

大分県温泉調査研究会報告

第 77 号

令和 8 年 8 月

目 次

九重山山麓の湧水等のSr同位体比 (2)	
竹田市・由布市で採取された地下水について	芳 川 雅 子 他 2 人 (1)
九重火山群の第四紀火山岩類の地球科学的研究 4	山 中 相 馬 他 2 人 (7)
2018年～2025年の8年間で別府市内にて発生した入浴中の緊急搬送数の分析 ～入浴中の体調不良につながるファクターの探求～	多 川 優 也 他 5 人 (11)
別府市における共同温泉利用者の意識構造分析 ―持続可能性を規定する要因の実証研究―	田 崎 ひなた 他 6 人 (27)
別府市における地域共同温泉の持続可能性と合意形成構造 ―利用者意識と意思決定過程の分析―	塩 見 泰 美 他 5 人 (41)
大分平野の 3 次元温泉地質概念モデルの構築	澤 山 和 貴 他 2 人 (51)
サーモン養殖への温泉藻類RG92エキスの活用の検討	野 畑 重 教 (59)
温泉藻類RG92エキスを与えた採卵鶏の健苗性評価	野 畑 重 教 (65)
ROS(活性酸素種) の低産生レベルの刺激によるホルミシス効果が 健康寿命の延伸に寄与する影響の数量的推測	青 野 裕 士 (73)
国東半島両子山火山群のマグマ進化過程の地球化学的検討	平 山 剛 大 他 2 人 (81)

序

昭和 24 年（1949 年）設立の本研究会は多くの先達によって運営・継続されてきましたが、残念なことに本年度には九州大学名誉教授の牧野直樹先生が副会長職を退かれます。牧野先生は、1985 年に九州大学生体防御医学研究所に赴任されてから温泉に関われ、本研究会でも長きにわたって活動されてきました。先生の大学教員としてのご専門は循環器内科学ですが、温泉療法専門医の資格も持っておられ、自然からの贈り物である温泉を上手にそして大事に利用して健康が維持されることを考え続けてこられました。本会前号（76 号）の序文にも記した「本会に提案される研究課題の研究費の配分が総花的になっていることを改めたいこと」を牧野先生がいらっしゃる場で発言した際に、先生から建設的なご意見を頂いたことは今でも心の支えになっており、先生の後任副会長とともに何としても成し遂げたいと思っています。牧野先生は臼杵市のご出身で、これからも大分県内で活動されるとのことですので、引き続きご指導ご鞭撻のほどどうぞよろしくお願いいたします。

このほか、本会先達の動向としましては、理事のご経験がある竹村恵二会員が、本会前会長の由佐悠紀先生が「別府温泉の多岐にわたる科学の魅力を世界に向けて情報発信し、別府観光の新しい価値を創造し、豊かな地球環境を次世代へ受け継がせる」ことを意図して立ち上げられた『別府温泉地球博物館』の新たな理事長に就任されました（大分合同新聞 令和 8 年 5 月 29 日「総会」記事）。その博物館はバーチャルなものですが、「別府温泉に関するさまざまな情報（実際には温泉だけでなく地域地質などの温泉関連分野のコンテンツも豊富です）をウェブ上で発信し、それによって訪れた観光客を温泉科学のフィールドに案内するシステムを作り、それらを支えるプロガイドなどの人材を市民の中に養成する」（以上、別府温泉地球博物館の HP から引用）といったことを実践してこられて、存在感のある博物館となっています。私はリピーターのひとりですが、この博物館の“展示物”の多くが本会（大分県温泉調査研究会）における研究活動の賜物であると見ており、それならば別府温泉地球博物館と本会の結びつきはかなりのものであると言えなくもないので、今後は何かしらの交流を行なってみるのも良いかもしれません。

最後に、またしてもこれまでの序文と同じ結びとなりますが、現実を見据えた本会のさらなる発展のために、会員の皆様のご理解と関係各位のなお一層のご協力をお願い申し上げます。

令和 8 (2026) 年 8 月
大分県温泉調査研究会

会長 大 沢 信 二

九重山山麓の湧水等のSr同位体比 (2) 竹田市・由布市で採取された地下水について

広島大学先進理工系科学研究科

芳川雅子*

山中壮馬

柴田知之

要旨

九重火山群東部山麓の竹田市の今水炭酸泉・大船山湧水および由布市の岩井高地深層地下水の3つの水試料のストロンチウム (Sr) 同位体 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 比を決定した。竹田市で採取した水試料は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70464\sim0.70466$ と均質な値を示し、由布市で採取した水試料は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70447$ と有意に低い Sr 同位体比を示した。

1. はじめに

ストロンチウム (Sr) 同位体 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 比の同位体分別は、地球表層部では無視できるほど小さいとされている。Notsu et al. (1991) は日本全国 47 か所の温泉水・鉱泉水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を決定し、第四紀火山岩が分布する地域の地下水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は、それらが採取された地域の火山岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比と類似することを示した。それらの結果と He 同位体比の関係から、Notsu et al. (1991) はマントル由来マグマから He の供給がある、すなわち火山性流体を含むと推測される地下水であっても、その $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は火山岩中の水に可溶な成分に由来すると推測した。若い岩石においては、岩石に含まれる鉱物ごとの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が均質であるため、水に対する鉱物種による溶解度の違いによっては、地下水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が変化しないためである。Nakano et al. (2001) は長野県東部の千曲川上流・関東山地の最西端に位置する筑波大学川上演習林 (標高 1360~1790 m) の山岳地帯の源流地域 (標高 1500~1680 m) で、地下水や基底流出水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が 0.7043 ± 0.0001 で、当該域の雨

水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が 0.706–0.711 である事を報告した。さらに、2 成分混合式から地下水の Sr の 90% が当該域に分布する第四紀安山岩由来の Sr であることを示した。Ishikawa et al. (2007) は蔵王火山地域の第四紀火山岩と第三紀以前の花こう岩域が分布する 6 か所で温泉水・鉱泉水を採取し、比較的年代の古い (70–80 Ma) 花こう岩地域の地下水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が、水に可溶しやすい花こう岩中の斜長石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を反映している事を示した。このように地下水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比はそれらの涵養域から湧出する経路の推定に重要な情報を与える。大分県西部の九重火山群の山麓には多くの湧水が産出しているが、それらの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の報告は限られている。地下水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の蓄積のため、今年度は九重火山群東部山麓の今水炭酸泉・大船山湧水（ともに竹田市）と九重火山群の火山岩より下位に位置する鹿倉安山岩（新第三紀：小野、1963）分布域で汲み上げられている岩井高地深層地下水（由布市）で水試料を採取し（図）、それらの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を決定した。



図. 試料採取位置 (○印). 火山岩類の分布は小野晃司 (1963) を簡略化して示した。

2. 周辺地質

九重火山は大分県西部に位置し、西南日本弧の火山フロント上の火山である（例えば杉山、1965）。松本（1983）は九重火山を、大船山～黒岳～平治岳～三俣山の東部域、久住山を中心とする中部域、涌蓋山～黒岩山の西部域に分類した。太田（1991）はテフラ層序から東部・中部域の形成史を議論し、山麓に火山麓扇状地堆積物が分布する事を示した。1997年以前の九重火山の研究史については、鎌田（1997）にまとめられているので参照されたい。川辺ほか（2015）は九重火山の噴火ステージを第1期から第4期までに区分した。第1期は西部地域と中部地域の一部の山々を、第2期は飯田火砕流の活動、第3期で中部域と東部域の基底部の活動、第4期は主に東部域の火山が形成された（川辺ほか、2015）。九重火山の東側には、より古い鹿倉安山岩（約2 Ma）が分布する（小野、1963；川辺ほか、2015）。

3. 試料および分析方法

今水炭酸泉・大船山湧水（ともに竹田市）と岩井高地深層地下水（由布市）にて試料水を採取した(図)。試料水は、メンブランフィルター（孔径0.2 μm ）でろ過後、洗浄済みのテフロンビーカーに分取し、混酸（フッ化水素酸、硝酸）数滴を加えた後にホットプレートで蒸発乾固した。有機物処理のため、濃硝酸1滴を添加しホットプレート上で数日加熱後に乾固した。乾固後の試料を3M 硝酸で溶かし、Dey et al. (2023) の方法に従い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。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は広島大学先進理工系科学研究科に設置されている表面電離型質量分析計（ThermoFinnigan MAT262）を用いて測定した。なお、測定中の同位体分別効果の補正係数には $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ (Nier, 1938) を用いた。米国立標準技術研究所 (National Institute of Standards and Technology; NIST) のSr標準物質（NIST987）から作成した標準溶液の測定結果は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710285 \pm 0.000011$ (2SEm) であった。

4. 結果と考察

本研究で決定された水試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は、今水炭酸泉・大船山湧水が $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70464 \sim 0.70466$ と均質な値を示し、岩井高地深層地下水は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70447$ であった。5 万分の 1 地質図幅久住（小野、1963）によると、今水炭酸泉は岳麓寺溶岩、大船山湧水は塔原溶岩の分布域で湧出する。塔原溶岩は大船山の最初の噴出物とされ、岳麓寺溶岩は塔原溶岩より後に噴出し、その後大船山南溶岩が流出して現在の頂上部をつくった（小野、1963）。岳麓寺溶岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は 0.70461（山中ほか、2025）で今水炭酸泉と類似する。これらの地下水と地下水の湧出域の岩石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の類似は、Notsu et al. (1991) や Nakano et al. (2001) の結果と調和的である。塔原溶岩・鹿倉安山岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の報告は発見出来なかった。近年 Nakano et al. (2020) は、日本 208 か所で採取され販売されている飲料水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比と Ca・K・Si・Rb・B 濃度を決定した。この結果、多くの飲料水が採取された地域の帯水層は第四紀堆積物で構成されているとされたが、それら堆積物の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は得られていない。Nakano et al. (2020) は、第四紀堆積物より下位の、堆積物の原岩と推測される岩石と飲料水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比に強い関連を観察し、岩石タイプによって地下水と岩石間の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の相違の程度に違いがある事を示した。九重山麓域の地下水についても、その流動経路を議論するためには今後火山岩のみならずその上位の堆積物等の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の蓄積が待たれる。

5. まとめ

この 3 年間、九重山麓域に湧出する温泉水を含む地下水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の蓄積を行ってきた。流動経路に分布する岩石については第四紀火山岩については $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比のデータの蓄積がすすんでいるものの（例えば、藤原ほか、2020；柴田ほか、2023）、火山麓扇状堆積物やより古い第三紀火山岩などの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の蓄積は遅れており、地下水の流動経路を議論するには今後のデータの蓄積が望まれる。

最後に、本研究の一部は広島大学プレート収束域の物質科学研究拠点から支援を頂いた。こ

ここに謝意を表する。

参考文献

- Dey, B., Shibata, T., Yoshikawa, M. (2023) Sequential Pb-Sr-LREE separation from silicates for isotopic analysis. *Geochemical Journal*, 57, 73–84.
- 藤原涼太郎・芳川雅子・柴田知之・柴田智郎・竹村恵二（2020）大分県内の火山岩類の化学組成・Sr・Nd同位体比（5）九重山その2. 大分県温泉調査研究会報告, 71, 47-51.
- Ishikawa, H., Ohba, T., 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.
- 鎌田浩毅（1997）宮原地域の地質. 地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅）, 産総研地質調査総合センター, 127pp.
- 川辺禎久・星住英夫・伊藤順一・山崎誠子（2015）九重火山地質図. 火山地質図, 19, 産総研地質調査総合センター
- 松本ゆき夫（1983）九重火山群の火山地質学的研究. 山口大学理学部地鉱教室, 91p.
- Nakano, T., Yokoo, Y., Yamanaka, M. (2001) Sr isotope constraint on the provenance of base cation in soilwater and streamwater in the Kawakami volcanic rock watershed, central Japan. *Hydrological Processes*. <https://doi.org/10.1002/hyp.244>.
- Nakano, T., Yamashita, K., Ando, A., Kusaka, S., Saitoh, Y. (2020) Geographic variation of Sr and S isotope ratios in bottled waters in Japan and sources of Sr and S. *Science of the Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135449>.
- Nier, A.O. (1938) The isotopic constitution of strontium, barium, bismuth, thallium and mercury. *Physical Review*, 54, 275. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.54.275>.
- Notsu, K., Wakita, H., Nakamura, Y. (1991) Strontium isotopic composition of hot spring and mineral spring waters, Japan. *Applied Geochemistry*, 6, 543-551.
- 小野晃司（1963）5 万分の1 地質図幅「久住」及び同説明書. 地質調査所, 124p.

太田岳洋（1991）九重火山群,東部及び中部域の形成史. 岩鉱, 86, 243-263.

柴田知之・藤原涼太郎・折戸達紀・芳川雅子・柴田智郎（2023）九重火山群の第四紀火山岩類の地球化学的研究 1. 大分県温泉調査研究会報告, 43-46.

杉村新（1965）火山の分布とマントルの地震との関係. 火山, 2, 37-57.

山中壮馬・柴田知之・藤原涼太郎・芳川雅子（2025）九重火山群の第四紀火山岩類の地球化学的研究 3. 大分県温泉調査研究会報告, 76, 51-54.

九重火山群の第四紀火山岩類の地球化学的研究 4

広島大学大学院先進理工系科学研究科地球惑星システム学プログラム

山中 壮馬

柴田 知之（責任著者）

芳川 雅子

要旨

九重火山群（KVG）を構成する 12 のフローユニットから火山岩試料を採取し、岩石記載、主成分元素組成、微量元素組成と Sr-Nd-Pb 同位体組成の分析を行った。火山岩類のモード組成から、これら火山岩類を生成したマグマを 5 つの異なるグループ（Ol-g, Opx-G, Hbl-g1, Hbl-g2 そして Hbi-g3）に分類し、この分類に基づき九重火山群のマグマの起源について議論した。その結果、5 つの異なるグループはそれぞれ異なる成因と進化過程を経験したことが明らかになった。Opx-g, Hbl-g1, Hbl-g2 は、KVG における最も苦鉄質な Ol-g と最も珪長質な Hbl-g3 の単純な二成分混合では説明できないことが示される。さらに、Opx-g, Hbl-g1, Hbl-g2 相互もマグマ混合関係にはない。Y 含有量および Sr/Y 比の変化は、Hbl-g1 および Hbl-g3 が沈み込むスラブの部分溶融（すなわちスラブメルト）に由来することを示唆する。また、Hbl-g2 は、スラブメルトとマントル物質との相互作用によって生成したバジイト質マグマと岩石成因的に関連している可能性がある。さらに、SiO₂, TiO₂, P₂O₅, Nb 含有量の変化、および Opx-g が高 Nb 玄武岩（KVG 周辺地域の火山岩に類似）組成領域へ向かうトレンドは、スラブメルトと沈み込むスラブ上位のマントルとの相互作用によるものと解釈される。さらに微量元素組成と同位体組成を用いた質量収支計算から、KVG マグマがスラブ流体により誘発されたマントルメルトとスラブメルトの 2 種類のメルト成分を含み、KVG マグマの化学的多様性はスラブメルト寄与率の変化に起因することが示唆された。これらの成果を発展させて九重火山群を形成したマグマの発生から噴火に至る過程を解明することは、長湯温泉をはじめとした周辺に多数点在する有名温泉の熱源に関する理解を深めるためにも重要である。

はじめに

日本の九州北東部に位置する九重火山群（KVG）は、西南日本弧に属する第四紀火山群であり、ここではフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込んでいる。KVG は、九州島を東西方向に横断する別府-島原地溝帯の東部に位置する。この地溝帯は鮮新世～更新世にかけて活発なマグマ活動と関連しており、豊肥火山帯（HVZ）を形成している（Kamata, 1989）。Nakada and Kamata (1991) は、微量元素化学組成に基づき、後期新生代における HVZ 下のマグマ供給源が、海洋島玄武岩（OIB）型マントルから島弧玄武岩（IAB）型マントルへと変化したことを示唆した。さらに、Kita et al. (2001) は、ある安山岩試料の高い Nb/Y 比および ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比に基づき、KVG の一部の岩石が OIB 的なマントルシグネチャーをもつことを提案した。したがって、KVG マグマの供給源を理解するこ

とは、KVGの本質を明らかにするうえで重要であるとともに、HVZにおけるマグマ地球化学の時間的進化を解明するうえでも重要である。

KVGの地質については、Ono (1963), Ohta (1991), Kamata (1997) によって記載されている。また、Kamata and Kobayashi (1997) および Nagaoka and Okuno (2014) はテフラ層序学的研究を行い、KVGの概略的な火山活動史を明らかにした。さらに、Kawanabe et al. (2015) は、野外調査、火山地形観察、全岩主要元素分析、K-Ar年代測定および¹⁴C年代測定を実施し、それらの結果をもとにKVGのより詳細な火山活動史を復元した。加えて、Yamasaki et al. (2016) はKVG西部の火山岩のK-Ar年代を報告している。Kawanabe et al. (2015) の結果によれば、KVGの主な特徴は以下のとおりである。KVGは玄武岩質安山岩からデイサイトまでを含み、 $\text{SiO}_2 = 53\text{--}68 \text{ wt.}\%$ という広い組成範囲をもち、 $\text{SiO}_2 = 57\text{--}63 \text{ wt.}\%$ の安山岩が卓越する。斑晶相として、かんらん石、単斜輝石、斜方輝石、不透明鉱物が認められるが、 $\text{SiO}_2 \geq 59 \text{ wt.}\%$ の岩石には角閃石斑晶が出現する。また、安山岩およびデイサイトでは、それぞれ石英斑晶および黒雲母斑晶も一般的に認められる。かんらん石と石英の共存のような非平衡斑晶組み合わせや、縞状溶岩およびスコリアの存在は、苦鉄質マグマと珪長質マグマの混合を示唆する。全岩 $\text{K}_2\text{O}\text{--}\text{SiO}_2$ 図 (Kawanabe et al., 2015 の図 10) では、2つの明瞭なトレンドが認められる。一つは SiO_2 の増加に伴って K_2O が直線的に増加するトレンド、もう一つは($\text{SiO}_2 \geq 60 \text{ wt.}\%$ において) SiO_2 の増加に伴って K_2O が減少するトレンドである。

しかしながら、KVG火山岩の岩石記載は、斑晶の同定や非平衡鉱物組み合わせの存在を指摘するにとどまっている。また、Kawanabe et al. (2015) はKVGマグマがマグマ混合の影響を受けたと提案しているものの、想定される端成分を特定しておらず、 $\text{K}_2\text{O}\text{--}\text{SiO}_2$ 図に見られる2つのトレンドがどのように形成されたのかについても説明していない。その結果、これらの地球化学的トレンドが本当にマグマ混合の結果であるのかは依然として不明である。本研究では、KVG火山岩について詳細な岩石記載、斑晶のモード組成、および全岩主要元素・微量元素組成、Sr-Nd-Pb同位体組成を提示し、これら岩石の成因理解を深化させ、さらにマグマの起源を解明することを目的とする。

岩石記載と全岩化学組成

九州北東部・西南日本弧に位置する九重火山群 (KVG) の火山岩について、詳細な岩石記載、斑晶のモード組成、および全岩主要元素・微量元素組成 (Ba, Rb, Nb, Sr, Zr, Y) の測定を行った。これらの火山岩は、鉱物組み合わせおよび斑晶のモード量に基づき、以下の3グループに分類される。Ol-g: かんらん石を2.9 vol.%以上含み、角閃石を含まないグループ、Hbl-g: 角閃石を含むグループ、Opx-g: 斜方輝石を2.0 vol.%以上含み、少量のかんらん石 (1.3 vol.%以下) を伴い、角閃石を含まないグループ。さらに、斜長石 (Pl) および単斜輝石 (Cpx) 斑晶の特徴に基づき、Hbl-gは3タイプに細分される。ダスティークアをもつ斜長石を多く含む試料をHbl-g1、ダスティークアをもつ斜長石に乏しいものを、単斜輝石に富むHbl-g2と単斜輝石に乏しいHbl-g3に区分した。Opx-g, Hbl-g1, Hbl-g2の岩石組織は、苦鉄質マグマと珪長質マグマの混合を経験したことを示している。これは、ハニカム構造やダスティークアをもつ斜長石斑晶の存在、およびかんらん石と石英の共存に

よって示される。Ol-g と他のグループとの地球化学的關係は、単純な分別結晶作用では説明できない。また、各グループの地球化学的特徴から、Opx-g, Hbl-g1, Hbl-g2 は、KVG における最も苦鉄質な Ol-g と最も珪長質な Hbl-g3 の単純な二成分混合では説明できないことが示される。さらに、Opx-g, Hbl-g1, Hbl-g2 相互もマグマ混合関係にはない。Y 含有量および Sr/Y 比の変化は、Hbl-g1 および Hbl-g3 が沈み込むスラブの部分溶融（すなわちスラブメルト）に由来することを示唆する。また、Hbl-g2 は、スラブメルトとマントル物質との相互作用によって生成したバジイト質マグマと岩石成因的に関連している可能性がある。さらに、SiO₂, TiO₂, P₂O₅, Nb 含有量の変化、および Opx-g が高 Nb 玄武岩（KVG 周辺地域の火山岩に類似）組成領域へ向かうトレンドは、スラブメルトと沈み込むスラブ上位のマントルとの相互作用によるものと解釈される。

本報告の共著者の芳川は、大分県温泉調査会の事業として KVG 周辺の温泉水・湧水の同位体組成を長年調査している。将来的に、KVG の火山岩と温泉水・湧水の地球化学的特徴の比較から、温泉水・湧水の涵養域や流路などの解明につながる研究へと、発展できればと考える。

Sr-Nd-Pb 同位体組成

KVG 火山岩 7 試料の Sr 同位体比、13 試料の Nd 同位体比、14 試料の Pb 同位体組成を示し、KVG マグマの起源および進化過程を検討した。Sr-Nd 同位体系は、KVG マグマが Indian MORB 型マントル、四国海盆玄武岩 (SBB)、フィリピン海プレート上の堆積物 (PSP-S) そして堆積岩などの地殻物質の 4 つの端成分から構成されることを示唆する。

さらに、各マグマグループには、SBB（または Indian MORB）と PSP-S の混合曲線上にプロットされる試料が含まれ、原始的な Sr-Nd 同位体組成を保持している可能性がある。KVG では、Sr/Y 比の高い玄武岩質安山岩が安山岩やデイサイトよりも高い値を示すことから、KVG の安山岩・デイサイトが高圧下でのザクロ石の支配的な玄武岩分別結晶作用によって形成された可能性は低い。Th-Nb 変化図は、特に堆積物メルトに代表されるスラブメルト起源を支持する。一方で、KVG マグマは、流体付加型マントル溶融に由来するとされる東北日本弧マグマと、スラブ部分溶融起源とされる大山火山マグマとの中間的な LREE/HREE 比を示す。これは、KVG マグマがスラブ流体により誘発されたマントルメルトとスラブメルトの 2 種類のメルト成分を含む可能性を示唆する (Sugimoto et al., 2006)。

スラブ流体とスラブ部分溶融が共存する理由を検討するため、九州下のスラブ P-T 条件に基づく物質輸送過程を考察した。その結果、以下の生成過程が想定される。堆積物および海洋地殻から放出された流体がマントルの部分溶融を引き起こし、マントルメルトを生成する。下部海洋地殻由来の流体が脱水した上部海洋地殻または堆積物に付加し、それらを溶融させてスラブメルトを生成する。これら 2 種類のメルトは、上昇過程で、混合し初生メルトを形成する可能性がある。

Opx-g を除く各マグマグループの初生メルトが、スラブメルトとマントルメルトの混合で再現できるかを検討するため、マスバランス計算を行った。その結果、Opx-g を除くすべてのグループで再現可能であり、スラブメルトの寄与量がグループごとに異なることが示された。特に、計算されたスラブメルト寄与率は SiO₂ 含有量と強い正の相関 ($R^2 > 0.97$)

を示し、本計算の妥当性を支持するとともに、KVG マグマの化学的多様性がスラブメルト寄与率の変化に起因することを示唆する。また、比較的未分化な Opx-g 試料に見られる Nb および Eu の負異常の弱さは、Opx-g が高 Nb 玄武岩 (HNB) マグマに由来することを示唆する。さらに、一部の Hbl-g2 および Hbl-g3 試料の Sr-Nd 同位体組成は、堆積岩などの地殻物質による汚染を受けた可能性を示す。一方、一部の Opx-g 試料は高い $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比を示し、九州下の高 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比をもつ下部地殻の影響を受けたマグマに由来する可能性がある。加えて、Hbl-g1 の 2 試料は、原始的 Hbl-g2 マグマと地殻混染後の Opx-g マグマとの混合によって生成した可能性が、岩石学および化学的特徴に基づいて示唆される。

本報告の共著者の芳川は、大分県温泉調査会の事業として KVG 周辺の温泉水・湧水の同位体組成を長年調査している。将来的に、KVG の火山岩と温泉水・湧水の地球化学的特徴の比較から、温泉水・湧水の涵養域や流路などの解明につながる研究へと、発展できればと考える。

引用文献

- Kamata, H. (1997) Geology of the Miyanoharu district. Geological Sheet Map at 1:50,000 with explanatory text. Geological Survey of Japan, 19.
- 川辺禎久・星住英夫・伊藤順一・山崎誠子 (2015) 九重火山地質図. 火山地質図 19
- Kita, I., Yamamoto, M., Asakawa, Y., Nakagawa, M., Taguchi, S. Hasegawa, H. (2001) Contemporaneous ascent of within-plate type and island-arc type magmas in the Beppu-Shimabara graben system, Kyushu Island, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 111, 99–109.
- 藤原涼太郎 (2020) 西南日本弧九重火山群第四紀マグマの起源, 広島大学修士論文
- Nagaoka, S., Okuno, M. (2014) Tephra-stratigraphy of Kuju Volcano in southwestern Japan,
- 小野晃司 (1963) 5 万分の 1 地質図幅「久住」及び同説明書. 地質調査所, 124p.
- 太田岳洋 (1991) 九重火山群, 東部及び中部域の形成史. 岩鉱, vol. 86, p. 243–263.
- Sugimoto, T., Shibata, T., Yoshikawa, M., 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(5), 270–275.
- Yamasaki, S., Hoshizumi, H. Matsumoto, A. (2016) Growth History of Western to Central Part of Kuju Volcanic Group, Kyushu, Japan; Reconstruction Based on Unspiked K-Ar Ages. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, 61, 519–531.

2018 年～2025 年の 8 年間で別府市内にて発生した入浴中の緊急搬送数の分析～入浴中の体調不良につながるファクターの探求～

別府大学 食物栄養科学研究科
多川優也

別府大学 食物栄養科学科発酵食品学科
二宮ちひろ・清本はな

合同会社元気づくり支援研究会
平田芳子

茨城キリスト教大学 生活科学部
田崎ひなた・加藤礼識

【はじめに】

日本において入浴は単なる身体の清拭手段だけでなく、健康維持や文化形成に深く関与する生活習慣である。特に温泉地における公衆浴場は、身体的リラクゼーションをはじめ、地域住民の交流や互助を促進する社会的機能を有している。大分県別府市は日本最大の源泉数を誇り、2,800 箇所¹⁾を超える源泉から毎分 100,000ℓ 以上の温泉が湧出しており、温泉利用が日常生活の一部として定着している地域である。一方で、入浴中の急激な血圧変動や脱水、転倒事故などは高齢者を中心に重篤化する可能性が指摘されている。しかし、温泉都市において長期間にわたり入浴関連救急搬送の実態を体系的に分析した研究は限られている。

2018 年から 2025 年までの 8 年間に別府市消防本部へ寄せられた救急搬送件数は 53,103 件であり、そのうち自宅浴室および公衆浴場における入浴関連搬送は 1,058 件 (1.99%) を占めていた。温泉利用頻度の高い地域において、入浴関連事故がどのような年齢層・時間帯・発生場所で生じ、どの程度重症化しているのかを明らかにすることは、公衆衛生上重要な課題である。

本研究の目的は、別府市消防本部より提供を受けた入浴関連救急搬送データを用いて、発生場所、年代、時間帯、傷病程度および気象条件との関連を分析し、入浴中の体調不良につながる要因を抽出することである。さらに、共同浴場利用者へのアンケート調査を通じて入浴行動および安全意識の実態を把握し、温泉都市における入浴事故予防策の検討を行う。

【方法】

1. 搬送件数データの取得および定義

本研究は後ろ向き観察研究である。入浴関連搬送件数データは別府市消防本部より提供を受けた。対象期間は 2018 年 1 月 1 日から 2025 年 12 月 31 日までの 8 年間とし、月別の入浴関連救急搬送件数を収集した。

入浴関連事例は、救急要請時の発生場所情報に基づき以下の 2 区分に分類した。

① 浴室：自宅内の浴室および脱衣所を含む家庭内入浴環境

② 公衆浴場：温泉施設、共同浴場等の公衆入浴施設

宿泊施設内浴場については件数が限定的であったため、本研究では解析対象から除外した。

収集項目は以下の通りである。

・発生年月・発生場所区分（浴室／公衆浴場）・年代区分・傷病程度・覚知時間等
個人を特定できる情報は含まれていない匿名化データを使用した。

2. 共同浴場利用者へのアンケート調査

本研究では、入浴行動および安全意識の実態を把握するため、別府市内の共同浴場（鉄輪すじ湯、浜脇温泉、浜脇温泉ユートピア、不老線、海門寺温泉、亀陽泉）および一部宿泊施設利用者(鉄輪エリア)を対象に質問紙調査を実施した。調査期間は 2025 年 12 月から 2026 年 2 月までとした。調査は無記名・自記式質問紙により実施し、入浴後の利用者に対して無作為に配布した。有効回答数は 385 名であった。

調査項目は全 12 項目であり、以下の内容を含む。

- 1) 温泉の健康効果に対する認識
- 2) 入浴前後の健康状態確認の有無
- 3) 入浴中のヒートショック様症状の経験
- 4) 飲酒後入浴の経験
- 5) 転倒・溺水未遂の経験
- 6) 火傷・脱水症状の経験
- 7) 入浴時の周囲への周知の有無
- 8) 水分補給の実施状況
- 9) 入浴時間
- 10) 好みの湯温
- 11) 1 日の入浴回数
- 12) 自由記述（ヒヤリ・ハット事例）

「好みの湯温」の設問設計については、別府市観光・産業部温泉課への照会に基づき、同市における一般的な指標である「ぬる湯（41～42℃）」「あつ湯（44℃）」を採用した。別府市の温泉は全国標準と比較して高温であるという地域特性を有しており、施設間の差異はあるものの、本研究では同課の見解を基準とした。本調査は匿名で実施し、個人を特定できる情報は収集していない。

【結果】

1. 入浴関連搬送件数の発生状況

2018 年から 2025 年までの 8 年間における別府市の総救急搬送件数は 53,103 件であった。そのうち、自宅浴室および公衆浴場における入浴関連搬送件数は 1,058 件であり、全救急搬送件数の 1.99%を占めていた（表 1）。

表 1 全搬送件数と入浴に関する搬送件数の比較

年	全搬送件数% (人)	公衆浴場	浴室	総計
2018	100% (6,327)	1.03% (65)	0.98% (62)	2.23% (141)
2019	100% (6,396)	1.08% (69)	0.67% (43)	1.97% (126)
2020	100% (5,827)	1.12% (65)	1.03% (60)	2.28% (133)
2021	100% (5,820)	0.74% (43)	1.17% (68)	2.01% (117)
2022	100% (6,700)	1.09% (73)	0.98% (66)	2.33% (156)
2023	100% (7,147)	0.98% (70)	0.90% (64)	2.18% (156)
2024	100% (7,546)	1.18% (89)	0.98% (74)	2.16% (163)
2025	100% (7,340)	1.21% (89)	0.79% (58)	2% (147)
総計	100% (53,103)	1.06% (563)	0.93% (495)	1.99% (1,058)

2018 年～2025 年までの 8 年間の別府市消防本部に寄せられた救急搬送件数は 53,103 件、入浴に関する搬送件数は 1,058 件で救急需要全体の 1.99%を占めていた。

発生場所別の内訳は、公衆浴場 563 件（1.06%）、自宅浴室 495 件（0.93%）であり、全期間を通じて公衆浴場における搬送件数がやや多い傾向を示した。年次推移をみると、2018 年から 2020 年にかけては公衆浴場での発生割合が自宅浴室を上回っていた。2021 年には公衆浴場が 0.74%へ低下する一方、自宅浴室は 1.17%へ上昇し、調査期間中で唯一、発生割合の逆転が認められた。その後 2022 年以降は再び公衆浴場での割合が増加し、2024 年（1.18%）および 2025 年（1.21%）では期間中の最高水準を示した。

以上より、別府市における入浴関連搬送は全救急需要の約 2%を占め、公衆浴場での発生が比較的高水準で推移していることが明らかとなった。

2. 年代別搬送状況

2018 年から 2025 年までの 8 年間における入浴関連搬送件数 1,058 件の年代別内訳を表 2 に示す。

表 2 8 年間の入浴に関する搬送者数の年代別内訳

	公衆浴場 (件)	浴室 (件)	総計 (件)
10 歳未満	20	18	38
10 代	10	9	19
20 代	24	17	41
30 代	13	9	22
40 代	21	17	38
50 代	30	24	54
60 代	78	44	122
70 代	191	127	318
80 代	149	177	326
90 代以上	27	53	80
総計	563	495	1058

搬送件数は 80 代が 326 件と最も多く、次いで 70 代 318 件、60 代 122 件の順であった。

70 代以上は合計 724 件であり、全体の 68.4%を占めていた。

発生場所別にみると、公衆浴場（563 件）では 70 代が 191 件、80 代 149 件、60 代 78 件の順であった。一方、自宅浴室（495 件）では 80 代 177 件、70 代 127 件、90 代以上 53 件の順であり、特に 80 代以上では自宅浴室での発生が多い傾向が認められた。

70 歳以上と 70 歳未満で搬送割合を比較すると、70 歳以上が 724 件（68.4%）、70 歳未満が 334 件（31.6%）であり、高齢者層に搬送が有意に集中していた（ χ^2 検定、 $p < 0.001$ ）。

