

大分市温泉分析データの時空間マッピング

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

非火山性の深層熱水型温泉である大分市温泉の温泉分析データを使用し、開発から 60 年にわたる時空間変化を複数の手法で解析した。Lumped parameter model やティーンセン分割図による解析では、有意な変化は認められなかった。泉温と化学成分についてクリギングを適用した結果では、わずかながら化学成分の変化が確認された。これらが枯渇に直接関係する兆候かは定かではないが、分布の変化から、地下の温泉帯水層の流動を規制している可能性のある隠れた水理境界がある可能性が発見された。

1 はじめに

大分市内の温泉に代表されるような平野部にみられる非火山性温泉は、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。このような温泉（大深度掘削泉、大深度非火山性温泉、または深層熱水型温泉）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。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）。

大分平野に多数湧出する温泉についても、古くから「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」必要が議論されている（吉川・北岡, 1981）。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。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が、少なくとも温泉成分や泉温には何らかの影響が現れている可能性がある。

本研究では、特別な規制なしに開発された大分平野の温泉水の分析データを参照し、開発から 60 年経過した現在、何らかの影響が出ていないか検討することを目的として、大分市温泉分析データの時空間マッピングを試みた。

2 大分平野の温泉に関する概略

ここでは、大分平野の温泉に関する先行研究の概略を記す（詳細は澤山ほか、2023 およびその引用文献を参照）。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る。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）。当該地域の温泉開発は 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、2021）に登録されている。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）、その大半が火山性の二酸化炭素に由来していること（大沢、2001）、さらにはその起源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）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。

これらのことを踏まえると、大分市温泉の湧出機構として、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、堆積層の層理面に沿って側方流動している可能性が想像される。澤山ほか (2023) 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、断層面に沿ってのみ上昇しうることを想定し、1次元水理地質モデルを考えた (吉川・北岡, 1985)。この水平多層モデルにおいて、山下 (1961) の滲出項を導入した拡散方程式を解くと、ある地点での開発が半径 500 m まで水位変化に影響を及ぼす可能性が算出された (澤山ほか, 2023)。これは、大分市温泉の帯水層が断層を通じて全て繋がっている水理地質モデルを想定しているため、一つの源泉での揚湯の影響が遠くまで及ぶ可能性を示している。逆を言えば、この場合過剰揚湯があってもその影響は周りに分配され、大きな兆候として捉えづらい可能性もある。これらの点から、単なる時間変化ではなく空間変化も同時に考慮する必要があるといえるが、このような検討事例はなく、本研究がはじめての試みとなる。

3 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, 2021) 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、塩化物イオン濃度 (Cl^-)、炭酸水素イオン濃度 (HCO_3^-)、メタホウ酸を解析に使用した。

まず同一地点における時系列変化を追うため、この中から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。

次に、全地点の温泉水データを使用し、その時空間変化をマッピングした。温泉の開発場所や時期が等間隔でないため、生データのままで時空間変化を追うことはできない。そのため、本研究では幾何学的手法であるティーセン分割と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。ティーセン分割 (ポロノイ図) とは、平面上の複数座標に対して、それらの距離が最短となる領域を求める手法

である。2次元平面におけるティーセン分割では、各ボロノイ領域の境界線は母点間を結ぶ線分の垂直2等分線となる(網田・大上, 2022)。本研究では、以下の3つの時間軸にデータセットを分割し、それぞれのデータセットにティーセン分割を行った。

- (a) 1961年から1999年
- (b) 2000年から2010年
- (c) 2011年から2021年

このとき、各ボロノイ領域を泉質ごとに違う色で塗り分けることで、各時間断面で泉質の分布がどのように変化しているかを可視化した。

一方、ティーセン分割では連続的なデータの分布を把握することはできないため、クリギングによって同様の各時間断面で泉温や化学成分の分布がどのように変化しているかを可視化した。クリギングとは、空間データを対象として任意の地点の値を推定する補間法の1つであり、推定値を既知の観測データ値の加重平均によって表現する。このとき、空間的連続性を考え、距離に伴う相関性の変化(バリオグラム)から重みを決定することで、測定データの誤差を低減した未知データの空間補間が可能となる。このような特性上、観測点密度や測定精度が低いデータに関しても、誤差や欠測点の影響を低減して空間補間を行うことができる。なおクリギング解析には経験的ベイスモデル(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。

4 結果と考察

4.1 Lumped parameter model

図1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大分県温泉情報データベース(大分県, 2021)で認定されている泉質をもとに決定した。塩化物泉、炭酸水素塩泉に関しては、イオンの含有量から複数泉質を有する泉源もあるが、ここでは第一成分のみを考慮した。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, $n=0.3$, $\rho c=1 \text{ cal}/\text{cm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$, $\rho_r c_r=0.5 \text{ cal}/\text{cm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ 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、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。泉質ごとの変化に着目すると、いくつかの塩化物泉は泉温・塩化物イオン濃度ともに減少傾向にあるものの、炭酸水素塩泉や単純泉の多くは理論曲線から予測される減衰傾向を示さないものが多い。このような泉質による傾向の違いは、大沢(2001)が指摘するような深層熱水の起源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。なおこ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にも注意する必要がある。

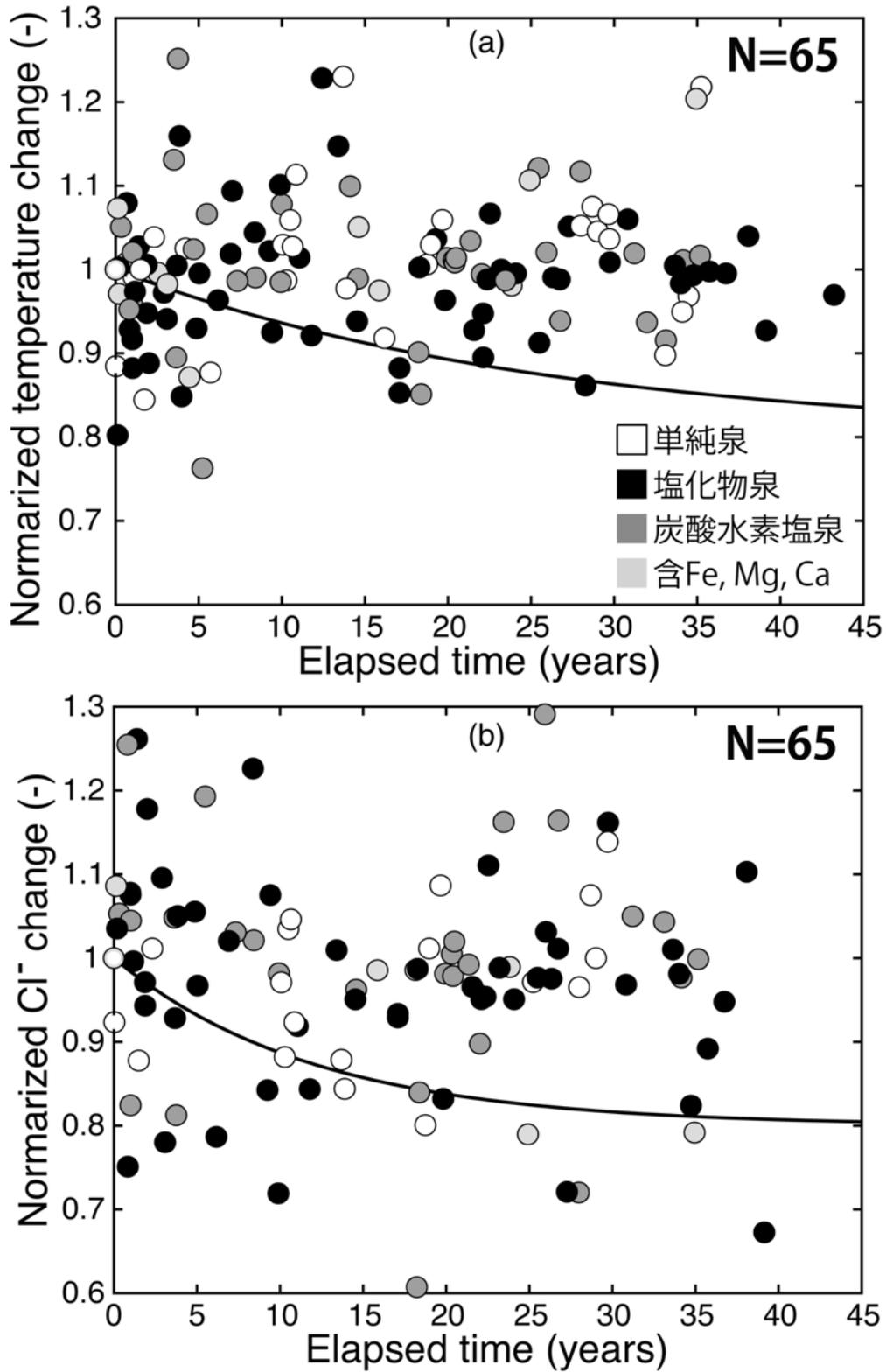


図1：掘削当時の初期値で規格化した泉温 (a) と塩化物イオン濃度 (b) の掘削開始からの時間変化。異なる色はそれぞれ公表されている泉質、実線は滞留時間を15年としたときの理論曲線を示す。

