

大分県温泉調査研究会報告

第76号

令和7年8月

目次

持続可能な温泉利用についての検討

～温泉管理のマンパワー不足をどう解消するか～ …………… 加藤 礼 識 他5人 …………… (1)

夕食前の温泉全身入浴に続く、次日の朝食前早朝時の温泉全身入浴が、ひとの cortisol 日内変動に及ぼす影響_快眠後の気分向上への効果 …………… 青野 裕 士 …………… (9)

大分平野の地下構造(3)ー伏在断層の分布と活動性ー …………… 竹村 恵 二 他2人 …………… (21)

大分市温泉化学成分の地質学的・地球統計学的考察 …………… 澤山 和 貴 他2人 …………… (35)

九重火山群の第四紀火山岩類の地球化学的研究3 …………… 柴田 知 之 他3人 …………… (51)

九重山麓の湧水等の Sr 同位体比

由布市九重火山群黒岳・前岳山麓で採取された湧水について …………… 芳川 雅 子 他2人 …………… (55)

2018年～2024年の6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3人 …………… (61)

温泉の蒸気を活用した調理：他の調理法と比較した場合の味覚、色、効率等の違い

…………… マヒチ・ファエゼ …………… (85)

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

…………… 野畑 重 教 …………… (89)

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

…………… 野畑 重 教 …………… (97)

持続可能な温泉利用に関する検討 ～温泉管理のマンパワー不足をどう解消するか～

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

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

有限会社 サンエスメンテナンス

塩見泰美

別府大学 文学研究科

円城寺健悠

奈良県立医科大学 医学研究科 公衆衛生学

長田瑞花

要旨

日本の源泉数の 10%以上が集中する大分県別府市。湧出量の減少や泉温の低下と言った物理的な問題のほか、温泉を管理するマンパワーの不足が問題となって来ている。昭和期の人口増大の中で拡大していった温泉は、人口減少社会の中でどのようにあるべきなのだろうか。本研究は温泉を将来にわたって利用していくために、共同温泉にどのような問題が存在するのかを検討するための一次的な資料作成のための調査である。

1.目的

令和 6 年 3 月時点で国内には 27,932 孔の源泉が存在する。そのうちの 5,089 孔が大分県内にあり、その中でも 2,832 孔が別府市に集中している。つまり国内源泉の 18%が大分県内にあり、国内源泉の 10.1%が別府市内にあることになる。そのような環境もあり、大分県では 2012 年より「おんせん県」を商標登録し、観光振興を行ってきた。別府市内の温泉で特徴的なのは、地域自治会や温泉組合の管理する「共同温泉」という名の地域に根差した温泉の存在である。共同温泉は、自然に湧出する温泉を、地域の住民が生活の中で共同管理して利用してきた慣行が現在まで継承されているものである。また多くの共同温泉は地区公民館としての利用もなされており、地域コミュニティの中心的な存在になっている。このような地域の共同温泉は別府市内に 100 か所以上存在している。

別府市の共同温泉は、現在のように各家庭に入浴設備のなかった頃に、日常入浴利用のために設置され、人口増加やコミュニティの拡大に伴ってその数を増やしていった。別府市の人口推移を見てみると1980年に134,419人で人口のピークを迎え、そこから人口減少の傾向に変化して2025年2月現在では111,633人となり、人口はピーク時よりも22,786人減少している。比率でいうと16.9%の人口減少をしている。人口の将来推計を見ても2050年には84,031人まで減少すると推計されており、ピーク時の62.5%まで減少することになる。人口増加とともに拡大していった地域の共同温泉は、人口減少時代の中でどのようにあるべきなのだろうか。

別府市内の共同温泉の現状を見てみると、組合員の減少による組合員一人当たりの負担の増加や、管理人の確保困難などの問題が散見されるようになっている。人口減少や高齢化の中で、温泉数も適正な数があるのではないだろうか？本研究は適正な温泉数を検討するための調査である。

2. 温泉管理の現状と対策

前述したように、別府市には国内の源泉の10%が集中している。人口比率では約40人に対して1つの源泉があることになる。もちろん観光利用や地熱発電などの利用もあり、すべてが地域住民の入浴利用を目的とするものではないが、40人に1つの源泉という人が多いように思える。しかしこの人口比率自体は別府市が突出しているわけではない。例えば神奈川県箱根町は人口10,850人に対して345の源泉があり、人口比率では31人に1つの源泉ということになり、人口当たりの源泉数は別府市よりも多い。今回の論点は人口に対して源泉数が多いかどうかというよりも、源泉数を管理出来ているかどうかというのが問題である。2022年度大分大学の宮下による修論研究¹⁾では、別府市内の共同温泉54施設に聞き取り調査をした結果49施設で人材不足による運営の困難との回答があり、9割以上の施設でワンプワー不足が起っていた。

実際に2020年には「野口中央温泉」と「上ノ温泉」が組合員減少による管理困難や源泉の確保が困難になったことを理由に廃業している。「上ノ温泉」は1965年ごろには約300人の組合員で運営されていたが、廃業時の2020年には組合員は80人まで減少していた。高齢化や人口減少、自宅内への浴室配備など、様々な要因が考えられるが、組合員が60年間で1/4まで減ったことが、温泉維持が出来なくなる要因となっていた。2025年3月時点でも、「西別府団地温泉」や「祇園温泉」で管理人の確保が困難になっている。この温泉管理のマンパワー不足には、どのような対策があるのだろうか？

2-1. 学生による温泉の管理

2020年9月、別府大学駅と別府大学の間にある「前田温泉」は利用者の減少と清掃等の

管理を担う人手不足により、休館を予定していたが、別府大学温泉愛好会が清掃や温泉管理を引き受けることにより、休館を回避し運営を継続した。共同温泉を学生が管理することで運営継続が可能になったが、学生は基本的には4年で大学を卒業するため、リレー的な管理者の移行が必要である。別府大学温泉愛好会で温泉管理の中心的な存在だった重光宏哉は3年間で1500回以上の温泉清掃を10か所以上の温泉で行っていた。多くの共同温泉でマンパワー不足が発生している中で、特定少数の学生のみが多くを負担を抱え込む傾向もあり、必ずしも持続可能な温泉の管理とは言えない可能性がある。

別府大学広報への聞き取りでは、温泉の維持管理は大学が直接引き受けた事案ではないものの、大学として「温泉管理のマンパワー不足」という地域課題について貢献できていると考えていると答えている。

2-2. 障害者就労支援による温泉清掃

別府市内の温泉では、障害者B型就労支援施設による温泉清掃等も行われている。障害者就労支援B型は、一般企業などと雇用契約を結んで働くことが難しい障害者に対して、就労機会や生産活動の場を提供する施設である。施設での業務に参加しながら、働くために必要な知識や能力の向上を目指し、職業訓練を行っている。障害者施設が共同温泉の清掃という部分を請負い、職業訓練として温泉清掃に携わり、共同温泉の人材不足を補完している。

別府市石垣東の一般社団法人椿ではB型作業所つばきラボにおいて、障害者の就労訓練として、市内約10箇所の温泉清掃を15人以上の障害者で行っている。就労訓練としての温泉清掃は一見すると、社会福祉としての効果もあり、有効な対策に見えるかもしれない。しかしながら、共同温泉の運営資金不足やマンパワー不足を福祉の名を借りて安価にクリアしようとしているだけではないだろうか。

2-3. 外国人技能実習生の活用

温泉清掃や温泉管理に外国人技能実習生の活用を検討する声もある。技能実習生制度は日本に来日する外国人労働者が特定の技能を習得し、将来的に母国に帰国した後に、習得した技能を生かすための研修制度である。現在91職種167作業が受け入れ可能職種として厚労省より認定されており、温泉清掃などの業務は「ビルクリーニング」の作業に該当すると考えられている。この外国人技能実習生に温泉清掃などの、施設の維持に関連した作業を行わせようという考えである。この外国人技能実習生制度については、過去に様々な問題があった。過去においては外国人労働力を、安い賃金で手に入れるような制度であったが、現在はそのような制度は改善され、少なくとも最低賃金以上を保証しなければならない。また、技能実習が大義名分であるため、ビルクリーニング作業におい

ては夜間の実習は想定されていない。そのため、外国人技能実習生に温泉清掃を行わせるためには、日中の温泉営業時間に一旦営業を停止して、清掃作業を行わせる必要がある。単純にマンパワー不足を解消するという目的で有れば、外国人技能実習生の活用は有効かもしれないが、運営資金不足を複合した現状を鑑みると、必ずしも可決策につながるとは考えにくい。

2-4. 温泉管理のロボット化

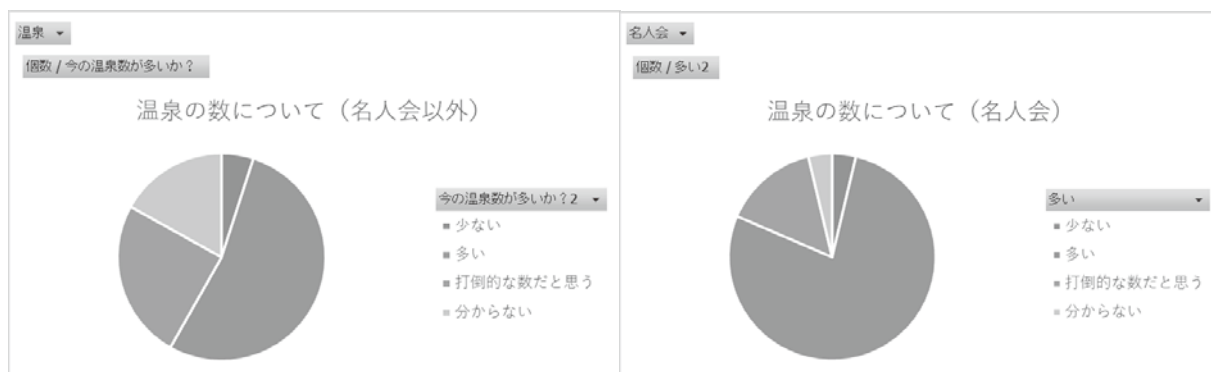
他業種のマンパワー不足対策を見てみると、飲食業界でのロボット化が参考になる事例と言える。配膳ロボットやセルフレジなどによる省人化である。飲食業界でのロボット化は、新型コロナウイルス感染症の蔓延を防止するために、人と人との接触機会を減らす目的で始まったが、飲食業界の慢性的なマンパワー不足の解消ができるということで、一気に需要が拡大していった。今では食品の配膳、フロアの清掃、飲食後の会計など、様々な部分でロボット化が進んでいる。温泉でのロボット化には、防水や温度対策など、乗り越えるべき課題も多く、すぐに導入するというわけにはいかないだろうが、将来的には温泉管理のロボット化も、人材不足に対する策としては、有効かもしれない。例えば、番台での入浴料徴収の自動販売機化や、浴室内の清掃作業はロボットに代替できるものと考えられるが、整理整頓などに関しては現状ではロボット化は難しいものと考えられる。また、温泉での入浴者の不慮の事故等に対応するためには、「人の目」が必要で有ることも多い。

3. 温泉に関するアンケート

別府温泉に関する意識調査を、別府市内の5温泉（不老泉・永石温泉・海門寺温泉・駅前高等温泉・田の湯温泉）で実施した。また、別府温泉をこよなく愛する人の意見として、同じ質問を別府八湯温泉道名人会の会員にも答えてもらった。回答者数は5温泉の入浴者が201人、温泉道名人会会員が27人である。

3-1. 別府の温泉は多いのか？

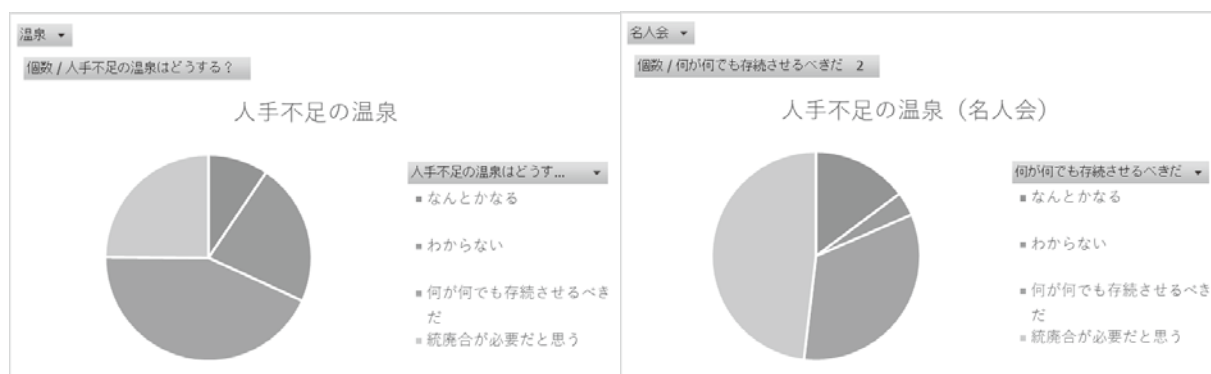
別府市内の5温泉において、「全国の源泉の10%が別府市内にあること」を伝えたくうえで、別府市内に温泉が多いと思うかどうかを質問した。



別府市内の 5 温泉の利用者の 53.2%にあたる 107 人が別府の温泉は多いと答えている。温泉道名人会会員に関しては、77.8%にあたる 21 人が別府の温泉は多いと答えている。別府市内に日本の温泉の 10%が集中している現状に対しては、やはり「多い」と感じているものが多かった。

3-2. 人材不足により管理できない温泉はどうすべきか？

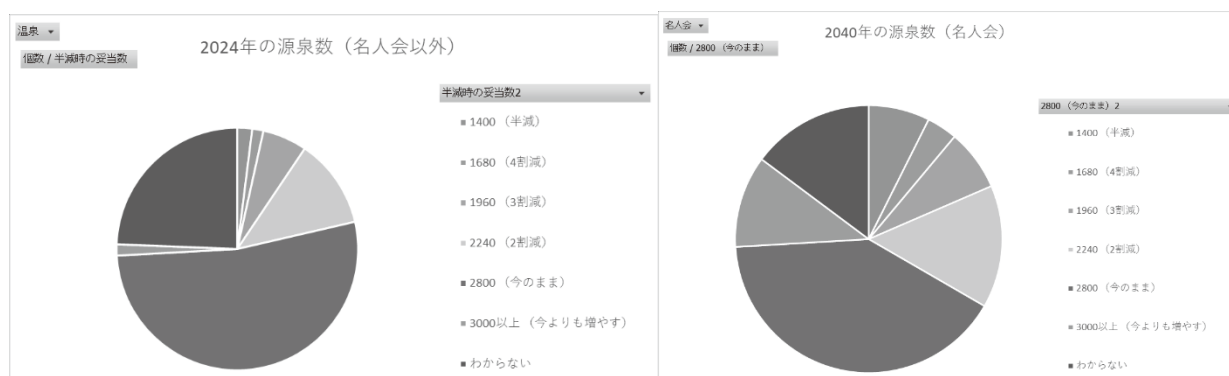
地域の共同温泉において、人手不足により清掃等の管理の行き届かない施設が散見されていることを伝え、そのうえでそのような施設をどうすべきかを尋ねた。



市内 5 温泉の利用者では、人手不足でもなんとかすると考えているものが約 10%にあたる 19 名おり、人手不足であろうとも何が何でも存続させるべきだと考えているものが、43.2%にあたる 87 名いた。「なんとかする」「何が何でも存続させる」を合わせると過半数を超えていた。統合が必要だと考えている人は 25%だった。それに対して、温泉道名人会の会員では、48%にあたる 13 名が「統合が必要」だと考えており、一般的な入浴者と温泉道名人会の間で乖離があった。

3-3. 15 年後、2040 年の源泉数はどのくらいであるべきか？

今後の別府市の人口推計では、人口減少が予測されており、15 年後にはピーク時の 1980 年と比較して 2/3 まで人口は減少する。現在は市内に 2832 孔の源泉があるが、2040 年にはどのくらいの源泉数が適正だと思うかを質問した。



市内の 5 温泉の利用者では、52.7%の 106 人が現在のまま、2,800 の源泉が別府市内にあるべきだと回答した。わからないと答えたものが 25%程度いたが、現状よりも源泉数を増やすべきだと考えているものは 1.5%のみであり、現状よりも減らすべきと考えているものは 21.3%と、市内の温泉利用者のほとんどは現状の温泉数の維持を望んでいた。

温泉名人会の会員では、40.7%が現状維持の 2,800 孔が適正と答えており、現状よりも源泉数を減らすべきだと考えているものは 33%であった。源泉数を増やすべきだと考えているものも 10%程度いた。

4. 調査の結果から

本調査は、地域での人口減少の中で、共同温泉の管理においてマンパワー不足が起こり、維持管理が困難な施設が散見されるようになった中で、地域の共同温泉を維持するべきなのかどうか、そして維持するべきなのであればどのような方法が考えられるのかという議論をするための、問題提起のための一次資料を作成するものである。まず、今回の調査では、「別府の温泉は多いのか」という単純な質問を投げかけてみた。その質問に対して、多くの人が「多い」と考えていることが分かった。しかし、この「多い」は、多いから減らせというものではない。特に、市内 5 温泉の利用者に関しては、半数以上の人口が減少したとしても、現在の温泉の数は維持してほしいと考えている。これは、多くの温泉のある街「別府」を今のまま維持してほしいという思いなのかもしれない。これに対して、温泉道名人会の会員からの回答では、現状の数を維持するべきという回答と、温泉の数を減らすべきだという回答が拮抗した。温泉名人会会員は、別府市内の温泉を数多く巡る中で、管理の行き届かない共同温泉等を目の当りにしていたのかも知れない。そのため質を落としてまで数を維持するべきではないと考えているのかも知れない。だからこそ、市内の温泉利用者と温泉名人会会員との間で、人材不足によって管理の行き届かなかった温泉に対する考えに大きな差が出ていると考えられる。人材不足で管理が行き届かなくても、何が何でも温泉を存続させるべきだと考える市内 5 温泉の利用者と、人材不足で有れば温泉の統廃合を検討するべきだという名人会会員との間で起こる考えの乖離。これは、いくつか少数の温泉を固定的に利用する地域の温泉利用者と多数の温泉を巡る名人会会員の志向の違いと言えるだろう。

5. 問題提起

別府市に日本の温泉の約 10%が集中しているのは事実である。別府市が人口減少の途にあることも事実である。そして、人材不足や資金不足によって運営が困難になっている共

同温泉があることも事実である。この事実に向き合って、別府市の資源である温泉を、将来にわたって持続可能なものにするために、様々な視点からの議論をする必要がある。人口減少社会の中で、現在の温泉数を残したいと思うのであれば、どのようにして維持していくのかを検討するべきである。例えば、市内在住温泉利用者と市街在住温泉利用者との間に温泉利用料の価格差を設けるダブルスタンダード化によって、共同温泉の収入を増やすことも一つの案になるだろうし、ロボット導入による省人化も一つの案とあるかもしれない。別府の温泉をどうするのか。市民を巻き込んだ議論へのきっかけになればと考えている。

6. 謝辞

研究を遂行するにあたり、別府市役所温泉課、有限会社サンエスメンテナンス、別府大学温泉愛好会、別府八湯温泉道名人会をはじめ多数の方々の協力をいただきました。また、本研究遂行にあたり、大分県温泉調査研究会からの研究助成をいただき研究が実施できたこと、終始暖かい支援をくださいました別府市営温泉利用者の方々に、厚くお礼を申し上げます。

7. 参考文献

宮下達平「住宅宿泊事業法に基づく基礎自治体の取組み実態と温泉観光地における民泊施設立地規制のあり方」<https://www.arch.oita-u.ac.jp/urban/ppt/2021/M/miyashita.pdf>

夕食前の温泉全身入浴に続く、次日の朝食前早朝時の温泉全身入浴が、ひとの cortisol 日内変動に及ぼす影響_快眠後の気分向上への効果

青野裕士労働衛生コンサルタント事務所

青野裕士

要旨

Na塩化泉に、夕食前で夕暮れ前の夕方、温泉全身入浴した、36名の中高年男女では、10分間の入浴で、入浴中の唾液中 cortisol 値が、入浴前より上昇し、自己回帰スペクトル分析による自律神経機能評価から、この間の副交感神経活動賦活を観察でき、更に、対象者の殆どから快眠の報告を得ていた。cortisol の日内変動が、温泉入浴によって大きな影響を受けるのかの関連は明らかにできなかった。それ故、前日の夕方の入浴後、当日の早朝入浴と、比較的容易に温泉入浴を親しめる条件下で、自律神経活動と連動する生体物質[cortisol、DHEA-S(デヒドロエピアンドロステロンサルフェート)]の定量、心拍変動の周波数分析による自律神経活動(副交感神経成分と交感神経成分との平衡関係)の検討が必要となった。さらに、快眠と関係の深い疲労の定量化も必要で、POMS(気分の調査)で用いて調査した。夕食前の夕方に温泉に全身入浴し、次日の朝食前にも入浴することを日課にしている男女の多い別府市在住者に、Na塩化泉、炭酸水素塩泉それぞれに入浴するように依頼でき、唾液採取や安静心電図検査より少し時間のかかる、3電極を前胸部に着けるモニターではあるが、負担がかからず、協力を得られやすかった。

対象者の唾液の cortisol や DHEA-S の推移と変動、心拍変動の自己回帰スペクトル分析から、Na塩化泉、炭酸水素塩泉のそれぞれで、夕食前の夕方から朝食前の温泉入浴によって、午前には高い値の cortisol が午後には漸減し、早朝には高くなり、その高まりには、DHEA-S が加速的な役割を演じ、自律神経機能の偏りを平準化してすることを明らかにできた。POMS (気分の調査) 所見でも、前日入浴前に比べ、当日出浴後には、男女ともに、緊張-不安、抑うつ-落込み、怒り-敵意、疲労が下がり、活気は有意に高くなったが、特に、男の疲労は有意に下がって、快眠につながったと思われる。cortisol に関わる新たな知見も加えてみると、神経系・内分泌系のシナプス伝達、細胞内の小細胞器官と細胞質器官間の伝達、イオンチャネル、さらに、視床下部・脳下垂体・副腎の各機能の時系列推移が、温泉入浴による亜急性効果を起こしている事が示唆された。

キーワード Na塩化泉 重炭酸水素泉（炭酸水素塩泉） 唾液中コルチゾールと唾液中DHEA-Sの定量 心拍変動の自己回帰スペクトル分析 POMS（気分の調査）

緒言

冬型の気温の低い時期、別府市でも、入浴時の急な温度変化で、「ヒートショック」で脳卒中や心筋梗塞発症への注意が呼びかけられました。2023 年には、181 人が、入浴に関連した体調不良で救急搬送され 16 人は帰らぬままでした。この内、65 人は自宅でも起きていました。今回行った対象者の全身入浴の手順では、水分補給や適度な入浴時間の確保、公衆浴場・共同湯の入浴時は、用意された暖のとれるスペースでの入・出浴時の休憩や、温かな格好での自宅の行き帰りを要望して、トラブルはありませんでした。

また、今日でも健康フェスタなどで人気の血圧脈波検査(頸動脈―大腿動脈間脈波速度 baPWV)を別府市内在住の男女 114 名を対象に計測する機会があり、世界的にも健康の包括的尺度として普及されている SF-36®(MOS 36-Item Short-Form Health Survey)で、最近の健康状態を確認すると、週に 3 回以上温泉入浴するグループでは、73.9%が良いと回答したのに対し、殆ど温泉入浴しない方では 36.5%と、明らかに前者が高い健康度を保持し、また同時に検査した baPWV(cm/秒)では、前者の平均年齢が 49 歳、後者の 33 歳と前者が 16 歳程も加齢しているにもかかわらず、平均 1376.3 で、後者の 1366.5 と有意差がなく、また、心拍数の差も見られず、加齢とともに baPWV(cm/秒)が早くなる動脈硬化進行が抑えていると解釈できました。横断調査とは言え、血圧脈波検査を受けに来た以上、全員が、自律生活をしているので、温泉入浴をよくしているか、そうでないかが、baPWV に影響していると解釈して良いでしょう。温泉入浴によるトラブルを未然に防ぎ快適な湯治を探し出すこと、さらに、これまで培われた温泉入浴の経験を活かして、より合理的な入浴法を見出す取り組みを検討して見ました。

対象と方法

1. 対象者は、Na 塩化泉を利用する男女それぞれ 28 人、炭酸水素塩泉を利用する男女それぞれ 28 人、合計 112 人[平均年齢 50 歳±11.3(25~67 歳)]でした。健診成績で、健康良好であり、全身温泉浴ができることを確かめました。4 グループで起こる事象での疫学的解析をするためにも、統計学上の第 1 種の過誤、第 2 種の過誤を防ぎ、期待される各群間の温泉効果の違い(効果量)を 40%にして検出するには、 $\alpha=0.05$ パワー(1- β)=0.80 (ともに両側検定)として、1グループ 28 名が必要でした **1),2)**。今回の調査に同意して、統一した入浴手順で、常に優れた効果率が 50%となると決定することで、40%から 50%に上がる効果の有無を、両側検定による有意差で見出すことにしました。
2. 一連の入浴手順の遂行は、被験者に負担のないよう、また、少人数に分散できるように、Na 塩化泉では、渋の湯、熱の湯、地獄原温泉、すじ湯、谷の湯、国東荘、双葉荘、入舟荘、炭酸水素塩泉では、天満、北的ヶ浜、弓ヶ浜、富士見、田の湯、永石、松原、日の

出の各温泉場でした。Na 塩化泉、炭酸水素塩泉に、それぞれ入浴時間帯は、就寝以前の午後の入浴は午後 2 時から 5 時半、また早朝の 15 分程度の短い入浴時間では、午前 6 時半から 8 時で、各温泉場、男女合わせてほぼ 8 人で、2 組分けし、最初の組が、入浴が終わると、次の組と(1 人当たり所要時間 前日 20 分 早朝入浴日 15 分)、対象者が全身入浴を行ないました。

3. 対象者には、予め同意を得て、入浴前に POMS、Salivette 容器による唾液の採取[コルチゾールと DHEA-S(ディハイドロエピアンドロステロンサルフェート 3))測定用]を行ない、その後、湿気の影響を防ぐ工夫をしながら、胸部の 3 ヶ所に電極と、メモリー心拍計(LRR-03GMS)を装着しました。①入浴時；安静座位にて 5 分間、②全身入浴中 5 分間程度の座位、出浴後、安静座位にて約 5 分と連続して測定しました。出浴後に心拍計をはずすとともに、出浴後の POMS 検査、Salivette 容器による唾液の採取を行ないました。

唾液中のコルチゾールと DHEA-S の測定は Salimetrics 社の唾液用キットを用いて、酵素免疫法で測定しました。3),4)

4. 温泉水の ORP(Oxidation-Reduction Potential 酸化還元電位)と pH(水素イオン濃度)の定量は、HORIBA pH_METER D52 を用いて、湧出口の温泉水の ORP と pH の同時測定を行いました。また、ORP は温度補正した水素電極基準値を得ました。ネルンストの式に基づく水の ORP-pH の関係図(酸化系、平衡系、還元系)が導かれ 5)、これを基準に温泉水の還元力を評価しました。

5.対象者の内、Na 塩化泉入浴と炭酸水素塩泉入浴それぞれの特定の方の皮膚の ORP を測定しました。皮膚の ORP は、通常左右両側の前腕屈側面で、皮膚面の測定のできる電極を用いて ORP-pH の定量を行ないました。

6. 入浴前、出浴後の気分の変化は、気分プロフィール検査(日本版 POMS)を用いて、緊張-不安、抑うつ-落込み、怒り-敵意、活気、疲労、混乱の 6 つの各指標の変化を比較しました 6)。

7. 心拍数の変動をスペクトロ解析することで、交感神経と副交感神経の活動性を簡便に把握することができます 7)。そこで、入浴前から出浴後までの時間帯に LRR-03 メモリー心拍計で、連続的な心拍数の計測を行い、得られた心拍変動は、最大エントロピー法で、スペクトロ解析しました(MemCale Tonam)8)。なお、心拍変動における周波分析の出来た数は、60 名で、平均年齢 47.2 ± 10.7 (25~64 歳)でした。

8.これらの計測データの比較で、その有意差検定には、解析用ソフト SPBS を用いました。

9.重炭酸塩泉含有の微粒炭酸の同定には、電子スピン(不対電子)で観測・測定しました。

電子スピン共鳴装置は、メーカーと型番[X-band ESR spectrometer (JES-RE1X, JEOL, Tokyo, Japan)]を使用しました。

結果

図1 温泉水の泉質別分布

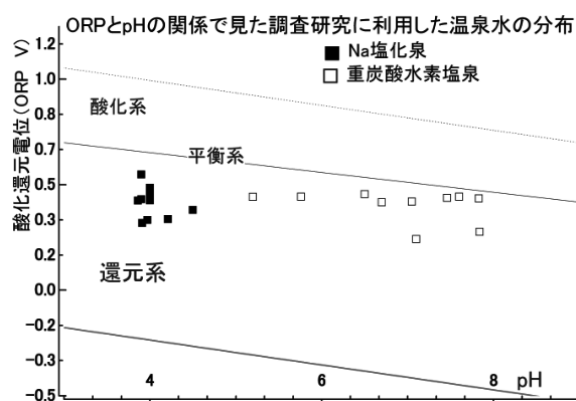
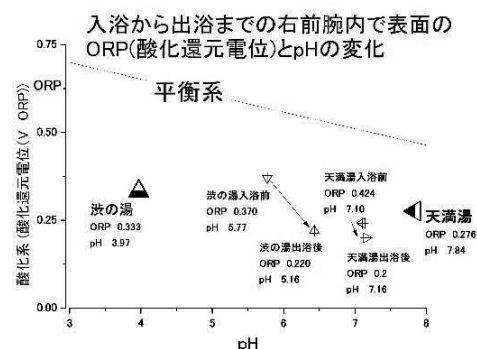


図2 Na 塩化泉での前腕部（渋の湯）と重炭酸水素泉（天満湯）前腕部 ORP の変化



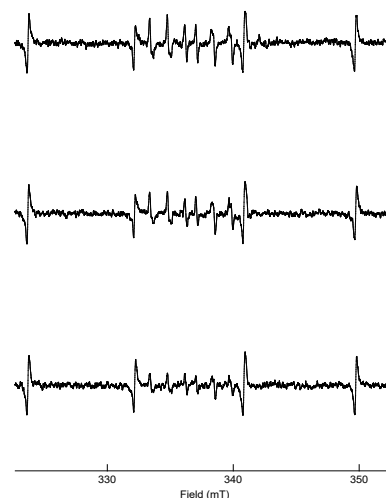
利用した温泉は、ORP と pH の関係 5) で規定すると、Na 塩化泉、重炭酸水素泉とも、平衡系の直線より低く、前者は、酸性にかたまっており、後者は弱酸性からアルカリ性まで広範に広がる傾向にありました。対象者の利用した Na 塩化泉と炭酸水素塩泉と泉質の異なる温泉場で、計測できた ORP(酸化還元電位)値は、調査研究を行った 9 月~11 月の時期、分布図に示すよう 2 つに分かれた形で安定し、調査期間中に大きな変動はありませんでした(図 1)。また、前腕部内側で計測した ORP(酸化還元電位)は、温泉水が肌をしっかりと包むことで、入浴前に比べ、右前腕部内側面の入浴中、出浴後に漸減して、還元されたことがわかりました(図 2)。

図3 微粒炭酸の波動

炭酸水素塩泉では、二酸化炭素とともに、図 3 に示す微粒炭酸の存在も確認できました。

微粒炭酸の同定は、依頼して、電子スピン共鳴装置で行いました [メーカーおよび型番[X-band ESR spectrometer (JES-RE1X, JEOL, Tokyo)]。炭酸泉では、足先皮膚表面の二次元ドップラー測定で末梢血管流量の増加効果を見ることができ 9),10)、その要因は、微粒炭酸の関与があり、別府温泉の HCO_3^- が 800~1000mg/L 以上の別府温泉南部域の重炭酸水素塩泉 11)でも同様の存在が確認できました。

