

大分県温泉調査研究会報告

第 74 号

令和 5 年 8 月

目 次

- 温泉帯水層のポテンシャルを算出するソフトウェアの開発 …… 松 本 光 央 他 1 人 …… (1)
- 培養細胞系におけるがん細胞株に対するX線照射の抗腫瘍効果の温度依存性の検討
…………… 前 田 豊 樹 …… (7)
- 大分平野の地下構造－地下地質の概要および調査手法－ …… 竹 村 恵 二 他 1 人 …… (9)
- 大分平野における適正な温泉坑井離隔距離に関する理論的検討
…………… 澤 山 和 貴 他 2 人 …… (21)
- 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
…………… 齋 藤 圭 他 2 人 …… (31)
- 九重火山群の第四紀火山岩類の地球化学的研究 1 …… 柴 田 知 之 他 4 人 …… (43)
- 竹田市郷の湯にて採取された温泉水のSr同位体比 …… 芳 川 雅 子 他 2 人 …… (47)
- 別府温泉と瀬戸内海 …… 中 山 昭 則 …… (51)
- 新型コロナウイルスパンデミックは温泉入浴行動を変えたのか？
～第1波から第6波までの入浴行動の分析～ …… 加 藤 礼 識 他 5 人 …… (63)

序

太平洋戦争終結後、新しい日本国憲法〔1947（昭和22）年5月3日施行〕の下で成立した温泉法〔1948（昭和23）年7月10日公布〕の実効を図るため、各都道府県に温泉審議会（現、環境審議会温泉部会）が設置され、温泉行政に関わる重要事項を審議することになりましたが、それらの審議を適切かつ円滑に進めるには、判断の基準となる科学的根拠が必要です。ここに、大分県では、1949（昭和24）年7月16日、「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（会則第3条）」として、大分県温泉調査研究会（以下、本会）を設立しました。主な会員は大分県内外の温泉研究者・技術者・大分県及び各自治体の代表者で、事務局は大分県の温泉行政担当課に置かれました。この構成は、現在も変わりません。

以来、本会では、県内各温泉地の現況調査をはじめとする調査研究を実施し、得られた成果を機関誌「大分県温泉調査研究会報告」に掲載・公表してきました。これらは、温泉行政に反映され、たとえば、温泉の新規開発を禁止する特別保護地域を指定するに当たっての基準を提供するなど、温泉資源の有効利用と保護の礎となっています。

これらに加えて、理学・工学・医学・人文社会科学など温泉に関わる諸研究分野の調査研究も行われてきました。それらの成果も合わせて、「大分県温泉調査研究会報告」に掲載された報文数は、昭和25（1950）年発行の第1号から令和4（2022）年の第73号までの73年間に、641編を数えます。

令和4（2022）年度の調査研究事業も、2020年初頭から続く新型コロナウイルス禍中にありながら、これまでのあゆみに沿って計画・実施され、9編の報文を収録した「大分県温泉調査研究会報告 第74号」を発行する運びとなりました。

厳しい条件のもとで調査研究を遂行された会員諸氏、ご支援いただいた関係行政機関並びに事務局の方々に深く感謝を申し上げる次第です。そして、70年を超えて蓄積された成果を通覧するとき、「温泉を核とした諸科学の場が大分県にある」ことを実感します。この活動がさらに進展し、本会が持続的に発展することを祈念し、関係各位・諸機関の引き続いてのご協力をお願いいたします。

令和5（2023）年8月

大分県温泉調査研究会

会長 由 佐 悠 紀

温泉帯水層のポテンシャルを算出するソフトウェアの開発

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

九州大学 工学部 地球環境工学科 地球システム工学コース

高木 敬太郎

要 旨

温泉資源保護の考え方の 1 つの可能性として、同一温泉帯水層からの総湧出量の管理による温泉資源保護の方法が提案された。同方法では、総湧出量の上限を温泉帯水層のポテンシャルと定義し、その計算式が定義された。本報告では、この計算式を計算するソフトウェアの開発について報告する。このソフトウェアは水の状態方程式などの計算と Graphical User Interface を実装し、直感的な操作でグラフ表示を含む計算結果を得ることができる。このソフトウェアにより、温泉帯水層のポテンシャルの計算式の検証・適用が促進されると期待される。

1. はじめに

山下 (1967) は、別府温泉での揚水試験を中心とする現地調査と温泉帯水層の流体流動モデルによる理論的検討により、温泉資源の保護のためには 100 m 平方あたりの湧出量を 120 l min^{-1} 以内に制限する必要があると指摘した。この成果は、今日の温泉資源保護の重要な指針となっている。松本・糸井 (2022) は、山下 (1967) が別府温泉での現地調査から導いた単位面積あたりの湧出量の一般化を企図し、その基となった温泉帯水層の流体流動モデルの理論 (山下, 1961, 1967) をレビューした。その結果、同モデルで考慮されている温泉帯水層の滲出が小さい場合には、現実的な期間の揚水試験では滲出がない場合との区別が難しくなり、結果として単位面積あたりの湧出量の決定も困難となることが示された。温泉帯水層の滲出の程度には地域性があると考えられるが、それは必ずしも温泉資源の大小を直接的に示唆するものではない。そこで松本・糸井 (2022) は、温泉帯水層の滲出が小さい (または全くない) 場合でも適用可能な考え方の 1 つの可能性として、同一温泉帯水層からの総湧出量の管理による温泉資源保護の方法を検討した。

山下 (1967) は別府温泉での現地調査と理論的検討に基づき、100 m 平方あたりの総湧出量の増加は井戸数の増加と共に鈍化し、自噴井だけであれば 120 l min^{-1} 程度で頭打ち

となることを示した。そして現実には動力揚湯などによりそれを超える湧出があることを踏まえ、湧出量を 120 l min^{-1} 以内に制限する必要があると指摘した。松本・糸井 (2022) はこの考え方を継承し、計算機シミュレーションにより種々の条件の温泉帯水層での自噴井による湧出を再現した。そして井戸数の増加に伴って頭打ちとなる総湧出量を温泉帯水層のポテンシャルと定義し、一定の仮定のもとにこれを算出する簡便な計算式を示した。この計算式は、温泉帯水層の①圧力、②温度、③浸透率・層厚積、④貯留係数、そして⑤開発エリアの面積の、5つの入力パラメータに基づくが、温泉水の密度、減圧に伴う沸騰開始圧力、粘性係数を含み、これらを圧力と温度から決定する必要がある。また、この計算式の有効性・有用性の検証には、幅広い地域での適用事例を重ねることが望まれる。

そこで著者らは、松本・糸井 (2022) が提案した温泉帯水層のポテンシャルの計算式の検証・適用の助けとするため、水の状態方程式の計算と Graphical User Interface (GUI) を実装し、直感的な操作でグラフ表示を含む計算結果を得られるソフトウェアを開発した。本報告では、その概要を報告する。

2. 温泉帯水層のポテンシャルの計算式

松本・糸井 (2022) が提案した温泉帯水層のポテンシャル M [kg s^{-1}] の計算式は、次のように与えられる。

$$M = 2\pi\rho \frac{kh (P_N - P_L)}{\mu \ln(r_{100}/r_{\text{ex}})} \quad (1)$$

ただし、

$$r_{100} = 2 \sqrt{\frac{kh/\mu}{\phi ch} t_{100}} \quad (2)$$

ここで、 ρ [kg m^{-3}] は温泉水の密度、 k [m^2] は温泉帯水層の浸透率、 h [m] は温泉帯水層の層厚、 μ [Pa s] は温泉水の粘性係数、 P_N [Pa] は自然状態の温泉帯水層の圧力、 P_L [Pa] は温泉水の減圧に伴う沸騰開始圧力、 r_{ex} [m] は円形と仮定した開発エリアの半径、 ϕ [無次元] は温泉帯水層の空隙率、 c [Pa^{-1}] は温泉水の等温圧縮率、 t_{100} [s] は100年後の経過時間 (秒数) である。また r_{100} [m] は、温泉帯水層が仮に無限の広がりを持つと仮定した場合に、開発エリアで100年間湧出した場合に圧力変化の影響が及ぶ距離を意味する。ただし、これは例えば現地の揚湯試験で評価した透水量係数 (kh/μ) と貯留係数 (ϕch) に相当する温泉帯水層の圧力変化が100年間続いたと仮定する、つまり現地試験に基づいて温泉帯水層の将来の圧力変化を予測する考え方を理論的に表現したものであり、必ずしも温泉帯水層の大きさや形状など、幾何学的な条件に制約を与えるものではない。この点については、松本・糸井 (2022) でも述べた通りである。

温泉帯水層の①圧力、②温度、③浸透率・層厚積 (kh)、④貯留係数 (ϕch)、そして⑤開発エリアの面積を入力パラメータとして式 (1) および (2) から温泉帯水層のポテンシャルを算出するためには、与えられた圧力と温度に対応する温泉水の密度 ρ 、減圧に伴う沸騰開始圧力 P_L 、そして粘性係数 μ を決定する必要がある。密度と沸騰開始圧力の計算には、the International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS) による純水の状態方程式 IAPWS-IF97 (IAPWS, 2007) を用いた。IAPWS-IF97 では、圧力と温度によって定義される領域別に異なる方程式が定義されている。ここでは液単相の温泉水を仮定していることから、その密度の計算には液相に相当する領域 1 (圧力範囲：飽和圧力 \sim 100 MPa、温度範囲：0 \sim 350 $^{\circ}$ C) の方程式を適用した。また沸騰開始圧力としては、飽和曲線に沿って定義される領域 4 の方程式を用いて、温泉帯水層の温度に対応する飽和圧力を用いた。温泉水の粘性係数の計算には、同じく IAPWS による経験式 (IAPWS, 1997) を用いた。

3. 温泉帯水層のポテンシャルを算出するソフトウェア

温泉帯水層のポテンシャルを算出するソフトウェアを、プログラミング言語 Python を用いて開発した。Python は近年広く普及しているプログラミング言語の 1 つであり、動作環境の構築が安価かつ容易に可能という利点がある。また今回使用した GUI などの幅広い機能を持つライブラリが標準的に付属しており、比較的容易に高機能のソフトウェアを開発できる点も利点の 1 つである。

開発したソフトウェアの動作状況を図 1 に示す。ライブラリ Tkinter により実装した GUI により、起動と同時に図 1 に示すウィンドウが表示される。ウィンドウ左側では、温泉帯水層の①圧力、②温度、③浸透率・層厚積 (kh)、④貯留係数 (ϕch)、そして⑤開発エリアの面積の 5 つの入力パラメータの値を、テキストボックスに入力する、またはスクロールバーを操作して与えることができる。入力パラメータに対応する温泉帯水層のポテンシャルの算出結果は、ウィンドウ左側最上部に表示される。状態方程式 IAPWS-IF97 に基づいて、与えられた圧力・温度条件下の水が、確かに計算式が前提とする液相であることもここで確認できる。ウィンドウ右側では最下部のボタン操作により、5 つの入力パラメータそれぞれの変化に伴う温泉帯水層のポテンシャルの変化のグラフが表示・消去される。それぞれのグラフ中のプロットは、ウィンドウ左側で指定した入力パラメータに対応する温泉帯水層のポテンシャルを示す。また曲線は、横軸に示したパラメータの変化に伴う温泉帯水層のポテンシャルの変化を示す。

以上の機能を有するソフトウェアは、温泉帯水層のポテンシャルの計算式の検証・適用の助けとなると期待される。また様々な条件下でのグラフ表示により、計算式の性質の理

解も深まると期待される。例えば図1に示したように、温泉帯水層のポテンシャルは温度が約190°Cの時に最大となっている。これは、低温領域では温泉水の粘性が温度上昇と共に低下する効果が卓越するのに対し、高温領域では温度上昇と共に沸騰開始圧力が上昇する効果が卓越するためと考えられる。つまり、比較的高温の温泉帯水層で沸騰を起こさずに揚湯するためには、温泉帯水層の圧力を高く保つ必要があるため、許容可能な総湧出量は低下することになる。

本報告執筆現在、ソフトウェアに実装された状態方程式 IAPWS-IF97 の計算には、著者らが過去にプログラミング言語 Fortran を用いて開発したソースコードを用いている。そのため、Python のみで開発した場合に比べるとソフトウェアの動作の環境依存性が生じ、導入のし易さの点で課題が残っている。今後はこの環境依存性の改善に取り組むと共に、本研究会会員各位にもご希望に応じて試用頂いた上でご意見を頂きながら、継続的なソフトウェアの改良と温泉帯水層のポテンシャルの計算式の検証に取り組む予定である。

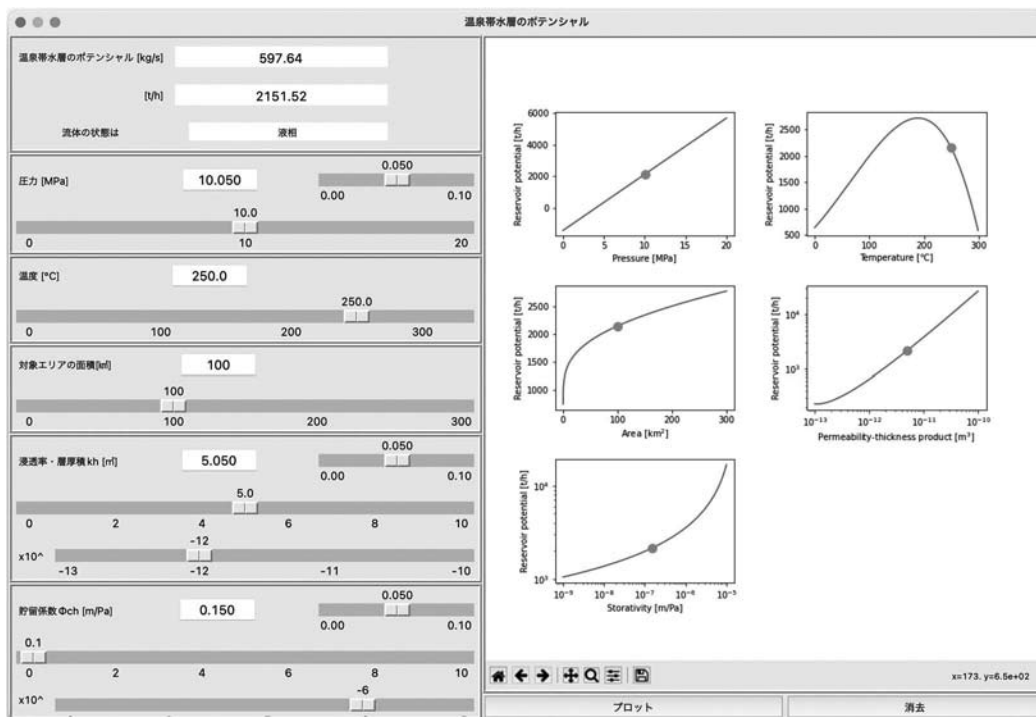


図1：温泉帯水層のポテンシャルを算出するソフトウェアの動作状況

4. まとめ

山下 (1967) による温泉資源保護の指針の一般化を試みた松本・糸井 (2022) が提案した、温泉帯水層のポテンシャルを算出する計算式を計算し、その結果をグラフ表示するソフトウェアを開発した。このソフトウェアは、GUI による直感的な操作で水の状態方程式

などを含む計算を自動化し、その検証・適用の助けとなると期待される。ボタン操作により表示されるグラフは、計算式の性質の理解にも役立つと期待される。引き続き、本研究会会員各位にも試用頂いた上でご意見を頂きながら、動作の環境依存性の改善などの継続的なソフトウェアの改良と、計算式の検証に取り組む予定である。

記号の説明

c	等温圧縮率 [Pa^{-1}]
h	層厚 [m]
k	浸透率 [m^2]
M	温泉帯水層のポテンシャル（許容可能な総湧出量の上限） [kg s^{-1}]
P_L	温泉帯水層の圧力の下限値（沸騰開始圧力） [Pa]
P_N	温泉帯水層の自然状態の圧力 [Pa]
r_{ex}	開発エリアの半径 [m]
r_{100}	100年後の影響半径 [m]
t_{100}	100年後の経過時間（秒数） [s]
μ	粘性係数 [Pa s]
ρ	密度 [kg m^{-3}]
ϕ	空隙率 [無次元]

引用文献

- IAPWS (1997) Revised release on the IAPWS formulation 1985 for the viscosity of ordinary water substance. IAPWS, 15p.
- IAPWS (2007) Revised release on the IAPWS industrial formulation 1997 for the thermodynamic properties of water and steam. IAPWS, 49p.
- 松本光央・糸井龍一 (2022) 計算機シミュレーションによる温泉資源の適正湧出量の一般化の試み. 大分県温泉調査研究会報告, 73, 13–32.
- 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.

培養細胞系におけるがん細胞株に対する X線照射の抗腫瘍効果の温度依存性の検討

九州大学病院別府病院 内科

前 田 豊 樹

緒言：我々はヒト臍帯内皮細胞（HUVEC）の増殖能が高温（42℃）培養条件下で抑制されることを報告している。これは深部体温上昇が細胞増殖を抑制する可能性を示している。また、温泉地別府で65歳以上の市民を対象に温泉入浴と既往歴に関する疫学調査を行い、習慣的な温泉入浴が、がんの発症抑制を示唆する知見を得ており、温泉入浴による深部体温の上昇がこの効果につながると推定している。これらのことから、温浴等によるマイルドな深部体温上昇操作が、がん治療の補助に応用できないかと着想するに至った。これらを踏まえて、基礎的知見を得るべく、温度の変化が、放射線治療に見立てたX線照射後の体細胞やがん細胞の増殖能にどう影響するかを培養条件下で調べることにした。

方法：細胞培養がん細胞として、Jurkat 細胞（ヒト T 細胞系）と SLVL 細胞（ヒト B 細胞系）を用いた。（理研細胞バンクから購入）コントロールとして非がん細胞の HUVEC（ヒト臍帯静脈内皮細胞）を用いた。（Lonza Japan Ltd.から購入）いずれも 37℃下で、培養を開始し増殖の安定を確認して 10⁵/mL の細胞密度でまき直し培養を開始した。最初の 2 日間は、3つの温度条件（35℃、37℃または 39℃）のいずれかで培養し、以後 2 日目、4 日目、7 日目の細胞数をカウントした。X線照射 放射線治療のモデルとして X線照射（0Gy, 1Gy, 3Gy のいずれか）を行った。照射は X線照射装置により培養開始の 24 時間後に行った。

結果：HUVEC では、主に高温（39℃）で、非 X線照射、X線照射いずれの条件下でも増殖抑制が見られた。Jurkat では、非 X線照射条件では、低温（35℃）で増殖抑制が見られたが、X線照射後では主に高温（39℃）で増殖抑制が見られた。SLVL では、低温（35℃）下 X線照射後でのみ増殖抑制が見られた。

考察：X線照射後の増殖抑制効果が見られる温度は、定まった効果が見られるわけではなく、対象となる細胞によって異なる。実際の治療応用を目指すに当たっては、放射線照射対象がん細胞と周辺の正常組織の温度依存性放射線感受性を生検体材料などで事前に確認する必要があると考えられる。温度による放射線感受性が異なることは、患者の元々の深部体温により治療効果が異なる可能性を

示唆していると考えられる。結論 培養温度条件をかえることで、増殖抑制における放射線（X線）感受性は、がん細胞ごとに異なる可能性が示された。

表 1 温度別の各種細胞の増殖率に対する X 線照射の効果

HUVEC						
	35°C			39°C		
	2 days	4 days	7 days	2 days	4 days	7 days
0 Gy					↓	
1 Gy		↓			↓	↓
3 Gy					↓	
Jurkat						
	35°C			39°C		
	2 days	4 days	7 days	2 days	4 days	7 days
0 Gy	↓	↓				
1 Gy						
3 Gy		↓		↓	↓	
SLVL						
	35°C			39°C		
	2 days	4 days	7 days	2 days	4 days	7 days
0 Gy						
1 Gy	↓	↓				
3 Gy	↓	↓				

下向き矢印は、37°Cでの増殖に対して有意(p<0.05)に増殖が抑制されていたことを示している。

大分平野の地下構造

－ 地下地質の概要および調査手法 －

京都大学

竹村 恵二・楠本 成寿

摘要：

大分平野には、多数の温泉が掘削され、その資源保全や利活用の観点から高精度の地下構造の把握が望まれるとともに、地下構造の把握は、陸域の活断層（中央構造線、府内断層、堀田-朝見川断層、別府湾中央断層等）で発生する地震の被害想定や被害軽減のための、重要な情報である。これらを考察する上で、現在の水文的情報や地震学的情報の整理とそれを担う固体地球物理学や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が重要である。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は、下位から、三波川結晶片岩類、大野川層群、碩南層群、大分層群、段丘層と広く分布する大分平野を構成する沖積層である。

はじめに

大分平野には、多数の温泉が掘削され、その資源保全や利活用の観点から高精度の地下構造の把握が望まれるとともに、地下構造の把握は、陸域の活断層（中央構造線、府内断層、堀田-朝見川断層、別府湾中央断層等）で発生する地震の被害想定や被害軽減のための、重要な情報である。これらを考察する上で、現在の水文的情報や地震学的情報の整理とそれを担う固体地球物理学や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が重要である。ここでは、山地および丘陵に分布する大分平野周辺の地質を整理し、その上で、大分平野の温泉が分布し、防災の観点からも重要な平野下の、固体地球物理学や地質学からみた地下地質構造の概要とそのための調査手法の整理を試みる。

大分平野周辺の地質および地質構造

大分県の地質に関して、古生代から第四紀までの地質体の分布や、地質構造などに関して、多くの調査研究が実施されてきた。それらは、九州地方地質誌（松本ほか、1961）や大分県地質図（宮久、1971）などでまとめられ、その内容が他分野も含めて利用されてきた。特に、大分平野周辺の新生代の地質・構造のまとめとして、首藤（1953）は重要な研究成果であった。

その後、プレートテクトニクス等を含む地質学の進展にともなった集大成として、2010年には、日本地質学会編（2010）により日本地方地質誌8：九州・沖縄地方がまとめられた。大分県では、その成果および産業技術総合研究所の地質図幅やシームレス地質図等（産業技術総合研究所地質調査総合センター、2020；<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/viewer/>）を利用して、大分県の地質鉱物概説（大分県、2021）

がまとめられている。本報告では、この概説にもとづき、大分平野周辺の地質や大分平野地下に分布する可能性のある地層群に関して紹介する。

大分平野を取り巻く地質体は、大きく古第三紀までの基盤岩類と新第三紀以降現在までの基盤岩類を覆っている地層群にわけられる（図1、図2）。この大分類は、日本列島の成立の地史として、大陸縁辺に存在した日本列島が、大陸から離れ、日本海が成立し、現在のプレート配置での地質形成史に変化したことが大きく影響している。

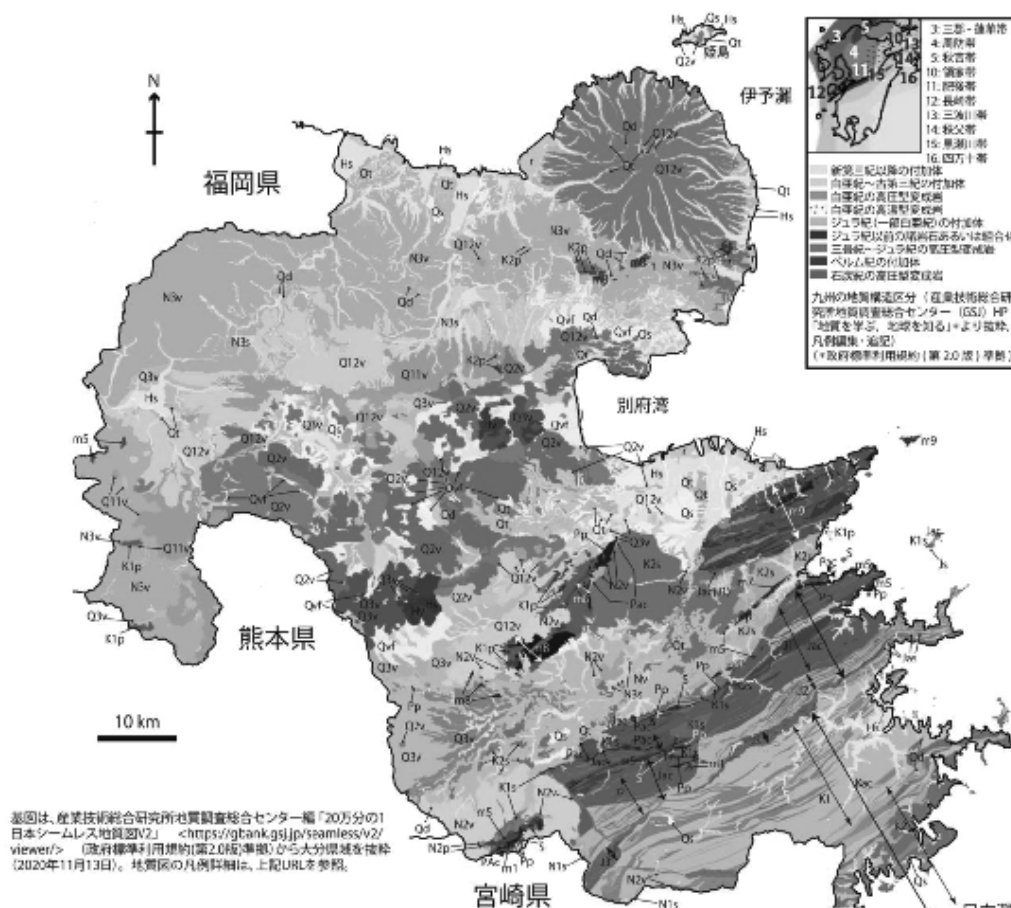


図1 大分県の地質図と九州の地質構造区分（大分県、2021）。

地層区分の詳細は大分県（2021）の地質図凡例を参照（<https://www.pref.oita.jp/site/oita-geonet/tennenkinenbutsu.html>）

地層・岩体を時代ごとの堆積岩や火山岩・深成岩・変成岩で分類。

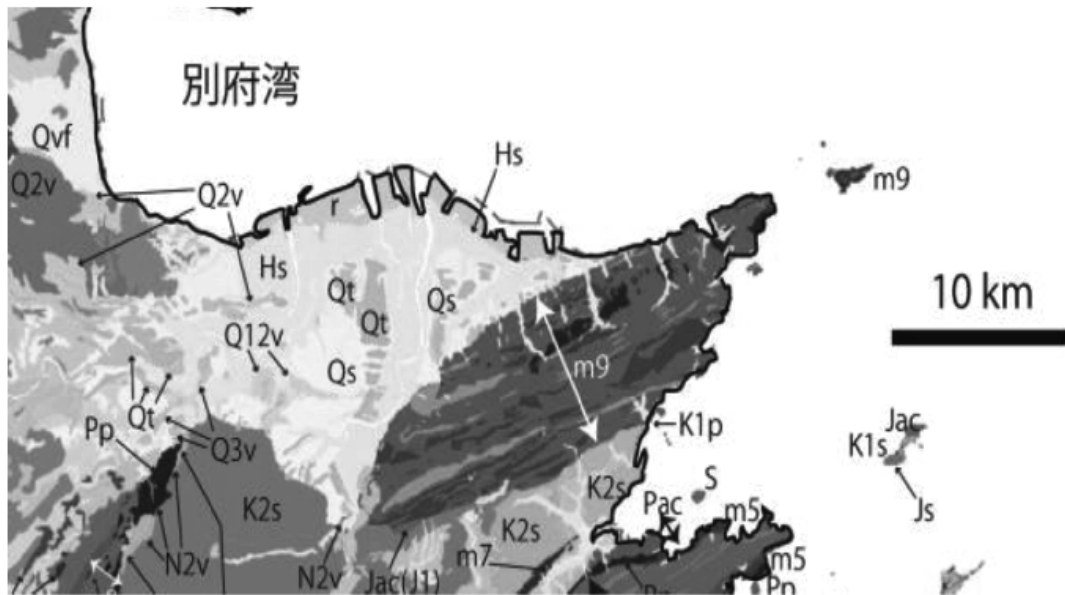


図2 大分平野および周辺の地質. 大分県 (2021) の地質図の一部.

