

群馬県平野部における大深度掘削泉の定期モニタリング II

温泉資源保護総合対策調査研究事業(西部地域)

-温泉揚湯による温泉資源への影響に関する調査研究事業-

齊藤由倫 木村真也 森尾誠*

Monitoring of Deep Hot Springs in the Plains, Gunma II

Yoshinori SAITOH, Shinya KIMURA, Makoto MORIO

1. はじめに

群馬県は全国でも有数の温泉地を保有し、県民アンケートにおいても「情緒ある温泉」を県の魅力として挙げる人が多いように¹⁾、温泉は県内外の人々にとって貴重な観光資源となっている。そのため温泉は、群馬県の活性化、ひいては群馬ブランドのイメージアップにとって大きな役割を担っており、これを恒久的に保全し利活用し続けることが重要である。

近年では、県内平野部において深度 500 m 以上の大深度掘削泉の開発が顕著になっており、その源泉数が急増している²⁾。しかし、地下深くに存在する温泉資源は、一般にその循環速度が非常に遅いことから、過剰な開発によって近い将来枯渇する懸念がなされている³⁾。そのため、県では H17 年 6 月から以下に示す大深度温泉掘削基準を設け、温泉資源の保護につとめている。

○大深度温泉掘削基準*の概要

- ・対象地域は県内平野部
- ・500 m 以深の掘削を伴う温泉開発が対象
- ・既存源泉から 2 km 以内は掘削禁止
- ・揚湯量は 150 L/min 以下(1 日最大で 200 m³ 以下)
- ・掘削予定地から 2 ~ 3 km 圏内に既存源泉がある場合は、既存源泉を含めて全体の揚湯量は 250 L/min 以下

*基準制定以前から存在する温泉は適用対象外

温泉資源保護を効果的に実施していくために

* 薬務課

は、一度設定した基準に対してその内容を検証し、場合によっては見直す必要がある⁴⁾。この検証には温泉資源に関する基礎データが不可欠であることから、温泉資源保護総合対策調査研究事業では、県内平野部の大深度掘削泉に対して、水位や泉温等に関する基礎データの収集を行っている。この事業では県内平野部を中部、西部、東部の 3 地域に分けて、それぞれの地域で H21 年から順次調査を行っており、昨年度は中部地域における基礎データのとりまとめを行った²⁾。今年度は西部地域における基礎データのとりまとめ及び解析を行ったので報告する。

2. 調査方法

西部地域内の図 1 に示す 6.0 km × 7.0 km の調査エリアにて、井戸深度 1000 m 以上の大深度掘削泉に対し調査を行った。調査エリア内で井戸深度 1000 m 以上の源泉は、図 1 の①~④及び x の計 5 源泉が存在し、これらは全て動力揚湯泉である。この中の①~④に対して、揚湯

