

北海道産容器入りミネラルウォーター類における イオン組成からみた水質特性

北 井 康 貴¹⁾・布 川 裕 一¹⁾・中 谷 暢 丈^{1,2)*}

Characterization of water quality in bottled mineral water from Hokkaido based
on ionic composition

Yasutaka KITAI¹⁾, Yūichi NUNOKAWA¹⁾ and Nobutake NAKATANI^{1,2)*}

(Accepted 10 July 2017)

1. はじめに

日本における容器入りミネラルウォーター類の1人当たりの年間消費量は、家庭用飲料水としての発売が開始された1980年代当初はわずか1L以下であった¹⁾が、2015年には26.7Lと25倍以上に増加している²⁾。これは、水道水の安全性に対する不安や味のまずさに加え、経済的なゆとり³⁾、健康や料理における選択志向⁴⁾などが関連しているといわれている。また、2015年日本におけるミネラルウォーター類の国内生産量は約304万kLであり、このうち北海道産は年々減少傾向にありながらも約6.6万kLと全体の約2.2% (全国第8位) の生産量を占めている²⁾。自然豊かな北海道には名水百選に挙げられた「羊蹄のふきだし湧水」、「ナイベツ川湧水」、「甘露泉水」、平成の水百選に挙げられた「仁宇布の冷水と十六滝」、「大雪旭岳湧水」など、豊富に湧き出る湧水や水源等が各地に存在し、これらを活用した容器入りミネラルウォーター類が多種類販売されている。

ミネラルウォーター類 (容器入り飲用水) の品名は農林水産省の品質表示ガイドライン⁵⁾により分類されている。さらに原水毎、さらには人為的に品質を安定させるためのミネラル調整や複数の水源から採取された水の混合などによって、容器ラベルに表記されている栄養成分表示値やその組成は異なっている。一般的に、水道水やミネラルウォーター等、水の呈味成分は臭気に加え、溶解している各種イオン成分等が関係していることが示されている。例え

ば、旧厚生省 (現厚生労働省) の諮問機関であった「おいしい水研究会」は、1985年に水道水としての「おいしい水の要件」として水質7項目と要件値を発表した⁶⁾。このほか、様々な手法を用いておいしい水の評価が試みられてきた。例えば、川合らは全国各地の井戸水や湧水、市販ミネラルウォーター類について形容詞による官能評価と成分分析の結果を併せて多変量解析を行なうことで、おいしい水の判別式を導いており、その中で水道水とミネラルウォーター類ではおいしさを感じさせる成分が異なることを示した^{7,8)}。また、岩永と佐々木は、重回帰分析により選んだ水質4項目にファジィ推論を適用することで判定手法の検討を試みた⁹⁾。こうした中、橋本らは日本全国の代表的な飲料水、鉱泉水の官能試験と化学成分の測定結果から、カルシウムイオン (Ca^{2+})、カリウムイオン (K^{+})、溶存シリカ (SiO_2) が味を良くし、マグネシウムイオン (Mg^{2+}) と硫酸イオン (SO_4^{2-}) が悪くする溶存イオン成分として、これらの成分の測定値を用いたおいしい水の指標としてO-index (OI) (式1) を提案した^{10,11)}。

$$\text{OI} = \frac{\text{Ca}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{SiO}_2}{\text{Mg}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}} \quad (\text{式1})$$

この式では各イオン濃度 (mg L^{-1}) を用いており、OIが2.0以上のものがおいしい水と判断されている。この指標は、代表的な無機イオン成分の濃度を用いた簡便な方法であり、他の研究者においても地下水やミネラルウォーター類におけるおいしい水の評価に用いられてきた¹²⁻¹⁶⁾。さらに川越らは、元々

¹⁾ 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類水質化学研究室

Laboratory of Water Chemistry, Department of Environmental and Symbiotic Science, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, 582 Bunkyo-dai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

²⁾ 酪農学園大学大学院酪農学研究科

Graduate School of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, 582 Bunkyo-dai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

* Corresponding author

おいしい水の要件を満たしている熊本市の地下水を対象に、無機イオン成分の濃度やそれらの比率ときき水によるおいしさ点数との相関関係から、おいしい水の中のおいしい水としての指標 TTW-index (TTWI) (式 2) を提案した¹⁵⁾。

$$\text{TTWI} = \frac{\text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{SiO}_2}{\text{K}^+} \quad (\text{式 2})$$

この評価方法では TTWI の値が 10~20 の範囲にある水がおいしさ点数の高いものとされ、今後の検証が必要とされながらも、一般的においしいとされる水のおいしさを比べる際の指標の一つとなり得るのではないかとしている。

これらの先行研究を参考に、本研究では北海道産ミネラルウォーター類について主要無機イオン成分を中心に測定を行い、その濃度やイオン組成などから化学的特徴をまとめるとともに、OI および TTWI を用いておいしい水としての評価を行った。このとき比較対象として、江別市の水道水 2 種類についても化学測定と評価を行った。

