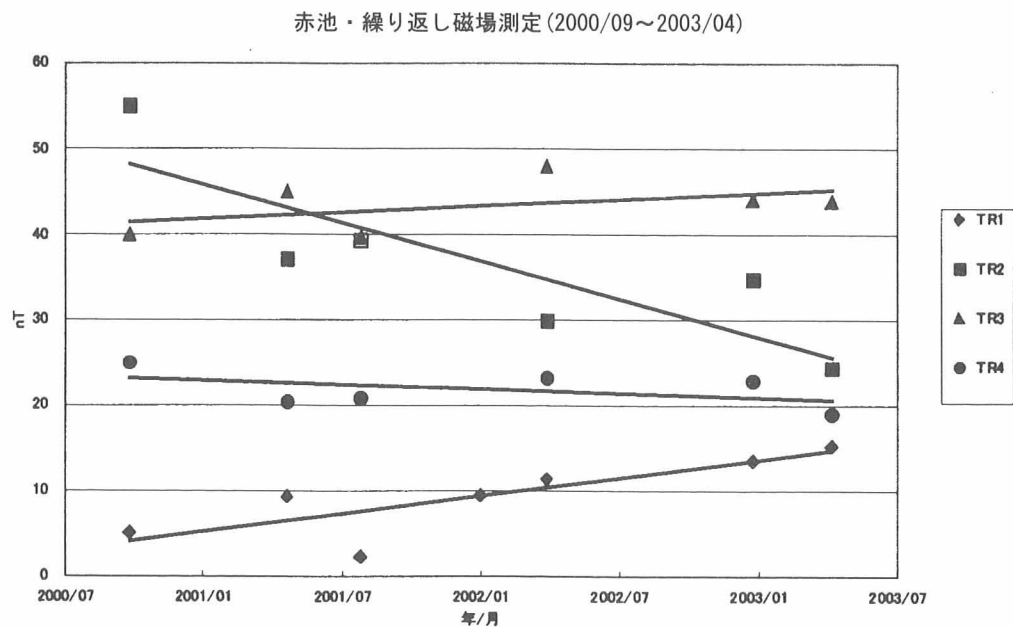


図2. 鶴見岳赤池噴気に於ける地磁気変化



きるように、各地点ごとに一定のオフセットを施してある。また、変化の傾向を見るために観測地点毎の回帰直線が示されている。約3年に及ぶ繰り返し観測から以下の傾向が分かる。

- 1) TR 1の磁場変化は約10 n T増加している。
- 2) TR 2の磁場変化は約20 n T減少しておりTR 1とは逆センスである。
- 3) TR 3, TR 4の磁場変化は極めて小さい。

一般に、地下の浅い部分に磁気異常源を想定すれば、源の南側と北側で変化の符号が逆転し、距離減衰が著しい特徴がある。また、南側が増加しておれば磁化の増加であり、岩石の磁化温度特性を考慮すれば冷却を意味する。従って赤池噴気における磁場観測結果からは、TR 1とTR 2の間の極浅い部分で冷却が進行している事が推定される。TR 1とTR 2の距離は僅か50m程度であるが、TR 1は赤池の主噴気孔の北東約30mに位置し、周辺は白土化していて各所に弱い噴気が噴出している。一方、TR 2は部分的な変質領域に位置し、地熱兆候は見られない。我々の観測は4地点のみであり、赤池噴気の活動全体を反映したものであるのか、あるいは極めて局所的な未変質火山岩の磁化変化を捉えているのかは判断できない。いま少し東西方向に広がりを持たせた観測が必要である。TR 3やTR 4では変化量が小さく連続観測でないと短期間に変化の様相を知ることは出来ない。

前回の報告の図2（大分県温泉調査研究会報告第53号58ページ）において、TR 3の2001年7月28日のデータは疑わしいと記載していた。その後のデータの見直しで誤りが見出され、この報告の図2では訂正してあることを付記しておく。

## 2-2. 赤池の連続観測について

2002年までの結果の概要は、既に昨年度の報告書に記載したとおりである。その後、若干のデータが追加されたものの、センサーを取り付けていた樹木が倒れて観測中断を余儀なくされている。つまらぬ出来事ではあるが反省すべき点があるので状況を記しておく。2002年12月30日にTR 2地点のKM磁力計の記録回収を行ない、磁力計の動作不良を見出した。蓄電池は放電状態であったが、積雪があり原因は把握できなかった。2003年4月13日の蓄電池交換の際に、センサー取り付け樹木が転倒してセンサー破損やケーブル断線を生じている事を発見した。転倒した樹木は幹周りが80cmを超えていたが、主根は無く表層部にのみ広がっていた。現場は、急な北向き斜面で、下流に向かう摂理が発達していて脆く、風化が進んでいる。このため強風時に安定を失い転倒したものと判断された。この付近は磁気勾配が強く、3m高さ程度にセンサーを設置しないと良好な信号が得られない。本格的なセンサー台を設置することは可能ではあるが、復旧の価値があるかどうかの判断に苦慮している。

### 3. 別府伽藍岳に於ける地磁気変化



図3. 伽藍岳の磁気点配置

伽藍岳は鶴見連山の北端に位置する比高350mの鐘状火山で、同連山の中で最も強い地熱兆候を示している。伽藍岳の南側には円弧状の崩壊地形が発達しており、白土鉱山として利用されてきた。この鉱山の北端には小さい泥火山やジェット音を発する強い噴気孔の他に、いくつかの弱い噴気孔が存在する。西側は塚原温泉である。磁気点はこの鳴動噴気の南北に8地点の繰り返し磁気点を設け、2000年7月から繰り返し観測を始め、2003年5月までに7回の測定がなされた。

磁場測定は赤池と同じでGSM-19型オーバーハウザープロトン磁力計を用いて、センサーの地上高さは2.38mである。観測地点の配置は図3に示してある。

#### 3-1. 別府伽藍岳における地磁気変化の特徴

測定結果は火山研究センターを基準として単純差を求めて日変化補正して図4に示してある。図では観測地点毎に一定のオフセットを加えて見やすくしてある。トレンドを求める際、N1地点の2001年7月やS0地点の2003年4月などの一見して不良なデータは除去してある。図4から以下のことが分かる。