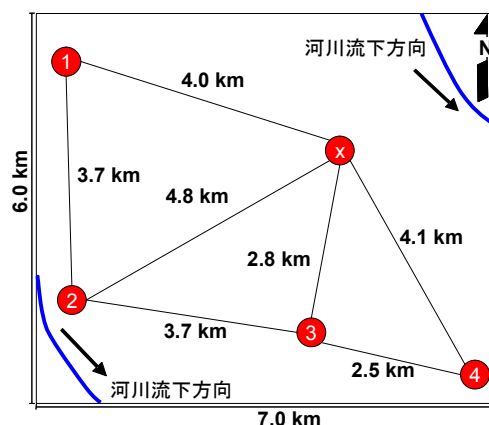


図 1. 調査エリアと源泉の位置関係

表 1. 調査エリア内の源泉の基本情報

	井戸深度 (m)	井戸標高 (m)	動水位 標高 ^{*1} (m)	ポンプ 設置日 ^{*2}	採水日	泉温 (°C)	現地 pH	イオン濃度 (mg/kg)								泉質
								Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	
①	1001	98	-	H17.2.8	H16.7.14	38.9	7.8	113	7.72	4.38	16.3	18.7	6.8	338	0.8	単純温泉
②	1077	93	45.6	H8.5.13	H8.1.16	39.1	7.7	156	2.13	0.69	2.4	24.4	0.0	385	1.4	単純温泉
②'	〃	〃	〃	〃	H20.6.24	36.0	7.3	428	5.63	5.49	23.3	392	1.6	524	0.4	Na-Cl・HCO ₃ 温泉
③	1203	83	30.7	H21.5.8	H18.8.8	43.1	7.5	714	10.9	7.74	38.1	606	1.0	1020	1.3	Na-Cl・HCO ₃ 温泉
④	1354	71	-	H16.9.1	H15.1.31	43.7	7.4	524	7.66	5.66	33.0	497	5.3	731	1.4	Na-Cl・HCO ₃ 温泉
x	1500	88	-	H17.6.22	H16.6.17	55.5	7.3	1126	19.3	14.6	76.0	1524	2.8	707.8	-	Na-Cl・HCO ₃ 温泉

*1 利用開始当初の水位標高

*2 ポンプ設置日を源泉の利用開始日とする
- は不明

量、水位標高(以後、説明がない限り動水位の標高を意味する)、泉温及び電気伝導率(EC)についてH22年1月から同年12月まで毎月1回定期モニタリングを行った。揚湯量と泉温は鉱泉分析法指針に準じて測定した。水位は電磁式水位計(ロープ式水位計, YAMAYO)により、ECはポータブル導電率計(D-24, HORIBA)によりそれぞれ現地で測定した。なお本報では、この調査結果に加え、源泉所有者が自ら行っている毎月の定期モニタリングの結果、及び県薬務課による源泉調査の結果(S59年から県内の全源泉に対して毎年1回実施)を併せて、長期的な変動について解析を行った。

3. 結果及び考察

3.1. 温泉揚湯と地下の温泉流向の概況

調査エリア内の5源泉について、井戸深度、イオン濃度(温泉中分析結果)等の基本情報を表1に示した。②については、温泉中分析をこれまでに2回実施しているため、両方の結果を示した(採水日H8.1.16:②、及びH20.6.24:②')。なお本報では、ポンプ設置日をその源泉の利用開始日として定義した。源泉井戸のストレーナー(井戸管における採水口部分)については、井戸管の構造に関する資料が得られず、その深さ方向の位置を特定することはできなかった。しかし、このストレーナーを上下の広い範囲に設けることは、地表面付近の冷水の混入を招く恐れがあるため、熱損失の観点からは考えにくい。そこで、それぞれの源泉は井戸の先端部(最深部)にストレーナーを設けていると仮定した。すなわち、全ての源泉は掘削深度と同じ深度から温泉を揚湯していることとした。なお、掘削深

度は、①、②、③、④、xの順で深くなっており、これに応じて泉温が上昇する傾向が見られることから、前述の仮定は妥当であることが考えられた。

地下水の流向は一般に静水位の高いほうから低い方へと向かう。しかしながら、今回の調査源泉については静水位データが得られなかったため、動水位の標高からこのエリアにおける地下の温泉流向を推測した。温泉利用開始当初の動水位標高のデータは、②及び③のみで得られ、②; 45.6 m 及び③; 30.7 m であった(表1)。両源泉の利用開始時期は異なるが、このデータから大局的な温泉流向は、②→③の東方向、或いは南東方向であることが推測された。一方、井戸自身の標高から推測される地表面の傾斜は、①→②→x→③→④の南東方向であり(図1及び表1)、さらに調査エリア内を流れる2つの河川も南東方向に流れている(図1)。したがって、地表水の流向に関する地形的特徴は南東方向であることから、本エリアの地下における大局的な温泉流向も、これに応じて南東方向であることが推測された。

3.2. 源泉同士の泉質の関係性

調査エリア内のほとんどの温泉はナトリウム-塩化物・炭酸水素泉に分類され、①及び②については温泉成分の濃度が低いことから単純温泉に分類される(表1)。ただし、興味深いことに②についてはその後の再分析の結果(②')、イオン濃度が上昇し、ナトリウム-塩化物・炭酸水素泉へとその分類が変化した。このように再分析の結果、泉質名が変更となる事例は石川県⁵⁾や宮崎県⁶⁾の温泉においても確認されている。それゆえ、このような事態は全国的にも十分起こり得ることから、H19年に温泉法で義務化さ