主な凡例 : r; 埋立地, Hs; 沖積層, Qt; 更新世チバニアン紀-後期更新世段丘堆積物, Qs; 更新世ジェラシアン紀-チバニアン紀堆積物, Q12v; 更新世カラブリアン紀火山岩, N2v; 中新世火山岩, K2s; 後期白亜紀堆積岩, K1s; 前期白亜紀堆積岩, m9; 白亜紀-古第三紀高 P/T 型広域変成岩類, m8; 白亜紀-古第三紀低 P/T 型広域変成岩類

大分県は地体構造から、北部は西南日本内帯、南部は西南日本外帯にあたるが、西南日本外帯の最も北に位置するのが三波川帯であり、大分県では佐賀関半島（現在は大分市に含まれる）に分布が認められる。西南日本外帯は北から三波川帯、秩父帯、四万十帯に分けられ、各々の境界に大規模な構造線が認められてきた。最近では、地体構造区分の「帯」と表現される地質体は水平に近い低角の断層を介して重なっていることが示唆されている（齋藤ほか、2005 など）。このような考察のもとで、従来の複数の「帯」に地質体がまたがって表現されていて（齋藤・宮崎、2016 など）、九州はその交錯が複雑になっており（図3）、大分平野および地下の地質分布はその点からも注目される。

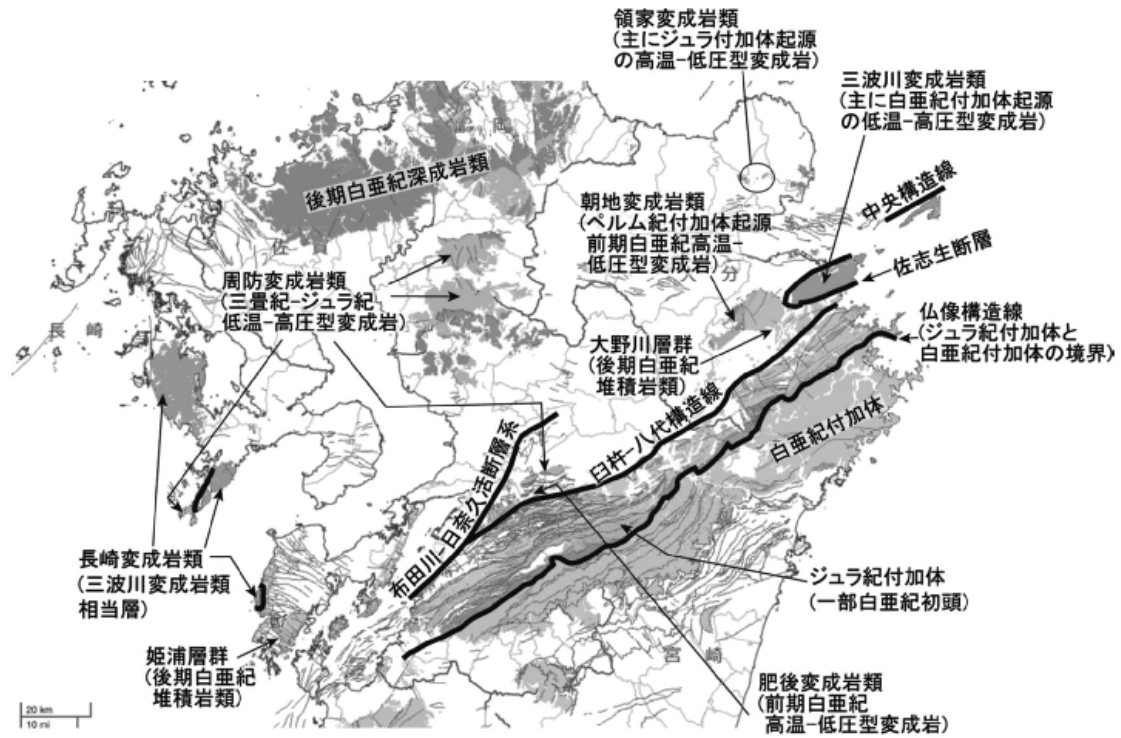


図3 九州北中部の中生代以前の地層の分布 (20 万分の1 日本シームレス地質図より作成 (齋藤・宮崎, 2016))

西南日本内帯と外帯の境界は中央構造線であると定義されており、今回の大分平野の地下構造の関連では、三波川帯の北境界はどのようなトレースになるのか、内帯に含まれる領家帯を構成する岩石群が分布するのか、分布するとすればどのような分布になるのかが課題となる。大分平野地下に存在する地層群の確認のためには、基盤岩類として地表に分布する地層群の確認が有効である。大分平野を取り巻く基盤岩類は、東から三波川変成岩類 (m9; 白亜紀-古第三紀高 P/T 型広域変成岩類)、大野川層群 (K2s; 後期白亜紀堆積岩, K1s; 前期白亜紀堆積岩)、大分平野の西方の野津原付近に分布する朝地変成岩類 (m8; 白亜紀-古第三紀低 P/T 型広域変成岩類) である (図2)。

新第三紀以降現在までの基盤岩類を覆っている地層群として、堆積岩類と火山岩類が複雑な時系列で埋積・堆積している (図4、図5)。大分周辺では、碩南層群、大分層群、段丘堆積物及び沖積層がこの時代の地層であり、大分平野および地下に分布している地層群である。また、1950年代以降の新産都コンビナートなどの埋め立て地も考慮すべき地層として認識することも重要である。

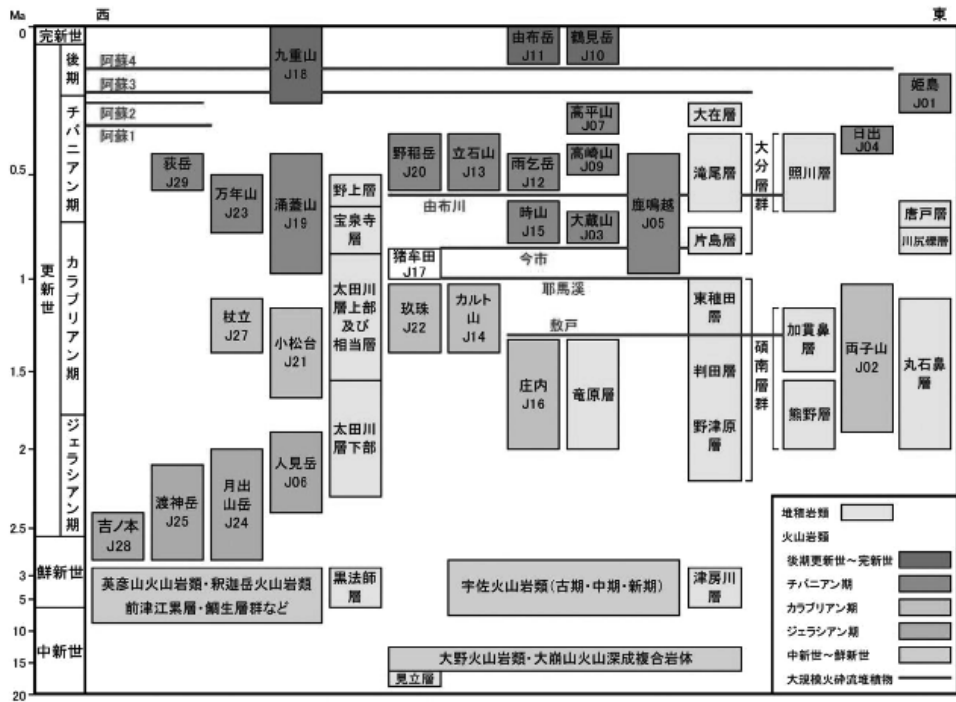


図4 大分県の新第三紀以降の火成岩・堆積岩層序関係図（大分県、2021）

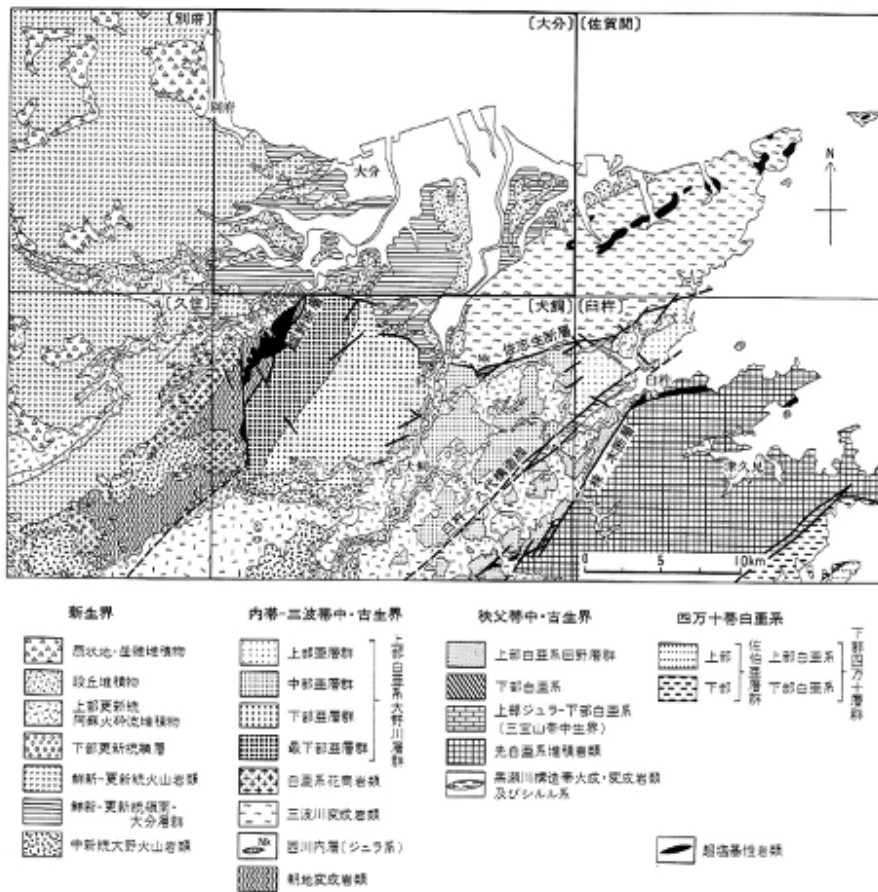


図5 5万分の1地質図幅「大分」地域周辺の地質概略図（吉岡ほか、1997）

地下構造を推定するための調査手法

地下深部に分布する地質体も含めて、大分平野周辺の地質層序と分布形態を示す地質構造（特に地質分布形態と断層による分布不連続形態など）を推定するためには、地質学および地球物理学的調査が有用である。

地質学的方法では、下記の2つが基本的に挙げられる。

表層地質と構造調査（地質調査）：標準的な地質調査である表層地質から得られる地質体の層序と構造を含めた地質体の分布形態をまとめた地質図（吉岡ほか、1997、星住ほか、1988 など）が有効である。その結果は、前章で述べた、基盤岩としての結晶片岩から沖積層である。

地下地質推定のボーリング調査：地質体の分布状況や地下分布深度等の情報を得るには、地下地質推定のボーリング調査が有効であり、大分平野には多くの温泉掘削や建設工事等のボーリングが貴重な試料・資料である（森山・日高、1986 など）。これまで平野での掘削により観察された地質は、碩南層群・大分層群と段丘堆積物・沖積層であり、地下 800m 程度までの地下層序が明らかにされている。

地球物理学調査では、下記の多様な手法が挙げられる。

重力探査：ブーゲー異常を用いて地下の密度構造を推定する。地球上で測定された重力値に、地球の形と質量から理論的に求められる正規重力、重力測定点の高さの違いによる効果、さらに重力測定点周辺の地形の引力効果を補正してブーゲー異常が得られる（例えば、萩原、1978）。当該地域では、駒澤・鎌田(1985)、由佐ほか(1992)、Kusumoto et al. (1996)、Itoh et al. (2013)、Nishijima and Naritomi (2017)らにより、ブーゲー異常を用いた堆積盆地の堆積量の見積りや地下構造推定等が行われている。

近年、重力偏差テンソルを用いた構造解析が行われてきている（例えば、Beiki and Pedersen, 2010; Martinetz et al., 2013; Cevallos et al., 2013; Kusumoto, 2017）。重力偏差テンソルとは、重力異常ベクトル($\Delta g_x, \Delta g_y, \Delta g_z$)の x, y, z 方向への空間微分として定義される（例えば、Torge, 1989; Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005）。重力偏差テンソルは計測され得る量であるが、ブーゲー異常 Δg_z から計算により見積りすることもできる（例えば、Mickus and Hinojosa, 2001）。楠本(2015)と Kusumoto (2016)は、重力偏差テンソルの最大固有ベクトルの傾斜角から中央構造線西端と大分-熊本構造線の断層傾斜角分布を推定している。

弾性波探査（地震探査）：弾性波を用いて地下構造を推定する。弾性波が媒質を伝播する速度と媒質の密度の積を音響インピーダンスというが、この音響インピーダンスが異なる境界で弾性波は反射・屈折する。屈折波を用いてこの境界層の位置と形状を推定する探査手法が屈折法地震探査であり、反射波を用いた探査手法が反射法地震探査である（例えば、佐々ほか、1993）。陸域調査ではダイナマイトが有効な震源であるが、反射法地震探査では構造物への影響も含めた周辺環境負荷が低いバイブレータを用いた震源がよく採用される（例えば、物理探査学会、2016）。海域調査ではエアガンやウォーターガンが震源として用いられる（例えば、物理探査学会、2016）。本地域の広域データとして、別府湾における由佐ほか（1992）などの情報が有用である。大分平野では、地震調査研究推進本部が実施した活断層および地下構造探査（大分県、1999～2004）、産業技術総合研究所データ、京都大学・文部科学省の別府一万年山断層帯活断層重点調査によ

る情報（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科, 2017）を整理活用することで、地下構造（地層の境界や分布形態、断層構造など）を明らかにできる。これまでの弾性波探査は2次元探査であったが、2020年に高分解能三次元反射法地震探査が別府湾東方海域で実施されている（寺西ほか, 2020）。

地中レーダ探査: 照射した電磁波の反射波の到来方向と往復時間から対象物の位置を推定する計測法がレーダである。これを地下形状計測に応用した探査手法が地中レーダ探査であり、地中電磁波の反射・透過現象を利用する（例えば、物理探査学会, 2016）。大分平野では府内断層周辺で実施されており（中西ほか, 2019）、表層近くでの地下構造推定に有効である。

電磁探査ほか: 電磁探査とは、電磁誘導現象を利用した電気探査である。電気探査とは、地中に電極を介して電気を流し、媒質の比抵抗構造を知る探査手法のことである。電磁探査では、測定点の電場と磁場の関係から比抵抗に関する情報を得ることができ、可探深度が大きいことが特徴としてあげられる（例えば、佐々ほか, 1993; 物理探査学会, 2016）。得られた比抵抗構造は、他の物理探査結果と組み合わせることにより、媒質を構成する物質を絞り込むことができる。当該地域では、相澤ほか(2016)、山本ほか(2021)、Aizawa et al. (2022)により比抵抗構造が推定されている。

自然地震: 自然地震は地震発生層、地殻内の応力場、非弾性ひずみ場の情報、すなわち地殻内の応力・ひずみ状態を教えてくれる。地震発生領域の下限（D95：地殻内で起こる総地震数の95%）と上限（D5：地殻内で起こる総地震数の5%）を示すパラメータは、地殻の強度を示唆する。Matsumoto et al. (2015) および Matsumoto et al. (2016) にこれらの情報と地殻の応力・ひずみ情報が示されている。また、別府-万年山断層帯活断層重点調査（文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科, 2017）にもデータが報告されている。

大分平野の地下に分布する地層群

この報告では、大分平野周辺に分布する地層群についてまとめる。上記の調査手法は大分平野周辺でも多く適用されてきた。地震調査研究推進本部が実施した活断層および地下構造探査（大分県, 1999~2004）、産業技術総合研究所データによる情報や文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科（2017）による「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」の成果報告も関連する情報が記載されている。

大分平野の地下に分布する可能性のある地層群としては、まず地表地質図でまとめられた地質体であり、下位から、三波川結晶片岩類、大野川層群、碩南層群、大分層群、段丘層と広く分布する大分平野を構成する沖積層（吉岡ほか, 1997; 大分図幅や寺岡ほか, 1992; 犬飼図幅など）である。

三波川変成岩類は、佐賀関半島から大野川流域まで分布しており、大分平野の基盤を構成していると考えられることができる。由佐ほか（1992）の別府湾東部の反射法データによれば、北に向かって傾斜する三波川帯が北側から傾斜する領家帯との境界が明らかにされており（図6）、さらにこの反射法のデータからいくつかの構造の解釈が実施され（Takemura et al., 1994; Itoh et al., 1998 など）、この境界の西方への延長や大分平

野地下への分布状況を明らかにすることが重要である。しかし、大分平野内の基盤構造等を知るためには、別府湾を含む基盤構造の詳細を明らかにすることが必要であり、これまでの別府湾を取り巻く地震探査結果が、Itoh et al. (2014)でまとめられている。その結果、別府湾から大分平野に向けて基盤が浅くなっていることが紹介されている。大分平野の南方の基盤分布域までの連続的な基盤構造を三波川変成岩の北限や基盤地質の地質境界としての中央構造線、活構造としての中央構造線の分布との関係で確認することは重要な課題となる。そのためには、平野内で実施した地震探査の結果と対応する地下地質の解析が必要であり、掘削試資料の追加調査を含めて、この点の詳細調査が期待される。

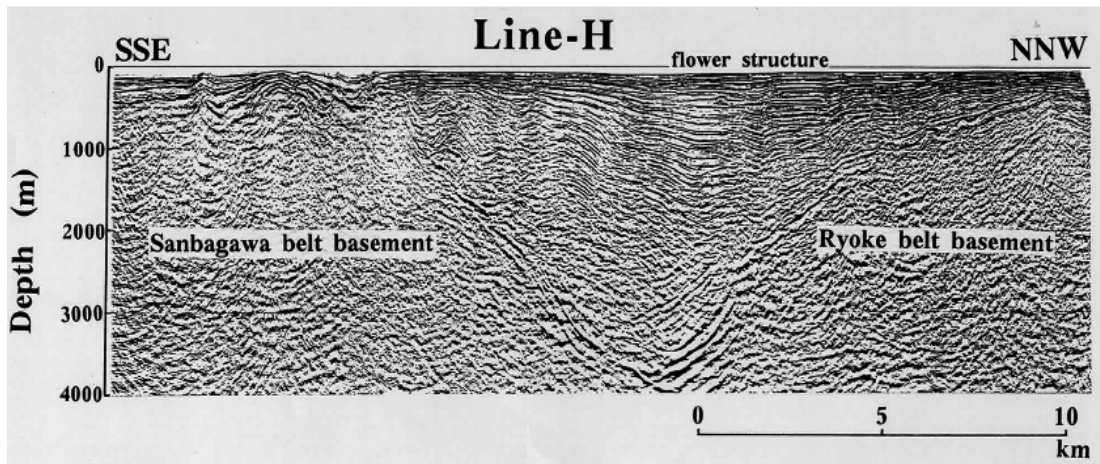


図6 別府湾東部の南北測線による反射法地震探査結果 (Takemura et al., 1994)

また、大分平野下に大野川層群が分布するかどうか、分布するとすれば、どのような地下形態で分布するかの検討も課題となる。大野川層群は、大野川東岸域で三波川帯の地層群を取り巻くように分布し、大野川西岸では、碩南層群判田層に覆われており、その境界が大分平野側地下にどのような分布をするかの確認が必要である。西部の朝地変成岩類も、碩南層群に覆われているが、北方の地下への連続性は不明である。なお、大分平野西方の城島高原の掘削では白亜紀の花崗岩が採取されており、この岩石の東方への分布も考察の必要がある。

基盤岩を覆う新生代第三紀以降の地層群としては、地表露出する碩南層群、大分層群、段丘堆積物および沖積層が、少なくとも800mを超える温泉掘削の情報から、大分平野地下にも存在していることが知られている (森山・日高、1986)。平野部では、基盤岩に到達する資料・試料は確認されていない。基盤深度構造を想定するためには、地震探査・重力探査等の物理探査のデータから推定することが必要である。大分平野地下での碩南層群・大分層群の上位に、段丘堆積物相当の地層と沖積層が重なっている。浅部の構造解析のためには浅部のボーリングの解析と浅層の物理探査の総合的な解析が重要である。

まとめ

現在の地質学的知見から、大分平野地下に分布する可能性のある地層群として、大分平野を取り巻く地質体は、大きく古第三紀までの基盤岩類と新第三紀以降現在までの基盤岩類を覆っている地層群が挙げられる。大分平野を取り巻く基盤岩類は、東から三波川変成岩類、大野川層群、大分平野の西方の野津原付近に分布する朝地変成岩類である。新第三紀以降現在までの基盤岩類を覆っている地層群として、大分周辺では、碩南層群、大分層群、段丘堆積物及び沖積層があり、大分平野および地下に分布している地層群である。平野下の基盤岩の深度は、別府湾から南に向かって浅くなるが、どの地質体が平野下に分布するかは、明確ではない。東方の佐賀関半島から続く三波川変成岩類の北境界が別府湾からどのようにつながるかを検討することや、また、西方に分布する花崗岩類の分布からの推定も合わせて考えることも必要となる。

文献

- 相澤広記・小山崇夫・志藤あずさ・若林翌馬・宮崎真大・内田和也・塚島祐子・塚本果織・高島 奏・近藤健太郎・河本洋輝・藤田詩織・山本有人・緒方美季・上嶋 誠(2016): 別府一万年山断層帯の比抵抗構造, 地球惑星科学連合大会, 2016.05.
- Aizawa, K., Utsugi, M., Kitamura, K., Koyama, T., Uyeshima, M., Matsushima, N., Takakura, S., Inagaki, H., Saito, H., and Fujimitsu, Y. (2022): Magmatic fluid pathways in the upper crust: insights from dense magnetotelluric observations around the Kuju Volcanoes, Japan. *Geophys. J. Int.*, 228, 755–772.
- Beiki, M., and Pedersen, L. B. (2010): Eigenvector analysis of gravity gradient tensor to locate geologic bodies, *Geophysics*, 75, I37–I49.
- 物理探査学会 (2016): 物理探査ハンドブック 増補改訂版, 公益社団法人 物理探査学会.
- Cevallos, C., Kovac, P., and Lowe, S. J. (2013): Application of curvatures to airborne gravity gradient data in oil exploration, *Geophysics*, 78, G81–G88.
- 萩原幸男 (1978): 地球重力論, 共立全書, 共立出版.
- Hofmann-wellenhof, B., and Moritz H. (2005): *Physical Geodesy*, Springer, Berlin.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988): 「別府地域の地質」5万分の1地質図幅及び説明書, 131頁. 地質調査所.
- Itoh, Y., Takemura, K. and Kamata, H. (1998): History of basin formation and tectonic evolution at the termination of a large transcurrent fault system: deformation mode of central Kyushu, Japan. *Tectonophysics*, 284, 135–150.
- Itoh, Y., Kusumoto, S., and Takemura, K. (2013): Characteristic basin formation at terminations of a large transcurrent fault: Basin configuration based on gravity and geomagnetic data, *Mechanism of Sedimentary Basin Formation - Multidisciplinary Approach on Active Plate Margins* (Edit. Y. Itoh), InTech, 255–272. doi: 10.5772/56702
- Itoh, Y., Kusumoto, S. and Takemura, K. (2014): Evolutionary process of the Beppu Bay in central Kyushu, Japan: a quantitative study of basin-forming process under the control of plate convergence modes. *Earth, Planet and Space*, vol. 66, 66–74 (doi:10.1186/1880-5981-66-74).
- 駒澤正夫・鎌田浩毅 (1985): 豊肥地域の重力基盤構造, 地質調査所報告, 264, 305–333.

- 楠本成寿 (2015): 重力勾配テンソルの固有ベクトルを用いた断層あるいは構造境界の傾斜角の推定, 物理探査, **68**, 277-287.
- Kusumoto, S. (2016): Dip distribution of Oita–Kumamoto Tectonic Line located in central Kyushu, Japan, estimated by eigenvectors of gravity gradient tensor. *Earth, Planets and Space*. 68:153. DOI 10.1186/s40623-016-0529-7
- Kusumoto, S., (2017): Eigenvector of gravity gradient tensor for estimating fault dips considering fault type, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 4: 15. doi: 10. 1186/ s40645-017- 0130-0
- Kusumoto, S., Fukuda, Y., Takemoto, S., Yusa, Y. (1996): Three-dimensional subsurface structure in the eastern part of the Beppu–Shimabara Graben, Kyushu, Japan, as revealed by gravimetric data. *J. Geod. Soc. Jpn.* 42, 167–181.
- Martinetz, C., Li, Y., Krahenbuhl, R., and Braga, M. A. (2013): 3D inversion of airborne gravity gradiometry data in mineral exploration: a case study in the Quadrilatero Ferrifero, Brazil, *Geophysics*, 78, B1-B11.
- 松本達郎・野田光雄・宮久三千年 (1961) : 日本地方地質誌・九州地方, 423p, 朝倉書店 (東京).
- Matsumoto, S., Nakao, S., Ohkura, T., Miyazaki, M., Shimizu, H., Abe, Y., Inoue, H., Nakamoto, M., Yoshikawa, S. and Yamashita, Y. (2015): Spatial heterogeneities of deviatoric stress inferred from the focal mechanisms and its relation to the shear zone in Kyushu, Japan. *Earth, Planets and Space*, 67, 172, doi : 10.1186/s40623-015-0342-8,
- Matsumoto, S., Nishimura, T. and Ohkura, T. (2016): Inelastic strain rate in the seismogenic layer of Kyushu Island, Japan, *Earth, Planets and Space*, 68:207, DOI: 10.1186/s40623-016-0584-0.
- Mickus, K. L., and Hinojosa, J. H., (2001): The complete gravity gradient tensor derived from the vertical component of gravity: a Fourier transform technique, *Jour. Appl. Geophys.*, **46**, 159-174.
- 宮久三千年 (1971) : 大分県地質図, 大分県. (協力者: 森山善蔵・橋本 勇・松本徃夫・日高 稔・横溝宏佳)
- 森山善蔵・日高 稔 (1986) : 大分市温泉の地質. 大分県温泉調査研究会報告, 37 号, 38–49.
- 文部科学省研究開発局・京都大学大学院理学研究科 (2017) : 「別府一万年山断層帯 (大分平野一由布院断層帯東部) における重点的な調査観測」平成 26～28 年度成果報告書, 526p.
https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/beppu_haneyama/h28/26_28Report_all.pdf
- 中西利典・木村治夫・松山尚典・ホンワン・堀川義之・越後智雄・北田奈緒子・竹村恵二 (2019) : 群列ボーリング調査と地中レーダー探査による伏在活断層の活動履歴の検討—大分平野西部の府内断層の例—. *第四紀研究*, 58, 163–173.
- 日本地質学会編 (2010) 日本地方地質誌 8 九州沖縄地方.朝倉書店, 東京, 619p.
- Nishijima, J., and Naritomi, K. (2017): Interpretation of gravity data to delineate undergroundstructure in the Beppu geothermal field, central Kyushu, Japan. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. *Jour. Hydrol.: Regional Studies*, 11, 84–95.
- 大分県 (1999) 別府一万年山断層帯に関する調査.平成 10 年度地震関係基礎調査交付金

- 成果報告書,70p.
- 大分県（2000）別府一万年山断層帯に関する調査.平成 11 年度地震関係基礎調査交付金
成果報告書,155p., 50p., 60p., 52p.
- 大分県（2001）別府一万年山断層帯に関する調査.平成 12 年度地震関係基礎調査交付
金成果報告書,171p.
- 大分県（2002）別府一万年山断層帯に関する調査.平成 13 年度地震関係基礎調査交付
金成果報告書, 62p., 65p., 45p.,85p.
- 大分県（2003）別府一万年山断層帯に関する調査.平成 14 年度地震関係基礎調査交付金
成果報告書,70p.
- 大分県（2004）別府一万年山断層帯に関する調査.平成 15 年度地震関係基礎調査交付金
成果報告書,70p.
- 大分県（2021）：大分県の天然記念物（地質鉱物）：天然記念物緊急調査（地質鉱物）報
告書増補改訂版, 204p.
- 斎藤 眞・宮崎一博・利光誠一・星住英夫（2005）砥用地域の地質. 地域地質研究報告
（5 万分の 1 地質図幅）, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 218p.
- 斎藤 眞・宮崎一博（2016）平成 28 年（2016 年）熊本地震及び関連情報：中央構造線に
関する現在の知見－九州には中央構造線はない－.GSJ 地質ニュース, vol.5, p.175-178.
- 佐々宏一・芦田 讓・菅野 強（1993）：建設・防災技術者のための物理探査, 森北出版.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター（2020）：20 万分の 1 日本シームレス地質図
V2. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/viewer/>
- 首藤次男（1953）：豊州累層群の地史学的研究（I）（II）. 地質学雑誌, 59, 225－240,
372－384.
- Takemura, K., Yusa, Y. and Itoh, Y. (1994): Quaternary tectonic movements around Beppu Bay at the
western end of the Median Tectonic Line, southwest Japan. Spec. Pub. Jour. Geod. Soc. Japan
(Proc.CRCM'93, Kobe), 401-405.
- 寺西陽祐・村上文俊・塚原 均・今野 恵・佐藤紀男・川崎慎治・東中基倫・小澤岳史・須田
茂幸・猪野 滋・阿部 進・竹村恵二・大沢信二（2020）：高分解能三次元地震探査システ
ム実証試験（別府湾での調査例）. 物理探査学会第 143 回学術講演会論文集, 123－126.
- 寺岡易司・宮崎一博・星住英夫・吉岡敏和・酒井彰・小野晃司（1992）犬飼地域の地質.
地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅）, 地質調査所, 129p.
- Torge, W. (1989): Gravimetry, De Gruyter, Berlin and New York, 1989, 465 pp.
- 山本有人・相澤広記・村松 弾・安仁屋智・田辺暖柊・若林翌馬・藤田詩織・志藤あずさ・
小山崇夫（2021）：別府地熱地帯の比抵抗構造から推定する流体の移動経路, Conductivity
Anomaly 研究会論文集, 36-37.
- 吉岡敏和・星住英夫・宮崎一博（1997）大分地域の地質.地域地質研究報告（5 万分の 1
地質図幅）, 地質調査所,65p.
- 由佐悠紀・竹村恵二・北岡豪一・神山孝吉・堀江正治・中川一郎・小林芳正・久保寺 章・
須藤靖明・井川 猛・浅田正陽（1992）：反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下
構造. 地震, 45, 199-212.