2. 方 法

2.1. 試料の入手や採水方法

北海道内を採水地としており、商品名の異なる容器入りミネラルウォーター類 38 銘柄を購入し、測定まで未開封のまま冷蔵保存した。このうち 17 銘柄は商品名や製造者等が異なるものの、ラベルに表示されている採水地が同じで、かつ栄養成分表示の値がいずれかのものと重複していたことから、それらを同じものとみなし、最終的に 26 種類の容器入りミネラルウォーター類 A~Z を得た (表 1)。なお、購入したすべての銘柄について化学測定を行い、同じ試料とみなしたミネラルウォーター類についてはそれらの平均値を用いて解析した。さらに、化学成分やおいしい水としての比較対象として、河川水を原水とする江別市内の異なる配水区域の水道水 TW1 と TW2 の 2 種類を採水した。これらの試料は、2016 年 12 月に各水道の蛇口を開放して 10 分以上流水させた後、あらかじめ洗浄しておいたポリエチレン製ボトルに直接採取し、化学測定まで冷蔵保存した。

2.2. 化学測定

試料水の pH 及び電気伝導度 (EC) は、冷蔵庫から取り出した容器を実験室内で常温まで戻した後開封し、水温を 25℃ とした状態で測定を行った。さらに未ろ過の水試料を用いて、上水試験方法¹⁷⁾に従い過マンガン酸カリウム消費量及びアルカリ度を測定した。このとき得られたアルカリ度と pH の値から、

表 1 使用したミネラルウォーター類の一覧

試料記号	原材料名	品名
A	深井戸水	ナチュラルミネラルウォーター
B	湧水	ミネラルウォーター
C	湧水	ナチュラルミネラルウォーター
D	湧水	ナチュラルミネラルウォーター
E	鉱泉水	ナチュラルウォーター
F	地下水	ナチュラルミネラルウォーター
G	湧水	ナチュラルミネラルウォーター
H	湧水	ナチュラルミネラルウォーター
I	鉱水	ナチュラルミネラルウォーター
J	湧水	ナチュラルミネラルウォーター
K	水道水	ボトルドウォーター
L	鉱水	ナチュラルミネラルウォーター
M	水道水	ボトルドウォーター
N	湧水	ナチュラルウォーター
O	湧水	ナチュラルミネラルウォーター
P	水道水	ボトルドウォーター
Q	鉱水	ナチュラルミネラルウォーター
R	湧水	ナチュラルミネラルウォーター
S	鉱泉水	ナチュラルミネラルウォーター
T	水道水	ボトルドウォーター
U	伏流水	ナチュラルミネラルウォーター
V	湧水	ナチュラルミネラルウォーター
W	鉱水	ナチュラルミネラルウォーター
X	湧水	ナチュラルミネラルウォーター
Y	温泉水	ナチュラルミネラルウォーター
Z	鉱水	ナチュラルミネラルウォーター

炭酸水素イオン濃度を算出した¹⁸⁾。また各試料について、孔径 0.45 μm の酢酸セルロース製シリンジフィルター (Minisart®, ザルトリウス・ジャパン株式会社) を使用してろ過した後、主要陽イオン類 (Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) 及び陰イオン類 (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) 濃度を測定した。陽イオン類は、Thermo Fisher Scientific 社製の陽イオン交換型カラム (Dionex™ IonPac™ CS12A) とサプレッサー (Dionex™ CERS™ 500) を搭載した Dionex 社製イオンクロマトグラフィー (IC25), オートサンプラー (AS-1000) およびカラムオープン (LC25) を用い、溶離液 10 mmol L⁻¹ H₂SO₄, 流速 1.5 mL min⁻¹, カラム温度 30℃, 試料注入量 25 μL の条件で電気伝導度検出器により測定した。陰イオン類は、Thermo Fisher Scientific 社製の陽イオン交換型カラム (Dionex™ IonPac™ AS12A) とサプレッサー (Dionex™ AERS™ 500) を搭載した Dionex 社製イオンクロマトグラフィー (IC20), オートサンプラー (AS50) およびカラムオープン (LC25) を用い、溶離液 2.7 mmol L⁻¹ Na₂CO₃ / 0.3 mmol L⁻¹ NaHCO₃, 流速 1.2 mL min⁻¹, カラム温度 30℃, 試料注入量 25 μL の条件で電気伝導度検出器によ

り測定した。また、溶存シリカ (SiO_2) 濃度は、JIS K 0101 のモリブデン黄吸光度法¹⁹⁾に従い測定を行った。なお本研究における硬度の値は、イオンクロマトグラフィーにより得られた Mg^{2+} と Ca^{2+} 濃度を炭酸カルシウム (CaCO_3) 濃度に換算することで求めた。

3. 結果と考察

3.1. 北海道産ミネラルウォーター類の分類

今回用いた北海道産ミネラルウォーター類を農林水産省の品質表示ガイドライン⁵⁾に従って分類すると、ナチュラルウォーター (NW) 2 種類、ナチュラルミネラルウォーター (NMW) 19 種類、ミネラルウォーター (MW) 1 種類、ボトルドウォーター (BW) 4 種類であった (図 1)。国内外のミネラルウォーター類のラベル表示²⁰⁾や国産ミネラルウォーター類 259 銘柄の水質¹²⁾を調べた先行研究においても国産の大半は NMW であることが報告されており、本研究と同様の結果であった。NMW は水質や水量が安定しており、地層中無機塩類の溶解により鉱化した地下水を原水としたものであり、一般的な日本の地下水にみられる。

