

大分県温泉調査研究会報告

第 66 号

平成 27 年 7 月

目 次

温泉治療におけるアンチエイジング効果の検証	小 柳 雅 孔 他 1 人	(1)
芹川ダムの水質におよぼす温泉水の影響について	大 上 和 敏 他 2 人	(3)
別府湾の表層堆積物構造の時系列変化	竹 村 恵 二 他 2 人	(9)
別府・恵下地獄の地球化学的調査	大 沢 信 二 他 2 人	(17)
姫島火山群の第四紀溶岩中の地殻起源捕獲岩の地球化学的特徴	柴 田 知 之 他 3 人	(29)
大分県における地殻の地震波減衰構造	志 藤 あずさ	(33)
姫島火山における表層電気伝導度分布	鍵 山 恒 臣 他 3 人	(35)
温泉水手浴と他の要因による歩行運動習慣促進効果の定量的解析	青 野 裕 士	(39)
温泉観光地における新しい情報発信の構築に向けた研究 (2)	中 山 昭 則	(41)
別府温泉藻類の健康・美容増進効果	加世田 国与士 他 5 人	(49)
大分県内の飲用泉の利用と分布	甲 斐 美 穂 他 3 人	(53)
別府血の池地獄における硫黄化学種の状態と沈殿物等の硫黄同位体比について	前 野 真実子	(63)

序

石油・石炭など化石燃料の大量使用に起因する地球温暖化の進行、2011年3月11日の東日本大震災に伴って露呈した原子力施設の諸問題、これらは我われが依って立つエネルギー源の見直しを強く迫ることとなりました。

新たなエネルギー源の候補として登場したのは、かつての主要な資源であった水力、および、これまでも一部が開発・利用されてきた太陽光・太陽熱・風力・波力・潮力・地熱/温泉・バイオマスなどの再生可能エネルギー（自然エネルギー）です。これらのほとんどは太陽から放射線として到達するエネルギーを根源としていますが、地熱/温泉は地球内部に根源があるという点で、他のエネルギーとは異なります。

大分県は再生可能エネルギーに富むとされ、中でも別府・九重を中心に展開している活発な地熱/温泉現象に秘められたエネルギーは改めて大きな注目を浴び、従来の浴用主体の温泉利用に加えて、電力などのエネルギー源としての開発・利用の計画が浮上しています。このような時代の潮流に対応し、温泉法に則って、資源の保護と適正な利用を確保するため、平成26年度、大分県では温泉井掘削の新たな基準が策定されました。その内容は、大分県ホームページの「大分県環境審議会温泉部会内規(抜粋)」で見ることができます。

こうした基準には科学的な合理性が求められますが、決して容易ではない策定作業が遂行されたのは、大分県には、先人が培ってきた「温泉の科学」が蓄積されていたからでしょう。その培われた主要な場が、「大分県温泉調査研究会」であったと思います。

本調査研究会は、昭和23(1948)年7月10日の温泉法公布に応じて、翌24年7月16日、「大分県における温泉の科学的調査をして公共の福祉増進に寄与すること」を目的として、発足しました。以来、調査研究が継続して実施され、毎年途切れることなく、機関誌「大分県温泉調査研究会報告」が刊行されてきました。そして、本年もここに、平成26年度の活動を記した第66号を刊行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。内容は、地球物理学・地球化学・医学・衛生学・微生物学・観光地理学と多岐にわたっており、斬新な観点と手法による研究成果に接することは大きな喜びです。こうして蓄積されつつある調査研究の成果は、将来わたって、温泉に対する理解を深め、温泉の保護と利用に貢献するに違いありません。

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申し上げますとともに、会員諸氏の研究のさらなる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27(2015)年7月

大分県温泉調査研究会

会長 由 佐 悠 紀

大分県温泉調査研究会報告は、大分県のホームページでも閲覧することができます。

温泉治療におけるアンチエイジング効果の検証

九州大学病院別府病院

小柳雅孔・前田豊樹

1. はじめに

温泉は、慢性疾病、種々の急性疾病後の後遺疼痛、運動障害に有効といわれ、古来より湯治などの「癒し」の場として利用されてきた。近年、温泉治療において、血中の炎症性サイトカインなど低下させることが報告され、治療応用が期待される。なかでも、鉱泥浴は深部体温上昇効果に優れる温泉治療のひとつであるが、実際に慢性疼痛の治療に応用されつつある。九州大学病院別府病院は、国立大学法人では唯一、鉱泥浴施設を擁している。本研究報告では慢性疼痛性疾患の代表である線維筋痛症患者鉱泥浴治療患者を対象に対する疼痛緩和効果、ストレス軽減効果、抗老化効果の3つの効果を検証した。

2. 検証方法

薬物療法による疼痛コントロール不十分のため九州大学病院別府病院内科に紹介入院となった、アメリカリウマチ学会線維筋痛症診断基準(1990)に示された疾患特異的圧痛点18か所中11か所以上に圧痛を認め、線維筋痛症患者と診断された16名(男性4名女性12名 平均年齢 57.2 ± 14.7 歳)を対象として、平日連日 40°C 10分間鉱泥浴(期間: 39.4 ± 23.8 日間)を受けてもらい、鉱泥浴治療前後で、フェイススケール(5点満点)(FS)、圧痛点数、GDS(老年期うつ病評価尺度;65歳以上6名)、末梢血球数(全員)、一般血液生化学(全員)、血清CRP(全員)、末梢血白血球テロメア長(7名)を測定し比較した。テロメア長測定は、テロメアDNA断片をプローブとした末梢血白血球由来のゲノムDNAのサザンブロットの結果から求めた。なお、疼痛評価とうつ状態評価以外は、疼痛緩和目的の鉱泥浴を行わず別の理学療法目的で入院した患者9名(男性4名、女性5名、年齢 68.0 ± 23.2 歳)の入退院時のデータ推移(変化率)との比較も行った。

3. 結果

鉱泥浴治療の前後比較で、FSでは 4.1 ± 1.3 点から、 2.0 ± 1.4 点に改善しており、各人の入院時の値を1とした時の変化率は 0.45 ± 0.28 ($p=0.000$)であった。圧痛点は、 12.6 ± 3.4 個から 7.2 ± 4.7 個に減少しており、変化率は 0.57 ± 0.28 で有意に減少していた($p=0.012$)。またGDSのポイントは 6.5 ± 2.5 から 3.2 ± 1.2 と低下した。変化率は 0.49 ± 0.16 であった($p=0.009$)。臨床検査値の変化率は赤血球で 1.05 ± 0.25 ($p=0.012$)、アルブミンでは 1.06 ± 0.09 ($p=0.039$)といずれも上昇していたが、CRPでは 0.79 ± 0.28 で有意低下が見られた($p=0.024$)。これらの臨床検査値推移は、鉱泥浴を行わなかった入院患者群には見られなか

った。一方、白血球数、血小板数、肝機能、腎機能、血糖値は、鈹泥浴の患者群とそうでない患者群のいずれにおいても変化は見られなかった。末梢血白血球テロメア長の平均長は、入院時 6.3 ± 0.7 kb、退院時 6.3 ± 1.2 kb で変化率も 0.99 ± 0.12 と変化はなかった。

4. 考察・結論

温泉治療の一つ鈹泥浴が慢性疼痛の緩和に有効であり、これに伴って、うつ状態が改善することが示された。臨床検査値では、赤血球数、血清アルブミンがわずかながら上昇し、血清 CRP は低下した。この臨床検査値の変化は、非鈹泥浴群には見られず、鈹泥浴による効果と考えられ、鈹泥浴には栄養改善効果や抗炎症効果があることが伺える。こういった一連の身体状況改善効果は、抗老化効果につながると期待できるが、今回の解析では、末梢白血球のテロメア長変化に反映されなかった。テロメア変化を捉えるためには、より長期の観察が必要であると考えられる。

参考文献

(1) Oyama J, Kudo Y, Maeda T, Node K, Makino N.

Hyperthermia by bathing in a hot spring improves cardiovascular functions and reduces the production of inflammatory cytokines in patients with chronic heart failure. *Heart Vessels*. 2013 Mar;28(2):173-8.

(2) 線維筋痛症診療ガイドライン 2013 日本線維筋痛症学会 編 2013 年

(3) Maeda T, Oyama JI, Sasaki M, Arima T, Makino N.

The correlation between the clinical laboratory data and the telomere length in peripheral blood leukocytes of Japanese female patients with hypertension. *J Nutr Health Aging*. 2011 Mar;15(3):240-4.

芹川ダムの水質におよぼす温泉水の影響について

大分大学教育福祉科学部

大 上 和 敏・中 野 史 織
大 坪 あかね

要旨

芹川ダムは、大分県竹田市にある富栄養化の影響でアオコの発生が観察されているダムである。本研究では、芹川の上流にある温泉地帯が芹川ダムの富栄養化に影響を与えているのではないかと考え、芹川ダムとダム湖流入河川にて調査を行った。河川水の化学組成よりリンの供給量を見積り行ったところ、河川水に含まれるリンの約 20%が温泉由来である可能性が示された。

1. はじめに

富栄養化は、湖沼に窒素やリンなどの栄養塩類が多く流入し、その栄養塩類を使って植物プランクトンが増殖する現象である（中野・田中，2012）。富栄養化した湖沼では、ラン藻類が優先的に繁殖するようになり、最終段階にはアオコが発生する。アオコが発生すると悪臭や景観の悪化、藻類の呼吸による酸素欠乏、およびラン藻の一部による有毒物質の生産などの諸問題が伴う（農村工学研究所報告，2008）。そのため、アオコの増殖抑制はダム湖や湖沼の重要な課題となっている。

大分県の竹田市直入町田北にある芹川ダムは、大分県政史上 2 番目の河川総合開発事業の一環として、大分川水系に築造された多目的ダムである。戦後における国土復興計画に伴う電力事業の緩和、洪水被害の軽減および、農業用水確保による食糧増産を目的として、1953(昭和 28)年に着工し、1956(昭和 31)年 3 月に完成したダムであり、大分市の水瓶となっている。完成と同時に、ダム湖面は水産資源の活用として鮎、ワカサギの発眼卵が放流された。ワカサギは半世紀途切れることなく続けられ、冬場の娯楽として楽しまれている。

芹川ダムにおけるアオコの発生は、完成後 30 年経過した 1985(昭和 60)年頃から観察され始め、毎年継続するようになった（坂田・中島，2005）。この主たる要因として、芹川ダム流入部が栄養塩の供給源となっていることが示唆されている。（大分県衛生環境センター，2005）

一般的に、富栄養化は農業系の負荷源、生活排水などによる栄養塩類の増加が原因とされているが、芹川ダムの上流域には大分県を代表する温泉地のひとつである長湯温泉がある。温泉水には、比較的高濃度のリンを含むものもあり、長湯温泉から排出された温泉排水中に含まれている栄養塩類もアオコの発生に関与している可能性があると考えられる。

本研究では、芹川ダムのアオコの発生原因を明らかにすることを目的に、湖沼水の栄養塩類リンに注目してダム湖に流入する小津留川、馬門川、芹川上流域の水質調査を行い、温泉排水がダム湖に与える影響について検討を行った。

2. 試料採取および測定方法

芹川ダムは、大分県竹田市直入町にある流域面積 118km²、湛水面積 1.35 km²、総貯水容量 2750 万 m²の重力式コンクリート型式であり、大分川水系の多目的ダムである。芹川ダムには、小津留川、馬門川、芹川の3つの河川が流入している。本研究では、芹川ダムに流入する河川について、8地点を調査対象とした(図1)。現地調査は、2014年4月14日、5月7日、6月23日、9月2日、10月23日の計5回実施した。

現地で気温、水温(AS ONE, ASF-250T)、pH(HORIBA COMPACT, B-212)、電気伝導度(東亜DKK, CM-31P)を測定した後、500mLポリビンに採水して持ち帰り、分析に供した(ダム湖は表層水を採取)。

現地では気温および水温、電気伝導度、pHを測定し、500mlのポリエチレン製ボトルに河川水を採取し、実験室にて化学分析を行った。河川水の化学分析では、Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻についてはイオンクロマトグラフィーで、SiO₂およびPO₄-Pについては、モリブデン酸黄色法およびモリブデン青色法による吸光光度法でそれぞれ分析を行った。HCO₃⁻はpH4.3アルカリ度法による値より求めた。

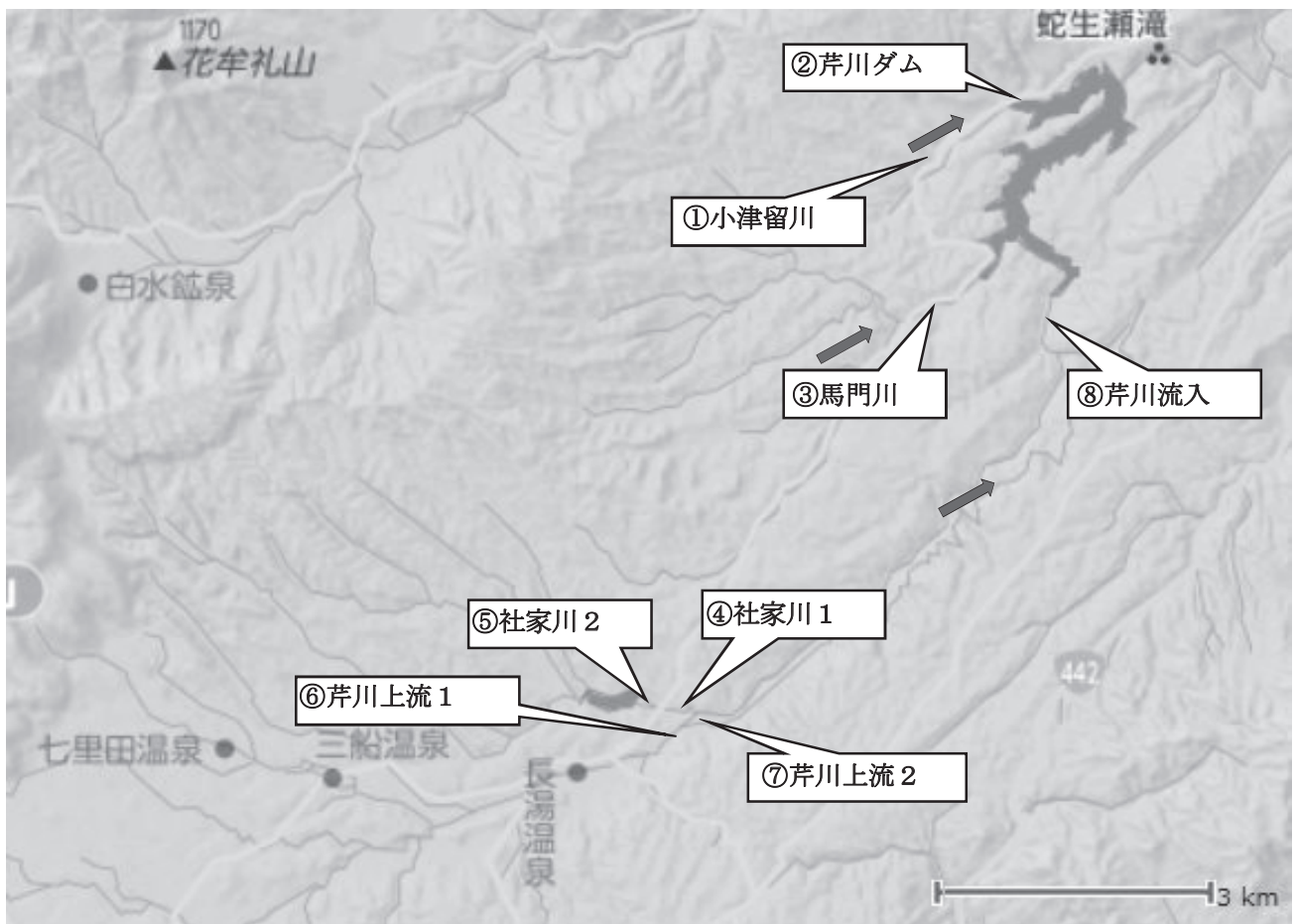


図1 調査地点の概略図

3. 結果

各調査地点と日本の河川水の平均化学組成を表1に、各調査地点の主要化学成分の総量値（TDS）を図2に示す。① 小津留川、③ 馬門川、④ 社家川1、⑤ 社家川2については、各化学成分ともに日本の河川水の平均値とほぼ同程度の値であるが、⑥ 芹川上流1、⑦ 芹川上流2、⑧ 芹川流入については、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- の値が非常に高くなっている。芹川ダムについてもこれらの濃度がやや高い値となっている。⑥、⑦、⑧の地点は、長湯温泉の下流部に位置するので、Na、Mg、Ca-HCO₃型の温泉が数多く湧出している長湯温泉の影響を受けていることが考えられる。図2のTDSの値についても同様に、①、③、④、⑤の地点では、日本の河川水とほぼ同じか低い値であるのに対し、⑥、⑦、⑧の地点では、平均的な河川水の2～3倍の濃度になっている。

図3に各調査地点におけるリン濃度を示す。リンや窒素やあらゆる生物にとって必須構成元素であるが、一方で湖沼や沿岸地域においては富栄養化に伴う植物プランクトンの過剰増殖の制限因子であるとされている。本調査地点のリン濃度は、TDSの値と同様に、⑥、⑦、⑧の調査地点において、リンの濃度が高い値を示している。

表1 各調査地点と日本の河川水の平均化学組成

	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Cl^- (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	HCO_3^{2-} (mg/L)	SiO_2 (mg/L)
① 小津留川	4.6	2.4	2.2	7.2	2.6	4.0	36.7	42.1
② 芹川ダム	10.8	3.5	6.5	13.6	5.2	15.0	79.0	42.96
③ 馬門川	6.3	3.1	2.9	9.3	2.8	4.4	52.7	51.5
④ 社家川1	7.1	3.5	3.4	11.5	3.1	8.0	58.9	52.5
⑤ 社家川2	5.5	3.1	2.6	9.7	2.7	6.1	48.4	55.3
⑥ 芹川上流1	21.9	5.8	15.1	27.1	11.1	37.9	154.3	54.1
⑦ 芹川上流2	20.4	5.5	13.8	25.1	10.3	34.4	143.1	50.5
⑧ 芹川流入	14.3	4.4	9.2	18.5	7.0	21.7	105.1	53.4
日本の河川水の平均	6.7	1.2	1.9	8.8	5.8	10.6	31.0	19.0

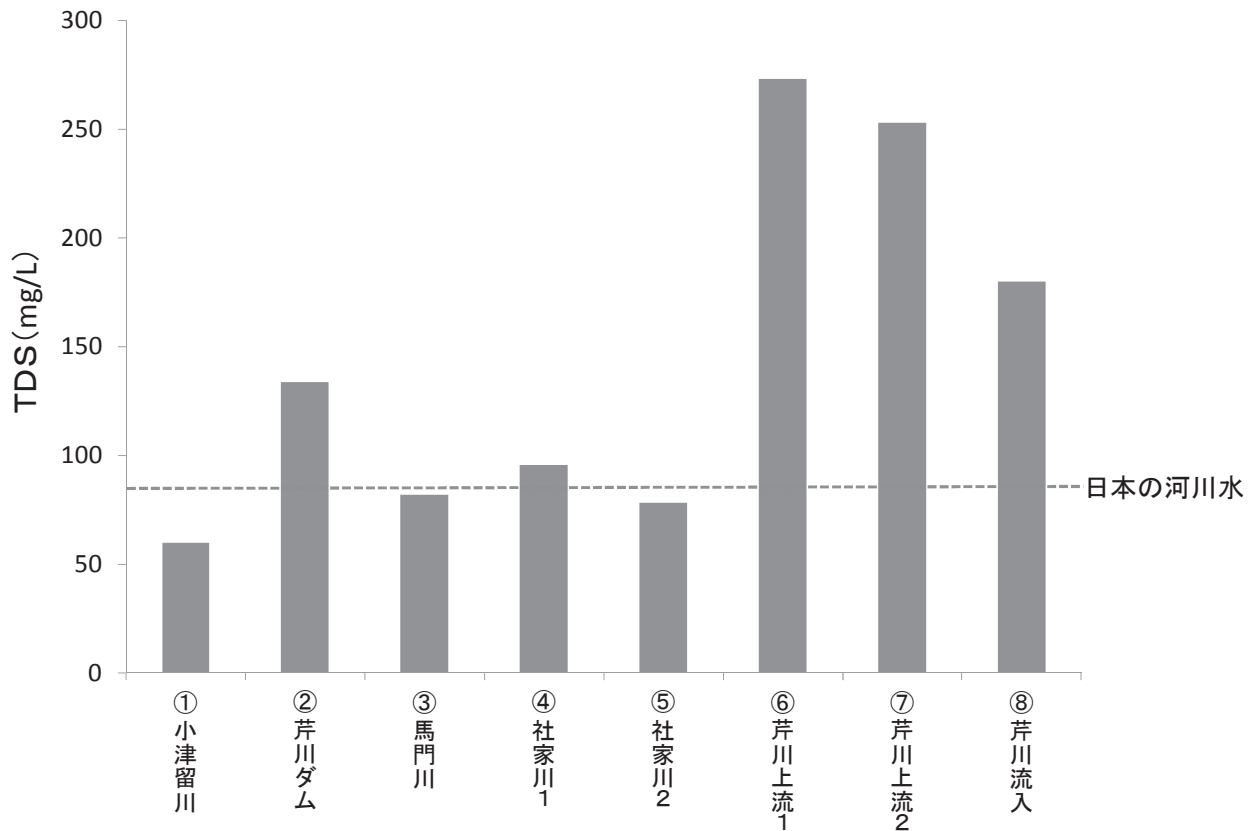


図2 各調査地点における主要化学成分の総量値 (TDS)

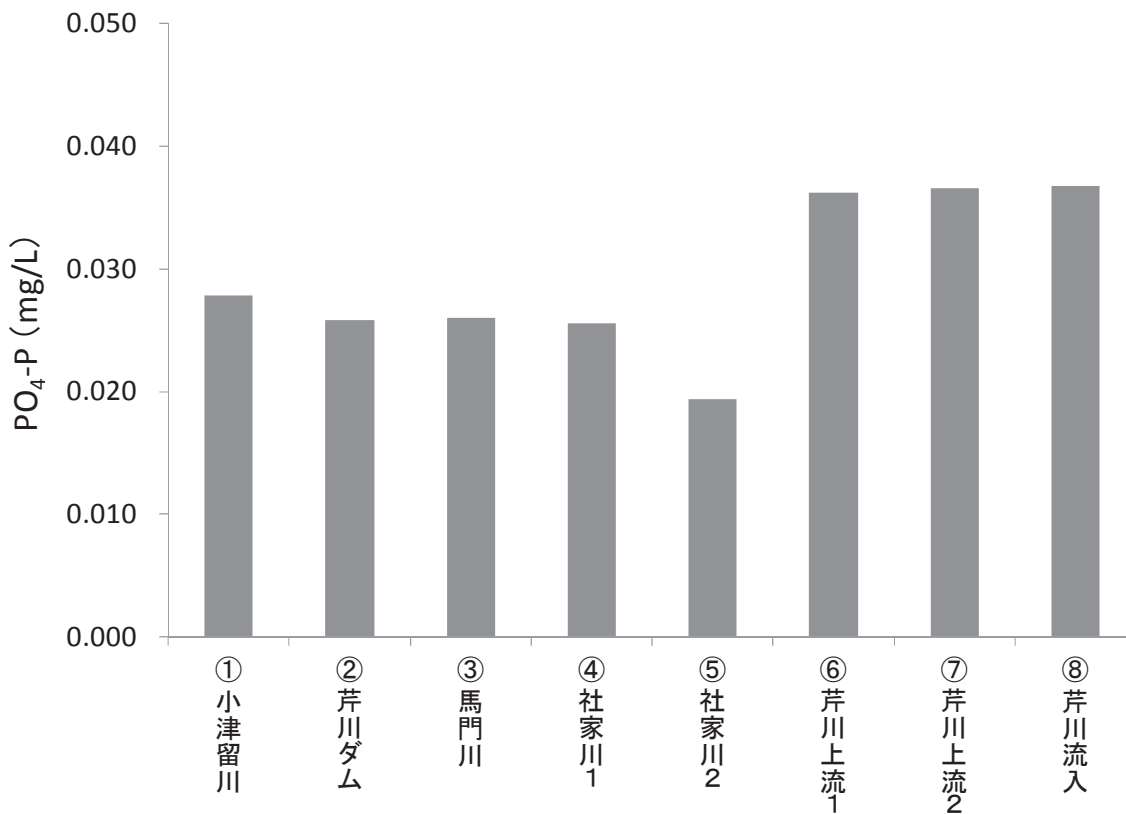


図3 各調査地点における試料水中のリン濃度 (PO₄-P)

温泉には、岩石起源のリンがリン酸イオンの状態 ($\text{PO}_4 - \text{P}$) で含まれているので、芹川上流に位置する長湯温泉の温泉水によりもたらされるリンの供給量について検討を行った。リンは、植物プランクトン等に吸収され濃度が変動する可能性が高いため、保存性の高い Cl^- を基準とした。河川水に含まれている Cl^- が温泉由来であると仮定すると、以下の式により河川水に含まれる温泉由来のリン濃度を計算することができる。

$$\text{河川に含まれる温泉由来のリン濃度} = \frac{\text{河川の塩素濃度} \times \text{温泉のリン濃度}}{\text{温泉の塩素濃度}}$$

長湯温泉の温泉水に含まれている Cl^- および $\text{PO}_4 - \text{P}$ の濃度の平均値は、それぞれ 196.0mg/L 、 0.23mg/L であるので（大分県鉱泉誌，2006）、表 1 の Cl^- の濃度に基づいて⑧ 芹川流入に含まれる温泉由来のリン濃度を求めると 0.008mg/L となる。この値は、⑧の河川水に含まれる $\text{PO}_4 - \text{P}$ の約 20% に相当する。

4. まとめ

本研究では芹川ダムのアオコの発生原因を明らかにすることを目的に、芹川ダムの流入河川である小津留川、馬門川、芹川上流域の水質調査を行い、芹川の上流にある温泉地帯からの排水が芹川ダムの水質に与える影響について検討を行った。芹川ダムに流入する芹川の上流域では、溶存化学成分の総量が平均的な日本の河川水に比べ、2~3 倍程度高い値となっていた。また、芹川ダムに流入する長湯温泉の下流域の河川水では、富栄養化の制限因子の一つであるリンの約 20% が温泉水由来である可能性が示された。

参考文献

- 大分県鉱泉誌：大分県温泉調査研究会．2006
- 北野康：水の科学，日本放送出版協会
- 坂田隆一・中島涼：芹川ダムの生態系を利用した水質改善(淡水赤潮対策)について．大分県衛生環境研究センター年報，33，58-59，2005
- 中野伸一・田中拓弥：アオコってなに？ーラン藻の大発生についてもっと知るためにー．京都大学生態学研究センター，2012
- 吉永育生：農業調整池ならびに水田湛水中の水質環境の形成に関する研究，農村工学研究所報告，47，1-48，2007
- 大分大学教育学部(1986)：大分川流域 - 自然・社会・教育 - ，40.