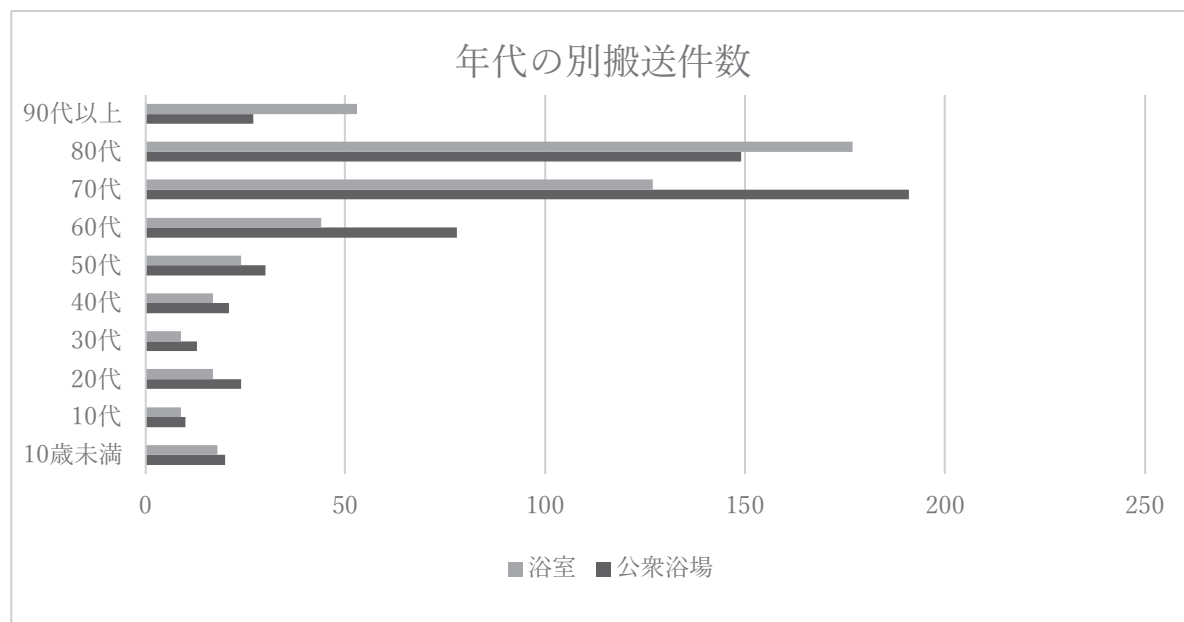


図 1 8 年間の入浴に関する搬送者数の年代別内訳

2018 年から 2025 年までの 8 年間における、入浴に関する年代別の搬送者数内訳（表 2）を分析した。総計 1,058 件のうち、搬送件数が多い順に、80 代 326 件、70 代 318 件、60 代 122 件、90 代以上 80 件、50 代 54 件、20 代 41 件、10 歳未満および 40 代各 38 件、30 代 22 件、10 代 19 件であった。全体の約 7 割（724 件、68.4%）が 70 代以上の高齢者で占められていた。

発生場所別に見ると、公衆浴場（総計 563 件）では 70 代が 191 件と突出して多く、次いで 80 代 149 件、60 代 78 件の順であった。一方、自宅等の浴室（総計 495 件）では 80 代が 177 件と最も多く、次いで 70 代 127 件、90 代以上 53 件と続いた。

場所別の年代構成を比較すると、10 代未満から 70 代までの幅広い世代において、自宅浴室よりも公衆浴場からの搬送件数が上回る傾向が確認された（図 1）。特に 70 代以下では公衆浴場での発生が目立つ一方、80 代および 90 代以上の超高齢層においては、自宅浴室からの搬送件数が公衆浴場を大きく上回るという逆転現象が示された。なお、全期間を通じて 10 代および 30 代の搬送件数は他年代と比較して少ない水準で推移した。

2. 傷病程度と発生場所の関連

入浴関連搬送 1,058 件のうち、発生場所別の傷病程度を比較した（図 2・図 3）。

浴室における死亡者数は 76 件（15.4％）であり、公衆浴場の 40 件（7.1％）と比較して高い割合を示した。死亡率を両群で比較した結果、有意差が認められた（ $\chi^2=18.31$, $df=1$, $p<0.001$ ）。また、中等症以上（入院を要する状態）の割合は、浴室では 308 件（62.2％）、公衆浴場では 208 件（36.9％）であり、浴室で有意に高かった（ $\chi^2=68.42$, $df=1$, $p<0.001$ ）。

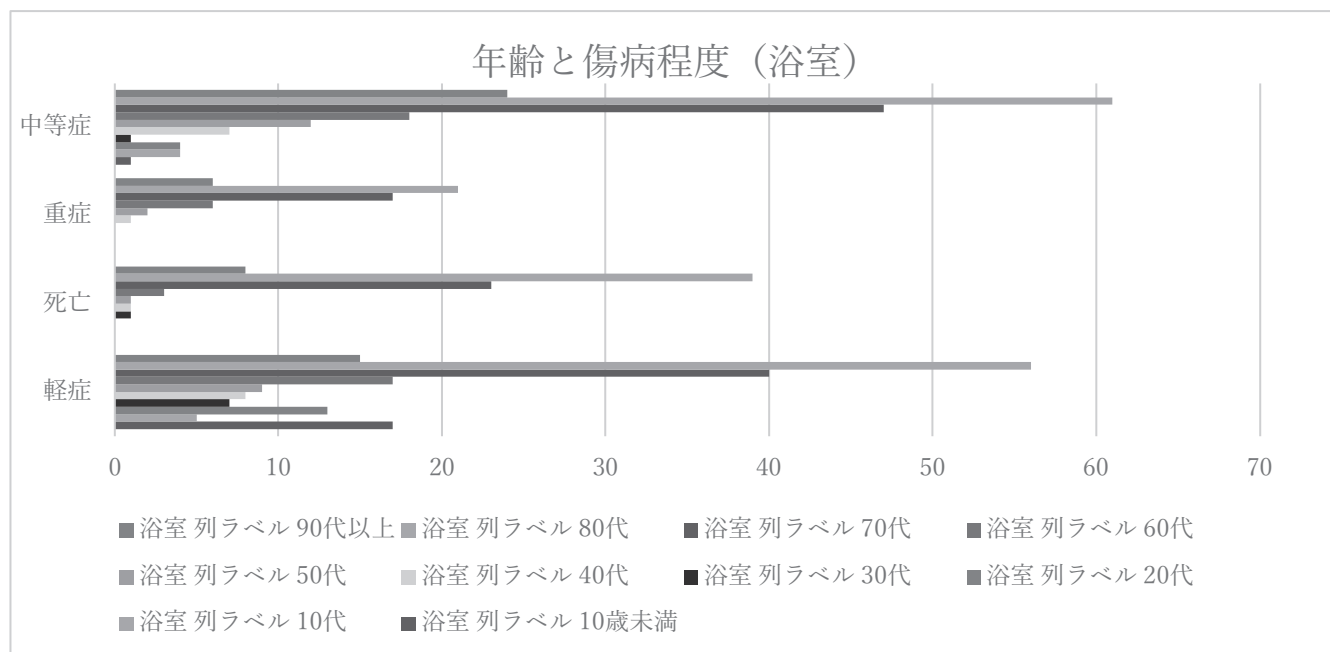


図2 年齢と傷病程度（浴室）

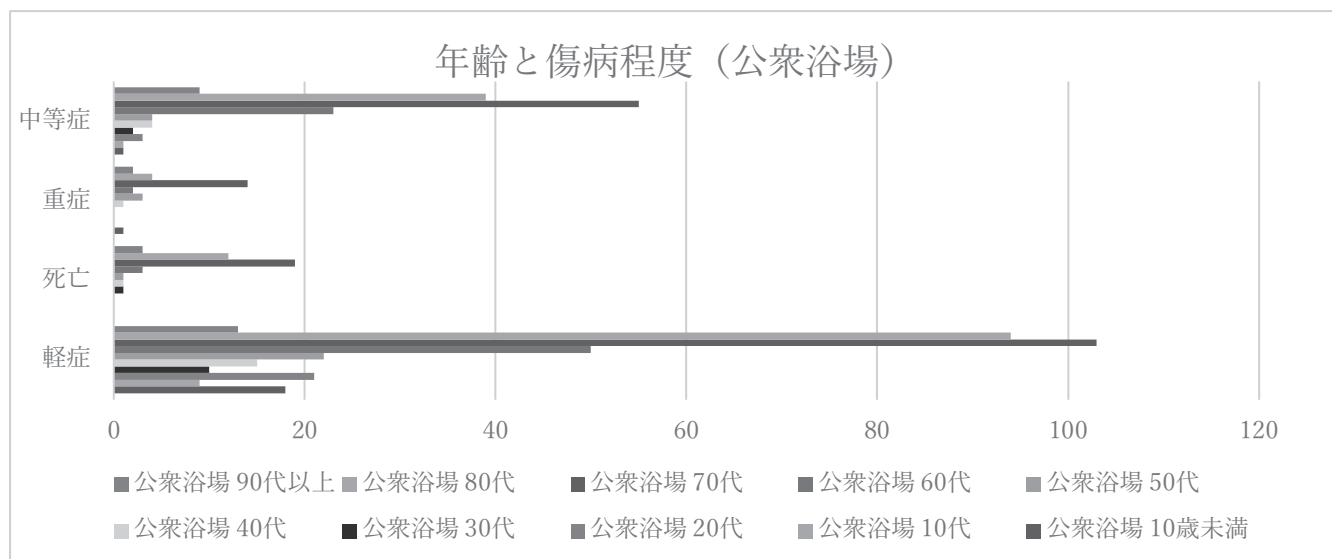


図3 年齢と傷病程度（公衆浴場）

年齢層別にみると、70代以上の搬送は浴室で 357 件（72.1％）、公衆浴場で 367 件（65.2％）を占めており、いずれの場所においても高齢者に重症例が集中していた。

特に 80 代は、浴室で 177 件と最多であり、死亡例も 39 件と全年代で最も多かった。これらの結果より、自宅浴室における入浴関連事故は、公衆浴場と比較して重症化および死

亡に至る割合が有意に高いことが示された。

4. 覚知時間と発生場所

入浴関連搬送 1,058 件について、覚知時間別に発生場所を比較した（図 4）。

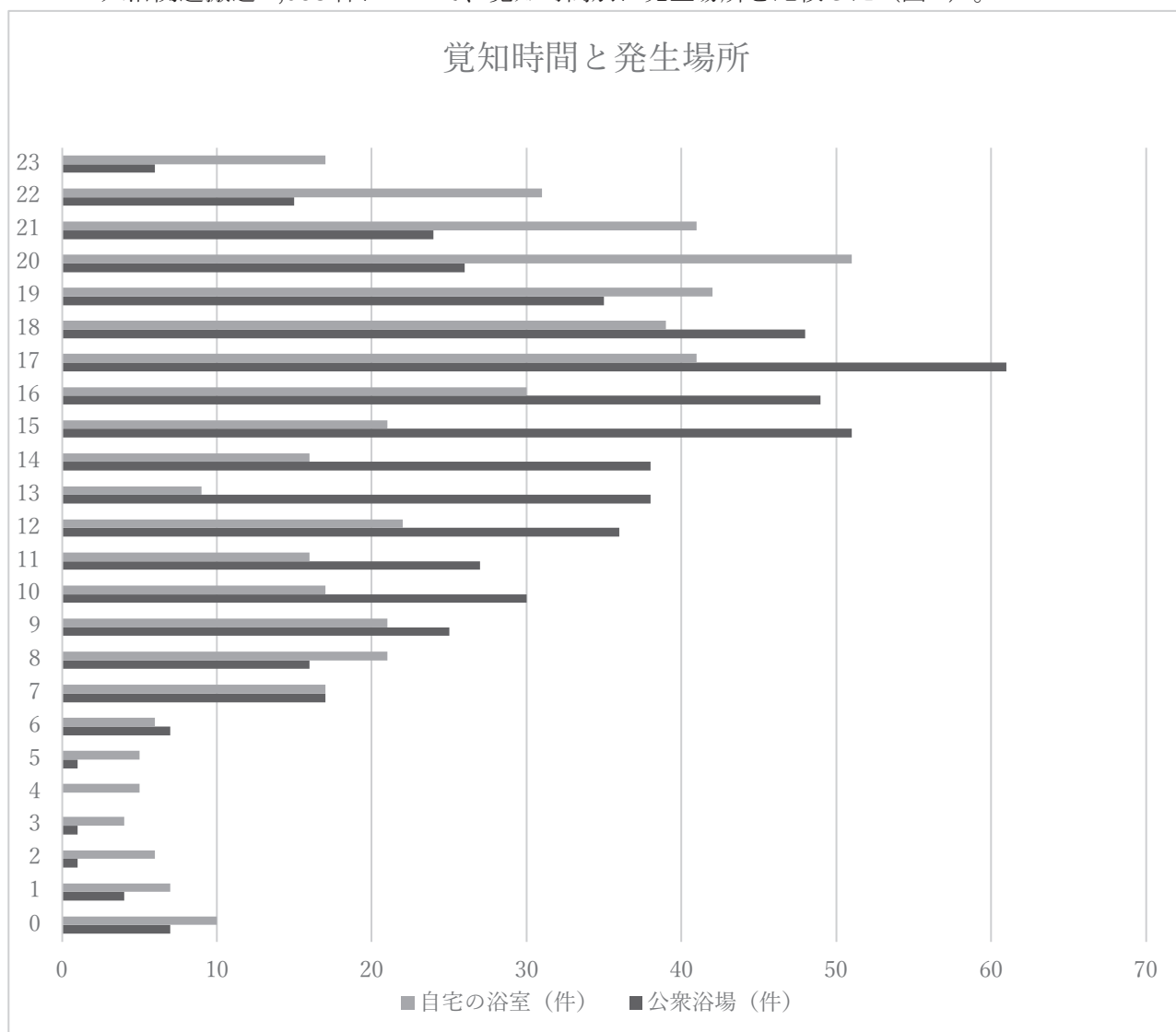


図 4 8 年間の入浴に関する搬送者数の覚知時間と発生場所

公衆浴場における搬送件数は午前 7 時頃から増加し、午前 10 時から午後 16 時にかけて高い水準で推移した。特に午後 17 時に 61 件と最大のピークを示し、日中から夕刻にかけて発生が集中していた。一方、深夜帯（0～5 時）の発生は少数であった。

これに対し、自宅浴室での搬送は午後 15 時以降に増加し、午後 20 時に 51 件とピークを示した。公衆浴場のピークより約 3 時間遅れており、夕食後から就寝前にかけての家庭内入浴行動が反映されていると考えられた。また、午後 21 時以降も件数は一定数認められ、午前 0 時台にも発生が確認された。

日中（7～18 時）は公衆浴場での搬送が自宅浴室を上回る一方、19 時以降は自宅浴室での発生が上回る傾向が認められ、時間帯による発生場所の逆転現象が確認された。

5. 公衆浴場関連搬送の地域差

別府市消防本部管内のエリア別に、8年間の全救急搬送件数に対する公衆浴場関連搬送件数の割合を算出した（図5）。

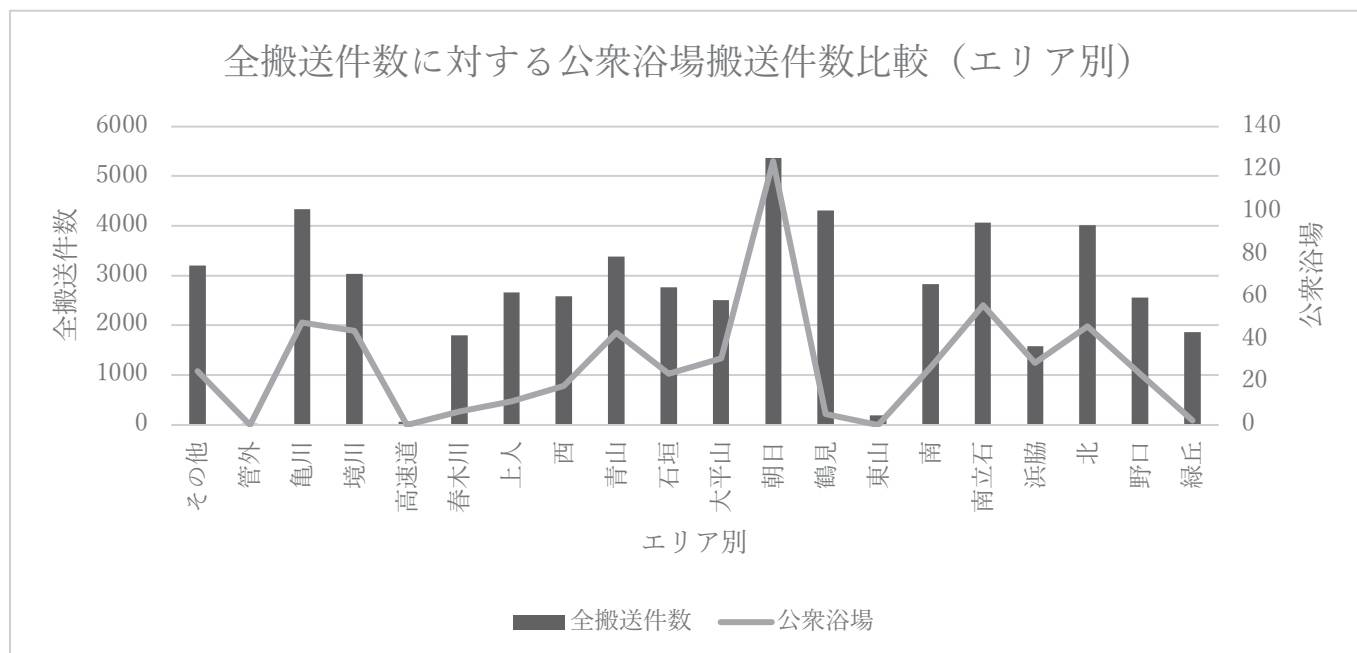


図5 8年間の全搬送件数に対する公衆浴場搬送件数比較（エリア別）

全搬送件数が最も多かったのは「朝日」（5,367 件）であり、次いで「亀川」（4,337 件）、「鶴見」（4,304 件）の順であった。公衆浴場における搬送件数も「朝日」が 124 件と最多であり、「南立石」（56 件）、「亀川」（48 件）が続いた。

全搬送件数に占める公衆浴場搬送の割合を算出した結果、1%を上回ったエリアは8地区であった。最も高かったのは「朝日」（2.31%）であり、「浜脇」（1.84%）、「境川」（1.45%）、「南立石」（1.38%）、「青山」（1.27%）、「大平山」（1.24%）、「北」（1.15%）、「亀川」（1.11%）の順であった。

一方、「鶴見」は全搬送件数が 4,304 件と多いにもかかわらず、公衆浴場関連搬送は 5 件（0.12%）と低水準であった。また、「緑丘」も 0.11%と低値を示した。さらに「管外」「高速道」「東山」では公衆浴場関連搬送は認められなかった。

以上より、公衆浴場関連搬送は特定エリアに偏在する傾向が認められた。

7. アンケート調査結果

有効回答 385 名の内訳は、男性 177 名（46.0%）、女性 208 名（54.0%）であった。年代構成は 20 代および 50 代が各 78 名（20.3%）と最も多く、次いで 60 代 52 名（13.5%）、30 代 48 名（12.5%）、40 代 42 名（10.9%）、70 代 41 名（10.6%）であった。高齢層（70 代以上）は合計 66 名（17.1%）であり、搬送データで高齢者が多数を占めた結果とは対照的であった。

(1) 温泉の健康効果に対する認識

「温泉は健康に良い」と回答した者は 383 名（99.5%）であり、利用者のほぼ全員が温泉の健康効果を肯定的に認識していた。

(1)温泉は健康・体に良いと思いますか？

385 件の回答

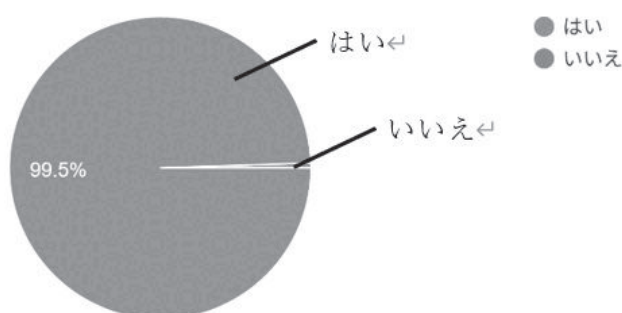


図6 温泉は健康・体に良いか

(2) 健康状態確認行動

入浴前後に健康状態を確認していると回答した者は 265 名（68.8%）であった。一方で 120 名（31.2%）は確認していなかった。

年代別にみると、70 代以上では健康確認を行う割合が有意に高い傾向が認められた（ χ^2 検定, $p<0.05$ ）。これは高齢者のリスク認識の高さを反映している可能性がある。

(2)入浴前自らの健康状態や入浴中の健康状態変化を確認していますか？

385 件の回答

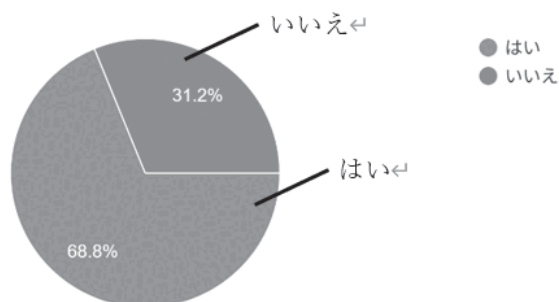


図7 入浴時の健康状態変化の確認

3) ヒートショック様症状の経験

59 名（15.3%）がヒートショック様症状を経験していた。特に 60 代以上で経験率が高い傾向がみられた（ $p<0.05$ ）。この結果は、搬送データで高齢層の割合が高かったことと整合する。

(3)入浴時にヒートショック（血圧の急変動）を感じたことはありますか？

385 件の回答

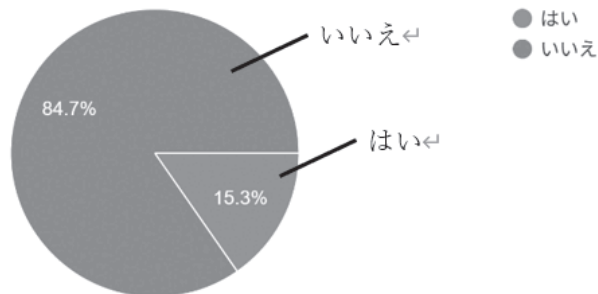


図8 入浴中のヒートショック

(4) 飲酒後入浴の経験

飲酒後入浴経験者は 151 名（39.2%）であり、約 4 割に達した。飲酒経験者はヒートショック様症状を経験している割合が有意に高かった（ χ^2 検定, $p < 0.05$ ）。飲酒は“血管拡張、脳貧血を起こす可能性”²⁾や“平衡感覚を失って転倒したり居眠りをしておぼれる”³⁾可能性、アルコールの利尿作用による脱水症状を引き起こすこともある。

(4)飲酒をして入浴したことはありますか？

385 件の回答

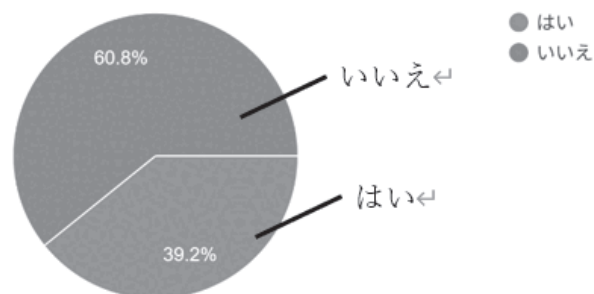


図9 飲酒をしての入浴経験

(5) 転倒・溺水未遂

転倒または溺れそうになった経験は 66 名（17.1%）回答者の約 6 人に 1 人が入浴中に生命の危険や身体的損傷に繋がる局面を経験していることが明らかとなった。

特に、前述の搬送データにおいて高齢者の重症化率が高いことを鑑みると、これら 17.1%のヒヤリハット経験が、環境要因や身体機能の低下によって、容易に重大事故へと進展する可能性は極めて高い。

(5)入浴時に転倒や溺れそうになったことはありますか？

385 件の回答

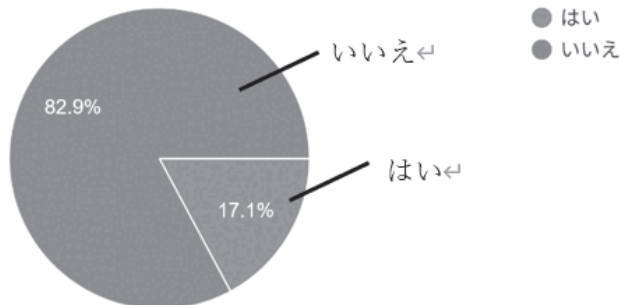


図 10 入浴時の転倒等

(6)火傷・脱水経験

「入浴時に火傷や脱水症状の経験がある」と回答した者も 66 名（17.1%）に達した。入浴という日常動作が、物理的な衝撃（転倒・溺水）と生理的な負荷（火傷・脱水）の両面で危険を孕んでいることを示唆している。

(6)入浴時に火傷や脱水症状の経験はありますか？

385 件の回答

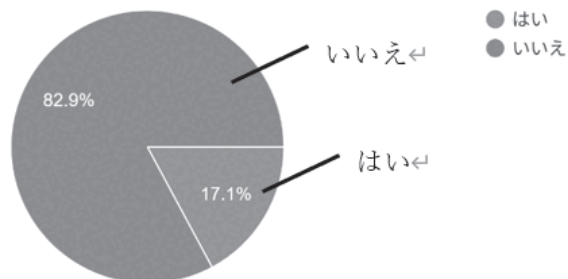


図 12 入浴の周知

(7) 入浴時の周知行動

図 12、図 13 では入浴を家族等へ知らせている者は 186 名（48.3%）であり、過半数（51.7%）は周知していなかった。搬送データにおいて自宅浴室で死亡率が有意に高かった結果を踏まえると、単独入浴のリスクが示唆される。

「入浴することを家族や周囲の人にあらかじめ知らせているか」という問いに対し、年代別に詳しく見ると、以下の特徴的な傾向が認められた。

- **若年・壮年層の傾向:** 20 代（74.4%）、30 代（66.7%）、40 代（52.4%）では「いいえ」が半数以上を占め、入浴の周知を習慣化していない傾向が強い。
- **高齢層の傾向:** アンケートでは 50 代以降は「はい」と回答する割合が上昇し、70 代（68.3%）、80 代（72.7%）と、高齢層ほど周囲へ知らせている。

(7)入浴する際はあらかじめ、入浴することを家族や周囲の人に知らせていますか？
385 件の回答

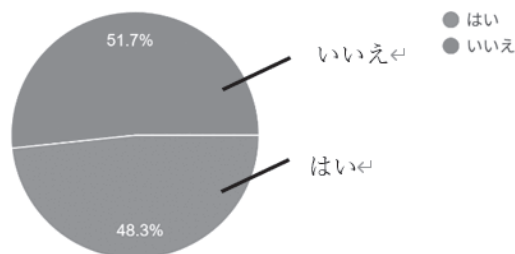


図 12 入浴の周知

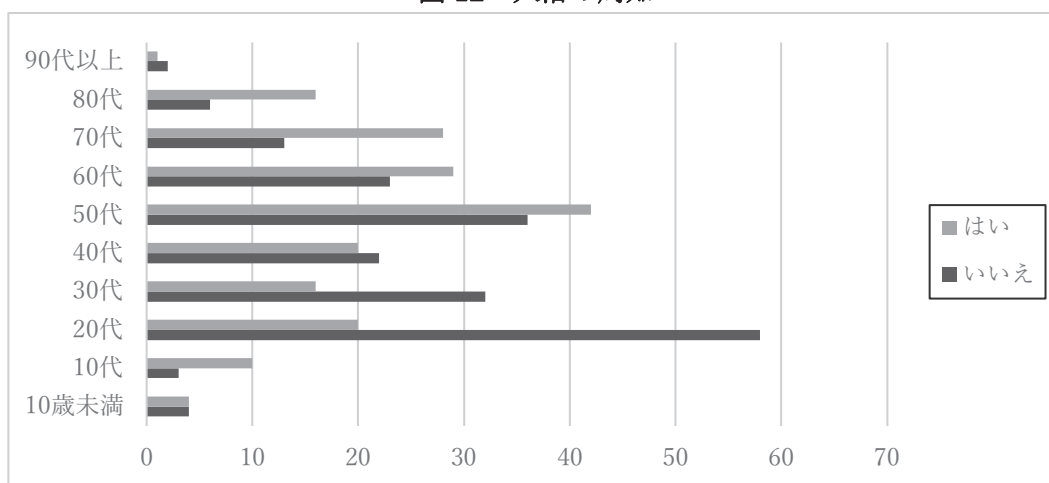


図 13 年代別の回答

(8) 水分補給行動

入浴前後に水分補給を行う者は 179 名 (46.5%) であったが、21 名 (5.5%) は水分補給を行っていなかった。水分補給未実施群ではヒートショック様症状経験率が高い傾向が認められた ($p<0.05$)。

(8)入浴時に十分な水分補給を行うなどの脱水症状対策をしていますか？
385 件の回答

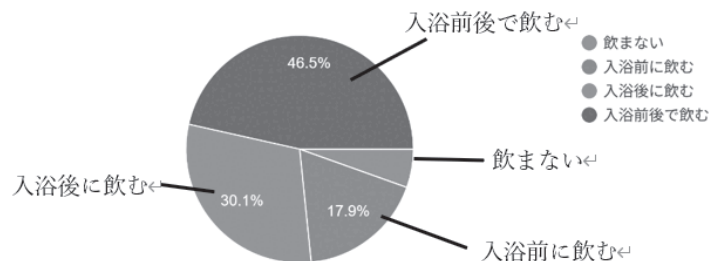


図 13 入浴前の水分補給

表 3 では入浴時の脱水症状対策としての水分補給行動について、年齢階層別に比較した。全体 385 名のうち、最も多かった行動は「入浴前後で飲む」(179 名、46.5%)であり、全年齢層において広く実施されていた。次いで「入浴後に飲む」(116 名、30.1%)

が多く、特に 10 歳未満、10 代、および高齢層（70 代以上）で高い割合を示した。

一方、「飲まない」と回答した者は 21 名（5.5%）と少数であった。この年代は入浴前後の水分補給が不十分である可能性があり、脱水リスクが相対的に高い層と考えられる。また、「入浴前に飲む」のみを選択した者は 69 名（17.9%）で、中年層（40～60 代）に多い傾向がみられた。

以上より、年齢によって水分補給行動には明確な差が認められ、若年層および高齢層では「入浴後のみ」の行動が多い一方、働き盛り世代では「水分を摂らない」者が一定数存在することが示された。特に高齢者は脱水リスクが高いことから、入浴前の水分補給を促す必要性が示唆される。

表 3 居住地別の入浴時の水分補給のタイミング

水分補給のタイミング	市外居住者 (n=224)	市内居住者 (n=161)	傾向の差
入浴前後に飲む	50.00%	41.60%	市外の方が積極的
入浴後に飲む	26.80%	34.80%	市内の方が「後だけ」が多い
入浴前に飲む	18.30%	17.40%	ほぼ同等
飲まない	4.90%	6.20%	市内の方がやや高い

(9) 入浴時間

入浴時間は 20 分未満が 322 名（83.7%）であり、長時間入浴は少数であった。

(9)普段、浴槽につかる時間はどの位ですか？（目安でかまいません）

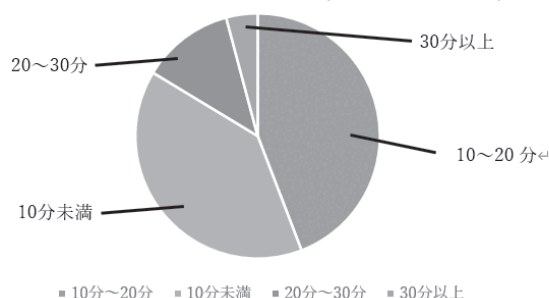


図 14 入浴時間

(10) 好みの湯温

湯温は「ぬる湯（41～42℃）」を好む者が 67.8%を占めたが、32.2%は「あつ湯（44℃前後）」を好んでいた。あつ湯選好群ではヒートショック様症状経験率が高い傾向が認められた（ $p<0.05$ ）。

(10)好みの湯温について教えてください ※別府市内の温泉は普通よりも熱い
385 件の回答

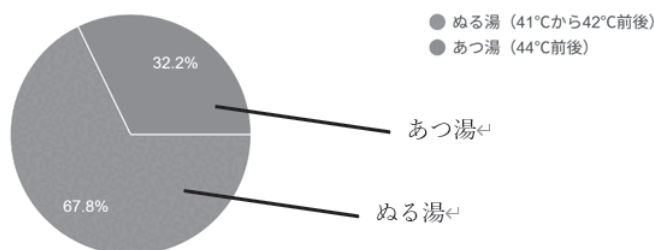


図 15 好みの湯温

(11) 1 日の入浴回数

1 日あたりの入浴回数については、「1 回」と回答した者が 304 名（79.0%）と最も多く、全体の約 8 割を占めた。次いで「2 回」が 57 名（14.8%）、「3 回」が 14 名（3.6%）、「4 回以上」が 5 名（1.3%）であった。一方、「0 回（入浴しない）」と回答した者は 5 名（1.3%）であった。

2 回以上入浴する群（以下、多回入浴群）は合計 76 名（19.7%）であった。

また、多回入浴群ではヒートショック様症状の経験率がやや高い傾向が認められたが、統計的有意差は認められなかった（ $p>0.05$ ）。一方で、多回入浴群は水分補給を実施している割合が高い傾向を示し、一定の安全意識を有していることも示唆された。

以上より、入浴回数自体が直接的なリスク因子であるとは断定できないものの、高頻度入浴は体温変動や循環動態に影響を与える可能性があり、特に高齢者層では慎重な対応が必要であると考えられた。