- 1) N1, NE, S0の3地点の磁場変化は3年間に約4~5 nT減少している。
- 2) 他のS1~S6には有意な変化は認められない。

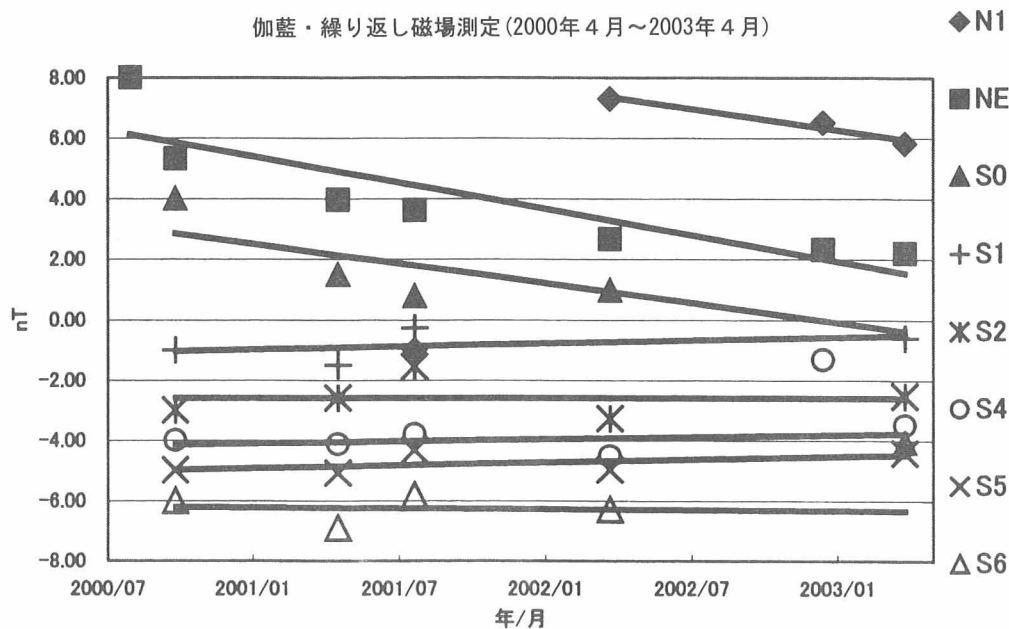


図4. 伽藍岳の地磁気変化

変化の認められた3地点は、白土鉱山の北東部に位置する強い鳴動音を発している噴気孔の近くにある。変化の顕著なN1とNEの表層部分は白土化していないが、S0およびS1～S6地点の表層部は白土化している特徴がある。このことは、地下における熱磁気変化に起因すると考えて良さそうである。しかし、磁気異常の原因が地下に存在すれば源の北側と南側で変化の符号が逆転し、南側の変化量の大きい事が期待される。ここに得られた結果は、このような通常の磁気モデルには符合しないから、磁場変化の原因は単純ではなさそうである。現時点では、変化量の小さいことや観測地点の不足もあって何を捉えているのか釈然としない。考察を深めるには磁気点配置を東西方向にも広げて磁場変化の全貌を把握する必要がある。

#### 4. まとめ

赤池では噴気兆候は小さいのに大きな磁場変化が観測されている。しかし、50m程度で急速に減衰していることから源は浅い事が推定できる。一方、伽藍岳では地熱兆候が大きいにもかかわらず大きな磁場変化は観測されていない。3年におよぶ8回の繰り返し観測から変化傾向を求めた結果、近接した3地点で $-5\text{ nT}$ 程度の磁場変化が見出された。しかし、既知の磁気モデルでは説明が困難である。観測地点を噴気兆候の見られる近傍に限定したことに起因するかも知れないが、変質部分と未変質部分の境界付近に磁気異常が見出されているようである。地下の磁化構造を一様と考えるのではなく、不均質磁化の境界部分での磁気異常が地表ではどのように見えるのかなどの検討を進めるとともに、考察を深めるには磁気点配置を見直し、東西にも広げる努力が必要である。また、繰り返し観測では補正の誤差が避けられず要所では連続観測を行うことが必要である。

#### 参考論文

- 橋本武志・田中良和・宇津木充(2001)：阿蘇火山における地磁気変化について(1991-2000年)、京都大学防災研究所年報、第44号B-1, 333-343.
- 坂中伸也・田中良和・宇津木充・橋本武志(2000)：九重硫黄山での地磁気変化による噴気火道の形状推定、秋田大学工学資源学部研究報告、第22号、25-38.
- Tanaka, Y. (1993) : Eruption mechanism as inferred from geomagnetic changes with special attention to the 1989-1990 activity of Aso Volcano, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 56, 319-338.
- 田中良和・宇津木充(2001) 地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究、大分県温泉調査研究会報告、第52号9-14.
- 田中良和・宇津木充・橋本武志(2002) 地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究(2)、大分県温泉調査研究会報告、第53号57-63.



