

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月20日現在

機関番号：34436

研究種目：基盤研究（c）

研究期間：平成21年度～平成23年度

課題番号：21500770

研究課題名（和文）ミネラルバランスと水構造の解析に基づいたおいしい水指標の提案

研究課題名（英文） The relationship between mineral concentrations and taste of Japanese tap water

研究代表者

池 晶子 (IKE AKIKO)

羽衣国際大学・人間生活学部・食物栄養学科・准教授

研究者番号：70379139

研究成果の概要（和文）：水道水に含まれるミネラル成分の種類やバランスがどのように味に貢献しているかを分析した。国内14地域で供給される水道水を対象に、「順位法」と「基準比較法」の2種類の官能試験を行い、ICP-MSで分析した微量ミネラル成分濃度との相関を遺伝的アルゴリズム解析と部分最小二乗法にて解析した結果、元素Li、Fe、Cu、Mo、Pbの味への関与が示唆された。また、主成分解析でも同様の結果が得られた。FeとLi濃度と、味の評価値の関係をクロス集計にて調べたところ、高濃度のFeに低評価を示し、高濃度のLiに高評価を示す割合が多いことが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The relationship between mineral concentrations and the taste of tap waters was investigated in this study. Ninety-seven students, without previous training for sensory evaluation, participated in two methods of tasting tests, “the ranking method” and “the relative evaluation method” to evaluate the taste of tap waters. The bottled tap waters were supplied from 14 areas in Japan. By statistical analysis of semi-quantitative analysis of mineral concentration by both genetic algorithm and partial least squares, it was suggested that contribution of Li, Fe, Cu, Mo, and Pb on the taste of water was confirmed. The principal component analysis also supported the obtained results. The cross tabulation of the data revealed that a high concentration of Fe tends to result in decrease of evaluation of the taste of tap waters, while that of Li in increase of evaluation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成21年度	1,600,000円	480,000円	2,080,000円
平成22年度	1,100,000円	330,000円	1,430,000円
平成23年度	700,000円	210,000円	910,000円
総計	3,400,000円	1,020,000円	4,420,000円

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・食生活学

キーワード：水道水，味，官能試験，ミネラル成分，統計解析，ICP-MS 分析

1. 研究開始当初の背景

日本の水道水は、概ね飲用してもえぐみや渋みなどの少ない軟水であり、水質基準にのっとって安全性も確保されている。それにもかかわらず、市場では多種類のミネラルウォーターが販売され、飲み水や調理用の水として購入されるようになってきている。これは、従来の水道水のカビ臭問題や水道水中の微量有機塩素化合物（トリハロメタン等）の発ガン性への懸念といったマイナスイメージと、市販のミネラルウォーターに付与された「安全・美味しい・ミネラル補給ができ健康に良い」といったイメージが、「水道水はまずい」という固定観念につながっていると推察される。一方、飲み水の美味しさに貢献する要因については、旧厚生省のおいしい水研究会が1985年に「おいしい水の要件」を作成し、蒸発残留物、硬度、遊離炭酸などを項目に挙げている。

「おいしい水の要件」にも示されているように、一般に、日本人には硬度の高い海外の水より軟水に馴染みがあり、美味しく感じるとされる。Esumiらはミネラルウォーターの硬度との嗜好性を調べ、硬度が約50mg/Lの水がもっとも美味しいと評価されることを報告している（Esumi et. al 1999）。国内の水道水は硬度がほとんど100mg/L以下の軟水であるが、含まれているミネラル種やバランスは地方により一様でなく、味にも差があると予想される。1985年に国内各地の水源から「名水百選」が当時の環境庁に選定され、2008年には「新・名水百選」が加えられた。日本地下水学会はこれら名水に含まれる Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} といった陽イオンと HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} といった陰イオンの含有量を調べ、それ

らの特性から、いくつかのパターンに分類できることを報告している（「新・名水を科学する」2009）。

2. 研究の目的

水道水の飲み水としての質、イメージ向上を主眼として、ミネラルバランスと水の近距離構造に焦点を当て、国内外の市販ミネラルウォーターおよび水道水の特性を明らかにする。カルシウム、マグネシウム、カリウムなどの主要ミネラル元素に加え、極微量に含まれている多種類のカチオン濃度を精査するとともに、X線小角散乱（SAXS）にて水の近距離構造解析を行う。また、味覚官能試験調査を行って水質分析値との相関を求め、飲み水のおいしさに強く影響する要件を明らかにする。以上より、新しい「水のおいしさ指標」を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 水道水サンプル

