

(3) 簡易分析法の開発

迅速に測定できる簡易法を考案した。キレート滴定法で使用するコニカルビーカーを使用せず 30mL のスクリー管を使用した。薬品はスポイト瓶に入れ、体積は滴数で計測をした。EDTA 1 滴は 0.06mL である。



① 試料水 5 mL に緩衝溶液を 10 滴



② EBT 溶液を 1 滴を加える。(赤くなる)



③ EDTA 溶液を溶液が青くなるまで滴下する。

(計算： 硬度 = EDTA の滴下数 × 12)

図 2 簡易法

試料水は、5 mL について分析をする。まず試料水に緩衝液を 10 滴加えて pH を 10 にしてから EBT 指示薬を 2 滴加えると赤くなる。次に EDTA を溶液が青くなるまで加える。EDTA 溶液の滴下数を 12 倍すれば硬度になる。公定法と同じ試薬をし、体積だけを少なくした。また溶液 1 滴の体積を計測してポペットやビュレットを使用しない方法とした。

(4) 簡易法の精度の検証

キレート滴定法とその簡易法を比較し、簡易法の信頼性を検証した。試料水は水道水（加藤学園高等学校）とミネラルウォーターの南アルプスの天然水（軟水）と EVIAN（硬水）の 3 種類を使用した。（表-1）

表 1 キレート滴定法とその簡易法との比較

	南アルプスの天然水 (軟水)	EVIAN (硬水)	水道水 (沼津市)
キレート滴定法	40	255	85
簡易法	48	276	84

3 種類の試料水でキレート滴定法とその簡易法で分析を行った。南アルプスの天然水（軟水）EVIAN（硬水）水道水の 3 種類とも値が近くなり、簡易法の信頼性は高いものと判断した。

3 飲料水の官能試験

飲料水の味について、ミネラルウォーターと水道水の飲み比べ試験を実施し、水の硬度と味との関係を考察した。また、残留塩素の測定も実施した。残留塩素測定器は一般的に使われている DPD 法によるものである。



図 5 飲料水の官能試験



図 6 残留塩素測定器

表2 官能試験の結果

試料水	Evian	いろはす	美味しい水	温泉水	水道水	精製水
評価	×	◎	△	○	△	○
感想	変な味 口に残る味 苦み	すっきりと している 飲みやすい 味がなめら か	美味しい 甘みがある なめらかな 甘み	甘い 美味しい	スッキリし ている 一番水らし い 味がしない	味がしない 普通
硬度	276	48	36	(12以下)	48	(12以下)
残留塩素 (ppm)	0	0	0	0	0.2	0
pH	7.8	7.1	7.5	8.6	7.1	7.3
水温 (°C)	25	25	25	25	25	25

全ての飲料水のラベルを隠し、銘柄がわからないようにした。温度は室温の25°Cにそろえ、6名の参加者で飲み比べをした。味の評価は ◎大変おいしい ○おいしい □ふつう △あまりおいしくない ×おいしくないの5段階とした。表-2では6名の平均値である。学校の近くのスーパーで購入した4種類のミネラルウォーターはEVIANが中硬水で、他は全て軟水であった。味は中硬水のEVIANの評価が低く、全員が飲みにくいという結果になった。硬度は低い方が飲みやすいようである。最も評価が高かったいろはすで硬度は48を示した。軟水の基準が硬度100以下だが、その半分以下の硬度であった。但し、水道水が同じ硬度48であるのに水道水の評価がやや低くなっている。水道水に残留塩素が0.2ppmの濃度で認められ、いろはすでは検出されないのがこれが影響している可能性がある。残留塩素による水の味への影響は今後の研究課題にしたいと思う。また、いろはすよりも硬度が低い「美味しい水」もやや評価が低くなっています。これにより硬度だけで水のおいしさは決まらないと思われる。硬度はカルシウムイオンとマグネシウムイオンの量で決まる。カルシウムイオンとマグネシウムイオンの味が同じとは考えられない。カルシウムイオンとマグネシウムイオンのそれぞれの濃度を測定し、その割合を計算した。