# 自然電位調査による鶴見岳周辺域の地下熱水系の推定

北海道大学大学院理学研究科

橋本 武志

京都大学大学院理学研究科

網田 和宏・長谷 英彰  
田中 良和

## 要 旨

鶴見火山において自然電位分布を調査した。地熱流体の上昇域に対応する高電位異常が鶴見岳山頂と鞍ヶ戸の間、および伽藍岳の南斜面にあることが明らかになった。伽藍岳と内山の間には明瞭な電位のギャップがあり、それは伽藍岳の低比抵抗熱水変質地帯と内山溶岩ドームの高比抵抗体を画する境界に対応していると推定される。鶴見岳山頂部の高電位異常は、その空間的広がり（水平方向におよそ1 km）から考えて、山頂噴気のごく近傍に限られた局所的現象を反映しているのではなく、山体規模の天水・熱水循環系に関わるものであると思われる。

## 1. はじめに

鶴見火山は、別府温泉の西方に位置する火山群で、東西6 km、南北6 kmの範囲に、最高峰の鶴見岳（標高1374.5 m）をはじめ、内山、大平山（扇山）、伽藍岳、鬼箕山などの火山体から構成されている。近年の研究から、この鶴見火山は別府温泉への地熱流体の供給域にあたりと考えられており、その意味で別府温泉の成り立ちを考える上で非常に重要な火山である。しかし、地熱流体の上昇位置や規模など詳細についてはよくわかっていない。

そこで本研究では、鶴見火山において自然電位のマッピングを行い、地熱流体の上昇域を推定することを試みた。既に著者らのグループはこの地域において予察的な自然電位調査を1999年に実施しており、本研究ではこれまでの結果にいくつかの調査測線を追加して考察を行った。

## 2. 火山の自然電位

自然電位とは、一般に大地の2点間に生じる電位差のうち、直流成分もしくは非常にゆっくりとした変動成分で、かつ地球内部にその原因があるものを指す。自然電位を発生させる原因としてはいくつかのメカニズムが考えられるが、活動的火山や地熱地域で検出される自然電位の異常は、主として流動電位（多孔質媒質中の流体流動に伴う、電荷の選択的輸送によって流れ方向に発生する電位差）によるものと考えられている。特に、噴気地や高温域では数10 mV から数 V の高電位異常が観測されることがあり、それらはしばしば地下における熱水対流の上昇部に対応するものと解釈されている。

火山における系統的な自然電位観測としては、HawaiiのKilaueaの例が先駆的である。Zablocki et al. (1976) は、Kilaueaの噴火口に対応した高電位異常を見だし、その時間変化からダイクの貫入に伴う熱水対流系の消長を推定した。彼らの成功を受けて、その後世界各地の火山で観測が行われるようになった (e.g. Zlotnicki et al., 1994; Hashimoto and Tanaka, 1995; Kanda and Mori,

2002)。それらの多くもやはり活動火口や噴気地で高電位異常が見られることや、噴火に伴って電位が上昇する現象を捉えている。

このように、火山活動に伴って自然電位が高い、あるいは高くなるという現象がある一方で、地熱活動がない通常の山体では、一般に「地形効果」と呼ばれる電位分布がみられることが多い。これは、山頂部が山麓部に対して負の電位を示し、地形標高を逆にしたような「V字型」の電位分布をその特徴とする。山頂部に火口のある円錐型の火山では、この「地形効果」に山頂部の高電位異常が重畳した「W字型」の電位分布になることが多く、このような典型例は阿蘇山(長谷他, 2003)や三宅島(Sasai et al., 1997)に見られる。自然電位調査の有用性は、比較的簡便な観測手法でありながら、このように電位分布の形状によってその火山の地下に熱水活動が存在するかどうかを推測することができる点にある。

### 3. 測定地域と測定方法

本研究の自然電位調査測線の分布をFig. 1に示す。測定は原則として登山道に沿って行っており、歩測により50m間隔で大地の電位を測定したものである。ここに示した調査測線には、1999年に実施したものと2003年に実施したものがあり、測線CFおよびGHが2003年、それ以外は1999年に測定されたものである。測定用の機材は、両者とも同等のものを用いた。電位センサーとしてCu-CuSO<sub>4</sub>型およびPb-PbCl<sub>2</sub>型電極、電線には軽量のラッピング線を、電位計には、入力インピーダンス

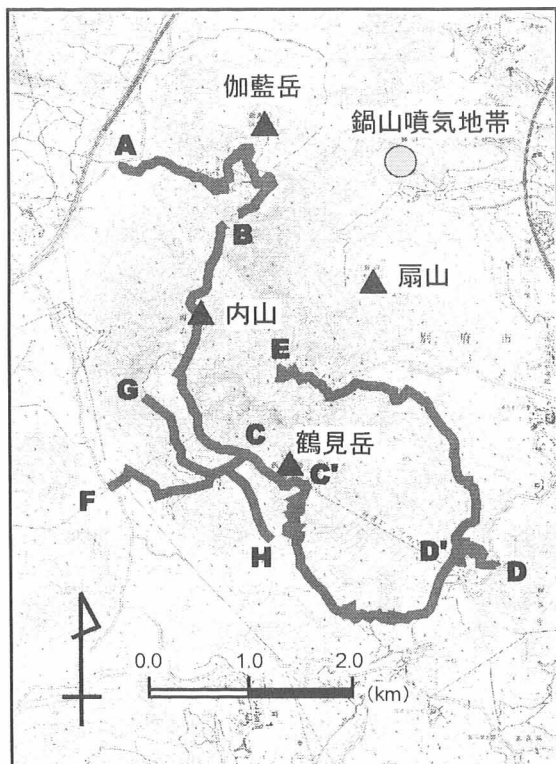


Fig. 1 : 自然電位測線一覧図

10MΩ以上のデジタルマルチメータを使用した。測定方法については両調査で若干異なった方式をとっている(1999年はleap-frog法、2003年はtotal field法)が、測定方法の違いによって最終的な結果(電位分布)が大きく異なることはない。それぞれの測定点では、近接した3~4ヶ所に深さ5cm程度の穴を掘って表土を剥ぎ、電極と大地の間に良好な接地を確保した上で基準点との電位差を測定した。異常値を除いた平均値をその地点の電位として採用した。測定の時期と方式をTable 1にまとめておく。

測線	測定日	測定方式
A-B	Aug.14, 1999	Leap-frog
C'-B	Mar.3-4, 1999	Leap-frog
C'-D	Feb.17, 19, 1999	Leap-frog
D'-E	Aug.15-16, 1999	Leap-frog
F-C	Mar.9-10, 2003	Total field
G-H	Mar.10, 2003	Total field

