

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15121

研究課題名（和文）水道水の水質特性から読み解く日本の水環境の特徴

研究課題名（英文）Clarifying the characteristics of Japan's water environment from the quality of tap water in Japan

研究代表者

堀 まゆみ（Hori, Mayumi）

東京大学・教養学部・特任助教

研究者番号：50782869

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：日本の水環境の潜在的な部分を「可視化」するため、日本の水道水について全国的な大規模な水質調査を行った。日本全国47都道府県990地点の水道水を採水し、加えて、海外28か国の水道水も採水し比較することで、日本の水道水の水質について地域分布を示した。硬度に着目すると、日本の水道水の硬度の平均は50.9 mg/Lであり、都道府県別に見ると関東地方で高く、北日本で低いといった特徴があった。硬度は原水の水質に由来し、浄水過程や供給栓配水過程で20%の硬度の変動の可能性はあるものの、供給される日々の硬度変動は安定しており、水道管による影響はないことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の水道水について全国レベルの網羅的分析はこれまで例がなく、本研究による水道水の性質を特徴づけた大規模調査のデータは、基礎的データとしてさまざまな分野で広く活用される有用な知見となり、大きな学術的意義があると考えられる。また、水道水の最大消費者である一般市民にとっても有用なデータとなり得ることから、社会的インパクトは大きいものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：We conducted a comprehensive overall tap water hardness assessment for Japan. Tap water was collected from 990 points throughout Japan, and its standing position was quantitatively clarified by prefecture. Compared with 28 countries, tap water in Japan exhibited low-mineral content and presented as soft water. Japanese tap water hardness was 50.9 mg/L and that was classified as soft water, but its distribution was large throughout the country. The change of tap water hardness in the Japanese supply system and revealed that the hardness variation range can change 20% during water purification processes and in the tap water-supply systems. A comparison of the variations in hardness showed that there was no daily fluctuation in hardness and it was generally stable. In Japan, the hardness of tap water was not affected by piping but by the quality of the raw water.

研究分野：環境分析化学

キーワード：水道水 水質調査 硬度 日本国内分布

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

水道水は、毎日の生活の中の基本的資源であり、飲用や料理、洗濯などの生活用水のみならず、農業・製造業など幅広い産業で利用されており、日常の生活に必ず使われるものである。その水道水質について、有害物質という観点においては精力的な研究が行われているが、環境中に広く存在する物質については、日本全国網羅的に調査した研究例はなく、基礎データに乏しい現状があった。加えて、水道水の利用者である一般市民が水道水質について簡単にアクセスでき、他地域との水質の水平比較ができ、納得できる情報が少ない現状もあった。現時点での水質を測定し、水質を数値として「見える化」し公開することは、消費者にとっても貴重な情報となる。

2. 研究の目的

普段身近に接する「水道水」に着目し、有害/無害にかかわらず多くの元素を網羅的に高精度で分析し、水質特性や分布を示すことを目的とした。高感度かつ網羅的な水質調査により、微量から高濃度まで元素濃度分布を明らかにすることで、日本の水環境の潜在的な部分の「可視化」を試みた。

3. 研究の方法

(1) 試料採取

研究期間内において、日本全国 47 都道府県 1090 地点の水道水および地下水を採取した。水道水は、個人宅や駅などの公共施設の水道水栓から採取した。地理的に代表され人口の多い都市を優先的に採取し、かつ多くの自治体のデータを収集できるように、採取地点が重ならないように水道水を採水した。採取にあたっては、水道水源などの細かい条件は指定していない。同時に、日本の水道水の特徴づけるために、日本以外のヨーロッパ、アフリカ、アジアの 28 カ国、155 地点の水道水を採取した。

採取には、ポリエチレン製の容器を用い、水道水栓から直接採取した。採取前には、数分その水道水を流したままにし、滞留水を排除したのち、容器を共洗いし、できるだけ気泡が入らないように容器を満たし、水道水を採取し保存した。測定が可能な場合には、pH を Merck MQuant StripeScan を用いて、in-situ で測定した。

(2) 試料分析

試料は、ICP 発光分光分析装置(Agilent, ICP-OES 720)を用いて、無機元素 24 種(Al, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, Sr, Te, Tl, Zn)、およびイオンクロマトグラフィー(Shimadzu, Prominence)により陰イオン 7 種(F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , Br^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-})の定量分析を行った。河川水など懸濁態が確認できた試料については、0.45 μm メンブレンフィルターでろ過を行い、分析に供した。