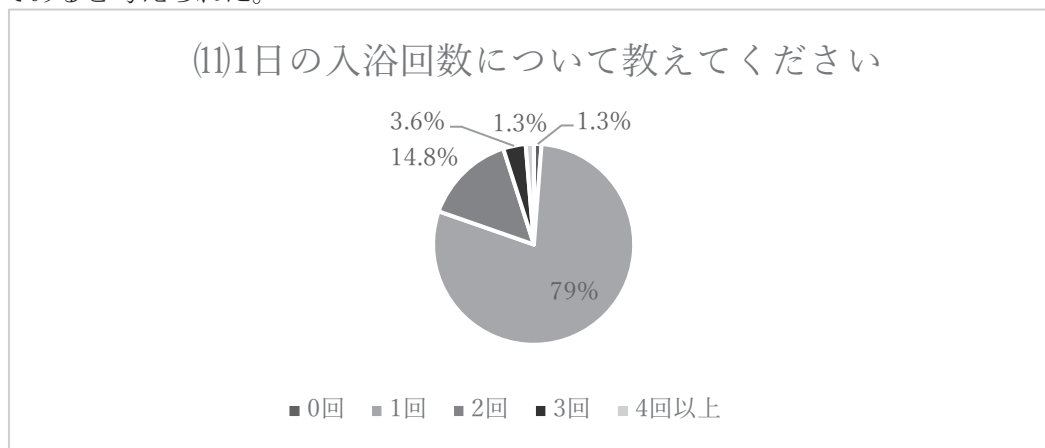


図 16 入浴回数

(12) 自由記述

アンケートの自由記述欄から得られたヒヤリ・ハット事例を分析した結果、リスク要因は「身体的要因」「環境・設備的要因」「入浴行動・習慣的要因」の 3 つのカテゴリーに大別された。

1. 身体的要因による一過性の体調不良

最も多く報告されたのは、入浴中および入浴直後の“立ちくらみ”や“眩暈（めまい）”であった。特に、長湯の後や浴槽から急に立ち上がった際の発症が目立つ。

- 意識障害: 深刻な事例として、入浴中に意識を消失し、前方に転倒して浴槽のふちで顔面（唇）を強打したケースが報告された。また、浴槽内での居眠り・うたた寝も全世代で見られ、溺水に繋がりがかねない危険性が示唆された。

- 特定の身体状態: 空腹時、疲労時、睡眠不足、夜勤明け、および献血後の入浴において、気分不良やのぼせを経験する傾向が確認された。

2. 環境・設備的要因による物理的リスク

浴室内の物理的環境に起因する事故およびその予備軍が多数報告された。

- 転倒リスク: 浴室内の床の滑りが最大の懸念事項として挙げられた。原因としては、石鹸やリンスの残存、タイルの材質、および足に塗布したクリームなどが指摘されている。中には転倒により浴室の扉を破壊した事例や、高齢の家族が骨折した事例も含まれる。
- 温度管理とヒートショック: 冬季における脱衣所と浴室の温度差に危機感を感じた回答やふらつきが報告された。また、別府特有の要因として、高温すぎる源泉やかけ湯による火傷のリスクも指摘されている。
- バリアフリーの課題: 深すぎる浴槽や手すりの欠如、段差による負傷、自力で浴槽から出られなくなる等の事例が、特に高齢層から報告された。

3. 入浴行動および安全意識

- 入浴後の危険: 濡れた手でドライヤーの電極に触れ感電しかけるなど、浴室外での不注意によるリスクも確認された。
- 自助・共助の取り組み: リスク回避策として、自宅への SOS ボタン設置、浴室のドアを開けて温度差を緩和する工夫、水分補給の徹底が挙げられた。また、共同浴場において住民が観光客に対し、水分補給の推奨や体調不良者への声かけといった「見守り」を行っている実態も昨年度のアンケート同様に回答が確認できた。

【考察】

本研究は、温泉都市・別府市における 8 年間の入浴関連救急搬送 1,058 件を分析し、発生場所、年代、傷病程度、時間帯、および入浴行動との関連を総合的に検討したものである。

まず、本研究の主要所見は以下の 3 点に集約される。

- ① 入浴関連搬送は全救急搬送の約 2% を占める。
- ② 搬送の約 7 割が 70 代以上の高齢者である。
- ③ 自宅浴室では公衆浴場に比べ死亡率および中等症以上の割合が有意に高い。

これらの結果は、入浴が単なる生活行動ではなく、生理的適応能と密接に関連する現象であることを示唆している。

1. 高齢者集中の生理学的背景

高齢者では加齢に伴い血管弾性の低下、自律神経機能の減弱、圧受容体反射の遅延などが生じる。高温浴による末梢血管拡張は急激な血圧変動を引き起こしやすく、特に起立時の脳血流低下は失神や転倒の誘因となる。本研究において 70 代以上が有意に多かったことは、温熱負荷に対する循環調節能の低下を反映していると考えられる。

特に 80 代では死亡例が最多であり、温熱刺激と加齢性循環機能低下との相互作用が重症化に寄与している可能性が高い。

2. 自宅浴室で死亡率が高い理由

本研究では、自宅浴室の死亡率は 15.4% と、公衆浴場 (7.1%) の約 2 倍であった ($p < 0.001$)。この差は、以下の複合的要因によると考えられる。

- 単独入浴による発見遅延
- 脱衣所と浴室の温度差
- 冬季の急激な外気曝露
- 見守り機能の欠如

共同浴場では利用者や番台の在中など他者の存在が早期発見につながる可能性があり、これは温泉地特有の「共助的環境」がリスク緩和に寄与している可能性を示す重要な知見である。

3. 入浴行動とリスク因子

アンケート結果では、

- 約4割が飲酒後入浴経験あり
- 約3割が健康状態確認を行っていない
- 半数以上が入浴を周囲に周知していない
- 約3割が高温浴を好む

といった行動特性が明らかになった。

飲酒後入浴とヒートショック様症状との有意関連は、アルコールによる血管拡張および脱水の影響を反映している可能性がある。温泉都市における「入浴慣れ」は安全意識を低下させる側面も持ち得る。文化的親和性と生理学的リスクとの間の乖離は、予防医学的観点から重要な課題である。

4. 温泉都市という特殊環境

別府市は、観光客のみならず地域住民が共同浴場や自宅の温泉を日常的に利用するという独特の温泉文化を有しており、入浴頻度が極めて高い地域である。本研究は、温泉都市という特殊な気候・文化・生活様式が入浴事故の発生様式に影響を与えている可能性を示した。特に公衆浴場における「見守り効果」は、温泉地における社会的資本の一形態として評価できる。

さらに入浴温度に関しても注意が必要である。今回のアンケートにおいて別府市役所観光・産業部温泉課にて「ぬる湯：41～42℃」「あつ湯：44℃」を目安としている旨の回答を得た。朝日新聞によると浜脇温泉の湯温は熱湯が43度、ぬる湯が40～42度の2層ある⁴⁾。

早坂信哉先生の著書において入浴温度は“「40℃で10分間」、これが究極の入浴法！”と紹介されており、中でも“40℃以上、42度を超えると血液がどろどろになって血栓ができやすくなり心疾患や脳血管障害のリスクも高まるなど体への負担が大きくなります。”⁵⁾と書かれていることから別府市内の温泉ではあつ湯の温度設定をしている場所が多くあるため観光客は勿論、普段から利用している方も注意が必要になる。

5. 予防への示唆

本研究結果から以下が提言される。

- 冬季における脱衣所暖房の徹底
- 単独入浴回避の啓発
- 飲酒後入浴の抑制
- 高齢者への段階的温熱負荷の推奨
- 公衆浴場における声かけ・見守り強化

気候条件と入浴事故の関連を踏まえた季節別予防戦略が求められる。

7. 研究の限界

本研究は後ろ向き観察研究であり、基礎疾患や服薬状況などの臨床詳細を含まない。また、地域差分析において人口規模や浴場数の補正を行っていない。アンケートは横断調査であり因果関係は確定できない。

【結論】

別府市における入浴関連搬送は高齢者に集中し、特に自宅浴室では死亡率が有意に高い。低温環境および日較差増大は発生増加と関連しており、気候生理学的負荷が入浴事故に影響

響を与えている可能性が示された。

温泉都市における入浴事故は、単なる生活事故ではなく、「気候・生理・文化」の交差点に位置する現象である。本研究はその実証的基盤を提示するものである。

【謝辞】

本研究の遂行にあたり、令和 6 年度大分県温泉調査研究会から研究助成を賜り、心より御礼申し上げます。この助成のおかげで研究を実施することができました。また、調査に必要な情報を提供いただいた別府市消防本部様、アンケート調査にご協力いただいた別府市温泉課様をはじめ、各関係機関の皆様に深く感謝申し上げます。さらに、回答を寄せてくださった皆様、場所を貸してくださった施設関係者の皆様のご協力により、データ収集が円滑に進行しました。皆様の温かい支援とサポートに心より感謝申し上げます。

利益相反なし。

【参考文献】 最終閲覧日：2026 年 3 月 8 日 ※4) のみ 2024 年 2 月 9 日最終閲覧

- 1) <https://www.pref.oita.jp/site/onsen/onsen-date.html>
大分県ホームページ 温泉データ 県内温泉の概況
- 2) 最高の入浴法
著：早坂信哉 ISBN978-4-479-78449-4
第 3 章 “つらい症状に効く！不調別の入浴法” P132～133 二日酔い
- 3) 医者が教える小林式お風呂健康法
著：小林弘幸 ISBN978-4-478-10939-7
第 4 章 “もっと楽しく健康に！お風呂タイムを充実させる Q&A” P 110
Q 入浴しないほうが良い人や場合は？
- 4) 熱く！いや、ぬるく！別府温泉の温度巡り論争沸騰中 加藤勝利 朝日新聞デジタル
<https://www.asahi.com/articles/ASM4L4VDGM4LTPJB00G.html>
- 5) 入浴それは、世界一簡単な健康習慣
著：早坂信哉 ISBN978-7762-1424-3
2 章 “医師が見つけた「究極の入浴法」” P42
「40℃で 10 分間」、これが究極の入浴法！

別府市における共同温泉利用者の意識構造分析 —持続可能性を規定する要因の実証研究—

茨城キリスト教大学 生活科学部 食物健康科学科
田崎ひなた

有限会社サンエスメンテナンス

塩見 泰美・三浦 萌香
別府大学 食物栄養科学研究科

多川 優也

同志社大学 文学部 文化史学科

藤内 琉成

別府大学食物栄養科学部 発酵食品学科

永野 衣祝

茨城キリスト教大学 生活科学部 食物健康科学科
加藤 礼識*

Abstract

This study examines the sustainability of community-operated hot springs (kyōdō onsen) in Beppu City, Japan, through an analysis of user perceptions. Although Beppu possesses one of the highest concentrations of hot spring sources in Japan, community baths face challenges such as facility aging, rising maintenance costs, and managerial shortages.

A questionnaire survey of 223 users was conducted to assess usage patterns and attitudes toward fee increases, facility consolidation, tourist acceptance, and crowdfunding. Cross-tabulation and chi-square tests were applied to explore associations between user attributes and sustainability-related attitudes.

The findings indicate that community hot springs function as everyday living infrastructure for many residents. Acceptance of fee increases and tourist access varies significantly according to user characteristics, reflecting differing perceptions of community baths as either locally governed communal assets or broader public resources. Sustainability depends on balancing pricing policy, institutional restructuring, and the introduction of external resources.

1. はじめに

我が国の温泉源泉総数は 27,932 にのぼり、その中でも大分県別府市は 2,291 源泉を有する全国有数の温泉都市である。単一市町村にこれほど多数の源泉が集中している例は稀であり、別府市は量的規模においても温泉資源の集積地として特筆される存在である。

市内各地には観光客向けの大規模温泉施設に加え、地域住民によって維持・管理されてきた共同温泉が多数存在している。これらの共同温泉は、日常的な入浴の場として機能するのみならず、住民相互の交流を支える地域コミュニティの結節点としての役割も担ってきた。すなわち、共同温泉は観光資源であると同時に、地域に根差した生活インフラとしての性格を有している点に特徴がある。

しかし近年、共同温泉を取り巻く環境は大きく変化している。施設の老朽化や維持補修費の増大、燃料費等の上昇に伴う運営コストの増加に加え、管理人の高齢化や担い手不足が顕在化している。これらの課題は、入浴料の改定や施設統廃合といった制度的対応を迫る要因となっている。一方で、共同温泉は長年にわたり地域住民の生活文化と結びついてきた経緯があり、単なる経済合理性のみで整理することは困難である。

さらに、観光都市として発展してきた別府市においては、地域共同温泉を観光客に開放する動きや、維持管理費確保のための新たな財源確保策（クラウドファンディング等）も見られる。しかし、これらの施策は地域住民の理解と合意を前提とするものであり、その受容構造を把握することは制度設計上重要である。

これまで温泉地に関する研究は、泉質や湧出量などの自然科学的側面の分析、観光振興や地域経済効果に関する研究、さらには温泉地経営に関する実務的検討など、多角的に蓄積されてきた。また、共同浴場や地域温泉の運営については、その歴史的形成過程や自治的管理体制に着目した事例研究もみられる。しかしながら、地域共同温泉を生活インフラとして位置づけ、その持続可能性を住民意識の数量的データに基づいて包括的に検討した研究は必ずしも多くない。特に、入浴料改定への受容性や施設統廃合に対する態度、観光客受入れ意識といった制度設計に直結する要素を横断的に分析した実証研究は限定的である。

本研究は、別府市において実施した温泉利用者等 223 名を対象とする意識調査データを用い、地域共同温泉の利用実態および持続可能性に関わる住民意識を分析することを目的とする。具体的には、①利用頻度の実態把握、②入浴料上昇に対する受容意向、③老朽化施設への対応意識、④観光客受入れに対する態度を整理し、共同温泉の持続的運営に向けた政策的示唆を提示する。

本研究は、全国的にも特異な温泉資源集積地である別府市を対象に、共同温泉の社会的管理の在り方を住民意識の観点から実証的に明らかにする点に意義を有する。温泉資源を地域の生活基盤として維持していくための基礎資料として、本稿が今後の議論に資することを期待するものである。

2. 調査方法

2.1 調査概要

本研究では、別府市における地域共同温泉の利用実態および持続可能性に関する住民意識を把握するため、紙媒体によるアンケート調査を実施した。

調査は、別府市内の入浴施設受付窓口において調査票を配布するとともに、別府駅前において研究者が声掛けを行い、協力が得られた者に対して実施した。回答はその場で記入・回収する形式とした。

有効回答数は223件であった。調査対象は、別府市在住者を中心とする温泉利用者および温泉に関心を有する者である。

2.2 調査項目

本調査では、地域共同温泉の利用実態および持続可能性に関わる意識を把握するため、以下の観点から設問を構成した。

(1) 温泉利用実態

- 利用頻度
- 利用温泉の固定性
- 温泉選択基準
- 利用時間帯

(2) 持続可能性に関する意識

- 今後の利用意向
- 入浴料上昇時の対応
- 老朽化施設への対応意
- 源泉数に対する認識
- クラウドファンディングに対する評価
- 観光客受入れに対する態度
- 現行料金水準に対する評価

加えて、自由記述欄を設け、共同温泉に関する意見を収集した。

2.3 分析方法

まず各設問について単純集計を行い、回答割合を算出した。これにより、共同温泉利用の実態および持続可能性に関する意識の全体像を把握した。

次に、回答者属性（年齢、居住地、自宅浴室の有無等）と主要設問（利用頻度、入浴料上昇への対応、老朽化施設への態度、観光客受入れ意識等）との関連を検討するため、クロス集計を実施した。必要に応じてカイ二乗検定を行い、統計的有意性を確認した。

さらに、共同温泉の今後の利用意向を従属変数とし、利用頻度や価格受容性等の要因との関連について探索的分析を行った。

自由記述回答については、記載内容を整理し、主要な論点ごとに分類を行った。

なお、統計解析における有意水準は5%とした。

2.4 倫理的配慮

本調査は匿名で実施し、個人が特定される情報は収集していない。調査の趣旨を説明し、任意参加であることを明示したうえで回答を得た。回答は研究目的のみに使用し、統計的に処理した上で分析を行った。

3. 結果

3.1 回答者属性

本調査の有効回答数は223件であった。回答者の性別は男女いずれも含まれ、特定の性別に大きく偏ることなく回答が得られた。年齢層については若年層から高齢層まで幅広く分布していたが、比較的中高年層の割合が高い傾向がみられた。これは、地域共同温泉が長年にわたり地域住民の生活と密接に関わってきたことを反映している可能性がある。

居住地については、別府市内在住者が多数を占めたが、市外在住者も一定数含まれていた。市外在住者の存在は、共同温泉が地域住民のみならず周辺地域からの利用者にも認知されていることを示唆するものである。

また、自宅浴室の有無については、多くの回答者が自宅に入浴設備を有していた。すなわち、共同温泉の利用は自宅入浴設備の代替ではなく、独自の価値や役割を有している可能性がある。この点は、共同温泉が生活インフラとしてのみならず、文化的・社会的機能を持つことを示唆する重要な結果である。

3.2 共同温泉の利用実態

(1) 利用頻度

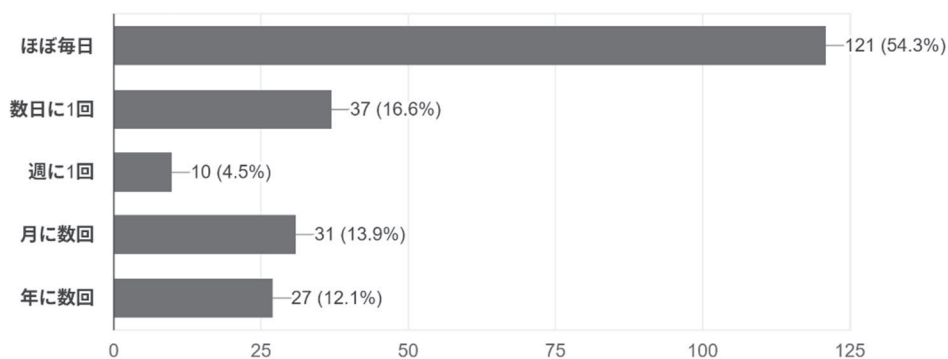
温泉利用頻度に関する回答では、日常的に利用している層が一定割合を占めた。特に「週に複数回」あるいはそれ以上の頻度で利用している回答者が確認され、共同温泉が単なるレクリエーション施設ではなく、生活習慣の一部として組み込まれている実態が示唆された。

一方で、「月に数回」あるいは「それ以下」の利用とする回答も存在し、共同温泉の利用形態は二極化傾向を持つ可能性がある。すなわち、生活インフラとして恒常的に利用する層と、必要に応じて利用する補完的利用層が併存している構造がうかがえる。

このような利用頻度の差異は、価格政策や施設再編が利用者行動に与える影響を検討する上で重要である。高頻度利用者にとっては小幅な料金改定であっても年間負担額は相対的に大きくなるため、価格感応度が異なる可能性がある。

1, 温泉をどのくらい利用していますか？

223件の回答



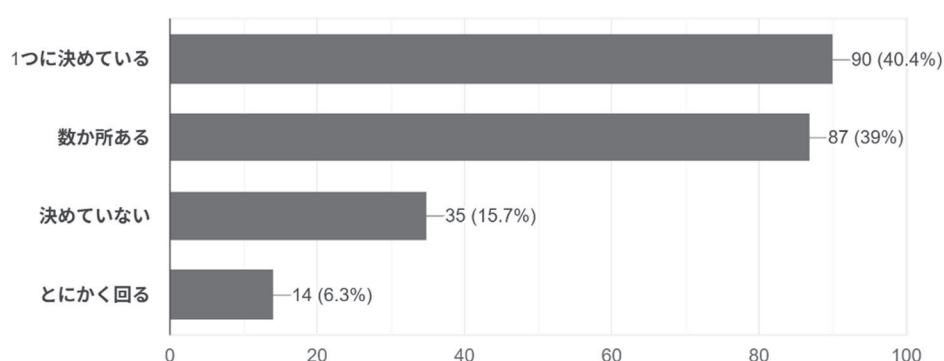
(2) 利用温泉の固定性

利用する温泉が「決まっている」とする回答は、地域との結びつきを示す指標となりうる。特定の温泉を継続的に利用している場合、単なる機能的選択ではなく、地縁的・社会的関係が影響している可能性がある。

共同温泉は組合的運営形態をとる場合が多く、固定的利用は地域共同体への帰属意識や参加意識と関連していることが考えられる。この点は、持続可能性を検討する際に、単なる需要量の問題ではなく、社会的関係資本の存在を考慮する必要性を示唆している。

2、入浴する温泉は決まっていますか？

223 件の回答



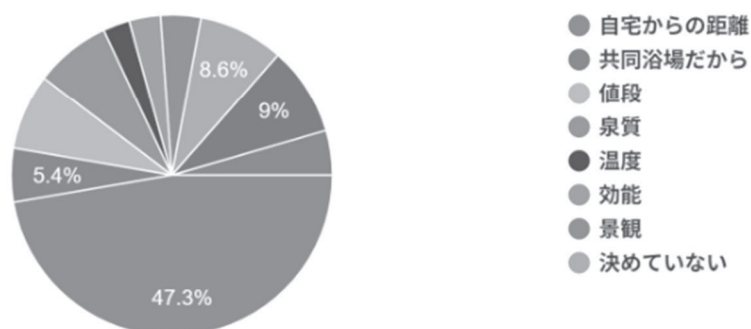
(3) 温泉選択基準

温泉選択基準として挙げられた項目のうち、距離や料金は生活圏内施設としての性格を反映している。一方、泉質や施設の清潔さ、雰囲気といった要素も一定の割合で選択されており、共同温泉が持つ質的側面も利用判断に影響していることが示唆された。

特に距離を重視する傾向は、高齢者層において顕著である可能性があり、施設統廃合が生活動線に与える影響を慎重に検討する必要があることを示している。

3、利用する温泉を選ぶ基準は何ですか？（1つのみ）

222 件の回答



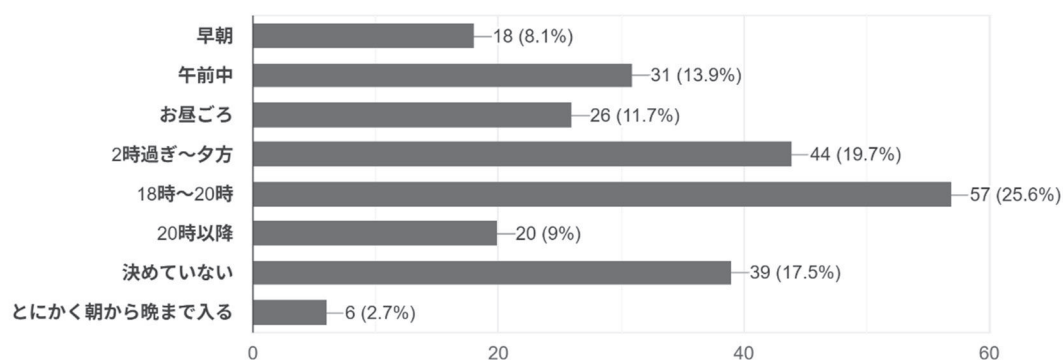
(4) 利用時間帯

利用時間帯に関しては、夕方から夜間の利用が多い傾向がみられ、家庭内入浴との時間的補完関係が推察される。一方で、日中利用層も一定数存在しており、高齢者や自営業従事者など、生活リズムの異なる層の存在がうかがえる。

この結果は、共同温泉が多様な生活スタイルを包摂する施設であることを示している。

4、温泉を利用する時間

223 件の回答



3.3 持続可能性に関する意識

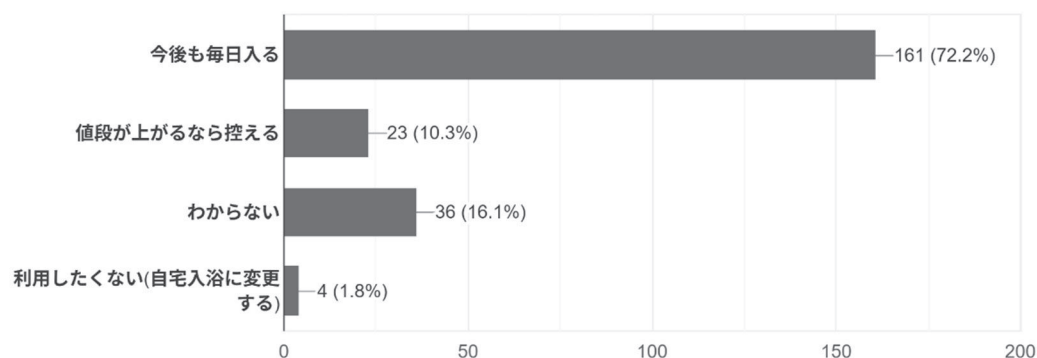
(1) 今後の利用意向

今後も地域の温泉を利用したいとする回答は多数を占め、共同温泉の存続に対する基本的支持は高い水準にあることが確認された。共同温泉は、入浴という日常行為を通じて地域生活に組み込まれており、その継続利用意向は単なるサービス選好を超えた意味を持つ可能性がある。

特に高頻度利用者層では継続意向が強い傾向がみられ、利用実態と存続支持との関連が示唆された。一方で、低頻度利用者層では価格や利便性など条件次第で利用を見直す姿勢も確認された。

5、今後も地域の温泉を利用したいですか？

223 件の回答



(2) 入浴料上昇に対する対応

老朽化施設の更新整備や維持管理費の増加に伴い入浴料が上昇した場合の対応については、「やむを得ない」とする受容的回答と、「利用頻度を減らす」「利用を控える」とする抑制的回答が併存していた。すなわち、価格上昇に対する態度は一律ではなく、一定の幅を持つ構造が確認された。

受容的回答の背景には、施設の安全性確保や設備更新の必要性に対する理解が存在すると考えられる。特に共同温泉を日常的に利用している層では、施設の存続自体を優先する傾向がみられ、価格改定を「維持のための必要負担」として受け止める姿勢が示唆された。高頻度利用者にとっては、温泉が生活習慣の一部となっているため、一定の価格上昇を容認することで継続利用を図ろうとする意識が働いている可能性がある。さらに、利用頻度との関連を検討したところ、高頻度利用者ほど料金上昇を受容する傾向が有意に認められた ($\chi^2(1)=8.21$, $p=0.016$)。すなわち、共同温泉を日常的に利用している層ほど、価格改定を存続のための必要負担として受け止める傾向が確認された。

一方で、利用抑制を示す回答も一定割合で確認された。価格上昇は、共同温泉の利用を選択的行動へと変化させる要因となりうる。特に自宅に入浴設備を有する回答者にとっては、価格上昇時に自宅入浴へと切り替える選択肢が存在するため、価格感応度は相対的に高い可能性がある。また、低頻度利用者にとっては、料金改定が利用継続の判断に直接影響を与える契機となることが示唆される。

さらに、年齢層や生活状況との関連も考えられる。固定的収入に依存する高齢層では、わずかな価格変動であっても家計への影響を重視する傾向がある一方、就労世代では利便性や時間価値を優先する場合もあり、価格受容性には生活条件に応じた差異が存在する可能性がある。

自由記述や料金評価の中には、「シャンプーやボディソープ等の備品がなく、設備が簡素であるにもかかわらず高いと感じる」との意見も確認された。共同温泉の多くは最低限の入浴機能のみを提供する形態をとっており、付加サービスを伴わない場合が多い。そのため、利用者の中には提供されるサービス水準と料金との間に不均衡を感じる層が存在する可能性がある。

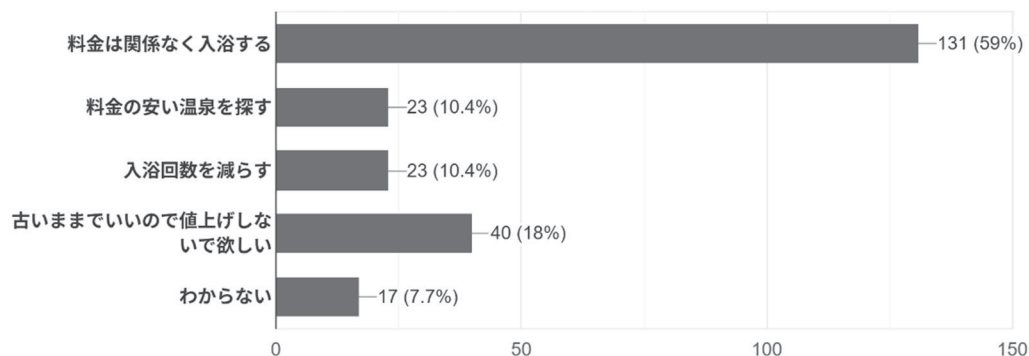
このような認識は、価格の絶対額そのものよりも、「提供価値との相対評価」によって形成されていると考えられる。すなわち、民間入浴施設やスーパー銭湯等と比較した場合、設備や付加サービスが限定的である共同温泉に対して、同水準あるいは近接する料金設定がなされることへの違和感が背景にある可能性がある。

一方で、共同温泉の利用者の中には、設備の簡素さを前提としつつ、泉質や地域性、交流空間としての雰囲気といった非物質的価値を重視する層も存在する。したがって、料金に対する評価は、共同温泉を「機能的入浴施設」として捉えるか、「地域文化資源」あるいは「生活インフラ」として捉えるかによって分かれる構造を持つと推察される。

以上より、入浴料上昇に対する対応意識は、単なる金額の問題ではなく、共同温泉の位置づけに関する認識差を反映する多層的構造を有していることが示唆された。価格政策は財源確保の手段であると同時に、利用者構成や利用行動に影響を及ぼす重要な制度変数であり、持続可能性を検討する上で中心的課題であるといえる。

6、老朽化した施設の更新整備を行うために、費用...として入浴料が上がった場合にはどうしますか？

222 件の回答



(3) 老朽化施設への対応意識

人手不足や管理体制の弱体化により、清掃や維持管理が十分に行き届かない共同温泉が生じている状況に対する意識については、「改善を図り存続させるべき」とする回答と、「統廃合もやむを得ない」とする回答が併存していた。すなわち、老朽化問題に対する対応方針については、住民の間で一定の見解の分岐が確認された。

存続志向を示す回答では、共同温泉が地域の歴史や文化と密接に結びついた存在であるとの認識が背景にあると考えられる。特定の温泉が長年にわたり地域住民の生活を支えてきた経緯を踏まえれば、施設の物理的劣化のみを理由に廃止を選択することへの心理的抵抗が存在する可能性がある。また、高齢者層や高頻度利用者層においては、施設閉鎖が生活動線や交流機会の縮小につながるとの懸念が強いと推察される。

一方で、統廃合を容認する回答では、限られた財源や人員の中で効率的運営を図る必要性が意識されている可能性がある。利用者数の減少や維持管理負担の増大といった現実的課題を踏まえ、機能を集約することが合理的選択であるとする立場である。このような回答は、共同温泉を持続させるためには規模や数の見直しも選択肢となり得るとの認識を反映していると考えられる。

さらに、老朽化施設への対応意識は、利用頻度や居住地との関連が示唆された。高頻度利用者や当該施設周辺居住者では存続志向が相対的に強い一方、利用頻度が低い層では統廃合に対する抵抗が比較的弱い傾向がみられる可能性がある。これは、施設の存在が生活実態にどの程度結びついているかによって評価が分かれることを示唆している。

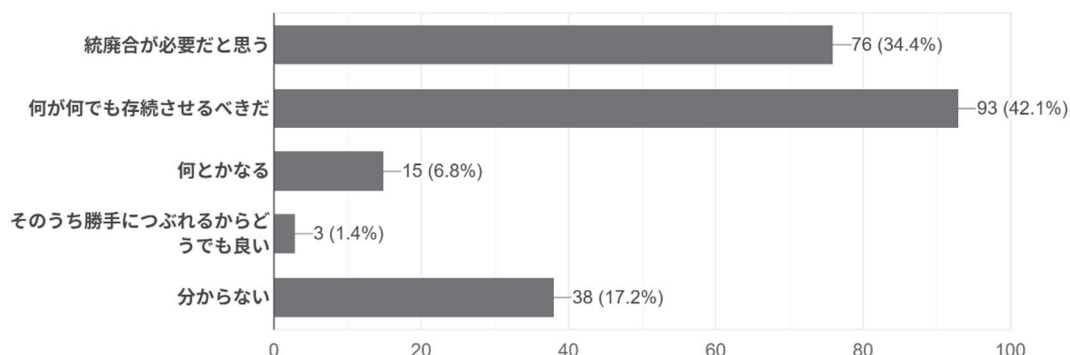
また、老朽化問題は単に施設の物理的更新にとどまらず、管理主体の高齢化や担い手不足という人的要因とも密接に関連している。回答の中には、維持管理の担い手確保の必要性や、地域住民の協力体制強化を求める意見も示唆された。すなわち、老朽化施設への対応は、ハード面の改修のみならず、運営体制そのものの再構築と結びついている課題であるといえる。

このように、老朽化施設への対応意識には、「歴史・文化の継承」と「効率的再編」という二つの価値軸が併存していることが確認された。共同温泉の持続可能性を検討する上では、単に施設数を維持するか否かという二分法ではなく、利用実態や地域特性を踏まえ

た段階的・選択的な再編方策を検討する必要性が示唆される。

7、地域の共同温泉では、人手不足により清掃等の...うな温泉施設はどうするべきだと思いますか？

221 件の回答



(4) クラウドファンディングに対する評価

共同温泉の維持・修復が困難となり、クラウドファンディングを実施する事例があることに対する評価については、肯定的意見と慎重な意見の双方が確認された。

肯定的な回答では、「新たな資金確保手段として有効」「地域外からの支援を得る仕組みとして妥当」といった認識が示唆された。特に、観光都市である別府市においては、外部からの関心や支持を活用することへの一定の理解が存在する可能性がある。クラファンは、単なる資金調達手段にとどまらず、温泉資源の価値を広く発信する契機としても捉えられていると考えられる。

一方で、「本来は地域内で維持すべき」「一時的対応に過ぎない」といった慎重な姿勢も確認された。これは、共同温泉が地域共同体内部の相互扶助的枠組みによって支えられてきたという歴史的背景を反映している可能性がある。外部資金への依存は、共同体内部の責任分担や主体性の在り方に影響を及ぼすとの懸念が存在していると考えられる。

