

# 河口湖周辺の大深度掘削泉の温泉成分の特徴

奥寺優行 小林 浩 望月映希 早川拓哉\*

Characteristics of Chemical Components in Deep Hot Springs around the Lake Kawaguchi Area

Masayuki OKUDERA, Hiroshi KOBAYASHI Eiki MOCHIZUKI and Takuya HAYAKAWA\*

キーワード：河口湖、南部フォッサマグナ、大深度掘削泉、グリーントフ、化石海水、温泉資源

調査地域とした河口湖周辺地域を含む富士北麓地域は、富士山の北側に位置し周囲を御坂山地や丹沢山地、天守山地などの山々に囲まれている。地域の多くは富士箱根伊豆国立公園に指定されており、緑豊かな自然環境の中、富士山と湖を眺望できる景勝地として国内外から多くの観光客が訪れている。

現在は、多くの温泉施設が河口湖畔に立ち並んでいるが、従来は温泉が無かったことから、観光資源として温泉開発が望まれていた。平成のはじめころに民間事業者による温泉開発が成功したことをきっかけに、多くの温泉が開発された。その後は、断続的に温泉開発が行われ、源泉数は徐々に増加していった。近年では、富士山の世界文化遺産登録を契機に、新たな温泉の開発や未利用だった温泉の利用が再開されている。

調査地域の温泉のほとんどは、掘削深度が 1,000m を超える大深度掘削泉である。比較的新しい温泉地であり、他の地域と比較して温泉に関する調査事例は少ない。これまでに、Yaguchi et al. (2016)による、富士北麓地域の一部の温泉の孔井地質や溶存化学組成、水素・酸素・硫酸安定同位体比などの調査から、温泉の起源や泉質形成機構が報告されている<sup>1)</sup>。

温泉資源を保護し継続して利用していくためには、温泉の形成や資源動向に関する情報の蓄積が必要である。本稿では、河口湖周辺の温泉を対象に行った温泉成分に関する調査結果について報告する。

## 調査方法

### 1 調査地域と温泉

調査地域とした河口湖周辺は、山梨県の南東部に位置し、南を富士山、西を天守山地、北を御坂山地、東を丹沢山地の山々に囲まれている(図 1)。本調査では、温泉の源泉や多くの温泉施設が所在する富士河口湖町と、隣接する鳴沢村及び富士吉田市を調査地域とした。図 1 に調査対象地域と既存源泉の位置を示した。調査地域に

は、平成 28 年 4 月時点で温泉の源泉が 13 カ所ある。これらの温泉の源泉のうち、温泉施設において利用されているものを調査対象とし、調査協力が得られた 7 源泉(図 2、以下「調査実施源泉」と記す。)において、温泉成分等の調査を実施した。調査実施源泉は、いずれも掘削深度 1,000m を超える大深度掘削泉であり、水中ポンプで温泉を汲み上げて主として浴用に利用している。

なお、調査対象とした温泉は、いずれも温泉法で定義する温泉である。

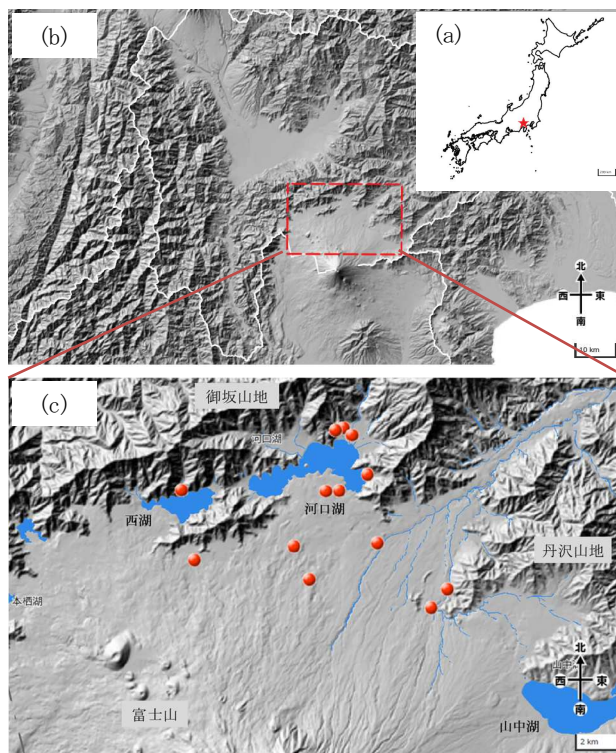


図 1 調査地域と温泉の源泉位置  
(地理院地図 Vector (国土地理院, maps.gsi.go.jp) をもとに作図)

