

ポーランドおよびその他の諸国の水の硬度検査

著者	田口愛 Taguchi, Ai
所属	広島大学付属福山中学校2年
アイテムタイプ	夏休み自由研究 (Forum Poland Online Database: FPOD)
URL	http://www.forumpoland.org/aitaguchi.pdf
発行年月日	2012年
Copyright by	Taguchi, Ai
初出	日欧における軟水と硬水の調査・分析



1 はじめに〈この実験の意義〉

この研究は、夏休みの自由研究として、軟水、硬水について調べたものです。日本とヨーロッパのいろいろな場所で水を採取し、水の硬度を分析・計算して、なぜこの場所でそのような結果が出たのかを、いろいろな条件を踏まえて考えました。

水は人間にとって非常に重要で、毎日飲むものです。生活・健康にとって欠かせません。日本の水道水はきれいなことで有名で、東京都水道局は水道水をつめたペットボトル「東京水」を販売しています。しかし水道水を飲む国は世界で11カ国しかないといわれます¹。そこで水について調べてみました。

水を総合的に分析するのは難しいです。そこでこの自由研究では、日本とヨーロッパのいくつかの都市の水の硬度について調査、分析します。市内の水道、山の湧き水、市販のミネラルウォーターなど、様々な水を採取して調べます。分析方法は、パックテストと洗剤の泡立ち実験を使います。また、ミネラルウォーターのラベルにあるミネラル含有量の表示から水の硬度を計算します。さらに、水の硬度による料理の味への影響や、人体への影響を調べてみます。

¹ 日本、オーストラリア（シドニー）、アメリカ合衆国（ハワイ、サンフランシスコ、デトロイト、アトランタ）、スイス、フィンランド（ヘルシンキ）、スウェーデン（ストックホルム）、デンマーク（コペンハーゲン）、カナダ（バンクーバー）、オーストリア（ウィーン）、フランス、ニュージーランドの11カ国。

I 水の硬度とその料理や人体への影響

水の硬度とは、水に比較的多く含まれるミネラル成分のカルシウム(Ca^{2+})とマグネシウム(Mg^{2+})の合計含有量を炭酸カルシウム (CaCO_3) に換算した値です。WHOでは、(硬度)0~60mg/L=軟水、60~120mg/L=中程度の軟水、120mg/L~180mg/L=硬水、180mg/L以上を極度な硬水としています。また、一般的には、硬度0~100mg/Lを軟水、101~300mg/Lを中硬水、301mg/L以上を硬水となっており、WHOの基準とは少し違います²。

私たちが飲む水は、もともとは雨が降ってそれが地表にしみ込み、地下水になったり川に流れ出たりしたものです。このときに、地層に含まれているカルシウムやマグネシウムなどのミネラルが水の中に溶け出して、様々な成分を含んだ水を作り出します。日本は川が短く、たくさん雨が降って水の循環が早いのでミネラルが溶け込む時間が少なく、軟水になります。

日本は陸地が狭いので、水の循環がヨーロッパなどに比べると早く、そのため全体的に水の硬度は低い傾向にあります。ヨーロッパは、地層に石灰岩が多く含まれ、カルシウムやマグネシウムを多く含んでいます。また、なだらかな地形の場所が多く、河川も長いので、その分ミネラル分が水中に多く溶け出します。この研究で日本の水とヨーロッパの水、川の中流地域の水と山の水を比較するのは、こうした地域や場所の違いによる水の硬さの違いを調べたいからです。



² エイビアン ウォーター・ガイド <http://www.evian.co.jp/water/>

一般に、軟水は口当たりが軽くてまろやかに感じ、硬水はのどに引っかかる様な重々しさがあります。日本の天然水で名水と言われるものは、硬度が 30mg/L 程度の軟水で、日本人が一般的に美味しいと感じる水の硬度は 60mg/L くらいまでとされています。したがって、おいしい水の飲むのなら軟水がいいです。

軟水は、お茶を入れたり、お米を炊いたりするときに使うと、おいしい味が出ます。硬水は、肉の煮込み料理に用いると、硬水中のカルシウムがタンパク質と結合し、アクとなって分離するため、肉の臭みをとれるといわれます。

水の硬さは、人体に影響があるともいわれます。たとえば、カルシウムを多く含む硬水の水道水を飲むと腎結石が増えるのではないかといわれます。しかし、硬水は普通様々な成分を含んでいて、ミネラル補給に役立つので、病後や産後にわざわざ硬水を取り寄せて飲む人もいます。硬水を飲み続けると、胆石になると心配する人もいます。しかし、胆石は「石」といってもカルシウムではなく胆汁に含まれるコレステロールなので、硬水が直接の原因とはいえません。いずれも、医学的には因果関係は証明されていません。また、硬水中のマグネシウム・イオンは腸管で水と結合すると、水分の吸収を妨げます。そのため、大量の硬水を飲むと下痢を起こすことがあります。よく、ヨーロッパを旅行すると下痢をする人がいますが、硬水の影響が考えられます。逆に、硬度の高いミネラルウォーターは、便秘の人が飲むと効果がある場合があります³。