大分平野における適正な温泉坑井離隔距離 に関する理論的検討

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

深層熱水型温泉のひとつである大分市温泉を調査地域とし、実測データに基づくパラメータ設定と簡易な理論モデルから適正な坑井離隔距離に関する検討を行った。その結果、本地域では源泉から半径 500 m まで水位変化に影響が起ころうる可能性が示唆された。さらに温泉水データの時系列解析から、本地域は 15 年の時間スケールで滞留している可能性があり、開発から 50 年以上が経過した箇所ではその影響が徐々に表面化している可能性が示唆された。

1. はじめに

大分平野に多数湧出する温泉は、いわゆる深層熱水型温泉であり、堆積層中の間隙水が地温によって温められ賦存していると考えられている。このような深層熱水型温泉は、火山性の温泉に比べ透水性も熱流量も劣り、貯留量にも限りがあるため、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。吉川・北岡 (1981) でも当地域では「源泉間の距離規制に浅層温泉地とは別個の基準を適用する」必要が指摘されているが、40 年以上経過した現在でも、深層熱水型温泉を対象とした研究例は少なく、未だ適正な坑井離隔距離に関する知見は得られていない。本研究では、適切な規制に関する第一歩として、先行研究をもとにした理論的検討から大分市内の温泉地の適正利用に関する知見を得ることを目的とする。

別府地域では、山下 (1967) が滲出項を考慮した温泉流動理論モデルから適正な坑井離隔距離に関する指標を導いている。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。その結果、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を確認し、多くの場合山下 (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、また大分市内の温泉において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る。他方、大分平野に関する研究例として、吉川・北岡（1985）は地温と深さの関係に関する実測データから、本地域の熱水流動が水平多層構造内の側方流と断層破碎帯内の上昇流で単純にモデル化できるとし、理論的な考察を行った。本研究では、吉川・北岡（1985）の理論モデルに山下（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、両者のモデルの統合を試み、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。さらに開発から 50 年余りの間に泉温および泉質に影響が出ていないか調べるため、温泉水データ（大分県，2021）から抽出した時系列変化を由佐（1987）の理論式にあてはめ、大分市内の温泉地の現況に関する考察を行った。

2. 大分平野の温泉と水理地質モデル

吉川・北岡（1981）によると、大分市街地域の温泉開発は 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。現在では、300 を超える温泉井が大分県温泉情報データベース（大分県，2021）に登録されている。図 1 は、大分県温泉情報データベース（大分県，2021）をもとに各源泉の位置を掘削深度ごとに色分けして表示した分布図である。吉川・北岡（1985）は、泉温 53 °C 以上の比較的高温な温泉は大分平野に伏在する府内断層（別府-万年山断層帯の一部）等の断層破碎帯沿いに集中していることを報告している。また本地域には塩分濃度の高い温泉が存在することが古くから知られていたが（野田・北岡，1981）、高塩分型深層熱水の大半



図 1：大分市内温泉地の源泉分布図。色は掘削深度，破線は断層の推定位置を示す。

が火山性の二酸化炭素に由来していること（大沢，2001），さらにはそれが沈み込むスラブからの脱水流体である可能性（網田ほか，2005）も指摘されている。これらの研究からも，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ているとする吉川・北岡（1985）の仮説が支持される。温泉掘削中の温度検層から得られた地温の鉛直分布が顕著な伝導型を示すことも本地域の大きな特徴である（吉川・北岡，1985；図 2a の黒丸）。また大分市温泉の地質は礫岩・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，空隙率の高い礫岩および砂岩層にその多くが貯留されていることが想像される。これらの最大層厚はおよそ 200 m である（森山・日高，1986）。以上のことから，吉川・北岡（1985）を参考に図 2（b）のような 1 次元水理地質モデルを考える。この水平多層モデルは，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，断層面に沿ってのみ上昇しうることを想定している。このとき上昇流の温度 T は，流量と熱量に関する連続の式を連立させた以下の式から求められる（吉川・北岡，1985）。

$$\frac{dT}{dz} = \frac{q}{Q}(T - \theta) = \sqrt{\frac{b}{K}} \coth\left(\sqrt{\frac{b}{K}}(a - z)\right)(T - \theta) \quad (1)$$

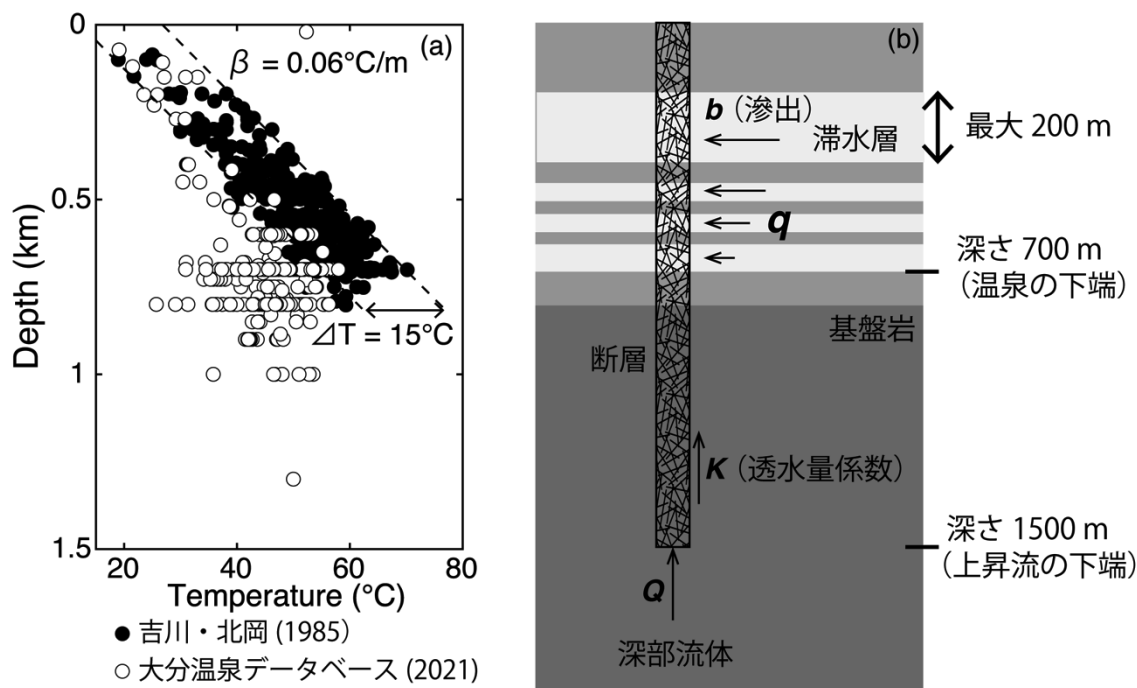


図 2：(a) 温泉掘削中の温度検層（吉川・北岡，1985）および掘削深度と泉温の関係（大分県，2021）から得られた地温の鉛直分布。(b) 吉川・北岡（1985）を参考に本研究で考える 1 次元水理地質モデル。

ここで、 z [m]は深さ、 Q [m²/h]および q [m/h]はそれぞれ鉛直および側方の流量、 θ [°C]は地温、 a [m]は Q が十分無視できる深さ（上昇流の下端深度）である。滲出に関する係数 b [h⁻¹]はここでは帯水層内の移流方向に定義され、ダルシーの法則と比較すると $b = kL$ (k [m/h]は透水係数、 L [m]は距離) の関係にあるはずである。つまりここでの b/K は断層と帯水層の透水性の比のようなものを反映しており、後述の山下 (1961) とはモデル設定が異なることに注意が必要である。

ここで地温 θ の鉛直プロファイルが図 2 (a) に示すような伝導型であることを考慮すると、切片 α と地温勾配 β を用いて $\theta = \alpha + \beta z$ と書ける。また $z = a$ で $T = \theta$ であること、 $\tanh\left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{b}{K}}(a-z)\right) \cong 1$ (つまり $a \gg z$) のときを考えると、式 (1) は最終的に以下のよう書き下すことができる。

$$T = \theta + \frac{\beta}{\sqrt{\frac{b}{K}}} = \alpha + \frac{\beta}{\sqrt{\frac{b}{K}}} + \beta z \quad (2)$$

式 (2) は、上昇流の温度と地温の差 $\Delta T (= T - \theta)$ が深さ z に関わらず $\beta/\sqrt{b/K}$ で表されることを示しており、 $\Delta T = 15$ °C、 $\beta = 0.06$ °C/m とすると $\sqrt{b/K} = 4 \times 10^{-3}$ m⁻¹が得られる。

なお温泉のだいたいの下端深度 $z = 700$ m において $\tanh\left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{b}{K}}(a-z)\right) \geq 0.9$ が成り立つためには、 $a \geq 1430$ m である必要がある。上昇流の下端深度が断層の下端であると考えると、千田ほか (2004) の反射法地震探査による断層イメージングの結果からもある程度妥当であると考えられる。しかし大分県温泉情報データベース (大分県, 2021) の各源泉の深度と温度の関係をプロットすると、 $z > 700$ m の深さでも開発が進んでおり、掘削当時のデータより現在の値がやや低温側にシフトしている傾向がある (図 2b)。今後の課題としてこれらのデータに基づいてパラメーターを再検討する必要があるが、本研究ではまずは吉川・北岡 (1985) の試算した $\sqrt{b/K} = 4 \times 10^{-3}$ m⁻¹を使用して以降の検討を進める。

3. 水位低下に関する理論的検討

山下 (1961) は、Theis の式 (Theis, 1935) に滲出項を導入することで以下のような拡張した拡散方程式を提案した。

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial s}{\partial r} \right) - \frac{b}{K} s = \frac{S}{K} \frac{\partial s}{\partial t} \quad (3)$$

ここで s [m]は、揚湯開始後の経過時間 t [h]と井戸からの距離 r [m]の関数である水位低下、 b [h⁻¹]は不透水層への滲出係数、 K [m²/h]は帯水層の透水量係数、 S [-]は貯留係数

である。この問題設定は、上下を不透水層に挟まれた温度一定の帯水層から一定の体積流量で揚湯する際の水位低下を想定している。この解析解は、初期状態では水位低下は一様にゼロであること、孔口の太さが無限に広がる帯水層に比べて無視できるほど小さいことを仮定することで導出できる (Hantush and Jacob, 1955; 松本・糸井, 2022)。

ここで求まる解析解は無次元化した水位変化量 $\frac{s}{Q/4\pi K}$ であり、未知数として滲出の大きさを表すパラメータ b/K のみを必要とする。別府地域の例では、山下 (1967) が揚湯停止後の水位測定によって $b/K = 1.23 \times 10^{-3} \text{m}^2$ と見積もった。本研究対象である大分市では実測例がないが、吉川・北岡 (1985) のモデルから試算された $b/K = 1.6 \times 10^{-5} \text{m}^2$ を参考値とし、山下 (1967) と同様の解析を行った。解析はプログラミング言語 MATLAB を使用し、松本・糸井 (2022) を参考に解析解に含まれる変形ベッセル関数と指数積分の演算を行った。

図 3 はその解析の結果で、別府温泉の場合 (山下, 1967) と大分市温泉の場合で水位低下の影響がある距離が大きく異なることがわかる。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、大分平野の場合のパラメータ設定が真である場合、本地域では 500 m ほどの離隔距離が必要となる。モデル設定やパラメータ設定等にはさらなる検討が必要であるが、少なくとも別府温泉のデータに基づいた必要離隔距離は大分市温泉にそのまま適用できない可能性が強く示唆された。

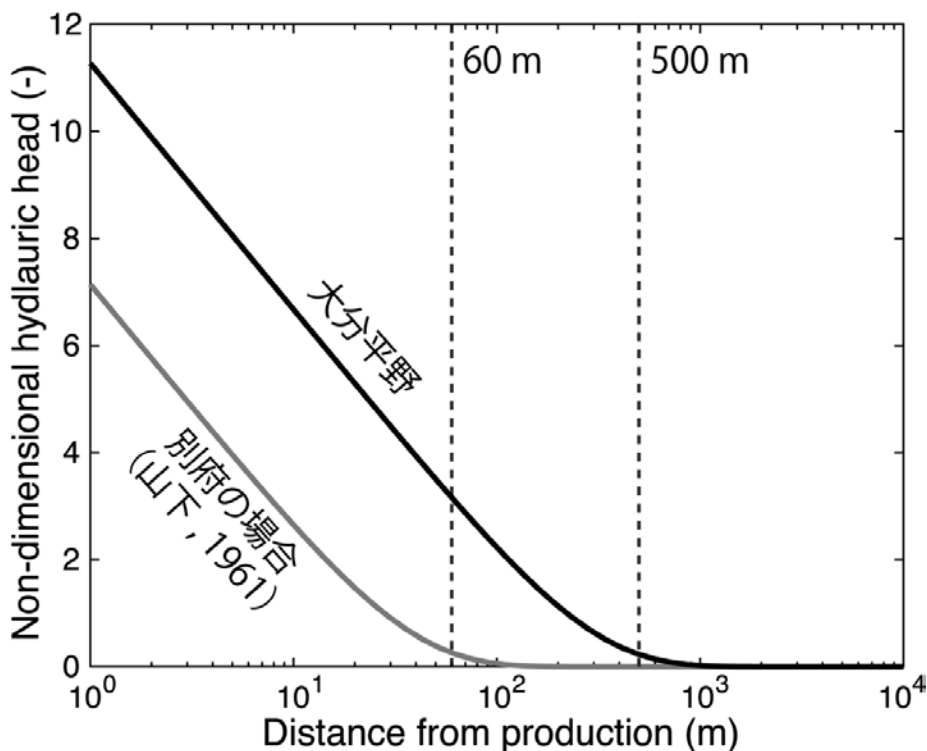


図 3：定常状態における井戸周辺の水位の分布。黒実線は大分市温泉，グレーの実線は別府温泉の場合のパラメータ b/K に基づく試算。

4. 泉温と泉質の時間変化

3章の結果から現行の離隔距離では水位変化に影響が出る可能性が示唆されたが、もしこの試算が正しければ、開発から50年余りが経過するこの地域では既に影響が出始めていることになる。3章のモデルは定常状態を仮定していたが、由佐(1987)は温泉水系の lumped parameter model を考え、開発に伴う温泉水位・泉質・泉温の時間変化を下記の式で簡略化し考察している。

$$\Delta H = \frac{\varepsilon}{1 + \eta} (1 - e^{-\alpha t}) \quad (4)$$

$$\Delta C = \frac{\varepsilon}{1 + \eta + \eta\varepsilon} (1 + \eta + \eta\varepsilon e^{-\beta t}) \quad (5)$$

$$\Delta\theta = \frac{\varepsilon}{1 + \eta + \eta\varepsilon} (1 + \eta + \eta\varepsilon e^{-\gamma t}) \quad (6)$$

ここで ΔH 、 ΔC 、 $\Delta\theta$ はそれぞれ無次元化した水位、泉質、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、 α は水位低下速度、 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。

図4は、 $\varepsilon=0.5$ 、 $\eta=1$ 、 $\alpha = 0.4/\text{day}$ 、 $\tau=15$ 年、 $n=0.3$ 、 $\rho c=1 \text{ cal/cm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $\rho_r c_r=0.5 \text{ cal/cm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ としたときの式(4)、(5)、(6)の試算結果である。由佐(1987)が指摘しているとおり、温泉開発の影響は、まず水位変化として観測され、次いで泉質変化、最後に遅れて泉温変化が現れ始めることがわかる。本研究では、このうち大分県温泉情報データベース(大分県, 2021)に収録されている塩化物イオン濃度と泉温について、同一源泉の時間変化が抽出できた全65地点の実データと比較する。

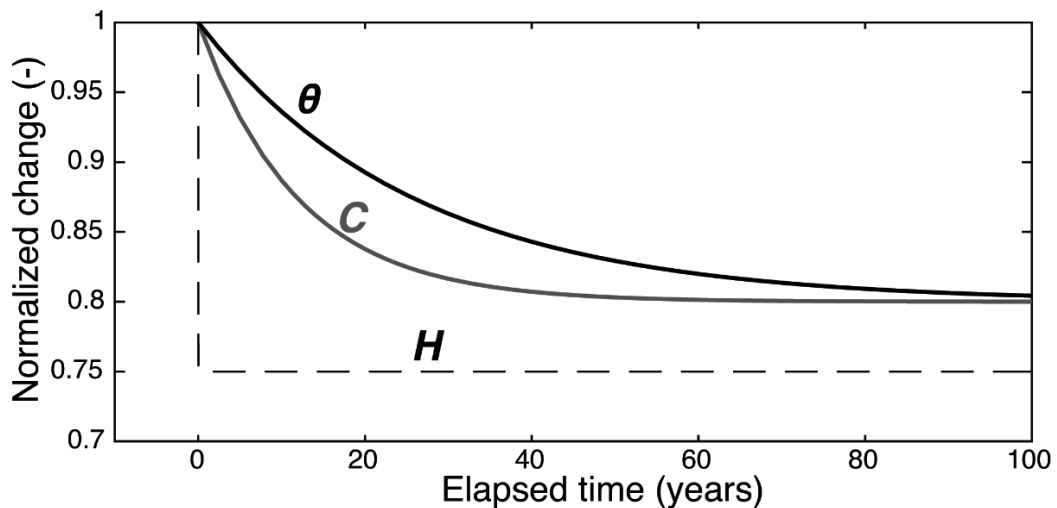


図4：温泉開発に伴う無次元化された水位 H 、泉質 C 、および泉温 θ の時間変化。

図5は、初期値で規格化した泉温 (a) と塩化物イオン濃度 (b) の時間変化である。異なる色はそれぞれ異なる地点におけるデータを示している。全ての温泉データについてプロットしたためかなりばらつきがみられるが、いくつかのプロットは $\tau=15$ 年の理論曲線 (図4) 上にプロットされており、少なくとも開発から15年ほどで影響が出始めている箇所がある可能性が高い。変化の傾向ごとにプロット結果を分類すると、上述の泉温も塩化物イオン濃度も減少している地点 (31%) に加え、泉温は減少しているが塩化物イオン濃度が増加しているパターン (27%)、反対に塩化物イオン濃度が減少し泉温が増加しているパターン (19%) が確認された。塩化物イオン濃度の増減については、付近の温泉や地下水との混合が懸念されるが、本地域が海に近い沖積層に分布していることを鑑みると、海水の流入による影響の可能性も考えられる。この影響を確認するためにホウ素濃度との比 (B/Cl 比) をプロットしてみると (図6)、塩化物イオン濃度の増加に伴って顕著な B/Cl 比の減少が認められた。海水の B/Cl 比が深部流体よりも低いことから (野田・高橋, 1993)、海水の流入の可能性が強く示唆される。温泉同士の干渉があるかについては、現時点の解析からは不明であるが、今後は開発時期ごとの時空間変化を可視化したり、泉質ごとに分類してその変化を追跡したりするなどして、大分市温泉の現在の状況をより詳細に明らかにする必要がある。

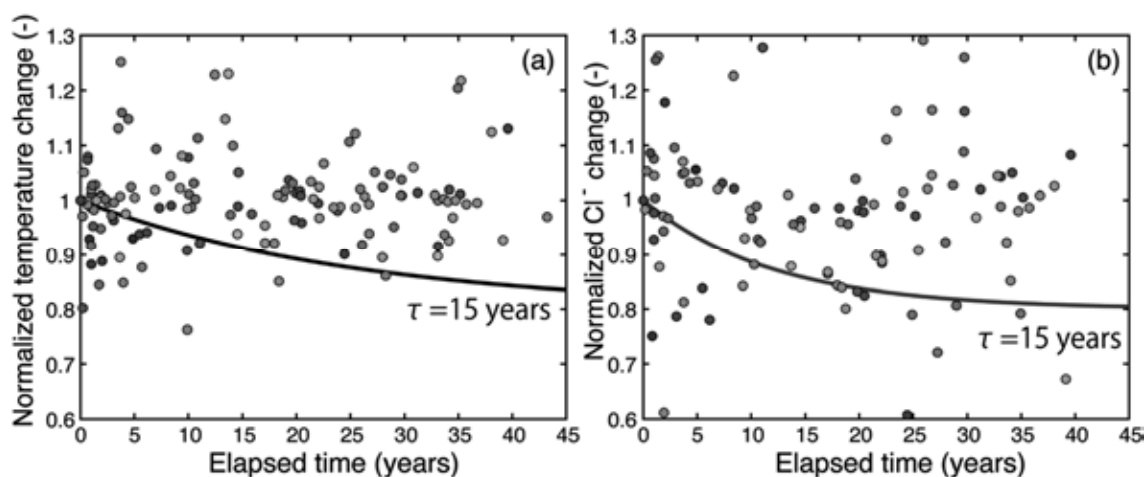


図5：掘削当時の初期値で規格化した泉温 (a) と塩化物イオン濃度 (b) の掘削開始からの時間変化。異なる色はそれぞれ異なる地点におけるデータ、実線は滞留時間を15年としたときの理論曲線 (図4) を示す。

5. まとめ

山下 (1961) の理論式と吉川・北岡 (1985) の大分平野モデルを複合して検討した結果、大分平野の場合は坑井間距離として 500 m 以上が適当である可能性が示された。一方で、離隔距離 60 m の規制に従って開発された大分市内の温泉のほとんどは上記

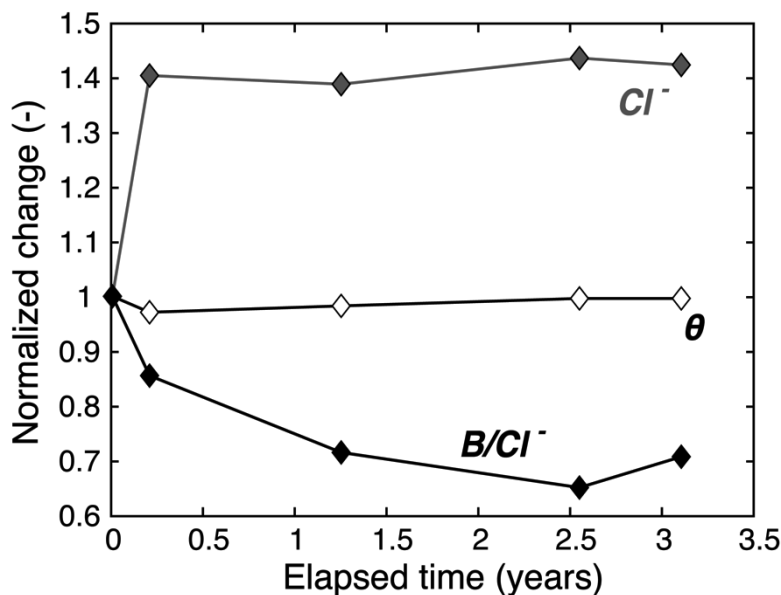


図 6：ある地点における塩化物イオン濃度，泉温，および B/Cl 比の掘削開始からの時間変化。それぞれの値は掘削当時の初期値で規格化している。

の条件を満たしていないため，温泉水データから抽出した全 65 地点の泉温および塩化物イオン濃度に既に影響が出始めていないか，これらの時系列変化に関してさらなる検討を行なった。その結果，31% の源泉で温度と濃度の低下が確認され，これを由佐のモデルに当てはめて考えると，大分市内の温泉は 15 年の時間スケールで滞留している可能性が明らかとなった。さらに B/Cl 比の時間変化の解析から海水の流入の可能性も示唆された。開発から 50 年以上が経過した当地域ではその影響が徐々に表面化することが懸念されるため，今後もさらなる検討が必要である。

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.
- 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 (2004). 大分平野東部に伏在する活断層. *活断層研究*, 24, 185-198.
- Hantush, M.S. and Jacob, C.E. (1955) Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer. *Trans. AGU*, 36, 95-100.
- 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 (1993) 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 (2021) 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.
- Theis, C.V. (1935) The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. *Trans. AGU*, 16, 519-524.
- 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.

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

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

齋藤 圭・三島 壮智
大沢 信二

要旨

近年では別府温泉における源泉温度低下や蒸気量の減少などが目立ち始めていることが報告されており、現在の別府温泉の活動状況や泉質状態を把握することは喫緊の課題である。本研究では、2019年の泉質分析結果を基に新たに地下熱水流動経路の考察を行った。その結果、Na-HCO₃型熱水は、深度に関係なくその存在が確認されており、他の泉質と比べて、その流動の在り方は異なることが明らかとなった。また、別府扇状地南部を流動するCa, Mg-HCO₃型熱水のうち、田の湯温泉へと向かう経路は京都大学地球熱学研究施設付近でその深度を大きく変えている。柴石温泉から亀川へと向かう流動経路、鉄輪温泉から平田川を沿う流動経路、小倉地域から実相寺山へと向かう深部流動経路の存在が明らかとなり、地理的空白が補完された。最後に、酸性泉は、2019年の調査において存在が確認できなくなった泉源があり、一連の流動経路として再認識出来なかった。

1. はじめに

別府温泉は大分県別府扇状地温泉群の総称で、鶴見火山東麓で側方流動がみられる火山性温泉である。別府温泉には多数の噴気・沸騰泉が存在し、これらの活動状況の把握は持続可能な温泉利用とその保護において重要なことから、長年調査・研究が行われてきた。京都大学による温泉現況調査は1961年、1973～1975年、1985年に過去3度行われており（由佐・大石、1986）、2019年の調査で通算4度目となる。

近年、源泉温度低下や蒸気量減少などが報告されており（大沢・三島、2019）、現在の泉質状態の把握は喫緊の課題である。別府温泉の泉質はマグマ付近に存在する深部熱水から始まり、様々な泉質に変化する。例えば、深部熱水由来のNa-Cl型、深部熱水と分離した蒸気に含まれるCO₂ガス由来のCa, Mg-HCO₃型やNa-HCO₃型、蒸気に含まれるH₂Sガス由来であるH-SO₄型などがある。その他、Na-Cl型とH-SO₄型の混合型であるH-Na-Cl, SO₄型

や、海水に由来する海水侵入型の存在が知られている（大沢ほか，2020）。

上記の問題を解決する上で、温泉とその泉質に関する空間的な分布に対する理解は重要であり、過去にも研究が行われてきた。大沢ほか（1994）では、京都大学地球熱学研究施設構内の温泉実験井において、深さごとの地下水や熱水の化学組成解析によって、当地域では泉質の異なる熱水が層構造を成して並行に流動することを示している。また大沢ほか（1994）では、別府南部地域において近隣の温泉の泉質を京大温泉実験井の熱水流動に対比させて、大沢・由佐（1996）では、当地域北部に Na-Cl 型が多い理由として断層破碎帯の存在に言及しながら、それぞれ温泉流動経路を推定している。

しかし、これら先行研究では地点数の限界から地理的空白が生じてしまい、別府扇状地を全体的に網羅できているとは言い難い。そのため、更なる泉質分析が課題となっていたが、2019 年の調査によって分析対象の地点数が増加したことにより、地下熱水流動経路推定図の更なる拡充、修正などが可能な状況となった。そこで本研究では、2019 年の泉質分析結果を基に地下熱水流動経路について再考したので報告する。

2. 地形・地質概略

別府温泉は鶴見火山から別府湾へと広がる別府扇状地にて展開する。別府扇状地は主に正断層活動に伴う沈降運動によって形成され、扇状地南縁には堀田-朝見川断層、北縁には鉄輪断層がみられる。代表的な河川では、扇状地南部から順に朝見川、境川、春木川、平田川が流れる。境川は別府扇状地南部を、春木川は北部をそれぞれ形成する主体であり、朝見川や平田川といった外縁を流下する河川では堆積物の運搬はほとんどみられない（千田，2003）。

別府温泉には別府八湯と呼ばれる代表的な温泉地（街）が存在し、浜脇温泉、別府温泉、亀川温泉、鉄輪温泉、観海寺温泉、堀田温泉、柴石温泉、明礬温泉などがある。温泉地（街）の形成は主に噴気・沸騰泉や自噴泉を温泉として利用することから始まり、人工掘削技術の発達に伴い拡大した経緯から（中山，2015）、Na-Cl 型熱水や酸性泉などが主な泉質である。一方、噴気・沸騰泉がみられない Ca, Mg-HCO₃ 型は主に一般的な住宅で利用されることが多い。

表層地質において、別府扇状地表面層の大部分は火山破碎物で構成されている。地下に分布する地層群としては、下位から更新世前期の観海寺安山岩、更新世中期の浜脇層、由布川火砕流、小鹿山火山群などの輝石安山岩、高崎山火山や実相寺山火山などの角閃石安山岩、更新世後期の由布岳・鶴見岳・伽藍岳の角閃石安山岩、河川運搬物によって構成される礫層などがみられる（例えば竹村，2020）。

3. 試料と分析

調査地点数は 1,269 地点、試料分析地点数は 1,222 地点である。47 地点は噴気泉のため分析は行わなかった。1985 年の現況調査では泉質分析地点数が 234 地点であるのに対して（由

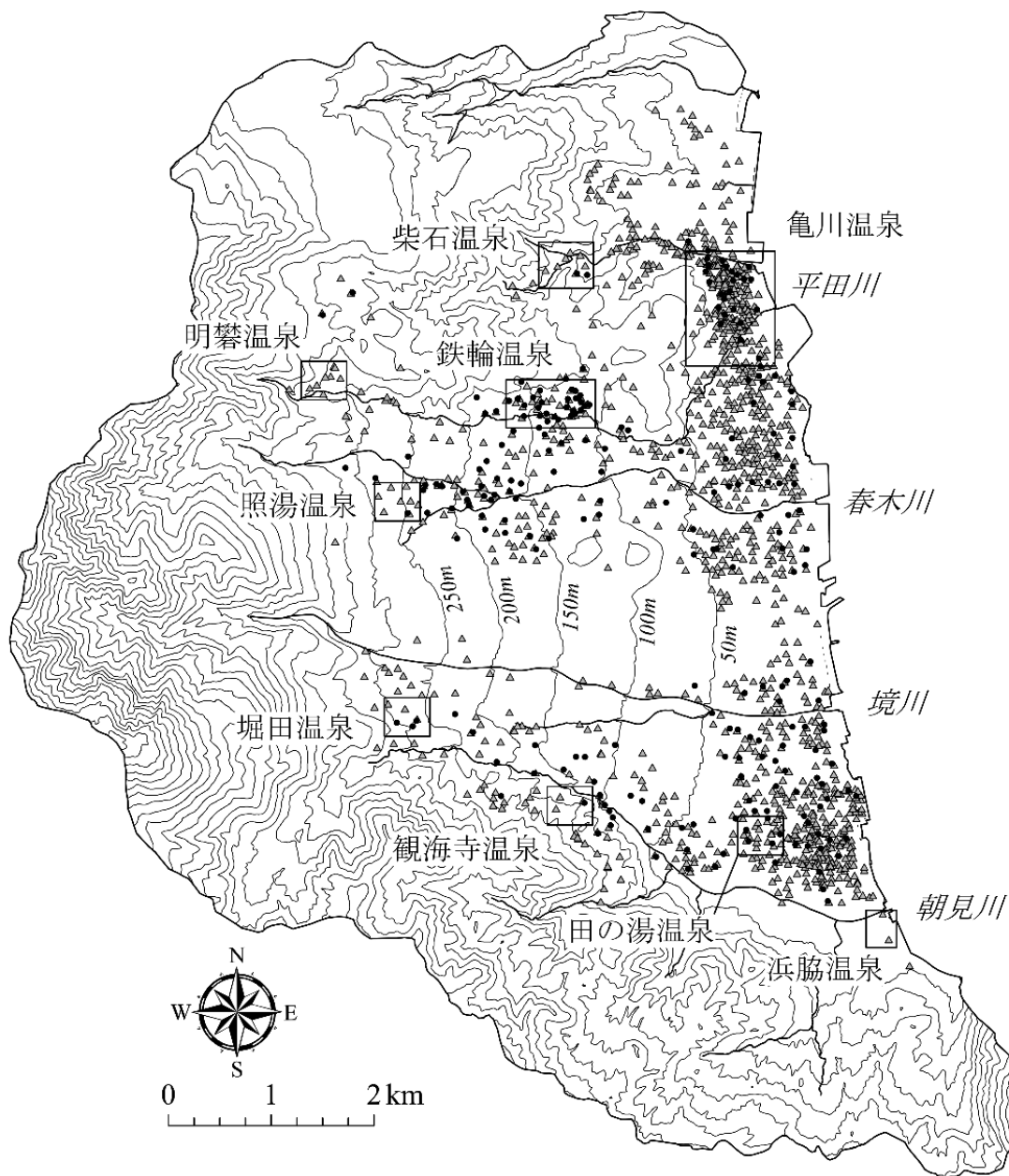
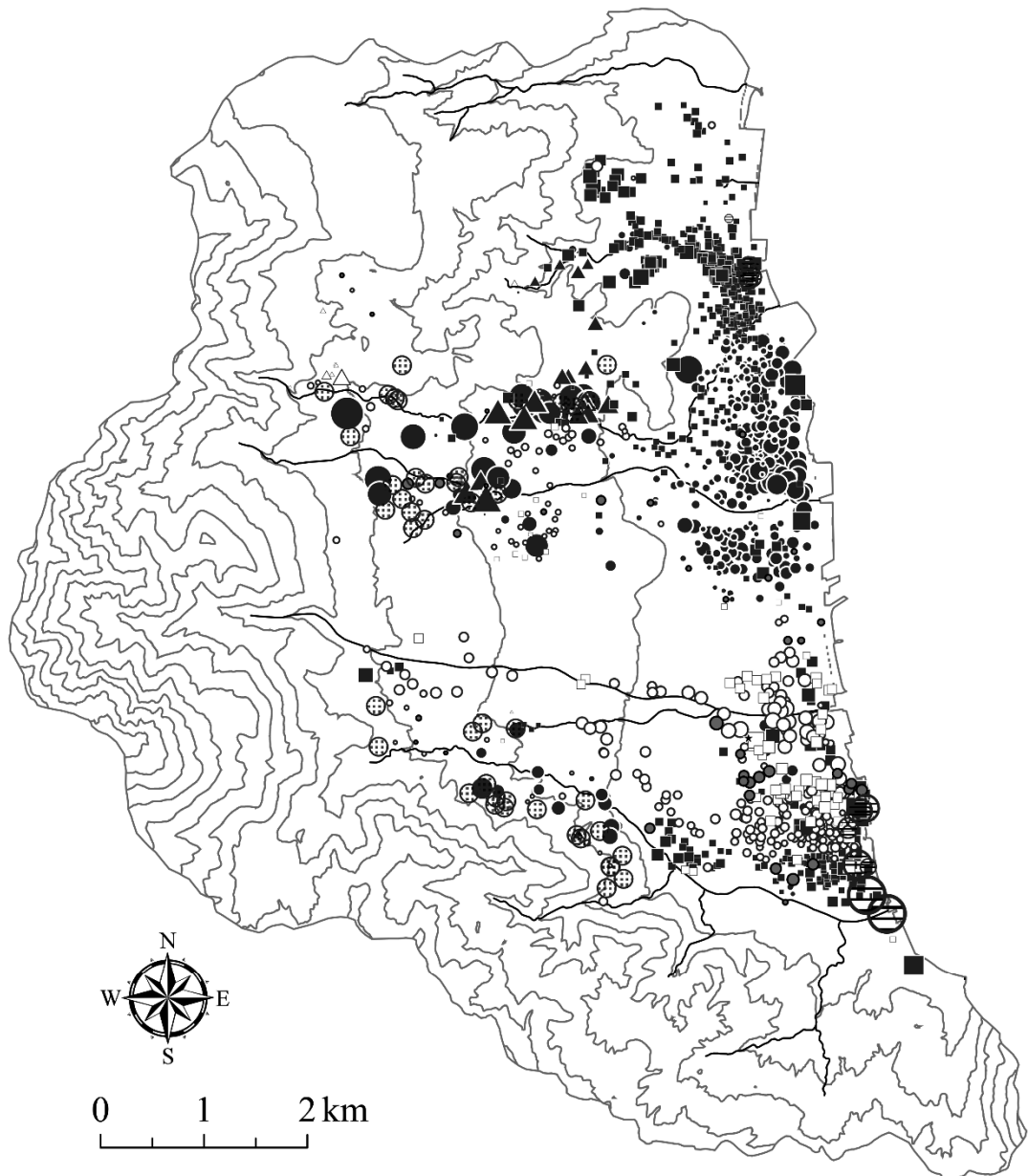


図1 調査地点(△:2019年, ●:1985年)の位置と比較

佐ほか, 1989, 1990), 地点数が約5倍に増加している. 新たに追加された地域には明礬温泉, 亀川温泉北部, 境川沿いなどがある(図1).