### 2 成分分析

温泉成分等の調査は次の方法により行った。

\*現 富士・東部保健福祉事務所

調査実施源泉において、平成 29 年 3 月及び 9 月又は 10 月の計 1 回から 2 回、現地で泉温等を測定し、温泉をポリエチレン製容器に採取（金属元素の分析に用いる試料は、硝酸を加えて pH 約 1 として保存）した。採取した温泉は、試験室において、ナトリウムイオン等の成分分析を行った。分析項目と分析方法の一覧を表 1 に示す。分析は鉱泉分析法指針<sup>2)</sup>に準拠した。

また、各源泉の構造や取水部（ストレーナー）の位置、地質情報等は、温泉掘削時に掘削業者により作成された資料をもとに調査した。

なお、現地での測定及び採水は、源泉の湧出口の直後で行うことを原則としたが、源泉の湧出口で行えない場合には、源泉からもっとも近い貯湯槽の流入口で実施した。

表 1 分析項目と分析方法

分析項目	分析方法
pH (現地)	ガラス電極法
電気伝導率 (現地)	電気伝導率計
ナトリウムイオン	イオンクロマトグラフ法
カリウムイオン	〃
マグネシウムイオン	〃
カルシウムイオン	〃
塩化物イオン	〃
硫酸イオン	〃
アルカリ度 (現地) ※1	滴定法 (pH4.8 アルカリ度)
二酸化けい素	比色法 (モリブデンイエロー法)
ホウ素含有量	ICP 質量分析法
マンガン含有量	〃
鉄含有量	電気加熱原子吸光法

※1 アルカリ度は温泉の pH に応じて、炭酸イオン又は炭酸水素イオンとして表示した。

## 結果と考察

### 1 地質の概要

河口湖周辺は地質学的には南部フォッサマグナ地域に属しており、本地域周辺の地質については、松田<sup>3)</sup>によって詳細に報告されている。この報告によれば、周囲を取り囲む山地は、主に新第三紀中新世中期から鮮新世にかけて海底に堆積した地層と海底で噴出した火山岩類から成り、その地層は下部を占める地層群と上部を占める地層群に大別される。これらの地層の厚さは 1 万 m 以上とされている。下部の西八代層群や丹沢層群は、本来は同じ時代のひと続きの地層群で、これらが隆起し露出した部分が御坂山地や丹沢山地である。上部の富士川層群や西桂層群は、主に富士川沿いの低地（富士川谷）や桂川の谷沿いに分布しており、天守山地の地質の大部分が富士川層群である。また、富士山の斜面や山麓は富士山の火山噴出物で広く覆われており、富士山形成前の古い岩石の露出はないが、その下部には周辺の山地を構成

する地層とそれらにへい入した石英閃緑岩類が存在すると推定されている（図 2）<sup>3)</sup>。

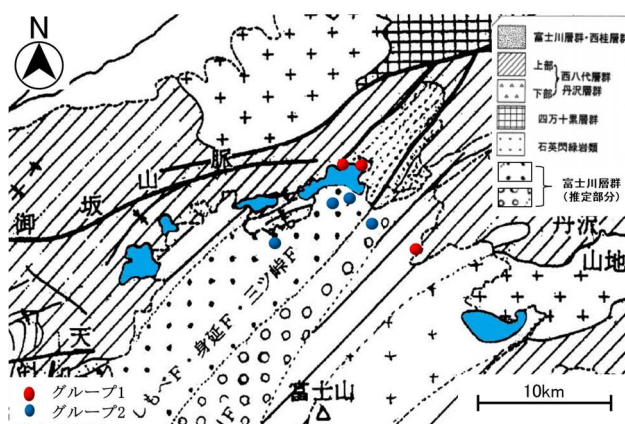


図 2 富士山の基盤地域の推定地質区分図<sup>3)</sup>をもとに作成図。（赤丸はグループ 1 の温泉、青丸はグループ 2 の温泉、図中の点線で囲まれた部分が推定部分）

### 2 温泉採取層の推定

調査実施源泉の取水部（ストレーナ）の位置は、源泉毎に異なるもののいずれも地表面下 1,000~1,500m の範囲に設置されている。温泉掘削時に掘削業者により作成された地質柱状図によれば、御坂山地や丹沢山地に近い C 源泉は地表面から約 160m で、河口湖南岸や富士山の北側斜面にある E 源泉や G 源泉はそれぞれ地表面から約 340m 及び約 480m で新第三紀層に達している。調査地域周辺の新第三紀層の厚さは 1 万 m 以上との報告があり<sup>3)</sup>、温泉採取層はこの地域に分布する新第三紀層と考えられる。