原材料別に見ると、BW は全て水道水、NW は鉱泉水または湧水、MW は湧水であったが、NMW の半分に近い 9 種類は湧水、次いで 4 種類は鉱泉水であり、残りは鉱泉水、温泉水、地下水、深井戸水、伏流水が各 1 種類であった。先行研究では国産のものにおいて原水は深井戸水、鉱泉水、湧水の順に多かったこと²⁰⁾と比較すると多少異なっていた。また、ラベルに示された北海道産ミネラルウォーター類の採水地は日高山脈、天塩山地、北見山地を除いた地域

にみられた。浅層の地下水を含む帯水層は十勝、石狩、函館に分布しており、深層の地下水を含む帯水層は石狩平野や勇払平野、釧路湿原から根釧台地にかけての地域、上川盆地に分布している²¹⁾。これらの前者であれば自噴することで湧水として、後者であればポンプでくみ上げた鉱泉水等として、北海道産のミネラルウォーター類の原材料として利用しているものと考えられた。

3.2. 無機イオン成分の測定精度評価

本研究で行った化学測定の精度を確認するために、主要陽イオン類と陰イオン類とのイオンバランス¹⁸⁾を算出した。これは、すべての水溶液は電氣的に中性であり、電荷当量濃度 (equiv. L^{-1}) で示した全陽イオン濃度 (Σ_{cations}) は全陰イオン濃度 (Σ_{anions}) と等しいという理論に基づいており、実測値を用いて式 3 より差 (%) を求めた。この差の許容範囲は、 $\Sigma_{\text{anions}} = 0 \sim 3.0 \text{ mequiv. L}^{-1}$ であれば $\pm 0.2 \text{ mequiv. L}^{-1}$ 以内、 $\Sigma_{\text{anions}} = 3.0 \sim 10.0 \text{ mequiv. L}^{-1}$ であれば $\pm 2\%$ 以内、 $\Sigma_{\text{anions}} = 10.0 \sim 800 \text{ mequiv. L}^{-1}$ であれば $\pm 5\%$ 以内となっている。

$$\text{差}(\%) = 100 \times \frac{\Sigma_{\text{cations}} - \Sigma_{\text{anions}}}{\Sigma_{\text{cations}} + \Sigma_{\text{anions}}} \quad (\text{式 3})$$

結果、試料 Y を除いて全て $\Sigma_{\text{anions}} < 3.0 \text{ mequiv. L}^{-1}$ であり、その差も $-0.04 \sim +0.11 \text{ mequiv. L}^{-1}$ の間にあり、許容範囲内の良好な結果であった (表 2)。 $\Sigma_{\text{anions}} = 5.04 \text{ mequiv. L}^{-1}$ とイオン成分濃度の高かった試料 Y の差は 2.6% であり、若干許容範囲外であった。このミネラルウォーターは、測定した試料の中で唯一温泉水を原材料としており、他の試料に比べて EC 及び各種イオン成分濃度が高かった。温泉水には、本研究で測定対象とした主要無機イオン成分以外のイオン成分、例えば陽イオン類であれば鉄イオンやアルミニウムイオン、陰イオン類であればホウ酸イオンやフッ化物イオンなどが比較的高濃度に含まれていることがある。そのため、イオンバランスの差がプラスとして許容範囲外となったこの試料には、今回未測定の陰イオン類が比較的高濃度で含まれているものと考えられた。

3.3. 栄養成分表示の値と実測値の比較

容器入りミネラルウォーター類のラベル栄養成分表示に示してある pH、硬度、陽イオン類 (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , ただし表示値のないものが一部みられた) の値と本研究の測定によって得られた値を比較すると概ね一致した (図 2)。表示値と実測値の差が $\pm 50\%$ の範囲外であった試料は、ほぼ全ての項目

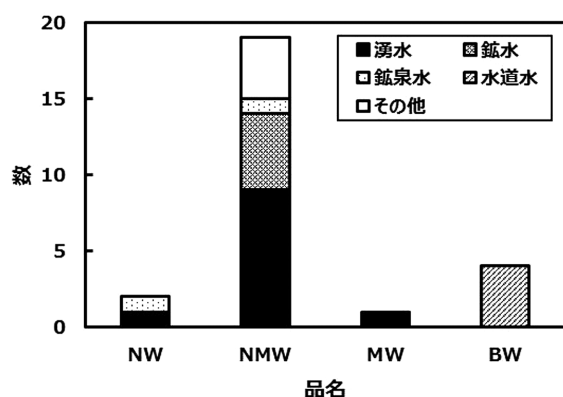


図 1 北海道産ミネラルウォーター類の品名別数と原材料の構成

NW: ナチュラルウォーター, NMW: ナチュラルミネラルウォーター, MW: ミネラルウォーター, BW: ボトルドウォーター。原材料のその他には、温泉水、地下水、深井戸水、伏流水を含む。