4.2 ティーセン分割図

温泉データを各年代に分けて作成したティーセン分割図を図 2 に示す。なお各時間断面で泉質の分布がどのように変化しているかを調べるため、各領域を泉質ごとに違う色で塗り分けている。全体として、炭酸水素塩泉は断層沿いに多く、塩化物泉は沿岸部と南西部に広く分布している。やや泉質が変化しているエリアもあるが、大局的にはあまり変化していないことがわかる。泉質は、ある一定の化学成分の基準に沿って分類されるため、化学成分の絶対値的な変化を反映しているものではないが、この結果から、大きな温泉成分の変化は現状では起きていないことが示唆される。

4.3 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 3 は、泉温分布をクリギングによって補完した時空間変化マップである。全体的に、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、府内断層が深層から浅層に渡る熱水の流路となっている可能性が高い。時間変化に着目すると、1961 年～1999 年 (図 3a) から 2000 年～2010 年 (図 3b) では高温域が動いているが、2011 年～2021 年 (図 3c) のデータではまた分布が戻っているように見える。しかし泉温は調査季節によっても変化する可能性があり、また異なる深度の温泉データを一括に取り扱っていることにも注意が必要である。由佐 (1987) が指摘しているとおり、温泉枯渇の兆候として泉温変化が表れるのは化学成分変化よりも後であり、泉温変化だけで枯渇兆候を議論することは難しい。

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、 HCO_3/Cl 比と B/Cl 比に着目した。前者はアルカリ型の深層貯留水の寄与を、後者は深部年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 4 は HCO_3/Cl 比をクリギングによって補完した時空間変化マップである。全体を俯瞰すると、北西部と南東部に高異常がみられ、それらは時間が経過しても交わることなく独立して分布している。北西部と南東部の高異常域を結ぶ線構造は府内断層の走向からはやや外れ、吉川・北岡 (1985) も指摘しているとおり、別府市の朝見川断層の延長線上に位置している。また時間変化を追うと、北西部の高異常域はやや南東に動いているようにも見えるものの、興味深いことに、南東部の高異常域とは交わらず、地図中央付近 (大分川のやや東部) あたりに両者の境界がありそうである。

同様に、 B/Cl 比の各時間断面データをクリギングによって補完した時空間変化マップを図 5 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)。 $\text{B}/\text{Cl} > 0.1$ の領域が北西部と南東部にそれぞれみられ、これらは深部

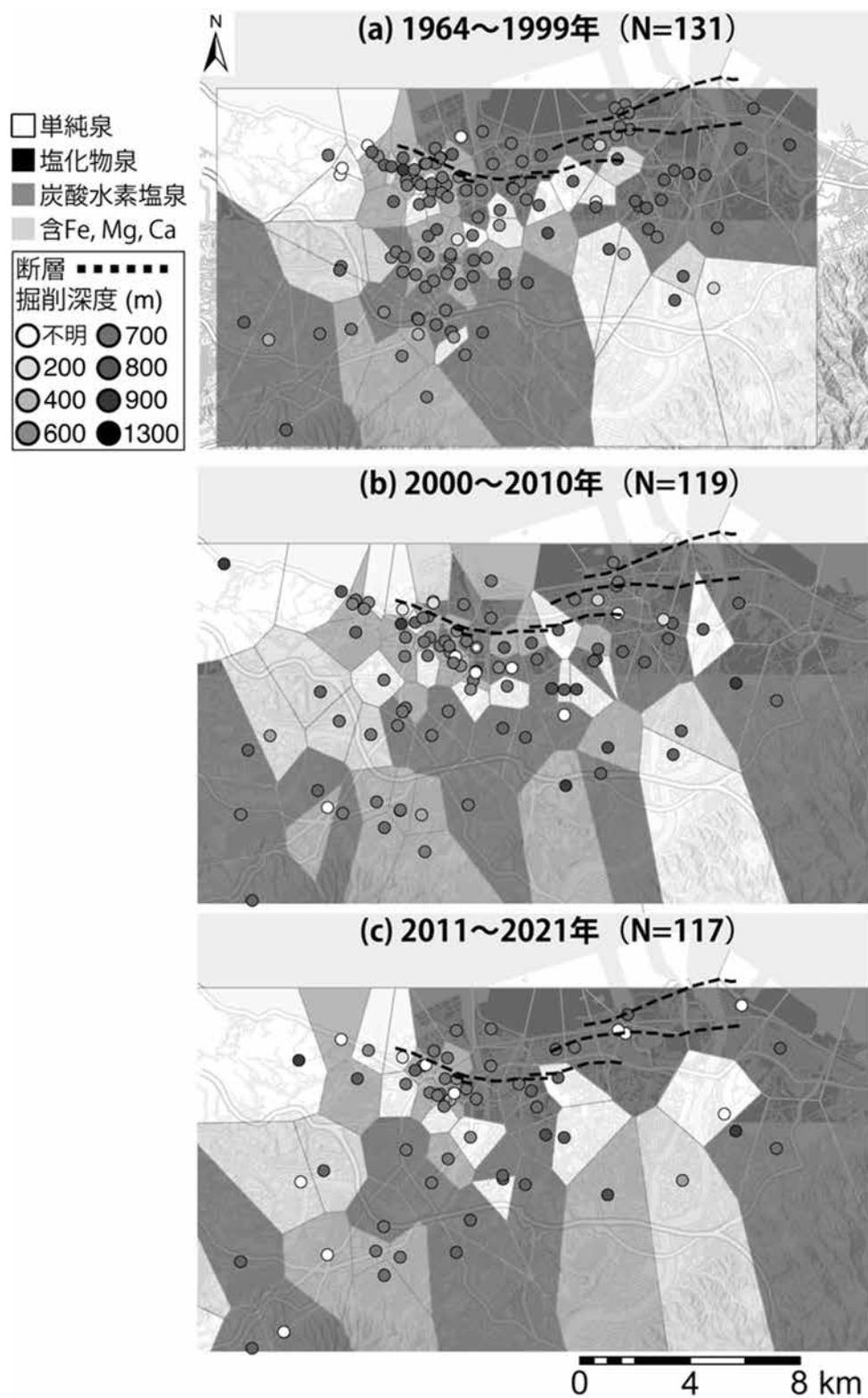


図 2：温泉泉質データを各年代 (a) 1961 年から 1999 年, (b) 2000 年から 2010 年, (c) 2011 年から 2021 年に分けて作成したティーセン分割図。N はそれぞれの解析に用いた源泉数, 色の違いは公表されている泉質を示す。

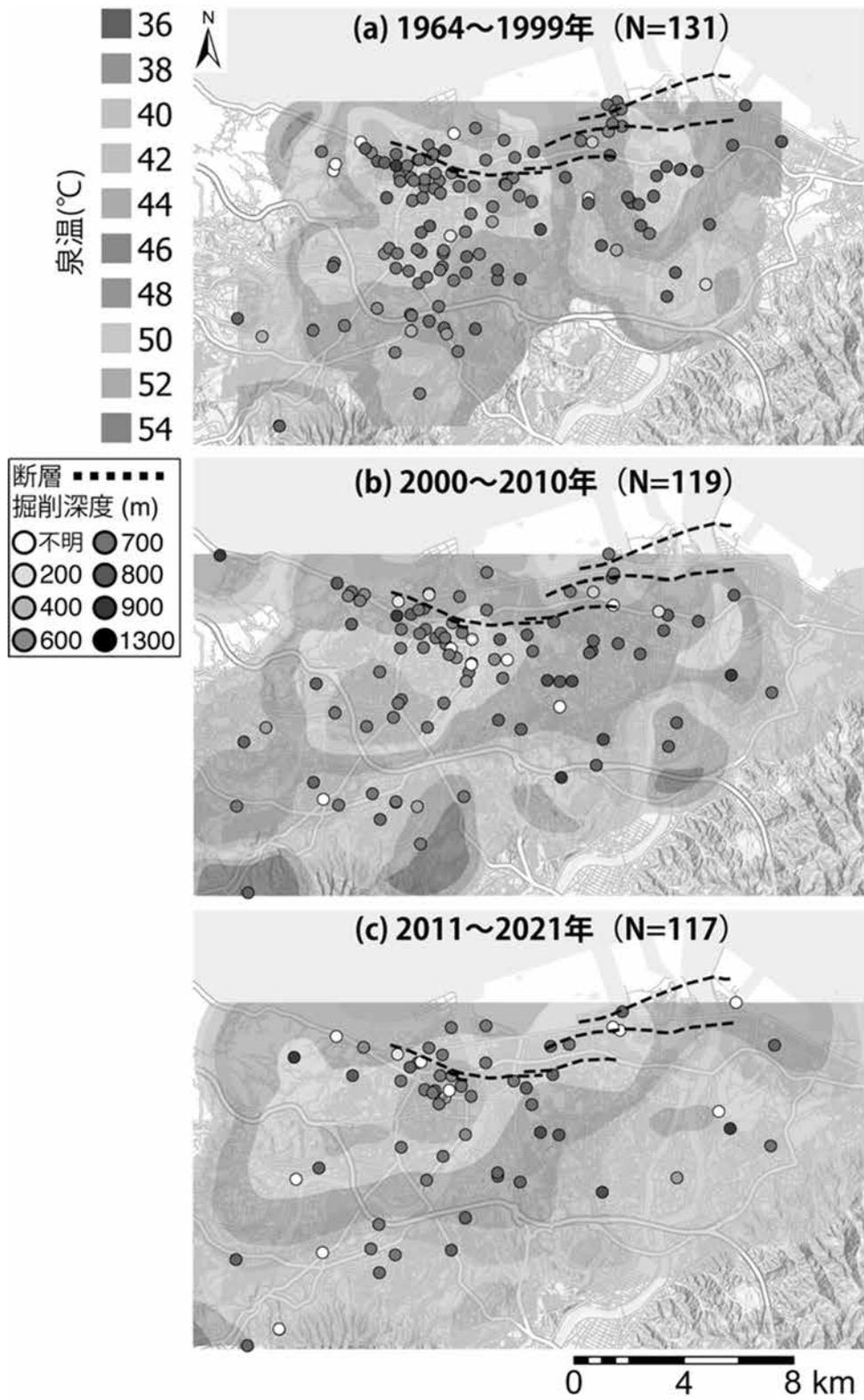


図 3：泉温データを各年代 (a) 1961 年から 1999 年，(b) 2000 年から 2010 年，(c) 2011 年から 2021 年に分けてクリギング解析により補完した時空間マップ。N はそれぞれの解析に用いた源泉数を示す。