泉質分析項目は主要溶存化学成分(Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-})である. 泉質分析項目のうち, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} はイオンクロマトグラフ(東亜 DKK 社製 ICA-7000)を用いて絶対検量線法で分析した. 温泉水試料は10mLを分取し, 孔径0.45μmの PES メンブレン・シリンジフィルターにて濾過処理を行って分析に供した. 分析精度は, 0.1 mg/L 以下で C.V. (変動係数) 10%以内である.



- | | | |
|---|---------------------------|------------------|
| ★ Na-Cl, 天満温泉 | ▲ H-Na-Cl-SO ₄ | 主要溶存物質濃度
mg/L |
| ● Na-Cl | △ H-SO ₄ | |
| ● Na-HCO ₃ | ⊕ 噴気 | ・ 100 |
| ○ Ca, Mg-HCO ₃ | ⊖ 海水侵入型 | ● 1,500 |
| ■ Na-ClとCa, Mg-HCO ₃ の混合型 | | ● 3,000 |
| □ Na-HCO ₃ とCa, Mg-HCO ₃ の混合型 | | ● 5,000 |

図2 噴気・沸騰泉および一般温泉の泉質・溶存化学成分濃度の空間分布

HCO₃⁻ (+CO₃) については自動滴定装置（東亜 DKK 社製 AUT-701）を用いて分析した P アルカリ度, M アルカリ度から換算した. この分析精度は, 100mg/L 程度の濃度では変動係

数 C.V.で 0.05%程度である。なお、分析データ (pH など含む) の詳細については大分県受託研究報告書 (大沢・三島, 2019 ; 大沢ほか, 2020) にて記載されている。

4. 結果と考察

4.1 別府扇状地における熱水泉質の空間分布と泉質区分

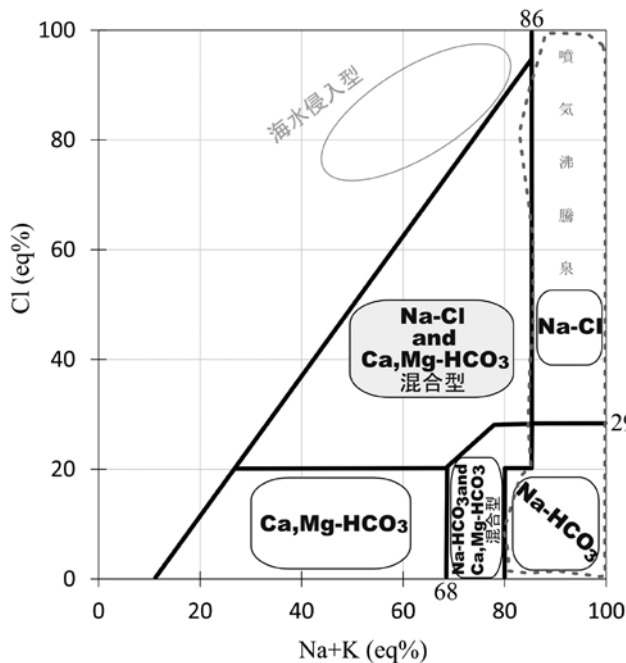


図 3 改変キーダイヤグラムによる泉質区分

それぞれ示す。海水侵入型については、後述する強・海水侵入型と比較して Na+K と Cl の割合が低いものを海水侵入型、海水侵入と Ca, Mg-HCO₃ の混合型として段階的に区別した。

各泉質の空間分布について、別府扇状地南部では Ca, Mg-HCO₃ 型熱水が、北部では Na-Cl 型熱水がそれぞれ卓越する (図 2)。北部地域の中でも、亀川温泉周辺は Na-Cl と Ca, Mg-HCO₃ の混合型熱水が多く分布しており、鉄輪断層沿いの温泉などとは異なる泉質の特徴を持つ。噴気・沸騰泉の分布地帯は、南部地域において堀田-朝見川断層周辺に、北部地域において鉄輪断層周辺に、それぞれに集中し、Na-Cl 型熱水が多く分布する。その他、沿岸部では海水侵入型が分布し、主に浜脇温泉や亀川温泉などでみられた。

各地点の溶存化学成分濃度の特徴として、深部熱水由来である Na-Cl 型熱水においても地域的差異はみられる。例えば、南部地域の Na-Cl 型熱水は、北部地域のそれと比べて溶存化学成分濃度が低い。両地域の Na-Cl 型熱水は断層に沿って分布していることから、断層破碎帯などから湧出していると推察され、その過程で起きる地下水や低濃度の熱水の影響により濃度に違いが生じると考えられる。図 4 は別府扇状地北部の温泉の泉温と溶存化学成

噴気・沸騰泉および一般温泉の泉質・全溶存物質濃度の空間分布を図 2 に示す。泉質区分の方法は、大沢ほか (1994) と同様、改変キーダイヤグラムを用いた。改変キーダイヤグラムとは SO₄²⁻を HCO₃⁻と対にして表現するキーダイヤグラムのことであり、別府温泉の泉質把握に適しているとされる。2019 年に得られた泉質データを基に作成した改変キーダイヤグラムの泉質区分 (図 3) と、それに 2019 年の泉質分析データをプロットしたものを図 4 に示す。泉質区分の定義は表 1 の通りである。泉質区分は各泉質の境界を黒い太線で表し、噴気・沸騰泉は灰色の点線、海水侵入型は灰色の円で

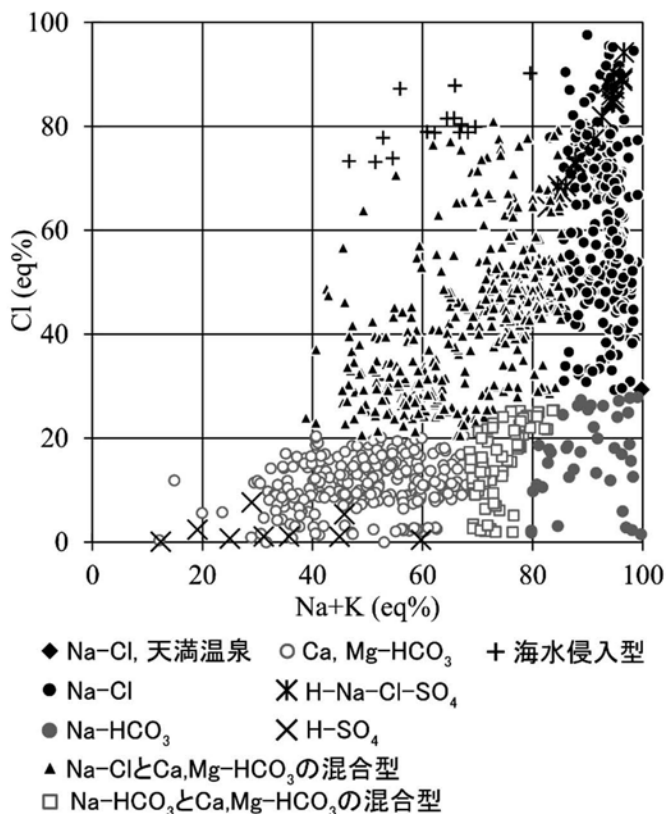


図4 別府温泉の泉質分類

分の分布を示す。鉄輪温泉などがある上流域では高温かつ高濃度を示すのに対し、沿岸付近の下流域では低温かつ相対的に低濃度を示す。温度のみの変化に着目すれば、こうした違いは南部地域でもみられるが、実相寺山の麓にある石垣周辺では溶存化学成分濃度の低下が顕著であり、地表近くまで湧出した熱水が側方へと流動する過程での地下水との混合がよくわかる。

その他、Ca, Mg-HCO₃型熱水やNa-HCO₃型熱水では、北部地域と比べて南部地域の方が全体的に高濃度を示す。これらはCO₂ガスの影響によるものと考えられ、北部地域のH-SO₄型熱水と対して南部地域の蒸気加熱型熱水の特徴を表す(吉川・由佐, 1972; 大沢, 2018)。ただし、Na-HCO₃

表1 泉質区分の定義

Na-Cl型	Na+Kが86%以上, Clが29%以上
	Na+K 沸騰泉の内, Cl90%以上の中で最も低いNa+Kの割合
	Cl 天満温泉の値 = 南部地域におけるNa-Cl型熱水の流動経路を決定づける重要な地点
Na-HCO ₃ 型	Na+Kが80%以上, Clが0%~20%, Na+Kが86%以上, Clが21%以上
	Na+K Na-Cl型と同じく86%以上とし, Clが20%以下の場合は沸騰泉の内, 最も低いNa+Kの割合を境界とする
	Cl 天満温泉未満の値
Ca, Mg-HCO ₃ 型	Na+Kが68%以下, Clが20%以下
	Na+K 北部地域において, その%範囲に明確な境界がみられる。また, 境川沿いに分布する温泉の深度分布と溶存化学成分濃度にて決定
	Cl 20%において明確な境界がみられる
その他	各混合型 上記の主要な3泉質の区分から外れ, それぞれの中間に位置するもの。なお, 図中左部は, Na+KとClの割合が最も低いものを起点に, 明らかに海水起源のものを境界にするように斜線で区切っている
	海水侵入型 斜線区分の左部にある温泉の内, Na+KとClの割合が相対的に高く, 海岸沿いに分布しているもの

型熱水は他の泉質の温泉と比べて地点数が少なく、泉質の成因も不明な点が多い。海水侵入型については、一般的な海水の総塩分濃度が $35 \times 10^3 \text{ mg/L}$ であるのに対し、同じ泉質組成である強・海水侵入型熱水は $20 \times 10^3 \text{ mg/L}$ 以上と、非常に似た特徴を持つ。これほどの高濃度を示す熱水は、Na-Cl 型熱水でも確認できないことから、強・海水侵入型熱水は海水そのものが熱せられている可能性がある。また、一般海水と海水由来の熱水は Na/Cl 比が低い（逆に深部熱水由来は Na/Cl 比が高い）という特徴を持ち、それは図 3 における Na-Cl 型熱水との違いに表される。

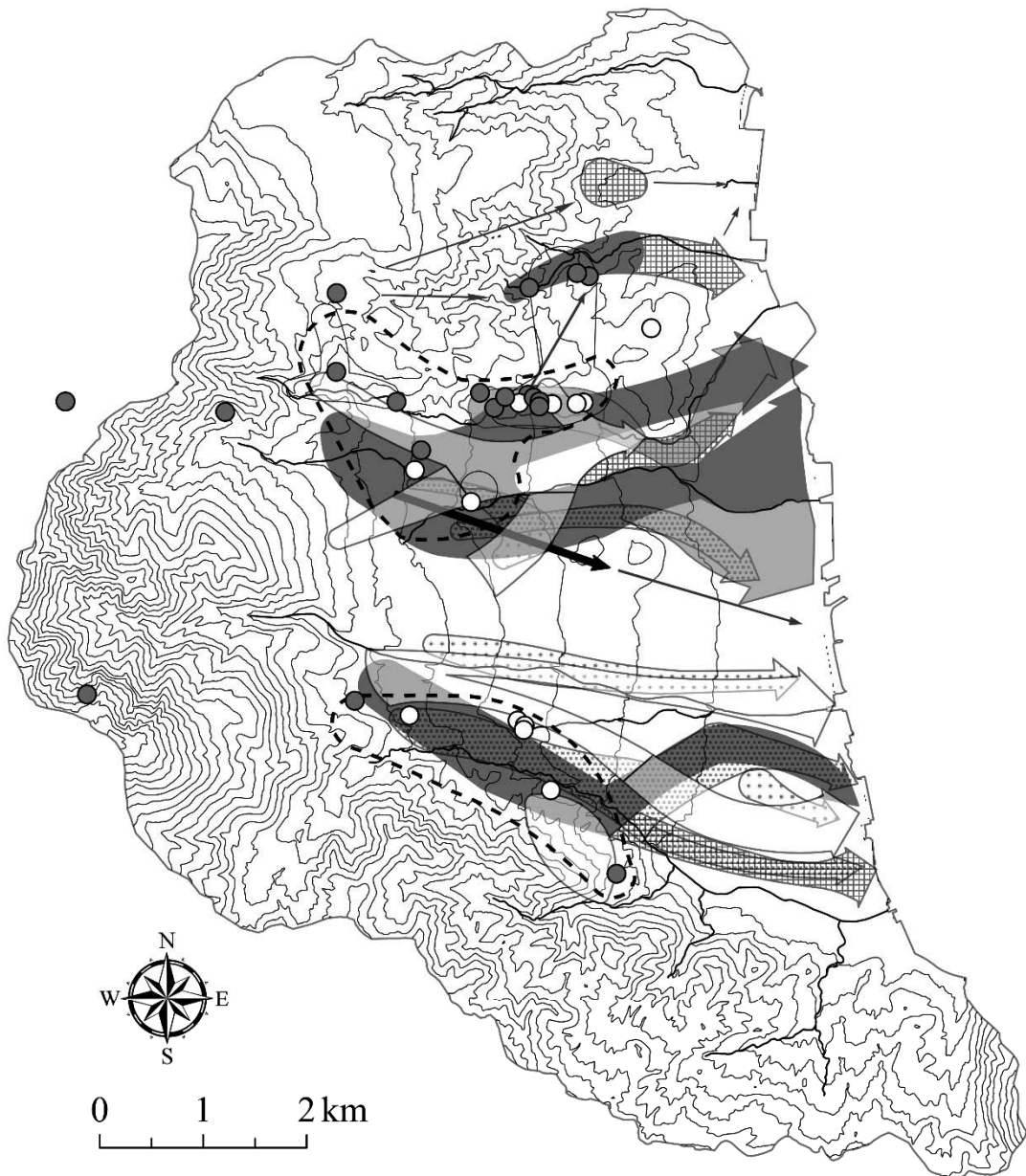
4.2 熱水流動経路の推定

以上の結果に基づいて、新たに作成した地下熱水流動経路（予想）図を図 5 に示す。作成にあたっては Esri 社の ArcGIS PRO を用いてクリギング法による深度標高データの内挿を行い、流動方向が深度標高に不自然なく沿っているか検証している。以下、各泉質の流動経路の特徴について述べる。

Ca, Mg-HCO₃ 型熱水は、南部地域において主に境川上流域に端を発し、2 方向へと分岐する。分岐したうちの 1 つは境川に沿ってそのまま海へと至る。もう一方の流動経路は京都大学地球熱学研究施設を經由し、田の湯温泉として海へと至る。北部地域においては、明礬温泉、照湯温泉西部より端を発し、鉄輪温泉へと至る。これら北部地域の Ca, Mg-HCO₃ 型熱水は海へと至らず、鉄輪温泉までしか流動が確認できなかった。これは Na-Cl 型熱水と混合することによる Na-Cl と Ca, Mg-HCO₃ の混合型熱水への変化が原因だと考えられる。

Na-Cl 型熱水は、南部地域において境川上流域に端を発し、堀田温泉、観海寺温泉を經由後、天満温泉へと大きく流動方向を屈曲させて、海へと至る。この流動方向の屈曲の原因は重力探査結果から、重力基盤の隆起の影響であると示唆されている（Nishijima・Naritomi, 2017）。その他、観海寺温泉の一部は Na-Cl と Ca, Mg-HCO₃ の混合型熱水としてそのまま朝見川沿いを流動して海へと到達する。北部地域では、照湯温泉西部に端を発し、ほぼ全域を流動しながら海へと至る。途中、平田川沿いでは Na-Cl と Ca, Mg-HCO₃ の混合型熱水へと変化する。一方、石垣周辺では泉質変化はないものの、水温と溶存化学成分濃度が低下することから、Na-Cl 希釈型熱水として扱う。その他、鉄輪温泉より更に北部では柴石温泉から亀川温泉にかけての流動や内かまどにおいて Na-Cl と Ca, Mg-HCO₃ の混合型熱水がみられる。

Na-HCO₃ 型では、南部において堀田温泉より端を発し、Na-Cl 型と同様に堀田温泉、観海寺温泉を經由した後に天満温泉へと大きく流動方向を屈曲させ、海へと至る。その他では、境川沿いを Ca, Mg-HCO₃ 型熱水の下を並行して流動している。Na-HCO₃ 型熱水は、主に Na-Cl 型熱水の流動経路の下部を沿うように深度の深いところを流動するが、北部地域では照湯温泉周辺に深度の浅い Na-HCO₃ 型熱水が確認されている。



- | | |
|---------------------------|---|
| ■ Na-Cl | ▨ Na-HCO ₃ とCa, Mg-HCO ₃ の混合型 |
| ■ Na-Cl 希釈型 | ▩ Na-ClとCa, Mg-HCO ₃ の混合型 |
| □ Ca, Mg-HCO ₃ | □ 噴気沸騰泉分布域 |
| ▨ Na-HCO ₃ | ● 地獄・噴気(現存) |
| ▨ H-Na-Cl-SO ₄ | ○ 地獄・噴気(消失等) |
| ▨ H-SO ₄ | ← 推定される流動経路 |
| | ← 深部流動経路(Na-Cl) |

図5 別府扇状地における地下熱水の流動経路

地獄や噴気地の位置は基礎地盤コンサルタンツ株式会社の情報に基づく。

4.3 過去の熱水流動経路との比較

大沢ほか(1994)と大沢・由佐(1996)で作成された別府温泉の地下熱水流動経路(予想)図と今回新たに作成された地下熱水流動経路(予想)図との比較を行った。

今回の流動経路図(図5)で更新された箇所として、Ca, Mg-HCO₃型熱水の流動経路は、南部では境川上流域まで、北部では明礬温泉、照湯温泉西部まで、それぞれ延伸された。また、Na-Cl型熱水も南部において境川上流域まで延伸された。追加された箇所として、北部地域において柴石温泉から亀川へと向かう流動経路(Na-Cl, Na-ClとCa, Mg-HCO₃の混合型)、鉄輪温泉から平田川を沿う流動経路(Na-ClとCa, Mg-HCO₃の混合型)照湯温泉西部から実相寺へと向かう深部流動経路(Na-Cl型)がそれぞれ挙げられる。

酸性泉(H-SO₄およびH-Na-Cl, SO₄)の流動経路は、今回では一連の流動経路として認識できなかった。1985年の泉質分析調査では確認されていた亀川周辺にある酸性泉が今回では確認されず、泉質の変化や量の低下の影響を受けていることなどが考えられる。そこで、酸性泉を流動経路として表現できない代わりとして、本改訂流動経路図では、酸性泉の分布地帯として酸性泉の存在を示すことにした。

5. おわりに

本章では2019年に行われた別府市温泉成分分析調査のデータを使用し、地下熱水流動経路について新たな考察を行った。その結果、新たに得られた知見を以下に列挙する。

- ・Na-HCO₃型熱水は、深度に関係なく存在が確認されており、ある一定の深度に集中している他の泉質と比べて、その流動の在り方は異なる
- ・別府扇状地南部を流動するCa, Mg-HCO₃型熱水のうち、田の湯温泉へと向かう経路は京都大学地球熱学研究施設付近で深度を大きく変えている
- ・Ca, Mg-HCO₃型熱水流動経路が南部では境川上流域まで、北部では明礬温泉、照湯温泉まで、Na-Cl型熱水流動経路が南部において境川上流域まで、それぞれ延伸された
- ・北部地域において柴石温泉から亀川へと向かう流動経路(Na-Cl, Na-ClとCa, Mg-HCO₃の混合型)、鉄輪温泉から平田川を沿う流動経路(Na-ClとCa, Mg-HCO₃の混合型)、照湯温泉西部から実相寺山へと向かう深部流動経路(Na-Cl型)がそれぞれ追加された
- ・酸性泉(H-SO₄およびH-Na-Cl, SO₄)については、亀川地域での泉源の存在が確認できず、一連の流動経路として認識することは困難であった

本研究により、大沢ほか(1994)、大沢・由佐(1996)で作成された地下熱水流動経路図は大きく書き換えられることはなく、泉質の空間分布に基づく地下熱水流動経路の推定に関する議論の有用性・妥当性がより明確されたと考える。一方で、Na-HCO₃型熱水は形成過程において不明な点が多いことが明確となった。そのため、噴気・沸騰泉型、浅部型、深部型とそれぞれの代表的なNa-HCO₃型水質の熱水、温泉水、地下水をサンプリングし、それ

らの炭酸成分の炭素同位体や水の同位体分析により、形成過程を理解する必要がある。また、京都大学地球熱学研究施設付近の Ca, Mg-HCO₃ 型熱水の流動については、水質化学的手法に寄らない地下構造の理解といった物理学的側面からの調査が有効であろう。

最後に、前回から約 5 倍に分析地点が増加したものの、人間活動の手が及んでいない地域などを中心に、地理的空白はまだ存在する。例えば、湯山温泉から柴石温泉までの間がその典型例であり、こうした住居地が少ない地域では温泉掘削が行われておらず、本研究で用いた方法での調査は困難である。しかし、湯山温泉から柴石温泉までの間は内かまど地区や亀川温泉の地下熱水流動経路、温泉水の賦存量の推定にも重要な地域であり、地理的空白を補完するための新たな調査研究手法の導入が不可欠である。

謝辞

本論文は、著者らが行った別府市への受託研究報告を骨子とし、大分県への受託研究報告書に掲載されている著者らの手による水質分析データが活用されており、公表は両自治体の許可の基に行われた。地獄や噴気地の位置情報は基礎地盤コンサルタンツ株式会社により提供された。ここに記して謝意を表する。

文献

- 千田昇(2003): 別府扇状地の地形と地質. 別府市編: 別府市誌. 別府市, 2, 13-15.
- 吉川恭三・由佐悠紀(1972): 別府温泉南部域の炭酸成分. 大分県温泉調査研究会報告, 23, 11-19.
- 中山穂孝(2015): 近代温泉観光地の形成と都市開発—大分県別府市を事例に一—. 人文地理, 67(2), 20-35.
- Nishijima, J. and Naritomi, K. (2017): Interpretation of gravity data to delineate underground structure in the Beppu geothermal field, central Kyushu, Japan. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11, 84-95.
- 大沢信二(2018): 別府温泉における新たな地熱開発の現状と影響. 馬場健司・増原直樹・遠藤愛子編: 地熱資源をめぐる水・エネルギー・食料ネクサス. 近代科学社, 107-119.
- 大沢信二・三島壮智(2019): 別府市温泉成分分析調査. 大分県受託研究報告書, 1-57.
- 大沢信二・由佐悠紀(1996): 温泉水の化学組成から推定される別府北部地域の地下温泉水の流動経路. 由佐悠紀編: 地熱流体流動過程と地下構造に関する研究(平成7年度科学研究費補助金一般研究B研究成果報告書), 103-114.
- 大沢信二・由佐悠紀・北岡豪一(1994): 別府南部における温泉水の流動経路. 温泉科学, 44, 199-208.
- 大沢信二・三島壮智・齋藤圭(2020): 別府市温泉成分分析調査. 大分県受託研究報告書, 1-45.
- 竹村恵二 (2020): 別府地域および周辺の地下構造—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. 71, 19-27.

由佐悠紀・大石郁朗(1986): 別府市における噴気・沸騰泉の調査(1) 春木川以南域. 大分県温泉調査研究会報告, 37, 1-9.

由佐悠紀・神山孝吉・川野田実夫(1989): 別府温泉南部域の化学成分長期変化について(2). 大分県温泉調査研究会報告, 40, 21-29.

由佐悠紀・神山孝吉・川野田実夫(1990): 別府温泉北部域の化学成分長期変化について(2). 大分県温泉調査研究会報告. 41, 13-24.

九重火山群の第四紀火山岩類の地球化学的研究 1

広島大学地球惑星システム学専攻

柴田知之・藤原涼太郎
折戸達紀・芳川雅子

京都大学地球熱学研究施設（現福岡大学理学部）

柴田智郎

要旨

九重火山群を構成するほぼ全てのフローユニットから火山岩試料を採取し、主成分元素組成と微量元素組成の分析を行った。その結果、これら火山岩類を生成したマグマは、少なくとも3つの異なる系列に属することが明らかになった。

1. はじめに

九重火山は約200 kaに活動を開始した、九州東部の西南日本弧火山フロントに位置する活火山である（川辺ほか，2015）。川辺ほか（2015）によれば、九重火山の火山活動は、第1期から第4期の4つのステージに分けられる。第1期から第3期は主に普通角閃石斑晶を含む安山岩マグマが活動し、一部デイサイトマグマを伴う。それに対し、第4期は普通角閃石斑晶を含まない苦鉄質マグマの活動が多く認められている。川辺ほか（2015）は、安山岩中で石英とかんらん石が共存する非平衡な斑晶鉱物組み合わせなどから、苦鉄質マグマと珪長質マグマの混合を、マグマの成因として主張している。これら第四紀マグマの主成分元素組成は小野（1963）、太田（1991）、川辺ほか（2015）などで報告されているが、微量元素組成や同位体組成はKita et al.（2001）で4試料についてのみ報告があるのにとどまる。そこで本研究では、九重火山の第四紀マグマの進化過程を系統的に解析するために、各ステージを構成するほぼすべてのフローユニット

から試料を採取し、岩先記載を行ったうえで、主成分元素、微量元素組成分析を行い、その結果の解析から九重火山の第四紀マグマの進化過程を議論することを目的とした。

2. 実験

岩石試料はShibata et al. (2014)に従って200メッシュ程度の粉末試料にして使用した。主成分元素組成は広島大学先進理工系科学研究科の蛍光X線分析装置をもちいてガラスビードを用いた検量線法で測定した。微量元素組成は広島大学先進理工系科学研究科に設置されている誘導結合プラズマ四重極質量分析計を用い、Chang et al. (2000)に従い測定した。

3. 結果と議論

岩石記載と主成分化学組成を比較すると、玄武岩質安山岩組成を示す試料には角閃石は含まれず、安山岩およびデイサイトには普遍的に角閃石が含まれる。主成分元素とSiO₂含有量の間を見ると、多くの元素では大局的には直線的な傾向を示すように見えるが、玄武岩質安山岩と安山岩の間に顕著な組成ギャップが認められる(図

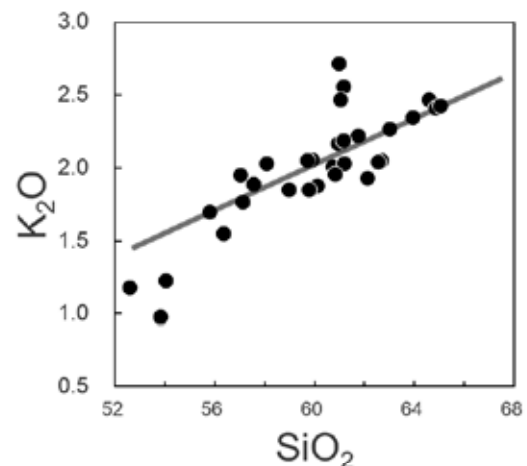


図1. SiO₂濃度と K₂O 濃度の関係図

1)。また、TiO₂濃度はSiO₂含有量の増加に伴いSiO₂濃度が約57 wt%までは増加傾向を示すがその後減少に転じる。同様にAl₂O₃濃度はSiO₂濃度が約60 wt%まで単調に減少するが、その後増加するものと減少するものに分かれる。さらに、安山岩とデイサイトが示すK₂O・SiO₂含有量の変化図上での直線的な傾向(図1中の灰色直線)の延長上に玄武岩質安山岩は位置しないなど、主成分化学組成の変化傾向全体を単純な2成分混

合で説明できない傾向が多数認められた。

微量元素組成はLILEに富みHFSEに枯渇する典型的な島弧マグマの特徴を示す。また, NbとZr濃度の変化図上で, 九重火山群のマグマの組成はIndian MORBの組成範囲に含まれる。

このことは, 九重火山群直下のマントルウェッジは Indian

MORBに類似したものであることを示すと考えられる。各微量元素とSiO₂濃度の関係を見ると, おなじSiO₂濃度範囲でSr濃度が高いグループ (High Sr) と低いグループ (Low Sr)に明瞭に分かれる傾向が認められた。さらに, Low Srは同じSiO₂濃度範囲で希土類元素濃度が高いグループ (High REE) と低いグループ (Low REE) に明瞭に区分される。すべてのデータをGdとSrの濃度の変化図にプロットした (図2)。玄武岩質安山岩, 安山岩およびデイサイトを形で, High Sr, High REE とLow REEを白, 灰色, 黒で, それぞれ, 区別してプロットした。3つのグループは明瞭に異なる傾向を示す。High Srには玄武岩質安山岩と安山岩が含まれ, Low REEには玄武岩質安山岩, 安山岩およびデイサイトが, High REEには安山岩が含まれる。このように, 九重火山では少なくともこれら3系列の第四紀マグマが活動していたことが明らかになった。

引用文献

川辺ほか (2015) 九重火山地質図. 火山地質図 19
 小野 (1963) 5万分の1地質図幅「久住」及び同説明書. 地質調査所, 124p.
 太田 (1991) 九重火山群, 東部及び中部域の形成史. 岩鉱, vol. 86, p. 243-263.
 Kita et al. (2001) Contemporaneous ascent of within-plate type and island-arc type magmas in the Beppu-Shimabara graben system, Kyushu Island, Japan.

