
原 著

北海道における水道水と単純温泉および 泉質名がつかない温泉の主要化学成分の比較

高 野 敬 志¹⁾

(令和6年11月7日受付, 令和6年12月26日受理)

Comparison between Major Chemical Components of Tap Waters and Simple Hot Springs besides Hot Springs with Not Available Hot Spring Type in Hokkaido, Japan

Keishi TAKANO¹⁾

Abstract

The concentrations of the major chemical component of the hot springs with total dissoluble matter below 1,000 mg/kg without gaseous components (low TDM hot springs) were determined and compared with those of tap water to clarify the bathing and drinking effects of the low TDM hot springs on human health. The major component concentrations of tap water were measured after collecting 59 samples distributed by waterworks in Hokkaido, Japan, and those of low TDM hot spring waters were obtained with reference to the hot spring analysis sheets issued by the authorized analytical laboratories in 2014-2023. While 90% of the tap water samples contained major component concentrations of less than 200 mg/kg, only 6% of the low TDM hot spring waters contained component concentrations below that value. Further, while 93% of the tap water samples were in the neutral region between pH 6.5 and 7.5, 78% of the low TDM hot spring waters were in weakly alkaline or alkaline above pH 7.5. The average concentration of each major component was compared by Welch t test between the tap water and low TDM hot spring waters. The concentrations other than magnesium in the low TDM hot spring waters were significantly higher than those in the tap water samples.

An absolute difference was found between the component concentrations in the tap water samples and the low TDM hot spring waters in this study. For human health, an increase in body temperature could be expected by bathing in low TDM hot springs rather than in tap waters. In addition, improvements in hyperuricemia and gastrointestinal disease could also be expected after drinking the low TDM hot spring waters.

¹⁾ 北海道立衛生研究所 〒060-0819 北海道札幌市北区北19条西12丁目. ¹⁾ Hokkaido Institute of Public Health, Kitaku Kita 19 Nishi 12, Sapporo 060-0819, Japan. E-mail takakei@iph.pref.hokkaido.jp, TEL 011-747-2735, FAX 011-736-9476.

Key words : Tap water, simple hot spring, hot spring with no available hot spring quality, chemical component, TDM (Total dissolved matter), pH

要 旨

ガス成分を含まない溶存物質濃度 1,000 mg/kg 未満の温泉（低 TDM 温泉）の浴用効果および飲用効果を明らかにすることを目的として、主要含有成分濃度を測定し、水道水と比較した。水道水は北海道の水道事業から配水されている 59 件を採水し、主要含有成分を分析した。低 TDM 温泉は 2014～2023 年度に発行された北海道内の温泉分析書から主要含有成分濃度を調べた。水道水の主要含有成分濃度の合計値（TDM 濃度）は、200 mg/kg 未満が 90% を占めていたのに対し、低 TDM 温泉は 6% を占めたにすぎず、明らかに低 TDM 温泉の方が高かった。水道水の pH は 6.5～7.5 の中性域に 93% が集中していたのに対し、低 TDM 温泉は弱アルカリ性とアルカリ性に 78% が集中していた。主要成分濃度の平均値の比較では、マグネシウムイオンを除いた成分で、水道水と低 TDM 温泉の間に Welch t 検定による有意差が認められた。

これらのことから、水道水と低 TDM 温泉の含有成分は大きく異なり、浴用では体温上昇、同量の飲用では高尿酸血症や胃腸の疾患の改善に対して、後者の方が効果が大きいと考えられる。

キーワード：水道水、単純温泉、泉質名がつかない温泉、含有成分、TDM（溶存物質）、pH

1. はじめに

日本では温泉法第二条別表により温泉の定義が記されており、温泉に該当されているもののうち、薬理学的に医事効能を期待できる温泉を療養泉と定義している（益子, 1978）。鉱泉分析法指針（環境省自然環境局, 2014）では、療養泉は 10 種類の泉質に分類されており、それぞれの泉質から浴用と飲用それぞれ禁忌症および適応症が定められている（前田, 2015）。療養泉の中で、ガス成分を含まない溶存物質（以下、TDM : total dissolved matter）濃度が 1,000 mg/kg に満たなく、療養泉の基準のうち泉温 25℃ 以上を満たす温泉を単純温泉と定められている。含有成分濃度が低い場合、特殊成分が療養泉の基準に該当しないかアルカリ性単純温泉でない場合は、他の泉質の療養泉よりも人体に対する薬理的作用は比較的弱いと考えられる。その浴用による適応症には、療養泉の一般的適応症に加え、自律神経不安定症、不眠症およびうつ状態が該当し、これらは適度な温熱作用等による改善が期待される症状である（植田, 1994）。また、同様に TDM 濃度が 1,000 mg/kg 未満で、泉温および特殊成分も療養泉の基準を満たさず、温泉の特定の基準を満たすものについては泉質名がつかない温泉とされ（環境省自然環境局, 2014）、適応症に該当する項目が一切ない。一方、水道水をはじめとする温泉以外の淡水を用いた温水による入浴にも療養泉の一般的適応症に関わる温熱作用、静水圧作用、浮力作用が認められる（木暮, 2001）。そのため、単純温泉などの低い TDM 濃度の温泉への入浴は、家庭における通常の入浴と変わらないと認識されることも不思議ではないと思われる。