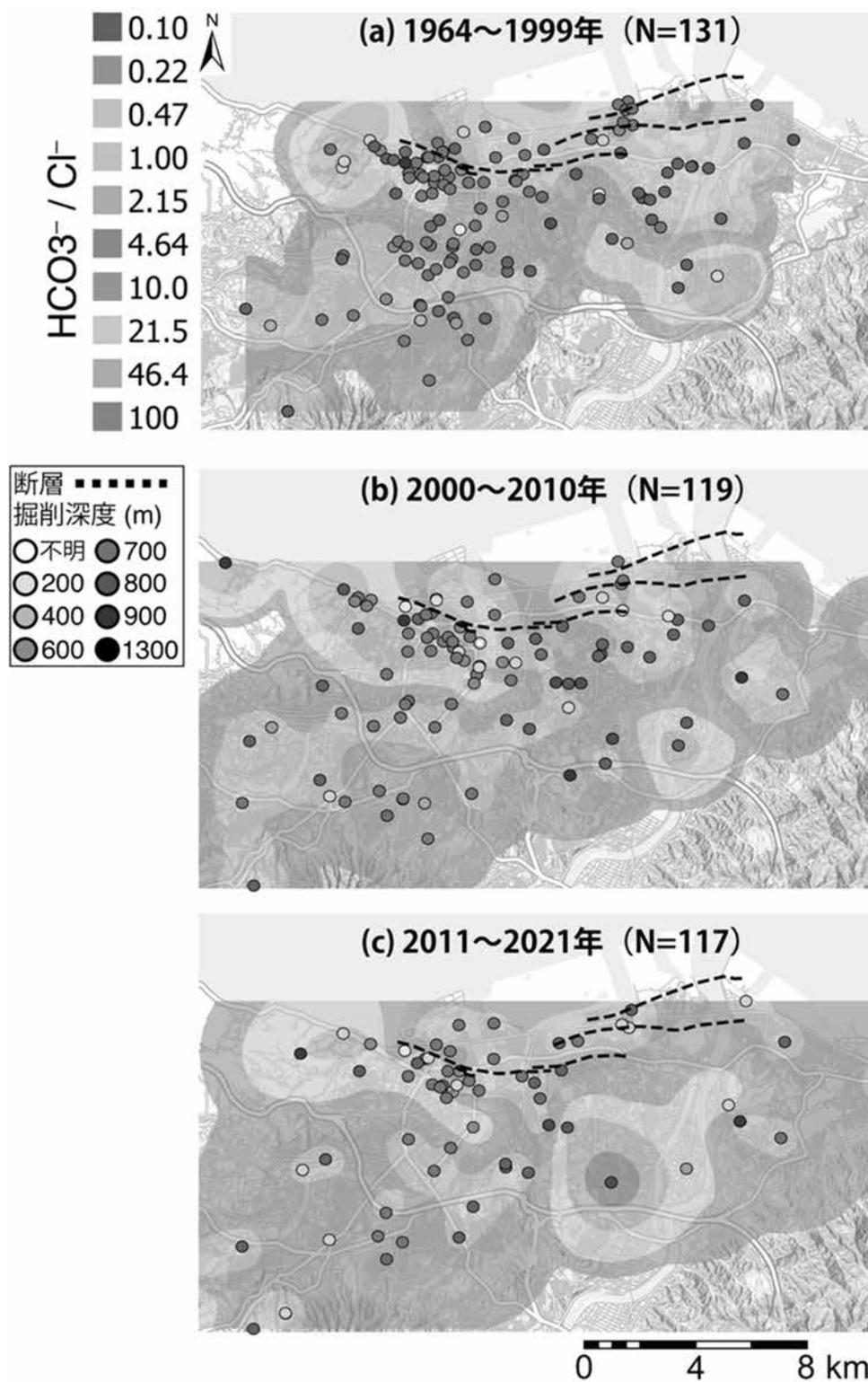


図 4 : HCO₃/Cl 比データを各年代 (a) 1961 年から 1999 年, (b) 2000 年から 2010 年, (c) 2011 年から 2021 年に分けてクリギング解析により補完した時空間マップ。N はそれぞれの解析に用いた源泉数を示す。

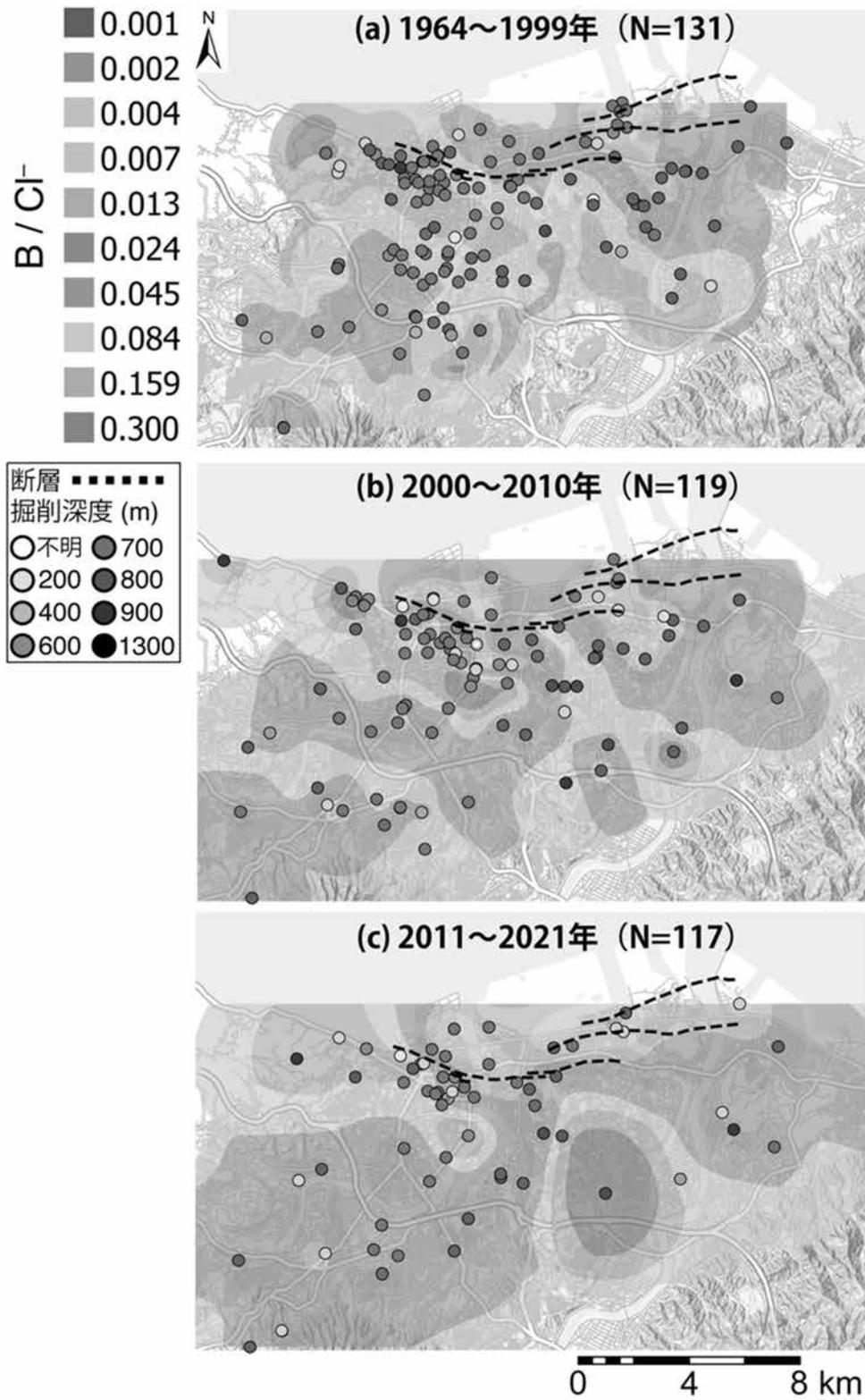


図 5 : B/Cl⁻ 比データを各年代 (a) 1961 年から 1999 年, (b) 2000 年から 2010 年, (c) 2011 年から 2021 年に分けてクリギング解析により補完した時空間マップ。N はそれぞれの解析に用いた源泉数を示す。

熱水由来だと考えることができる。HCO₃/Cl 比と同様で、朝見川断層の延長線上にこれら高異常域が胚胎し、地図中央部付近で北西部と南東部の異常域が分断されている。時間変化を追うと、北西部の高異常域がやや南東に動いているようにも見えるものの、やはり南東部の高異常域とは交わらない。また B/Cl 比が低い領域が北東部の沿岸域で見られ、時間とともに南側に動いているようにも見て取れる。B/Cl 比の低異常は海水の流入を示唆している可能性が高いが、それは北西部の断層によって、南方向への流入が妨げられているようにも見える。