別府湾の表層堆積物構造の時系列変化

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

山田 圭太郎・竹村 恵二

大阪市立大学

原口 強

要旨

別府湾の表層堆積物中の構造と深部基盤岩の構造との関係を解明するために、高密度の音波探査を実施した。本稿ではそのデータをもとに表層堆積物中に堆積した火山灰層などの三次元構造およびその時系列変化を示した。その結果、各反射面の標高は別府湾中央断層付近で低くなっており、堆積速度もこれらの断層沿いで顕著に増加することが明らかとなった。また、別府湾中央断層と亀川沖断層では堆積速度の時系列変化に違いが認められることが分かった。

1. はじめに

別府湾は中央構造線 (MTL) の西端に位置し、周囲には鶴見岳や由布岳などの活火山が分布する。Itoh et al.(1998)および Itoh et al.(2014)によると、別府湾の形成は2つのステージに分けられ、1.5 Ma 以降の Stage 2、特に 0.7 Ma 以降において、別府湾では MTL の活動に伴う pull-apart basin が卓越し、現在も沈降傾向にある。したがって別府湾には厚く連続的な堆積物が保存されるとともに、pull-apart basin に起因する正断層が多く分布する。そのため、音波探査や堆積物を用いた表層堆積物中の断層調査 (岡村ほか, 1992 ; 大分県, 2001 など) や反射法地震探査や重力測定を用いた深部構造調査 (由佐ほか, 1992; Takemura et al., 1994 ; Itoh et al., 2014 など) が活発に行われてきた。しかしながら、これらの深部の基盤岩と表層堆積物の構造の相互関係はまだ十分に解明されていない。近年、別府湾の表層堆積物中に見られる断層には海底地送りなどに起因する構造が含まれる可能性が指摘されており (原口, 2014), 表層堆積物の構造や形成過程を解明することは急務といえる。そこで、竹村ほか(2013)では別府湾奥南北側線の音波探査及び反射法地震探査結果を比較から表層堆積物中の構造と深部の構造との関連について、山田ほか (2014) では音波探査データから堆積速度分布やガスなどに起因する不鮮明領域の分布を明らかにしてきた。本稿ではこれらの研究をさらに高度化し、別府湾における主要な反射面の標高分布及び堆積速度の時系列変化を明らかにしたので、ここに報告する。

2. 調査方法

一連の研究では反射法地震探査や重力測定から得られた深部基盤岩の構造と表層堆積物

中に見られる構造との関連性を調査するために、由佐ほか（1992）で実施された反射法地震探査の測線を中心に音波探査を行った。調査測線を図 1 に示す。調査は 2012 年 4 月 2, 4, 13, 14, 15, 16 日の延 6 日間行い、合計 468 km の音波探査データを得た。音波探査には SyQwest 社製のポータブル地層探査機である StrataBox を用いた。使用周波数は 3.5 kHz、音速は 1500 m/s とした。

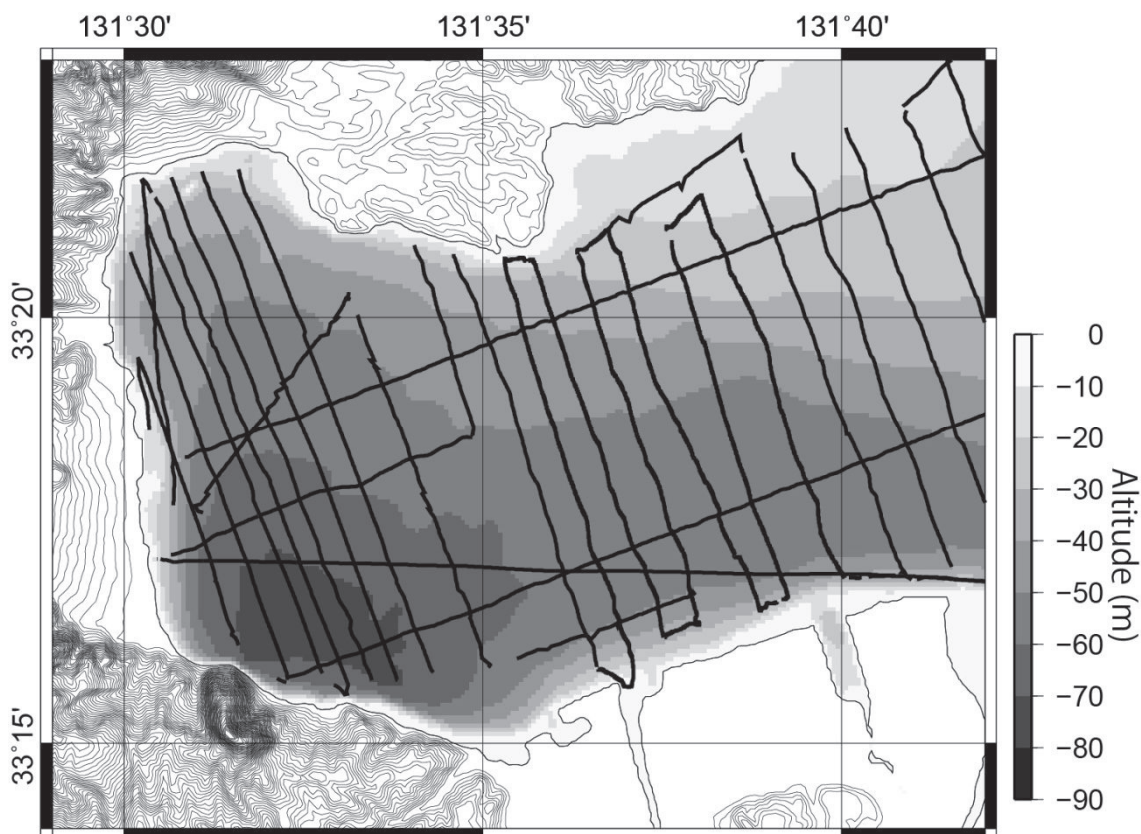


図 1 90 m メッシュ DEM に基づく別府湾の海底地形と音波探査測線。

3. 主要反射面の対比と標高分布

得られた音波探査データからは複数の顕著な反射面が認められた。山田ほか（2014）ではこれらの反射面を上位から LayerI, LayerII と呼んだ。さらに本研究ではこれらの反射面に加え、湾全域に連続的に分布し、以深に音波が到達しない反射面（音響基盤）の分布を明らかにした。結果を図 2 に示す。調査時の天候や堆積物中の砂礫・ガスなどの影響により一部データに欠損がみられる。測線間などの音波探査データの無い海域は Generic Mapping Tools(GMT; Wessel et al., 2013)を用いて探査半径 1.5 km の最近接法で補完した。90 m メッシュ DEM に基づく海底面標高分布（図 2A）と音波探査に基づく海底面標高分布（図 2B）を比較すると、標高分布は全体として整合的で、特に音波探査データの多い湾奥部では測線上のデータおよび補完データともに非常に良い一致を示す。一方で、大野川

河口付近の海域は測線上のデータは DEM と良い一致を示すものの、最近接法の探査半径内に測線データが少ないために、DEM データとは異なる傾向を示しており、音波探査データの少ない探査領域端部では補完精度は相対的に低いと考えられるため、注意が必要である。

最も浅い LayerI (図 2C) は海底面とほぼ平行に分布していることが見て取れる。一方で、LayerII (図 2D) 及び音響基盤 (図 2E) は海底面と同様に別府湾南部に向かって傾斜していることに加え、別府湾中央部付近でも標高が著しく低下している。特に音響基盤は別府湾中央断層を挟んで北東側が急激に浅くなっていることから、これらの反射面の標高分布は深部ほど断層活動に強く制約されていると考えられる。

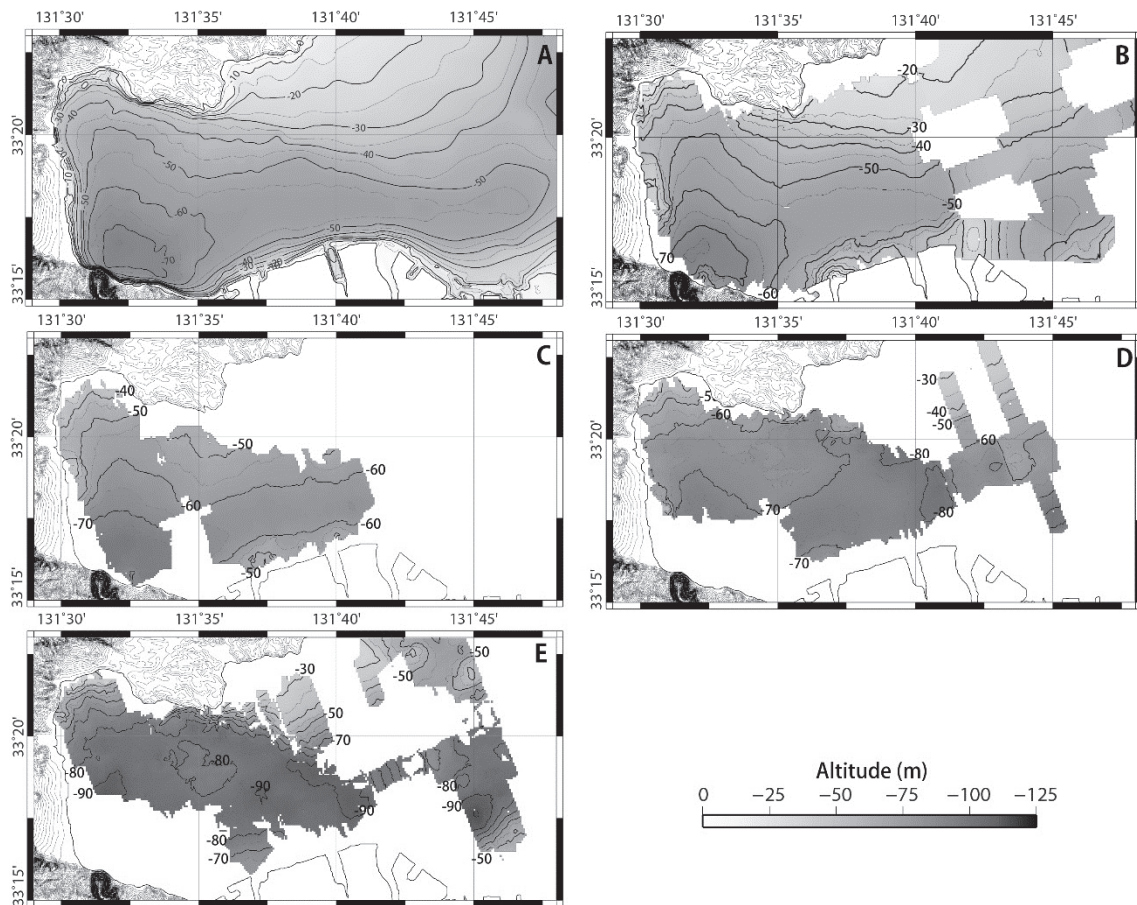


図 2 A : 90 m メッシュ DEM に基づく海底面の標高分布. B : 音波探査に基づく海底面の標高分布. C : 音波探査に基づく LayerI の標高分布. D : 音波探査に基づく LayerII の標高分布. E : 音波探査に基づく音響基盤の標高分布.

4. 堆積速度の時系列変化

これらの反射面の標高分布を基に、別府湾の堆積速度の時系列変化について考察する。LayerI は大分県 (2001)、岡村ほか (1992) や梅田ほか (1996) に基づくと、深度から 2.1-2.2 ka (奥野ほか, 1999) に噴出した由布岳 1 火山灰 (Yf-1) に対比される。同様に LayerII は 7.3 ka (Smith et al., 2013) に噴出した鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) に対比される。一方で、音響基盤は反射の強度や分布・形状から侵食面と考えられる。後期更新世末期には地球の寒冷化に伴い、瀬戸内海は数十 m の海退が起きたことが知られており (例えば増田ほか, 2000)、それに伴う不整合面と考えられる。最終氷期最盛期は 19 ka であり (Yokoyama et al., 2000)、その後海水準が徐々に上昇し、現在の海水準に達したことが知られている。湾口部付近の音響基盤標高は約 80 m であり、汎地球規模の海水準変動曲線 (Siddall et al., 2003) に照らし合わせると、別府湾には少なくとも 13 ka 以降に海水が侵入したと推定される。したがってここでは 13 ka を音響基盤の年代とする。これらの年代値に基づき、音波探査測線上の各反射面間の層厚から平均堆積速度を算出し、データの無い海域は前述の条件で補完した。得られた別府湾の堆積速度分布の時系列変化を図 3 に示す。別府湾全域の堆積速度はすべての期間で概ね 2-3 m/kyrs を示す。ただし、別府湾中央断層や亀川沖断層、大分川河口付近では堆積速度は大きくなっており、別府湾中央断層沿いではそれ以外の場所と比較して 2 倍程度の堆積速度が認められる。図 3C では音響基盤が音波探査の測定可能深度より深くに位置するため不明瞭であるが、別府湾中央断層沿いの堆積速度はすべての期間で概ね 4 m/kyrs と定常的に高い値を示している。亀川沖断層付近では断層にそって堆積速度が大きくなっている一方で、各期間における堆積速度の分布に著しい変化が認められる。これらの堆積速度分布違いは各断層の平均変位量や活動間隔の違いを反映している可能性がある。

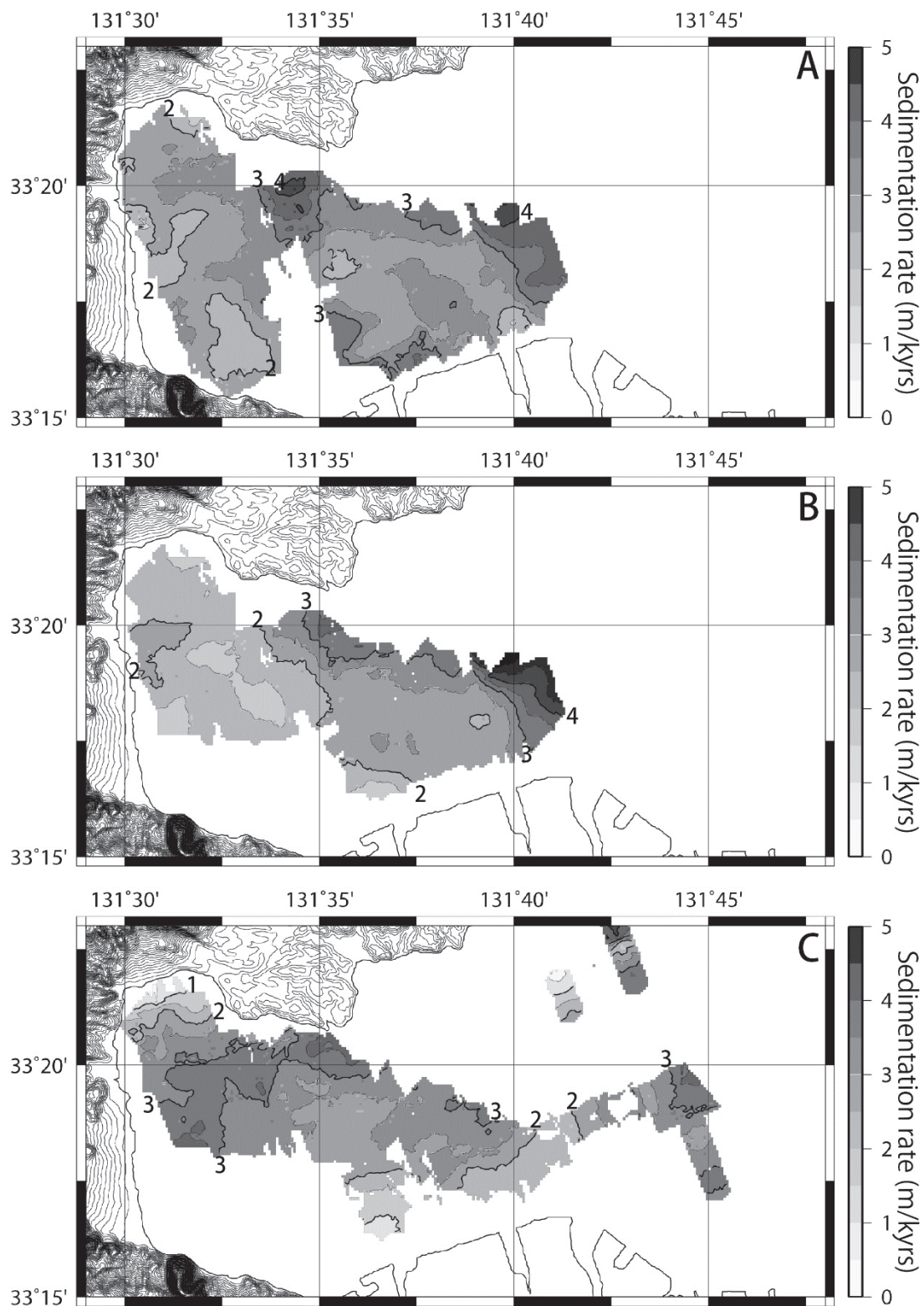


図3 別府湾における堆積速度の時系列変化. A:0-2.2 kaの堆積速度分布. B:2.2-7.3 kaの堆積速度分布. C:7.3-13 kaの堆積速度分布.

5. まとめと今後の課題

本稿では別府湾における高密度な音波探査データをもとに、主な反射面の標高分布及びそこから推定される反射面間の平均堆積速度分布を算出した。その結果、各反射面は湾奥南部にかけて傾斜しているほか、別府湾中央断層に沿って標高が顕著に低くなっており、その傾向は深部の反射面ほど顕著であることがわかった。また別府湾中央断層、亀川沖断層および大分川河口付近で堆積速度が顕著に増加していることが認められた。一方で、別府湾中央断層と亀川沖断層における堆積速度の時系列変化には違いが認められ、それぞれの断層の活動性の違いを反映している可能性がある。

今後、別府湾における表層堆積物中の構造やその成因を理解するためにも、今回の観測では十分なデータを得ることができなかった別府湾東部や湾奥南部における堆積速度分布を明らかにするとともに、このような時間的・空間的に多様な堆積速度分布が形成される要因についてより詳細に議論する必要がある。

謝辞

音波探査の実施にあたっては京都大学の安田 大剛氏のご協力を頂いた。記して謝意を表す。

引用文献

- 大分県 (2001) : 別府一万年山断層帯 (海上調査編) に関する調査成果報告書.
- 岡村 真・島崎 邦彦・中田 高・千田 昇・宮武 隆・前埜 英明・堤 浩之・中村 俊夫・山口 智香・小川 光明 (1992) : 別府湾北西部の海底活断層 —浅海底活断層調査の新技术とその成果—. 地質学論集, **40**, 65-74.
- 原口 強 (2014) : 別府湾の海底活断層はすべて活断層か? —海底地すべり地形と断層状変位, マグマ貫入に伴う正断層群—, 平成 26 年度京都大学防災研究所一般研究集会 (26K-05) 講演要旨, 41-44.
- Itoh, Y., Takemura, K. and Kamata, H. (1998): History of basin formation and tectonic evolution at the termination of a large transcurrent fault system: deformation mode of central Kyushu, Japan. *Tectonophysics*, **284**, 135-150.
- Itoh, Y., Kusumoto, S. and Takemura, K. (2014): Evolutionary process of Beppu Bay in central Kyushu, Japan: a quantitative study of the basin-forming process controlled by plate convergence modes. *Earth, Planets and space*, **66**, 1-14..
- 増田 富士雄・宮原 伐折羅・広津 淳司・入月 俊明・岩淵 洋・吉川 周作 (2000) : 神戸沖海底コアから推定した完新世の大阪湾の海況変動. 地質学雑誌, **106**, 482-488.
- Siddall, M., Rohling, E. J., Almogi-Labinm A., Hemleben, Ch., Meischner, D.,

- Schmelzer, I. and Smeed, D. A. (2003): Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature*, **423**, 853-858.
- Smith, V. C., Staff, R. A., Blockly, S. P. E., Ramsey, C. B., Nakagawa, T., Mark, D. F., Takemura, K., Danhara, T., Suigetsu 2006 Project Members (2013): Identification and correlation of visible tephras in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronizing of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka. *Quaternary Science Reviews*, **67**, 121-137.
- Takemura, K., Yusa, Y. and Itoh, Y. (1994): Quaternary tectonic movements around Beppu Bay at the western end of the Median Tectonic Line, southwest Japan. *Spec. Pub. Jour. Geo. Soc. Japan (Proc. CRCM 93, Kobe)*, 401-405.
- 竹村 恵二・山田 圭太郎・原口 強 (2013) : 別府湾の海底地形と表層堆積物構造. 大分県温泉調査研究会報告, **64**, 33-37.
- 梅田 浩司・草薙 恵・古澤 明・宇井 忠英 (1996) : 別府湾コアから見た由布・鶴見火山群における完新世の噴火活動. 火山, **41**, 61-71.
- Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J. and Wobbe, F. (2013): Generic mapping tools: Improved version released. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, **94**, 409-410.
- 山田 圭太郎・竹村 恵二・原口 強 (2014) : 別府湾の表層堆積物構造. 大分県温泉調査研究会報告, **65**, 11-15.
- Yokoyama, Y., Lambeck K., De Deckker, P., Johnston, P. and Fifield, L. K. (2000): Timing of last glacial maximum from observed sea-level minima, *Nature*, **406**, 713-716.
- 由佐 悠紀・竹村 恵二・北岡 豪一・神山 孝吉・堀江 正治・中川 一郎・小林 芳正・久保寺 章・須藤 靖明・井川 猛・浅田 正陽 (1992) : 反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下構造. 地震, **45**, 199-212.

別府・恵下地獄の地球化学的調査

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

大 沢 信 二・三 島 壮 智

日鉄鉱業(株)資源開発部地熱開発課

酒 井 拓 哉

要旨

別府温泉南部地域の高地部に位置する「恵下地獄」の現地調査を実施し、温泉水・噴気ガス等試料の各種化学・同位体分析を行ったところ、次のことが明らかとなった。(1) 別府南部地域で、恐らく初めて、酸性硫酸塩型 (H-SO_4 タイプ) 水質の温泉の存在を確認した。(2) 温泉水は、深部熱水 (約 300°C) の沸騰で発生した硫化水素 (H_2S) 混じりの水蒸気が、天水起源地下水に流入して生じる典型的な蒸気加熱型温泉 (蒸気性温泉) である。(3) 温泉水を生成させている深部熱水由来の水蒸気の一部が噴気として流出しており、それに含まれるヘリウム (He) や二酸化炭素 (CO_2) の大もとの起源は、別府温泉の他の地獄や噴気地からのものと同じく、マグマである。

1. はじめに

別府温泉は、日本最大級の温泉地であり、源泉の多さ、豊富な湯量のほか、泉質の多さで他の温泉地を圧倒している。図 1 は、別府温泉の泉質形成モデルである。泉質形成は、後述するように、深部熱水からはじまり、その深部熱水の性質を色濃く残しているのが塩化物泉である。熱水性温泉あるいは熱水希釈型温泉と呼ばれる。他方、炭酸水素塩泉と酸性硫酸塩泉は、蒸気に加熱されて生じることから、一括して蒸気性温泉または蒸気加熱型温泉と呼ばれる。別府温泉の泉質の元には以上 3 種の泉質に対応する熱水が存在し、相互の混合や浅層の地下水の混入が起こり、岩石と化学反応を起こし、多種多様な泉質が形成されると考えられている。

上述のように、基本的な 3 泉質の温泉「塩化物泉、炭酸水素塩泉、酸性硫酸塩泉」をつくる熱水のうち本源的なものは食塩型の深部熱水で、対流上昇などによる圧力低下によってその熱水は沸騰して蒸気を発生させる。その際、熱水に含まれる CO_2 や H_2S などのガス成分は蒸気側に移動する。蒸気はさらに地表に向かって上昇し、浅層の地下水と混合して蒸気性熱水が生じる。蒸気の量が多いと、その一部は地面から噴出する。そのような噴気活動の激しい場所では地下の岩石が変質を受けて粘土化していることが多く、地表近くの地下水は地下蒸気 (に含まれる H_2S) の影響を受けて強い硫酸酸性の温泉水が生じ、このような場所が『地獄』と呼ばれてきた。伽藍岳の塚原鉦山跡や別府温泉北部地域高地部の明礬地区や坊主地獄がその典型的な例である。