本稿では、TDM 濃度 1,000 mg/kg 未満の温泉と水道水の含有成分を比較し、溶存成分の少ない温泉が有する人体に対する効果について確認することを目的とした。なお、本稿では TDM 濃度は、微量成分は対象とせず、主要成分濃度の合計として表した。ここでいう主要成分とは、地下水等で主要成分とされる 9 成分のうち（島野, 1994）、温泉分析では常時測定されない硝酸イオンを除き、温泉水では高濃度で含有することがあるメタほう酸と炭酸イオンを加えたものである。また微量成分とは、鉱泉分析法指針に記載された温泉分析の試験項目のうち（環境省自然環境局, 2014）、主要成分を除いた成分を指している。

2. 材料と方法

2.1 水道水の分析

浄水処理後の水道水試料は2020-2023年に、北海道46市町村、59ヶ所の水道事業から配水されている公共施設または商業施設の給水栓から採水した。持ち帰った試料は、鉱泉分析法指針（環境省自然環境局，2014）または上水試験法（日本水道協会，2021）に準じ、主成分を測定した。pHは卓上型pHメーター（M-12，堀場製作所製），ナトリウムイオン（ Na^+ ）およびカリウムイオン（ K^+ ）は蛍光光度法により原子吸光光度計（AA-7000，島津製作所製），メタケイ酸（ H_2SiO_3 ）はモリブデンイエロー法によって吸光光度計（U-1500，日立製作所製），塩化物イオン（ Cl^- ）および硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）は、イオンクロマトグラフ（Prominence HIC-SP，島津製作所製），メタホウ酸（ HBO_2 ）は誘導結合プラズマ質量分析計（iCAPQ，サーモフィッシャーサイエンス製）をそれぞれ用いて測定した。カルシウムイオン（ Ca^{2+} ）およびマグネシウムイオン（ Mg^{2+} ）はキレート滴定法（EDTA法）により測定した。炭酸水素イオン（ HCO_3^- ）および炭酸イオン（ CO_3^{2-} ）は、プロモクレゾールグリーン・メチルレッド混合液を指示薬として0.01 mol/L塩酸溶液によって滴定を行い、pHおよび炭酸の解離定数を用いて算出した。

2.2 単純温泉および泉質名がつかない温泉の含有成分の調査

温泉の提供者は10年ごとに温泉分析を義務づけられているため（温泉法施行令の一部を改正する政令，平成19年第228号），10年間に発行された温泉分析書を調べることで，ほぼ全ての温泉井戸の情報が得られると考えられる。2014～2023年度に発行された北海道内の温泉分析書からTDM濃度1,000 mg/kg未満の温泉（以下，低TDM温泉）を選択し，pH（現地分析），主要成分として陽イオン成分（ Na^+ ， K^+ ， Ca^{2+} および Mg^{2+} ），陰イオン成分（ Cl^- ， SO_4^{2-} ， HCO_3^- および CO_3^{2-} ）および非解離性成分である H_2SiO_3 および HBO_2 （この2成分は高いpHの場合は陰イオン成分と見なす）を調べた。なお調査対象期間に発行された温泉分析書は，一部，複数の泉源から採取されて混合されたものや，同一の泉源から繰り返し採取されたものが少数認められ，それらの中から明らかに同じ日時の分析であると見なされる温泉分析書は今回の研究対象から一方を除外した。

3. 結果および考察

3.1 水道水および低TDM温泉の概要

調査対象とした水道水の原水は，表流水が全体の58%を占め，次いで地下水，湧水が多かった。それ以外は，湖水が1件の他，表流水と地下水の混合や地下水と湧水の混合など，複数の水源を原水とするものだった（Fig. 1）。

2014-2023年度に発行され，同一の分析と見なされたものを除いた温泉分析書は全1,104件であり，そのうち低TDM温泉は307件で，全体の28%を占めた（Fig. 2a）。307件の泉質は，単純温泉とアルカリ性単純温泉がほぼ同数存在し，双方含めて全体の74%を占めた。療養泉に該当しないため泉質名がつかない温泉は18%を占め，その他，単純硫黄泉，単純鉄泉および単純酸性泉が少数存在した（Fig. 2b）。

3.2 水道水と低TDM温泉の比較

水道水のTDM濃度は，90%が200 mg/kg未満で，最高値は257 mg/kgであった。それに対して低TDM温泉は，600～800 mg/kgの画分が26%と最も多く占め，200 mg/kg未満が6%と少な