HCO_3^- の高濃度のもの、500mg/L 濃度の、比較的低温(50℃前後)の温泉水中には、特有の HCO_3^- ,Ca, Mg などが、温泉水が流動する中で、地層との相互作用によって生成するとの見方もあります。11),12),13),14)



男女の入浴法の手順とコルチゾールと DHEA-S 濃度の変動

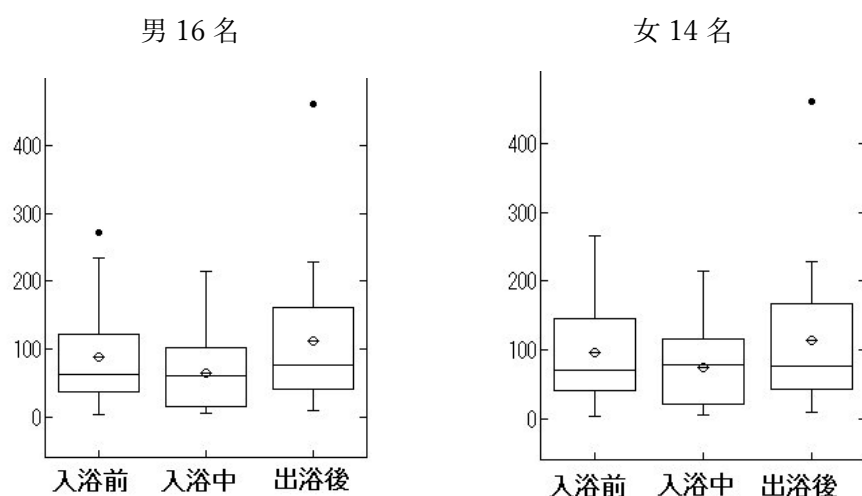
男女それぞれ 28 人で Na 塩化泉に入浴し、同人数の男女がそれぞれ重炭酸塩泉にも入浴しました。前日入浴前、前日出浴後、当日早朝入浴前、当日出浴後に、唾液採取して、コルチゾールと DHEA-S 濃度の測定を行いました。

Na 塩化泉と炭酸水素塩泉のそれぞれの入浴で、男女とも 28 人全員のコルチゾール濃度が、前日の午後入浴前から出浴後に有意に低下しましたが、早朝時には前日入浴前より値が上がり、出浴後の値とほぼ同じになっていました。早朝出浴後の Na 塩化泉と炭酸水素塩泉それぞれのコルチゾール濃度の平均値の差は、男女とも有意ではありませんでした（図略）。DHEA-S 濃度は、前日、当日とも、入浴前から出浴後に上がり、男の Na 塩化泉入浴グループを除き、当日早朝出浴後とほぼ同じ濃度に戻りました。男の Na 塩化泉入浴群では、当日早朝入浴前から当日早朝入浴後に、有意に濃度が上がりました（図略）。

心拍変動における周波数分析 7)

前日の入浴後、次日となる当日早朝に Na 塩化泉を利用した入浴者の入浴前、入浴中、出浴後の HF 成分（副交感神経成分）の変動を、箱ひ図の図 4 で示します（各グループ ° 男 16 人 女 14 人）。

図 4 HF 成分(副交感神経成分)の変動

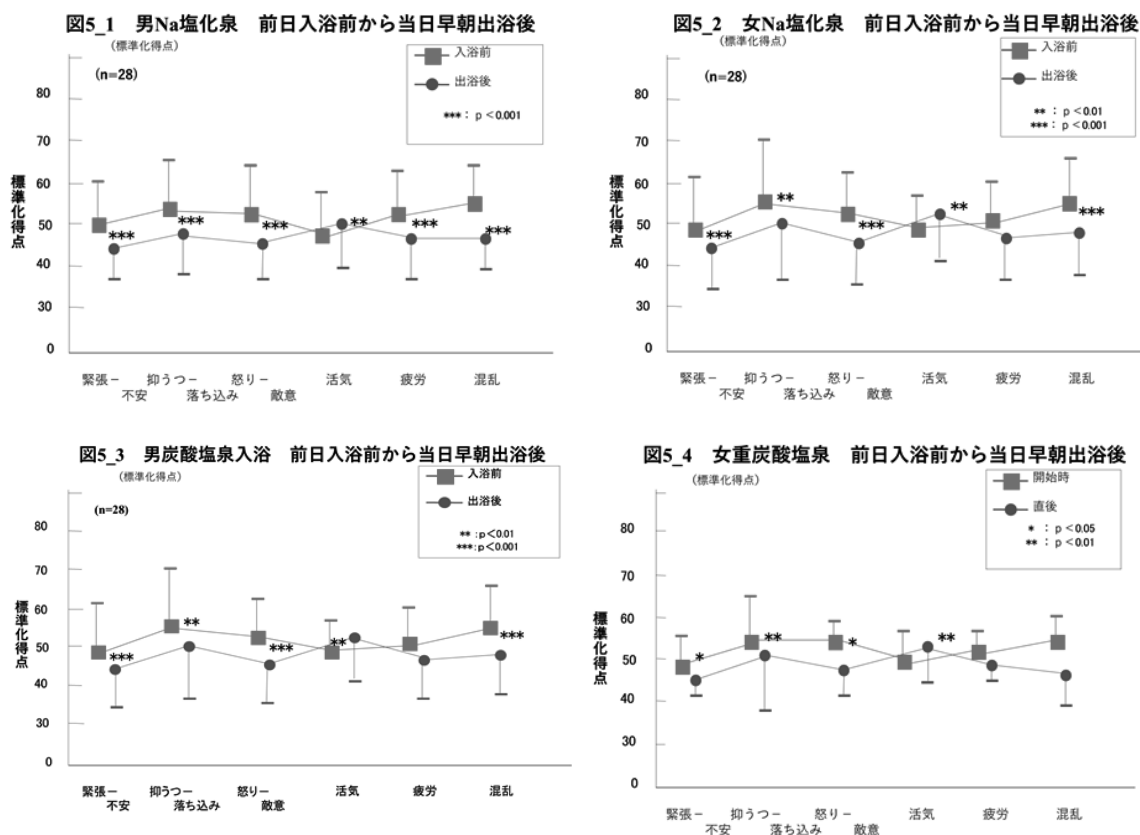


一見、HF 成分(High Frequency;高周波成分値)が、入浴前から入浴中に下がっているように見えますが、有意差はなく、また、入浴中から出浴後には上がっているように見えますが、有意差はありません（図 4）。重炭酸水素塩泉での HF 成分の変動も、Na 塩化泉入浴の経過（男 14 人 女 12 人）も同様でした（図略）。さらに、LF/HF(Low Frequency：低周波成分値/High Frequency;高周波成分値の比)と心拍数には入浴前から入浴中、入浴中から出浴後、入浴前から出浴後の間の有意差は見られませんでした（図略）8）。唾液中コルチゾールや DHEA-S は、28 人全員で採取できましたが、早朝の全身入浴した 28 人の内、Na 塩化泉入浴グループ（男 18 人 女 16 人）、重炭酸塩泉入浴（男 14 人 女 12 人）しか、心拍変動に

おける周波数解析が出来ませんでしたが、統計解析に耐えられました。

心拍変動における周波数解析は、自律神経系由来の2種類の周波数帯域の変動成分を示すとされます。0.15~0.4Hzの周波数帯域を高周波成分(HF)、0.04~0.15(LF)の周波数帯域を低周波成分(LF)として区別されており、HFは副交感神経成分を表し、LF/HFは交感神経成分を反映しています7),8)。

図5 Na 塩化泉と重炭酸塩泉での入浴前から出浴後の POMS 指標(緊張-不安、抑うつ-落込み、怒り-敵意、活気、疲労、混乱)の各標準化得点の変化



Na 塩化泉と炭酸水素塩泉それぞれに入浴した、男女それぞれ28人全員のPOMS(気分プロフィール検査)の値は、性年齢補正で標準化得点を得ました(図5)。前日の午後の全身入浴での、入浴前は、緊張-不安、抑うつ-落込み、怒り-敵意、混乱の各得点が高かったのですが、早朝出浴後、活気の得点が有意に高く上がる「氷山型」を示しました。6) 疲労の得点は下がっているように見えますが、有意差が見られたのは、男のNa 塩化泉入浴グループだけで、他の3グループでは見られませんでした。

考察

Na 塩化泉と炭酸水素塩泉のどちらの入浴でも、直ちに副交感神経系である迷走神経活動が亢進し、かつ交感神経活動と拮抗して、自律神経機能が改善し、漸次コルチゾール濃度が下がっていると推測されました。

前日午後の入浴に続く次日の早朝入浴では、Na 塩化泉の方で、出浴後に、より高い DHEA-S 濃度が得られており、DHEA-S 濃度が出浴後、即座に、増加した方々では、交感神経成分 (LF/HF) や心拍数が増加しており、前日の午後の入浴中にコルチゾール濃度が低下してしばらくは持続しており、このことは、迷走神経を含む副交感神経の活動が安定していった、自律神経機能の均衡がとれて、ストレス負荷が軽減したことを示しています。ストレス負荷が比較的低くなったことは、視床下部_脳下垂体系が働いて、ACTH(副腎皮質刺激ホルモン) が、副腎皮質からのコルチゾール分泌を抑えるよう働いたからでしょう。副腎皮質からの分泌されるまでの時間差は、交感神経の神経伝達系で、シグナル伝達が迅速なのに比べ、コルチゾールのようなホルモン伝達系では、多段階の伝達回路のため、少し遅れる時間差が存在すると思われます。

Na 塩化泉の全身入浴では、DHEA-S 濃度が、当日早朝出浴後に当日早朝入浴前よりも有意に高くなりましたが、内分泌系で調整されるコルチゾールと異なり、神経伝達系で調整される DHEA-S 濃度は、シナプスの神経伝達物質の働きもあって、より速い情報伝達が起こり、入浴前から入浴中へ、そのまま出浴後にも、入浴前より高い濃度を維持していると思われます。

重炭酸水素泉の入浴でも、皮膚の ORP(酸化還元電位)が平衡 ORP より低い還元状態の温泉水に入浴することになり、全身浴も同様と思いますが (図 2)、DHEA-S 濃度は、当日早朝入浴前と当日早朝出浴後に有意差は見られませんでした。DHEA-S 濃度に変化が見られなくても、DHEA-S と拮抗関係にあるコルチゾール濃度は、日内変動 (サーカディアンリズム) により、午後、夜間を経て、早朝時には、濃度がより高くなっており、0.15~0.4Hz の高周波数(HF)の頻度が増えて、副交感神経の活動が活発になっていると思われます。

心拍変動における周波数解析は、自律神経由来の二種類の変動成分を示すとされます。0.15~0.4Hz の周波数帯域の高周波数(HF)、0.04~0.15Hz の周波数帯域の低周波数(LF)として区分されており、HF は副交感神経成分を表し、LF/HF は、交感神経成分を反映すると言われています。7) これらのことから、前日の午後の時間帯に Na 塩化泉あるいは重炭酸水素泉に全身入浴して、当日の早朝にも、同じ泉質の温泉に全身入浴することで、早朝の入浴中から出浴後にかけて、迷走神経活動が亢進、かつ、交感神経活動も活発化して、不均衡な自律神経機能を改善して、唾液中コルチゾール濃度は下ったと推測されます。日内変動からみれば、早朝には、振幅が高い方に偏移して、唾液中コルチゾール濃度が高くなっているようですが、入浴前から出浴後の早朝入浴で、交感神経の働きが、即時的に働いて、コルチゾール濃度を上げなくても良い、自律神経機能の均衡がとれていると推測されます。コルチゾールは、日内変動があり、午前中は午後の時間帯よりも相対的に高い値で、リズム

をとることが多く、視床下部-脳下垂体系からの ACTH 分泌で調整されています。急性ストレスでは、ACTH とコルチゾールとが増加するのに対し、慢性ストレスでは正常あるいは低下しています。一方、DHEA-S は、急性・慢性ストレス反応で、血液や唾液などの体液中濃度が低下し、細胞内のミトコンドリアの膜に多く見られるアセチルカルニチントランスフェラーゼの活性が阻害されます（血清アセチルカルニチン濃度低下で判定可）。細胞内に DHEA-S が伝達されることが、ストレス反応の軽減につながることであります。16) コルチゾール分泌は、視床下部-脳下垂体-副腎皮質の間にあるフィードバック機構によって制御されているので、副腎皮質の球状層⇒束状層⇒網状層経由で、副腎髄質からのカテコラミン分泌を、下垂体制御のような機序で調整することになります。コルチゾールと DHEA-S との均衡が保たれていることが、ストレス反応軽減につながることも考えられます。

結果は、どのグループでも、早朝の全身入浴の出浴後、交感神経成分(LF/HF)や心拍数が有意に変化せず、副交感神経の活動が、入浴中から出浴後まで、交感神経の働きと均衡を保っていたと推測されます。前日の温泉水入浴でリラックスできて、ストレス負荷が比較的低かったことで、早朝には、交感神経の働きが活発になっても、視床下部-脳下垂体から副腎皮質を刺激する ACTH ホルモンが制御され、副腎皮質から出るコルチゾール濃度を上げる機序が緩やかであったとも推測されます。

今回、利用した公衆浴場・共同湯などの温泉場の Na 塩化泉の ORP(酸化還元電位)は、平衡 ORP よりも低く、還元力の高いことも明らかで、体全体の癒しをもたらすことが推測されます(図 1, 2)。即ち、POMS 検査で見て、緊張-不安、抑うつ-落込み、怒り-敵意、混乱の得点が有意に下がり、唾液中コルチゾール濃度も入浴前から出浴後に有意に下がり、

前日入浴前に比べ、当日出浴後の緊張-不安、抑うつ-落込み、怒り-敵意、疲労、混乱の各得点が、ほぼ有意に低くなり、逆に活気は、有意に高くなりました。また、疲労は、Na 塩化泉入浴したグループで有意に低くなりました。

Na 塩化泉は、還元力の高い状態で、皮膚の若返りや、体全体の癒し効果を多くの方にもたらすことが推測されました。若年者の皮膚は、弱酸性かつ還元系ですが、加齢とともに皮膚は酸化されて ORP(平衡系)に近づきます。還元系の Na 塩化泉や炭酸泉に入浴することで、皮膚がより低い ORP(還元系)になることも明らかにされています。9)

Na 塩化泉入浴の疲労を減弱する効果については、さらに、調査研究を深め、そのメカニズムを見極める意義はありそうです。

Na 塩化泉と重炭酸塩泉の泉質違いによる生体に及ぼす生理機能に大きな違いはないようです。その一因については以下のことが上げられます。

水位・濃度・泉温の変化を比較検討した由佐によれば、別府市西の源泉地すなわち、山岳部地下深所にある NaCl 型の熱水が、東へ下がる過程で、豊富な塩素イオンが色々な陽イオンと化合物を作りながら、高温の水に溶けて下っており、Na 塩化泉では、泉温 0 の時間変化と温泉開発に伴う無次元化された水位 H、および塩素イオン濃度の高から低へ、回帰曲線型で変化することが示され 14)15)、その間に電子の動きも活発で、入浴により、人の生

化学・生理機能の活性を高め、また、図3に示したように、炭酸イオン濃度が高い重炭酸水素泉には、微粒炭酸も多く含まれ、微粒炭酸に溢れる炭酸泉で得られている末梢血管流量の増加効果のような10)、すなわち、炭酸泉は、大気温度が体温よりも低い34℃でも、42℃のさら湯(水道水をあたためた湯)に匹敵する血流増加があり、血流量の速やかな上昇と増加で、心臓に負担をかけずに血流改善をはかれますが、今回の重炭酸塩泉では、炭酸濃度が高く、 HCO_3^- が800~1000mg/dlとか500 mg/dlの高い濃度の温泉水が流れており11)、 HCO_3^- 濃度の高い温泉水では、電子活動の盛んな微粒炭酸が存在して、生化学・生理学的機能の活性を増加させていると思われます。

引用文献・参考文献

1. 木原正博 木原雅 加治正行監訳(2010)；疫学 医学的研究と実践のサイエンス 第8
大河内正章 ランダム化比較試験:その他のトピック, 151-169,
メディカル・サイエンス・インターナショナル.
2. Gehan E. (1979):Clinical trials in cancer research. Environ Health Prospect 32:31-
48.1979.
3. DRG(2007) User's Manual : Enzyme Immunoassay for the quantitative determination
of DHEA-S in saliva.
4. Salimetrics (2006) User's Manual : Expanded range high sensitivity salivary cortisol
enzyme immunoassay kit Catalog No.1-3002/1-3012, 96-Well Kit.
5. 大河内正一(2004): 生体に近い水 (生体水)；水の特性と新しい利用技術 (農業・食品・
医療分野への応用),317-326. エヌ・ティ・エス.
6. 横山和仁・下光揮一・野村 忍編著 (2002) 診断・指導に活かす POMS 事例集
金子書房
7. Marek M(1996): Task force of the European society of cardiology. Circulation,
93,1043-1065.
8. 早野順一郎(2001): 心拍変動による自律神経機能解析, 循環器と自律神経機能,
71-109 医学書院.
9. 大河内正一(2003): 生きている温泉とは何か, 炭酸泉の明らかな効果, 40-41,
くまざさ出版社
10. 大河内正一(2003) 生きている温泉とは何か,炭酸泉のもたらす血流増加効果の
可視化, 47-48,くまざさ出版社
11. 吉川恭三・由佐悠紀(1972): 別府温泉南部地域の炭酸成分,
大分県温泉調査研究会報告, 38, 11-19.
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,
44,199-208.
13. 齋藤 圭 三島壮智 大沢信二 (2023) 別府市における 2019 年の温泉泉質データに基づ
く地下熱水流 動経路の推定, 大分県温泉調査研究会報告, 74,31-41.
14. 由佐悠紀 温泉の流動と賦存(1987): 温泉開発の影響に関する考察 温泉科学 37,161-
168.
15. 今村峯雄(2000): 考古学における ^{14}C 年代測定_高精度化と信頼性に関する諸問題
馬淵久夫・富永健編,第3章,考古学と化学を結ぶ, UP 考古学選書, 55-82,
東京大学出版会
16. 倉恒弘彦・志水彰・渡辺恭良(2006): ストレスと慢性疲労症候群 Biotherapy, 20 ,1-11,
癌と化学療法社

17. 古川俊之(2005) 寿命の科学 森本兼曩監修 現代医学と社会医学概論の講義 : 43-61.
18. 別府市における泉質の分布状況について(2014): 別府八湯地区ごとにおけるヘキサダイアグラム 大分県衛生環境研究センター年報, 42, 27-32
19. 大分県温泉調査報告(2024): 温泉分析書 第73号 第74号 第75号 令和6年8月 大分県生活環境部 自然保護推進室
20. 大分県生活環境部自然保護推進室(2006): 大分県温泉調査報告;温泉分析書 大分鉱泉集 2006
21. 大分県生活環境部自然保護推進室(2020): 大分県温泉調査報告;温泉分析書 大分鉱泉集 2020

大分平野の地下構造（3）

－伏在断層の分布と活動性－

京都大学

竹村恵二・楠本成寿

GRI 財団

北田奈緒子

摘要

大分平野下の温泉・地熱等の利活用等を考察する上で、現在の水文学的情報の整理とそれを担う固体地球物理学的・地質学的な入れ物に関する形成過程や物性的な情報の整理は重要である。今回は大分平野に伏在している活断層（府内断層や三佐断層など）の分布と活動性について、平野内の掘削調査や従来からのボーリングデータ、浅層の地球物理学的調査のデータ解析・解釈を進め、地下での活断層の分布についてまとめるとともに、活動性についてもまとめた。

はじめに

平野下に伏在する活断層の分布や活動性に関する情報は、防災・減災にとって重要であるとともに、平野下の温泉水等の水文学情報の解釈等にとっても重要である。

現在の地質学的知見から、大分平野の地下に分布する可能性のある地層群として、下位から、花崗岩類や結晶片岩類、大野川層群、豊肥火山活動の火山岩類および堆積岩類と最近の段丘堆積物や沖積層が挙げられる。別府湾の形成に関連した断層活動などによって、これらの地層がどのような深さ分布になっているかをまとめること、すなわち、大分平野の地下構造を想定する研究の継続が、大分平野下の温泉・地熱等の利活用等を考察する上で必要である（竹村・楠本、2023）。竹村・楠本（2024）では、数kmにおよぶ地下構造探査として反射法地震探査の結果が紹介された。本報告では、大分平野に伏在が指摘されている活断層群について、その分布様式や変位量などを主に報告し、それらの活動性についても言及することとする。

大分平野下の断層の調査

大分平野域の断層構造は、ボーリングデータに基づく地層対比により、別府湾南岸断層（首藤・日高、1971）や府内断層・三佐断層・志村断層（大分県、2001）などが報告

1995 年の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）後に、特に地震防災の観点から全国的な活断層の分布・活動性調査とともに、平野下の地下構造に係る強震動の調査が地震調査研究推進本部と地方自治体を中心として実施された。大分平野の場合は大分県（2001；2002）の調査が重要であった。それまでの活断層に関する調査を総合的に評価して地震調査研究推進本部から「別府－万年山断層帯の評価」が報告された（地震調査研究推進本部・地震調査研究委員会、2005）（図 1）。この調査および評価の後に、人口密集域への影響に鑑み、重点的な調査研究が組織され、大分平野では「別府－万年山断層帯（大分平野－由布院断層帯東部）」での平成 26 年～28 年の 3 年間で調査研究が進められた（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017）。今回の報告で重要な情報は、「別府－万年山断層帯（大分平野－由布院断層帯東部）における重点的な調査観測」で報告された①ボーリングデータの収集・解析、②新規採取のボーリング堆積物の解析、③浅層の地中レーダー探査結果、④これまでの地表での微小な地形変状の解析結果である。また、原位置での揺れの情報として、大友遺跡関連の考古学発掘地点で発見された地震による液状化の痕跡についても紹介する。

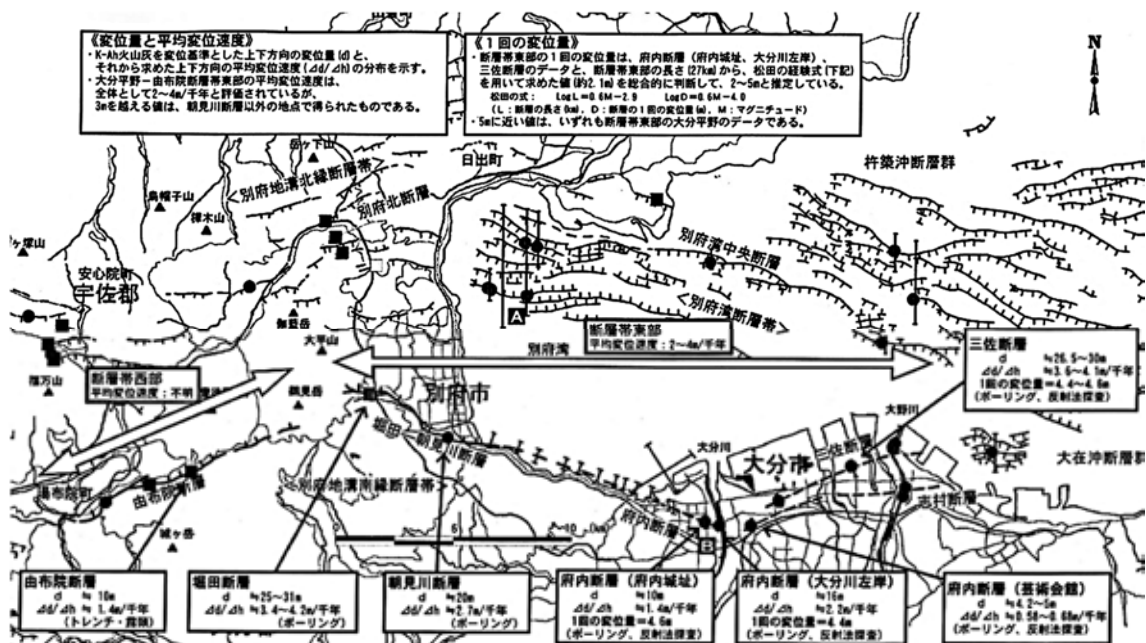


図1 地震調査研究推進本部による別府一万年山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部）の評価（地震調査研究推進本部・地震調査研究委員会、2005より編集）

- ・ボーリングデータからの分布様式

– 22 –

断層帯東部)における重点的な調査観測」では、2600本のボーリングデータ(図2)が系統的に収集されて、解析された。その結果は、断面図や広域分布図等で表現されている。

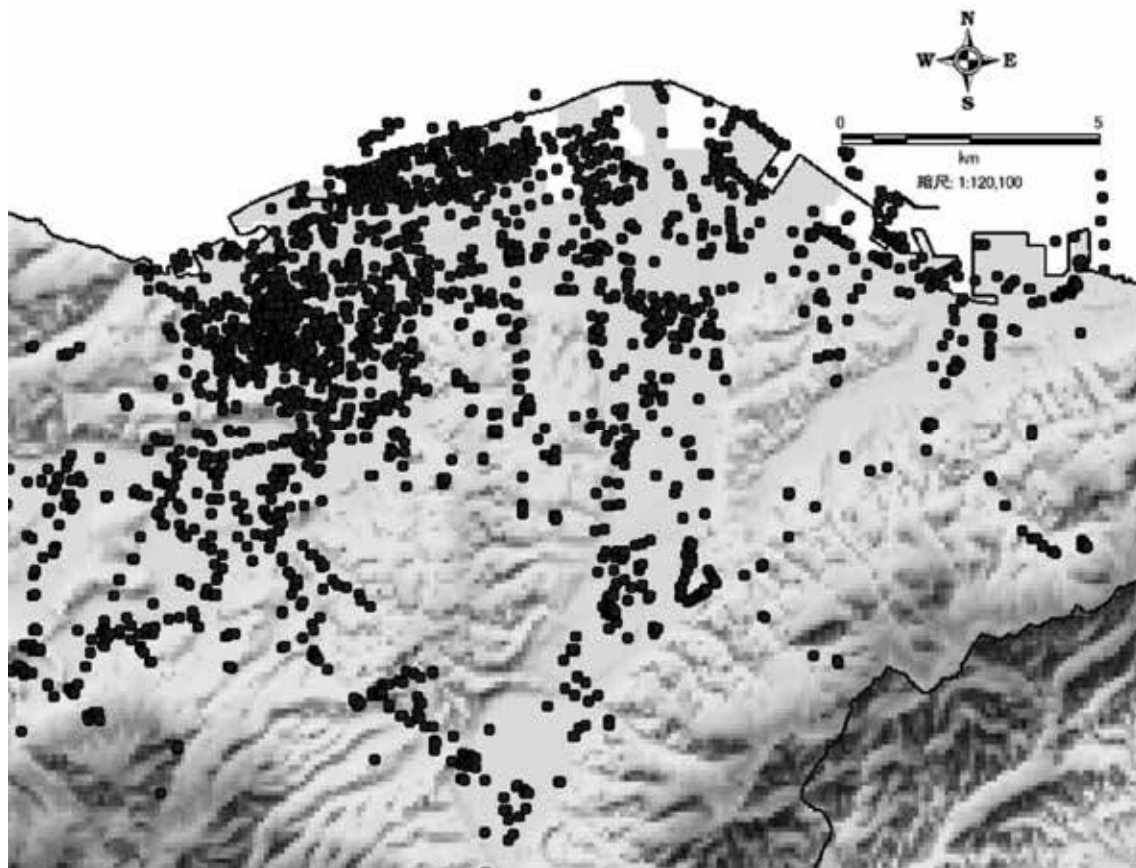


図2 大分平野のボーリング位置(文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017)

ボーリング情報の収集とデータベース化: 別府－万年山断層帯(大分平野－由布院断層帯東部)における地震動予測に利用する地盤モデル作成のために伏在断層の位置や地層構成が重要である。そのため、地盤モデル作成に有用なボーリング情報を収集した。収集したボーリング情報の内、位置が不明確なもの、柱状図記載が不鮮明なものを除く約2600本について、デジタル化(地盤情報データベース化)を行った。

収集先は以下のとおりである。

- (i) 公益社団法人地盤工学会九州支部 九州地盤情報共有データベース(第2版)
- (ii) 国土地盤情報検索サイト KuniJiban <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/>
- (iii) 大分県地震被害想定調査(大分県、2015)
- (iv) 別府－万年山活断層調査(大分県、2001、2002)
- (v) 柱状図集(紙資料集)

地盤情報データベースは、地盤調査のデータを「調査地域 → 調査地点 → 柱状図・検層（深度） → 試験」の順につなげている。このように各調査データを4つのグループに分類して、0～3のランクで従属関係が定義されている。このデータベースは、階層構造で構築されているため、今後さらなる情報の追加も可能である。

「別府－万年山断層帯（大分平野－由布院断層帯東部）における重点的な調査観測」では、地盤モデル作成のため柱状図と標準貫入試験結果である N 値の入力を行った。地盤情報データベースへの登録本数は、約 2600 本である。図 2 に登録したボーリング位置を示す。ボーリング掘進長の分布（図 3）の内、約 8 割は掘進長が 30m 以内である。なお、既往の研究（首藤ほか、1971；千田、1987）において、埋立地の海岸付近では沖積層が深く堆積していることが知られており、ボーリングの掘進長が約 70m を超すボーリングも実施されている。

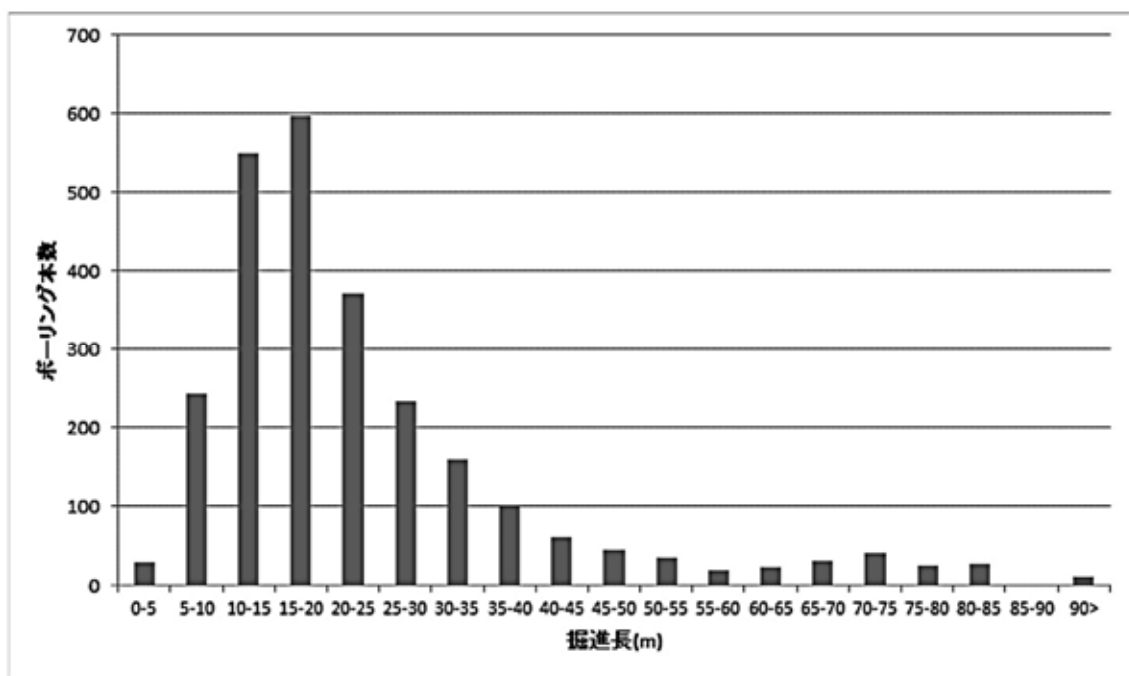


図 3 ボーリング掘進長のヒストグラム（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017）

地層の同定：収集したボーリングデータの大部分は何らかの構造物などの施工・設計段階における調査ボーリングであり、情報としては基本的に柱状図と標準貫入試験結果である N 値が主となる。設計の必要に応じて、直近において不攪乱試料を採取し、物理試験や力学試験を実施する場合もあるが、大部分は柱状図と N 値からなる。このようなボーリングを工学ボーリングと呼ぶ。