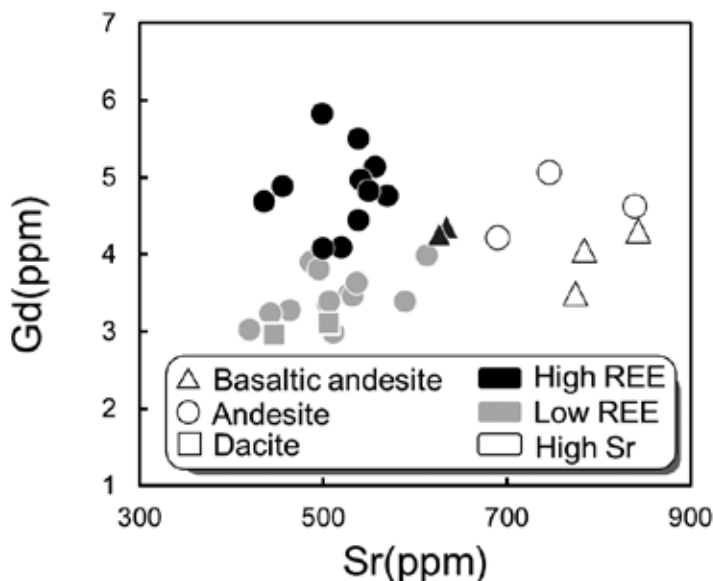


図2. Sr と Gd 濃度の関係図

Journal of Volcanology and Geothermal Research, 111, 99-109.

Shibata et al. (2014) Along-arc geochemical variations in Quaternary magmas of northern Kyushu Island, Japan . Geological Society, London, Special Publications, 385, 15-29.

Chang et al. (2000) Precise determination for trace elements in geological standard rocks using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS). IFREE Report for 2001–2002, 357–360.

竹田市郷の湯にて採取された温泉水のSr同位体比

広島大学先進理工系科学研究科

芳川 雅子・柴田 知之
白石 史人

要旨

大分県竹田市直入町の長湯温泉地域で炭酸塩泉が湧出する郷の湯で採取された、温泉水のストロンチウム (Sr) 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) を測定した。その結果、この温泉水の Sr 同位体比は、長湯温泉の起源となる地下水の涵養地と推定されている、九重火山の火山岩の Sr 同位体比の組成幅に含まれる値を示すことがわかった。

1. はじめに

ストロンチウム (Sr) 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) は、自然界では無視できるほどの分別現象しか起こさないとされている。また、湧出経路の存在する岩石中の Sr が、移動中の地下水に取り込まれると考えられている (Notsu et al., 1991)。このため、温泉水の Sr 同位体比は温泉の湧出経路の推定に重要な情報を与える事が報告されている (例えば、佐藤・中野, 1993)。しかし、温泉水の Sr 同位体比の報告は、酸素や水素といった軽元素の同位体比の報告と比べると限られている (亀井ほか, 1997)。本報告では, Shiraishi et al. (2019) によって主要溶存イオン濃度や酸素・炭素同位体比データが報告された、竹田市直入町長湯温泉地域内の郷の湯の温泉水について Sr 同位体比を決定した。

2. 周辺地質

長湯温泉は、九重火山南東部の大分 - 熊本構造線上に分布している (例えば、山田ほか、

2005)。長湯温泉を含む近隣の高濃度炭酸泉の酸素・水素同位体から、山田ほか (2005) は長湯温泉が九重火山大船山南東斜面の標高 870~1270 m 地帯を主涵養域とする地下水由来であるとしている。

九重火山は九州の火山フロント上、かつ別府-島原地溝帯内に位置する、東西約 13 km 南北約 10 km の範囲に分布する玄武岩質安山岩~デイサイトの小規模成層火山、及び溶岩ドームや溶岩流から構成される複成火山群である (例えば、川辺ほか, 2015)。約 20 万年前に西部の獵師山で活動を開始し、噴火ステージは第 1 期 (200~54 ka) から第 4 期 (15~0 ka) に区分されており、おおまかに西部が古く東部が新しい山体からなる (川辺ほか, 2015)。大船山の活動は第 4 期にあたり、地質図から長湯温泉域には大船東溶岩・岳麗寺溶岩・板切溶岩由来の堆積物が分布する可能性が示唆される。

3. 試料および分析方法

郷の湯の温泉水は、Shiraishi et al. (2019) 中の図 1 (C) のサイト 3 のやや上流で彼らが採取し、メンブランフィルター (孔径 $0.2 \mu\text{m}$) でろ過した後、濃硝酸数滴を加えポリプロピレン製ボトルに保存したものを用いた。保存された水試料は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。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た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 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ をもちいた。米国立標準技術研究所 (National Institute of Standards and Technology ; NIST) Sr 標準物質 (NIST987) の測定結果は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710284 \pm 0.000018$ ($2\sigma_m$) であった。

4. 結果と考察

郷の湯の温泉水の Sr 同位体比は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.704790 \pm 0.000018$ ($2\sigma_m$) であった。日本の火山岩地域では、降水の Sr 同位体比は平均 0.709 前後 (0.708~0.712 の範囲) (横尾, 2007) とされる。降水の Sr 濃度は火山岩と比較すると著しく低いため (<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湧出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。九重火山の火山岩の Sr 同位体比は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7039 \sim 0.7054$ (Kita et al., 2001; 藤原ほか, 2020; 柴田, 私信) であり, 郷の湯温泉水の Sr 同位体比は九重火山の火山岩の組成範囲のほぼ中間の値を示していることから, その湧出経路に九重火山の火山岩が分布していることが推測される。このことは, 長湯温泉が九重火山大船山を涵養域とする地下水由来とする先行研究の考察 (山田ほか, 2005) と調和的である。九重火山の火山岩は微量元素組成の特徴から 4 つのグループに分類され (柴田ほか, 本報告書), 高い Sr 同位体比を示すものは高希土類元素 (REE) グループに属する試料のみである。大船山において高 REE グループに分類されるのは岳麗寺溶岩・板切溶岩である (柴田, 私信)。従って, 長湯温泉の滞水層は, これらの溶岩やそれら由来の堆積物で構成されていることが示唆される。

5. まとめ

長湯温泉地域の郷の湯で採取された郷の湯温泉水の Sr 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7048$) は, 長湯温泉の起源となる地下水の涵養地と推定されている九重火山の火山岩の Sr 同位体比の組成幅 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7039 \sim 0.7054$) 内であった。この結果は, 長湯温泉が九重火山大船山を涵養域とする地下水由来とする先行研究の成果 (山田ほか, 2005) を支持する。

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。

参考文献

- 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.
- 亀井淳子・加藤久遠・上田晃・岡野修・山本雅弘（1997）澄川・大沼地熱地域のストロンチウム及びその同位体比．日本地熱学会誌，21，379-390.
- 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. *J. Volcanol Geotherm Res* 111, 99–109.
- 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.
- Notsu, K., Wakita, H., Nakamura, Y. (1991) Strontium isotopic composition of hot spring and mineral spring waters, Japan. *Applied Geochemistry*, 6, 543-551.
- 佐藤 努・中野孝教（1994）ストロンチウム同位体を用いた地熱流体母岩の推定 - 奥鬼怒温泉地域の例 - 地質ニュース，47，23-26.
- Shiraishi, F., Eno, Y., Nakamura, Y., Hanzawa, Y., Asada, J., Bahniuk, A.M. (2019) Relative influence of biotic and abiotic processes on travertine fabrics, Satono-yu hot spring, Japan. *Sedimentology*, 66, 459–479.
- 山田誠・網田和宏・大沢信二（2005）同位体水文学的手法による九重火山南東麓に湧出する炭酸泉の形成機構の解明．温泉科学，54，163-172.
- 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.

別府温泉と瀬戸内海

別府大学

中山 昭 則

要 旨

明治期以降鉄道の開通は地域に大きなインパクトを与えた。とりわけ鉄道開業まで我が国の国内輸送の柱となってきた水運は大きな打撃を受けた。しかし、それは全国一律に俯瞰した時の見方ともいえるのではないか。地域ごとの精査な検討は大きな意味を持つ。

本稿では、俗にいわれている「鉄道が海運に大打撃を与えた」その実態について瀬戸内海海域を対象として検討し別府温泉との関係性について考察する。

総じて鉄道と海運はライバルとしての視線が注がれてきた。瀬戸内海の本州沿岸を走る山陽鉄道に対してもこうしたまなざしで見ると向きが多い。確かに海運・鉄道双方ともにお互い意識した対抗策は講じられたものの、本州と四国とを結ぶ航路に対しては協調態勢で臨んでもいる。

さて、大阪商船は明治末になると別府航路を客船専用航路として重用した。こうした中瀬戸内海の航路はどのような状況であったのか。そして瀬戸内海から既に大観光地として歩みを始めていた別府温泉はどのように映ったのであろうか。このような視点で別府温泉を検討する意味は大きいと考える。

1 はじめに

大阪商船(現(株)フェリーさんふらわあ)は1884(明治17)年5月1日「有限会社大阪商船会社」として設立された。設立後は内外の航路整備と開発を続けたが、とりわけ瀬戸内航路は地域経済に大きな影響を与え続けており、大阪・神戸と別府・大分を結ぶ航路は後継事業社によって今日まで存続し続けている。

一方、設立当初には隆盛を極めた国内航路であるが、その後多くの航路は廃航に追い込まれている。その背景として「鉄道との競合に敗れたから」との言説を多く耳にする。確かにその要因は大きいであろうが、果たして鉄道は航路にとってどの程度の脅威となったのか?冷静な検討は必要であろう。

例えば、拙論で取り上げた紀伊半島南部は確かに鉄道の脅威は大きかったのだが、鉄路が紀伊半島を完全に結んだのは1959年のことで、航路廃止の実に56年後のことである¹⁾。

今回取り上げる瀬戸内航路も南紀航路同様廃止・縮小は余儀なくされたところであるが、前述の通り大阪・神戸と別府・大分を結ぶ航路は今日まで存続している。一方、瀬戸内海沿岸を走る山陽鉄道は当時としては斬新なサービスを展開した。まさしく瀬戸内航路を意識してのことである(三木1999)²⁾。さらに瀬戸内航路に直接参入するとともに地元海運業者と協調して四国を結ぶ航路を展開している。

以上の諸点を鑑みて、瀬戸内航路はどのように展開しそして別府航路は今日まで継続することができているのだろうか。その背景には瀬戸内海を取り巻く地域の海陸の輸送システムの展開と変容、何よりも「瀬戸内海」というものの位置づけの変遷が大きくかかわっているものと考えられる。本稿は「瀬戸内海」の視点から別府温泉について検討するものである。

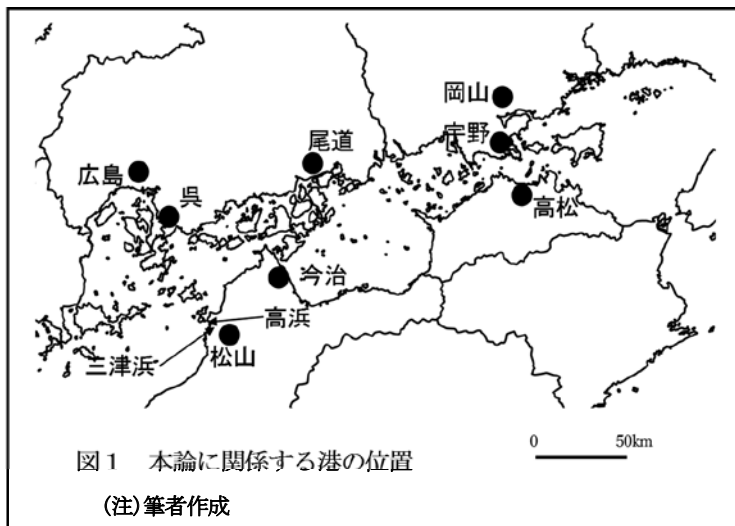
2 鉄道延伸時の瀬戸内海海運の状況

(1) 明治から大正期における瀬戸内海航路の諸相

大阪商船の創業時の状況に関しては拙論で述べたところであるがここで再確認しておきたい³⁾。1884(明治17)年、55名の船主と97隻の船舶をもって大阪を起点として山陽地方、九州、紀伊半島、四国を中心に22路線を有

して開業した。創業時の特徴としては55名からなる船主が現物(船舶)を持ち寄っての創業で、1隻当たり173トンという小型船舶が主体であった。

開業時に設定された22路線のうち瀬戸内海地域と関連するのは、第7本線(大阪-馬関(下関))、第8本線(大阪-細島(日向市))、第9本線(大阪-大分)、第10本線(大阪-広島)、第11本線(大阪-尾道)である。その他博多、西九州、山陰地方を結ぶ航路も瀬戸内海を航行としている。また大阪と徳島県下を結ぶ航路も設定された。本稿ではこれらは除外して論じていく。



さて、ここでは、山陽路に鉄路が延びていく時期、本州と四国を結ぶ瀬戸内航路はどのような状況にあったのかみていきたい(図1)。

大阪商船開業から3年後の1887(明治20)年、尼ヶ崎汽船部が大阪と若松(北九州市)を結ぶ路線を運航した⁴⁾。同社は大阪商船が寄港しなかった香川・愛媛両県各地に寄港し、さらに低廉な運賃設定で人気を呼んだというが、就航している船舶は小型でしかも寄港地が多いためかなりの時間を要したという⁵⁾。

その他には、1885(明治18)年には宇和島運輸によって大阪-宇和島間が運航されている。この船舶会社は大阪商船に対抗する形で地元有志達の出資によって作られた⁶⁾。さらに遡り1874(明治7)年には住友汽船が大阪と新居浜・今治。三津浜を結ぶ航路を開いた。しかし、その主目的は別子鉱山から産出された粗銅の運搬にあった⁷⁾。

さて、瀬戸内海沿岸地域を結ぶ航路は明治20年代から本格的になる⁸⁾。この瀬戸内海航路がさかんに運行されたのは愛媛県と広島県を結ぶいわゆる「芸予航路」である。愛媛県東部(東予地方)では今治と広島県尾道・広島市宇品を結ぶ航路が栄えた。1888(明治21)年今治市に拠点を置く木村汽船がこの路線を運航、続いて1895(明治27)年住友鉱山汽船部は新居浜・今治と尾道間を結んだ。その後は1897(明治30)年東予汽船、大正期に入ると石崎汽船などが続いた⁹⁾。

松山市を中心とする中部地域(中予地方)では1891(明治24)年石崎汽船によって三津浜・宇品航路が開設され、さらに1896(明治29)年早速汽船、翌年には大阪商船、1912(大正元)年尼崎汽船と続いた。とりわけ石崎汽船は1895(明治38)年、三津浜・高浜から尾道への航路を「東京への連絡コース」と銘打って航行し人気を博したという¹⁰⁾。

こうしてみると、石崎汽船のみならず航路の多くは山陽鉄道開通との関係が強く、鉄道連絡船の色彩が濃いことが読み取れよう。

一方、今日「瀬戸大橋」のある岡山県と対岸に位置する香川県を結ぶ航路はどうであったか。このルートといえば宇高連絡船が先ず想定されよう。宇高ルート開設までの岡山と四国を結ぶ航路は、1903(明治36)年山陽汽船による岡山と高松を結ぶ航路があった¹¹⁾。山陽汽船は山陽鉄道によって開設された海運会社で、当時は鉄道会社が他の事業にかかわることが禁じられておりその代替措置として設立された。しかし、岡山港といっても岡山駅から市内京橋橋付近の船着き場までは人は人力車、荷物は荷車で向かう。そこから海岸沿いの三幡まで小型汽船で向かい、そこで乗り換えて高松に向けて出港しなければならなかった。その結果、岡山・宇野間の鉄道敷設と宇野港整備が強く望まれた。そして1910(明治43)年これらが開通・完成したのである(図2)。

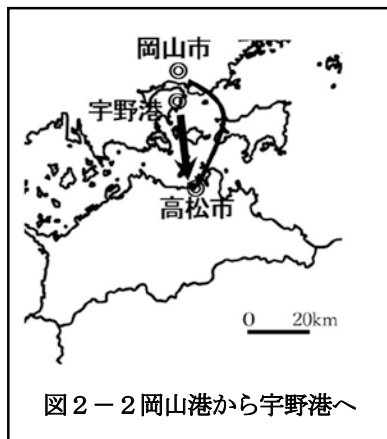
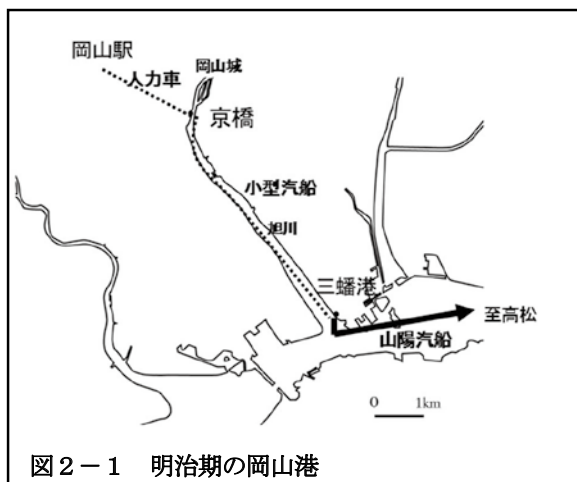


図2-1 明治期の岡山港

図2-2 岡山港から宇野港へ

図2 明治期当時の岡山・高松航路の変遷

(注) 史資料をもとに筆者作成

山陽汽船は山陽鉄道が馬関(下関)まで延伸する間、山陽鉄道の未完区間を補完する暫定的な役割も果たした。1898年(明治31年)門徳連絡船(門司-徳山間)を航路させているが、鉄道が馬関まで開通する1901(明治34)年までの僅か3年間であった。その後1901年からは関門連絡船として就航を始めた。

瀬戸内海の航路は山陽地方と四国の瀬戸内沿岸地域を結ぶ路線を中心に展開してきた。その背景には四国で鉄道敷設が一向に進まなかったことにある。鉄道国有法が公布された1906(明治39)年時点においても四国内の鉄道網は局地的なもので高松市と琴平間、高浜港と道後温泉と松山市周辺、徳島市から吉野川沿いに鴨嶋(現吉野川市)のみであった¹²⁾。高松と松山が鉄道で結ばれるのは1927(昭和2)年のことである。以下明治期から大正期にかけて瀬戸内海の航路開設状況を年表にまとめる(表1)。

表1では山陽鉄道との関連といった視点から見たものである。表を見る限り本四連絡航路は山陽鉄道の西進との関係性が強いことが読み取れる。特に尾道-今治航路が大きな拠点となっていたようで、複数社の航路が認められる。1903(明治36)年の松山市近郊の三津浜-尾道航路は鉄道連絡路として開業され、その後1911(明治44)年には鉄道院から本四鉄道連絡路としての有効性が認可され、官鉄(後の国鉄)・石崎汽船・伊予鉄道の三社による「三社連帯運輸」が認可されている¹³⁾。また山陽鉄道が広島まで延伸された1894(明治26)年以降は広島市の宇品がもう一つの拠点となり、松山市の外港として三津浜も四国の玄関口の機能を有している。

以上のことから、瀬戸内海航路は山陽鉄道(後の国鉄山陽線)とともに四国との連絡手段として機能していたといえよう。そして1912(明治45)年阪神-別府間の旅客専用航路が開かれたのである。

表1 明治期および大正期における瀬戸内海航路と山陽鉄道の関連

西暦(元号)	瀬戸内海横断航路	芸予航路	備讃航路	山陽鉄道
1884(明治17)	大阪商船 大阪-馬関・細島・大分・広島・尾道			
1885(明治18)	宇和島運輸 大阪-宇和島			
1887(明治20)	尼ヶ崎汽船 大阪-若松			
1888(明治21)		木村汽船 今治-尾道・宇品		鉄道免許取得 兵庫-明石・姫路
1889(明治22)				兵庫-神戸
1890(明治23)				兵庫-和田岬
1891(明治24)		石崎汽船 三津浜-宇品		神戸-尾道(同年に岡山・倉敷・福山開通)
1892(明治25)				神戸-三原
1894(明治26)				神戸-広島
1895(明治27)		住友鉱山汽船部 新居浜・今治-尾道		東海道線と相互乗入
1896(明治29)		早速汽船 三津浜-宇品		
1897(明治30)		大阪商船 三津浜-宇品		神戸-徳山
1898(明治31)	山陽汽船 徳山-門司			
1901(明治34)	山陽汽船 馬関-門司			神戸-馬関(全通)
1903(明治36)	大阪商船寄港地を三津浜から高浜に移す	東予汽船 今治-尾道 今治-宇品 石崎汽船 三津浜-尾道 山陽汽船 多度津-尾道	山陽汽船 岡山-高松	
1904(明治37)				讃岐鉄道買収
1906(明治39)			山陽汽船国有化	国有化
1910(明治43)			宇野-高松	岡山-宇野
1912(明治45)	阪神-別府 旅客専用航路			

出典)三木(1995).中西(1999).愛媛県生涯学習センターHP データベース『えひめの記憶』.中山(2021).より抜粋

(2) 鉄道開業が遅れた四国の事情

明治も後期になると鉄道は全国各地で相次いで開通し、新しい交通インフラとしての地位を築いていた。前述の通り中・四国に初めて鉄路が誕生したのは1888(明治)年伊予鉄道による松山-三津間である¹⁴⁾。さらに翌年には讃岐鉄道によって丸亀-琴平間も開業した¹⁵⁾。伊予鉄道に至っては全国で2番目に開業しており、四国は鉄道開業の出足は早かったのである。しかし、明治中期以降全国各地で鉄道建設の計画が浮上したのだが、四国はそ

の動きは非常に鈍く、県庁所在地を結ぶといった大動脈としての鉄道建設は大いに遅れたのである。

その背景について三木(1995)は、幹線鉄道の整備の遅れを指摘している。四国の鉄道は1992(明治25)年に制定された鉄道敷設法(旧法)によって3路線が挙げられたのだが、同法に記載された建設促進を促す条文に3路線ともに列挙されていなかったことで建設が進められなかったとしている¹⁶⁾。その上でこれら幹線となるべく路線から支線として伸びる鉄道網の整備も必然と進まなかったとしている。

このような事態を招いた社会背景として西田(1996)が提示しているように、元来多島海である瀬戸内海を“一つの海”として捉える発想がなかったことが大きいと考える¹⁷⁾。近世期ではこの海域は「播磨灘」「伊予灘」「備讃瀬戸」などいわば海を区切る視点で語られ、ひとつの海域としての視野に欠けていたことは事実であろう。実はこの“伝統”は今日も生き続けている。

例えば1973(昭和48)年に施行された「瀬戸内海環境保全特別措置法」では海的环境保全を守るためにこの海域を12区分している(図3)。面積23,203km²で、760kmを超える海岸線を持つ海域に727もの島々が点在する多島海では“繋がっている一つの海”という概念は想起され難いのだろう¹⁸⁾。

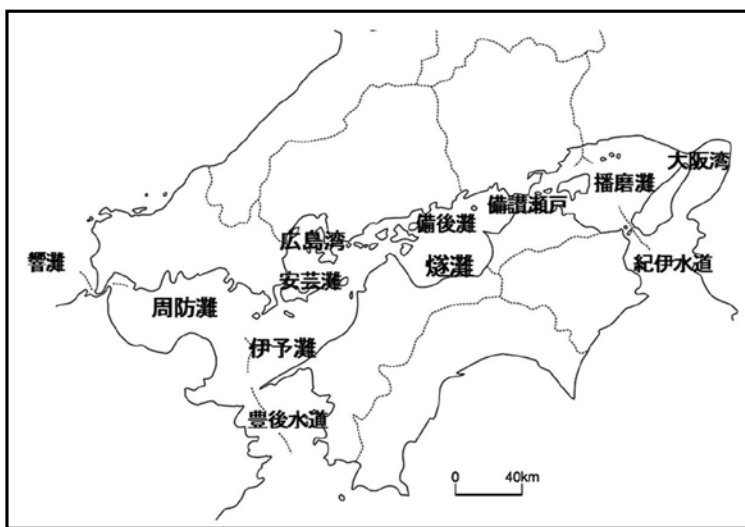


図3 今日の瀬戸内海の区分(一例)

注)国土交通省中国史地方整備局資料をもとに筆者作成

したがって四国の瀬戸内海沿岸地域は山陽鉄道(後の国鉄山陽本線)を幹線として位置づけていたともいえよう。大阪商船はこうした背景を持つ瀬戸内海に多くの航路を所有した。こうした視点からの考察することも重要で、今後の検討課題としたい。

(3) 結節点としての鉄道と港

四国の瀬戸内海沿岸は前述の通り鉄道建設への欲求よりも、伝統的な海との繋がりに視点を置いてきたと考えられる。明治期中頃までの航路は比較的小型な和船(帆船)の時代であり、よって利用できる港湾の選択肢は多かった。しかし、明治後半になると蒸気船が次々と導入され、船舶も大型化していった。

こうなると、入港できる港湾は水深があり大きな岸壁の整備が可能な場所に限定される。既に大温泉観光地となっていた別府温泉でさえ、大型汽船が接岸できる岸壁は大阪商船によって1916(大正5)年ようやく完成している¹⁹⁾。多くの港は大きな船舶は沖合に停泊し港との行き来は小さな船に乗り換える必要があった。

地域にとっては地元の港に大型汽船が立ち寄るか否かは、まさに将来の命運を握るという事態に局面したと言っても決して過言ではなからう。

鉄道と港を巡る地域の事例として、愛媛県の現松山市三津浜と高浜の事例をみると、明治期中頃まで城下町松山の外港機能を担ってきたのは三津浜であった。明治中期の大阪商船開業当初もこの伝統は受け継がれてきた。しかし、大阪商船をはじめとした船舶会社は大型汽船を導入し始め状況は一変する。三津浜港では大型汽船の接

岸が難しいことが判明、数キロ北に離れた高浜に新たな港湾機能を求めた。この事態は鉄道敷設にも影響を及ぼし、伊予鉄道の三津駅は当初の港近くから水路(運河)を隔てた当時の隣村に移ってしまったのである(三木1995)²⁰⁾。

岡山港においては、前述した通り高松に通ずる三幡まではかなりの時間と労力を要したのである(三木1999)²¹⁾。その果ては岡山市中心部から近い従来の航路を見限り、宇野港を外港として宇野までの鉄道敷設と宇野港整備が強く望まれる事態となったのである²²⁾。

香川県の多度津港は近世期には北前船の寄港地として、さらに琴平参りの玄関口として発展してきた。1889(明治22)年には讃岐鉄道が丸亀・多度津・琴平間を開業し琴平参拝客の足となった²³⁾。そして大阪商船が多度津港に乗り入れ讃岐鉄道と連結させ多いに賑わったという²⁴⁾。しかし、高松港の大規模改修に時期を合わせるように1897(明治30)年には讃岐鉄道は高松まで延伸させた²⁵⁾。1910(明治43)年には国鉄が高松港と岡山県の宇野と鉄道と連結させた航路を開設した。こうして接続点としての機能は高松港に移行していったのである。

このように船舶の大型化による新たな港湾整備は地域大きな影響をもたらしたのである。

3 山陽路に延びる鉄道

(1) 山陽鉄道の開業と西進

これまで、大阪商船による瀬戸内航路開設当時の瀬戸内海をめぐる海運の状況について、山陽鉄道の延伸との関連性といった視点から検討してきた。ここではその山陽鉄道の西への延伸についてみていきたい。

山陽鉄道は前項表1に記したように、1888(明治21)年1月16日付の官報にて鉄道敷設免許が通達された²⁶⁾。同年4月の株主総会にて中上川彦次郎が初代社長に就任した。しかし、政府からの敷設免許獲得への道りは険しかった。山陽鉄道側は当初兵庫と姫路を結ぶ地方鉄道としての開業を目指したというが、この時既に官営鉄道によって東京から大阪までの東海道線の全通を控えていた。さらに東京・馬関(下関)までの幹線鉄道化をも見据えた場合、姫路までの敷設計画では意味を持たない。現に国からは免許認可の条件として馬関までの開業を条件とされたという²⁷⁾。認可を受けた年の11月1日には兵庫・明石間が開通、12月23日には姫路まで鉄道を延ばしている²⁸⁾。以下、前章表2の通り1901(明治34)年5月24日には馬関(下関)まで到達した²⁹⁾。

(2) 航路との競合への対応

山陽鉄道は九州および四国西部に向かういわば瀬戸内海を横断する航路とは競合関係にあったが、四国の瀬戸内海沿岸地域にとっては大阪そして東京に通ずる幹線鉄道として捉えられていた。その山陽鉄道は四国との連絡をスムーズに行うため、そして四国内での集客を狙い1904(明治37)年には四国の讃岐鉄道を買収している。讃岐鉄道は古くから参拝客が絶えない金比羅宮(琴平)を控える。このことから四国と本州の連絡ルートのみならず、瀬戸内海を挟んで内陸交通に影響強化も視野に入れたといえよう。