表2 北海道産ミネラルウォーター類および
江別市水道水のイオンバランス

試料*	Σ_{cations} mequiv. L ⁻¹	Σ_{anions} mequiv. L ⁻¹	$\Sigma_{\text{cations}} - \Sigma_{\text{anions}}$ mequiv. L ⁻¹	差 %
A	1.72	1.72	0.00	-0.1
B	1.07	1.07	0.00	0.1
C	2.73	2.70	0.04	0.7
D	2.64	2.64	0.00	0.1
E	0.87	0.88	-0.01	-0.6
F	0.61	0.63	-0.02	-1.7
G	1.68	1.66	0.02	0.7
H	2.57	2.46	0.10	2.0
I	0.69	0.71	-0.01	-0.8
J	0.78	0.81	-0.03	-2.0
K	0.72	0.76	-0.04	-2.8
L	1.19	1.22	-0.03	-1.3
M	0.76	0.78	-0.02	-1.1
N	0.73	0.76	-0.02	-1.6
O	0.79	0.82	-0.04	-2.3
P	0.81	0.80	0.01	0.9
Q	1.25	1.23	0.02	0.6
R	0.81	0.81	0.00	-0.1
S	1.85	1.81	0.05	1.3
T	0.56	0.59	-0.03	-2.4
U	0.80	0.81	-0.01	-0.7
V	0.87	0.86	0.01	0.6
W	1.64	1.58	0.06	1.7
X	2.53	2.42	0.11	2.3
Y	5.31	5.04	0.26	2.6
Z	0.92	0.90	0.01	0.8
<hr/>				
TW1	0.77	0.78	-0.01	-0.8
TW2	2.01	1.97	0.04	1.0

*A～Z：ミネラルウォーター，TW1, 2：江別市水道水

において値が異なった試料GとH, Ca²⁺もしくは硬度の値が異なった試料E, K及びYであった。これまで日本を含む世界各地から集められたミネラルウォーターにおいても、オセアニアを除いて表示値と実測値の間に開きが見られており、原水水質は徐々に変化するのに対して水質測定は繰り返されず、採水初期に測定した値を継続して栄養成分表示に用いている可能性が指摘されている²²⁾。また、食安発 1222 第1号「乳及び乳製品の成分規格等に関する省令及び添加物等の規格基準の一部改正について」(平成26年12月22日改正)²³⁾のように、ミネラルウォーター類の規格基準や製造基準は設けられているものの、栄養成分の表示義務が本来ないこともラベル表示値と実測値の間に違いが起きる原因の一つと考えられた。

3.4. 化学的特性

北海道産ミネラルウォーター類に加えて、江別市の水道水2種類について行った化学測定の結果を表

3に示す。ミネラルウォーター類のpHは中央値7.44、最小値－最大値は6.80－8.50であり、ほぼ中性から弱アルカリ性を示した。また、ECは中央値9.0 mS/m、最小値－最大値は5.2－46.5 mS/mであった。これらの結果は、各試料の無機イオン成分濃度やその組成の違いを反映している。試料水に含まれる有機物もしくは還元性物質（被酸化性物質）の量を示す過マンガン酸カリウム消費量は試料Y (3.1 mg L⁻¹)を除き、旧厚生省が示したおいしい水の要件値⁶⁾である3 mg L⁻¹未満であった。また、硬度は中央値27 mg L⁻¹であり、試料C, HおよびXを除くと70 mg L⁻¹以下の軟水であり、おいしい水の要件値 (10－100 mg L⁻¹) 内⁶⁾であった。比較対象とした江別市の水道水においても、過マンガン酸カリウム消費量および硬度ともにおいしい水の要件値内であった。

測定項目とした無機イオン成分毎にその濃度範囲は異なり、またミネラルウォーター間でもその差は大きかった(図3)。なお、図には示していないNH₄⁺は、試料H (0.08 mg L⁻¹)を除いてすべて検出限界値以下 (<0.02 mg L⁻¹) であった。K⁺やMg²⁺、NO₃⁻はそのほとんどが数mg L⁻¹であったが、HCO₃⁻やSiO₂濃度は数十mg L⁻¹であり、他の無機イオン濃度に比べて数～10倍程高かった。さらに、成分毎に最小値と最大値を比較すると、Na⁺で約30倍、Ca²⁺で約10倍、Cl⁻で約50倍、SO₄²⁻で約40倍、HCO₃⁻で約10倍程度の差があった。これらの結果は、陽イオン類よりも陰イオン類においてイオン組成の違いが見られることを示している。顕著にNa⁺、Cl⁻、HCO₃⁻濃度が高かったものは共通して温泉水を原水とした試料Yであったが、逆に低いものは水道水を原水とする試料KまたはTであった。また、SiO₂濃度については極端な違いは見られなかったが、やはり原水を水道水とするミネラルウォーター類で低くなる傾向が見られた。一般的に土壌・風化帯を通過した地下水の無機イオン濃度は高くなるが、さらに深層では粘土鉱物の陽イオン交換作用によってNa⁺とHCO₃⁻に富む水質が形成される²⁴⁾。この温泉水を原水とするミネラルウォーターは地下1,000 m以上の深層地下水を組み上げていることから、岩石－水反応の結果、Na⁺、Cl⁻、HCO₃⁻濃度を豊富に含んでいたものと考えられる。一方、初期降雨を除いて雨水中無機イオン濃度は一般的に低いとため、地下水の湧出水と雨水が混在した河川水を主に水源に利用している水道水で無機イオン濃度は低くなったと考えられる。