一方、地質調査を主体としたボーリング調査は、理学的な堆積環境や構造探査（活断層調査）などの目的で実施される。基本的にオールコアボーリングを行い、各種堆積環

境調査や年代測定などが実施される。これらを地質ボーリングと呼ぶ。一般にボーリング調査の実施数は、工学ボーリングの方が地質ボーリングよりも圧倒的に多い。例えば、関西圏地盤情報データベースに登録されたボーリングの大部分がこれに該当し、今回収集したボーリング情報も工学ボーリングである。その中で、ボーリングの柱状図に書かれる記事（記載事項）は観察者の経験や知識によって大きく異なる。本検討地域である別府・大分地域は火山噴出物（溶岩や火砕流）のようなものは少ないが、火山噴火に伴う大きなイベントによる火山灰層が記録されている地域である。

火山灰の降灰は、火口との距離や方位によって異なる。本検討地域は、九州の有数の火山（火口部）から十数 km から 100km 程度である。例えば、アカホヤ火山灰の場合は 10～数 10cm 程度の層厚で大分平野地下に降灰している。火山灰は時間とともに変質し、固化しているものが多い。ボーリング柱状図に「火山灰層」と記載されている場合もあるが、観察者によっては、「砂」、「固結度の高い砂」、「硬質粘土」、「シルト質軟岩」、「固結砂質シルト」、および「岩」などと記載される場合がある。

標準貫入試験結果の N 値を見ると、火山灰の周辺では、上下層と比べて少し N 値が高くなっている傾向がみられる。地質ボーリングで確認されるアカホヤ火山灰の出現深度を基に、その周辺の工学ボーリングを注意深く観察すると、前述のような記載の「砂」や「硬質シルト」などの記載とともに N 値の高い部分が確認され、アカホヤ火山灰層と同等層であると推測ができる。例えば隣接する 2 点のボーリング記事 A には火山灰層の記載があるが、ボーリング記事 B にはなく、全体が砂層となっている。しかし、N 値の高い部分がほぼ同深度にあることから、同様の火山灰層であると考えられる。以上のようなことを考慮し、大分平野部において地層の同定を検討した。

全体の地層構成：N 値の深度方向の分布特性は、表層部の軟弱層（特に粘性土）で N 値が小さく、深度が深くなるとともに N 値は大きくなる傾向にある。N 値が 50 を越える地層は更新統の地層に相当すると考えられる。一方、N 値の小さい地層は完新統の地層と推定できる。概ね、N 値の大きさで完新統と更新統の境界線を特定することができる。完新統の地層は、平地部や港湾部、河川デルタ部に分布し、粘性土は比較的水平に連続する傾向がみられる。完新統（沖積層）の下端標高分布や層厚分布から読み取ることができる（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017）。

大分平野域の完新統（沖積層）の下端標高は、全体に北部に向かって低くなる傾向がみられる。南部の丘陵部では、急速に下面標高が高くなるが、丘陵の間に分布する河川デルタ地域では平野部から緩やかに内陸に標高を増す。標高分布の状態から見ると、大きく 3 つの地域に分けられる可能性がある。一つは丘陵地近傍にみられる薄層かつ下面標高の高い地域である。もう一つは平野部にみられる TP-20～-30m に分布する地域である。

最後に港湾・埋立地域で見られる TP-60～-80m に分布する地域である。これらの分

布域は明瞭に区分されることから、これらの分布境界には何らかの構造がみられる可能性が高い。

完新統（沖積層）の層厚分布を見ると、下端標高の分布と傾向は同様である。しかしながら平野～河口部は層厚が 50m を越え、港湾部においては 90m 近くに達するものもある。特に港湾・埋立部において層厚が厚い傾向がみられる。

アカホヤ相当層の上端標高分布を図 4 に示す。図に示すようにアカホヤ火山灰層の分布標高から、平野部内において、さらに数段、上端標高分布が異なる可能性がみられる。

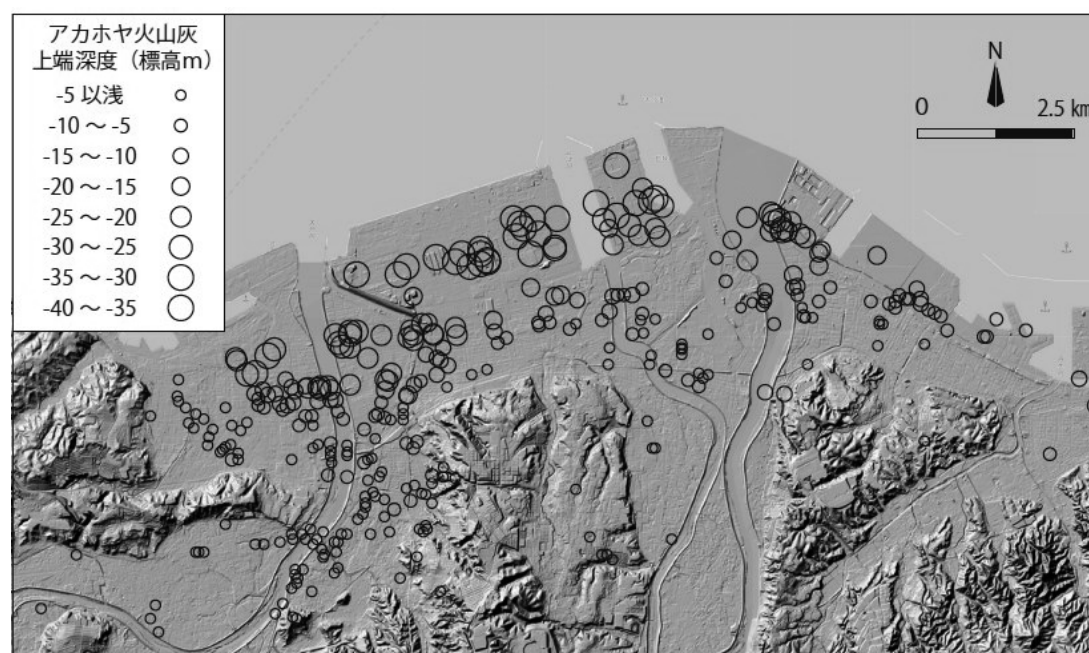


図 4 アカホヤ火山灰層の上端深度（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017）の凡例と表示を改変

構造的な地層の分布地域について：ボーリングデータから見られる地質構造の分布は、鉛直方向にみられる同等の地層のギャップあるいは標高分布の変化などが主なものである。これまでの上町断層や警固断層などの構造線付近における地表の地盤特性について行った検討事例（Kitada *et al.*, 2014）に従って、大分平野における構造分布についても検討した。

図 5 に大分川で実施された反射法探査（大分県 2000）の測線に沿って抽出したボーリングデータ断面と反射断面を示す。地下 60m 以深での府内断層部におけるボーリングデータ断面では、アカホヤ火山灰層の分布標高が大きく変化している。

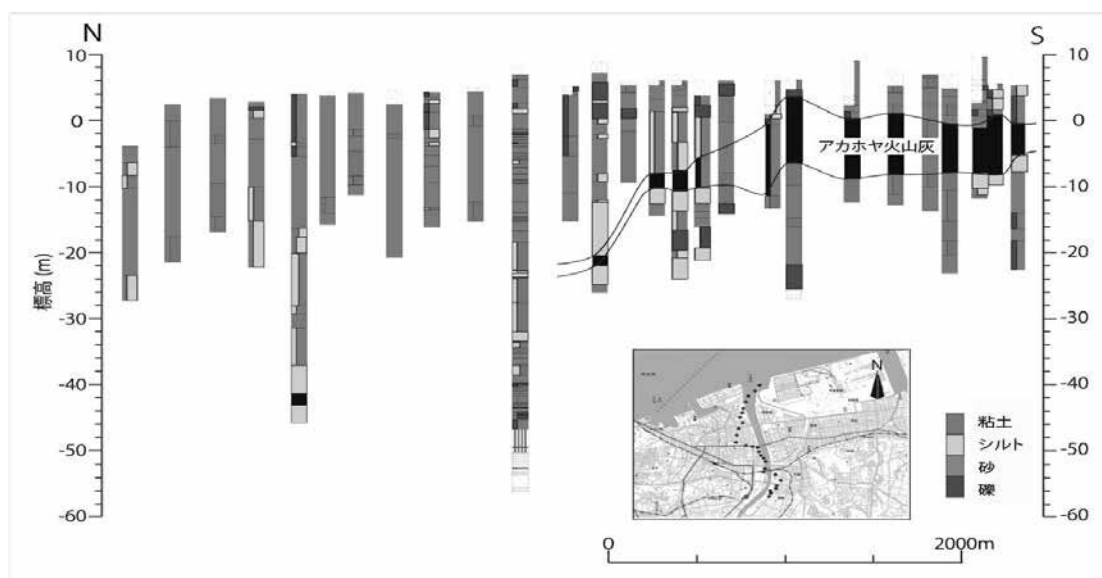


図5 大分川左岸における地下断面（柱状図）（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017）

大野川沿いにおいても同様の反射法探査が実施されている。図6に示すように測線に沿ったボーリング断面と反射測線を合わせて検討すると、三佐断層と志村断層の通過地点において、アカホヤ火山灰層の分布標高が急変することが確認される。

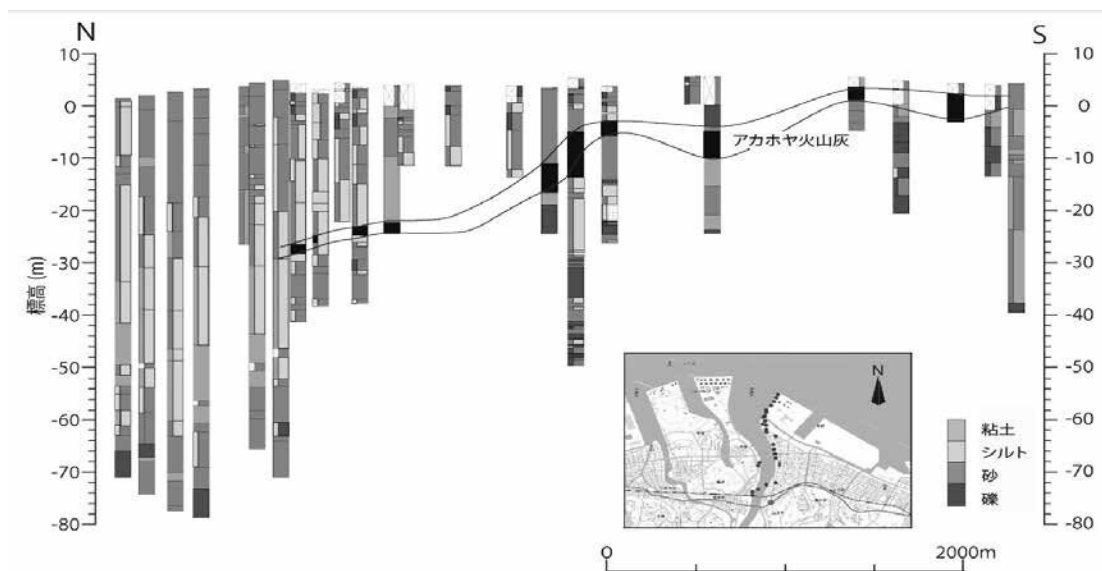


図6 大野川右岸における地下断面（柱状図）（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017）

これらの結果を基に、大野川と大分川の間を南北の多数のボーリング断面図を作成し、同様の構造がみられるゾーンを検討した。結果として、三佐断層の構造分布地域は、大

分川と大野川の間では、臨海工業地域と県道 197 号の間（特に、工業地域と県道 22 号の間の干渉帯）でのボーリングデータが疎であるために、変形ゾーンは広く見積もられ、県庁近くの地質群列ボーリングが実施された場所のような細かな変形ポイントの抽出は難しい。

・ボーリング堆積物調査による断層の活動性（変位量と年代）

大分平野西部の府内断層周辺において 8 本のボーリング調査と 2 測線の地中レーダ探査を実施して、上位から人工盛土、デルタプレーン、デルタフロント、プロデルタ、エスチュアリー、網状河川流路の堆積物を認定した（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科，2016；Nakanishi *et al.*，2017）。府内断層の低下側におけるデルタプレーン堆積物の上部には 400 cal BP 頃に形成された厚さ数 10 cm の泥層が標高-0.5～1.0 m に連続的に分布する。この泥層は断層の上昇側には連続せず、800 cal BP 頃に形成された泥層が分布する。断層の上昇側の泥層の珪藻化石群集組成は、断層の上昇側よりも海の影響を強く受けている。これらを根拠に 800～400 cal BP の間に地表変位があり、その古地震イベントは西暦 1596 年の慶長豊後地震に相当する可能性を指摘した。一方、同地域のデルタフロント堆積物の上部にあたる標高-4～-8 m において 2000～2200 cal BP の植物片を含んだ厚さ 2～4 m の泥層もボーリング調査と地中レーダ探査で確認した。この泥層の上面は断層を挟んで 3～4 m 程度標高差があり、上位にある断層の上昇側の泥層の珪藻化石群集の方が低下側よりも塩水の影響が大きかった。したがって、2000 cal BP 以降に少なくとも 3～4 m の上下変位を生じさせた古地震が推定できる。以上をまとめると府内断層の古地震の再来間隔は少なくとも 1200 年程度であると考えられる。最後に大分市中島西地区周辺において府内断層を挟んで、海水準上昇期の内湾泥層に挟在する鬼界アカホヤ火山灰層が 20 m、約 18000 年前の沖積層基底礫層の上面が 47 m 上下方向に分布深度が違っていた。これより、同断層の平均上下変位速度を 2.6～2.7 mm/yr と推定した。

大分平野でのボーリング調査の概要：大分平野北西部の大分市中島西地区で 70 m 長の KU0-1 コアを掘削した（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科，2016；Nakanishi *et al.*，2017）。この掘削地点は府内断層の沈下側にあたり、砂丘と沖積低地の境界部に位置している（国土地理院，2011）。同コアの岩相、岩相境界の特徴、堆積構造、粒度、構成粒子の支持様式、含有物、色調、貝化石と珪藻化石群集組成を検討して、上位から人工盛土、デルタプレーン、デルタフロント、プロデルタ、エスチュアリー、網状河川流路の堆積物が認定された（Nakanishi *et al.*，2017）。一方、同地点の約 500 m 南東の府内城において群列ボーリング調査を実施して、10～20 m 長の OFC14～20 の 7 本のコア試料を採取して上記と同様の解析をおこなった。同測線では千田ほか（2003）によって群列ボーリング調査が既に実施されているが、別府－万年山断層帯

(南東部)の調査で府内断層の最新の活動履歴を詳しく検討するためにボーリングが実施された。これらの内で KU0-1 から 18 試料と OFC19-20 コアから各 4 試料の珪藻化石の群集組成を検討した。一方、KU0-1 から 6 個、OFC14 及び 17、19-20 コアから合計 21 個の放射性炭素年代値を測定して、堆積物の形成年代を推定した(文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科, 2017)。以上のデータを基にして府内断層の最新活動時期および活動間隔、平均変位速度が解釈された。

府内断層の最新活動時期: 府内断層の最新活動時期を詳しく検討するために同断層を挟んでボーリングの解析結果を対比した。その結果、同断層の低下側では 400 cal BP (350 ~ 300 BP) 頃の植物片を含んだ厚さ数 10 cm の泥層が標高-0.5 ~ 1.0 m に連続的に分布することが確認された。一方、断層の上昇側の OFC20 コアの標高 0.7 m にも泥層が認められるが、そこから採取された植物片は 800 cal BP (850 BP) 頃の値 (KIGAM-OTg170015) を示した。低下側の泥層には淡水生の珪藻化石が 60 ~ 80 % 程度含まれるが、上昇側には 40 % しか淡水生種は含まれず、汽水生種が卓越する。このように府内断層を挟んで異なる泥層がほぼ同じ標高に分布する構造が形成されたのは 800 ~ 400 cal BP の間と考えられる。

また、断層の上昇側の泥層がより深い堆積環境の珪藻化石群集組成を示すため、800 calBP 以降に断層活動によって持ち上げられたことが示唆される。したがって府内断層においても西暦 1596 年の慶長豊後地震によって地表面に変位が生じた可能性がある。府内断層の平均変位速度は府内断層を挟んで、海水準上昇期の内湾泥層に挟在する鬼界アカホヤ火山灰層が 20 m、約 18000 年前の沖積層基底礫層の上面が 47 m 上下方向に分布深度が違っている。これらが府内断層の上下方向のズレを記録したものであると仮定すると 2.6 ~ 2.7 mm/yr の平均上下変位速度が推定できる (Nakanishi *et al.*, 2017)。この値は千田ほか (2003) が府内断層を挟んだボーリングコアや反射法地震探査で対比した鬼界アカホヤ火山灰層の標高差から算出した 2.2 ~ 2.5 mm/yr の平均上下変位速度と調和的である (文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科, 2017)。

・レーダー探査等からの情報

府内断層近傍の極浅層地質構造: 先述した KU01 コア掘削地点から約 100 m 西方の千代町測線 (OCY-01) および OFC 群列ボーリング調査測線から約 50 m 東方の府内測線 (OFN-01) において、府内断層の地表トレース (文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科, 2015) とできるだけ直交するように地中レーダ探査を実施した。これらの 2 測線での地中レーダ探査プロファイル測定に加え、地中電磁波速度の推定を目的として、ワイドアングル測定も行った (例えば、物理探査学会, 1998)。ワイドアングル測定地点は OCY-01 測線、OFN-01 測線ともに府内断層の上盤側と下盤側に各 1 地点を設定した。

探査結果:大分市千代町地点における府内断層の地中レーダ探査の結果得られたマイグレーション深度変換断面に約 100 m 東方で得た KU01 コアの柱状図と堆積相の解釈を投影し、探査結果の検討がなされた（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科，2017）。これらの断面は相対振幅カラー表示であり、各断面は深度方向に 5 倍の強調が施されている。地表面の勾配変化と反射断面の連続性から、府内断層は測線距離 160 付近に伏在していると考えられる。また、ボーリング調査で同断層の最新活動時期を解釈したデルタプレーン相の標高+1~-1 m において、測線距離 10~20、50~100、130~150 に北傾斜の反射断面が断続的に認められる。これらは府内断層の最新活動による地盤低下によってできた堆積空間が陸側から海側へと前進しながら埋積されたことを反映していると推定される。一方、デルタフロント相でも北傾斜の反射面が卓越しており、デルタの前進を反映していると考えられる。

大分県大分市府内城地点における府内断層の地中レーダ探査の結果得られたマイグレーション深度変換断面に、約 50 m 西方で得た OFC14、19-20 コアの柱状図と堆積相の解釈を投影し、探査結果の検討がなされた（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科，2017）。地表面の勾配変化と反射断面の連続性から、府内断層は測線距離 180 付近に伏在していると考えられる。この断面においてもデルタプレーン相の標高+1~-1 m、測線距離 140~160 において北傾斜の反射断面が断続的に認められる。これらも OCY-01 断面でみられたように府内断層の最新活動による地盤低下によってできた堆積空間が陸側から海側へと前進しながら埋積されたことを反映していると推定される。一方、デルタフロント相の標高-3~-8 m、測線距離 120~180 でも不明瞭ながら北傾斜の反射面がみられる。この反射面は先述した二回前の古地震イベントを示す泥層が連続することを反映していると考えられる。

・考古学発掘で得られた強震動情報（液状化など）

大分平野での大分市教育委員会が発掘した大友館跡遺跡で砂脈が多数発見された（図 7）。地質学的・年代学的調査を実施し、液状化による可能性が高いと判断できた。また放射性炭素同位体年代測定の結果をもとに、砂脈が室町時代後期から江戸時代初期に形成されたことも明らかになった（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017）。今後は、別府湾周辺での液状化・砂脈などの地震痕跡の調査を継続し、その分布範囲や年代から、揺れの大きさの推定や時代の特定をすることが必要である。

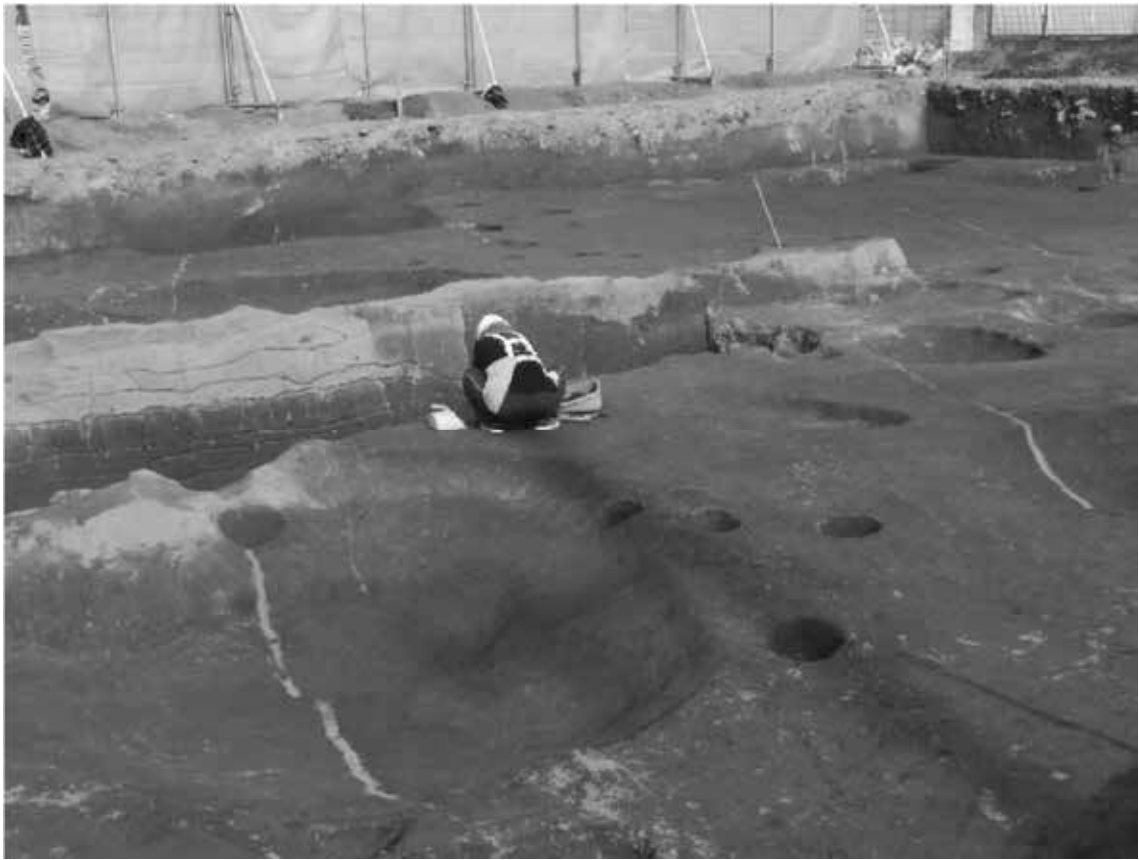


図7 大分平野遺跡における砂脈（(文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017)

・詳細な微地形からの情報を含めた活断層分布

大分県(2001)は、大分平野で府内断層、志村断層、三佐断層の存在を明らかにし、志村断層は府内断層に連続するように考えた。さらに、大分平野での反射法地震探査で、府内断層は春日神社北端部から府内城、舞鶴橋南方から芸術会館を通り牧駅まで延長すること、千代町では北落ちの低断層崖が見られ、ボーリング資料から K-Ah 火山灰が 7～8m 変位していることが明らかにされた(大分県, 2001)。別府一万年山断層帯(南東部)の調査で、府内断層の牧駅以東の低断層崖を詳細に調べた結果、府内断層の東方延長が明らかになった。すなわち府内断層は志村断層へ連続するのではなく、牧駅北方から牧上町まで続き、雁行して牧から城東中学校、高城駅南を通り、山津町の桃園小学校北方まで北落ち(変位量 1～2m)で、長さ 7.3 km にわたって連続する。この府内断層の延長部の北落ち変位に、河川や海による浸食が認められないことから、府内断層の活動が鶴崎台地北端の崖麓を画したと考えられる(図 8)。別府一万年山断層帯(南東部)の調査では府内断層、志村断層、三佐断層は全体として右横ずれによる右雁行配置をなし、大分-熊本構造線の大分での端点をなすと考えられた。さらに東方へは別府湾から豊予海峡北方へ北東-南西に続く海底活断層に接続し、四国の中央構造線断層帯へ連続する



図8 大分平野の活断層（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017）

と考えられた。

大分県（2001）によると、府内断層のこれまでの活動時期は2300 年前、5600 年前頃、6700～7300 年前の3 回が知られてきたが、ボーリングデータの解析の結果等も踏まえると、最新の活動が更に新しい時期に発生した可能性が指摘されている。すなわち三佐断層の活動は300～1000 年前、1600 年前、3500 年前、3800～4100 年前、5600 年前頃（大分県、2002）、志村断層は1000 年前より前の活動が認められており（大分県、2002）、三つの断層が中央構造線断層帯の活動に連動する可能性が大きいと考えられる。これらの活動が別府湾断層帯の活動とも連動すれば、府内断層の1596 年豊後慶長地震時の活動様式やその規模も推定することが可能である（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科、2017）。

まとめ

大分平野に分布する伏在断層として、府内断層・三佐断層・志村断層の分布の詳細をまとめた。また、その活動性について、府内断層の1596 年豊後地震時の活動などについても言及した。

平野での地表面は人工的な地表壊変の影響もあり、その変位の場所や大きさを求めることは困難であることが多い。大分平野では1995 年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）以降のボーリングデータの収集・解析、ボーリング堆積物の解析、浅層の地球物理探査、考古学発掘による強震動情報などとともに詳細な微地形の再解析に基づいた解析が実施されたことにより多くの情報が獲得できた。今後もより詳細な伏在断層に関する

研究や解析が進展することが期待される。

なお、地震調査研究推進本部は、今回報告した大分平野下の伏在断層群について、中央構造線断層帯の西端である「豊予海峡―由布院区間」の一部として、「豊予海峡から大分県由布市付近の由布院断層に至る区間（⑩豊予海峡―由布院区間）の最新活動は17世紀頃であったと推定され、1回の活動に伴う上下ずれ量は2―5m程度であった可能性がある。その平均的な活動間隔は約1千6百―1千7百年であった可能性がある。」との評価結果（地震調査研究推進本部・地震調査委員会、2016；2017）を公表している。そのことを受けて、平成30年（2018年）の大分県の地震被害想定では、豊予海峡以西の中央構造線セグメントとして、対応している。

文献

物理探査学会（1998）物理探査ハンドブック，物理探査学会，1336p.

千田 昇（1979）：中部九州の新时期地殻変動―とくに第四紀火山岩分布地域における活断層について―. 岩手大学教育学部研究年報，39，37-75.

千田 昇（1987）大分平野西部の完新世における地形発達. 地理学評論，60（7），466-480.

千田 昇・池田安隆・中田 高・岡田篤正・宇根 寛（2001）2万5千分の1都市圏活断層図「別府」：国土地理院.

千田 昇・竹村恵二・松田時彦・島崎邦彦・池田安隆・岡村 眞・水野清秀・松山尚典・首藤次男（2003）大分平野直下に伏在する府内断層の位置と最新活動時期. 活断層研究，23，93-108.

地震調査研究推進本部・地震調査委員会（2005）：別府―万年山断層帯の長期評価：

http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_beppu/index.htm，19.1MB.

地震調査研究推進本部・地震調査委員会（2016）：中央構造線断層帯（金剛山地東縁―由布院）の長期評価（第二版）.

https://www.jishin.go.jp/main/chousa/17dec_chi_shikoku/shikoku_honbun.pdf

地震調査研究推進本部・地震調査委員会（2017）：四国地域の活断層の長期評価

https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/regional_evaluation/shikoku-detail/

Kitada, N. and M. Mimura (2014) : Subsurface flexure of Uemachi Fault and its characteristics in Osaka Plain, The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, JPN-103.

国土地理院（2011）土地条件調査解説書「大分地区」：20p.

文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科（2015）：別府―万年山断層帯（大分平野―由布院断層帯東部）における重点的な調査観測 平成26年度成果報告書，235p.

- 文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科（2016）：「別府-万年山断層帯（大分平野-由布院断層帯東部）における重点的な調査観測」平成 27 年度成果報告書. 325p.
- 文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科（2017）：「別府-万年山断層帯（大分平野-由布院断層帯東部）における重点的な調査観測」平成 26-28 年度成果報告書.
- Nakanishi, T., Takemura, K., Matsuyama, H., Shimoyama, S., Hong, W. and Okuno, M. (2017) Activity of the Funai Fault and radiocarbon age offsets of shell and plant pairs from the Latest Pleistocene to Holocene sediments beneath the Oita Plain, western Japan. Radiocarbon, 59, (6), 1737-1748. DOI:10.1017/RDC.2017.119.
- 大分県（2001）：平成 12 年度地震関係基礎調査交付金「別府-万年山断層帯に関する調査成果報告書[海上調査編], [極浅層反射法探査・ボーリング調査・総合解析編]」58p, 171p.
- 大分県（2002）：平成 13 年度地震関係基礎調査交付金「別府-万年山断層帯に関する調査成果報告書 [反射法弾性波探査・ボーリング調査編], [海上調査編], [反射法弾性波探査（深部・浅部）編], [ボーリング調査・総合解析編]」62p, 65p, 45p, 85p.
- 大分県（2013）平成 25 年 3 月地震津波被害想定調査.
- 大分県（2018）：平成 30 年度大分県地震被害想定調査結果.
<https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/2043903.pdf>
- 首藤次男・日高 稔(1971)：大分平野の沖積層，とくに別府湾の起源について，九大理研報（地質），11 巻，1 号，87-104.
- 竹村恵二・楠本成寿（2023）：大分平野の地下構造－地下地質の概要および調査手法－. 大分県温泉調査研究会報告，74，9－19.
- 竹村恵二・楠本成寿（2024）：大分平野の地下構造（2）－反射法地震探査－. 大分県温泉調査研究会報告，75，23－35.