山陽鉄道は1896(明治29)年の株主総会にて大阪府下安治川までの延伸を決議している³⁰⁾。結果的には認可されなかったが、こうした山陽鉄道の動きについて西藤(2008)は「在来の瀬戸内海沿岸の在来運航業者との連携を強めつつも、官営鉄道との競合を避け、自社路線だけで貨物の一貫輸送を狙ったものであろう」と述べている。当時大手三大私鉄の一つと位置付けられながら、実質半官半民と称された日本鉄道との違いが読み取れよう³¹⁾。

山陽鉄道の延伸工事は他社同様国内経済状況にも翻弄されてきた。とりわけ日清戦争(1894(明治27)年-95(明治27)年)時に軍を指揮する大本営が広島に移されると、日清戦争の最前線補給地として同市は軍都としての性格を強めることになった。鉄道は軍事物資の輸送路としての重要度が増し、山陽鉄道にもその役割が強く求められた。結果、広島以西への延伸工事は滞り広島-徳山間68kmの開通に3年もの時間を要している。因みに神戸-広

島間 195km は 6 年で開業させている。

この徳山延伸により九州との航路を関連会社の山陽汽船によって開設した。鉄道と海路を連結させたのである。しかしこの航路は山陽鉄道が馬関まで開通すると僅か 3 年で廃止された。このことから山陽鉄道は瀬戸内航路を強力に意識しながら九州への輸送力増強を図り地位確立に努めていたことが読み取れる。

その一方では、山陽鉄道は瀬戸内航路との厳しい競争に晒されてもいる。特に運賃は厳しい競争に直面していた。例えば、神戸・姫路間が開業して間もない頃の運賃(何れも下等運賃)を見ると、山陽鉄道の 34 銭に対して、汽船各社は 30 銭であった(三木 1995)³²⁾。速達性を鑑みれば 4 銭の差額はそれほど大きなものではないだろうと思われるが、貨物運賃は和船(木造帆船)に関してはかなり不利な立場に立たされており、貨客双方を合わせるとやはり厳しい局面に立たされていた違いはない。

海路との競争で苦戦する一方、旅客では当時としては斬新で先端的なサービスを提供している。1894(明治 27)年には長距離急行列車の運転を開始、1896(明治 29)年主要駅に「荷運び夫」を置き後の「赤帽」の先駆けを創った。1898(明治 31)年には車内灯を電灯にし、接客担当のボーイも添乗させている。1899(明治 32)年には食堂車を連結しその営業を民間業者に委託している。さらに 1900(明治 33)年には一等寝台車を投入、3 年後には二等寝台車も投入している。1901 年(明治 34 年)には、日本初の優等列車「最急行」(特急列車の元とされる)を走らせた。翌 1902(明治 35)年には馬関に大陸航路の待ち合わせ用として後のステーションホテルの先駆けとなる山陽ホテルを設置した³³⁾。

こうしてみると、山陽鉄道は本四連絡航路、換言すれば短距離で地元業者が担っている瀬戸内海縦断航路は協調関係に努めている。反面、大阪商船といった瀬戸内海を横断する長距離航路への対抗策として当時としては斬新なサービスを展開していたといえよう。

速達性(スピード)では当然のことながら鉄道の方が圧倒的に早い。大阪・馬関を 17 時間程度で結んでいる。これに対して航路は 29 時間以上かかっている。しかし航路は各地に寄港し乗船客と地域の便宜を図りつつ運行している。また留意しなければならないのは、航路は旅客のみならず貨物輸送も大きく担っていたという点である。貨物の運搬力は船舶が鉄道を大きく上回る。とりわけ農作物や石炭等は多少時間がかかっても低廉な運賃が優位である。三木(1999)によれば 1913-14(大正 2-3)年当時瀬戸内航路(汽船)の収入構造は旅客 62.0%貨物 38.0%出逢ったと示している。この中で大阪-九州航路においては貨物が 66.3%を占めていたと提示する³⁴⁾。

4 大阪商船瀬戸内航路就航と当時の瀬戸内海へのまなざし

(1) その頃の瀬戸内海に対するまなざし

大阪商船開設の背景には、零細海運業者の厳しい経営状況と西南戦争後の政府の財政危機がある。具体的には、1877(明治 10)年に勃発した西南戦争により大阪は物資輸送の拠点となり、瀬戸内航路を中心とする海運業は大きく発展し、戦後も活況を呈して瀬戸内航路は黄金期を迎えた。しかし、海運業者の大半は零細事業者であり、過当競争による運賃値下げ競争の激化は海運業の発展に支障をきたすとの懸念の声が高まった³⁶⁾。さらに西南戦争は明治新政府にとって大きな財政負担となり、後に松方財政と呼ばれる厳しい支出削減と増税を強行したが、日本経済はデフレに陥った。この不況は零細海運業者を苦境に追いやり「大阪経済は零細海運業者の行く末に掛かっている」との懸念が広まったのである。こうして 1882(明治 15)年 11 月大阪商船は設立されたのであった。

しかし、大阪商船は日清戦争(1894-95 年)終戦後の不況により経営は危機に陥り、当時進めていた外航路線と瀬戸内海路線を中心とした国内航路を完全に分離させ、後者は「内航部」として再出発させ、部長に就任したのが山岡順太郎(以下、山岡)であった³⁷⁾。山岡は内航部の組織を立て直すとともに別府航路を新設した。では、なぜ山岡は経営が必ずしも順調とは言えなかった時期に別府航路開設に目を付けたのだろうか。

その当時における大阪商船は前述した三木(1995)の指摘通り、山陽鉄道の全線開業後も旅客輸送の一翼を担っていた³⁹⁾。大阪からみるとさらに遠く、そして“瀬戸内海の最奥部(終着点)”ともいえる九州の別府は鉄道との競合を考慮する必要性はほぼなかったと考えられる。

(2) 山岡による別府航路戦略～鉄道との競争に向けて?～

当時の状況を鑑みると、大阪から別府への航路は鉄道との競合にはならないとした山岡の確かな計算があったと思われる。その一方で、山陽鉄道のサービス攻勢にも刺激を受けたことも推測できよう。山岡は別府航路に中国の揚子江(長江)路線に就航していた「紅丸」を導入した。1,399トンという当時の国内航路では破格の大型船を導入し「海の女王」と呼ばれた³⁹⁾。

紅丸の船内施設は「ベッド付き1等」は定員20名、2等は畳の上に毛せんを敷き、カーテンで仕切り定員は152人、3等は畳だけのであるが定員292名で、これは当時の貨客船の定員の2倍という大きさであった。さらに浴室・娯楽室も完備し、速度も12ノット(時速およそ22キロ)と当時としては類を見ない速度であった。当時のダイヤは隔偶数日(中3日おきの偶数日)に大阪を出港し別府までは丸1日を要した。

実は山岡は1898年には大阪商船の社長となりつつも、大阪千里丘の宅地開発でも手腕を発揮するなど実業家として手腕を振っている。こうしたことから別府航路開設にはしたたかな計算があったとも考えられよう。

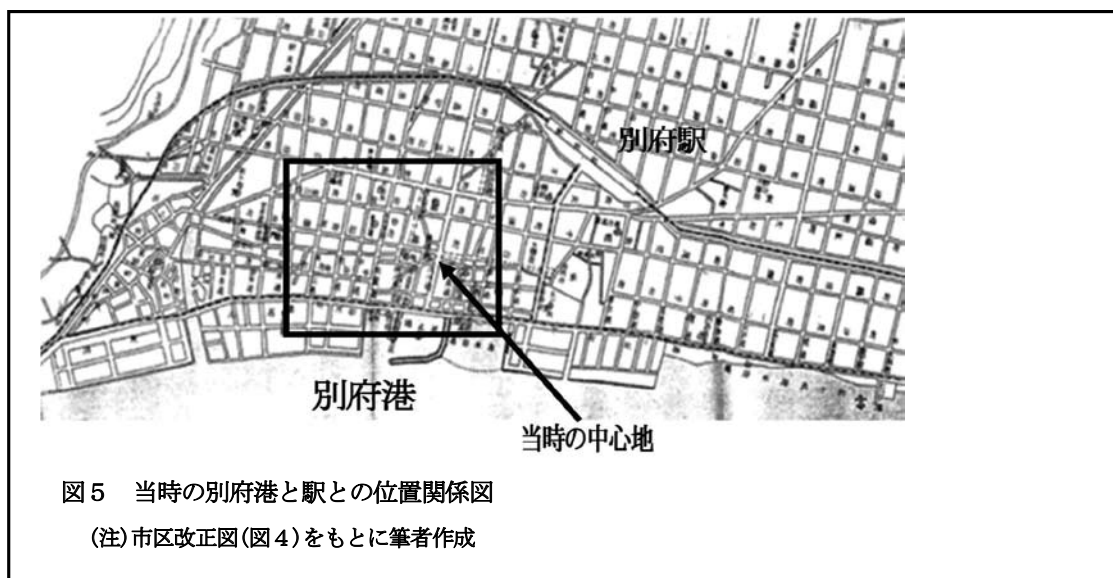
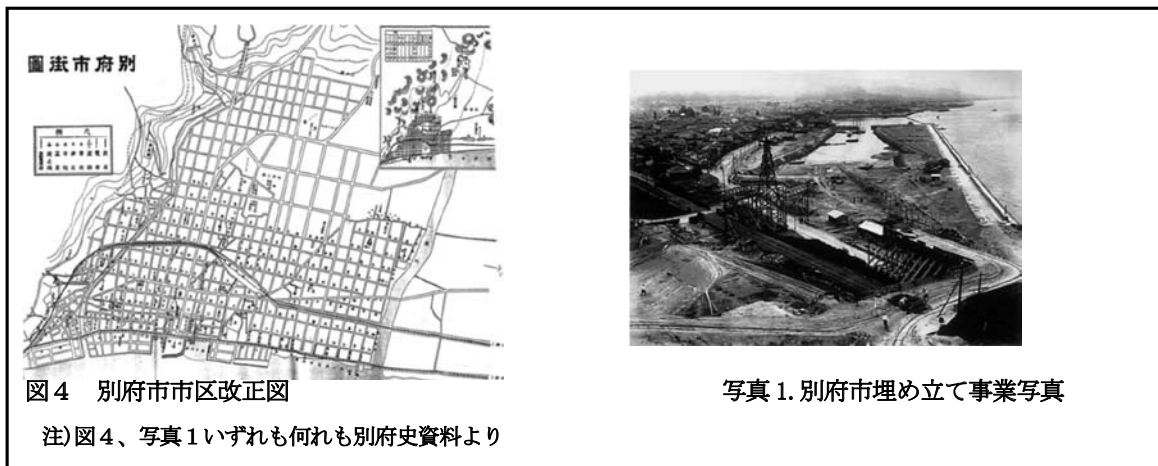
1916(大正5)年には大阪商船専用棧橋が完成し、これによって紅丸も接岸可能となった。1923(大正13)年には「屋島丸」も就航し輸送力を増強し、さらにその後も1936(昭和11)年までに、「紫丸」「紅丸(2代目)」「緑丸」「堇丸」「に志き丸」「こがね丸」の1500～1900トン級の6隻が相次いで就航させた⁴⁰⁾。

当時の常識を覆す戦略が功を奏した背景には、明治も末になると国内では産業革命が佳境を迎え、国民生活にも大きな変化が生じたことは見逃せない。別府温泉側においても港を観光の中心に据えていたことがうかがえる。1922(大正12)年には別大電車が別府棧橋(別府港)まで延伸され、船着き場が観光の拠点となった。その後1928(昭和3)年の地獄めぐりバスの発着も船着き場に定められたのである。

(3) 遂に鉄道が別府にやってきた…だが

1911(明治44)年鉄道が別府にまで及んだ。これは1873(明治6)年の大阪開商会の「益丸」就航から実に38年、そして1884(明治17)年大阪商別府寄港からも27年後のことである。1909(明治42)年には今日の都市計画ともいえる「市区改正」の条案が町議会を通り着工目前という段階であり、鉄道がやってきた年には浜脇地区では海岸の埋め立て事業が着手されている(図4、写真1)。また、油屋熊八が亀の井旅館を開業したのもこの年である。

こうしてみると、鉄道が延びてきた時には別府は既に温泉観光地としてそれなりの地位を築き、さらに都市計画や埋め立て事業を通して近代的な観光地づくりに着手していたのである。しかもこれらの事業は別府港(旧港)を中心にプランニングされたと言っても過言ではない。現に鉄道の駅は広大な敷地を必要とすることもあり、市区改正で近代観光地の中心とすべくエリアをぐるっと迂回する形で線路敷設がなされた(図5)。結果的に港と駅はこの市区改正によって街路で結ばれ中心街(市街地)形成の拠点となるのだが、事業展開に際し鉄道と駅への期待はどの程度であったのかは検討すべき事項である。



6 瀬戸内海地域における別府温泉の位置づけ～まとめに代えて～

以上大阪商船が別府航路を観光路線として捉えた時期における瀬戸内海航路の全体像を俯瞰し、その頃の別府について俯瞰してきた。

これまで温泉観光都市別府の成り立ちを論じた研究の多くは、既に別府が大阪商船によって切り開かれた時点を出発点とした論考が多かった。今回はこれまで余り着目されてこなかった“瀬戸内海からのまなざし”という視点から別府温泉について検討してみた。

まずは、大阪商船が阪神と別府間をそれも旅客船専用航路として開設するまで当事者である大阪商船の瀬戸内海航路に紆余曲折があった点を強調することができた。とりわけ大阪商船自身が西進する山陽鉄道との競合という事実と直面しながらも、旅客面でかなりのシェアを維持していたのである。

その背景には四国における鉄道網整備の遅れがある。四国の瀬戸内海沿岸部は四国本島に鉄道を敷設することよりも、三木が指摘するように本州の瀬戸内海沿岸部の鉄道を幹線として位置づけていた⁴¹⁾。というのは、仮に四国内に鉄道を通したとしても、何れにせよ何処から海を渡らなければ阪神地区と交易はできないという事実がある。したがって当時の状況下では鉄道の必要性が低かったのであろう。

大阪商船も本論で触れたようにこのような状況に対応していたといえよう。こうした中で1907(明治40)年には

国内航路部署を「内航部」として独立させ、1912(明治45)年には別府温泉の観光開発を目的とした1,000トン級のドイツ製客船「紅丸」を就航させたのである。さらに1916(大正5)年には大阪商船専用の棧橋を設置して汽船を接岸できるようにしている。さらに後年「紫丸」「屋島丸」を就航させ毎日運航態勢を敷くのである。

大阪商船は別府温泉の観光開発に注力する前に、瀬戸内航路において山陽鉄道との競合と協調という経緯を経ているのである。そして、別府温泉の観光開発に専心できたのは、大阪から見れば別府は瀬戸内海の最奥部に位置していることが大きなアドバンテージとなったことは間違いなかろう。つまり、瀬戸内海における山陽鉄道との競合のようないわば「鉄道を意識しなくても良い」立地といえる。

一方、大阪商船が別府観光開発に本腰を入れる前年の1911(明治44)年に別府にも鉄道院によって鉄路が伸びていたのである。果たして、大阪商船は別府温泉を舞台として鉄道との競合という局面をどのように捉えていたのだろうか。あるいは豊州本線(後の日豊本線)はこの地域でどのような位置づけであったのか。別府温泉を巡る大阪商船と鉄道との関係性を紐解くことは、別府温泉の発展展開を見る上で重要な要素といえるだろう。

【注・文献】

- 1) 中山昭則(2022):温泉地の観光地化に於いて大阪商船が果たした役割～別府温泉並びに紀伊半島を事例として～. 大分県温泉調査研究会報告第73号. 55-68.
- 2) 三木理史(1999):『近代日本真地域交通体系』大明堂. 124.
- 3) 中山昭則(2021):近代交通網の整備下における温泉地の観光地化に関する比較考察～別府温泉と南紀白浜温泉を事例として～. 大分県温泉調査研究会報告. 第72号 43-52.
- 4) 中西聡(1999):近代輸送体系の形成と港湾の性格変化、瀬戸内・山陰地帯を事例として. 経済学研究 48(3). 231-250.
- 5) 前景 4).
- 6) 愛媛県生涯学習センターHP データベース『えひめの記憶』愛媛県史地誌Ⅱ(南予)二. 沿岸航路の盛衰 <https://www.i-manabi.jp/> より.
- 7) 前景 6). 臨海都市圏の生活文化(1)南北航路の歩み.
- 8) 1869(明治3)年には今治市の飯忠七は今治・大阪を僅か3トンの手漕ぎ船で木綿を運搬し、彼は蒸気船の将来性を見込み既に蒸気運搬船を運航していた住友鉱山に働きかけている。しかしこれは木綿や鉱産物運搬を目的としたもので本稿では対象外とする。
- 9) 前掲 6)に同じ.
- 10) 前掲 6)に同じ.
- 11) 常盤グループオフィシャルHP (<http://www.tokiwagroup.com/index.html>)
- 12) 三木理史(1995):近代瀬戸内海地域における地域交通体系の変容-海陸連絡機能を中心として-. 歴史地理学 175. 1-21.
- 13) 前掲 7)と同じ.
- 14) 前掲 6). 社会経済 3 商工. 三)私設鉄道の創設 <https://www.i-manabi.jp/> より
- 15) 前景 14)と同じ.
- 16) 前景 14)と同じ.
- 17) 西田正憲 1996 近代の欧米人による瀬戸内海の風景の賞賛 ランドスケープ研究 59-4. 298-309.
- 18) 国土交通省中国史地方整備局HP <https://www.pa.cgr.mlit.go.jp/suishitu/seto/add01.html>
- 19) 前掲 3)と同じ.
- 20) 三木理史(1995):「戸内海沿岸地域における海陸連絡輸送の展開」奈良大学紀要 23. 47-159.
- 21) 三木理史(1999):近代日本の地域交通体系. 大明堂. 137.
- 22) 前掲 21)に同じ.
- 23) 川上幸義の四国鉄道史 <http://ktymskz.my.coocan.jp/kawakami/sikoku.htm#1> より
- 24) 前掲 23)に同じ
- 25) 前掲 23)に同じ
- 26) 官報第 1361 号 1888(明治 21)年 1 月 16 日付より (出典:国立国会図書館デジタルコレクション)
- 27) 井田泰人(2002):「村野山人と山陽鉄道」交通史研究 48 巻 57-68.
- 28) 官報第 1648 号 1888(明治 21)年 12 月 25 日付より (出典:国立国会図書館デジタルコレクション)

-
- ²⁹⁾ 官報第 5731 号 1901(明治 34)年 5 月 31 日付より (出典:国立国会図書館デジタルコレクション)
- ³⁰⁾ 西藤二郎(2008):「山陽鉄道における牛場卓蔵の役割」生駒経済論集第 7 巻第 1 号. 163-188.
- ³¹⁾ 井上琢智(2009):「小野義真と日本鉄道株式会社」経済学論究 63-3. 687-703.
- ³²⁾ 前掲 12)と同じ.
- ³³⁾ 前掲 2)と同じ.
- ³⁴⁾ 前掲 21).124-125.
- ³⁶⁾ 前掲 3)と同じ.
- ³⁷⁾ 大阪商船三井船舶株式会社(1985):『創業百年史』. 74
- ³⁸⁾ 三木理史(1995):近代瀬戸内海地域における地域交通体系の変容-海陸連絡機能を中心として-. 歴史地理学 175. 1-21.
- ³⁹⁾ 商船三井 HP. さんふらわあコラム Vol. 5 栄光の別府航路 https://www.mol.co.jp/casualcruise-sunflower/article/know/konjaku_05/ (2023. 01. 31 閲覧)
- ⁴⁰⁾ 前掲 41).と同じ
- ⁴¹⁾ 前掲 20).と同じ

新型コロナウイルスパンデミックは温泉入浴行動を変えたのか？ ～第1波から第6波までの入浴行動の分析～

別府大学 食物栄養科学部 発酵食品学科 講師

加藤 礼 識

別府大学 食物栄養科学部 発酵食品学科 研究室助手

佐藤 穂・西田 友美子

別府大学 文学部 史学・文化財学科

上尾 光司朗

有限会社 サンエスマンテナンス

塩見 泰美

長崎大学 熱帯医学・グローバルヘルス研究科

阿部 しず代

要旨

2020年3月11日、WHOは新型コロナウイルスパンデミックを「正式」に確認し、それ以降世界各地で「爆発的」と言える感染拡大につながった。この新型コロナウイルスパンデミックは、我々の生活に様々な変化をもたらした。オンラインを用いた買い物やネット上の決済、フードデリバリーサービスの急成長、在宅勤務や大学等のオンライン講義化など枚挙にいとまがない。その中で新型コロナウイルスパンデミックは、温泉入浴行動にどのような変化をもたらしたのだろうか？本研究は、新型コロナウイルス第1波から第6波までの別府市営温泉の有料入浴客数の変化と新型コロナウイルス感染者数の推移を視覚的に比較できるように2変数のグラフ化を行ったほか、入浴客へのアンケートを実施し、質的なデータを用いてパンデミック中の温泉入浴意向を調査したものである。

1.目的

2020年5月4日、新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の提言を受け、新型コロナウイルス感染症の拡大を防止するために、日常の生活行動（移動や買い物、食事、働き方など）を変え、感染防止のための実践的な事例が行動指針として公表された。これは「新しい生活様式」と呼ばれ、身体的な距離の確保、マスクの着用、手洗いといった各自の基本的な感染対策から始まり、咳エチケット徹底やこまめな換気の実施、「3密（密集・密接・密閉）」の回避などの日常生活を営む上での基本的な生活様式の変更、さらには買い物における通販の利用促進、飲食におけるお持ち帰りや出前・フードデリバリーの利

用、テレワークやワーケーションの促進など、働き方の新しいスタイルへの変化が求められた。大分県内でも、「新しい生活様式」の実践が推奨され、様々な取り組みが行なわれ

◆新型コロナウイルス感染症の感染拡大防止のために◆
「新しい生活様式」を実践しましょう

基本的な感染対策

- ☑こまめに手洗い・手指消毒
- ☑咳エチケットの徹底（外出時はマスク着用）
- ☑3密（密集・密接・密閉）を避ける
- ☑人との間隔はできるだけ2m（最低1m）
- ☑会話は可能な限り真正面を避ける
- ☑窓を開け、こまめな換気（1時間に5～10分程度）
- ☑地域の感染状況に注意する

買い物

- ・1人または少人数で空いた時間に
- ・計画をたてて素早く済ませ
- ・展示品への接触は控えめに
- ・レジに並ぶときは、前後にスペース
- ・電子決済を利用する
- ・通販も利用する

食事

- ・対面を避けるなど座り方を工夫する
- ・おしゃべりは控えめに
- ・大皿は最初に取り分ける
- ・お酌は控え、回し飲みはしない
- ・持ち帰りやデリバリーも活用

スポーツ・娯楽等

- ・散歩やジョギングは少人数で
- ・すれ違うときは距離をとる
- ・公園は、空いた時間、場所を選ぶ
- ・施設利用時は予約して混雑を避ける

働き方

- ・テレワーク、ローテーション勤務の導入
- ・時差出勤でゆったりと
- ・オフィスはひろびろと
- ・会議はオンラインを活用
- ・打合せはマスク着用、スペースの確保

【大分県新型コロナウイルス感染症対策本部】 大分県 新型コロナ 検索

た。入浴行動に関しては「新しい生活様式」の発表を受け、2020年5月29日に全国公衆浴場業生活衛生組合連合会が「浴場業における新型コロナウイルス感染拡大予防ガイドライン」を発表し、入浴時の新型コロナウイルス感染症を予防するための総則を発表したが、細則についての取り決めはなされておらず、結果として各入浴施設での個別対応となった。

我々は、「新しい生活様式」や「浴場業における新型コロナウイルス感染拡大予防ガイドライン」が、温泉入浴行動にどのような影響を与えたのかを、新型コロナウイルスパンデミック第1波から第3波までの別府市営温泉6施設の有料入浴客数のデータを用いて分析を試み、昨年度公表した。その結果、別府市営温泉は新型コロナウイ

ルスパンデミックの影響を大きく受けた観光特化型温泉と、ほとんど影響を受けることの無かった地域密着型温泉、そして双方の要素を併せ持つ複合型温泉に分類することができ、それぞれの入浴客が温泉施設に対して望んでいる感染症対策に差があることが分かった。

本年度のこの研究では、第1波から第6波までの入浴客数データと、感染拡大がある程度進んだ後の入浴客へのアンケート調査による言語的なデータを用いて、新型コロナウイルスパンデミックによる、温泉入浴行動の変化を分析するものである。

2.方法

本研究では、別府市温泉課の所有する市営温泉6施設の2019年8月以降の有料入浴者数のデータと、2020年1月の新型コロナウイルス国内初感染から2022年3月31日までの全国の新型コロナウイルス感染者数のデータを突合し、入浴客数の増減に影響を与えたファクターについて検証する。影響を与えた因子としては、緊急事態宣言発令や不要不急の外出自粛要請、県境をまたぐ移動の制限、Go To トラベル、別府市独自に行った宿泊支援である「別府湯ごもりエール泊」などが想定されるが、これらが実際に入浴客数の増減

と相関があったかについて検討する。

また、実際の入浴客へのアンケート調査は、新型コロナウイルスパンデミックが実際に温泉入浴をする温泉利用者の心理にどのような影響を与えたのかを検討するために、6つの市営温泉を利用した有料入浴者を無作為に選んで、年齢・性別などの基本属性のほか、当該施設の利用頻度や、新型コロナウイルスの感染拡大初期（2020年春）と現在とで入浴に関する意識の変化などである。

3.結果

- (1) 第1波から第6波までの温泉入浴者数と全国の新型コロナウイルス感染者の推移
- 別府市温泉課より提供していただいた市営温泉6泉（浜脇温泉・田の湯温泉・不老泉・竹瓦温泉・鉄輪むし湯・別府海浜砂場）を入浴する属性の違いから、地元密着型温泉（浜脇温泉・田の湯温泉）、複合型温泉（不老泉・竹瓦温泉）、観光特化型温泉（鉄輪むし湯・別府海浜砂場）の3つに振り分けて、新型コロナウイルス感染者数の推移と入浴者数の推移との2変数のグラフ化を行い、新型コロナウイルス感染者の増減が、温泉入浴行動に影響を与えたのかを可視化できるようにした。また、そのグラフに、感染症対策として発動された「緊急事態宣言」や「まん延防止等重点措置」、観光業振興として行われたGo Toトラベルなどの入浴者数に影響を与えられらるるファクターを重ね合わせた。なお、実際には大分県内では、緊急事態宣言は発動されていないため、東京都等の他の自治体で発動された緊急事態宣言の情報を重ねている。

緊急事態宣言

第一回：2020/4/7～5/25（東京都）

第二回：2021/1/8～3/21（東京都）

第三回：2021/4/25～6/20（東京都）

第四回：2021/7/12～9/30（東京都）

まん延等防止重点措置

大分県：2022/1/27～2/20

県境をまたぐ移動の自粛（参考）

大分県：2020/4/18～6/18

Go Toトラベル

第一回：2020/7/22～2020/12/28にて中断

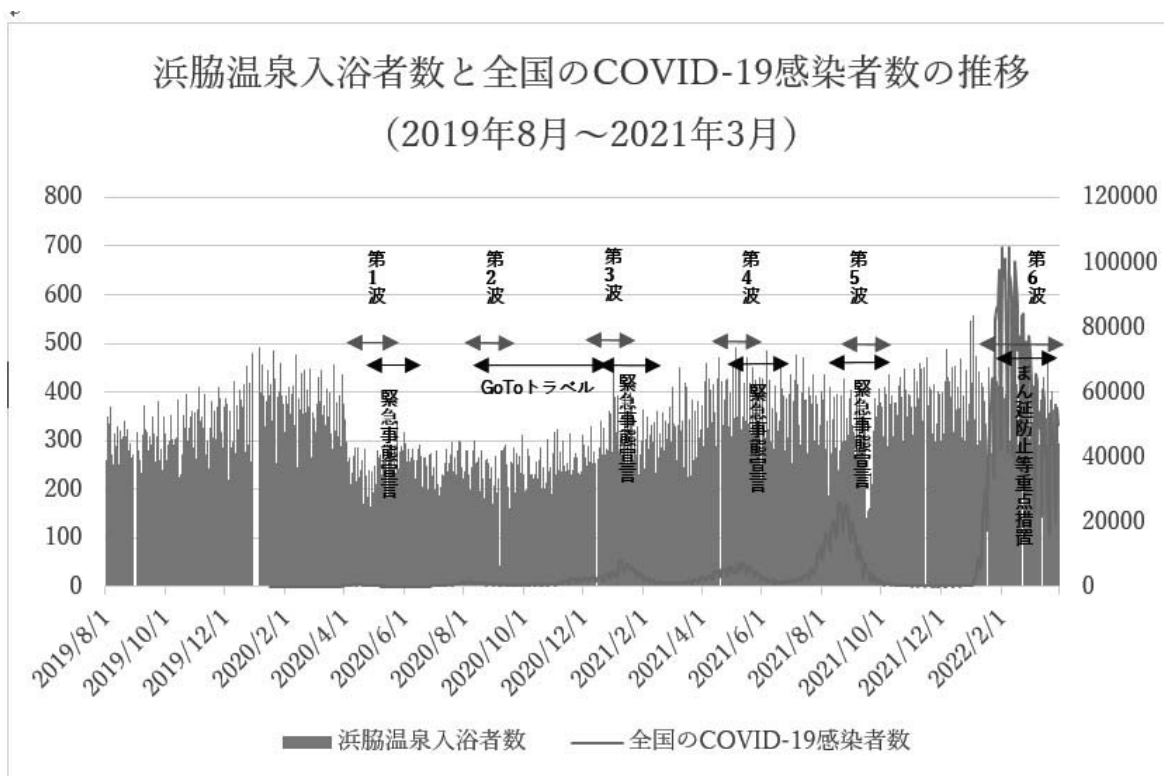
別府湯ごもりエール泊鬼割プラン（別府市の宿泊施設のみ）

実施期間：2020/6/15～2021/3/31

①地元密着型温泉（ジモ泉）

I、浜脇温泉

（入浴者数：2019年度 110,380人 2020年度 93,548人 2021年度 123,891人）

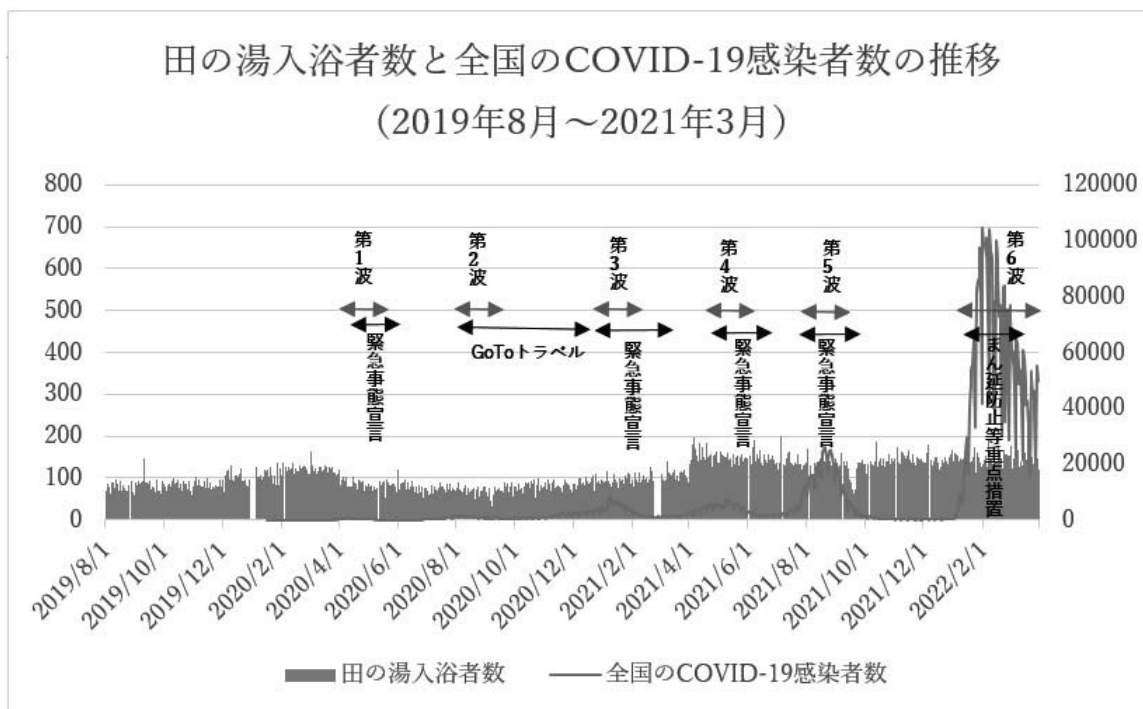


浜脇温泉の一日の入浴客数は、2020年4月15日をピークとする第1波の発生までは、300~400人で推移していた。2020年4月新型コロナウイルス感染拡大防止のため、大分県内には県境をまたぐ移動の自粛が発表され、入浴者数は3割程度減少した。（2022年3月と4月の比較）その後、第2波、第3波とパンデミックは移行するが、一日の入浴客数は200~300人で推移している。その期間内にはGo Toトラベルなどの観光振興策が実施されているが、温泉入浴者数の増加はほとんどみられていない。第3波収束後の2021年4月以降はコロナ禍以前の入浴者数である一日300~400人の入浴者数に戻っている。年間の入浴者数の総数で見ても、2019年度の年間入浴者数が110380人であったが、第1波から第3波の2020年度では93548人へと16832人の減少と1日あたり46人程度の減少があったものの、2021年度には123891人と、逆にコロナ禍以前よりも13511人の増加がみられている。