れた定期的な温泉成分の再分析に関しては、その必要性を改めて認識するところである。

源泉同士の泉質の関係性を見るために、塩化物イオン(Cl⁻)に対する各イオン成分の当量比を図2(a)及び(b)に示した。このグラフのパターンが似かよるほど、その源泉同士の成分組成は類似しているといえる。なお、基準とした温泉中のCl⁻は岩石等とのイオン交換の影響を受けにくく、沈殿物も生成しづらいため、温泉の生成メカニズムを考察する安定した指標として知られている⁷⁾。単純温泉の①及び②のパターンは非常に良く一致しており、両者は良く類似した成分組成であることがわかる(図2(a))。これらは前節において考察した南東方向の温泉流向に対して、上流側に位置する源泉である。一方、この上流側の源泉に対して下流側に位置する③、④及びx同士は、お互いにその泉質が似ていることが見てとれる(図2(b))。特に距離的に近接した③および④の成分パターンは非常によく一致していた。上流側のパターンの特徴としては、ナトリウムイオン(Na⁺)、炭酸水素イオン(HCO₃⁻)及び炭酸イオン(CO₃²⁻)が他のイオン成分に比べて相対的に高かったのに対して、下流側ではそのような特徴は見られなかった。以上のように、温泉流向に対して上流側と下流側で、そこに位置する源泉の泉質が類別されたことから、一見すると両者の関係性は乏しいことが考えられた。しかしながら、前述したとおり②はその後の再分析の結果、イオン濃度の明らかな

変化が見られ、それに伴い図2(a)②のパターンも、図2(b)②'のパターンへと変わり、その泉質は下流側の③及び④に類似したものと変化した。このことに関して興味深い点は、はじめ、上流側の源泉と下流側の源泉ではその泉質が類別されたがゆえに、一見すると地質条件等の生成メカニズムは異なるように見られたが、その後②の泉質が前述のとおり変化したことから、調査エリア内の全源泉はその生成メカニズムにおいて、一定程度の関係性を持つ可能性が示されたという点である。なお、この変化の原因については、今回のデータ及び考察からは不明であった。

3.3. 各源泉の長期トレンド

各源泉の揚湯量、水位標高、EC、泉温に関する毎月のモニタリングデータを図3に示した。なお図3には、本調査の結果に加えて、各源泉所有者から提供されたデータ及び業務課の源泉調査の結果をまとめて、ある程度長期的な経時変化について示し、そのトレンドを考察した。

水位標高について経時変化に対する近似直線の傾き(水位変化率)を求めたところ、①は-0.21 m / monthであり、水位の低下傾向が疑われた。その他の源泉では水位の低下傾向は見られなかった。なお、昨年度報告した中部地域においても、調査した全源泉で水位の低下傾向が認められたが、これは3~14年間の長期的な水位標高データを基に解析を行った結果であった。それに比べて、西部地域の①はH22年1月から12月までの1年間のみの水位標高データしか得られず、これに対する解析結果であるため、長期的な傾向を判断することは困難であった。したがって、①については水位の低下傾向が疑われたが、断定はできないため今後の継続的な監視が重要であろう。

一方、ECは④においてのみH19年6月から低下傾向が見られ、その時期からの変化率は-7.1 μS / monthであった。その他の源泉では低下傾向は見られなかった。ECは水の導電率を表し、Na⁺やCl⁻などの電解質を多く含む水ほど高い値となる。そのため、含まれる全てのイオン成分濃度のおおよそその目安となるデータである。このECについて④では明らかな低下傾向