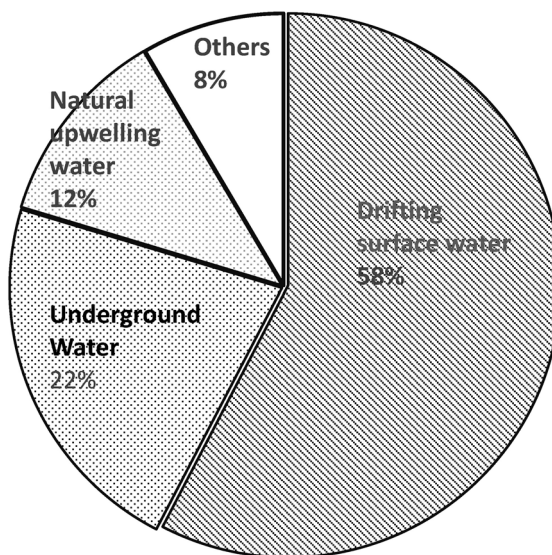


Fig. 1 Source of tap water in Hokkaido, Japan.

図 1 北海道における水道水の原水

かった (Fig. 3).

水道水の pH は, 水道水質基準値が 5.8 以上 8.6 以下と定められていることもあり, 93% が 6.5~7.5 の範囲内で, 最低で 6.0, 最高で 7.7 であった. それに対して低 TDM 温泉では, 8.5~9.0 のアルカリ性の画分が最も多く, 弱アルカリ性 (7.5 以上 8.5 未満) に 34 %, アルカリ性 (8.5 以上) に 44% が集中し, アルカリ側に偏ったヒストグラムの分布を示した (Fig. 4).

水道水および温泉水の各イオンの 1 kg 中の当量数を調べ, 最高値の陽イオンおよび陰イオン (優占イオン) を特定した. その優占イオン種の割合を Fig. 5 に示した. 水道水の優占陽イオンは, Na^+ であったものと. Ca^{2+} であったものがそれぞれおおよそ半数を占めた. 優占陰イオンは, HCO_3^- であったものが 92% を占め, 残りは Cl^- であった. 低 TDM 温泉では, 優占陽イオンは Na^+ であったものが 91% を占め, 残りはほぼ Ca^{2+} であった. 優占陰イオンは HCO_3^- であったものが 58% を占め, 次いで Cl^- の 25%, SO_4^{2-} の 10% であった. 佐々木 (2008) の報告によると, 天水由来の地下水は Ca-HCO_3 型が多く, 花崗岩や温度の影響を多く受けるほど Na-Cl 型の水質に変化することが示唆されている. 水道水は表流水が原水である割合が多く, 低 TDM 温泉水は深部から揚湯している傾向があるため, 主要優占イオンの違いがあると考えられる.

水道水と低 TDM 温泉の主要含有成分の平均値を Table 1 に示した. ほとんどの成分は 4~7 倍, 温泉の方が高い濃度であったが Na^+ は約 12 倍温泉の方が高い濃度であった. Ca^{2+} および Mg^{2+} は 2 倍未満であった. Ca^{2+} および Mg^{2+} を除いた成分において, Welch t 検定 (Welch, 1938) によって有意水準 0.1% で水道と温泉の間に差が認められたが, Ca^{2+} は有意水準 1% で差が認められ, Mg^{2+} では有意水準 5% で差が認められなかった.

3.3 特に TDM 濃度が低い温泉

TDM 濃度が低い順に 10 件の低 TDM 温泉を選び, Table 2 に pH, 主要含有成分濃度および泉質を示した. 10 件の TDM 濃度は 63.3~166.6 mg/kg の範囲内であった, 水道水の平均 TDM 濃度は 126.5 mg/kg であり, それよりも低濃度であった低 TDM 温泉は 1 件のみであった. TDM 濃度