Table 1 : 各測線の測定時期と測定方式

### 4. 測定結果とその解釈

測定データを、Fig. 1のA地点を電位基準として整理し直し、その分布から読みとれる特徴についてまとめる。まず、Fig. 2 aに、伽藍岳から内山を経て鶴見岳の南登山口に至るルート沿いの地

形標高と電位分布を示す。この測線は、図中の①～⑤の区間に分けて考えるとその特徴が整理しやすい。

まず、①と⑤は山麓部であり、山頂部に対して電位が高く、かつ変化に乏しいという特徴が認められる。特に、①の伽藍岳周辺部は殆ど等電位である。中央部の③の区間では電位の高まりが見られる。これと、①および⑤をつなぐ部分（②および④）では、大まかにみると山頂部に向かって電位が低下する傾向にある。全体としては、第2章に述べた「W字型」の電位分布と見なすことができる。

電位分布が「W字型」であることから、鶴見火山の内部には、熱水対流系が形成されている可能性が指摘できる。山頂部の高電位のピークが鶴見岳山頂と鞍ヶ戸の間にあることは、鶴見岳山頂北西部に噴気活動が認められることとも整合的である。Fig. 2 a の①から⑤に対して今少し物理的な解釈を与えるならば以下ようになる。区間②および④は、基本的には天水の流下に伴う「地形効果」が顕著に表れた領域であり、中央の領域③では、地下の熱活動によって天水の流下が抑制されているか、もしくは対流系の上昇部にあたるため、「地形効果」が表れずに相対的に高電位の異常を形成しているものと考えられる。区間①は伽藍岳南部の熱水変質域に対応しており、この地域の表層比抵抗は数百Ωmと低いことがNEDO (1989) のCSMT調査や大羽他 (1997) の直流電気探査によって明らかにされている。この区間で電位の起伏が殆ど認められないのは、こうした低比抵抗がもたらす短絡効果によるものであろう。区間⑤では熱水活動はないものの、谷部であるため表層に火山灰等の低比抵抗土壌が堆積していることによって同様の効果が働いているものと推測される。

大羽他 (1997) によれば、伽藍岳の南斜面は比抵抗が極めて低だけでなく、自然電位も周囲に比べて高い。これに対して、伽藍岳の山頂部周辺は比抵抗が高く、自然電位分布も顕著な「地形効果」の特徴を示して低電位となっている (Fig. 3)。彼らはこれらの事実から、伽藍岳では、南斜面の泥火山を含む噴気地帯と山頂部との間に明瞭な比抵抗境界があり、南斜面側に二相流状態で流体が上昇してきていると推定した。この結果を念頭に置いて本研究の電位分布 (Fig. 2 a) を顧みると、伽藍岳 (区間①) と内山 (区間②) の間に見られる電位のギャップは、伽藍岳の熱水変質域の南側の境界に対応するのではないかと推測される。鶴見火山全体から見ると、伽藍岳はその北麓に位置するため、区間①の高電位は「地形効果」によるものとも解釈できるが、それだけではなく、

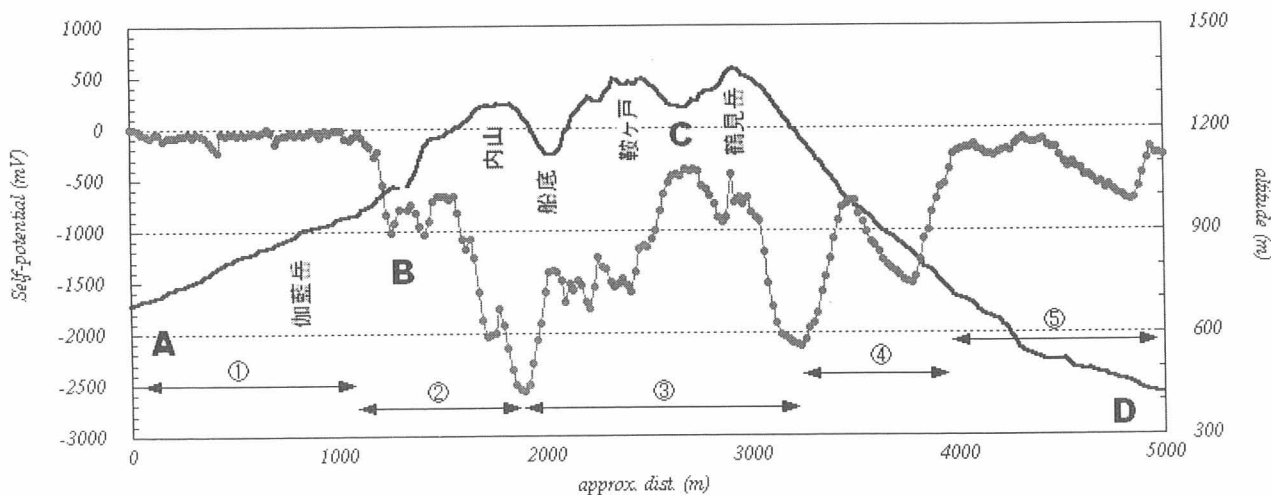


Fig.2 a : 伽藍岳から内山を経て鶴見岳南登山口に至るルート沿いの地形標高(実線)と自然電位分布(丸点線)。図中のA～DはFig.1中の記号と対応している。横軸はおよその水平距離。電位の基準はA点。

伽藍岳南部の流体上昇に伴う流動電位が重畳していると考えられるべきであろう。

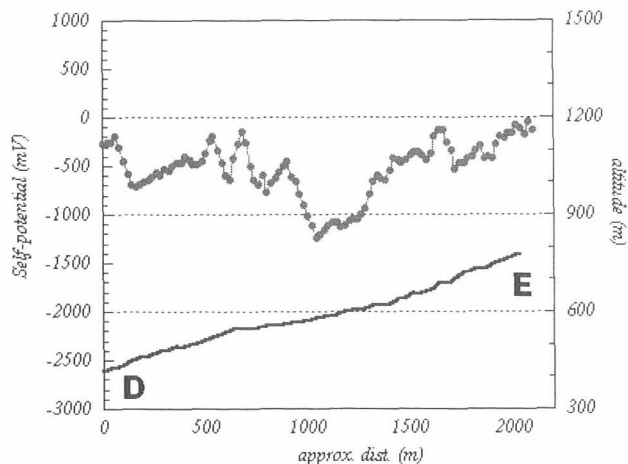


Fig.2 b (左上) : 南登山口から鶴見岳東麓を経て扇山との間に至るルート沿いの地形標高と自然電位分布. 横軸はおよその水平距離. 電位の基準はFig.1のA点.