5 まとめと今後の方策

大分市温泉の温泉分析データを使用し、開発から 60 年にわたる時空間変化を Lumped parameter model や幾何学的手法・地球統計学的手法から多面的にアプローチした。温泉水データから抽出した 65 地点の泉温および塩化物イオン濃度変化の解析結果と、由佐（1987）の提案した Lumped parameter model を比較すると、滞留時間 15 年の理論モデルが比較的データに整合した。泉質による変化の違いもややみられ、今後さらなる検討が必要である。全 367 地点の温泉水データを用いたティーセン分割による解析では、泉質の分布自体に有意な変化は認められなかった。同様にして全ての泉温と化学成分についてクリギングを適用した結果では、わずかながら化学成分の変化が確認された。これらが枯渇に直接関係する兆候かは定かではないが、分布の変化から地下の温泉帯水層の流動を規制している可能性のある隠れた水理境界がある可能性が発見された。今後は、これら浮き彫りになった構造と地質、そして地球物理的観測から得られた地下構造モデルと比較することで、大分平野地下の温泉湧出機構に迫る予定である。

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（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.
- 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関する理論的検討. *大分県温泉調査研究会報告*, 74, 21-29.
- 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 2

広島大学地球惑星システム学専攻

山中 壮馬・柴田 知之
藤原 涼太郎・折戸 達紀
幣島 太一・芳川 雅子

福岡大学理学部

柴田 智郎

要旨

九重火山群を構成する 12 のフローユニットから火山岩試料を採取し、岩石記載、主成分元素組成と微量元素組成の分析を行った。火山岩類のモード組成から、これら火山岩類を生成したマグマは、少なくとも 6 つの異なるグループに分けられることが明らかになった。この成果を発展させて九重火山群を形成したマグマの発生から噴火に至る過程を解明することは、長湯温泉をはじめとした周辺に多数点在する有名温泉の熱源に関する理解を深めるためにも重要である。

1. はじめに

九重火山群は約 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）。そのため、九重火山群のマグマは周辺の熱水や温泉水の熱源となるため、この地域で活動したマグマの研究は重要である。

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）などで一部報告されていたが，データの蓄積に乏しいことから，昨年度の大分県温泉調査会研究報告の柴田ほか（2023）で系統的なデータを示し，マグマは3つのグループに分類できることを示した。今年度は，記載岩石学的研究と地球化学的データの関連性について議論を深めた。

2. 記載岩石学的研究

藤原（2020）において測定された鉱物モード組成を用いて，九重火山群の火山岩類の分類を行った。図1に頂点が，かんらん石（Ol），斜方輝石（Opx）そして角閃石（Hbl）の間のモード組成を100%頂点とする三角ダイアグラムを示した。これら3種類の斑晶のモード組成のデータは，Ol-OpxまたはOpx-Hblの頂点を結ぶ直線状にプロットされる2つのグループに分かれる。

我々はこの2つのグループを図1中でのOpx含有量40%を基準に，それぞれ細分化

した。その結果，我々は九重火山群の火山岩類を，斑晶のモード組成から（1）Olに富み角閃石を含まないグループ（Ol-rich），（2）Hblに富むグループ（Hbl-rich），（3）Opxに富み，Olを含み，Hblを含まないグループ（Opx-rich），（4）斜方輝石と角閃石に富みかんらん石を含まないグループ（Opx・Hbl-rich）の4つに分類した。

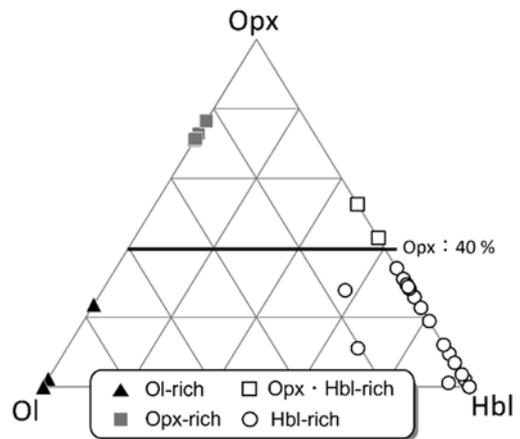


図1. 斑晶のモード組成の三角ダイアグラム

3. 主成分元素組成

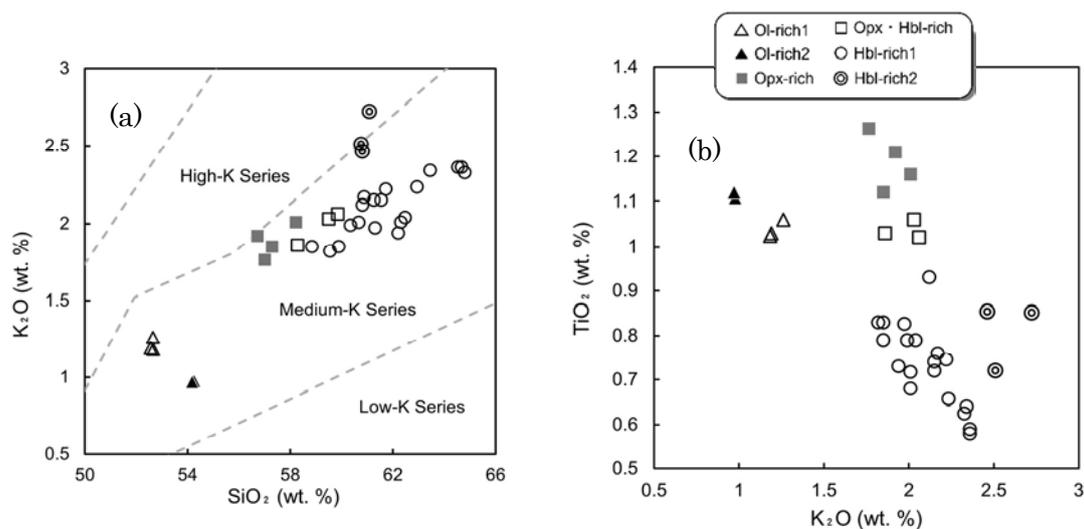


図 2. 主成分元素組成。(a) SiO₂ vs. K₂O, (b) K₂O vs. TiO₂。

主成分元素組成を図 2 に SiO₂ と K₂O 含有量および K₂O と TiO₂ 含有量の関係として示した。図 2a 中で白抜き丸の系統で示した Hbl-rich グループには、SiO₂ 濃度の増加に伴う K₂O 濃度の増加傾向が他のグループと類似しているものと、著しく K₂O 濃度に富む傾向を示すものが観察される。本報告では前者を Hbl-rich 1, 後者を Hbl-rich 2 とさらに区分する。また、三角で示した Ol-rich を、SiO₂ 濃度と K₂O 濃度の明瞭な差から 2 つのグループに細分した (図 2a)。相対的に SiO₂ 濃度が低く (≈52 wt%) K₂O 濃度が高い (≈1.2 wt%) グループを Ol-rich1, SiO₂ 濃度が高く (≈54 wt%) K₂O 濃度が低い (≈0.9 wt%) グループを Ol-rich2 とすることで、九重火山群の火山岩を 6 種類に分類した。Ol-rich1, 2 は玄武岩質安山岩であり、他の試料との間に SiO₂ 濃度のギャップがみられる (図 2a)。Ol-rich2 は K₂O 量が相対的に一番少ない (≈0.9 wt%) グループ、Ol-rich1 は Ol-rich2 の次に K₂O 量が少ないグループ (≈1.2 wt%), Hbl-rich2 は K₂O 量が一番多い (>2.3 wt%) グループである。Hbl-rich1, Opx·Hbl-rich, Opx-rich は同程度の K₂O 量を持つが、TiO₂ 量に違いがみられる。相対的に Opx-rich は最も TiO₂ を多く (>1.1 wt%) 含んでおり、Hbl-rich1 の TiO₂ 含有量はすべてのグループの中で最も低い (≈0.6~0.8 wt%)。Opx-Hbl-rich は中間的な TiO₂ 量 (≈1

~1.1 wt%)を持つことが図 2b から読み取れる。これらの観察は、斑晶のモード組成に基づき分類した 6 つのグループ分けが、主成分元素組成においてもそのまま成立することを示している。