調査地域周辺では、御坂山地や丹沢山地周辺などで部分的に新第三紀層が露出しているが、大部分は富士山の火山噴出物に覆われており、その下部の地層の分布状況は明らかではない。図 2 に松田<sup>3)</sup>により報告された富士山の火山噴出物下部の推定地質区分図を示す。この図によれば、調査地域周辺の新第三紀層は、河口湖周辺を境に分かれており、御坂山地や丹沢山地周辺にはこれらの山地を構成する西八代層群や丹沢層群が分布し、河口湖南岸や富士山の北側斜面には富士川層群が分布している。調査実施源泉はこれらの新第三紀層上に位置している。

以上より、調査実施源泉は西八代層群、丹沢層群、富士川層群などの新第三紀の海成層を温泉採取層としており、御坂山地や丹沢山地に近い源泉は西八代層群や丹沢層群から、河口湖南岸や富士山の北側斜面の源泉は富士川層群から温泉を採取していると推定される。

表 2 調査実施源泉の成分分析結果

地点名	掘削深度 m	採年採月日	泉温 ℃	pH	EC mS/m	Na <sup>+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L	Mg <sup>2+</sup> mg/L	Ca <sup>2+</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg/L	SiO <sub>2</sub> mg/L	B mg/L	Mn mg/L	Fe mg/L
A	1494.64	2017/3/3	31.9	9.5	157.7	173.2	1.5	5.6	178.0	76.2	681.0	<0.1	8.9	17.8	-	-	-
		2017/9/19	32.6	9.3	155.5	186.3	1.0	0.8	178.4	78.5	671.6	1.2	13.8	19.4	1.1	<0.01	<0.03
B	1499.86	2017/10/17	36.2	9.3	158.2	207.8	0.9	<0.1	153.4	33.6	702.7	<0.1	7.2	22.5	1.2	<0.01	0.38
		2017/3/1	34.9	10.0	163.3	109.9	<0.1	<0.1	288.2	43.1	861.0	<0.1	4.1	21.5	-	-	-
C	1460.04	2017/9/19	35.0	9.8	164.0	109.5	1.6	<0.1	288.2	42.7	818.5	6.1	12.6	23.1	0.08	<0.01	0.05
		2017/3/1	27.1	7.8	159.1	104.7	2.2	51.5	161.7	171.5	475.9	156.7	<0.1	23.5	-	-	-
D	1498.83	2017/9/19	26.7	7.8	157.4	111.1	1.6	53.0	172.2	170.7	471.4	161.7	<0.1	25.6	0.65	0.09	2.7
		2017/3/1	24.9	6.7	217.0	199.9	<0.1	24.3	254.2	312.8	539.8	201.7	<0.1	22.5	-	-	-
E	1499.00	2017/10/17	24.8	7.1	220.0	209.9	0.8	23.4	258.7	314.8	553.8	223.3	<0.1	25.1	1.7	0.02	0.96
		2017/3/3	23.9	6.9	472.0	396.6	9.4	400.0	192.9	540.2	734.7	1995.4	<0.1	53.5	-	-	-
F	1499.40	2017/9/19	24.3	6.6	474.0	406.6	10.2	400.4	321.6	578.5	776.4	2092.9	<0.1	56.1	3.9	5.0	1.2
		2017/3/1	32.2	7.3	284.0	358.5	2.8	6.1	271.6	460.7	726.6	133.0	<0.1	42.2	-	-	-
G	1497.15	2017/10/17	32.3	7.5	281.0	384.1	1.1	2.3	261.8	464.0	692.4	146.4	<0.1	49.2	4.0	0.15	3.1

(” - “は未測定)

### 3 温泉成分の特徴

#### (1) 陰イオン組成による分類

図 3 に、平成 29 年 9 月及び 10 月実施した成分分析結果から作成した硫酸イオンと塩化物イオンの関係を示す。両イオンは、調査地域の温泉の主要な陰イオン成分であるが、それらの間には相関が認められたことから、この関係に着目し温泉を 2 つのグループに分類した。一方は、硫酸イオン濃度に比べ塩化物イオン濃度が低い（塩化物イオンをほとんど含まない）グループ（以下「グループ 1」と記す。）で、御坂山地や丹沢山地に近い温泉にみられた。もう一方は、硫酸イオン濃度と同程度の塩化物イオン濃度の（塩化物イオンが比較的多い）グループ（以下「グループ 2」と記す。）で、河口湖南岸や富士山の北側斜面の温泉にみられた。