浜脇温泉は、浜脇地区の中心に位置し、市営温泉の中でも珍しい深夜1時までの営業を行っていることもあり、特に地元の人々の日常的な入浴の場として利用されているため、新型コロナウイルス感染者の増減に影響を受けにくかったものと考えられた。

II、田の湯温泉

(入浴者数：2019年度 32,873人 2020年度 28,942人 2021年度 49,151人)



田の湯温泉は、別府市営温泉の中でも特に、地元密着型温泉としての要素の強い温泉である。江戸時代からの歴史ある温泉であり、共同温泉としては新しくきれいな外観ではあるが、住宅街の中にあり、観光客が立ちよるような温泉ではない。コロナ禍発生以前は1日の入浴者数も100名程度と一定であった。第1波の発生以降1日の入浴者数は70~80人へと3割程度の減少(2020年3月と4月の比較)はみられたものの、新型コロナウイルスの感染者数の増減に反応するような推移は認められない。

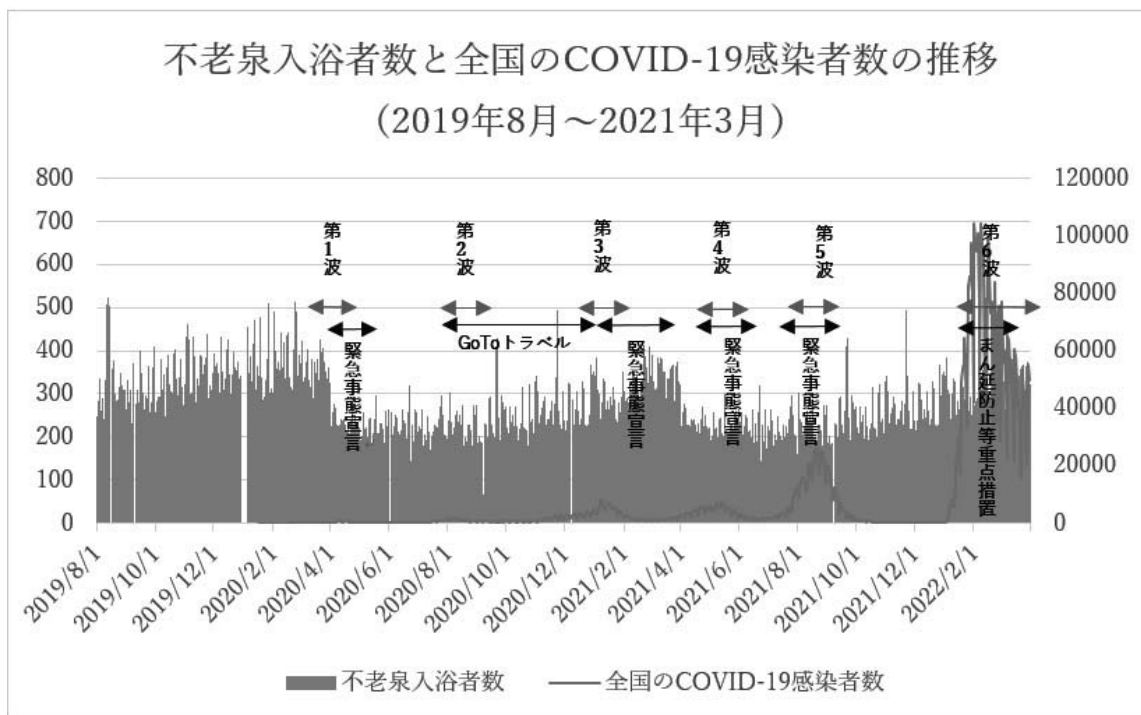
田の湯温泉については、あくまでも地元の方々が日常的な入浴に利用しているという背景が強く、新型コロナウイルス感染者の増減に影響を受けにくかったものと考えられた。なお、2021年4月より、2割程度の温泉利用者数の増加がみられるが、2020年末に別府市内の2つの共同温泉(野口中央温泉・上ノ温泉)が閉鎖したことや、70歳以上の無料入浴が21年3月末で廃止になったことが影響していると考えられる。

地元密着型の温泉は別府市内においては特に「ジモ泉」という呼ばれ方で、地域コミュニティの中心的な存在になっている。地域住民の日常的な入浴としての利用が中心となっている温泉では、新型コロナウイルスの感染者増減に関係なく、温泉利用が続いており、ほとんど影響を受けないという事が示唆された。

②複合型温泉（観光・地域密着混合型）

I, 不老泉

（入浴者数：2019年度 119,689人 2020年度 92,553人 2021年度 134,351人）

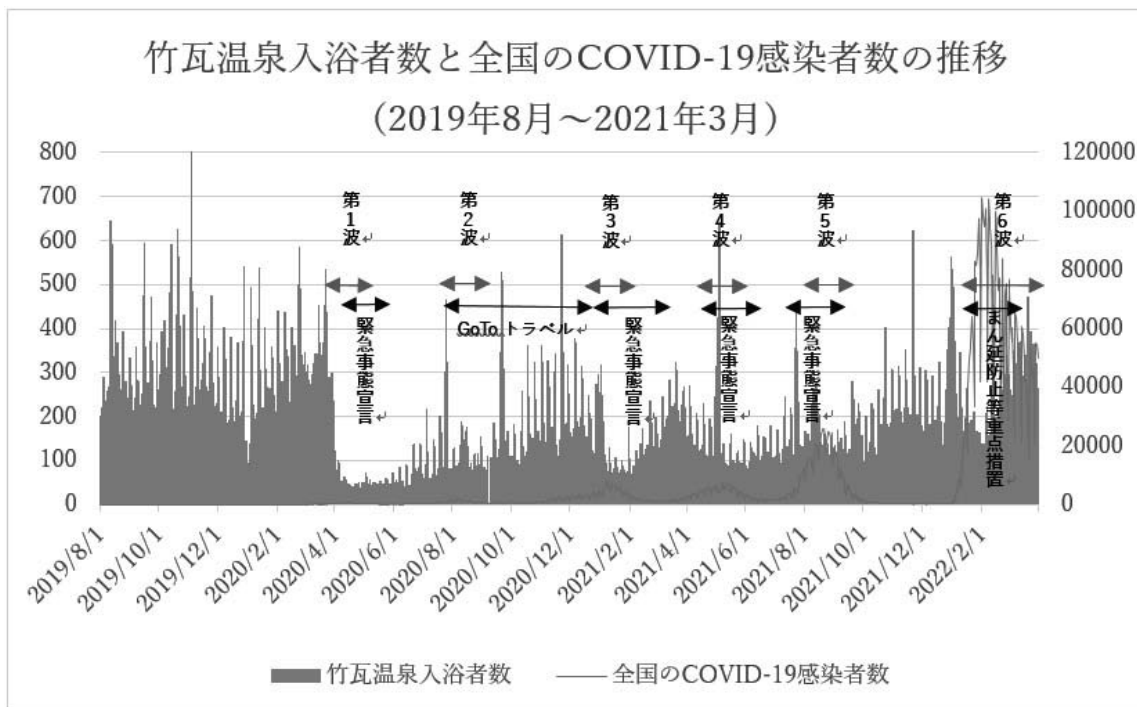


不老泉は、住宅街・商業施設に囲まれた地域にありながら JR 別府駅から徒歩 5 分という立地のためか、日常的な入浴を行う地元住民の温泉利用と、観光客の立ち寄り湯の要素が複合した温泉である。2020 年 3 月までは、月平均 1 万人の入浴者数を数えていた。新型コロナウイルス感染症第 1 波発生後に、1 ヶ月の入浴者数が 6000 人程度まで 4 割ほど落ち込んだが、新型コロナウイルス感染症の発生により、観光目的の立ち寄り湯客が減少した結果であると考えられる。昨年アンケート調査でも、不老泉利用者の約 60%が別府市内からの入浴者であり、市外からの入浴者が新型コロナウイルス感染症の発生によって減少したと考えることが出来る。グラフ上では、第 3 波と第 4 波の間で、利用者の急激な増加がみられている。増加要因は不明であるが、第 4 波の到来とともに入浴者数は減少した。第 5 波が収束すると日によるバラつきはあるものの、1 日 250~400 人の温泉利用者で推移し、第 6 波では感染者数が増加しても入浴者数に変化はみられなかった。

不老泉の場合、1 月 6000 人程度が、いわゆるジモ泉として、地元住民が日常的に入浴を行う場所として利用しており、この部分についてはコロナウイルス感染症の増減に影響なく温泉入浴を続け、残りの 4000 人程度は市外からの立ち寄り湯利用のためコロナウイルス感染症の増減に影響を受けたものと考えられる。

II, 竹瓦温泉

(入浴者数：2019年度 108,977人 2020年度 47,525人 2021年度 69,533人)



竹瓦温泉は、昭和13年に建築された木造2階建ての建造物が登録有形文化財となっており、別府の湯めぐりを代表する観光立ち寄り型の温泉ではあるが、昨年度のアナウンスにおいて別府市内在住の利用者が4割程度存在しているために、複合型温泉と分類している。2019年3月には1ヶ月の入浴者数が13,000人を超えたほか、2019年5月3日には1日の入浴者数が1,350人と過去最高を記録した。新型コロナウイルス感染症発生後、9割以上の入浴者数の落ち込みがあり、2020年5月3日には1日の入浴者数が62人まで減少し、前年同日と比較して95%の減少となっている。

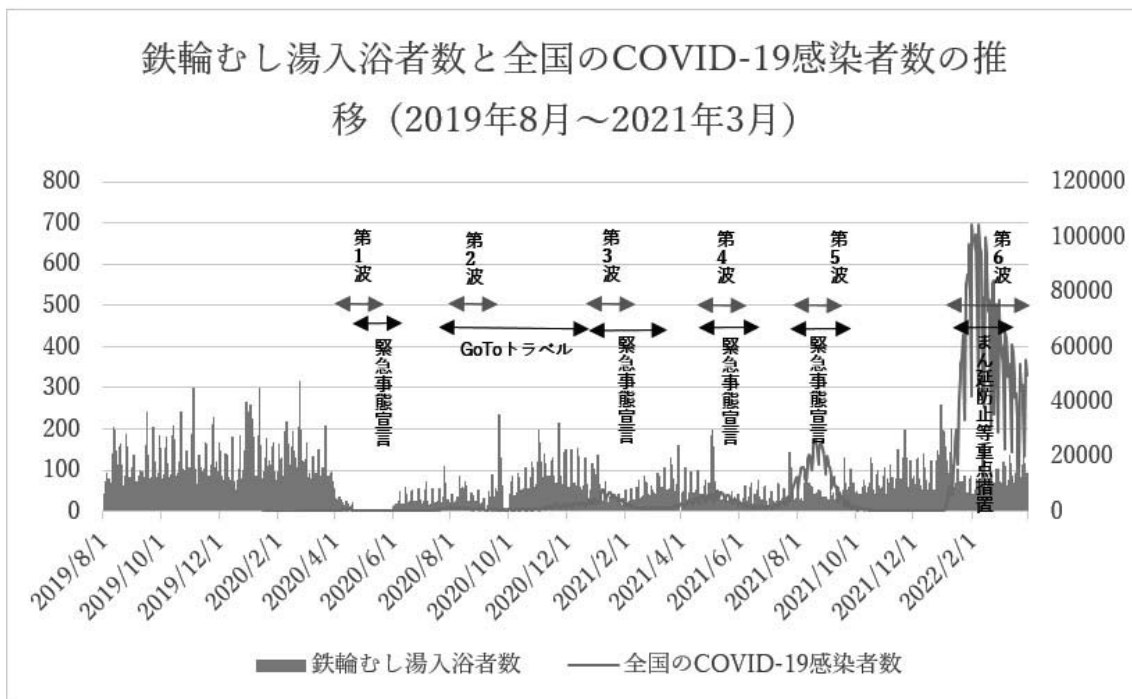
第1波で減少した入浴者数は、Go To トラベルなどの観光業振興策によって徐々に増加するが、第3波～第6波において新型コロナウイルス感染症患者が増加すると入浴者数が減少するという負の相関関係を示していた。

複合型の温泉では、利用者における地元住民の割合が、新型コロナウイルス感染症の影響を受けるかどうかの重要なファクターとなる。複合型でありながらも比較的、地域住民の利用割合が多い不老泉では感染拡大の影響を受けにくく、地域住民の利用割合が低い竹瓦温泉では感染拡大時に、入浴者数が大幅に減少する

③観光特化型温泉

I, 鉄輪むし湯

(入浴者数：2019年度 39,595人 2020年度 16,766人 2021年度 23,211人)

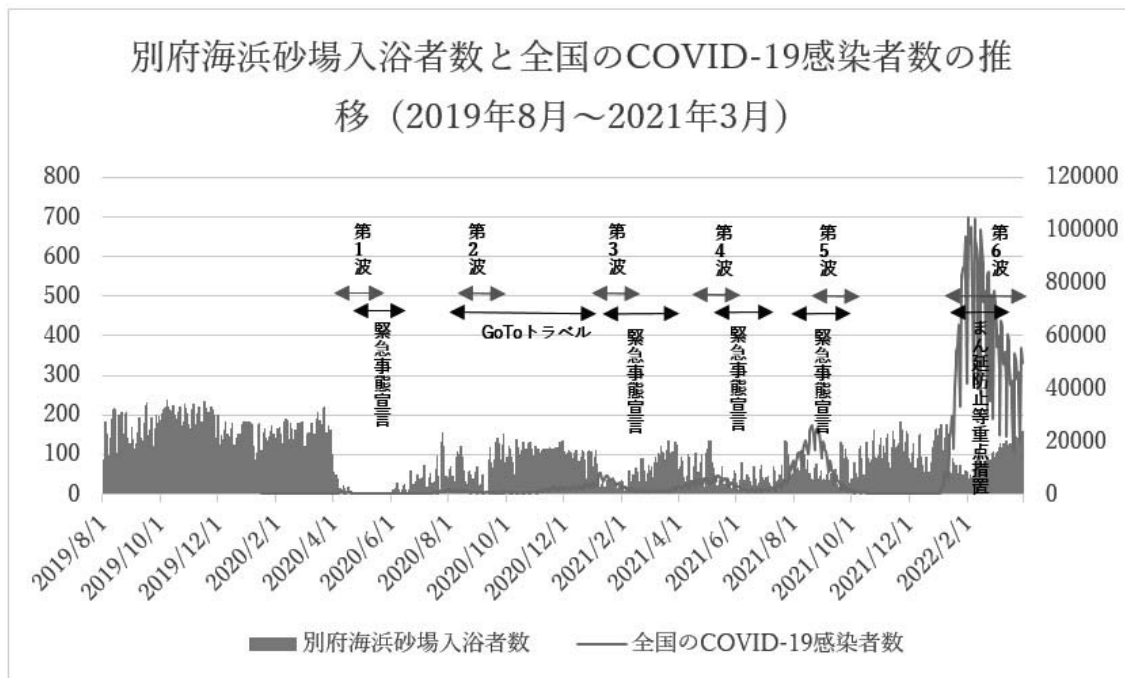


鉄輪むし湯は、石室の中に石菖（せきしょう）と呼ばれる、ショウブ科ショウブ属に属する多年生植物の葉を敷き詰め、温泉熱で蒸すことによって鎮痛効果のあるテルペンを成分とする芳香を放出し、その成分を皮膚や呼吸によって吸収させることを目的とした温式サウナである。コロナ禍以前の2019年の年間利用者数は39595人であり、2019年4月29日には1日の利用者数が437人を記録している。新型コロナウイルス感染症の流行した2020年度は利用者が2019年度の4割まで低下している。2021年度の利用者は増加傾向にあったが、2019年度の6割弱にとどまった。温式サウナであり、いわゆる3密（密閉・密集・密接）を物理的に回避することが出来ないため、第1波の2020年4月20日から5月31日まで臨時休業した。

昨年度及び本年度、実施したアンケートでは、別府市民の利用はほとんど見られず5%以下であった。利用者のほとんどが県外からの観光客であるため、新型コロナウイルス感染症の増減に大きく影響を受ける結果となり、第2波～第6波まで、感染者が増えると利用者が減るという負の相関を示している。県外からの観光客の流動に依存している状態であり、新型コロナウイルス感染症の発生自体が大打撃を与える結果となった。

II, 別府海浜砂場

(入浴者数：2019年度 55,703人 2020年度 20,297人 2021年度 26,179人)



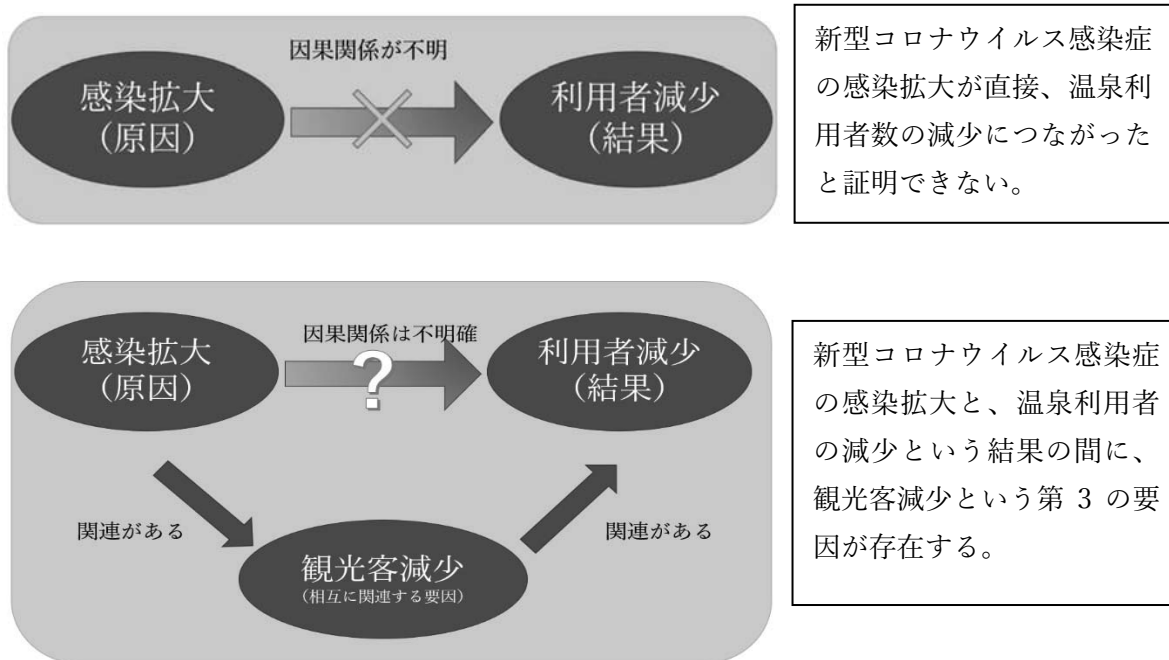
別府市の海岸沿いに幅6メートル、長さ20メートルにわたって設置された砂風呂で、昭和61年より営業を開始している。砂湯は、温泉熱によって熱くなった砂に埋まって体を温める温熱浴であり、通常の入浴行動というよりも、体験観光としての意味合いが強い。2019年のゴールデンウィークやラグビーワールドカップ期間中には1日の入浴者数が200人を超えていた。2020年3月中旬までは1日100～150人の入浴者数で推移していたが第1波発生直後に急激に減少し、4月9日以降は1日10人程度となった。4月20日には鉄輪むし湯と同様に感染予防対策として臨時休業となった。第2波～第6波の感染拡大において、感染者数の波に合わせて入浴者数の減少がみられる負の相関が確認できる。鉄輪むし湯同様に、県外からの観光客の利用が中心であり、昨年度及び今年度実施したアンケート結果では、別府市内の利用者はいなかった。やはり、新型コロナウイルス感染症の感染者が増加することで、別府市内に来る観光客が減り、別府海浜砂場の利用者が減ったものと考えられる。

観光特化型の温泉では、別府市民による日常利用がほとんどないという特性上、新型コロナウイルス感染症の拡大時に、観光客が減ることで利用客の減少がみられている。新型コロナウイルス感染症の拡大が原因というよりも、新型コロナウイルス感染症の拡大防止のために行われた「緊急事態宣言」や「まん延防止等重点措置」、「県境をまたぐ移動の自粛要請」が観光特化型温泉の利用者減少につながったものと考えら

れる。しかし「Go To トラベル」や別府市内で実施された「別府湯ごもりエール泊」などの観光振興事業での著明な利用者増加などの回復は認められない。

6カ所の別府市営温泉を、入浴者の属性から「地元密着型温泉」「複合型温泉」「観光特化型温泉」の3つに分類し、それぞれ新型コロナウイルス感染症の拡大と入浴者数の変化を検討したが、入浴者の属性によって影響が異なることがはっきりした。生活の中で日常的に温泉を利用する者にとっては、感染症の拡大と温泉利用は無関係であり、感染拡大時にも温泉入浴を続けるために、地元密着型温泉には感染者拡大と温泉利用者との間に相関関係は発生しない。それに対して観光特化型の温泉では、感染拡大の結果、温泉を利用する観光客が減少することによって、感染者数と温泉利用者数との間に負の相関が発生する。つまり、観光特化型温泉においては、感染者の増減と温泉利用者との間に本来は直接的な関係は少ないものの、感染症と温泉をつなぐ観光という「原因と結果の双方に関連する第3要因」が存在しており、感染者数が増えたから入浴者数が減ったという誤った構図が見受けられた。

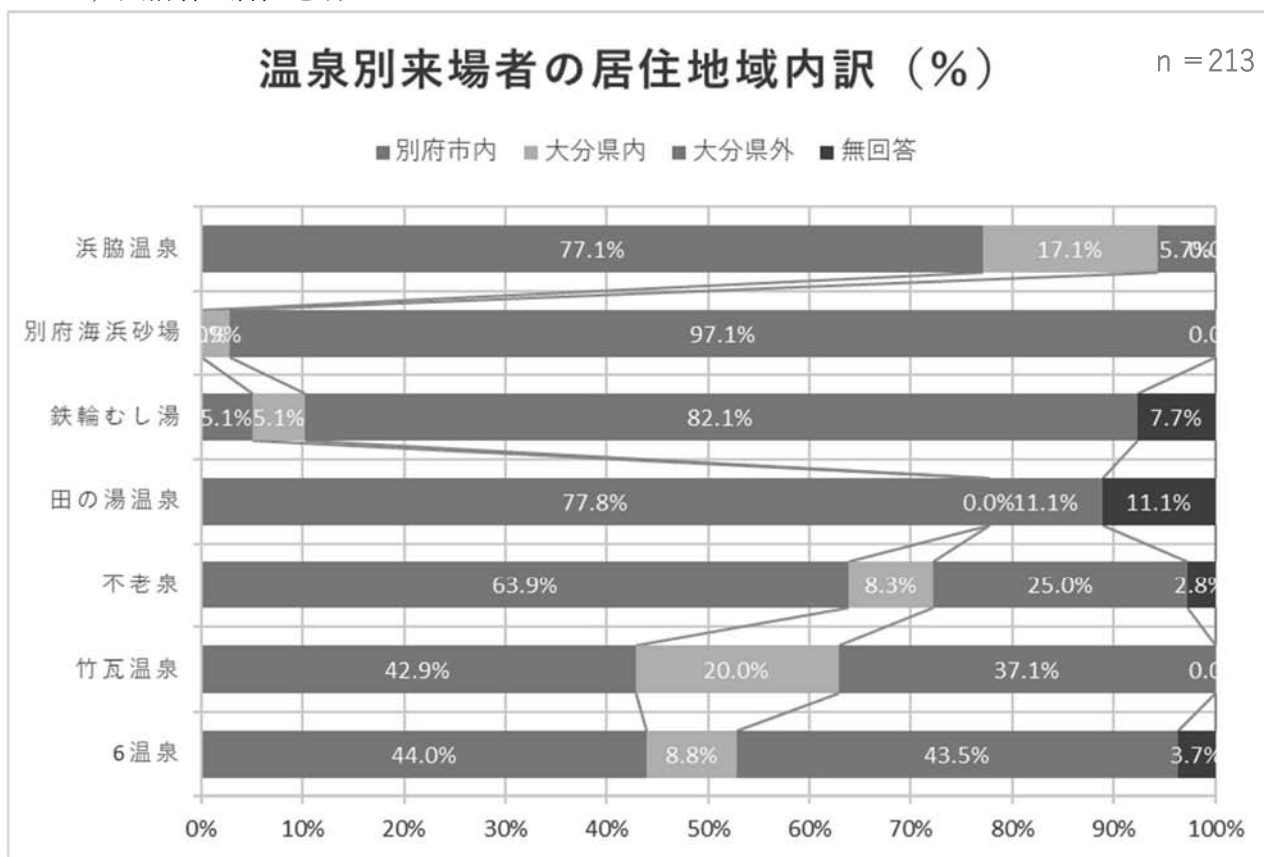
※原因と結果の双方に関連する第3要因・・・原因と結果との関係の観察に影響を与え、真の関係とは異なった観察結果をもたらす**第3の因子**。この場合、感染症の拡大という独立変数が、温泉利用者の減少という従属変数に影響を与えたように見えるが、実際には感染症の拡大によって観光客が減少したという**相互に関連する因子**によって、温泉利用者が減少した。



(2) 入浴者への意識調査

2022年12月10日から20日までに別府市営温泉6湯（浜脇温泉・田の湯温泉・不老泉・竹瓦温泉・鉄輪むし湯・別府海浜砂場）の利用者を無作為に選び、アンケートを実施した。回答者数は6湯合計で213人（アンケート結果はすべてn=213）である。調査の内容は年齢・性別・居住地などの基本属性のほか、当該温泉の利用回数、新型コロナウイルス感染症の拡大後の温泉利用回数の変化、温泉入浴に要する時間の変化、新型コロナウイルスの感染拡大初期（2020年春）と2022年12月時点との入浴に関する意識の変化等である。