次に、江別市の水道水2種類を含め、品名別ミネ

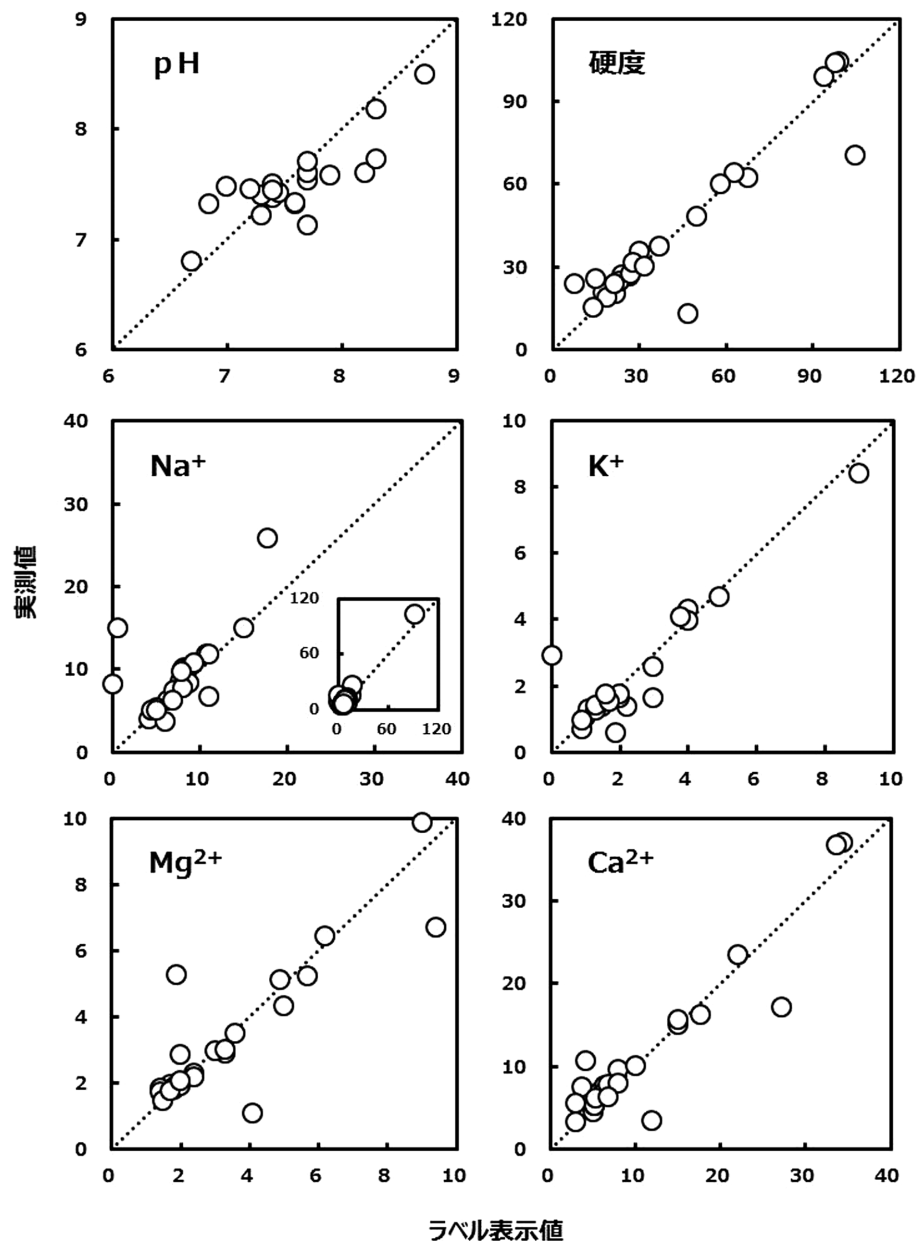


図2 北海道産ミネラルウォーター類の栄養成分表示の値と実測値との比較
pHを除き，単位は1,000 mL当たりの含有量mgで示している，グラフ中の点線は，表示値：実測値=1：1の線を示す。

ラルウォーター類のトリリニアダイアグラム²⁵⁾を図4に示した。ミネラルウォーター類の多くは日本における循環性地下水の大半に相当するアルカリ土類炭酸塩型 ($\text{Ca}-\text{HCO}_3$ タイプ) であったが，唯一温泉水を原水とした NMW (試料Y) は，循環地下水と停滞地下水の中間体であった。また水道水が充填された BW は江別市の水道水と無機イオン組成が似ており，トリリニアダイアグラム上では循環地下水と熱水・化石水の中間体であった。また，1 試料 (試料C) のみアルカリ土類非炭酸塩型 ($\text{Ca}-\text{Cl}$ タイプ) であった。

以上の結果から，旧厚生省のおいしい水研究会が示したおいしい水の要件のうち，本研究で測定した過マンガン酸カリウム消費量と硬度は，ほぼ全ての試料において要件値内であった。また，北海道産ミネラルウォーター類の多くは，雨水が地下に浸透した際に土壌・風化帯から無機塩類が溶解することで形成された浅層の循環性地下水を原水とした NMW であり，適度に無機イオン成分が溶解している水質であった。一方で，地下水でありながらも，熱水・化石水や停滞性地下水が混入することで特定の無機イオン成分濃度が高く，個性的な化学組成を