大分市温泉化学成分の地質学的・地球統計学的考察

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

大分市温泉の温泉分析データを使用し、温泉化学成分の経時変化と掘削深度ごとの空間分布を解析した。温泉化学成分の経時変化はわずかに変化している可能性が確認されたが、地質による明確な違いは確認されなかった。一方で、掘削深度ごとの温泉化学成分に地球統計学的手法を用いて解析した空間分布は、地質構造と一部関連している可能性が明らかとなった。大分市温泉の温泉湧出機構は従来単純な一次元多層モデルが採用されてきたが、本研究の結果から、複雑な地質を反映した議論が必要である可能性が示唆された。

1 はじめに

大分市の温泉開発は 1964 年を皮切りに 1978 年頃から集中的に進み、1981 年 3 月時点で総孔数は 37 であったが（吉川・北岡，1981）、現在では約 10 倍の温泉井が大分県温泉情報データベース（大分県，2024）に登録されている。当地域のように火山のない平野部に位置する温泉は、深層熱水型温泉（非火山性温泉）と呼ばれ、地下深部の堆積層中の間隙水が地温によって温められて賦存していると考えられている。大分平野の地

質は礫岩・砂岩・泥岩・砂泥互層および凝灰岩層を主体とする碩南層群・大分層群に代表される（図 1）。温泉帯水層としては、このうち空隙率の高い礫岩および砂岩層が考えられ、空隙率の低い泥岩が不透水層として機能している可能性が高い。これらの最大層厚はおよそ 200 m である（森山・日高，1986）。また大分平野には府内断層，志村断層，三佐断層（別府-万年山断層帯の一部）が伏在し，一部の高温な温泉はこれらの断層破碎帯沿いに集中している（吉川・北岡，1985）。地球化学的なデータから，当該地域に高塩分型深層熱水が存在し（野田・北岡，1981），その炭酸成分の起源の多くが火山性の二酸化炭素であること（大沢，2001），さらにはその起源が沈み込むスラブからの脱水流体に由来している可能性（網田ほか，2005）が指摘されている。他方，温泉掘削中の温度検層から得られた地温の鉛直分布は顕著な伝導型を示し，その地温勾配は約 0.06 °C/m である（吉川・北岡，1985）。この値は一般的な非火山地域に比べてやや高いものの，大規模な断層破碎帯に熱水が貯留されている場合にみられる対流型の地温分布でないことから，主な貯留層は幾重にも重なった上述の堆積層であることが想像される。

深層熱水型温泉は，別府温泉に代表されるような火山性温泉と比べ透水性も熱流量も劣り，貯留量にも限りがあることが想像される。そのため，持続可能性の観点から火山性温泉とは別に基準を設ける等の慎重な利用が望まれる。環境省の策定したガイドラインでも，大深度の温泉掘削後数年で湧出量や泉質等の状況が大きく変化する事例がいくつか報告されており，透水性が低い地層に対する過剰揚湯の可能性があること，それにも関わらず大深度掘削泉に関して検証事例が十分でないことが指摘されている（環境省，2020）。吉川・北岡（1981）も，大分平野部の温泉は「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」必要を指摘した。しかし 1964 年に最初の開発が始まって 60 年が経過したいまでも，大分平野の温泉を対象とした研究事例はほとんどない。ま

た他地域の大深度掘削泉を対象とした源泉間の適正距離に関する研究例もなく、ほとんどの都道府県でこれを対象とした特別規制は設けられていない。適正な坑井離隔距離に関する指標として、山下（1967）は火山性温泉である別府地域における滲出を考慮した温泉流動理論モデルを報告している。松本・糸井（2022）はこれを拡張し、計算機シミュレーションから許容可能な総湧出量の上限を算出した結果、温泉帯水層の透水性（浸透率・層厚積）に依存して許容可能な総湧出量の上限が変化すること、多くの場合は山下（1967）が示した基準（100 m²あたり 120 l/min）よりも小さくなることを示した。しかし大分平野の場合では、断裂系の卓越する別府地域よりも透水性が低いことが容易に予想され、また滲出に関する係数の実測例もないため、これらの理論モデルや数値解を直接適用することは困難であった。これに対して澤山ほか（2023）では、吉川・北岡（1985）が報告した大分市温泉の地温と深さの関係に関する実測データ・モデルに山下（1967）と類似した滲出に関するパラメーターが表れている点に着目し、定常状態における水位の影響距離に関して解析を行った。その結果、別府温泉の場合では現行の規制離隔距離 60 m でも影響はないが、大分平野の場合では 500 m ほどの離隔距離が必要となる可能性が明らかとなった。他方、澤山ほか（2024）は、大分温泉データベースの公開データを用いた地球統計学的解析により、泉温や化学成分の時空間変化をマッピングしたが、現状では顕著な枯渇傾向があるとは断定できないと結論づけた。しかし、これらのモデル設定やパラメーター設定等には慎重な検討が必要である。

本研究では、地質情報と温泉化学成分の情報を加味した上で、当地域の温泉湧出機構を議論することを目的とした。澤山ほか（2023）の理論モデルでは、不透水層に挟まれた地層中では水の流動は側方に規制され、地下深部からの高温流体が断層破碎帯を通じて地下浅部に輸送される 1 次元水理地質モデルを考えた。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）の時空間マッピングにおいても同様の仮定を置き、源泉深度に関する情報は考慮できていない。本研究では、まずは温泉化学成分に関する時間変化について再解析を行い、源泉深度を考慮した地球統計学的解析を行った上で、地質情報との関連を議論した。

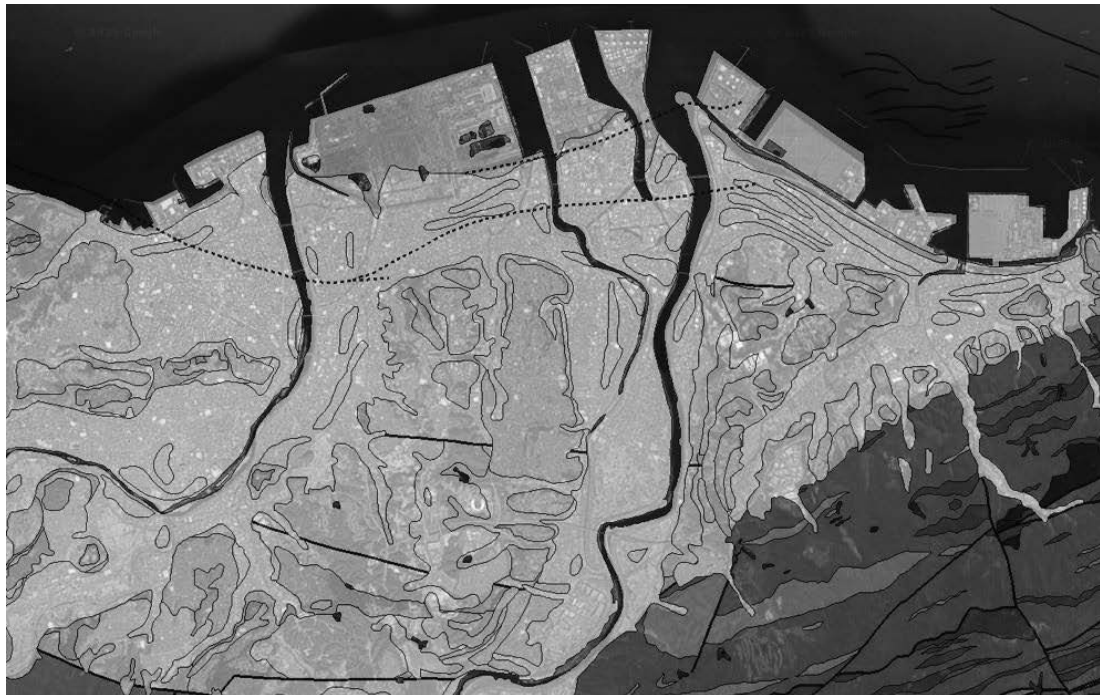


図 1：対象地域の地質図



2 解析データ・手法

本研究では、大分県温泉情報データベース（大分県，2024）に登録されている計 367 地点の温泉水データ（同一地点における重複あり）のうち、泉温、泉質、掘削深度、位置情報、分析日、リチウムイオン濃度 (Li^+)、塩化物イオン濃度 (Cl^-)、炭酸イオン濃

度 (CO_3^{2-}), 炭酸水素イオン濃度 (HCO_3^-), メタホウ酸を解析に使用した。これらの時系列変化を追うため, 同一源泉の時間変化が抽出できた全 65 地点について, 各温泉井の掘削日を 0 としたときの経過時間に対する泉温と塩化物イオン濃度の変化をそれぞれ解析した。得られた結果について, 由佐 (1987) の考案した温泉水系の lumped parameter model と比較を行った。このモデルでは, 開発に伴う温泉化学成分と泉温の時間変化に関して下記の式に簡略化される。

$$\Delta C = \frac{\varepsilon}{1 + \eta + \eta\varepsilon} (1 + \eta + \eta\varepsilon e^{-\beta t}) \quad (1)$$

$$\Delta T = \frac{\varepsilon}{1 + \eta + \eta\varepsilon} (1 + \eta + \eta\varepsilon e^{-\gamma t}) \quad (2)$$

ここで ΔC , ΔT はそれぞれ無次元化した化学成分と泉温の変化量で, ε は揚湯量と賦存量の比, η は水の流出と供給のバランス, β は温泉水の平均滞留時間 τ に関する関数 ($\beta = (1 + \eta + \eta\varepsilon)/\tau(1 + \eta)$), γ は空隙率 n , 温泉水の熱容量 ρc , 地層の熱容量 $\rho_r c_r$ に関する関数 ($\gamma = n\rho c / ((1 - n)\rho_r c_r + n\rho c)$) である。通常地層であれば, 泉温の変化に比べて温泉化学成分の変化が先に表れる。これは, 熱の拡散より主要温泉成分の拡散の方が早い ($\beta > \gamma$) ことを反映していると考えられる。

次に, 全地点の温泉水データを使用し, 地球統計学的手法のひとつであるクリギングを使用して, データの前処理を行った。本研究では, 以下の 3 つの掘削深度でデータセットを分割し, それぞれのデータセットにクリギング解析を適用した。

- (a) 深度 680 m 以浅
- (b) 深度 680 m から 700 m
- (c) 深度 800 m 以深

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。なおクリギング解析には経験的ベイズモデル (Whittle) を採用し、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。

3 結果と考察

3.1 化学成分の時間変化

泉温変化に先行して変化すると予想される化学成分の変化として、本研究では、DIC (Dissolved Inorganic Carbonate), HCO_3/Cl 比と B/Cl 比に着目した。DIC は溶存全炭酸濃度であり、炭酸成分に富む深部熱水の寄与の指標とした。 HCO_3/Cl 比はアルカリ型の深層貯留水の寄与を、 B/Cl 比は深部熱水の寄与と海水の流入を切り分ける指標とすることができる (野田・高橋, 1992)。図 2 に HCO_3/Cl 比と B/Cl 比、そして DIC の経時変化を示す。また宮崎平野の大深度温泉の起源を議論した大沢ほか (2010) に倣い、 $\text{B}-\text{Li}-\text{Cl}$ の相対組成をプロットしたトリリニアダイアグラムも作成した (図 3)。それぞれ、開発後の年数によって色分けしてプロットしている。これらの解析には近隣の温泉水の情報が含まれていないこと、分析データには誤差が含まれていることにも注意する必要がある。そのためプロットの傾向を客観的に議論することは難しいが、概観すると、年数が経つにつれて図 2 のプロットの傾きが若干変化し、全体的に左下に移動している傾向がみられる。この傾向は、成分比が変化していること、また成分が薄まっていることを示唆している可能性がある。図 3 の時間変化は顕著ではないものの、開発後間もない温泉は Li/Cl 比が高く、時間が経過するにつれて B/Cl 比が高くなっているようにも見てとれる。前者は起源流体とされる深層熱水の寄与を、後者は海水の影響を

見ている可能性がある。これらの傾向は、大沢（2001）や大沢ほか（2010）が指摘するような深層熱水の起源および続成作用の影響が関係している可能性があり、今後より詳細に検討する必要がある。

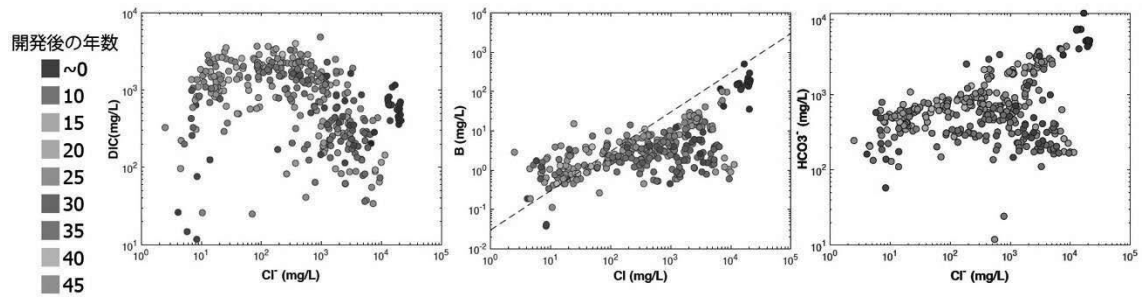


図 2：HCO₃/Cl 比と B/Cl 比，そして DIC の経時変化

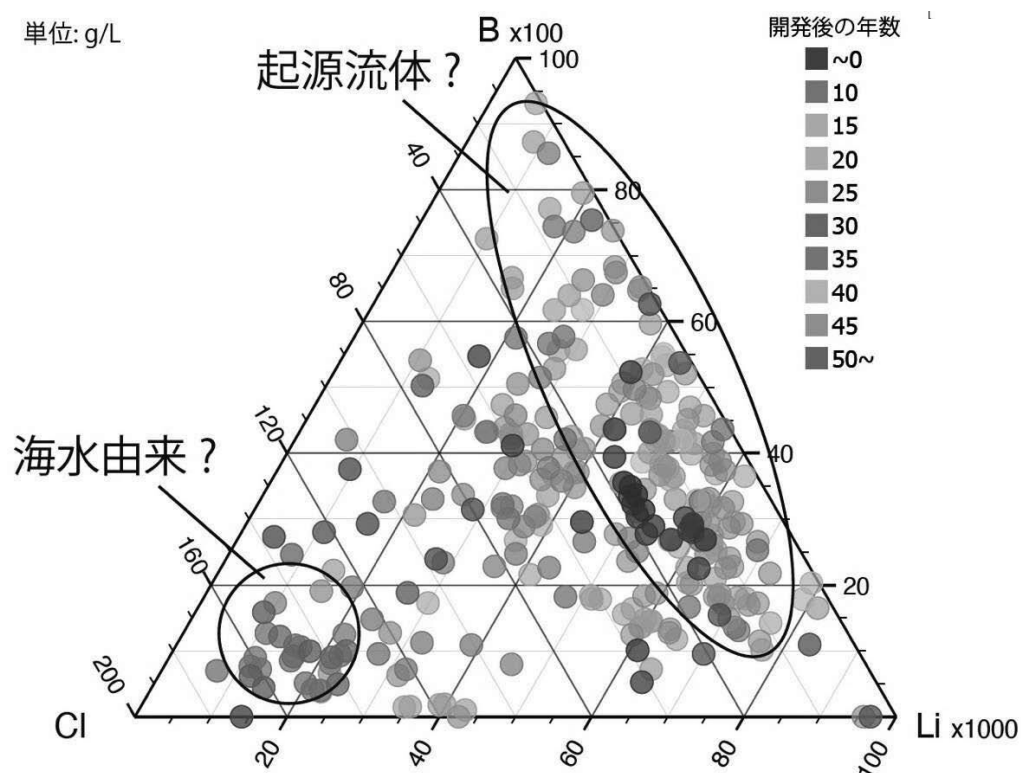


図 3：B-Li-Cl 相対組成トリリニアダイアグラムの経時変化

3.2 Lumped parameter model

図 4 は、初期値で規格化した泉温と塩化物イオン濃度の時間変化である。プロットの色はそれぞれ掘削深度を示す。全ての温泉データについてプロットしたため、結果にはかなりばらつきがみられる。ここで、由佐（1987）の式で $\varepsilon=0.5$, $\eta=1$, $\alpha = 0.4/\text{day}$, $\tau=15$ 年, $n=0.2$, $\rho c=1 \text{ cal/cm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$, $\rho_r c_r=0.5 \text{ cal/cm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ としたときの理論曲線を黒線で示してある。いくつかのプロットは $\tau=15$ 年の理論曲線上にプロットされており、開発から 15 年ほどで影響が出始めている箇所がある可能性も考えられる。澤山ほか(2024)では、泉質による違いが明確でないと結論づけているが、本研究の解析結果から、掘削深度による明確な違いも確認されなかった。

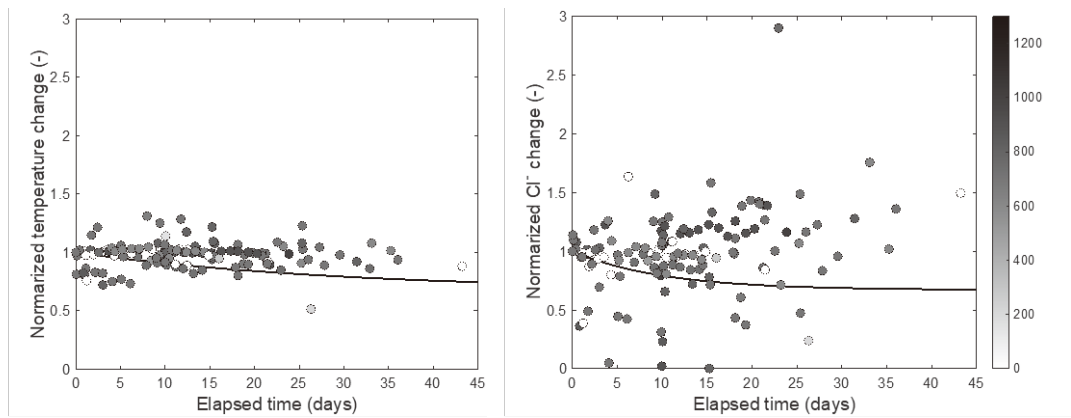


図 4：掘削当時の初期値で規格化した泉温と塩化物イオン濃度の掘削開始からの時間変化。異なる色は掘削深度，実線は滞留時間を 15 年としたときの理論曲線を示す。

同様に、図 5 に初期値で規格化した B/Cl 比, HCO_3/Cl 比, DIC の時間変化を示す。

図 4 と比較して、顕著ではないものの、こちらの結果は掘削深度による違いがみられ

る。 $\tau=15$ 年の理論曲線上にプロットされているデータは、掘削深度 700 m 辺りが多く、 $\tau=100$ 年の理論曲線上にプロットされているデータは、それより深い掘削深度のものが多く傾向にある。掘削深度の深い温泉は、堆積層（碩南層群・大分層群）ではなく基盤岩（三波川変成岩類の上面）中の温泉であると考えられるため、温泉の湧出機構が異なる可能性がある。

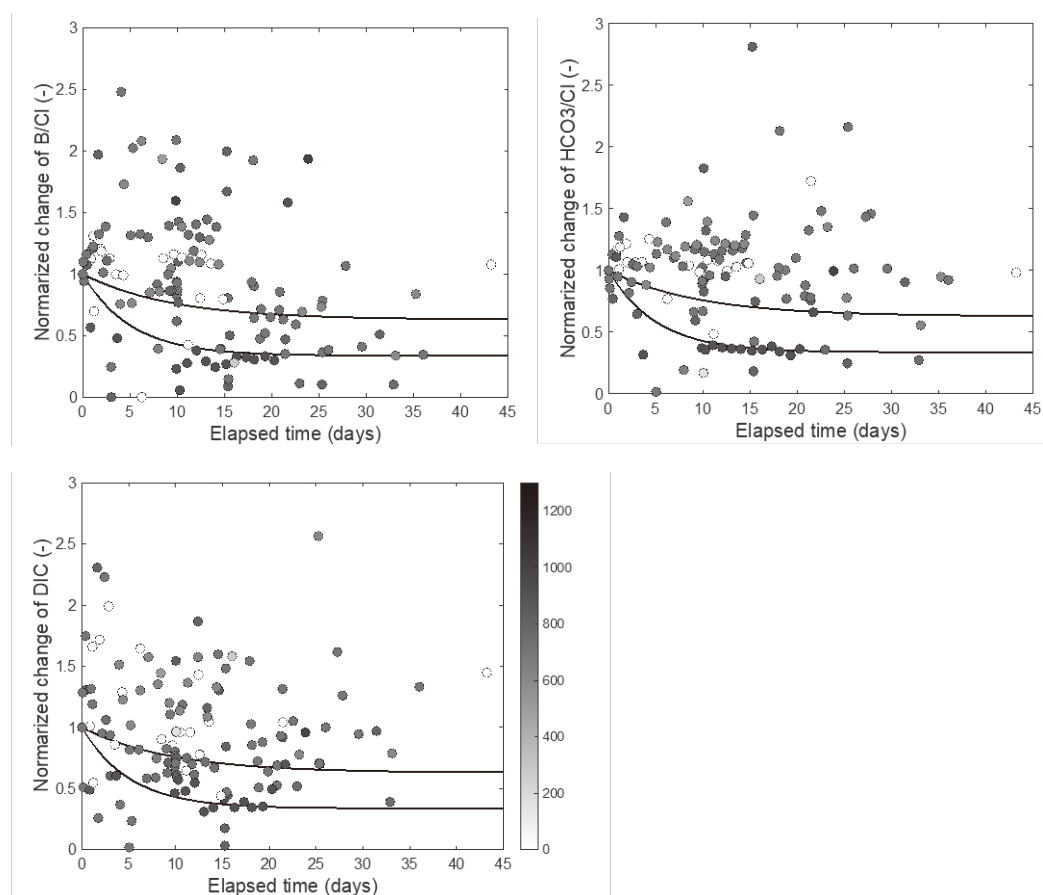


図 5：掘削当時の初期値で規格化した HCO₃/Cl 比と B/Cl 比，そして DIC の経時変化

3.3 クリギング

温泉分析データの内、代表的なデータを用いてクリギング解析を行った。図 6 は、3

つの異なる掘削深度帯の泉温分布をクリギングによって補間した空間マップである。掘削深度浅部のデータ（図 6a, b）は、断層沿い、特に府内断層沿いに高温の温泉が胚胎している様子が分かる。府内断層を中心として外側に行くほど温度が減少傾向にあることから、府内断層が熱水の流路となっている可能性が高い。深度 800 m 以深では、北西部に高温泉の分布が確認され（図 6c）、府内断層周辺の高温泉のソースとなっている可能性がある。なお南東部に向かって等温線は低下しており、その分布は三波川変成帯の分布と類似している。例えば変成岩の分布によって基盤岩深度が浅くなっていることによる影響等、地質との関連が考えられる。

同様にして、B/Cl 比の各掘削深度におけるデータをクリギングによって補間した空間変化マップを図 7 に示す。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、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）。掘削深度が 680 m より浅い深度では、B/Cl 比に顕著な地域差はみられない（図 7a）。掘削深度 680～700 m のデータは、北西部から府内断層沿いに顕著な B/Cl 比の高異常が見られ、これが深部熱水の流路となっていることが推察される（図 7b）。また北東部には B/Cl 比の低異常が見られ、海水との関連が示唆される。深度 800 m 以深のデータでも、北西部の B/Cl 比高異常と北東部の B/Cl 比低異常が同様に確認された（図 7c）。これらとは別に、中央部（鶴崎台地周辺）に顕著な B/Cl 比低異常と、南東部（丹生台地南部）に顕著な B/Cl 比高異常もみられ、地質構造との関連している可能性がある。

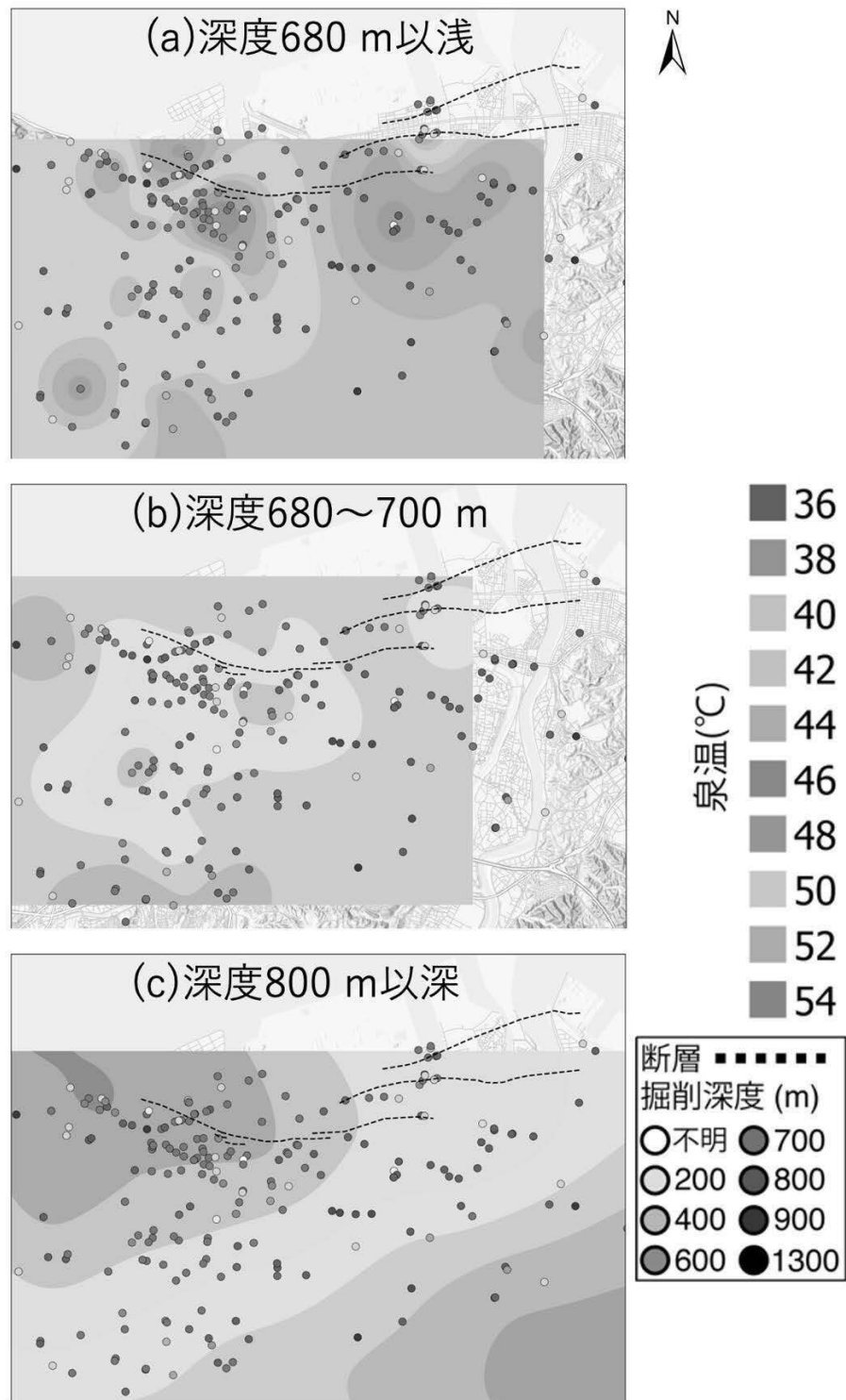


図 6：泉温データを各掘削震度 (a) 深度 680 m 以浅, (b) 深度 680 m から 700 m, (c) 深度 800 m 以深に分けてクリギング解析により補間した空間マップ。

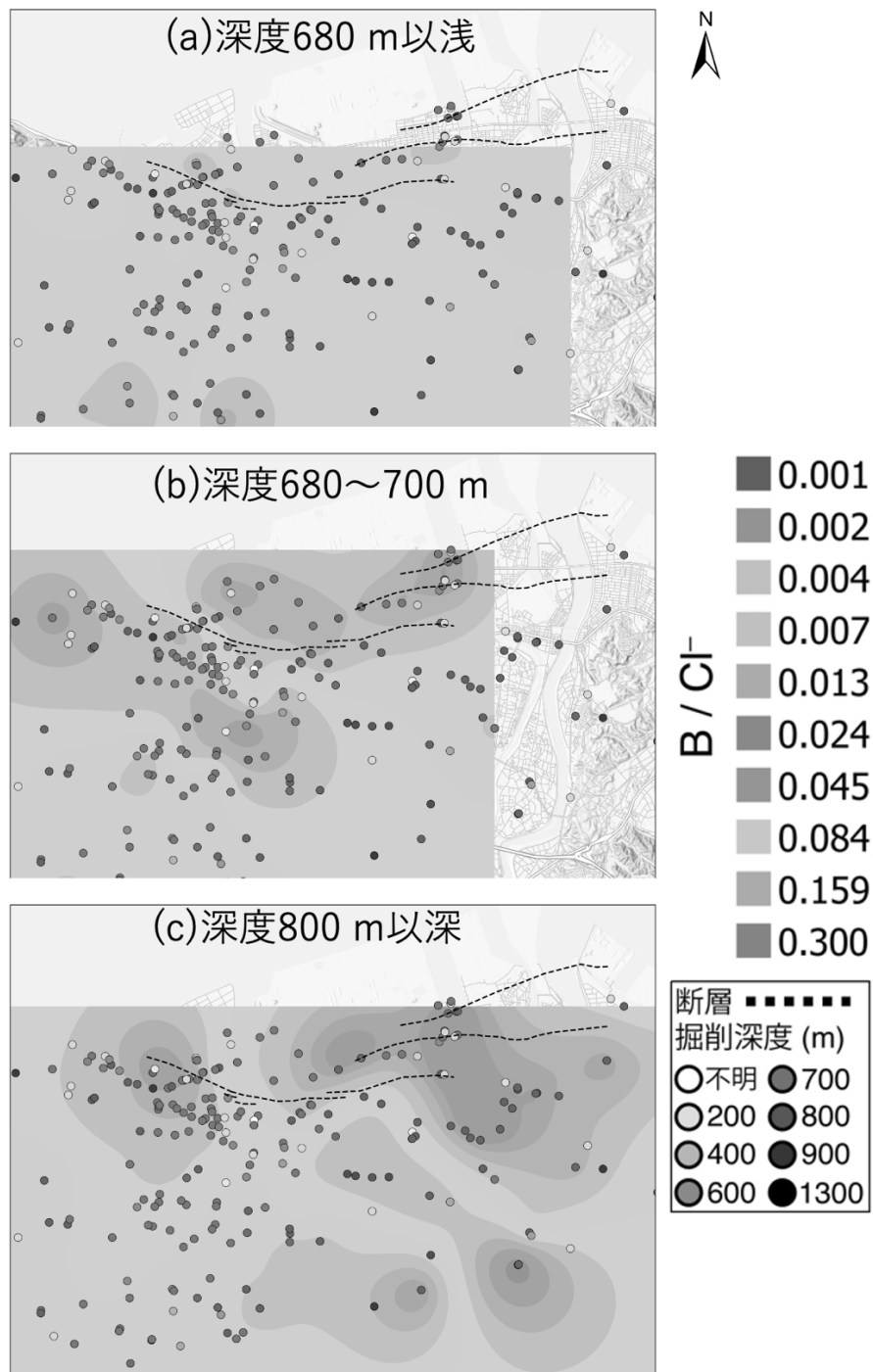


図 8：B/CI 比データを各掘削震度 (a) 深度 680 m 以浅, (b) 深度 680 m から 700 m, (c) 深度 800 m 以深に分けてクリギング解析により補間した空間マップ。

4 まとめと今後の方策

深層熱水型温泉と呼ばれる大分市内の温泉を対象に、公開されている温泉分析データを使用して、地質学的・地球化学的・地球統計学的調査を行った。温泉化学成分の経時変化をプロットしてみると、全体的な傾向として、開発後の年数に伴ってわずかに成分が変化している可能性が確認された。また掘削深度ごとのデータを泉温と B/Cl 比についてクリギングした結果では、地域や深度による違いが確認され、一部地質との関連がある可能性が明らかとなった。本研究では表層地質図との簡単な比較を行ったが、実際の地質構造は 3 次元であり、深度による地質の変化を考慮しなくてはならない。今後は、過去のボーリングデータをガイドにして 3 次元的な地質モデルを作成し、深度ごとの温泉成分との比較が必要である。これらの結果を踏まえて、地球物理的観測から得られた地下構造モデルとも比較することで、最終的に大分平野地下の温泉湧出機構に迫っていきたい。

謝辞

本研究のデータ分析のため、大分県から温泉情報データベース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・大上和敏 (2022) 大分県北部地域の温泉に対する地理情報システム (GIS)

解析. 大分県温泉調査研究会報告, 73, 1-12.

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.

環境省 (2020) 温泉資源の保護に関するガイドライン (改訂) 更新版. 温泉の保護と利

用. 令和 2 年 3 月

https://www.env.go.jp/nature/onsen/pdf/2-5_p_3.pdf, (参照 2024-02-28)

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.

松本光央・糸井龍一 (2022) 自噴井群における揚水の影響について. 大分県温泉調査研究会報告, 73, 13–32.

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・北岡豪一 (1981) 大分川流域温泉の高塩分泉の付随ガスについて. 大分県温泉調査研究会報告, 32, 43–55.

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.

大分県 (2024) 大分県温泉情報データベース (CD-ROM)

大沢信二 (2001) 大分平野に産する深層熱水中の炭酸成分の起源. 大分県温泉調査研究会報告, 52, 21–26.

大沢信二・網田和宏・山田誠・三島壮智・風早康平. (2010). 宮崎平野の大深度温泉井から流出する温泉水の地化学特性と成因-温泉起源流体としての続成脱水流体-. 温泉科学 59(4), 295–319.

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.

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 (1961) 自噴井群における揚水の影響について. 大分県温泉調査研究会報告, 12, 31–40.

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.

由佐悠紀 (1987) 温泉の流動と賦存-温泉開発の影響に関する考察-. 温泉科学, 37(2), 161–168.