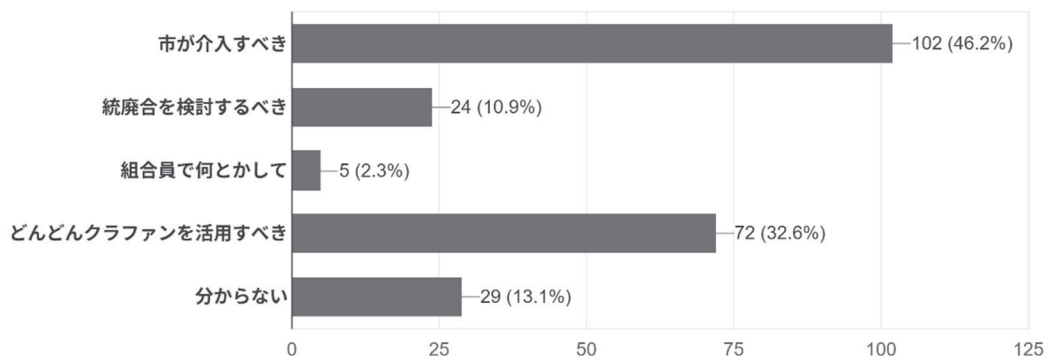
また、クラファンに対する評価は、利用頻度や年齢層との関連が示唆された。高頻度利用者の中には、存続を最優先する観点から資金確保手段として肯定的に捉える傾向がみられる一方で、若年層や低頻度利用者の中には制度的持続性を疑問視する回答も存在した可能性がある。これらの傾向は、共同温泉の維持責任を誰がどのように担うべきかという認識の差異を反映していると考えられる。

さらに、クラファンに対する態度は、観光客受入れ意識とも関連している可能性がある。すなわち、共同温泉をより開放的な公共資源として位置づける立場では、外部支援を受け入れることに比較的肯定的である一方、地域共同体の資産としての側面を重視する立場では、内部資金による維持を志向する傾向が考えられる。

このように、クラウドファンディングに対する評価は単なる資金調達の可否にとどまらず、共同温泉の性格をどのように捉えるかという根本的な認識に関わる問題であることが示唆された。

8、共同温泉の維持・修復が困難で、クラウドファ...している施設があります。どの様に感じますか？

221 件の回答



(5) 観光客受入れとの関係

地域の共同温泉に観光客（組合員以外）が入浴することについては、肯定的評価と慎重な評価の双方が確認された。肯定的な回答では、「地域経済への寄与」「維持管理費の確保につながる可能性」といった経済的合理性が背景にあると考えられる。一方で、慎重あるいは否定的な回答では、「混雑の発生」「利用環境の悪化」「地域住民の利用機会の制約」などへの懸念が示唆された。

この結果は、共同温泉が持つ二重の性格、すなわち「地域住民の生活インフラ」としての側面と、「観光都市を支える資源」としての側面との間に一定の緊張関係が存在することを示している。共同温泉は歴史的に地域共同体の内部資源として管理・運営されてきた経緯を持つが、観光都市別府においては外部来訪者の存在を無視できない現実もある。

観光客受入れに肯定的な層は、共同温泉をより開放的な公共資源として位置づけている可能性がある。すなわち、利用主体を地域内に限定せず、広く社会的共有資源として再定義する立場である。この立場では、観光客の利用は単なる収益確保手段にとどまらず、温泉文化の発信や地域ブランドの向上につながると捉えられている可能性がある。

さらに、居住地との関連を検討したところ、別府市外在住者は市内在住者に比べ観光客受入れに肯定的である傾向が有意に認められた ($\chi^2(1)=6.94$, $p=0.031$)。この結果は、共同温泉を地域内部資源として捉える立場と、広域的公共資源として捉える立場との認識差を反映している可能性がある。すなわち、市内在住者は日常的利用環境の維持を重視する傾向が強い一方、市外在住者は共同温泉を観光的・公共的資源として評価する傾向が相対的に強いことが示唆される。

一方で、慎重な立場では、共同温泉の本質は地域住民による自主管理にあるとする認識が前提となっていると考えられる。組合員を中心とした利用秩序や相互扶助の慣行が維持されてきた背景を踏まえると、外部利用者の増加は運営負担やルールの変容を招くとの懸念が生じる。このような認識は、共同温泉を「地域共同体の共有財」として捉える視点に基づくものである。

また、観光客受入れに対する態度は、利用頻度との関連も示唆された。高頻度利用者にとっては、日常的利用環境の維持が優先される傾向がある一方、低頻度利用者や観光的利

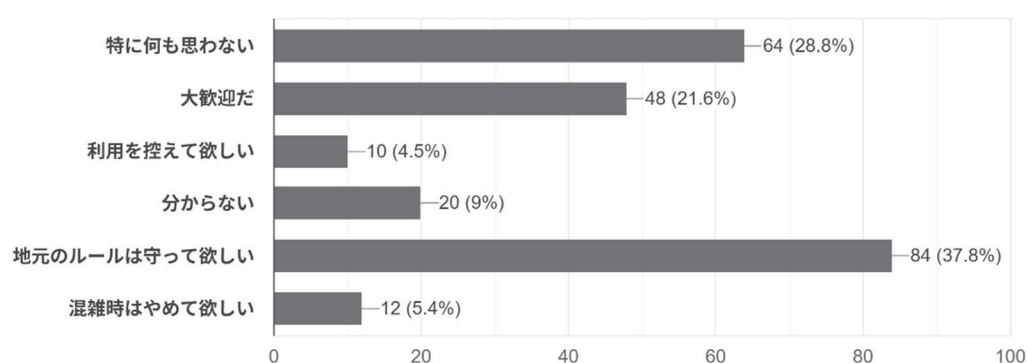
用に近い層では、受入れに比較的肯定的な姿勢がみられる可能性がある。この点は、共同温泉の機能を「生活機能」として重視するか、「観光機能」として重視するかという認識差と関係していると考えられる。

さらに、観光客受入れ意識は、クラウドファンディング評価とも一定の関連が示唆される。外部資金や外部利用者の受入れを肯定的に捉える立場は、共同温泉の公共性を拡張的に解釈する傾向がある一方、地域内部での維持を重視する立場では、外部依存に対する慎重姿勢がみられる可能性がある。すなわち、観光客受入れの可否は単なる利用問題ではなく、共同温泉の制度的性格に関わる選好の表れであると考えられる。

以上より、観光客受入れに対する意識は、共同温泉の持続可能性を巡る制度選択の方向性を示す重要な指標であることが確認された。共同温泉をどの範囲まで公共的資源として開放するかという問題は、財源確保、利用秩序、地域アイデンティティの維持と密接に関わっている。

9. 地域の共同温泉に観光客（組合員以外）が入浴することについてどう思いますか？

222 件の回答



4. 考察

4.1 共同温泉の制度的位置づけ

本研究の結果から、別府市における地域共同温泉は、単なる入浴施設ではなく、「生活インフラ」としての機能を有していることが確認された。高頻度利用者の存在や今後の継続利用意向の高さは、共同温泉が一部住民にとって日常生活の不可欠な要素となっていることを示している。

一方で、観光客受入れやクラウドファンディングに対する意識の分岐は、共同温泉が地域共同体内部の資源にとどまらず、観光都市別府を支える公共的資源として再評価されつつある状況を示唆している。すなわち、共同温泉は「地域内部の共有財」と「広域的公共資源」という二重的性格を併せ持つ制度的存在である。

この二重性は、持続可能性を巡る議論において価値判断の分岐を生じさせる要因となっている。

4.2 価格受容性の構造と価値評価の分岐

入浴料上昇への対応において確認された受容的態度と抑制的態度の併存は、共同温泉の

価値認識が一樣ではないことを示している。特に、「シャンプー等の備品がなく設備が簡素であるにもかかわらず高いと感じる」という意見は、価格評価が物的サービスとの比較に基づいて形成されていることを明確に示している。

ここには二つの評価軸が存在する。第一は「機能的評価軸」であり、設備水準やサービス内容を基準として価格の妥当性を判断する視点である。第二は「社会的・文化的評価軸」であり、泉質、地域性、交流空間としての役割、歴史的継承といった非物質的価値を含めて価格を評価する視点である。

価格受容性は、これら二つの評価軸のどちらを重視するかによって大きく左右される。機能的評価を重視する層では、簡素な設備に対する料金上昇への抵抗が強まる可能性がある。一方、文化的・社会的価値を重視する層では、価格を地域資源維持の負担として受け止める傾向がみられる。

したがって、価格政策は単なる財政問題ではなく、共同温泉の位置づけをいかに説明し共有するかという合意形成の問題でもある。

4.3 老朽化と再編をめぐる価値軸

老朽化施設への対応意識では、「歴史的継承の維持」と「効率的再編」という二つの価値軸が確認された。共同温泉は長年にわたり地域生活を支えてきた歴史的資産であり、その存続を求める意識は文化的連続性への志向と結びついている。

一方で、利用者減少や人手不足、維持管理費の増大という現実的制約の中では、すべての施設を従来通り維持することが困難となる場合もある。この場合、機能集約や統廃合は合理的選択肢として浮上する。

本研究の結果は、共同温泉の再編問題が単なる施設数の調整ではなく、地域文化の継承と効率性の調整という価値選択の問題であることを示唆している。持続可能性の確保には、利用実態に応じた段階的再編や機能分化といった柔軟な制度設計が求められる。

4.4 外部資源導入と公共性の再構築

クラウドファンディングおよび観光客受入れに対する意識は、共同温泉の公共性をどの範囲まで拡張するかという問題と密接に関係している。外部資金や外部利用者の導入を肯定的に捉える立場は、共同温泉を広域的な公共資源として再定義する方向性を示している。

一方で、地域内部での自主管理や相互扶助を重視する立場では、外部依存への慎重姿勢がみられる。これは、共同温泉が歴史的に地域共同体の内部規範によって維持されてきた制度であることを反映している。

外部資源導入は財源確保の有効な手段となりうるが、同時に利用秩序や運営主体の在り方を変化させる可能性を含む。すなわち、クラウドファンディングは単なる資金調達手段ではなく、共同温泉の制度的枠組みを再構築する契機となりうる制度的選択肢である。

4.5 持続可能性モデルの構造

本研究の結果を総合すると、共同温泉の持続可能性は以下の三軸によって構成されると整理できる。

1. 価格政策（利用者負担の設計）
2. 施設再編（物理的基盤の維持・集約）
3. 外部資源導入（財源および利用主体の拡張）

これらは相互に独立した要素ではなく、相互に関連しながら制度全体を形成している。例えば、価格上昇が困難な場合には外部資金導入が必要となり、外部利用者の増加は再編方針にも影響を与える。

したがって、共同温泉の持続可能性は単一政策によって達成されるものではなく、三軸を統合的に設計することによって確保される構造を持つと考えられる。

5. 結論

本研究は、別府市における地域共同温泉を対象に、紙媒体アンケート調査により得られた温泉利用者等 223 名の回答データを用いて、利用実態および持続可能性に関わる意識構造を明らかにしたものである。

分析の結果、第一に、共同温泉は一部利用者にとって生活インフラとして機能しており、継続利用意向も高い水準にあることが確認された。高頻度利用者の存在は、共同温泉が単なる娯楽施設ではなく、日常生活の中に組み込まれた基盤的施設であることを示している。自宅浴室を有する利用者が多いにもかかわらず継続利用がみられる点は、共同温泉が機能的代替財を超えた社会的・文化的価値を持つ可能性を示唆している。

第二に、入浴料上昇に対する態度は一樣ではなく、受容的立場と抑制的立場が併存していた。価格評価は、設備水準との比較に基づく機能的評価と、地域資源維持への負担としての社会的評価という二つの軸によって形成されている可能性が示唆された。特に、設備の簡素さと料金水準との関係に着目した意見は、価格政策が単なる財源確保手段ではなく、共同温泉の位置づけに対する認識と密接に関わる制度設計上の課題であることを明らかにしている。

第三に、老朽化施設への対応については、歴史的継承や生活動線の維持を重視する存続志向と、効率性や財政的現実を踏まえた再編容認の意見が併存していた。施設再編は単なる数の調整ではなく、地域文化と効率性の調整という価値選択を伴う問題であり、利用実態や地域特性に応じた段階的対応が求められることが示唆された。

第四に、クラウドファンディングおよび観光客受入れに対する意識は、共同温泉の公共性をどの範囲まで拡張するかという制度的課題と密接に関連していた。外部資源導入を肯定的に捉える立場は、共同温泉をより開放的な公共資源として位置づける傾向を示す一方、地域内部での自主管理や相互扶助を重視する立場では慎重姿勢がみられた。すなわち、外部資源導入は財源問題の解決策であると同時に、共同温泉の制度的性格を再構築する選択肢でもある。

以上の結果を総合すると、共同温泉の持続可能性は、①価格政策、②施設再編、③外部資源導入という三つの軸を統合的に設計することによって確保される構造を有すると整理できる。これらは相互に独立した要素ではなく、利用者構成や地域特性との関係の中で相互作用しながら制度全体を形成している。単一施策による解決は困難であり、段階的かつ合意形成を伴う制度設計が求められる。

本研究は、地域共同温泉を生活インフラとして再定位し、その維持に関わる利用者意識

を数量的に示した点に意義を有する。また、価格受容性、再編意識、外部資源導入への態度という三要素を統合的に整理したことは、温泉資源の社会的管理を検討する上での基礎的視座を提供するものである。

一方で、本調査は特定地域における利用者等を対象とした事例分析であり、住民全体を代表するものではない。また、実際の財務状況や利用統計との連関分析は今後の課題として残されている。今後は、運営主体側の視点や経営データを含めた多面的分析を行うことで、より実証的な制度設計論へと発展させる必要がある。

別府市は全国有数の源泉数を有する温泉都市であるが、その豊富な資源は自動的に持続するものではない。物理的資源の存在のみならず、それを支える利用者の理解と制度的工夫が不可欠である。本研究の成果が、地域共同温泉の持続可能な運営に向けた実務的議論および学術的検討の一助となることを期待する。

6. 謝辞

本研究の実施にあたり、アンケート調査にご協力いただいた別府市内の温泉利用者の皆様に心より感謝申し上げます。また、調査票配布および回収にご協力いただいた各入浴施設関係者の皆様に深く御礼申し上げます。

本研究は、多くの地域関係者のご理解とご協力のもとに成り立っております。ここに記して感謝の意を表します。

別府市における地域共同温泉の持続可能性と合意形成構造

— 利用者意識と意思決定過程の分析 —

有限会社サンエスメンテナンス

塩見泰美・三浦萌香

茨城キリスト教大学 生活科学部 食物健康科学科

田崎ひなた

別府大学 食物栄養科学研究科

多川優也

別府大学食物栄養科学部 発酵食品学科

永野衣祝

茨城キリスト教大学 生活科学部 食物健康科学科

加藤礼識（責任著者）

Abstract

This study investigates the sustainability of community-managed bathhouses in Beppu City, focusing on user attitudes and consensus-building processes. Although these bathhouses function as daily social infrastructure supporting health and community interaction, many face declining users, aging facilities, and financial strain. Despite shared awareness of these challenges, fundamental reforms such as fee revisions or operational restructuring are often postponed. A mixed-methods approach was employed, combining a questionnaire survey ($n = 223$), roundtable discussions, and participant observation. Survey results indicate continued high-frequency use and conditional acceptance of measures such as fee increases and municipal support. However, qualitative findings reveal tension within collective decision-making: resistance to external intervention coexists with expectations of governmental assistance. This dual orientation—strong local autonomy alongside reliance on public safety nets—contributes to delayed action. The findings suggest that sustainability depends not only on financial resources but also on governance design, clarity of responsibility, and reduced social costs in consensus formation.

【Ⅰ．目的】

別府市の共同温泉（共同浴場）は、単なる入浴の場ではなく、地域の人びとが日常的に顔を合わせ、声を掛け合い、体調や暮らしの変化に気づくことを通じて、健康づくりや見守り、孤立の予防を支えてきた重要な生活基盤である。

しかし近年、人口の高齢化や単身化、転出入の増加、住宅の内湯化、観光利用との摩擦、施設の老朽化と維持管理費の増大、さらに運営を担う人材の減少などが重なり、多くの共同温泉で入浴者数の減少や財政難、役員や当番のなり手不足が慢性化している。

これらの課題は突然生じたものではなく、早い段階から関係者の間で認識されてきたにもかかわらず、料金改定や改修、運営ルールの見直しといった抜本的な対応は先送りされがちであった。近年はクラウドファンディングによる資金調達も行われているが、短期的な資金確保や応援の可視化には効果がある一方で、利用者基盤の回復や協力行動の拡大といった中長期的な改善には必ずしも結びついていない。

本研究は、「なぜ課題が分かっているにもかかわらず行動に移れないのか」という問いに対し、個別の解決策を提示するのではなく、その背景にある要因を整理し、原因の層から明らかにすることを目的とする。中心に据えるのは、共同温泉の運営に見られる矛盾した心性である。日常的には「外部は口を出すべきではない」という内向きで排他的な規範が働き、外部の知見や支援の導入を抑制する一方で、困難が表面化した局面では「最終的には行政が何とかしてくれる」という依存的な期待が生じる。この二重の心性が、日常の小さな改善や合意の更新を先送りし、対応の遅れを常態化させる要因になっていると仮定する。

その背景には、現状を維持しようとする心理や変化に伴う不利益への回避意識、小規模な組織ゆえの人間関係への配慮、意思決定における権限と責任の境界の曖昧さ、会計や修繕計画といった技術情報の見えにくさ、現在の利用者と将来の維持を重視する支援者との時間的な価値観のずれ、内輪の信頼関係が外部の参加や提案を排除しやすい構造、制度や手続きの負担、過去のトラブル経験が生む防衛的な判断などが重なり合っている可能性がある。本研究は、これらの要因がどの場面で対応を妨げる主要な阻害要因として作用しているのかを検討する。

あわせて本研究では、共同温泉の持続可能性を資金や設備の量だけで捉えるのではなく、「開かれた合意形成」を軸とした運営設計の質から再評価する視角を提示する。意思決定の透明化や参加機会の拡張、権限と責任の可視化、外部の知見や資源を受け入れる制度設計を通じて、信頼と正統性を高め、自発的な協力行動が生まれる条件を整理することで、地域の健康を支えてきた共同温泉を次世代につなぐための運営のあり方を描き出すことを、本研究の目的とする。

【Ⅱ．方法】

1. 研究デザイン

本研究は、別府市の共同温泉において、運営上の課題が認識されながらも対応が先送りされてきた背景を明らかにすることを目的とし、アンケート調査と座談会、参与観察を組み合わせた質的・量的混合研究として実施した。

課題への態度分布や傾向を把握する量的調査と、判断に至る過程や心性的要因を解釈する質的調査を併用することで、「課題は分かっているが行動に移れない」状況の構造的理解を図った。

2. 調査対象・調査方法

2.1 アンケート調査

アンケート調査は、別府市内の共同温泉および市営温泉 5 か所、ならびに別府駅前において実施した。共同温泉や市営温泉の利用者に限らず、駅前では幅広い市民や来訪者も対象とし、運営関係者や常連利用者に偏らない意識の把握を目的とした。

アンケート内容は、以下の項目で構成した。

- 性別・年齢などの基本属性
- 入浴の頻度
- 設備更新のための料金値上げに対する可否
- 料金水準と今後の入浴意向との関係
- 共同温泉の統廃合や維持のための行政介入に対する賛否
- クラウドファンディングに対する賛否

これらの設問により、共同温泉の将来維持に対する意識と、個人として引き受け可能と感じられる負担や関与の範囲を把握した。

2.2 座談会

座談会は、別府市の広報媒体において開催を明示し、一般参加者を公募する形で実施した。特定の温泉関係者に限定せず、利用頻度や立場の異なる参加者が集う場を設定することで、運営課題に対する認識の差異や意見の交錯が生じる過程を把握することを目的とした。座談会では、共同温泉の役割認識、運営上の課題、費用負担や料金改定への考え方、行政や外部資源への距離感などについて自由に意見交換を行い、参加者同士のやりとりを含めて記録した。

2.3 参与観察

あわせて、別府市が実施する共同温泉管理者連絡会に参加し、参与観察を行った。連絡会における議題の設定や発言の傾向、行政と管理者との関係性、合意形成のあり方を観察することで、公式な運営の場における意思決定過程の特徴を把握した。

【Ⅲ．結果】

3.1 アンケート調査結果

本調査では、別府市内の入浴施設受付窓口および別府駅前において紙媒体アンケートを実施し、温泉利用者等 223 名から有効回答を得た。本節では、共同温泉の利用実態および持続可能性に関わる意識を数量的に整理する。

(1) 利用頻度と利用構造

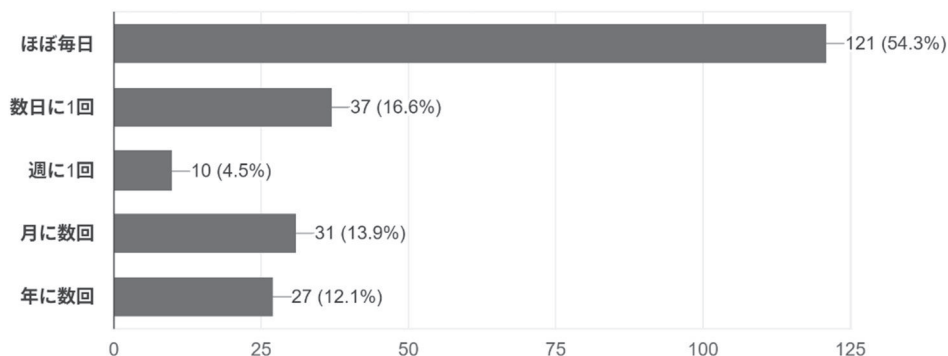
利用頻度に関する設問では、「ほぼ毎日利用」が最多であり、回答者の過半数を占めた。さらに「数日に 1 回利用」を含めると、高頻度利用者層が全体の中心を構成していることが確認された。

この結果は、共同温泉が単なる娯楽施設ではなく、日常生活の一部として機能している利用者層が存在することを示している。自宅浴室を有する回答者が多いにもかかわらず高頻度利用が確認された点は、共同温泉が代替的入浴手段を超えた価値を有している可能性を示唆している。

一方で、「月に数回」「年に数回」といった低頻度利用者も一定数存在した。ただし、これらを直ちに観光目的利用と解釈することはできない。居住地や生活様式、自宅入浴との併用状況などにより、共同温泉を補完的に利用している可能性も考えられる。本調査結果からは、高頻度利用層と低頻度利用層が併存している利用構造が確認されたと整理するにとどめる。

1, 温泉をどのくらい利用していますか？

223 件の回答



(2) 入浴料に対する評価と受容構造

入浴料上昇を仮定した設問では、「料金は関係なく入浴する」との回答が最多であった。この結果は、共同温泉に対する一定の継続利用意向が存在することを示している。

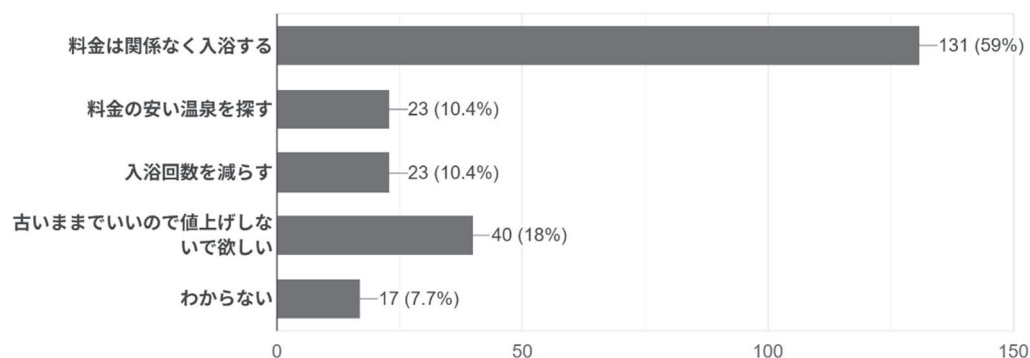
しかしながら、「古いままでよいので値上げしないほしい」「料金の安い温泉を探す」「入浴回数を減らす」といった回答も確認された。価格に対する態度は一律ではなく、複数の対応選択肢が想定されている。

自由記述には、「設備が簡素であるにもかかわらず高いと感じる」との意見がみられた。共同温泉は多くの場合、シャンプー等の備品を設置しない簡素な形態で運営されている。そのため、民間入浴施設との比較において価格評価が形成されている可能性がある。

このことから、価格受容は単純な金額問題ではなく、提供される機能や価値との整合性に基づいて判断されていると考えられる。

2, 老朽化した施設の更新整備を行うために、費用...として入浴料が上がった場合にはどうしますか？

222 件の回答



(3) 公的関与および外部資源導入に対する意識

維持困難な施設への対応としては、「市が介入すべき」との回答が最多であった。これは、共同温泉が純粋に私的な施設としてのみ認識されているのではなく、一定の公共的性格を

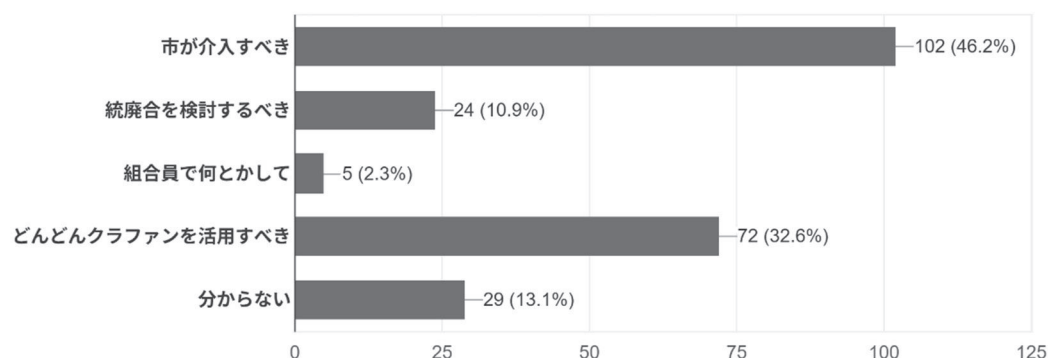
有する資源として理解されている可能性を示している。

また、「クラウドファンディングを活用すべき」とする回答も一定数確認された。一方で、「組合員で何とかすべき」とする回答も存在しており、外部資源導入に対する態度は一方方向ではない。

全体としては、外部資源導入や公的関与を全面的に否定する傾向は強くなく、状況に応じて複数の制度的選択肢を検討し得る意識が存在していると整理できる。

3, 共同温泉の維持・修復が困難で、クラウドファ...している施設があります。どの様に感じますか？

221 件の回答



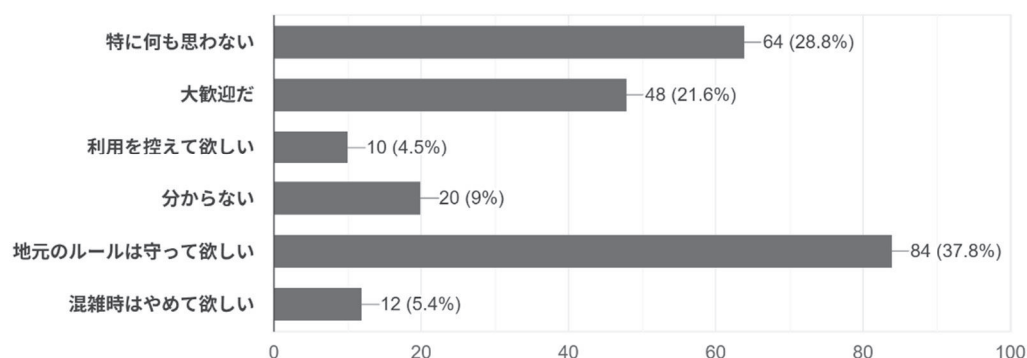
(4) 観光客受入れに対する意識

観光客の入浴については、「地元のルールは守ってほしい」との回答が最も多かった。歓迎意見も一定数存在したが、混雑時の配慮を求める意見もみられた。

この結果は、観光客を全面的に排除する姿勢よりも、利用秩序の維持を前提とした条件付き受容が中心であることを示している。共同温泉が地域生活空間であることを前提として、外部利用をどのように調整するかが意識上の焦点となっている。

4, 地域の共同温泉に観光客（組合員以外）が入浴することについてどう思いますか？

222 件の回答



3.2 座談会および参与観察結果

本研究では、アンケート調査に加え、共同温泉関係者との座談会および運営会議への参与

観察を実施した。本節では、その場で確認された発言内容、議論の展開、ならびに意思決定過程の特徴を整理する。

(1) 危機認識の共有と現状維持志向

座談会では、老朽化、担い手不足、利用者減少といった課題についての危機認識は広く共有されていた。「このままでは続かない」「若い人が入ってこない」「修繕費が重い」といった発言が複数確認された。

すなわち、問題の存在自体が否定されている状況ではない。むしろ、現状に対する不安や将来への懸念は率直に語られていた。

しかし同時に、「これまでも何とかやってきた」「急に変える必要はない」といった発言も散見された。危機認識と現状維持志向が併存している様子が観察された。この点は、後述する意思決定停滞の背景として重要である。

(2) 外部関与に対する拒否的言説と行政期待の併存

座談会において、外部からの助言や制度的関与に関する議論が行われた際、「外野は黙ってほしい」との趣旨の発言が確認された。この発言は、地域外の専門家、行政以外の外部関係者、あるいは調査・提案を行う立場に対する警戒を表すものであった。

このような発言は感情的拒絶として理解するのではなく、共同温泉が長年にわたり地域内部の合意と慣行によって維持されてきた歴史的経緯を背景に捉える必要がある。外部からの提言や制度変更は、既存の運営秩序や人間関係の均衡を変化させる可能性を含むため、慎重な姿勢が示されたと考えられる。

一方で、同じ座談会の中では、「最終的には市が何とかしてくれるのではないか」「行政の支援がなければ難しい」といった発言も確認された。すなわち、外部からの干渉に対しては拒否的態度が示される一方、行政による財政的・制度的支援への期待は明確に存在していた。

一見すると、外部介入を拒みながら公的支援を期待する姿勢は整合的でないようにみえる。しかし、この状況は単純な矛盾として理解するよりも、共同温泉の制度的性格を反映した構造として整理することが適切である。

すなわち、意思決定や運営方針の決定については地域内部の自律性を維持したいという志向が強く存在する一方、財政的リスクや制度的課題への対応については公的支援を前提とする期待も併存している。このことは、「意思決定の主体性は保持したいが、結果として生じる負担や不確実性は分散したい」という二重の志向として整理できる可能性がある。

また、行政は完全な外部主体としてではなく、地域運営に長年関与してきた存在として認識されている可能性がある。外部専門家や民間主体は「外野」として警戒される一方、行政は最終的な安全網として位置づけられていると考えられる。この認識の差異が、外部拒否と行政期待の併存を生み出している可能性がある。

以上より、座談会で確認された発言は、単なる態度の不一致ではなく、「自律性志向」と「公的安全網期待」が同時に存在する構造を示すものである。この構造は、後述する合意形成過程の停滞や制度変更への慎重姿勢と密接に関わっていると考えられる。

(3) 行政依存と自律性の緊張

興味深いことに、外部介入に対して警戒が示される一方で、「市が何とかすべきだ」「行政の支援が必要だ」との発言も確認された。

すなわち、行政への期待は存在するが、その具体的関与の形態については慎重姿勢が強い。外部からの指示や管理は望まないが、財政的支援や制度的後押しは求めるという、複雑な態度がみられた。

この状況は、完全な自律志向でも全面的依存志向でもなく、両者の間で揺れる構造を示している。

(4) 責任所在の曖昧さと決定の先送り

会議の場では、「誰が最終的に決めるのか」「誰が負担を引き受けるのか」といった論点が明確化されないまま議論が循環する場面が確認された。

例えば、値上げの是非を巡る議論では、利用者離れへの懸念が示される一方で、具体的な試算や段階的改定案の提示には至らなかった。クラウドファンディングに関しても、「やるべきかもしれないが、誰が主体となるのか」との疑問が提示され、議論は停滞した。

このように、制度変更の合理性そのものよりも、変更に伴う責任配分や関係性の再編が強く意識されている様子が観察された。

(5) アンケート結果との構造的差異

アンケートでは、公的関与や外部資源導入に対する一定の受容姿勢が確認された。一方、座談会では外部介入に対する拒否的発言が明確に存在した。

この差異は、個人として回答する場面と、共同体の一員として意思決定に参加する場面との間に存在する構造的差異を示唆している。

個人レベルでは、合理的選択肢として制度変更を容認し得る。しかし、集団意思決定の場では、関係性の維持、自律性の保持、責任の回避といった要因が強く作用する。

その結果、制度選択肢の可否以前に、合意形成過程そのものが停滞する状況が生じている可能性がある。

【IV. 考察】

4.1 問題は資金不足だけではない

本研究の結果から明らかになったのは、共同温泉の課題が単なる財源不足や施設老朽化にとどまらないという点である。

アンケートでは、公的関与や外部資源導入に対する一定の受容姿勢が確認された。価格改定についても、全面的拒否ではなく条件付き受容の傾向がみられた。すなわち、制度的選択肢そのものが否定されているわけではない。

一方、座談会では外部関与に対する警戒的言説が確認され、具体的決定は先送りされる傾向が観察された。この差異は、問題の所在が「選択肢の欠如」ではなく、「合意形成の困難性」にあることを示唆している。

4.2 自律性志向と公的安全網期待の併存

座談会で確認された「外野は黙っていてほしい」という発言は、共同温泉運営の自律性を重視する姿勢を象徴している。地域内部での合意と慣行に基づいて維持されてきた歴史的経緯が、この意識を支えていると考えられる。

しかし同時に、「最終的には市が何とかしてくれる」との発言も確認された。これは、行政を完全な外部主体としてではなく、最終的な安全網として位置づける認識が存在している可能性を示す。

