

# 大分県温泉調査研究会報告

## 第 62 号

平成 23 年 7 月

---

### 目 次

両子山の第四紀マグマのNd同位体による研究……………柴田知之 他1名………… (1)	
温泉水の <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr同位体比の経年変化(1)……………芳川雅子 他1名………… (5)	
長湯温泉周辺の表層電気伝導度分布……………鍵山恒臣 他1名………… (9)	
MT法を用いた鶴見・伽藍火山周辺域における地下比抵抗構造調査・その(2) ……………宇津木 充 他1名………… (13)	
大分県における温泉水リチウム濃度と水道水リチウム濃度の比較 ……………寺尾 岳 他4名………… (17)	
湯山地域の土壌セクションを用いた第四紀後期火山活動史……………竹村恵二………… (23)	
温泉水などに含まれるリチウム(有価金属)の賦存量調査とその回収について ……………九電産業(株)………… (29)	
温泉療法が慢性心不全患者の血中サイトカインに与える影響……………牧野直樹………… (33)	
山香町の温泉の生成機構……………大沢信二 他4名………… (35)	
別府地域の河川水質への温泉排水の影響評価……………酒井拓哉………… (47)	
付着スケールの洗浄と抑制に及ぼす温泉成分の違い……………松尾機器産業(株)………… (59)	
由布院温泉における地域構造の変容に関する考察……………中山昭則………… (65)	

---

# 序

大分県温泉調査研究会は、「大分県内における温泉の科学的研究をして公共の福祉の増進に寄与することを目的」として、昭和 24 (1949) 年に設立されました。以来毎年、途切れることなく調査研究事業が実施され、得られた成果は機関誌「大分県温泉調査研究会報告」に掲載・公表されてきました。このように 60 年以上もの長期間にわたり、一地方における温泉の研究が継続されているのは稀有のことです。このことは、これに関わってきた人々の大いなる努力があったからこそですが、一方では、大分県を中心に展開している中部九州の温泉現象の多面的な魅力を物語っています。

蓄積された論文報告の数は 500 編を超え、また、温泉分析の件数は、温泉法に基づく登録分析機関で行われたものだけでも 4000 件に達しようとしています。これらは温泉研究者・技術者には知られているとは言え、県民を始めとして、社会に広く行きわたっているとは必ずしも言えない状況にありました。しかし、このたび、県のご配慮・ご努力により、昭和 25 年 7 月発行の第 1 号からの全号および温泉分析書を、大分県のホームページに上げていただくことが出来ました。画期的なことと思っております。

第 1 号には 5 編の論文報告が掲載されていますが、著者の先輩諸氏は既に鬼籍に入っておられます。興味深いことに、この号は、京都大学理学部地球物理学教室が出版していた学術誌「地球物理」の第 8 巻第 2-4 号を兼ねていました。そして、巻頭の序言には、初代会長・長谷川万吉教授が、本研究会が設立されるに至ったいきさつを述べておられます。いまや、この序言から始まる本研究会のすべての活動に触れることが容易になりました。是非、活用していただきたいと願っております。直接アクセスできる URL は下記のとおりです。

「<http://www.pref.oita.jp/site/onsen/onsen-kenkyu.html/>」

さて、本年もここに、平成 22 年度の活動を記した機関誌第 62 号を出版する運びとなりました。本号には 12 編の報告が掲載されています。多岐にわたる研究課題は、いずれも会員諸氏が自主的に選択したものであり、斬新な観点と手法による研究成果に接することができるのは大きな喜びです。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の意を捧げる次第です。

これまでも述べてきましたが、温泉に関わる事柄は、特に温泉資源の観点において、研究・行政の両面とも、新たな局面に向かっていきます。こうしたときにあたり、会員諸氏の研究のますますの進展と本会の持続的発展を期待し、関係各位・諸機関の引き続いてのご協力をお願いいたします。

平成 23 (2011) 年 7 月  
大分県温泉調査研究会  
会長 由佐悠紀



# 両子山の第四紀マグマの Nd 同位体による研究

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設  
柴田知之・三好雅也

## 要旨

国東半島に位置する両子山火山のマグマの起源解明を目的に、昨年度 Sr 同位体比を測定した 8 試料の中から火試料について、Nd 同位体組成の分析を行った。Nd 同位体組成も、主要元素組成、微量元素組成、および Sr 同位体組成と同様に姫島火山群の火山噴出物の組成と類似していることが明らかになった。

### 1. はじめに

両子山火山は 1.1~1.5 Ma に活動した国東半島中心部に位置する火山で、国東半島ほぼ全域にその噴出物は広く分布している (e.g. 鎌田ほか, 1988; Kamata, 1998)。また、0.1Ma 頃に、両子山火山近傍で姫島火山群が活動している。当地域は沈み込むフィリピン海プレートが水平方向で屈曲している地点であるため、両子山火山のマグマ起源の研究は、大山をはじめとする西南日本弧の火山と九州弧の火山のマグマ起源の違いを解明する上で重要であると考えられる。このような目的で 2005 年度以降調査研究を継続している。今回、主要元素組成、微量元素組成、および Sr 同位体組成の分析が完了している、変質の少ない 6 試料の Nd 同位体組成の分析を行ったので報告する。

### 2. 分析方法

Nd 同位体分析は京都大学理学研究科地球熱学研究施設で、表面電離型質量分析計(MAT 262)を用い、Yoshikawa et al. (2001)および Shibata et al. (2007)の方法に従い測定した。標準試料 La Jolla の繰り返し測定結果は  $0.511851 \pm 33$  ( $2\sigma$ ,  $n = 16$ ) であった。

### 3. 結果と考察

両子山の微量元素組成を、Sr/Y 比と Y 含有量の関係として図 1. に示した。沈み込むスラブが部分熔融することをマグマの起源とすると考えられているアダカイトの領域から通常の島弧の安山岩～流紋岩 (ADR) の示す領域まで (Defant and Drummond, 1990)、両子山のデータはプロットされる。柴田・三好 (2010) は、Sr/Y 比が高くなるに従い Sr 同位体比は減少し沈み込むスラブの海洋地殻の示す値に近づくことから、より Sr/Y 比が高く Y 含有量が少なくアダカイト的な特徴が強い試料、すなわち、スラブの部分熔融を起源とする可

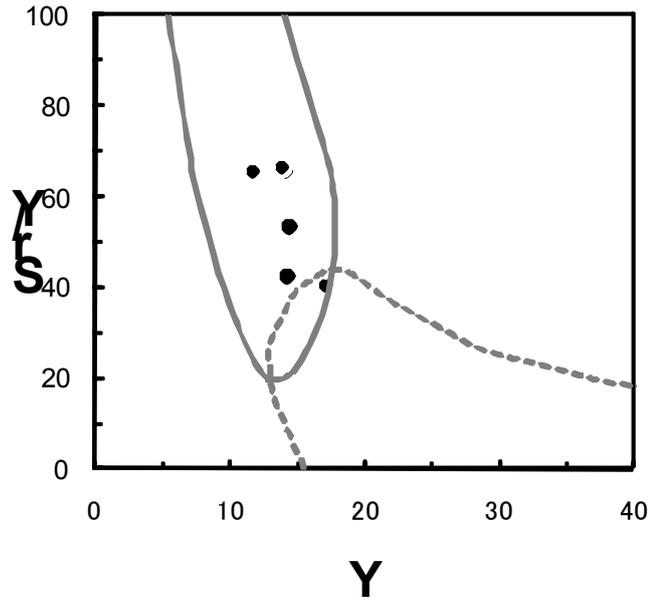


図1. Y vs. Sr/Y比変化図。実の領域はアダカイト、破線の領域は一般的沈み込み帯マグマの示す領域

能性の高い試料ほど、Sr 同位体比がスラブ構成物である海洋地殻の Sr 同位体比に近づいていることを指摘し、両子山のマグマの起源が沈み込むスラブの部分熔融であると主張した。今回、起源物質の推定をより確実にするために Nd 同位体組成の分析を行った結果を、図 2 に示した。最も Sr 同位体比の低い、すなわち Sr/Y 比の高い、試料の Nd 同位体比は測定試料中最も高い値を示した。この結果は、柴田・三好 (2010) の結果と調和

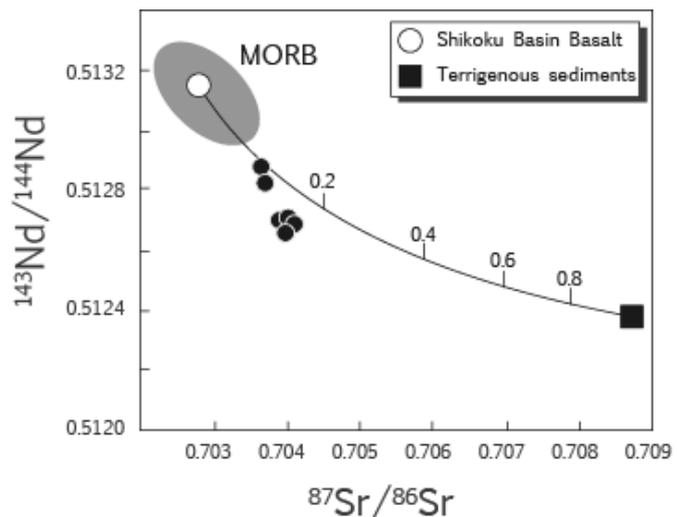


図2. Sr・Nd同位体組成  
曲線は四国海盆玄武岩（沈み込むスラブ）とスラブとともに沈み込む陸源性堆積物の混合曲線であり、目盛は陸源性堆積物の混合割合を示す。

的である。また、この試料の Sr・Nd 同位体組成は、沈み込むスラブ（四国海盆玄武岩）とその上に堆積する陸源性堆積物の同位体組成の混合曲線上にプロットされる（図 2）。このことから、陸源性堆積物由来の物質も、マグマの起源に寄与したことが指摘できる。さらに、より Sr/Y 比が低い試料ほど、高い Sr 同位体比と低い Nd 同位体比を持つようになり、その傾向は上述の混合曲線から離れる傾向を示す。沈み込むプレートとその直上のマントルウェッジには、Sr・Nd 同位体比にこのような傾向を与える物質は存在しないと考えられるので、何らかの地殻物質の影響を考える必要があると思われる。

参考文献

- Defant and Drummond (1990), Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere, *Nature*, **347**, 662-665.
- Kamata, H. (1998), Quaternary volcanic front at the junction of the Southwest Japan Arc and the Ryukyu Arc. *J. Asian Earth Sci.*, **16**, 67-75.
- 鎌田浩毅・星住英夫・小屋口剛博 (1988) , 中部九州ー中国地方西部の火山フロントの形成年代. *月間地球*, **10**, 568-574.
- 柴田知之・三好雅也(2010), 両子山の第四紀マグマの Nd 同位体による研究, 大分県温泉調査会報告, **61**, 1-2.
- Shibata, M., Yoshikawa, M. and Sugimoto, T (2007) Semi-automatic Chemical Separation System for Sr and Nd isotope analyses, *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **102**, page 298-301.
- Yoshikawa, M. Shibata, T. and Tatsumi, Y. (2001) The Sr, Nd and Pb isotopic ratios of GSJ standard rocks: Annual Report of Institute for Geothermal Sciences, pp.30, Kyoto University, 2000 FY, Kyoto, Japan.



# 温泉水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比の経年変化 (1)

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

芳川雅子・柴田知之

## 要旨

2008年10月から2010年11月の期間に異なる時期に採取した、京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設の温泉水のストロンチウム (Sr) 同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比) はほぼ一定 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70466\text{-}0.70474$ ) であった。これらの同位体比の組成範囲は、源泉域の火山岩の同位体比の組成幅に含まれる。

## 1. はじめに

放射性起源のストロンチウム (Sr) 同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比) は自然界では無視できるほどの分別現象しか起こさないとされているため、温泉水の Sr 同位体比は溶存成分の起源や異種の水の混合を解析するための優れたトレーサーとなりうる (例えば、Notsu et al., 1992; Barbieri and Morotti, 2003)。しかしながら、温泉水の Sr 同位体比の報告は酸素や水素などの軽元素の同位体比の報告と比べると少ない。さらに、源泉への温泉水の流入経路の変化などの指標となるかもしれない、Sr 同位体比の経年変化についての報告も非常に限られている (例えば、Nishio et al., 2010)。本報告では、京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設にひかれた温泉水の Sr 同位体比を測定し、経年変化の有無について調べた。

## 2. 試料および分析方法

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設に供給されている温泉水は、観海寺に位置する複数の源泉からの噴気ガスと地下水が混合された単純温泉である。このため、この温泉水から本地域の平均的な温泉水の組成が得られると期待される。

Sr 同位体分析は、Yoshikawa et al. (2000) および Shibata et al. (2003) の方法に従い、京都大学理学研究科附属地球熱学研究施設で、以下のような手順で分析した。同施設のクリーンラボ内で、メンブランフィルター (孔径  $0.2\ \mu\text{m}$ ) を用いてろ過した温泉水をテフロンビーカーに分取し、濃硝酸数滴を加えた後ホットプレートで蒸発乾固した。乾固後の試料を 3M 硝酸で溶かし、Eichrom Sr 樹脂を用いたイオン交換法でオープンカラムによって Sr を単離した。質量分析は、同施設に設置されている 9 個のファラデーカップを装備した表面電離型質量分

析計 (ThermoFinnigan MAT262) を用い、静的マルチコレクター法で測定した。なお、測定中の同位体分別効果の補正係数には  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$  を用いた。標準物質 (NIST987) の繰り返し測定結果は、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710264 \pm 0.000030$  ( $2\sigma$ ;  $n = 104$ ) である。

### 3. 結果

2008年10月、2010年2月・11月に採取した温泉水の Sr 同位体比を表1に示した。2008年10月と2010年2月に採取した温泉水の Sr 同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70466-0.70468$ ) は標準溶液の再現性の範囲で一致している。一方、2010年11月に採取した温泉水の Sr 同位体比は、若干高い値を示す (0.70474)。

表1. 地球熱学研究施設の温泉水の Sr 同位体比

採取年月日	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$2\sigma_{\text{mean}}$
2008年10月28日	0.704675	$\pm 0.000011$
2010年2月8日	0.704660	$\pm 0.000020$
2010年11月25日	0.704743	$\pm 0.000014$

### 4. 考察

2010年11月に採取した温泉水の Sr 同位体比が若干高くなった原因については不明であるが、3回の測定値は温泉水を産する地域を構成する岩石である鶴見岳火山岩の Sr 同位体比の組成範囲 (0.7045 - 0.7049; Sugimoto et al., 2006) に含まれる。この結果は Notsu et al. (1991) によって示された火山地域に産する温泉水の Sr 同位体比が火山岩のものとほぼ一致するという結果と

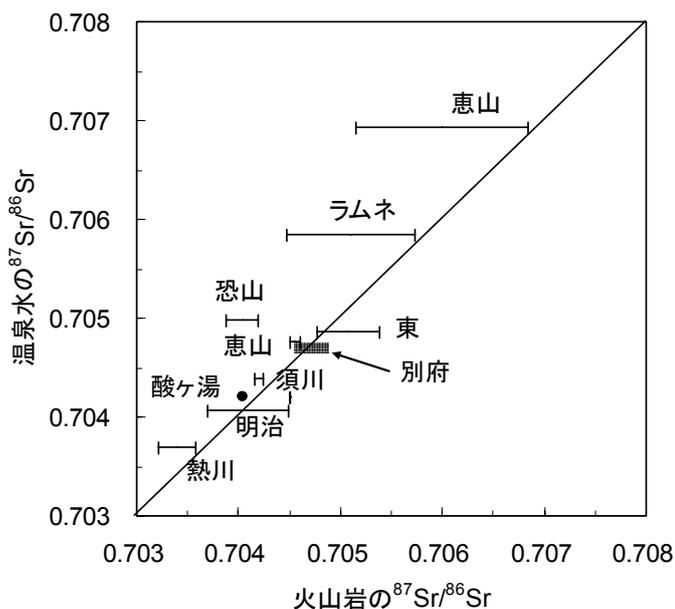


図1. 温泉水とその近隣に産する火山岩の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . 本研究 (別府) 以外のデータは Notsu et al. (1991) による。

整合的である（図1）。

最近Nishio et al. (2010) は、湧水や井戸水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比はCl/Sr比と相関があり、この相関は天水と非地表流体の混合線であると解釈している。さらに彼らは、非地表流体のSr同位体比の組成幅は基盤岩と火山性流体の反応の結果を反映しているとしている。観海寺地域の基盤岩は、領家帯に属する朝地変成岩類、領家花崗岩類および中生界白亜系大野川層群であり（新エネルギー・産業技術開発機構, 1990）、北部九州の花崗岩類のSr同位体比は0.705286 ~ 0.722220（大和田ほか, 1999）と高い。また、本地域の天水のSr同位体比は不明だが、蔵王においては $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7077 - 0.7079$ の報告がある（Ishikawa et al., 2007）。また、日本の火山岩地域の降水のSr同位体比は平均0.709とされている（横尾, 2007）。いずれも、前述した鶴見岳火山岩より高いSr同位体比を示す。火山性流体のSr同位体比が一定であるとするならば、2010年11月の温泉水が若干高いSr同位体比を示すのは、天水もしくは基盤岩の影響のためかもしれない。しかし、今回は平均化された温泉水を用いているため、それぞれの噴気や地下水の混合率の変化によってSr同位体比が変化したという可能性もある。従って、経年変化の有無や溶存成分の起源をより明確にするためにはそれぞれの源泉から得た温泉水のSr同位体比を測ることが必要と思われる。

## 5. まとめ

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設に供給されている2008年から2010年の温泉水のSr同位体比は（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70466 - 0.70474$ ）、鶴見岳火山岩の組成範囲に含まれる。経年変化については、個々の源泉から得られた温泉水のデータを継続して採取し、本地域の天水や基盤岩のSr同位体比を得て検討することが必要である。

## 謝辞

加々美寛雄博士には九州の花崗岩についての情報をご教示いただき、深く感謝いたします。京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設に供給されている温泉水の情報をいただいた、杉の井リゾート株式会社宮地伸二氏に御礼申し上げます。

## 参考文献

- Barbieri, M. and Morotti, M. (2003) Hydrogeochemistry and strontium isotopes of spring and mineral waters from Monte Vulture volcano, Italy. *Applied Geochemistry*, 18, 117-125.
- Ishikawa, H, Ohba, T., and Fujimaki, H. (2007) Sr isotope diversity of hot spring and volcanic lake waters from Zao volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 166, 7-16.

- Nishio, Y., Okamura, K., Tanimizu, M., Ishikawa, T. and Sano, Y. (2010) Lithium and strontium isotopic systematics of waters around Ontake volcano, Japan: Implications for deep-seated fluids and earthquake swarms *Earth and Planetary Science Letters* 297, 567-576.
- Notsu, K., Wakita, H. and Nakamura, Y. (1991) Strontium isotopic composition of hot spring and mineral spring waters, Japan. *Applied Geochemistry*, 6, 543-551.
- 大和田正明・亀井淳志・山本耕次・小山内康人・加々美寛雄 (1999) 中・北部九州, 白亜紀花崗岩類の時空分布と起源, *地質学論集*, 53, 349-363.
- 佐藤 努・中野孝教 (1994) ストロンチウム同位体を用いた地熱流体母岩の推定 奥鬼怒温泉地域の例, *地質ニュース*, 47, 23-26.
- Shibata, T, Yoshikawa M. and Tatsumi, Y. (2003) An analytical method for determining precise Sr and Nd isotopic compositions and results for thirteen rock standard materials. *IFREE Report for 2001-2002*, 363-367.
- 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) .
- Sugimoto, T., Shibata, T., Yoshikawa, M. and Takemura, K. (2006) Sr-Nd-Pb isotopic and major and trace element compositions of the Yufu-Tsurumi volcanic rocks: implications for the magma genesis of the Yufu-Tsurumi volcanoes, northeast Kyushu, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 101, 270-275.
- 横尾頼子(2007) 埼玉県尾須沢鍾乳洞上に発達した土壌の鉱物・地球化学的研究, *The Science and Engineering Reviews of Doshisha Univ.* 48, 57-61.
- Yoshikawa, M., Shibata, T. and Tatsumi, Y. (2000) The Sr, Nd and Pb isotopic ratios of GSJ standard rocks, *Annual Report of Institute for Geothermal Sciences*, FY, 2000, 30.

# 長湯温泉周辺の表層電気伝導度分布

京都大学理学研究科地球熱学研究施設火山研究センター

鍵山恒臣・吉川慎

## 要旨

長湯温泉周辺において表層の電気伝導度分布を調査した。その結果、以下の特徴が明らかとなった。大分市から西南西方向に延びる大分-熊本構造線に沿って電気伝導度の高い領域が見られ、長湯温泉はこの帯上に位置している。また、九重火山群大船山から七里田温泉を経て長湯温泉にいたる西北西-東南東方向の領域において高電気伝導度領域が見られる。この領域に沿って炭酸泉が分布しており、東部九重火山群のマグマ起源の揮発性成分が地下水とともに流下していると考えられる。

## 1. はじめに

長湯温泉は我が国有数の高濃度炭酸泉として知られており、その溶存炭酸は九重火山群のマグマから供給されていることが明らかにされている(山田・他, 2005)。また一方で、長湯温泉は大分-熊本構造線上に位置しており(竹村, 2004)、火山活動やテクトニクスが温泉活動にどのように関わっているかを考える上で大変興味を持たれる地域である。

山田・他(2005)は、長湯温泉の他、九重火山群南東麓に位置する湧水等を採取し、同位体水文学的な検討を行った。その結果、これらの温泉・湧水は、九重火山群南東山腹で涵養された地下水に九重火山群のマグマに起源を持つ二酸化炭素が付加されて山麓に湧出していることが明らかにされている。また長湯温泉は、大分-熊本構造線の南側で基盤高度が相対的に高いために九重火山群から流下してきた温泉水が構造線に沿って湧出していると考えられている。このような地下水の移動を他の研究手法で検証できれば、この解釈はより確かなものとなるであろう。鍵山・他(2008, 2009, 2010)は、鶴見・伽藍岳および由布岳周辺において VLF-MT により表層の電気伝導度分布を調査し、それぞれの火山周辺において個々の熱的活動度に応じた広さの高電気伝導度領域を検知している。同様の手法を適用することで、九重火山南東麓におけるマグマ起源の揮発性成分の移動を捉えることが期待される。また、中部九州のスケールでの温泉の分布に関して、大分-熊本構造線がどのような役割を果たしているかについても大変興味を持たれる。こうした観点から、長湯温泉周辺において表層の電気伝導度分布調査を行った。以下に調査結果を報告する。

## 2. VLF-MT による表層の電気伝導度分布

調査は、2011年4月に瀬の本高原から久住高原、長湯温泉を経て芹川ダム付近までの東西約 25km 南北約 15km の領域において実施した。調査結果は、図 1 に示すとおりである。全体的な傾向として、以下に示す特徴があげられる。九重火山群を形成する溶岩ドームおよび溶岩流などの山体部では  $30 \mu \text{ S/cm}$  以下の低電気伝導度を示している。また、調査域南部の大分-熊本構造線以南の一部でも低電気伝導度を示している。それ以外の地域では  $30 \mu \text{ S/cm}$  以上の電気伝導度を示し、温泉等が分布する地域では  $60 \mu \text{ S/cm}$  以上の電気伝導度を示している。特に、九重火山群南東麓の七里田温泉周辺と長湯温泉

から北東方向に延びる地域で  $100 \mu \text{ S/cm}$  以上の高電気伝導度を示している。図 2 は、温泉の分布を大分県の資料に基づき、掘削深度別 (300m 以浅, 以深), 蒸発残留物量別 (3g/kg, 1g/kg) に示している。温泉の分布は、図 1 の電気伝導度分布とほぼ整合的となっている。以下にそれぞれの地域ごとにその特徴を検討する。

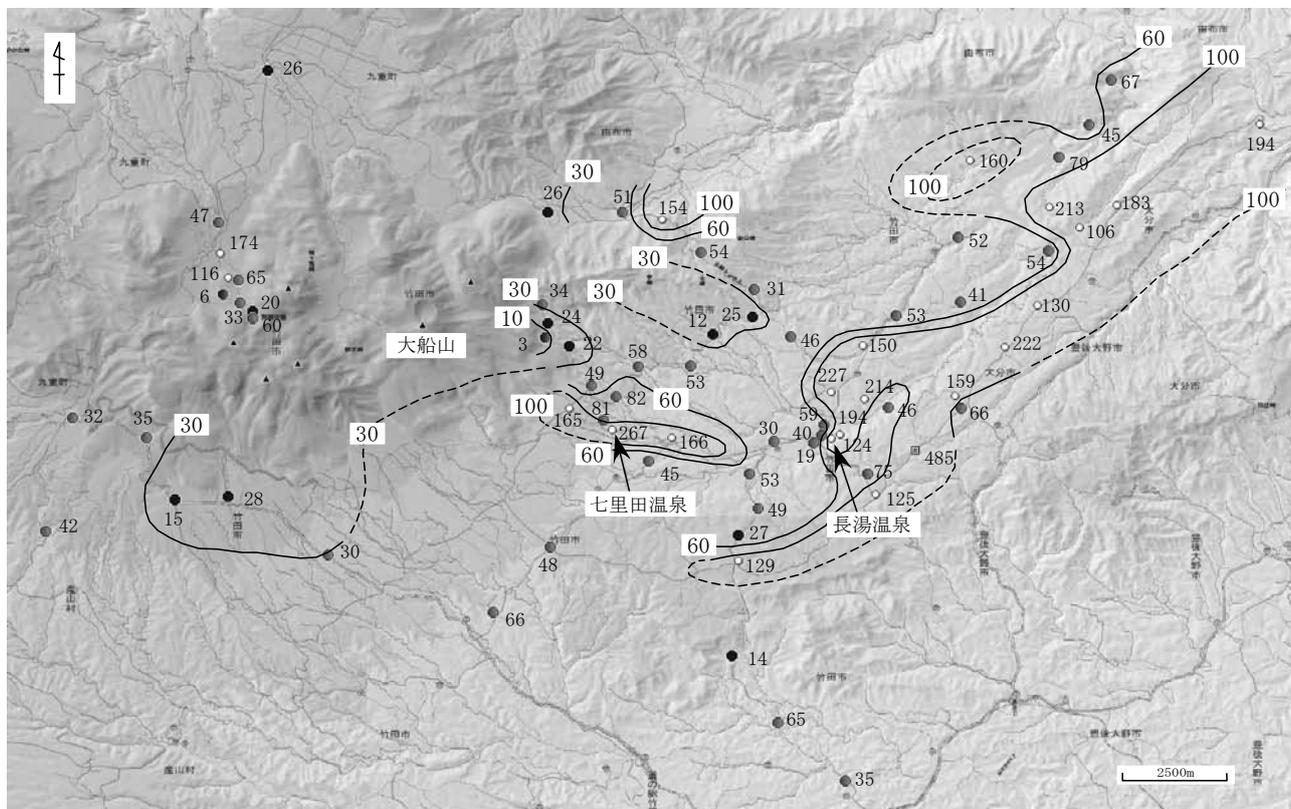


図 1 VLF-MT による長湯温泉周辺の表層電気伝導度分布 (単位は  $\mu \text{ S/cm}$ )。  
(地図は、国土地理院のウォッチーズおよびカシミールによる)

## 2-1 七里田温泉付近の電気伝導度分布

調査域北西部の九重火山群山体部が  $30 \mu \text{ S/cm}$  以下の低電気伝導度を示し、その南の山麓部で  $30 \sim 60 \mu \text{ S/cm}$  程度を示している中で、七里田温泉の北西部から南東部にかけて  $60 \mu \text{ S/cm}$  以上の比較的高い電気伝導度領域が西北西-東南東方向に延びている。特に七里田温泉付近では  $200 \mu \text{ S/cm}$  を越える値が検知されている。この領域には深度 300m 以浅, 蒸発残留物量 1~3g/kg の温泉が点在している。山田・他(2005)は、九重火山群のマグマから供給された二酸化炭素が九重火山群南東山腹で涵養された地下水に付加されて南東方向に流下していると推定しているが、この高電気伝導度領域は、九重火山群・大船山付近から七里田温泉を経て長湯温泉方向に延びており、整合的な結果である。

加えて、調査領域北部の阿蘇野付近は調査地点が限られているので確定的ではないが、白水鉱泉の下流域に  $60 \mu \text{ S/cm}$  以上の高電気伝導度域が認められる。また、上峠に至る大船山、黒岳東側の沢に点在する炭酸泉の付近でも電気伝導度がやや高くなる傾向があり、大船山を中心とした東部九重火山群の地下から揮発性成分が周辺に散逸していることを反映しているかもしれない。九重火山南麓の久住高原付近の電気伝導度は通常値を示しているが、掘削深度 300m 以深の温泉は点在している。これらの温泉は VLF-MT の探査深度よりも深い部分を流下している地下水を捉えたものと考えられる。