九重火山群の第四紀火山岩類の地球化学的研究 3

広島大学先進理工系科学研究科

山中壮馬・柴田知之・藤原涼太郎・芳川雅子

要旨

九重火山群を構成する火山体の 1 つである大船火山の岳麓寺溶岩、板切溶岩、大船南溶岩の Sr 同位体比の測定を行った。その結果、岳麓寺溶岩、板切溶岩の Sr 同位体比は先行研究で報告されてきた九重火山群の火山岩類の Sr 同位体比よりも高いことが分かった。また、これら溶岩の Sr 同位体比は、芳川ほか（2023）や芳川・柴田（2024）で報告された竹田市郷の湯や水神の湯に近い値を示した。

1. はじめに

九重火山群は約 200 ka に活動を開始した、西南日本弧火山フロント上に位置する活火山（川辺ほか, 2015）である。九重火山群の火山岩類の Sr 同位体比の報告は Kita et al. (2001) と藤原ほか（2020）をあわせて 5 試料のみに限られ、藤原ほか（2020）は、九重火山群の火山岩類を Sr 同位体比から高 Sr 同位体比グループ（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = \sim 0.7043$ ）と低 Sr 同位体比グループ（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = \sim 0.7040$ ）に分類した（図 1）。一方、芳川ほか（2023）、芳川・柴田（2024）は、大船火山山麓の郷の湯や水神の湯の Sr 同位体比が $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70479\text{--}0.70494$ であることを報告し、その流動経路にあたる大船火山の岳麓寺溶岩や板切溶岩が高い Sr 同位体比を示す可能性を指摘した。このことは、九重火山群に高 Sr 同位体比グループよりもさらに高い Sr 同位体比を持つ火山岩類が存在する可能性を示唆する。そこで、本報告では

岳麓寺溶岩・板切溶岩・大船南溶岩の Sr 同位体分析を行い、先行研究の Sr 同位体比の報告値よりも高い試料が存在するか確かめることを目的とした。

2. 分析方法

Sr の化学分離は Dey et al. (2023) に従って行った。また Sr 同位体比は広島大学先進理工系科学研究科に設置された表面電離型質量分析計 (ThermoFinnigan MAT262) を用いて測定した。また、米国立標準技術研究所 (National Institute of Standards and Technology; NIST) の Sr 標準物質 (NIST987) の測定結果は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710279 \pm 0.000009$ ($2\sigma_m$) であった。

3. 結果と考察

本研究で測定した大船火山の岳麓寺溶岩、板切溶岩、大船南溶岩の Sr 同位体比を Kita et al. (2001)、藤原ほか (2020) の結果とともに図 1 に示した。図 1 には芳川ほか (2023) と芳川・柴田 (2024) で報告された長湯温泉域の温泉水の Sr 同位体比もあわせて示した。岳麓寺溶岩と板切溶岩の Sr 同位体比はそれぞれ高 Sr 同位体比グループ (藤原ほか, 2020) よりも高く、芳川ほか (2023) と芳川・柴田 (2024) で報告された、これら溶岩を流

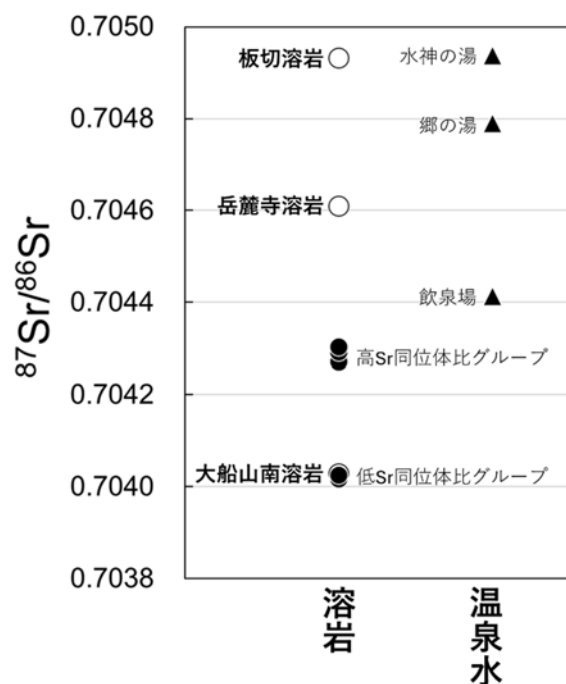


図 1. 九重火山群火山岩類と長湯温泉の Sr 同位体比

○：九重火山群本報告値

●：九重火山群先行研究報告値

(Kita et al., 2001; 藤原ほか, 2020)

▲：長湯温泉 (芳川ほか, 2023; 芳川・柴田, 2024)

動経路とする郷の湯や水神の湯の Sr 同位体比に近い値を示した（図 1）。さらに、芳川ほか（本報告書）では、岳麓寺溶岩と板切溶岩に比べ低い Sr 同位体比を持つ火山岩類を流動経路とする白水鉱泉と男池の湧水の Sr 同位体比が、郷の湯や水神の湯の値に比べ低い値を示すことを報告している。これらの結果から、Sr 同位体比の高い火山岩類を流動経路とする温泉水は高い Sr 同位体比を示し、Sr 同位体比の低い火山岩類を流動経路とする温泉水は低い Sr 同位体比を示すことが分かる。このことは、温泉水や鉱泉水がそれらの流動経路に存在する火山岩類の Sr 同位体比を反映するとした芳川ほか（2023）、芳川・柴田（2024）の考えと整合的である。また、大船南溶岩で測定した値は、Kita et al. (2001) で報告された Sr 同位体比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = \sim 0.7040$)に近く、藤原ほか（2020）で分類された低 Sr 同位体比グループと類似する値を示した（図 1）。

4. まとめ

九重火山群を構成する火山体の 1 つである大船火山の岳麓寺溶岩、板切溶岩、大船南溶岩の Sr 同位体比の測定を行った。岳麓寺溶岩、板切溶岩の Sr 同位体比は、それら溶岩を流動経路とすると考えられる郷の湯や水神の湯の Sr 同位体組成（芳川ほか，2023；芳川・柴田，2024）と近い値を示した。このことは、温泉水や鉱泉水がそれらの流動経路にある火山岩類の Sr 同位体比を反映する可能性を支持する。

5. 謝辞

本研究で Sr を化学分離する際、Bidisha Dey 博士にご協力いただいた。また、試料採取に際して、阿蘇くじゅう国立公園管理官事務所の澤邦之上席国立公園管理官に便宜を図っていただいた。深く感謝いたします。

6. 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.

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

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.

芳川雅子・柴田知之・白石史人（2023）竹田市郷の湯にて採取された温泉水の Sr 同位体比. 大分県温泉調査研究会報告, 47–50.

芳川雅子・柴田知之（2024）竹田市長湯温泉地域で採取された温泉水の Sr 同位体比, 大分県温泉調査研究会報告, 印刷中.

芳川雅子・柴田知之（本報告書）九重山山麓の湧水等の Sr 同位体比（1）由布市九重火山群黒岳・前岳山麓で採取された湧水について, 大分県温泉調査研究会報告, 印刷中.

九重山山麓の湧水等のSr同位体比 由布市九重火山群黒岳・前岳山麓で採取された湧水について

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

九重火山群北東部黒岳北部山麓の由布市に分布する湧水 2 試料のストロンチウム (Sr) 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) を決定した。湧水の Sr 同位体比は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70435\sim0.70447$ と比較的均質な値を示し、九重火山群南東部山麓の温泉水 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70441\sim0.70494$) と比べ相対的に低い Sr 同位体比を示した。

1. はじめに

ストロンチウム (Sr) 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 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 Sr 同位体比を決定し、第四紀火山岩が分布する地域の湧水 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比はそれらが採取された地域の火山岩のものと類似する値を持つことを示した。それらの結果と He 同位体比の関係から、彼らはマントル由来マグマから He の供給があると推測される湧水であっても、その Sr 同位体比は火山岩中の水に可溶な成分に由来すると推測した。Ishikawa et al. (2002) 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に分布する 6 か所で温泉水・鉱泉水を採取し、それらの Sr 同位体比がそれぞれの岩石の Sr 同位体比分布と対応している事を示した。また比較的年代の古い (70-80 Ma) 花こう岩地域において

は、全岩よりも水に可溶しやすい斜長石の Sr 同位体比を反映している事を示した。このように湧水の Sr 同位体比はそれらの湧出経路の推定に重要な情報を与えるため、世界中で多くの研究が行われている（例えば、Millet et al., 2012）。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。今年度は九重火山群北東部黒岳（高塚山）山麓（由布市）で水試料を採取し、それらの Sr 同位体比を決定した。

2. 周辺地質

九重火山群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（例えば杉山、1965）、山麓には火砕流堆積物が分布する（太田、1991）。黒岳火山は九重火山群北東部に位置し、これを構成する溶岩ドームは地形から複数の溶岩ローブに区分される（太田、1991；川辺ほか、2015）。黒岳円頂丘は噴火ステージ第 4 期（15-0 ka）の最末期 1.6ka から活動を開始した安山岩で構成され、その直後には黒岳北東部に前岳溶岩が噴出した（太田、1991）（図 1）。白水鉱泉付近には黒岳火砕流堆積物が観察されている（川辺ほか、2015）（図 1）。黒岳北部の下位には第 3 期（54-15 ka）の台の山火山男池溶岩が分布する（川辺ほか、2015）（図 1）。

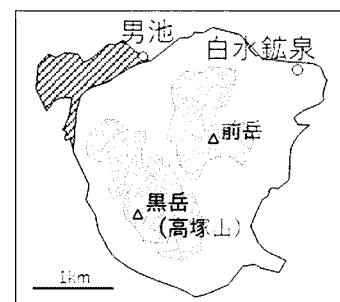


図1. サンプル採取地点.
△ 黒岳溶岩
■ 黒岳火砕流堆積物
▨ 台の山男池溶岩
川辺ほか（2015）改変

九重火山群とその北西部の地熱地帯は豊肥地熱地帯と総称され、地熱流量などの調査のために多くの掘削が行われた。九重火山群の西に位置する八丁原地熱発電所近傍の HT-5-1 坑では深さ 3000 m におよぶ掘削が行われ、上位から下位へ九重火山岩類、豊肥火山岩類、先玢珠変質火山岩類、基盤岩類が観察されている（矢野、1985）。

3. 試料および分析方法

白水鉱泉と男池にて試料水を採取した（図1）。試料水は、メンブランフィルター（孔径 $0.2\ \mu\text{m}$ ）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、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。Sr同位体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 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ 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 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710267 \pm 0.000024$ （ 2σ ; $n=3$ ）であった。

4. 結果と考察

本研究で決定された水試料の Sr 同位体比は、白水鉱泉が $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70444$ 、男池が $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70435$ であった。これらの結果は、2022 年と 2023 年に報告した九重火山群東部域の大船山南東山麓で採取された温泉水の Sr 同位体比（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70441\sim0.70494$ ）と比べると相対的に低い。

太田(1992)は黒岳円頂丘溶岩と前岳溶岩の Sr 同位体比をそれぞれ 0.70430 と 0.70425 と報告している。さらに、HT-5-1 坑で採取された基盤岩（深成岩類・変成岩類）の Sr 同位体比（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70622, 0.70827$ ）も報告している。九重火山群火山岩の Sr 同位体比の組成幅は、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7039\sim0.7054$ （Kita et al., 2001; 藤原ほか、2020 ; 折戸、2021 幣島、2022 ; 山中、未公表データ）であるが、その多くが $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7039\sim0.7046$ に集中する。台の山男池溶岩や九重火山群下の豊肥火山岩類・先玢珠変質火山岩類の Sr 同位体比の報告は発見できなかった。

日本の火山岩地域では、降水の Sr 同位体比幅は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.708\sim0.712$ で平均が

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.709$ 前後（横尾、2007）とされる。また降水の Sr 濃度は火山岩（例えば九重山火山岩の場合、420～839 ppm；柴田ほか、2023）と比較すると著しく低い（ <0.008 ppm；井上ほか、2007）、降水が火山岩内を流動した後の地下水は流動経路に存在する火山岩の Sr 同位体比を強く反映すると考えられる。白水鉱泉や男池の湧水の Sr 同位体比は黒岳・前岳溶岩の値よりやや高い。一方、降水が基盤岩にまで達した後に湧出した水であれば、基盤岩類の Sr 濃度も降水と比べると著しく高い（429ppm、743 ppm）ため、その Sr 同位体比は著しく高くなると思われる。

以上の事から、白水鉱泉や男池の湧水は黒岳・前岳溶岩やその下位の火山岩類を流動経路としている可能性が高いと推測した。

5. まとめ

九重火山群黒岳北部山麓に分布する湧水 2 試料の Sr 同位体比は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70435\sim 0.70444$ と比較的均質な値を示し、九重火山群南東部山麓の温泉水（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70441\sim 0.70494$ ）と比べ相対的に低く、主に黒岳・前岳溶岩を流動経路としている可能性が高いと推測される。

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。ここに謝意を表する。

参考文献

- 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.
- 幣島太一（2022）九重火山群の第四紀火山岩類のSr-Nd-Pb 同位体組成，広島大学理学部 地球惑星システム学科，卒業論文， 30pp.
- 井上睦夫・小林俊則・中村昇・大谷恵子・中島剛・小村和久（2007）鳥取県大山火山

- 中腹に湧出する地下水の流動系：同位体地球化学的情報からみた地下水の履歴．日本水文科学会誌，33，255-267.
- 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.
- 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
- 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.
- Millot, R., Hegan, A., Négrel, P. (2012) Geothermal waters from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand: Li, B and Sr isotopes characterization. *Applied Geochemistry*, 27, 677-688.
- Notsu, K., Wakita, H., Nakamura, Y. (1991) Strontium isotopic composition of hot spring and mineral spring waters, Japan. *Applied Geochemistry*, 6, 543-551.
- 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.
- 太田岳洋 (1992) 中部九州東部域の後期更新世～完新世火山の地質学的，岩石的研究．東北大学大学院理学研究科，博士論文
- 折戸達紀 (2021) 九重火山の第四紀火山岩類の Sr- Nd 同位体組成．広島大学理学部地球惑星システム学科，21pp. 卒業論文
- 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) 火山の分布とマンツルの地震との関係. 火山，2，37-57.
- 矢野雄策 (1985) 豊肥地熱地域の坑井データを用いた熱水系の解析．地質調査所報告，264, 385-404.
- 横尾頼子 (2007) 埼玉県尾須沢鍾乳洞上に発達した土壌の鉱物・地球化学的研究．同志社大学理工学研究報告，48，57-61.
- 芳川雅子・柴田知之 (2024) 竹田市長湯温泉地域で採取された温泉水の Sr 同位体比，大分県温泉調査研究会報告，印刷中
- 芳川雅子・柴田知之・白石史人 (2023) 竹田市郷の湯にて採取された温泉水の Sr 同位体比．大分県温泉調査研究会報告，47-50.

2018 年～2024 年の 6 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 文学研究科 史学・文化財学専攻

円城寺健悠

別府大学 食物栄養科学部 発酵食品学科

清本はな

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

【はじめに】

わが国では風呂や温泉に入ることは、単なる身体を清潔にするという目的にとどまらず、健康や文化に深く関わっている行為であり、独自の習慣と言えるだろう。大分県別府市は日本一の源泉数を誇り約 2,800 か所¹⁾以上の温泉が湧出しているが、その湧出量は一分間で約 100,000 ℓ¹⁾を越える規模で、観光資源としての温泉だけでなく、古くから市民生活の一部として別府市民の温泉入浴が行われている。公衆浴場を利用する地域住民同士のコミュニケーションや健康促進やリラックス効果を求める為に広く利用されている。

2018 年～2023 年までの 6 年間の別府市消防本部に寄せられた救急搬送件数は 38,217 件、そのうち、入浴中に何らかの原因で体調不良が発生し緊急出動要請につながったものは 839 件である。入浴中の体調不良はどのような要因から発生するかについて別府市消防部より提供いただいた入浴に関連した搬送件数（搬送者数）のデータを様々な気象データの環境因子と突合し、入浴中の体調不良に相関するファクターを探求、アンケート調査を実施することで入浴者の意識調査を行い予防する方法を検討する。昨年実施した際に収集できなかった全年代のデータ、公衆浴場は温泉等の入浴施設と宿泊所、自宅では浴室のデータを使用したため昨年の件数と差が出ていることを始めに述べておく。

【方法】

1. 搬送件数データの取得

提供元: 別府市消防本部

期間: 2018 年～2024 年の過去 6 年間

項目: 月別の別府市入浴関連事故搬送数

搬送件数データは、別府市消防本部より提供いただいた。調査対象期間は 2018 年～2024 年（平成 30 年～令和 5 年）までの 6 年間、月別の別府市入浴関連事故の搬送数を収集した。今回使用した入浴に関する搬送件数は大きく 3 つに分かれている。(1)自宅の風呂場、脱衣所を含んだ“浴室”。(2)公衆に分類される温泉、共同浴場などの“公衆浴場”。(3)旅館、ホテルなど“宿泊所”。“宿泊所を含む公衆浴場”と表記する場合は(2)及び(3)を含めた内容である。

2. 気象情報の取得

提供元: 気象庁“過去の気象データ検索”

対象地域: 大分市

データ種別: 各種気象データ月別。（平均気温(℃)、平均日格差(℃)、平均風速(m/s)）

期間: 2018 年～2023 年の 6 年間

気象データは気象庁の“過去の気象データ検索”を利用し対象地域である大分市の気象データをダウンロードした。このデータには気温、湿度などの要素が含まれており、研究期間中の気象条件を把握、搬送件数と照らし合わせ、ファクターの追及を行うために使用する。大分市のデータを用いた理由とし、気象庁の別府観測データは 2009 年の 11 月 22 日をもって観測を終了しており、代わりに近隣市町村の大分市のデータを採用することにした。日格差については月平均最高・最低気温を元に作成した。今回用いた気象情報のグラフや表は「気象庁“過去の気象データ検索”」にて入手した情報をもとに作成している。

3. 共同浴場でのアンケート調査

調査対象：別府市内の共同浴場利用者

調査方法：別府市内の共同浴場、宿泊施設などを対象に 202 名より回答を得た。

調査項目：入浴および入浴前後のヒヤリハットに関する回答

調査期間：2024 年 12 月～2025 年 1 月。

今回の研究に合わせ別府市内の共同浴場で入浴者に対して無作為にアンケート調査を行った。質問は全部で 10 項目。質問事項は次のとおりである。“(1)温泉は健康・体に良いと感じているか。(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るか。(3)入浴中にヒートショック（血圧の急変動）を感じた経験の有無。(4)飲酒をして入浴した経験の有無。(5)入浴時に転倒や溺れそうになったことの有無。(6)入浴における火傷や脱水症状の経験の有無。(7)入浴を家族や周囲の人に周知しているか。(8)入浴前に十分な水分補給など脱水症状対策をしているか。(9)入浴時間は何分くらいか。(10)自由記述”の 10 項目である。

【結果】

1. 入浴に関する搬送件数の調査

1 6 年間の入浴に関する搬送件数の発生場所。

表 1 全搬送件数と入浴に関する搬送件数の比較

	%（人）	入浴に関する搬送件数			
年	全搬送件数	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室	総計
2018	100（6,327）	1.03%（65）	0.22%（14）	0.98%（62）	2.23%（141）
2019	100（6,396）	1.08%（69）	0.22%（14）	0.67%（43）	1.97%（126）
2020	100（5,827）	1.12%（65）	0.14%（8）	1.03%（60）	2.28%（133）
2021	100（5,820）	0.74%（43）	0.10%（6）	1.17%（68）	2.01%（117）
2022	100（6,700）	1.09%（73）	0.25%（17）	0.98%（66）	2.33%（156）
2023	100（7,147）	0.98%（70）	0.31%（22）	0.90%（64）	2.18%（156）
総計	100（38,217）	1.01%（385）	0.21%（81）	0.95%（363）	2.17%（829）

2018 年～2023 年までの 6 年間の別府市消防本部に寄せられた救急搬送件数は 38,217 件、入浴に関する搬送件数は 839 件である。（表 1）

内訳では公衆浴場 385 件、宿泊所 81 件、浴室 363 件、入浴に関する搬送件数は全体の搬送件数の約 2%だ。公衆（公衆浴場・宿泊所）と自宅に分類される浴室を比較すると、2018 年は公衆 1.25%、浴室 0.98%。2019 年は調査を行った期間で入浴に関する公衆の搬送件数が少なく、公衆 1.3%、浴室 0.67%。2020 年は公衆 1.26%、浴室 1.03%。2021 年は公衆 0.84%、浴室 1.17%。2022 年は公衆 1.34%、浴室 0.98%。2023 年は公衆 1.29%、浴室 0.9%であった。年によって差があるが、自宅の浴室での発生よりも宿泊所を含む公衆浴場での発生が多い。

2 6年間の入浴に関する搬送件数と年代別

表2 6年間の入浴に関する搬送者数の年代別内訳

年代別	公衆(公衆浴場)	公衆(宿泊)	浴室(シャワー室、洗面所を含む)	総計
10歳未満	14	7	15	36
10代	6	3	7	16
20代	18	5	11	34
30代	7	2	6	15
40代	17	6	14	37
50代	25	9	18	52
60代	49	11	32	92
70代	131	24	91	246
80代	101	11	128	240
90代以上	17	3	41	61
総計	385	81	363	829

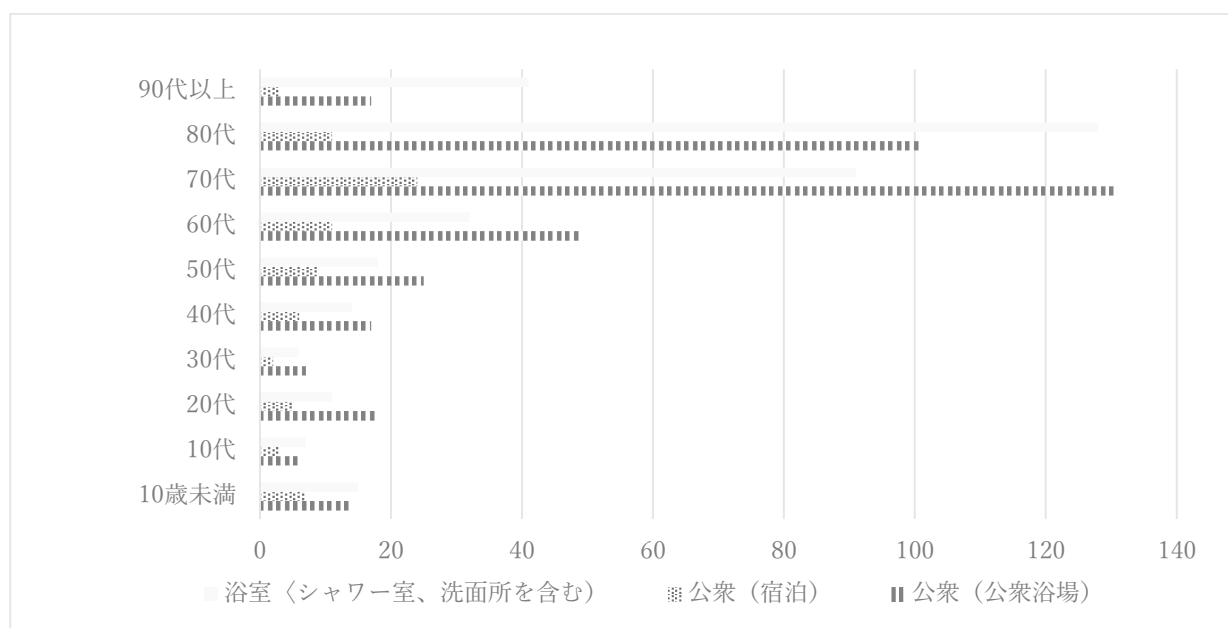


図1 6年間の入浴に関する搬送者数の年代別内訳

2018年～2023年の6年間の入浴に関する搬送者数の年代別内訳(表2、図1)は次の通りだ。多い順より70代246件、80代240件、60代92件、90代以上61件、50代52件、40代37件、10歳未満36件、20代34件、10代16件、30代15件であった。

各搬送場所別では次の通りだ。公衆浴場70代131件、80代101件、60代49件、50代25件、20代18件、90代以上17件、40代17件、10代未満14件、30代7件、10代6件。宿泊所では多い順より70代24件、80代11件、60代11件、50代9件、10歳未満7件、40代6件、20代5件、90代以上3件、10代3件、30代2件。自宅の浴室では80代128件、70代91件、90代以上41件、60代32件、50代18件、10歳未満15件、40代14件、20代11件、10代7件、30代6件。20代～70代までは自宅の浴室より公衆浴場からの搬送が多く、80代、90代以上では自宅の浴室からの搬送が多い。6年間では10代と30代の搬送が比較的少ない。

3 各年の搬送件数調査

【2018 年の入浴に関する搬送件数の搬送場所の分析】

表 3 2018 年の入浴に関する搬送件数

2018年 月	全搬送件数	入浴に関する搬送			総計
		公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	
1	638	12	2	7	21
2	504	10	3	9	22
3	485	9	1	7	17
4	518	3		7	10
5	502	2		2	4
6	459	2	1	3	6
7	594	2		3	5
8	593	5		4	9
9	489	2	3	8	13
10	507	2	1	1	4
11	494	9	2	3	14
12	544	7	1	8	16
総計	6327	65	14	62	141

2018 年の全搬送件数は 6327 件で、入浴に関する搬送件数は合計で 141 件である。

入浴に関する搬送件数の月別総計は 1 月 21 件、2 月 22 件、3 月 17 件、4 月 10 件、5 月 4 件、6 月 6 件、7 月 5 件、8 月 9 件、9 月 13 件、10 月 4 件、11 月 14 件、12 月 16 件である。搬送場所内訳は次の通りだ。公衆浴場は 1 月 12 件、2 月 10 件、3 月 9 件、4 月 3 件、5 月 2 件、6 月 2 件、7 月 2 件、8 月 5 件、9 月 2 件、10 月 2 件、11 月 9 件、12 月 7 件の合計 65 件。宿泊所は 1 月 2 件、2 月 3 件、3 月 1 件、4 月 0 件、5 月 0 件、6 月 1 件、7 月 0 件、8 月 0 件、9 月 3 件、10 月 1 件、11 月 2 件、12 月 7 件の合計 14 件。浴室は 1 月 7 件、2 月 9 件、3 月 7 件、4 月 7 件、5 月 2 件、6 月 3 件、7 月 3 件、8 月 4 件、9 月 8 件、10 月 1 件、11 月 3 件、12 月 8 件の合計 62 件であった。

【2019 年の入浴に関する搬送件数の搬送場所の分析】

表 4 2019 年の入浴に関する搬送件数

2019年 月	全搬送件数	入浴に関する搬送			総計
		公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	
1	606	12		9	21
2	453	4		3	7
3	494	10		4	14
4	548	9	1	1	11
5	516	3	1	2	6
6	487	3		7	10
7	558	4	2	2	8
8	486		1	3	4
9	511	5	3	4	12
10	560	1	1	5	7
11	534	10	4	1	15
12	643	8	1	2	11
総計	6396	69	14	43	126

2019 年の全搬送件数は 6396 件で、入浴に関する搬送件数は合計で 126 件である。

入浴に関する搬送件数の月別総計は 1 月 21 件、2 月 7 件、3 月 14 件、4 月 11 件、5 月 6 件、6 月 10 件、7 月 8 件、8 月 4 件、9 月 12 件、10 月 7 件、11 月 15 件、12 月 11 件である。搬送場所別内訳は次の通りだ。公衆浴場は 1 月 12 件、2 月 4 件、3 月 10 件、4 月 9 件、5 月 3 件、6 月 3 件、7 月 4 件、8 月 0 件、9 月 5 件、10 月 1 件、11 月 10 件、12 月 8 件の合計 69 件。宿泊所は 1 月 0 件、2 月 0 件、3 月 0 件、4 月 1 件、5 月 1 件、6 月 0 件、7 月 2 件、8 月 1 件、9 月 3 件、10 月 1 件、11 月 4 件、12 月 1 件の合計 14 件。浴室は 1 月 9 件、2 月 3 件、3 月 4 件、4 月 1 件、5 月 2 件、6 月 7 件、7 月 2 件、8 月 3 件、9 月 4 件、10 月 5 件、11 月 1 件、12 月 2 件の合計 43 件である。

【2020 年の入浴に関する搬送件数、搬送場所の分析】

表 5 2020 年の入浴に関する搬送件数

2020年 月	全搬送件数	入浴に関する搬送 公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計
1	597	10		10	20
2	518	9	4	6	19
3	463	4		5	9
4	399	5		6	11
5	412	4		7	11
6	429	7			7
7	490	6	1	2	9
8	484	3		2	5
9	478	2	1	4	7
10	513	6	1	5	12
11	530	3		6	9
12	514	6	1	7	14
総計	5827	65	8	60	133

2020 年の全搬送件数は 5827 件で、入浴に関する搬送件数は合計で 133 件である。

入浴に関する搬送件数の月別総計は 1 月 20 件、2 月 19 件、3 月 9 件、4 月 11 件、5 月 11 件、6 月 7 件、7 月 9 件、8 月 5 件、9 月 7 件、10 月 12 件、11 月 9 件、12 月 14 件である。搬送場所別の内訳は次の通りだ。公衆浴場は 1 月 10 件、2 月 9 件、3 月 4 件、4 月 5 件、5 月 4 件、6 月 7 件、7 月 6 件、8 月 3 件、9 月 2 件、10 月 6 件、11 月 3 件、12 月 6 件の合計 65 件である。宿泊所は 1 月 0 件、2 月 4 件、3 月 0 件、4 月 0 件、5 月 0 件、6 月 0 件、7 月 1 件、8 月 0 件、9 月 1 件、10 月 1 件、11 月 0 件、12 月 1 件の合計 8 件。浴室では 1 月 10 件、2 月 6 件、3 月 5 件、4 月 6 件、5 月 7 件、6 月 0 件、7 月 2 件、8 月 2 件、9 月 4 件、10 月 5 件、11 月 6 件、12 月 7 件の合計 60 件である。

【2021 年の入浴に関する搬送件数、搬送場所の分析】

表 6 2021 年の入浴に関する搬送件数

2021年 月	全搬送件数	入浴に関する搬送 公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計
1	479	8		4	12
2	446	5		10	15
3	453	6	1	10	17
4	479	3	1	2	6
5	472	3		10	13
6	459	1		4	5
7	472	2	1	4	7
8	509	3		3	6
9	493	2		3	5
10	515	2		5	7
11	537	4	2	3	9
12	506	4	1	10	15
総計	5920	43	6	68	117

2021 年の全搬送件数は 5920 件で、入浴に関する搬送件数は合計で 117 件である。

入浴に関する搬送件数の月別総計は 1 月 12 件、2 月 15 件、3 月 17 件、4 月 6 件、5 月 13 件、6 月 5 件、7 月 7 件、8 月 6 件、9 月 5 件、10 月 7 件、11 月 9 件、12 月 15 件である。搬送場所別の内訳は次の通りだ。公衆浴場は 1 月 8 件、2 月 5 件、3 月 6 件、4 月 3 件、5 月 3 件、6 月 1 件、7 月 2 件、8 月 3 件、9 月 2 件、10 月 2 件、11 月 4 件、12 月 4 件の合計 43 件。宿泊所では 1 月 0 件、2 月 0 件、3 月 1 件、4 月 1 件、5 月 0 件、6 月 0 件、7 月 1 件、8 月 0 件、9 月 0 件、10 月 0 件、11 月 2 件、12 月 1 件の合計 6 件。浴室では 1 月 4 件、2 月 10 件、3 月 10 件、4 月 2 件、5 月 10 件、6 月 4 件、7 月 4 件、8 月 3 件、9 月 3 件、10 月 5 件、11 月 3 件、12 月 10 件の合計 68 件。

【2022 年の入浴に関する搬送件数、搬送場所の分析】

表 7 2022 年の入浴に関する搬送件数

2022年 月	全搬送件数	入浴に関する搬送			
		公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計
1	557	8	1	3	12
2	494	7	1	15	23
3	555	8	2	9	19
4	494	4	2	6	12
5	556	8		2	10
6	495	2		4	6
7	650	4		7	11
8	639	8	1	1	10
9	494	3	3	4	10
10	534	6	2	4	12
11	553	4	2	5	11
12	679	11	3	6	20
総計	6700	73	17	66	156