この状況は、「意思決定の自律性は保持したいが、財政的リスクは分散したい」という二重の志向として整理できる。外部の専門的助言や制度改革提案は警戒の対象となるが、行政による支援は期待される。この構造は矛盾というよりも、地域運営に内在する心理的緊張を反映している。

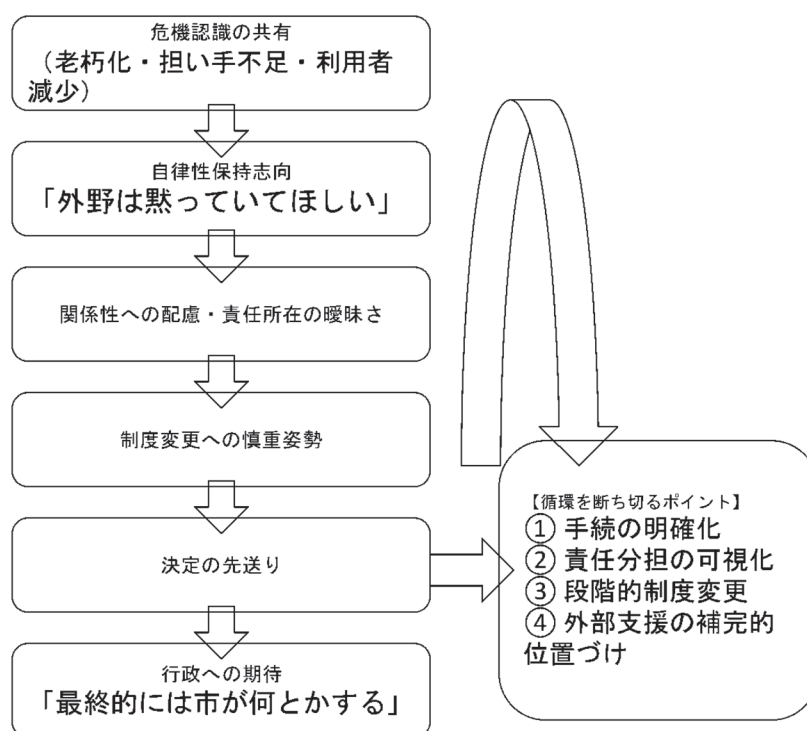
4.3 合意形成コストと決定の先送り

共同温泉は小規模な共同体組織であるため、意思決定は人間関係と密接に結びついている。値上げや統廃合といった決定は、単なる経済合理性の問題ではなく、地域関係の再編を伴う。

そのため、制度変更の合理性が理解されていても、関係性への影響を考慮する中で慎重姿勢が強まる可能性がある。座談会で観察された決定の先送りは、無関心や無理解によるものではなく、関係性維持を優先する結果として生じている可能性がある。

すなわち、共同温泉の持続可能性を阻害しているのは、資源不足そのものよりも、合意形成に伴う心理的・社会的コストである可能性が示唆された。

共同温泉における意思決定停滞の循環構造（循環遮断モデル）



4.4 制度設計への示唆

本研究の結果からは、共同温泉の持続可能性を確保するためには、単に財源を確保するだけでなく、合意形成の仕組みを設計する必要があることが示唆される。

具体的には、

1. 意思決定手続の明確化
2. 責任分担の可視化
3. 段階的制度変更
4. 外部支援の位置づけの整理

が重要であると考えられる。

外部資源導入を一律に推進するのではなく、自律性を尊重しつつ、行政を安全網として位置づける枠組みを明確化することが求められる。

4.5 本研究の意義

本研究は、共同温泉の課題を財政問題としてのみ捉えるのではなく、意識構造および合意形成過程の観点から整理した点に意義を有する。

アンケート結果と座談会観察を対比させることで、表面的な制度選択と実際の意思決定過程との間に存在する構造的差異を明らかにした。

共同温泉の持続可能性は、物理的資源や財源だけでなく、地域内の心理的構造や合意形成様式に依存していることが示唆された。

【V. 結論】

本研究は、別府市における地域共同温泉を対象に、紙媒体アンケート調査により得られた温泉利用者等 223 名の回答データと、座談会および参与観察の記録を用いて、共同温泉の持続可能性に関わる意識構造および意思決定過程の特徴を明らかにしたものである。

アンケート結果からは、共同温泉が一部利用者にとって生活基盤として機能している実態が確認された。高頻度利用者層の存在は、共同温泉が単なる余暇施設ではなく、日常生活の中に組み込まれた基盤的施設であることを示している。また、価格改定、公的関与、外部資源導入といった制度的選択肢に対して、全面的拒否ではなく一定の受容姿勢が確認された点も重要である。少なくとも意識レベルにおいては、持続可能性確保のための複数の選択肢が排除されている状況ではなかった。

一方で、座談会および参与観察の結果は、異なる側面を示した。老朽化や担い手不足に対する危機認識は共有されているにもかかわらず、具体的な制度変更や負担増に関する議論は慎重であり、しばしば決定が先送りされる傾向が確認された。特に、「外野は黙っていてほしい」との発言に象徴される外部関与への警戒は、共同温泉運営の自律性を重視する意識の強さを示している。

しかし同時に、「最終的には行政が何とかしてくれる」との期待も表明されていた。これは、行政を完全な外部主体としてではなく、地域運営の安全網として位置づける認識が存在している可能性を示している。すなわち、本事例においては、自律性志向と公的安全網期待が併存している構造が確認された。

この構造は単純な態度の不整合ではなく、共同温泉という制度の性格を反映したもので

あると考えられる。意思決定の主体性は地域内部に保持したいという志向と、財政的・制度的リスクは分散したいという志向が同時に存在することで、制度変更に対する慎重姿勢が強化されている可能性がある。

したがって、本研究対象地域における課題は、単なる財源不足や制度選択肢の欠如ではなく、合意形成過程に内在する心理的・社会的コストに関わっていると考えられる。値上げ、統廃合、外部資金導入といった選択肢は存在しているが、それらを実行に移すための手続的枠組みや責任分担の明確化が十分でない場合、決定は停滞しやすい。

共同温泉の持続可能性を確保するためには、財源確保策の検討に加えて、以下の点が重要である。

1. 意思決定手続の明確化
2. 責任分担および負担構造の可視化
3. 段階的制度変更によるリスク緩和
4. 外部支援の役割と範囲の明確化

特に、外部支援を「干渉」としてではなく「補完」として位置づける制度設計が求められる。自律性を尊重しつつ、安全網としての公的関与を整理することが、両立可能な枠組みとなり得る。

本研究の意義は、共同温泉の課題を財政問題に還元するのではなく、意識構造および合意形成過程の観点から整理した点にある。アンケート結果と座談会観察を対比することで、個人意識と集団意思決定との間に存在する構造的差異を明らかにした。

もっとも、本研究は特定地域を対象とした事例分析であり、結果の一般化には慎重さが求められる。また、財務データや利用統計との連関分析は十分ではない。今後は、他地域との比較研究や経営実態データの分析を通じて、より包括的な検討を行う必要がある。

別府市は全国有数の源泉数を有する温泉都市である。しかし、物理的資源の豊富さのみで持続可能性が保証されるわけではない。制度的枠組み、合意形成の在り方、そして地域内外の関係性の設計が重要である。本研究の成果が、別府市における地域共同温泉の持続可能な運営に向けた議論の基礎資料となることを期待する。

【VI. 謝辞】

本研究の実施にあたり、アンケート調査および座談会にご協力いただいた別府市内の共同温泉利用者の皆様、ならびに関係者の皆様に心より御礼申し上げます。率直なご意見と貴重なご経験の共有が、本研究の基盤となりました。

また、共同温泉管理者連絡会への参与観察を受け入れてくださった関係各位に深く感謝申し上げます。現場での議論や実践に触れる機会をいただいたことは、本研究にとって大きな意義を持つものでした。

さらに、調査実施および資料整理にご協力いただいた関係機関・関係者の皆様に感謝申し上げます。

本研究は、地域共同温泉の持続可能性を考える一助となることを願って実施したものであり、ご協力いただいたすべての皆様に改めて深謝いたします。

大分平野の 3 次元温泉地質概念モデルの構築

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設
澤山和貴・大沢信二

九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門
松本光央

要旨

令和 6 年度に大分市内の温泉で実施された一斉調査のデータを使用し、3 次元クリギング解析を適用することで、当地域の泉温と化学成分に関する 3 次元的な広がりを見える化することに成功した。得られた結果や地質構造との関連をもとに、当地域の温泉は北西・南西・北東・南東のおおよそ 4 区画に分類できる可能性を考え、これらの特徴をまとめた。

1 はじめに

大分平野を中心に大分市内に広く湧出する温泉は、別府温泉や九重地域の温泉群に代表される浅層の火山性温泉とは異なり、地下深部の厚い堆積層に浸透した間隙水が地殻の熱（地温勾配）によって温められて存在する「深層熱水型温泉（大深度非火山性温泉）」に分類される。こうした非火山性の温泉は、火山性温泉と比較して地層の透水性が低く、熱供給量や地下での貯留量にも限界があると考えられている。大分市周辺の温泉帯水層は、主に大分層群および碩南層群と呼ばれる礫岩、砂岩、泥岩などの堆積層から構成されている。これまでの地質構造やボーリング調査の結果から、透水性の高い礫岩や砂岩の層が温泉水を貯留する帯水層（厚さ最大約 200 m）となり、その上位を覆う泥岩層がキャップロック（不透水層）として機能している水理地質構造が考えられる（森山・日高，1986）。大分市街地における開発は 1960 年代後半から活発化し、現在までに 300 孔を超える源泉が掘削されてきた。この地域の地下には府内断層をはじめとする複数の断層（伏在断層）が存在しており、比較的泉温の高い源泉はこれらの断層破碎帯に沿って線状に分布する傾向がある。湧出する温泉水は、深部で形成された高温・高塩分の熱水が断層の割れ目中を経路として上昇し、浅部の不透水層に遮られて水平方向の堆積層内へ側方流動していくモデルが提案されている（澤山ほか，2023）。このような広範囲の堆積層に浸透する流動メカニズムのため、各坑井の帯水層は断層ネットワークを介して互いに緩やかに繋がっている。その結果、一つの井戸での局所的な大量揚水が引き起こす影響が平野全体に分散されやすく、水位低下や泉温の低下といった枯渇の兆候が直ちには表面化しにくいという、特有の性質を有している可能性がある。開発から 60 年以上が経過した現在、こうした緩やかな影響が徐々に蓄積・顕在化している懸念があり、持続可能な利用に向けた長期的な視点が不可欠となっている。

大分平野では 1960 年代以降、都市化に伴い温泉開発が急速に進展してきたが、吉川・北岡（1981）などの初期の調査研究において、すでに当地域では「源泉間の距離規制に浅層温泉地とは別個の基準を適用する」必要性が強く指摘されていた。環境省のガイドライ

ンにおいても、透水性の低い地層に対する過剰な汲み上げが大深度掘削泉の湧出量や泉質の急激な変化（枯渇）を招く危険性が警告されている。しかしながら、本格的な開発開始からおよそ 60 年が経過した現在に至るまで、大分市の深層熱水型温泉を対象とした具体的な坑井離隔距離の規制は設けられておらず、検証事例も極めて少ないのが実情である。浅層の火山性温泉を対象とした理論（例えば山下，1967）に基づく適正距離を大分平野にそのまま適用することは困難である。近年の簡易的な理論モデルを用いた検討では、大分平野における水位低下の影響範囲は源泉から半径 500 メートルに及ぶ可能性が示唆されている（澤山ほか，2023）。これは、大分市温泉の帯水層が断層を通じて全て繋がっている水理地質モデルを想定しているため、一つの源泉での揚湯の影響が遠くまで及ぶ可能性を示している。澤山ほか（2024）は温泉成分の時空間マッピングを試みたが、同様の 1 次元水理地質モデルを考え源泉深度に関する情報は考慮できていない。他方、澤山ほか（2025）は源泉深度を 3 つにグルーピングして深さによる温泉成分の空間マップの作成を試みたが、異なる時間断面の情報を使った 2 次元解析に留まっていた。

本研究では、令和 6 年度に一齐に調査された同じ時間断面の豊富な分析データを使用し、3 次元クリギング手法を適用することで、温泉化学成分の 3 次元的な広がりを見える化することを目的とした。これにより、地質情報や物理探査情報などの 3 次元分布と温泉化学成分を比較することが可能となり、そのための第一歩として、現状のデータで考察できる当地域温泉の湧出機構について簡単な概念モデルを作成した。

2 解析データ・手法

本研究は、令和 6 年度に大分県が実施した大分市温泉成分分析データを使用させていただいた。この調査では、152 地点の泉温や温泉主要化学成分の現況が調べられており、そのうち位置情報、掘削深度、泉温、塩化物イオン濃度、炭酸水素イオン濃度、メタホウ酸濃度、リチウムイオン濃度を解析対象とした。まずは位置情報をもとに、国土地理院の提供する 10 m メッシュ数値標高モデルから全地点の標高を算出した。得られた結果と掘削深度をもとに海拔標高を算出し、これを鉛直情報として、3 次元クリギングによる空間補間を実施した。クリギングとは、空間データを対象として任意の地点の値を推定する補間法の 1 つであり、推定値を既知の観測データ値の加重平均によって表現する。このとき、空間的連続性を考え、距離に伴う相関性の変化（バリオグラム）から重みを決定することで、測定データの誤差を低減した未知データの空間補間が可能となる。このような特性上、観測点密度や測定精度が低いデータに関しても、誤差や欠測点の影響を低減して空間補間を行うことができる。クリギングのパラメーターについては先行研究（澤山ほか，2025）を参照し、経験的ベイスモデル（Whittle）で一定の半径内の複数データに関してバリオグラムを作成した後、同心楕円状の平滑化を施している。これにより、まばらな観測データから泉温や化学成分の平野部における濃度分布をマッピングし、現在の平野地下に存在する温泉帯水層の三次元分布の可視化を試みた。本研究では、アルカリ型の深層貯留水の寄与を示す HCO_3/Cl 比、深部熱水の寄与を示す Li/Cl 比、深部熱水と海水の流入を切り分ける指標とすることができる B/Cl 比（野田・高橋，1992）に着目した。

3 結果と議論

3.1 泉温分布

温泉分析データの内，泉温データを用いたクリギング解析の結果を図1に示す。府内断層周辺に高温の温泉が胚胎している様子は，先行研究（澤山ほか，2025）とも整合的であった。一方で，等温線の傾向が三波川変成帯の分布と類似していた先行研究の結果とは異なり，南西から北東に向かって温度が高くなる傾向がある。これは南西ほど地表面標高が高く，同じ海拔標高で見たときに深度が相対的に浅くなることを反映していると考えられる。全体的に，どの海拔標高で切り出しても同じような傾向があり，深さ（地質）を反映したアノマリーは検出されなかった。3次元構造を府内断層沿いに切断したスライス面で可視化した結果を図2に示す。3次元で見てみても，水平方向のアノマリーはあるものの，深さ方向には均等な温度構造となっている様子がうかがえる。このことから，当地域の温泉の熱源は，地温勾配に基づく均一な熱流束ではなく，断層近傍に局在化した熱水上昇とその側方流動である可能性が考えられる。

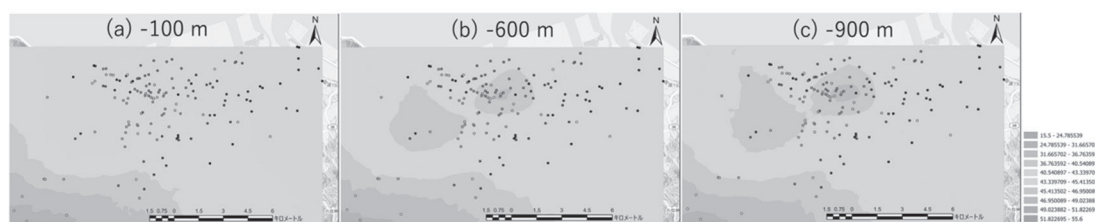


図1：泉温3次元分布を各海拔標高で切り出した結果。

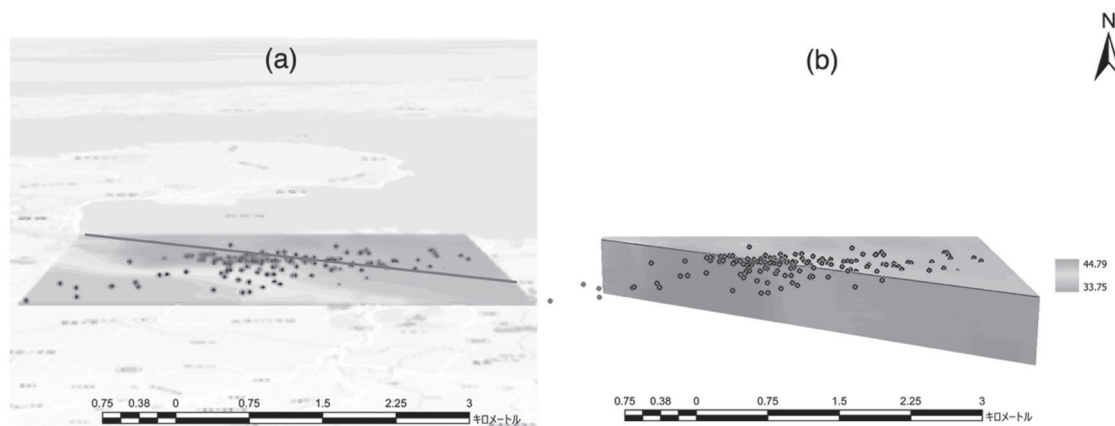


図2：(a) 泉温3次元分布の地表スライス。(b) 泉温3次元分布について，(a)に示す区路線沿いに切った鉛直断面図。

3.2 B/Cl 比

図3は，B/Cl比データをクリギングによって補間した空間マップである。これら2成分は熱水中にいったん溶けると岩石との反応がなくそのまま熱水中に保存される。揮発性

に富む B が分離濃縮するような蒸発加熱を経た熱水の B/Cl 比は 0.1 より大きく、海水の関与する系の B/Cl 比は 0.03 より小さい (Shigeno and Abe, 1983)。北西部から府内断層沿いと南東部 (丹生台地南部) にかけて顕著な B/Cl 比の高異常が見られた一方、北東部の沿岸部と中央部 (鶴崎台地周辺) に顕著な B/Cl 比低異常が確認された。この傾向は先行研究 (澤山ほか, 2025) とも整合的であり、地質構造と関連している可能性を示唆している。3 次元構造を府内断層沿いに切断したスライス面で可視化してみると、これらのアノマリーが深さに関わらず鉛直方向に均質な構造を示す様子が分かる (図 4)。南西部の低異常は古海水由来であることを示している可能性があり、北東部の低異常は現在の海水との混合の可能性が考えられる。

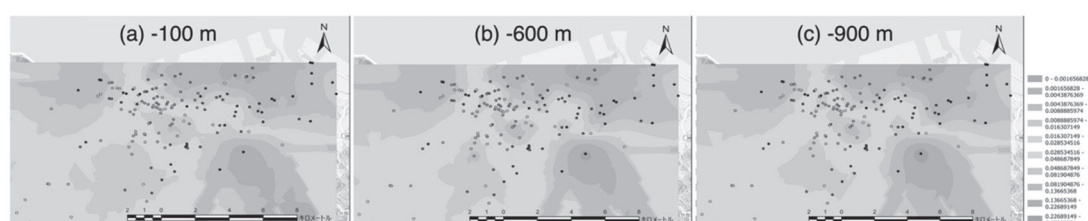


図 3 : B/Cl 比 3 次元分布を各海拔標高で切り出した結果。

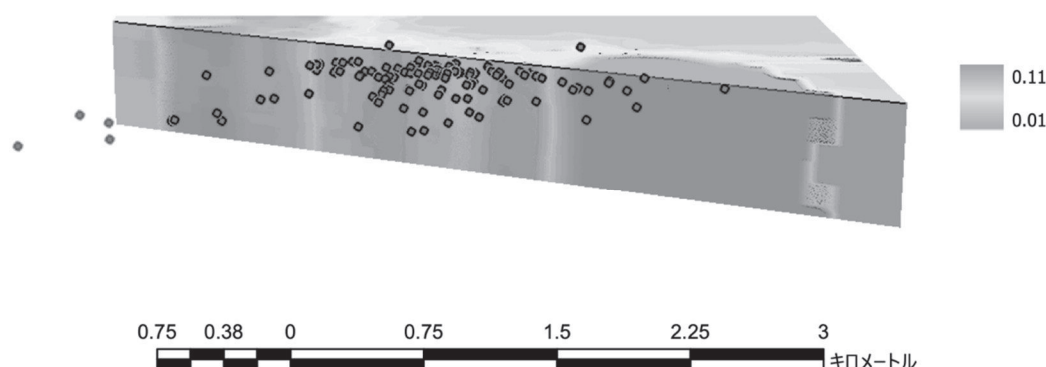


図 4 : B/Cl 比 3 次元分布の鉛直断面スライス。断面測線と姿勢は図 2 と同様。

3.3 HCO₃/Cl 比

同様に、アルカリ型の深層貯留水の寄与を示す HCO₃/Cl 比をクリギング解析した結果を図 5 に示す。B/Cl 比と同様、北西と南東に顕著な高異常が見られ、南西と北東にやや低異常が確認された。北西部と南東部の高異常域を結ぶ線構造は府内断層の走向からはやや外れ、吉川・北岡 (1985) も指摘しているとおり、別府市の朝見川断層の延長線上に位置している。3 次元構造を府内断層沿いに切断したスライス面で可視化してみると、北西と南東の異常は独立して鉛直方向に伸びているようである (図 6)。この傾向 (北西部の高異常域と南東部の高異常域が交わらず大分川のやや東部あたりに両者の境界がある) は澤山ほか (2024) とも整合的である。

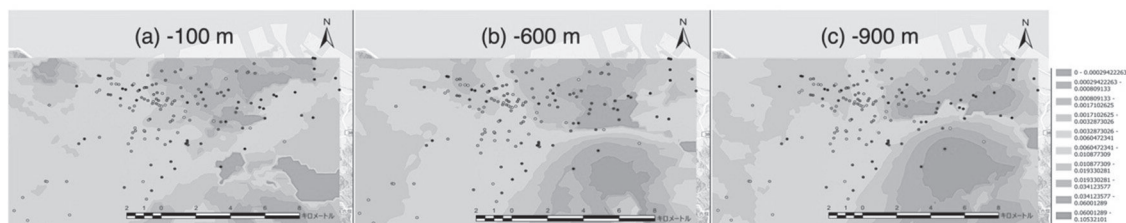


図 5 : HCO_3/Cl 比 3 次元分布を各海拔標高で切り出した結果。

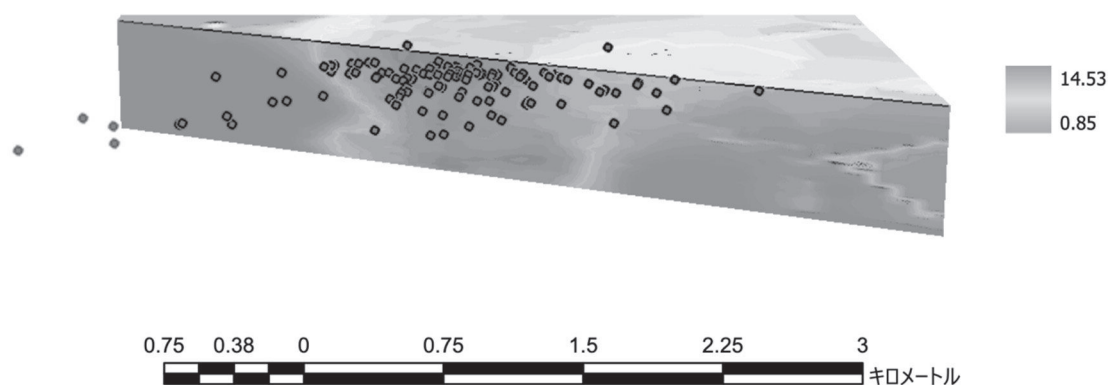


図 6 : HCO_3/Cl 比 3 次元分布の鉛直断面スライス。断面測線と姿勢は図 2 と同様。

3.4 Li/Cl 比

最後に深層熱水の寄与を示す Li/Cl 比をクリギング解析した結果を図 7 に示す。 Li イオン濃度は温泉分析書で検出されていない場合が多く、先行研究では検討されていなかった。本解析の結果、南東部の深部でのみ顕著な高異常が確認されたほか北西部でやや高異常、北東部で低異常が確認された。3 次元構造を府内断層沿いに切断したスライス面で可視化してみると（図 8）、南東部深部に高異常があることが顕著にわかり、中央構造線の方角とも整合的である。これらの傾向から、当地域の高異常は網田ほか（2005）の指摘したプレート脱水由来の有馬型熱水と関係している可能性が高い。

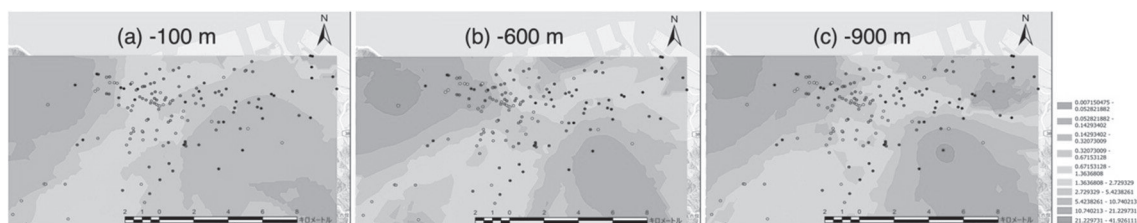


図 7 : Li/Cl 比 3 次元分布を各海拔標高で切り出した結果。

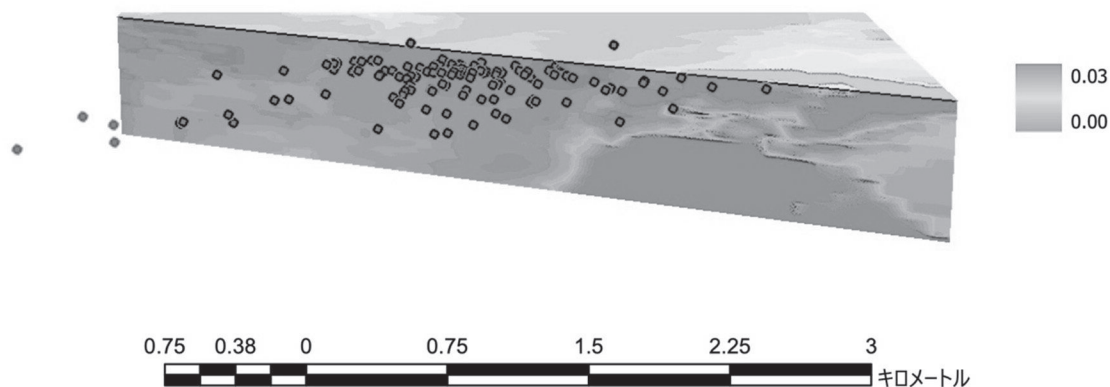


図 8 : Li/Cl 比 3 次元分布の鉛直断面スライス。断面測線と姿勢は図 2 と同様。

4 温泉概念モデル

本研究の結果を統合して考えると、大分市の温泉といえども一概に単純な成層構造を仮定した均質な分布をしているわけではなく、大まかに 4 つの分類ができそうである。本研究では、大雑把に北西・南西・北東・南東部に区画分けをし、その特徴と地質学的な関連をまとめる (図 9)。

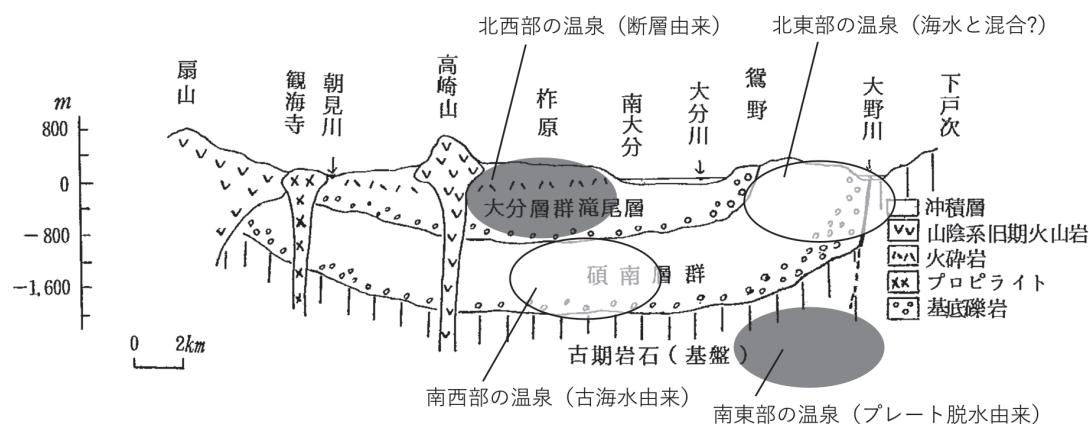


図 9 : 大分平野温泉の地質概念図 (森山・日高, 1985 に一部加筆)。

北西部：大分市の温泉で最も源泉数が多い当地域は、掘削深度が比較的浅くても泉温が高く、 B/Cl 比や HCO_3/Cl 比で見ても深層熱水の寄与の大きい (濃い) 温泉であるといえる。これは、府内断層沿いに沿って比較的深部の熱水が地下浅部に運び込まれ、空隙率の高い堆積層 (大分層群滝尾層) に貯留されていると推察される。

南西部：この地域は B/Cl 比や HCO_3/Cl 比が北西部より低く、断層からも離れていることから、北西部の温泉とはやや成因が異なる可能性がある。特に B/Cl 比が低いことから、古海水由来のいわゆる標準的な「深層熱水」である可能性が高い。すなわち、堆積層 (碩南層群) に貯留された古海水が地温によって長い年月をかけて温められた限りある温泉である可能性がある。そういった面では最も枯渇が懸念される温泉資源であるが、幸い北西

部ほど開発が進んでいない。

北東部：この地域は B/Cl 比や HCO_3/Cl 比が顕著に低く、少なくとも現在は、天水や海水と混合した比較的”薄い”温泉であるように考えられる。澤山ほか（2024）の時系列解析では、 B/Cl 比低異常地域が時間とともに沿岸部から拡大している様子を指摘しているため、本来の温泉成分はもっと濃かったものが、開発によって海水の滲み出しが起きて現在の成分になった可能性も考えられる。

南東部：この地域は B/Cl 比や HCO_3/Cl 比が顕著に高く、 Li/Cl 比も特異的に高い。この地域の温泉は中央構造線由来の三波川変成帯に到達しているため、プレート脱水由来の有馬型熱水と関係している可能性が高い。

5 まとめ

本研究では、令和 6 年度に実施された大分市内の温泉一斉調査データ（152 地点）を活用し、泉温および主要化学成分（ B/Cl 比、 HCO_3/Cl 比、 Li/Cl 比）に対する 3 次元クリギング解析を適用した。その結果、従来の 1 次元あるいは 2 次元的な評価では捉えきれなかった、大分平野地下における温泉帯水層の 3 次元的な広がりや水理構造を可視化することに成功した。解析から得られた温度および各化学成分の空間分布は、単純な深度依存（地温勾配等）による水平成層構造ではなく、深さに関わらず鉛直方向に連続するアノマリーを示した。これは、当地域の温泉が均一な熱流束によって形成されているのではなく、府内断層などの断層破碎帯を経路として深部熱水が局所的に上昇し、その後側方へ流動しているという湧出メカニズムを裏付けるものである。さらに、成分比の空間分布と地質構造の関連を統合し、大分市の深層熱水型温泉を成因や現状の特性が異なる 4 つの区画（北西部・南西部・北東部・南東部）に分類する新たな概念モデルを提示した。この結果は、大分平野の温泉が一繋りの均質な帯水層ではなく、場所によって起源も流動メカニズムも大きく異なることを示している。従って、温泉資源の持続可能な利用を図るためには、平野全体に一律の規制を適用するのではなく、これら 4 つの区画ごとの経年変化を丁寧に調べていく必要がある。今後は、本研究で構築した 3 次元モデルを物理探査データやより詳細な地質構造モデルと統合することで、より定量的な温泉湧出機構概念モデルの構築およびそれを基盤とした数値シミュレーション解析へと発展させることが期待される。

謝辞

本研究のデータ分析のため、大分県から大分市温泉成分分析データおよび温泉台帳をご提供いただきました、ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- 網田和宏・大沢信二・杜建国（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(2), 64–77.
- 吉川恭三・北岡豪一（1981）大分市温泉の現況. *大分県温泉調査研究会報告*, 32, 56–64.
- 吉川恭三・北岡豪一（1985）いわゆる深層熱水型温泉について. *大分県温泉調査研究会報告*,

36, 1–12.

森山善蔵・日高稔 (1986) 大分市温泉の地質. 大分県温泉調府研究会報告, 37, 38–50.

野田徹郎・高橋正明 (1992) 地熱系に關与する起源水の地球化学的分類とその意義. 地球化学, 26(2), 63–82.

澤山和貴・大沢信二・松本光央 (2023) 大分平野における適正な温泉坑井離隔距離に關する理論的検討. 大分県温泉調査研究会報告, 74, 21–29.

澤山和貴・大沢信二・松本光央 (2024) 大分市温泉分析データの時空間マッピング. 大分県温泉調査研究会報告, 75, 37–48.

澤山和貴・大沢信二・松本光央 (2025) 大分市温泉化学成分の地質学的・地球統計学的考察. 大分県温泉調査研究会報告, 76, 35–50.

Shigeno, H., and Abe, K. (1983) B–Cl geochemistry applied to geothermal fluids in Japan, especially as an indicator for deep-rooted hydrothermal systems. Extended Abstracts of 4th International Symp. on Water–Rock interaction, 437–440.

山下幸三郎 (1967) 別府温泉の泉源保護について (I) 別府旧市内温泉群について. 大分県温泉調査研究会報告, 18, 19–24.