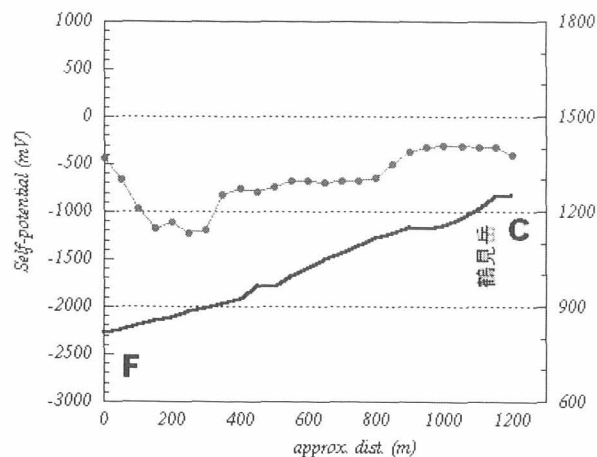
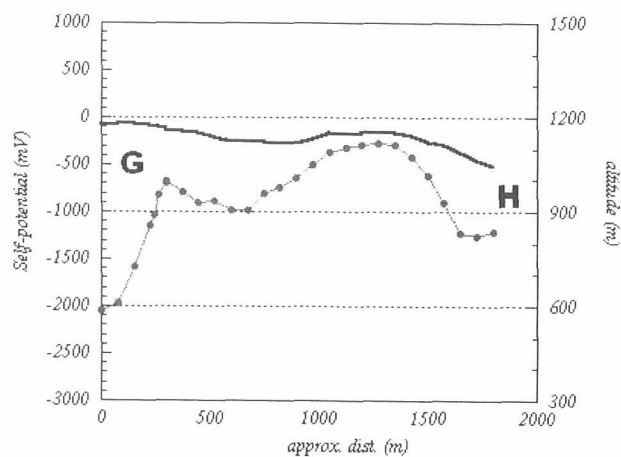


Fig.2 c (左下) : 鶴見岳西登山道入口から山頂部へのルート沿いの地形標高と自然電位分布. 横軸はおよその水平距離. 電位の基準はFig.1のA点.

Fig.2 d (右下) : 鶴見岳西側斜面をトラバースするルート沿いの地形標高と自然電位分布. 横軸はおよその水平距離. 電位の基準はFig.1のA点.



上でみた大まかな電位分布の特徴とそれについての定性的解釈は、他の測線についてもほぼ成り立っている。例えば、鶴見岳東斜面 (Fig. 2 b; DE測線) についても、山麓から中腹にかけての「地形効果」と、それより標高が高い部分での電位の上昇を見て取ることができる。また、鶴見岳西斜面 (Fig. 2 c; FC測線) についても同様の現象が認められる。Fig. 2 d に示したGH測線では、先のFig. 2 a に示した山頂測線と同じく、鶴見岳山頂と鞍ヶ戸の間に高電位のピークが読みとれる。これらのことから、鶴見火山では、山頂部で水平方向に1 km程度の広がりをもった高電位異常が存在することが明らかになったが、現時点では電位のコンター図を全域で得るだけの測定ができていない。ここでは、ある程度面的に測定できた鶴見岳西斜面についてのみコンター図を作成した (Fig. 4)。これによると、高電位異常の中心は、鶴見岳の山頂から約500m西に下った地点にあることがわかる。なお、この高電位が北東側に向かってどのように広がっているのかについては現時点でははっきりしない。これについて明確な答えを得るためには、C点とE点を結ぶ測定が必要である。



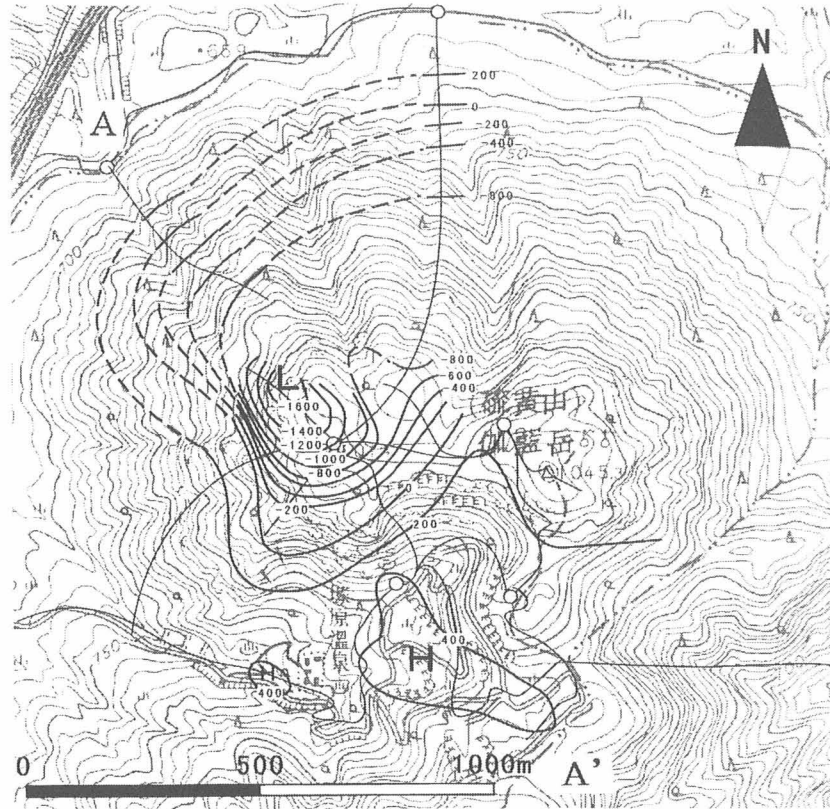


Fig.3 : 加藍岳の自然電位分布 (大羽他, 1997より)