2022 年の全搬送件数は 6700 件で、入浴に関する搬送件数は合計で 156 件である。

入浴に関する搬送件数の月別総計は 1 月 12 件、2 月 23 件、3 月 19 件、4 月 12 件、5 月 10 件、6 月 6 件、7 月 11 件、8 月 10 件、9 月 10 件、10 月 12 件、11 月 11 件、12 月 20 件である。搬送場所別の内訳は次の通りだ。公衆浴場は 1 月 8 件、2 月 7 件、3 月 8 件、4 月 4 件、5 月 8 件、6 月 2 件、7 月 4 件、8 月 8 件、9 月 3 件、10 月 6 件、11 月 4 件、12 月 11 件の合計 73 件。宿泊所では 1 月 1 件、2 月 1 件、3 月 2 件、4 月 2 件、5 月 0 件、6 月 0 件、7 月 0 件、8 月 1 件、9 月 3 件、10 月 2 件、11 月 2 件、12 月 3 件の合計 17 件。浴室では 1 月 3 件、2 月 15 件、3 月 9 件、4 月 6 件、5 月 2 件、6 月 4 件、7 月 7 件、8 月 1 件、9 月 4 件、10 月 4 件、11 月 5 件、12 月 6 件の合計 66 件である。

【2023 年の入浴に関する搬送件数、搬送場所の分析】

表 8 2023 年の入浴に関する搬送件数

2023年 月	全搬送件数	入浴に関する搬送件数			
		公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計
1	614	8	4	12	24
2	462	6	5	2	13
3	545	8	1	8	17
4	497	3	2	5	10
5	607	7	1	4	12
6	512	3		5	8
7	702	4		3	7
8	709	13	4	3	20
9	558	2	2	2	6
10	659	1		5	6
11	583	6	3	3	12
12	699	9		12	21
総計	7147	70	22	64	156

2023 年の全搬送件数は 7147 件で、入浴に関する搬送件数は合計で 117 件である。

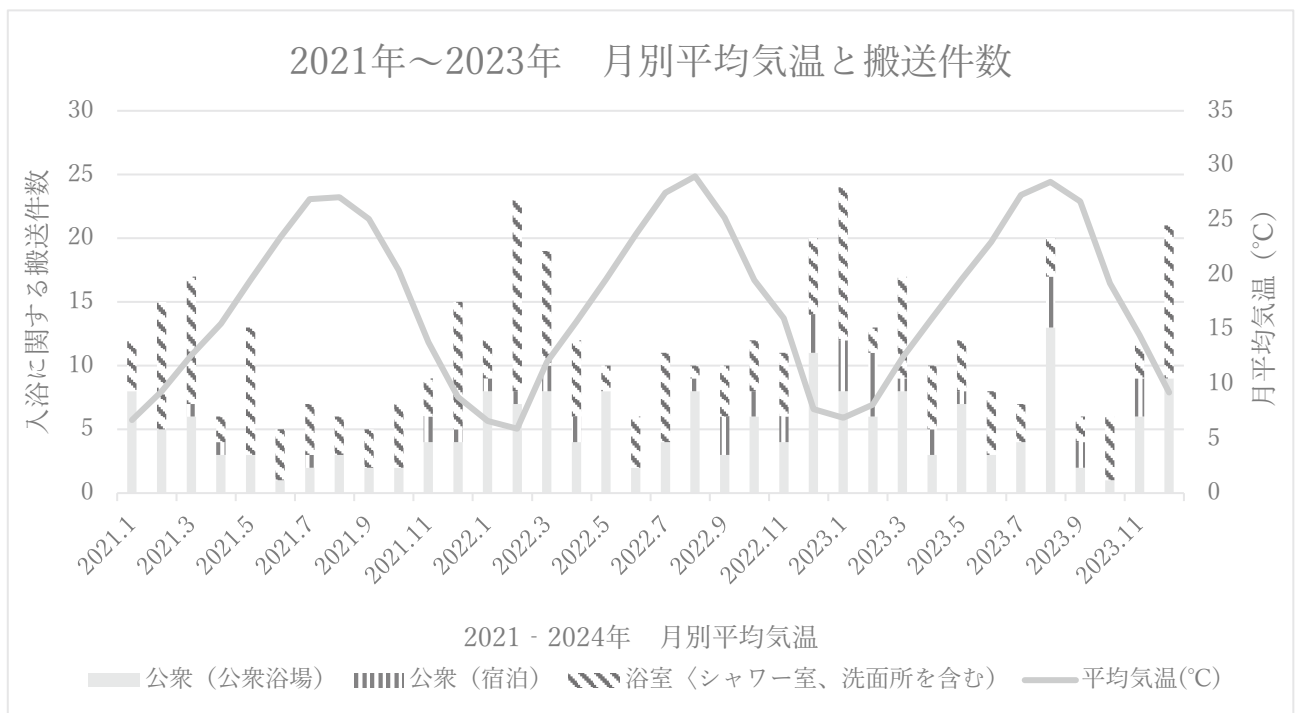
入浴に関する搬送件数の月別総計は 1 月 24 件、2 月 13 件、3 月 17 件、4 月 10 件、5 月 12 件、6 月 8 件、7 月 7 件、8 月 20 件、9 月 6 件、10 月 6 件、11 月 12 件、12 月 21 件である。搬送場所別の内訳は次の通りだ。公衆浴場は 1 月 8 件、2 月 6 件、3 月 8 件、4 月 3 件、5 月 7 件、6 月 3 件、7 月 4 件、8 月 13 件、9 月 2 件、10 月 1 件、11 月 6 件、12 月 9 件の合計 70 件。宿泊所では 1 月 4 件、2 月 5 件、3 月 1 件、4 月 2 件、5 月 1 件、6 月 0 件、7 月 0 件、8 月 4 件、9 月 2 件、10 月 0 件、11 月 3 件、12 月 0 件の合計 22 件。浴室では 1 月 12 件、2 月 2 件、3 月 8 件、4 月 5 件、5 月 4 件、6 月 5 件、7 月 3 件、8 月 3 件、9 月 2 件、10 月 5 件、11 月 3 件、12 月 12 件の合計 64 件である。

2. 気象条件と搬送件数の関係

(1) 6年間の平均気温と搬送件数(搬送場所別)



図2 6年間の平均気温と搬送件数



【2018 年の平均気温と搬送件数】

表 9 2018 年 月別の入浴に関する搬送件数

2018年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均気温(℃)
1	12	2	7	21	5.5
2	10	3	9	22	5.6
3	9	1	7	17	10.9
4	3		7	10	16.4
5	2		2	4	19.5
6	2	1	3	6	22.8
7	2		3	5	28.3
8	5		4	9	29.1
9	2	3	8	13	24.1
10	2	1	1	4	18.9
11	9	2	3	14	13.8
12	7	1	8	16	9.8

2018 年の平均気温が高い 8 月は 29.1℃で搬送件数は合計 9 件（公衆浴場 5 件、浴室 4 件）発生している。平均気温が低い 1 月は 5.5℃で合計 21 件（公衆浴場 12 件、宿泊所 2 件、浴室 7 件）。

搬送件数が多い 2 月の平均気温は 5.6℃で搬送件数は合計 22 件（公衆浴場 10 件、宿泊所 3 件、浴室 9 件）。搬送件数が少ないのは 5 月と 6 月で、5 月の平均気温は 19.5℃で公衆浴場 2 件、浴室 2 件。10 月は 18.9℃で公衆浴場 2 件、宿泊所 1 件、浴室 1 件であった。

【2019 年の平均気温と搬送件数】

表 10 2019 年 月別の入浴に関する搬送件数

2019年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均気温(℃)
1	12		9	21	7.7
2	4		3	7	8.7
3	10		4	14	11.5
4	9	1	1	11	14.8
5	3	1	2	6	20
6	3		7	10	22.9
7	4	2	2	8	25.7
8		1	3	4	27.2
9	5	3	4	12	25.5
10	1	1	5	7	20.8
11	10	4	1	15	14.3
12	8	1	2	11	9.9

2019 年の平均気温が高い 8 月は 27.2℃で搬送件数は合計 4 件（宿泊所 1 件、浴室 3 件）。平均気温が低い 1 月は 7.7℃で搬送件数は合計 21 件（公衆浴場 12 件、宿泊所 0 件、浴室 9 件）。

搬送件数が多い月は、この年の平均気温が低い 1 月である。搬送件数が少ない月もこの年の平均気温が高い 8 月である。

【2020 年の平均気温と搬送件数】

表 11 2020 年 月別の入浴に関する搬送件数

2020年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均気温(℃)
1	10		10	20	9.1
2	9	4	6	19	8.7
3	4		5	9	11.5
4	5		6	11	14
5	4		7	11	20.2
6	7			7	24
7	6	1	2	9	25.1
8	3		2	5	29.3
9	2	1	4	7	24.5
10	6	1	5	12	19.1
11	3		6	9	14.8
12	6	1	7	14	7.9

2020 年の平均気温が高い 8 月 29.3℃で搬送件数は合計 5 件（公衆浴場 3 件、浴室 2 件）。平均気温が低い 12 月 7.9℃で搬送件数は合計 14 件（公衆浴場 6 件、宿泊所 1 件、浴室 7 件）。

搬送件数が多い 1 月の平均気温は 9.1℃で搬送件数は合計 20 件（公衆浴場 10 件、浴室 10 件）。搬送件数が少ない月はこの年の平均気温が高い 8 月である。

【2021 年の平均気温と搬送件数】

表 12 2021 年 月別の入浴に関する搬送件数

2021年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均気温(℃)
1	8		4	12	6.7
2	5		10	15	9.3
3	6	1	10	17	12.6
4	3	1	2	6	15.5
5	3		10	13	19.5
6	1		4	5	23.4
7	2	1	4	7	26.9
8	3		3	6	27.1
9	2		3	5	25.1
10	2		5	7	20.4
11	4	2	3	9	13.8
12	4	1	10	15	8.8

2021 年の平均気温が高い 8 月は 27.1℃で搬送件数は合計 6 件（公衆浴場 3 件、浴室 3 件）発生している。平均気温が低い 1 月は 6.7℃で合計 12 件（公衆浴場 8 件、浴室 4 件）。

搬送件数が多い 3 月の平均気温は 12.6℃で搬送件数は合計 17 件（公衆浴場 6 件、宿泊所 1 件、浴室 10 件）。搬送件数が少ないのは 6 月と 9 月の合計 5 件である。6 月の平均気温は 19.5℃で公衆浴場 1 件、浴室 4 件。9 月は 25.1℃で公衆浴場 2 件、浴室 3 件であった。

【2022 年の平均気温と搬送件数】

表 13 2022 年 月別の入浴に関する搬送件数

2022年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均気温(℃)
1	8	1	3	12	6.6
2	7	1	15	23	5.9
3	8	2	9	19	12
4	4	2	6	12	15.7
5	8		2	10	19.6
6	2		4	6	23.7
7	4		7	11	27.5
8	8	1	1	10	29
9	3	3	4	10	25.2
10	6	2	4	12	19.5
11	4	2	5	11	16
12	11	3	6	20	7.7

2022 年の平均気温が高い 7 月は 27.5℃で搬送件数は合計 11 件（公衆浴場 4 件、浴室 7 件）発生している。平均気温が低い 2 月は 5.9℃で搬送件数は合計 23 件（公衆浴場 7 件、宿泊所 1 件、浴室 15 件）。

搬送件数が多い月はこの年の平均気温が低かった 2 月である。搬送件数が少ない 6 月で平均気温は 23.7℃で搬送件数は合計 6 件（公衆浴場 2 件、浴室 4 件）。

【2023 年の平均気温と搬送件数】

表 14 2023 年 月別の入浴に関する搬送件数

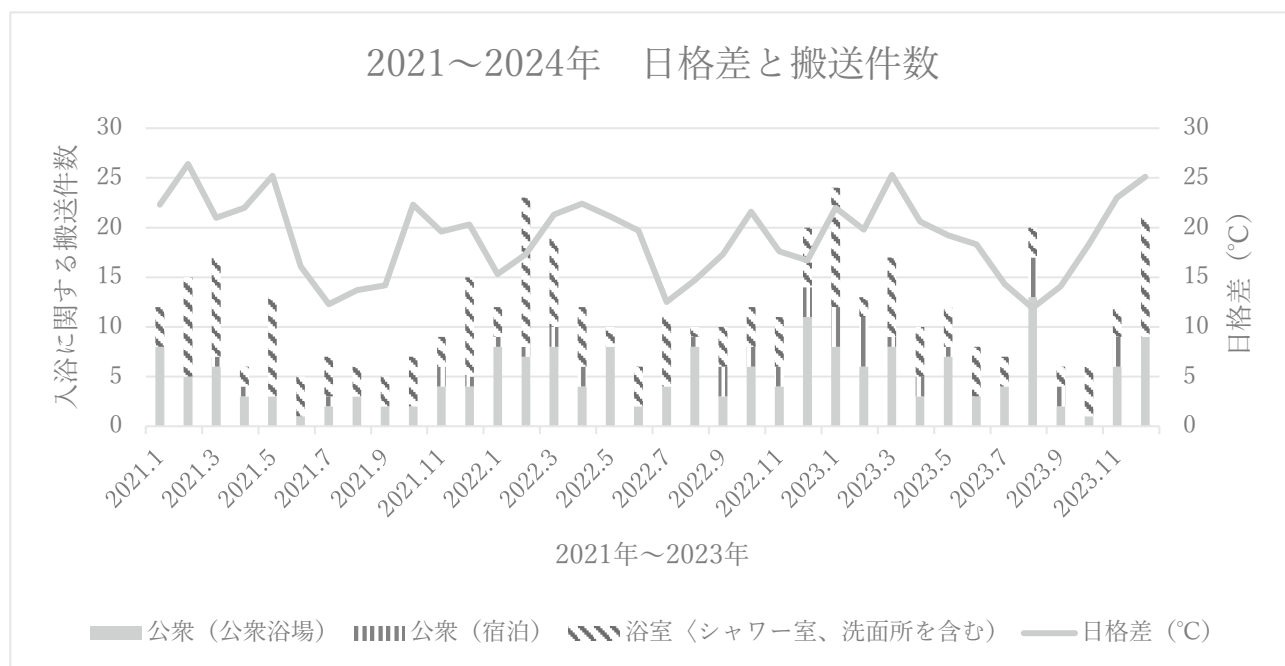
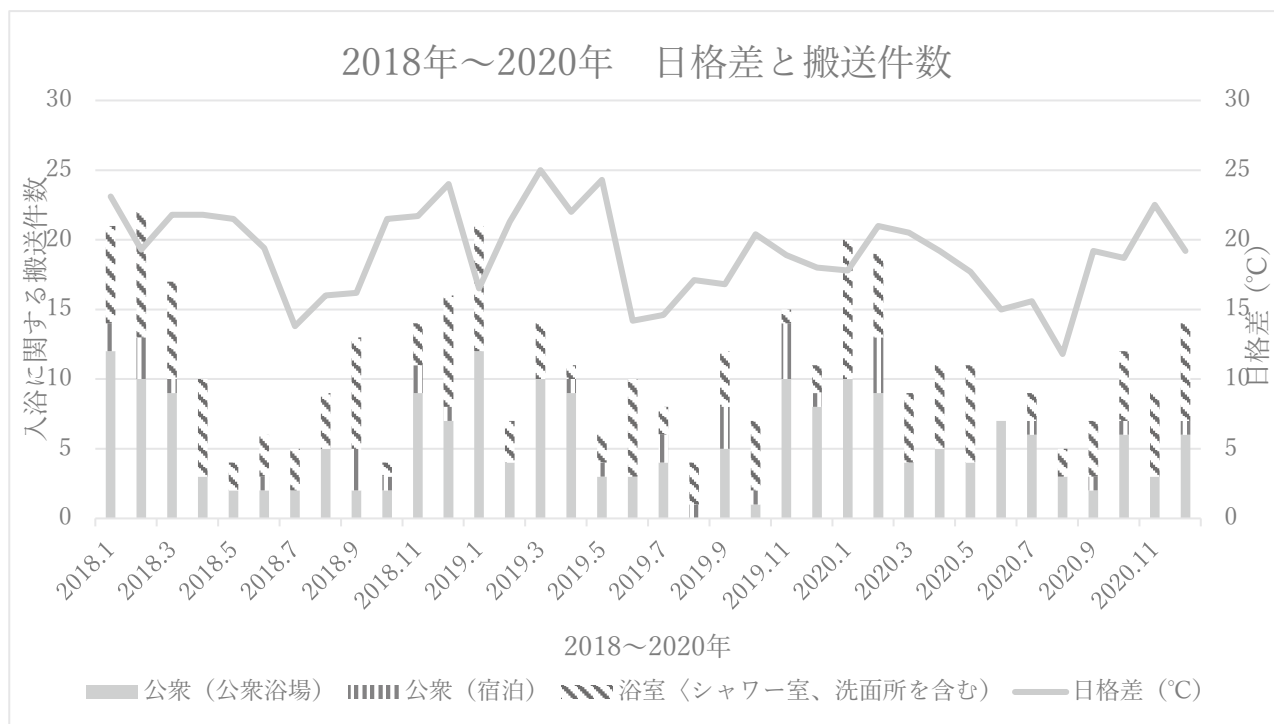
2023年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均気温(℃)
1	8	4	12	24	6.9
2	6	5	2	13	8.1
3	8	1	8	17	12.4
4	3	2	5	10	16
5	7	1	4	12	19.6
6	3		5	8	23
7	4		3	7	27.3
8	13	4	3	20	28.5
9	2	2	2	6	26.7
10	1		5	6	19.2
11	6	3	3	12	14.5
12	9		12	21	9.2

2023 年の平均気温が高い 8 月は 28.5℃で搬送件数は合計 20 件（公衆浴場 13 件、宿泊所 4 件、浴室 3 件）。平均気温が低い 1 月は 6.9℃で搬送件数は合計 24 件（公衆浴場 8 件、宿泊所 4 件、浴室 12 件）。

搬送件数が多い月はこの年の平均気温が低かった 1 月である。搬送件数が少ない 9 月と 10 月で合計 6 件である。9 月の平均気温は 26.7℃で搬送件数は合計 6 件（公衆浴場 2 件、宿泊所 2 件、浴室 2 件）。10 月は 19.2℃で搬送件数は合計 6 件（公衆浴場 1 件、浴室 5 件）であった。

(2) 6年間の日格差と搬送件数(搬送場所別)の比較。

図3 6年間の日格差と搬送件数



【2018 年の日格差と搬送件数】

表 15 2018 年 平均日格差と月別の入浴に関する搬送件数

2018年						
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	日格差（℃）	
1	12	2	7	21	23.1	
2	10	3	9	22	19.3	
3	9	1	7	17	21.8	
4	3		7	10	21.8	
5	2		2	4	21.5	
6	2	1	3	6	19.4	
7	2		3	5	13.8	
8	5		4	9	16	
9	2	3	8	13	16.2	
10	2	1	1	4	21.5	
11	9	2	3	14	21.7	
12	7	1	8	16	24	

2018 年の日格差が大きい月は 1 月 23.1℃で合計 21 件（公衆浴場 12 件、宿泊所 2 件、浴室 7 件）。日格差が小さい月は 8 月 16℃で合計 9 件（公衆浴場 5 件、浴室 4 件）。

搬送件数が多い月の日格差は 2 月 19.3℃で合計 22 件（公衆浴場 10 件、宿泊所 3 件、浴室 9 件）。搬送件数が少ない月の日格差は 5 月と 10 月の合計 4 件。5 月は 21.5℃で公衆浴場 2 件、浴室 2 件。10 月も 21.5℃で公衆浴場 2 件、宿泊所 1 件、浴室 1 件。

【2019 年の日格差と搬送件数】

表 16 2019 年 平均日格差と月別の入浴に関する搬送件数

2019年						
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	日格差（℃）	
1	12		9	21	16.5	
2	4		3	7	21.3	
3	10		4	14	25	
4	9	1	1	11	22	
5	3	1	2	6	24.3	
6	3		7	10	14.2	
7	4	2	2	8	14.6	
8		1	3	4	17.1	
9	5	3	4	12	16.8	
10	1	1	5	7	20.4	
11	10	4	1	15	18.9	
12	8	1	2	11	18	

2019 年の日格差が大きい月は 5 月 24.3℃で合計 6 件（公衆浴場 3 件、宿泊所 1 件、浴室 2 件）。日格差が小さい月は 6 月 14.2℃で合計 10 件（公衆浴場 3 件、浴室 7 件）。

搬送件数が多い月の日格差は 1 月 16.5℃で合計 21 件（公衆浴場 12 件、浴室 9 件）。搬送件数が少ない月の日格差は 8 月 17.1℃で合計 4 件（浴室 1 件、浴室 3 件）。

【2020 年の日格差と搬送件数】

表 17 2020 年 平均日格差と月別の入浴に関する搬送件数

2020年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	日格差（℃）
1	10		10	20	17.8
2	9	4	6	19	21
3	4		5	9	20.5
4	5		6	11	19.2
5	4		7	11	17.7
6	7		7	15	
7	6	1	2	9	15.6
8	3		2	5	11.8
9	2	1	4	7	19.2
10	6	1	5	12	18.7
11	3		6	9	22.5
12	6	1	7	14	19.2

2020 年の日格差が大きい月は 11 月 22.5℃で合計 9 件（公衆浴場 3 件、浴室 6 件）。日格差が小さい月は 6 月 15℃で 6 月は合計 7 件（公衆浴場 7 件）。

搬送件数が多い月の日格差は 1 月 17.8℃で合計 20 件（公衆浴場 10 件、浴室 10 件）。搬送件数が少ない月の日格差は 8 月 11.8℃で合計 5 件（公衆浴場 3 件、浴室 2 件）。

【2021 年の日格差と搬送件数】

表 18 2021 年 平均日格差と月別の入浴に関する搬送件数

2021年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	日格差（℃）
1	8		4	12	22.3
2	5		10	15	26.4
3	6	1	10	17	21
4	3	1	2	6	22
5	3		10	13	25.2
6	1		4	5	16.1
7	2	1	4	7	12.3
8	3		3	6	13.7
9	2		3	5	14.2
10	2		5	7	22.3
11	4	2	3	9	19.6
12	4	1	10	15	20.3

2021 年の日格差が大きい月は 2 月 26.4℃で合計 15 件（公衆浴場 5 件、浴室 10 件）。日格差が小さい月は 7 月 12.3℃で合計 7 件（公衆浴 2 件、宿泊 1 件、浴室 4 件）。

搬送件数が多い月の日格差は 3 月 21℃で 17 件（公衆浴場 6 件、宿泊 1 件、浴室 10 件）。搬送件数が少ない月の日格差は 6 月と 9 月の 5 件で、6 月は 16.1℃で公衆浴場 1 件、浴室 4 件。9 月は 14.2℃で公衆浴場 2 件、浴室 3 件。

【2022 年の日格差と搬送件数】

表 19 2022 年 平均日格差と月別の入浴に関する搬送件数

2022年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	日格差（℃）
1	8	1	3	12	15.3
2	7	1	15	23	17.3
3	8	2	9	19	21.3
4	4	2	6	12	22.4
5	8		2	10	21.1
6	2		4	6	19.7
7	4		7	11	12.5
8	8	1	1	10	14.7
9	3	3	4	10	17.3
10	6	2	4	12	21.6
11	4	2	5	11	17.6
12	11	3	6	20	16.7

2022 年の日格差が大きい 4 月は 22.4℃で合計 12 件（公衆浴場 4 件、宿泊 2 件、浴室 6 件）。日格差が小さい月は 7 月で 12.5℃。7 月は合計 11 件（公衆浴場 4 件、浴室 7 件）。

搬送件数が多い月の日格差は 2 月 17.3℃で 23 件（公衆浴場 7 件、宿泊 1 件、浴室 15 件）。搬送件数が少ない月の日格差は 6 月 19.7℃で合計 6 件（公衆浴場 2 件、浴室 4 件）。

【2023 年の日格差と搬送件数】

表 20 2023 年 平均日格差と月別の入浴に関する搬送件数

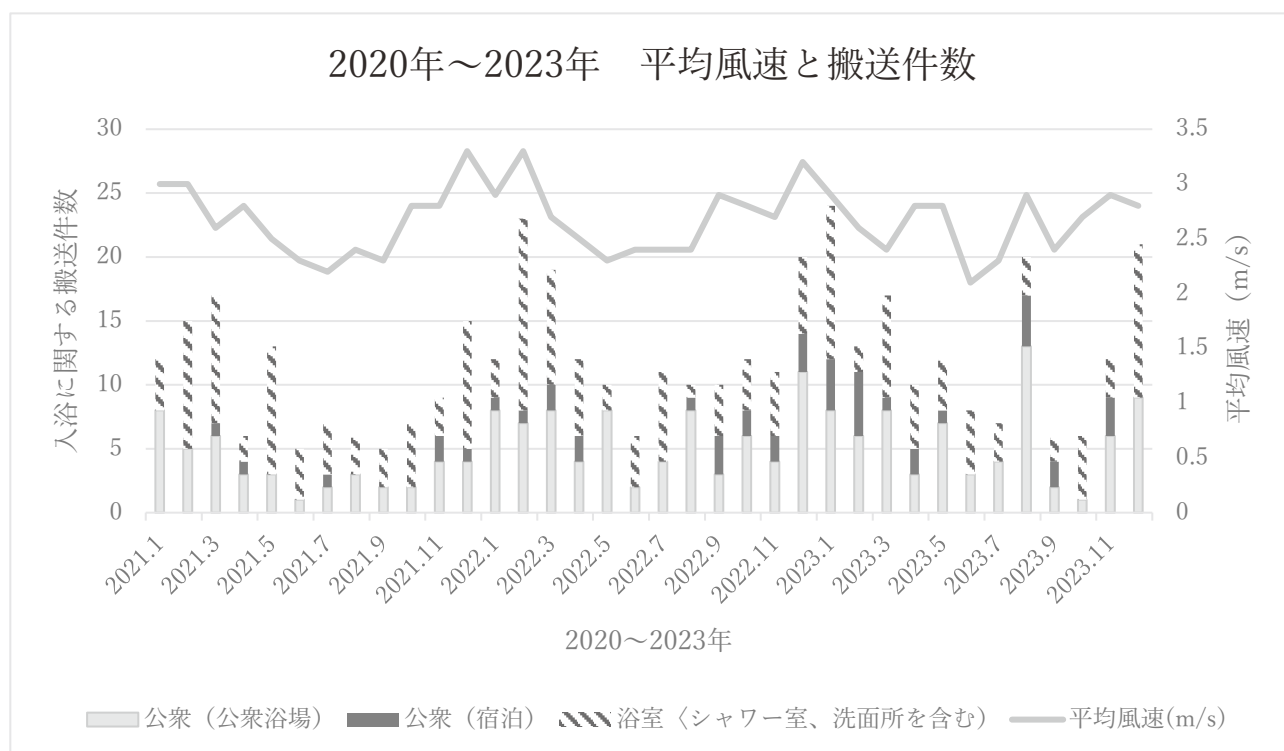
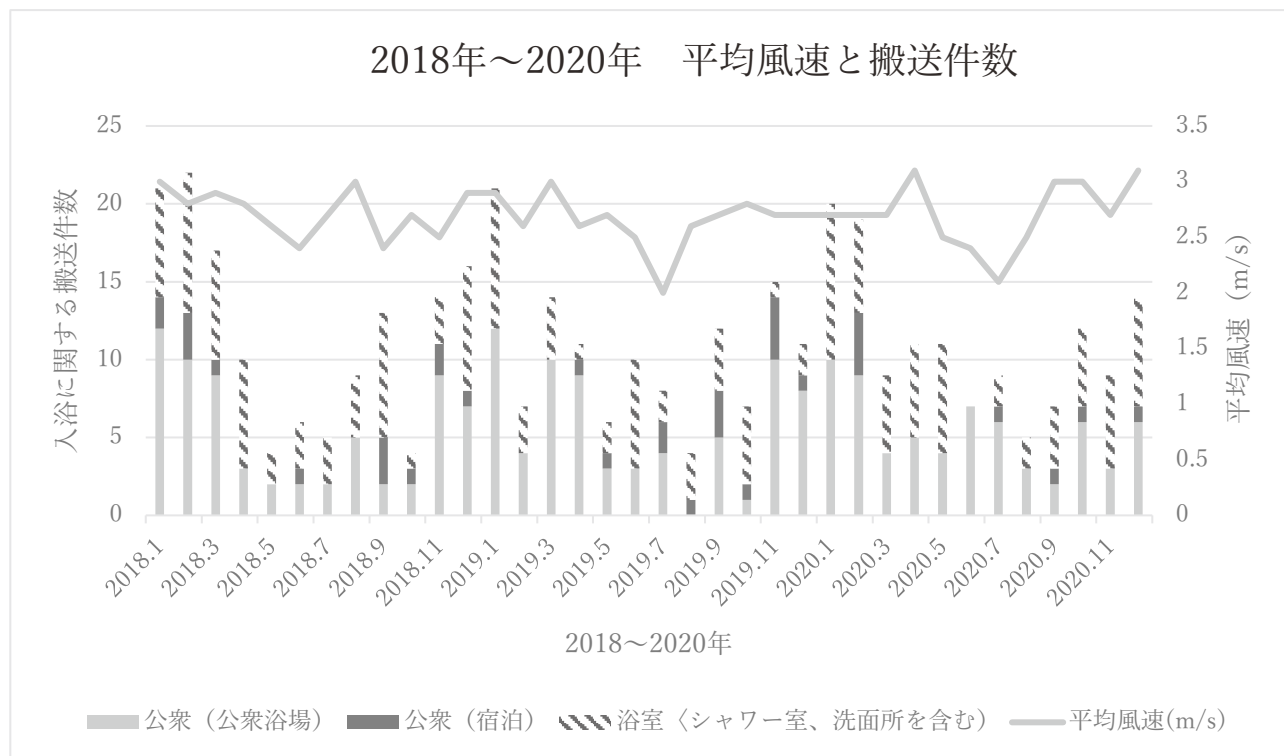
2023年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	日格差（℃）
1	8	4	12	24	22
2	6	5	2	13	19.8
3	8	1	8	17	25.3
4	3	2	5	10	20.6
5	7	1	4	12	19.2
6	3		5	8	18.3
7	4		3	7	14.3
8	13	4	3	20	11.9
9	2	2	2	6	14.1
10	1		5	6	18.3
11	6	3	3	12	23
12	9		12	21	25.1

2023 年の日格差が大きい 3 月は日格差 25.3℃で合計 17 件（公衆浴場 8 件、宿泊所 1 件、浴室 8 件）。日格差が小さい 9 月は日格差 14.1℃で合計 6 件（公衆浴場 2 件、宿泊所 2 件、浴室 2 件）。

搬送件数が多い 1 月の日格差は 22℃で合計 24 件（公衆浴場 8 件、宿泊所 4 件、浴室 12 件）。搬送件数が少なかった 9 月と 10 である。9 月に関しては上記のとおりである。10 月は 18.3℃で合計 6 件（公衆浴場 1 件、浴室 5 件）。

(3) 6年間の平均風速と搬送件数(搬送場所別)。

図4 6年間の平均風速と搬送件数(付録3)



【2018 年の平均風速と搬送件数】

表 21 2018 年 風速と月別の入浴に関する搬送件数

2018年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均風速(m/s)
1	12	2	7	21	3
2	10	3	9	22	2.8
3	9	1	7	17	2.9
4	3		7	10	2.8
5	2		2	4	2.6
6	2	1	3	6	2.4
7	2		3	5	2.7
8	5		4	9	3
9	2	3	8	13	2.4
10	2	1	1	4	2.7
11	9	2	3	14	2.5
12	7	1	8	16	2.9

2018 年の平均風速が大きい月は 1 月と 8 月で 3 m/s。1 月は公衆浴場 12 件、宿泊所 2 件、浴室 7 件で合計 21 件。8 月は公衆浴場 5 件、浴室 4 件の合計 9 件。平均風速が小さい月は 6 月と 9 月で 2.4 m/s。6 月は公衆浴場 2 件、宿泊所 1 件、浴室 3 件。9 月は公衆浴場 2 件、宿泊所 3 件、浴室 8 件。