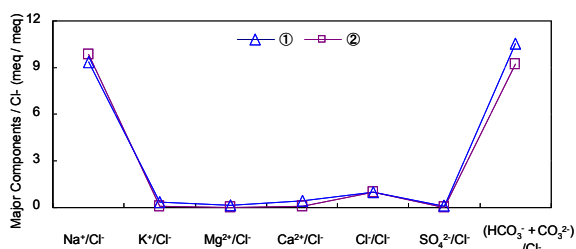


図2(a). ①及び②の成分比較

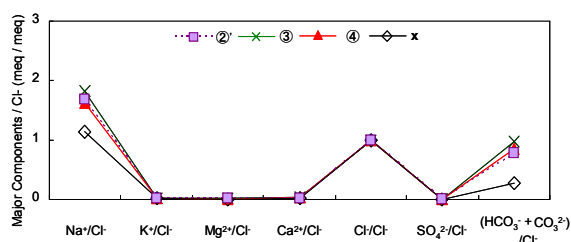


図2(b). ②'~④及びxの成分比較

が見られたことから、現在では表1に示す④のイオン濃度(H15年分析)の状況とは異なることが予想された。そこで、H22年3月に採取した④の温泉水に対して、イオンクロマトグラフ(DX-500, DIONEX)を用いて主要成分の Na^+ 及び Cl^- 濃度を分析した。その結果、 Na^+ 濃度; 380 mg/Kg 及び Cl^- 濃度; 320 mg/Kg であり、H15年の状況(Na^+ ; 524 mg/Kg 及び Cl^- ; 497 mg/Kg)から低下していることが明らかとなった。このため、前節で述べた②の事例と同様に、仮に④についても温泉中分析の再分析を実施すれば、泉質の分類が変更になる可能性が考えられた。

泉温については、ECと同様④についてのみ低下傾向が見られ、H19年6月からの変化率は

-0.24 °C / monthであった。その他の源泉では低下傾向は見られなかった。

ここで、甘露寺らは温泉の枯渇化現象として温泉の地下水化現象を指摘している⁸⁾。これは、過剰な掘削源泉数の増加や温泉揚湯量の増大などに伴って、まずは温泉水位が低下し、次いで周辺部から冷温且つ成分濃度の低い地下水の混入が増大することによる泉温低下、成分濃度の低下(淡水化)を引き起こすという現象である。これに対して④では、水位低下は見られないが、泉温低下及びイオン濃度の低下が見られた。これは、甘露寺らが指摘する温泉の枯渇化現象の順序とは異なるが、しかしながら、④はいわゆる淡水化が進行している可能性が示唆された。