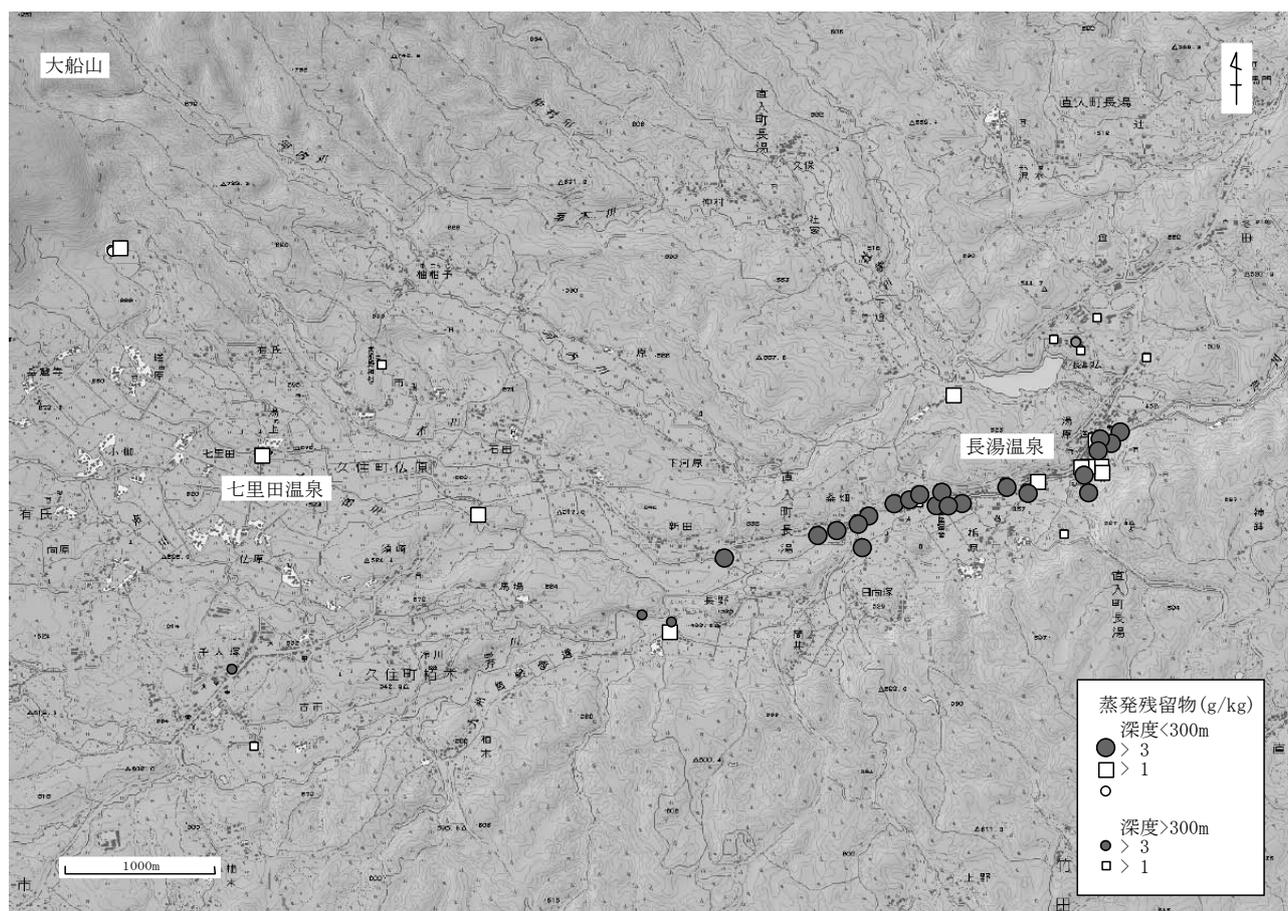


図2 長湯温泉周辺の温泉分布。資料は大分県鉱泉誌第2集および大分県温泉調査報告61号による。  
(地図は、国土地理院のウォッチーズおよびカシミアールによる)

## 2-2 長湯温泉付近の電気伝導度分布の特徴

長湯温泉は、図2に示すように西南西-東北東方向に深度が浅く蒸発残留物量が3g/kg以上の泉源がほぼ連続的に分布している。一方、図1の電気伝導度分布を見ると、長湯温泉東部の御前湯や天満湯付近では $100\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上の値を示しているが、長湯温泉西部ではそれほど高い値は示していない。この理由は、温泉水が断層の亀裂を上昇し、地表付近で広い範囲に広がることなく湧出しているためかもしれない。むしろ、この地域の電気伝導度分布の特徴は、大分-熊本構造線に沿って大分市西部から長湯温泉にかけて高電気伝導度領域が延びていることが注目される。この高電気伝導度帯は、厳密には、地形的には芹川の谷に沿うのではなく芹川の東側の標高の高い部分に見られ、電気伝導度を高くしている原因が何か興味を持たれる。これらの地域には温泉は分布していないが、大分市には温泉が分布している。

また、この高電気伝導度帯は、芹川ダムおよび長湯ダム付近で幅が広がる傾向が見られる。高電気伝導度領域の東側のデータがほとんどないので、確定的ではないが、ダムの貯水によって周辺の地下水位が浅くなっていることを反映しているかもしれない。また、長湯ダム付近の高電気伝導度域は社家川に沿って北西方向に延びる傾向がみられるので、七里田温泉付近の高電気伝導度領域と同様に東部九重火山群から供給された揮発性成分が流下していることを反映しているかもしれない。この地域には深度が300mを越える温泉が分布している。

### 3. まとめ

九重火山群南麓から長湯温泉周辺において、表層の電気伝導度分布を調査した。その結果、以下2つの特徴が明らかとなった。第1に、九重火山群・大船山付近から七里田温泉を経て長湯温泉にかけて  $60 \mu\text{ S/cm}$  以上の比較的高い電気伝導度領域が西北西-東南東方向に伸びている。特に七里田温泉付近では  $200 \mu\text{ S/cm}$  を越える値が検知された。この領域は、山田・他(2005)の「九重火山群のマグマから供給された二酸化炭素が九重火山群南東山腹で涵養された地下水に付加されて南東方向に流下している」という推定と整合的な結果である。加えて、阿蘇野付近にも  $60 \mu\text{ S/cm}$  以上の高電気伝導度域が認められ、大船山を中心とした東部九重火山群の地下から揮発性成分が周辺に散逸していることを反映しているかもしれない。第2の特徴は、大分-熊本構造線に沿って大分市西部から長湯温泉にかけて高電気伝導度領域が伸びていることである。この高電気伝導度帯は、厳密には、長湯温泉が位置する芹川の谷ではなく東側の標高の高い部分に見られるので、電気伝導度を高くしている原因が何か興味を持たれる。この高電気伝導度帯は、芹川ダムおよび長湯ダム付近で幅が広がる傾向が見られ、ダムの貯水によって周辺の地下水位が浅くなっていることを反映しているかもしれない。また、長湯ダム付近の高電気伝導度域は北西方向の九重火山群に伸びる傾向がみられるので、七里田温泉付近の高電気伝導度領域と同様に東部九重火山群から供給された揮発性成分が流下していることを反映しているかもしれない。本報告で調査を行った地点はまだ十分ではなく、特に第2の特徴である大分-熊本構造線に沿う高電気伝導度域の広がりについては、東側の測定を行う必要がある。また、九重火山群から周辺域に揮発性成分が散逸している可能性については阿蘇野など九重火山群周辺部の調査を行う必要がある。

### 謝辞

測定結果の解釈において、京都大学地球熱学研究施設竹村恵二教授、大沢信二教授との討議が有益であった。この誌面を借り謝意を表します。

### 参考文献

- 鍵山恒臣・宇津木 充・吉川 慎・寺田暁彦 (2008) : 伽藍岳・塚原の地熱活動の周辺域への広がりに関する調査, 大分県温泉調査研究会報告, **59**, 35-39.
- 鍵山恒臣・宇津木 充・吉川 慎・井上寛之 (2009) : 鶴見岳・伽藍岳の噴気活動と表層の電気伝導度分布に関する調査, 大分県温泉調査研究会報告, **60**, 3-6.
- 鍵山恒臣・吉川 慎・宇津木 充・井上寛之 (2010) : 由布岳・由布院盆地周辺の表層電気伝導度分布, 大分県温泉調査研究会報告, **61**, 3-6, 2010.
- 大分県生活環境部生活環境企画課 (2011) : 大分県温泉調査報告, 61号, pp201.
- 大分県温泉調査研究会 (2006) : 大分県鉱泉誌第2集, pp1156.
- 竹村恵二 (2004) : 中部九州の地殻変動, 温泉科学, **53**, 143-150.
- 山田 誠・網田和弘・大沢信二 (2005) : 同位体水文学的手法による九重火山南東麓に湧出する炭酸泉の湧出機構の解明, 温泉科学, **54**, 163-172.

## MT 法を用いた鶴見・伽藍火山周辺域における地下比抵抗構造調査・その(2)

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  
宇津木 充・鍵山 恒臣

### 要 旨

別府・湯布院地方の火山群は由布・鶴見火山群と呼ばれるが、その中心をなす火山の一つが鶴見火山である。昨年度に引き続き我々は、この地域地下での地熱流体の分布・規模などについての情報を得るため AMT 探査を行い地下の比抵抗構造を求めた。

### 1. はじめに

別府 湯布院地方の火山群は由布・鶴見火山群と呼ばれるが、その中心をなす火山の一つが鶴見火山である。鶴見火山は、別府温泉の西方に位置する火山群で東西、南北約 6 km 四方の範囲に最高峰の鶴見岳をはじめ、内山、大平山、鍋山、伽藍岳など複数の火山体から構成されている。最近の研究では、鶴見火山は別府温泉への地熱流体の供給域にあると考えられており、こうした意味で別府温泉の成り立ちを考える上でも非常に重要な火山である。2008、2009 年度、我々はこの地域地下での地熱流体の分布・規模などについての情報を得るため AMT (Audi-frequency Magneto-Telluric) 観測を行った(宇津木他,2008、宇津木他,2009)。今年度はさらに詳細な地下比抵抗の情報を得る事を目的に、鶴見岳・伽藍岳周辺で AMT 観測点を 2 点追加した。本報告ではその観測・解析結果について報告する。

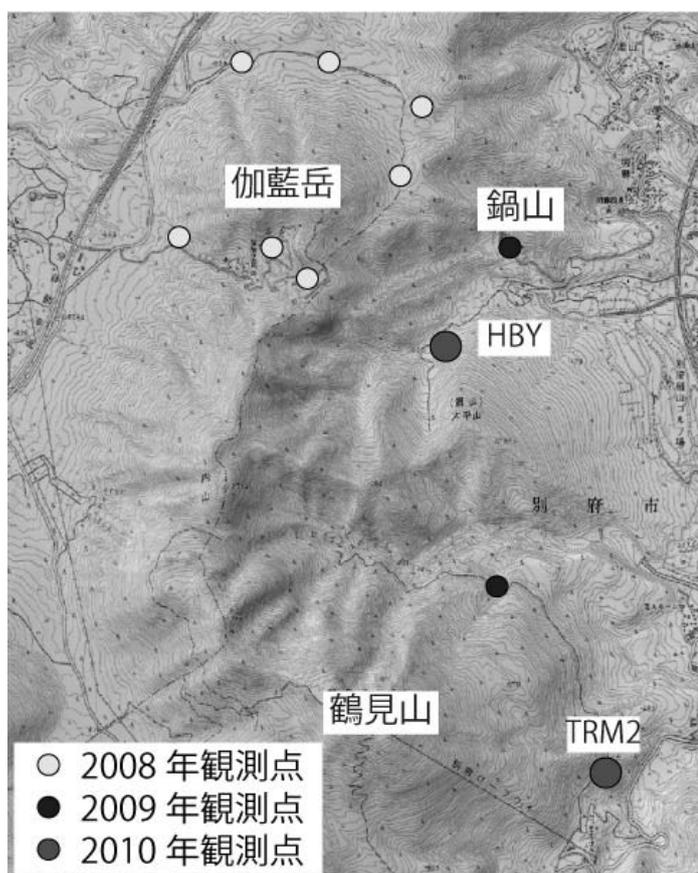


図1 鶴見山・伽藍岳周辺の AMT 観測点配置

2010 年の観測で鶴見岳東側 (TRM2) と、鍋山の南、通称「へびの湯」温泉付近(HBY)の 2 点で AMT 観測点を追加した。

### 3. 鶴見岳、鍋山における比抵抗調査

我々は、2010年9月、鍋山の南側に位置する蛇の湯温泉付近(HBY)、及び鶴見岳の東側斜面(TRM2)の2点でAMT探査法による地下比抵抗調査を行った(図1)。MT(Magneto Telluric)法と呼ばれる地下探査法は、自然に生じる磁場擾乱と、それにより地中に誘導される電場の振幅から地下の電気特性を調べるもので、入力となる磁場擾乱の振幅と誘導電場の振幅の比(インピーダンス)及び両者の位相差が地下の電気抵抗(比抵抗)に関係することを利用する。特に、磁場擾乱(及びそれによる誘導電場)の周波数により探査深度が異なる(高周波ほど探査深度が浅く、長周波ほど深い)性質を利用し、一点の観測点データから地下の深さ方向の比抵抗分布を求めるものである。このうちAMT(Audio frequency Magneto Telluric)法と呼ばれるものは、使用する周波数帯が10kHz~1Hz程度の比較的高周波を使用するもので、地下数km程度までの比抵抗を高い解像度で求めることが出来る。使用したデバイスは、カナダPhoenix Geophysics社製のMTU-5Aシステムで、測定機器はすべてGPSにより時刻同期を行い、一度に電場2成分と磁場3成分の時系列データを同時取得した。いずれの観測点でも、タイマー起動

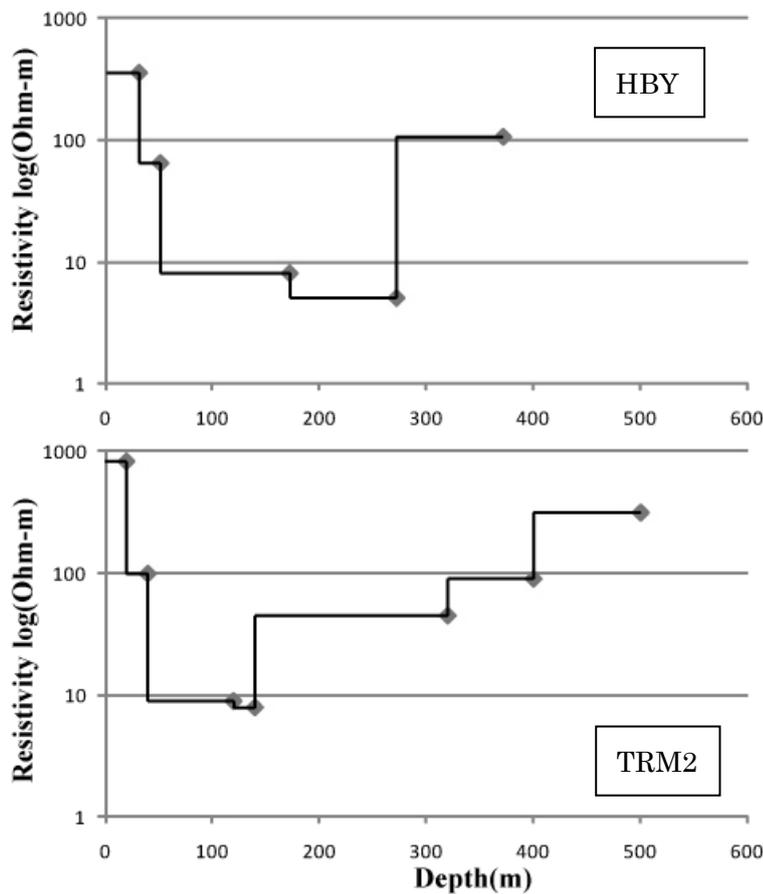


図2 構造解析から得られたHBY(上段)及びTRM2(下段)地下の比抵抗構造。縦軸は比抵抗値(log Ω m)、横軸は深度(m)。

により人口ノイズの影響がより少ない夜間(午後11時~翌朝6時)に観測を行なった。データ処理では、各観測点の電場および磁場成分の時系列データを等間隔に多数のセグメントに分割、それぞれについて周波数解析を行い10.4k~0.35Hzの範囲の60周波数について、各成分のパワースペクトルデータを求めた。また、蛇湯及び鶴見岳観測点での同時観測データから相関の高い信号のみを用いてインピーダンス、位相差を求めるリモートリファレンス処理を施した。この処理により、概ね1Hz程度までの良好な探査曲線を求めることが出来た。

### 4. 地下比抵抗構造解析の結果

得られた探査曲線から各観測点の地下比抵抗構造を求めた。この解析にあたっては各観測点地下の比抵抗構造が水平成層であることを仮定し、各々の層の比抵抗値、上端深度を未

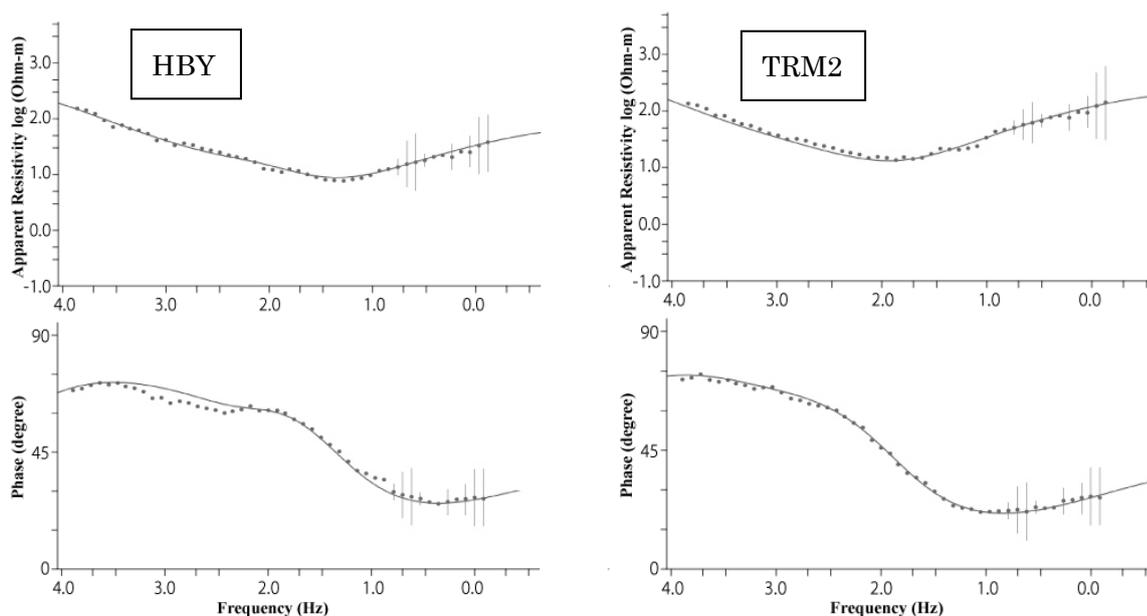


図3 NBY (左) 及び TRM2 (右) 観測点で得られたサウンディングカーブ(上段・見かけ比抵抗、下段・位相差)と、得られた比抵抗構造(図3)に基づく理論曲線(実線)。

知変数とし最小自乗的にそれらの値を求めた。なお層の数については任意なので、観測残差が正規分布に従う(ランダムノイズである)と仮定して赤池情報量規準(AIC: Akaike Information Criterion)

$$AIC = -2 * \log(\text{最少二乗残差} / \text{データ数}) + 2 * (\text{パラメータ数})$$

の最小化原理に基づき最適解を得た。ここにAIC第二項のパラメータ数とは、層の数及び観測値に混入するノイズが従う正規分布のパラメータ数(=2)である。

図2に、今回の2観測点で得られた比抵抗構造を示した。また図3にはそれぞれの点における見かけ比抵抗・位相の探索曲線と、モデルにより再計算された理論曲線を示した。

蛇湯観測点(HBY)では、表層数十m程度まで100~数百 $\Omega\text{m}$ の比較的高い比抵抗値を示すが、その下位では10 $\Omega\text{m}$ 以下まで抵抗値が急激に下がる傾向を示している。この低抵抗層はさらに地下300m付近まで続き、さらにその下位では100 $\Omega\text{m}$ まで抵抗値が上昇している。2008年度の伽藍岳、昨年度の鍋山で行われたAMT探査の結果得られた比抵抗構造と比較すると、いずれの結果にも10 $\Omega\text{m}$ 以下の極めて比抵抗値の低い層が見られ、またその上端深度は、標高の違いを考慮するとほぼ等しい深度に位置する。伽藍岳、鍋山及び今回の蛇の湯温では付近に温泉の湧出が見られる事から、この低比抵抗層が低比抵抗を示す温泉水の存在する層を示していると考えられる。

今回の鶴見東斜面の観測点(TRM2)の地下構造を見ると、表層~30m程度を約800 $\Omega\text{m}$ の高い抵抗値を示す層が覆い、その下位に約90 $\Omega\text{m}$ の層が20m程度つづく事が明らかになった。これらは山体表面の溶岩流など比較的新しく変質等を受けていない層を表すと考えられる。そのさらに下位、地表からの深度50~150m程

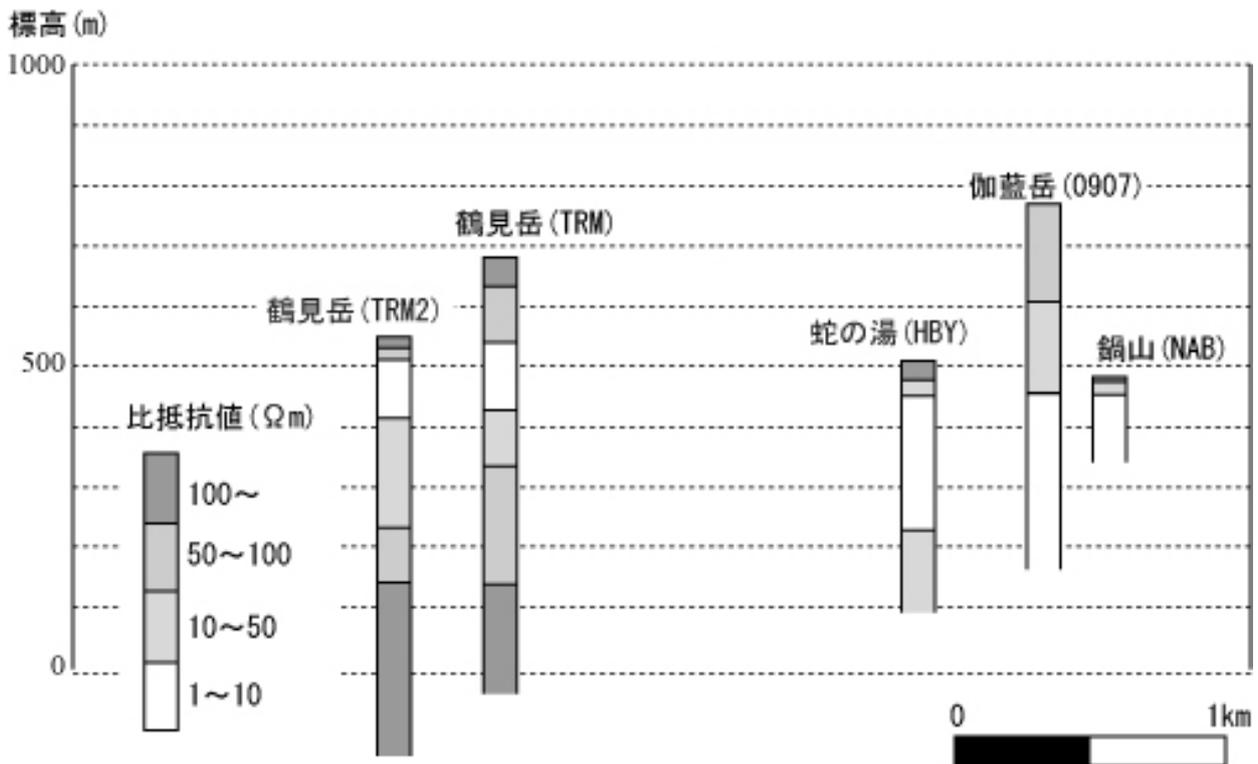


図4 鶴見岳・蛇の湯・伽藍及び鍋山各観測点で得られた地下比抵抗構造

度に約 10 Ωm 程度の低抵抗層が見られた。同じような傾向は昨年の鶴見北側斜面の観測点(TRM)でもみられており、両観測点で見出された構造を比較すると低抵抗層はほぼ同じ深度・層厚である事が分かった。これらの地域の低比抵抗値を比較すると、その上端深度は鶴見東・北斜面の低比抵抗層は蛇の湯・伽藍・鍋山の低比抵抗層より 100m 程高くなっている事が分かった。また、その層厚は鶴見岳が 100m 程度なのに対し蛇の湯では約 200m 程度とより厚く分布している事が分かった。昨年度の報告で指摘した事であるが、もしこれらの低比抵抗層が鶴見岳～鍋山にかけて連続して見られるなら、鶴見岳側に熱水上昇域があり、それが伽藍岳、鍋山にかけて緩やかな傾斜を示しながら流下するような地下の熱水系が存在するとも考えられる。今後、伽藍岳～鶴見岳を結ぶ地域でさらに観測を重ね、この低比抵抗層がどのような分布を示すかを明らかにすると共に、鶴見火山で見られる低比抵抗層が山体全体でどのような分布を示すかを明らかにする必要がある。今後データを蓄積しこうした点を明らかにすることで、この地域のより詳細な熱水分布に関する情報が得られると期待される。

#### 参考文献

宇津木充・鍵山恒臣・井上寛之他(2008): 伽藍岳及びその周辺域における比抵抗構造調査、60、43-48.

宇津木充・鍵山恒臣・小森省吾(2009): MT 法を用いた鶴見・伽藍火山周辺域における地下比抵抗構造調査、61、43-48.

大分県温泉研究会報告書

大分県における温泉水リチウム濃度と水道水リチウム濃度の比較

石井 啓義、寺尾 岳、荒木康夫、河野健太郎、溝上義則

大分大学医学部精神神経医学講座

## はじめに

リチウムは原子番号 3 番の元素であり、軽量合金や、強力な還元剤または有機リチウム化合物の原料、さらにはリチウム電池として広く使用されている。医療現場では、1949 年にオーストラリアの Cade 博士によりリチウムが躁病に効くことが発見され、以後 60 年余りにわたって、双極性障害（躁うつ病）治療の第一選択薬として位置付けられ、炭酸リチウムの形で製剤されている。リチウムは塩湖かん水や鉱石として 2000 万トンあまりが存在しているの見積もられているが、最も軽い金属元素なので、長時間のうちに海水中と地殻上部を循環し続けている。海水中には 2,300 億トンのリチウムが溶けていると言われる。

私どもは、医薬品としてのリチウムのみならず、自然界に存在するリチウムにも注目して研究を続けてきた。最初は、大分県内の冷泉へ湯治で訪れた人たちを対象に研究を行い、飲泉後に血中リチウム濃度が有意に上昇すること、抑うつ気分や不安感などの精神症状が有意に改善すること、飲泉後の血中リチウム濃度と血中 Brain-derived Neurotrophic Factor (脳由来の神経栄養因子) が有意に相関することを見出した (German Journal of Psychiatry, 2008)。次に、リチウムに自殺予防効果があるという仮説のもとに、大分県内 18 市町村の水道水リチウム濃度と自殺率の相関を検討し、有意な負の相関があることを見出し (British Journal of Psychiatry, 2009)、自殺予防に対する微量なりチウム投与の可能性を示唆した (Medical Hypotheses, 2009)。

さて温泉は、火山の地下のマグマを熱源とする火山性温泉と、火山とは無関係の非火山性温泉に分けられる。後者はさらに、地温勾配に従って高温となった深層熱水と、熱源不明のものに分けられる。火山性温泉は火山の近くにあるため、火山ガス起源の成分を含んでいる。深層熱水は平野や盆地の地下深部にあって、海水起源の塩分や有機物を含むことがある。他方、水道水は、河川やダムからの表流水や、河川敷や旧河道の下層にある砂礫層を流れる伏流水、あるいは地下水などに由来する。

今回の研究では、大分県内の温泉水リチウム濃度と水道水リチウム濃度を調査し、何らかの関連があるか否かを探るために比較検討した。

## 方法

平成 22 年から 23 年にかけて、大分県内 34 か所の水道水を採取した。採取場所は、主に市役所や駅であった。採取した水道水は熊本県薬剤師センターへ送付し、水道水中のリチウム濃度を測定した。これら水道水の採取場所に比較的近い温泉や鉱泉の濃度を温泉分析表から調べ、両者を比較した。津久見市の 2 か所と三重町、豊後大野市については、近くに温泉ないし鉱泉が見いだせず、比較できなかった。また、水道水も温泉水もリチウム濃度の分布が低濃度に集

積する傾向にあったため (図 1、2)、あらかじめ対数変換して (図 3、4)、解析に用いた。解析に関しては、対応のある t 検定と Pearson の相関係数を用いた。

## 結果

まず、調査した水道水リチウム濃度(34 か所)と温泉水リチウム濃度(30 か所)の平均はそれぞれ  $10.6 \pm 13.0 \mu\text{g/L}$ ,  $1513 \pm 3649 \mu\text{g/L}$  であり、温泉水は水道水のおよそ 100 倍のリチウムを含んでいた。それぞれの水に含まれるリチウム濃度にばらつきが大きいものの、有意に温泉水リチウム濃度の方が高かった ( $t=-2.3$ ,  $p<0.04$ )。さらに対数変換したものを比較すると明らかに温泉水リチウム濃度が水道水リチウム濃度よりも高かった ( $t=-16.1$ ,  $p<0.0001$ )。

次に、対数変換した水道水リチウム濃度と温泉水リチウム濃度の関係は図 5 のようになり、有意な相関は認めなかった ( $r=0.26$ , N.S.)。さらに、リチウム濃度が突出した山香温泉のデータを除外すると、まったく相関はなかった ( $r=-0.015$ , N.S.)。

## 考察

今回得られた結果からは、温泉水リチウム濃度の方が水道水リチウム濃度の 100 倍は高いが、両者ともに地域によってばらつきが大きいことが判明した。また、温泉水と水道水のリチウム濃度に相関がないことも判明した。少なくとも大分県においては、温泉水の由来する地層と、水道水の由来するダム底部の土壌や伏流水や井戸水の地層が通底し、リチウムが両者を循環している可能性は低いと考えられた。

## 文献

- 1) Shiotsuki I, Terao T, Ogami H, Ishii N, Yoshimura R, Nakamura J. Drinking spring water and lithium absorption: a preliminary report. *German Journal of Psychiatry*, 11: 103-106: 2008.
- 2) Ohgami H, Terao T, Shiotsuki I, Ishii N, Iwata N. Lithium levels in drinking water and risk of suicide. *British Journal of Psychiatry*, 194: 464-465, 2009.
- 3) Terao T, Goto S, Inagaki M, Okamoto Y. Even very low but sustained lithium intake can prevent suicide in the general population? *Medical Hypotheses*, 73: 811-812, 2009.