4. 微量元素組成

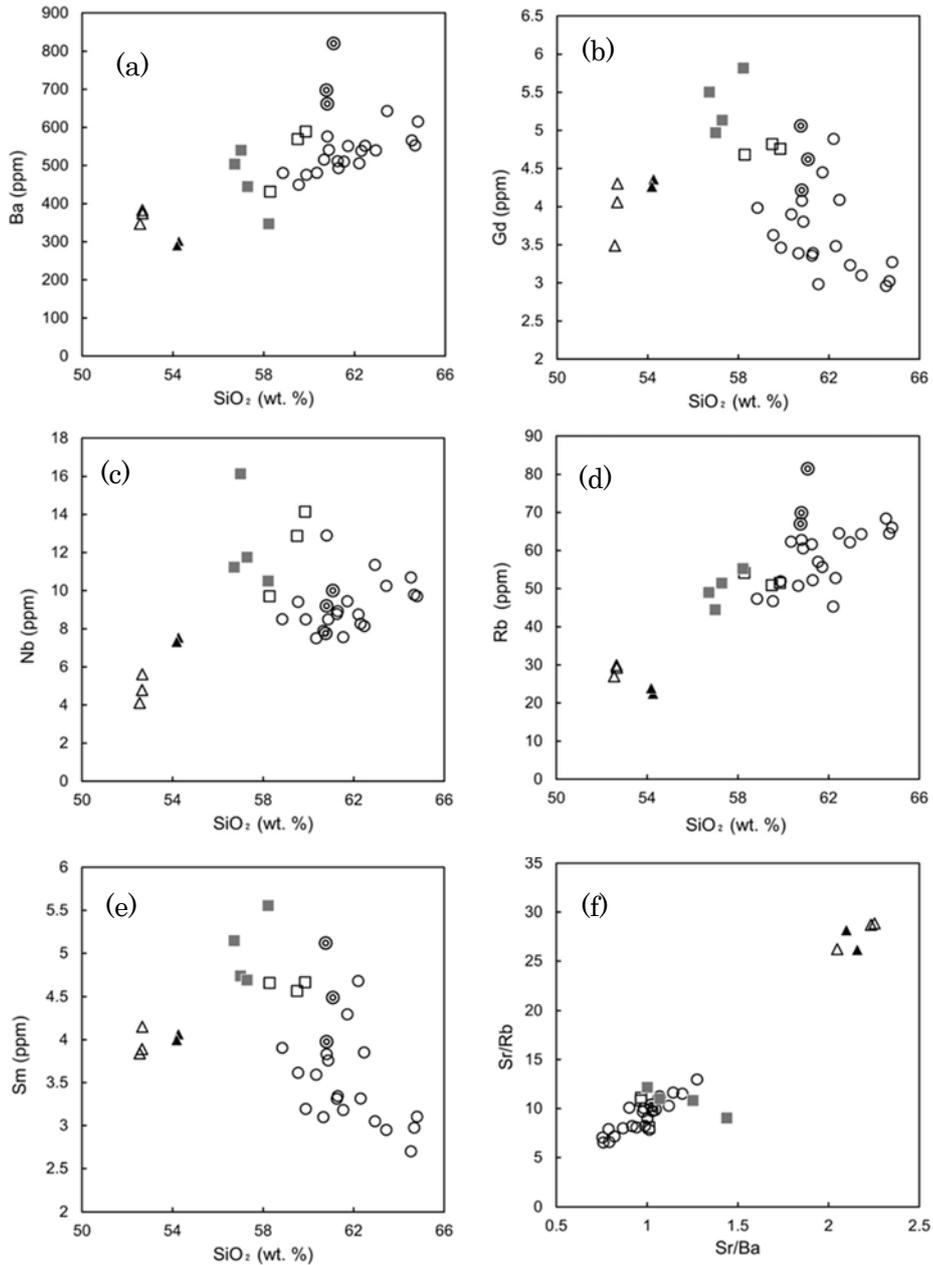


図 3. 微量元素組成。凡例は図 2 と同じ。

微量元素組成を図 3 に示した。大局的には SiO_2 量の増加に伴って Ba, Rb 濃度が増加するトレンドがみられるが, Hbl-rich2 はそのトレンドから外れ他の試料より Ba や Rb に富む傾向を示す。Hbl-rich2 は K_2O 量にも富む (図 2a) ことから LILE (Large Ion Lithophile Elements) に富むグループであるといえる。また, Ol-rich1, 2 に注目してみると Ol-rich1 は Ol-rich2 に比べ LILE に富むことが分かる。次に, 図 3b, e は SiO_2 量を横軸に, 希土類元素 (REE : Rare Earth Elements) である Gd, Sm 濃度を縦軸にとった図を示す。これらの図から, Opx-rich は REE に最も富むグループであり, Opx-rich に続いて, Opx・Hbl-rich, Hbl-rich2 が相対的に REE 濃度の高いグループであることがわかる。図 3c には横軸に SiO_2 , 縦軸に HFSE (High Field Strength Elements) である Nb の濃度を縦軸にとった図を示す。この図から, Opx-rich と Opx・Hbl-rich は相対的に最も Nb に富むグループであるといえる。ここで, Ol-rich1, 2 に注目すると Ol-rich2 は Ol-rich1 に比べ Nb に富む。図 3f には横軸に Sr/Ba vs Sr/Rb 図を示す。Rb と Sr は同じ LILE でありながら, Sr は斜長石などの鉱物に濃集するため, 分化に伴って残液メルトには Rb が濃集し, Sr が取り去られ Sr/Rb 比は連続的に小さくなる。ここで図 3f をみると, Ol-rich1, 2 と他のグループには大きなギャップがあることが分かる。このギャップと鉱物モード組成の違いを併せて考えると, 少なくとも Ol-rich1, 2 とその他のグループは起源マグマが異なる可能性が考えられる。また, Opx-rich や Opx・Hbl-rich は Sr/Ba 比 vs Sr/Rb 比 (図 3f) において Hbl-rich1, 2 とは異なるトレンドをもつことがわかる。

5. まとめ

九重火山群の火山岩類の斑晶モード組成を基に, 火山岩類を分類した 6 つのグループは, 主成分および微量元素組成においても, それぞれ類似した傾向を示すことが明らかになった。このことは, 九重火山群では, 少なくとも 6 つの異なるマグマが活

動したことを示す。来年度は、Sr-Nd-Pb 同位体組成の分析を行い、6つの異なるマグマの起源と進化過程について、研究を進める。

謝辞

本研究で主成分元素組成を測定する際、早坂康隆博士と平山剛大博士にご協力いただいた。

引用文献

川辺ほか（2015）九重火山地質図．火山地質図 19

藤原涼太郎（2020）西南日本弧九重火山群第四紀マグマの起源，広島大学修士論文

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.

竹田市長湯温泉地域で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

要旨

大分県竹田市直入町の長湯温泉地域で採取した温泉水 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。それぞれの温泉水の Sr 同位体比は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.704414 \pm 0.000019$ (2SE) と $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.704937 \pm 0.000028$ (2SE) と異なっており流動経路の地質の違いを反映しているかもしれない。

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。また、湧出経路に存在する岩石中の 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, Millot et al., 2012)。昨年度に引き続き、今年度は竹田市直入町長湯温泉地域内の飲泉場と水神の湯で温泉水を採取し、それらの 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・水素同位体と地形の解析から、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天水由来であるとしている。一方、本地域の湧水は地下 50~250 m の深度からもたらされ、その帯水層は阿蘇火山の厚い溶結凝灰岩に覆われた、変質した流紋岩であるとされている (Okumura et al., 2011)。

九重火山大船山は九重連山の南東部に位置し、噴火ステージ第 4 期 (15-0 ka) に区分され、大船東溶岩・岳麗寺溶岩・板切溶岩など 7 つのユニットが観察されている (川辺ほか, 2015)。柴田ほか (2023) は九重火山の火山岩を微量元素組成の特徴から high Sr・high 希土類 (REE)・low REE の 3 つに分類し、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が 0.705 より高い値(藤原ほか, 2020 ; 折戸, 2021 ; 幣島, 2022)をもつものは high REE グループであると報告している。大船山については 4 試料の微量元素組成が報告されており、high Sr グループと high REE グループの火山岩が産出している。

3. 試料および分析方法

図 1 に温泉水の採取場所を示した。採取した試料水は、メンブランフィルター (孔径 0.2 μm) でろ過した後、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、過塩素酸) 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 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710278 \pm 0.000016$ ($n=2, 2\sigma$) であった。

4. 結果と考察

本研究で決定された Sr 同位体比 (飲泉場 : $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.704414 \pm 0.000019$ (2SE), 水神の湯 : $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.704937 \pm 0.000028$ (2SE)) を昨年決定した郷の湯の結果 (芳川ほか, 2022) とともに図 1 に示した。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 (例えば九重山火山岩の場合, 420~839 ppm, 柴田ほか, 2003) と比較すると著しく低いため (<0.008

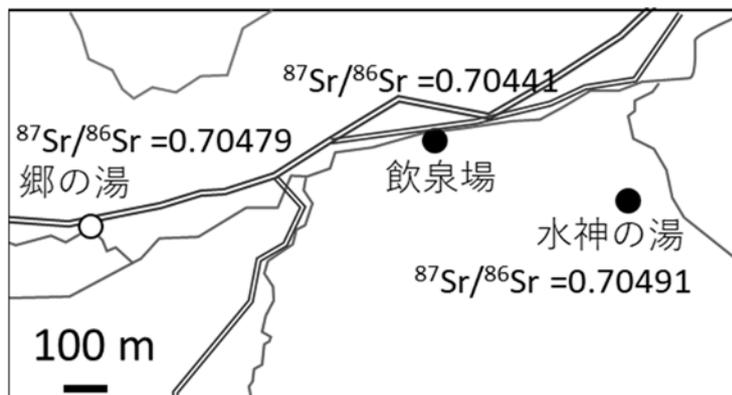


図1. 温泉水の採取場所とその Sr 同位体比

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。図 2 に示すように九重山火山岩の Sr

同位体比の組成幅は, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7039 \sim 0.7054$ (Kita et al., 2001; 藤原ほか, 2020; 折戸, 2021; 幣島, 2022) であるが, 多くの試料は阿蘇火山の Sr 同位体比の組成幅 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7040 \sim 0.7044$; Hunter, 1998; Kaneko et al., 2007) と類似する $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7039 \sim 0.7046$ を示す。

ただし, 九重山火山岩のうち柴田ほか (2023) で high REE グループに分類されている 2 試料は, それらより明らかに高い Sr 同位体比を示す ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.7050$; 藤原ほか, 2020; 折戸, 2021;