搬送件数が多い月の平均風速は 2 月 22 件で 2.8 m/s。公衆浴場 10 件、宿泊所 3 件、浴室 9 件。搬送件数が少ない月の平均風速は 5 月と 10 月の 5 件。5 月は公衆浴場 2 件、浴室 2 件。10 月は公衆浴場 2 件、宿泊所 1 件、浴室 1 件。

【2019 年の平均風速と搬送件数】

表 22 2019 年 平均風速と月別の入浴に関する搬送件数

2019年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均風速(m/s)
1	12		9	21	2.9
2	4		3	7	2.6
3	10		4	14	3
4	9	1	1	11	2.6
5	3	1	2	6	2.7
6	3		7	10	2.5
7	4	2	2	8	2
8		1	3	4	2.6
9	5	3	4	12	2.7
10	1	1	5	7	2.8
11	10	4	1	15	2.7
12	8	1	2	11	2.7

2018 年の平均風速が大きい 1 月の平均風速は 2.9 m/s で搬送件数は合計 21 件（公衆浴場 12 件、浴室 9 件）。平均風速が小さい 7 月の平均風速は 2 m/s で合計 8 件（公衆浴場 4 件、宿泊所 2 件、浴場 2 件）。

搬送件数が多い月は平均風速の大きい 1 月の搬送件数は合計 21 件。搬送件数が少ない月の平均風速は 8 月の搬送件数は合計 4 件（浴室 1 件、浴室 3 件。）

【2020 年の平均風速と搬送件数】

表 23 2020 年 平均風速と月別の入浴に関する搬送件数

2020年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均風速(m/s)
1	10		10	20	2.7
2	9	4	6	19	2.7
3	4		5	9	2.7
4	5		6	11	3.1
5	4		7	11	2.5
6	7			7	2.4
7	6	1	2	9	2.1
8	3		2	5	2.5
9	2	1	4	7	3
10	6	1	5	12	3
11	3		6	9	2.7
12	6	1	7	14	3.1

2020 年の平均風速が大きい 4 月、12 月の平均風速は 3.1 m/s。搬送件数は 4 月が合計 11 件（公衆浴場 5 件、浴室 7 件）、12 月は合計 14 件（公衆浴場 6 件、宿泊所 1 件、浴室 7 件）であった。平均風速が小さい 7 月の平均風速は 2.1 m/s で合計 9 件（公衆浴場 6 件、宿泊所 1 件、浴場 2 件）。

搬送件数が多い 1 月の平均風速は 2.7 m/s で搬送件数は合計 20 件（公衆浴場 10 件、浴室 10 件）。搬送件数が少ない 8 月の平均風速は 2.5 m/s で搬送件数は合計 5 件（浴室 1 件、浴室 3 件）である。

【2021 年の平均風速と搬送件数】

表 24 2021 年 平均風速と月別の入浴に関する搬送件数

2021年					
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均風速(m/s)
1	8		4	12	3
2	5		10	15	3
3	6	1	10	17	2.6
4	3	1	2	6	2.8
5	3		10	13	2.5
6	1		4	5	2.3
7	2	1	4	7	2.2
8	3		3	6	2.4
9	2		3	5	2.3
10	2		5	7	2.8
11	4	2	3	9	2.8
12	4	1	10	15	3.3

2021 年の平均風速が大きい 12 月の平均風速は 3.3 m/s で搬送件数は合計 15 件（公衆浴場 4 件、宿泊所 1 件、浴室 10 件）であった。平均風速が小さい 7 月で平均風速は 2.2 m/s で合計 7 件（公衆浴場 2 件、宿泊所 1 件、浴場 4 件）であった。

搬送件数が多い 3 月の平均風速は 2.6 m/s で搬送件数は合計 17 件（公衆浴場 6 件、宿泊所 1 件、浴室 10 件）。搬送件数が少ない 6 月 9 月で 6 月の平均風速は 2.3 m/s で搬送件数は合計 5 件（公衆浴場 1 件、浴場 4 件）。9 月の平均風速は 2.3 m/s で搬送件数は合計 5 件（浴室 2 件、浴室 3 件）である。

【2022 年の平均風速と搬送件数】

表 25 2022 年 平均風速と月別の入浴に関する搬送件数

2022年						
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均風速(m/s)	
1	8	1	3	12	2.9	
2	7	1	15	23	3.3	
3	8	2	9	19	2.7	
4	4	2	6	12	2.5	
5	8		2	10	2.3	
6	2		4	6	2.4	
7	4		7	11	2.4	
8	8	1	1	10	2.4	
9	3	3	4	10	2.9	
10	6	2	4	12	2.8	
11	4	2	5	11	2.7	
12	11	3	6	20	3.2	

2022 年の平均風速が大きい 2 月の平均風速は 3.3 m/s で搬送件数は合計 23 件（公衆浴場 7 件、宿泊所 1 件、浴室 15 件）であった。平均風速が小さい 5 月の平均風速は 2.3 m/s で合計 10 件（公衆浴場 8 件、浴場 2 件）だ。

搬送件数が多いのはこの年の平均風速の大きい 2 月。搬送件数が少ない 6 月の平均風速は 2.4 m/s で搬送件数は合計 6 件（浴室 2 件、浴室 4 件）である。

【2023 年の平均風速と搬送件数】

表 26 2023 年 平均風速と月別の入浴に関する搬送件数

2023年						
月	公衆（公衆浴場）	公衆（宿泊）	浴室（シャワー室、洗面所を含む）	総計	平均風速(m/s)	
1	8	4	12	24	2.9	
2	6	5	2	13	2.6	
3	8	1	8	17	2.4	
4	3	2	5	10	2.8	
5	7	1	4	12	2.8	
6	3		5	8	2.1	
7	4		3	7	2.3	
8	13	4	3	20	2.9	
9	2	2	2	6	2.4	
10	1		5	6	2.7	
11	6	3	3	12	2.9	
12	9		12	21	2.8	

2023 年の平均風速が大きい月は 1 月、8 月、11 月で平均風速は 2.9 m/s。搬送件数は 1 月が合計 24 件（公衆浴場 8 件、宿泊所 4 件、浴室 12 件）。8 月は合計 20 件（公衆浴場 13 件、宿泊所 4 件、浴室 3 件）。11 月は合計 12 件（公衆浴場 6 件、宿泊所 3 件、浴室 3 件）であった。平均風速が小さい 6 月の平均風速は 2.1 m/s で合計 8 件（公衆浴場 3 件、浴場 5 件）。

搬送件数が多い 1 月はこの年で平均風速の大きい月の一つである。搬送件数が 6 件で少ない 9 月 10 月で 9 月の平均風速は 2.4 m/s で搬送件数は合計 6 件（公衆浴場 2 件、浴室 2 件、浴室 2 件）。10 月は平均風速が 2.7 m/s であった。

3. アンケート調査

別府市内の共同浴場や宿泊施設などから 202 名の回答を集めた。

アンケート協力いただいた方の年代は上から順に 90 代以上が 1 人（0.5%）、80 代が 10 人（5%）、70 代は 29 人（14.4%）、60 代は 25 人（12.4 パーセント）、50 代は 39 人（19.3%）、40 代は 24 人

(11.9%)、30代が18人(8.9%)、20代が48人(23.8%)、10代の入浴者数は7人(3.5%)。性別は男性が95人(47%)、女性が107人(53%)である。

1 「温泉は健康・体に良いと思うか」

200人(99%)が“体に良いと思う”と回答した。“体に良いと思わない”と回答したのは2人(1%)だ。

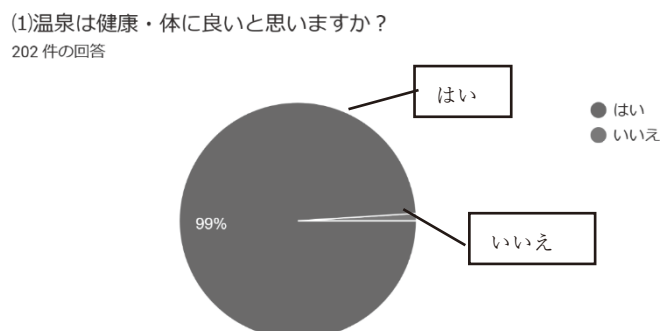


図5 温泉は健康・体に良いか

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？」

131人(64.9%)が“はい”と回答、71人(35.1%)は“いいえ”と回答した。

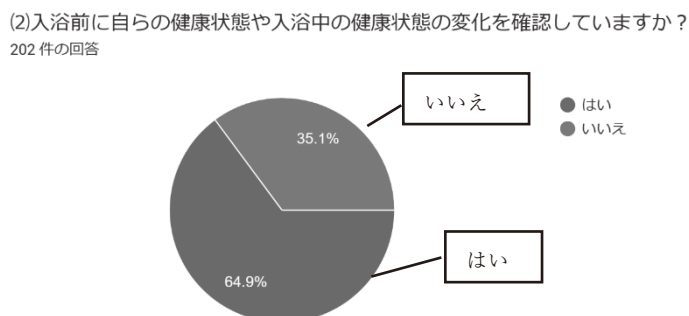


図6 入浴時の健康状態変化の確認

男女別では「入浴時の健康状態変化の確認」の意識調査では女性は“健康状態変化の確認をしている人”が78人、“健康状態変化の確認をしていない人”が29人と差が開いているが、男性ではその差が小さく、“健康状態変化の確認をしている人”は53人、“健康状態変化の確認をしていない人”は42人と差の開きが小さい。

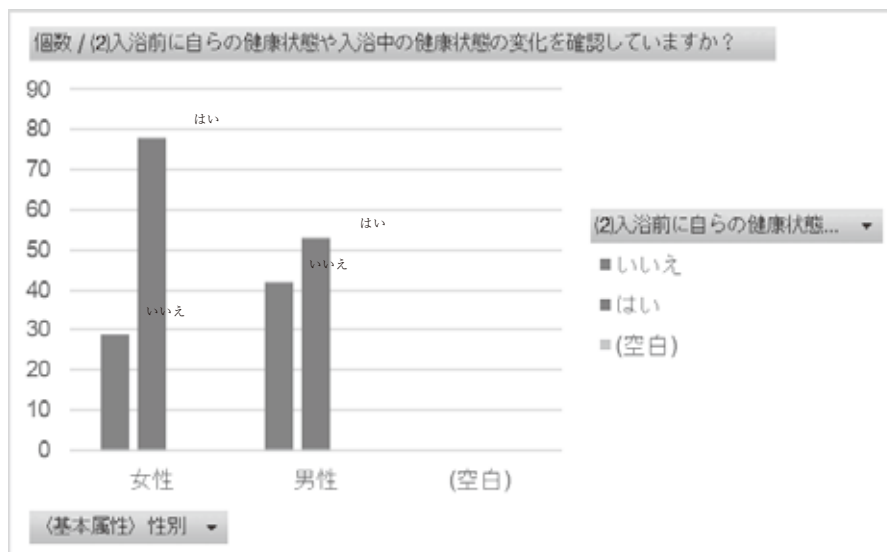


図7 男女別、入浴時の健康状態変化の確認

3 「入浴中にヒートショック（血圧の急変動）を感じた事の有無」

26 人（12.9％）が“はい”と回答し、176 人（87.1％）は“いいえ”と回答した。

(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？
202 件の回答

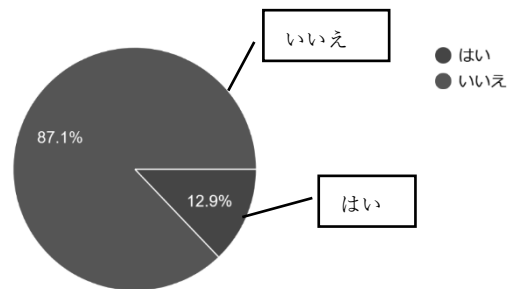


図 8 入浴中のヒートショック

4 「飲酒をして入浴したことはありますか？」

飲酒しての入浴の経験では 81 人（40.1％）の人が“はい”と回答し、121 人（59.9％）の人が“いいえ”と回答した。

(4)飲酒をして入浴したことはありますか？
202 件の回答

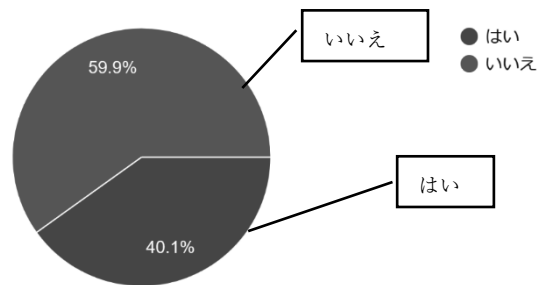


図 9 飲酒をしての入浴経験

5 「入浴時に転倒や溺れそうになったことはありますか？」

29 人（14.4％）は“はい”と回答し、173 人（85.6％）は“いいえ”と回答した。

(5)入浴時に転倒や溺れそうになったことはありますか？
202 件の回答

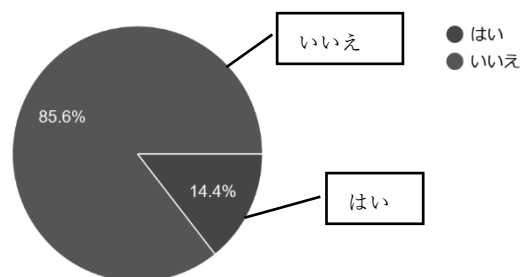


図 10 入浴時の転倒

6 「入浴における火傷や脱水症状の経験はありますか？」

28 人（13.8％）は“はい”と回答し、174 人（86.1％）は“いいえ”と回答した。

(6)入浴における火傷や脱水症状の経験はありますか？
202 件の回答

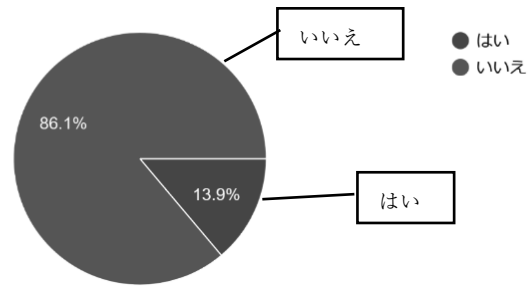


図 11 入浴中の火傷・脱水症状

- 7 「入浴の際には周囲の人に周知するなどして、入浴することを予め知らせていますか？」
入浴の周知に関して 98 人（48.5%）は“はい”と回答し、104 人（51.5%）は“いいえ”と回答した。

(7)入浴の際には周囲の人に周知するなどして、入浴することを予め知らせていますか？
202 件の回答

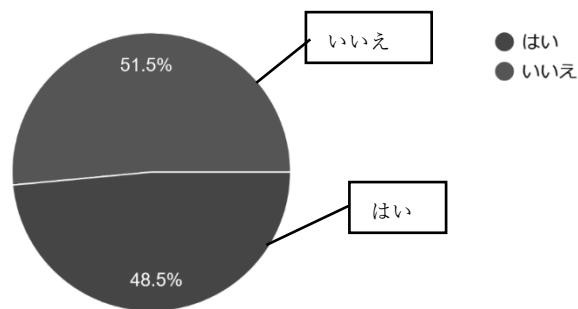


図 12 入浴の周知

- 8 「入浴前に十分な水分補給を行うなど脱水症状対策を行っていますか？」
59 人（29.2%）は“はい”と回答し、143 人（70.8%）は“いいえ”と回答した。

(8)入浴前に十分な水分補給を行うなど脱水症状対策を行っていますか？
202 件の回答

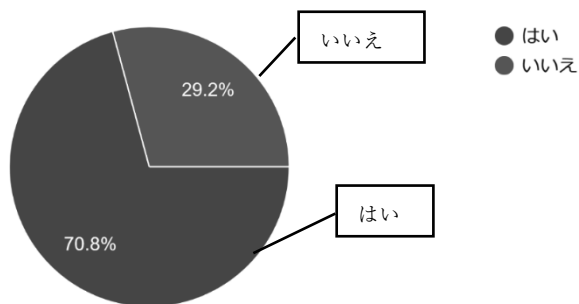


図 13 入浴前の水分補給

- 9 「1 回の入浴時間は大体、何分くらいですか？」
“10 分未満”と回答したのは 26 人（12.9%）。“10～20 分”と回答した人は 84 人（41.6%）。“20～30 分”と回答した人は 59 人（29.2%）。“30 分以上”と回答したのは 33 人（16.3%）であった。

(9)1回の入浴時間は大体、何分くらいですか？ ※シャワー時間も含む
202 件の回答

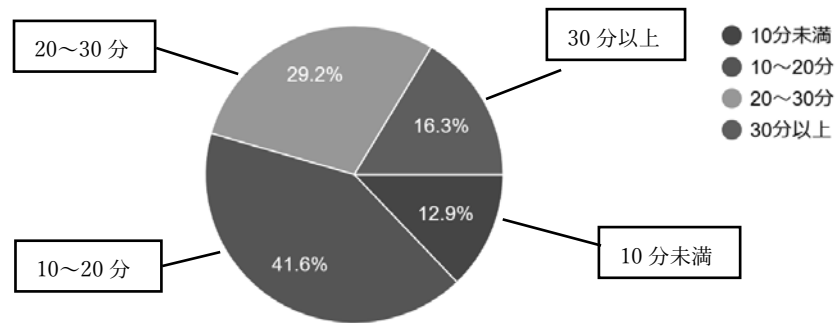


図 14 入浴時間

10 自由記述

自由記述では様々な意見、体験の話について回答いただいた。その中の一部抜粋して紹介したい。

自らの体調や健康状態の変化について意識している人の回答では「温泉の知識が多く持っていても、体調により湯あたりするときもあるので、自分の調子に敏感になっておくことは大切だと感じている。」、「足から順にお湯をかけていく。前に若者が一気にお湯をかけて倒れた人がいた。」、「血圧が高い時は浴槽に入らない、入る時間を短くする。」等、意識して入浴することを心掛けている回答が見られたほか、アンケートを通して、「ヒートショックを感じたことは無いが血圧測定してから入浴したい。」と自身の入浴方法を見直したいという意見も出た。入浴時の転倒や溺れそうになった経験では「石鹸の流し不足で転倒しそうになった。」「露天風呂で家族が転んで頭を打った。」などの滑った経験があるとの回答が昨年に続き出ている。温泉掃除をしている人の回答もあり「ヌメリやすい風呂のふち。石鹸、温泉の垢が溜まりやすい所はデッキブラシで重点的に掃除している。」と言うような回答がある。「身長が低い時に（子供の頃）転倒や溺れそうになったが今はない。」と子供の入浴時のリスクも回答された。入浴事故の予防・対策案としての意見も出た。さらに温泉利用者が温泉の温度を指摘する声も聞かれた。「別府温泉の熱さはあまり体にいいと思わないので市の方から適温入浴の重要性を市民に伝えて欲しいです。」、「入浴時に留意すべきことはもっと知られていくことで入浴事故は防げるので啓発が必要。」と入浴事故を減らすための啓発の重要性を指摘。利用者への声かけに関しても「都心のサウナ等は他の利用者と関わらないので横の方が突然倒れてしまったりすることもよくありますが、別府では従業員さんや他の利用者も声をかけてみてくださって安心です。」という回答が得られた。飲酒の経験がある方が自身の飲酒後の入浴での様子を回答いただいた。「飲酒後に浴室で寝たことがあります。」「若い頃（20 代）飲酒して入浴したことで鼻血が出たことがある。それ以降気をつけている。」、「昔、飲酒後に入浴していた。いまはやってない。」と自身の入浴を見直した方や「近くの旅館に泊まりで入浴される旅行の方、お酒を飲まれているなど気になることがあります。危ないと思います。」と温泉利用者の飲酒後の入浴を問題視している方もいた。

「入浴中に寝てしまう。（もともと眠いのもありましたが）、眠くならないように音楽をかけるなど対策をしたいと思います。」との回答も確認できた。

【結論と考察】

2018 年～2023 年までの 6 年間の別府市消防本部に寄せられた合計救急搬送件数は 38,217 件、入浴に関する搬送件数は 839 件であった。調査を行った期間の同消防本部の合計救急搬送件数の 2.17%は入浴が起因する搬送であることが分かる。入浴に関する搬送件数の内訳では公衆浴場 385 件、宿泊所 81 件、浴室 363 件であった。このことより、6 年間の入浴に関する合計搬送件数では公衆浴場からの搬送が自宅の浴室より多いことが分かった。

6年間の入浴に関する搬送者数の年代別内訳では多い順より70代246件、80代240件、60代92件、90代以上61件、50代52件、40代37件、10歳未満36件、20代34件、10代16件、30代15件。20代～70代までは自宅の浴室より公衆浴場からの搬送が多く、80代、90代以上では自宅の浴室からの搬送が多い。6年間では10代と30代の搬送が比較的少ない。過去6年間でその年の搬送件数が多いのは1月2月3月であり、搬送件数が少ないのは6月8月9月10月である。

気象条件と搬送件数の関係に関しては平均気温、平均日格差、平均風速をもとに調べ搬送場所別の件数の比較を行った。どの年でも平均気温が低いもしくは、寒暖差である日格差が大きいとされている1月2月12月の冬場で搬送件数が増加しているが、2023年8月ではこの年で3番目に多く20件の搬送があった。冬場での入浴事故の増加は先行研究の結果でも明らかになっている。²⁾



画像(1) 鉄輪すじ湯男湯（2025年2月25日）

平均風速の大きい月に入浴に関する搬送件数が増える点では、昨年度の結果に引き続き2022年、2023年でも確認された。別府では秋～冬に“鶴見風（つるみおろし）”と呼ばれる強風が吹く³⁾ことがある。温泉施設では換気目的や湿度を少しでも下げる為に窓を開放している場所が多く、そのような窓が原因で室温が下がり、風速の大きい日には風が入り込んで蒸気が排出されることで湿度が低下し、脱衣所が寒冷環境になる。そのような環境で温泉に浸かることで搬送のリスクが高くなっていることが示唆される。なお、早坂信哉氏の著書内ではヒートショックの予防法として「脱衣所を温めて、浴室は蒸気を立てておくことで浴室と脱衣所の温度差を小さくする方法」⁴⁾が紹介されている。画像(1)は“鉄輪すじ湯”の写真であるが、窓を開けていても風が入ってこないと靄が発生していることがわかる。

今後の研究では2024年以降のデータを追加するほか、平均風速と搬送件数の因果関係をより詳しく調べていきたい。また、入浴事故の傷病程度、覚知時間など、今回の研究では追及できなかった様々なデータを用いて、入浴事故の対策や注意喚起、施設への提言を実施したいと考える。

【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、各関係機関の皆様へ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：2025 年 3 月 8 日

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) 札幌市定山溪温泉施設における入浴関連の救急出動の傾向

橋本好弘、大塚吉則 日温気物医誌第 72 巻 1 号 2008 年 11 月

3) 今日新聞 ミス別府の堀口未来さんが一日消防長

<https://kon-nichi.com/2023/11/15/itinitisyouboutyou-7/>

4) お風呂研究 20 年、3 万人を調査した医者が考案 最高の入浴法

第 1 章“最新の研究で分かった！入浴のすごい健康効果”P52 ヒートショックの予防法

著：博士（医学）/温泉医療法専門医 東京都市大学教授 早坂信哉 ISBN978-4-479-78449-4

5) 温泉調査研究会報告書 PDF ファイル

<https://www.pref.oita.jp/site/onsen/onsen-kenkyu.html>

第 75 号 3 P89 別府市内で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、阿部しず代、城百花、加藤礼識

温泉の蒸気を活用した調理 他の調理法と比較した場合の 味覚、色、効率等の違い

立命館アジア太平洋大学アジア太平洋学部

マヒチ・ファエゼ

1. 研究対象地域（市町村名）：別府市

Study area (municipality): Beppu City

2. 研究期間： 令和6年（2024年）10月01日から令和7年（2025年）2月28日

Period of Research: October 01, to February 28, 2025

3. 研究目的：環境と開発の研究が専門である筆者は、2010年に着任して以来、自然環境と人間が相互に与えるインパクトに着目し、学生や地域住民と川や海の清掃活動、ホテル棲息地の保護・改善、有機野菜の栽培等を長年続けている。現在はおいしいと感じることができる食品が簡単に手に入り、手間をかけずに食事を準備することができる。

しかしその反面、健康被害や、環境や食に対する意識はまだ十分とは言えない。

私たちが口にする食物を、できる範囲で自然を活用して入手すると 身体的・精神的にどのような効果を得ることができるかを市民に参加していただいて実証したい。

Research Objectives:

The applicant, who specializes in environment and development research, has been focusing on the impact of the natural environment and humans on each other since her arrival at the university in 2010. She has been working with students and local residents for many years to clean up rivers and oceans, protect and improve firefly habitats, and cultivate organic vegetables. Nowadays, it is easy to obtain food that tastes good, and it is possible to prepare meals without much effort. However, there is a risk of health hazards, and we are still not fully aware of the health hazards, the environment, and food consciousness. What are the physical and mental benefits of using nature to obtain the food we eat to the extent we can? We would like to demonstrate with the participation of citizens what kind of benefits can be obtained when we use nature to obtain the food, we eat to the extent we can.

4. 研究内容：ブロッコリー、タマネギ、サツマイモ、ニンジン、卵、手羽元を温泉蒸気とガスで調理し、それぞれ食品 A、食品 B と設定した。

Content of Research:

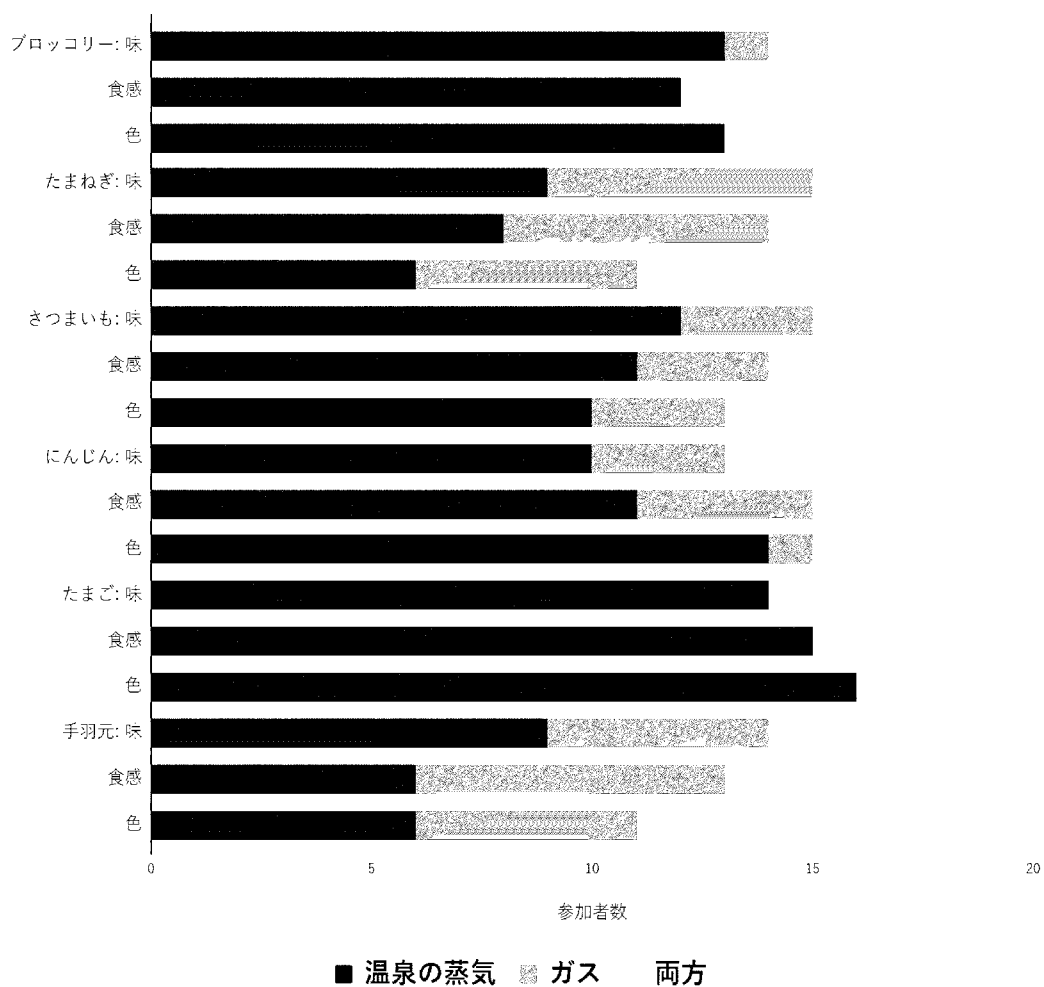
We conducted a cooking event of broccoli, onion, sweet potato, carrot, egg and chicken wing. with onsen steam and gas, and we named them Food A and Food B. The participants were asked to select the best taste, texture and color of these two differently cooked foods.

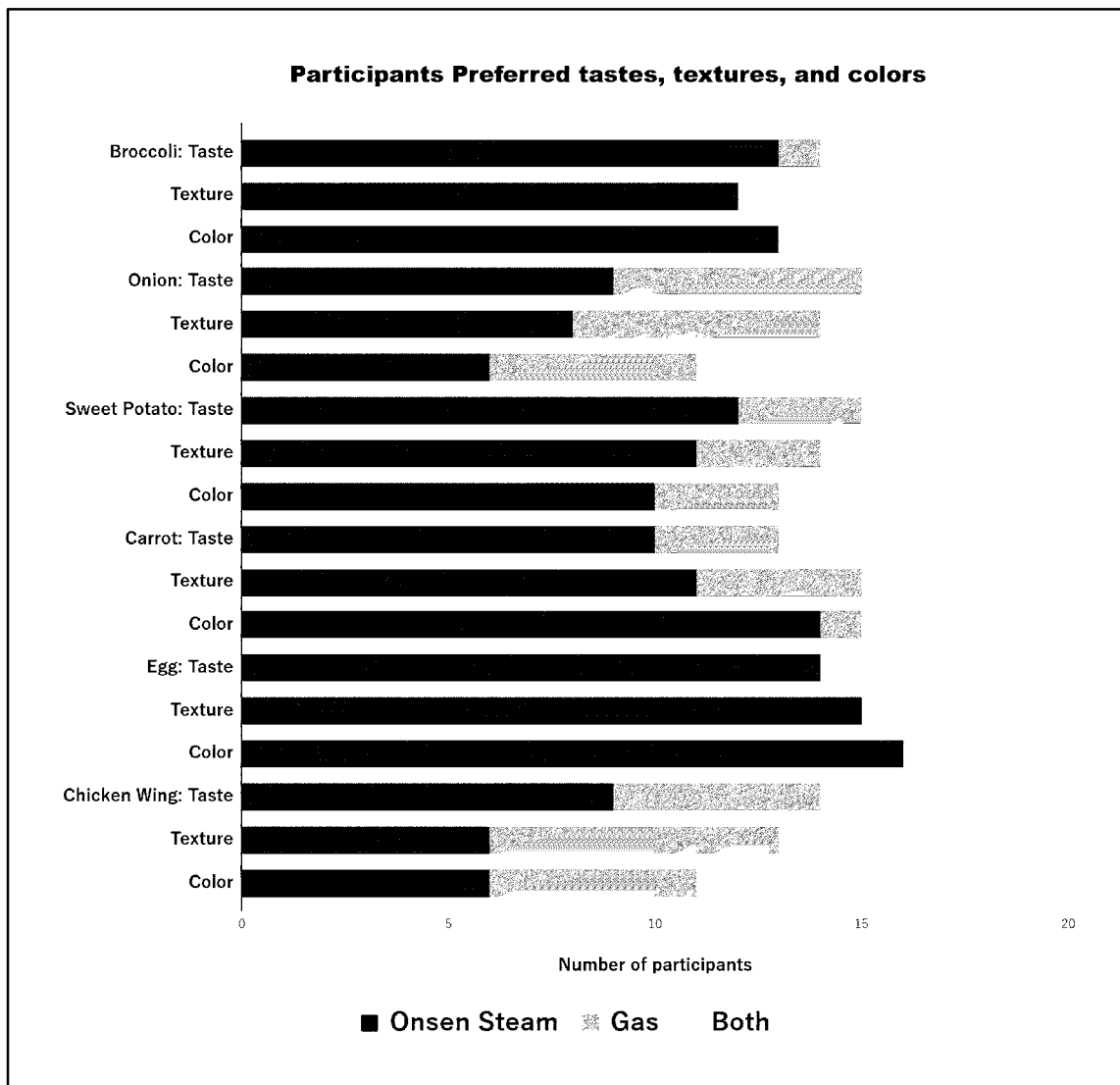
5. 研究結果：温泉の蒸気と家庭でのガスという 2 つの調理法を利用して、野菜、卵、手羽先の味、食感、色を比較。どちらが温泉の蒸気またはガスによるものかを参加者には明かさずにアンケートを実施した。」グラフは、ほとんどの参加者が温泉蒸しの味、食感、色を好んだことを示している。

Results of Research:

We conducted a blind survey following the tasting session to compare the taste, texture, and color of the two cooking methods: onsen steamed and gas-cooked vegetables, eggs, and chicken wings . The following graph shows that the survey results indicate that most participants preferred the taste, texture, and color of the onsen steamed method.