図1 水道水リチウム濃度の分布

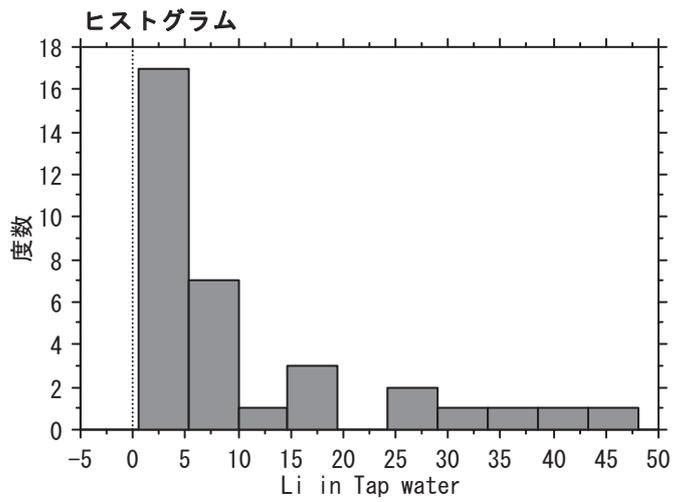


図2 温泉水リチウム濃度の分布

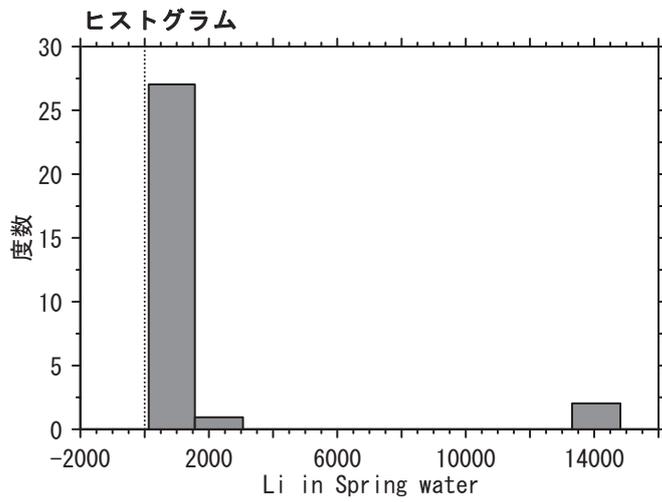


図3 対数変換した水道水リチウム濃度

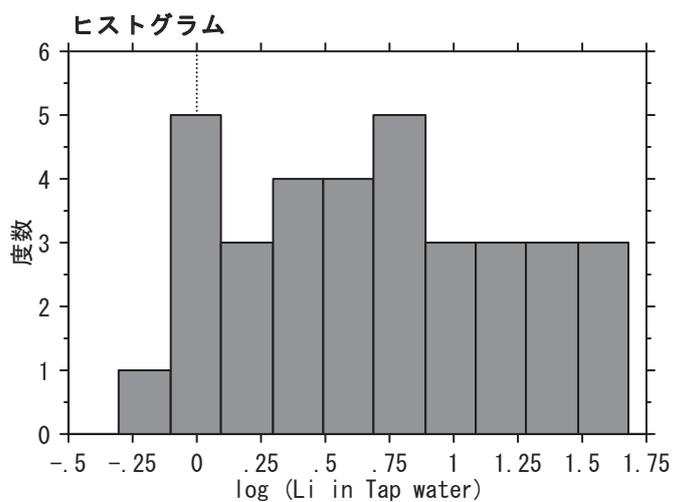


図4 対数変換した温泉水リチウム濃度

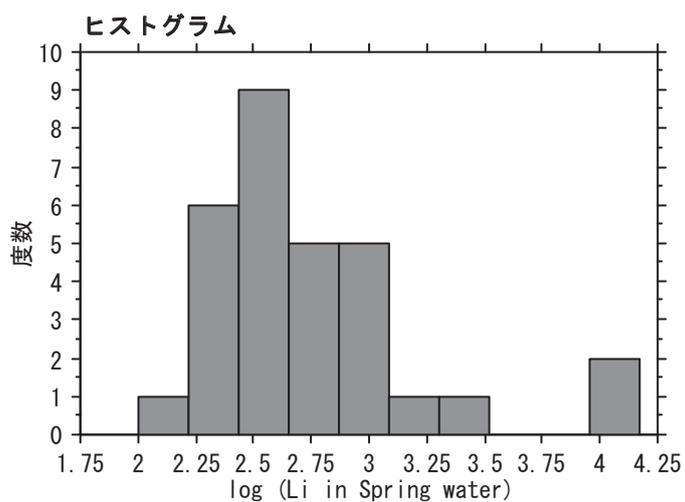
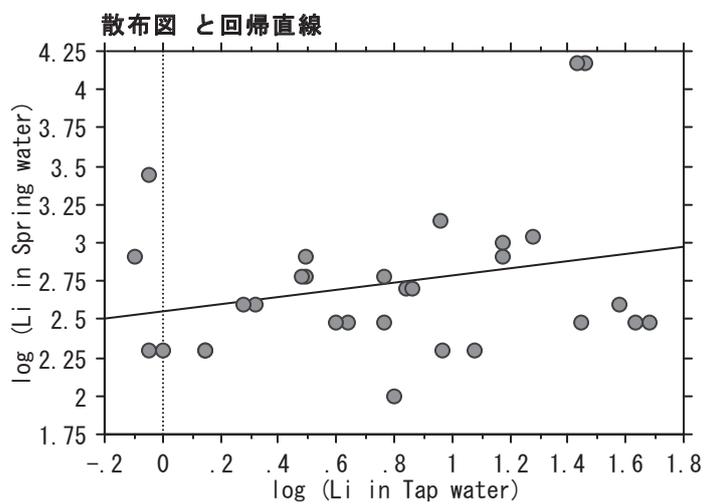


図5 対数変換した水道水リチウム濃度と温泉水リチウム濃度の相関





## 湯山地域の土壌セクションを用いた第四紀後期火山活動史

竹村恵二\*1

所属

\*1 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

### 要旨

別府周辺の第四紀後期火山活動史を明らかにするために、別府市湯山地域の土壌セクションを対象にして、岩石記載学的特徴を整理した。その結果、2層の広域テフラが認められた。それらは、広域火山灰である K-Ah 火山灰(約 7300 年前)と始良カルデラ噴火活動に関連した大隅降下軽石(約 3 万年前)であると考えられる。大隅降下軽石の九州北部での分布はほとんど知られておらず、大隅降下軽石噴火活動とほぼ一連とされる大規模火砕流(入戸火砕流)のコイグニンプライト火山灰である AT 火山灰の本露頭や周辺地域での存在の有無との関連も今後の課題である。

### 1. はじめに

別府地域の第四紀火山活動史について、平成 21 年度温泉調査研究会報告で、「別府地域の地質概略と火山活動」、「別府第四紀後期火山活動史の課題」について紹介し、その中で 3 地点の土壌・火山灰層が連続的に観察される露頭について記載した(竹村, 2010)。特に、従来から知られてきた代表的な露頭のひとつである「由布岳南の由布院断層の南側に位置する東石松の露頭」と、「別府から由布院へ抜ける塚原の道路沿いの露頭」の他に、湯山の露頭が重要な知見を提供できる可能性があるとして、その概略の柱状図と顕微鏡観察の概略を紹介し、3 試料が広域テフラの可能性が指摘でき、最上位が K-Ah 火山灰の可能性が高いことを述べた。またこの約 3 m 下位に位置する火山灰については、位置づけがはっきりしないことから、これらの 3 層を含めた 7 試料について岩石記載学的情報を整理して、広域テフラ対比の可能性を考察することを試みた。その結果を紹介する。

### 2. 湯山地点の地層概略と火山灰試料

本露頭は、別府市湯山西部の道路沿いの崖(33° 19' 21.8" N, 131° 27' 05.8" E)で(図 1)、火山灰・土壌の地層が約 6 m 観察できる。柱状図を図 2 に示す。この露頭に露出する火山砕屑物の由来と年代をあきらかにすることは、別府周辺の第四紀後期の火山活動史を編むための重要であると考えられる。

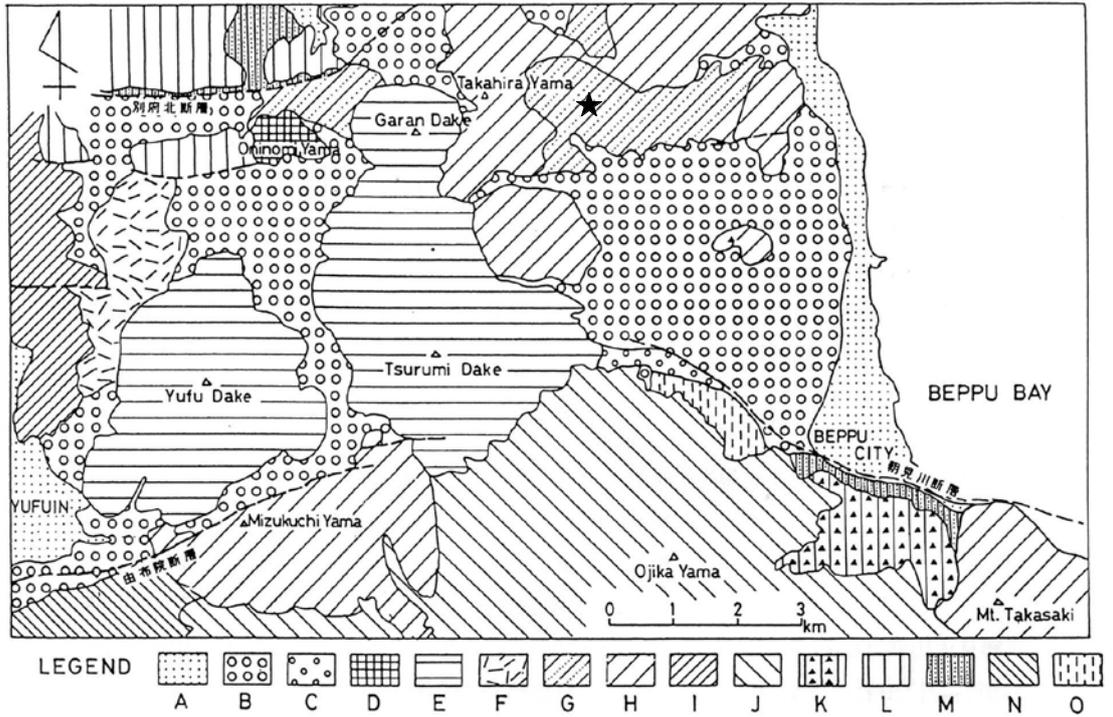


図1 別府地域の地質図 (星住ほか, 1988より編集) (竹村, 1995)

A: 沖積層, B:扇状地堆積物, C:段丘堆積物, D:鬼箕山火山, E:由布一鶴見火山群, F:池代火砕流堆積物, G:岩屑なだれ堆積物, H:高平山一水口山火山群, I:福万山一立石山火山群, J:小鹿山一雨乞岳火山群, K:由布川火砕流, L:高陣ヶ尾安山岩, M:浜脇層および寒水川層, N:倉木山安山岩, O:観海寺安山岩, ★:湯山地点

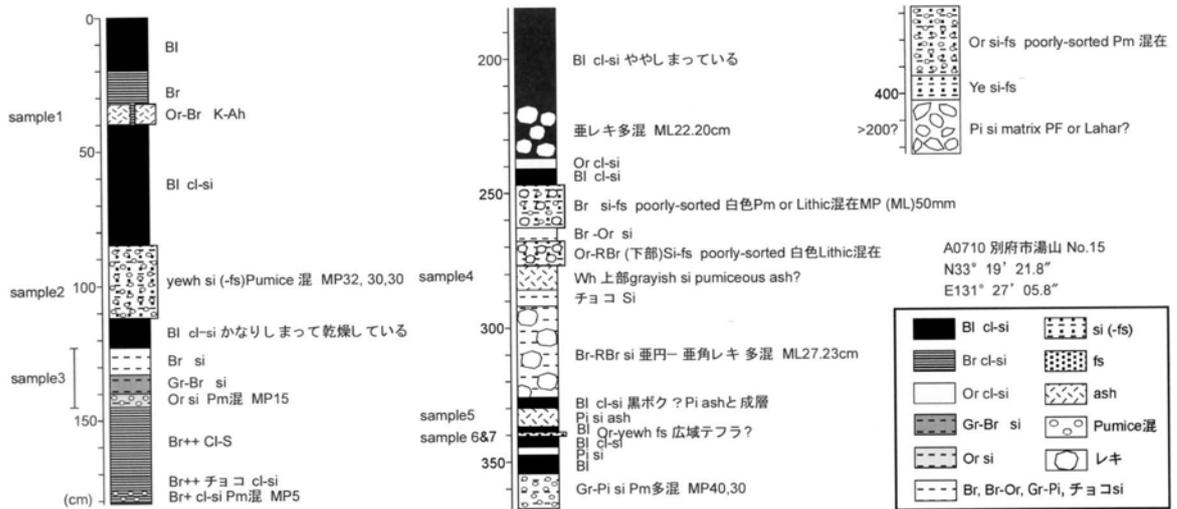


図2. 別府市湯山西方の道路沿いの露頭の柱状図と試料採取位置 (竹村, 2010)

### 3. 火山灰分析の方法

試料採取を7層準 (sample1~7) で実施した (図2参照). 実体顕微鏡下で前もって観察

した 125~63 $\mu$  (3 $\phi$ ~4 $\phi$ ) の試料では、3 試料 (試料 1, 5, 7) が非常に透明なガラス質であり、広域に分布する火山灰の可能性が示唆される観察結果が竹村 (2010) によって報告されている。今回は、以下の詳細分析を実施した。

1. 粒度分析：篩い用メッシュ・クロス (2 $\phi$ , 3 $\phi$ , 4 $\phi$  : 250 $\mu$ , 125 $\mu$ , 63 $\mu$ ) で篩い分けを行い、概略の粒度組成をもとめた。
2. 全鉍物組成分析：極細砂サイズ (3 $\phi$ ~4 $\phi$ , 125~63 $\mu$ ) の粒子を用いて、岩石顕微鏡薄片を作成し、全粒子 (火山ガラス・軽鉍物・重鉍物・岩片・その他) を鏡下で 200 粒子識別し、含有粒子数の量比を百分率として全鉍物組成を求めた。
3. 重鉍物分析：同一サイズ粒子薄片を用いて、重鉍物 (カンラン石・斜方輝石・単斜輝石・褐色普通角閃石・不透明鉍物・カミングトン閃石・ジルコン・黒雲母・アパタイト) を鏡下で識別し、200 粒子を計数して、その量比を百分率で示した重鉍物組成を求めた。
4. 火山ガラス形態分類：同一サイズ粒子薄片を用いて、火山ガラス形態を分類した。鏡下で 200 粒子測定して、その量比を測定した。
5. 火山ガラスの屈折率測定：極細砂サイズ (3 $\phi$ ~4 $\phi$ , 125~63 $\mu$ ) の粒子を用いて、温度変化型屈折率測定装置 (RIMS) を使用して、火山ガラスの屈折率を測定した。原則として 50 粒子以上の測定を実施した。

#### 4. 火山灰分析の結果

採取した 7 試料 (図 2 参照：上位から番号をつけた) の分析結果は以下のとおりである (表 1 参照)。

試料 1：火山ガラスが 68.5%含まれる非常にガラス質の試料である。重鉍物としては、不透明鉄鉍物・斜方輝石・単斜輝石が多く、ごく少量の角閃石が含まれる。火山ガラスは、珪長質薄手の軽石型とバブルウオール型からなる。濃い色つきのガラスを含む特徴がある。火山ガラスの屈折率は 1.5098-1.5155 のグループでほとんどを占め、その平均値は 1.5116 である。

試料 2：火山ガラスが 27.5%含まれる試料である。重鉍物としては、緑色角閃石・褐色角閃石・不透明鉍物が多く、少量の輝石類が含まれる。火山ガラスは、不規則型の粒子がほとんどを占める。火山ガラスの屈折率は 1.4954-1.4994 のグループでほとんどを占め、その平均値は 1.4977 である。

試料 3：火山ガラスが 7.5%含まれる試料である。重鉍物としては、緑色角閃石・褐色角閃石・不透明鉍物・斜方輝石が多く含まれる。火山ガラスは、不規則型の粒子がほとんどを占める。火山ガラスの屈折率は 1.4929-1.5007 のグループでほとんどを占め、その平均値は 1.4969 である。

試料 4：火山ガラスがほとんど含まれない試料である。岩片が 72%を占める。また、岩片として風化粒子が多い。重鉍物としては、不透明鉍物が多く、緑色角閃石・褐色角閃石が含まれる。

火山ガラスの屈折率測定結果一覧表

No	試料名	1) 屈折率範囲		2)	3)	4)	5) 火山ガラス形態	6) 備考
		最小	最大	屈折率 平均値	測定 個体数	屈折率 最頻値		
1	07310 湯山① アカホヤ	1.4962 1.5098 1.5211	1.5040 1.5155 1.5341	1.5000 1.5116 1.5291	4 60 3	1.496 1.511 1.521	H,lt H,T,C C,T	gl含有:A(68.5%) 水和層厚3~5μm 重鉱物:Opq,Opq,Cpx>GHb,BHb 軽鉱物:Pl,Qz
2	07310 湯山② 黒ボク中上	1.4954 1.5019	1.4994 1.5019	1.4977 1.5019	60 1	1.498 1.502	lt>T,C>H C	gl含有:C(27.5%) 水和飽和(コアあり微量) 重鉱物: GHb,Opq,BHb>Opq,Cpx,Bt>Zr 軽鉱物:Pl,Qz
3	07310 湯山③ 黒ボク中下	1.4929	1.5007	1.4969	60	1.498,1.496	lt	gl含有:R(7.5%) 水和飽和(コアあり極微量) 重鉱物:GHb,Opq,BHb,Opq>Cpx,Zr,Bt 軽鉱物:Pl,Qz
4	07310 湯山④ イエロー~ホワイト	1.4985	1.4985	1.4985	1	1.499	lt	gl含有:VVR(<0.5%) 水和飽和 重鉱物:Opq,BHb,GHb>Zr 軽鉱物:Pl
5	07310 湯山⑤ 黒色バンドの間	1.4961 1.5060	1.4989 1.5060	1.4981 1.5060	60 1	1.498 —	T,C>lt T	gl含有:A(63.5%) 水和(コアあり微量) 重鉱物:Opq,Opq,Cpx>GHb>Zr,Bt 軽鉱物:Qz,Pl
6	07310 湯山⑥ オレンジ	1.4935	1.5002	1.4963	60	1.496	lt>C	gl含有:R(8%) 水和飽和 重鉱物:BHb,GHb,Opq,Cpx,Opq>Zr 軽鉱物:Pl,Qz
7	07310 湯山⑦ オレンジ	1.4972	1.5014	1.4983	60	1.498	C,T>lt	gl含有:A(50%) 水和(コアあり微量) 重鉱物:Opq,Opq,GHb,Cpx,BHb>Zr 軽鉱物:Qz,Pl

- 1) 屈折率範囲: 個体ごとの屈折率測定値を小数点第4位まで表示する。ヒストグラム上で完全に分離され、異なるグループとみなされるものは、グループごとに表示する。未水和部の測定値には下線を付す。
- 2) 屈折率平均値: 同一グループに属するとみなした場合の平均屈折率値。下線は未水和部の値。
- 3) 測定個体数: 測定対象とした個体数。
- 4) 屈折率最頻値: ヒストグラム中で最頻値を判断し、四捨五入により少数点第3位で表示する。  
(ex. 1.500 : 1.4995 ≤ nd < 1.5005)
- 5) 火山ガラス形態: 吉川(1976)に準拠し、形態をH:扁平型,C:中間型,T:多孔質型に分け、定性的に示す。  
いずれにも属さないものを lt:不規則型, 鉱物表面に付くものを付着として表示する。
- 6) 備考: 火山ガラス含有、水和・超水和の程度を定性的に示す。また、その試料固有の特徴について記す。  
火山ガラス含有は、VA(≥90%),A(≥50%),C(≥10%),R(≥5%),VR(≥1%),VVR(<1%),N(0%)の7段階に分類する。水和はhydration、超水和はsuper-hydrationの意。

表1. 別府市湯山西方露頭に露出する火山灰・土壌の火山ガラス屈折率測定結果

試料5: 火山ガラスが63.5%含まれる非常にガラス質の試料である。重鉱物としては、斜方輝石・不透明鉄鉱物・単斜輝石が多く、少量の角閃石が含まれる。火山ガラスは、珪長質の軽石型からなる。火山ガラスの5%程度に未水和コアが存在する。火山ガラスの屈折率は1.4961-1.4989のグループでほとんどを占め、その平均値は1.4981である。

試料6: 火山ガラスが8%含まれる試料である。重鉱物としては、緑色角閃石・褐色角閃石・

不透明鉱物が多く、少量の輝石類が含まれる。火山ガラスは、不規則型の粒子がほとんどを占める。火山ガラスの屈折率は 1.4935-1.5002 のグループでほとんどを占め、その平均値は 1.4963 である。

試料 7：火山ガラスが 50%含まれる非常にガラス質の試料である。重鉱物としては、斜方輝石・不透明鉄鉱物・単斜輝石が多く、少量の角閃石が含まれる。火山ガラスは、珩長質の軽石型からなる。火山ガラスの 5%程度に未水和コアが存在する。火山ガラスの屈折率は 1.4972-1.5014 のグループでほとんどを占め、その平均値は 1.4983 である。

## 5. 火山灰の特徴と広域テフラとの対比

試料 1 は、その特徴（非常にガラス質、珩長質薄手の軽石型とバブルウオール型、濃い色つきガラスの存在、火山ガラスの屈折率など）から、竹村(2010)でも指摘されたとおり、鹿児島南方海上の鬼界カルデラ起源の鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) (町田・新井, 2003)に對比できる。したがって、その年代は約 7300 年前と推定される。試料 2 と 3 は特徴（火山ガラスはある程度含まれるが、その形態は不規則型がほとんどであること、また角閃石類が多くを占めることおよび火山ガラス屈折率など）から、試料採取地点に近い噴出起源を持つ火山灰と推定される。試料 4 は古いテフラなどの再堆積に由来するなどの可能性がある試料である。試料 5 は、その特徴（非常にガラス質、珩長質の軽石型、重鉱物組成、火山ガラスの屈折率など）から、大隅降下軽石に對比できる可能性があるが、そのすぐ下位の試料 7 も同様な特徴を持ち、試料 7 が大隅降下軽石に對比されるとすると、試料 5 はその再堆積または始良カルデラからの一連の噴火活動（たとえば、入戸火砕流や AT 火山灰）との関連を考慮することが必要である。この対比に基づけば、この火山灰層準で約 3 万年前の年代の推定が可能となる。なお、試料 6 は特徴（火山ガラスはある程度含まれるが、その形態は不規則型がほとんどであること、また角閃石類が多くを占めることおよび火山ガラス屈折率など）から、試料採取地点に近い噴出起源を持つ火山灰と推定される。

## まとめと今後の課題

別府周辺の第四紀後期火山活動史を明らかにするために、竹村(2010)で新たな代表地点として記載された湯山西方の露頭の火山灰について岩石記載学的調査を実施し、3 層の火山ガラス質火山灰について、広域テフラとの対比の可能性 (K-Ah 火山灰、大隅降下軽石) を指摘できた。試料 1 は K-Ah 火山灰に對比される。下位の試料 5 と 7 については、大隅降下軽石への対比の可能性が指摘できたが、大隅降下軽石の九州北部での分布はほとんど知られておらず、大規模火砕流のコイグニブライト火山灰である AT 火山灰の存在の有無との関連も今後の課題である。したがって、これらの対比については、鉱物の屈折率による精査や年代測定からの検証が望まれる。

## 謝辞

湯山の露頭調査の柱状図作成では、熊本大学教育学部の宮縁育夫氏にご協力いただいた。また、火山灰分析については、京都フィッシュントラック（株）の協力を得た。記して、感謝いたします。

## 引用文献

星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎(1988)：「別府地域の地質」5万分の1地質図幅及び説明書，131頁。

町田 洋・新井房夫(2003)：新編「火山灰アトラス」，東大出版会。

竹村恵二(1994)：別府地域の地質。「別府の自然」別府市自然環境学術調査報告書，33-53。

竹村恵二(2010)：火山灰による別府周辺の第四紀後期火山活動史。大分県温泉調査研究会報告, 61, 35-40。

## 『温泉水などに含まれるリチウム(有価金属)の賦存量調査とその回収について』

### 要 旨

大分県の温泉水中に含まれるリチウム濃度について、温泉分析書データやインターネットなどを用いて調査した。杵築や臼杵には、リチウム(Li)が 10~35mg/L と比較的多く含まれている温泉を確認することができた。また、杵築市・山香温泉センターの温泉に関しては、実際に試料採取及び分析を実施し、また、文献を元に自社で作製した吸着剤で吸着・回収試験を実施した。吸着材 1g 当たり 3mg のリチウムを吸着することができた。

### 1.はじめに

有価・有用金属であるリチウムは、日本国内では原料資源がないため、その全量を輸入している。国内では、廃電池リサイクル分を除き、海水などから試みられているが、海水中には 0.2mg/kg 程度しか含まれておらず、回収できても市場価格に比べ、かなり高価になってしまう。一方、純国産資源である温泉水や地熱熱水中には、リチウム等の有価金属が海水中に比べ数十から数百倍程度含まれており、選択的に回収が可能となれば新たな純国産資源として大いに期待できるものと考えられる。その例として、群馬県の草津温泉では、グラフト重合を用いた吸着剤(不織布)により、日本では鉱石として産出しない“スカンジウム(Sc)”を回収に成功している(日本原子力研究開発機構など)。1<sup>kg</sup> 200 万円で取引されている Sc の回収成功は、今後の温泉水からの資源回収に対する道標になるものと考えられる。

また、国外においては、ボリビアのウユニ塩湖やチリのアタカマ塩原(かん水)などで今後、リチウム回収事業がさらに加速的に進行する予定であり、世界各国でこのような水からの資源回収が活発に行われつつある。

今回、大分県の温泉水中に溶存するリチウムの賦存(分布)調査とその回収に関する基礎検討を実施したので報告する。

### 2.方法

#### (1) 温泉水などに含まれるリチウムの賦存量調査

大分県生活環境部生活環境企画課が発行する「大分県温泉調査報告 温泉分析書 第 60 号(平成 21 年 8 月)」を参考に、また、J-Dream などの有料検索サービス及び Yahoo!, GoogleScalar などのインターネット検索エンジンなどを用いて、リチウムが高く含まれる温泉水について調査した。また、今回、リチウム濃度に湧出量を乗じたものを賦存量として仮定し算出した。

#### (2) リチウム吸着・回収試験

資源の少ない日本では、リチウムは貴重な国内資源の一つとして考えられ、1980 年代から盛んにリチウム回収法が検討されてきた。これまでに行われてきた一般的なリチウム回収法は、①吸着法、②溶媒抽出法、③共沈法、④沈殿浮選法などが挙げられる。イオン交換樹脂や吸着剤などを用いた吸着法は、リチウムの選択性が高く、有用であることから、多くの研究が行われてきた。しかし、耐熱性や吸着容量、回収効率などの種々の課題が残されたまま、実用的な技術は未だに確立されていない。

今回、これまでに報告されているリチウム回収法に関する情報を収集し、温泉水への適用が可能かどうか検討するため、文献調査等を実施した。その中で、四国工業技術試験所などの資料・文献を元に、マンガンスピネル型などの吸着材を自社で作製し、温泉水を通水させ、吸着・回収試験を実施した。

### 3.結果および考察

#### (1) 温泉水などに含まれるリチウムの賦存量調査

大分県温泉調査報告(第 60 号)に記載されているデータ(リチウムの記載有無に関わらず)及びその他の温泉水などについて、トリリニアダイアグラムを用いて分類した(計 144 試料)。

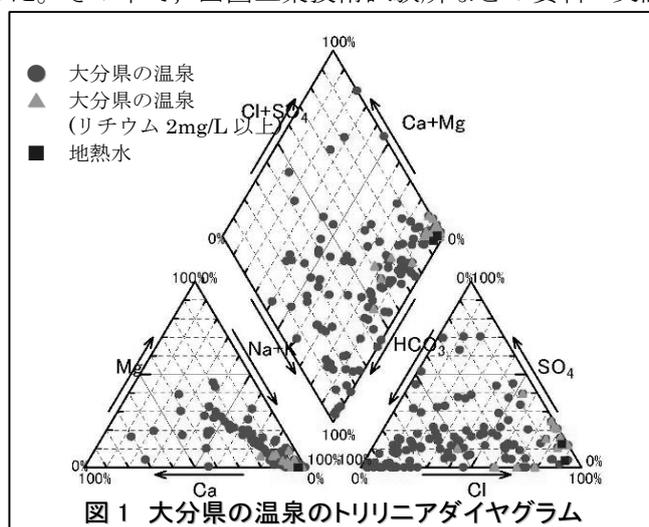


図1に示すように、リチウムが2mg/L以上含まれている温泉(緑プロット)および地熱水は、Na-Cl型(非炭酸ナトリウム型)にすべて位置している。また、図2に大分県の温泉水中のリチウム濃度と塩化物イオン濃度の関係を示す。温泉水中のリチウム濃度は、塩化物イオンと強い相関を示しており、高塩濃度泉には多くのリチウムが含まれることが確認できた。