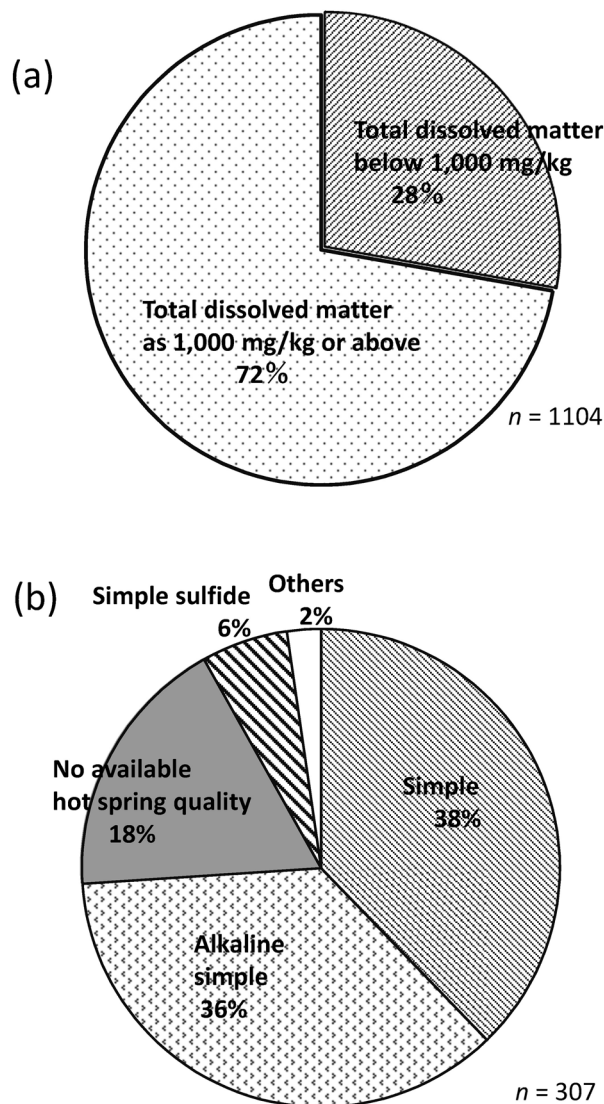


Fig. 2 Portion of the low TDM hot springs with TDM concentration below 1,000 mg/kg (a) and their hot spring qualities (b) in Hokkaido, Japan

図 2 北海道における低 TDM 温泉の割合 (a) と泉質 (b)

が最も低かった温泉は、pH が 3.8 の弱酸性泉であり、水道水とは異なる pH 域に含まれた。日本では pH4~5 の温泉が極めて少なく（古賀，1990），その pH 域に近いことから北海道において希少な温泉の一つであると考えられる。10 件の低 TDM 温泉のうち 2 件が pH 3 未満の酸性泉，3 件が弱アルカリ性泉，2 件がアルカリ性泉であった。このことから，特に TDM 濃度が低い温泉の 8 割が水道水と異なる pH 域に含まれた。含有成分濃度は，単純酸性泉の SO_4^{2-} 濃度が 100 mg/kg 以上と高かった。また，泉質名がつかない温泉は全て H_2SiO_3 が 50 mg/kg 以上を有し，温泉法第二条別表に定められた H_2SiO_3 の項目により温泉に該当する冷鉱泉であった。

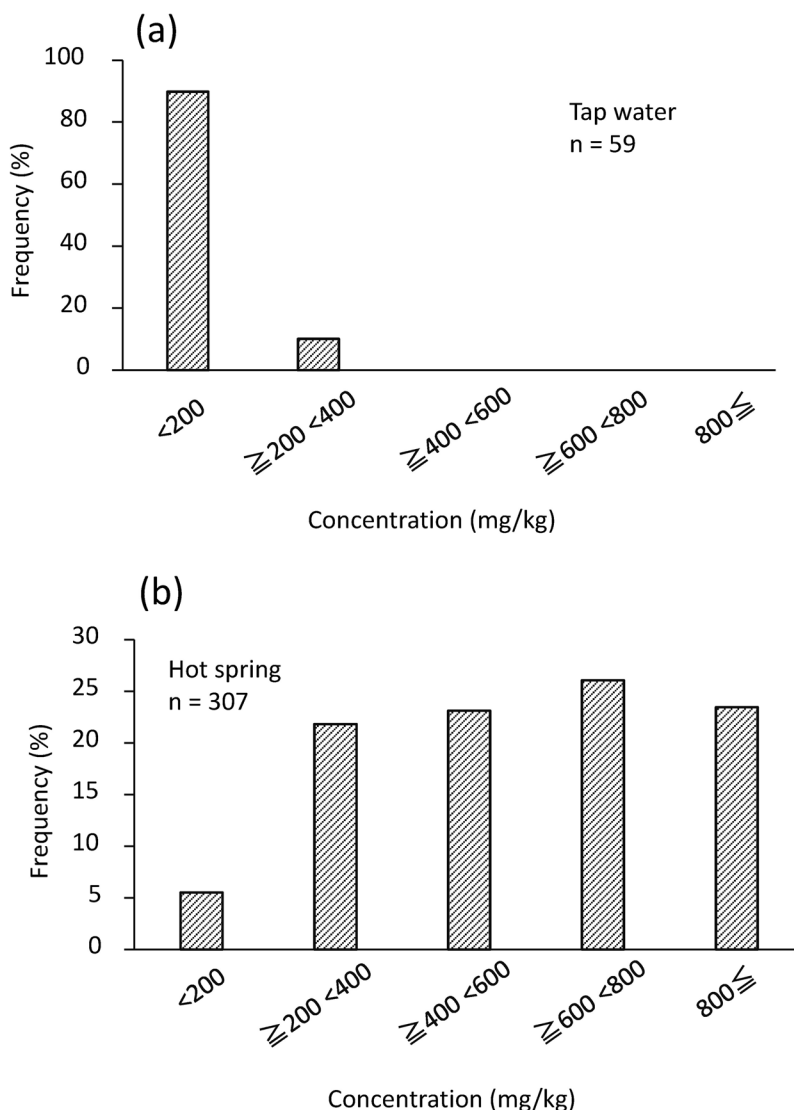


Fig. 3 Histogram of TDM concentration for tap waters (a) and low TDM hot springs (b) in Hokkaido, Japan