グループ 1 及びグループ 2 の温泉の源泉位置と、温泉採取層の分布に相関が認められたことから（図 2）、陰イオン組成の違いは、温泉採取層を構成する堆積物やその堆積環境等の違いによるものと考えられる。また、グループ 2 の温泉では、硫酸イオンと塩化物イオンとの間に高い相関（決定係数  $R^2=0.991$ ）が認められた。この要因として、グループ 2 の温泉は、硫酸イオンや塩化物イオンに富む温泉と地下水との混合により形成されている可能性が考えられる。ただし、4 源泉のデータであるため、今後、源泉数を増やして精度を上げていくことが望まれる。

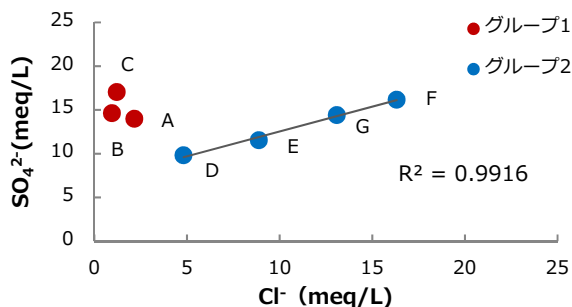


図 3 硫酸イオンと塩化物イオンの関係

#### (2) 泉温と化学成分組成

表 2 に温泉成分分析結果の一覧を、図 4 に鉱泉分析法

指針の鉱泉の分類の区分による泉温及び pH のヒストグラムを、図 5 に平成 29 年 9 月及び 10 月に実施した成分分析結果から作成した主要溶存成分のトリリニアダイアグラムを示す。

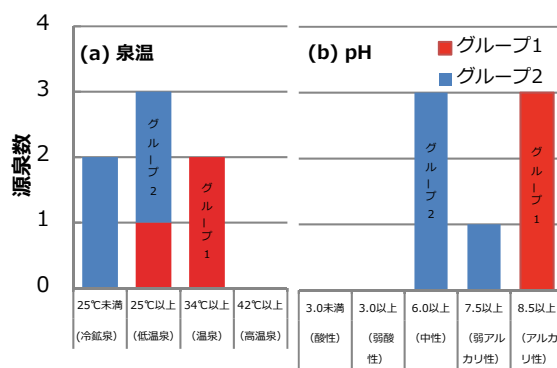


図 4 源泉グループ毎の泉温及び pH

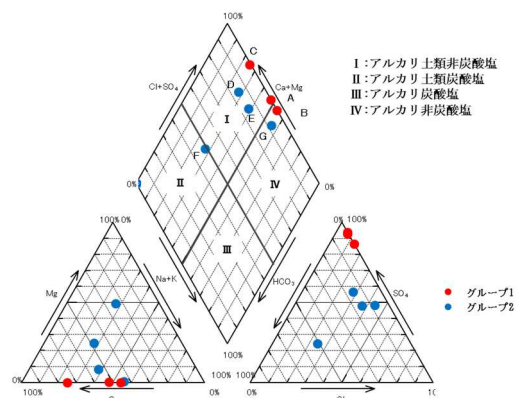


図 5 主要溶存成分のトリリニアダイアグラム

泉温は 23.9℃から 36.2℃の範囲で、グループ 1 の温泉はグループ 2 の温泉に比べ泉温が高い傾向が確認された（図 4 (a)）。グループ 1 の温泉には pH が 10.0 付近の高アルカリ泉が多くみられた（図 4 (b)）。主要溶存成分については、両グループとも陽イオンではナトリウムイオン及びカルシウムイオンが、陰イオンでは硫酸イオンが多く、グループ 2 の温泉には塩化物イオンが比較的



多く含まれ、一部ではマグネシウムイオンや炭酸水素イオンを比較的多く含む温泉も確認された(図5)。

微量成分については、塩化物イオンが多く成分組成が多様なグループ2の温泉は、ホウ素や鉄、マンガンを多く含む傾向が認められたが、成分間で明らかな相関性は認められなかった。また、マグネシウムイオンや炭酸水素イオンを多く含む温泉は、他の温泉と比べてマンガンも多く含んでいた。