サーモン養殖への温泉藻類 RG92 エキスの活用の検討

株式会社 SARABiO 温泉微生物研究所
野畑 重教

要旨

別府温泉で発見された緑藻 *Mucidosphaerium* sp. strain RG92 の抽出エキスをニジマスの仔魚に与え、成長と高温耐性について検討した。ニジマス仔魚の総体重の 7,70 および 700 万分の 1 量の RG92 エキス混合飼料を、ふ化後約 1 カ月半から与え始めた（それぞれ RG92-7,-70 および-700 群）。試験開始当初は RG92-700 群の成長が早かったが、試験開始 2 カ月目以降からは対照群で最も体重が重かった。最低水温が 25℃を上回った 6 月中旬から生存率をみたところ、RG92-700 群で最も高く、対照群が最低であった。成長に関しては評価系に問題が生じたこと、また生存率については分子レベルでの裏付けが必要なことなど、今回の結果については今後のさらなる検証が必要である。

1. はじめに

弊社では別府温泉に生息する微生物の探索をすすめ、2011 年に新種の緑藻 *Mucidosphaerium* sp. strain RG92（以下 RG92）を発見した（Miyata *et al.* 2021）。RG92 の抽出エキ스는高い抗炎症、抗糖化、抗酸化作用を持つことが明らかになり、これらの効能は健康美容分野へと広く応用されてきた（宮田ら 2018; Kaseda *et al.* 2020; Miyata *et al.* 2021）。また RG92 を地域資源として活かす取り組みの中で、大分県が全国 1 位のシェアを持つヒラメ養殖において、RG92 エキスがヒラメの成長を促進し生存率を上げること、またこれらの現象は RG92 エキスによる免疫賦活効果や脂質代謝の向上による可能性があることを明らかにした（野畑 2024）。水産養殖分野では、サーモンの生食需要の拡大にともない、ニジマスをはじめとするサケ科魚類の養殖が盛んに行われている。九州においても「さいき桜サーモン（大分）」などブランド化した養殖サーモンが生産されている。しかしサケ科魚類は高温に弱いためクーラーの設置や養殖期間の制約など解決すべき課題もあり、高成長で高温耐性の種苗の開発はサーモン養殖に大いに貢献できる。弊社で開発した温泉藻類 RG92 エキスはヒラメ、ウナギなどで成長促進や免疫賦活効果が示されており（野畑 2024, 2025b）、またサーモン養殖業者からは「23℃でも元気に生きている！」といった高温耐性の可能性を示唆する報告も受けている。本研究の目的は、RG92 エキスの効果をサーモン養殖で検証することである。

2. 調査方法

2-1 ニジマスの飼育

有限会社児玉養魚場からニジマスの発眼卵 3000 粒を購入して飼育を開始した（2024 年 11 月）。ふ化後浮上した個体が散見される状態になったあたりから、まず類稚魚用 EP クランブル（株式会社科学飼料研究所、群馬）の給餌を開始した。屋外に設置した飼育水槽で飼育を行い、飼育水はろ過フィルターを通して循環させ、水温調節は行わなかった。

2-2 実験群の選別、体重測定

ふ化後約1カ月半(2025年1月21日)に稚魚320尾を80尾ずつの4区画(対照群、RG92-700群、RG92-70群、RG92-7群)に分けた。各区画は大型のザルで作られそれぞれを同一水槽内に浮かべた。実験群の稚魚の平均体重は 0.263 ± 0.003 (対照群)、 0.261 ± 0.004 (RG92-700群)、 0.261 ± 0.003 (RG92-70群)、 0.264 ± 0.003 (RG92-7群)であった。

毎週初めにランダムに採取された10~20尾の体重が測定され、この平均体重から餌量が決定された。1日の餌量はライトリッツの給餌率表から算出され、その1/2量をそれぞれ朝と夕に給餌した。

2-3 RG92 エキス付加餌の調製

各群の個体の総体重の1/700万(RG92-700群)、1/70万(RG92-70群)、1/7万(RG92-7群)量のRG92エキス(0.789g/mL)を添加した。具体的には、餌2.5gに対して、RG92エキス原液を水で適宜希釈したRG水溶液1mLの割合で加え、均一に混合して乾燥させた。

2-4 各臓器のサンプリングおよび遺伝子発現

フェノキシエタノールで麻酔した魚から、鰓、後腸、肝臓、腎臓、皮膚、筋肉および脳を採取した。採取した臓器は核酸抽出用試料保存液 Gene keeper (ニッポン・ジーン、東京) 中に入れ、核酸抽出まで -80°C で保存した。Isogen (ニッポン・ジーン) を用いて全RNAを抽出後にcDNAを合成し、定量PCRにより遺伝子発現量を算出した。検量線には各個体のcDNAプールを段階希釈した試料を用い、ハウスキーピング遺伝子である elongation factor 1 α (ef1 α) の発現量で補正した値を各遺伝子の発現量とした。プライマーは各遺伝子の配列情報をもとに合成した。

3. 結果

3-1 成長の推移

1月21日よりRG92エキス混合給餌を開始し、RG92-700群でやや成長が早い傾向が見られたが、約2か月後の3月31日時点で全供試魚体重を測定したところ、その平均体重は、 2.02 ± 0.08 (対照群、 $n=74$)、 2.03 ± 0.07 (RG92-700群、 $n=72$)、 1.82 ± 0.07 (RG92-70群、 $n=74$)、 1.94 ± 0.08 (RG92-7群、 $n=67$)であった。この時点での生存率は、それぞれ92.5、90、92.5および83.8%であった。

4月以降各群間で差が顕著になり始め、6月16日時点での平均体重は 8.41 ± 0.64 (対照群、 $n=36$)、 6.43 ± 0.28 (RG92-700群、 $n=49$)、 5.32 ± 0.25 (RG92-70群、 $n=60$)、 5.74 ± 0.3 (RG92-7群、 $n=50$)と、対照群の成長が最も大きかった。しかし、この時点で生存尾数と死亡尾数との整合性がとれず、区画から脱走した個体が相当数いることが示唆された。

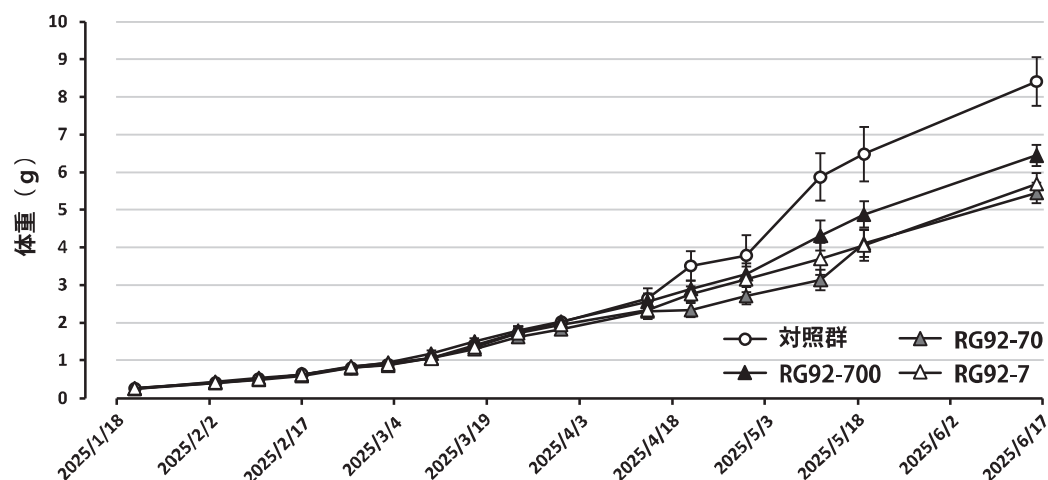


図1 ニジマス稚魚の平均体重の推移（平均値±標準誤差）

1月21日から6月16日まで、原則として毎週ランダムにすくわれた10~20尾の体重測定が行われた。1月21日および3月31日のみ全尾の体重測定が行われた。

3-2 高温時の生存率

6月以降、25℃以上の水温が続くと餌食いの状況も悪くなってきた。6月16日の体重測定時に7個体からサンプリングを行った後、それ以降の生存率を算出した。25~26℃の水温で推移した6月19日の時点で対照群の生存率が75.9%と最も低く、次いでRG92-7群(86%)、RG92-70群(88.7%)およびRG92-700群(90.5%)となった。その後、27~28℃の水温になると生存率が急減した。飼育期間を通じて27.9℃の最高水温を記録した6月22日の時点での生存率は、対照群で44.8%と最も低く、次いでRG92-7群(55.8%)、RG92-70群(66%)およびRG92-700群(71.4%)と、RG92給餌群の生存率が高かった。最終的には、対照群が6月24日で全滅し、次いでRG92-7群が6月25日、RG92-70群とRG92-700群が6月26日に全個体が死亡した。

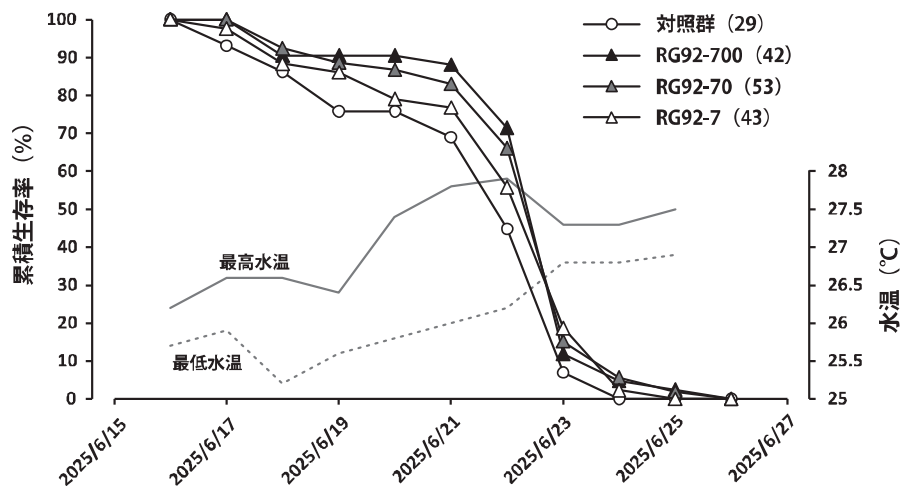


図2 ニジマス稚魚の生存率の推移

凡例のカッコ内の数字は、データ取得開始時の生存尾数。

3-3 遺伝子発現解析の予備検討

採取した各器官の遺伝子発現解析をするため、qPCR用のプライマー確認を行った。解

析対象の遺伝子は、生体防御関連（IL1 β ; Interleukin β 、IFN γ ; Interferon γ 、OCLN; Occludin、Muc2; Mucin 2、Muc13; Mucin 13b）、代謝関連（CPT1a; Carnitine palmitoyl transferase 1a、CPT1b; Carnitine palmitoyl transferase 1b、FASN; Fatty acid synthetase）、熱ショックタンパク質（HSP47, 70, 90; Heat shock protein 47, 70, 90）および内部標準遺伝子（Ef1 α ; Elongation factor 1 α ）である。プライマーの使用可否を確認するための予備検討結果を表 1 に示す。現在、RNA 抽出およびプライマーが適さない遺伝子については再度プライマー配列の設計を行っている。

表 1 遺伝子解析の予備検討結果 腸から抽出した RNA の逆転写産物（cDNA）の 20 倍希釈の 10 個体分をプールのものをテンプレートにして、各遺伝子のプライマーの使用可否を確認した。

遺伝子	Ct 値	備考
<i>Ef1α</i>	17	
<i>IL1β</i>	31	Ct 値 35 付近にプライマーダイマーあり。2 倍希釈した試料で測定。
<i>IFNγ</i>		ネガティブコントロールでピークが出現するため、要検討。
<i>OCLN</i>	26	
<i>MUC2</i>	20	
<i>MUC13</i>	21	
<i>CPT1a</i>		ネガティブコントロールでピークが出現するため、要検討。
<i>CPT1b</i>	33	Ct 値が高いため、2 倍希釈した試料で測定。
<i>FASN</i>	27	Ct 値 31 付近にプライマーダイマーあり。
<i>HSP47</i>	26	Ct 値 38 付近にプライマーダイマーあり。
<i>HSP70</i>	25	
<i>HSP90</i>		ネガティブコントロールでピークが出現するため、要検討。

4. 考察

今回の研究では、RG92 の混合給餌により成長は遅延傾向が見られた一方で、生存率を指標にした高温耐性は良化の傾向を示した。遺伝子解析が進んでいないためこれらの傾向の科学的な裏付けはできていないが、今まで認められた魚を含む産業動物での RG92 の効果から、ニジマスの生育にも何らかの影響を与えているものと考えている。

浮上開始 1 カ月弱より 4 群に分けて異なる量の RG92 給餌を開始した。開始時の平均体重は 4 群で差は認められなかったが、試験開始 1 カ月以降からは G92-700 群で平均体重が重く推移した。逆に 3 カ月目あたりからは対照群で重い傾向が続き、試験終了時までこの傾向は変わらなかった。死亡個体の記録は毎日つけていたにもかかわらず、3 月 31 日から 6 月 16 日までの個体数の変化に、記録との大きな違いが見られた。とりわけ対照群については、記録上 61 尾のはずであったが実際には 36 尾しかいなかった。この大きな見落としは死亡個体の見落としのみが原因とは考えづらく、おそらく各群を収容していたカゴ網から外の大水槽内へ逃げ出したものと考えている。その結果、ある時期から 6 月 16 日まで過剰量の餌が与えられたことは間違いなく、飼育数が大きく減った対照群では特に多くの餌が与えられたと考えられる。このことが 4 月中旬以降対照群の平均体重が不自然なほどに増えたことと関連しているのではないかと考えている。したがって、RG92 の成長

へ与える影響については、正しく評価できてないと考えており、今後個体数の厳重な管理のもとで改めて評価したいと考えている。

1 日最低水温が 25℃を上回るようになった段階（6 月 16 日）でサンプリングを行い、その日以降残りの個体を使って生存率が記録された。すべての群で徐々に死亡個体がみられるようになり、最低水温が 26℃を上回るようになり始めると、急激に死亡個体が増えた。しかし、生存率はほぼ一貫して RG92-700 群で高く、RG92-70 群あるいは RG92-7 群と続き、対照群が最も低かった。最終的には対照群が最も早く全滅し、2 日遅れて RG92-70 および RG92-700 群が全滅した。高温ストレス下においては HSP などの分子シャペロンの発現が誘導され、高温耐性を持つようになる (Ojima *et al.* 2012)。RG92 エキスには、グリセロ糖脂質の一つであるモノガラクトシルジアシルグリセロール (MGDG) やジガラクトシルジアシルグリセロール (DGDG) が多く含まれている。特に DGDG は同目のクロレラよりも際立って多く含まれていることが弊社での検討で分かっている。これらの糖脂質は消化管内で脂肪酸とガラクトシルグリセロールに分解され、後者は難消化性物質として腸内細菌の発酵基質となり、酢酸、酪酸やプロピオン酸といった短鎖脂肪酸が産生される (Sugawara and Miyazawa 2001)。これらの短鎖脂肪酸のうち、特にプロピオン酸と酪酸が HSP の発現を上げることが知られている (Rini *et al.* 2024)。RG92 混合水を給与された家禽の糞中には上の 3 種の短鎖脂肪酸が増加していた (野畑 2025a)。以上から、RG92 の給餌により産生された短鎖脂肪酸がこれらの遺伝子発現を増加させ、高温での生存率が上がった可能性がある。ニジマスの糞中での短鎖脂肪酸濃度を測定するとともに、今後、遺伝子発現を調べることで HSP との関連を評価したいと考えている。

以上、冷温性のサケ科魚類において、RG92 が高温耐性を示す可能性が示唆されたが、まだまだ検討不十分である。今回用いたニジマスは対照群でも水温 26℃で生存しており、かなり高温耐性のある系統だったようだ。共同研究している養殖業者からは、「RG92 エキス給与で 23℃でも元気に生きている！」という情報あったように、高温耐性の低い系統での評価が必要であると考えている。また生食サーモンの人気を背景に、他のサケ科魚類への応用も今後の検討課題である。

参考文献

- Kaseda K, Kai Y, Tajima M, Suematsu M, Iwata S, Miyata M, Mifude CK, Yamashita N, Seiryu WA, Fukada M, Kobayashi H, Sotokawauchi A, Matsui T and Yamaguchi S (2020) Oral administration of spa-derived alga improves insulin resistance in overweight subjects: Mechanistic insight from fructose-fed rats. *Pharma. Res.*, **152**, 104633.
- 宮田光義・岩田俊祐・御筆千絵・加世田国与士（2018）別府温泉由来微細藻類 *Mucidosphaerium* sp. RG92 株の抗炎症作用. 温泉科学, **68**, 204-215.
- Miyata M, Iwata S, Mifude CK, Tajima M, Kameyama M, Ihara M, Matui T, Yamaguchi S, Ishitobi H, Miyaki S and Kaseda K (2021) A novel *Mucidosphaerium* sp. downregulates inflammatory gene expression in skin and articular cells. *Altern. Ther. Health Med.*, **27**, 40-47.
- 野畑重教（2024）温泉藻類 RG92 エキスが養殖ヒラメの健苗性に与える効果についての検

- 討. 大分県温泉調査研究会報告書, **75**, 115-120.
- 野畑重教 (2025a) 産業動物におけるプレバイオティクスとしての温泉藻類 RG92 エキスの評価. 大分県温泉調査研究会報告書, **76**, 89-95.
- 野畑重教 (2025b) 低成長ウナギにおける温泉藻類 RG92 エキスの成長促進効果と雌性化に関する検討. 大分県温泉調査研究会報告書, **76**, 97-102.
- Ojima N, Mekuchi M, Ineno T, Tamaki K, Kera A, Kinoshita S, Asakawa S and Watabe S (2012) Differential expression of heat-shock proteins in F2 offspring from F1 hybrids produced between thermally selected and normal rainbow trout strains. *Fish. Sci.*, **78**, 1051-1057.
- Rini DM, Sitolo GC, Adesina PA and Suzuki T (2024) The role of dietary fibre in intestinal heat shock protein regulation. *Int. J. Food Sci. Tech.*, **59**, 8114-8123.
- Sugawara T and Miyazawa T (2001) Beneficial effect of dietary wheat glycolipids on cecum short-chain fatty acid and secondary bile acid profiles in mice. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **47**, 299-305.

温泉藻類 RG92 エキスを与えた採卵鶏の健苗性評価

株式会社 SARABiO 温泉微生物研究所
野畑 重教

要旨

別府温泉で発見された緑藻 *Mucidosphaerium* sp. strain RG92 の抽出エキスを、採卵鶏へ混合給餌で与えた。その結果、老化にともなう産卵率の低下が鈍化した。また卵質の指標ともなる卵殻の色落ちも抑制され、廃鶏（79 週齢）の卵殻色は、若齢鶏（26 週齢）のものとはほぼ同等であった。これらの RG92 の機能を担うと考えている短鎖脂肪酸の産生の機序を解明する目的で、糞の嫌気培養系の確立を進めた。若干の検討は残されているものの *in vitro* の系において短鎖脂肪酸の産生が示唆された。以上に結果は、鶏卵業における RG92 エキスの高い実用性を示すとともに、嫌気培養系での RG92 の作用機序の詳細解明に道を開くものである。

1. はじめに

弊社が 2011 年に別府温泉で発見した新種の緑藻 *Mucidosphaerium* sp. strain RG92 (以下 RG92) (Miyata *et al.* 2021) の抽出エキス (以下 RG92 エキス) は高い抗炎症、抗糖化、抗酸化作用を持ち、健康美容分野へと広く応用されてきた (宮田ら 2018; Kaseda *et al.* 2020; Miyata *et al.* 2021)。近年は水産・畜産分野へも応用し、ヒラメやウナギの成長促進やへい死の抑制 (野畑 2024; 2025b)、採卵鶏の産卵率の向上、食肉豚における遺伝子発現への影響を明らかにした (野畑 2025a)。これらの研究結果をさらに実用に生かすため、現在は共同研究の養殖・養鶏業者を増やしてさらに効果の検証を行っている。本研究では、採卵鶏への効果について、養鶏場でのデータやサンプルを用いて昨年度の結果の再現性および実用性を評価する。また糞の嫌気培養による RG92 の作用機序の解明など、昨年度の研究をさらに深化させ、採卵鶏における RG92 の効果を検証する。

2. 調査方法

2-1 養鶏場における RG92 エキスの効果の実証試験

佐賀県鹿島市にある上田養鶏場で、RG92 エキスの実証試験が行われた。同一鶏舎で飼育されていたボリスブラウン種が飼育区画ごとに対照群 (309 羽) と RG92 群 (289 羽) に分けられた。47 週齢から RG92 エキス混合飼料の給与を開始し、廃鶏となる 79 週齢まで試験が行われた。RG92 エキスは体重の 1/70 万～1/700 万の量で効果が認められたことから (野畑 2024; 2025a)、試験動物の総体重の 1/700 万の量、すなわち試験群の鶏の総体重 (664.7 kg) の 1/700 万の量である約 0.094g (容量として約 0.12mL) の RG92 エキスを餌に添加して与えた。具体的には RG92 製品ボトルの 6 滴 (約 0.12mL に相当) を水 3L と混合し、この RG 水溶液を餌にトップドレスしたものを RG92 エキス混合飼料とした。鶏は屋根付き鶏舎内で平飼いされ、飼料および水は自由摂取、照明は自然日長とした。試験期間中の死亡個体の記録および産卵数からヘンディー産卵率を算出した。

試験終了時の 79 週齢の卵の卵殻色を指標化し、ハウユニットおよび卵黄係数を算出した。各群 5 個の卵について、シェルカラーファン（株式会社ゲン・コーポレーション、岐阜）を用いて卵殻色のカラー値を 10 段階で評価した（對馬ら 2013a）。ハウユニットと卵黄係数は各群 10 個の卵の濃厚卵白の高さ、卵黄径、卵黄の高さを測定し、下記の計算式から算出した。

- ・ハウユニット = $100 \times \text{Log}_{10}(\text{H} - 1.7\text{W}^{0.37} + 7.6)$ (H : 高さ、W : 卵重量)
- ・卵黄係数 = 卵黄高さ/直径

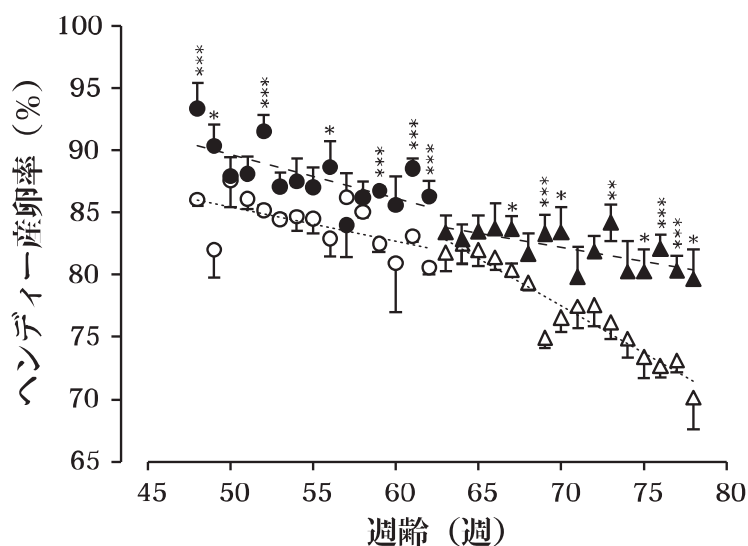
2-2 糞の嫌気培養系の確立

藤井らの報告（1992 年）を参考に糞の嫌気培養系の確立を行った。新鮮糞の約 0.5g を試験管に採取し、0.1M NaHCO₃ を糞量の 4 倍量加えボルテックスで混和した（0.5g の糞に対して 2mL）。10 分間静置後に上清（検体）を回収し、回収した検体 1mL に対して 0.9% NaCl を 3mL 加えて混和した。希釈された検体 4mL に被験物質（または溶媒のみ）1mL を加えて、これをアネロパック®ケンキ（三菱ガス化学株式会社、東京）とともに密閉容器に入れ、37℃の暗所で振盪培養した。所定の時間培養したサンプルを遠心分離し（3,000G、10 分、4℃）、上清を測定試料とした。短鎖脂肪酸のうち酢酸、プロピオン酸、酪酸の濃度の測定は、Inoue *et al.* (2019) の方法に従って行った。測定試料 0.1mL を処理して測定対象を 2-ニトロフェニルヒドラジンで誘導体化し、高速液体クロマトグラフィーにかけた。分離カラムは YMC-Pack ODS-AM (250×4.6mmI.D.)（株式会社ワイエムシー、京都）を使用した。検量線範囲は、62.5～500μM（乳酸、酢酸）、6.25～50μM（プロピオン酸、酪酸）で設定した。

3. 結果

3-1 養鶏場での産卵率

現場での飼育状況の関係から、試験は 47 週齢の途中から 79 週齢の途中で終了したため、48 から 78 週齢のデータを用いて結果の評価を行った。両群ともに週齢とともに産卵率は低下したが、対照群では試験後半における低下傾向が顕著になった（図 1）。分散分析では試験群間で有意差が検出されたが、試験開始直後でも両群の産卵率に有意差がある週齢が散見された。そのため試験期間を前後半に分け（48～63 週齢と 63～78 週齢）、それぞれ産卵率の回帰直線を作成し平行線検定で直線の傾きを比較した。その結果、対照群では前後期間で回帰式の傾きに有意差が認められ、63 週齢以降で産卵率低下が加速された。一方で、RG92 群



- (.....) 対照群 (48-62週齢) ● (---) RG92群 (48-62週齢)
 △ (.....) 対照群 (63-78週齢) ▲ (---) RG92群 (63-78週齢)

図 1 RG92 エキス混合給餌による産卵率の変化

各週齢における 1 日の平均産卵率を平均値±標準誤差で示した。破線は回帰直線。各週齢の産卵率の群間の差を Student t-test により検定した (*P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001)。

の回帰式は試験前後期で有意差は認められず、産卵率の低下は試験開始時から大きく変化していなかった（表 1）。このように養鶏場においても RG92 エキスにより産卵率の低下が抑制された。平均卵重量は試験開始時が両群ともに 63.9g、試験終了時は 64.2g（対照群）と 64.3g（RG92 群）で大きな差は認められなかった。

表 1 産卵率推移の回帰式および平行性（傾きと Y 切片）の検定結果

	対照群（48-62 週齢）	対照群（63-78 週齢）	RG92 群（48-62 週齢）
対照群（48-62 週齢）	—	—	—
Y = -0.28X + 99.5			
対照群（63-78 週齢）	P < 0.001 (—)		
Y = -0.76X + 130.6			
RG92 群（48-62 週齢）	P = 0.636 (P < 0.001)		
Y = -0.35X + 107.2		—	—
RG92 群（63-78 週齢）	—	P < 0.001 (—)	P = 0.334 (P = 0.210)
Y = -0.23X + 98.2			

3-2 卵殻色及びハウユニット、卵黄係数

視認により卵殻色が群間で明らかに異なったため、シェルカラーファンを用いて色の違いを数値化した。試験開始前の若齢鶏（26 週齢）の卵は濃い赤褐色で、カラー値の平均は 9.4 あったのに対して、試験終了時の対照群の卵殻色は全体的に赤茶色が抜けた薄い肌色に近く、平均のカラー値は 6.8 であった。一方で RG92 群では若齢鶏のものに近い赤褐色で、カラー値の平均は 9.0 であった（図 2）。RG92 群の卵殻色は、同齢の対照群のものと比べて有意に濃く、若齢鶏のものと同様の卵殻色であった。

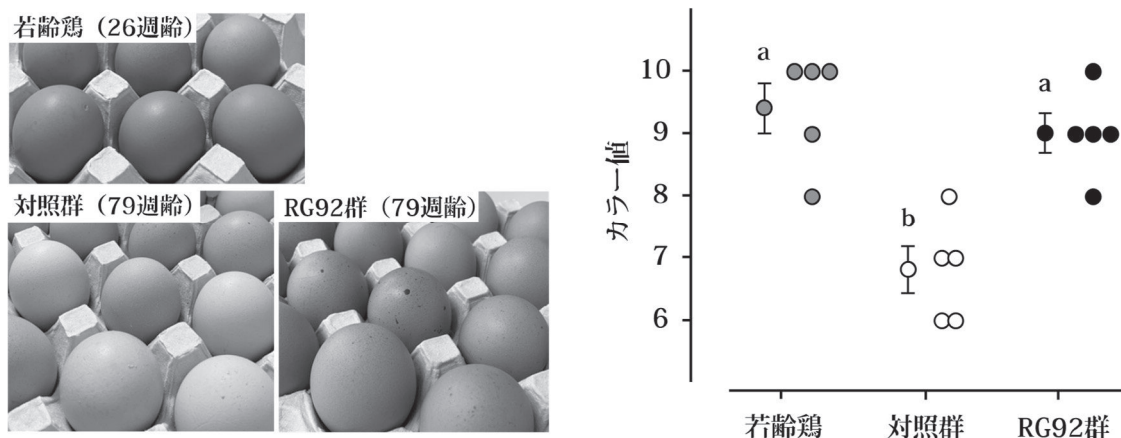


図 2 各条件の卵の外観（左）および卵殻色のカラー値の評価（右）

卵殻色は Steel-Dwass test により 3 群間で比較した。同じアルファベットは同一水準の群であることを示す。

10 個の卵を用いてハウユニット及び卵黄係数を算出した。両者ともに RG92 群で有意に高く、特に RG92 群での濃厚卵白の盛り上がりは視認でも顕著であった。ハウユニットと卵黄係数は RG92 群でのみ有意な相関関係が見られた ($r = 0.706$, $P = 0.023$)（図 3）。

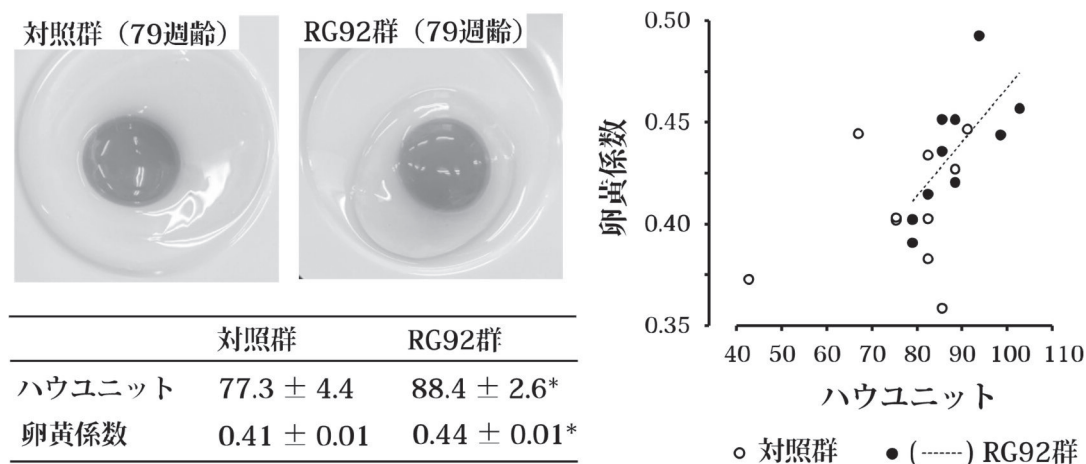


図3 卵黄および卵白の状態（左）および卵黄係数とハウユニットとの関係（右）

ハウユニットと卵黄係数は平均値±標準誤差で示し、群間の差を Student t-test により検定した (*P < 0.05)。破線は有意な相関のある回帰直線。

3-3 糞の嫌気培養評価系の検討

予備検討として、被験物質無添加で培養し培養開始 0,3,6 および 24 時間後の培養液から測定試料を調製、測定した。同様の検討を 2 回にわたり行った。その結果、いずれの短鎖脂肪酸濃度も培養開始 6 時間までは経時的に増加したが、24 時間では逆に減少した（一部は増加傾向の鈍化）（図 4）。

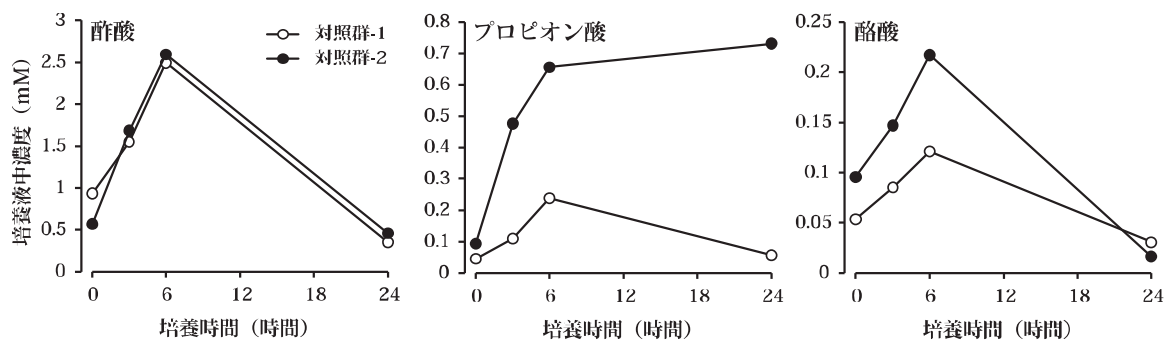


図4 糞の嫌気培養系確立のための検討結果（培養時間および日間変動）

日間（試料間）変動をみるため、別日にサンプリングした糞（対照群-1 および-2）を用いて同じ検討を行った。

次に被験物質として RG92 エキス内容物を 0.5mg/mL となるように培養液中加入して培養を行った。同じ糞サンプルを使ったのにもかかわらず、RG92 無添加の対照群の方がいずれの短鎖脂肪酸においても初期値（0 時間の濃度）が高くなった。また対照群では経時的に濃度が増加した一方で、RG92 群では 3 時間までの濃度の増加は停滞気味であり、その後濃度の上昇がみられた。培養開始 6 時間での濃度はいずれも対照群で高かったが、初期値からの増加率は、対照群で 4.6（酢酸）、7.0（プロピオン酸）および 2.2 倍（酪酸）であったのに対して、RG92 群ではそれぞれ 4.3、6.5 および 3.2 倍であった。RG92 群の増加率は酢酸とプロピオン酸では対照群とほぼ同様であったが（ともに対照群の 0.93 倍）、酪酸では対照群の 1.45 倍と高い増加率であった（図 5）。