³ドイツの水 硬水と健康 <http://www.newsdigest.de/newsde/column/doctor/2989-water.html>

II 実験方法

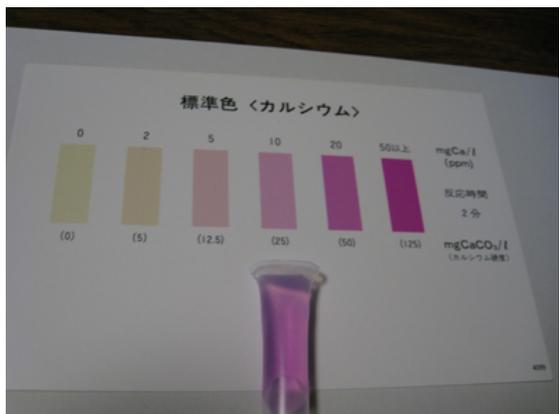
【実験方法1 パックテスト】

市販のパックテスト・キットを使って Ca と Mg の含有量を測ります。



共立理化学研究所 パックテスト

マグネシウム WAK-Mg カルシウム/カルシウム硬度 WAK-Ca



色によるカルシウムとマグネシウムの含有量測定



カルシウム、マグネシウムの含有量 (mg/L) から硬度が計算できます。

カルシウム (Ca²⁺) の原子量は 40、マグネシウム (Mg²⁺) の原子量は 24.3 ですから、炭酸カルシウム (CaCO₃) の分子量 100 に換算して

水の硬度(炭酸カルシウム換算)

$$=(\text{カルシウム mg/L} \times 100/40) + (\text{マグネシウム mg/L} \times 100/24.3)$$

$$=(\text{カルシウム mg/L} \times 2.5) + (\text{マグネシウム mg/L} \times 4.1)$$

で、おおよその硬度を求めることができます。

一般家庭の水道水、井戸水、街の中の水、山の水、日本の水、ヨーロッパの水など、様々な水を採取して硬度を調べ比較します。

【実験方法2 ラベル表示からの計算】

これは実験ではありませんが、ミネラルウォーターのラベルに書いてある、カルシウム、マグネシウムの含有量 (mg/L) から硬度が計算できます。

【実験方法3 泡立ちの観察】

ミネラル含量表示のないものや、井戸水などの硬度を簡単に調べようと思ったら、次のような方法があります。

まず、硬度表示のあるミネラルウォーターを何種類か、それぞれ硬度の異なるものを用意します。よく濯いだ空のペットボトルにミネラルウォーター400cc と、洗濯用の粉せっけん 1 g を加えて蓋をし、10 回振り混ぜます。

これを泡立ちの多い順に並べると、硬度の低いものほど泡立ちやすく、硬度が高くなるにつれて泡が減っていくのが見られます。硬度を知りたい水の泡立ち具合がどの程度かで、その水の硬度がどの範囲にあるかをおおよそ求めることができます。

III 実験結果

【実験方法1 パックテスト】

【実験1-A】 自宅の水道水 岡山（岡山市） 2012年7月22日

自宅の水道水の水源は、旭川です。

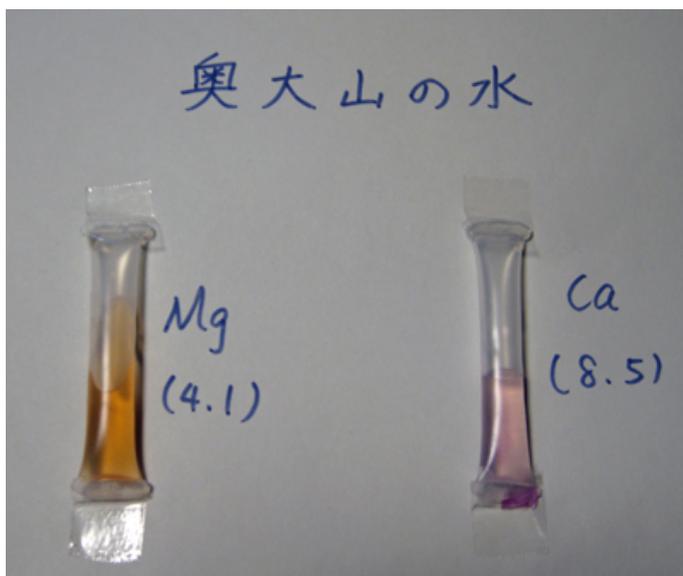
実験結果： $\text{Ca}^{2+} = 25 \text{ mg/L}$ $\text{Mg}^{2+} = 20.5 \text{ mg/L}$
 $(25 \text{ mg/L} \times 2.5) + (20.5 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{146.6}$



【実験 1-B】 山の湧き水 奥大山 鳥取（江府町） 2012年7月22日

奥大山の湧き水（源泉）からとったミネラルウォーターをサンプルに使用しました。ペットボトルのラベルには、成分表示がありませんでした。

実験結果： $\text{Ca}^{2+} = 8.5 \text{ mg/L}$ $\text{Mg}^{2+} = 4.1 \text{ mg/L}$
 $(8.5 \text{ mg/L} \times 2.5) + (4.1 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{38.1}$