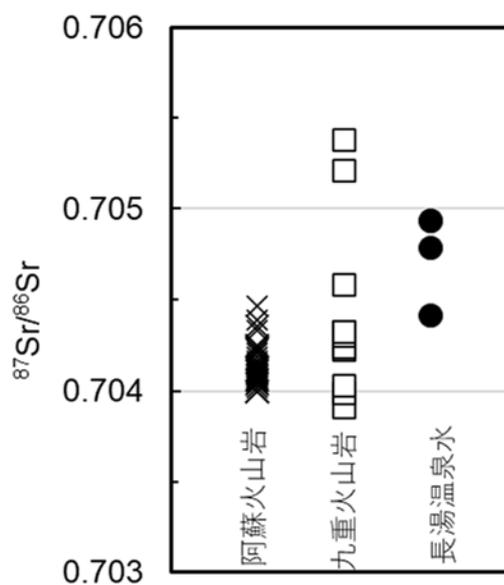


図2. 長湯温泉水および阿蘇山と九重山の火山岩のSr同位体比
火山岩のデータは藤原ほか(2020) Hunter (1998), Kaneko et al. (2007) Kita et al. (2001), 折戸 (2021), 幣島 (2022)を使用した。

幣島, 2022)。

飲泉場で採取した温泉水は九重火山の大部分や阿蘇火山の火山岩の Sr 同位体比幅に含まれるが、郷の湯と水神の湯の温泉水はやや高い Sr 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \geq 0.7048$) を示し、高い Sr 同位体比を示す九重山火山岩もしくは Sr 同位体比の報告はないが流動経路に分布するその他の岩石の影響を受けている可能性を示唆する。長湯温泉の流動経路に分布する岩石試料について今後継続的に Sr 同位体比分析を行い、流動経路をより明確化できればと考えている。

5. まとめ

長湯温泉地域で採取された温泉水の Sr 同位体比は、採取場所ごとに異なっている。その違いは、温泉水の流動経路に分布する岩石試料やその混合の程度が異なっている可能性を示唆する。

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.
- Hunter, A.G. (1998) Intracrustal controls on the coexistence of tholeiitic and calc-alkaline magma series at Aso Volcano, SW, Japan. *Journal of Petrology* 39, 1255–1284.
- 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.
- Kaneko, K., Kamata, H., Koyaguchi, T., Yoshikawa, M., Furukawa, K. (2007) Repeated large-

- scale eruptions from a single compositionally stratified magma chamber: An example from Aso volcano, Southwest Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 167, 160–180.
- 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.
- Okumura, T., Takashima, C., Shiraishi, F., Nishida, S., Yukimura, K., Naganuma, T., Koike, H., Arp, G. and Kano, A. (2011) Microbial processes forming daily lamination in an aragonite travertine, Nagano-yu hot spring, southwest Japan. *Geomicrobiology Journal*. 28, 135–148.
- 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 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, 印刷中
- 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.
- 芳川雅子・柴田知之・白石史人 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, 印刷中

別府温泉郷100年の発展と大分県内温泉地域とのかかわり

別府大学

中山 昭 則

要 旨

2024(令和6)年、別府市が誕生して100年を迎える。別府市が誕生した1924(大正13)年には温泉観光都市としての整備はかなり進んでおり、市制施行は温泉観光地として発展を遂げているその最中に実施されたのである。

具体的にみると、市制施行のおよそ20年前の明治末期には、旧別府町と浜脇町が合併して新しい“別府町”が誕生し、鉄道もこの地まで延びてきている。さらホテルの開業が本格化するとともに油屋熊八が亀の井旅館を開業させている。大正期に入ると、大阪商船は大型客船を瀬戸内航路に導入し、輸送力を大幅に向上させている。また観光施設の新設も相次いでいた。このように別府市誕生時には温泉観光都市として発展の最中だったのである。

また、温泉観光都市別府の100年の歩みは周辺地域の発展にも深く関与している。とりわけ由布院温泉は未だ鉄道も延伸してこなかった大正期の末には、別府・由布院間に県道が開通し「別府の奥座敷」と銘打って宣伝されたのである。このように別府市の発展は、今日別府温泉郷を凌ぐ人気を誇っている由布院温泉の発展の扉も開いたのである。

1 はじめに

大分県別府市は2024(令和6)年4月1日に市制施行100年を迎えた。全国の自治体は『市制施行100年』という記念すべき年を迎えると祝賀ムードに包まれる。別府市においても前年度から100周年に向けた様々な行事が催されている。

他方、別府市制施行100年は他の自治体とは違う意味づけで語ることもできる。その一点目としては、別府市は温泉観光地という町を『市』に昇格させるという全国でも初めての試みを行った点である。別府市制施行には当時の内務省も高い関心を寄せていたことが窺える。2点目としては、市制施行を実施する20年ほど前から町の整備を行っていることである。さらに市制施行時から既に周辺町村の合併を前提とした「大別府市」という構想を持っていたことである。

別府市の温泉観光都市としての発展は油屋熊八、千寿吉彦に代表されるように民間人の活躍によって発展を遂げてきたという視点から語られることが多い。しかし、その一方では行政も将来像を描きながら別府の発展に寄与してきたともいえる。

本稿では可能な限り広い視点から別府市制施行100年を振り返り、その地域的意義について考察していくものである。

2 「観光都市別府市」誕生とその地域的意義

(1) 市制施行当時の別府を取り巻く状況

「市制施行」は、町村制とともに1888(明治21)年4月25日に法律第1号として公布され、全国37都市が指定された。そして翌1889(明治22)年4月には37都市のうち31都市に市制が敷かれた(表1)。

残された6都市(東京、岡山、名古屋、徳島、松山、高松)は同年5月から翌年2月にかけて順次市制を敷いた。これらの都市を見ると京都市以外は城下町で占められていることから、明治維新から20年経っていても我が国の都市は旧城下町を基盤としていたことが窺える。県内を見ると1911(明治44)年に大分市が市制を敷いたのが最初であり、市制施行が敷かれてから実に22年経っていた。

表1. 1889年に市制がしかれた31都市

【東北地方】	仙台、盛岡、弘前、山形、米沢、秋田	【関東地方】	横浜、水戸
【甲信越地方】	新潟、富山、高岡、金沢、福井	【東海地方】	静岡、津
【近畿地方】	京都、大阪、堺、神戸、和歌山、姫路	【中国地方】	広島、赤間関（現下関）、松江
【四国地方】	高知市	【九州地方】	福岡、長崎、久留米、熊本、鹿児島、佐賀

(注)総務省資料等を基に筆者作成

(2)別府市の誕生

これまで我が国の市制施行の状況を見てきたが、別府市は全国的な視点から見るとどのような位置づけなのだろうか。別府市に関しては、当時の別府町に対して1924(大正13)年3月28日に「内務告示第157号」として「明治44年法律第68号市制第3条及同年法律第69号町村制第3条ニ依り大正13年4月1日ヨリ大分県速見郡別府町ヲ廢シ其区域ヲ以テ別府市ヲ置ク」と記されている¹⁾。そして記述の通り1934(大正13)年4月1日に市制が施行された。これは市制施行制度発足から37年後で、全国では96番目、大分県では大分市の次いで『市』となった(表2)。下の表を見ると別府市は中津・佐伯といった城下町および天領として栄えた日田といった近世期から発展していた都市に先んじて市制を敷いているのが大きな特徴と言えよう。

表2. 大分県内の市制施行の状況(戦前)

都市名	西暦	和暦	施行期日	都市名	西暦	和暦	施行期日
大分市	1911	明治44	4月1日	日田市	1940	昭和15	12月11日
別府市	1924	大正13	3月28日	佐伯市	1941	昭和16	4月29+日
中津市	1929	昭和4	4月20日				

(注)各市資料を基に筆者作成

(2)温泉観光都市が市制施行を敷いた意義

さて別府はこのような経緯によって市制が敷かれたが、温泉観光都市としての別府の位置づけをより明確にするため、全国の温泉観光地における市制施行についても見ていきたい(表3)。とは言え今日でさえも温泉観光都市が独自に市制を敷いている所は多くはない。

表3. 市制が敷かれた主な温泉観光都市

市制施行年月日		都市名
1924(大正13)年	4月1日	大分県別府市
1937(昭和12)年	4月10日	静岡県熱海市
1941(昭和16)年	8月10日	長野県諏訪市
1947(昭和22)年	8月10日	静岡県伊東市
1954(昭和29)年	3月31日	秋田県湯沢市
	4月1日	愛知県蒲郡市、佐賀県武雄市、熊本県玉名市、同県山鹿市、鹿児島県指宿市
1958(昭和33)年	1月1日	石川県加賀市
	10月1日	山形県天童市

(注)各市資料を基に筆者作成

筆者が調べた範囲では、第二次世界大戦以前に温泉地で市制を敷いていたのは、別府市の他静岡県熱海市と長野県諏訪市のみである。また全ての市は周辺の町村を合併して市制施行を遂げている。

さて、別府市は温泉観光都市として全国でいち早く市制施行を遂げた町であるが、その意義について我が国の温泉観光の視点から考察してみたい。

まずは、別府市は他の温泉観光都市と比べると市制施行を実行した時期がとても速い。同市に次いで市制施行を行った静岡県熱海市は別府市の実に13年後のことである。別府温泉は如何に早く全国に先んじて市制を敷いていたことが判る。さらに別府市以外の多くの都市は城下町であったり宿場町であったりと、近世期からそれなりに発展を遂げていた町である。江戸時代まで浜脇温泉が街道に沿って展開していたが、旅籠が軒を連ねるような大きな宿場町ではなかったようだ。北浜温泉などはほぼ存在していなかったともいえよう。