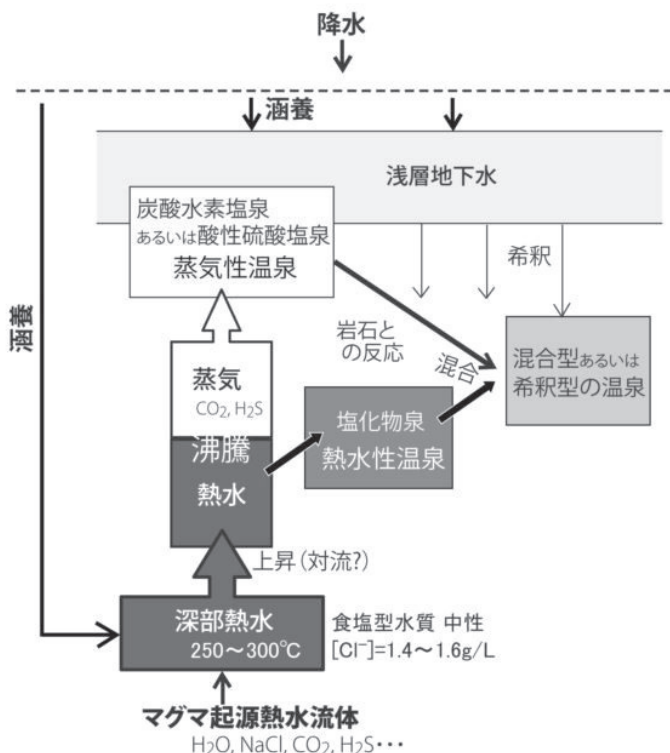
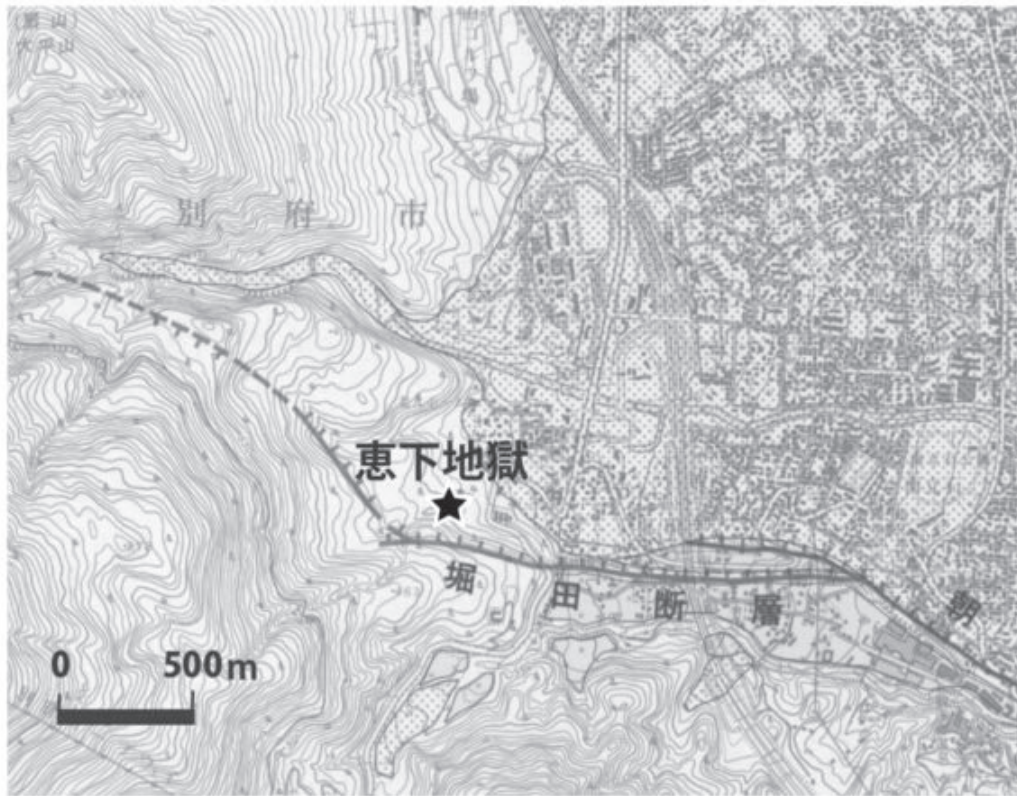


図1 別府温泉の泉質形成モデル（由佐(1995)の第7図を修飾）

別府温泉の南部地域の高地部には「恵下」という名の地獄があることは知られていたが、そこにはどのくらいの変質地帯が広がっているのか、また、酸性硫酸塩泉が湧出するのにはよく知られていなかった（私たちは少なくともそれらを科学的に記載した文献を知らない）。そのような中、今回、現地を調査する機会に恵まれ、温泉水・温泉沈殿物・噴気ガスを採取して地球化学的データを入手したところ、別府南部地域で酸性硫酸塩泉の存在を確認し、さらに温泉を生成させる熱水系や噴気ガス成分の起源などについていくつかの知見を得たのでここに報告する。

2. 調査・研究の方法

2011年9月22日に状況把握の現地調査を行った。「恵下地獄」(図2)は、板地川の源流に当たる谷筋に存在し、遠方からでも目視される湯けむりを発する噴気地帯のほかに、その上流側に変質岩石の露頭を伴う噴気地帯が存在する。上流側の噴気地帯からは温泉水も流出している。下流側の噴気地帯から噴出する噴気は噴出口が明確でなく、分析に適した試料が採取できないと判断し、上流側の噴気地帯で噴気ガスを温泉水とともに採取した。



国土地理院1:25,000都市圏活断層図「別府」より転載修飾

図2 恵下地獄の位置

温泉水は泥水状になっていたので、そのままポリ瓶に採取し、実験室に持ち帰ってただちにろ過し、ろ液を温泉水試料とした。一方の泥は実験室内で風乾して粉末X線回折測定と蛍光X線分析に供した。また、現地では水温の他に、pHを測定した。噴気ガスは、噴気温度の計測の後、化学組成分析用に地球熱学研究施設の常法（大沢ほか，1995；網田・大沢，2001）により採取し（図3のC）、別途、希ガス同位体測定用に、温泉水を通して気泡として噴出するガスをロートで集めて両端にストップコックの付いたパイレックスガラス製採気ビンに導いて採取した（図3のB）。

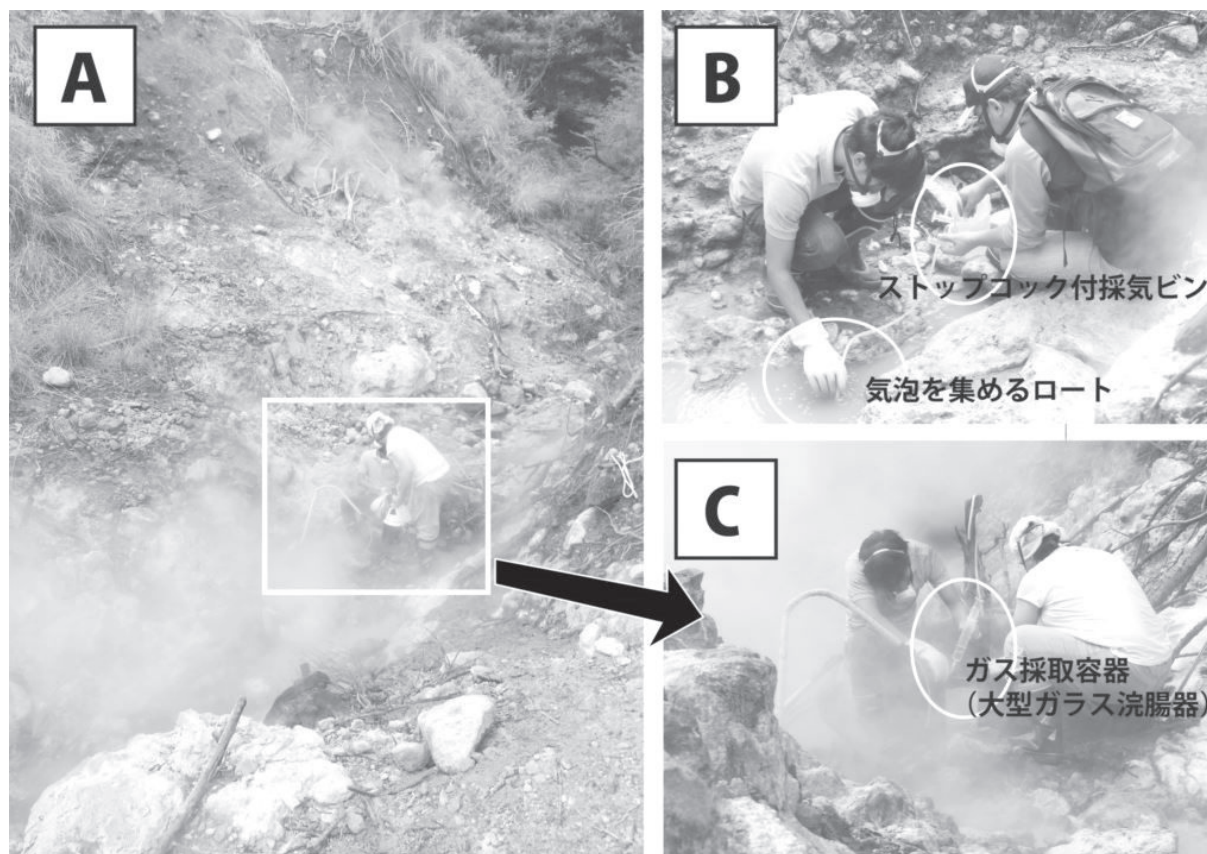


図3 恵下地獄上流側噴気地帯の様子 (A), 噴気ガス採取の様子 (B, C)

得られた温泉水、泥（温泉水と共存していたもの）、噴気ガスの各試料の分析方法については、この後に記載する温泉水の硫酸イオン (SO_4) の硫黄同位体測定を除き、これまでの大分県温泉調査研究会報告に掲載されているので（由佐ほか，1995；大沢ほか，1998；大沢ほか，2011；大沢ほか，2012；大沢ほか，2013；大沢ほか，2014）、記述は割愛する。

温泉水中の SO_4 から硫黄同位体測定用の BaSO_4 を作成するために、温泉水試料を分取して BaCl_2 溶液を加え、 BaSO_4 を生成・沈殿させて風乾させた。この BaSO_4 をすず (Sn) カプセル中で V_2O_5 によって加熱・還元し、生成した SO_2 を GVI IsoPrime 社製の質量分析計に導入して硫黄同位体比 ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) を測定した。同位体組成は、慣例通りに、標準物質からの偏差を千分率で表した $\delta^{34}\text{S}$ で表記した。測定精度は $\pm 0.5\text{‰}$ である。

3. 結果

各種分析で得られたデータを一括して表 1 に示す。温泉水は典型的な酸性硫酸塩型 (H-SO_4 タイプ) 水質であり、別府南部地域では恐らく初めてこのタイプの温泉水質（泉質）の存在が確認された例となった。このタイプの水質は別府では北部高地部の明礬地区にのみ存在し、特殊な生成環境や条件が存在するものと思われていたが、本調査研究はそう考える必要がないことを示唆している。

温泉水と共存していた泥のX線分析データ(図4)は、泥が主に明ばん石 $[KAl_3(SO_4)_2(OH)_6]$ 、クリストバル石 $[SiO_2]$ 、カオリナイト $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ から構成され、これが酸性熱水変質を示す鉱物組み合わせであることから、共存する泥は湧出する温泉水による周辺岩石の変質で生じたものであることを示している。

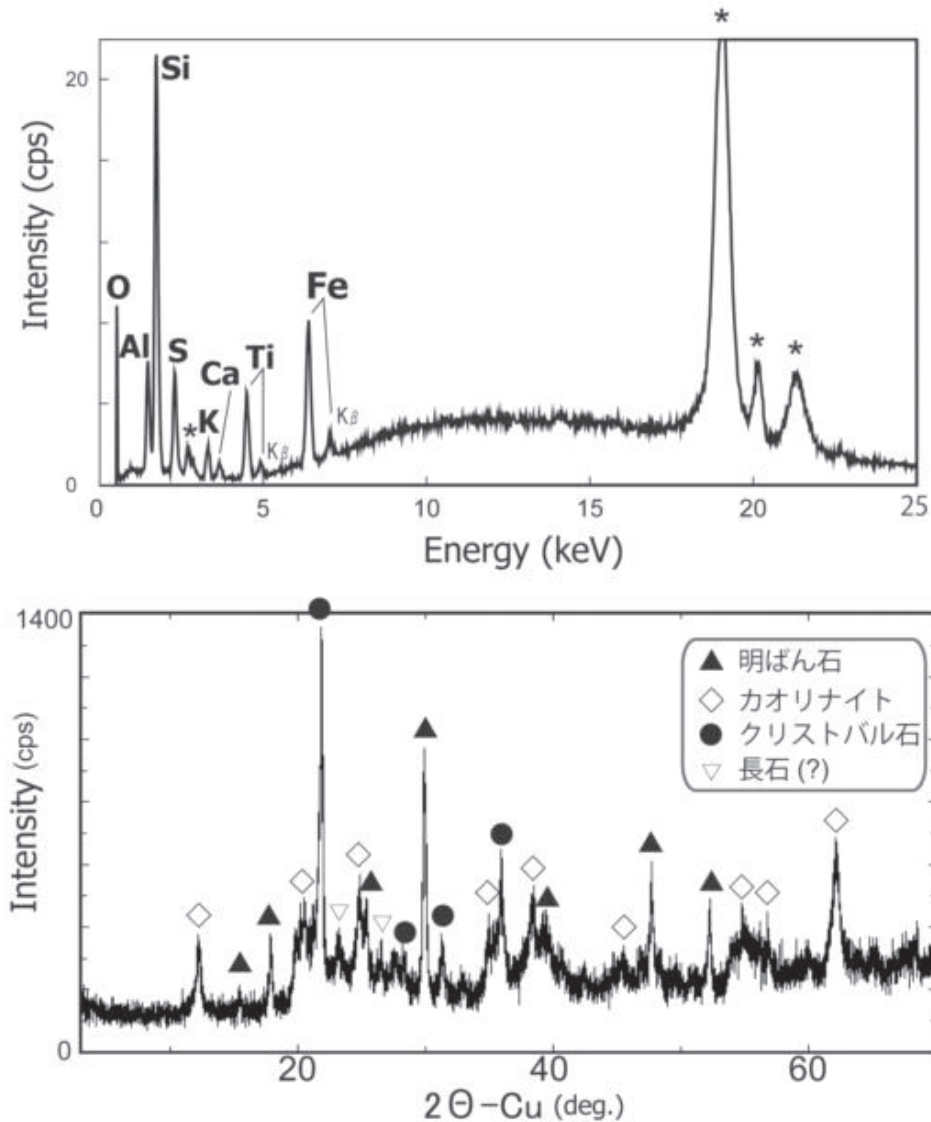


図4 温泉水と共存する泥の粉末X線回折パターン(上)と蛍光X線分析(下)の結果

噴気ガスは CO_2 や H_2S を主たるガス成分として含む水蒸気であり、地下に潜在する熱水の沸騰で生じた典型的な地熱ガスの化学的特徴をもつ。今回は H_2S の硫黄同位体組成($\delta^{34}S$)は測っていないが、 SO_2 や HCl を含まないこのタイプの噴気ガスの H_2S の $\delta^{34}S$ 値は経験的に見て $\pm 0\%$ 前後と低いので、恵下地獄の温泉水の SO_4 の $\delta^{34}S$ 値が $+1.3\%$ とそれに近いことから(表1)、この酸性硫酸塩型の温泉水の SO_4 は噴気 H_2S と由来が同じの地熱ガスの H_2S の

酸化でもたらされた可能性が高い。

表 1 恵下地獄の温泉水・噴気ガスの化学・同位体分析データ

温泉水		噴気ガス	
水温 (°C)	88.9	噴気温度 (°C)	94.9
pH	2.15	水蒸気 (%)	91.6
Na (mg/L)	30.8	水蒸気を除く成分中	
K (mg/L)	5.5	CO ₂ (%)	91.0
Mg (mg/L)	32.7	H ₂ S (%)	8.3
Ca (mg/L)	90.5	その他 (%)	0.7
Σ Fe (mg/L)	66.2	その他のガス成分中	
Al (mg/L)	47.4	He (%)	0.17
NH ₄ (mg/L)	9.3	H ₂ (%)	20.0
Cl (mg/L)	1.0	Ar (%)	0.48
SO ₄ (mg/L)	1120	N ₂ (%)	67.9
δ D _{H₂O} (‰)	-42.5	CH ₄ (%)	11.4
δ ¹⁸ O _{H₂O} (‰)	-5.38	δ ¹³ C _{CO₂} (‰)	-5.1
δ ¹⁸ O _{SO₄} (‰)	-0.6	³ He/ ⁴ He	9.89 x10 ⁻⁶
δ ³⁴ O _{SO₄} (‰)	1.3	⁴ He/ ²⁰ Ne	78
		³ He/ ⁴ He (Ra)	7.12

4. 考察

4-1. 温泉水の水の起源

温泉水の水の同位体組成 (図 5) は、そのデータポイントが天水線よりやや右側にシフトし、島弧火山の高温火山ガスの範囲へ向かっているため、マグマ性水蒸気の寄与があるよう見える。しかし、別府地域の冷地下水のデータ群から見て傾きがおよそ 3 の位置関係にあり、このような関係は、湧出量の小さいホットプール状での湧出状態にある酸性温泉水によく見られる同位体組成であり (例えば、清崎ほか, 2006)、水の蒸発の際の動力学的同位体効果で得られる関係と説明されている (松久, 1978)。温泉水の水質 (H-SO₄型)、湧出状態 (ホットプール状で、目測による湧出量は 1 分当たり 10L に満たない。) を合わせ見

ると、天水起源地下水に由来する温泉水の蒸発によって生じた見かけの関係であると考えるのが妥当である。

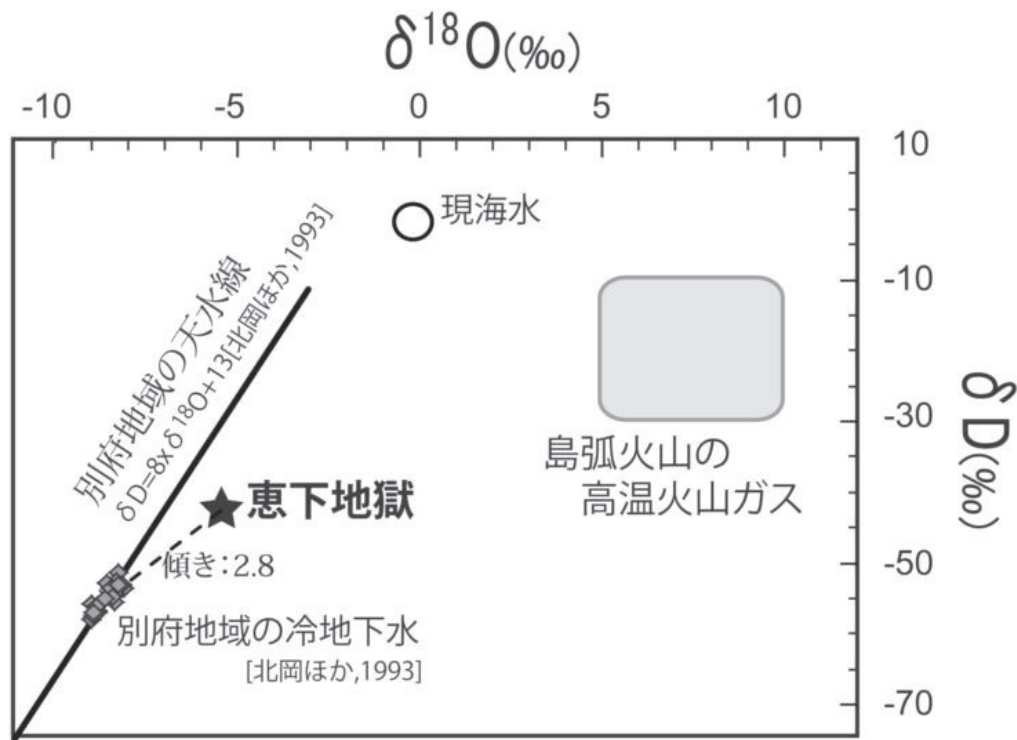


図5 温泉水の水の同位体組成 (δD - $\delta^{18}O$ ダイアグラム)

4-2. 地下に潜む地熱流体の性状

噴気ガス組成の特徴 (CO_2 や H_2S を主たるガス成分として含む水蒸気であり, SO_2 や HCl といったマグマ性の水溶性ガスを含まない。) から、地下に熱水の潜在が推定され、噴気ガスはその熱水の沸騰で生じたと推定される。図6は、噴気ガス分析値の H_2/Ar 比と CO_2/Ar 比の関係から地下に潜在する地熱流体の性状を推定するダイアグラムである (例えば, 大沢, 2000)。このダイアグラムは、地表に噴出する地熱ガスが熱水に溶存していたものか蒸気相の一部であるのかを区別したり、地下温度の推定や化学平衡の完全性を評価するためにニュージーランドの研究者により考案されたものである (Giggenbach and Goguel, 1989)。プロットされたデータは、恵下地獄に噴出するガスが地下に存在する熱水から分離してきたものであり、その熱水の温度はおよそ $300^\circ C$ であることを示している。これは、先行研究で示されている別府温泉の深部地熱流体の性状と一致する (Allis and Yusa, 1989 ; 大沢, 2000)。

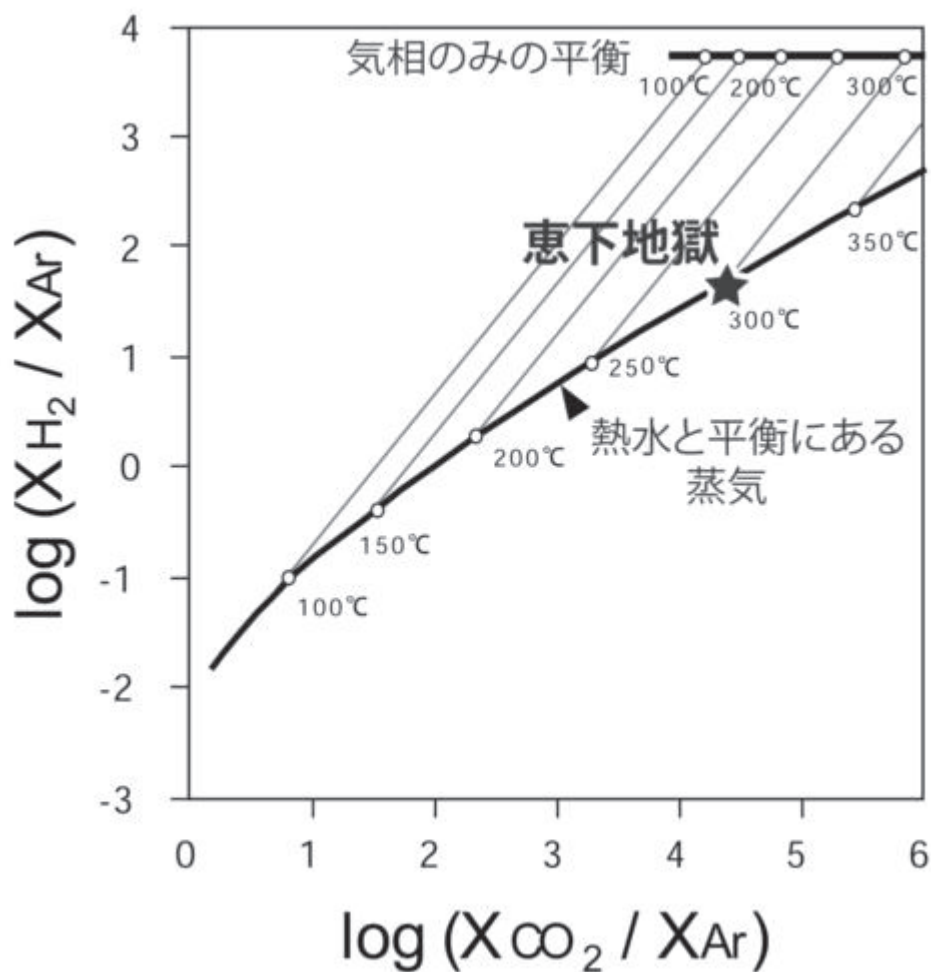
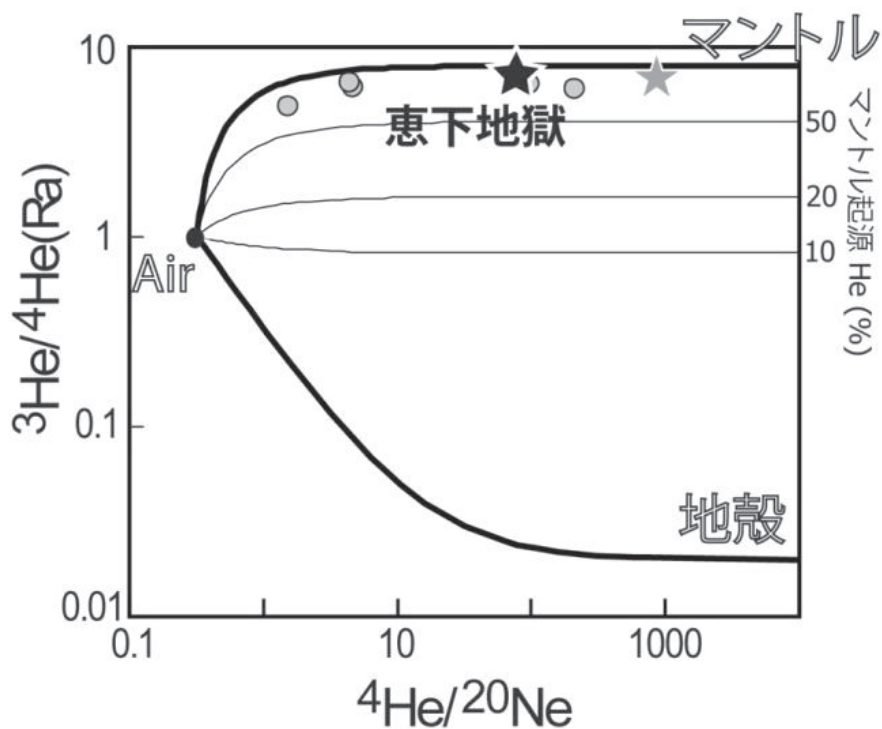


図6 噴気ガスの CO₂/Ar 対 H₂/Ar 関係図

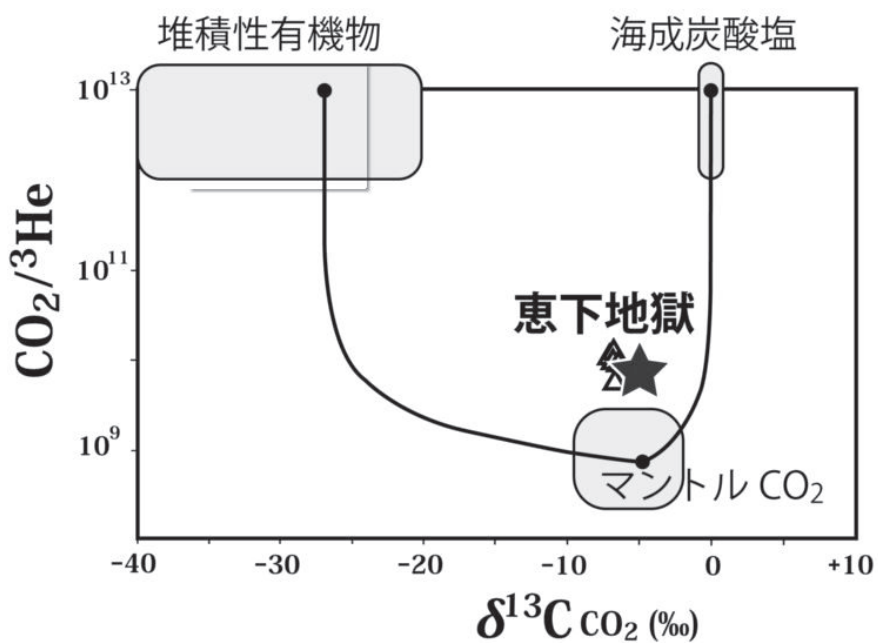
4-3. 噴気ガス成分の起源

今回得られた希ガス同位体データを、希ガスダイアグラム (³He/⁴He 比 vs. ⁴He/²⁰Ne 比) 上に、これまでに得られている別府の噴気ガスデータ (Kita et al., 1993 ; 北, 1996 ; 大沢, 2000) とともに表した (図7)。また、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} - \text{CO}_2 / ^3\text{He}$ 比図上 (Sano and Marty, 1995) に、既存の噴気ガスのデータ (大沢, 2000) とともにプロットした (図8)。その結果、既存データの範囲の中にあり、別府地熱・温泉地域の他の噴気ガスと同様に、その中のヘリウム (He) はマントル He に由来するマグマ起源 He であり、二酸化炭素 (CO₂) は海洋プレートの沈み込み運動によりマントル内に持ち込まれた海成炭酸塩 (CaCO₃) に由来し、プレートの脱水・マグマの発生を経て火山地熱活動を通して再び地表に噴出しているものであることが示された。