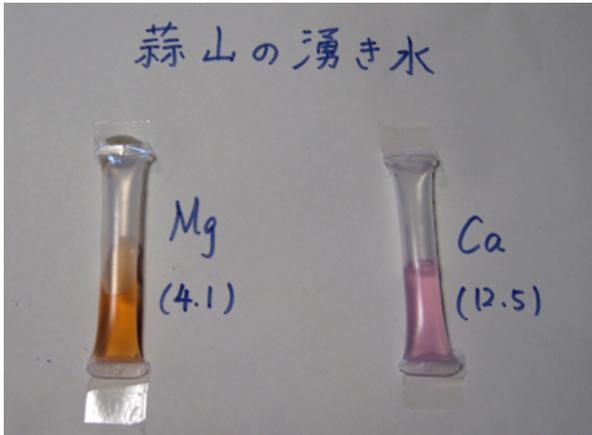


【実験 1-C】 山の湧き水 蒜山 岡山（真庭市） 2012年7月22日

全国名水百選に認定されている岡山県真庭市の塩釜の冷泉です。湧き水から採取しました。

実験結果： $\text{Ca}^{2+} = 12.5 \text{ mg/L}$ $\text{Mg}^{2+} = 4.1 \text{ mg/L}$

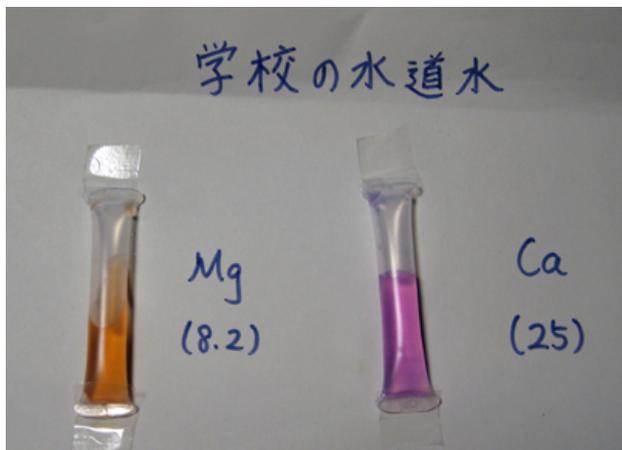
$$(12.5 \text{ mg/L} \times 2.5) + (4.1 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{48.1}$$



【実験 1-D】 中学校の水道水 広島（福山市） 2012 年 7 月 22 日

広島大学附属福山中高等学校の水道水を採取しました。

実験結果： $\text{Ca}^{2+} = 25 \text{ mg/L}$ $\text{Mg}^{2+} = 8.2 \text{ mg/L}$
 $(25 \text{ mg/L} \times 2.5) + (8.2 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{96.1}$



【実験 1-E】 中学校のウォータークーラーの水 広島（福山市）

2012 年 7 月 22 日

広島大学附属福山中高等学校のウォータークーラーから採取しました。

実験結果

$\text{Ca}^{2+} = 25 \text{ mg/L}$
 $\text{Mg}^{2+} = 8.2 \text{ mg/L}$
 $(25 \text{ mg/L} \times 2.5) + (8.2 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{96.1}$



学校のウォータークーラーと浄水装置

【実験 1-F】 ワルシャワ市の水道水 ポーランド（ワルシャワ市）

2012年8月6日

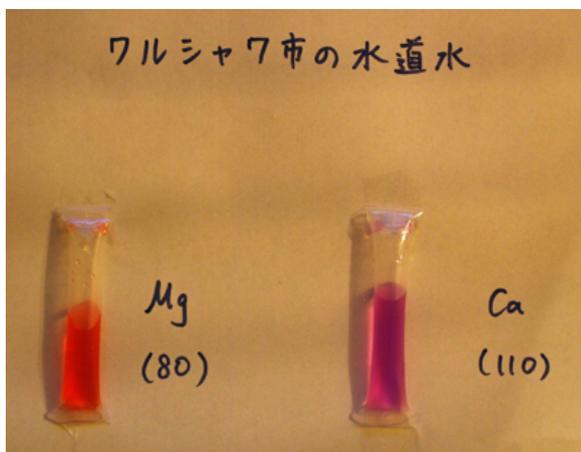
ワルシャワ市の一般家庭の水道水を採取しました。

実験結果

$\text{Ca}^{2+} = 80 \text{ mg/L}$

$\text{Mg}^{2+} = 110 \text{ mg/L}$

$(80 \text{ mg/L} \times 2.5) + (110 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{651.0}$



ワルシャワ市の一般家庭の湯沸かし器と湯沸かし器の底に残ったカルシウムのかたまり（黄土色の部分）。ワルシャワ市では、水道水の水はそのまま飲めず、家庭では必ず水道水を沸かしてから紅茶などにして飲むそうです。

【実験 1-G】 ワルシャワ市の井戸水 ポーランド (ワルシャワ市)

2012年8月7日

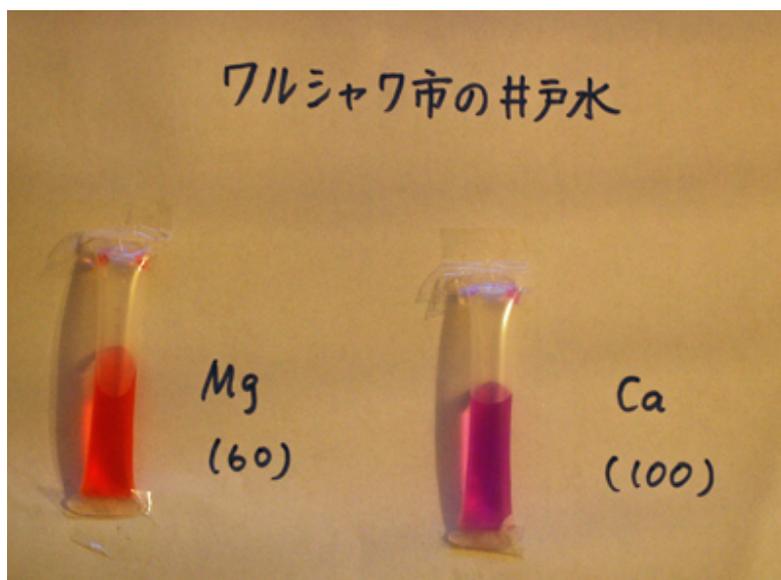
ワルシャワ旧市街にある公共の井戸から地下水を採取しました。

実験結果

$\text{Ca}^{2+} = 100 \text{ mg/L}$

$\text{Mg}^{2+} = 60 \text{ mg/L}$

$$(100 \text{ mg/L} \times 2.5) + (60 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{496.0}$$