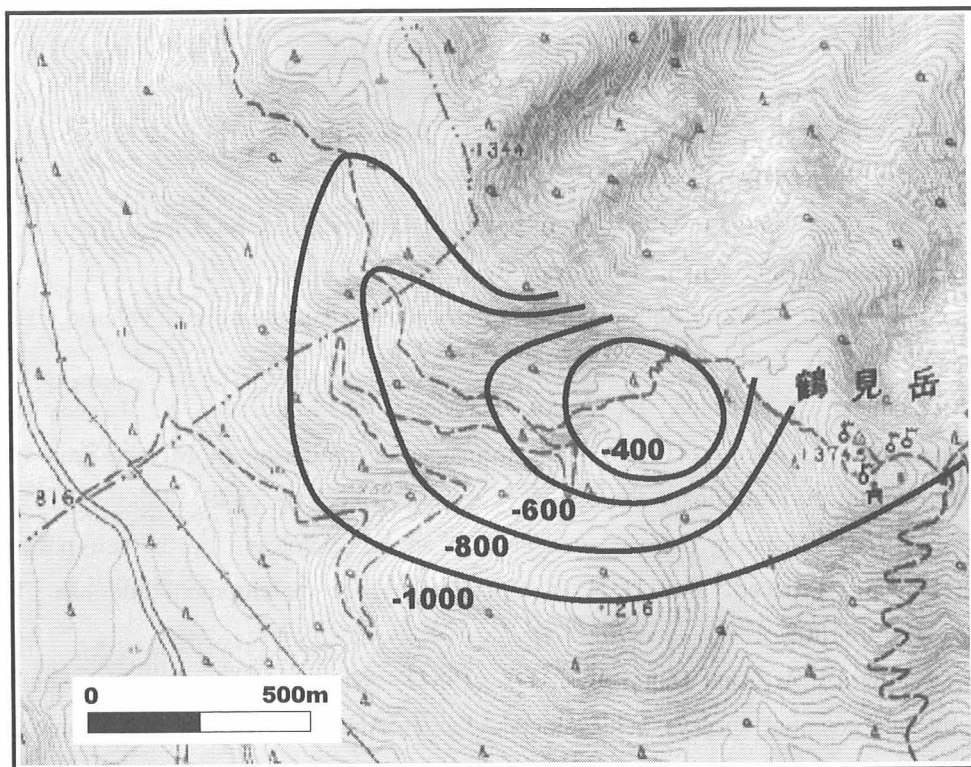


Fig.4 : 鶴見岳西斜面における自然電位分布. 単位はミリボルト. 電位の基準はFig.1のA点.

## 5. まとめと今後の課題

以上の知見から、定性的ではあるが鶴見火山の水理構造をFig. 5にまとめた。地熱流体の上昇域に対応する高電位異常は、鶴見岳山頂と鞍ヶ戸の間、および伽藍岳の南斜面に推定される。伽藍岳と内山の間には明瞭な電位のギャップがあり、それは伽藍岳の低比抵抗熱水変質地帯と内山溶岩ドームの高比抵抗体を画する境界に対応していると推定される。鶴見岳山頂部の高電位異常の広がり（水平方向におよそ1 km）から考えて、等価電流源の深度もまた1 km程度（海水面付近）であろうと推測されるが、電流源の位置・強度および等価流体流量など定量的な解釈の詳細は、比抵抗構造を取り入れた電位計算によらねばならない。現時点では、モデリングに供するだけの十分な面的データが取得できていないので、今後扇山周辺域および鶴見岳東斜面の電位データを得ることが望ましい。