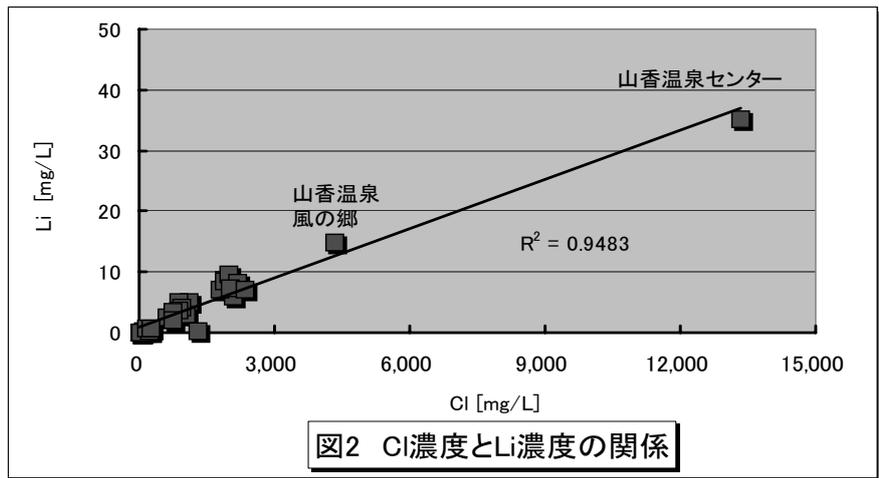


図2 Cl濃度とLi濃度の関係

今回の調査で、杵築市の

山香温泉センターでリチウムが35mg/L、山香温泉”風の郷“において15mg/L含まれていることが確認できた。前者は温泉の揚湯が間欠的であるため、流量が定かではないが、後者は65L/minの湧出がある。つまり、1本の温泉井から年間約500kgのリチウムが汲み上げられていることになる。

一方、別府・鉄輪地区にも、リチウム濃度が高い温泉(最大で9mg/L程度)が点在するが、温泉の湧出量が明確でないため、産出量は算出できなかった。

(2) リチウム吸着・回収試験

四国工業技術試験所などの文献を元に、当社でリチウム選択性があると考えられる吸着剤を作成を試み、簡易的な通水・回収試験を実施した。吸着剤は、試薬の水酸化マグネシウムおよび炭酸マンガンを混合し、電気炉で1100℃程度で焼成させ、バインダーを用いて造粒し、その後、酸処理したものを吸着剤とした。

試験は、写真1,2に示す杵築市の山香温泉センター(大分県杵築市山香町大字野原 2028)の温泉水を用いた。その組成を表1に示す。

表1 杵築市山香温泉センターの温泉水の組成

陽イオン		陰イオン	
ナトリウムイオン Na <sup>+</sup>	9400	塩化物イオン Cl <sup>-</sup>	13500
カリウムイオン K <sup>+</sup>	700	硫酸イオン SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<1
カルシウムイオン Ca <sup>2+</sup>	290	炭酸水素イオン HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5400
マグネシウムイオン Mg <sup>2+</sup>	2300	その他	
ストロンチウムイオン Sr <sup>2+</sup>	17	全鉄 T-Fe	4
リチウムイオン Li <sup>+</sup>	36	全シリカ T-SiO <sub>2</sub>	45

数値単位：mg/L

試験結果を図3に示す。試験はSV10で通水した(試験水の都合上、100BETまで通水)。

試験の結果、吸着剤1g当り3mgのリチウムが吸着した(吸着率80%)。また、通水後、吸着剤から吸着したLiを酸溶離させ、リチウム回収率を算出した結果、回収率は77%であった。さらに酸溶離液について定性分析を実施した結果、ストロンチウムSr、ランタンLa、タンタルTa、ユウロピウムEr、金Auなどを含有している可能性が示唆された。



写真1 山香温泉センター



写真2 山香温泉センター

#### 4.まとめ

今回は、吸着剤を用いた簡易的な吸着・回収試験を実施したが、十分な吸着能ではないため、全く実用レベルではなかった。大分県には、多くの温泉があり、その中にはリチウムをはじめとする様々な有価金属が溶存しており、回収方法を最適化することで温泉資源の活用が可能であると考えられ、今後の調査・研究が望まれる。

#### 5 謝辞

温泉水の採取に快く対応して頂いた各源泉所有者・担当者の方々に心よりに感謝します。

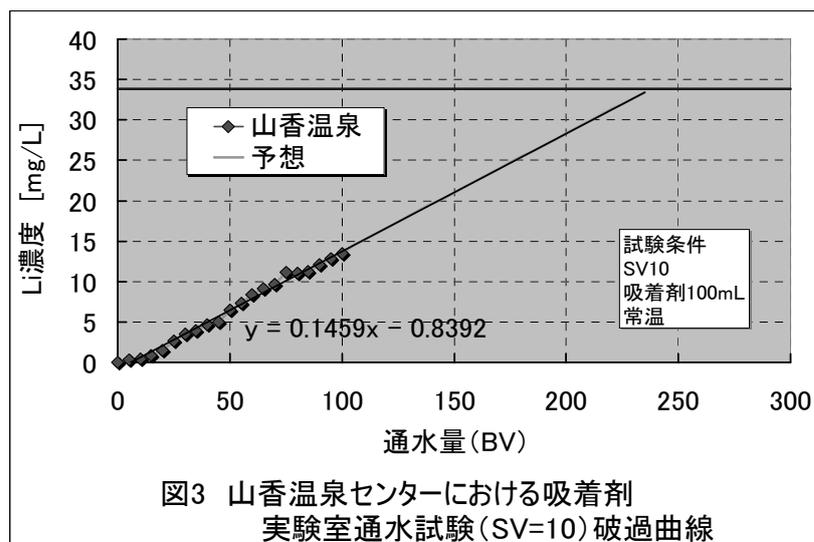


図3 山香温泉センターにおける吸着剤  
実験室通水試験 (SV=10) 破過曲線

#### 参考文献

- 大分県生活環境部 生活環境企画課(2009):大分県温泉調査報告 温泉分析書, 第60号, 1-139.  
 社団法人日本地熱調査会(2000):新版わが国の地熱発電所設備要覧, 163-191.  
 宮井良孝, 大井健太, 加藤俊作 (1985):二酸化マンガ(IV)によるリチウム吸着性 地熱水からのリチウム採取の研究 3 日本鉱業会, 102 1179 ('86-5), 307-310.  
 宮井良孝・大井健太・加納博文・馮旗・加藤俊作(1996):マンガ(IV)系吸着剤による海水からのリチウム採取に関する研究 四国工業技術研究所 研究報告, 第28号.  
 新エネルギー産業技術総合開発機構(1997):平成8年度研究協力推進事業 かん水中の有価資源回収技術に研究協力フォローアップ 報告書.  
 喜多僚鮎子・ Marek Holba・鈴木拓・西浜章平・吉塚和治(2004):λ-MnO<sub>2</sub> 粒状吸着剤を用いた海水からの高選択的リチウム回収プロセス 日本イオン交換学会誌, vol16 No.1, 49-54.  
 独立行政法人日本原子力研究開発機構・日本カーリット株式会社・株式会社アンザイ・株式会社群馬分析センター・財団法人群馬県産業支援機構(2008):「草津温泉から希少金属の回収に成功 放射線グラフト重合で開発した金属捕集布でスカンジウム回収を実証」(平成20年10月発表), <http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08100703/index.html>, 参照 2010.12.10



## [温泉療法が慢性心不全患者の血中サイトカインに与える影響]

九州大学生体防御医学研究所気候内科

牧野直樹

慢性心不全患者は種々のサイトカインが高いことが知られていることから、本患者に対して温泉療法が免疫機能の改善に有効か否か検討した。温泉入浴時には入浴前 30 分、入浴直後、入浴後 10 分毎に入浴後 40 分まで血圧及び脈拍測定を行った。血中サイトカインの測定は温泉入浴の当日と温泉入浴 2 週後の早朝採血し血清を分離した後、 $-80^{\circ}\text{C}$ の冷凍庫に保存した。血清中のサイトカインとしてインターロイキン-1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ )、インターロイキン-6 (IL-6)、インターロイキン-8 (IL-8) および腫瘍壊死因子 (TNF- $\alpha$ ) を酵素免疫法にて測定した。心機能の評価は心臓超音波検査にて行った。左室拡張期径は有意に低下したが左室駆出率は差を認めなかった。血清中の IL-1 $\beta$  および IL-8 レベルは入浴前と入浴 2 週間後で比較して低下傾向を示したが有意差はみなかったが、血清 IL-6 レベルは入浴前と比較して入浴後 2 週間では明らかに低下を認めた。一方、血清 TNF- $\alpha$  レベルも入浴前後で有意な変化は見られなかった。本結果では温泉入浴は高齢者の心不全の改善効果を示したが、血液中の IL-6 の低下は生体免疫応答機能の改善の調節を示唆するものである。



## 山香町の温泉の生成機構

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，山田誠，三島壮智

大分大学教育福祉科学部

酒井拓哉，大上和敏

### 要旨

大分県杵築市山香町の温泉の現況を調査し，温泉水や温泉付随ガスを採取して化学および同位体データを取得し，温泉の生成機構について考察した。その結果，当該地域の温泉は地下深部に存在するNa-Cl型水質の高塩分水へ浅所のHCO<sub>3</sub>型水質の地下水が混合することで生成しており，その高塩分水は古い時代(第三紀)の火成活動にともなって生じたマグマ性熱水流体の遺留物である可能性が示された。

### 1. はじめに

近年の大深度温泉井掘削により，平野や山あい，時に山地稜線部の地下に高塩分の温泉水の存在が以前に増して知られるようになり，その生成機構に多くの人々が関心を寄せている(例えば，渡部・他，2009；大沢・他，2010；村松・他，2010)。それらの温泉水の主要な化学成分は，陽イオンはナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)，陰イオンは塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)であることから，地層粒子間隙中に閉じ込められた古い時代の海水であると考えられがちであるが，全てがそういうわけではないことが次第に明らかにされはじめている。

大分県においては，大分平野で掘削された温泉井，平野縁辺部に存在する鉱泉から流出する高塩分の温泉水や鉱泉水の研究が行われており(大沢，2003，網田・大沢，2003；大沢，2005)，堆積物が堆積岩へ変化する際に放出される熱水(続成脱水流体)や，より温度・圧力の高い条件で発生されるとされている熱水流体(変成脱水流体)が温泉の起源流体となっている可能性が指摘されている(網田・大沢，2003；大沢・他，2010)。

高塩分の温泉水あるいは鉱泉水の湧出が見られる県下のその他のエリアには，杵築市山香町が古くから知られている(山下，1982；大沢・他，1994)。そこで，本調査研究では，山香町の温泉の現況を調査し，温泉水と温泉付随ガスを採取して\*成分の濃度や同位体組成など地球化学に関するデータを取得し，温泉の生成機構について考察したので報告する。

\*ガスの採取・分析は今回が初めての試みであると思われる。

### 2. 調査温泉および関連地質

山香町誌や大分県発行の温泉分析書によれば，山香町にはかつて多くの鉱泉(神塩，高取，今畑)や温泉が存在したが，調査時に利用されているのが確認できたのは，山香温泉センターと山香温泉風の郷のわずか 2 源泉であった(図1)。山香温泉センターは，立石川の川

岸や川中に湧出していた神塩鉱泉を医療用に活用する目的で、昭和 55 年に川岸の道路脇で 700m のボーリングによって開発された温泉である(山下, 1982). 一方, 山香温泉風の郷は、平成 12 年に 1500m の深度ボーリングで新規開発された温泉であるが、当初の泉源の地番〔倉成 2874-1〕が現在のそれ〔倉成 3003〕と異なることから、調査した泉源はそれとは別の泉源が改掘されたものであると思われる。どちらの温泉も開発から相当の年数が経過しているにもかかわらず、大量のガスをともないながら自噴している。なお、この温泉付随ガスは、一般に言われているように、元々地中では温泉水に溶存していたもので、それが井戸管内を伝って上昇してくる間に温泉水から脱ガス・分離したと考えられる。

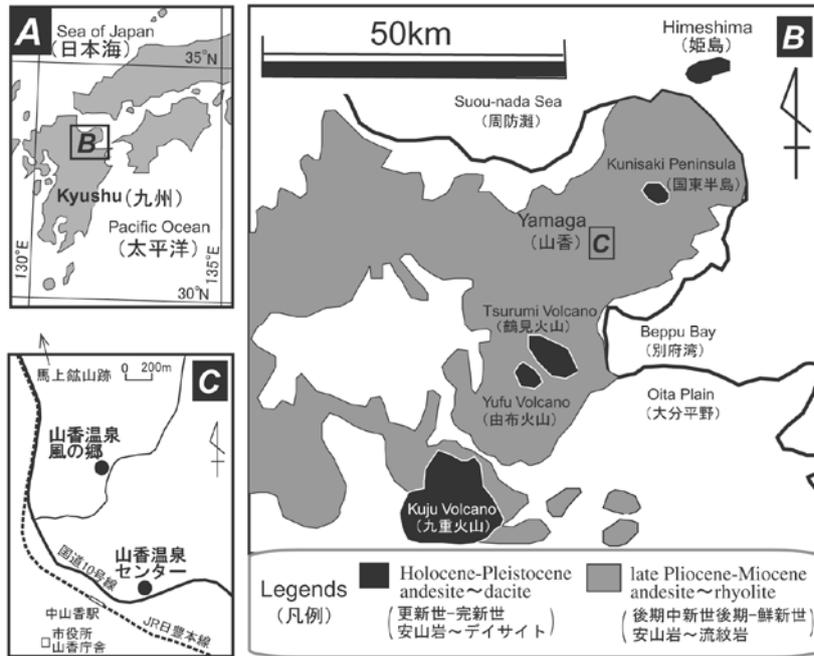


図1 調査温泉の位置図と関連地質等

泉源位置を詳しい地質図(例えば、産業技術総合研究所地質調査総合センター(編), 2011)に照らし合わせると、山香温泉センターは後期更新世-完新世の堆積岩類の分布域内にあるが、ボーリングで得られた岩石試料の研究から、地下地質は熱水変質を受けているものの安山岩であると推定されており、各所に亀裂や破碎帯が認められ、粘土鉱物や熱水性鉱物で充填されていることが分かっている(山下, 1982). 山香温泉風の郷の地下地質の情報は入手できなかったが、後期中新世-鮮新世の火山岩類の分布域にあることから、山香温泉センターと同様に熱水変質を受けた安山岩からなるのではないかと推定される。

本地域において温泉に関連する地質現象として特記しておきたいものに、馬上鉱床がある(星住・森下, 1993; Watanabe, 2005). それは温泉地域の北側に隣接する辺りに存在する浅熱水性の金鉱床であり、すでに閉山して久しいが、生産量 10 トンを超える我が国でも代表的

な金鉱床のひとつであった。鉱床の分布域にはプロピライト化作用を受け熱水変質した火山岩類が広い範囲に存在しており、熱水変質と金の鉱化作用は一連の熱水活動によって生じたと考えられている(星住・森下, 1993)。

### 3. 研究の方法

前出の2ヶ所の源泉において、可能なかぎり源泉に近い位置で下に記す作業を行った。現地で温泉水の温度と pH を測定し、化学分析用と同位体分析用の温泉水をそれぞれポリ瓶、ゴム製セプタム付ガラス瓶に採取した。付随ガスは、水上置換法を用い、次の2通りの方法で採取した。【ガス試料-1】気泡状のガスをロートを使ってコック付きのビニール袋に捕集した後、直ちにアルカリ溶液(5M KOH)を含むガス採取容器(大型ガラス浣腸器)に移した。この操作により容積の大半を占めると考えられる二酸化炭素ガス(CO<sub>2</sub>)がアルカリ溶液に吸収されるため、ガスを繰り返し吸引することによりアルカリ溶液に吸収されないガス成分(残留ガス:以下 R ガスとする)の容積を十分なものにして実験室に持ち帰ることができる。【ガス試料-2】ロートを使って気泡状のガスを直接ゴム製セプタム付のガラス瓶に少量の温泉水とともに採取した。運搬・保存時にはガラス瓶を転倒させ、セプタムとの合わせ部分が温泉水でシールされるようにして外気と遮断し、試料ガスの漏出と空気汚染を防いだ。

温泉水の化学分析では、主要成分の定量分析を行った。HCO<sub>3</sub>を除く主要成分(Na, K, Mg, Ca, Cl, SO<sub>4</sub>)はイオンクロマトグラフィーで、HCO<sub>3</sub>は 4.3 アルカリ度法で分析した。温泉水の同位体分析としては、水の水素と酸素の安定同位体組成( $\delta D$  と  $\delta^{18}O$ )と溶存全炭酸(DIC)の炭素安定同位体組成( $\delta^{13}C$ )の測定を、The Stable Isotope Laboratory, GNS Science Limited (ニュージーランド)保有の安定同位体質量分析計を用いて行った。測定精度は、 $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ,  $\delta^{13}C$  のそれぞれについて $\pm 1.0\%$ ,  $\pm 0.1\%$ ,  $\pm 0.2\%$ である。

ガス試料-1から二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、窒素(N<sub>2</sub>)、アルゴン(Ar)、ヘリウム(He)、水素(H<sub>2</sub>)、メタン(CH<sub>4</sub>)および酸素(O<sub>2</sub>)の化学組成データを得た。CO<sub>2</sub>はアルカリ吸収液から CO<sub>2</sub>電極法によって分析した。N<sub>2</sub>, Ar, He, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>は京大地球熱学研究施設設置の O<sub>2</sub>ガスをキャリアーガスとしたガスクロマトグラフで分析し、O<sub>2</sub>はそれらの分析値、R ガスの容積、実験室内の気温・気圧データを用いて気体の状態方程式から計算によって求めた。また、ガス試料-2から CH<sub>4</sub> に対するエタン(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、プロパン(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)の相対組成とそれら炭化水素ガスの炭素安定同位体組成( $\delta^{13}C$ )のデータを得た。化学分析は JIS-2301「燃料ガス及び天然ガスの試験分析法」に基づき、石油資源開発(株)技術研究所保有のガスクロマトグラフを用いて行った。炭素安定同位体分析は、同研究所保有のガスクロマトグラフ燃焼前処理装置付安定同位体質量分析計で測定した。測定精度は $\pm 0.2\%$ 程度である。

### 4. 結果と考察

試料の分析結果をまとめて表1に示した。

表1 温泉水と付随ガスの化学・同位体分析データ

$\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ,  $\delta^{13}C$  はそれぞれ水素, 酸素, 炭素の安定同位体組成, DIC は溶存全炭酸(=CO<sub>2</sub>(aq)+HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)

温泉名	山香温泉センター	山香温泉風の郷
記号	Y	K
調査日	2010/9/29	2010/9/29
水温(°C)	32.3(タンク内)	39.7
<b>【水試料】</b>		
pH	6.7	6.9
Na (mg/L)	9520	3870
K (mg/L)	716	298
Mg (mg/L)	143	210
Ca (mg/L)	284	154
Cl (mg/L)	12500	3320
SO <sub>4</sub> (mg/L)	0.9	0.7
HCO <sub>3</sub> (mg/L)	5240	5290
DIC (mg/L)	4800	4750
H <sub>2</sub> O の $\delta D$ (‰)	-44.4	-55.5
H <sub>2</sub> O の $\delta^{18}O$ (‰)	-1.65	-6.74
DIC の $\delta^{13}C$ (‰)	-2.90	-2.66
<b>【ガス試料】</b>		
CO <sub>2</sub> (%)	91.1	88.8
CH <sub>4</sub> (%)	6.41	5.60
N <sub>2</sub> (%)	2.47	5.46
O <sub>2</sub> (%)	0.021	0.073
Ar (%)	0.021	0.057
He (ppm)	64	41
H <sub>2</sub> (ppm)	0.9	29
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (ppm)	98	57
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (ppm)	3.6	1.1
CO <sub>2</sub> の $\delta^{13}C$ (‰)	-7.04	-6.50
CH <sub>4</sub> の $\delta^{13}C$ (‰)	-45.6	-40.7
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> の $\delta^{13}C$ (‰)	-43.3	-46.4
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> の $\delta^{13}C$ (‰)	-36.9	少量のため分析できず

溶存成分のうち、陽イオンで卓越する成分は、山香温泉センター、山香温泉風の郷センター、風の郷と略記する)、ナトリウムイオン (Na<sup>+</sup>) であるが、卓越する陰イオンはセンターが塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>) で、風の郷は炭酸水素イオン (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) であった。そこで、山下 (1982) に記載されている山香町の湧水、井戸水、河川水の水質データとともに陰イオン相対組成図上にプロットしてみたところ(図2のA)、センターに湧出するような塩分濃度の高いNa-Cl型温泉水に相対的に塩分濃度の低い炭酸性(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型)の地下水が混入して風の郷の温泉水が生成していることを示した。この混合関係は温度情報を合わせ持つ陽イオン相対組成図(Na-K-Mg)にもよく表現され(図2のB)、センターの温泉水も含め、当該地域の温泉は、210℃程度の熱水(Na-Cl型水質)に浅所の地下水(HCO<sub>3</sub>型水質)が混合するという単純な熱水系の存在で包括的に説明できることを示唆している。

温泉付随ガスの卓越する主要成分は、センター、風の郷ともに二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)であり、それに次ぐ成分はメタン(CH<sub>4</sub>)である。CH<sub>4</sub>に比べるとごくわずかな量であるが、他の炭化水素、例えばエタン(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、プロパン(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)も含まれ、CH<sub>4</sub>/(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>+C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)比とCH<sub>4</sub>の炭素安定同位体比(δ<sup>13</sup>C)による炭化水素ガスの起源分類図(バーナード図;早稲田・他, 2002)にセンター、風の郷のデータをプロットしたのが図3である。いずれも有機物の熱分解によって生成したものであり、深部で生じたものが浅所に向けて移動してきたと解釈される。地下環境における有機

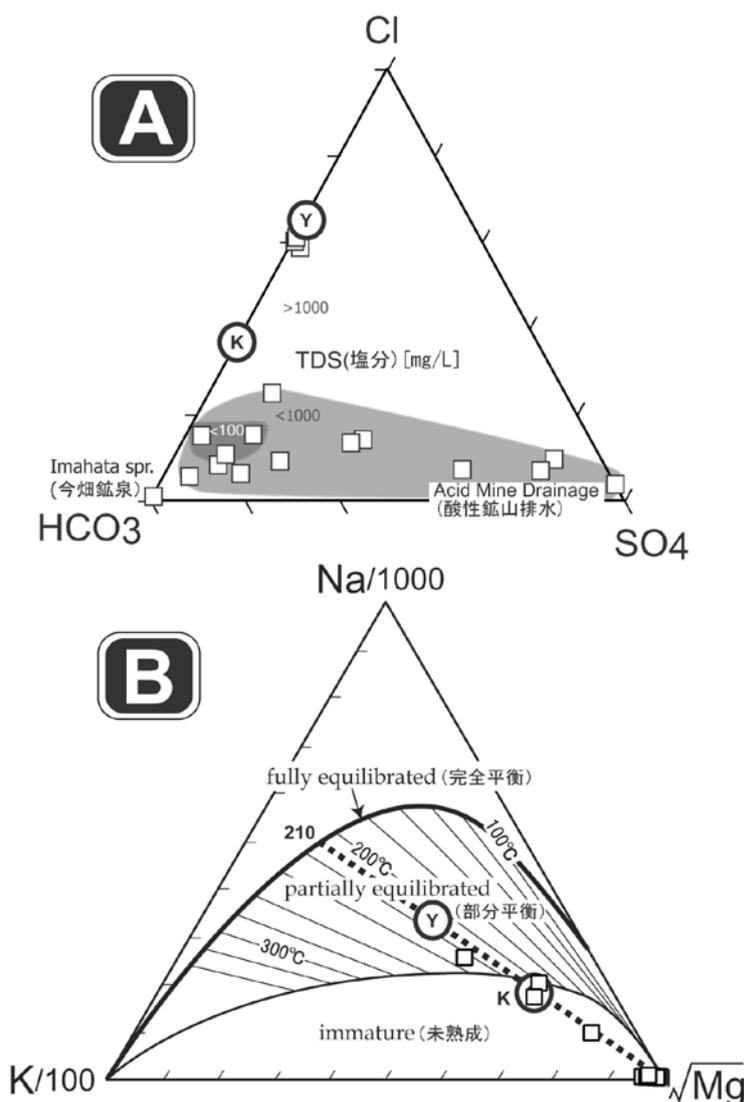


図2 温泉水の水質。(A)陰イオン組成, (B)Na-K-Mg 相対組成

温泉試料番号 K, Y は表1を参照. □は当該地域のその他の天然水データ(山下, 1982).

物の熱分解で炭化水素が発生するには80°Cほど以上の温度が必要であるとされるが(例えば, Claypool and Kvenvolden, 1983), 先述のように温泉水の起源となる深部熱水の温度が200°Cほどの高温である(あった)と予想されることから, 十分に考えうる発生機構である。

CH<sub>4</sub>に次いで量の多いガス成分は, センター, 風の郷ともに窒素(N<sub>2</sub>)であり, アルゴン(Ar)との比(N<sub>2</sub>/Ar)が大気の数値83.6より大きいことから, 大気に由来しないN<sub>2</sub>の混入が示唆される。そのことを検証するために, N<sub>2</sub>-He-Ar 相対組成図上にデータをプロットしたところ(図4), 大気や有機物に由来するガスだけでは説明できない組成をもつことが示され, マントルや地殻, マグマといった深部に存在する物質に由来するガスの寄与が示唆された。また, 同様なことが第一卓越ガス成分であるCO<sub>2</sub>についても言え, そのδ<sup>13</sup>C値や溶存全炭酸(DIC)のそれは活火山から噴気として放出されるCO<sub>2</sub>やマントルに由来するとされるCO<sub>2</sub>の値の範囲にある(図5)。山香町には鶴見や由布, 九重といったような新しい時代(第四紀)の火山は存在しないが, 広い範囲にわたって古い時代(第三紀)の火山岩類の分布が見られ(図1のB), 前述したように, 今回調査した温泉もその分布域内にある。したがって, 温泉水に付随するCO<sub>2</sub>やN<sub>2</sub>などのガス成分は現代のものでないマグマ活動の産物であると考えるのは自然であろう。

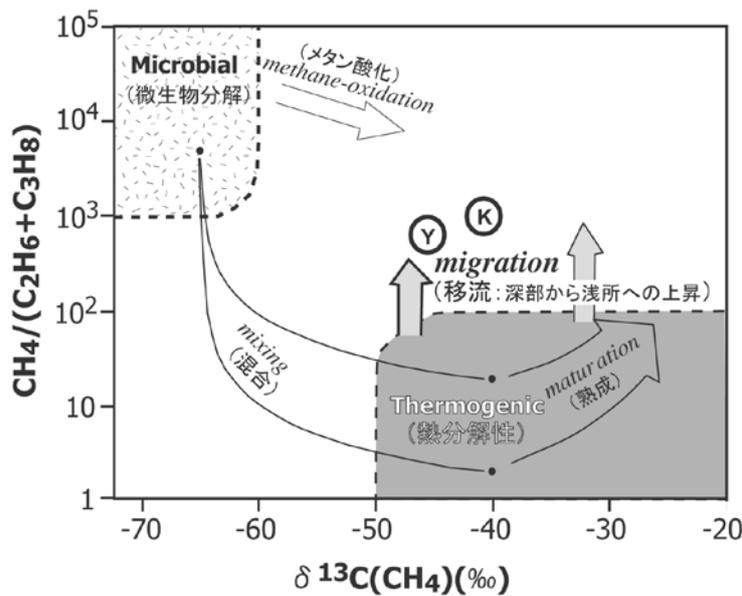


図3 温泉付随ガスの炭化水素組成比(CH<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>+C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)とメタン(CH<sub>4</sub>)ガスの炭素安定同位体比(δ<sup>13</sup>C)の関係【バーナード図】  
温泉試料番号K, Yは表1を参照。

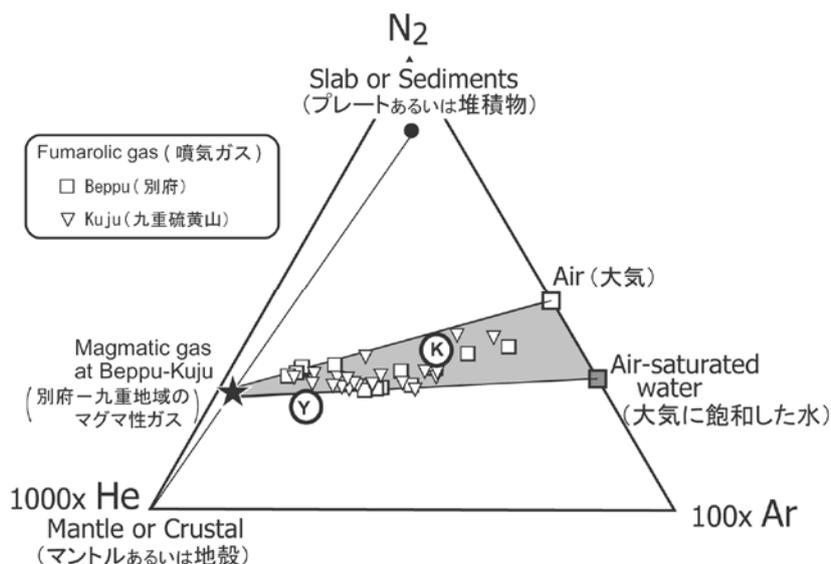


図4 温泉付随ガスの N<sub>2</sub>-He-Ar 相対組成

温泉試料番号 K, Y は表1を参照. 別府温泉のデータ(□)は大沢(2000)から, 九重硫黄山のデータ(▽)は Mizutani et al.(1986)と網田・大沢(2003)より引用. 端成分は Goff and Janik (2002)を参照.