ワルシャワ旧市街で井戸水を採取

【実験 1-H】 ワルシャワ郊外の井戸水 ポーランド（ジェラゾヴァ・ヴォラ郡）

2012年8月7日

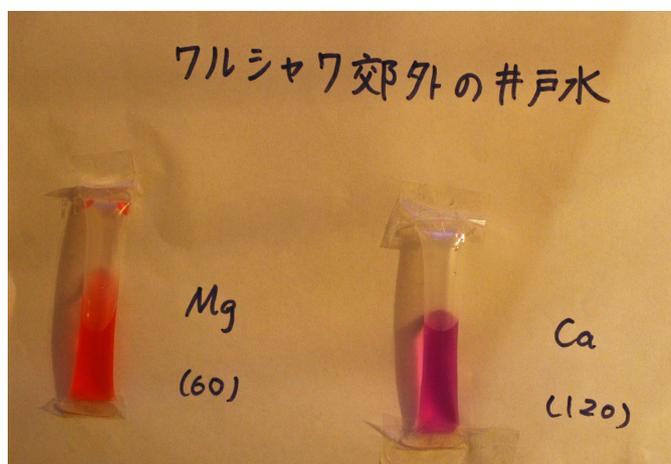
ショパンの生家があるジェラゾヴァ・ヴォラで井戸水を採取しました。

実験結果

$$\text{Ca}^{2+} = 120 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 60 \text{ mg/L}$$

$$(120 \text{ mg/L} \times 2.5) + (60 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{546.0}$$



ワルシャワ郊外ジェラゾヴァ・ヴォラにあるショパンの生家

【実験 1-I】 塩鉱の地下水 ポーランド（ヴィエリチカ市）

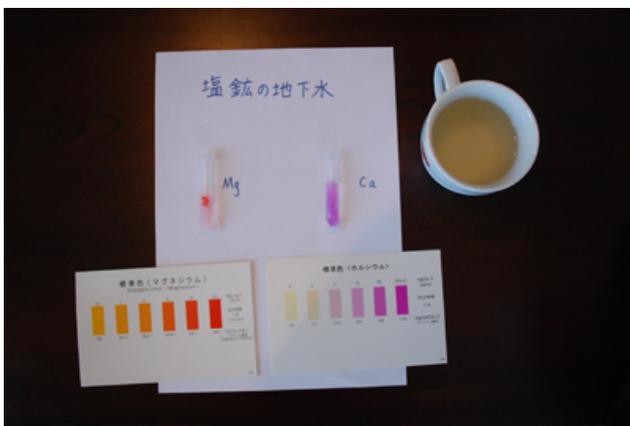
2012年8月8日

世界遺産のヴィエリチカ塩鉱で地下水を採取しました。

実験結果 $\text{Ca}^{2+} = ? \text{mg/L}$ $\text{Mg}^{2+} = ? \text{mg/L}$

$(\text{mg/L} \times 2.5) + (\text{mg/L} \times 4) = ?$

予想では、地下水がカルシウムやマグネシウムなどのミネラルを多く含んでいて、非常に高い硬度の数値がでると思っていました。実験結果は、試薬が凝固して、測定不能でした。凝固した理由はわかりませんが、採取した水が濃い塩水だったため、塩分と反応して試薬が凝固したのかもしれない。また、凝固した試薬の色は比較的濃いものでした。



ポーランドのクラクフ市近郊にあるヴィエリチカ塩鉱は、13世紀から開発されていて、古都クラクフの繁栄を支えてきました。当時、塩は金と同じぐらいの価値があったそうです。写真は、地下130mの坑内を流れる地下水と、塩水の地底湖です。ここは、昔は海底だったところで、その後隆起してミネラルを含んだ塩分が固まり、岩塩になったそうです。実験用の水は、左の写真の地下水路から採取しました。

【実験1-J】 山の井戸水 ポーランド（ノヴィ・タルグ市）

2012年8月9日

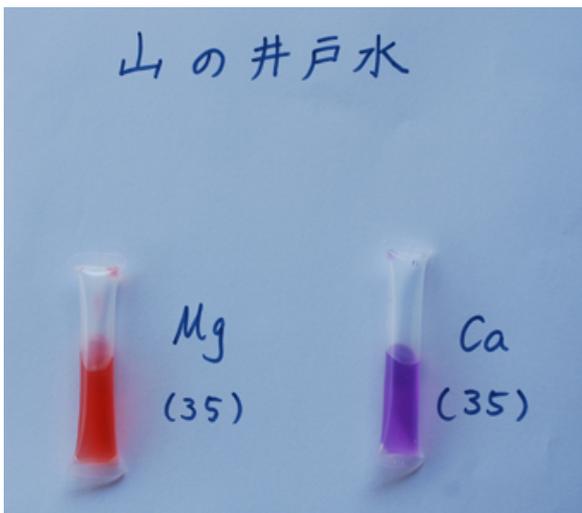
スロバキアの近くのゴルツェという山の井戸水を採取しました。

実験結果

$$\text{Ca}^{2+} = 35 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 35 \text{ mg/L}$$

$$(35 \text{ mg/L} \times 2.5) + (35 \text{ mg/L} \times 4.1) = 231.0$$



山の上の村は、頂上付近（約 850m）に井戸を掘り、水をとっています。予想では、山の頂上近くの水は軟水だと思いましたが、意外にも硬水でした。

村では、だれでも自由に井戸を掘ることはできません。水は「神の恵み」ですが、水をどう分けるかは村の会議で話し合って決めます。公平に分けられないと、争いの原因になります。家では蛇口からいつでも出る水・・・しかしポーランドの村で、水がこのように大切にみつかわれていると思うとなんだか新鮮です。