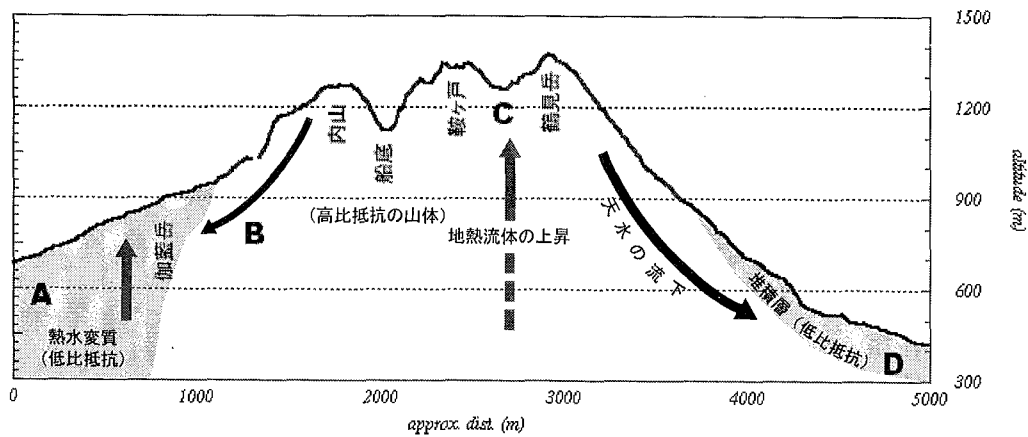


Fig.5：自然電位分布から推定した鶴見火山の水理構造。A～DはFig.1に示した記号に対応する。

## 参考文献

- 大羽成征・田中良和・由佐悠紀（1997）：伽藍岳の地熱調査(3)－自然電位測定による熱水流動系解明の試み－，大分県温泉調査研究会報告，48，13－20。
- 長谷英彰・田中良和・橋本武志・坂中伸也（2000）：阿蘇火山中央火口丘における自然電位観測，京都大学防災研究所年報，43，B－1，47－53。
- Hashimoto, T. and Y. Tanaka (1995) : Self-potential observations on Unzen volcano, Shimabara peninsula, Kyushu island, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 191－194.
- Kanda, W. and S. Mori (2002) : Self-potential anomaly of Satsuma-Iwojima volcano, *Earth, Planets and Space*, 54, 231－237.
- Sasai, Y., J. Zlotnicki, Y. Nishida, P. Yvetot, P. Morat, H. Murakami, Y. Tanaka, Y. Ishikawa, S. Koyama, and W. Sekiguchi (1997) : Electromagnetic monitoring of Miyake-jima volcano, Izu-Bonin Arc, Japan: A Preliminary Report, *J. Geomag. Geoelectr.*, 49, 1293－1316.
- Zablocki, C. J. (1976) : Mapping thermal anomalies on an active volcano by the self-potential method, Kilauea, Hawaii, *Proceed. 2nd U. N. symposium on the development and use of geothermal resources*, 1299－1309.
- Zlotnicki, J., Feuillard, M., and Hammouya, G. (1994) : Water circulations on La Soufriere volcano inferred by self-potential surveys (Guadeloupe, Lesser Antilles). *Renew of volcanic activity?*, *J. Geomag. Geoelectr.*, 46, 797－813.

# 大分川の河川水質に及ぼす温泉水の影響について

大分大学教育福祉科学部

川 野 田 実 夫

## 1. はじめに

大分川は流域面積646km<sup>2</sup>、幹川流露延長55kmの河川で、その規模は本邦の一級河川の中では小規模河川に分類される。しかしながら主要化学成分からみた河川水質は流域の温泉水の流入を受けて、塩化物イオン、炭酸水素イオン及びナトリウムイオンに富むという特徴を示す。

筆者は本報告第53号で、温泉開発や利用状況あるいは温泉活動の盛衰等をマクロに把握する手段として河川水中の塩化物イオンの測定について述べた。今回、大分川支流賀来川について塩化物イオン濃度の経年変化について若干の報告をする。

## 2. 大分川流域の温泉分布

流域の温泉は図1に示したように、本川流域には湯布院、湯平温泉、庄内温泉、挾間温泉そして下流部の市街地にも温泉が多数分布している。また支流阿蘇野川流域には白水鉱泉、阿蘇野鉱泉が、芹川流域には久住温泉、七里田温泉、長湯がある。さらに七瀬川流域には野津原町の妙見泉をはじめとする炭酸鉱泉群が、その下流大分市には塚野鉱泉がある。また賀来川流域にも最近新しい温泉が掘削されている。

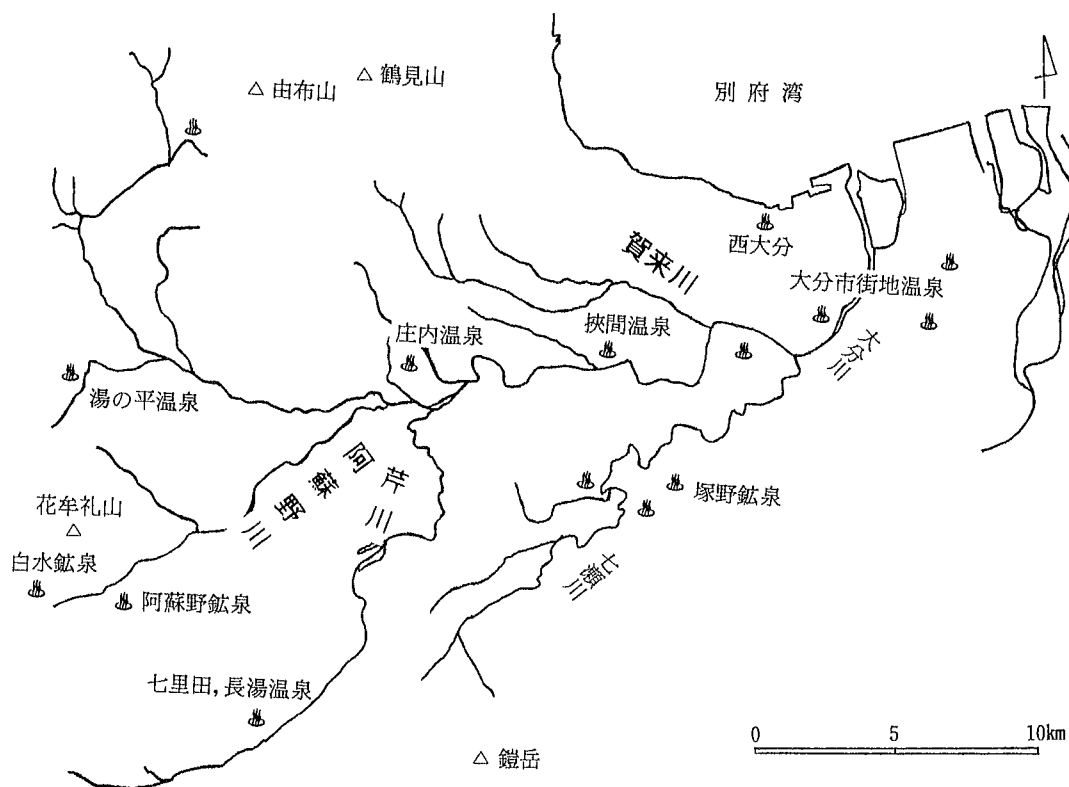


図1 大分川流域の温泉分布

### 3. 大分川水系の塩化物イオン濃度の経年変化

表1は大分県公共水域水質測定結果データベースから筆者が加工した各調査における塩化物イオン濃度の平均値を1997年度と1988年度を比較したものである<sup>1)</sup>。

この表から明らかなように1988年度の賀来川の塩値が10年前に比べて上昇していることが分かる。

表1 1997年度と1988年度塩化物イオン濃度の比較

調査地点	河川名	主要温泉群	Cl <sup>-</sup> (mg/l) 1997年度平均	1988年度平均
川西橋	大分川	湯布院	15.5	15.5
猿渡橋	芹川	長湯、七里田	8.0	8.2
天神橋	大分川	庄内、挾間	12.9	14.8 (20.6)*
小野鶴橋	大分川	野田山、小野鶴	17.4	13.6
賀来橋	賀来川	由布川、城島	22.3	13.2