温泉の主要溶存成分濃度の総量の変化は、平成29年3月と平成29年9月又は10月の成分分析の結果を比較すると、No.7(+7%)を除いて±3%以内であった。

### (3) 硫酸イオンの起源

調査実施源泉の硫酸イオン濃度は、約470mg/Lから約860mg/Lであった。

富士北麓地域の温泉の硫酸イオンの起源については、温泉の硫酸イオンの硫黄安定同位体比から、御坂山地や丹沢山地付近の一部の温泉では、丹沢層群等のグリーンタフ層中の石膏(又は硬石膏)の溶解に由来する可能性が高く、一方、富士山麓の一部の温泉では、火山起源の硫黄が関与する可能性があることが報告されている<sup>4)</sup>。また、温泉の硫酸イオンの硫黄安定同位体比及び温泉水の酸素安定同位体比の関係並びに火山昇華物としての石膏の発生から、富士山麓の一部の温泉の低い硫黄安定同位体比を持つ硫酸イオンの起源は、富士山の火山活動により形成された石膏の溶解と推定されている<sup>4)</sup>。

調査実施源泉の硫酸イオンの硫黄安定同位体比は明らかではないが、調査地域を含む南部フォッサマグナ全域はグリーンタフ地域であり、西八代層群や丹沢層群を温泉採取層とするグループ1の温泉の硫酸イオンは、温泉採取層中の石膏(又は硬石膏)の溶解に由来するものと推測される。一方、富士山に近いグループ2の温泉の硫酸イオンは、グリーンタフ層中の石膏の他に富士山の火山活動に由来する石膏の影響を受けている可能性が考えられる。

### (4) 塩化物イオンの起源

温泉採取層が異なると推定されるグループ1とグループ2の温泉では、塩化物イオン濃度に明確な違いがみられたことから、塩化物イオンの起源について考察した。

富士北麓地域の温泉水の起源は、温泉水の水素と酸素の安定同位体比から、主として降水であると報告されている<sup>4)</sup>。このことから富士北麓地域の温泉は、降水などが長い年月をかけて地層中を流動する過程で、成分や熱を得ることにより生成したものと考えられる。

本地域の降水の成分について、檜山ら<sup>5)</sup>によれば、西湖北岸で採取した降水の塩化物イオン濃度は0.57mg/Lであり、温泉中の塩化物イオン濃度に比べ低い値をとる。

グループ2の温泉採取層は、主に新第三紀の海成の堆積岩(主に陸地起源の礫岩・砂岩)と海底噴火の火山岩

類から成る富士川層群と推定される。池田<sup>6)</sup>により、富士山麓の火山岩類からの塩化物イオンの溶出が数mg/L程度であったことが報告されている。温泉採取層中の火山岩類ではないものの、グループ2の温泉の塩化物イオン濃度との解離が大きく、溶出濃度を説明できない。

グリーンタフを含む地層中には、随所に海水から沈殿した硫酸カルシウムや間隙水として取り込まれた海水が含まれるとの報告があり<sup>7)</sup>、グリーンタフ地域もしくは、新第三紀の海成層が分布する地域において、化石海水を含むと思われる温泉が複数報告されている<sup>8,9)</sup>。本地域に分布する新第三紀層は、海底噴出の火山岩類を含み、グリーンタフを形成しているものと考えられる。新第三紀の海成層である富士川層群から温泉を採取していると考えられるグループ2の温泉も、温泉に化石海水が含まれる可能性がある。

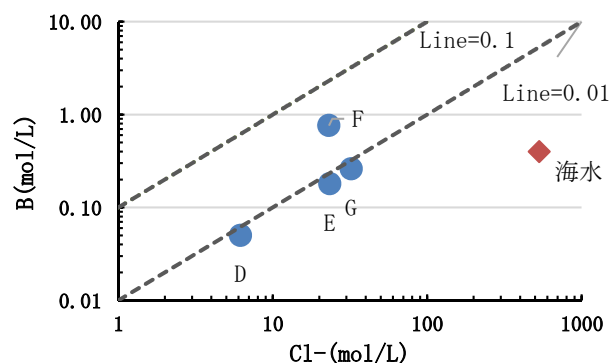


図6 掘削時におけるグループ2の温泉のホウ素と塩化物イオンの関係(破線は、それぞれB/Clモル比0.1及び0.01の関係線を表す。)