図5 温泉付随ガスの CO<sub>2</sub> と全溶存炭酸(DIC)および起源に関連する地球物質の炭素安定同位体比(δ<sup>13</sup>C)

温泉試料番号 K, Y は表1を参照. 付随ガスは温泉水から脱ガス・分離したものであるため, 地中にあるときの全溶存炭酸の δ<sup>13</sup>C は, 付随ガスの CO<sub>2</sub> と DIC の間のある値を持ち, それは脱ガス率によって決まる(脱ガス率が小さければ DIC の値に寄り, 大きければ CO<sub>2</sub> ガスの値に寄る). 起源物質の δ<sup>13</sup>C 値の範囲は, 大沢(2000), 大沢(2001)等に記載されているものから引用して表示した.

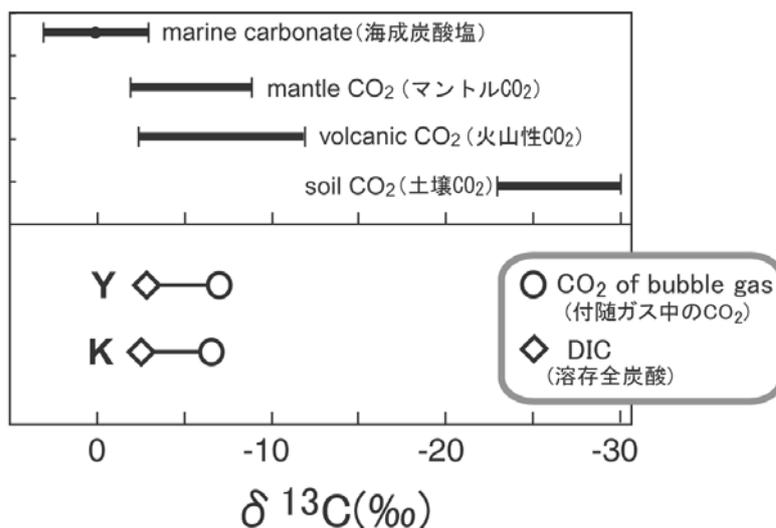


図6は、そのことを意識して作成した水の同位体組成図 ( $\delta D$ - $\delta^{18}O$  関係図)であり、マグマ活動で放出される火山性流体の身近な例として九重火山の噴気ガスや温泉水などを参照データとしてプロットしてある。センター、風の郷の温泉水はともに天水起源の地下水にマグマ性水蒸気が混入してできたものとして説明できる範疇にあり、先の温泉付随ガスから得られる情報と矛盾しない。

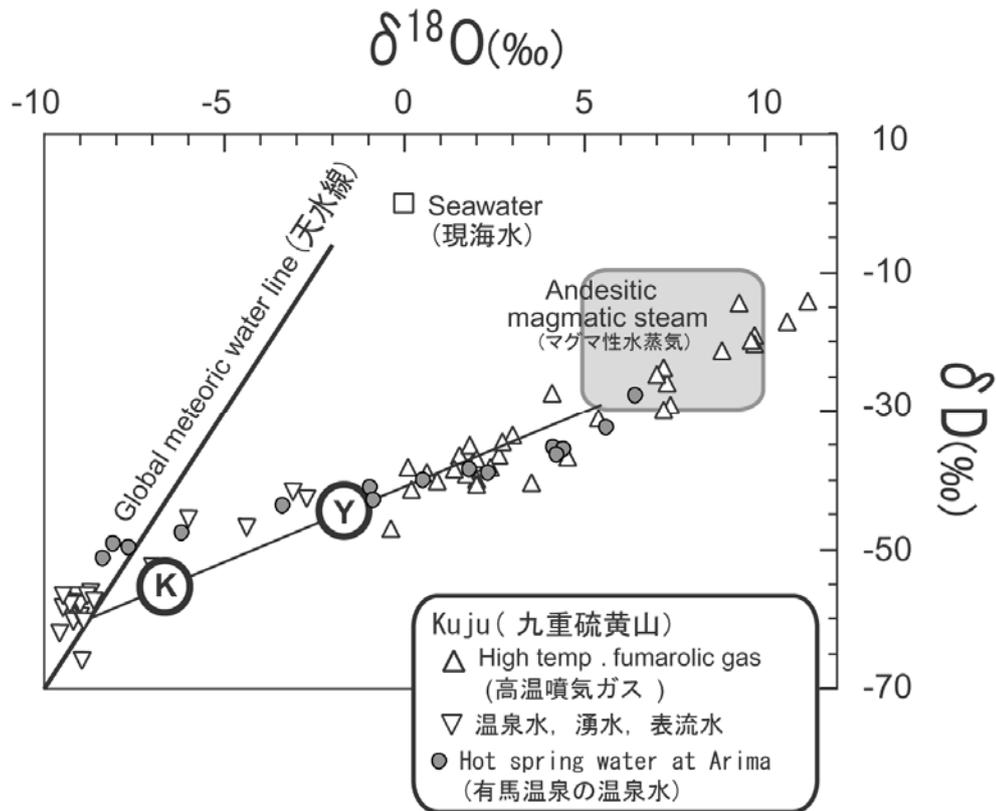


図6 温泉水の水の同位体組成 ( $\delta^{18}O$  対  $\delta D$ )

温泉試料番号 K, Y は表1を参照. 九重硫黄山のデータは Mizutani et al.(1986)と網田・大沢 (2003)から, 有馬温泉のデータは Matsubaya et al. (1973)より引用.

### 5. おわりに

本調査研究により、山香町で見出される高塩分の温泉水は、古い時代(第三紀)の火成活動で発生したマグマ性熱水流体の遺留物に由来する可能性が示された。その検証は今後の研究課題であるが、その有効手段として温泉水の年代測定(例えば、ヨウ素 129 ( $^{129}I$ )法: 大沢, 2006; Tomaru et al., 2007)があり、その適用を今後の具体的な作業のひとつに挙げておきたい。また、温泉地域の北側に隣接する辺りに存在する浅熱水性金鉱床(形成年代は約 500 万年前:例えば、星住・森下, 1993; Watanabe, 2005)との関係の解明も新たな研究課題である。浅熱水性鉱床の最高形成温度は 200°Cほどであり(森下, 1994)、本研究で推定した熱水温

度(210°C)はこの温度よりやや高く、中熱水性(200°C~300°C)の範囲に入る。さらに、一般に浅熱水性鉱床を形成する熱水は天水性であるとされるが(森下, 1994; 森下, 2004), 山香町の温泉水にはマグマ性流体の混入が見られるという違いもある。後に高塩分温泉水の元となるマグマ性熱水流体の周辺部に生じた比較的低温の天水循環熱水系が金鉱床を生んだということが想像され、この点を探るためにも温泉水の年代測定は必須である。

最後に、図6に重ねた有馬温泉のデータを見てもらいたい。有馬の温泉水の同位体組成が活動的な安山岩質火山から放出される水蒸気とる値によく似ていることから、有馬型深部熱水はマグマ水と起源を同じにするスラブ(沈み込む海洋プレート)の脱水により生成された熱水であるという仮説が提示されている(例えば、網田・大沢, 2005; 風早・他, 2008)。しかし、第三紀の火成活動に関連した水であるとする考えも古くからあり(中村・前田, 1958), 成因の議論は慎重であるべきとの考えも示されている(松葉谷, 2009)。山香町の温泉のさらなる研究が、この古くて新しい問題の解決に重要な役割を果たすことを期待したい。

## 謝辞

現地調査と試料採取は、泉源の所有者や管理者の方々のご理解のもとに円滑に行うことができた。関係各位に感謝申し上げます。

## 引用文献

- 網田和宏, 大沢信二(2003)九重硫黄山噴気地域から放出されるマグマ性ガスへの空気及び地下の水の混合過程. 日本地熱学会誌, **25**, 245-265.
- 網田和宏, 大沢信二, 杜建国, 山田誠(2005)大分平野の深部に賦存される有馬型熱水の起源. 温泉科学, **55**, 64-77.
- Claypool, G.E. and Kvenvolden, K.A. (1983) Methane and other hydrocarbon gases in marine sediment. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **11**, 299-327.
- Goff, F., Janik, C.J. (2002) Gas geochemistry of the Valles caldera region, New Mexico and comparisons with gases at Yellowstone, Long Valley and other geothermal systems. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **116**, 299-323.
- 星住英夫, 森下祐一(1993)豊岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 75p.
- 風早康平, 森川徳敏, 安原正也, 高橋正明, 高橋 浩, 大和田道子, 稲村明彦, 仲間純子, 半田宙子, 佐藤 努, Ritchie, B.E. (2008) 深部流体のフラックスと成因~有馬型熱水について~. 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター 第11回シンポジウム地下水のさらなる理解に向けて~産総研のチャレンジ~講演要旨集, pp.15-18.
- Matsubaya, O., Sakai, H., Kusachi, I., Satake, H. (1973) Hydrogen and oxygen isotopic ratios and major element chemistry of Japanese thermal water systems. *Geochemical J.*, **7**, 123-151.

- 松葉谷治(2009)有馬型温泉とはいかなる定義のものか. 温泉科学, **59**, 24-35.
- Mizutani, Y., Hayashi, S., Sugiura, T. (1986) Chemical and isotopic compositions of fumarolic gases from Kuju-Iwoyama, Kyushu, Japan. *Geochemical J.*, **20**, 273-28.
- 森下祐一(1994)マグマによる熱水性鉱床の生成-鉱脈型, スカルン型及び斑岩型鉱床から得た2, 3の知見-. 地質学論集, **43**, 98-108.
- 森下祐一(2004)北薩・串木野地域における一つの金鉱床成因研究物語. 地質ニュース, **599**, 59-68.
- 村松容一, 近藤史也, 千葉仁, 早稻田周, 長島秀行(2010)関東山地北縁における非火山性温泉の水質および安定同位体比とその地質学的解釈. 温泉科学, **60**, 4-21.
- 中村久由, 前田憲二郎(1958)本邦高鹹泉の温泉地質学的意義. 地質調査所月報, **9**, 431-440.
- 大沢信二, 北岡豪一, 由佐悠紀(1994)大分県内温泉の泉質分類と泉質分布図の作成. 大分県温泉調査研究会報告, **45**, 25-37.
- 大沢信二(2000)噴気ガスの化学・同位体組成からみた別府温泉の地熱流体の起源及び性状. 大分県温泉調査研究会報告, **51**, 19-28.
- 大沢信二(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(2003)塚野鉱泉の水質形成機構. 大分県温泉調査研究会報告, **54**, 7-14.
- 大沢信二(2005)大分県南部地域の温泉の同位体地球化学調査-臼杵市の六ヶ迫鉱泉-. 大分県温泉調査研究会報告, **56**, 5-9.
- 大沢信二(2006)別府温泉は何歳か?-別府地熱系の年齢と熱水の起源-「大沢信二編:温泉科学の新展開(ナカニシヤ出版), 第7章」, pp.149-172.
- 大沢信二, 網田和宏, 山田誠, 三島壮智, 風早康平(2010)宮崎平野の大深度温泉井から流出する地熱流体の地化学特性と起源. 温泉科学, **59**, 295-319.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター(編)(2011)20万分の1日本シームレス地質図データベース. 産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB084, 産業技術総合研究所地質調査総合センター. 産総研著作物管理番号: H17PRO-316.
- Tomaru, H., Ohsawa, S., Amita, K., Lu, Z., Fehn, U. (2007) Influence of subduction zone settings on the origin of forearc fluids: Halogen concentrations and  $^{129}\text{I}/\text{I}$  ratios in waters from Kyushu, Japan. *Applied Geochemistry*, **22**, 676-691.
- 山下幸三郎(1982)山香町内の鉱泉・湧水の水質. 「山香町誌 第二編 地誌, 第四章」, p.163-p.171, 山香町誌刊行会, 大分.
- 早稻田周, 岩野裕継, 武田信従(2002)地球化学からみた天然ガスの成因と熟成度. 石油技術協会誌, **67**, 2-15.
- 渡部直喜, 佐藤壽則, 古谷元(2009)新潟地域の大規模地すべりと異常高压熱水系. 地学雑誌, **118**, 543-563.

Watanabe, Y. (2005) Late Cenozoic evolution of epithermal gold metallogenic provinces in Kyushu, Japan. *Mineralium Deposita*, **40**, 307–32.



## 別府地域の河川水質への温泉排水の影響評価

大分大学大学院教育学研究科

酒井拓哉・川野田実夫

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・馬渡秀夫・山田誠・三島壮智

### 要旨

大分県別府市において温泉排水がどこで・どのように河川水質に影響を与えているかについて評価を行うために、市街地を流れる 6 河川の上流から最下流部までにおいて水質調査を実施し、流下に伴う水質変化を明らかにし、さらに、各河川の流域付近に分布する温泉の泉質との比較を行った。その結果、下水道未整備地域に集中的に存在する Na-Cl 型の沸騰泉からの温泉排水の影響が大きいことが確認され、新たに境川では他の河川と比べて温泉排水以外の影響が相対的に強いことが示唆された。また、絶えず湧出している沸騰泉からの余剰の未利用温泉排水の影響が考えられるため、河川への温泉排水の影響には揚湯量に関係していると推測された。

### 1. はじめに

鶴見火山東麓の扇状地に展開する別府温泉は、源泉数約 3000 口、湧出量 95 トン/分を誇る一大温泉地である。別府温泉では古来より自然湧出の温泉や地獄が扇状地の北と南の端に分かれて分布しており、これらを核に温泉の開発（温泉井の掘削）が進められ、現在の形に発展してきた。別府温泉には北から冷川、新川、平田川、春木川、境川、朝見川が別府湾に向かって流れており、いずれも元は扇状地河川であったが、護岸工事により今ではほぼ全域が三面張りになり、本来の扇状地河川の機能を失ってしまっている。それらの河川のなかで冷川を除く 5 河川は流域に分布する温泉からの排水の影響を受けていることが明らかにされている（川野・他、1994：1998；大沢・他、2007：2008）。

川野・他（1994；1998）は、別府市街地を流れる 6 河川の水質調査を行い、各河川の最下流の主要化学成分濃度と日本河川の平均値の比較や河川水を通して排出される温泉起源のイオン性成分量の見積もりから冷川を除く 5 河川に温泉排水の影響があることを示した。また、大沢・他（2007；2008）は、各河川の上流域から最下流部までの多地点で河川水を採取し、主要溶存化学成分と溶存微量元素の化学分析を行い、水温と主要溶存化学成分濃度の総量値(TDS)の変化や河川水の Li/Cl 比と TDS 値の比較から河川水質に影響を与えているものが温泉排水であるということを明示した。

一方、山崎（2005）は、上記河川の流域、上流から最下流部までにおいて河川水質を精

査して、河川流下にともなう河川水の水質変化をつぶさに表わし、Na-Cl型の沸騰泉からの温泉排水の影響が最も大きく、下水道未整備地域に集中的に存在する沸騰泉から大量の温泉排水が河川へ流入していることを予想した。しかし、流域付近に分布する温泉の泉質との比較は行っておらず、温泉排水が具体的にどこで・どのように河川水質に関わっているかについては未だに明確にされていない。本研究ではその点に注目し、山崎（2005）と同様な河川水質の精査を実施し、新たに温泉水の成分濃度と泉源の住所が記載されている温泉分析書と、泉源の住所とともに位置を著した地図が掲載されている温泉台帳等を調査し、それらを基に作成する泉質分布図と各河川の水質を対比させて温泉排水がどこで・どのように河川水質に影響を与えているかについて評価を行った。

## 2. 泉質分布図の作成

### 2-1. 泉源位置

泉質分布図を作成するにあたって、まず始めに、大分県が発行している温泉水の化学分析値が掲載されている温泉分析書に記載されている各温泉の湧出地(泉源)の住所を、大分県東部保健所が管理している温泉台帳に記載されている住所に照らし合わせ、泉源の位置を特定する作業を行い、特定できた泉源の位置を地図上に書き込んだ。

照らし合わせをした温泉の数は1204であったが、複数箇所の泉源からの引き湯であったり、温泉台帳に泉源の位置が具体的に記載されていないなどの理由で、位置が特定できなかったものもあり、最終的に位置が確実に特定できた泉源の総数は477であった。

### 2-2. 泉質分類

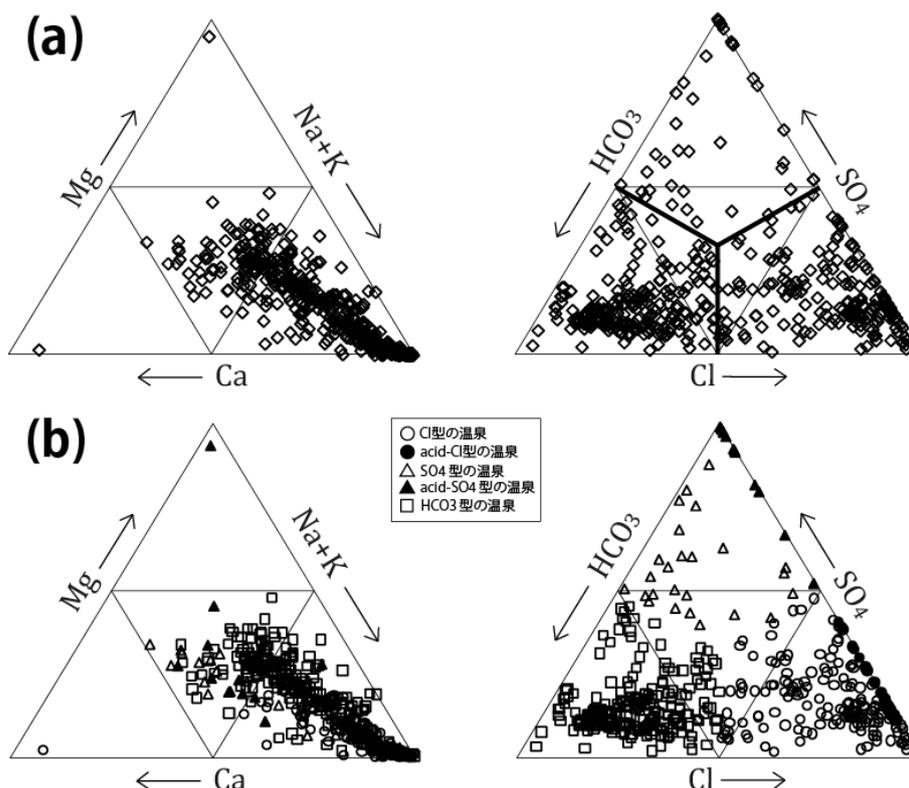
泉源の位置が特定できた温泉の温泉分析書に記載されている温泉成分の分析値 ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ ) を用いて行う泉質分類には、三角組成図を用いた。図1-(a)は泉源の位置を確認できた477泉源の温泉水について、三角組成図に表したものである。

陰イオンの三角組成図を見ても、全体にデータがプロットされており、 $\text{Cl}^-$ の割合の高い温泉、 $\text{SO}_4^{2-}$ の割合の高い温泉、 $\text{HCO}_3^-$ の割合の高い温泉が存在するため、陰イオン3成分での分類が可能である。一方、陽イオンの三角組成図を見ても、 $\text{Na}^+$ + $\text{K}^+$ のコーナーからMg辺へ向かって直線状に並ぶ特徴的な分布をしているが、全般にアルカリ元素の割合が高く、陽イオンによる分類の適切な基準を見いだせなかったため、今回は陰イオンだけで泉質を分類することとし、Cl型、 $\text{SO}_4$ 型、 $\text{HCO}_3$ 型の3種類に分類した。別府温泉の温泉水は成因論的に深部熱水型と蒸気加熱型に分けられ、前者は $\text{Cl}^-$ の割合が多く、後者は $\text{SO}_4^{2-}$ や $\text{HCO}_3^-$ の割合が多いとされており、泉質的に前者は塩化物泉、後者は硫酸塩泉と炭酸水素塩泉に対応づけられることから、今回の分類方法に大きな不都合はないと考える。

さて、別府温泉には明礬地区に湧出している酸性硫酸塩泉や鉄輪地区に湧出している酸性塩化物泉が存在し、今回の陰イオン3成分での分類では、それぞれSO<sub>4</sub>型、Cl型に分類される。後述する河川水質データ（表1）に示されるが、河川水が酸性となる流域（区間）が存在し、酸性温泉の排水の影響を受けていることが明らかであるため、陰イオン三角組成図は酸性硫酸塩泉や酸性塩化物泉を酸性でない硫酸塩泉や塩化物泉と見分けられることが望ましい。酸性温泉水（pH4.3以下）はHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の割合が0%になることから、陰イオン三角ダイアグラム上ではすべてSO<sub>4</sub>軸上にプロットされる。それらの温泉水のうち、Cl<sup>-</sup>の割合の高い温泉を酸性のCl型（以下 acid-Cl型）、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の割合の高い温泉を酸性のSO<sub>4</sub>型（以下 acid-SO<sub>4</sub>型）とし、泉質の種類に加えることにした。

図1-(b)は、図1-(a)に表した477泉源の温泉をCl型、SO<sub>4</sub>型、HCO<sub>3</sub>型、acid-Cl型、acid-SO<sub>4</sub>型の温泉に分け、陽イオンと陰イオンの三角組成図に表したものである。Cl型、acid-Cl型の温泉は陽イオンではアルカリ元素の割合が高くなっており、Na-Cl型といえるが、SO<sub>4</sub>型やacid-SO<sub>4</sub>型、HCO<sub>3</sub>型の温泉の陽イオンはアルカリ土類元素の割合の高い温泉も存在し、陽イオン組成による分類が難しいということが確認できる。

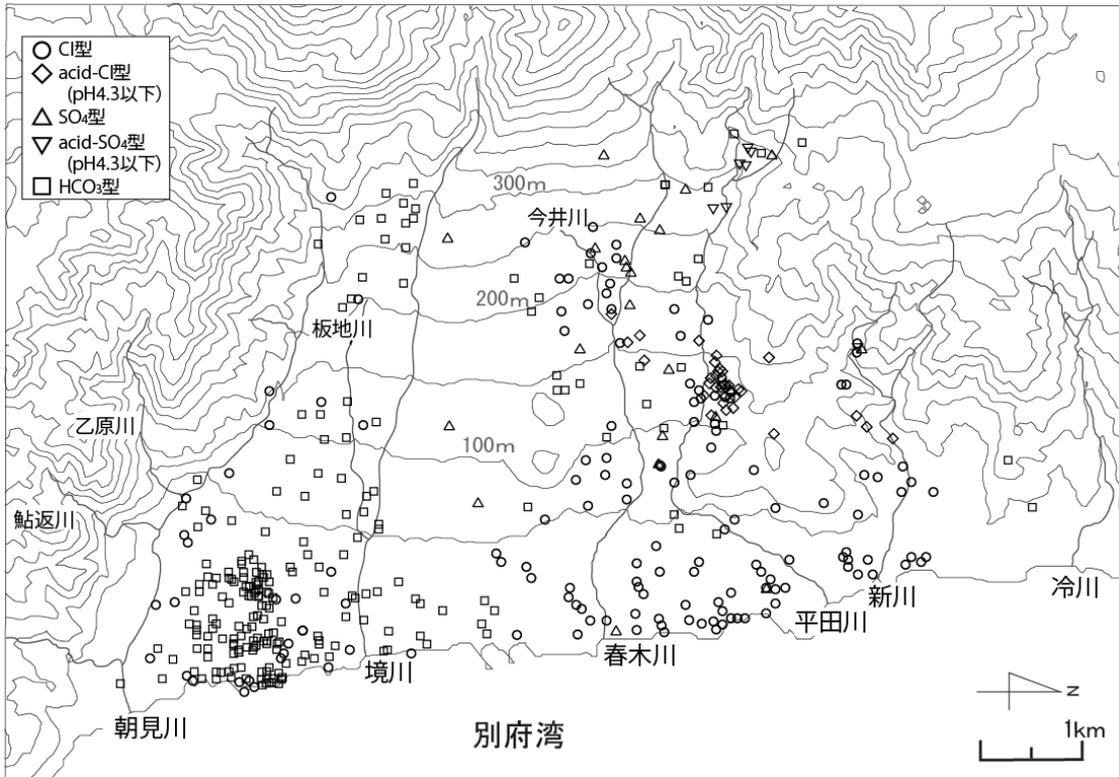
図1 酒井・他



### 2-3. 泉質分布図

Cl型、SO<sub>4</sub>型、HCO<sub>3</sub>型（以上は酸性ではない温泉）、acid-Cl型、acid-SO<sub>4</sub>型の5種類に分類した温泉477源泉の位置を地形図上にプロットし、泉質分布図を作成した（図2）。境川の左岸側に沿って温泉がまばらにしか存在しないエリアを境にして、南部地域ではHCO<sub>3</sub>型が相対的に多く見られ、北部地域にはHCO<sub>3</sub>型に比べCl型やSO<sub>4</sub>型が多く分布しており、特に低地部にはCl型が多く、SO<sub>4</sub>型は高地部のみ分布している。また、北部高地部には5種類全ての泉質の温泉が分布していることも特徴の一つとして挙げることができる。

図2 酒井・他



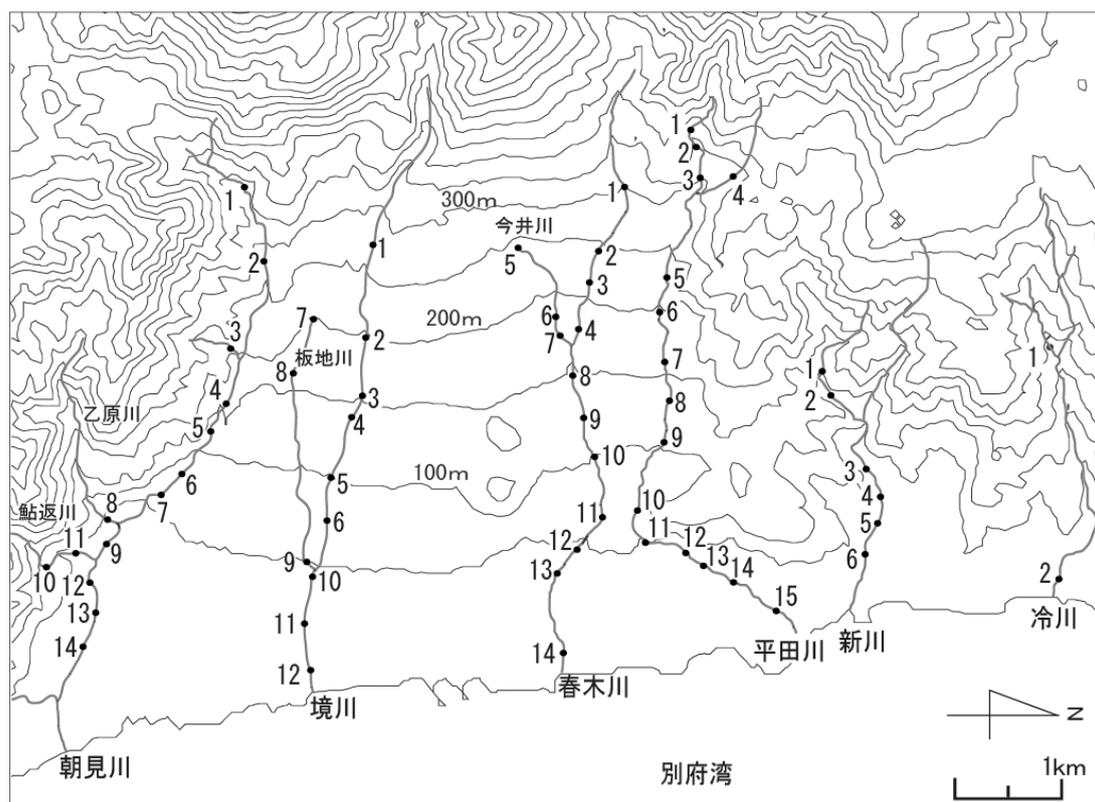
### 3. 河川水質の調査

試料採取は2009年8月20日に行った。採水地点は、冷川2地点、新川6地点、平田川15地点、春木川14地点、境川12地点、朝見川14地点である（図3）。採水地点は基本的に橋のある場所とし、橋からの採水はひも付きバケツを用いて行い、直接採水可能な地点は河床に降りて採水した。主要化学成分分析用に250mlポリエチレン製の容器を用い、2本採水した。現地では、気温、水温、pH、電気伝導度(EC)を測定し、主要化学成分（Li<sup>+</sup>、

Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の分析は現地調査後、実験室にてイオンクロマトグラフ（DIONEX社製 DX-120）を用いて行った。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は、電極法（東亜ディーケーケー株式会社製 ION/pH METER IM-22P、炭酸ガス電極 CE-2041）にて求めた。

上述の方法にて取得した河川水の主要陰イオン成分（Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>）の化学分析値を使い、本研究で設定した泉質（温泉の水質）の分類法に基づいて河川水質の分類を行った。現地測定結果（気温、水温、pH、電気伝導度）、分析結果とともに各河川の河川水質分類結果を表1に示す。