図 3 北海道における水道水 (a) と低 TDM 温泉 (b) の TDM 濃度のヒストグラム

3.4 水道水と比較して低 TDM 温泉に期待される人体への効果

TDM 濃度が 1,000 mg/kg 以上の条件を満たす温泉は、入浴により成分が皮膚に付着することで保温・保湿効果が期待される。前田 (2021) は、塩化ナトリウムが 0.1% から 4% まで段階的に温水を調製し、入浴者の体温上昇効果を調べた結果、濃度が高いほど効果が大きかったことを報告した。TDM 濃度が 1,000 mg/kg 未満の温泉だけを対象とした実験でも同様の結論が得られる確証はないが、水道水と低 TDM 温泉には TDM 濃度に明らかに差が認められることから (Fig. 3), 低 TDM 温泉の方が水道水よりも体温上昇効果が認められる可能性は高いと考えられる。

Fig. 4 に示した pH 分布から、中性域に集中している水道水とは異なり、低 TDM 温泉はアルカ

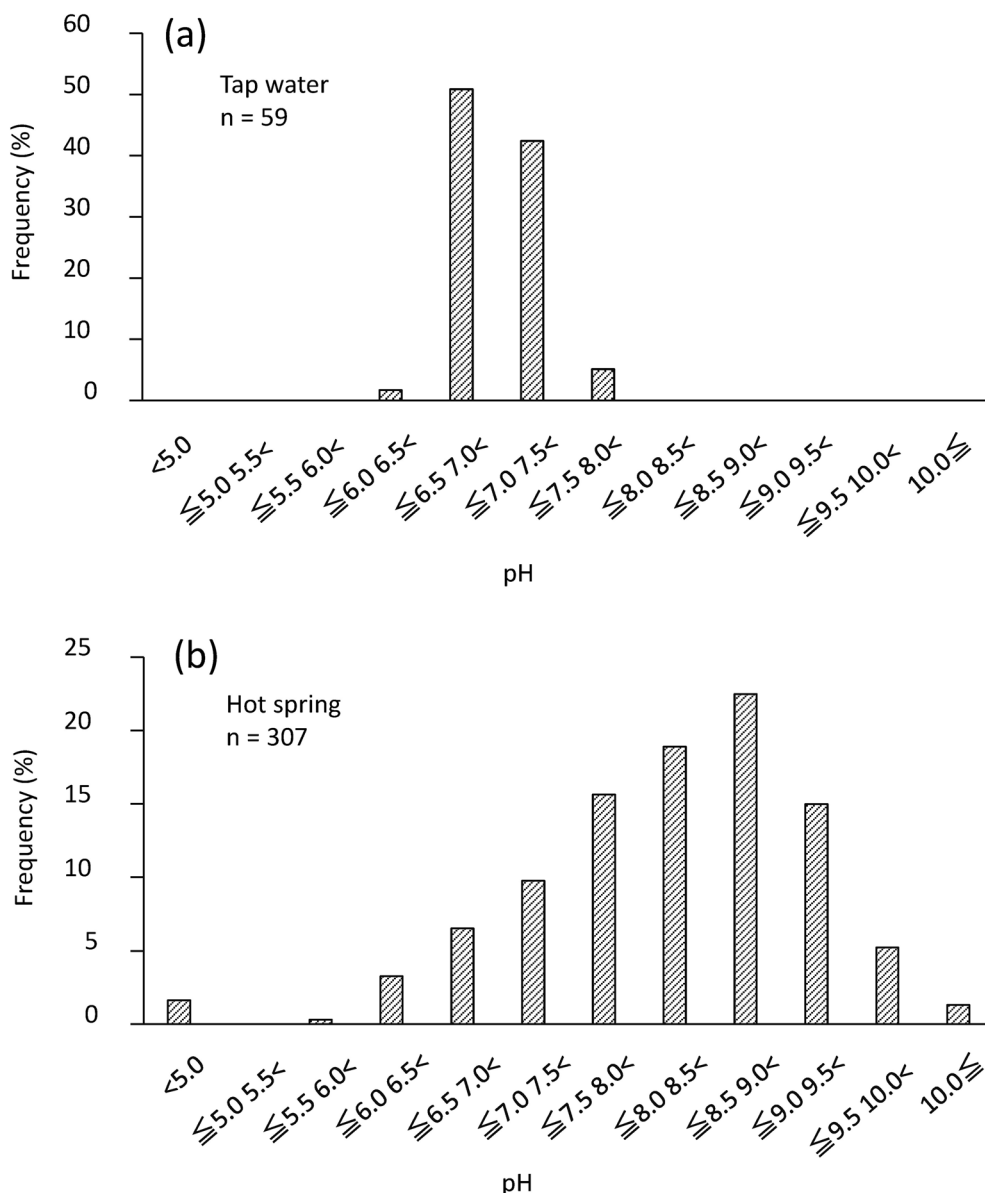


Fig. 4 Histogram of pH for tap waters (a) and low TDM hot springs (b) in Hokkaido, Japan