4 Ca²⁺とMg²⁺の比

pH10でEDTAを使ってCa²⁺とMg²⁺の合計を測定できる。⇒A

pHを12するとMg²⁺は沈殿して反応しないのでCa²⁺だけを測定できる³⁾。⇒B

A-Bでマグネシウムイオンの値になる。



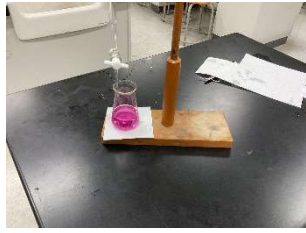


図7 Ca²⁺の分析
NN指示薬で赤色

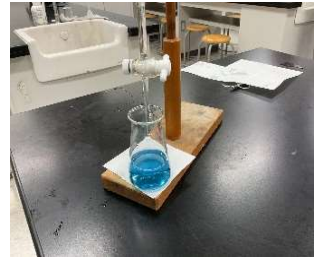


図8 Ca²⁺+Mg²⁺の分析

水道水といろはすで、カルシウムイオンとマグネシウムイオンのそれぞれの濃度を測定した。

表3 Ca²⁺/Mg²⁺の比

	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Ca ²⁺ /Mg ²⁺
いろはす	9.84	3.89	2.52
水道水	12.03	4.86	2.46

結果は、差はほとんど認められず、この場合の味の差はイオン比ではないことがわかる。つまり、水道水といろはすの味の差は残留塩素の有無である可能性がある。今後、多くの試料水でCa²⁺/Mg²⁺の比を求め、水の味とイオン比の関係を考察したいと思う。

5. 残留塩素の除去

水道水に含まれる残留塩素が味に影響を与えている可能性があるため、水道水から残留塩素を取り除く方法を試みた。

(1) くみ置き 表4

試料水	水道水	12時間	24時間
残留塩素 (ppm)	0.2	0	0



図9 くみ置き

くみ置くだけで塩素が除去できた。短い時間での実験をしたいと思う。

(2) 日光に当てる 表5

試料水	水道水	10分	30分	60分	90分
残留塩素 (ppm)	0.2	0.1	0	0	0



図10

日光に当てると僅か10分で残留塩素が半分になり、30分で除去できた。

(3) 煮沸 表6

試料水	水道水	5分
残留塩素 (ppm)	0.2	0

5分の煮沸で残留塩素が除去できた。



図10

(4) レモン果汁

表 7

滴数／水道水 200mL

試料水	水道水	1 滴	2 滴	3 滴	4 滴	5 滴
残留塩素 (ppm)	0.2	0	0	0	0	0

コップ一杯分の水はレモン果汁を 1 滴加えるだけで除去できた。

(5) 活性炭を加える (活性炭 20g / 水道水 200mL マグネチックスターラーで攪拌)

表 8

試料水	水道水	5 分	10 分	20 分	30 分
残留塩素 (ppm)	0.2	0.2	0.1	0	0

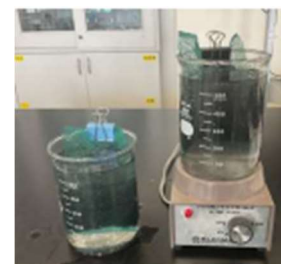


図 11

5 分では変化がなかったが 10 分で半分になり、20 分で除去された。予想より除去速度が小さかったが、あらかじめ水になじませておく必要があったかもしれない。

簡単な方法で残留塩素が除去できることがわかった。次は除去の前後で水道水の味がどの程度変わるかを官能試験で調べたいと思う。

6 科学イベントでの調査

飲料水の飲み比べ実験は 6 人では人数が少ないと思われる。(表 2) 味の感じ方には個人差があると考えられるので大人数での調査を実施した。昨年 9 月 22 日(日)に「体験！科学実験 2024 年 in ぬまづ 第 12 回大会」でブースを出展し、多くの方々に飲料水の試飲と水の硬度測定をしていただいた。飲料水について関心を持っていただき、沼津市の水環境の変化についても説明することができた。



図 12 科学イベントでの調査

飲料水の試飲と硬度の測定体験、硬度と石けんの泡立ち体験の後でアンケート調査を依頼した。データシートとアンケートは 91 名の参加者からいただくことができた。

(1) 硬度測定の結果と味の評価

水の味については数値化して集計した。評価の記号 ◎○□△×を 5 点、4 点、3 点、2 点、1 点とし、それぞれの試料水の平均値を計算した。今回の調査は軟水の南アルプスの天然水と硬水の EVIAN を試飲していただき、その後で沼津市の水道水を試していただいた。ラベルは隠さずに天然水が軟水で EVIAN が硬水であることを説明してから始めた。