各地の自治体は供給する水道水から消毒用塩素を取り除きボトルウォーターとして販売している。本研究ではこれらのうち、14地域の水道水サンプルを調査対象に用いた（表1）。一般に総硬度が100mg/L以下の水が軟水と定義されるが、14サンプル水の総硬度は18 mg/L ~ 82 mg/Lで、全て軟水であった。以後、表1の水道水サンプルにランダムにA~Nの記号を付けて示す。

表1 水道水サンプル

名称	都道府県	総硬度 (mg/L)
さっぽろの水	北海道	26
ブナの雫	青森	18
柳都物語	新潟	23
さいたまの水	埼玉	40
ひたちの水	茨城	22
東京水	東京	76
水のきらめき	神奈川	82
泗水の里	三重	50
堺災害備蓄水	大阪	47
ほんまや	大阪	40
水郷松江古代水	島根	33
おかやまの水	岡山	38
湯浴み水	大分	25
那覇市のおいしい水道水	沖縄	58

(2) 味覚官能試験

以下に示す順位法と基準比較法の2種類の方法で、羽衣国際大学の学生をパネラーとして味覚官能試験を行った。パネラーには特に官能評価のトレーニングは行っていない。

① 順位法

順位法での官能試験は2回に分けて行い、1回に8種類の水(常温)を試飲した。パネラーは名称を伏せたサンプル水を一口ずつ味わい、おいしいと感じる順から1~8位の順位をつけた。試験日1にはサンプル水A、B、C、D、E、F、G、Hを53名のパネラーが試飲し、試験日2にはA、B、I、J、K、L、M、Nを51名のパネラーが試飲した。2回にわけて得られた順位を一括化するため、どちらの試験でもAとBを内部標準として含めた。

② 基準比較法

順位法の場合、初めに試飲した水と最後に試飲した水の順位付けが難しく、また、別日に異なるサンプル水で行った試験では気温・湿度・体調など環境要因が異なってしまうという難点があった。その点を改善すべく、基準比較法では比較基準となる水(基準水)を設定し、それぞれのサンプル水と基準水との相対評価により評価した。基準水には大学

で採取した水道水を一度沸騰させて塩素を取り除き、氷水に浸して急冷後ペットボトルに入れ冷蔵庫(4℃)で試飲直前まで保冷したものを用いた。サンプル水もすべて4℃に温度調整した。官能試験は2回に分けて行い、試験日3にはサンプル水D、E、G、I、J、K、Mを53名のパネラーが試飲し、試験日4にはA、B、C、F、H、Lを44名のパネラーが試飲した。

基準比較法に用いた記入シートを図1に示す。評価項目は「美味しさ」に加えて、「美味しさ」の要因となると予想される「爽快感」「喉越し」「軟らかさ」「後味」「飲みやすさ」を加え、合計7項目を設定した。それぞれの項目に段階分けしたバーを示し、その中点である「4」を基準水の評価値とした。

(3) ミネラル成分分析(ICP分析)

ICP-MS(Ar gas) Agilent 7500Sにて、71の元素の半定量分析を行った。

(4) 統計処理

順位法と基準比較法で行った味覚官能試験結果、およびICP-MS分析結果に対して統計解析を行った。解析ソフトには、遺伝的アルゴリズム解析および部分最小二乗法(PLS)にはChemishを、主成分分析およびクロス集計にはSPSS Categories(IBM)を、共分散構造分析にはSPSS Amos(IBM)を使用した。

4. 研究成果

(1) 味覚官能試験結果

① 順位法

順位法による味覚官能試験で得られた各サンプル水の順位の平均を内部標準であるAとBとと比較することにより、3段階のおいしさレベルに分類したところ、レベル1に2種類、レベル2に6種類、レベル3に6種類の水道水が分類された(表2)。

表2 各サンプル水のおいしさレベル

おいしさレベル	サンプル水
1 (高評価)	I B
2 (中程度)	D E F G M A
3 (低評価)	H C N J L K

② 基準比較法

基準比較法による味覚官能試験から得られた美味しさの評価値を表3に示した。数値が大きいほど高評価であることを示す。

表3 基準比較法による味覚官能試験結果

サンプル水	美味しさ評価
I	4.36±1.43
L	4.34±1.24
M	4.25±1.09
D	4.15±1.26
C	4.07±1.32
B	4.00±1.33
K	3.91±1.38
G	3.68±1.00
J	3.66±1.30
F	3.64±1.35
H	3.61±1.48
E	3.51±1.49
A	3.16±1.24

(2) 微量元素の美味しさに及ぼす影響 (PLS 回帰を用いた統計解析)