図 4 北海道における水道水 (a) と低 TDM 温泉 (b) の pH のヒストグラム

リ性泉の効果が望めると考えられる。アルカリ性泉の浴用による人体への影響は、皮膚の脂質や角質を溶解することによる美肌効果が挙げられる（前田，2021）。アルカリ性泉の飲泉は、利尿作用により痛風・高尿酸血症の症状緩和が期待されるとして推奨されており（森永，1977），更に胃酸過多および胃十二指腸潰瘍に効果があるとされ（大塚，2007），それらは温泉成分の炭酸水素塩（重曹）による反応と考えられている（日野，1971）。美和ら（2008）は Na-HCO₃ 型のアルカリ性単純温泉を用いて、飲泉による内臓器官の効果を調べ、胃への影響は認められなかったが、腸の活動促進および交感神経活動の抑制が認められたことを報告している。この報告では、アルカリ性単純温

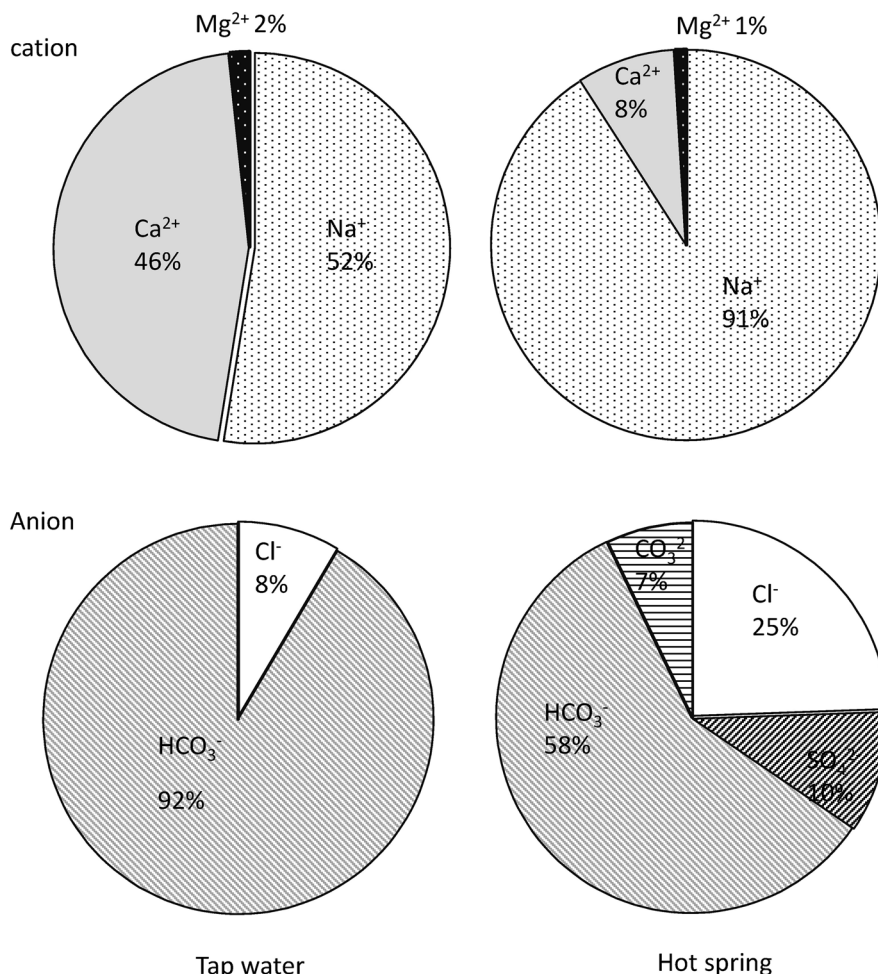


Fig. 5 Portion of dominant cation and anion for tap waters and low TDM hot springs in Hokkaido, Japan

図 5 北海道の低 TDM 温泉における水道水および低 TDM 温泉の優占陽イオンおよび陰イオンの割合

泉の飲泉による効果は、小腸における電解質の透過性が高いこと、小腸内の pH (8.3) に温泉の pH が近いことが腸の活動促進に関わっていることが示唆されている。