表-10 味の浄化と硬度

試料水	南アルプスの天然水 (軟水)	EVIAN (硬水)	水道水 (ブラサヴェルデ)
味の評価 (5点満点)	4.3	3.0	3.5
硬度	60	290	71

評価はミネラルウォーターの軟水が最も高く 4.3 であった。次が水道水の 3.5 で、硬水の EVIAN が最も低い 3.0 になった。硬水より軟水の方が評価が高い結果である。

硬度を分析していただいた平均値は 61, 290, 71 であり、表 2 と同じ傾向である。小学校の子どもたちを含めて初めて分析をする方でもある程度の目安が得られる簡易法であると考えている。EVIAN と水道水の評価の差は硬度の差によるものか、それとも残留塩素の有無によるものかはこれから調査していきたいと思う。

(2) アンケートの結果

ア 硬水と軟水

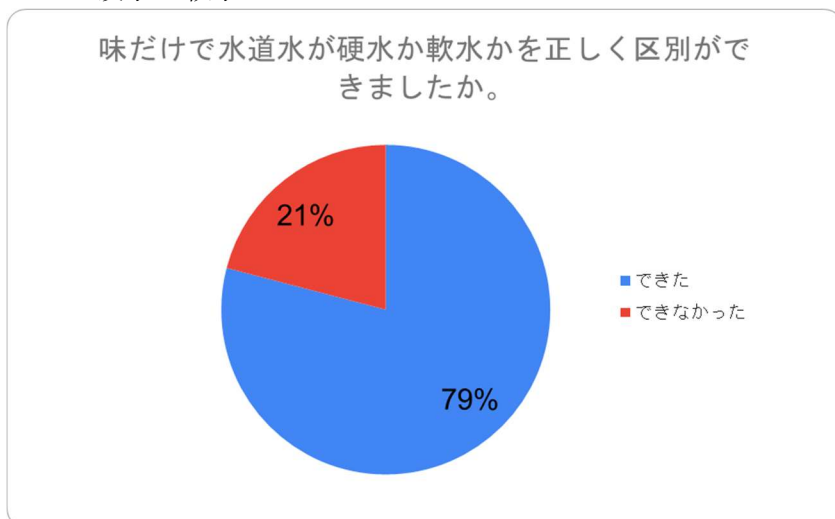


図 13 硬水と軟水

分析する前の試飲で水道水が硬水か軟水かを当てていただいたが 79%の方が味で軟水と判別できている。硬度は確かに味に影響していると思われる

イ 家庭の水道水の味

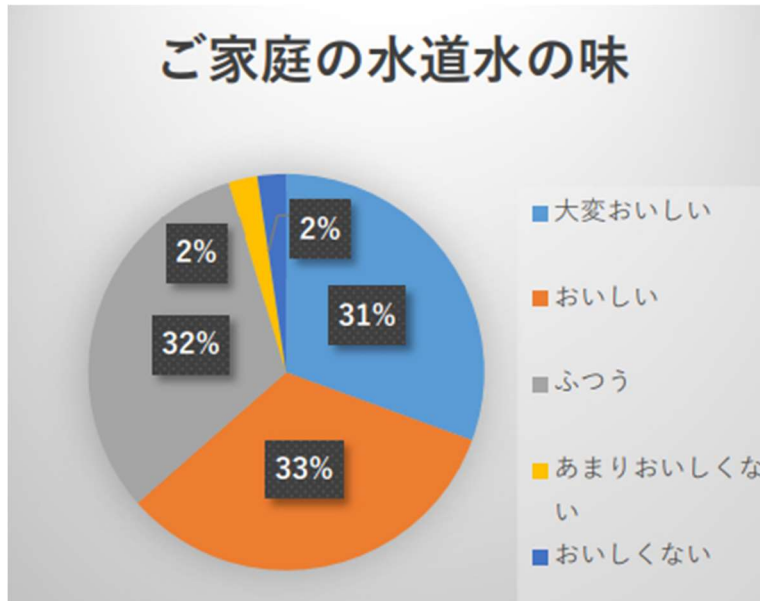


図 14 水道水の味

参加者のご家庭の水道水の味を聞いたところ大変おいしいとおいしいの合計で64%で、あまりおいしくないとおいしくないの合計は僅か4%であった。水道水の味に満足している人は比較的に多いようである。