図3 酒井・他

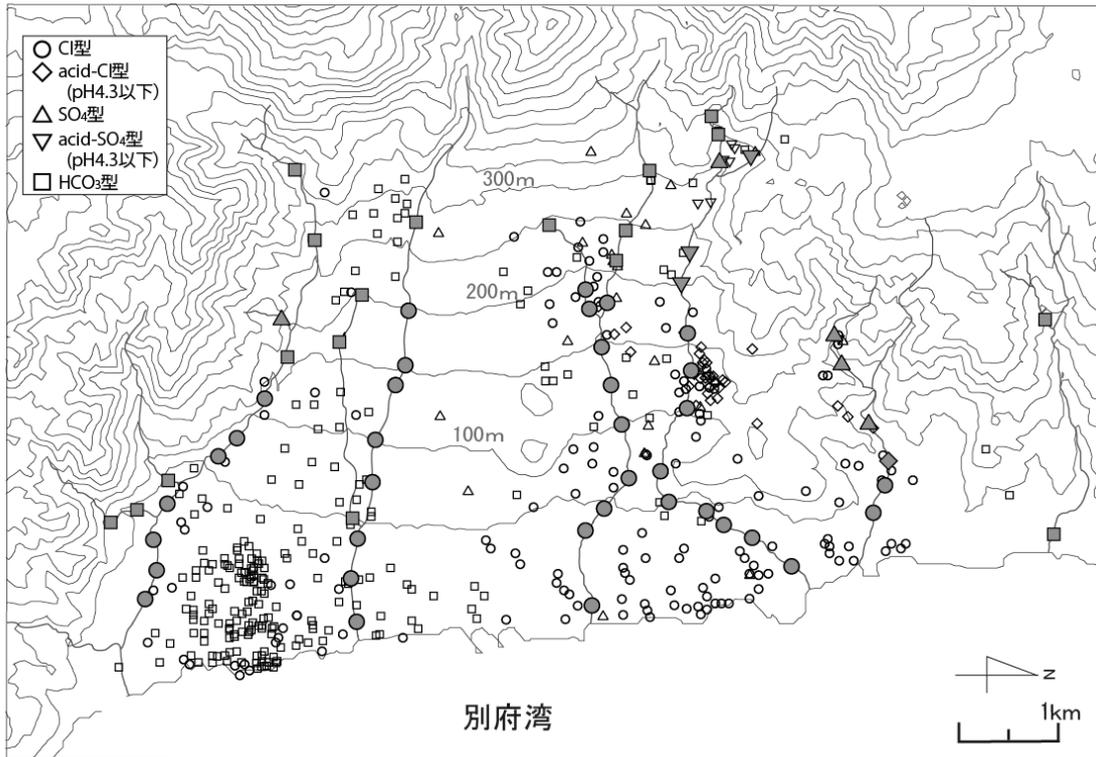


#### 4. 考察

##### 4-1. 泉質分布図と河川水質の対比による温泉排水の影響評価

前章では、河川水質への温泉排水の影響評価を行うための準備段階として、本研究の中で提示した温泉水の水質分類法によって河川水質の分類を行った。ここでは、その結果（水質）を、泉質分布図と同様に、調査地点の位置に表し、流域の温泉の泉質と河川水質の対比を行う。河川調査地点に表す河川水質は温泉のそれ（泉質）と区別するために塗りつぶして表す。その結果を図4に示す。

図4 酒井・他



各河川の河川水質を大まかに見ると、冷川を除く 5 河川すべてにおいて河川水質の型が変化している地点はどの河川も上流域から中流域にあり、しかも Cl 型に変化して、それ以降は他の型への変化はない。そして、河川水質の変化が起こっている平田川上流域や、新川、平田川、春木川、朝見川の中流域から下流域の周辺の温泉の泉質を見てみると、変化後の河川水質と対応が見られるため、これらの地点で温泉排水が影響していると見ることができる。しかし、境川と朝見川の下流域では流域に存在する温泉の泉質の多くが  $\text{HCO}_3$  型であるにも関わらず、河川水質は Cl 型のままであり、温泉排水の河川流出がない可能性がある。温泉排水が河川へ流されていないとすると、下水道へ排水されている可能性が強いため、図 4 に下水道整備域の情報を取り入れた図を作成し (図 5)、さらに考察を進めてみる。

図5 酒井・他

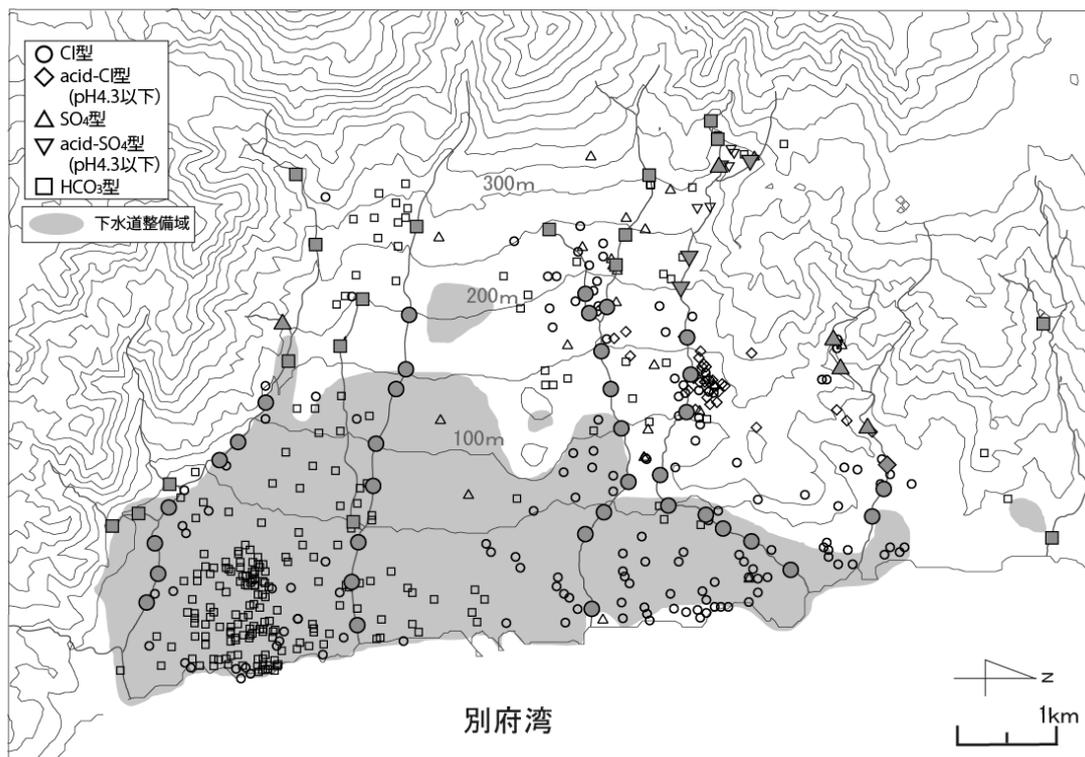


図5を見ると、先ほど河川水質と流域の温泉の泉質に対応が見られなかった境川と朝見川の下流域は下水道整備域に含まれていることが分かるため、この地域の温泉排水は河川ではなく、下水道へ排水されている可能性が高いと考えられる。そのような見方をすると、河川水質と流域の温泉の泉質に対応がとれていた平田川や春木川の下流域も下水道整備域に含まれていることから、これらの下流域においても温泉排水は下水道へ排出されている可能性も否定できない。

さて、朝見川の下水道整備地域の最上流部では河川水質の変化（ $\text{HCO}_3$ 型からCl型へ）が見られるが、温泉排水が河川ではなく下水道へ流されているとすれば河川水質の変化は起きないはずである。そこで、その原因が周辺の温泉にあると考え、特徴をみたところ、朝見川の河川水質の型が変化している地点の周辺の温泉は沸騰泉であることがわかった。沸騰泉の多くは湧出量の調整をせずに絶えず湧出させているため、源温度に近い水温の温泉水が利用されず、余剰に生じていることが十分にありえる。温度の高い温泉水は、別府市環境保全条例※により下水道へ排出できないので、その分が未利用のまま河川へ排水されている可能性がある。そこで、同様の可能性を他の河川でも確認するために、泉源の位置を確認した477の温泉の中で沸騰泉を抜き出し、下水道整備域、河川水質とともに表した（図6）。

図6 酒井・他

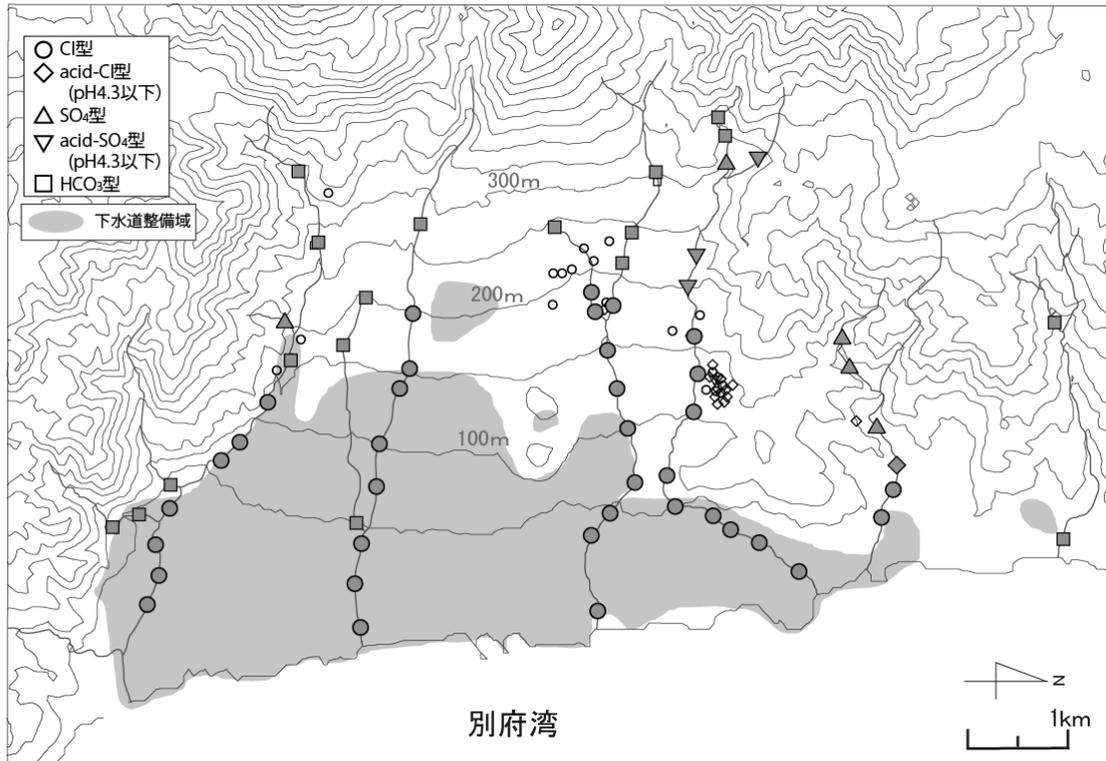


図6から、沸騰泉のほとんどがCI型であり、かつ、その分布は各河川において河川水質の型がCI型に変化している地点付近に多いことが分かった。このことから、沸騰泉が各河川の水質へ大きく影響を与えており、その影響が下流域へと続いているというふうに考える。しかし、境川に関しては沸騰泉の分布が見られず、図4でも河川水質の型がCI型に変化している地点付近に同型の温泉は見られないため、温泉排水以外の影響の可能性を検討する必要がある。次節ではそのことについてさらに立ち入って考察を行う。

※別府市環境保全条例第61条

温泉を所有し、又は利用する者がその温泉のゆう出水(採取施設からのゆう出水及び噴気を含む。)を排出する場合には、規則で定める温度(45℃)をこえるときは、暗渠により排水しなければならない。

4-2. 河川水質への温泉排水以外の水の影響

前節の考察で、境川では河川水質の型が変化しているにも関わらず、流域に同型の水質の温泉の分布が見られなかった点について、Na<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>の濃度に顕著な増加がみられる

ことに注目し(表 1)、食塩 (NaCl) の付加を想定して、生活排水からの影響を考えてみる。ここでは、温泉排水に由来する NaCl と生活排水に由来する NaCl は区別することができないため、温泉水には含まれない  $\text{NO}_3^-$  を生活排水のトレーサーとした。一方、大沢・他 (2007) は Li/Cl 比と主要溶存化学成分の総量値の関係から  $\text{TDS} \geq 200\text{mg/L}$  の河川水中の Li の全量が温泉排水に由来することを示しているため、温泉排水のトレーサーとして Li を用いて、河川水の Li と  $\text{NO}_3^-$  の濃度関係を検討してみることにする。

図 7 酒井・他

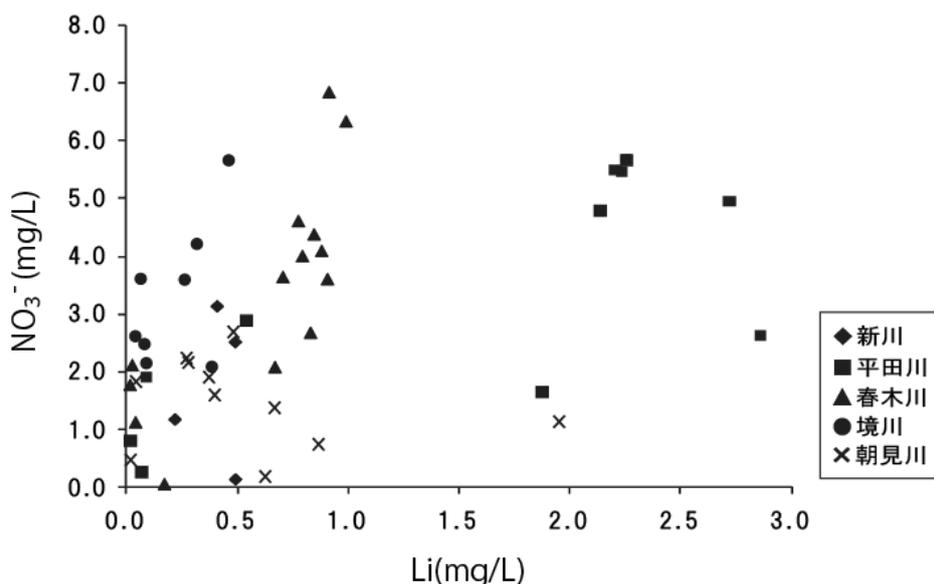


図 7 は、主要溶存化学成分の総量値が  $200\text{mg/L}$  以上の河川水の Li 濃度と  $\text{NO}_3^-$  濃度の関係を見たものである。平田川、春木川、境川の  $\text{NO}_3^-$  濃度は、各河川とも高い値を示しているが、Li 濃度を見てみると、平田川と境川には大きな差があり、Li 濃度の高い平田川では生活排水の影響を大きく上回る温泉排水の影響があることを表していると考えられる。そして、河川全域にて Li 濃度が低い境川は、他の河川に比べて生活排水の影響が相対的に強いと言え、泉質分布図と河川水質の対比による結果で温泉排水の流入が明らかな春木川も、Li 濃度と  $\text{NO}_3^-$  濃度の関係が平田川よりもむしろ境川に似ていることから、境川ほどではないが、生活排水の影響が相対的に無視できないことを示している。山田・他 (2009) は、河川水質の因子分析を行い、相対的に平田川では温泉の影響が大きく、春木川、境川では生活排水の影響が大きいことを示し、ここでの考察結果と整合的である。

## 6. おわりに

別府温泉を流れ下る 6 つの河川（冷川、新川、平田川、春木川、境川、朝見川）において上流域から下流域にかけて多くの地点で河川水を採水し、化学分析を行って流下にとまなう河川水質の変化を明らかにし、さらに、温泉分析書と温泉台帳を基に作成した温泉の泉質分布図と比較することによって、温泉排水の河川水質への影響の様子を知ることができ、特に以下のことを明らかにすることができた。

- (1) 河川水質と流域の温泉の泉質の比較から河川への温泉排水の流出が考えられた平田川や春木川の下流域においては、温泉排水は河川ではなく下水道へ排出されている可能性があることがわかった。
- (2) C1 型の沸騰泉からの余剰の未利用温泉排水が各河川（新川、平田川、春木川、朝見川）の河川水質へ大きく影響を与えており、その影響が下流域へと続いていると考えられる。
- (3) 境川では他の河川と比べて温泉排水以外の影響が相対的に強いことが示唆された。

(2) に述べた結果から、1 章に記した山崎（2005）の予想に確証を与えることができ、絶えず湧出している沸騰泉からの余剰の未利用温泉排水の影響が考えられるため、河川への温泉排水の影響には揚湯量に関係していることが推測される。

最後に、温泉排水の影響を受けた河川水は最終的に海へ流出しており、沿岸海洋域への間接的な温泉排水の影響評価に関する研究（渡邊、2007）も始められているため、本研究の成果がそのような研究の成果と結びついて、温泉排水の自然環境への影響に関する全体像の把握と理解に貢献できれば幸いに思う。

#### 〈参考文献〉

- 川野田実夫，小石哲史，金子敦，志賀史光(1994)：別府市の水系と水質．別府市の自然，85-102，別府市自然環境学術調査団，大分
- 川野田実夫(1998)：別府湾周辺域の水系と水質．地域総合研究論文集，29-38
- 大沢信二，山崎一，高松信樹，山田誠，網田和宏，加藤尚之(2007)：温泉から河川への有用金属元素の流出－未利用温泉資源量に関する基礎調査と研究－．大分県温泉調査研究会報告，21-30
- 大沢信二，渡邊康平，高松信樹，加藤尚之(2008)：未利用温泉資源量に関する基礎調査と研究（Ⅱ）－温泉から河川への有用金属元素の流出量－．大分県温泉調査研究報告，13-19
- 山崎一(2005)：河川に及ぼす温泉排水の影響評価に関する環境化学的研究，東邦大学

- 大学院理学研究科化学専攻修士課程論文, 73p.
- 渡邊康平(2007): 大分県別府市の河川、河口域および沿岸海洋に及ぼす温泉排水の影響に関する地球化学的研究, 東邦大学大学院理学研究科化学専攻修士課程論文, 79p.
- 山田誠, 大沢信二, 三島壮智, 馬渡秀夫, 竹村恵二, 斎藤光代(2009): 河川に生息する珪藻への温泉排水の影響評価, 日本陸水学会 第74回大会 講演要旨集, 117
- 大分県温泉調査研究会(2006): 大分県鉱泉誌. 大分
- 大分県企画振興部観光・地域振興局(2004): 温泉分析書. 大分県温泉調査報告, 大分
- 大分県企画振興部観光・地域振興局(2005): 温泉分析書. 大分県温泉調査報告, 大分
- 大分県企画振興部景観自然室(2006): 温泉分析書. 大分県温泉調査報告, 大分
- 大分県企画振興部景観自然室(2007): 温泉分析書. 大分県温泉調査報告, 大分
- 大分県企画振興部景観自然室(2008): 温泉分析書. 大分県温泉調査報告, 大分
- 大分県生活環境部生活環境課(2003): 温泉分析書. 大分県温泉調査報告, 大分

〈図・表の説明文〉

- 図1 別府の温泉の三角ダイアグラム (a)全データ (b) 陰イオンの割合別にみた三角ダイアグラム
- 図2 泉質分布図
- 図3 河川調査地点
- 図4 泉質分布図上に表した河川水質
- 図5 泉質および河川水質分布図 (図4) と下水道整備域. 下水道整備域は山崎 (2005) より引用
- 図6 沸騰泉の分布と下水道整備域ならびに河川水質
- 図7 冷川を除く5河川のLi濃度とNO<sub>3</sub>濃度の関係(河川水の主要溶存化学成分の総量値 $\geq 200\text{mg/L}$ )
- 表1 観測地点における河川水質データ

表1

	WT (°C)	pH	EC (mS/cm)	Li (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Water Type	
冷川	1	22.2	7.6	0.10	n.d.	6.6	1.8	8.6	2.0	3.3	3.8	43.8	1.3	14.6	HCO <sub>3</sub>
	2	21.8	6.9	0.13	tr	7.4	2.8	10.9	3.3	4.5	3.8	51.4	0.9	19.9	HCO <sub>3</sub>
新川	1	27.3	7.7	0.17	tr	9.7	2.9	13.3	3.8	3.2	40.1	22.0	0.9	23.2	SO <sub>4</sub>
	2	29.9	7.4	0.22	0.1	19.0	4.7	13.4	3.9	12.5	52.0	20.1	0.8	27.7	SO <sub>4</sub>
	3	31.3	6.5	0.52	0.2	51.9	1.8	16.1	4.9	47.7	81.7	7.2	1.2	35.3	SO <sub>4</sub>
	4	33.5	4.3	0.86	0.5	104.4	20.5	21.1	6.7	113.1	140.1	0.0	2.6	39.8	acid-Cl
	5	32.4	5.7	0.74	0.5	94.3	17.9	19.7	6.2	98.0	125.9	0.5	0.2	42.2	Cl
	6	31.9	7.2	0.78	0.4	99.6	16.0	20.4	7.7	110.3	107.5	9.3	3.2	39.4	Cl
平田川	1	20.2	6.9	0.12	tr	7.0	1.8	12.3	4.7	2.8	13.3	43.6	1.6	25.6	HCO <sub>3</sub>
	2	23.2	7.0	0.15	tr	7.3	1.8	12.0	4.7	2.4	21.8	37.7	1.3	28.2	HCO <sub>3</sub>
	3	27.0	7.5	0.20	tr	10.5	2.7	20.1	5.4	2.8	43.6	50.5	1.2	31.6	SO <sub>4</sub>
	4	37.2	2.8	1.03	0.1	13.0	5.1	15.1	4.5	4.6	210.6	0.0	0.3	46.0	acid-SO <sub>4</sub>
	5	31.3	3.4	0.46	tr	15.8	4.4	21.9	6.3	5.3	137.3	0.0	0.8	34.6	acid-SO <sub>4</sub>
	6	29.6	4.3	0.44	0.1	45.7	6.7	29.5	8.5	39.6	119.7	0.0	1.9	35.9	acid-SO <sub>4</sub>
	7	31.5	4.9	1.06	0.5	141.8	15.9	27.7	6.6	170.7	142.9	0.1	2.9	45.7	Cl
	8	37.7	5.1	2.00	1.9	322.6	41.9	29.1	5.7	441.9	143.8	0.3	1.7	61.9	Cl
	9	39.5	5.0	1.87	2.9	378.3	49.8	33.4	6.4	534.9	152.7	0.2	2.7	65.2	Cl
	10	36.1	6.7	1.72	2.1	334.4	42.2	30.8	6.4	456.8	141.0	10.1	4.8	75.8	Cl
	11	37.0	7.5	2.20	2.2	381.3	49.6	31.6	7.0	532.5	146.0	9.7	5.5	83.1	Cl
	12	36.8	7.7	2.20	2.7	382.4	49.7	31.5	6.7	539.0	146.7	10.8	5.0	83.2	Cl
	13	36.6	7.9	2.30	2.3	387.1	50.7	31.5	6.7	547.2	145.7	10.2	5.7	84.4	Cl
	14	36.6	8.0	2.20	2.2	384.0	50.2	31.8	7.2	540.1	146.1	9.5	5.5	82.6	Cl
	15	37.1	8.1	1.93	2.3	385.7	50.1	32.1	7.3	545.5	146.3	11.3	5.7	82.2	Cl
春木川	1	27.3	8.6	0.39	tr	28.6	5.0	30.4	12.0	21.9	57.0	137.3	1.2	40.0	HCO <sub>3</sub>
	2	28.0	8.1	0.35	tr	22.7	4.1	30.3	12.1	3.6	61.8	153.1	1.8	40.9	HCO <sub>3</sub>
	3	30.4	8.4	0.38	tr	25.4	4.5	31.8	12.1	6.8	72.4	139.1	2.1	37.6	HCO <sub>3</sub>
	4	34.8	8.3	0.98	0.7	128.3	18.8	31.4	10.7	136.3	100.4	122.2	2.1	56.6	Cl
	5	26.5	8.7	0.56	0.2	15.1	7.5	27.5	19.8	27.0	46.9	262.2	n.d.	30.6	HCO <sub>3</sub>
	6	36.8	8.3	0.85	0.7	118.3	16.4	20.7	8.0	131.8	42.7	120.1	3.7	38.9	Cl
	7	36.4	8.1	1.07	0.9	152.7	21.5	22.9	8.3	182.4	56.6	111.7	4.1	39.6	Cl
	8	35.8	8.9	0.84	0.8	147.1	20.3	22.8	8.0	170.5	63.1	48.3	2.7	43.2	Cl
	9	35.5	9.2	0.81	0.8	141.7	19.6	20.8	7.1	166.3	58.1	28.0	4.0	40.7	Cl
	10	35.4	9.4	0.81	0.8	142.4	19.5	20.0	6.7	166.0	56.9	19.1	4.6	36.4	Cl
	11	35.1	9.3	0.87	0.8	153.3	20.9	19.8	6.4	183.5	61.2	11.9	4.4	51.6	Cl
	12	34.9	9.2	0.90	0.9	162.0	21.6	20.3	6.4	195.1	66.7	12.5	3.6	40.3	Cl
	13	33.5	8.9	0.93	1.0	176.0	21.6	20.8	6.3	218.5	66.8	45.7	6.4	45.8	Cl
	14	35.1	8.8	0.88	0.9	164.4	22.7	21.1	6.5	200.7	62.3	47.4	6.9	43.6	Cl
境川	1	23.5	8.4	0.26	tr	23.4	4.7	21.1	8.5	15.9	21.3	101.2	2.7	29.8	HCO <sub>3</sub>
	2	31.9	9.6	0.15	tr	15.0	2.8	10.1	3.6	8.7	14.3	22.5	3.3	25.7	Cl
	3	31.2	9.0	0.28	0.2	43.2	5.6	11.3	4.9	31.2	31.9	39.5	5.6	31.6	Cl
	4	32.4	9.4	0.28	0.1	40.3	6.1	11.3	4.9	30.8	25.1	26.3	10.3	29.9	Cl
	5	31.8	9.4	0.29	0.2	42.5	5.8	13.0	5.5	30.3	29.7	33.0	3.1	31.4	Cl
	6	31.5	9.6	0.46	0.4	78.9	9.9	15.8	5.7	71.0	43.4	27.5	2.1	31.7	Cl
	7	29.6	8.2	0.36	0.1	35.9	5.0	16.8	11.6	30.2	33.4	126.2	2.5	27.5	HCO <sub>3</sub>
	8	33.7	7.8	0.39	0.1	38.4	5.5	18.4	12.2	24.9	38.4	134.4	2.2	28.2	HCO <sub>3</sub>
	9	33.3	8.1	0.40	0.1	38.8	5.7	18.5	12.4	25.1	42.0	140.7	3.6	28.7	HCO <sub>3</sub>
	10	33.6	9.1	0.38	0.3	61.7	7.8	17.5	10.2	49.0	43.3	73.9	3.6	32.1	Cl
	11	33.0	9.1	0.44	0.3	74.1	9.3	17.6	9.4	65.5	44.4	66.8	4.2	37.6	Cl
	12	33.1	8.9	0.54	0.5	99.5	12.8	19.2	9.4	100.5	46.1	77.6	5.7	39.6	Cl
朝見川	1	21.2	7.7	0.28	tr	23.0	3.3	15.5	12.6	16.4	19.9	131.5	1.9	31.0	HCO <sub>3</sub>
	2	23.6	7.7	0.33	0.4	30.6	4.4	17.7	12.5	23.1	22.5	144.9	1.6	31.6	HCO <sub>3</sub>
	3	37.2	7.7	0.30	tr	18.0	2.8	24.1	8.2	9.4	70.8	55.1	0.5	25.2	Cl
	4	30.5	8.3	0.70	0.6	92.4	11.7	23.1	9.6	20.7	7.4	108.0	0.2	45.4	HCO <sub>3</sub>
	5	47.4	8.3	0.81	2.0	260.6	21.7	20.9	5.8	270.4	157.9	92.8	1.2	82.3	Cl
	6	30.7	8.5	0.68	0.7	100.1	11.6	24.1	9.0	89.7	72.3	105.7	1.4	34.6	Cl
	7	32.7	8.9	0.76	0.9	125.2	14.9	24.6	8.2	123.4	79.8	91.5	0.8	48.9	Cl
	8	24.5	8.2	0.13	tr	10.0	2.2	11.9	3.1	3.4	5.2	70.6	1.4	26.3	HCO <sub>3</sub>
	9	30.6	8.7	0.50	0.5	77.0	9.3	19.5	6.2	71.8	46.5	86.8	2.7	38.6	Cl
	10	21.9	7.9	0.23	tr	9.3	2.1	9.4	2.6	4.6	4.7	57.7	1.4	22.8	HCO <sub>3</sub>
	11	22.3	7.9	0.22	tr	9.5	2.1	9.5	2.7	4.6	4.7	56.4	1.4	22.4	HCO <sub>3</sub>
	12	28.9	8.8	0.40	0.4	62.4	7.9	15.5	5.1	55.8	35.0	78.4	1.9	33.8	Cl
	13	27.8	8.7	0.29	0.3	48.7	6.3	15.0	4.5	42.7	27.3	72.8	2.2	30.9	Cl
	14	28.1	8.7	0.31	0.3	47.9	6.3	14.9	4.5	42.1	26.8	73.4	2.3	31.7	Cl

※n.d.:検出されない。※tr:痕跡

## 付着スケールの洗浄と抑制に及ぼす温泉成分の違い

環境工研株式会社技術営業部

松尾広暁・吉田篤史

秋月香菜子

松尾機器産業株式会社営業部

川上晋作

### 要旨

温泉施設の配管等に付着するスケールの成分は泉質によって異なる。そのため、市販のスケール除去剤およびスケール抑制剤を使用して付着スケールを溶解洗浄したり、スケールの付着を抑制する際にその効果がばらつく。そこで、本研究では大分県内の温泉水を用い、1)どのような泉質がスケール化しやすいのか 2) スケール抑制剤の抑制効果が泉質でどれくらい異なるのか 3) スケールの洗浄効果が泉質でどれくらい異なるのかについて調査した。