【実験 1-K】 パリの水道水 フランス (パリ市) 2012 年 8 月 14 日

実験結果

$$\text{Ca}^{2+} = 100 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 10 \text{ mg/L}$$

$$(100 \text{ mg/L} \times 2.5) + (10 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{291.0}$$



セーヌ川

セーヌ川は全長 780km の長い川ですが、水源の海拔はわずか 471m で、ゆっくりと流れています。パリの市民は、昔はセーヌ川の水を飲んでいましたが、使用量が増え川の汚れもひどくなったので、現在では、セーヌ川のほかに貯水池を作ったり、ロワン川、上流のセーヌ川などの水を水源として使っています。実験に使った水は、ホテルで採取しましたが、水源はわかりませんでした。

【実験 1-L】 パリの井戸水（フォンテーヌ・ヴァラス） フランス（パリ市）

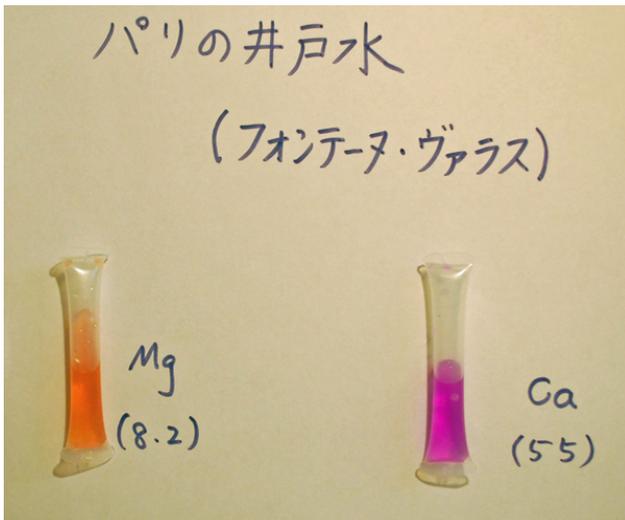
2012年8月14日

実験結果

$\text{Ca}^{2+} = 55 \text{ mg/L}$

$\text{Mg}^{2+} = 8.2 \text{ mg/L}$

$(55 \text{ mg/L} \times 2.5) + (8.2 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{171.1}$



パリ市内には、あちこちに公共水飲み場「フォンテーヌ・ヴァラス」があります。ここでは市民や旅行者は自由に水が飲めます。1872年に美術商の英国人、リチャード・ウォレス（ヴァラス）卿が、普仏戦争とパリコミュンで水路が破壊され水不足に困っていたパリの市民のために無料の給水泉を作ったのが始まりです。水道料金が高い時代に、貧しい人も無料で新鮮な水が飲めました。

【実験 1-M】 ノルマンディー地方の水道水 フランス (ポン・レヴェック)

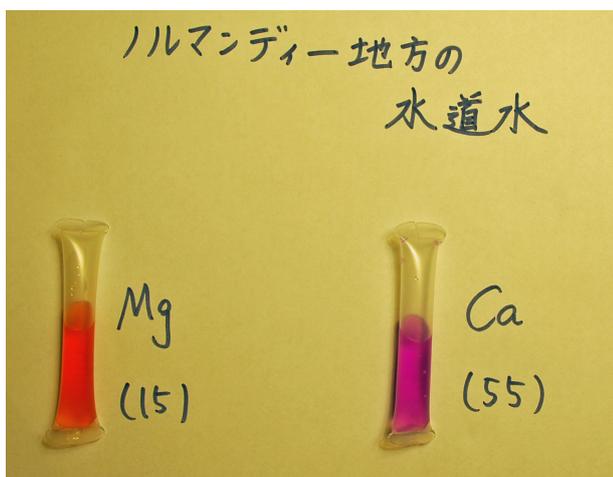
2012年8月14日

実験結果

$$\text{Ca}^{2+} = 55 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 15 \text{ mg/L}$$

$$(55 \text{ mg/L} \times 2.5) + (15 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{199.0}$$



セーヌ川は、ノルマンディーを通過して英仏海峡に流れ込みます。ポン・レヴェックは、セーヌ川がセーヌ湾に流れ込む近くにある小さな町です。予想では、パリよりも下流なので、水の硬度が高いと考えましたが、実際には低かったです。採取した水の水源がパリの水道水と違うことが考えられます。

【実験 1-N】 ロンドンの水道水 イギリス (ロンドン市)