ウ 家庭用浄水器の使用

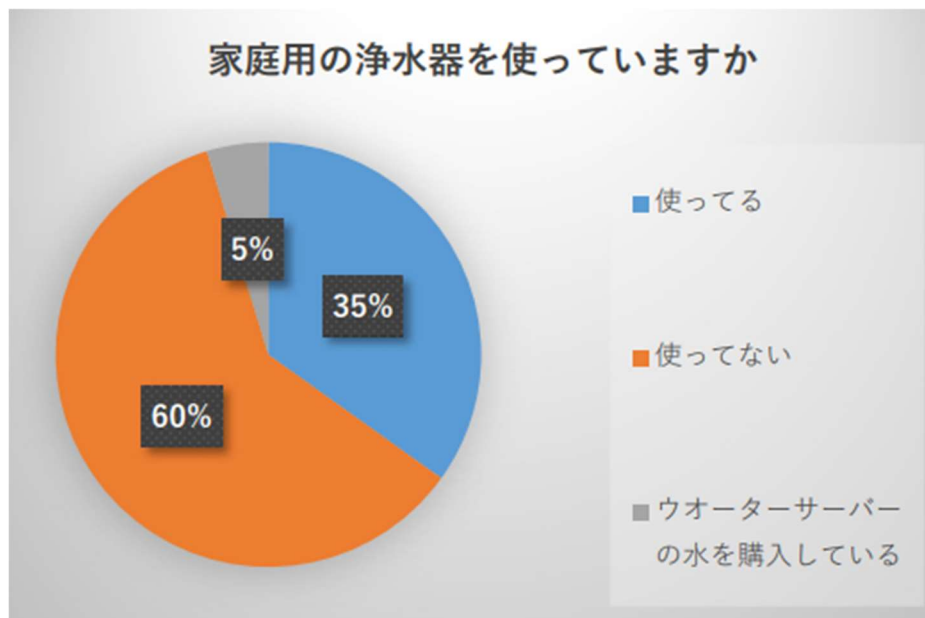


図 15 浄水器の使用

一方、家庭用の浄水器を使っている割合が30%あった。図14で水道水の味に不満を持つ人が少ないことから、浄水器を使う理由は水の味ではなく水の安全性に不満を持っていることの表れだろうか。今後、詳しく調査をしたいと思う。

7. まとめ

水は生命の源であり、人間の体の 60～70%を占める重要な存在である。水道水は安価で手軽に利用できる飲料水だが、近年ミネラルウォーターや浄水器の利用が増加しており、水道水の安全性や味への不安が背景にあると考えられる。このため、静岡県東部地域の水道水について調査を始めた。

硬度と味の調査では、キレート滴定法を用いて水の硬度を測定し、簡易法も考案した。その結果、簡易法は高い信頼性を示した。また、飲料水の硬度が味に与える影響を飲み比べで検証したところ、硬度が低い軟水ほど飲みやすいという結果が得られた。

一方、水道水は軟水の基準内（硬度 48）であるにも関わらず、残留塩素の影響でやや評価が低くなった可能性がある。残留塩素の除去については、煮沸や活性炭の利用で簡単に除去可能であることが分かった。今後、残留塩素の有無による味の違いを検証予定である。

さらに、カルシウムイオンとマグネシウムイオンの濃度分析では、両者の比率に水道水とミネラルウォーターで大きな差は見られず、残留塩素など味に關与する別の要因が考えられた。データを蓄積して検討したい。

9月に開催された科学イベントでは、約91名が水の硬度測定や試飲に参加した。評価では軟水が最も高く、硬水が低評価となった。参加者の家庭用水道水の味については、「おいしい」との評価が64%を占めた一方、浄水器を利用する家庭も30%あり、利用理由の調査が今後の課題である。

総じて、沼津市の水道水は硬度や残留塩素の面で旧厚生省が発表した「おいしい水の要件」を満たしており、全体的に高い評価を得た。今後は静岡県東部に調査範囲を広め、残留塩素やイオンバランスが味に与える影響、さらに農薬やPFASの有無なども調査し、水道水の安全性とおいしさを科学的に検証する予定である。また科学イベントを利用して多くの方々に水環境の保全と水道水の水質に関心を持っていただき、安心しておいしい水が飲めるようにしたいと考えている。

9. 参考文献

- 1) 日本のミネラルウォーターの推移 一般社団法人日本ミネラルウォーター協会
<https://minekyo.net/>
- 2) 水の硬度測定 愛知総合教育センター
<https://apec.aichi-c.ed.jp/kyouka/rika/kagaku/2018/mijika/mizunokoudo/mizunokoudo.Htm>
- 3) 日本分析化学会北海道支部編 水の分析 第4版 p. 173 (1994)