**キーワード：**スケール、温泉成分、付着、スケール抑制剤、スケール洗浄剤

### 1. はじめに

温泉施設の配管や熱交換器等には温泉成分が析出し、スケールを形成する。このスケールの構成成分は、泉質によって異なり、カルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ )やマグネシウムイオン( $\text{Mg}^{2+}$ )、炭酸水素イオン( $\text{HCO}_3^-$ )、メタケイ酸イオン( $\text{H}_2\text{SiO}_3^-$ )等の温泉成分比率によって、大まかにカルシウム系や鉄系、シリカ系スケール等に分類される。これらスケールが配管に付着すると揚湯量や水温が低下するだけでなく、閉塞により温泉を安定供給できなくなる。また、熱交換器にスケールが付着すると、熱交換率が大幅に低下し、余計なエネルギーコストがかかる。そこで、これら付着スケールをノミ等で物理的に削り取る方法や酸性のスケール除去剤で定期的に溶解洗浄する方法が一般的に行われてきた。しかし、物理的な除去作業やスケール除去剤の使用は、洗浄時間や労力、コストがかかるため、近年はスケールを付着させにくくするスケール抑制剤を常時注入することでスケールの付着を未然に防ぐ方法が主流となりつつある。

ところが、実際にこれら除去剤や抑制剤を使用している温泉施設では適切な薬剤が選定されていない場合がある。例えば、一般的なスケール除去剤で簡単に溶解洗浄可能な炭酸カルシウムスケールに対して、取扱が危険で、環境負荷の高いフッ酸系のスケール除去剤を使用していた結果、作業者が皮膚の炎症を起こしたり、タイルの表面を傷つけ、汚れの付着を助長したりする場合がある。同様に、最適なスケール抑制剤を選定していないため、使用濃度が多くなりコストが増したり、ほとんど抑制効果が現れていなかったりする場合もある。

したがって、泉質に応じた薬剤を選定する必要があるが、現在、>300種類の薬剤が市販されており、それぞれの薬剤においても、どの程度効果があるのかやどのような泉質であれば十分な効果が得られるのか等についての数値的な情報が少ないのが現状である。

そこで、本研究では、大分県内の温泉水を用い、1)どのような泉質がスケール化しやすいのか2) スケール抑制剤の抑制効果が泉質でどれくらい異なるのか3) スケールの洗浄効果が泉質でどれくらい異なるのかについて調査した。

## 2. 方法

### 2. 1 机上試料(温泉水)および使用薬剤

大分県内(湯布院、別府、大分市内)8ヶ所の温泉施設の源泉を採取し、調査に用いた。スケール除去剤は、フッ酸およびフッ化物を含有していない市販品を用いた。スケール抑制剤は、市販されているアクリル酸系の一般的なスケール抑制剤とカルボン酸系のシリカスケール抑制剤を用いた。

### 2. 2 調査方法

温泉水をビーカーに1,000mL入れ、65°Cに設定したホットプレートでおよそ24h加温し、300mLまで温泉水を濃縮させた。各ビーカー内には、オープンで乾燥させた100mm×60mmの金属プレート(以下プレート)を入れた。

そして、温泉水A~H(ブランク)8検体、一般スケール抑制剤を20mg/L投入した温泉水A~H8検体、シリカスケール抑制剤を20mg/L投入した温泉水A~H8検体の計24検体を実験に供した。

300mLまで温泉水を濃縮させた後、プレートを取り出してオープンで乾燥させ、その重量差からスケールの付着量を算出した。

その後、各プレートをスケール除去剤に30秒間浸漬させ、軽く水洗いした後、オープンで再度乾燥させ、その重量差から一般的なスケール除去剤では溶解できないスケール(主にシリカ系スケール)の付着量を算出した。

## 3. 結果および考察

### 3. 1 温泉成分とスケール化の関係

温泉成分とスケールの付着量に関するデータを表1に示した。各温泉水のスケール付着量は、1.0~47.7mg/プレートの範囲で変動した。スケール付着量は温泉成分総量と有意な相関を示したが、温泉水EおよびGはその傾向から大きく外れた(図1)。温泉水Eは琥珀色をしており、フミン質を多く含む泉質である。フミン酸ナトリウムはカルシウムやマグネシウムと反応し、スケールの生成を抑制する事が知られており(1)、温泉水Eにおいてもこの要因によって、スケールの付着量が1.1mg/プレートと他の温泉水よりも低くなったと考えられる。

温泉水Gは $\text{H}_2\text{SiO}_3^-$ (以下シリカ)が他の温泉水と比べ最も高い泉質である。また、この温泉水はカルシウムイオンを基準にして考えると、ナトリウムイオンと硫酸イオン( $\text{SO}_4^{2-}$ )が235.6と他の温泉水よりも高い。ナトリウムイオンおよび硫酸イオンとスケール付着量には有意な相関があり、ナトリウムイオンおよびカルシウムイオン濃度がカルシウムイオンに比べて相対的に高いとスケールの付着量は低下した(図2)。このことは、共存イオン特にナトリウムイオンと硫酸イオンの存在がスケールの生成に抑制的な影響を与えていることを示唆している。シリカの溶解速度は陽イオンの水和水とバルク水との交換速度と良好な相関があることが知られており、陽イオン濃度が高いほどシリカ表面での陽イオン(主にナトリウムイオン)による水の交換が速くなり、水分子がシロキサン結合を攻撃する頻度が増す。さらに、陽イオンがシリカ表面の $\text{SiO}-$ 基と錯体を生成することで、

Si-O結合距離が長くなり、Si-O-Si 結合の結合角が広がるため、水分子がシロキサン結合を切断されやすくなり、モノケイ酸として溶解すると考えられている(2)。また、溶解してシリカ表面から離れたモノケイ酸が硫酸イオンと錯体を生成し、シリカの溶解度を増加させることも報告されている(3、4)。上記のメカニズムによって、実際の温泉水においても、ナトリウムイオンや硫酸イオンの多い泉質ではスケールの付着量あるいは速度が抑制されることが分かった。

表 1 温泉水成分とスケール付着量の関係

	温泉水 A	温泉水 B	温泉水 C	温泉水 D	温泉水 E	温泉水 F	温泉水 G	温泉水 H
Na <sup>+</sup> (mg/L)	382.5	448.0	630.0	967.0	220.0	128.0	529.0	139.0
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	31.6	54.0	42.7	173.0	1.7	12.0	2.7	13.6
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	9.3	18.0	10.0	262.0	0.1	5.9	0.0	1.8
Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	0.2	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	584.8	590.0	849.0	668.0	108.0	87.0	520.0	89.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0.1	370.0	254.0	1.6	2.2	55.0	107.0	27.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	183.6	125.0	183.0	3428.0	344.0	200.0	204.0	242.0
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	103.6	183.3	252.0	141.6	156.0	180.0	542.0	192.0
Ca <sup>2+</sup> /HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 比	0.3	0.3	0.2	1.2	0.0	0.1	0.0	0.1
Na <sup>+</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Ca <sup>2+</sup>	12.1	15.1	20.7	5.6	130.7	15.3	235.6	12.2
成分総量 (mg/L)	1440.0	1930.0	2392.0	5920.0	910.0	720.0	2090.0	720.0
スケール付着量 (mg/プレート)	20.2	26.5	21.2	47.7	1.1	8.0	1.0	7.5

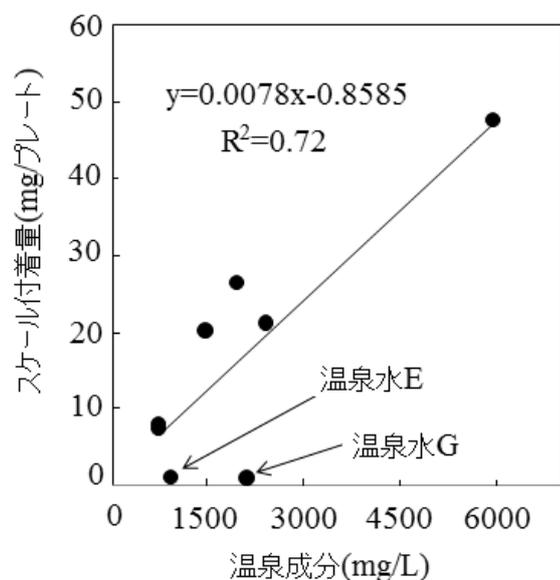


図 1. 温泉成分総量とスケールの付着量

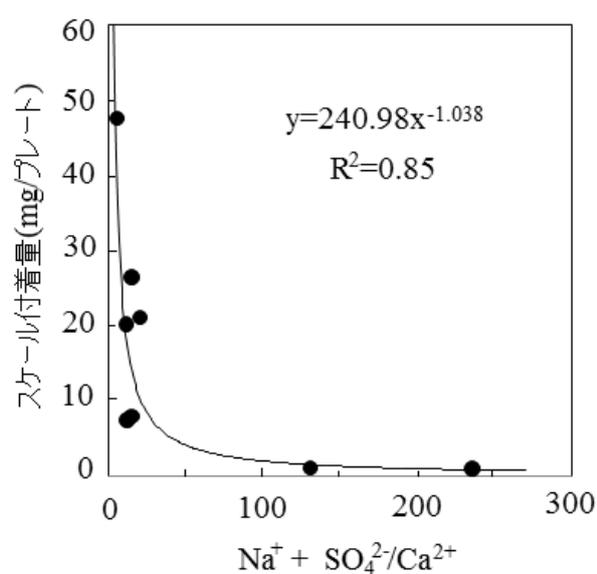


図 2. 共存イオンとスケールの付着量

### 3. 2 温泉成分とスケールの抑制効果の関係

表 2 スケール抑制剤(20mg/L)によるスケールの付着量の違い[スケール付着率(%)<sup>1)</sup>]

	温泉水 A	温泉水 B	温泉水 C	温泉水 D	温泉水 E	温泉水 F	温泉水 G	温泉水 H
スケール抑制剤無添加時	100	100	100	100	100	100	100	100
一般スケール抑制剤添加時	2.7	1.5	2.2	1.3	0.9	2.7	89.0	3.3
シリカスケール抑制剤添加時	40.2	39.8	34.8	42.5	38.5	39.1	23.1	40.2

1)スケール付着率(%)=抑制剤添加時のスケール付着量(mg/L)×100/抑制剤無添加時のスケール付着量(mg/L)

スケール抑制剤を添加する事によるスケールの付着率の変化を表 2 に示した。一般的なスケール抑制剤を添加した場合、スケール抑制剤を添加しなかった時に付着したスケール量を 100 とすると、温泉水 A~F および温泉水 H のスケール付着率は平均 2.1%となり、スケールの付着は 97.9%抑制された。しかし、温泉水 G のスケール付着率は 89.0%となり、スケールの付着は 11.0%しか抑制できなかった。温泉水 G はシリカが 542.0mg/L と高く、カルシウムイオンやマグネシウムイオンは<3mg/L と低い。したがって、一般的なスケール抑制剤はカルシウム系スケール等の一般的なスケールには 97.9%と極めて高いスケール抑制効果を発揮するが、シリカを主成分とする泉質ではほとんど効果がないことが分かった(図 3)。

一方、シリカスケール抑制剤を添加した場合、スケール抑制剤を添加しなかった時に付着したスケール量を 100 とすると、温泉水 A~F および温泉水 H のスケール付着率は平均 39.3%となり、スケールの付着は 60.7%抑制された。一方、シリカを主成分とする温泉水 G では、スケール付着率は平均 23.1%となり、スケールの付着は 76.9%抑制された。温泉水 G にはカルシウムイオンやマグネシウムイオンが少ない(<3mg/L)ことから、抑制されたスケールはシリカスケールであると考えられる。したがって、シリカの多い泉質では、シリカスケール抑制剤の効果はある程度発揮されていると分かった(図 4)。

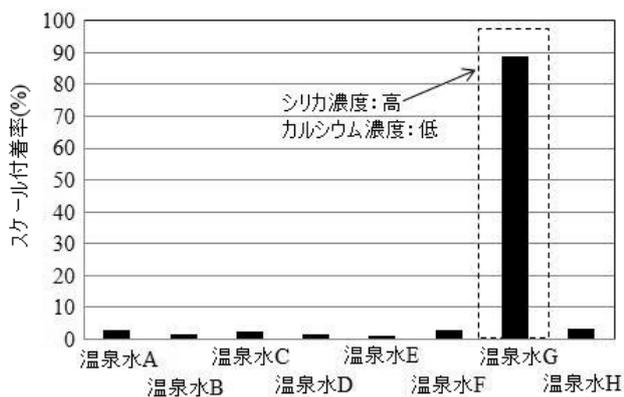


図 3. 一般スケール抑制剤のスケール抑制効果

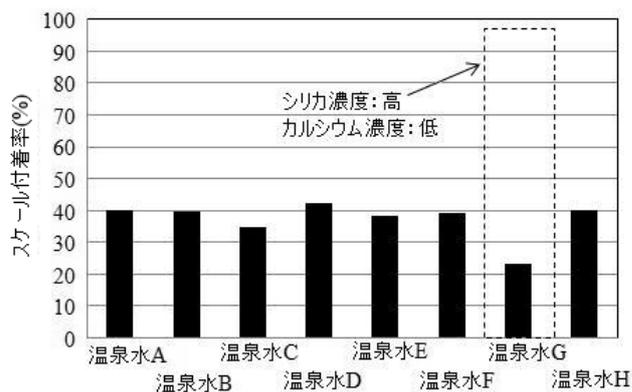


図 4. シリカスケール抑制剤のスケール抑制効果

### 3. 3 温泉成分とスケールの洗浄効果の関係

表3 プレートに付着したスケールの酸による溶解率(%)

	温泉水 A	温泉水 B	温泉水 C	温泉水 D	温泉水 E	温泉水 F	温泉水 G	温泉水 H
スケール抑制剤無添加時	99.8	96.5	94.9	100	98.9	99.1	62.2	98.3
一般スケール抑制剤添加時	98.7	97.9	95.8	99.6	97.8	98.3	42.1	98.3
シリカスケール抑制剤添加時	99.8	96.3	95.6	99.5	98.5	99.5	90.1	99.6

プレートに付着したスケールをスケール除去剤で洗浄した際のスケールの溶解率を表3に示した。シリカを多く含む温泉水 G を除き、概ね 95%以上の溶解率が得られた。しかし、温泉水 B および温泉水 C のスケール溶解率は、他の温泉水に比べわずかに低い値を示した(図5)。温泉水 B および温泉水 C は、硫酸イオン濃度が他の温泉水に比べ高く、シリカについてもわずかに高い傾向にある。このことから、一般的な炭酸カルシウムスケールではなく、硫酸カルシウムやケイ酸カルシウムといった難溶性のスケールが生成したものと推察された。本実験では、24h 加温する事で、短期間に生成させた薄いスケール膜で評価を行っているが、実際の温泉施設配管において長期間かけて層状化したスケールについては、スケール除去剤を用いた洗浄作業の際、スケールの溶解率や溶解スピードに大きく影響してくるものと考えられる。

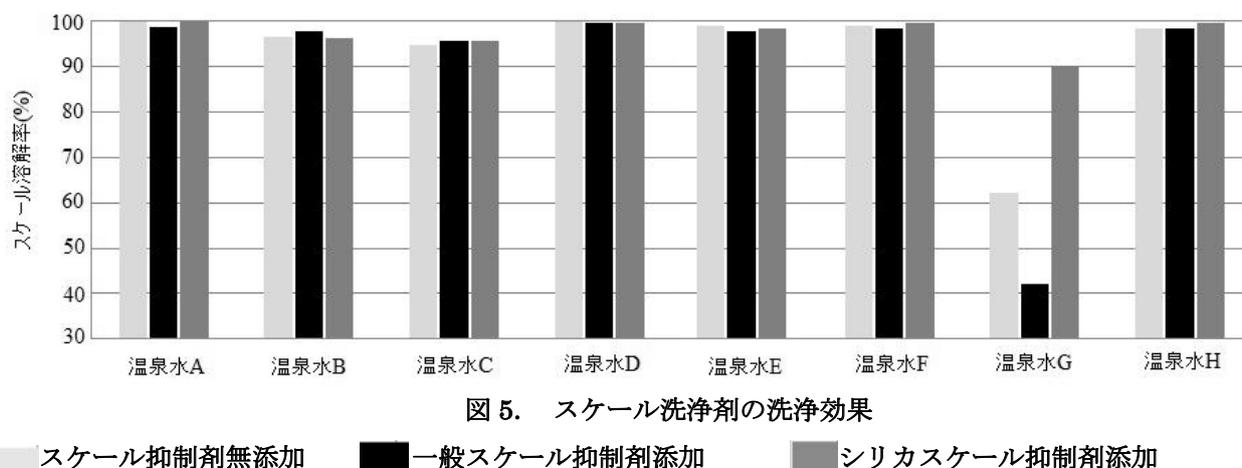


図5. スケール洗浄剤の洗浄効果

■ スケール抑制剤無添加    ■ 一般スケール抑制剤添加    ■ シリカスケール抑制剤添加

### 3. 4 現場事例

温泉水 H を採取した旅館の源泉井戸に一般的なスケール抑制剤を注入し、スケールの付着具合を観察した(2011年3月上旬～)。本源泉井戸は、スケールの付着が激しく、2日に1回の頻度でエアーストを上げてスケール除去作業を行っていた。この作業を怠り、10日程度エアーストを揚げずに放置すると、エアーストは全く上がらなくなる状況であり、頻繁なスケール除去作業が多大な労力となっていた。そこで、スケール除去剤で配管内に付着したスケールを一旦除去した後、エアーストからコンプレッサーと連動させ、揚湯量に

合わせてスケール抑制剤を 20mg/L の濃度で比例注入した。この濃度 20mg/L は極めて微量の濃度であり、急性毒性(LD50 値 : 10,000mg/kg 以上)および魚毒性(TLm48 : 1,000mg/L)から考えても安全性が高い濃度である。この濃度において、観察を行った結果、15 日以上を経過してもスケールの付着は認められなかった。



写真 6. 源泉井戸

#### 4. まとめ

一般的に、温泉成分総量が多いほど、スケールの付着量は多くなる傾向にあった。しかし、フミン質や共存イオンの存在がスケールの付着量に影響を及ぼしていることが推察された。一般的なスケール抑制剤の抑制効果は平均 97% と高い。しかし、温泉水 G のようにシリカ濃度の高い温泉水では極端に抑制効果が落ちた。この温泉水 G のスケール付着はシリカスケール抑制剤によって、23% まで抑制された。付着したスケールはスケール除去剤で 95% 以上容易に除去できた。しかし、硫酸イオンやシリカ濃度の高い温泉水では、洗浄効果が落ちた。難溶性の硫酸カルシウムやケイ酸カルシウム系スケールが生成したものと考えられる。

スケール抑制剤や除去剤は広く認知されるようになったが、実際にどの程度の効果があるのかや泉質毎のスケールの特性についての知見は少ない。そこで、本研究では温泉施設を運営している方々が実際にこれら薬剤の使用を検討する際の参考となる数値を示した。

本研究によって、スケール抑制剤や除去剤の選定を行う際は、各々の泉質で効果が変わるため、十分な事前調査が必要不可欠であることが示せた。これら薬剤を使用する際は、まず温泉分析表による大まかな薬剤選定、実際の付着スケールをスケール除去剤で溶解させ、溶解の程度を観察する事、実際の温泉水を用いてスケールの付着具合を机上試験する事によって、泉質毎に最適な薬剤を選定する必要がある。このことによって、より効率的にスケール付着を抑制できたり、薬剤の使用量の削減につながることを期待される。

#### 5. 引用文献

- (1) フミン酸 その生成・特性・用途 p6 (<http://www.telnite.co.jp/recruit/img/huminreview.pdf>)
- (2) P.M.Dave, D.Crerar: Geochim. Cosmochim. Acta, 54, 955 (1990).
- (3) W.L.Marshall, Chen.C-T.A: Geochim. Cosmochim. Acta, 46, 367 (1982).
- (4) 白淑琴、占部真示、岡上吉広、横山拓史 : 分析化学 54、9、767-773 (2005)

## 由布院温泉における地域構造の変容に関する考察

別府大学 中山 昭則

### 要 旨

筆者はこれまで、別府温泉郷の鉄輪温泉と九重町の筋湯温泉を取り上げ、温泉観光地の立地ならびに地域構造の変容について検討を加えてきた。その結果、鉄輪温泉は行政が主体となって地域社会との連携のもとで温泉街の再整備を行ったが、地域資源の観光資源化も進んでいることを指摘した。

一方、山間部に立地する古くからの湯治場である筋湯温泉は、近年旧来の集落周縁部に旅館業を展開する動きが活発化し、旧来の温泉集落においては地域社会が再編される可能性を指摘した。

本報告は、これらの成果を踏まえて由布院温泉における地域構造の変容を検討するものである。由布院温泉は高度経済成長期にはまだローカルな温泉地であったが、1980年代中頃以降急速に発展を遂げ、その姿は急変したとさえ言われている。今回はその変貌の様子を住宅地図と現地調査を踏まえて実証し温泉観光地における地域構造の変化について検討する。

### I はじめに

我が国において温泉は観光資源の中でも最も活用されている資源といえよう。温泉地の多くは観光の大衆化とともに観光地として発展を遂げてきた。別府温泉郷はその代表例であろう。しかし、その発展経緯には地域差もまた大きい。例えば、別府温泉などは明治初期の鉄道開通以前から航路が整備され、全国的な温泉観光地としての地位を築いた。また、歴史の古い有馬温泉も明治以降形成された大都市圏に位置し早くから「奥座敷」として発展を遂げている。その一方では、高度経済成長期において発展の機会を逸した温泉地も多い。

他方、ここで取り上げる由布院温泉は別府温泉をいわば「反面教師」として、地元住民が一丸となって大規模開発に歯止めをかけてきた。こうした意味において、由布院温泉の形成過程は他の温泉地と比べると特徴的といえよう。ここは「保養温泉地」を目指すという地元社会の明確なコンセプトの元で発展していった。確かに大型外来資本の進出を規制し、観光地にはつきもののレジャー施設を入れる代わりに、小さな美術館や映画祭というソフト分野を整備することでブランド力を構築し維持してきた。しかし、総体的には保養型温泉地として堅調な発展をしているものの、湯の坪通り境界は週末にもなると保養温泉地のイメージとはかけ離れた賑やかさとなる。この境界を散策する観光客の多くはその行動から推測すると、温泉には浸からずに次の目的地へと移動をしていると思われる。

本研究は、由布院温泉の総体的な変容の検討は他の機会に譲り、この湯の坪通りがどのような変化を辿ってきたのか検討し、そこから由布院温泉の地域構造の変化について考えてみたい。今回は2001年当時の状況を基点として、バブル経済崩壊後の1994年および2010年の状況を比較してみる。

ここで取り上げる大分県由布市は、人口およそ3万4,500人(2011年4月現在)で、観光入込者数は2005年度時点で年間440万人、内宿泊者が90万というデータが公表されている。その後の経済状況の変化等諸要因が挙げられ現在は若干の減少がみられるものと思われる。また、今回調査対象区域として設定した湯の坪通り境界は、由布院温泉にあって今日最も観光客で賑わうエリアであり現在でも店舗の変動が激しく行われるとともに、数は少ないが最寄品を扱う店舗と住宅も混在している。このような状況からこの区域は近年急激にその姿を変えてきたことが予測されるからである。

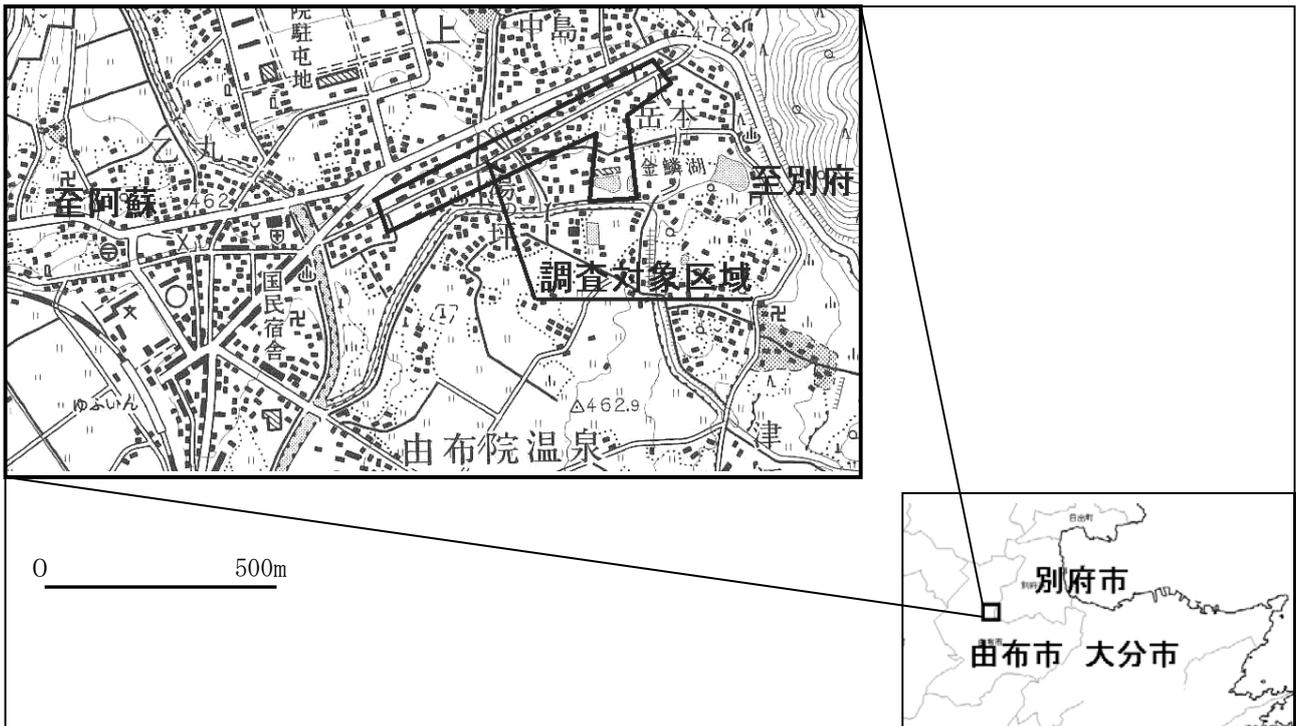


図1 調査対象区域

注)国土地理院発行 1/25000 地形図「日出生台」をもとに作成

## II 湯の坪通りにおける地域変容の検証 (2001 年を指標として)

### 1. 1994 年からの変容

1994 年から 2001 年の間で調査対象区域内において 18 件の土地利用の転用が認められた(表 1、図 2)。この時期における湯の坪通りは規模の大きな施設への転用が特徴的といえる。そのパターンとしては、「企業の保養施設跡地」「住宅地」「空地・駐車場」からの転用がみられ、この期間で確認できた変容件数の半数以上を占める。傾向としては前述のとおり、空地および企業の保養施設といったような比較的規模の大きな土地・建物からの転用が多かった。

表 1 由布院温泉湯の坪通りの変容(1994 年・2001 年)

番号	1994 年	2001 年	番号	1994 年	2001 年
1	観光施設	宿泊施設	10	宅地 8 軒	宿泊施設
2	空地	複合施設(土産物)	11	精肉店	店舗
3	空地	土産店(雑貨)	12	空地	土産店(食品・雑貨)
4	住宅	土産店	13	クリーニング店	土産店(食品)
5	空地	土産店	14	企業保養施設	空地
6	空地	土産物(食品)	15	企業保養施設 14 と同一	企業施設 14 と同一
7	宅地	土産店(雑貨)	16	企業保養施設 14 と同一	駐車
8	宅地	土産店(雑貨)	17	土産店(雑貨)	土産店(雑貨)
9	宅地	土産店(雑貨)	18	飲食店(観光者向け)	飲食店(観光者向け)

注)ゼンリン住宅地図および現地調査により作成

他方、転用が集中的に見られるのは、湯の坪通りと「九州民芸村」に通ずる道路の交差点付近で観光関係施設への転用が集中している。この九州横断道路から湯の坪通りと交差し「九州民芸村」に至る道路は 1984

年当時にはまだ存在していなかった。1994年当時はその道路が開通し、さらに民芸村付近に大型バスに対応できる駐車場も整備さ、この区域が今日最も観光客が交錯している。この付近には8軒の住宅が立ち並んでいた一角が整理されそこには比較的規模の大きな宿泊施設が進出している。大型施設の進出については触れたところであるが、空地等からの転用以外にも宅地を整理していた事例も見られた(図3)。