ケイ酸はヒトの健康に対して必須の物質であり、その欠乏は骨や関節の変形等の原因になると報告されている (Martin, 2007)。また、ケイ酸を多く含む温泉の飲用利用は、脱毛の改善や便臭の緩和に有効であることが示唆されている (白石ら, 2017)。今回、北海道において、泉質名がつかない温泉の H₂SiO₃ 濃度の平均値は 71.1 mg/kg であり、50 mg/kg 以上含有することによって温泉に該当する例は 55 件中 46 件と 8 割を超えていた。北海道の水道水試料中の H₂SiO₃ 濃度も約 3 割にあたる 19 件が、温泉法第二条別表で定められている基準である 50 mg/kg 以上であったが、泉質名がつかない温泉の方が水道水よりも H₂SiO₃ 濃度の平均値は約 2 倍高かった。日本人の 1 日の水道水の平均摂取量は 1.28 L と見積もられているのに対し (Ohno, *et al.*, 2018)、温泉水は最大 500 mL、フッ化物イオンやヒ素が許容量以上に含有した場合は、500 mL 以下の飲用となる。1 日の飲

Table 1 Comparison of averages of major component concentrations between tap waters and low TDM hot springs in Hokkaido, Japan

表 1 北海道における水道水と低 TDM 温泉の主要含有成分濃度平均値の比較

	Tap water (mg/kg)	Hot spring (mg/kg)	Significant level
Na ⁺	10.8	124.8	**
K ⁺	1.6	6.1	**
Ca ²⁺	10.0	14.8	*
Mg ²⁺	3.1	3.4	ns
Cl ⁻	11.4	77.3	**
SO ₄ ²⁻	11.2	54.0	**
HCO ₃ ⁻	40.0	170.9	**
H ₂ SiO ₃	36.8	104.6	**
HBO ₂	1.6	7.6	**
Total	126.5	579.1	**

**: $p < 0.001$, *: $p < 0.01$, ns: $p > 0.05$
 No applicable example: $0.01 \leq p \leq 0.05$

用ではケイ酸の摂取は水道水と温泉飲用で差が小さいと考えられるが、1 回当たりの飲用では温泉飲用の方が水道水を飲用するよりもケイ酸の効能を受持できると言えそうである。しかしながら、ケイ素は食品中に数～数百 ppm のオーダーで含まれていることもあり（田主ら、1993）、温泉水飲用でケイ酸を多く摂取することによる人体への有効性は今後の検証が必要と思われる。

水道水は原水と浄水で含有成分濃度が大きく異なる場合がある。特定の浄水処理により、原水の含有成分のうち鉄、マンガンおよびアンモニウムイオン等の濃度が低下したり、塩化物イオンや硫酸イオン等の濃度が増加する場合があります。浄水処理の方法も原水の水質により様々である（吉川ら、2014）。水道原水と低 TDM 温泉を比較した場合、本稿の結果と異なる可能性があるが、本稿では一般の家庭で浴用に使用することを想定しており、水道水は給水栓から採取した浄水を分析対象とした。また、日本では水道水の浄水は主に次亜塩素酸ナトリウムによる消毒が行われており（日本水道協会、2008）、消毒副生成物であるトリハロメタンやハロ酢酸等の物質が生成される。水道水質基準により、これらの濃度は低く抑えられているが、浴用に水道水を使用した場合、揮発した消毒副生成物が浴室に拡散し、健康に悪影響を及ぼす可能性があることも指摘されている（山室、2022）。一方、温泉も塩素剤による消毒が行われていることがあり、水道水を使用した入浴と同じ条件である場合がある。最近では、温泉の水質によっては塩素剤による消毒効果が小さい等の問題が明らかとなり、泉質に適した消毒法が検討・実施されている（古畑ら、2018；森ら、2024）。

Table 2 Major component concentrations in the ten hot springs with remarkably low TDM concentration in Hokkaido, Japan (Unit of component concentrations: mg/kg)

表 2 北海道における特に TDM 濃度が低かった 10 温泉の主要含有成分濃度 (単位, mg/kg)

Order	pH	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	H ₂ SiO ₃	HBO ₂	Total	Quality
1	3.8	12.3	11.4	21.9	0.0	0.0	16.9	0.8	63.3	Simple
2	7.4	17.1	2.8	2.0	42.8	0.0	63.6	0.9	129.2	No name
3	2.9	8.7	3.1	103.4	0.0	0.0	30.0	0.5	145.7	Simple acid
4	7.0	19.9	8.1	9.9	34.2	0.0	76.2	0.5	148.8	No name
5	9.3	34.9	4.0	19.8	12.9	23.2	60.4	0.0	155.2	Alkaline simple
6	8.3	27.6	4.9	3.3	61.1	0.8	57.2	2.2	157.1	No name
7	8.4	24.2	4.1	15.0	41.1	0.5	71.1	2.1	158.1	No name
8	8.0	20.0	7.8	6.0	36.0	0.3	90.7	0.8	161.6	Simple
9	2.9	8.7	3.4	102.0	0.0	0.0	45.6	0.4	164.4	Simple acid
10	8.5	21.8	1.0	3.0	45.8	6.0	87.9	1.1	166.6	No name