★ Kita et al. (1993); 北 (1996) ● 大沢 (2000)

図7 噴気ガスの希ガス同位体組成 ($^3\text{He}/^4\text{He} - ^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ ダイアグラム)



△ 大沢 (2000)

図8 噴気ガスの $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 対 $\text{CO}_2/^3\text{He}$ 比の関係

5. おわりに

2500 孔にも及ぶ源泉の大多数が温泉井である現在の別府温泉は、古来の自然湧出温泉や地獄などを核にして発展してきたが、低地部には自噴するものがほとんどなくなってしまった。しかし、高地部には今回報告した「恵下地獄」のもの他にもまだ自然状態で湧出する温泉が多数存在し、その中には秘湯として全国的に知られ人気の高い温泉も含まれるが、科学的なメスが入っていないものが意外と多い。高地部は別府温泉を生む熱水流動系の上流域に当たるため（例えば、Allis and Yusa, 1989）、その辺りに流出する温泉や噴気、その流出によって形成される景観『地獄』には、別府温泉の基となる地熱活動の盛衰が現れやすいと考えられるため、それらの現状を把握し、科学的情報を後世に伝えるために、近い将来に調査を行いたいと考えている。

謝辞

本調査研究は、久住観光開発株式会社池田高明氏のご了解のもとに実現した。この許可がなければ、別府南部地域の熱水系の理解の深化は実現しなかったものとする。ここに記して感謝申し上げる。水素、酸素、炭素、硫黄の安定同位体測定はニュージーランド地質核科学研究所の安定同位体研究室 (Stable Isotope Laboratory, GNS Science Limited) からの協力を、また、噴気ガスの希ガス同位体測定に際しては九電産業株式会社環境部からの支援をいただいた。

引用文献

- Allis, R.G., Yusa, Y. (1989) Fluid flow processes in the Beppu geothermal system, Japan. *Geothermics*, **18**, 743-759.
- 網田和宏, 大沢信二 (2001) 噴気ガス採取用改良注射器法. 九大地熱・火山研究報告, **10**, 158-167.
- Giggenbach, W. F., Goguel, R. L. (1989) Collection and Analysis of Geothermal and Volcanic Water and Gas Discharges. Fourth Edition. Report CD2401, Chemistry Division, DSIR, New Zealand, 81p.
- Kita, I., Nitta, K., Nagao, K., Taguchi, S. and Koga, A. (1993) Difference in N_2/Ar ratio of magmatic gases from northeast and southwest Japan: New evidence for different states of plate subduction. *Geology*, **21**, 391-394.
- 北逸郎 (1995) 別府 - 島原地溝下のプレートの沈み込み状態の怪 - そのマグマ性 N_2/Ar と $^3He/^4He$ 比の意味 -. *地質ニュース*, **488**, 19 - 23.
- 北岡豪一, 由佐悠紀, 神山孝吉, 大沢信二, Stewart, M.K., 日下部実 (1993) 水素と酸素の安定同位体比からみた別府温泉における地熱流体の移動過程. *地下水学会誌*, **35**, 287-305.

- 清崎淳子, 及川和彦, 田口幸洋, 千葉仁 (2006) 大分県八丁原地熱地帯小松地獄の温泉水の地球化学的特徴. 福岡大学理学集報, **36**, 15-23.
- 松久幸敬 (1978) 酸素と水素の同位体地質学 (3). 地質ニュース, **289**, 26-39.
- 大沢信二, 由佐悠紀, 北岡豪一 (1995) 霧島火山群の噴気不活性ガス組成. 温泉科学, **45**, 290-294.
- 大沢信二, 大上和敏, 由佐悠紀 (1998) 伽藍岳の地熱調査-噴気ガスの地球化学-. 大分県温泉調査研究会報告, **49**, 5-10.
- 大沢信二 (2000) 噴気ガスの化学・同位体組成からみた別府温泉の地熱流体の起源及び性状. 大分県温泉調査研究会報告, **51**, 19-28.
- 大沢信二, 山田誠, 三島壮智, 酒井拓哉, 大上和敏 (2011) 山香町の温泉の生成機構. 大分県温泉調査研究会報告, **62**, 35-45.
- 大沢信二, 山田誠, 三島壮智, 酒井拓哉, 大上和敏 (2012) 希ガス同位体組成から見た山香町の温泉水の起源. 大分県温泉調査研究会報告, **63**, 1-9.
- 大沢信二, 三島壮智, 酒井拓哉, 橋本尚英 (2013) 姫島拍子水温泉の地球化学的研究. 大分県温泉調査研究会報告, **64**, 5-16.
- 大沢信二, 三島壮智, 酒井拓哉, 橋本尚英 (2014) 姫島拍子水温泉の地球化学的研究 (II) 温泉付随遊離ガス. 大分県温泉調査研究会報告, **65**, 17-24.
- Sano, Y. and Marty, B. (1995) Origin of carbon in fumarolic gas from island arcs. *Chemical Geology*, **119**, 265-274.
- 由佐悠紀, 大沢信二, 北岡豪一, 竹村恵二, 福田洋一 (1995) 伽藍岳の地熱調査. 大分県温泉調査研究会報告, **46**, 13-20.
- 由佐悠紀 (1995) 熱水・水理構造と貯留層モデル作成の条件・留意点. 地熱エネルギー, **71**, 213-224.

姫島火山群の第四紀溶岩中の地殻起源捕獲岩の地球化学的特徴

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・芳川雅子
竹村恵二

九州大学大学院比較社会文化研究院・環境変動部門

小山内 康人

要旨

国東半島北東に位置する姫島火山群の焼野岳に陥入する金溶岩中の捕獲岩として、ザクロ石 - 珪線石 - 黒雲母片麻岩が発見された (柴田ほか, 2014)。この捕獲岩の微量元素組成を測定し、類似した微量元素組成を持つ地殻物質の姫島火山群マグマへの影響を検討した。また、この捕獲岩は領家変成岩帯起源である可能性が指摘されているので (柴田ほか, 2014)、先行研究による領家帯の変玄武岩や斑レイ岩類の微量元素についての検討も、同時に行った。

1. はじめに

姫島には九州の火山フロント上に位置する火山群があり (図1)、角閃石デイサイト、黒雲母含有角閃石流紋岩、及び、ザクロ石流紋岩の溶岩および火砕岩からなる姫島火山岩で構成される (伊藤, 1990; 伊藤ほか, 1997)。姫島火山岩中には、地殻起源捕獲岩が観察されることがあり、昨年度はこのうち、金溶岩中のザクロ石含有捕獲岩の記載岩石学的報告を行った。その目的は、姫島火山岩を形成したマグマの起源に、地殻物質が関与していることが指摘されているが (氏家・伊藤, 1991; Shibata et al., 2013)、この地殻物質がどのようなものであったかはよくわかっていないため、地殻物質の断片であると考えられる捕獲岩

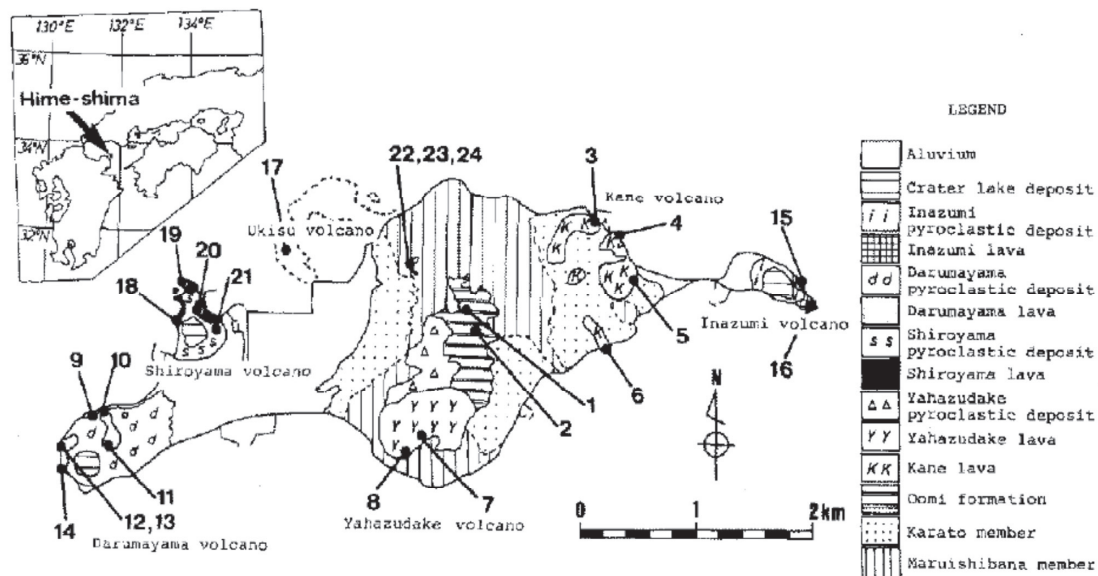


Fig. 1. 姫島の地質図と試料採取地点。伊藤(1990)に加筆。

から、マグマ起源への地殻物質の寄与に関する情報を得ることである。今年度は誘導結合プラズマ質量分析計によるザクロ石 - 珪線石 - 黒雲母片麻岩の微量元素組成の分析を行った。この結果と姫島火山群マグマの微量元素組成、及び、領家帯の変玄武岩・斑レイ岩類の微量元素組成を比較検討したので報告する。

2. 分析法

誘導結合プラズマ質量分析計による分析は、以下のように行った。粉末化した岩石試料を白金るつぼに秤量後、炭酸カルシウムをくわえ 1100℃で加熱しアルカリ溶融を行った。その後、5%硝酸と 0.1%フッ化水素酸の混酸で溶解し、約 50000 倍に希釈したのち、装置に導入し測定した。試料準備の過程で、通常より多くの沈殿物の生成が見られたため、アルカリ元素やアルカリ土類元素に関しては、データの信頼性に問題がある可能性がある。

3. 結果及び考察

測定結果を、始原マンツルの値 (Sun and McDonough, 1989) で規格化した値を、図 2 に示した。姫島火山岩のうち、最も Sr 同位体比が最も高いものと低いもの、すなわち、地殻物質の影響が最も少ないものと多いものと考えられるデータも示した。さらに、比較のために、領家帯の変玄武岩や斑レイ岩類の組成も合わせて示した。ザクロ石 - 珪線石 - 黒雲母片麻岩は、図 2 上で、大局的にはなだらかな左上がりの特徴を示し、Nb、U、Pb、Sr 及び Eu の負のスパイクが認められる。姫島火山岩のパターンと比較すると、全体的に微量元素濃度が低い。姫島火山岩は、また、ザクロ石 - 珪線石 - 黒雲母片麻岩とは反対の

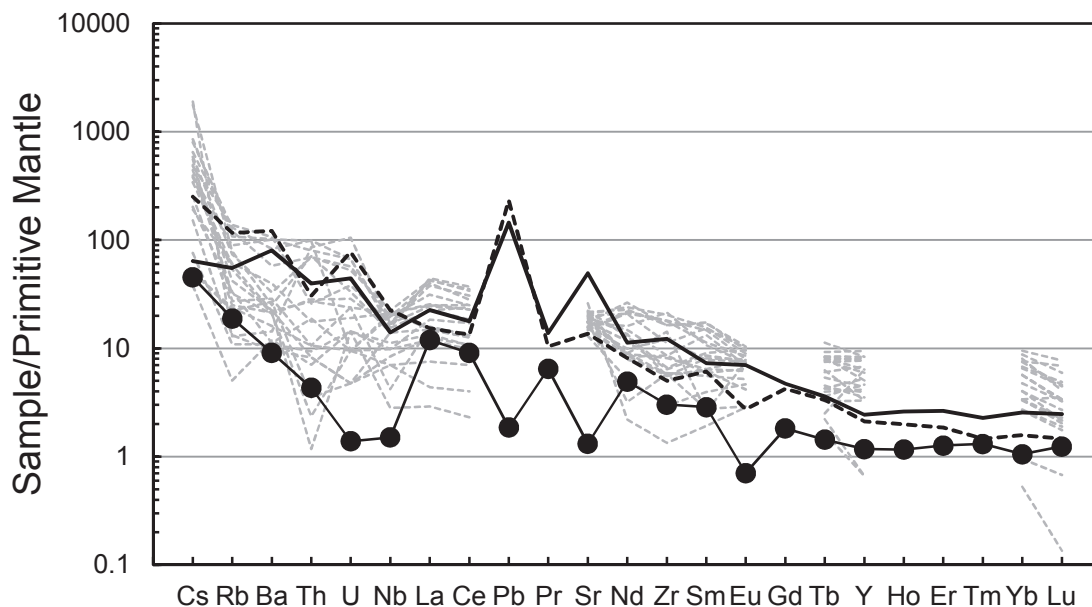


図2. 姫島火山岩中のザクロ石 - 珪線石 - 黒雲母片麻岩捕獲岩の微量元素

正の Pb と Sr のスパイクを持つ。Eu については、姫島火山岩では Sr 同位体比の低いものが弱い正のスパイクを、Sr 同位体の高いものが負のスパイクを示す。La よりも固相に対する分配係数が高い元素（図 2 上で La より右側にプロットされている元素）に関しては、定性的には、Sr 同位体比の低い（すなわち地殻物質の影響の少ない）マグマに、ザクロ石 - 珪線石 - 黒雲母片麻岩と類似した微量元素組成を持つ地殻物質が取り込むことで、Sr 同位体比の高い（すなわち地殻物質の影響の多い）マグマの組成を説明できる。しかしながら、Pb、及び、La より分配係数の小さい元素（図 2 上で La より左側にプロットされている元素）では、この関係は成り立たない。このことは、今回分析したザクロ石 - 珪線石 - 黒雲母片麻岩捕獲岩に類似する微量元素組成を持つ地殻物質のみでは、姫島火山群のマグマ形成にかかわった地殻物質を代表できないことを示す。領家帯の変玄武岩や斑レイ岩類の組成（Kagami, et al., 2000）は La より分配係数が高い元素では姫島火山岩の微量元素濃度よりも総じて高い値を示し、マグマに取り込まれた地殻物質を代表できない。

姫島火山岩には、今回分析したザクロ石 - 珪線石 - 黒雲母片麻岩以外の岩石が捕獲岩として取り込まれている。しかしながら、今のところ化学分析に十分な量を採取できている捕獲岩が少ない。今後、分析可能な捕獲岩を探し出すことにより、姫島火山群直下の地殻物質の地球化学的特徴をさらに解明することが必要だと考えられる。

参考文献

- Kagami et al. (2000) *The Island Arc*, 9, 3-20
- 伊藤順一 (1990) *J. Miner. Petrol. Econ. Geol.* 85, 541-558.
- 伊藤順一ほか (1997) 地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅, 姫島, 地質調査所
- 柴田ほか(2014) 大分県温泉調査会報告
- Sun and McDonough (1989) *Geological Society, London, Special Publications.*
- 氏家修・伊藤順一 (1991) *J. Miner. Petrol. Econ. Geol.* 85, 65-71.

大分県における地殻の地震波減衰構造

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

志 藤 あずさ

要旨

本研究では、大分県を対象として地殻におけるコーダ波の減衰（ $1/Q_c$ 値）を推定した。その結果、玖珠町や三重町において、減衰が大きいことが明らかになった。

1. はじめに

地震波減衰は地球内部の物性を推定するうえで重要な情報となる。本研究では、大分県を対象として、コーダ波の減衰を表す $1/Q_c$ 値の推定を行った。コーダとはS波の後に続くランダムな位相をもつ波群であり、地球内部の不均質性による一次等方散乱波と考えられている。S波コーダの振幅減衰を特徴づける $1/Q_c$ 値は、ある地域での地震波減衰特性を表わしている。一般に、直達P波や直達S波の（内部）減衰 $1/Q_i$ 値が地下の温度や流体分布と密接に関係しているのに対し、 $1/Q_c$ 値は地質やテクトニクスなどの不均質性を反映することが報告されている。

2. 手法

本研究では、佐藤 [1986]の手法により $1/Q_c$ 値を推定した。解析に用いたデータはHi-net観測点で記録された速度波形三成分(図1)で、1-2 Hzのバンドパスフィルタおよびスムージングをかけたのち、三成分の二乗和エンベロープを作成する。タイムウィンドウの長さは、S波到達時刻から45sである。このエンベロープを、一次散乱モデル（式1）でフィッティングし、最も観測に合う $1/Q_c$ 値をグリッドサーチによって推定する。一次散乱モデル[佐藤, 1986]によれば、S波コーダのエネルギー密度 P は、

$$P(r, t) \propto \frac{1}{t^2} e^{-Q_c^{-1} 2\pi f t} \quad (1)$$

で表される。ただし、 r は震源距離、 t は震源時からの経過時間 f は周波数を表す。

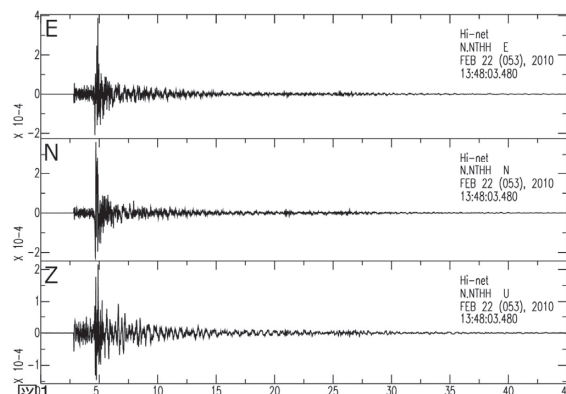


図1 解析に使用した波形の例。震源の深さは9.4 km、マグニチュードは3.3、震央距離は13.3 km。

なお、解析に使用した地震は、2004年から2014年までの間に九州地方で起こったマグニチュード1.0から3.5までかつ震源の深さが30 km以浅の地震の中から、各観測点からの震源距離100 km以内のものである(図2)。

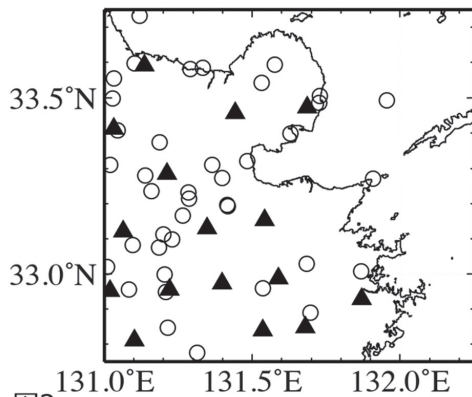


図2
解析に用いた地震(○)と観測点(▲)
の分布。

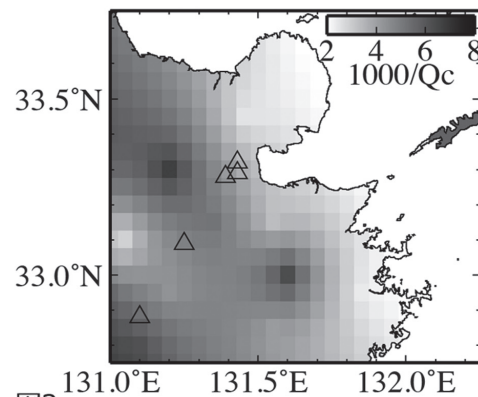


図3
推定された Q_c 値の空間分布。活火山
(△)の分布は、気象庁の「九州の活火山」
による。

3. 結果

図3に推定された $1/Q_c$ 値の分布を示す。 $1/Q_c$ 値が大きいほど減衰が大きいことを示している。玖珠町と三重町において、地殻の地震波減衰($1/Q_c$ 値)が大きいことが明らかになった。

4. 考察

一般に、 $1/Q_c$ 値は地質やテクトニクスなどの不均質性を反映することが報告されている。玖珠町については別府-万年山断層帯が属しており、断層構造による不均質性を反映していると考えられる。一方、三重町については稲積鍾乳洞が存在している。稲積鍾乳洞は2億数千万年前に形成された石灰岩が溶食されてできたものと考えられており、地質的に顕著な不均質性を反映していると考えられる。

謝辞

本研究の解析には、防災科学技術研究所のHi-net連続波形データおよび気象庁の一元化震源情報を使用しました。記して感謝いたします。

参考文献

佐藤春夫、関東・東海地域におけるコーダ Q^{-1} の地域性、地震、39、241-249、1986年

姫島火山における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

鍵山恒臣・大沢信二
三島壮智・細川周一

要旨

姫島火山において表層の電気伝導度分布を調査した。その結果、島の西部に位置する達磨山、観音崎周辺、中部の矢筈岳周辺、東部の柱ヶ岳鼻周辺などの 70 万年以降に活動した火山体で $200 \mu\text{S/cm}$ 以下の低電気伝導度、拍子水や姫島小学校など炭酸泉の湧出が見られる領域では、 $300\sim 700 \mu\text{S/cm}$ 程度、達磨山の火口湖、姫島港周辺など海水が浸透していると思われる領域では $1000 \mu\text{S/cm}$ 以上の高電気伝導度を示した。その他、大海ため池の北西方（粘土山）でも、 $1000 \mu\text{S/cm}$ 以上の高電気伝導度を示した。

1. はじめに

姫島火山は、最近 1 万年の火山噴火は確認されていないが、活発な炭酸泉活動が見られるなど、火山活動の状況に興味を持たれる。大沢・他（2013, 2014）は、島の東部に見られる炭酸泉（拍子水）について、化学分析を行い、水については天水起源であるものの炭酸ガスについては火山性であることを明らかにしている。姫島には、図 1 に示すように、拍子水以外にも島の西部に位置する姫島小学校の敷地内に炭酸泉の湧出が見られるほか、中部に、現在は埋設されたが、かつては炭酸泉の湧出が見られたことが確認されている。こうした炭酸泉の湧出点の分布が、姫島火山の構造や活動とどのように関連しているかは、たいへん興味を持たれる。こうした背景から、姫島火山において VLF-MT による表層電気伝導度調査を実施した。以下に調査結果を報告する。

2. VLF-MT による姫島の表層の電気伝導度分布

調査は、2014 年 12 月と 2015 年 3 月に実施した。図 1 に、電気伝導度分布を示す。全体的な傾向として、以下に示す特徴があげられる。姫島の大部分において、 $300 \mu\text{S/cm}$ 以上の高電気伝導度を示した。特に、達磨山の火口湖、姫島港周辺、大海ため池の北西方（粘土山）では、 $1000 \mu\text{S/cm}$ 以上となった。また、拍子水や姫島小学校における炭酸泉周辺では、これより低い $300\sim 700 \mu\text{S/cm}$ 程度の電気伝導度を示している。これよりさらに低い電気伝導度を示すのは、島の西部に位置する達磨山、観音崎周辺、中部の矢筈岳周辺、東部の柱ヶ岳鼻周辺に限られ、 $200 \mu\text{S/cm}$ 以下となっている。

$1000 \mu\text{S/cm}$ 以上となった部分については、下記のようなことが考えられる。達磨山の火口湖は、海水を入れてクルマエビの養殖をおこなっているが、調査時は、海水を抜いて湖底の砂を入れ替える作業が行われていた。この高電気伝導度は、養殖のために入れていた海水の塩分が地下に浸透して残っているためとも考えられるが、湖底が保水能力を有することを考えると、粘土化した堆積物によって高電気伝導度となっている可能性もある。一方、姫島港周辺の高電気伝導度領域は、海に近い平坦地であることから、地下の空隙に海水が浸透しているためと思われる。残りの 1 者である大海ため池の北西部は、

粘土の採掘が以前に行われていたことから、山体を構成する岩石が変質しているためと思われる。

また、拍子水や姫島小学校など炭酸泉の周辺では、 $300\sim 700\mu\text{S/cm}$ 程度の電気伝導度を示している。この結果は、後の節で理由を示すが、海水よりは電気伝導度の低い炭酸泉の水が岩石の空隙を満たしていると考えたと説明可能である。

これより低い電気伝導度を示すのは、島の西部に位置する達磨山、観音崎周辺、中部の矢筈岳周辺、東部の柱ヶ岳鼻周辺に限られ、 $200\mu\text{S/cm}$ 以下となっている。これらは産総研のシームレス地質図によれば、70 万年以降に噴出したデイサイト等の火山体である。