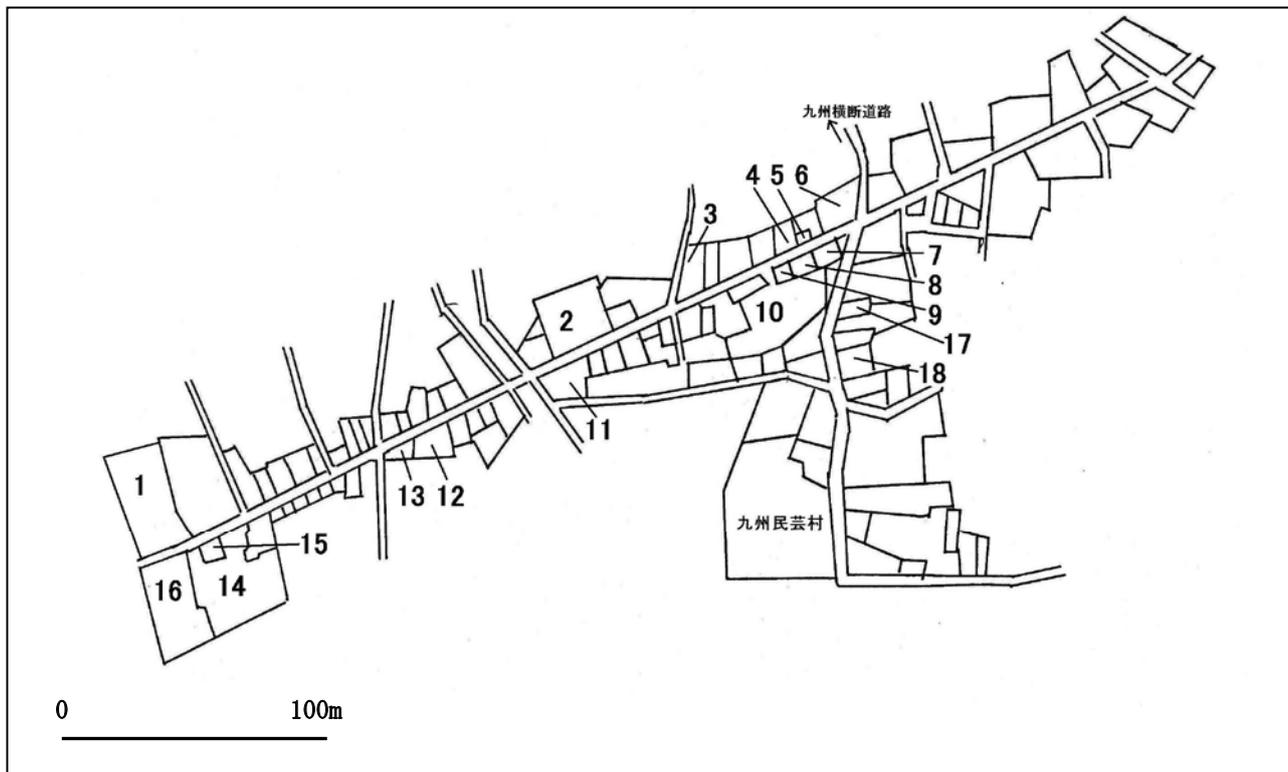


図2 由布院温泉湯の坪通りの変容(1994年・2001年)

注)ゼンリン住宅地図および現地調査により作成

図中の番号は表1に対応

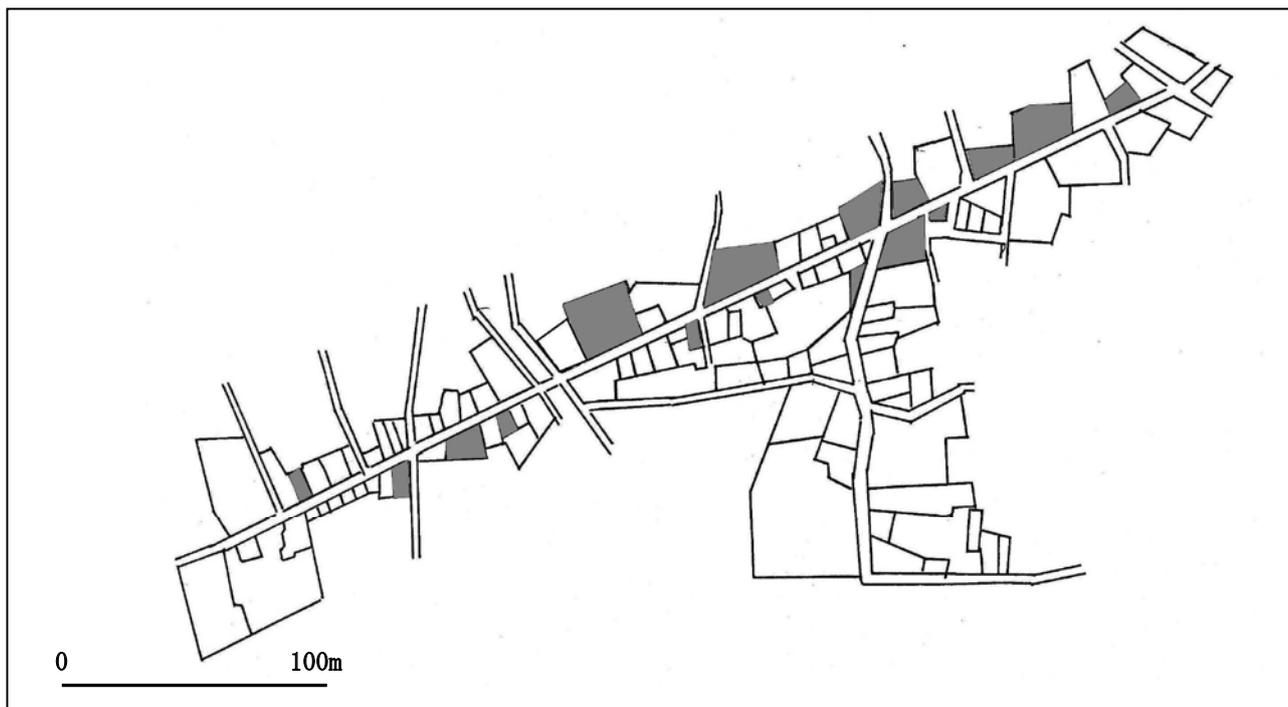


図3 1994年当時の湯の坪通りに空地・農地の分布

注)ゼンリン住宅地図により作成

その一方、地域住民を対象とした店舗や住宅の軒数に大幅な減少は見られず、日常生活の機能はまだ働いていたといえよう。1994年当時湯の坪の通り区域には21軒の住宅が確認できた(図4)。この数は2001年においても15軒で6軒の減少、同様に最寄品店数も13店舗から10店舗への減少に留まっている。

今回の調査対象区域内に立地する家屋(倉庫は除く)数は63軒、2001年は79軒と7年間で16軒増加している。このことから、この時期は空地・農地が主に観光客を対象とした土産物店等に転用されたケースが多かったといえよう。

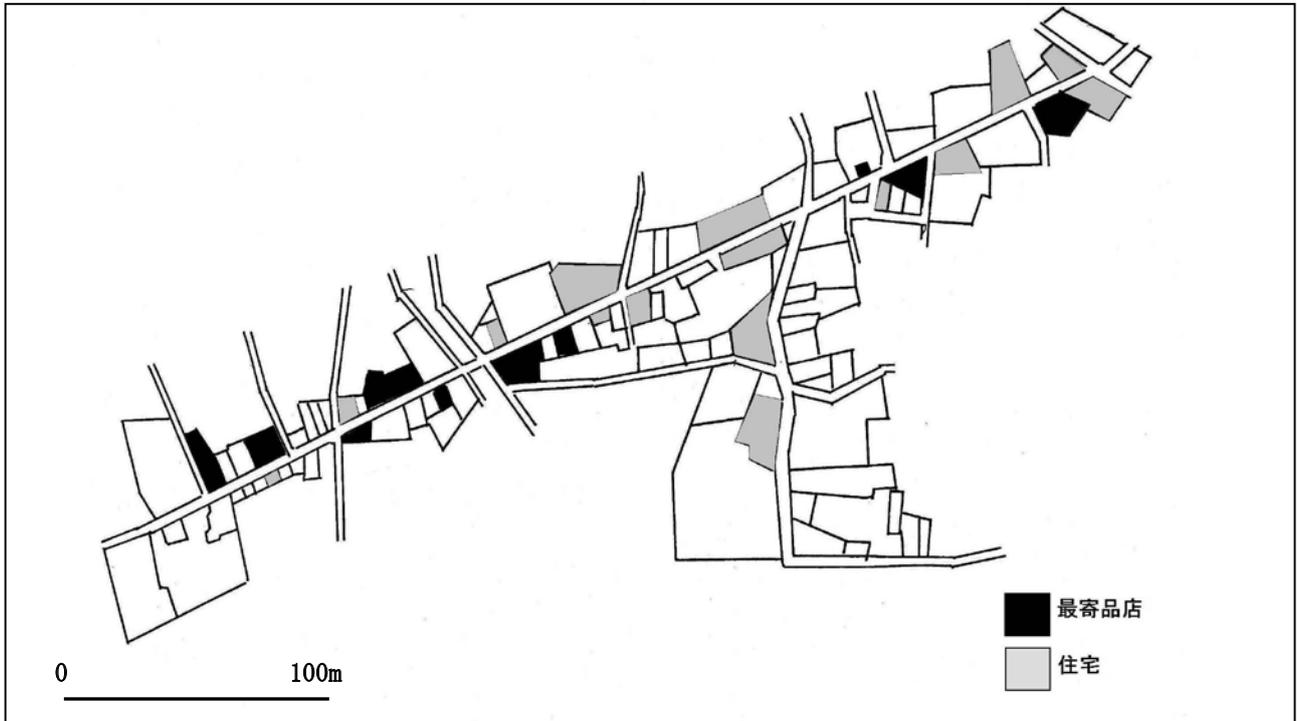


図4 1994年当時の湯の坪通りにおける宅地および商店(最寄品)の分布  
注)ゼンリン住宅地図により作成

## 2. 2010年にかけての変容

2001年当時と2010年の状況を比較してみると、地域社会に根ざしていたと思われる最寄品店から観光客を対象としている土産物店への転用が少なくとも7軒確認できる。さらに、個人住宅地からの転用も6軒確認できた。つまり、この10年間で観光関連施設への転用は計13件で、転用が認められた33件の3分の1を占めている。こうして湯の坪通りの区域は、この時期に地域住民の生活空間から観光空間へと急速に変化していったことが見て取れる(表2、図5)。

その他、比較的広い敷地面積を必要としていた宿泊施設から複数の土産物店が集積する複合施設への転用が進み、新しい形の観光関連施設が登場している。

かつて湯の坪通り区域には企業の保養施設も点在していたが、何れも1980~90年代に撤退しその後公園や旅館に転用されている。また、空地2区画も観光客を対象とした施設に転用され、これで湯の坪通りに面する空地はほぼ無くなっている。

以上の変容を図5と照らし合わせてみると、転用は調査区域全域で認められる。具体的にみると、これまで最寄品店や宅地が残っていた図5の1~6および25・26境界および12~16のエリアで観光関連施設への転用が進んだ。この結果、現在の湯の坪通りは最寄品店もほとんど無くなりほぼ完全に観光空間となっている(図6)。

表2 由布院温泉湯の坪通りの変容(2001年・2010年)

番号	2001年	2010年	番号	2001年	2010年
1	精肉店	土産店(食品)	18	土産店	複合施設
2	駐車場	土産物(食品)	19	土産店(雑貨)	土産店(雑貨)
3	土産店(雑貨)	土産店(雑貨)	20	土産店(雑貨)	一部食品店に転用
4	生花店	土産店	21	土産店(雑貨)	土産店(雑貨)
5	洋食レストラン	同店敷地拡張	22	住宅	土産店(雑貨)
6	住宅	土産物(食品)	23	鮮魚店	カフェ
7	薬品店	土産店(食品)	24	土産店	土産店
8	美容室	土産店(雑貨)	25	不明	土産店(食品)
9	米穀店	土産店(雑貨)	26	飲食店(スナック)	食品店
10	民宿	土産店(複合施設)	27	宿泊施設	一部食品店に転用
11	空地	土産店(複合施設)	28	土産店(雑貨)	土産店(雑貨)
12	土産店	土産店	29	住宅	土産店(食品・雑貨)
13	住宅	土産店	30	美術館	ギャラリー
14	空地	土産店(雑貨)	31	和風旅館	飲食店・旅館
15	住宅	土産店(雑貨)	32	飲食店	飲食店
16	住宅 15 と同一	土産店(雑貨)	33	土産店(雑貨)	飲食店 32 の店舗
17	土産店	土産店			

注)ゼンリン住宅地図および現地調査により作成

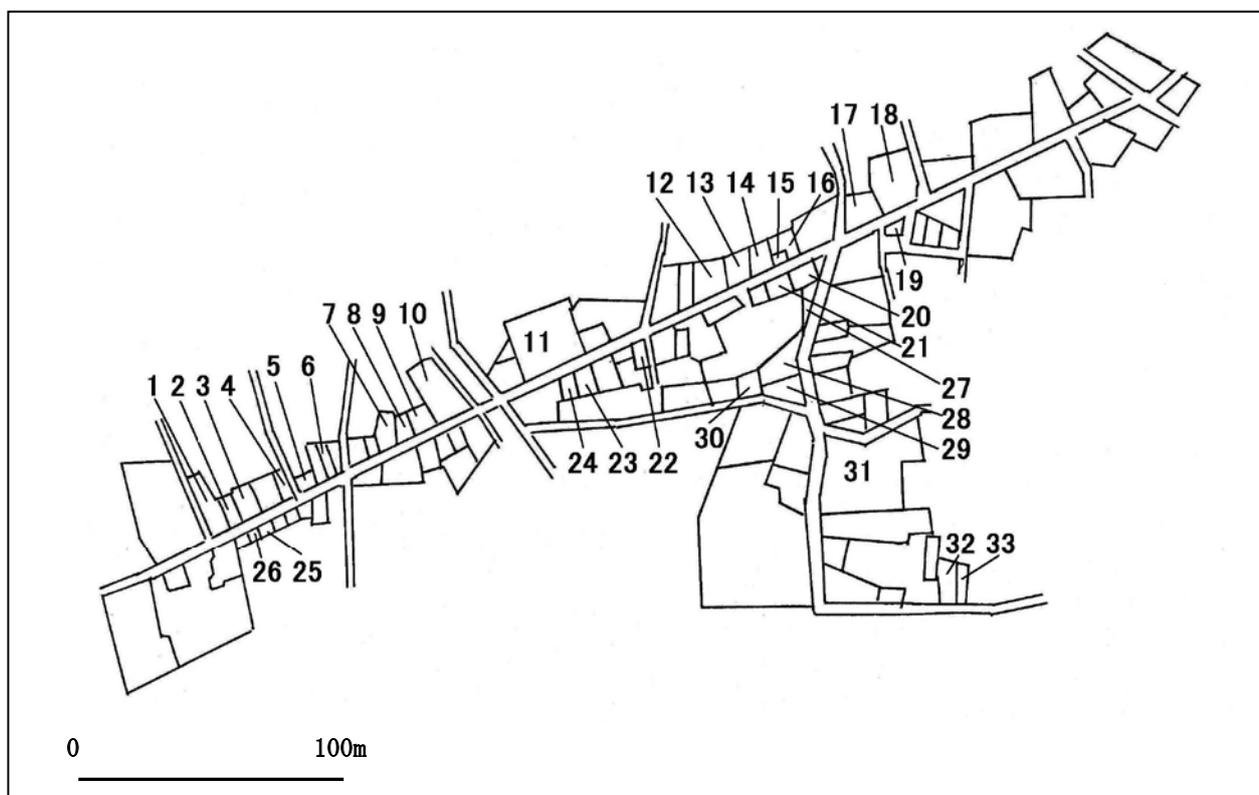


図5 由布院温泉湯の坪通りの変容(2001年・2010年)

注)ゼンリン住宅地図および現地調査により作成

図中の番号は表2に対応

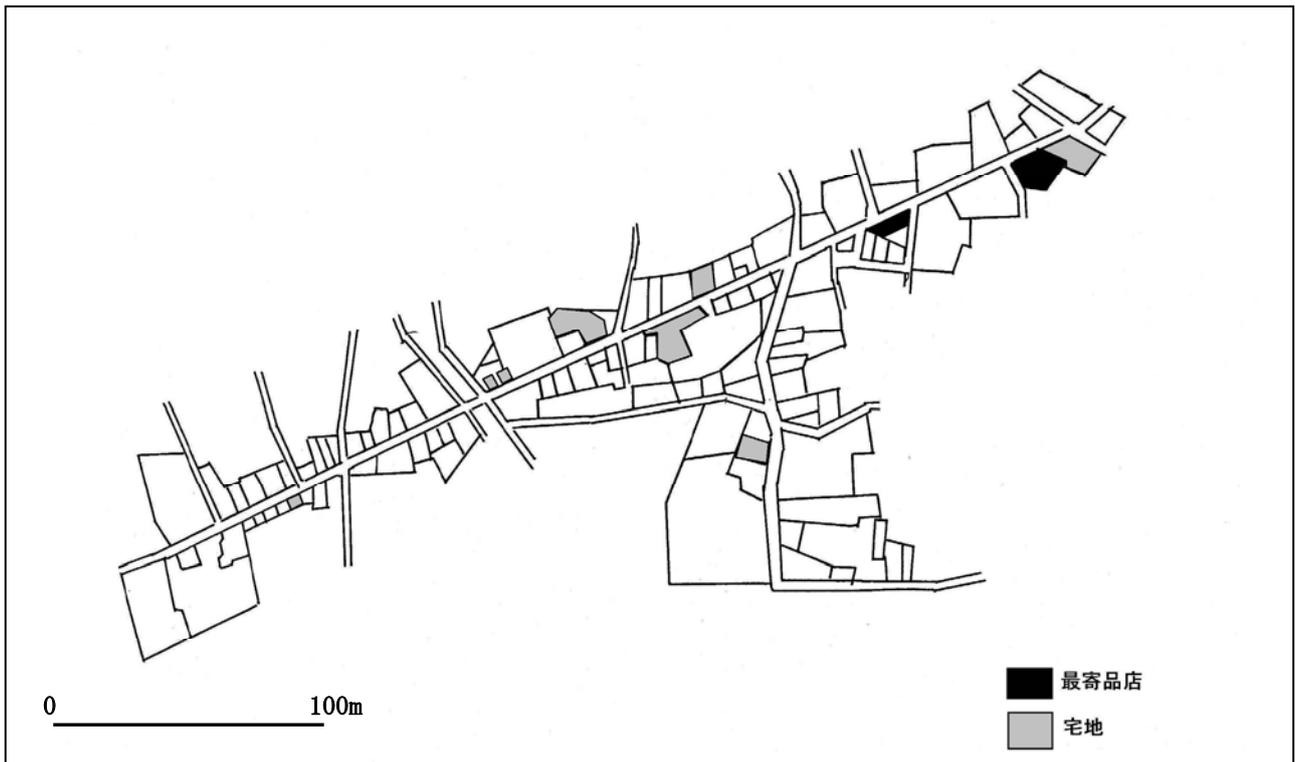


図6 2010年の湯の坪通りにおける宅地および商店(最寄品)の分布

注)ゼンリン住宅地図により作成

### III まとめ

今回の調査を通して、先ず湯の坪通り区域の開発はバブル経済崩壊以降というよりも、むしろ2000年以降に活発化したということが明らかとなった。つまり、一般的に乱開発が行われたとされる1990年代初頭のバブル経済期はこの区域はまだ日常生活を維持する機能が働いていたのである。なぜ今世紀になってから急速な変化がもたらされたのかという疑問は次なる課題として残る。

由布院温泉の開発動向に関して、林他(2004年)は1991年に施行された「潤いのあるまちづくり条例(以下、「条例」)」によって大規模開発は収まりつつあるものの、この条例には小規模開発に対する規制事項が無かったため、駅前や本調査対象区域のある温湯地区では、バブル崩壊後さらに活発な開発が行われていたと指摘する。本研究によってこの指摘を裏付けることができ、それと共にミニ開発は林他による調査後の2000年以降の方が活発に行われていた実態も明らかにすることができた。

こうした動向に対して姫野他(2008年)は、湯の坪通りの景観計画の動きについて、2004年に端を発した町を二分した合併問題と新生「由布市」の誕生などで多少の混乱はみられたものの、次第に住民も参画する組織が形成されつつある状況を提示している。その中で、由布院温泉の景観形成においてはやはり「条例」が重要な役割を担ったと指摘している。

今回の調査によって調査対象区域である湯の坪通り区域は、大型ホテル等の進出は回避されここでも「条例」は一定の評価をすべきであろう。その一方で、湯の坪通り区域は現実的に小規模な開発が進み、今日日常生活機能はほぼ失われてしまっている。由布院温泉の中心部を占めるこの区域の地域構造は、もはや地域社会を維持する機能とはかけ離れ言わば“独り歩き”を始めている感が否めない。この区域を闊歩する観光客自体がもはや温泉には大した興味も持たないようにさえ見えてしまうのである。このような小規模開発が進行した背景に「条例」があるのかは今後精査していく必要がある。

しかも「由布院に行ったら温泉に入る」という決まりはどこにもない。この区域自体が温泉観光という次元から脱してしまったと見る方が妥当なのかもしれない。キャラクター販売店が乱立する湯の坪通りはある

意味大分県にとっては貴重な機能を有する空間という見方もできよう。つまり、こうしたキャラクター商品は県内でこの湯の坪通りでしか購入できないのならば、このエリアはとても重要な機能を持つ空間と位置付けることもできよう。

このような立場に立った時、由布院温泉を対象とした研究課題は“温泉観光地”という固定的な視点からの研究を超えた枠組み作りも考えなければならない。加えて、「由布院は保養温泉観光地」という既成概念自体も大きく揺らぐことになろう。今回の研究によってこのような新しい視点からの課題設定の展望を開くことができた。

今後は、今回の成果を踏まえて由布院温泉がどのような方向に向かうのか検討を重ねる必要性があろう。さらに、今回の調査対象区域の外縁部には和風旅館の立地も進み農地は減少しつつある。豊かな田園景観の維持に努めてきた地域社会にあって、農地の減少は景観維持さらに“由布院ブランド”の維持にも関わる問題と捉えなければならない。由布院温泉全体の地域構造の変容について検討しなければならない。

#### 【参考文献】

- 1) 林隆広他(2004)：「湯布院町の開発動向の実態と住民意識の関連」。日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、225～226頁。
- 2) 姫野由香他(2008)：「住民主導による景観計画策定に関する調査研究-大分県湯布院町湯の坪道地区を対象として」。日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、729～730頁。
- 3) 佐藤武典他(2007)：「観光資源としての景観的特性に関する研究」。日本建築学会九州支部研究報告第46号、529～532頁。



## 大 分 県 温 泉 調 査 研 究 会 会 則

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

第 2 条 研究会の事務局を大分県生活環境部生活環境企画課内に置く。

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

第 4 条 研究会は前条の目的を達成するために下記の事業を行う。

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

第 5 条 研究会は下記の構成員をもって組織する。

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

第 6 条 研究会の役員は下記のとおりとし、総会によって選任する。

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

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

第 7 条 会長は会務を総理し、会議の議長となる。

2 会長に事故のあるときは副会長が、会長及び副会長に事故があるときは常務理事がその職務を代理する。

3 常務理事は会長を補佐して研究会の庶務に従事する。ただし、研究会の会計事務は常務理事が処理するものとする。

4 理事は会務に従事する。

5 監事は会計を監査する。

第 8 条 研究会に顧問を置くことができる。

(1) 顧問は役員会の承認を得て会長が委嘱する。この場合、総会に報告しなければならない。

(2) 顧問は研究会の事業について会長の諮問に応ずるものとする。

第 9 条 研究会に下記の職員を置く。

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

第 10 条 会議は総会及び役員会とする。

第 11 条 総会は会長が招集する。

2 総会は通常総会及び臨時総会とし、臨時総会は会長が必要と認めたとき、又は会員の 5 分の 1 の請求があったときに招集する。

3 総会の招集は開会の 5 日前までに会員に届くように会議に付議する事項、日時及び場所を通知しなければならない。

第 1 2 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 1 3 条 総会は会員の過半数が出席しなければ議事を開き議決することはできない。

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

第 1 4 条 下記の事項について会長は専決することができる。

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

第 1 5 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 1 6 条 第 1 4 条第 1 項及び第 2 項の規定は役員会に準用する。

第 1 7 条 研究会は議事遂行上必要がある場合は、専門委員会を設けることができる。

- 2 前項の委員会に関する事項は総会で決定する。

第 1 8 条 研究会の経費は負担金及び補助金、委託料、寄附金等その他の収入をもってこれにあてる。

第 1 9 条 研究会の会計年度は毎年 4 月 1 日から始まり翌年 3 月 3 1 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 2 4 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 4 6 年 4 月 1 日から適用する。  
この会則の改正は、昭和 4 8 年 4 月 1 日から適用する。  
この会則の改正は、平成 2 年 4 月 1 日から適用する。  
この会則の改正は、平成 7 年 5 月 1 日から適用する。  
この会則の改正は、平成 9 年 4 月 1 日から適用する。  
この会則の改正は、平成 1 6 年 4 月 1 日から適用する。  
この会則の改正は、平成 1 8 年 4 月 1 日から適用する。  
この会則の改正は、平成 2 1 年 8 月 3 日から適用する。

## 大分県温泉調査研究会会員名簿(順不同)(新)

(平成23年6月28日現在)

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
京都大学 名誉教授	由 佐 悠 紀	会 長
九州大学 名誉教授	矢 永 尚 士	副会長
大分県生活環境部 生活環境企画課 課長	青 木 正 年	副会長
大分県生活環境部 生活環境企画課 課長補佐	橋 本 昌 樹	常務理事
大分大学 名誉教授	川 野 田 實 夫	理 事
臼杵市医師会立コスモス病院 院長	安 田 正 之	
九州大学 名誉教授	延 永 正	
大分大学 名誉教授	志 賀 史 光	
元大分大学	大 野 保 治	
九州大学生体防御医学研究所 教授	牧 野 直 樹	理 事
岡山理科大学理学部基礎理学科 教授	北 岡 豪 一	
立正大学地球環境科学部 教授	河 野 忠	
大分大学教育福祉科学部 講師	大 上 和 敏	
京都大学地球熱学研究施設 教授	竹 村 恵 二	
京都大学地球熱学研究施設 教授	大 沢 信 二	理 事
京都大学地球熱学研究施設 助教	山 本 順 司	
京都大学地球熱学研究施設 助教	柴 田 知 之	
京都大学地球熱学研究施設 研究機関研究員	三 好 雅 也	
奈良女子大学 非常勤研究員	山 田 誠	
京都大学地球熱学研究施設	三 島 壮 智	
大分大学大学院教育学研究科	酒 井 拓 哉	
秋田大学工学資源学部地球資源学科 助教	網 田 和 宏	
京都大学地球熱学研究施設 教務補佐員	芳 川 雅 子	
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	宇 津 木 充	
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	鍵 山 恒 臣	
東京大学地震研究所 地震予知研究推進センター	長 谷 英 彰	
九州大学病院別府先進医療センター循環呼吸老年病内科 助手	尾 山 純 一	
別府ONSEN地療法研究会(畑病院)	畑 洋 一	
別府ONSEN地療法研究会(畑病院)	畑 知 二	
大分大学医学部 精神神経医学 教授	寺 尾 岳	
大分大学医学部 医員	塩 月 一 平	
別府大学文学部文化財学科 准教授	中 山 昭 則	
立命館アジア太平洋大学 地球物理学 教授	サンガ・ンゴイ・カザディ	
(社)大分県薬剤師会 会長	安 東 哲 也	
タナベ環境工学(株) 代表取締役	藤 澤 剛	
タナベ環境工学(株) 環境調査課 課長	後 藤 弘 樹	
タナベ環境工学(株) 環境調査課 係長	後 藤 明 子	
松尾機器産業(株) 代表取締役	松 尾 隆	
松尾機器産業(株) 営業部 係長	吉 田 篤 史	
松尾機器産業(株) 営業部	安 東 国 広	
松尾機器産業(株) 営業部	松 尾 広 暁	
九電産業(株) 環境部 理事環境部長	今 泉 幸 男	
九電産業(株) 環境部 課長代理	福 重 広 明	
九電産業(株) 環境部 課長代理	渡 辺 英 樹	
九電産業(株) 環境部 主任	能 登 征 美	
(株)住化分析センター 大分事業所 所長	阪 上 重 幸	
(株)住化分析センター 大分事業所	白 國 忠 志	
(株)住化分析センター 大分事業所	板 井 清 美	
(株)住化分析センター 大分事業所	淵 野 大 輔	

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
大 分 市 長	釘 宮 肇	理 事
別 府 市 長	浜 田 博	理 事
中 津 市 長	新 貝 正 勝	
日 田 市 長	佐 藤 陽 一	理 事
臼 杵 市 長	中 野 五 郎	
竹 田 市 長	首 藤 勝 次	理 事
杵 築 市 長	八 坂 恭 介	
宇 佐 市 長	是 永 修 治	
由 布 市 長	首 藤 奉 文	理 事
国 東 市 長	三 河 明 史	
九 重 町 長	坂 本 和 昭	理 事
玖 珠 町 長	朝 倉 浩 平	
別府市ONSENツーリズム部温泉課 課長	河 野 貞 祐	監 事
別府市ONSENツーリズム部温泉課 課長補佐	村 上 正 人	
大分県東部保健所 所長	中 里 興 文	監 事
大分県東部保健所 次長	山 本 修 治	
大分県衛生環境研究センター 所長	奥 幸 一 郎	理 事
大分県衛生環境研究センター微生物担当 専門研究員	小 河 正 雄	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 主幹研究員	緒 方 喜 久 代	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 主幹研究員	成 松 浩 志	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 研究員	佐 々 木 麻 里	
大分県衛生環境研究センター水質担当 専門研究員	入 江 久 生	
大分県衛生環境研究センター水質担当 主幹研究員	鈴 木 龍 一	
大分県衛生環境研究センター水質担当 主任研究員	松 原 輝 博	
大分県衛生環境研究センター水質担当 研究員	中 村 千 晴	
大分県衛生環境研究センター水質担当 研究員	佐 藤 洋 子	
大分県商工労働部 工業振興課 主幹	齊 藤 雅 樹	

(会員数 76名)

書 記

所 属 ・ 職 名	氏 名	
大分県生活環境部生活環境企画課 主任	安 倍 明 日 美	
大分県生活環境部生活環境企画課 主任	熊 野 真 二 郎	
大分県生活環境部生活環境企画課 非常勤嘱託	溝 邊 博 見	

(3名)

大分県温泉調査研究会報告 第62号

平成23年7月 印刷

平成23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1-1

大分県生活環境部

生活環境企画課内(事務局)

T E L 097-506-3022

F A X 097-506-1741

印刷社 〒870-0901 大分市西新地2丁目3番34号

有限会社 秀栄社

T E L 097-551-8780