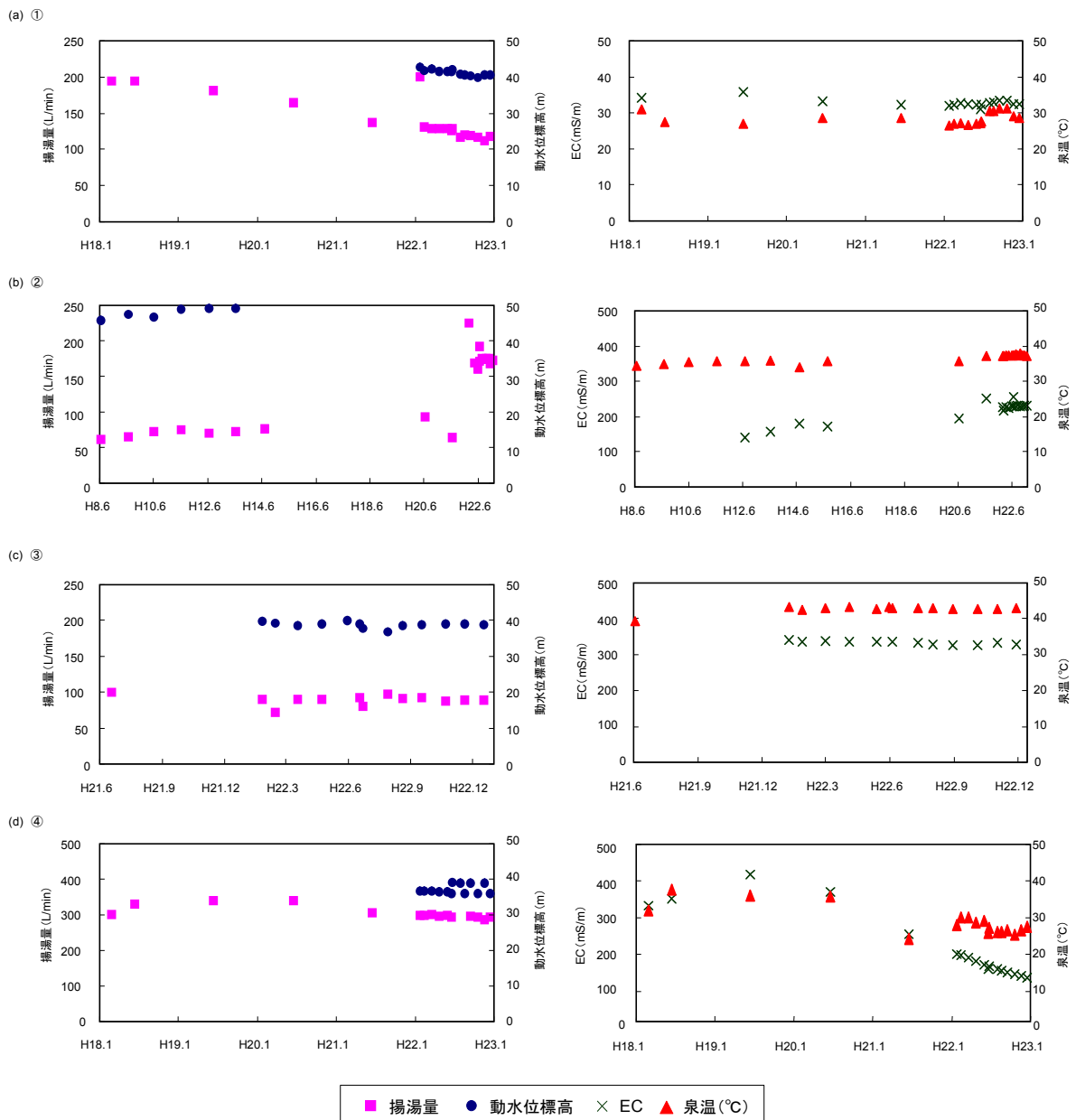


図3 各源泉の揚湯量、動水位標高、EC、泉温に関するモニタリングデータ

これは温泉としての利用価値低下に繋がる恐れがあることから、①と同様今後の継続的な監視が重要であると考えられる。

3.4. 源泉同士の影響関係

前節において④の EC 及び泉温に関しては、明らかな低下傾向が見られた。本節ではこの原因が周囲の源泉の影響によるものか考察を行った。3.1.節で推測した調査エリアの大局的な温泉流向は南東方向であったことから、④に対して影響を及ぼし得る可能性が高い上流側の付近源泉は③及び x が該当する。③及び x はそれぞれ H21 年 5 月 8 日及び H17 年 6 月 22 日にポンプを設置し、温泉利用を開始している。これに対して④は H16 年 9 月 1 日にポンプを設置し、温泉利用を開始しているが、EC 及び泉温に低下傾向が見られ始めたのは H19 年 6 月からである。この時期は③の利用開始(H21.5.8)よりも前であるため、④の EC 及び泉温の低下傾向は③の影響ではないことが推測された。一方、x の利用開始(H17.6.22)は④の EC 及び泉温が低下傾向となる H19 年 6 月よりも前であった。そのため、x の利用開始、すなわち揚湯の影響が疑われたが、ここで仮に x と④は水脈で繋がる等して、お互いに密接な関係にあったと仮定すると、④のみならず x 自身に対しても同様に EC 及び泉温の低下傾向が現れることが予想される。ところが、H18～H22 年の間に実施した源泉調査では、x の EC 及び泉温に低下傾向は見られない。したがって、3.2 節では泉質の類似性から全ての源泉同士に一定程度の関係性が示唆されたが、それは温泉の生成メカニズムに関する広域的な地質条件等についてであることが考えられた。つまり、局地的な水脈等によってそれぞれの揚湯がお互いに影響し合うほど密接な関係ではないことが推察された。一方、揚湯量については④が 300 L/min 程度であり、①～③(100～200 L/min 程度)及び x (150 L/min 程度)よりも明らかに多いことから、④にのみ見られる EC 及び泉温の低下傾向は、むしろ自身の揚湯が影響している可能性が推察された。