\*大分大学教育学部化学教室資料 (1979)

### 4. 賀来川の塩化物イオン濃度の経年変化

表2に賀来川の塩化物イオン濃度を示す。調査地点は魚返は賀来泉橋で建設省筆者の値は賀来橋である。この河川の塩化物イオン濃度1994年頃までは20mg/l以下で平均値は15mg/l前後で推移していたが1995年に急上昇している。因みに1994年度の値をみると12回の観測データの内、最高が22mg/lで最低は10mg/l、平均値は15mg/lであり、明らかに1995年になって河川水中の塩化物イオンを高める温泉の開発がなされたことが推察される。

表2 賀来橋における塩化物イオン濃度 (mg/l)

観測期間 (年.月)	1969.6~70.1(8)	1995.4~96.3(12)	1999.6~00.2(5)	2002.12~03.3(3)
観測者	魚返 <sup>2)</sup>	建設省	建設省	筆者
最高値	16	80	22	28(2002.12.16)
最低値	6.4	12	6.9	22(2002. 2. 6)
平均値	9.5	27	15	25

### 5. おわりに

今回の結論は大分川支流賀来川の塩化物イオンが急上昇した時期が1995年であった事が特定されたことである。

大変雑駁な報告と原稿の提出が遅れて、このような形式になったことに対して心からお詫び申し上げます。

### 参考文献

- 1) 川野田実夫：大分川流域温泉の化学成分経年変化，大分県温泉調査研究会報告第53号，65-66 (2002)
- 2) 魚返祥子：河川の汚濁状況と大野川白滝橋における汚濁の進行について，大分大学教育学部卒業論文集，62-78 (1970)

## 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生活環境部生活環境課内に置き、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の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。

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。

## 大分県温泉調査研究会会員名簿 (順不同)

(平成15年7月1日現在)

職 名	氏 名	備 考
京都大学大学院理学研究科教授	由 佐 悠 紀	会 長
九州大学名誉教授	矢 永 尚 士	副 会 長
大分県生活環境部次長	古 長 正 次	副 会 長
大分県生活環境部生活環境課長	佐 藤 卓 男	常 務 理 事
九州大学名誉教授	古 賀 昭 人	
九州大学名誉教授	延 永 正	
大分大学名誉教授	志 賀 史 光	
大分総合検診センター会長	辻 秀 男	
大分大学名誉教授	森 山 善 蔵	
元大分大学教育学部教授	大 野 保 治	
大分大学教育福祉科学部教授	川 野 田 実 夫	理 事
国立別府病院リウマチ膠原病内科医長	安 田 正 之	理 事
九州大学生体防御医学研究所教授	牧 野 直 樹	
岡山理科大学理学部教授	北 岡 豪 一	
京都大学大学院理学研究科教授	竹 村 恵 二	理 事
京都大学大学院理学研究科教授	田 中 良 和	
京都大学大学院理学研究科助教授	大 沢 信 二	理 事
日本文理大学工学部助教授	河 野 忠	
大分大学工学部研究員	大 上 和 敏	
京都大学大学院理学研究科	網 田 和 宏	
京都大学大学院理学研究科助手	橋 本 武 志	
別府ONSEN地療法研究会(仁泉会畑病院)	畑 洋 一	
別府ONSEN地療法研究会(仁泉会畑病院)	畑 知 二	
別府ONSEN地療法研究会(大分県中央保健所)	東 貴 子	
(株)エスピーシーテクノ九州(温泉登録分析機関)	植 木 和 宏	
(社)大分県薬剤師会検査センター(温泉登録分析機関)	炭 本 悟 朗	
大 分 市 長	釘 宮 磐	理 事
別 府 市 長	浜 田 博	理 事
白 杵 市 長	後 藤 國 利	
杵 築 市 長	八 坂 恭 介	
真 玉 町 長	安 永 信 義	
国 見 町 長	金 山 尚 學	
山 香 町 長	緒 方 喜 代 美	



職 名	氏 名	備 考
挾間町長	佐藤成己	
庄内町長	首藤奉文	
湯布院町長	吉村格哉	理事
久住町長	本郷幹雄	理事
直入町長	伊藤隆弘	理事
九重町長	坂本和昭	理事
玖珠町長	小林公明	
天瀬町長	渡辺捷汎	理事
三光村長	櫛木晋一郎	
本耶馬溪町長	小野和彦	
耶馬溪町長	馬場 勇	
山国町長	池田勝一	
院内町長	川野哲也	
安心院町長	高田文義	
別府市観光経済部長	池部 光	
別府市温泉課長	安部和男	監事
別府市温泉課温泉企画係長	八坂秀幸	
大分県中央保健所長	渡辺英宣	監事
大分県中央保健所次長兼総務温泉企画課長	田中昭次	
大分県衛生環境研究センター所長	甲斐崇明	理事
〃 化学部長	城井 堅	
〃 微生物部長	内山静夫	
〃 化学部主幹研究員	溝腰利男	
大分県生活環境部生活環境課参事兼課長補佐	喜田正憲	

(会員数 57名)

書 記

職 名	氏 名	備 考
大分県生活環境部生活環境課課長補佐兼自然保護温泉係長	渡辺政治	
〃 主幹	佐伯 久	
〃 副主幹	稗田彰一	
〃 主任	橋本秀明	
〃 主事	立花優子	

(5名)

大分県温泉調査研究会報告 第54号

平成15年7月 印刷  
平成15年7月 発行

発行者 大分県温泉調査研究会  
〒870-8501 大分市大手町3丁目1番1号  
大分県生活環境部生活環境課内  
電話 097-536-1111 内線 3018  
FAX 097-532-7671

印刷者 〒870-0022 大分市大手町2丁目3番4号  
有限会社 舞鶴孔版  
電話 097-532-4231