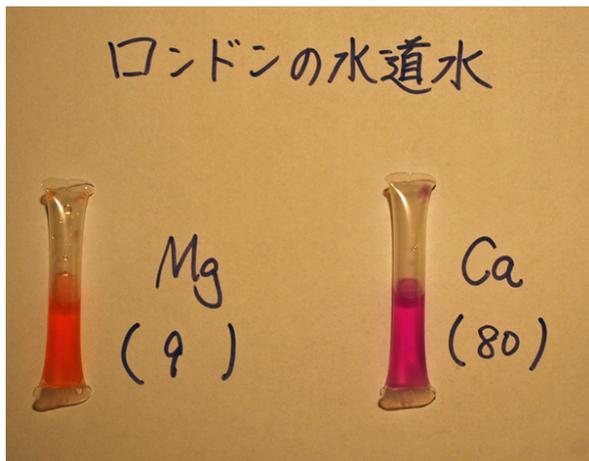
2012年8月15日

実験結果

$\text{Ca}^{2+} = 80 \text{ mg/L}$

$\text{Mg}^{2+} = 9 \text{ mg/L}$

$$(80 \text{ mg/L} \times 2.5) + (9 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{236.9}$$



London Eye から見たテムズ川

テムズ川は延長 338km の川で、水源の標高は 110m。ゆったりと流れています。産業革命以降は、「グレート・スティンク (大悪臭)」と呼ばれるほど汚くなりましたが、現在は大都市の川としては比較的きれいになっています。悪臭はありませんでした。テムズ川の水は上水道用水として利用されています。ロンドンの水道水には、地下水も利用されています。テムズ川流域は石灰岩が多く分布するため、カルシウムの含有量が多いといわれますが、実験の結果でも比較的高いカルシウムが検出されました。

【実験 1-O】 コズウォルズの水道水 イギリス (コズウォルズ市)

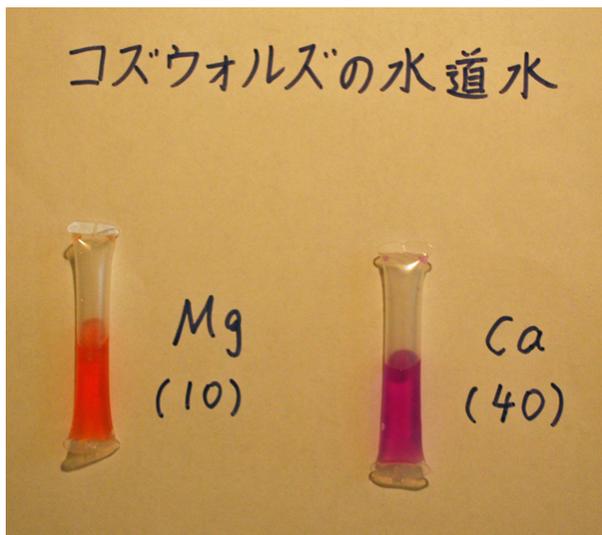
2012年8月15日

実験結果

$\text{Ca}^{2+} = 40 \text{ mg/L}$

$\text{Mg}^{2+} = 10 \text{ mg/L}$

$(40 \text{ mg/L} \times 2.5) + (10 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{141.0}$



コズウォルズは、イギリスの中心部にある羊毛の交易で栄えた町です。レストランの厨房で水を採取させていただきました。井戸水ではなく、公共の水道水でした。300mほどの丘陵地帯にあるコズウォルズ付近は、はちみつ色のライムストーンと呼ばれる石灰質の石（炭酸カルシウム）が多くとれるので、家は昔からこの石を使用した石造りです。こうした地質なので、水は硬水系と予想しましたが、実験では軟水に近い硬水という結果が出ました。取水地が水源に近いので、あまりミネラルが溶け込んでいないのかもしれません。

【実験方法2 ラベル表示からの計算】

$$\text{水の硬度(CaCO}_3\text{換算)} = (\text{Ca}^{2+} \text{ mg/L} \times 2.5) + (\text{Mg}^{2+} \text{ mg/L} \times 4.1)$$

【実験 2-A】 日本のミネラルウォーター 2012年7月22日

い・ろ・は・す

$$\text{Ca}^{2+} = 8.2 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 5.7 \text{ mg/L}$$

$$(8.2 \text{ mg/L} \times 2.5) + (5.7 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{43.9}$$

*採水地：鳥取県西伯郡



【実験 2-B】 ポーランドのミネラルウォーター 2012年8月7日

Nałęczowska

$$\text{Ca}^{2+} = 110.2 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 23.1 \text{ mg/L}$$

$$(110.2 \text{ mg/L} \times 2.5) + (23.1 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{370.2}$$



【実験 2-C】 ポーランドのミネラルウォーター 2012年8月7日

Żywiec Zdrój

$$\text{Ca}^{2+} = 41.69 \text{ mg/dm}^3 = 41.69 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 5.62 \text{ mg/dm}^3 = 5.62 \text{ mg/L}$$

$$(41.7 \text{ mg/L} \times 2.5) + (5.6 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{127.2}$$

*採水地：山の湧き水



【実験 2-D】 フランスのミネラルウォーター 2012 年 8 月 13 日

Evian

$$\text{Ca}^{2+} = 80 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 26 \text{ mg/L}$$

$$(80 \text{ mg/L} \times 2.5) + (26 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{306.6}$$



【実験 2-E】 フランスのミネラルウォーター 2012 年 8 月 14 日

Hetres

$$\text{Ca}^{2+} = 48 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 9.8 \text{ mg/L}$$

$$(48 \text{ mg/L} \times 2.5) + (9.8 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{160.2}$$



【実験 2-F】 フランスのミネラルウォーター 2012 年 8 月 14 日

Contrex

$$\text{Ca}^{2+} = 468.0 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 74.5 \text{ mg/L}$$

$$(468.0 \text{ mg/L} \times 2.5) + (74.5 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{1475.5}$$