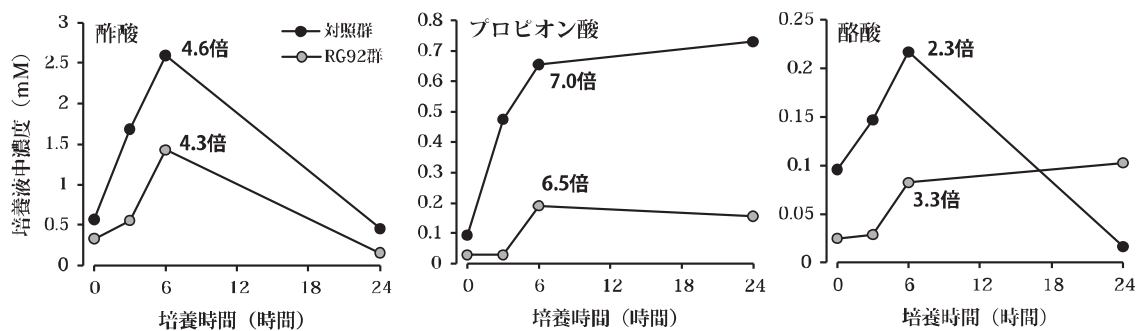


図5 糞の嫌気培養系確立のための検討結果 (RG92 内容物添加時の結果)

同じ糞から調製された検体に RG92 不含溶解液 (対照群) または RG92 内容物溶解液 (RG92 群) を加え培養した。

4. 考察

弊社で実施してきた採卵鶏の検討では、RG92 エキス給与により産卵率の向上や破損卵の減少など、RG92 が鶏卵業界に貢献できる可能性が示された (野畑 2025a)。この結果の実用性を明らかにする目的で養鶏場での試験が実施され、産卵率の低下や卵殻の色落ちといった老鶏の卵に見られる現象が RG92 給与により緩和されることが示された。一連の研究結果は、RG92 エキスが採卵鶏の老化を鈍化させている可能性を示唆する。養鶏場でも同様の効果がでたことは、養鶏現場における RG92 エキスの高い実用性を示している。

養鶏場の試験で産卵率に顕著な差が出始めたのは 65 週齢付近からであった。弊社施設での実験では幼鶏から RG92 を与え、ほぼ同時期の 66 週齢以降から産卵率に差が出始めた (野畑 2025a)。両実験ではともにこのあたりの週齢から対照群の産卵率が落ち始めていることから、RG92 給与により産卵率低下を鈍化させているものと思われる。養鶏場では 48 週齢から RG92 エキスが給与されており、産卵率低下を鈍化させるためには、幼鶏からの RG92 エキスの給与は必須ではなさそうである。加齢にともなう卵殻色の色落ち (Odabasi *et al.* 2007) も有意に抑制された。卵殻色素であるプロトポルフィリンの合成・卵殻への沈着および卵殻形成は卵管の卵殻腺部で行われるため (Bar *et al.* 1999; 對馬ら 2013a)、週齢に関係なく卵殻色の濃い卵ほど卵殻強度は高い (對馬ら 2013b)。弊社鶏舎での検証では破損卵の有意な減少が見られたが (野畑 2025a)、今回の卵も卵殻強度が高まっているかもしれない。RG92 群ではハウユニットや卵黄係数が有意に高かったように、卵殻色の維持も含めて卵質の向上が認められた。

産卵率の低下が鈍化された理由としては、RG92 によって健康体と安定した性ステロイド分泌が維持されたことによると考えている。RG92 を給与されたヒトやラットでは、インスリン抵抗性の改善、アディポネクチンの分泌促進や抗炎症作用など、老化にともなう症状の緩和がみられる (Kaseda *et al.* 2020)。RG92 により採卵鶏では短鎖脂肪酸産生が促進されるが (野畑 2025a)、短鎖脂肪酸はアディポネクチンの分泌を促進することが知られている (Lu *et al.* 2016)。採卵鶏においてアディポネクチンは視床下部・下垂体・生殖腺軸 (HPG 軸) を介して性ステロイドの分泌や生殖腺の発達を促進し (Li *et al.* 2023)、HPG 軸を介したエストロゲン分泌は産卵率を向上させる (Hanlon *et al.* 2021; Mehlhorn *et al.* 2022)。卵肥大や卵殻強度の低下および色落ちは、卵管への脂肪沈着による蠕動運動の

鈍化や色素合成酵素の活性低下など老化にともなう現象が一因と考えられ（對馬ら 2015; Gongruttananun 2018; Feng *et al.* 2020）、エストロゲンはこれらの卵管の機能低下を改善する（Fu *et al.* 2024）。RG92 の抗炎症作用によるミトコンドリアの形態・機能維持も（Mifude *et al.* 2017）、産卵時のエネルギー需要に対する安定供給を下支えしていると考えられる。

採卵鶏に RG92 エキスを与えると大腸での短鎖脂肪酸産生が増えることが示唆されていることを受け（野畑 2025a）、糞の嫌気培養系の確立を試みた。この検討ではいくつかの示唆とともに課題も抽出された。培養開始 6 時間までは短鎖脂肪酸が増加したように、試された *in vitro* 培養系において嫌気性腸内細菌が働いていることが示された。一方、24 時間の時点では培養液中の濃度は大きく減少していた。おそらく嫌気状態が維持できなくなり、好気性細菌の働きが増したことによって短鎖脂肪酸が代謝されたものと考えられる。実際に 24 時間目での嫌気指示薬（嫌気状態を判定する薬剤）の状態は完全な嫌気状態ではないことを示していた。今後は嫌気誘導剤の量を増やすか 6 時間培養での結果を採用するかで対応したい。次に同じ糞検体を用いて RG92 添加の有無を比較したが、培養 0 時間にもかかわらず、群間で 2 倍以上の濃度差が見られた。この濃度差は 6 時間の時点でも反映されたものの、増加率はほぼ同じ（酢酸、プロピオン酸）か RG92 群で 1.5 倍程度高い（酪酸）結果であった。しかし、3 時間までの短鎖脂肪酸量の増加が RG92 群で停滞していたように、産生速度は両群で大きく異なった。以上の原因が RG92 添加の影響なのか？試験管間の差なのか？あるいはその他の原因なのかは現時点では不明である。産生量増加の過程が（RG92 と関係なく）試験管間で異なると仮定した場合、6 時間の培養時間で十分な評価ができるのか等の検討も必要となる。手技の習熟も含め今後さらなる検討が必要である。

今回の検討では、養鶏場での使用においても RG92 エキスが産卵率や卵質を向上することが認められた。鶏卵業の現場である養鶏場で効果が確認されたことは、このエキスの高い実用性を示すものである。高産卵率の維持は採卵鶏の長期飼育を可能にし、強制換羽などのストレスをかけないことにもつながるが、一方では飼育の長期化で老化にともなう過大卵の出現や卵質低下の懸念も高まる。今回、RG92 群でみられた効果は、この業界が抱える課題に応えうるものであると考えている。現在は肉用鶏での試験も行われており、成長促進などの効果が認められつつある。今後は摂取時期や摂取量と期待できる効果との関係、また栄養成分への影響などを検討し、この微細藻類由来エキスの養鶏現場での有用性をさらに明らかにしたい。

謝辞

上田養鶏場の上田愛子氏、および九州いいと株式会社の外山慎一郎氏には、養鶏場の試験およびデータ取得にあたり多大なるご協力をいただいた。ここに記してお礼申し上げる。

参考文献

- Bar A, Vax E and Streim S (1999) Relationships among age, eggshell thickness and vitamin D metabolism and its expression in the laying hen. *Comp. Biochem. Physiol.*, **123A**, 147-154.
- Feng J, Zhang HJ, Wu SG, Qi GH and Wang J (2020) Uterine transcriptome analysis reveals mRNA expression changes associated with the ultrastructure differences of eggshell in young and aged laying hens. *BMC Genomics*, **21**, 770.
- Fu Y, Zhou J, Schroyen M, Zhang H, Wu S, Qi G and Wang J (2024) Decreased eggshell strength caused by impairment of uterine calcium transport coincide with higher bone minerals and quality in aged laying hens. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, **15**, 37.
- 藤井智恵美・久米村恵・橋本文雄・石田晋也・松尾恵子・木村弘之・宮副玲子・岡松洋・光岡知足 (1992) 4G-β-D-Galactosylsucrose (ラクトスクロース) のヒト腸内細菌叢に及ぼす影響. *ビフィズス*, **6**, 31-41.
- Gongruttananun N (2018) Induced molt using cassava meal. 2. Effects on eggshell quality, ultrastructure, and pore density in late-phase laying hens. *Poult. Sci.*, **97**, 1050-1058.
- Hanlon C, Takeshima K and Bédécarrats GY (2021) Changes in the control of the hypothalamic-pituitary gonadal axis across three differentially selected strains of laying hens (*Gallus gallus domesticus*). *Front. Physiol.*, **12**, 651491.
- Inoue H, Takayama K, Takahara C, Tabuchi N, Okamura N, Narahara N, Kojima E, Date Y and Tsuruta Y (2019) Determination of short-chain fatty acids in mouse feces by high-performance liquid chromatography using 2-nitrophenylhydrazine as a labeling reagent. *Biol. Pharm. Bull.*, **42**: 845-849.
- Kaseda K, Kai Y, Tajima M, Suematsu M, Iwata S, Miyata M, Mifude CK, Yamashita N, Seiryu WA, Fukada M, Kobayashi H, Sotokawauchi A, Matsui T and Yamaguchi S (2020) Oral administration of spa-derived alga improves insulin resistance in overweight subjects: Mechanistic insight from fructose-fed rats. *Pharma. Res.*, **152**, 104633.
- Li C, Cao Y, Ren Y, Zhao Y, Wu X, Si S, Li J, Li Q, Zhang N, Li D, Li G, Liu X, Kang X, Jiang R and Tan Y (2023) The adiponectin receptor agonist, AdipoRon, promotes reproductive hormone secretion and gonadal development via the hypothalamic-pituitary-gonadal axis in chickens. *Poult. Sci.*, **102**, 102319.
- Lu Y, Fan C, Li P, Lu Y, Chang X and Qi K (2016) Short chain fatty acids prevent high-fat-diet-induced obesity in mice by regulating G protein coupled receptors and gut microbiota. *Sci. Rep.*, **6**, 37589.
- Mehlhorn J, Höhne A, Baulain U, Schrader L, Weigend S and Petow S (2022) Estradiol-17β is influenced by age, housing system, and laying performance in genetically divergent laying hens (*Gallus gallus f.d.*). *Front. Physiol.*, **13**, 954399.
- Mifude CK, Ishitobi H, Miyaki S and Kaseda K (2017) Mitochondrial regulation in the pathogenic process of inflammatory arthritis by microalgal *Mucidosphaerium*

- species. *Molecular Medicine: Curr. Aspects*, **1**, 003.
- 宮田光義・岩田俊祐・御筆千絵・加世田国与士（2018）別府温泉由来微細藻類 *Mucidosphaerium* sp. RG92 株の抗炎症作用. 温泉科学, **68**, 204-215.
- Miyata M, Iwata S, Mifude CK, Tajima M, Kameyama M, Ihara M, Matui T, Yamaguchi S, Ishitobi H, Miyaki S and Kaseda K (2021) A novel *Mucidosphaerium* sp. downregulates inflammatory gene expression in skin and articular cells. *Altern. Ther. Health Med.*, **27**, 40-47.
- 野畑重教（2024）温泉藻類 RG92 エキスが養殖ヒラメの健苗性に与える効果についての検討. 大分県温泉調査研究会報告書, **75**, 115-120.
- 野畑重教（2025a）産業動物におけるプレバイオティクスとしての温泉藻類 RG92 エキスの評価. 大分県温泉調査研究会報告書, **76**, 89-95.
- 野畑重教（2025b）低成長ウナギにおける温泉藻類 RG92 エキスの成長促進効果と雌性化に関する検討. 大分県温泉調査研究会報告書, **76**, 97-102.
- Odabasi AZ, Miles RD, Balaban MO and Portier KM (2007) Changes in brown eggshell color as the hen ages. *Poult. Sci.*, **86**, 356-363.
- 對馬宣道・蛭名良充・西舘亮一・向後克哉・坂本誠・太田能之・吉田達行・中尾暢宏・田中実（2013a）鶏の卵殻色に関する研究（3）. 畜産の研究, **67**, 523-531.
- 對馬宣道・菊地萌・大森聖・栗田明日香・鈴木波・前田亮輔・向後克哉・坂本誠・太田能之・吉田達行・中尾暢宏・田中実（2013b）鶏の卵殻色に関する研究（4）. 畜産の研究, **67**, 1177-1183.
- 對馬宣道・菊地萌・大森聖・栗田明日香・鈴木波・前田亮輔・向後克哉・坂本誠・太田能之・吉田達行・中尾暢宏・田中実（2015）鶏の卵殻色に関する研究（9）. 畜産の研究, **69**, 219-226.

ROS(活性酸素種) の低産生レベルの刺激によるホルミシス効果が 健康寿命の延伸に寄与する影響の数量的推測

青野裕士労働衛生コンサルタント事務所
青野裕士

要旨

温泉入浴で、ラドンと入浴で接触する人はラドン濃度と人との量影響関係が成り立ちます。疫学調査などで明らかなラドンの肺がん発症を含め、悪性新生物発症の曝露量は確率的影響と見る必要があります。確率的影響とは、しきい値が存在しないということです。一方、しきい値より低ければ、微量放射線の生体にポジティブな影響、すなわち、人では、より健康が増進するというホルミシス効果がありとする見方もあり、ラドン濃度の高い住居の住人等を対象とした疫学調査でも、このホルミシス効果が認められています。しきい値がないとする安全側の判断に立って、今回行った記述および分析疫学で得られた 2016 年～2021 年の大分県温泉調査報告のラドン濃度は、殆ど 7.4Bq/kg の未満であり、しきい値がないとする安全側の判断に立った健康障害非発現量に相当する濃度、経験的に BMDL(ベンチマーク用量下限)未満のラドン濃度以下であり、ホルミシス効果を示唆しています。さらに、今回得られた温泉分析書のデータから見て、大分県の温泉水では、ラドンが、重炭酸・炭酸イオンへ主効果を持っており、豊富な炭酸イオンに含まれる微粒炭酸とともに、さらに、Na 塩化物も加わった温泉水も多いことと合わせて、人への癒し効果を高めていると考えられます。

キーワード ホルミシス効果 ラドンの重炭酸・炭酸イオンへの主効果

緒言

日本人の長寿化は 2050 年までに 100 歳以上が 100 万人を突破し、2007 年に日本で生まれた子供の半数は、100 歳まで生きると言う人口学的推計もなされています。家族や仕事場以外での社会的交流や活動の場を目指し、様々な活動を通じて、新たな第 3 の居場所（家庭や職場以外）を創出することで、地域の社会的な結びつきが強化され、健康を促進する可能性にも、関心が高まっています。即ち、人と人のつながりが、Social Capital（社会関係資本）となって、単に病気を治す医療の枠を超えて、健康を考える視点や健康維持・増進の機会が重要となっています。古来、温泉を通して人と人のきずなが深まっています。

大分県の温泉水には、深層の花崗岩由来の低線量放射線物質のラドンが含まれています 1)。ラドンおよびそれ以後の各種放射性同位体が放つ低線量放射線が健康増進に寄与するとの考え方（ホルミシス効果 2)）があり、痛風、血圧降下、循環器障害の改善や悪性腫瘍の成長を阻害するなどの効能が認められています。そこで、ラドンの健康影響を求めるべく、大分県温泉調査報告書に記載されている温泉分析データを各年と各市町のごとに仕分けし、また、大分県統計年鑑および大分県公衆衛生年鑑、および、大分県ホームページから得られる、各市町の健康寿命や社会生活指標を抽出して解析して見ました。

対象と方法

1. 温泉源数による市町の区分け

各地域の温泉源数が地域の方々の温泉入浴習慣に影響することを考慮して、世帯数や人口で標準化して群分けすると、温泉源数の多い（別府市、由布市、竹田市、九重町、日出町、豊後高田市の6市町）と少ない8市町に、対象市町を2群に分けことができ、解析に繋がりました。社会生活指標は、大分県統計年鑑および大分県公衆衛生年鑑、健康寿命は大分県ホームページからの数値より収集しました。

2. 重回帰分析による男女別の健康寿命と関連する社会生活指標の関連づけ

大分県統計年鑑および大分県公衆衛生年鑑から得られる、大分県各市町の男女それぞれの健康寿命や社会生活指標各々、年平均温度、老年人口指数(15歳から64歳までの生産年齢人口に対する65歳以上の老年人口の割合)、人口密度、市町の県対所得割合(大分県平均所得に対する各市町所得の割合)、男女それぞれの生産年齢人口、農業法人化割合、第3次産業/第2次産業の比(事業所数での、第3次産業を第2次産業で割った値)、文化施設数、男女別悪性新生物、心疾患、脳血管疾患それぞれの死亡比、温泉の泉質を構成する重炭酸・炭酸イオン、塩化物イオン、硫酸イオンのミリバル(%)を抽出して、統計解析ソフト SPBS で重回帰分析し表で表しました。

3. 健康寿命と社会生活指標の相関のある各変数を要約する主成分分析

大分県統計年鑑および大分県公衆衛生年鑑から得られる、大分県各市町の男女それぞれの健康寿命や、社会生活指標を抽出して、人口密度、文化施設数、老年人口指数(15歳から64歳までの生産年齢人口に対する65歳以上の老年人口の割合)、市町の県対所得割合(大分県平均所得に対する各市町所得の割合)、農業法人化割合、第3次産業/第2次産業の比(事業所数での、第3次産業を第2次産業で割った値)で、2015年、2020年の国勢調査時の資料を用いて、統計解析ソフト SPBS で主成分分析を行い、図に示しました。第1因子と第2因子累積寄与率は2015年95.7%、2020年93.4%と、社会生活指標の数を絞ったことによります。

4. ベンチマークドーズ(BMD)法から得られる BMDL(ベンチマーク用量信頼下限)と NOAEL(健康障害非発現量)の整合性を検討しました。

5. 後向きコホートとして、分散分析によるラドンを主効果する重炭酸・炭酸イオン、塩化物イオン、硫酸イオンとの相対割合解析

健康寿命は、5年間移動平均値で表わすと、5年経った5年間追跡した結果の数値と見る事になります。即ち、移動平均値を算出する最も早い年から追跡して5年経った時点で後向きに5年前、4年前、3年前、2年前、1年前の各年の、地域の方々の生活習慣を表わす諸々の社会生活指標を集めて5年でまとめた社会生活習慣の数値は、独立変数となり、健康寿命は従属変数とする、後向きコホート調査として、数量的解析ができます3)。このコホートで、分散分析によるラドンを主効果する重炭酸・炭酸イオン、塩化物イオン、硫酸イオンとの相対割合解析を、統計解析ソフト SPBS で解析し図で表しました。4)

結果

1. 2015 年から 2021 年、各年の男女それぞれの健康寿命の年次推移は、図 1 と図 2 に示します。

世帯数や人口規模当たりの源泉数から見て、多い群 6 市町と少ない 8 市町に分け、2015 年から 2021 年まで、5 年移動平均値で表した男女それぞれの健康寿命の年次推移の図です。プロフィール分析で、男女とも健康寿命は、両群間での並行性が見られ、男は、2015 年より 2016 年、2017 年、2018 年と有意に漸増しましたが、2020 年、2021 年には増加が停滞しました。女は、2015 年、2016 年より、2018 年、2019 年で、源泉数の多い群の方が、健康寿命漸増があり、両群間に有意差が見られましたが、男の健康寿命と、同様、2020 年、2021 年には増加の推移が停滞しました。

図1 男の健康寿命の年次推移

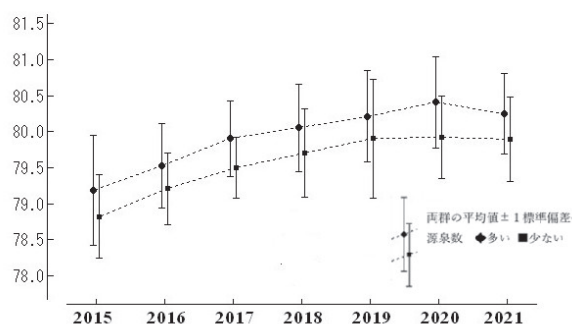
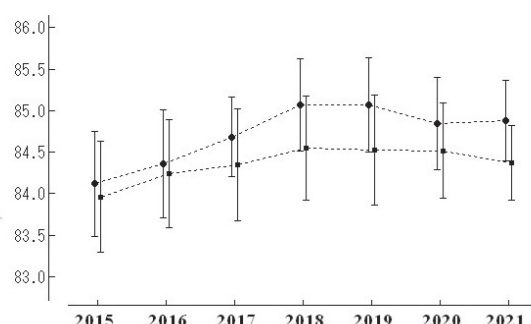


図2 女の健康寿命の年次推移



2. 重回帰分析による男女別の健康寿命と関連する社会生活指標の関連を表で示します。

健康寿命に対する各社会生活指標の寄与割合は、男で 2015 年の 40.2%から 2020 年の 95.3%、女で 2019 年の 50.3%、2016 年で 90.5%と幅が見られました。主要先進国の中でも日本は、老年人口指数は最も高いグループであり、この表からも健康寿命との関連が強い事が認められました。有意性を示す標準回帰係数より判断して、男女共に脳血管疾患死亡比が有意に下がり、また、男悪性新生物死亡比でも、2019 年~2021 年かけて同様に有意に下がり、健診・検診事業などによる疾患予防や医療の進歩の効果が推測されます。

表 男女の健康寿命と社会生活指標との関連

	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
男健康寿命*	79.0		79.3		79.6		79.8		80.0		80.1		80.0	
	標準		標準		標準		標準		標準		標準		標準	
	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準
老年人口指数	-	-0.408 -4.829 (p<0.001)	-	-0.853 (p=0.395)	0.43	7.954 (p<0.001)	0.239	12.395 (p<0.001)	0.192	4.331 (p<0.001)	0.558	15.397 (p<0.001)	0.373	7.637 (p<0.001)
男性新生物死亡比	-0.283	-2.649 (p<0.001)	0.613	11.161 (p<0.001)	0.341	5.817 (p<0.001)	-	1.803 (p=0.072)	-0.135	-3.017 (p<0.05)	-0.347	-8.054 (p<0.001)	-0.475	-7.967 (p<0.001)
心疾患死亡比	-	-	0.202	3.926 (p<0.001)	0.35	8.69 (p<0.001)	0.31	14.426 (p<0.001)	0.4	14.703 (p<0.001)	0.32	17.863 (p<0.001)	0.388	14.208 (p<0.001)
脳血管疾患死亡比	-0.331	-3.882 (p<0.001)	-1.05	-17.714 (p<0.001)	-0.946	-22.933 (p<0.001)	-1.03	-48.082 (p<0.001)	-0.997	-37.307 (p<0.001)	-1.041	-35.331 (p<0.001)	-1.171	-14.208 (p<0.001)
重炭酸・炭酸イオン	-0.246	4.73 (p<0.001)	0.144	4.009 (p<0.001)	-	3.055 (p<0.01)	-	0.901	-	0.079	-	-0.02	-	-0.026
塩化物イオン	-	-0.734	-	0.125	-	-2.244 (p<0.05)	-	-0.53	-	0.52	-	-0.064	-	-0.207
硫酸イオン	-	-0.931	-	0.756	-	-0.96	-	-0.058 -3.071 (p<0.05)	-0.053	-2.271 (p<0.05)	-	-0.734	-	-0.888
ラドン	-	0.144	-	-1.755	-	1.411	-	0.076 4.011 (p<0.001)	0.055	2.376 (p<0.05)	-	0.172	-	0.058 3.057 (p<0.01)
	寄与割合 0.402		寄与割合 0.636		寄与割合 0.655		寄与割合 0.878		寄与割合 0.837		寄与割合 0.953		寄与割合 0.889	
	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
女健康寿命*	84.0		84.3		84.5		84.7		84.7		84.6		84.6	
	標準		標準		標準		標準		標準		標準		標準	
	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準	回帰係数	t値 有意水準
老年人口指数	-	1.0284 0.305	-0.371	-6.855 (p<0.001)	-0.13	-2.112 (p<0.05)	0.69	8.8 (p<0.001)	0.826	9.976 (p<0.001)	0.92	14.782 (p<0.001)	0.979	32.806 (p<0.001)
男性新生物死亡比	-0.64	-19.188 (p<0.001)	-1.025	-17.575 (p<0.001)	-0.339	-6.295 (p<0.001)	0.406	7.004 (p<0.001)	0.481	7.874 (p<0.001)	-0.123	-2.476 (p<0.05)	-	-1.672 (p>0.05)
心疾患死亡比	-0.368	-11.424 (p<0.001)	-0.429	-14.449 (p<0.001)	-0.433	-9.586 (p<0.001)	0.262	3.395 (p<0.001)	0.517	6.387 (p<0.001)	0.236	5.454 (p<0.001)	0.164	5.538 (p<0.001)
脳血管疾患死亡比	-0.461	-16.303 (p<0.001)	-0.636	-27.377 (p<0.001)	-0.51	-17.985 (p<0.001)	-0.653	-11.395 (p<0.001)	-0.402	-6.262 (p<0.001)	-	1.882	-	0.055 2.151 (p<0.05)
重炭酸・炭酸イオン	-	-1.432	-	-0.338	-	-0.554	-	0.533	-	0.786	-	-0.391	-	-0.681
塩化物イオン	-	1.082	-	1.005	-	1.446	-	1.478	-	1.035	-	-0.142	-	0.72
硫酸イオン	-	0.352	-	0.353	-	1.123	-	-1.074	-	-0.978	0.055	2.281 (p<0.05)	0.052	2.094 (p<0.05)
ラドン	-	1.47	-	-0.038 -2.001 (p<0.05)	-	-1.105	-	1.075	-	0.921	-	-0.42	-	-1.346
	寄与割合 0.833		寄与割合 0.905		寄与割合 0.736		寄与割合 0.533		寄与割合 0.504		寄与割合 0.815		寄与割合 0.802	
	n=232		n=297		n=319		n=349		n=323		n=327		n=329	

*14市町の5年移動平均の平均値を表わす

3. 2015 年と 2020 年のデータから主成分分析でき、図 3 に示します。国勢調査の行われた年の解析ですが、第 1 因子と第 2 因子累積寄与率は 2015 年 95.7%、2020 年 93.4%と、指標の数を絞ったことによります。両年とも縦方向に、Social Capital（社会関係資本）と、横方向に都市化と、類型化できました。5)

図 3 社会生活指標の主成分負荷量

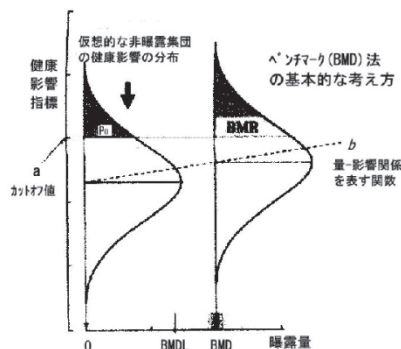


4. BMDL と NOAEL の関連を解説します。

非発癌性影響のリスク評価として十分にコントロールされた動物実験から得られる NOAEL(no observed adverse effect level、健康障害非発現量)は、曝露群に統計的あるいは生物学的に有意な毒性影響の増加を生じさせない"最も高い実験的曝露量"と定義されています。しかし、この NOAEL あるいは LOAEL(lowest observed adverse effect level、最低健康障害発現量)は、曝露群と非曝露群の統計的比較(有意差検定)に基づいて算出されているため、サンプル数に左右されやすくなります。Crump は NOAEL または LOAEL に絡む問題に対し、量・影響関係を重視した benchmark dose(ベンチマーク用量 以下、BMD)6) という考えを提唱しました。正常集団での 90%信頼区間を算出し、下限値以下を異常と定義すると、異常値は集団全体の 5%いることになります。この時、非曝露集団における異常

率 P_0 は 5% に設定されたことになり、曝露集団において、当該異常率 P_0 よりさらに $\alpha\%$ の異常増加(これを benchmark response、BMR と呼びます)をもたらす曝露濃度を BMD と定義する(P_0 および BMR の設定は、研究者により異なりますが、通常 $P_0=0.05$ 、 $BMR=0.05$ が用いられています)。

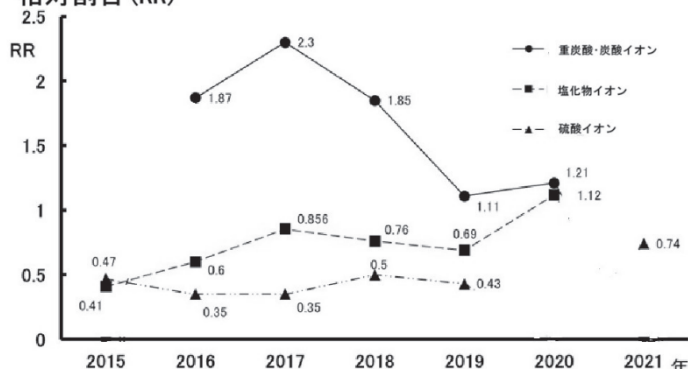
図4 ベンチマーク・レスポンス (BMD) 法の基本的な考え方



すなわち、図 4 に示すように、曝露濃度 0 の集団(非曝露集団)の正規分布を、曝露集団の有意な量・影響関係を示す関数に沿って右方移動し、正規分布の cutoff 値以下の範囲が P_0+BMR となる時の曝露濃度です。この BMD の 95%信頼区間の下限値を BMDL(ベンチマーク用量下限)と呼び、低濃度下の臨界濃度(閾値)を表す NOAEL(健康障害非発現量)となることが経験的に知られています (National Research Council, 2000)7)。

5. ラドンを主効果とする重炭酸・炭酸イオン、塩化物イオン、硫酸イオンとの相対割合を図 5 で示します。対象とした各年の 5 年間のコホートで、源泉数の多い群と少ない群に分けて、ラドン濃度を比べてみても、両者に有意差は見られませんでした。そこで、ラドン濃度が 7.4Bq/kg 以下かそれより高いか 2 区分してから、重炭酸・炭酸イオン、塩化物イオン、硫酸イオンそれぞれがミリバル(%)で含有される割合からこれらイオンがある・なしにして、源泉数の多い少ないの区分の上、ラドンを主効果にした、重炭酸・炭酸イオン、塩化物イオン、硫酸イオンの相対割合をこれらイオンの交互作用を起こさないアルゴリズムで算出し、図 5 に示します。なお、今回、対象にした全ての源泉のラドン濃度の中で、13.3Bq/kg が最も高い値でした。重炭酸・炭酸イオンが 1 を超えるのに、塩化物イオン (2020 年の成績を除き)、硫酸イオンは、1 未満でした。

図5 ラドンを主効果にした重炭酸・炭酸イオン、塩化物イオン、硫酸イオンの相対割合 (RR)



考察

大分県薬剤師会検査センターが、2007 年~2013 年に、大分県内の鉱泉 384 孔を調査して、その内、30 孔 (7.8%) の調査対象の場所は、今回、大分県温泉調査報告で得られた温泉分析書記載の市町と重なっていますが、定量下限値 (鉱泉の定義の 1/10 : 7.4Bq/kg) 以上のラドン濃度が検出され、最高値は 32.9 Bq/kg でした。今回、温泉調査報告に記録されている、各温泉水から得られた 7 年間のラドン濃度は、殆ど 7.4 Bq/kg 未満で、13.3 Bq/kg の

例が最高値で、7年間に、収集された大分県温泉調査報告から得られるラドン濃度は、ラドン濃度の NOAEL をはるかに下回っていました。7.4 Bq/ kg が、ベンチマーク用量信頼下限値(BMDL)に相当できそうです。また、BMDL は、経験的に、NOAEL(健康障害非発現量)と同じ値となることが知られています。大分県の温泉分析表の陰イオンのミリバル(%)表示の殆どで、塩化物イオン、硫酸イオン、炭酸水素・炭酸イオンの割合が大きいこと、その上に、ラドン濃度が、重炭酸・炭酸塩への主効果を果たしていると見立てられました。4) 温泉に、恵まれた環境下で、炭酸水素イオン・炭酸イオンに、ベンチマーク用量信頼下限値(BMDL)より低い濃度のラドンが、ホルミシス効果を示している事が推測されました。大分県薬剤師会検査センターの得た 30 孔の内 20 孔の泉質は、単純泉とナトリウム炭酸水素泉であることが示されており、1)ラドンをベースに、重炭酸・炭酸イオンの相対割合が 1 より高いこと 4)は、両者の親和性が高く、微粒炭酸と、ともに 5)、癒し効果を高めているようです。

身近で自然放射線による被ばくの約半分を示すラドンおよびその子孫核種のラドン療法の適応症に関する検証関連の臨床基礎研究例とメカニズム関連の基礎例の概説から、ラドンの低線量放射線が、健康増進を目的とした適度な運動等で類似した少量の酸化ストレスを示すことが、ラドン療法で解明されつつあり 2)、今後、人でのラドンのホルミシス効果のメカニズムが生化学的・生理学的に明らかになることでしょう。

今では、リラクゼーションや観光の場として温泉地が、もてはやされていますが、日本に脅威が及んだ、元寇の侵攻では、傷兵治療に別府温泉が湯治の場になりました。文永 1(1274)年、弘安 4(1281)年、元軍が用いた武器によって、日本の傷兵死傷者の数は万余となって、戦傷治療の湯治の場となっています。大規模に使われた温泉は、それまでの歴史上、別府温泉が最初でした。温泉場として、蒸し風呂の鉄輪、浜脇、明礬の名が記録されています。また、庶民にとっては、湯治は重要な医療でした。徳川時代の別府は、大部分が天領(幕府直轄領)であり、天領内の人々は、容易に温泉を利用できたでしょうが、近在の、今は日出町に属する村々に住む領民は、農閑期の湯治(骨休め)のため、帰属する藩より往来手形(無順序札)を得ることで、10 日間の制限された期間内の温泉が利用できたようです。8) さらに、細川藩飛び地だった鶴崎在住の儒学者の毛利空桑が 87 歳の晩年、明治 16 (1883) 年に、鶴崎をしばらく離れ、湯布院町川上に滞在して、温泉療養しながら残した記録によると、三男の経営していた湯布院の湯治場で、何度も湯あたりして、三男から入浴の仕方を指南された事が記載されています。9) 現在の湯布院町川上の多くの温泉は重炭酸イオンの豊富な温泉ですが、源泉によっては、高温で、Na 塩化物含有の割合の高い温泉に入浴したことも想像できます。

主要先進国の中でも日本は、老年人口指数が最も高いグループであり、モータリゼーションなどによる都市化の進む中、国内だけでなく海外の温泉へも自由に移動できる時代ですが、大分県では、居住地近くに、密度高く、源泉かけ流しの温泉が湧出している環境で暮らす中で、日常生活に温泉入浴を楽しむことが、Social Capital を促し、温泉が、健康寿命を延伸できる要因のひとつとなっているようです。

引用文献・参考文献

- 1.炭本悟朗・中渡瀬真樹(2012)：大分県内の鉱泉中のラドン濃度について 大分県薬剤師検査センター 大分県温泉調査研究会報告, 63, 35-38.
- 2.片岡隆浩 迫田晃弘 神崎訓枝 光延文裕 山岡聖典 (2025)
ラジウム温泉療法の適応症とそのメカニズムに関する最近の研究動向 日本温泉気候物理医学学会雑誌 88, 57-71.
- 3.寺田一彦(1968) 推測統計法(改訂新版) PP.73-89, 朝倉書店.
- 4.竹内啓監修 高橋行雄 大橋靖雄 芳賀敏郎(1989); SAS による実験データの解析
SAS で学ぶ統計的データ解析 5, 71-110, 東京大学出版会.
- 5.青野裕士 (2024) 日常的な単純泉あるいは塩化泉入浴の違いによる利用者の健康寿命推移
進展の違い ; 別府市および大分市を対象地区として 大分県温泉調査研究会報告 75, 15-19.
- 6.Budtz-Jorgensen E, Keiding N, Grandjean P. Benchmark dose calculation from
epidemiological data. Biometrics (2001); 57, 698-706.
- 7.National Research Council. Toxicological Effects of Methylmercury. Washington, DC:
National Academy Press, 2000.
- 8.高浦照明(1978) 大分の医療史 大分合同新聞社 大分合同新聞社文化センター.
- 9.鶴崎文化研究会(2023) 解説 川上紀行 毛利空桑 鶴崎文化研究会空桑著書読書会編.
- 10.大分県生活環境部自然保護推進室 大分県温泉調査報告;温泉分析書 大分鉱泉集
2020 温泉分析書 第 73 号、第 74 号、第 75 号、第 76 号
- 11.由佐悠紀 北岡豪一 竹村恵二 (1994) 掘削による地下温泉水の層構造の検出:別府温泉南
部地域での試み 温泉科学 44, 39-44.
- 12.大沢信夫 由佐悠紀 北岡豪一 (1994) 別府南部における温泉水の流路経路 温泉科学,
44,161-168.