食材毎の味、食感、色の好みについて





6. まとめ: 温泉蒸し料理は、ガス蒸し料理と比較して、味、食感、色合いが最も優れているとして、参加者の大半が温泉蒸し料理を選択した。しかし、日常的に温泉蒸し料理を楽しむことは、ほとんどの人にとって不可能である。このような料理イベントが、健康的で環境にやさしい調理法として、温泉蒸し料理の活用を促進することを期待したい。

Summary:

The majority of the participants selected the onsen steam food as having the best taste, texture and color compared to the gas cooked one. However, enjoying the onsen steamed cooked food on daily bases is not possible for most of us. We hope that these types of cooking events will promote the utilization of Onsen steam cooking as a healthy and environmentally friendly way of preparing food.

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

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、養鶏・養豚といった産業動物に与え、へい死の減少など生産性向上への可能性を検証した。養鶏では弊社に設置した鶏舎で採卵鶏を飼育し、RG92 エキスの混合給水により産卵率の向上や卵の肥大化抑制の効果が認められた。また糞中の短鎖脂肪酸濃度の増加が認められ、RG92 エキスのプレバイオティクスとしての効果が示唆された。養豚では、試験協力農場で飼育されたブタのサンプル提供を受け、腸の遺伝子発現解析を行った。その結果、RG92 エキス混合給水のブタにおいて自然免疫関連遺伝子の発現増加が見られたほか、ムチンや脂質代謝関連の遺伝子発現が変化した。個々の現象の関連付けは今後の課題であるが、RG92 エキスが産業動物の生産性向上に寄与する可能性が示唆された。

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 の抽出エキス（以下 RG エキス）は高い抗炎症、抗糖化、抗酸化作用を持つことが明らかになり、これらの効能を健康美容分野へと広く応用してきた（宮田ら 2018; Kaseda et al. 2020; Miyata et al. 2021）。また近年は 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、これらの現象が RG92 エキスによる免疫賦活や脂質代謝の亢進による可能性を明らかにした。これと並行して、家禽や家畜への効果も継続して検証しており、その中で採卵鶏での産卵率の向上、肉用鶏や豚の生存率向上、水分の少ない排便による飼育施設維持の負担軽減などが、全国各地の協力業者による試験で明らかになりつつある。本研究では、これらの動物から得られた糞の分析や器官での遺伝子解析を行い、RG92 エキスのプレバイオティクスとしての機能評価を行うことが目的である。

2. 調査方法

2-1 採卵鶏の飼育試験

弊社鶏舎にて採卵種（レイヤー）のボリスブラウンの幼鳥を対照群および RG92 群各 10 羽に分け飼育した。RG92 群は体重の 700 万分の 1 量の RG92 エキスを含有した水を与えて飼育した。飼育開始後より、産卵数、卵サイズの記録を行い、産卵に与える影響について検証した。

産卵率の推移で、RG92 群で有意に産卵率が向上したこと、RG92 エキスの成分から短鎖脂肪酸の生成が促進される可能性があること、また近年短鎖脂肪酸の健康への寄与の可能性が指摘されていることから、糞中の短鎖脂肪酸濃度の測定を行った。糞はランダムに 3 個採取した後その日のうちに処理、測定にかけた。この作業を連日行い計 30 個の糞のデータを得た。短鎖脂肪酸のうち酢酸、プロピオン酸、酪酸の濃度について、Inoue et al. (2019)の方法を一部改変して測定を行った。

2-2 豚の器官での遺伝子発現解析

共同研究先養豚場にて食肉用豚を対照群および RG92 群各 50 頭に分け飼育を開始した。RG92 群は体重の 700 万分の 1 量の RG92 エキスを含有した水を約 3 カ月にわたり与えて飼育した。と殺時に 4~5 個体分の肝臓、大腸、筋肉の小片を採取した。採取した組織は核酸抽出用試料保存液 Gene keeper（ニッポン・ジーン、東京）中に入れて運搬し、核酸抽出まで -80℃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 1a (ef1a)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 採卵鶏の飼育試験

3-1-1 産卵率および卵サイズの推移

月別の 1 日平均産卵率および LL サイズ率の推移を図 1 に示す。対照群、RG92 群ともにボリスブラウンの標準的な産卵時期である 20 週齢あたりで産卵が始まったが、RG92 群で産卵が早く始まり、その月の 1 日当たりの産卵率は対照群の 32.9%に対して RG92 群では 54.3%と RG92 群で有意に高かった。翌月には両群ともに 90%以上の産卵率となり、以降の 9 カ月間は 95%前後の高値で推移した。対照群では 68 週齢あたりから産卵率が

徐々に下降し始め、117週齢では 53.9% となった。一方、RG92 群では 68 週齢以降も高値を維持し、77 週齢あたりから徐々に下降し始めたものの、117 週齢の時点でも 70.6% の産卵率を維持した。最終的には対照群 10 尾の産卵数が 5803 個であったのに対して RG92 群では 6150 個となった。

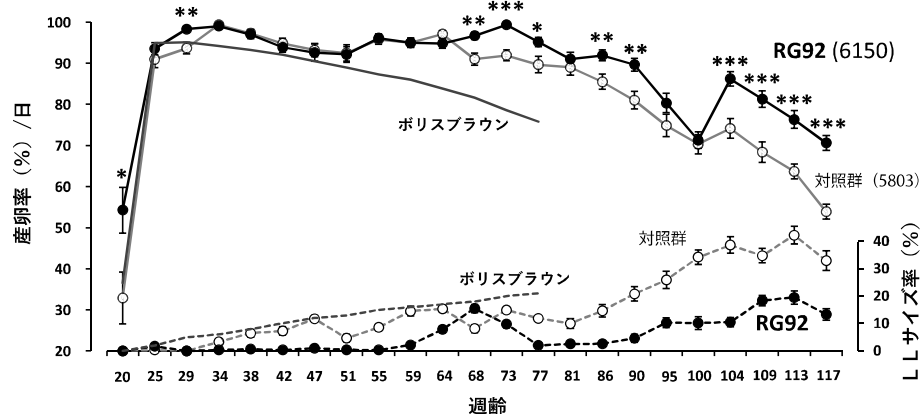


図1 採卵鶏における月別の平均産卵率および規格外サイズ卵率（LL サイズ率）の推移
RG92 群の採卵鶏は、対照群と比較して長期間にわたり多くの出荷サイズの卵を生み続けた。括弧内は総産卵数。産卵率は Student t-test により比較された (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)。一般的なポリスプラウンの産卵率および LL サイズ率は、コマーシャル鶏飼養管理ガイド（株式会社ゲン・コーポレーション）に記載された値をプロットした。

卵重量を測定し、全産卵数における規格外の卵（70g 以上の LL サイズ）の割合を算出した。対照群では一般的なポリスプラウンの値と同様に 34 週齢あたりから規格外卵の割合が上昇しはじめ、117 週齢では 32.9% の LL サイズ率になった。一方で、RG92 群では途中に一過的な上昇はあったものの 86 週齢まで低い LL サイズ率で推移し、117 週齢では 13.3% と対照群よりも有意に低い値であった。

3-1-2 糞中短鎖脂肪酸濃度

採卵鶏の糞中短鎖脂肪酸濃度を図 2 に示す。糞間での濃度の変動が大きいものの、測定した 3 つの短鎖脂肪酸すべてで、RG92 群が有意に高い値であった。特に酪酸は対照群の中央値が $0.17\mu\text{mol/g}$ であったのに対して、RG92 群では $0.34\mu\text{mol/g}$ と 2 倍の値であった。

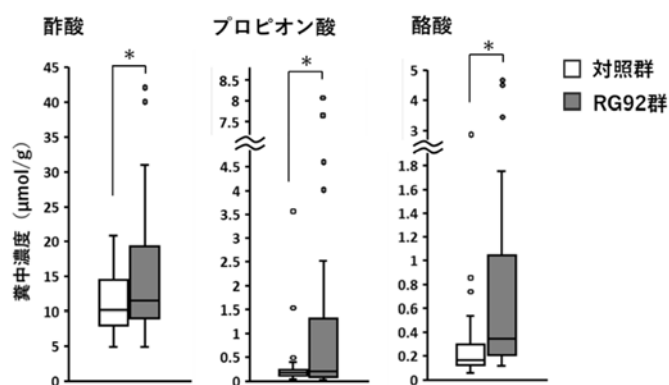


図2 採卵鶏の糞中短鎖脂肪酸濃度 鶏舎から無作為に採取した糞 30 個分の濃度の箱ひげ図。箱の中の線は中央値の値を示す。両群の濃度は Student t-test により比較された (* $p < 0.05$)。

3-2 豚の器官での遺伝子発現解析

食肉用豚の大腸における遺伝子の発現を調べた。自然免疫に関わる Interleukin 1 β (IL1 β) の遺伝子発現は RG92 群で有意に高く、また細胞間接着に関わり外敵の侵入を妨げる

Occcludin の発現も統計的有意差はないものの RG92 群で高かった ($p=0.059$) (図 3)。大腸上皮における粘液として、腸上皮の保護による外敵からの防御、腸内細菌の活動の場となるムチンの遺伝子発現は、分泌型ムチンである Muc2 は RG92 群で有意に減少したのに対して、膜結合型ムチンである Muc1 および Muc13 では RG92 群で有意に増加した。

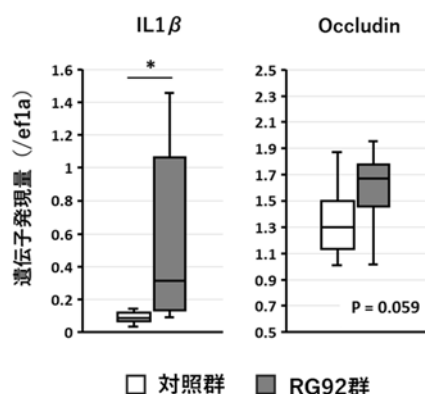


図 3 肉用豚の大腸の IL1 β および Occludin 遺伝子の発現 Elongation factor 1a (ef1a) 遺伝子に対する各遺伝子の発現量割合。両群の濃度は Student t-test により比較された (* $p < 0.05$)。

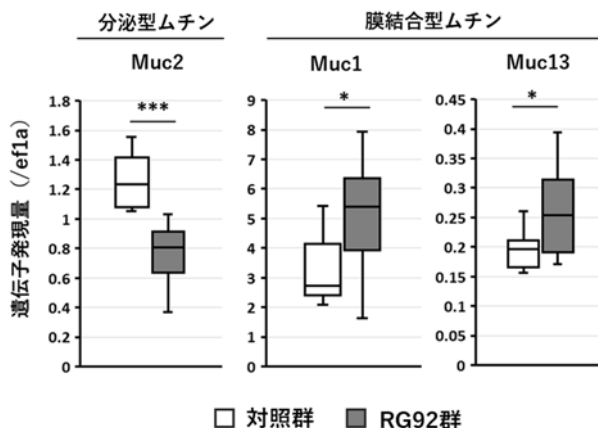


図 4 肉用豚の大腸のムチン遺伝子(Muc1, Muc2 および Muc13) の発現 Elongation factor 1a (ef1a) 遺伝子に対するムチンのコアタンパク遺伝子の発現量割合。両群の濃度は Student t-test により比較された (* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$)。

次に脂

質代謝関連の遺伝子を調べたところ、脂質代謝の律速酵素である carnitine palmitoyltransferase 1b (CPT1b) の遺伝子発現が RG92 群で有意に増加した。一方で、脂質代謝を含むミトコンドリア合成を促進する働きを持つ peroxisome proliferators activated receptor- γ co-activator-1a (PGC1a) の遺伝子発現は、RG92 群で有意に減少した (図 5)。

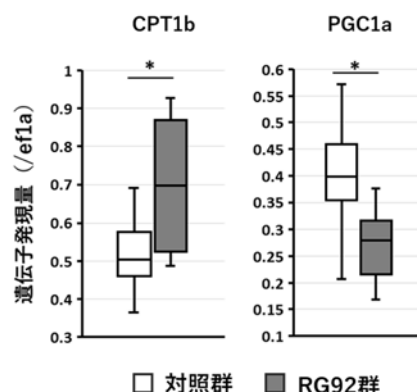


図 5 食肉用豚の大腸の脂質代謝関連遺伝子の発現 Elongation factor 1a (ef1a) 遺伝子に対する各遺伝子の発現量割合。両群の濃度は Student t-test により比較された (* $p < 0.05$)。

4. 考察

今回の研究で、RG92 の混合給水により採卵鶏では産卵率の向上や規格外卵率の低下など、生産性に直接かわるデータが得られた。また採卵鶏では糞中の短鎖脂肪酸濃度の増加が認められ、食肉用豚では免疫や脂質関連の遺伝子発現の変化が認められた。現在、RG92 エキスの試験協力企業からは、産卵率増加や卵質の向上などが認められているほか、鶏肉中の α リノレン酸割合の増加などが報告されている。また養豚においてもへい死の減少が報告されている。これらの結果の一部は、本研究の結果と一致するものであり、へ

い死の減少などは本研究で示された自然免疫関連遺伝子の発現増加と矛盾しない。また腸管で産生される短鎖脂肪酸は免疫賦活や腸管粘液の増加、エネルギー源としての脂質利用の促進と関連することが知られており、「腸活」として近年注目されている。現時点において、本研究で明らかになった現象の一つ一つを結びつけることはできていないが、RG92 エキスの摂取により腸内環境の改善が図られ、その結果として産卵率の向上やへい死の減少に結び付いたと考えている。

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)。これらは宿主の腸上皮細胞のエネルギー源として ATP 産生の基質となるほか、細胞への直接作用、あるいは脳腸相関など短鎖脂肪酸受容体を起点にしたシグナル伝達を介して、代謝制御や免疫機能の強化など様々な生理活性をもつことが知られている (Vadder et al. 2014; Kasubuchi et al. 2015; Redford and Gong 2018; Shimizu et al. 2019)。実際に採卵鶏の糞中では短鎖脂肪酸、特に酪酸が多く検出されており、食肉用豚の大腸では IL1 β や Muc 遺伝子の発現増加が認められた。

採卵鶏は年齢とともに産卵率が低下し、また輸卵管の収縮力低下により、大きな卵を産むようになる。今回の我々の飼育実験でも同じ老化現象は認められている。しかし、RG92 群では、明らかに老化現象のスピードが緩やかになっている。RG92 エキスがどのようなメカニズムでこの老化現象を抑えているのかは今後の課題であるが、上述のような腸内環境の改善が関わっているのではないかと考えている。RG92 群の採卵鶏で短鎖脂肪酸の産生が有意に増加したと考えられるが、特に酪酸において対照群との差が顕著であった。酪酸は腸管の環境改善にとどまらず、様々な生理活性を持つ物質として注目され、老化抑制や健康との関りが注目されている。コンポストを与えられた食肉豚では糞中酪酸濃度の増加が認められたほか、採卵鶏においては産卵率の増加や老化にともなう卵径肥大の抑制など、本研究と同様な現象が報告されている (宮本ら 2018)。因果関係の詳細はわからないが、今回 RG92 群で認められたポジティブな結果は、RG92 エキスの DGDG や MGDG が腸内細菌の発酵基質となり、その代謝産物である短鎖脂肪酸によってもたらされたと考えている。

本研究結果では、脂質代謝関連遺伝子の CPT1b の発現が上がった一方で、ミトコンドリア生合成を促進する PGC1 α の発現は低下した。また粘液の構成要素であるムチンのう

ち膜結合型ムチンの遺伝子発現は増加したが、分泌型ムチンの発現は低下した。この現象の意味するところは現段階では不明であるが、今後他の試験協力農場でのサンプルを用いて再現性を確認するとともに、RG92 がどのような機序でこれらの遺伝子発現に影響を与えているかについて、今後の研究で明らかにしていきたい。

謝辞

株式会社 林の林正一郎氏には、養豚場での飼育実験および試料採取や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

- Inoue, H., K. Takayama, C. Takahara, N. Tabuchi, N. Okamura, N. Narahara, E. Kojima, Y. Date, and Y. Tsuruta (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., Y. Kai, M. Tajima, M. Suematsu, S. Iwata, M. Miyata, C. K. Mifude, N. Yamashita, W. A. Seiryu, M. Fukada, H. Kobayashi, A. Sotokawauchi, T. Matsui and S. Yamaguchi (2020) Oral administration of spa-derived alga improves insulin resistance in overweight subjects: Mechanistic insight from fructose-fed rats. *Pharma. Res.*, **152**, 104633.
- Kasubuchi, M., S. Hasegawa, T. Hiramatsu, A. Ichimura and I. Kimura (2015) Dietary gut microbial metabolites, short-chain fatty acids, and host metabolic regulation. *Nutrients*, **7**, 2839-2849.
- 宮本浩邦・宮本久・田代幸寛・酒井謙二・児玉浩明（2018）好熱性微生物を活用した未利用バイオマス資源からの高機能性発酵製品の製造と学術的解明．*生物工学会誌*，**96**，56-63.
- 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., S. Iwata, C. K. Mifude, M. Tajima, M. Kameyama, M. Ihara, T. Matui, S. Yamaguchi, H. Ishitobi, S. Miyaki and K. Kaseda (2021) A novel *Mucidosphaerium* sp. downregulates inflammatory gene expression in skin and articular cells. *Altern. Ther. Health Med.*, **27**, 40-47.
- 株式会社ゲン・コーポレーション（令和 6 年）コマーシャル鶏飼養管理ガイド 第 8 版 (<https://www.ghen.co.jp/pdf/04-borisbrown.pdf>)，pp.204-215.
- Redford, A and J. Gong (2018) Implications of butyrate and its derivatives for gut health and animal production. *Anim. Nutr.*, **4**, 151-159.
- Shimizu, H., R. Ohue-Kitano and I. Kimura (2019) Regulation of host energy metabolism by gut

microbiota-derived short-chain fatty acids. *Glycative Stress Res.*, **6**, 181-191.

Sugawara, T and T. Miyazawa (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.

Vadder, F. D, P. Kovatcheve-Datchary, D. Goncalves, J. Vinera, C. Zitoun, A. Duchampt, F. Bäckhed and G. Mithieux (2014) Microbiota-generated metabolites promote metabolic benefits via gut-brain neural circuits. *Cell*, **156**, 84-96.

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

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、ウナギ養殖における低成長個体（通称「ヒネ仔」）に与え、成長改善への可能性を検証した。その結果、RG92 エキス給餌により出荷サイズへの成長個体が約 2 倍増え、飼料要求率が約半分に改善された。ウナギは雌の方が高成長であることが知られているため、RG92 エキスによる成長改善は性別未分化のヒネ仔が雌性化したことによって起きたのではないかと考え、遺伝子解析による性判別でこの仮説の検証を試みている。

1. はじめに

弊社が別府温泉で 2011 年に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 RG 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してきた（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、ヒラメの成長促進やへい死の抑制（野畑 2024）、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。本研究では養殖ウナギを研究対象として RG92 エキスの効果について検証した。養鰻現場では、期間内に出荷サイズに到達しない低成長個体（通称「ヒネ仔」）が一定数存在する。これらは餌食いがよいにもかかわらず継続飼育でも成長しないケースが多く、養鰻業者の悩みの一つとなっている。本研究ではヒネ仔の成長における RG92 エキスの効果を検証した。

2. 調査方法

2-1 養鰻場での RG92 エキス試験

大分水産有限会社の養鰻場にて、シラスウナギから約 3 カ月間通常餌で養殖された個体は、春先に新仔（数か月で出荷可能なサイズに成長した個体）とヒネ仔（成長が遅く翌

年以降の出荷まで持ち越しとなる個体)に分けられ、それぞれに池中のウナギの総体重の700万分の1量のRG92エキスを含有した練り餌を与えて飼育した。試験は新仔では1つの池、ヒネ仔は2つの池で行われ、試験開始前までの飼料要求率(FCR; feed conversion rate)と試験終了時のFCRは次式で算出された。

$$\text{FCR} = \text{餌の総量} / \text{成長量 (飼育開始時の総体重と試験終了時の総体重の差)}$$

2-2 遺伝子発現解析用プライマーの検討

上記検討で飼料要求率の改善とともに出荷サイズへの成長個体が増加した。ウナギの成長には雌雄差があり、雌の方が大型になる傾向がある(吉川 1995)。そこでRG92エキ스가性未分化であるヒネ仔の雌性化を誘導したのではないかという仮説を立てた。ウナギの雌雄判別は、生殖腺の遺伝子発現解析で可能なことが報告されており(Inaba et al. 2021; Horiuchi et al., 2022; Inaba et al., 2023)、分子生物学的手法による雌雄判別を試みた。対象遺伝子を表1に示した。

表1 雌雄判別の遺伝子解析に用いる遺伝子 生殖腺(精巣および卵巣)でのqPCRを行った場合、*vasa*は雌雄関係なく検出される。*amh*および*gsdf*は精巣(あるいは精巣への分化途中の器官)で検出され、*cyp19a1*および*foxl2a*は卵巣(あるいは卵巣への分化途中の器官)で検出される。*elf1a*は相対発現量算出のための内部標準遺伝子。

通称	正式名	
<i>elf1a</i>	Elongation factor 1a	内部標準遺伝子
<i>vasa</i>	DEAD-box helicase 4	生殖腺細胞マーカー
<i>amh</i>	Anti-Mullerian hormone	雄性生殖器マーカー
<i>gsdf</i>	Gonadal soma-derived growth factor	雄性生殖器マーカー
<i>cyp19a1</i>	Cytochrome P450 19A1a	雌性生殖器マーカー
<i>foxl2a</i>	Forkhead box L2A	雌性生殖器マーカー

3. 結果

3-1 養鰻場でのRG92エキス試験

シラスウナギから通常餌で飼育した個体を新仔とヒネ仔に選別し、その後それぞれ試験終了までRG92エキス添加飼料で飼育された。選別前のFCRと選別から試験終了時までのFCRを比較すると、新仔では選別前FCRが2.5であったのに対して、RG92エキス給餌後に2.1に改善した。2つの池で行われたヒネ仔での試験では、選別前FCRが3.0と3.2であったのに対して、RG92エキス給餌後のFCRはそれぞれ1.68と1.57と約半減し

た（表 2）。さらにヒネ仔から出荷サイズに到達する個体の割合（出荷率）は、例年 25% 程度であったのに対して、RG エキス混合給餌により約 50%まで改善した。

表 2 RG92 エキス混合給餌による飼料要求率（FCR）の変化 シラスウナギから新仔あるいはヒネ仔として選別されるまで通常餌で飼育された個体の FCR（池入れ前の FCR）と選別後から RG92 エキスを混合給餌された個体の FCR（池揚げ時 FCR）。

	新仔	ヒネ仔 2 年①	ヒネ仔 2 年②
池入れ前の FCR（通常給餌）	2.5	3.0	3.2
池揚げ時の FCR（RG エキス混合給餌）	2.1	1.68	1.57
池入れ時総体重（kg）	190	200	211.5
池揚げ時総体重（kg）	436	501.3	900
餌量（kg）	518	506.5	1080

3-2 遺伝子発現解析用プライマーの検討

遺伝子発現解析で雌雄判別を行うため、ウナギの生殖腺から cDNA を抽出し、性判別に設計したプライマーを用いて解析条件を検討している。現在のところプライマーダイマーが生じるなど測定系に難があり、現在条件検討を継続して行っている。

4. 考察

今回の研究で、RG92 の混合給餌により養殖ウナギの FCR の改善が認められた。特に低成長個体として年をまたいで飼育されるヒネ仔の FCR は約半分に改善され、さらに出荷率が 2 倍に上がった。これらの RG92 エキスの効果は、昨今の飼料代の高騰や資源量の減少など厳しい経営環境が続く養鰻業を救う一助になるのではないかと期待している。本プロジェクトでは、飼育下での成長への効果に加えて、成長促進と雌性化との関連を検討する予定であったが、遺伝子解析の条件検討がうまくいっておらず今後も継続して検討を進める。

ウナギの成長は性別と密接な関係があり、雌個体の方が大きく成長する。また性分化は性別未分化の若齢期の成長と関係している。すなわち雄個体は若齢期の成長が早く出荷サイズへの到達が早い、最終的に大型化するのには若齢期の成長が遅い雌個体のほうである（Yoshikawa 2013）。したがって新仔として出荷される個体は雄個体の割合が高いが、ヒネ仔の継続飼育で出荷される個体は雌の比率が高くなる（服部ほか 2017）。このような知見をもとに、RG92 エキスによるヒネ仔の成長促進は、RG92 エキスによるヒネ仔の雌性化と関連があるのではないかと考えた。実際に本検討では、ヒネ仔における FCR の改善が新仔におけるそれよりも際立っていた。ウナギの雌化については大豆イソフラボン

がウナギの雌化を誘導することが報告されており、その効果はイソフラボンが植物エストロジェンとしてエストロジェンと類似の構造を持つことに由来すると考えられている (Inaba et al., 2023)。残念ながら本検討では、ヒネ仔の雌性化まで明らかにすることはできなかったが、現在進めている遺伝子解析の系が確立した段階で、RG92 エキスとヒネ仔の雌性化との関連を明らかにするとともに、雌性化との関連が示唆された際には、RG92 エキス中のエストロジェン様の物質の探索を進めたいと考えている。

RG92 エキスは養殖ヒラメにおいて成長促進や生存率向上が認められている (野畑 2024)。これらの効果は、RG92 エキスに含まれる糖脂質ジガラクトシルジアシルグリセロールから腸内細菌によって産生される短鎖脂肪酸の働きによると考えている。短鎖脂肪酸は宿主の腸上皮細胞のエネルギー源として ATP 産生の基質となるほか、細胞への直接作用、あるいは脳腸相関など短鎖脂肪酸受容体を起点にしたシグナル伝達を介して、代謝制御や免疫機能の強化など様々な生理活性をもつことが知られている (Vadder et al. 2014; Kasubuchi et al. 2015; Redford and Gong 2018; Shimizu et al. 2019)。成長促進に関しては、短鎖脂肪酸がエネルギー源として利用されることでアミノ酸の節約効果が得られ成長促進につながる可能性が考えられ、ヒラメでの検討では脂質代謝に関わる carnitine palmitoyltransferase 1b や hydroxyacyl-CoA dehydrogenase の遺伝子発現が腸で増加することがわかっている。本研究でも、ウナギの脂質代謝が増加することで成長促進につながった可能性は十分に考えられるため、これらの可能性についても遺伝子解析の系で検討進めていきたい。また協力企業として飼育実験が行われた大分水産 (有) からは、体表の「滑り」の増加も報告されており、自然免疫系を含めた生体防御機能についても今後研究を進めていきたい。

以上、本検討では RG92 エキスがヒネ仔の FCR を改善し多くの個体を出荷サイズへと成長させることが明らかになった。ヒネ仔の雌性化との関連は不明のままであるが、順調に生育しおそらく雄個体が多いと考えられる新仔でも FCR を改善していることから、RG92 エキスが代謝の改善など雌性化とは関係のない部分でも成長を促進している可能性が示唆された。今後さらに研究を進め、養鰻業への貢献を目指したいと考えている。

謝辞

大分水産 (有) 三股茂樹氏には、養殖場の飼育実験および試料採取や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

- 服部克也・岩田友三・鈴木貴志（2017）養鰻場から出荷されたニホンウナギの成長と性比から構想した放流用ウナギ集団の作出モデル．愛知水試研報，**22**，1-8.
- Horiuchi, M., S. Hagihara, M. Kume, D. Chushi, Y. Hasegawa, H. Itakura, Y. Yamashita, S. Adachi and S. Ijiri (2022) Morphological and molecular gonadal sex differentiation in the wild Japanese eel *Anguilla japonica*. *Cells*, **11**, 1554.
- Inaba, H., S. Hara, M. Horiuchi, S. Ijiri and T. Kitano (2021) Gonadal expression profiles of sex-specific genes during early sexual differentiation in Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.*, **87**, 203-209.
- Inaba, H., Y. Iwata, T. Suzuki, M. Horiuchi, R. Surugaya, S. Ijiri, A. Uchiyama, R. Takano, S. Hara, T. Yazawa and T. Kitano (2023) Soy isoflavones induce feminization of Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Int. J. Mol. Sci.*, **24**, 396.
- Kaseda, K., Y. Kai, M. Tajima, M. Suematsu, S. Iwata, M. Miyata, C. K. Mifude, N. Yamashita, W. A. Seiryu, M. Fukada, H. Kobayashi, A. Sotokawauchi, T. Matsui and S. Yamaguchi (2020) Oral administration of spa-derived alga improves insulin resistance in overweight subjects: Mechanistic insight from fructose-fed rats. *Pharma. Res.*, **152**, 104633.
- Kasubuchi, M., S. Hasegawa, T. Hiramatsu, A. Ichimura and I. Kimura (2015) Dietary gut microbial metabolites, short-chain fatty acids, and host metabolic regulation. *Nutrients*, **7**, 2839-2849.
- 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., S. Iwata, C. K. Mifude, M. Tajima, M. Kameyama, M. Ihara, T. Matui, S. Yamaguchi, H. Ishitobi, S. Miyaki and K. Kaseda (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，**75**，115-120.
- Redford, A and J. Gong (2018) Implications of butyrate and its derivatives for gut health and animal production. *Anim. Nutr.*, **4**, 151-159.
- Shimizu, H, R. Ohue-Kitano and I. Kimura (2019) Regulation of host energy metabolism by gut microbiota-derived short-chain fatty acids. *Glycative Stress Res.*, **6**, 181-191.
- 吉川昌之（1995）天然および養殖ニホンウナギ *Anguilla japonica* の大型魚における性比と体重および年齢の関係．静岡県水産試験場研究報告，**30**，29-34.

- Vadder, F. D, P. Kovatcheve-Datchary, D. Goncalves, J. Vinera, C. Zitoun, A. Duchampt, F. Bäckhed and G. Mithieux (2014) Microbiota-generated metabolites promote metabolic benefits via gut-brain neural circuits. *Cell*, **156**, 84-96.
- Yoshikawa, M. (2013) Sex differences in growth rates of early life stage Japanese eels *Anguilla japonica* under experimental conditions. *J. Fish Biol.*, **83**, 588-597.

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) 役員を選出（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7年6月1日現在)

所 属 ・ 職 名	氏 名	役 員
京都大学大学院 理学研究科附属地球熱学研究施設 教授	大 沢 信 二	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	羽 田 野 康 仁	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	
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 理学研究科地球惑星科学部門 教授	山 本 順 司	
九州大学大学院 工学研究科地球資源システム工学部門 准教授	松 本 光 央	
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	
別府大学 食物栄養科学研究科	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 准教授	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 課長	能 登 征 美	
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	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 地熱部長	長 野 洋 士	
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7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	棕 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	釘 宮 誠 治	
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	長 濱 誠 一	
大分県 衛生環境研究センター 所長	大 隈 滋	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)	佐 々 木 麻 里	
大分県 衛生環境研究センター微生物担当 主幹研究員	加 藤 聖 紀	
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	山 瀬 敬 治	
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	山 本 秀 昂	
大分県 衛生環境研究センター水質担当 研究員	阿 部 奈 望	
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 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 8 9 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	萱 島 早 織	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76号

令和7年8月 印刷

令和7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 株式会社ひまわり

〒870-0039 大分市中春日町3番1号

TEL 097-548-6651

FAX 097-548-6652

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。