ICP-MS で測定した微量ミネラル成分量 72 種の元素のうち、一般的に飲み水と無関係な希土類などの 52 種の元素を人為的に除き、次に順位法で得られた「おいしさレベル」とミネラル成分含有値に対して遺伝的アルゴリズム解析を行ったところ、Li、K、Ca、Fe、Ni、Cu、Br、Mo、W、Pb の 10 種の元素が味覚に関わる要因として抽出された。これらの含有値は、PLS を用いておいしさレベルに直線回帰できることが確認された

同様に、基準比較法で得られた「美味しさ」の評価値についても解析したところ Li、B、

Mg、Al、Fe、Cu、As、Mo、I、Pb が重要要因の可能性を示す元素として抽出された

順位法と基準比較法の 2 種の味覚官能試験で、Li、Fe、Cu、Mo、Pb が共通して味覚への寄与が示唆された異なる官能試験方法である順位法と基準比較法で抽出されていることから、これらの元素が美味しさに寄与している可能性が高いと考えられる。

(3) 主成分分析

72 種の元素から一般的に飲み水と無関係な希土類などの 52 種の元素を人為的に除き、主成分分析を行った。Li、B、Na、Mg、K、Ca、Fe、Co、Zn、Mo、I、Pb で主成分得点が高かった。これらの結果は PLS 解析の結果と矛盾しなかった。

このように、2 つの官能試験結果の PLS 解析や主成分分析から抽出された重要因子が重複していることから、水の美味しさにはこれらのミネラルが大きく寄与しているといえる。

(4) クロス集計

味覚官能評価に関与するとして抽出された Li、Fe、Cu、Mo、Pb のうち、比較的水道水で含有量の多い Fe と Li について、基準比較法の「美味しさ」評価との関係を調べるクロス集計解析を行った。試験日 4 に味覚官能試験を行った水道水を Fe 濃度の高いサンプル、低いサンプル、中間のサンプルの 3 グループにわけ集計した。表 4 に示すように、低評価をしめす美味しさ評価 1 あるいは 2 と評価されたもののうち Fe 濃度が高濃度のサンプルが 49% を、中高濃度を合わせると 97% を占め、多くが Fe 濃度の比較的高いサンプルであった。一方、高い評価である 6 あるいは 7 がついたサンプルでは Fe が低濃度から中濃度のサンプルが合わせて 92% を占めた。これ

らの結果より、該当の Fe 濃度域では、Fe は美味しさにとってマイナスに影響することが示唆された。

一方 Li 濃度についても同様にクロス集計を行ったところ、全体として比較的高濃度の Li に高評価を示し、低濃度の Li に低評価を示すパネラーの割合が多いことが分かった。

表 4 Fe および Li 濃度と評価値のクロス集計

	低評価 (評価 1, 2)	中評価 (評価 3,4,5)	高評価 (評価 6,7)
Fe 低濃度	2	147	42
Fe 中濃度	38	372	104
Fe 高濃度	38	248	13
計	78	767	159

	低評価 (評価 1, 2)	中評価 (評価 3,4,5)	高評価 (評価 6,7)
Li 低濃度	32	265	39
Li 中濃度	22	260	48
Li 高濃度	24	242	72
計	78	767	159

これまでに飲み水のミネラル成分と味の関係を調べた研究では、Na、Mg、Ca など水に多く含まれる主要ミネラル成分に焦点があてられ、本研究のように微量ミネラル元素影響を調べた研究は少ない。本研究の 1 つ目の成果は飲み水に極わずかに含まれるミネラル成分のうち味の評価を左右する因子を抽出したことである。さらに、2 つ目の成果として Fe と Li については、クロス集計を行い、含有濃度の高低に対する味の評価の傾向を示した。Fe や Li は水道水の味のみならず、飲用地域の人々の健康に影響を与える成分である。今後は、毎日利用する水道水の味と健康影響の関連性についても明らかにしていく必要がある。

5. 主な発表論文等 (研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

池 晶子, 水道水の味に貢献するミネラル成分, 日本食品科学工学会 第 58 回大会, H23 年 9 月 11 日, 仙台

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池 晶子 (IKE AKIKO)

羽衣国際大学・人間生活学部・食物栄養学科・准教授

研究者番号: 70379139

(2) 研究分担者

和田野 晃 (WADANO AKIRA)

羽衣国際大学・人間生活学部・食物栄養学科・教授

研究者番号: 40081575

川瀬 雅也 (KAWASE MASAYA)

長浜バイオ大学・バイオサイエンス学部・教授

研究者番号: 90224782