国東半島両子山火山群のマグマ進化過程の地球化学的検討

広島大学大学院先進理工系科学研究科地球惑星システム学プログラム

平山 剛大・柴田 知之・芳川 雅子

要旨

両子山火山群の溶岩・火砕流堆積物の全岩主要・微量元素組成および Sr-Nd-Pb 同位体比を検討した結果、両子山火山群のマグマは安山岩～デイサイト質で、一般的な島弧火山岩から Adakite 領域までの広い組成範囲を示した。微量元素組成からは、島弧の火山岩の地球化学的特徴を持つ一方、他試料と比較して Zr の負異常と重希土類元素に富むという異なる特徴を示す試料が一部認められた。同位体組成では、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比が高い値を示し、下部地殻部分溶融の影響が示唆される。これらのことから、両子山火山群の初生マグマは沈み込んだスラブの部分溶融により形成され、その後の進化過程で下部地殻物質の関与を受けた可能性が高いと考えられる。

1. はじめに

両子山火山群は、大分県国東半島を広く覆う約 2.0–1.0 Ma に活動した (e.g., 鎌田ほか, 1988; 松本ほか, 2012) 第四紀火山で (松本・成重, 1985)、中央部の溶岩ドーム群とそれを取り囲むおもに block-and-ash flow からなる火砕流堆積物で構成されている (石塚ほか, 2009)。堀川ほか (2016) は両子山火山群の噴火活動史を詳細に明らかにした。しかしながら、両子山火山群の詳細なマグマの起源と進化過程については十分な研究が未だ行われていない。両子山火山群の溶岩ドームが位置する国東半島中央部には赤根温泉が湧出しており、この温泉の熱源として両子山火山群のマグマ活動が寄与している可能性は高いと考えられる。そこで本研究では、新たに両子山火山群の溶岩と火砕流堆積物を採取し、柴田・三好 (2010, 2012) や Shibata et al. (2014) で報告されているデータを含めた主要元素組成と微量元素組成、及び両子山火山群の溶岩の Sr-Nd-Pb 同位体比などの地球化学的特徴から、両子山火山群のマグマ進化過程について検討を行った。

2. 試料と分析手法

幅広い噴出年代と広範囲のサンプリングのために、両子山火山群西部および北部で溶岩及び火砕流堆積物の採取を行った。これら試料の全岩の主要元素・微量元素組成分析と Sr-Nd-Pb 同位体組成を、広島大学先進理工系科学研究科に設置の蛍光 X 線分析装置、

誘導結合プラズマ質量分析計、表面電離型質量分析計を用いて分析した。

3. 結果と考察

両子山火山群の火山岩類の SiO_2 と $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含有量の関係を、Le Bas et al. (1986) による total alkaline 図にプロットした (図 1)。両子山火山群は安山岩からデイサイトの組成を示し、 SiO_2 含有量は 60–69 wt.% だった。また SiO_2 含有量の変化に対して、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含有量は大きく変化せず、火砕流堆積物と溶岩の間に顕著な差は認められない。

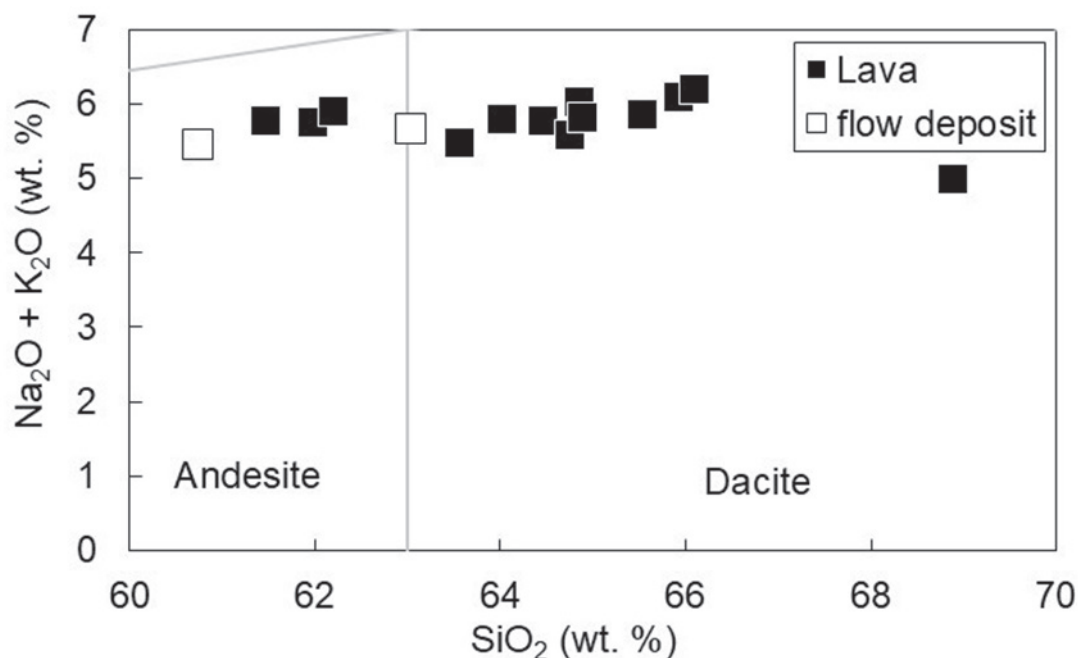


図1. 両子山火山群の溶岩・火砕流堆積物における SiO_2 とtotal alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)含有量の変動を示す図 (in wt.%; Le Bas et al., 1986に基づく)。凡例は白抜きの四角が火砕流堆積物、黒塗りの四角が溶岩を示す。

Sr/Y 比と Y 濃度の関係を示した図 2 に、Defant & Drummond (1990) による Adakite の境界と両子山火山群のデータを併せて示した。両子山火山群は Y 濃度が 10–26 ppm、 Sr/Y 比が 20–66 の間で変化し、一般的な島弧の火山岩 (Island Arc Andesite-Dacite-Rhyolite) から Adakite の範囲を示す。このことは、両子山火山群の成因として、沈み込むスラブが部分溶融してできた珪長質なマグマだけではなく、他のマグマ進化過程を経験した可能性を示唆している。

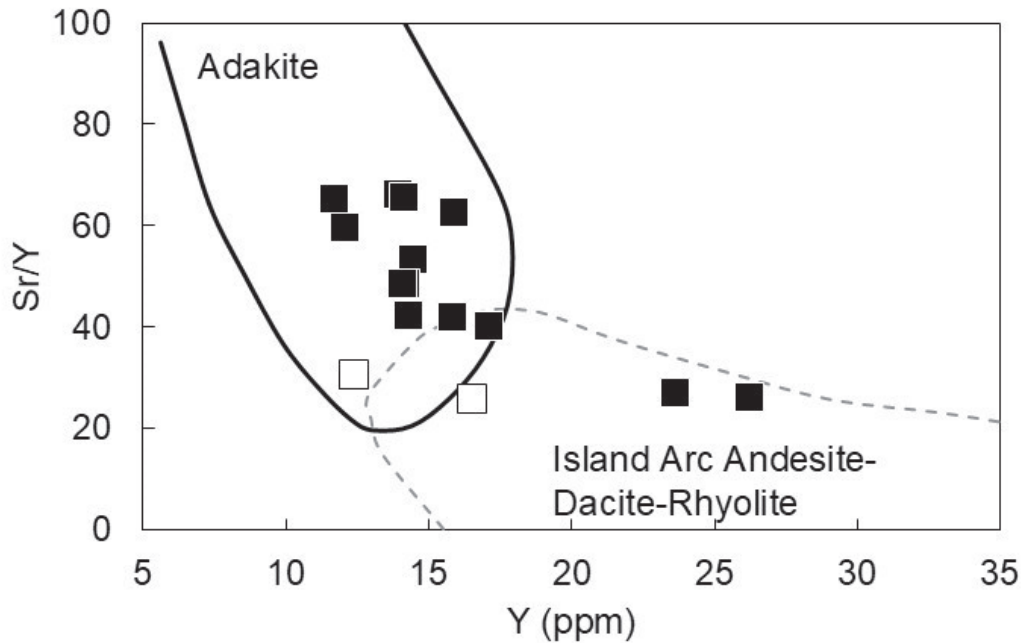


図2. 両子山火山群の溶岩・火砕流堆積物におけるY (ppm) とSr/Y比の関係。Island Arc Andesite-Dacite-Rhyolite と Adakite の範囲は Defant & Drummond (1990) による。凡例は図1と同じで、白抜きの四角が火砕流堆積物、黒塗りの四角が溶岩を示す。

両子山火山群の微量元素組成を始原マンタルの値で規格化したパターン図を示す (図3)。ほとんどの試料は類似したパターンを示し、Pb の正異常・Nb の負異常・軽希土類元素に対して重希土類元素が乏しいといった島弧火山に特徴的な傾向が認められた。一試料のみ、Zr 負異常を示し、他の試料に対して重希土類元素が枯渇しない傾向を持つ。

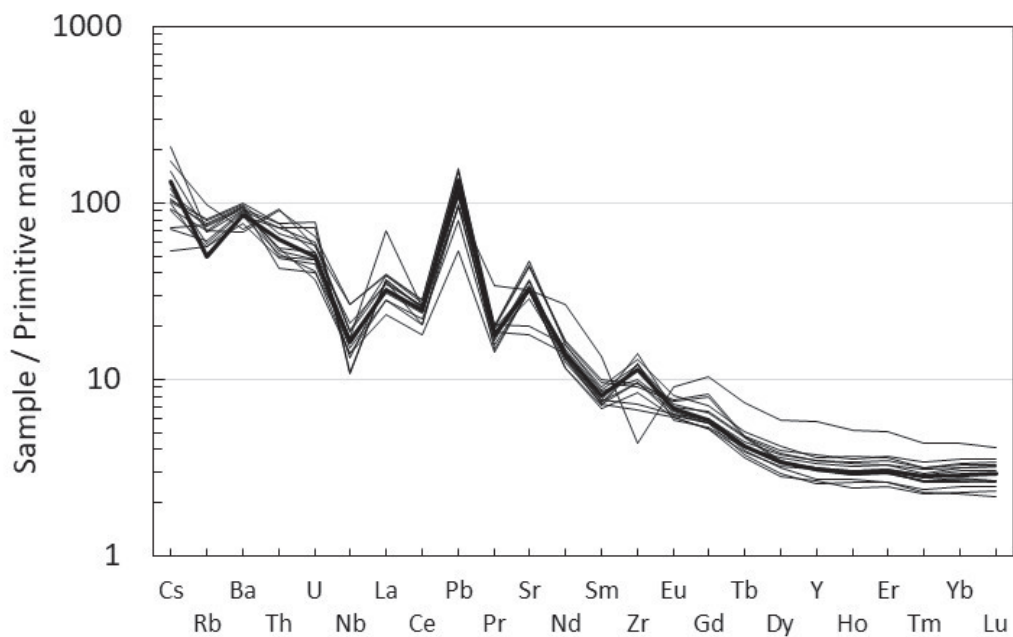


図3 両子山火山群の溶岩・火砕流堆積物のデータを Primitive Mantle で規格化した微量元素パターン図。規格化に使用した Primitive Mantle の値は Sun and McDonough (1989) を用いた。

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比と $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比の関係を示した図 4 に、両子山火山群のデータおよび四国海盆玄武岩 (SBB; Hickey-Vargas, 1991) とフィリピン海プレート上の堆積物 (PSP-S; Shimoda et al., 1998) のデータも併せて示した。Shibata et al. (2014) によれば、SBB と PSP-S の混合線上に北部九州の第四紀火山岩の多くがプロットされるのに対し、両子山火山群はその混合線より $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比が富む傾向が認められる。最も $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比に富む試料は微量元素パターン図 (図 3) において他試料とは異なる傾向を持つ試料である。このような $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比に富む成分として、南九州の火山岩では下部地殻の影響が議論されており (Hosono et al., 2008)、両子山火山群でも地殻物質がマグマ進化過程に影響を及ぼした可能性が指摘できる。また $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比と $1/\text{Sr}$ の関係を示した図 5 に、両子山火山群と Miyoshi et al. (2011) によって計算された中部九州直下の下部地殻の部分熔融液の組成範囲を示した。両子山火山群は $1/\text{Sr}$ が高くなるにつれて Sr 同位体比も高くなり、下部地殻の部分熔融液の領域へ向かう傾向が確認できる。以上のことから、両子山火山群のマグマ進化過程において下部地殻が重要な役割を果たしたと考えられる。

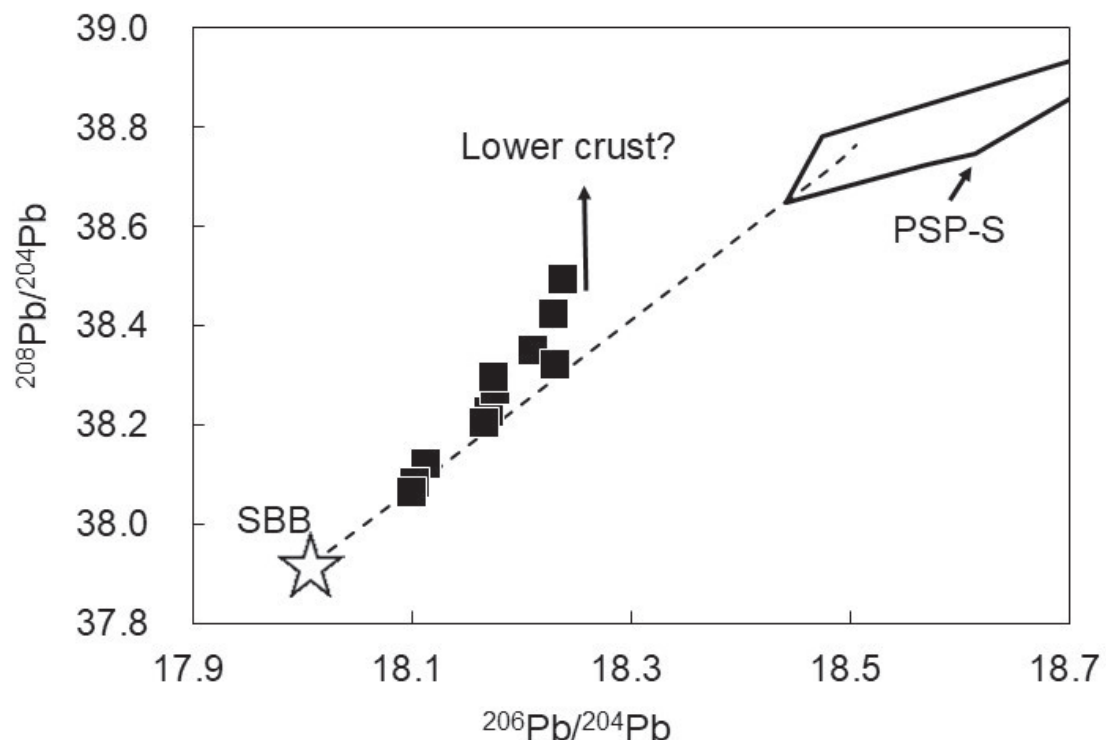


図4. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比と $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比の関係を示した図に、両子山火山群のデータを併せて示した。破線は四国海盆玄武岩 (SBB) とフィリピン海プレート上の堆積物 (PSP-S) 間の混合曲線を示す。SBB、PSP-S の同位体比は Hickey-Vargas (1991) と Shimoda et al. (1998) のデータをそれぞれ使用した。

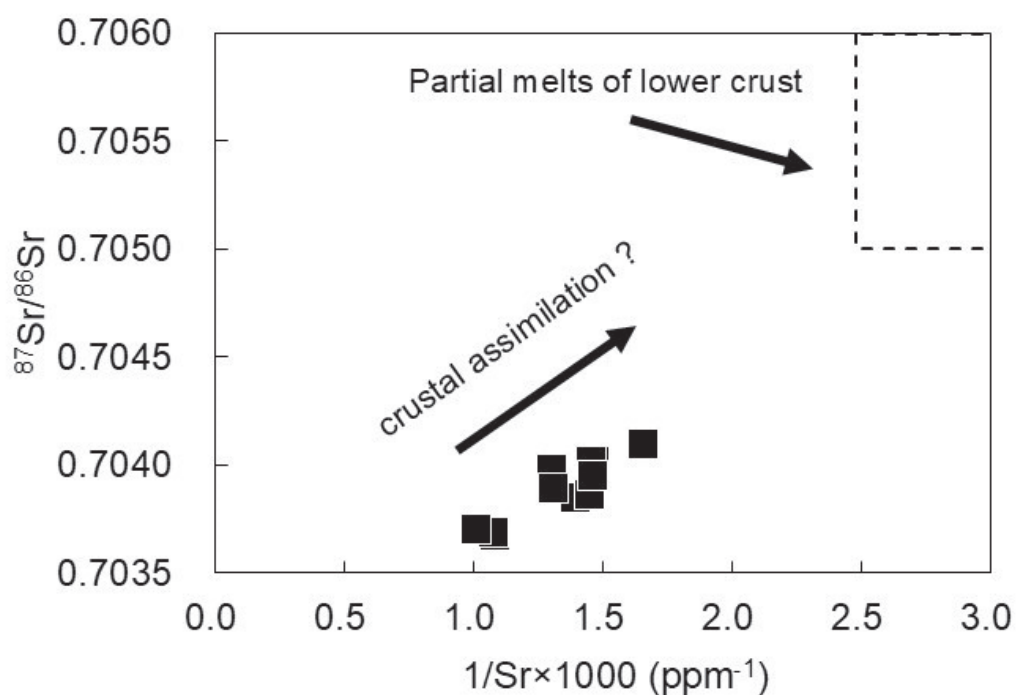


図5. $1/\text{Sr}$ と $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の関係を示した図に、両子山火山群のデータを併せて示した。破線はMiyoshi et al. (2011)によって計算された苦鉄質下部地殻の部分熔融液の領域。

4. まとめ

両子山火山群の初生マグマは沈み込んだスラブの部分熔融によって生成された可能性が高く、その初生マグマが下部地殻の部分熔融の影響を受けたことで、両子山火山群の地球化学的特徴が説明できる可能性が高い。今後は両子山火山群直下の地殻物質の同位体比の測定や溶岩中に含まれる斑晶鉱物の主要・微量元素組成から、マグマ進化過程やマグマの物理化学条件をより制約できると思われる。本調査結果は国東半島の赤根温泉の熱・流体起源を議論する基礎になることが期待できる。

5. 参考文献

- Defant, M. J., & Drummond, M. S. (1990). Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347, 662–665.
- Hickey-Vargas, R. (1991). Isotopic characteristics of submarine lavas from the Philippine Sea: Implications for the origin of arc and basin magmas of the Philippine tectonic plate. *Earth and Planetary Science Letters*, 107, 290–304.
- Hosono, T., Nakano, T., Shin, K., & Murakami, H. (2008). Assimilation of lower to middle crust by high alumina basalt magma as an explanation for the origin of

- medium-K volcanic rocks in southern Kyushu, Japan. *Lithos*, 105(1-2), 51-62.
- 堀川義之・永尾隆志・奥野充（2016）．国東半島，両子火山群・岡ノ岳火山の噴火活動．火山，61(1), 225–236.
- 石塚吉浩・尾崎正紀・星住英夫・松浦浩久・宮崎一博・名和一成・実松健造・駒澤正夫（2009）．20 万分の 1 地質図幅「中津」．産業技術総合研究所 地質調査総合センター．
- 鎌田浩毅・星住英夫・小屋口剛博（1988）．中部九州・中国地方西部の火山フロントの形成年代．月刊地球, 10, 568–574.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., & Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali–silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3), 745–750.
- 松本哲一・星住英夫・廣田明成（2012）．大分県国東半島両子山火山の K-Ar 年代．日本火山学会 2012 年度秋季大会講演予稿集, 163.
- 松本幡郎・成重欽也（1985）．大分県国東半島の火山地質．熊本大学教養部紀要（自然科学編）, 20, 61–76.
- Miyoshi, M., Shibata, T., Yoshikawa, M., Sano, T., Shinmura, T., & Hasenaka, T. (2011). Genetic relationship between post-caldera and caldera-forming magmas from Aso volcano, SW Japan: Constraints from Sr isotope and trace element compositions. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 106(2), 114–119.
- 柴田知之・三好雅也（2010）．両子山の第四紀マグマの Sr 同位体による研究．大分県温泉調査報告, 61, 1–2.
- 柴田知之・三好雅也（2012）．両子山の第四紀マグマの Nd 同位体による研究．大分県温泉調査報告, 63, 97–100.
- Shibata, T., Yoshikawa, M., Itoh, J.-I., Ujike, O., Miyoshi, M., & Takemura, K. (2014). Along-arc geochemical variations in Quaternary magmas of northern Kyushu Island, Japan. In: *Orogenic Andesites and Crustal Growth*. Geological Society, London, Special Publications, 385, 15–29.
- Shimoda, G., Tatsumi, Y., Nohda, S., Ishizaka, K., & Jahn, B.-M. (1998). Setouchi high-Mg andesites revisited: Geochemical evidence for melting of subducting sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 160(3–4), 479–492.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In *Magmatism in the*

Ocean Basins (Saunders, A.D. and Norry, M.J. Eds.). Geological Society, London, Special Publications, 42, 313–345.

大 分 県 温 泉 調 査 研 究 会 会 則

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

第 2 条 研究会の事務局を大分県生活環境部自然保護推進室内に置く。

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

第 4 条 研究会は前条の目的を達成するために下記の事業を行う。

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

第 5 条 研究会は下記の構成員をもって組織する。

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

第 6 条 研究会の役員は下記のとおりとし、総会によって選任する。ただし、第 5 条 2 号及び 3 号の構成員が役員に就任する場合は除く。

- (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、再任を妨げない。また、役員に欠員を生じた場合の補欠役員の任期は前任者の残任期間とする。

第 7 条 会長は会務を総理し、会議の議長となる。

- 2 会長に事故のあるときは副会長が、会長及び副会長に事故があるときは常務理事がその職務を代理する。
- 3 副会長は会長を補佐して研究会の庶務を専決する。ただし、研究会の会計事務は常務理事が専決するものとする。
- 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) 役員の選出（第 5 条 2 号及び 3 号の構成員が役員に就任する場合は除く。）
- (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) 第 5 条 2 号及び 3 号の構成員の役員就任に関する事項
- (2) 総会の議決事項であっても軽易な事項
- (3) 緊急を要する事項
- (4) 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ることができる。

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 7 月 16 日から始めるものとする。

附 則

この会則の改正は、昭和 46 年 4 月 1 日から適用する。
この会則の改正は、昭和 48 年 4 月 1 日から適用する。
この会則の改正は、平成 2 年 4 月 1 日から適用する。
この会則の改正は、平成 7 年 5 月 1 日から適用する。
この会則の改正は、平成 9 年 4 月 1 日から適用する。
この会則の改正は、平成 16 年 4 月 1 日から適用する。
この会則の改正は、平成 18 年 4 月 1 日から適用する。
この会則の改正は、平成 21 年 8 月 3 日から適用する。
この会則の改正は、平成 26 年 8 月 27 日から適用する。
この会則の改正は、平成 28 年 8 月 26 日から適用する。
この会則の改正は、令和 4 年 4 月 1 日から適用する。

大分県温泉調査研究会会員名簿

(令和8年6月1日現在)

所 属 ・ 職 名	氏 名	役 員
京都大学名誉教授 大分大学減災・復興デザイン教育研究センター 特任教授	大 沢 信 二	会長
九州大学 名誉教授	牧 野 直 樹	副会長
大分県 生活環境部自然保護推進室 室長	河 部 明 美	副会長
大分県生活環境部自然保護推進室 主幹(総括)	山 内 聖 子	常務理事
秋田大学大学院 理工学研究科システムデザイン工学専攻 土木環境工学コース	網 田 和 宏	
茨城キリスト教大学 生活科学部食物健康学科 講師	加 藤 礼 識	
茨城キリスト教大学 生活科学部	田 崎 ひ な た	
大分大学教育学部 教授	大 上 和 敏	理事
大分大学医学部 大分県立病院精神科	塩 月 一 平	
大分大学理工学部 講師	江 藤 真 由 美	
(元)大分大学 医学部	青 野 裕 士	
(元)岡山理科大学 理学部基礎理学科	北 岡 豪 一	
九州大学 名誉教授	糸 井 龍 一	
九州大学大学院 理学研究院地球惑星科学部門 教授	山 本 順 司	
九州大学大学院 工学研究院地球資源システム工学部門 准教授	松 本 光 央	
九州大学大学院 比較社会文化研究院 准教授	松 尾 和 典	
京都大学 名誉教授	由 佐 悠 紀	
京都大学 名誉教授	竹 村 恵 二	
京都大学名誉教授・阿蘇火山博物館 学術顧問	鍵 山 恒 臣	
京都大学大学院 理学研究科附属地球熱学研究施設 教授	楠 本 成 寿	
京都大学大学院 理学研究科附属地球熱学研究施設 助教	澤 山 和 貴	
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	宇 津 木 充	
社会医療法人雪の聖母会聖マリア病院 血液内科 主任医長	山 崎 聡	
東海大学 人文学部 学部長・教授	斉 藤 雅 樹	
長崎大学 熱帯医学・グローバルヘルス研究科	阿 部 し ず 代	
広島大学大学院 先進理工系科学研究科地球惑星システム学プログラム地球惑星化学グループ 教授	柴 田 知 之	
広島大学大学院 先進理工系科学研究科地球惑星システム学プログラム 特任教授	芳 川 雅 子	
広島大学大学院 先進理工系科学研究科地球惑星システム学プログラム 特任助教	平 山 剛 大	
福岡大学 理学部地球圏科学科 教授	柴 田 智 郎	
別府大学 国際経営学部国際経営学科 教授	中 山 昭 則	理事
別府大学 食物栄養科学部 発酵食品学科 講師	齋 藤 圭	
鉄輪すじ湯温泉組合長	多 川 優 也	
立正大学 地球環境科学部 教授	河 野 忠	
立命館アジア太平洋大学 アジア太平洋学部 教授	マ ヒ チ ・ フ ァ エ ゼ	
龍谷大学経済学部 准教授	山 田 誠	
宇佐市立安心院中学校 教諭	三 島 壮 智	
一般社団法人バラカメディカル 代表理事	今 村 さ あ ら	
一般財団法人九州環境管理協会 技術部長	天 日 美 薫	
一般財団法人九州環境管理協会 分析試験課長	右 田 義 臣	
株式会社とっぺん文化財事業部 アーキビスト	円 城 寺 健 悠	
株式会社SARABIO温泉微生物研究所 本社 代表取締役会長	濱 田 茂	
株式会社SARABIO温泉微生物研究所 本社 海外事業部 統括マネージャ/本社企画室 室長	浅 尾 歩	
株式会社SARABIO温泉微生物研究所 中央研究所 所長	野 畑 重 教	
環境工研株式会社 代表取締役	大 島 博	
九電産業株式会社 環境部 上席執行役員環境部長	田 尻 隆	
九電産業株式会社 環境部 地熱グループマネージャー	渡 邊 英 樹	
九電産業株式会社 環境部 分析センター	坪 田 晃 誠	
九電産業株式会社 環境部	小 野 光 一	
公益社団法人大分県薬剤師会 会長	中 芝 高 彦	
公益社団法人大分県薬剤師会検査センター 食品環境課課長兼検査部長代理	小 柳 雅 裕	
社会保険診療報酬支払基金大分支部 審査委員長	安 田 正 之	
タナベ環境工学株式会社 代表取締役	藤 澤 剛	
タナベ環境工学株式会社 常務取締役	後 藤 弘 樹	
タナベ環境工学株式会社 環境調査課 課長	相 垣 明 子	
西日本技術開発株式会社 地熱業務本部 地熱部 資源調査第2グループリーダー	宮 部 俊 輔	
日鉄鉱業株式会社	酒 井 拓 哉	
別府ONSEN地療法研究会(畑病院)	畑 洋 一	
別府ONSEN地療法研究会(畑病院)	畑 知 二	
地熱技術開発(株) 探査部 専門部長	長 谷 英 彰	
有限会社サンエスメンテナンス 代表取締役	塩 見 泰 美	

大分県温泉調査研究会会員名簿

(令和8年6月1日現在)

所 属 ・ 職 名	氏 名	役 員
大 分 市 長	足 立 信 也	理事
別 府 市 長	長 野 恭 紘	理事
中 津 市 長	奥 塚 正 典	
日 田 市 長	椋 野 美 智 子	理事
臼 杵 市 長	西 岡 隆	
竹 田 市 長	土 居 昌 弘	理事
豊後高田市長	佐 々 木 敏 夫	
宇 佐 市 長	後 藤 竜 也	
由 布 市 長	相 馬 尊 重	理事
国 東 市 長	松 井 督 治	
姫 島 村 長	大 海 靖 治	
九 重 町 長	日 野 康 志	理事
玖 珠 町 長	宿 利 政 和	
別府市 観光・産業部 参事 兼 温泉課長	樋 田 英 彦	監事
別府市 観光・産業部温泉課 参事	山 下 恭 助	
大分県 東部保健所 所長	藤 内 修 二	監事
大分県 東部保健所 次長	葉 師 寺 信 介	
大分県 衛生環境研究センター 所長	若 松 正 人	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)	林 徹	
大分県 衛生環境研究センター微生物担当 主任研究員	三 宮 佳 那 子	
大分県 衛生環境研究センター微生物担当 研究員	三 浦 桜 子	
大分県 衛生環境研究センター微生物担当 研究員	麻 生 尚 宏	
大分県 衛生環境研究センター水質担当 主任研究員(総括)	清 國 直 樹	
大分県 衛生環境研究センター水質担当 主任研究員	今 村 洋 貴	
大分県 衛生環境研究センター水質担当 主任研究員	渡 邊 由 美 子	
大分県 衛生環境研究センター水質担当 研究員	森 智 貴	
大分県 衛生環境研究センター水質担当 研究員	芝 原 知 弘	
大分県 衛生環境研究センター水質担当 研究員	日 名 子 京 介	
大分県 産業科学技術センター工業化学担当 上席主幹研究員(総括)	柳 明 洋	
大分県 産業科学技術センター企画連携担当 主任研究員	秋 吉 貴 太	

(会 員 数 9 0 名)

書 記

所 属 ・ 職 名	氏 名	役職
大分県 生活環境部自然保護推進室 主査	都 留 翔 平	書記
大分県 生活環境部自然保護推進室 主事	甲 斐 ゆ う	書記
大分県 生活環境部自然保護推進室 非常勤職員	小 田 文 教	書記

(書 記 3 名)

大分県温泉調査研究会報告 第77号

令和8年8月 印刷

令和8年8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

自然保護推進室内（事務局）

TEL 097-506-3025

FAX 097-506-1749

印刷社 株式会社明文堂印刷

〒870-0023 大分市長浜町1丁目2-2

TEL 097-533-8800

FAX 097-533-8933

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