4. 研究成果

(1) 水道水の硬度からみた日本の水道水の特徴

水質特性を評価するにあたり、まず味に関わる水質指標の一つである「硬度」に着目した。水の硬度は水中の Ca および Mg の濃度で決定される最も単純な水質指標の一つである。日本の水質を特徴づけるために、ヨーロッパ、アジア、アフリカ、アメリカ、オセアニアの国々 28 カ国 155 地点の水道水を採取し、硬度を比較した。各国の硬度分布を図 1 に示す。各国の硬度の算術平均値(1 S.D.)としては、フランスでは 183.5 ± 65.5 (n=18)、ドイツでは 187.1 ± 70.9 (n=11)、アフリカのザンビア 362.3 ± 111.9 (n=6)、ハワイ 124.5 (n=1)、タイ 163.6 ± 121.6 (n=19)、中国 113.8 ± 19.8 (n=7)、ニュージーランド 37.8 ± 13.1 (n=3)、日本 50.9 ± 28.7 (n=990)であった。世界保健機関(WHO)の分類では、硬度 120 以下が軟水、120 以上を硬水としている。ヨーロッパ、アフリカの水道水は硬水である傾向がみられ、日本は軟水であることが明確にわかる。本研究では、サンプル採取国に偏りがあるため、傾向を把握するのみにとどまるが、水道水の硬

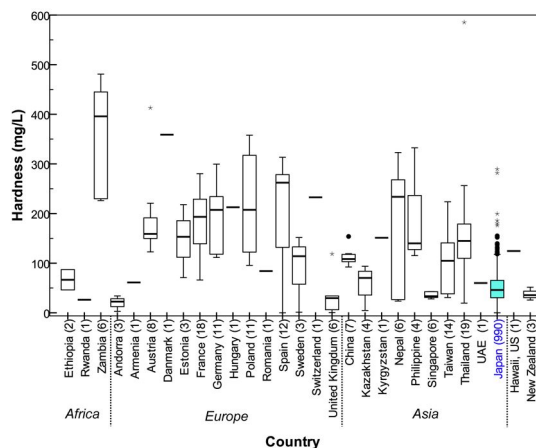


図 1 国別水道水の硬度分布。ボックスは四分位範囲、中央値は太線、外れ値は丸印またはアスタリスクで示す。括弧内は、各国のサンプル数を示す。

度は世界で幅広い分布をしていることが、本研究の調査を通じて明らかになった。今回採取したタイやネパールの水道水は、茶褐色に着色しているものや保管の過程で苔が発生したものがあつた。これらについて飲用可否はわからないが、世界で水道水の衛生環境はさまざまであることがわかつた。

次に、日本の水道水の都道府県別平均硬度の分布を図2、3に示す。日本の水道水の硬度(n=990)は、最低が0.101 mg/L、最高が289 mg/L、平均値は 50.9 ± 28.7 mg/L、中央値は、46.1 mg/Lであつた。日本の水道水はミネラル分が低く、軟水と分類されていることはよく知られていることではあるが、硬度の分布は幅広く、地域別にヴァリエーションに富む結果が得られた。その中でも、関東地方の硬度が高い傾向にあり、北海道・東北地方が低い傾向を示した。関東地方の中でもとりわけ硬度の高い千葉、埼玉、東京は、利根川下流域を主要な水源としているため、原水として取水されるまでの滞留時間の長さに加え、流域の人間活動の影響から、硬度が高くなると考えられる。熊本県や沖縄県の水道水も硬度が高い傾向にあり、原水を地下水とするか否かなどの地域の特徴や母岩の影響によるものである。

(2) 硬度の変動

日々の硬度の変動を調査するため、2020年6月22日から連続した5日間の原水と浄水を採取した。原水として、東京都の水道水源である秋ヶ瀬取水堰(荒川水系)にて河川水を採取した。浄水には、この原水が処理される朝霞浄水場正門前に設置してある給水栓をフレッシュな浄水とした。5日間を通して、原水と浄水の硬度の変動は非常に小さく、変動係数(CV)はそれぞれ3.6%と2.4%であつた。同一日における原水から浄水への過程での硬度の変化はやや変動がみられたものの、浄水施設での滞留時間を考慮してもほぼ一定とみなせた。これより、浄水の硬度は原水の硬度にほぼ一致し、浄水場の硬度の変動は原水の硬度の変動に由来しているといえる。