さらに特筆すべきは、詳細は次章で述べるが、1924年の別府市誕生時に既に亀川町などの周辺町村との合併まで睨んでいたのである。

3 観光都市別府の誕生と大分県の観光

(1) 温泉観光都市“別府”誕生の地域的意義

1924年に実行された別府市制施行は大きな特色を読み取ることができる。先ず市制施行の大きな背景として将来的に外国人観光客の増加を予測している点である。その時に備えて設備整備並びに別府観光の宣伝をすることが市制施行の目的の1つとしていたようだ²⁾。

さらに当市の市制施行時には、既に亀川町や朝日村、石垣村を別府市と合併して「大別府」を形成することが必要であると説いていたのである。市制施行時に既に近い将来周辺町村との合併をもくろみ、温泉観光都市として基盤整備を更に進めようとしていたのである。この大別府構想は表4で示すように、1935(昭和10)年に亀川町と朝日村、石垣村が別府市と合併し実現したのである。その結果、鉄輪温泉や亀川温泉も別府市域となり、此処に今日の別府温泉郷の形が整ったといえよう。この「大別府」の実現を豊州新報は『名実共に東洋一 理想の大温泉街……、世界有数の山嶽都市 戸数面積は県下一位……』と報じその発展に大きな期待を寄せていたことが判る³⁾。

別府市の場合、周辺町村との合併を強行し「市」となることだけを目的としていたわけではなく、周辺町村との合併を見通して温泉観光都市としての体裁を整えることを見通していたのである。

当時別府市は既に航路によって関西地方と強く結ばれており、加えて外国船による世界遊覧の寄港地にもなりつつあった時代であり、この受け皿として相応しい町づくりの構想も進められていたのである。その代表的な事業は「市区改正」と「埋め立て」であり、大阪商船による別府観光港の整備も加わる(表4)。

遡ること1900(明治33)年、大阪商船は別府に支店を構えた。当社はこの当時から外洋航路進出を狙っていた。その一方、1907(明治40)年には資本金の4分の1を充てて「内航部」を設置した。1912(明治45)年には1,000トンの当時としては大型な「紅丸」を別府航路に就航させた。その後も「むらさき丸」「くれない丸」など大型客船を導入し別府航路を主体とした瀬戸内海航路の重要性を認識していたかが伺える(写真1)⁴⁾。



くれない丸



二代目紅丸

写真1 くれない丸と二代目紅丸

(注)商船三井HP <https://www.mol.co.jp/casualcruise-sunflower/article/know/konjaku/>より作成

その上、110年前の1914(大正3)年には摂陽商船という船会社が別府と中国を結ぶ航路を開いている。その後1920(大正9)年にコンクリート製の栈橋が整備されると、3,000トン級の外国船の入港も始まる。当時の外国客船の多くは所謂「世界一周周遊旅行」であり、別府もそのコースに組み込まれていったことを意味する。

1926(大正15)年の別府港寄港に関して、旅行会社のトーマス・クック社駐日支配人は「別府市が熱誠に且つ組織立って歓迎してくれたのと別府が風光明媚であるため外人間に非常に喜ばれ支那北京に於ける四日の観光を変更し其代わりに大連、仁川、別府、宮島を観光することになった……」と述べており、別府を非常に高く評価していたといえよう⁵⁾。

表4. 別府に関連する航路の状況(1912~1938年)

西暦	和暦	何年前	観光関連事項
1912	明治45 大正1	112	大阪商船、別府航路に「紅丸(1000t)」就航
1914	3	110	摂陽商船株式会社が設立され中国より別府へ定期航路を開設する
1916	5	108	大阪商船専用の木造栈橋が完成(写真2)
1915	4	109	別府港北側部分の埋立て開始
1920	9	104	別府港に鉄筋コンクリート製栈橋が竣工する。
1921	10	103	別府-大阪間に「むらさき丸(1600t級)」就航
1923	12	101	大阪-別府航路に「屋島丸(947t)」就航
1924	13	100	大阪-別府航路に「くれない丸(1540t)」就航
1926	大正15 昭和元	98	カナダ観光船「エンプレス・オブ・スコットランド号(3500t)入港 イギリスのフランニア号入港(1928年にも寄港)
1928	3	96	大阪商船の「緑丸2000t級」進水 これで別府-阪神航路に緑丸・紅丸・紫丸・屋島丸の4隻が昼夜両便で就航 エンプレス・オブ・オーストラリア号寄港(1930, 31年にも寄港)
1929	4	95	大阪商船の快速客船「堇丸1724t」が別府-大阪航路に就航
1930	5	94	レブリュート号寄港(1931年にも寄港)
1932	7	92	世界周遊船エンプレス・オブ・ブリテン号寄港(1933, 35, 36年にも寄港)
1935	10	90	世界周遊船レイアンス号寄港(1936, 37年にも寄港)
1938	13	87	イタリア使節団を乗せたモンテクツコリ号が別府に入港

(注)大阪商船史料ならびに別府市年表等を元に筆者作成

もう一点、別府が温泉観光都市としての体裁は、市制施行4年後の1928年から始まった『市区改正事業』であろう。この事業は今日風に言えば「都市計画」ともいえるもので、これは1889(明治22)年に当時の東京市で始められた事業で、その後京都市、大阪市、名古屋市、横浜市、神戸市で同様の事業がなされた。こうした中、別府市(当時は町)は1909(明治42)年に日名子町長の号令下市区改正事業が始められ、19年後の1928(昭和3)年に完成している⁶⁾。別府で実行されたこの事業は東京での事業開始20年後のことで、地方都市では全国で最も早い部類に入れられよう(図1)。

また同年には別府観光港から浜脇温泉にかけて行われていた埋め立て事業も完了している(写真2)。

別府市の誕生の経緯を鑑みれば、いわば「計算された都市計画」ともいえそうだ。換言すれば将来的な発展を見据えて地域の中心地として「市」となり、その後もさらに周辺町村の合併も見据えていたのである。

このことは当時既に「大別府」という構想が語られていたことから地域の強い意志が見て取れる。では、市となった別府はどのように温泉観光都市として発展していったのだろうか。



図1 別府市の市区改正地図
(注)別府史資料より筆者作成



写真2 埋め立て事業
(注)別府史資料より筆者作成

(2)温泉観光都市“別府”の発展

別府では市制施行の15年前には前節で述べた通り、今日の都市計画と言える「市区改正」に着手している。地方都市では全国的に最も早く取り込んだといえ、このことから別府の町は明治後期からすでに発展し始めていたことを物語っている(表5)。その背景には観光が産業として成り立ち、また観光を楽しむ国民が多くなってきたことがある。つまり、地元には「別府は間違いなく発展し続ける」という確信、そして将来的に『別府市を誕生させる』という目標もあったのではないかと推察される。

今から118年前の1906(明治39)年、旧別府町と浜脇町が合併し新生別府町が誕生した。翌年にはこの両町の間地点に位置する劇場と映画館を兼ねた松濤館が開業し両地区からの宿泊客を取り込もうとした。このことは、別府と浜脇の両温泉地と一緒に発展を目指すという地域の意思も見えて取れる(写真3)。その2年後には別府町に温泉係を設置し、翌々年には温泉課に昇格させており、行政が本格的に温泉観光地づくりに向かったといえよう。温泉係が設置された年には市区改正事業も本格化している。

1911(明治44)年にはいよいよ鉄道が別府まで達してきた。同時に別府ホテルと亀の井旅館も開業し「温泉観光都市として本格的に発展を遂げる」という雰囲気が多いに盛り上がったであろう(写真4)。



写真3 松原公園
(注)別府史資料より筆者作成



写真4 開業当時亀の井ホテル
(注)別府史資料を基に筆者作成

いち早く大阪との海路を開いていた大阪商船は既に別府に支店を構えていた。大正期に入ると当時としては1000トン級の「くれない丸」という大型客船を皮切りに次々と導入し輸送力アップに努めていた。1916(大正5)年には専用の木造栈橋を整備し4年後にはコンクリート製の栈橋を完成させ大型客船を導入してきた。

その他の航路関係としては1914(大正3)年に摂陽商船株式会社が設立され、中国より別府へ定期航路が開設され大陸からの誘客も視野に入れていたことを物語っている。

表5. 別府市制施行前後(およそ100年前)の歴史

西暦	和暦	何年前	観光関連事項
1906	明治39	118	旧別府町と浜脇町合併し人口1万2千人の別府町となる
1907	40	117	旧別府公園完成 松原公園前に松涛館(芝居兼映画館)が開業
1909	42	115	市区改正事業始まる 別府町役場に温泉係が設置(明治44年課に昇格)
1911	44	113	亀川駅および別府駅が開業、半年後には浜脇駅(東別府)も開業 別府ホテル野口原で開業、亀の井旅館開業
1912	大正1	112	大阪商船、別府航路に「紅丸(1000t)」就航
1913	2	111	竹瓦温泉改築。改築費6,259円
1914	3	110	松原公園竣工 摂陽商船株式会社が設立され中国より別府へ定期航路を開設する
1915	4	109	別府港北側部分の埋立て開始
1916	5	108	大阪商船専用の木造栈橋が完成
1920	9	103	別府港に鉄筋コンクリート製栈橋が竣工する。
1921	10	102	別府-大阪間に「むらさき丸」(1600t級)就航 地獄循環道路(県道)完成。
1923	12	101	日豊本線全線開通
1924	13	100	市制施行
1925	14	99	油屋熊八、宇都宮則綱、梅田凡平ら富士山頂はじめ全国各地に「山は富士 海は瀬戸内 湯は別府」の標柱を立てる
1926	15	98	九州の宝塚と呼ばれた鶴見園開園
1927	昭和2	97	都市計画法適用都市となる 大阪毎日新聞・東京日々新聞の日本新八景に別府温泉が温泉の部第1位
1928	3	96	油屋熊八、亀の井自動車を設立「地獄めぐりバス」運行 中外産業博覧会が旧別府公園を中心に開催される 旧別府港から東別府までの海岸埋立事業が完成 市区改正、耕地整理事業が完成 別府-阪神航路に緑丸・紅丸・紫丸・屋島丸の4隻が昼夜両便で就航
1929	4	95	ケーブル遊園(別府遊園地)開園
1930	5	94	ゴルフリンクス(現別府ゴルフ倶楽部)が営業開始
1935	10	89	亀川町・朝日村・石垣村が別府市と合併