犬山ら<sup>10)</sup>によれば、温泉中の塩化物イオン濃度が約100mg/L以上で、ホウ素及び塩化物イオンのモル濃度比(以下「B/Clモル比」)が非常に低い(≤0.01)場合には、海水を起源に持つとされている。グループ2の温泉(4カ所)の掘削時の塩化物イオン濃度は、いずれも100mg/L以上であり、B/Clモル比は0.01以下(図6)であることから、温泉には、地層の堆積時に取り込まれた海水が含まれている可能性がある。ただし、元となった海水の塩化物イオン濃度を現世の海水の塩化物イオン濃度である18.8g/L<sup>11)</sup>とし、降水や岩石から塩化物イオンが供給されないと仮定すると、温泉の掘削時における海水の含有量は約1.2%から約6.1%程度と見積もられる。

温泉中に化石海水が含まれる場合、使用に伴う化石海水量の減少により成分濃度の低下が生じるおそれがある。温泉成分に対する化石海水の寄与の度合いは大きいことから、溶存物質の項目で温泉法に定める温泉に該当する場合には、成分濃度の変化をモニタリングし資源動向に応じた源泉管理を行うことが望まれる。

## まとめ

温泉の特徴を明らかにするため、河口湖周辺の大深度掘削泉を対象に、温泉成分等の調査を実施した。また、温泉成分の違いについて検討を行い、次の結果を得た。

- (1) 温泉採取層はいずれも新第三紀の海成層であり、御坂山地や丹沢山地付近の温泉はこれらの山地を構成する西八代層群や丹沢層群から、河口湖南岸や富士山の北側斜面の温泉は富士川層群から温泉を採取していると推定された。
- (2) 調査実施源泉を、温泉の主要な陰イオンである硫酸イオンと塩化物イオンの組成比に基づき、2つのグループに分類した。グループ毎の源泉位置と、温泉採取層との間に相関が認められたことから、陰イオン組成の違いは、温泉採取層の特性の違いによるものと考えられる。
- (3) 西八代層群や丹沢層群を温泉採取層とする温泉（グループ1）は、高アルカリ性で比較的高い泉温を持つ一方、富士川層群を温泉採取層とする温泉（グループ2）は、中性で比較的成分濃度が高く、多様な成分組成を持つことが明らかとなった。
- (4) 既存の研究報告から、西八代層群や丹沢層群を温泉採取層とする温泉（グループ1）の硫酸イオンは、温泉採取層中の石膏（又は硬石膏）の溶解に由来する一方、富士川層群を温泉採取層とする温泉（グループ2）の硫酸イオンは、火山活動に由来する石膏の影響を受けている可能性が示唆された。
- (5) グループ2の温泉に多く含まれる塩化物イオンについても同様に考察したところ、海成層である富士川層群中に含まれる化石海水を起源として含む可能性があることが示唆された。また、塩化物イオン濃度と B/Cl モル比から検討したところ、グループ2の一部の温泉では、化石海水を含むことを支持する結果が得られた。

## 謝 辞

本調査の実施にあたり、源泉管理者の皆様には調査へのご協力並びに温泉試料の採取に多大なるご配慮をいただきました。また、県の大気水質保全課及び富士・東部林務環境事務所の担当職員の皆様には、温泉に関する資料等の提供にご協力いただきました。この場をお借りし深く感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本温泉科学会：“図説 日本の温泉”，p 91 (2020)，(朝倉書店)
- 2) 環境省：“鉱泉分析法指針”，平成 26 年改訂，(2014)
- 3) 松田時彦：富士山の基盤の地質と地史，富士火山，45-57 (2007)
- 4) M. Yaguchi et al. : The origin and hydrochemistry of deep well waters from the northern foot of Mt. Fuji, central Japan, *Geochem. J.*, **50**, 227-239 (2016)
- 5) 檜山哲哉ら：富士山周辺の降水の水質，筑波大学水理実験センター報告，**20**，45-54 (1995)
- 6) 池田喜代治：静岡県富士市における地下水の水質の研究，日本地下水学会会誌，**24**, 2 (1982)
- 7) 酒井均，大木靖衛：“科学”，p 41 (1978)，(岩波書店)
- 8) 松葉谷治ら：長野県の温泉についての同位体化学的調査報告，岡山大学温泉研究所報告，**50**, 17-24 (1980)
- 9) 松葉谷治，酒井幸子，越中浩：群馬県の温泉水の水素および酸素同位体比，*温泉化学*，**36**, 1 (1985)
- 10) 犬山文孝ら：温泉・地下水系影響予測マニュアル (1)，*地熱エネルギー*，**24**，245-281 (1999)
- 11) 半谷高久，小倉紀雄：“第 3 版 水質調査法”，p 73 (1995)，(丸善)