年間の硬度の変動を調査するため、同じ水道水栓で1年間(2021年4月 - 2022年3月)にわたる定点観測を国内3か所で行つた。地域としては、利根川下流域河川水を原水とする東京都杉並区、原水の8割が地下水である東京都武蔵野市、信濃川下流域河川水を原水とする新潟市の水道水を選定した。各水道水栓で、Ca, K, Mg, Na, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻の濃度変化は同じ挙動を示した。地下水を主な原水とする水道水では、水質の年間変動は小さい一方で、河川水を原水とする水道水では、年間で約20~25%変動することが明らかになった。また、新潟市と杉並区の水道水では春季(3月~5月)に濃度が減少する傾向が観測された。これは、河川上流域での雪解けによる希釈の影響と示唆された。

硬度の変動を詳細に調べるため、原水から浄水場を経て、水道水として供給されるまでの動態を評価した。日本全国を評価するにあたり、比較的軟水を示す広島県と宮城県、平均的な硬度を示す大阪府、高い硬度を示す熊本県と東京都、千葉県との6都府県を選定した。原水と浄水のデータは、地方自治体によって発行された水質報告書から取得した。これらのデータは、原水と浄水、および浄水と水道水が1対1に対応している地点を評価に用いた。水の硬度の変動を評価する手法として、原水の硬度と浄水の硬度の比(R/P)および水道水の硬度と浄水の硬度の比(T/P)を用いる独自の指標を提案し評価した。R/PとT/Pの比が1.0の場合、浄水過程もしくは供給過程で水の硬度に変化はないと判断し、比の1.0との差を使用して、硬度の増減を評価した。

R/P比の変動幅は0.8~1.2であり、水の硬度に関わらず、浄水過程で硬度が $\pm 20\%$ 変化することを示した(図4A)。また、浄水場から水道水までの配水過程での変化の指標であるT/P比の変

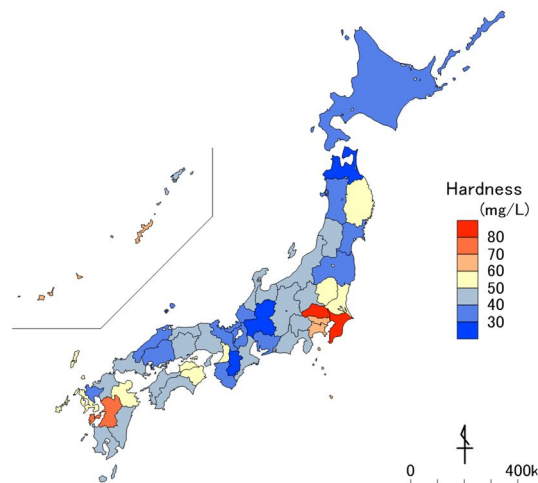


図2 日本の水道水の都道府県別平均硬度分布地図。赤色になるほど硬度が高い硬水、青色は硬度が低いことを示す。

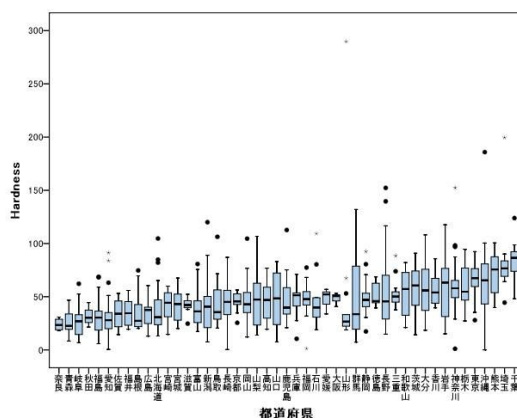


図3 都道府県平均に基づく日本の水道水の硬度分布

動幅は0.8~1.2で、浄水場から水道供給まで±20%の変化があることを示した(図4B)。これより、硬度の変動幅は、日本のどの硬度の地域でも、浄水過程や水道水供給過程で±20%変化する可能性があることが明らかになった。水道管の成分や水道水配水システムを加味すると、供給される水道水の硬度は、浄水の水質、ひいては原水の水質に由来することがわかった。これより、配管が硬度に与える影響はなく、原水の水質に由来していることが示された。日本では水道水の主な供給源が表流水であるため、原水の水質が水道水に反映される傾向がある。水道水の硬度が通常よりも特に高い場合は、原水の水質が通常とは異なっていることが想定される。日本の水道水の硬度は、年間を通じて季節変動が見られるものの、日々の変化はほとんどなく安定していることが確認された。