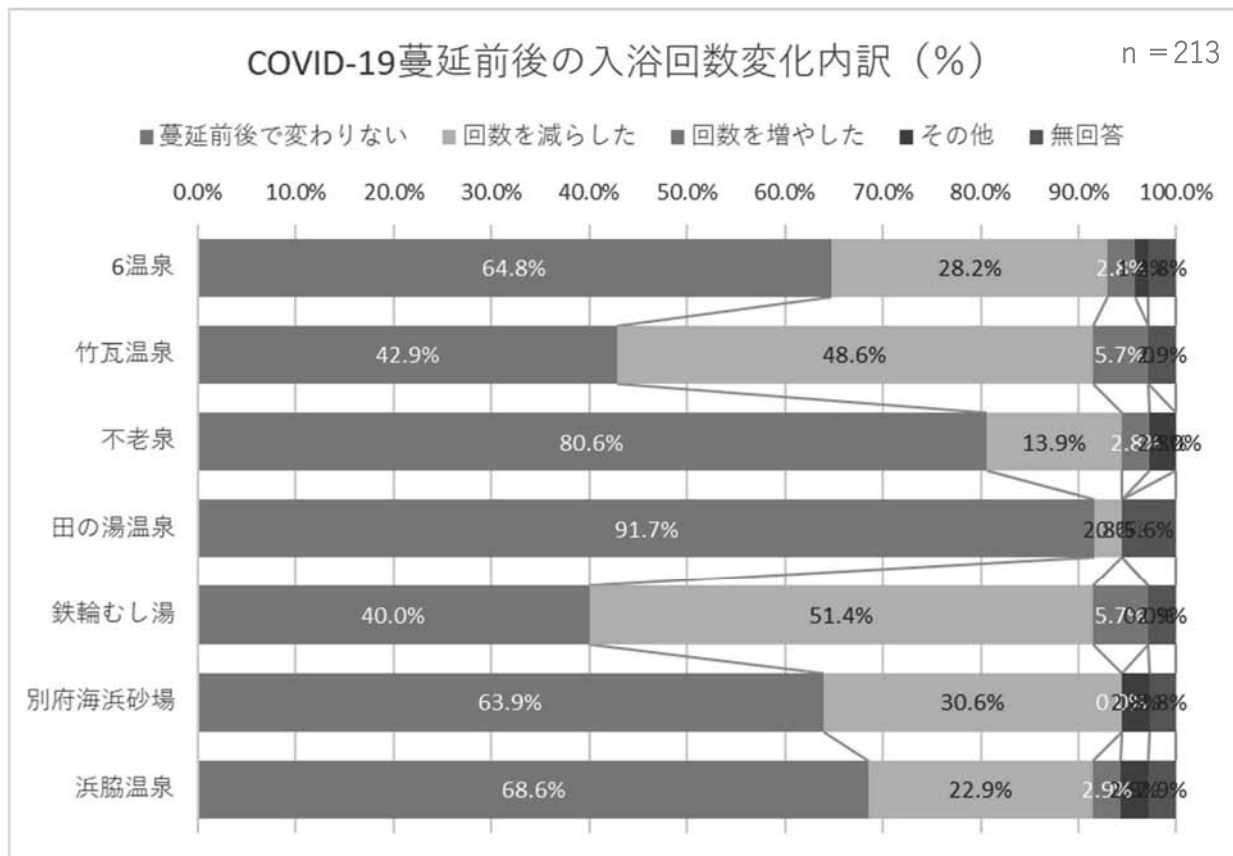
I, 入浴者の居住地域



別府市営温泉6湯の温泉利用者の居住地を見てみると、地域密着温泉に振り分けた浜脇温泉と田の湯温泉は別府市内に居住する温泉利用者がともに77%であり、別府市を含めた大分県内に居住している利用者としてカウントすると、9割が大分県内に居住していることが分かる。それに対して、観光特化型温泉に振り分けた、別府海浜砂場と鉄輪むし湯は8割以上が大分県外からの利用者である。複合型温泉に振り分けた不老泉は別府市内の温泉利用者が63.9%、大分県内の利用者が8.3%と7割が別府市

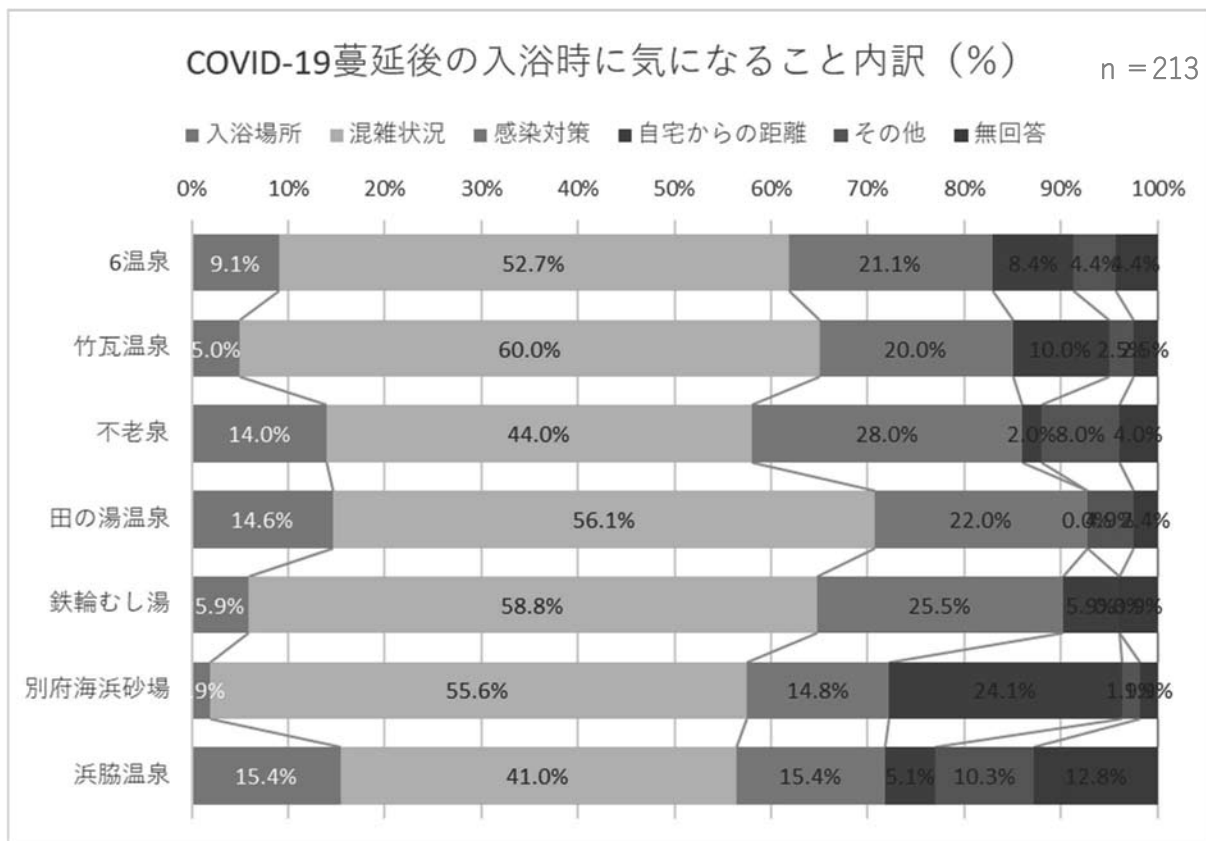
を含む大分県内からの利用者であるが、竹瓦温泉は別府市内からの温泉利用者が42.9%、大分県内からの温泉利用者が20%で約6割が別府市を含む大分県内からの利用者となっている。アンケートの結果、別府海浜砂場と鉄輪むし湯は極端に偏って、県外からの利用者が多いことが分かる。この傾向は昨年度実施したアンケートとほぼ同様の結果であった。

II, COVID-19 蔓延の前後の入浴回数の変化



新型コロナウイルス感染症の発生前後で入浴回数に変化があったかどうかという質問には、不老泉と田の湯温泉では「蔓延前後で変わらない」と答えたのが8割を超え、竹瓦温泉と鉄輪むし湯では「回数を減らした」が5割近い割合であったが、地域密着型温泉・複合型温泉・観光特化型温泉という分類上での共通点は見当たらない。しかし、不老泉・田の湯温泉・浜脇温泉で2/3以上の利用者が「蔓延前後で変わらない」と答えており、比較的に地元住民の利用割合が高いほど「蔓延前後で変わらない」と答える傾向が強い可能性も考えられる。なお、この質問は昨年度も同じ質問をアンケートにおいて行っており、昨年度はすべての温泉で「蔓延前後で変わらない」と答えたのが半数を超えていた。

III, 入浴する際に気になること



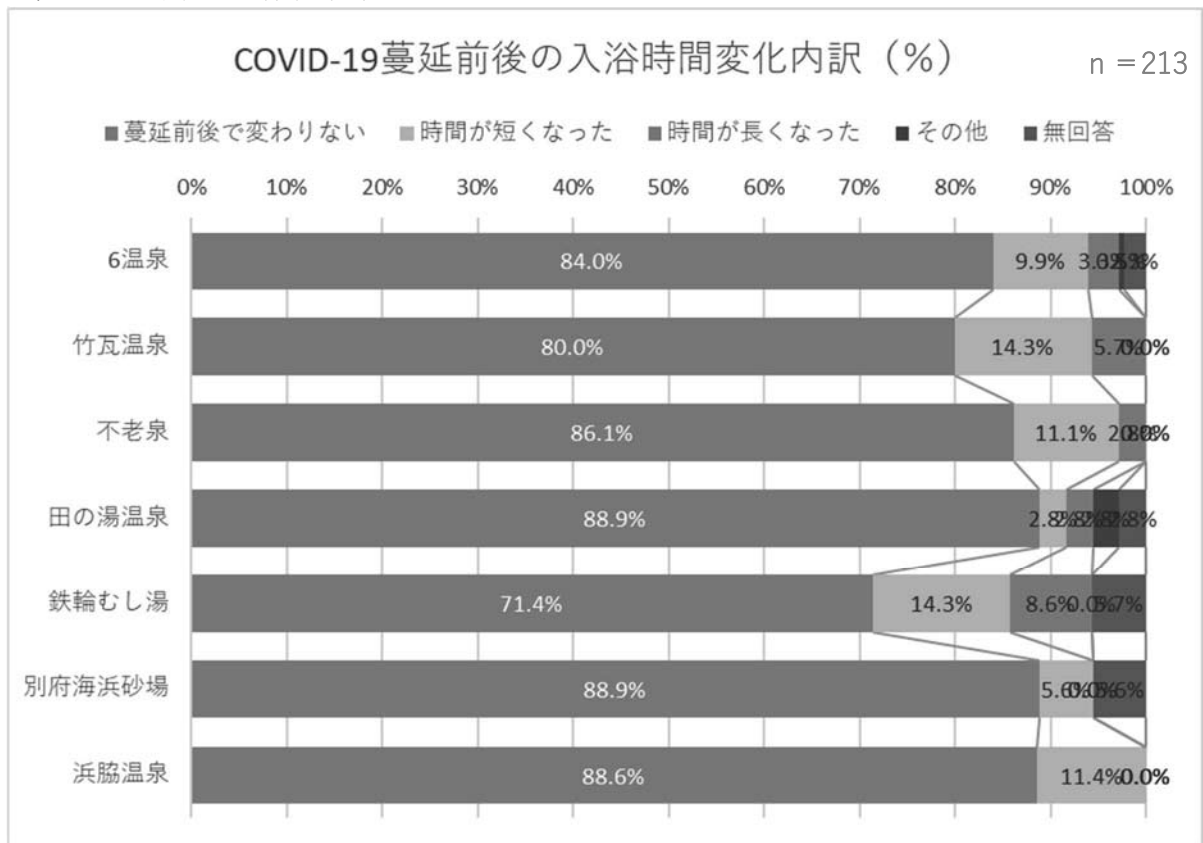
温泉施設での入浴時に気になることを尋ねたところ、全体の 52.7%が混雑状況と答えている。温泉施設が取っている感染症対策を気にしていると答えたのは全体の 21.1%であ

り、温泉入浴時には、感染症対策をとっているかどうかよりも、混雑状況を気にする傾向がある。この傾向は昨年度実施したアンケートでも同様である。地域密着型温泉・複合型温泉・観光特化型温泉の間で「入浴する際に気になること」の差はみられなかった。

別府市では、市のホームページ上で各温泉の混雑予想時間を掲載しており、混雑時の温泉利用をなるべく避けるようにアナウンスをしている。

各市営温泉の混雑予想時間	
新型コロナウイルス感染予防対策として、利用者の密集（混雑）を防ぐため、市営温泉の混雑予想時間を掲載いたします。 利用者の皆様は、混雑予想時間帯をなるべく避けてご利用ください。	
永石温泉	平日・土日祝 18時～19時30分
竹瓦温泉（普通浴）	平日・土日祝 6時30分～7時30分、17時～18時30分
竹瓦温泉（砂湯）	なし
不老泉	平日 6時30分～7時30分、18時～19時30分 土日祝 6時30分～7時30分、11時～12時、18時～19時30分
田の湯温泉	平日・土日祝 18時～19時30分
海門寺温泉	平日 6時30分～7時30分、18時～19時30分 土日祝 6時30分～7時30分、11時～12時、18時～19時30分
コミュニティセンター芝居の湯	

IV, 入浴に要する時間の変化



温泉入浴に要する時間に関しては全体的には約 10%の利用者が温泉入浴に要する時間を減らしたと回答したが、84%は感染拡大前後での温泉入浴時間に変化はないと答えている。昨年度も同じ質問を行ったが、同様の結果になっている。地域密着型温泉、複合型温泉、観光特化型温泉のそれぞれに特筆すべき差を見つけることは出来ない。

**新型コロナウイルス感染予防のため
対策を徹底しましょう！**

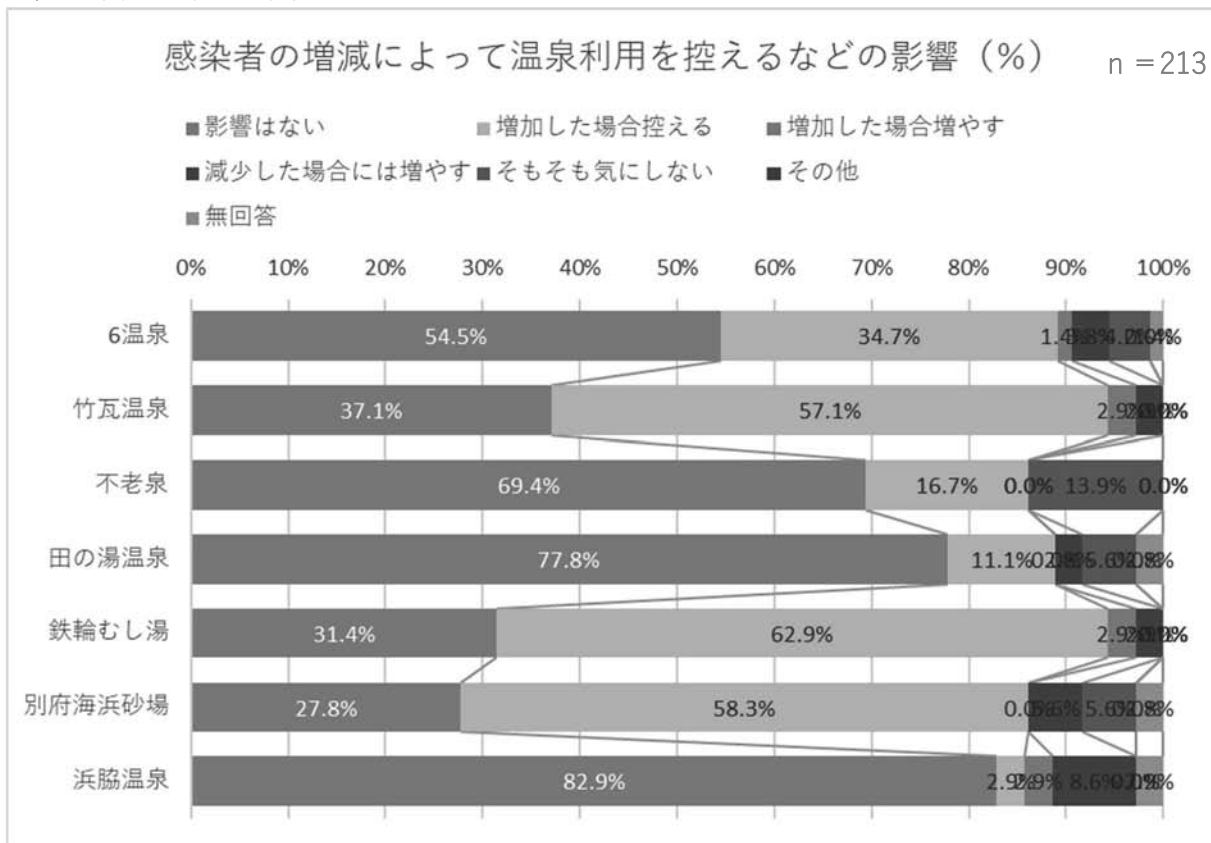
- ① 体調のすぐれない方(発熱や、咳・くしゃみなど風邪の症状のある方)は、入浴することができません。
- ① 脱衣室を含め施設内(入浴時を除く)ではマスクを着用してください。
- ① 浴室内で痰やつばを吐かない、鼻水をかんだ手を浴槽で洗わないなど、入浴の際のエチケットをお願いします。
- ① 不特定多数の方が触れる場所になるべく触れないこと。
- ① なるべく短時間の入浴を心がけ、近距離での会話を避けること。
- ① 飛沫感染防止のため、施設内ではなるべく利用者との間隔をあけるとともに、大声での会話や集団での談話は控えること。
- ① 脱衣所、浴室が混雑している場合は、時間をおいて入浴する等、より一層注意してください。
- ① 蒸し風呂・サウナのご利用にあたっては、室内が密集しないよう、人数に配慮してご利用ください。
- ① 休憩室のご利用はなるべくお控えください。
※休憩室での食事はできません。

別府市温泉課

別府市では、入浴時の感染症対策に関するチラシを作り、感染症拡大防止策として、短時間の入浴にるように勧めていた。

「なるべく短時間の入浴を心がけ、近距離での会話を避けること」という、アナウンスは十分に効果を発揮していないと考えられる。

V、感染拡大時の温泉利用意向

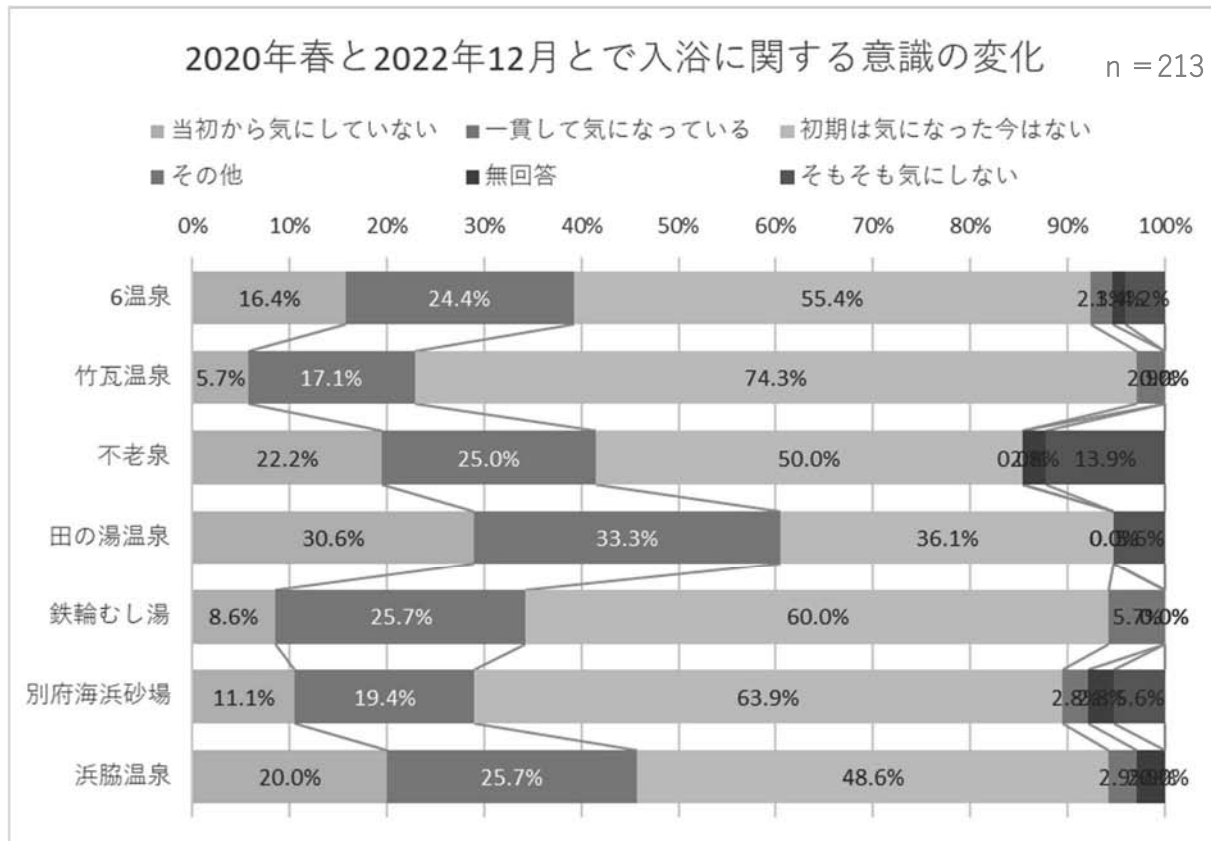


感染拡大時の温泉利用に関する意向については、地域密着型温泉である浜脇温泉で約83%、田の湯温泉で約78%が影響ないと答え、複合型温泉でも地域住民が比較的多く利用する不老泉で約69%が影響ないと答えている。対照的に観光特化型温泉である鉄輪むし湯では約63%が、別府海浜砂場では約58%が、複合型温泉で比較的観光客比率の高い竹瓦温泉では約57%が感染拡大時に温泉利用を控えると回答しており、温泉の利用者層によって大きな差が出ている。

日常的な入浴に使われる地域密着型の温泉では、感染拡大と入浴行動に相関が少なく、結果(1)-Iの様な、第1波~第6波の感染拡大が起こっても、入浴者数の変化が現れづらい傾向にある。対して、観光特化型温泉では、感染拡大時に入浴を控える、もしくは原因と結果の双方に関連する第3要因として存在する「観光を控える」という相関関係が発生し、結果(1)-3のよう感染が拡大すると、入浴者数が減るという負の相関を示した。

今後、新興感染症や再興感染症が発生した場合には、このような温泉利用に関する意向があることを前提として、観光特化型の温泉は臨時に休業する等の措置をとることも可能である。なお、別府市では第1波発生時に、観光特化型温泉である鉄輪むし湯と別府海浜砂場の臨時休業を行っていた。

VI, 感染拡大初期との意識の変化



新型コロナウイルス感染症に関する意識の変化については、全体で見ると当初から気にしていないが16.4%、一貫して気にしているが24.4%、初期は気になっていたが今は気にしていないが55.4%であり、徐々に新型コロナウイルス感染症に対する意識が変化している。この意識の変化は地域密着型よりも観光特化型温泉で比率が多くなっているが、第1波から第6波へと感染が繰り返されるなかで、行動規制が緩和されたことが影響しているものと考えられる。逆に地域密着型温泉では、感染症拡大の当初から感染症拡大に関して気にしていないと答えたものが観光特化型温泉よりも多かった。第1波から第6波へと感染症が繰り返しピークを迎える中で、徐々に感染症に対する意識が薄くなり、第6波では観光特化型温泉でも、感染拡大と利用者減少の相関が弱くなったものと考えられる。

4. 結論と考察

本研究は、別府市営温泉6湯の利用者に受付窓口で声をかけ、アンケート回答に理解を得られた入浴客からのアンケート調査である。そのため、そもそも温泉を利用している人を対象としたアンケートであるために、自己選択バイアスが働いていることは否定できない。又そのバイアスを排除することは難しい。この調査からは、好んで温泉を利用する者が、どのような意向を示したかという結果以外の議論をすることは不可能である。

そのうえで、今回は調査対象とした別府市営温泉6湯を地域密着型温泉、複合型温泉、観光特化型温泉の3つに分けて新型コロナウイルス感染症の感染拡大と温泉利用者との間に関係があったのかを観察した。地域密着型温泉では、生活の中で日常的に温泉利用している利用者が中心のために、感染症拡大の影響を受けにくい傾向があり、観光特化型温泉では、観光客が利用するために感染拡大すると観光客が減るために利用者が減るという傾向が見えた。ただし、これは感染拡大したから利用者が減ったのではなく、感染拡大という原因と温泉利用者減少という結果に相互に作用する観光客減少という原因と結果の双方に関連する第3要因によるものと考えられる。複合型温泉及び観光特化型温泉において、第1波から第6波まで、それぞれ感染拡大すると温泉利用者が減るという傾向自体は継続してみられるが、感染拡大を繰り返すうちに、漸次的に負の相関反応が弱くなっているように見える。第6波では感染拡大が収束する前に、利用者増加に転じていた。これは、緊急事態宣言、県境をまたぐ移動の自粛、まん延防止等重点措置と徐々に行動の制限が緩やかになっていったことや、感染拡大を繰り返すうちに新型コロナウイルス感染症の致死率が逡減していったこと、何よりも感染防止対策に対する意識が薄れて、いわば「**感染症対策を行うことに倦厭した（飽きた）**」ことが考えられる。

アンケート調査からは、新型コロナウイルス感染症の流行前後で、入浴回数に変化がなかったと答えたのが65%であったこと、入浴時に気になること一番多い解答が「混雑状況」であり、入浴施設が取っている感染症対策を気にしていると回答したのが20%程度だったことを鑑みると、2020年5月に発表された「新しい生活」によって、入浴行動に行動変容がみられることはなく、「浴場業における新型コロナウイルス感染拡大予防ガイドライン」によって行われているそれぞれの施設による独自の対策も、気に掛けずに通常的生活を継続していたのではないだろうか？施設によっては、入浴時にマスクを着用し、会話をしないように「黙浴」という言葉を用いて感染リスクを下げるように啓発している施設もあったほか、ロッカーを物理的に閉鎖しソーシャルディスタンスを確保しようとする試みも散見された。しかし、別府市での入浴者の意識としてはそこまで施設による感染症対策を意識していないのが現実のようである。

別府市温泉課では、①体調不良者の市営温泉利用の自粛②施設内（入浴時を除く）でのマスク着用③入浴の際のエチケット向上④不特定多数が触れる場所を触らない⑤短時間入浴・会話の自制⑥間隔をあけ集団での歓談を控える⑦脱衣所、浴室混雑時のより一層の注意⑧蒸し風呂・サウナ利用時の人数配慮⑨休憩室利用の自粛をポスターにより呼びかけを行ったが、新型コロナウイルス感染症の拡大による行動変容が起こったとは考えにくい。

地域密着型温泉では、感染症が拡大しても温泉入浴を控えるなどの行動はなく、感染拡大当初から気にせずに入浴を行っている割合が高い。別府市では温泉自体が地域コミュニティの場所となっており、地域密着型温泉では「新しい生活様式」による行動変容は起こ

らなかったものと考えられる。

本研究では、新型コロナウイルス感染症の第1波から第6波までの入浴行動を、別府市温泉課の持つ入浴客数データとか感染者数を比べ合わせたほか、感染拡大がある程度進んだ後（第8波中）の入浴客へのアンケート調査による言語的なデータを用いて、新型コロナウイルス感染症による影響を考察しようと検討した。現在は市内在住者、県内在住者、県外在住者を振り分けずに検討しているために、別府市民による入浴行動が、強いバイアスとしてかかっている。今後、データの整理を行い、別府市民の入浴意向と、大分県民の入浴意向、県外からの観光客の入浴意向に分けて検討する必要がある。

5. 謝辞

研究を遂行するにあたり、別府市役所温泉課、別府市総合振興センター、有限会社サンエスマンテナンス、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。

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8月4日から適用する。

大分県温泉調査研究会会員名簿（順不同）

（令和5年5月15日現在）

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
京都大学 名誉教授	由 佐 悠 紀	会 長
大分県生活環境部自然保護推進室 室長	浜 田 み ほ	副 会 長
大分県生活環境部自然保護推進室 主幹（総括）	内 藤 元 理	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	
大分大学教育学部 教授	大 上 和 敏	理 事
大分大学医学部 精神神経医学 教授	寺 尾 岳	
大分大学医学部 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	牧 野 直 樹	理 事
九州大学 名誉教授	糸 井 龍 一	
九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門 助教	松 本 光 央	
九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門 教授	山 本 順 司	
九州大学病院別府病院	山 崎 聡	
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	大 沢 信 二	理 事
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 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 研究員	齋 藤 圭	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 技術専門職員	三 島 壮 智	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設・火山研究センター 助教	宇 津 木 充	
東海大学人文学部人文学科 学科長・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 特任准教授	芳 川 雅 子	
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	
別府大学食物栄養科学部 発酵食品学科 講師	加 藤 礼 識	
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	
立正大学地球環境科学部 教授	河 野 忠	
龍谷大学経済学部 准教授	山 田 誠	
(一財) 九州環境管理協会 技術部長	川 村 秀 久	
(一財) 九州環境管理協会 品質管理課長	天 日 美 薫	
(一財) 九州環境管理協会 分析試験課長	右 田 義 臣	
(一財) 九州環境管理協会 環境調査課長	小 野 孝	
(株) SARABiO温泉微生物研究所 本社 代表取締役会長	濱 田 茂	
(株) SARABiO温泉微生物研究所 本社 海外事業部 統括マネージャー/本社企画室 室長	浅 尾 歩	
(株) SARABiO温泉微生物研究所 中央研究所 副所長	野 畑 重 教	
環境工研(株) 代表取締役	大 島 博	
九電産業(株) 環境部 取締役環境部長	田 尻 隆	
九電産業(株) 環境部 地熱グループマネージャー	渡 邊 英 樹	
九電産業(株) 環境部 課長	能 登 征 美	
九電産業(株) 環境部	小 野 光 一	
(公社) 大分県薬剤師会 会長	安 東 哲 也	

所 属 ・ 職 名	氏 名	備考
(公社)大分県薬剤師会検査センター 施設環境課 課長	甲 斐 美 穂	
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) 代表取締役	藤 澤 剛	
タナベ環境工学(株) 環境部 部長	後 藤 弘 樹	
タナベ環境工学(株) 環境調査課 課長代理	相 垣 明 子	
西日本技術開発株式会社 地熱業務本部 地熱部 部長	長 野 洋 士	
日鉄鉱業(株)	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)サンエスマンテナンス 専務取締役	塩 見 泰 美	
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	原 田 啓 介	理 事
白 杵 市 長	中 野 五 郎	
竹 田 市 長	土 居 昌 弘	理 事
宇 佐 市 長	是 永 修 治	
由 布 市 長	相 馬 尊 重	理 事
国 東 市 長	松 井 督 治	
姫 島 村 長	藤 本 昭 夫	
九 重 町 長	日 野 康 志	理 事
玖 珠 町 長	宿 利 政 和	
別府市観光・産業部温泉課 課長	樋 田 英 彦	監 事
別府市観光・産業部温泉課 参事	河 野 文 彦	
大分県東部保健所 所長	内 田 勝 彦	監 事
大分県東部保健所 次長	羽 田 野 康 仁	
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)	岡 崎 嘉 彦	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 主幹研究員	溝 腰 朗 人	
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	遠 藤 智 哉	
大分県衛生環境研究センター水質担当 主任研究員 (総括)	松 田 貴 志	
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	山 村 知 紗	
大分県衛生環境研究センター水質担当 研究員	佐 藤 寿 信	
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	朝 見 将 太	
大分県産業科学技術センター工業化学担当 主幹研究員	柳 明 洋	
大分県産業科学技術センター工業化学担当 研究員	秋 吉 貴 太	

(会員数 86名)

書 記

所 属 ・ 職 名	氏 名	備考
大分県生活環境部自然保護推進室 専門員	小 田 文 教	
大分県生活環境部自然保護推進室 主任	萱 島 早 織	
大分県生活環境部自然保護推進室 非常勤職員	西 口 勝 次	

(書記 3名)

大分県温泉調査研究会報告 第74号

令和5年8月 印刷
令和5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 大分出版印刷
〒870-0841 大分市六坊北町4485番地の1
TEL 097-546-0200

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。