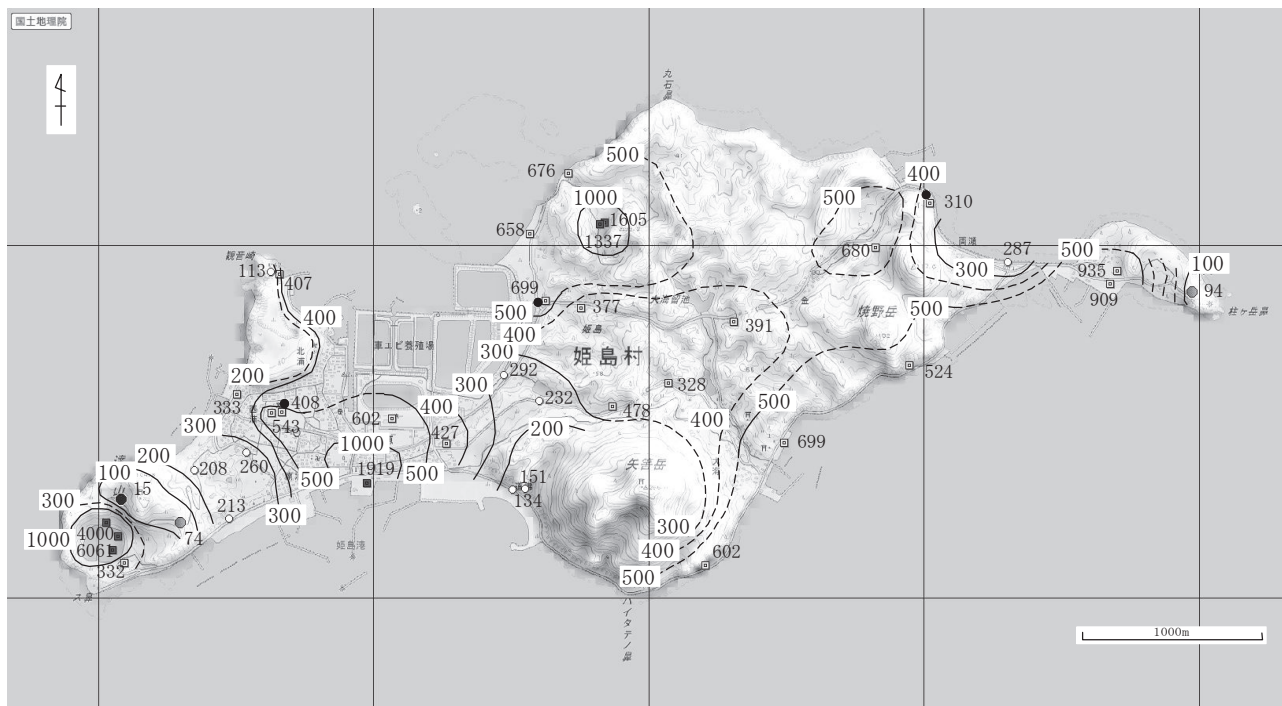


図1 VLF-MTによる姫島火山の表層電気伝導度分布(単位は $\mu\text{S/cm}$)。●印は、炭酸泉。
(地図は、国土地理院のウォッチずおよびカシミールによる)

3. 炭酸泉の電気伝導度

拍子水および姫島小学校の炭酸泉を 500cc 採取し、電気伝導度を測定した。測定は、試料を湯中に置き、温度低下の経過中に 5 分間隔で電気伝導度を測定した。結果を図2に示す。拍子水に関しては、 30°C において 308 mS/m 、 25°C において 278 mS/m 、 20°C において 250 mS/m 、電気伝導度の温度勾配は、 $2.09\text{ }^{\circ}\text{C}$ であった。姫島小学校炭酸泉に関しては、 30°C において 408 mS/m 、 25°C において 369 mS/m 、 20°C において 332 mS/m 、電気伝導度の温度勾配は、 $2.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ であった。 2% 程度の温度勾配は、標準的な温度勾配である。

4. 電気伝導度に関する考察

上記に示した電気伝導度については、下記のような考察が可能である。変質していない岩石の電気伝導度を 10 mS/m ($100\mu\text{S/cm}$) 程度、岩石の空隙率を 10% 程度と仮定し、空隙を海水 (5000 mS/m) が満たしている場合の見かけ電気伝導度は、 509 mS/m ($5090\mu\text{S/cm}$) と計算される。この値は、達磨山火山口において測定された結果とオーダーで一致している。一方、岩石の空隙を拍子水 (278 mS/m)

が満たしている場合には、見かけ電気伝導度は 37 mS/m (370 μ S/cm)、姫島小学校の炭酸泉水 (369 mS/m) の場合には、見かけ電気伝導度は 46 mS/m (460 μ S/cm) と計算される。これらの結果もほぼ観測地と一致している。岩石の電気伝導度が仮定した値よりも小さくなくても、上記の計算結果にはほとんど影響しない。この結果は、姫島の表層電気伝導度が上記の考察のように規定されていることを示している。

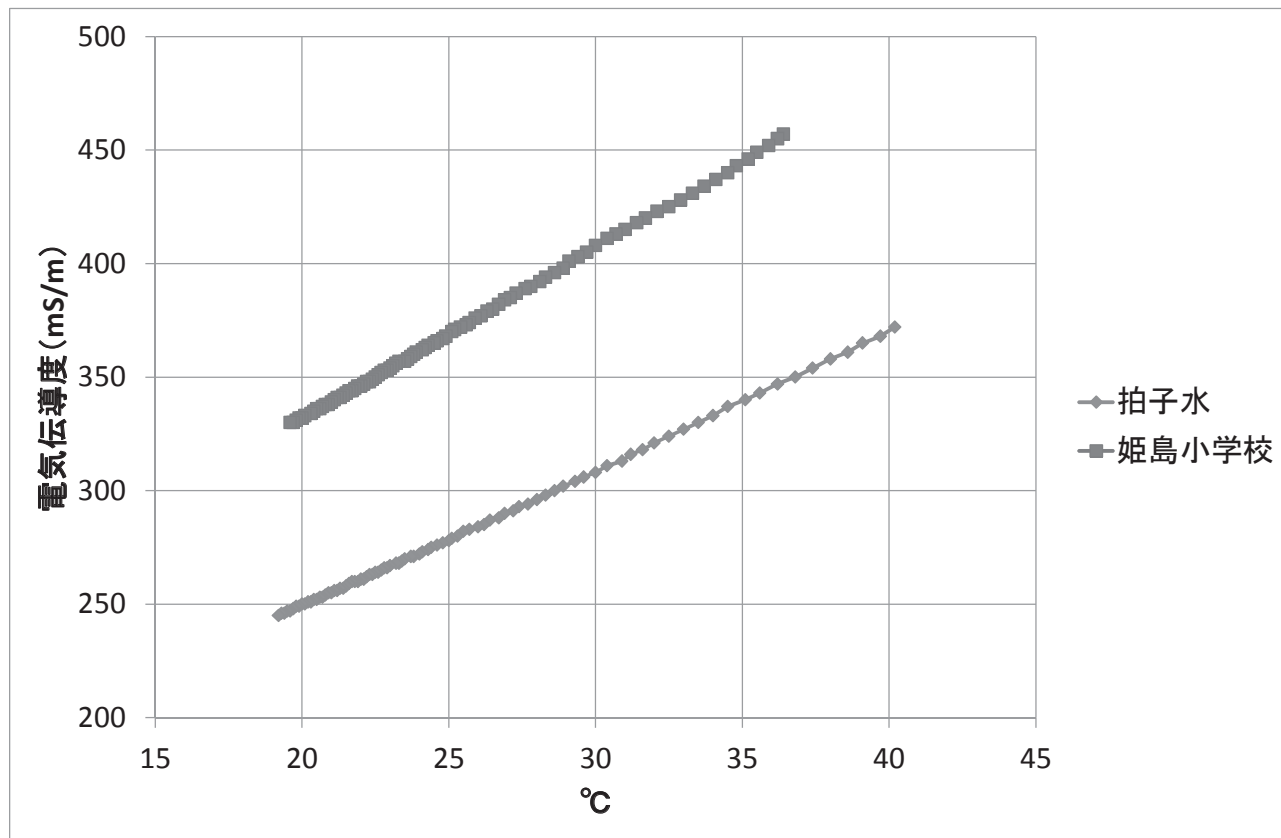


図2 炭酸泉水の電気伝導度と水温の関係

5. まとめ

姫島火山において表層電気伝導度と炭酸泉水の電気伝導度測定をおこなった。その結果、70 万年前以降に活動した新しい火山体の電気伝導度は 200 μ S/cm 以下の低電気伝導度、前期更新世の堆積層ではそれ以上の電気伝導度を示す。拍子水や姫島小学校など炭酸泉の湧出が見られる領域では、300~700 μ S/cm 程度の電気伝導度を示し、達磨山の火口湖、姫島港周辺など海水が浸透していると思われる領域では 1000 μ S/cm 以上の高電気伝導度を示した。また、大海ため池の北西方(粘土山)でも、1000 μ S/cm 以上の高電気伝導度を示した。これらの結果は、新しい火山体を構成する岩石とほぼ同じ電気伝導度を有する岩石の空隙率が 10%程度で、その空隙を海水あるいは炭酸泉水が満たしていることで説明が可能である。

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

- 大沢信二・三島壮智・酒井拓哉・橋本尚英 (2013) : 姫島拍子水温泉の地球化学的研究, 大分県温泉調査研究会報告, 64, 5-16.
- 大沢信二・三島壮智・酒井拓哉・橋本尚英 (2014) : 姫島拍子水温泉の地球化学的研究 (その2), 大分県温泉調査研究会報告, 65, 17-24.

温泉水手浴と他の要因による 歩行運動習慣促進効果の定量的解析

大分大学医学部公衆衛生医学第1講座

青野裕士

1. 目的

運動習慣は、限界値を越える内蔵肥満を解消し、健康寿命の延伸をもたらす。日常、行いやすい歩行に着目し、歩行の促進に関連する温泉入浴(手浴)を含む各要因を解析・抽出する。日常、不足しがちな運動量を、若年・中年の働く世代が、自発的に確保できる方策を検討する。

2. 方法

2014年10月に別府市で開催されたウォークフェスティバル(明礬・湯山地区から鉄輪温泉、柴石温泉までの道程)に参加し、歩行を成し遂げ、健康測定に応じた84名(男子30名、女子54名 平均年齢58歳)を対象とした。

3. 解析

出発時点と帰着時点で2回計測を行い、気分や唾液中アミラーゼの前後の差や、要因として予測される各測定項目間の違いも解析を行った。さらに、気分や唾液中アミラーゼを従属変数として、特定される年齢、性別、BMI、歩数值、温泉水手浴、飲水摂取量、昼食・間食に加え、前後、2回の血圧(収縮期血圧、拡張期血圧)、胃腸症状を、独立変数とした重回帰分析を行なった。

4. 結果

- ・各温泉場での温泉水の手浴が、いらいら感や不安感および抑うつ感を有意に減らした。
- ・歩行を行なうことで、拡張期血圧も有意に下がり、歩行時の昼食・間食もその効果を高めていた。
- ・一方で、帰着後の時点で、いらいら感の得点が高いと、拡張期血圧を高くしていた。
- ・唾液中アミラーゼは、歩行開始時から終了時に有意に減っていた。
- ・各温泉場(浜脇、別府、観海寺、堀田、鉄輪、柴石)での温泉水の手浴が、開始時から終了時のアミラーゼ濃度低下に関与していた。
- ・「げっぷが出る」、「食後食べものがいつまでも留まっているようで不快」の胃腸症状が、出発時の歩行開始から、帰着時も持続していると、いらいら感や疲労感を有意に高めていた。

5. 考察

別府市内の浜脇、別府、観海寺、堀田、鉄輪、柴石の各温泉場での重複した手浴が、歩行開始時から終了時の唾液中アミラーゼ濃度低下に関与し、副交感神経の働きを高めている。

歩行を完遂することで、収縮期血圧でなく拡張期血圧が有意に下がり、歩行時の昼食・間食は、その効果を助長する。また、いらいら感、不安感および抑うつ感も有意にさがり、日頃の緊張をもたらす交感神経の働きを低める効果を促している。

また、胃腸ディスキネジアがないなど、歩行によるこれらの効果が助長されており、胃腸症状に気づくことも、運動のきっかけを促すことになろう。

アミラーゼ濃度低下とともに、抑うつ－落ち込みの得点が大きく下がり、気分をよくしていることが伺える。

POMS 検査やアミラーゼ、コルチゾール濃度の推移、表在皮膚電位(酸化還元電位ORP)を用いる意義は大きい。

6. 結論

- ・歩行運動開始時を含め5つ温泉場で手浴ができ、運動意欲が高まり、登録者の殆どが全行程を完走していた。
- ・歩行を日常生活に習慣づけることで、緊張状態を解消して、交感神経の働きを保持することができる。
- ・今回の対象者は、高年者の多い集団であり、定年退職後に歩行習慣を身に着けた方が多いが、若年・中年でも非日常の時間に、歩行を楽しむことを経験することで、運動習慣のこつを得るであろう。
- ・若年・中年の時期から、自発的な運動習慣が身につくことによって、健康寿命の延伸に結びつくことが期待できる。

温泉観光地における新しい情報発信の構築に向けた研究(2)

別府大学国際経営学部

中山 昭 則

要 旨

報告者は、鳥瞰図を用いた新しい情報発信の構築に向けて、別府温泉郷を題材とした鳥瞰図を用いて検討を加えた。その結果、細かでリアルある鳥瞰図の描写は、往時(鳥瞰図作成期)と今日を比較しながら観光する、いわゆる「街歩き」のツールとしての可能性を見出すことができた。しかし、鳥瞰図は作者あるいは依頼者の主観が大きく入り込んだものも多く、リアルではあるがその正確性を検討する必要性および、技法による描写の偏りも観光マップとして活用する上で課題となることも検証した。

本報告は、前号の結果を踏まえて鳥瞰図の活用方法について検討した。その結果、当時の状況を視覚的に楽しみながら街歩きが可能で、その有用性には大きな期待をかけることができることを検証できた。しかし、現実の世界との整合性が難しいため、情報発信源として活用するならば、その当時から現在まで変化していない事物を上手に取り込んで街歩きのヒントとするなどの工夫も必要であることを指摘した。

1. はじめに

最近、「江戸ブーム」に代表される「歴史散歩」が関心を高め、全国各地で同様の観光形態が広まりつつある。さら、昨年の「黒田官兵衛」ブームが巻き起こったように、例年大河ドラマの主人公ゆかりの地は毎年観光客で賑わっている。こうした“歴史ブーム”と“散策ブーム”を背景とした新しい観光動向の中で「鳥瞰図」がそのツールとして見直されつつあることは既に指摘したところである¹⁾。

加えて、鳥瞰図はその作品によっては当時の状況を忠実に描いたものも多く、街歩きのハンドブックとして極めて有効なツールといえよう。今回は前回も取り上げた明治末に作成された作品をもとに、新しい視点からの情報発信の具体的な方策を検討する²⁾。

2. 今回取り上げた『豊後有名温泉之圖』の街歩きガイドブックとしての特徴

鳥瞰図は前号で述べたとおり、『鳥の目線』から見た構図で描かれている。ちょうど離陸直後の飛行機から下界を見たと目線に該当しよう。したがって、立体感と奥行きのある構図となり、時として見えるはずもない彼方の景色までも想像することができる。実際に鳥瞰図の中には見えるはずもない彼方の様子まで描かれているものも多い。このような構図は描かれた地と彼の地との繋がりさえも感じさせる。その上、あるがままに描かれているので誰にでも判りやすく、この描写は他の地図には到底まねできない。しかし、距離・縮尺・方位は皮肉にも正確とは言えない。

さて、本報告ではおよそ100年前の明治43(1910)年に夏目書店から発行された『豊後有名温泉之圖』を取り上げている(図1)。この作品を取り上げた理由は、前号でも述べた通り鉄道開業前年に発行されているので、別府観光において一つの節目の時期の様子を描写している点を重視した。また、発行前年には都市計画といえる市区改正が実施される前の状況を伝える数少ない資料であることも考慮した。

この鳥瞰図は、印刷技術や描写手法の関係上であろうか銅版画を用いて描かれている。したがって、初三郎の時代と異なり細かな線を多用し繊細な描写が持ち味といえよう。さらに、後の作品と異なり往来する人々や街路の様子がリアルに描写されている。

最近各地で古地図を活用した街歩きマップが作成されている。本報告ではこれらのマップを参考にしながら『歴史散歩マップ(以下、歴史マップ)』の作成に向けて検討する。



図1 研究対象エリア(太枠内)

注)『豊後有名温泉之圖』 1910(明治43)年夏目書店発行版を使用

本報告では、こうした鳥瞰図と先行する古地図を活用した観光マップの特徴を活かして、別府温泉の新たな魅力の発掘と、新しい視点から別府温泉を見直す方策を提示する。今回は鳥瞰図で詳細に表現されている流川通り界限を取り上げて検討してみたい。

3. 歴史マップ活用のシミュレーション

このエリアは、鳥瞰図で描かれている明治末期から後に「市区改正」といわれる区画整理事業によって状況は一変している。そのことが今日ブームとなっている街歩きの重要なツールとなりうる。つまり、“昔の北浜探検”と銘打って、鳥瞰図をベースとした地図を片手に散策しながら「100年前の様子」を探して歩くというものである。

歴史マップの起点は西法寺が最適であろう。この浄土真宗の寺院は1507(永正4)年の開基といわれ500年以上の歴史を誇る。その位置も現在も変わっていないので基点として判りやすいだろう。

以下、図2上の①～⑨のポイントに従ってシミュレーションを描いてみたい。

【ポイント① 今も残る当時の小路を辿り不老泉へ】

西法寺前の街路は旧日向街道(小倉街道とも呼ばれている)でかつての主要道路であった。近代以降は国道10号線となり、市民は「旧国道」と呼んでいる。この街道を浜脇に向かって数十メートル歩けば、ポイント①に至る路地入口となる。ここを右折しよう(図3)。目印は古民家を利用した施設「platform04」の脇である。現在は幅員数メートルの小路であるが、歴史マップからは郵便ポストが確認できる。さて、今日でも健在なのだろうか。小路を進むと昨年建て替えられた不老泉が見えてくるはずだ。不老泉は歴史マップが作

られた8年前の1902(明治35)年に三階建ての入母屋造りのかなり大きな温泉であった。

また、歴史マップが刊行された年には不老泉裏手に亀の井旅館が開業している。しかし、当然マップ上にその記載はない。付近には今日の百貨店ともいえる“勸商場”があったようだ。100年前のこのエリアは賑わっていたことだろう。

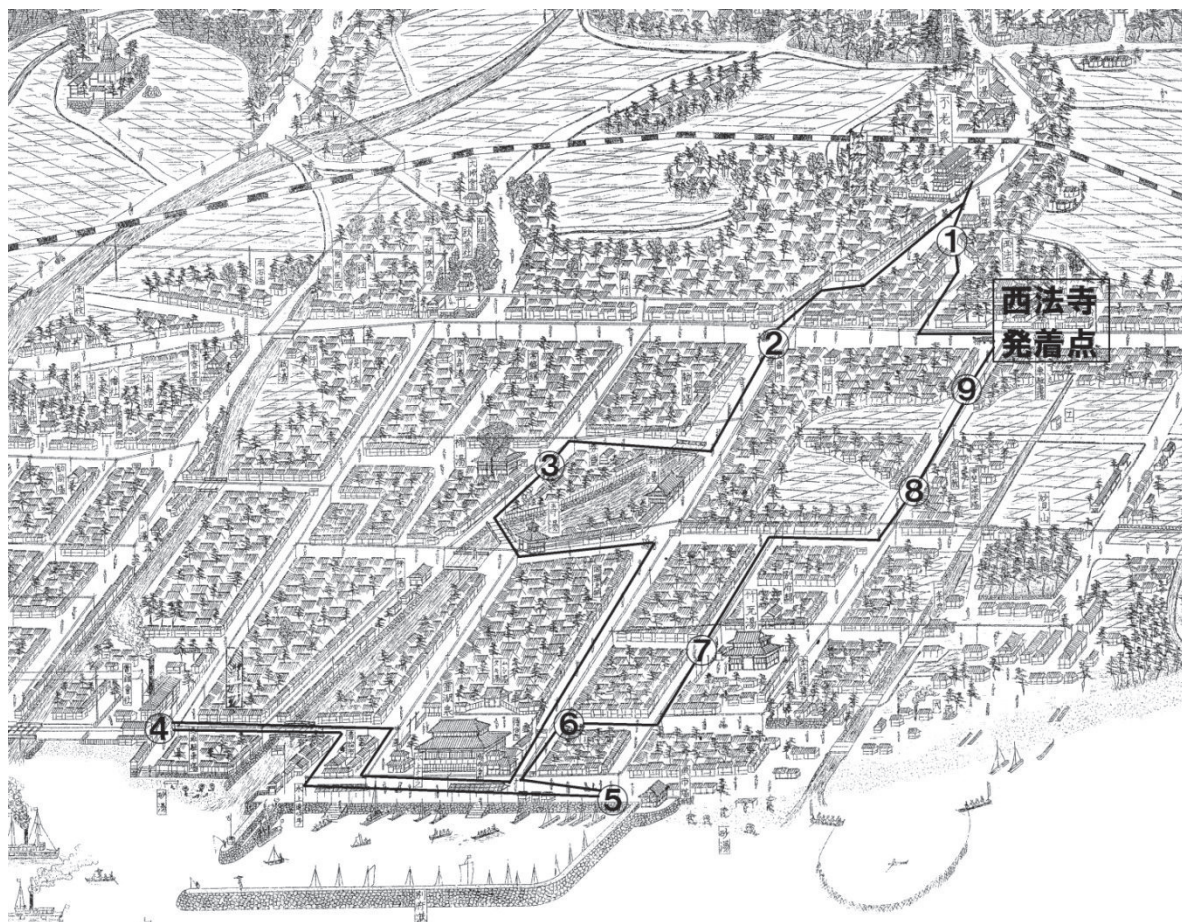


図2 歴史散策シミュレーションコース

【ポイント② 流れ川通りの今むかし】

さて、不老泉を見たら(汗を流すもよし)、今の小路を少し戻ると今来た道との分岐(Y字路)がある。そこを右手に進む。この小路は流川通りが完成する前のメインストリートであった。現在この小路界限には画廊や小料理屋がある。やがて、現在の流川通りに繋がる。現在では洋菓子屋ドラゴンが営業している。当時は此処にも郵便ポストが確認できる。そのまま海に向かうと西日本シティ銀行の交差点がある。歴史マップをみるとこの辺りが最も賑わっていたようだ。交差点には「伊能忠敬測量地」の石碑が立っている。これはチェックポイントとして使えそうである。しかし、歴史マップにはそのことには全く触れていない。銀行の隣には交番がその向かいには勸商場があったようだ。勸商場は旧マルショク流川店あたりだろうか。

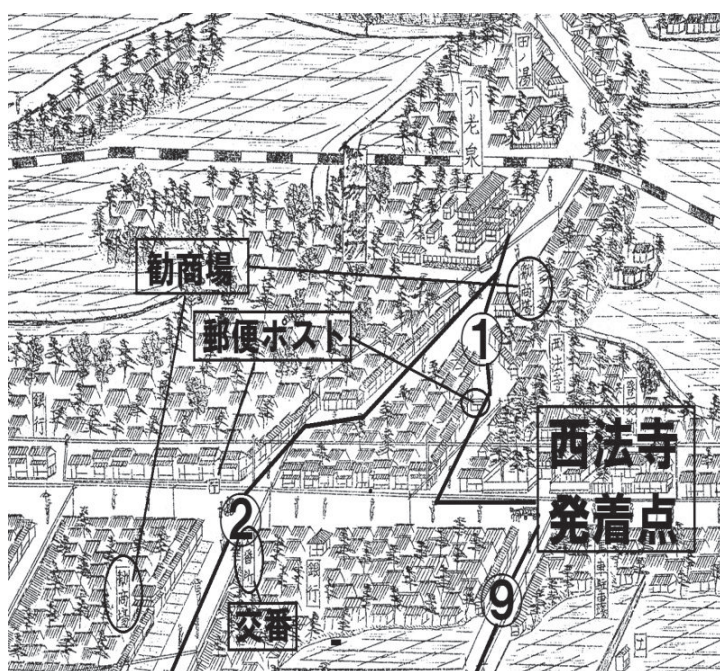


図3 ポイント①・②周辺概要図

【ポイント③ 共同温泉の今むかし】

流川通りを海に向かって少し歩き菊屋を右折する。歴史マップによると暗渠で隠れていた流川がこの辺りで流川通り沿いに姿を現し、右折すると直ぐに橋が架かっていたようだ(図4)。菊屋前には「名残橋」のレプリカが置かれている。ちょうど良い目印と歴史探索のチェックポイントとなろう。楠港が整備されるまではこの名残橋まで船が上がり、橋周辺に船溜まりがあり周囲は賑わっていたという。この名残橋のすぐ脇には新湯という共同浴場があったという。眼病に効くとされ人気も高かったというが大正時代後期に流川通りの拡幅により廃止されている。楠湯(温泉)は別府の共同温泉の中で最も古いと言われ、元寇の戦いで傷ついた武士が子の湯で癒したとの記録も残っている。しかし2005(平成17)年に湯量の減少により閉鎖された。名残橋から楠湯界限はマップにも“券番”と記されているように花街であった。楠湯から少し海に向かって歩くと壽湯がある。この湯はこの地図が制作された11年前の明治32年に開業したもので、当時はまだ新参者の温泉であった。

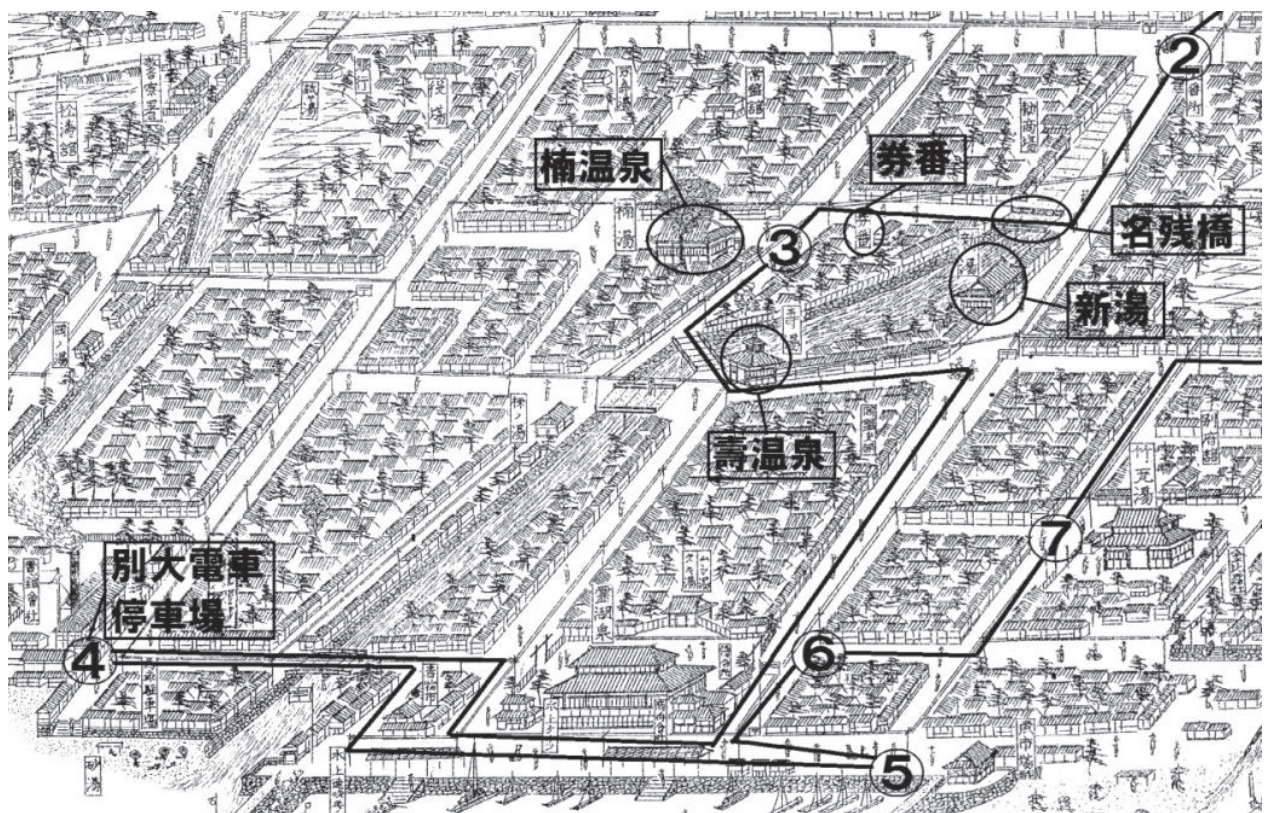


図4 ポイント③・④周辺概要図

【ポイント④ 別大電車停車場】

再び流川通りに戻り海に向かって歩こう。この頃流川通りには旅館や商店が進出し賑わい始めたところである。歴史マップに当時の絵葉書や写真を取り込んでも面白いだろう。

やがて流川通りは海に到達する。現在の国道10号線のちょうど「ゆめタウン」の場所である。ここを右折し国道を浜脇方面に歩こう。秋葉通りとの交差点にある交番が別大電車の停車場があった所である(図4)。