(3)微量金属元素の挙動

Cu、Fe、Ni、Znなどの金属元素の検出は地域に因るものではなく、水道を供給する管内別に濃度が異なる傾向があった。そこで、浄水場で作られた浄水と配管を通して供給される水道水の水質比較を行い、供給配管が水質へ及ぼす影響を評価した。浄水場の浄水については、浄水場から直接入手が困難だったため、各自治体が頒布しているペットボトル入りの浄水(水道水)を試料として用いた(以下、浄水 PET 水とする)。浄水中の水質とその浄水場が立地する周辺の水道水の水質を比較すると、Ca や Mg 濃度、硬度については差異がない一方で、Cu、Fe、Znについては、浄水 PET 水では不検出(検出限界以下)であるものの、周囲の水道水からは検出された。これより、浄水場から各施設への供給過程での金属元素の混入が示唆された。この原因として、水道を供給する給配水管などインフラ設備に由来するものと推察された。

年間での検出状況としては、各元素ともに1年を通して一定の濃度で検出されず、検出限界以下となることもあり、変動が大きかった。ただ、水道水質基準値を超えて検出されることは稀であり、ほとんどが基準値を十分に下回っていた。微量金属元素の検出状況は日本国内で点在していることから、地域性や季節性のものではなく、供給配管などのインフラ設備、または突発的な原水の水質変化が原因と考えられた。

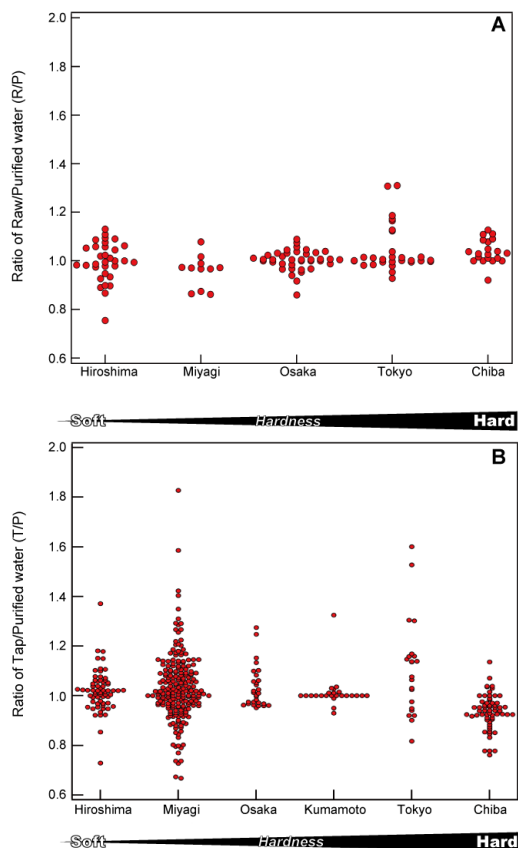


図4 硬度変動指標であるR/PとT/P比の分布。広島・宮城(比較的軟水地域)、大阪(平均的な硬度)、東京・千葉(比較的硬水地域)について示す。熊本県は浄水と水道水のデータのみ。A) R/P比、B) T/P比。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Querfeld Rebecca, Hori Mayumi, Weller Anica, Degering Detlev, Shozugawa Katsumi, Steinhäuser Georg	4. 巻 54
2. 論文標題 Radioactive Games? Radiation Hazard Assessment of the Tokyo Olympic Summer Games	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 11414 ~ 11423
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.est.0c02754	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hori Mayumi, Shozugawa Katsumi, Sugimori Kenji, Watanabe Yuichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 A survey of monitoring tap water hardness in Japan and its distribution patterns	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13546
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-92949-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

水の硬度の分布地図、ウェブ一般公開 https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1F54rvmQzNr64zLUDT6LzjNg_QGMhXFPC&usp=sharing 【研究発表】あなたの水道水、「硬さ」調べました ~ 日本全国水道水の硬度分布 ~ https://www.c.u-tokyo.ac.jp/info/news/topics/files/20210629watanabe_horisoubun01.pdf 水道水の味は日本全国同じ？水道水の硬度分布の可視化の試み（東京大学「教養学部報」第631号） https://www.c.u-tokyo.ac.jp/info/about/booklet-gazette/bulletin/631/open/631-02-3.html
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------