表3 北海道産ミネラルウォーター類および江別市水道水の化学測定結果

試料*	pH	EC mS/m	KMnO ₄ 消費量	硬度	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	OI	TTWI
A	6.92	14.9	1.2	62	8.5	<0.02	4.3	5.2	16.3	5.9	13.3	19.6	57	45	2.2	14
B	7.60	10.3	0.7	27	11.7	<0.02	1.1	2.3	6.9	8.8	0.6	12.1	34	36	3.2	53
C	7.43	25.7	1.0	99	15.0	<0.02	4.0	9.9	23.4	24.6	1.8	68.8	33	38	0.8	20
D	7.58	25.7	0.8	70	25.7	<0.02	4.7	6.7	17.1	50.0	0.1	7.7	65	47	7.1	26
E	7.38	9.5	1.0	24	8.2	<0.02	1.6	2.0	6.3	6.4	4.3	6.2	31	34	5.1	30
F	7.32	5.2	1.3	20	3.9	<0.02	1.3	2.2	4.5	1.3	0.5	2.4	32	57	13.1	46
G	7.42	15.5	1.0	48	14.9	<0.02	2.9	5.3	10.6	22.7	2.1	6.5	52	39	5.5	26
H	8.18	20.5	1.2	104	10.0	0.08	1.6	2.9	37.0	11.4	0.2	27.2	94	35	1.6	35
I	7.53	6.2	0.7	21	6.1	<0.02	0.7	1.8	5.2	2.3	1.1	1.8	36	55	16.2	95
J	7.60	7.1	0.5	26	5.0	<0.02	1.3	1.8	7.6	4.0	1.3	3.1	37	34	8.0	34
K	7.32	7.3	0.8	26	3.7	<0.02	1.6	1.7	7.5	5.1	1.4	13.3	19	17	1.6	16
L	7.48	12.5	0.9	36	10.0	<0.02	1.6	2.9	9.5	8.2	10.6	5.2	43	51	7.6	43
M	7.33	7.3	0.8	25	5.3	<0.02	1.7	1.8	6.9	3.0	0.7	12.5	26	48	3.7	34
N	7.22	6.9	0.6	19	7.4	<0.02	1.4	1.4	5.2	6.8	1.9	3.5	28	45	10.9	44
O	7.13	7.2	0.7	27	4.9	<0.02	1.2	1.8	7.7	4.0	1.2	2.9	38	37	9.0	37
P	7.19	8.2	0.8	25	6.8	<0.02	1.0	1.9	6.7	9.9	0.3	11.2	17	11	1.7	28
Q	7.40	11.7	0.8	37	10.4	<0.02	1.7	3.0	10.1	8.2	10.7	6.1	42	53	6.9	41
R	7.49	7.4	0.9	28	5.0	<0.02	1.6	1.9	7.9	2.8	0.9	3.3	39	33	7.3	25
S	7.50	16.6	1.0	64	11.7	<0.02	2.6	6.4	15.0	7.6	2.6	23.3	65	49	2.0	26
T	7.44	5.9	1.4	13	6.7	<0.02	0.6	1.1	3.4	5.9	2.3	6.5	15	12	2.4	43
U	7.70	7.8	0.8	15	10.7	<0.02	1.0	1.8	3.3	10.0	2.0	2.7	27	30	9.3	53
V	7.45	8.5	0.7	24	8.3	<0.02	1.4	2.1	6.2	10.3	0.8	3.9	29	30	7.0	35
W	6.80	15.0	0.8	60	7.7	<0.02	4.1	5.1	15.6	5.8	12.9	17.2	52	42	2.3	14
X	7.73	22.0	0.8	104	9.6	<0.02	1.5	3.0	36.7	11.5	<0.05	26.9	93	39	1.7	40
Y	8.50	46.5	3.1	32	102.6	<0.02	8.4	4.3	5.6	74.3	1.6	6.4	165	74	14.5	30
Z	7.63	8.0	0.6	30	6.3	<0.02	1.7	3.5	6.3	6.3	0.7	3.6	39	40	6.8	31
TW1	6.85	7.5	1.0	23	6.6	<0.02	1.2	1.5	6.6	7.8	0.8	11.4	19	36	3.5	42
TW2	7.02	17.9	1.6	57	18.7	<0.02	2.5	3.8	16.5	22.9	0.1	30.3	42	31	1.6	29