*産後などにミネラル補給として使われる水で、特にカルシウムが多く含まれています。



【実験 2-G】 フランスのミネラルウォーター 2012 年 8 月 14 日

Volvic

$$\text{Ca}^{2+} = 11.5 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 8.0 \text{ mg/L}$$

$$(11.5 \text{ mg/L} \times 2.5) + (8.0 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{61.6}$$



【実験 2-H】 イギリスのミネラルウォーター 2012 年 8 月 15 日

Brecon Carreg

$$\text{Ca}^{2+} = 55.0 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 15.0 \text{ mg/L}$$

$$(55.0 \text{ mg/L} \times 2.5) + (15.0 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{199.0}$$



【実験 2-I】 イギリスのミネラルウォーター 2012 年 8 月 15 日

Perthshire

$$\text{Ca}^{2+} = 60.0 \text{ mg/L}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 16.0 \text{ mg/L}$$

$$(60.0 \text{ mg/L} \times 2.5) + (16.0 \text{ mg/L} \times 4.1) = \underline{215.6}$$



【実験方法3 泡立ちの観察】 2012年7月25日 / 8月8日

これは、洗濯用洗剤の泡立ちで水の硬度を調べる実験です。

採取する水の量が限られていた場合があり、それぞれの実験で水の量が多少異なりますが、洗剤の量は、水の量に比例して加えました。200ccにつき1gの洗剤を加え、軽く10回振り、泡の高さを測りました。

3-A	3-B	3-C	3-D
			
ヴェリチカ 塩鉦の水	自宅の水道水	いろはす	奥大山の水
硬度：測定不能 (濃い塩水)	硬度：146.6	硬度：43.9	硬度：38.1
泡の高さ：3mm	泡の高さ：10mm	泡の高さ：40mm	泡の高さ：100mm

IV 実験のまとめ

水の硬度を柔らかい順に一覧表にしました。

表1 水の硬度に関する実験結果

実験番号	採取場所／商品名	国名	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	水の硬度	分類 (WHO基準)	分類 (一般)
1-B	山の湧き水 奥大山 (MW)	日本	8.5	4.1	38.1	軟水	軟水
2-A	いろはす 大山 (MW)	日本	8.2	5.7	43.9	軟水	軟水
1-C	山の湧き水 蒜山	日本	12.5	4.1	48.1	軟水	軟水
2-G	Volvic (MW)	フランス	11.5	8.0	61.6	中程度の軟水	軟水
1-D	中学校の水道水 広島	日本	25	8.2	96.1	中程度の軟水	軟水
1-E	中学校の Water Cooler の水	日本	25	8.2	96.1	中程度の軟水	軟水
2-C	Żywiec Zdrój (MW)	ポーランド	41.69	5.62	127.2	硬水	中硬水
1-O	コズウォルズの水道水	イギリス	40	10	141.0	硬水	中硬水
1-A	自宅の水道水	日本	25	205	146.6	硬水	中硬水
2-E	Hetres (MW)	フランス	48	9.8	160.2	硬水	中硬水
1-L	パリの井戸水	フランス	55	8.2	171.1	硬水	中硬水
1-M	ノルマンディー地方の水道水	フランス	55	15	199.0	極度な硬水	中硬水
2-H	Brecon Carreg (MW)	イギリス	55	15	199.0	極度な硬水	中硬水
2-I	Perthshire (MW)	イギリス	60.0	16.0	215.6	極度な硬水	中硬水
1-J	山の井戸水	ポーランド	35	35	231.0	極度な硬水	中硬水
1-N	ロンドンの水道水	イギリス	80	9	236.9	極度な硬水	中硬水
1-K	パリの水道水	フランス	100	10	291.0	極度な硬水	中硬水
2-D	Evian (MW)	フランス	80	26	306.6	極度な硬水	硬水
2-B	Nałęczowska (MW)	ポーランド	110.2	23.1	370.2	極度な硬水	硬水
1-G	ワルシャワ市の井戸水	ポーランド	100	60	496.0	極度な硬水	硬水
1-H	ワルシャワ郊外の井戸水	ポーランド	120	60	546.0	極度な硬水	硬水
1-F	ワルシャワ市の水道水	ポーランド	80	110	651.0	極度な硬水	硬水
2-F	Contrex (MW)	フランス	468.0	74.5	1475.5	極度な硬水	硬水
1-I	塩鉱の地下水	ポーランド	測定不能	測定不能	測定不能	-	-

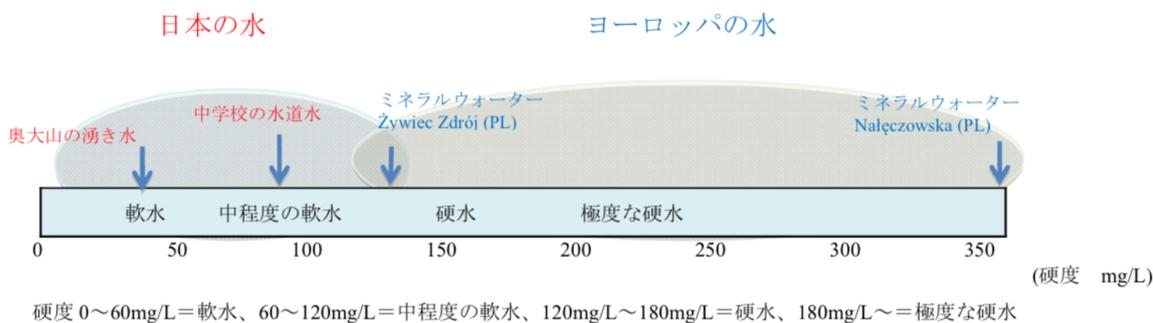
WHO 基準 硬度 0~60mg/L=軟水、60~120mg/L=中程度の軟水、120mg/L~180mg/L=硬水、180mg/L以上=極度な硬水