(注)別府史資料より筆者作成

1921(大正 10)年には県によって地獄環状道路も完成し、今日も別府観光を代表する「地獄巡り」の基礎もでき上った(写真5)。

1924年の市制施行の一年後には、油屋熊八は宇都宮則綱ならびに梅田凡平らとともに富士山頂にかの有名な「山は富士 海は瀬戸内 湯は別府」の標柱を立てた。彼らが別府市制施行をどのように捉えていたのかは不明であるが、恐らくはかなり意識しての行動であったであろう。

さらに1926(大正 15)年には鶴見園が開園し「西の宝塚」と称された(写真6)。この施設は広島県出身で貴族院議員であり更に実業家としても鳴らした松本勝太郎によるもので、彼は海地獄を買収した千寿吉彦と同様に日豊線の敷設工事のため別府を訪れその魅力に取りつかれた一人であった。



写真5 当時の地獄めぐりバス
(注)別府史資料より筆者作成



写真6 開業当時の鶴見園
(注)別府史資料より筆者作成

さらに別府市にとって大きかったのは、翌1927(昭和 2)年に「都市計画法適用都市」に指定されたことであろう。その『都市計画』そのものは当時から課題とされていた大都市における都市問題の解決に主眼が置かれたものであった。その法制を地方都市に適用したのである。西川らによると1924年の市制施行当初から所謂『大別府温泉都市』の実現に向けて市当局は研究を始めていたという。その中で「近隣町村はじめ南北由布村まで合併して温泉地帯の統一を図る」との記録があるとしている⁷⁾。そして市制施行の翌年の1925年には内務省に都市計画法適用の申請をしている。このことから市制施行当初から別府市の全体像は施行時の市域を越えたエリアを描いていたのである。同年には内務省から視察が訪れ担当者は「温泉地の都市計画は別府市を以って嚆矢とするので非常な興味を以て是非とも模範的な都計を実施せむ」としていることから内務省の関心も高かったと考えられる⁸⁾。

1927年の指定は当時の別府市に亀川町・石垣村・朝日村を含めてエリアが対象区域とされた。そして国・県・市が共同歩調を取って別府市とその周辺の都市計画の策定にあたっている。

尚、別府市の温泉観光都市の発展に関しては油屋熊八を始めとする民間人の活躍がクローズアップされているが、都市計画法に則った官製の開発に関する言及は、散見の限りでは西川他の論考が主体となっており、温泉観光都市別府成立を紐解くための今後の研究課題と言えよう。

さて、別府市が都市計画法適用都市に指定された年に、大阪毎日新聞と東京日日新聞が主催した「日本新八景」の“温泉の部”で第1位となり我が国を代表する温泉に選ばれている。この結果、名実ともに「日本一の温泉地」と称されたことは間違いない。

(3) 温泉観光都市別府が大分県の観光に果たした役割

これまで別府市制施行への道のりと同時期の温泉観光地の形成過程をみてきた。それでは別府の市制施行とそれと並行する形で進んだ温泉観光地形成は周辺地域にどのような影響を与え、さらにどのような関りをもたらせたのであろうか。

ここでは別府温泉と隣接し今日では年間400万人近い観光客を集める由布院温泉との関りを見ていきたい。今日の由布院温泉は、別府周辺そればかりか大分県さらに九州地方を代表する温泉観光スポットであり国

内外から多くの観光客が訪れている。さて、今日大人気の由布院温泉の成り立ちと別府市制施行ならびに温泉観光地としての発展とは何か関りはあるのだろうか。

由布院温泉は大正時代まではアクセスも悪く鄙びた「地域の温泉地」であった。隣接する湯平温泉は記録から見ると江戸時代から湯治場として賑わっていたようだ⁹⁾。鄙びた小さな温泉地を今日の大温泉観光地に発展させたのは、共に別府に住んでいた油屋熊八と中谷巳次郎といえよう。彼らは共に事業に失敗し別府に流れ着いたという点で一致している。このような共通した経歴からか大正時代前期に二人は出会い意気投合したと伝えられている。

1921(大正10)年、油屋熊八は大阪の資産家から金鱗湖周辺の土地を買収し、そこに賓客をもてなすための草庵を建て中谷にその管理を任せたといい¹⁰⁾。これが今日の亀の井別荘の始まりである。その後別府と結ぶ県道も繋がり標高500mの気候を活かし「九州の軽井沢」と称され、主に文化人湯外国人に親しまれるようになった¹¹⁾。1923(大正12)年、国鉄大湯線(後の久大本線)が湯平まで延び、1925(大正14)年には今日の由布院駅にあたる北由布院まで延びてきた。これで大分ともつながりアクセスも向上した。この鉄道が久留米そして博多に繋がったのは9年後の1934(昭和9)年のことである。

以上、大正から昭和にかけての由布院温泉の状況を鑑みると、由布院温泉が今日の地位を築く発端は別府温泉との強い関わりから生まれたといえよう。前述の通り鉄道が大分市から延びてきたとはいえ、1925年(大正14)年の国勢調査を見ると大分市の人口は5万3千人の一地方都市で、由布院温泉の発展に大きく寄与したとは言い難い。やはりそれ以上に別府温泉との繋がりの方が大きかったと考えられる。油屋熊八は別府に来た観光客の中でも長逗留したであろう文化人や外国人を亀の井別荘に案内しており、こちらの流れ発展の端緒を担ったと考えられる。

今日賑わっている大分県内の観光地の多くは大正から昭和にかけて観光地としての地位を獲得するまでに至っていなかったといえるだろう。こうした中当時から“天下一の名勝”と謳われた中津市の「青の洞門」は例外といえる。というよりも観光地としての知名度はこちらの方が別府温泉に先んじていた。青の洞門は、歌川広重の『六十余州名所図会(1854-1856作)』に、「豊前 羅漢寺 下道」と題して豊前国の名所として描かれている。また、福沢諭吉が景観を守るため土地を買収しており地元では「福沢諭吉が土地を買わなかったら青の洞門は残っていなかったかもしれない」と語られている。その後の明治中頃から“天下一の名勝”として数々の観光案内書で紹介されている。

しかし、この青の洞門と別府温泉が一体化した観光ルートであったかは確かな資料は未見であり今後の課題である。

4 おわりに

「別府市」の誕生は、我が国において温泉観光地が「市」という行政体として初めて成立したといっても過言ではなく、その後の温泉観光地の発展モデルとして大きな役割を果たした。この点に関しては当時の政府も強い関心を持っていたと考えられる。このことは換言すれば、別府市の100年を振り返れば、我が国の温泉観光地の歴史そのものを俯瞰することができる。

特筆すべきは市制施行の40年以上前から民間の手によって開発がなされていた点にある。一個人としてはやはり油屋熊八の行動は多岐にわたり、加えて広範囲にわたり素早い動きは温泉観光都市別府形成に大きな役割を果たしたといえよう。一方では、油屋熊八が来別する以前から、海地獄を観光資源化した千寿吉彦を始め様々な民間人の手によって進められてきた。

一方、事業者として大きな役割を果たしたのは大阪商船である。明治の中期から別府と京阪神とを結ぶ航路を開いた上に、別府航路に集約的に投資し市制施行前後には大型客船を動員し大きな役割を果たしたといえよう。

さらに別府市は全国の地方都市に先駆けて「市区改正」を実施し、さらに「都市計画法適用都市」となった。つまりこのこと自体が我が国の観光都市として初めての取り組みであり、観光都市発展史もしくは開発史そのものなのである。

今後の課題としては、今回も多少触れたがこの別府温泉 100 年の歩みは大分県そして九州、さらに我が国の観光発展にどのような役割を果たしたのか。そして歴史上どのように位置づけたらよいのか。広い視点からの考察が必要であり、意義深いものとなる筈だ。

【注・文献】

- 1) <https://www1.g-reiki.net/city.beppu/reiki.html> 参照
- 2) 中山穂考(2015):「近代的温泉観光地の形成と都市開発—大分県別府市を事例に」人文地理 第67 第2号、20-35 頁。
- 3) 前項 2) と同じ。
- 4) 1896(明治 29)年には、台湾と大連航路を開設し、1909(明治 42)年には太平洋航路(香港・神戸・シアトル)航路も開設している。
- 5) 前項 2) と同じ。
- 6) 西川亮他(2017):「戦前の別府市における都市計画に関する研究」日本建築学会径角形論文集 第82巻 740号、2597-2607 頁。
- 7) 前項 6) と同じ。
- 8) 前掲 6) および 1933 年版『別府市史』より。
- 9) 湯平温泉観光協会 HP <http://www.yunohira-onsen.jp/info-history.html> より。
- 10) 別府温泉地球博物館 HP <https://www.beppumuseum.jp/miu/> より。
- 11) 猪爪範子(1992):「湯布院町における観光地形成の過程と展望」園雑誌 55 (5)、367-372 頁。