*A～Z：ミネラルウォーター，TW1，2：江別市水道水

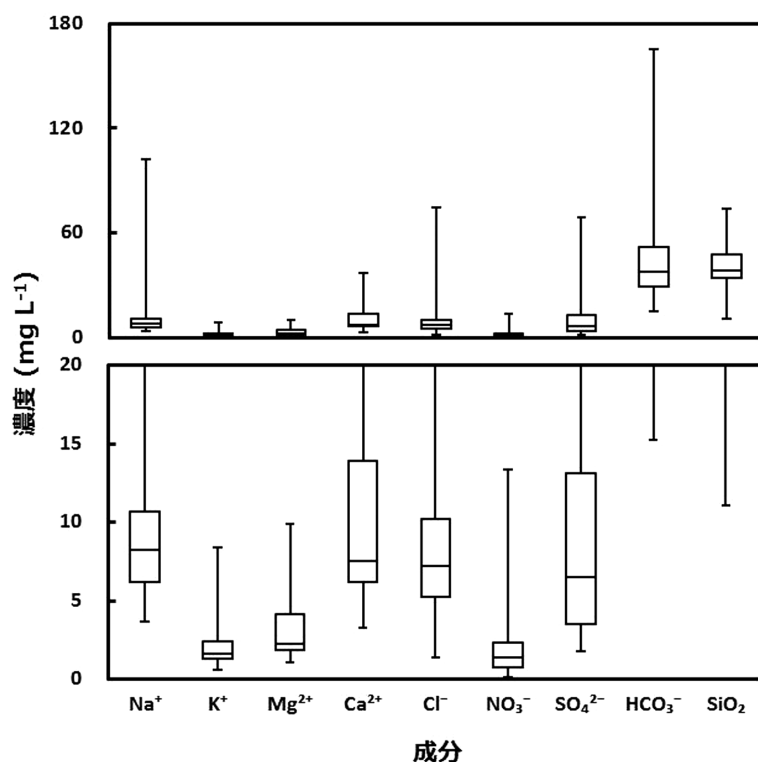


図3 北海道産ミネラルウォーター類における無機イオン成分濃度の箱ひげ図

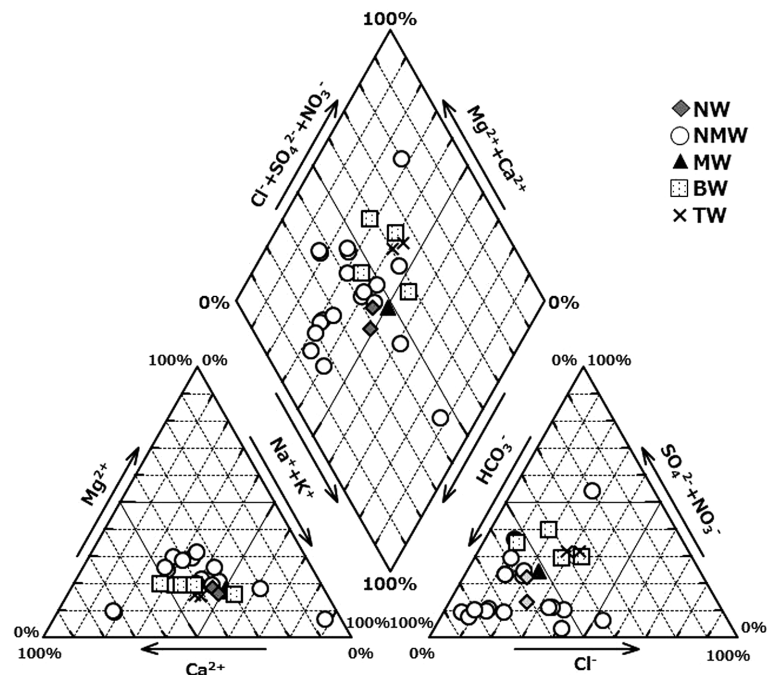


図4 北海道産ミネラルウォーター類のトリリニアダイアグラム

NW：ナチュラルウォーター，NMW：ナチュラルミネラルウォーター，MW：ミネラルウォーター，BW：ボトルドウォーター，TW：水道水（江別市）。

有するものもいくつか見られた。

3.5. おいしい水としての評価

江別市の水道水を加えた28試料について式1に基づきOIを計算すると、6試料（C，H，K，P，X，TW2）を除き、おいしい水の要件値となる2.0を超えたおいしい水と判断された（表3）。これら要件値外であった試料の共通点として、式1の分母（ $Mg^{2+} + SO_4^{2-}$ ）に占める SO_4^{2-} 濃度の割合が80%以上、かつ分子（ $Ca^{2+} + K^+ + SiO_2$ ）に占める SiO_2 濃度の割合が70%未満であった。そのため、これら SO_4^{2-} と SiO_2 がおいしい水としての特に重要なキーになっているといえる。さらに、OIでおいしい水と判断され、式2に基づくTTWI値が10～20の範囲内であったものは、試料AとWであった。これらの2試料については、ラベル栄養成分表示の無機イオン濃度や採水地の名称が比較的似通っており、両者の実測値も概ね同じであった。また、これらの試料における無機イオン濃度は測定を行ったミネラルウォーターの中では中程度からやや高い程度であったが、OIやTTWIの評価には含まれない硝酸イオン濃度が高いくらいで、おいしい水と判断される無機イオン濃度やイオン組成のバランスが良好なミネラルウォーター類であったといえる。

4. ま と め

本研究では北海道産容器入りミネラルウォーター類26種類を対象に化学測定を行い、それらの特徴とおいしい水としての評価を行った。その結果、北海道産ミネラルウォーター類の多くはNMWであり、その原材料としては浅層の循環性地下水からなる湧水や鉱水等であった。比較的無機イオン成分の濃度は低く、その組成も比較的似ているものであった。一方で、熱水・化石水や停滞性地下水などが混合し、特定の無機イオン濃度が高く、そのイオン組成も個性的なミネラルウォーター類も認められた。今回測定した試料の多くはおいしい水の指標OIの要件値を満たしていたが、中でも溶存ケイ素と硫酸イオンがおいしい水の要件に関わる重要な成分であることが示された。さらに、おいしい水の中のおいしい水の指標TTWIに該当するものは、調べた26種類中2種類であった。それらの採水地、無機イオン濃度やその組成は非常に似通っており、特定成分の特徴よりも、おいしい水としてイオンバランスがとれているものであった。本研究により、これまでに報告されているおいしい水の指標を用いることで一定の評価が得られたが、得られた結果に官能試験等による評価等を併せて検討する必要がある。