別大電鉄は1900(明治33)年に豊州電気鉄道として開業した。説明版が設置してあるので此処もチェックポイントとしたら面白いだろう。駅前には馬車の停車場の文字も確認でき乗継地であったことが伺える。また、流川の河口付近の海岸には砂湯もあったようだ。しかし、当時をしのぶものは何も残っていない。歴史マップの存在意義がクローズアップされる場所かもしれない。

【ポイント⑤楠港の今むかし】

歴史マップを片手にゆめタウンに戻ろう。この地は別府観光幕開けの記念すべき場所なのである(図5)。楠港は1870(明治3)年、当時の日田県知事松方正義の発案により着工された。1873(明治6)年には大阪航路が開かれ、1967(昭和42)年に別府国際観光港開港までのおよそ100年にわたって別府観光を支えてきた。

港湾機能を無くした楠港は1992(平成4)年には埋め立てられ。ホテル・商業施設の立地が計画された。2007(平成19)年市を二分する情勢の中大型商業施設が開業した。現在楠港をしのぶものは殆ど破壊されたが、隣接するヨットハーバーとの境界に歴史マップでも描かれている「突堤」の一部が残されている。此処もチェックポイントとしたら面白いだろう。このヨットハーバーのあった所には砂湯があったようだ。

また、ゆめタウンの向かい側現在駐車場となっている場所には1893(明治26)年に開業した霊潮泉が構えていた。マップでは大きく立派な建物として描かれている。裏手には“ムシ(蒸)湯”と“タキ(瀧)湯”の文字が確認できる。明治40年の記録によると「明春三四月には竣工すべし」との記載があるので、開業間もない頃の様子が描かれていることになる³⁾。

【ポイント⑥かつての目抜き通り】

ゆめタウンを後にして竹瓦温泉に向かう。皮肉なことに国道沿いの建造物が取り除かれたのでゆめタウンからも確認できる。国道10号線を渡り一つ目の筋を右折する。ここがマップ上(図5)の⑥で当時賑わっていたであろう街路である。現在は駐車場で遮断されているが、かつては霊潮泉前を經由して別大電車停車場までの界限には旅館が立ち並んでいたという。今日では栄華の面影は無くひっそりとした路地となっている。また、当時の栄華を知る人も今や少ないであろう。

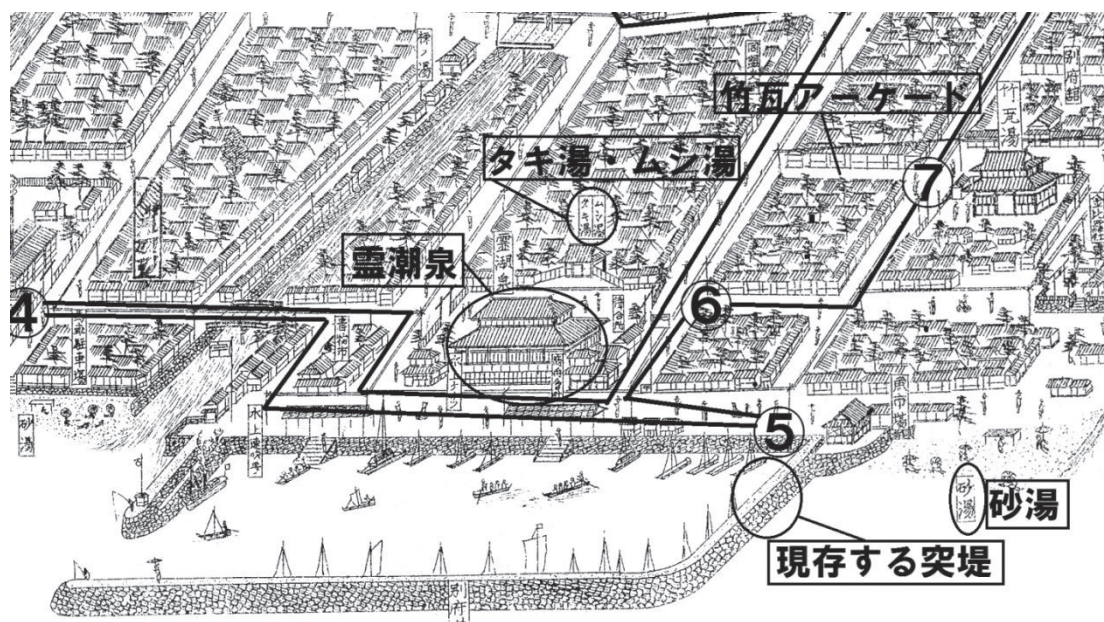


図5 ポイント⑤・⑥周辺概要図

【ポイント⑦竹瓦温泉界限の今むかし】

竹瓦温泉は今や別府温泉を代表する共同浴場なのでここで詳細な説明は不要であろう。この温泉は1879(明治12)年に開業し、歴史マップで描かれている建物は1902(明治35)年に建て替えられたものであろう。しかし、霊潮泉の建物と比べるとその規模は小さかったようである。現在の建物は1928(昭和13)年に建てられたもので、マップに描かれている建物の2代後である。散策コース最大のチェックポイントである。

温泉の斜め前の小路は現在の竹瓦アーケードとなっている所である。このアーケードは1921(大正10)年に完成したもので“日本最古のアーケード”と言われている。元伊予銀行頭取が「船で別府に着いたお客さん

が雨に濡れないで竹瓦温泉に行けるように」と土地を買い上げて木造ガラス張りのアーケードを作った⁴⁾。此処もチェックポイントとすべきであろう。

【ポイント⑧今人気の「昭和の路地裏」 界限のようす】

今や温泉の聖地として名高い竹瓦温泉で汗を流したら最後の散策に出たい。裏手の金比羅参りを加えても良いだろう。竹瓦温泉のすぐ近くには寄席の演劇場といわれる“別府館”がある(図6)。しかし、ここに関する詳細は不明である。更に山側に向かって歩くと壽湯からの続く街路と合流する。現在のソルパセオ通りの手前の小路なので注意が必要である。当時ソルパセオ通りはなく丁字路となっていた。右折しよう。一本目の小路を左折し再び山側に向かって歩く。少し寄り道するとマップ上に“妙見山”という地名がある。詳細は不明であるが、海門禅寺から流川に至る「海門寺みち」の途中に存在していた森であった⁵⁾。現在の北浜通りの「喜界島くろちゅう会館」界限であろうか。

妙見山の近くには二条泉という共同浴場があり真宗の説教所も併設していたという。現在の野上旅館駐車場周辺に当たる。

道に戻ると左手に「甲斐温床場」という文字が確認できる。これは1904(明治37)年に甲斐大蔵という人物が温泉熱を利用して温室栽培をしていたという⁶⁾。鉄道が敷かれるということで野口地区の現在のホテル白菊の場所に移転している。このマップが刊行された直後のことであろうか。現在の新宮通り辺りだろうか。

【ポイント⑨今も残る当時の小路を辿る】

付近には現在はレトロの温泉として人気の梅園温泉があるが当時その名残は無い。この温泉は1916(大正5)年に市民有志によって開業したが、資金難のため二年後には市有温泉になっている。後年の1920(大正9)年の温泉案内には「この周辺には動物園があり人気を博している」と記されている。マップでは梅園温泉は畑になっている。

1928(昭和3)年、市街地全域を巻き込んだ市区改正(都市計画)は18年の歳月をかけて完成した。整然とした碁盤の目の街区が誕生したわけであるが、以前の旧道もかなり残っている。旧道は現在の地図でも判読することができる。少し曲がった小路はその可能性が高い。

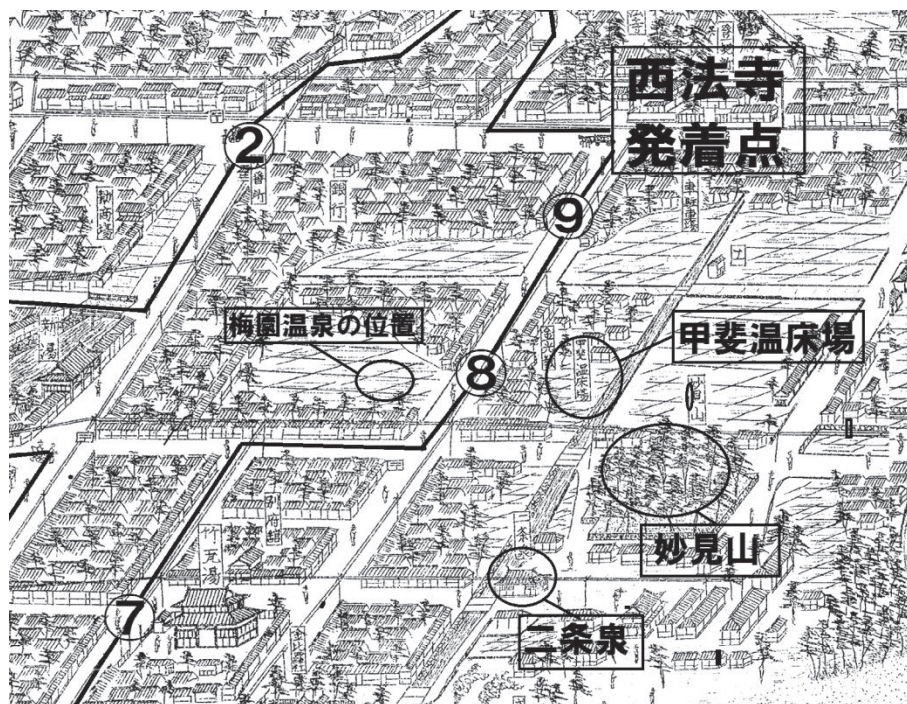


図6 ポイント⑦・⑧・⑨周辺概要図

4. まとめ

今回シミュレーションしたコースはゆっくり歩いて2時程度の行程で設定した。今回の作業を通して以下の点が判明し、また課題点として浮き彫りになった。

今回取り上げたエリアの中にも、明治末から大正期初めに関する歴史的な情報はまだ数多く見出すことができた。今後は取り込む情報の取捨選択の基準の設定が課題となろう。さらに、観光客向けとしてアピールするならば、ショッピングや食べ物の情報も必要なのかもしれない。こうした情報をどの程度、そしてどのように取り込めば良いのかも課題である。

今日別府からの情報発信は溢れ返っており、受け手の主体性を喪失させているとさえ考えられる。加えてこれらの情報は個々の提供者の滲むような努力に敬服する。しかし、情報の錯綜が随所で認められ、また時系列的な整理もままならない。したがって、別府を語る上での“物語性”や“筋の通ったストーリー”を読み取ることは困難な状況にある。この“物語性”の重要性は認識されつつあり、今後観光政策としても取り上げられることが予想される⁷⁾。

今回明治末期という『100年前』というキーワードだけでも、流川通り界限でかなりの“物語性”を持たせることができた。今回の作業を通して的確な絞った情報発信の意義を確認することができた。

今後は、当然のことながら別府市内の他地域について同様の作業を進めていかなければならない。これと並行して、今回の作業で痛感した膨大な情報の洗い直しを進めて、別府温泉郷の各地域の“ストーリー”構築を進めていく必要がある。

【補記】

本研究を進めるにあたって平成26年度強化事業費助成金「別府大学GP(研究支援 大RS7)」の一部を利用している。

【文献】

中山昭則(2013):「別府市におけるボランティアガイドの特性と課題」、『大分県温泉調査研究会報告』第64号、大分県温泉調査研究会、57-63ページ。

中山昭則(2014):「温泉観光地における新しい情報発信の構築に向けた研究」、『大分県温泉調査研究会報告』第65号、大分県温泉調査研究会、57-66ページ。

津山市郷土博物館(2012):『江戸一目図を歩く－鯉形蕙斎の江戸名所めぐり－』、津山市郷土博物館、全127ページ。

【注】

¹⁾中山昭則(2014):「温泉観光地における新しい情報発信の構築に向けた研究」、『大分県温泉調査研究会報告』第65号、大分県温泉調査研究会、57-66ページ。

²⁾およそ100年前の明治43(1910)年に夏目書店から発行された『豊後有名温泉之圖』を取り上げる

³⁾この記載は明治40年に刊行された『豊後温泉誌』にあるというのが筆者は未読である。今日新聞社(2007年10月)『懐かしの別府ものがたり』No.344. 絵葉書物語に準拠している。

本報告の作成に当たり今日新聞社に掲載された『懐かしの別府ものがたり』を大いに活用した。担当の小野弘氏のご尽力に感謝する次第である。

⁴⁾竹瓦小路アーケード保存修復の会HP (<http://www.beppers.jp/takegawara/newpage4.html>)

⁵⁾めざせ別府八湯カリスマ! 別府八湯検定試験傾向と対策(歴史) (<http://fwdnet.web.fc2.com/beppu/810kentei3.htm>) を参考にさせて頂いた。

⁶⁾別府温泉地球博物館HP:『別府温泉・産業遺産 温泉熱利用促成栽培に挑んだ人々』 (<http://www.beppumuseum.jp/marugoto/marugoto1/print.pdf>)

⁷⁾2015年4月、文化庁が認定した「日本遺産」においても“地域の魅力を伝える「ストーリー」”が評価された。

別府温泉藻類の健康・美容増進効果

株式会社サラヴィオ化粧品サラヴィオ中央研究所

宮田 光 義・御筆 千 絵

松島 一 幸・末松 実 佳

岩田 俊 祐・加世田 国与士

1. はじめに

私たちは別府温泉に生息する藻類の有効性について検証し、弊社で発見した別府温泉藻類RG92が、抗炎症作用を示すことをこれまでに明らかにしていた。現在、RG92を地域資源として活かし、「健康と美容」の産業化、および、地域経済の活性化を目指した取り組みを進めている。本研究では、ストレス障害(炎症・糖化・酸化等)に対するRG92抽出エキスの予防効果の検証を行った。

2. 調査方法

(1)抗酸化作用の検証

炎症および酸化は関節疾患の発症・進行に影響を与える^{1, 2)}。これまでの研究で、私たちはRG92が関節細胞において炎症性サイトカインを抑える抗炎症作用を有することを示してきた。今回は、ORAC法、および、関節細胞の一種である滑膜繊維芽細胞を用いて、RG92の抗酸化作用を検証した。

(2)糖化ダメージ抑制作用の検証

皮膚では加齢に伴い、糖化が進み、AGEs(Advanced glycation end-products)とよばれる糖化物質が蓄積すると言われている³⁾。AGEsは皮膚細胞(表皮ケラチノサイトや繊維芽細胞)において、活性酸素種(ROS)や炎症性サイトカイン、マトリックスメタロプロテアーゼ(MMPs)等の細胞外マトリックス分解酵素を誘導し、皮膚にダメージを与えることが知られている⁴⁾。そこで、繊維芽細胞にAGEsを作用させた際のダメージに対するRG92の効果を細胞増殖や炎症性サイトカイン遺伝子発現プロファイルを解析して調査した。

(3)COX-2活性阻害作用の検証

Bligh-Dyer法、G.marcolongoらの方法⁵⁾により脂溶性・糖脂質・水溶性成分に分画し、それらの画分を用いて、炎症性関連因子の一種であるシクロオキシゲナーゼ-2(COX-2)の酵素活性に対する作用を検証した。

(4)DNAマイクロアレイによる網羅的解析

RG92処理を行った繊維芽細胞のTotal RNAを回収・精製し、これをDNAマイクロアレイ分析にかけることで、RG92を作用させた繊維芽細胞の遺伝子発現の変化を網羅的に解析した。

3. 結果及び考察

(1) RG92の抗酸化作用の検証

ORAC法により、RG92に高いROS消去能があることを見出した。また、滑膜繊維芽細胞をIL-1 β で処理すると、細胞内ROS量が増加するが、RG92はその細胞内ROS量の増加を有意に抑制することがわかった。

ROSは関節リウマチの滑膜細胞を過剰に増殖させる原因の1つであることが知られている^{1, 2)}。そこで、IL-1 β 刺激による滑膜繊維芽細胞の増殖に対するRG92の効果を検討したところ、RG92によってその増殖が有意に抑制された。

このことから、RG92に含まれる抗酸化成分が細胞内に取り込まれ、細胞内で発生したROSを消去することにより、関節リウマチの病態である過剰な滑膜細胞増殖を抑制することが示唆された。したがって、RG92は関節リウマチ等のROSに関連する関節症の予防・改善に有効であると考えられた。

(2)糖化ダメージ抑制作用の検証

RG92は繊維芽細胞において、AGE-BSAによって誘導される炎症性サイトカイン(IL-6やTNF- α)、MMP-9の発現量を有意に抑制した。また、AGE-BSAによる繊維芽細胞の増殖抑制効果もRG92によって軽減された。

これらの結果から、RG92はAGEsによるエイジングダメージから肌を守る可能性が考えられた。

(3)RG92の分画物によるCOX-2活性阻害作用の検証

RG92エキスから脂溶性・糖脂質・水溶性画分を得て、それぞれの画分でCOX-2酵素阻害活性を評価したところ、脂溶性画分、および、糖脂質画分でその阻害作用が確認された。

このことから、RG92はアラキドン酸経路に由来する炎症を抑制することが考えられ、RG92に含まれる糖脂質、あるいは、脂溶性成分がその効果に寄与しているものと推察された。

(4)RG92のDNAマイクロアレイによる網羅的解析

繊維芽細胞をRG92で処理すると、長寿遺伝子と呼ばれているSIRT1、SIRT4、水分調節因子であるAQP11の発現が亢進していることが分かった。

この結果から、RG92はアンチエイジング効果や保湿効果を有する可能性が見出された。

謝辞

滑膜繊維芽細胞を用いた試験を行うに当たり、ご指導・ご協力いただきました広大病院再生医療部の味八木茂先生に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Filippin LI et al. Redox signalling and the inflammatory response in rheumatoid arthritis. *Clin Exp Immunol.* 2008;152:415-22.

- 2) Mirshafiey A et al. The role of reactive oxygen species in immunopathogenesis of rheumatoid arthritis. *Iran J Allergy Asthma Immunol.* 2008;7:195-202.
- 3) Fan X et al. Anaerobic vs aerobic pathways of carbonyl and oxidant stress in human lens and skin during aging and in diabetes: A comparative analysis. *Free Radic Biol Med.* 2010;49:847-56.
- 4) Gkogkolou P et al. Advanced glycation end products: Key players in skin aging? *Dermatoendocrinol.* 2012;4:259-70.
- 5) Marcolongo G et al., Diacylglycerolipids isolated from a thermophile cyanobacterium from the Euganean hot springs. *Nat Prod Res.* 2006;20:766–74.

大分県内の飲用泉の利用と分布

公益社団法人大分県薬剤師会 検査センター

甲斐美穂・高井 亮
村上 圭・小野 将来

要旨

大分県生活環境部生活環境企画課の協力により、大分県内の公共利用の許可飲泉場所 142 箇所について、その特徴や分布状況等を温泉分析書等により調査した。

県内の許可飲泉場所は、浴用利用の多い別府市や由布市よりも竹田市で最も多く、直入町と久住町に二分していた。利用形態は、浴用施設以外に病院や老人福祉施設等でも利用されており、特に大分市ではその傾向が顕著であった。一般の源泉と比較して、泉温分類は冷鉱泉の割合が高く、液性分類では中性泉～酸性泉の割合が高率を占めた。泉質は、一般の源泉の多くが単純温泉であるのに対し、許可飲泉場所は炭酸水素塩泉や硫黄泉、含二酸化炭素泉が多かった。

許可飲泉場所の適応症別の該当率は、耐糖能異常(糖尿病)が 52.1%で最も高く、高尿酸血症(痛風)、逆流性食道炎、十二指腸潰瘍、便秘が 40%台で続き、鉄欠乏症が 2.1%で最も低かった。

平成 26 年の環境省自然環境局長通知で新設された含有成分別の禁忌症は、大分市の許可飲泉場所 3 箇所 (2.1%) がナトリウムイオンとよう化物イオンの両成分により禁忌症の掲示を必要とし、その飲用限界値はナトリウムイオンで 80～430ml/日、よう化物イオンで 90～330ml/日であった。

ひ素、銅、ふっ素、鉛、水銀、遊離炭酸の 6 成分による飲用量の制限は、ひ素により 18 箇所 (12.7%)、ふっ素により 11 箇所 (7.7%) で必要とし、その飲用総量はそれぞれ 51～470ml/日、170～440ml/日であり、このうちの 3 箇所 (2.1%) は両成分により制限を受けた。ひ素による制限は別府市と九重町、ふっ素による制限は日田市と別府市の許可飲泉場所で多くみられた。

飲泉は源泉水を直接飲むことから、湧出直後の新鮮なものを持ち帰らずに飲むのが原則であり、適応症だけでなく、禁忌症や飲用上の注意等の掲示内容を十分確認して行う必要がある。

1. はじめに

環境省がまとめた平成 25 年度の温泉利用状況によると、大分県の源泉数は 4,411 孔で、全国第 1 位の数を誇る。また大分県の平成 25 年度温泉利用状況報告書では、浴用及び飲用で利用されている源泉数は 3,414 孔となっている。利用の多くは浴用で、飲泉利用は浴用に比べると数が少ない。現在、大分県内で公共の飲用利用の許可を受けている飲泉場所（以下、許可飲泉場所という）は 142 箇所となっている。

今回、飲用許可を受けている県内の飲用泉について、その特徴や分布等を調査したので報告する。

2. 調査内容

・調査対象

平成 25 年度現在の大分県温泉利用許可（飲用）施設 142 箇所を対象にした。

・調査方法

許可飲泉場所 142 箇所について、その温泉分析書等に基づき、市町村別・利用施設別・温泉分類別の分布、適応症・禁忌症及び含有成分量に基づく飲用量等を調査した。

3. 調査結果及び考察

3-1. 市町村別分布

表 1、図 1 に許可飲泉場所の市町村別の数を示し、平成 25 年度の浴用・飲用利用の源泉数と比較した。

浴用・飲用利用の源泉数は別府市、由布市、九重町、大分市の順に数が多いが、許可飲泉場所数は竹田市が 45 箇所でもっとも多く、次いで別府市、由布市、九重町、大分市の順となっている。許可飲泉所中の割合は、竹田市 31.7% (45 箇所)、別府市 (18.3%) 26 箇所、由布市 (14.8%) 21 箇所、九重町 (7.7%) 11 箇所、日田市 (7.0%) 10 箇所、大分市 (6.3%) 9 箇所となっている。

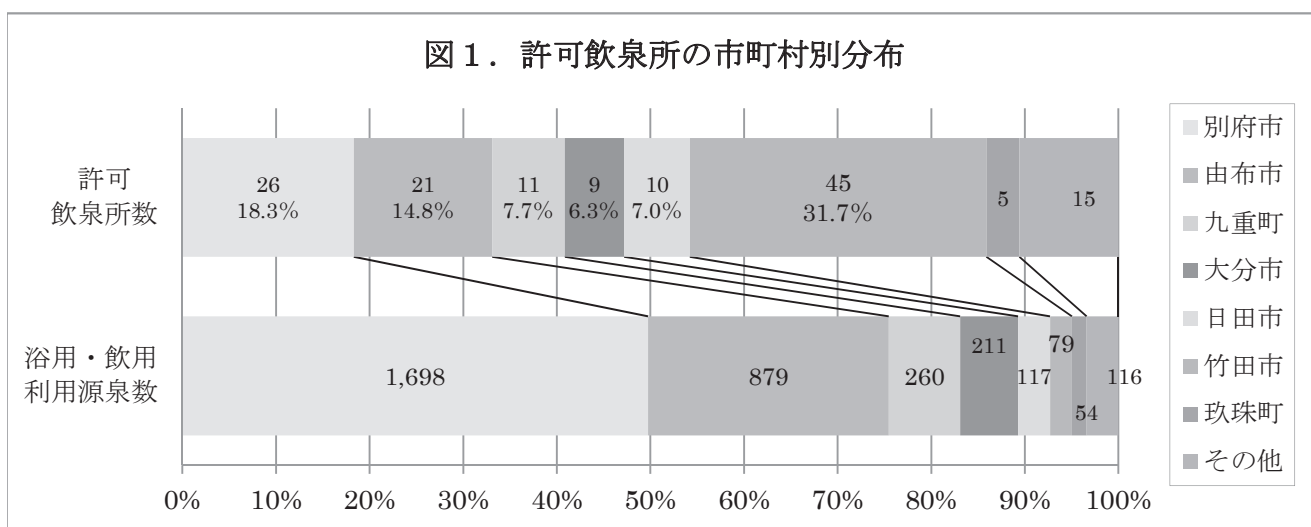
竹田市では浴用・飲用利用源泉数 79 孔に対して 57% が許可飲泉場所としても利用されている。また竹田市の許可飲泉場所は 1 箇所を除き、直入町 (32 施設) と久住町 (12 施設) に二分していた。直入町の長湯温泉は遊離炭酸を豊富に含むことでよく知られ、専用施設も設置されるなど、飲泉が盛んな地域である。