今回行った解析からは、調査エリアにおける源泉同士の揚湯に関する影響関係は認められなかった。むしろ、昨年度実施した中部地域³⁾と

同様に、その源泉自身の揚湯の影響によって、EC 及び泉温が低下する可能性が推察された。

4. まとめ

群馬県大深度温泉掘削基準の妥当性を検証する基礎データを得るために、県内平野部の西部地域において温泉の定期モニタリングを行った。

調査した 5 源泉の動水位標高の関係、及び調査エリア内を流れる河川流向の関係から、本エリアの地下の温泉流向は南東方向であることが推測された。この温泉流向に対して上流側に位置する 2 つの源泉は単純温泉に分類され、下流側に位置する 3 つの源泉はナトリウム - 塩化物・炭酸水素泉に泉質が分類された。しかし、上流側の 1 つの単純温泉は、一定期間(約 12 年)経過後にその泉質が下流側の源泉と同じナトリウム - 塩化物・炭酸水素泉へと変化していた。この変化から、上流側の源泉と下流側の源泉を含めた調査エリア内の全ての源泉同士は、その生成メカニズムにおいて一定程度の関係性を有していることが示唆された。

EC 及び泉温について、1 源泉において経時的な低下傾向が確認された。この源泉に対してナトリウムイオン及び塩化物イオン濃度を再分析したところ、過去に実施した温泉中分析の結果よりも低下していることが分かった。このため、本源泉はいわゆる淡水化が進行している可能性が考えられたが、この原因について付近源泉の揚湯の影響は認められなかった。したがって、前段で推測した源泉同士における一定程度の関係性は、お互いの揚湯が影響を及ぼし合う程に密接な関係ではないことが示唆された。むしろ自身の揚湯が、その他の源泉よりも明らかに大きかったことから、その源泉自身の揚湯が影響している可能性が推察された。

謝 辞

本調査の実施にあたり、源泉所有者の方には定期モニタリングへのご協力、並びにご自身で取得された貴重な長期モニタリングデータのご提供をいただきました。深く感謝いたします。

文 献

- 1) 群馬県：群馬県の計画(ぐんまの計画ポータル)第1章群馬県の特性と時代の潮流 2, <http://www.pref.gunma.jp/contents/000132897.pdf>, 群馬県.
- 2) 齊藤由倫, 木村真也, 森尾誠：群馬県平野部における大深度掘削泉の定期モニタリング-温泉資源保護総合対策調査研究事業(中部地域)-, 群馬県衛生環境研究所年報, 42, 21-28, 2010.
- 3) (社)群馬県温泉協会：群馬県温泉協会誌第41号, 2006.
- 4) 環境省自然環境局：温泉資源の保護に関するガイドライン, 2009.
- 5) 深山敏明, 井上和幸, 岡田真規子, 中山哲彦：石川県における温泉の泉質について - 近年の動向や法改正に伴う温泉分析結果など -, 石川県保健環境センター研究報告書, 47, 65-69, 2009.
- 6) 野中勇志, 福地哲朗, 盛岡浩文, 森川麻里子, 他：宮崎県における温泉の再分析結果と成分変化, 宮崎県衛生環境研究所年報, 21, 75-78, 2009.
- 7) 酒井幸子：大深度掘削井の温泉成分比較<群馬県南部から西部域>, (社)群馬県温泉協会学術調査研究調査報告, 2008.
- 8) 甘露寺泰雄, 益子安：温泉資源の枯渇現象と化学成分の変化, 薬学雑誌, 117(10・11), 836-849, 1997.