ま と め

本稿では、北海道において入浴および飲用目的として水道水と低 TDM 温泉を利用した際の人体への影響の違いを明らかにするため、それぞれの含有成分を測定した。その結果、水道水と低 TDM 温泉では TDM 濃度が明らかに後者の方が高く、pH の分布は水道水が中性域、低 TDM 温泉がアルカリ性域に集まっていた。主要含有成分濃度は、Mg²⁺を除いた成分で有意差が認められた。これらのことから、水道水を利用するよりも低 TDM 温泉を利用した方が人体に対して体温上昇、高尿酸血症および胃の活動促進等の効果が期待されると考えられた。

謝 辞

温泉分析書に記載された数値の使用を許可いただいた登録分析機関の関係者各位および水道水の試料採取にご協力いただいた水道事業体の関係者各位に心より感謝致します。また、匿名の査読者

には丁寧なご指摘を頂きましたことに深く感謝いたします。

引用文献

- 古畑勝則, 安齋博文, 李 新一, 石崎直人 (2018): 温泉浴槽水の消毒に於ける電解次亜塩素酸水の利用, 温泉科学, **68**, 193-203.
- 日野貞雄 (1971): 重曹, 臨床薬理, **2**, 201-207.
- 環境省自然環境局 (2014): 鉱泉分析法指針, 環境省自然環境局, 東京.
- 古賀昭人 (1990): 温泉の化学, 日本温泉気候物理医学会編「温泉医学」, 69-73, 日本温泉気候物理医学会, 東京.
- 木暮金太夫 (2001): なぜ温泉は体にいいか, 温泉科学, **50**, 230-233.
- 前田眞治 (2015): 新しく改定された「温泉の禁忌症・適応症および注意事項」について, 温泉科学, **65**, 152-163.
- 前田眞治 (2021): 温泉の医学的効果とその科学的根拠, 温泉科学, **70**, 197-207.
- Martin, K.R. (2007): The chemistry of silica and its potential health benefits, J. Nutr. Health Aging, **11**, 94-97.
- 益子 安 (1978): 療養泉の分類と適応症, 1. 泉質の分類と命名法, 日温気物医誌, **41**, 77-79.
- 美和千尋, 杉村公也, 白石成明, 田中紀行, 川村陽一, 出口 晃, 鈴木恵理, 岩瀬 敏 (2008): 温泉飲水が胃電図および心拍変動に与える影響, 日温気物医誌, **71**, 161-166.
- 森 康則, 永井佑樹, 佐藤大樹, 谷本健吾, 豊田真由美, 亀山有貴, 原 有紀, 小林章人, 吉村英基, 泉山信司 (2024): 高アルカリ温泉水中のモノクロラミンと遊離塩素に対する *Legionella pneumophila* の消毒耐性の定量的評価, 温泉科学, **74**, 18-28.
- 森永 寛 (1977): 痛風と温泉, 尿酸, **1**, 147-154.
- 日本水道協会 (2008): 平成 19 年度厚生労働省委託「水道用薬品等基準に関する調査」水道用次亜塩素ナトリウムの取扱い等の手引き, 日本水道協会, 東京.
- 日本水道協会 (2021): 上水試験方法 2020 年版, II. 一般理化学・無機物編, 日本水道協会, 東京.
- Ohno, K., Asami, M., Matsui, Y. (2018): Is the default of 2 liters for daily per-capita water consumption appropriate? A nationwide survey reveals water intake Japan, J. Water Health, **16**, 562-573.
- 大塚吉則 (2007): 飲泉療法, 白倉卓夫編「高齢者のための温泉療法」, 198-203, ライフ・サイエンス, 東京.
- 佐々木宗建 (2008): 地下水水質の形成過程の基礎的数値解析, 地質調査研究報告, **59**, 117-123.
- 島野安雄 (1994): 水質の表示とその解釈, 日本地下水学会編「名水を科学する」, 12-22, 技報堂出版, 東京.
- 白石卓也, 竹島太郎, 小谷和彦 (2017): ケイ酸を含む温泉水の飲用による健康関連指標に関する効果の検討, 北関東医学, **67**, 207-211.
- 田主澄三, 鈴木泰夫, 西山敬太郎 (1993): 日本食品中のケイ素, ニッケル, スズ含有量, 日本栄養・食糧学会誌, **46**, 248-251.
- 植田理彦 (1994): 元気が出る温泉利用法, 光雲社, 東京.
- Welch, B.I. (1938): The significance of the difference between two means when the population variances are unequal, Biometrika, **29**, 350-362.
- 山室真澄 (2022): 日本水道水は安全か? 生活協同組合研究, **562**, 23-29.
- 吉川循江, 堀切佳代, 前沢 仁 (2014): 地下水を水源とする専用水道の浄水処理の相違とその水質, 環境技術, **43**, 539-545.