別府市、由布市、九重町においては源泉数の多さに伴い許可飲泉場所も多かった。その他の市町村では、臼杵市、国東市、姫島村で源泉数に対する許可飲泉場所の割合が高かった。

表 1. 浴用・飲用利用源泉数と許可飲泉場所の比較

市町村名	浴用・飲用利用源泉数(A)	許可飲泉場所数(B)	B/A (%)
別府市	1,698	26	1.5
由布市	879	21	2.4
九重町	260	11	4.2
大分市	211	9	4.3
日田市	117	10	8.5
竹田市	79	45	57
玖珠町	54	5	9.3
臼杵市	7	3	42.9
中津市	30	2	6.7
宇佐市	20	2	10
日出町	7	2	28.6
豊後高田市	7	2	28.6
国東市	3	2	66.7
杵築市	39	1	2.6
姫島村	1	1	100
佐伯市	2	0	0
計	3,414	142	4.2

図 1. 許可飲泉所の市町村別分布



3-2. 利用施設別分布

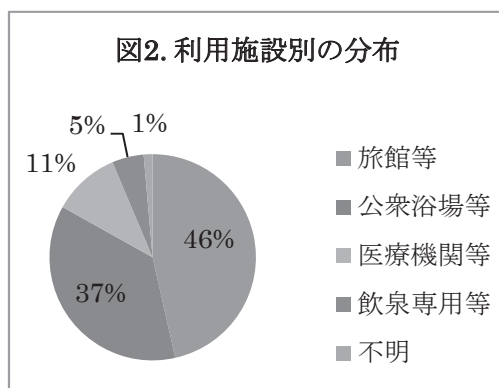
表 2 に、飲泉はどのようなところで行われているかを分類した。許可飲泉場所の多くは旅館 66 箇所

(46.5%) や公衆浴場等 52 箇所 (36.6%) であった。医療機関や福祉施設は 15 箇所 (10.6%)、飲泉専用及び温泉調理場は 7 箇所 (4.9%) であった。市町村別にみると別府市、由布市、九重町、日田市、竹田市、臼杵市では旅館等が、九重町、竹田市、玖珠町、中津市では公衆浴場等が多かった。

一方、大分市では医療機関・福祉施設等が最も多かった。

表 2. 利用施設別の市町村別分布

市町村名	公衆浴場	旅館等	医療・福祉施設等	飲泉・調理所等	不明	計
竹田市	22	16	3	3	1	45
別府市	6	18	2	0	0	26
由布市	4	12	2	3	0	21
九重町	5	5	0	0	1	11
日田市	2	6	2	0	0	10
大分市	2	1	5	1	0	9
玖珠町	5	0	0	0	0	5
臼杵市	0	3	0	0	0	3
中津市	2	0	0	0	0	2
その他*	4	5	1	0	0	10
計	52	66	15	7	2	142

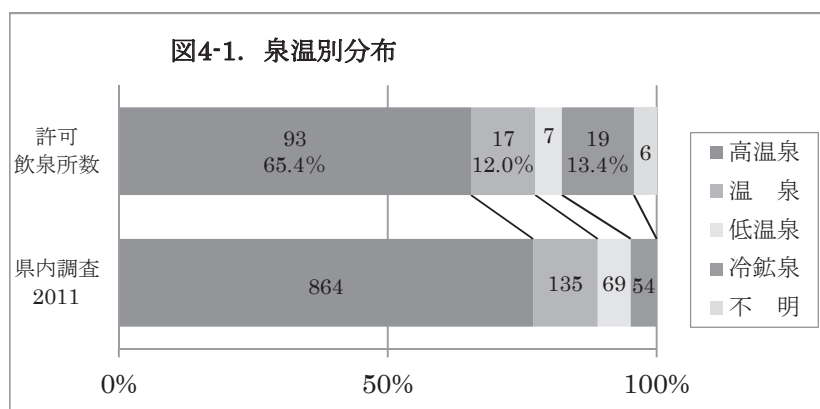
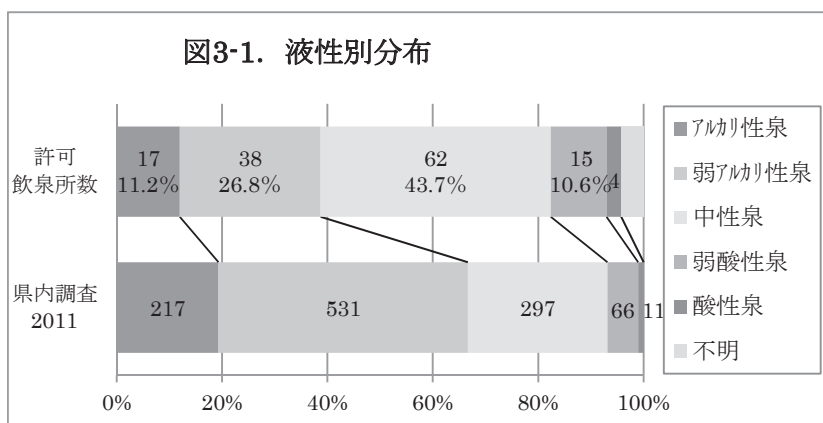


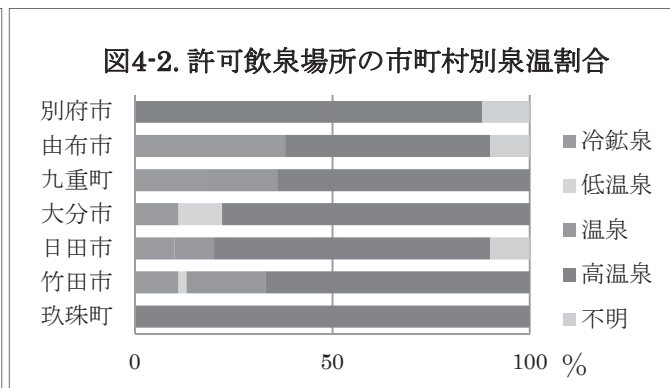
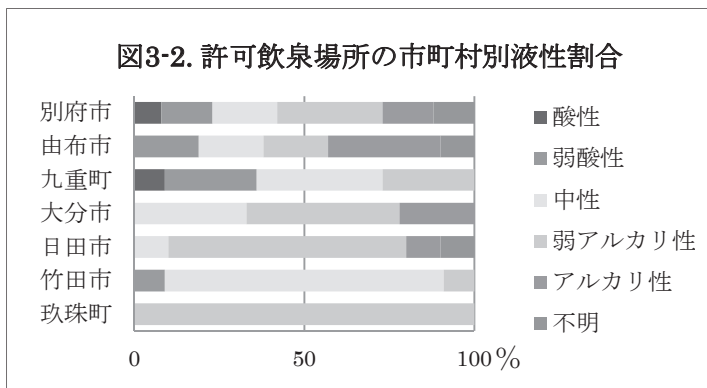
3-3. 泉温及び液性分類別の分布

液性の分類について、許可飲泉場所と 2011 年大分県温泉データ 1,122 源泉を比較した結果を図 3 に示す。2011 年大分県温泉データは弱アルカリ性泉 531 源泉 (47.3%) とアルカリ性泉 217 源泉 (19.3%) の割合が高いが、許可飲泉場所では中性泉 62 箇所 (43.7%)、弱酸性泉 15 箇所 (10.6%)、酸性泉 4 箇所 (2.8%) と中性～酸性泉が高い比率を占めていた。地域別にみると、竹田市では主に中性～弱酸性泉が、日田市ではアルカリ性側のものが高率に分布する傾向が認められた。九重町では弱アルカリ性～酸性泉にかけて広く分布しており、別府市では全ての液性泉が存在していた。

泉温の分類については、図 4 に示すとおり 2011 年大分県温泉データと許可飲泉場所ともに高温泉の割合が高いが、許可飲泉場所では特に冷鉱泉が 19 箇所 (13.4%) と高率を示した。

地域別では由布市で冷鉱泉が高率を示した。





3-4. 泉質別分布

3-4-1. 揭示用泉質分布

温泉の泉質は、10種の揭示用泉質に大別される。2011年大分県温泉データと許可飲泉場所の泉質別分布を図5に示す。2011年度大分県温泉データでは単純温泉542源泉(48.3%)が最も多く、硫酸塩泉、硫黄泉、含鉄泉、二酸化炭素泉の割合は低い。しかし、許可飲泉場所の泉質は炭酸水素塩泉56箇所(39.4%)が最も多く、硫黄泉10箇所(7.0%)、硫酸塩泉5箇所(3.5%)や、二酸化炭素泉4箇所(2.8%)も2011年大分県データと比較して高い割合を示した。

一般に、飲泉は単純温泉やミネラルが豊富な塩類泉が多いとされるが、二酸化炭素成分を含む泉質も胃腸の健康保持目的や嗜好飲料としてよく利用されている。そこで、副成分に二酸化炭素を含む含二酸化炭素泉に着目したところ、15箇所の含二酸化炭素泉があった。これに二酸化炭素泉4箇所を合すると合計19箇所となり、許可飲泉場所全体の13.4%を占めた(表3)。地域別では竹田市に11箇所、臼杵市3箇所、大分市と由布市に各2箇所、姫島村1箇所、竹田市のうち5箇所は長湯温泉であった。また竹田市1箇所(久住)、臼杵市3箇所(六ヶ迫)、大分市1箇所(塚野)は、いずれも二酸化炭素を含む冷泉として古くから知られている地域であった。

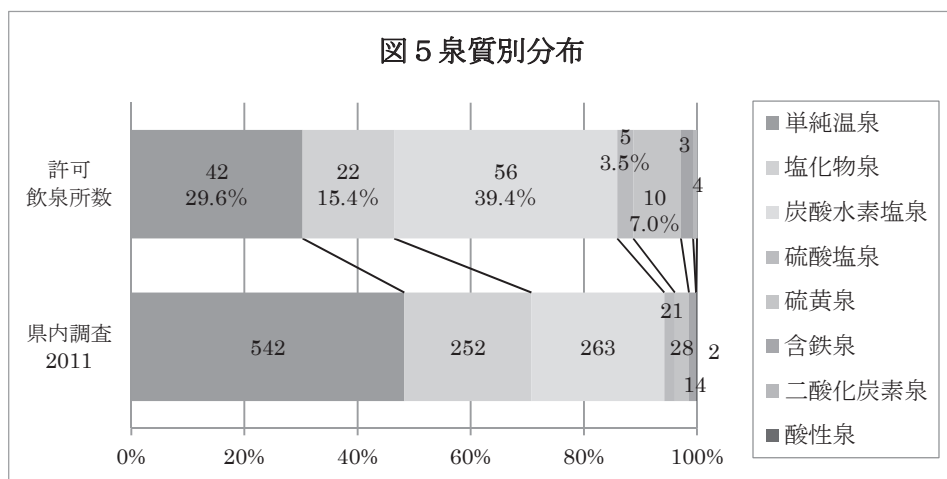


表3. 含二酸化炭素泉等の許可飲泉場所数

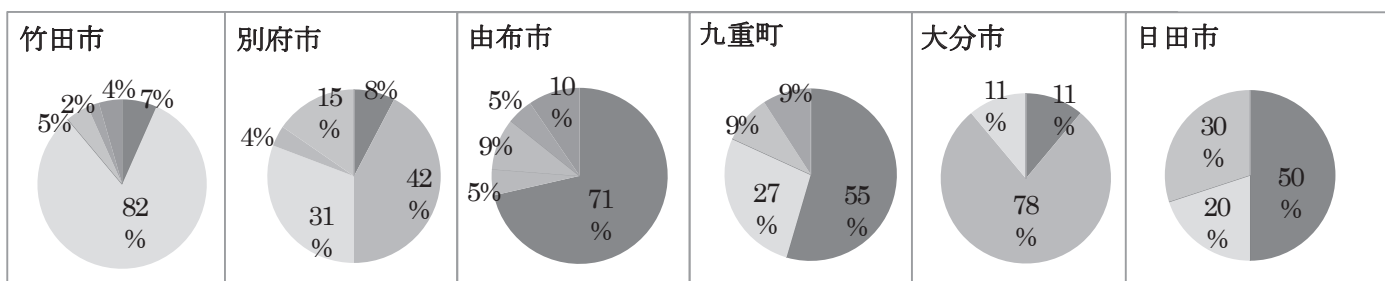
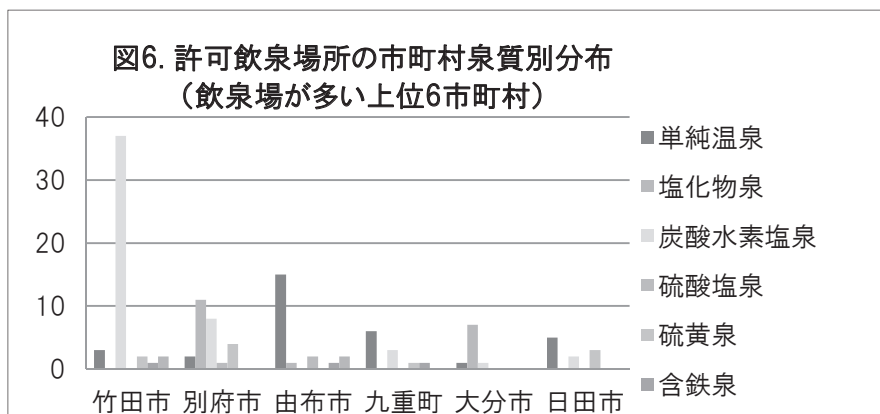
	含二酸化炭素泉	単純二酸化炭素泉
竹田市	9	2
臼杵市	3	
大分市	2	
姫島村	1	
由布市		2

3-4-2. 地域別泉質分布

許可飲泉場所の多い竹田市、別府市、由布市、九重町、大分市、日田市について泉質別の分布を図6に示す。竹田市では炭酸水素塩泉が45箇所中37箇所で82%と高い割合を示した。

別府市では単純温泉、塩類線、硫黄泉と多様な泉質があるが、塩化物泉が最も多かった。由布市では単純温泉が、大分市では塩化物泉がそれぞれ最も多かった。

一方、硫黄泉は日田市天瀬町に3箇所あり、日田市全体の30%を占めた。



3-5. 飲用泉の揭示等

3-5-1. 飲用の適応症

温泉法では温泉を公共の飲用に供する者は、施設内の見やすい場所に、温泉の成分、禁忌症、飲用上の注意等を揭示しなければならない。同法第18条第1項の規定に基づく禁忌症及び入浴又は飲用上の注意の揭示等の基準によると、温泉飲用の泉質別適応症は表4のとおりである。

表4. 飲用の泉質別適応症

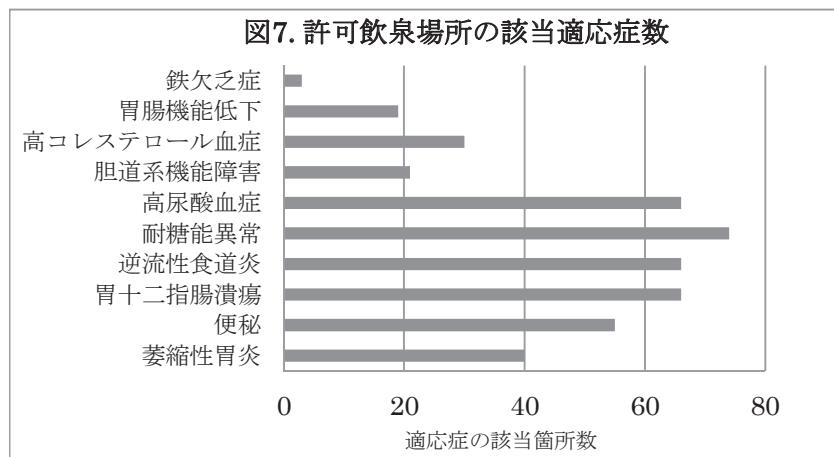
揭示用泉質	飲用適応症
単純温泉	—
塩化物泉	萎縮性胃炎、便秘
炭酸水素塩泉	胃十二指腸潰瘍、逆流性食道炎、耐糖能異常(糖尿病)、高尿酸血症(痛風)
硫酸塩泉	胆道系機能障害、高コレステロール血症、便秘
二酸化炭素泉	胃腸機能低下
含鉄泉	鉄欠乏性貧血
酸性泉	—
含よう素泉	高コレステロール血症
硫黄泉	耐糖能異常(糖尿病)、高コレステロール血症
放射能泉	—
上記のうち二つ以上に該当	該当するすべての適応症

許可飲泉場所の適応症を該当箇所数で分類した結果を図7に示す。

含鉄泉は鉄欠乏症に対して適応症となるが、許可飲泉場所142箇所中、鉄欠乏症に該当するものは3箇所(2.1%)あった。含二酸化炭素泉は胃腸機能低下に対する適応症であり、19箇所(13.4%)あった。

また副成分などで、二つ以上の泉質に該当する場合は、該当のすべてが適応症となる。萎縮性胃腸炎は塩化物泉に適応症とされるが、副成分として塩化物泉が含まれる他の泉質泉も合算できるので、許可飲泉場所の 40 箇所（28.2%）で萎縮性胃腸炎が適応症となる。

耐糖能異常（糖尿病）は炭酸水素塩泉と硫黄泉の 2 泉質が適応症となっており、副成分を含有する他の泉質泉と合わせると 74 箇所（52.1%）あり、適応症の中で最も多かった。



3-6. 飲用の禁忌症及び制限

温泉を公共の目的で飲用するには、都道府県知事の許可が飲泉口ごとに必要となる。飲泉に際しては、微生物学的衛生管理として、飲泉口において1年に一回の一般細菌、大腸菌群、全有機炭素(TOC)の検査を行い、基準値に適合していなければならない。また、飲泉の1日の総量はおおむね200~500mlまでとされているが、ひ素、銅、ふっ素、鉛、水銀、遊離炭酸については1回当たり又は1日当たりの飲用量を制限する他、平成26年7月の環境省自然環境局長通知により、含有成分別禁忌症が新たに追加された。これはナトリウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオン、よう化物イオンの4成分について、通知に定める限界値を超えて飲泉する場合は、その飲用限界値と禁忌症を掲示するものである。

3-6-1. 含有成分別禁忌症

含有成分別禁忌症を表5に示す。

表5. 含有成分別禁忌症

成分	飲用制限が必要な病態
ナトリウムイオンを含む温泉を1日 $(1,200/A) \times 1000$ を超えて飲用する場合	塩分制限の必要な病態(腎不全、心不全、肝硬変、虚血性心疾患、高血圧など)
カリウムイオンを含む温泉を1日 $(900/A) \times 1,000$ を超えて飲用する場合	カリウム制限の必要な病態(腎不全、副腎皮質機能低下症)
マグネシウムイオンを含む温泉を1日 $(300/A) \times 1000$ を超えて飲用する場合	下痢、腎不全
よう化物イオンを含む温泉を1日 $(0.1/A) \times 1,000$ を超えて飲用する場合	甲状腺機能亢進症
上記のうち2つ以上に該当する場合	該当するすべての禁忌症

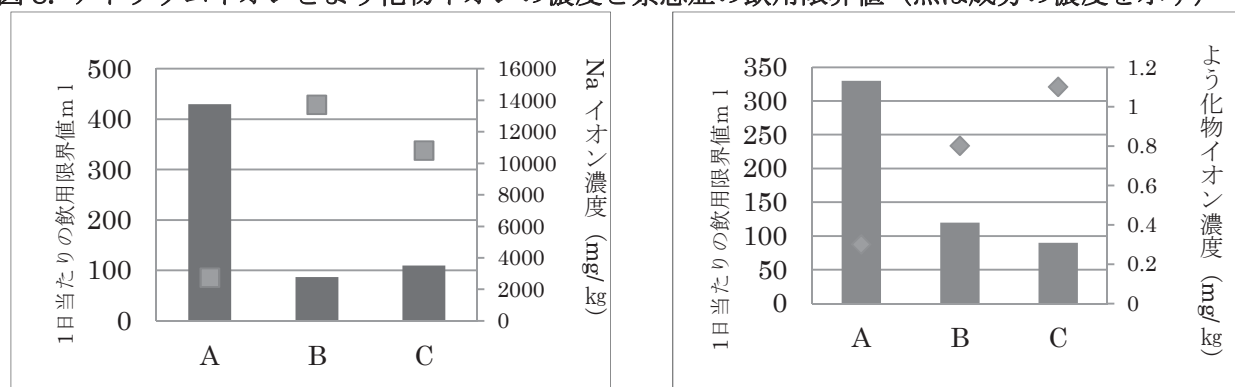
表 5 の「成分」欄で算出された 1 日の飲用限界値が 500ml 未満であり、その限界値を超えて飲泉する場合は、飲用限界値と「飲用制限が必要な病態」欄の病態を禁忌症として掲示しなければならない。今回調査した許可飲泉場所の中では、カリウムイオン、マグネシウムイオンで禁忌症の掲示が必要なものはなかった。

一方、ナトリウムイオンに及びよう化物イオンについては両成分により大分市の 3 箇所では禁忌症の掲示を必要とした。表 6 に結果を示す。また、図 8 はナトリウムイオンとよう化物イオンの濃度と飲用限界値の関係を示している。掲示が必要な 3 箇所の泉温は 15～42℃、液性は pH6.2～7.2 の範囲にあり、泉質はいずれも塩化物泉であった。

表 6. ナトリウムイオン、よう化物イオンにより禁忌症の掲示が必要な許可飲泉場所

許可飲泉場所	pH	泉温 (°C)	Na イオン濃度 (mg/kg)	飲用限界値 (ml)	I イオン濃度 (mg/kg)	飲用限界値 (ml)
大分市 1	6.2	15	2,730	430	0.3	330
大分市 2	6.7	42	13,700	80	0.8	120
大分市 3	7.2	42	10,800	110	1.1	90

図 8. ナトリウムイオンとよう化物イオンの濃度と禁忌症の飲用限界値（点は成分の濃度を示す）



3-6-2. 含有量により、飲用制限が必要な項目（ひ素、銅、ふっ素、鉛、水銀、遊離炭酸）

3-6-2-1. 銅、鉛、水銀

銅、鉛、水銀について、1 日当たりの飲用総量は、銅： $(2.0/A) \times 1,000$ 、鉛： $(0.2/A) \times 1,000$ 、水銀： $(0.002/A) \times 1,000$ （A は温泉 1 kg 中に含まれる成分の重量(mg)）で算出されるが、500ml 未満に制限されるものはなかった。

3-6-2-2. 遊離炭酸

遊離炭酸について、1 回当たりの飲用量は、 $(1,000/A) \times 1,000$ で算出して制限されるが、1 日当たりの飲用総量は高濃度の場合には何回かに分けて飲用し、200～500ml まで飲用できる。一般的には、1 回当たりの飲用は 100～150ml とされる。遊離炭酸で 1 回当たりの飲用量 150ml 未満、又は 1 回当たりの飲用総量 500ml 未満に制限される許可飲泉場所はなかった。

3-6-2-3. ひ素、ふっ素

表7に、ひ素により飲用制限を受けた許可飲泉場を示す。ひ素が含まれる場合、1日当たりの飲用総量は $(0.1/A) \times 1000\text{ml}$ で算出される。

飲用量の掲示の仕方は、①具体的に算出された数値が150ml未満の場合、②具体的に算出された数値が150ml以上500ml未満の場合、③算出された数値が500ml以上の場合の3つに分けられる。上記①②に該当して、1日当たり500ml未満に飲用制限が必要な許可飲泉場所は18箇所(12.7%)あり、このうち1日の飲用総量が150mlまでに制限されるものは10箇所(7.0%)あった。

図9に、ひ素濃度と1日飲用総量の関係を示した。

図10には、ひ素により飲用制限を受けた許可飲泉場所の市町村別分布を示すが、別府市が11箇所(61%)で最も多い。

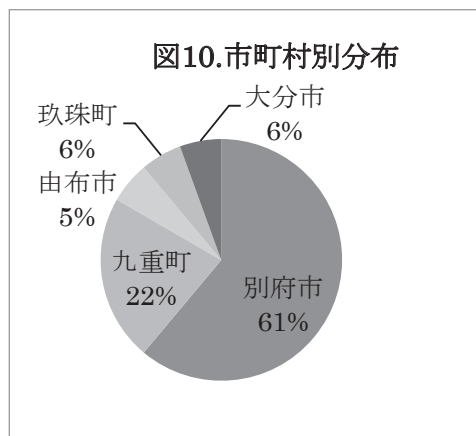
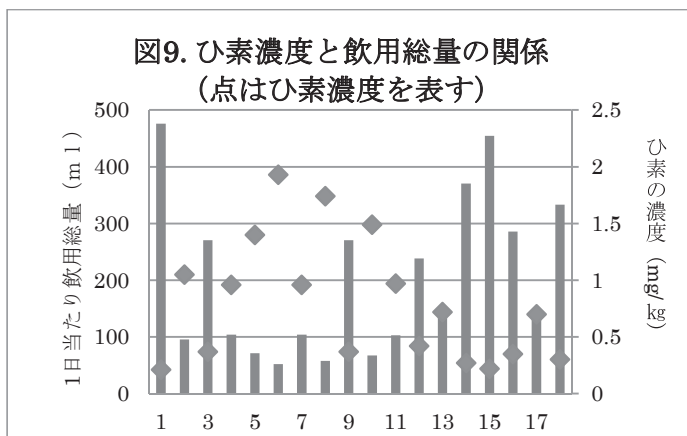


表7. ひ素により飲用制限を受ける許可飲泉場所

No.	許可飲泉場所	泉質	pH	泉温 (°C)	ひ素濃度 (mg/kg)	飲用総量 (ml/日)
1	別府1	炭酸水素塩泉	8.3	70	0.21	470
2	別府2	塩化物泉	8.3	62	1.05	95
3	別府3	塩化物泉	9.2	98	0.37	270
4	別府4	塩化物泉	3.4	95	0.96	100
5	別府5	塩化物泉	3.4	80	1.4	71
6	別府6	塩化物泉	8.3	90	1.93	51
7	別府7	塩化物泉	3.4	96	0.96	100
8	別府8	塩化物泉	7.4	86	1.74	57
9	別府9	単純温泉	7.8	47	0.37	270
10	別府10	塩化物泉	4.2	100	1.49	67
11	別府11	塩化物泉	8.7	100	0.97	100
12	由布1	塩化物泉	8.8	91	0.42	230
13	九重1	単純温泉	3.3	73	0.72	130
14	九重2	炭酸水素塩泉	6.4	49	0.27	360
15	九重3	炭酸水素塩泉	6.9	50	0.22	450
16	九重4	炭酸水素塩泉	6.6	62	0.35	280
17	玖珠1	単純温泉	8.0	54	0.70	140
18	大分1	塩化物泉	6.2	15	0.30	330