謝 辞

本研究における水道水の採取に水質化学研究室の今誠一郎氏にご協力いただきました。ここに記して感謝を申し上げます。

引用文献

- 1) 橋本淳司, 2007. おいしい水きれいな水. 日本実業出版社, 東京.
- 2) 日本ミネラルウォーター協会, 2017. ミネラルウォーター類の統計資料. URL. <http://minekyo.net/publics/index/5/> (2017 年 3 月時点).
- 3) 飯盛喜代春, 飯盛和代, 2001. 身近な環境科学 (改訂). 開成出版, 東京.
- 4) サントリー, 2002. ミネラルウォーターの現状と今後. 食品と科学 44(9), 50-53.
- 5) 農林水産省, 1999. ミネラルウォーター類 (容器入り飲用水)の品質表示ガイドライン. URL. <http://minekyo.net/files/lib/1/27/201506041456502355.pdf> (2017 年 3 月時点).
- 6) おいしい水研究会, 1985. おいしい水について. 水道協会雑誌 54(5), 76-81.
- 7) 川合信行, 浜下一正, 畑本仁美, 中島一郎, 1994. 多変量解析による自然水の味の解析と, 成分によるおいしさの判別. 日本食品工業学会誌 41(11), 778-784.
- 8) 川合信行, 浜下一正, 畑本仁美, 中島一郎, 1994. 多変量解析による市販ミネラルウォーターの味の解析. 日本食品工業学会誌 41(11), 810-820.
- 9) 岩永千尋, 佐々木健, 1996. ファジィ推論を適用したおいしい水の判定. 水環境学会誌 19(3), 209-219.
- 10) 橋本奨, 古川憲治, 南純一, 1985. ミネラルバランスからの飲料水の水質評価に関する研究 (第 1 報) ミネラルウォーターの調製と官能試験. 日本水処理生物学会誌 21(2), 19-24.
- 11) 橋本奨, 藤田正憲, 古川憲治, 南純一, 1988. ミネラルバランスからみた飲料水の水質評価に関する研究. 水処理技術 29(1), 13-28.
- 12) 菅原龍幸, 崔榮美, 佐々木弘子, 1999. 日本市場に見られるミネラルウォーター類の性状について. 日本食生活学会誌 10(1), 34-48.
- 13) 篠原寿子, 飯盛勝義, 2006. 中津市近郊の湧水, 水道水および市販ミネラルウォーター類の水質評価. 東九州短期大学研究紀要 11, 15-24.
- 14) 熊谷昌則, 大野剛, 高橋仁, 中田健美, 2007. 秋田の水のミネラルバランスと味覚センサ応答パターン. 秋田県総合食品研究所報告 9, 5-9.
- 15) 川越保徳, 岩佐康弘, 湯之上勉, 前田香織, 富家男, 柿本竜治, 2009. 熊本市飲用地下水水質の特徴とおいしい水としての評価に関する考察. 水環境学会誌 32(7), 383-388.
- 16) Horui, D., Koo, C. M., 2015. Water quality evaluation of PET bottled water by mineral balance in the Northeast Asian region: A case study of South Korea. Yonago Acta medica 58(3), 115-122.
- 17) 日本水道協会, 2011. 上水試験方法, 日本水道協会, 東京.
- 18) Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., Greenberg, A.E., 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. APHA-AWWA-WFE, Washington, D.C., USA.
- 19) 工業用水試験方法, 1998. JIS K 0101-1998.
- 20) 佐藤ひろみ, 1999. ミネラルウォーター類のラベル表示の考察 — 国産ミネラルウォーターと外国産ミネラルウォーターの水質及び衛生面に関する表示の比較 —. 生活科学研究 21, 27-55.
- 21) 北海道総合政策部政策局土地水対策課, 2016. 北海道の水資源 平成 27 年度版. URL. <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/stt/hokkaidononizushigen.htm> (2017 年 3 月時点).
- 22) 小野日奈子, 濱田浩美, 2009. ミネラルウォーター類の水質分析と飲用水に対する意識調査. 千葉大学教育学部研究紀要 57, 355-371.
- 23) 厚生労働省医薬食品局食品安全部長, 2014. 乳及び乳製品の成分規格等に関する省令及び食品, 添加物等の規格基準の一部改正について. URL. <http://minekyo.net/files/lib/1/23/201501071416492110.pdf> (2017 年 3 月時点).
- 24) 尾山洋一, 高橋正明, 塚本斉, 風早康平, 安原正也, 高橋浩, 森川徳敏, 大和田道子, 芝原暁彦, 稲村明彦, 2011. 日本列島の非火山地域における深層地下水水質と地質との関係について. 原子力バックエンド研究 18(1), 25-34.
- 25) 綿貫邦彦, 1985. 水質の表現と解析. 日本地下水学会会誌 27(3), 105-108.

Abstract

Characterization of water quality in 38 bottled mineral waters from Hokkaido was investigated based on ion concentration, ionic composition, good-tasting water (Oishii-mizu) index (OI) and truly tasty water index (TTWI). Most bottled waters from Hokkaido were natural mineral water from shallow groundwater, which had relatively low concentration of inorganic ions and similar ionic compositions. On the other hand, there were a few unique bottled waters being partly mixed with the groundwater with high concentration of specific inorganic ions. Due to their OI values within criteria, most of the bottled waters and tap waters obtained from Ebetsu City were classified as tasty water, which was rich in silicon dioxide and poor in sulfate ion. These two components were the most important factors. This result suggested that the bottled waters from Hokkaido met the water quality requirements within a good-tasting range. Two of the bottled waters were showed as a truly tasty water based on TTWI within the range from 10 to 20. These two mineral waters had a similar and balanced ionic compositions, which indicated that they were produced from almost the same sampling site.