表 8 にふっ素により飲用制限を受ける許可飲泉場所を示す。ふっ素が含有される場合、1日当たりの飲用総量は $(1.6/A) \times 1,000\text{ml}$ で算出される。ふっ素により、1日当たり 500ml 未満に飲用制限が必要な許可飲泉場所は 11 箇所 (7.7%) あったが、前記①150ml までに制限を要するものはなかった (図 11)。図 12 には、ふっ素により飲用制限を受けた許可飲泉場所の市町村別分布を示すが、日田市が 6 箇所 (55%) で最も多かった。

なお、ひ素とふっ素の両成分により飲用制限を受けた許可飲泉場所はいずれも別府市で、3 箇所あった。

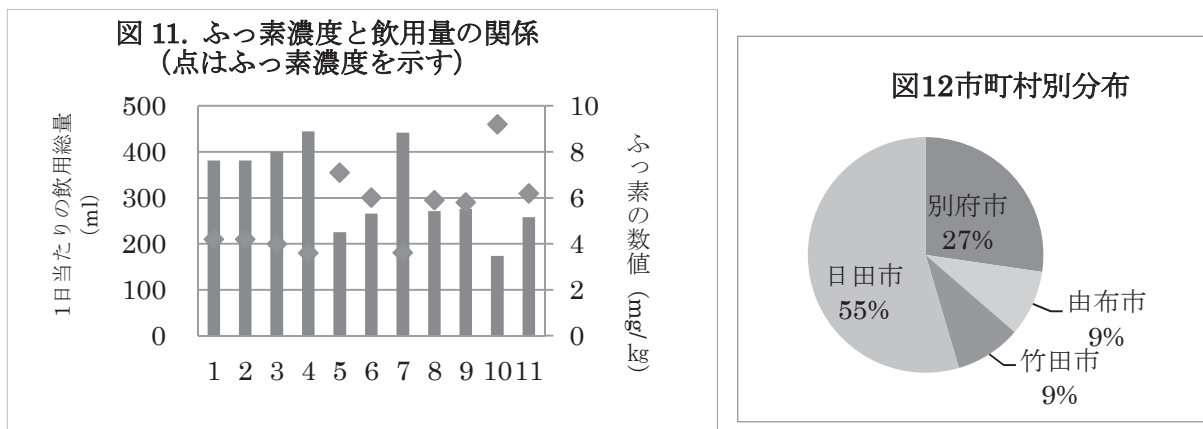


表 8. ふっ素により飲用制限を受ける許可飲泉場所

No.	許可飲泉場所	泉質	pH	泉温 (°C)	ふっ素濃度 (mg/kg)	飲用総量 (ml/日)
1	別府 8	塩化物泉	7.4	86	4.0	400
2	別府 4	塩化物泉	3.4	95	4.2	380
3	別府 5	塩化物泉	3.4	80	4.2	380
4	由布 2	単純温泉	8.8	48	3.6	440
5	竹田 1	炭酸水素塩泉	6.9	56	7.1	220
6	日田 1	炭酸水素塩泉	7.1	46	6.0	260
7	日田 2	炭酸水素塩泉	8.1	37	3.6	440
8	日田 3	単純温泉	8.4	65	5.9	270
9	日田 4	単純温泉	8.3	77	5.8	270
10	日田 5	硫黄泉	9.1	98	9.2	170
11	日田 6	硫黄泉	7.5	72	6.2	250

4. まとめ

温泉は、水道水とは飲用基準が大きく異なる。飲泉する際には禁忌症や飲用上の注意など掲示されている事項をよく読むことと、温泉によっては含有成分により飲用量が制限されるものもあるため注意が必要である。また源泉を直接飲むことから、飲泉は湧出した新鮮なものを持ち帰らず飲むように注意書されている。

今回の調査で、県内の飲泉は浴用利用の多い別府市や由布市よりも、竹田市（直入町、久住町）に最も多くの許可飲泉場所があることがわかった。また泉質については県内源泉の多くは単純温泉であるのに対し、許可飲泉場所では炭酸水素塩泉や硫黄泉、含二酸化炭素泉が多かった。利用施設については、浴用施設以外にも病院や老人福祉施設等で利用されているところも少なくなかった。

なお、今回は飲用許可を受けた飲用泉について、温泉分析書のデータを基に数値解析したため利用実

態等の現地調査は行っていない。

謝辞

今回の調査にあたり、公共の飲用利用施設等の温泉情報を提供していただきました大分県生活環境部生活環境企画課に感謝申し上げます。

別府血の池地獄における硫黄化学種の状態と沈殿物等の 硫黄同位体比について

九電産業株式会社環境部

前野 真実子

要旨

大分県の血の池地獄は、近年黄色化していることが報告されているが、これは Jarosite ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) と呼ばれる 3 価の鉄明礬の生成によるものであることが明らかにされている。本研究ではそれらを背景として、血の池沈殿物と温泉水に含まれる硫黄に着目し、各種濃度分析と硫黄同位体比分析を行ない、分析値について若干の考察を行なった。

1. 期間

平成 26 年 9 月 1 日 ～ 平成 27 年 3 月 30 日

2. 背景・目的

大分県の別府温泉には血の池地獄と呼ばれる赤色の沈殿物を特徴とした自噴温泉があり、大分県の有数の観光名所として知られている。この赤色を示す物質は Hematite と呼ばれる鉄酸化物(Fe_2O_3) である。熱力学的な考察と合成実験から血の池地獄の Hematite は、地下深いところで作られたものが、表面に運び出されたものであるということが、報告されている[1]。

Hematite 色をした血の池地獄が、近年黄色化していることが報告されている[2]。この原因は、血の池沈殿物の柱状試料の年代分析と化学分析より、Hematite に加えて黄色の鉱物である Jarosite ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) と呼ばれる 3 価の鉄明礬の生成が 1970 年台から急激に増加しており、Jarosite が血の池地獄の黄色化のを引き起こしていることが明らかにされている[3]。

血の池地獄における、Hematite や Jarosite 鉱物の生成モデルとして、熱水系モデルが提唱されており、その概念図を図 1 に示す[2]。血の池地獄の温泉水は食塩型熱水と硫酸酸性型熱水の混合物であり、この混合割合が Hematite と Jarosite の生成に影響していると考えられている。食塩型熱水(250～300℃)の混合割合が増加すると Hematite 含有量が増加し、Jarosite 含有量が減少する。硫酸酸性型熱水(~100℃)の混合割合が増加すると、低温状態で安定な Jarosite の含有量が増加し、Hematite の含有量が減少する。つまり、近年の Jarosite の増加は地下での硫酸酸性熱水の割合が増えていることを示唆している [3]。

このような研究例はあるものの、なぜ近年 Jarosite 生成量が増加しているのかなど、明確に分かっていないことも多い。本研究ではそれらを背景として、血の池沈殿物と温泉水に含まれる硫黄に着目し、各種濃度分析と硫黄同位体比分析を行ない、分析値について若干の考察を行なった。

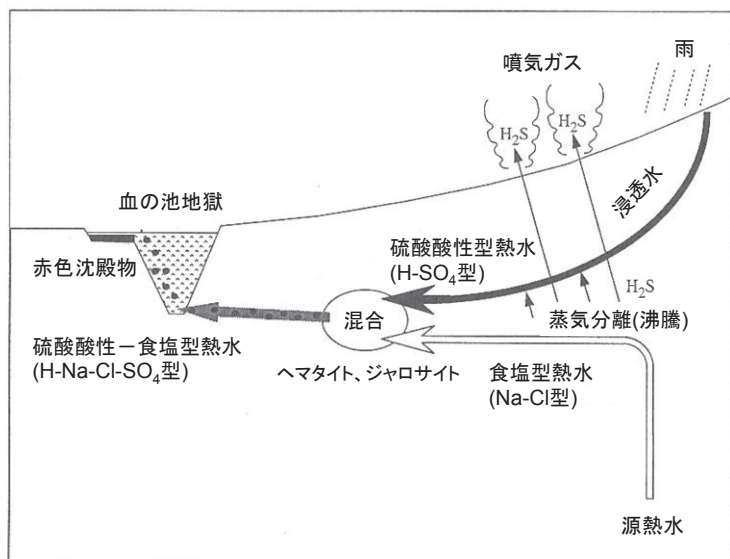


図 1 血の池地獄の地下の熱水流動モデル([2]を参照)

3. 試料採取と前処理

大分県別府市野田の血の池地獄は1辺が約45mの三角形状をしており、西半分は深く、最深部では26mあるところもあるが[4]、東半分は浅瀬になっており、そこに赤色の沈殿物が堆積している。図2に採取地点を示す。沈殿物は浅瀬に堆積している状態のものを柄杓で採取した。温泉水も浅瀬の岸边から柄杓を用いて、上澄みを汲み取りポリタンクに採取した。また血の池地獄から数mのところにあるたまり水(雨水を循環させた水)についても採取を行なった。採取時に現地でpHを測定した。

沈殿物試料は0.5 mmメッシュのザルで漉して落ち葉や小石などを取り除いた後、超純水で洗浄し、遠心分離で沈降した固体を集め低温乾燥し分析に用いた。

温泉水は実験室に持ち帰ったのち、0.45 μmのメンブランフィルターでろ過した。ろ過した温泉水はほとんど無色透明であった。硫化水素測定用の試料は、アルカリ処理を行なった。

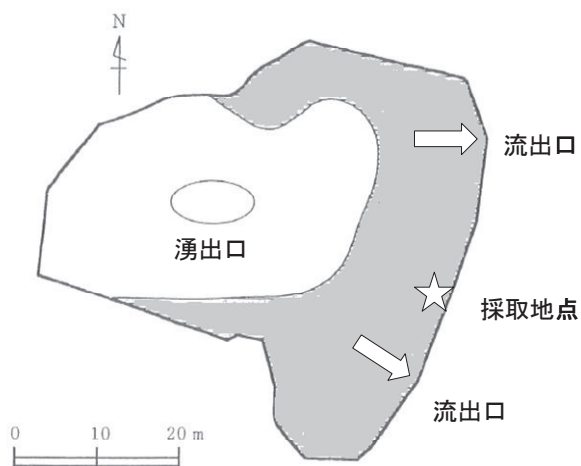


図 2 血の池地獄の見取り図(☆は採取地点を示す)

4. 結果

4-1. 粉末 X 線回折分析

図 3 に血の池沈殿物の XRD(粉末 X 線回折)の結果を示す。α-Cristobalite (SiO₂)、Kaolinite (Al₄Si₄O₁₀(OH)₈)、Jarosite (KFe₃(SO₄)₂(OH)₆)、Hematite (Fe₂O₃) のピークが検出された。

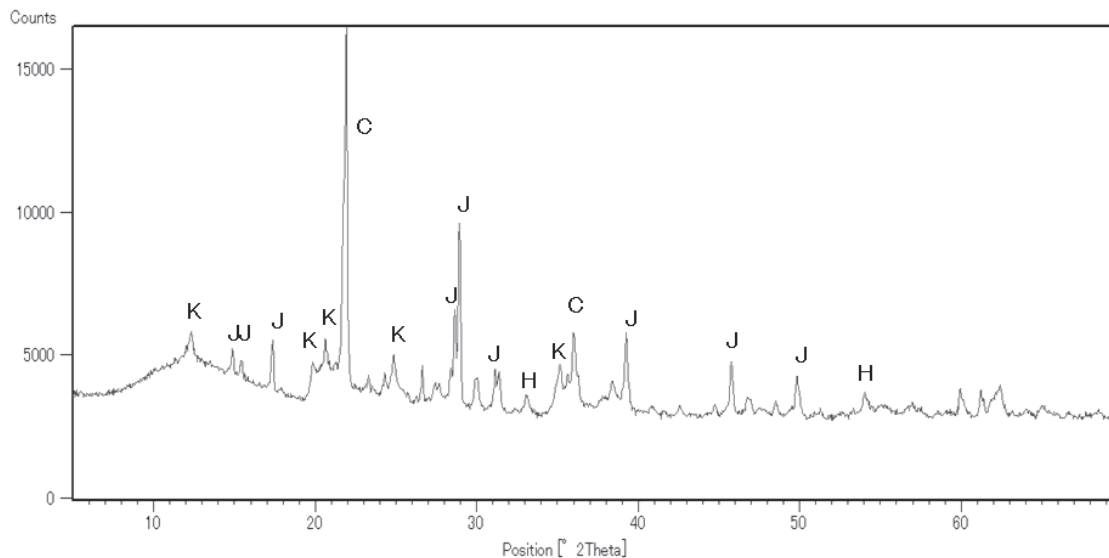


図 3 血の池沈殿物の粉末 X 線回折分析結果(C: α-Cristobalite、K: Kaolinite、J: Jarosite、H: Hematite)

4-2. 溶液中の硫黄の濃度分析について

硫黄は溶液中で様々な形態を取りうる元素であるが、本研究では、硫化水素とチオ硫酸イオンと、硫酸の分析を行なった。分析方法は、鉍泉分析法指針に従い、硫化水素イオンとチオ硫酸イオンはメチレンブルーによる比色法、硫酸はイオンクロマト法を用いて行なった。結果を表 1 に示す。

4-3. 硫黄同位体比分析について

硫黄同位体比の測定に関しては以下の手順に従って行なった。まず 1.0μm のメンブランフィルターで試料を濾過し、陰イオン交換カラムを用いて SO₄ を遊離させた後、塩化バリウム溶液(BaCl₂)を加え、硫酸バリウム(BaSO₄)を沈殿させた。24 時間ほど放置した後、硫酸バリウムの沈殿を 0.45μm のメンブランフィルターで濾過し乾燥させた。乾燥させた硫酸バリウムと五酸化バナジウム(V₂O₅)を混合しスズカプセルに包み、加熱分解することにより二酸化硫黄ガス(SO₂)を発生させて分析を行った。硫黄同位体比は安定同位体比質量分析計(EuroVector 社製、及び Isoprime 社製 IsoPrime)を用いて測定した。

一般的な同位体比結果の表記方法については、天然試料や実験生成物中の安定同位体比を議論する場合、標準物質の同位体比からの相対的な差を、千分率 (‰) で表すデルタ (δ) 表記を用いるのが一般的である。

標準物質として IAEA (International Atomic Energy Agency) 標準試料 (V-CDT: Vienna CDT) を用いて :

$$\delta^{34}\text{S} = \left[\frac{(^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{sample}}}{(^{34}\text{S}/^{32}\text{S})_{\text{V-CDT}}} - 1 \right] \times 1000 \quad (\text{‰}) \quad (1)$$

と表す。その結果を表 1 に示す。

表 1 分析結果

分析項目	血の池沈殿物	血の池温泉水	周辺の雨水(循環水)
pH	—	2.8	6.7
硫酸イオン	—	558 ppm	34 ppm
硫化水素	—	検出不可	検出不可
チオ硫酸イオン	—	検出不可	検出不可
$\delta^{34}\text{S}$	21.6‰	21.7‰	7.0‰

5. 考察とまとめ

分析結果より、血の池温泉中の硫黄はすべて硫酸イオンとして存在していることが分かった。図 4 に pH7、25°Cにおける redox ladders を示す[5]。この図の縦軸は、酸化還元電位(Eh)を示しており、Eh 値が低いものほどより酸化されやすく、高いものほど還元されやすいことを示している。例えば 0 mV 付近に位置する $\text{Fe}(\text{OH})_3/\text{Fe}^{2+}$ は、pH 7、25°Cの条件下において、0 mV 以上では、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Fe(III)) として存在し、0 mV 以下では Fe(II)として存在することを示す。これを見ると、硫黄は鉄よりも還元的雰囲気酸化されることがわかる。血の池地獄では、鉄がヘマタイト(Fe(III)) として存在していることから、硫黄が硫酸として存在することは妥当だと考えられる。

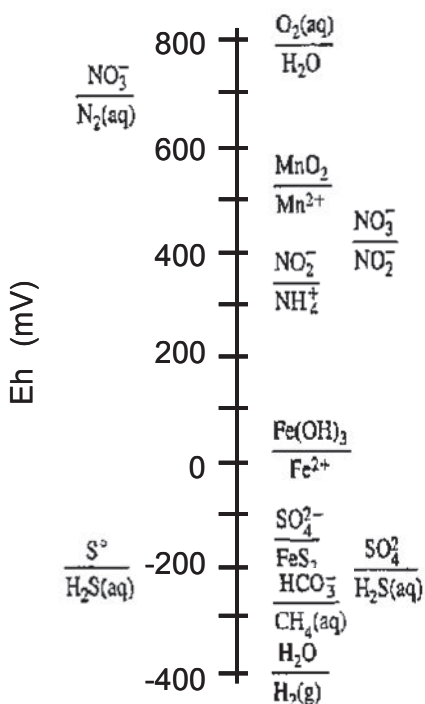


図 4 各元素の Redox ladders ([5] を参照)

また硫黄同位体比の結果において、血の池沈殿物(21.6‰)と血の池温泉水(21.7‰)の結果が同程度の値

を示していることから、血の池沈殿物は血の池温泉水から沈殿したものであると考えられる。ちなみに、血の池沈殿物中の硫黄は、すべて Jarosite と考えて差し支えないとの報告がある[4]。これより、図 1 の熱水流動モデル中の混合地点以降に Jarosite が生成したと考えられる。しかし、わずかな可能性として、混合前の硫酸酸性型熱水と、食塩型熱水の $\delta^{34}\text{S}$ 値が、両方とも 21~22‰ 付近であることも考えられるため、今後血の池地獄周辺の硫酸酸性型熱水と食塩型熱水、さらには血の池地獄と同様の硫酸酸性-食塩型の温泉水の $\delta^{34}\text{S}$ 値を調査し比較することにより、血の池地下の熱水流動状況について明らかにしていきたい。

また、今回の結果より、血の池沈殿物と温泉水が比較的高い $\delta^{34}\text{S}$ 値をとることがわかった。例えば、このような高い $\delta^{34}\text{S}$ をもつ温泉水の一つである Cl-SO₄ 型の熱水は、SO₂ や HCl などの火山ガスが地下水と反応することによって生成する。その際 SO₂ は不均化により H₂S と SO₄ を生成し、同時に同位体分別が起こり、重たい硫黄が SO₄ に分配され、高い $\delta^{34}\text{S}$ 値をもつ熱水となる。ところが、血の池沈殿物中や温泉水中の硫黄分は、図 1 に示すように、硫酸酸性型(H-SO₄型)の熱水が由来であると考えられている。一般的に H-SO₄ 型の熱水は、図に示すように、地表付近で H₂S が酸化されて SO₄ が生成するのが成因とされている。H₂S から SO₄ に酸化される時に、同位体比分別はほとんど起こらないといわれており[6]、火山性起源の硫化水素の硫黄同位体比は 0‰ 付近であることから、H-SO₄ 型の熱水は H₂S と同様に低い $\delta^{34}\text{S}$ 値をとる。もし、血の池地獄の硫黄分が、H₂S が SO₄ に酸化されて生成した H-SO₄ 型熱水が由来であれば、今回得られた値よりも低い $\delta^{34}\text{S}$ 値をとることが予想される。

地下の熱水流動モデルから予想されるよりも、実際の血の池地獄は高い $\delta^{34}\text{S}$ 値であるということは、血の池地獄の地下で明らかにされていない現象があることを意味している。これらを明らかにするために、今後さらに詳細な調査を進めたいと考えている。

謝辞

本研究を行うにあたり、試料採取を快く許可して下さった血の池地獄の皆様に深く感謝いたします。また、個人的にご指導を賜りました京都大学地球熱学研究施設の大沢信二教授に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 古賀昭人(1972) 大分県温泉調査研究会報告, **23**, 72-74
- [2] 大上和敏・大沢信二・中川理恵子・高松信樹・由佐悠紀(1998) 温泉科学, **47**, 157-165
- [3] 大上和敏・大沢信二・由佐悠紀(2001) 大分県温泉調査研究会報告, **52**, 37-43
- [4] 吉田哲雄・湯原浩三・中江保夫・野田徹郎(1978) 温泉科学, **29**, 10-18
- [5] Donald Langmuir(1997) Aqueous Environmental geochemistry p416
- [6] Sakai, Hitoshi(1957) *Geochim.Cosmochim.Acta.*, **5**, 150-169

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12条 総会において下記の事項を議決する。

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

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

- 2 議事は出席会員の過半数で決し、可否同数のときは議長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14条 下記の事項について会長は専決することができる。

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

第15条 役員会は会長が招集する。

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

第16条 第14条第1項及び第2項の規定は役員会に準用する。

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

- 2 前項の委員会に関する事項は総会で決定する。

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

第19条 研究会の会計年度は毎年4月1日から始まり翌年3月31日に終わる。

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

附 則

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

附 則

この会則の改正は、昭和46年4月1日から適用する。

この会則の改正は、昭和48年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成2年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成7年5月1日から適用する。

この会則の改正は、平成9年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成16年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成18年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成21年8月3日から適用する。

この会則の改正は、平成26年8月27日から適用する。

大分県温泉調査研究会会員名簿（順不同）（新）

（平成27年7月1日現在）

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
京都大学 名誉教授	由 佐 悠 紀	会 長
九州大学 名誉教授	矢 永 尚 士	副 会 長
大分県生活環境部参事監 兼生活環境企画課 課長	山 本 章 子	副 会 長
大分県生活環境部生活環境企画課 課長補佐（総括）	久 住 真 和	常 務 理 事
大分大学 名誉教授	川 野 田 實 夫	理 事
社会保険診療報酬支払基金大分県支部 医療顧問	安 田 正 之	
九州大学 名誉教授	牧 野 直 樹	理 事
九州大学病院別府病院内科 准教授	前 田 豊 樹	
九州大学病院別府病院慢性疾患診療部 助教	小 柳 雅 孔	
元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 准教授	大 上 和 敏	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 教授	竹 村 恵 二	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 教授	大 沢 信 二	理 事
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 准教授	柴 田 智 郎	
北海道大学総合博物館 准教授	山 本 順 司	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 助教	柴 田 知 之	
九州大学大学院理学研究院附属火山地震観測研究センター 研究員	志 藤 あずさ	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 技術職員	三 島 壮 智	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 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 助教	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 教授	鍵 山 恒 臣	
総合地球環境学研究所 研究員	山 田 誠	
日鉄鉱業株式会社	酒 井 拓 哉	
秋田大学大学院工学資源学研究科附属理工学研究センター 助教	網 田 和 宏	
GERD 地熱技術開発株式会社 技術部	長 谷 英 彰	
佐賀大学医学部循環器肝臓内科 教授	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 講師	塩 月 一 平	
元大分大学医学部	青 野 裕 士	
別府大学国際経営学部国際経営学科 教授	中 山 昭 則	
立命館アジア太平洋大学 アジア太平洋学部 准教授	マヒチ・ファエゼ	
東海大学海洋学部 教授	齊 藤 雅 樹	
(株)サラヴィオ化粧品サラヴィオ中央研究所 所長	加世田 国与士	
公益社団法人大分県薬剤師会 会長	安 東 哲 也	
公益社団法人大分県薬剤師会検査センター 課長代理	甲 斐 美 穂	
タナベ環境工学(株) 代表取締役	藤 澤 剛	
タナベ環境工学(株) 環境部 次長	後 藤 弘 樹	
タナベ環境工学(株) 環境調査課 係長	相 垣 明 子	
松尾機器産業(株) 代表取締役	松 尾 隆	
環境工研(株) 技術営業部	西 平 博 美	
環境工研(株) 代表取締役	松 尾 広 暁	
環境工研(株) 常務取締役	吉 田 篤 史	
環境工研(株) 技術営業部	深 見 友 貴	

所 属 ・ 職 名	氏 名	備考
環境工研(株) 技術営業部	秋 月 香 菜 子	
九電産業(株) 環境部 取締役環境部長	今 泉 幸 男	
九電産業(株) 環境部 課長	福 重 広 明	
九電産業(株) 環境部 課長代理	渡 邊 英 樹	
九電産業(株) 環境部 課長代理	能 登 征 美	
九電産業(株) 環境部	島 田 雄 樹	
九電産業(株) 環境部	前 野 真 実 子	
(株)住化分析センター 大分事業所環境科学グループ サブリーダー	深 浦 友 美	
(株)住化分析センター 大分事業所環境科学グループ	測 野 大 輔	
大 分 市 長	佐 藤 樹 一 郎	理 事
別 府 市 長	長 野 恭 紘	理 事
中 津 市 長	新 貝 正 勝	
日 田 市 長	原 田 啓 介	理 事
白 杵 市 長	中 野 五 郎	
竹 田 市 長	首 藤 勝 次	理 事
杵 築 市 長	永 松 悟	
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ツーリズム部次長 兼温泉課 課長	宮 崎 徹	監 事
別府市ONSENツーリズム部温泉課 課長補佐兼 温泉係長	加 藤 ひろみ	
大分県東部保健所 所長	安 達 国 良	監 事
大分県東部保健所 次長	岩 田 章	
大分県衛生環境研究センター 所長	末 松 恭 一	理 事
大分県衛生環境研究センター微生物担当 主幹研究員 (総括)	成 松 浩 志	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 主任研究員	佐々木 麻 里	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 研究員	百 武 兼 道	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 研究員	一ノ瀬 和 也	
大分県衛生環境研究センター水質担当 主幹研究員 (総括)	甲 斐 正 二	
大分県衛生環境研究センター水質担当 主任研究員	山 崎 信 之	
大分県衛生環境研究センター水質担当 研究員	平 原 裕 美	
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	河 野 建 人	

(会員数 81名)

書 記

所 属 ・ 職 名	氏 名	備考
大分県生活環境部生活環境企画課 副主幹	秋 本 昇 二 郎	
大分県生活環境部生活環境企画課 主任	徳 丸 聖 久	
大分県生活環境部生活環境企画課 非常勤職員	安 部 弘	

(3名)

大分県温泉調査研究会報告 第66号

平成27年7月 印刷

平成27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 097-506-3025

F A X 097-506-1741

印刷社 〒870-0841 大分市六坊北町4485番地の1

株式会社 大分出版印刷

T E L 097-546-0200