一般の基準 硬度 0~100mg/L=軟水、101~300mg/L=中硬水、301mg/L以上=硬水

実験を終えて、次のことがわかりました。

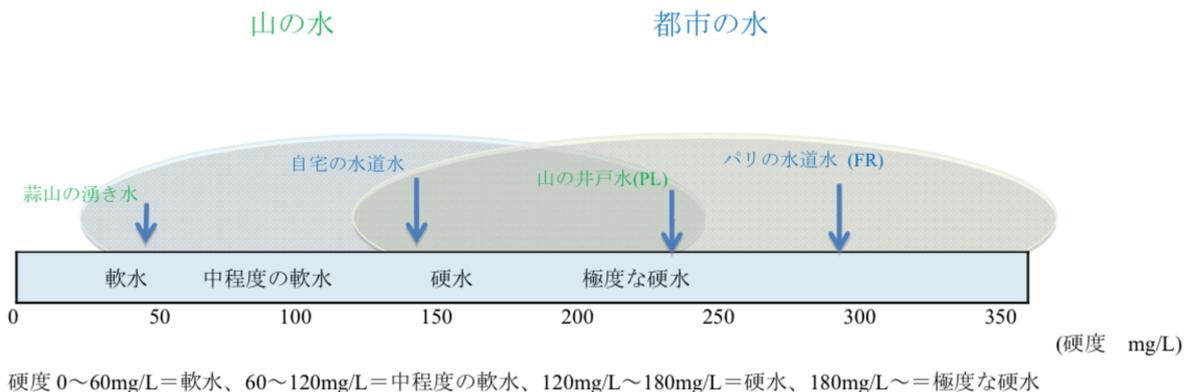
1. 全体的に見ると、予想通り、ヨーロッパの水は硬水が多く、日本の水は軟水が多いという結果が出ました（図1）。

図1 世界の地域と水の硬度



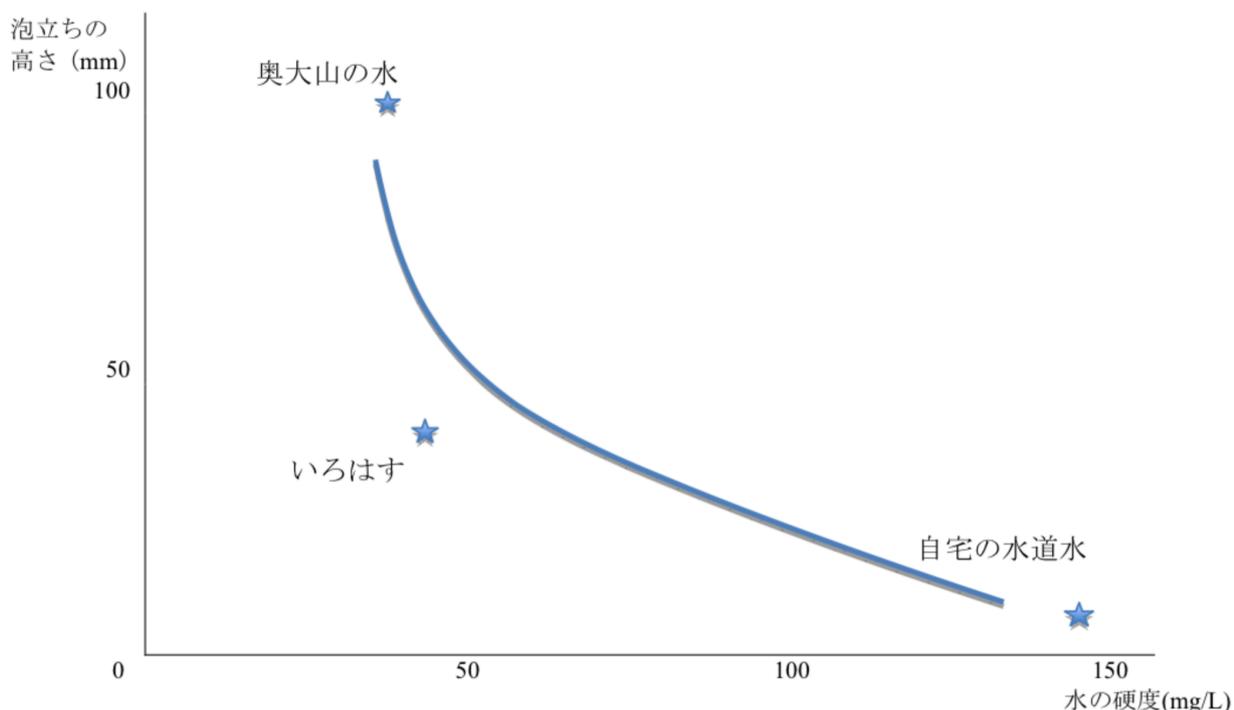
2. 全体的に見ると、予想通り、山の水は主に軟水系で、都市の水は主に硬水系という結果が出ました。

図2 地形と水の硬度



- 山の頂上近くの水は軟水だと予想していましたが、結果はさまざまでした。たとえば、「山の湧き水 奥大山 (実験 1-B)」は $\text{Ca}^{2+}=8.5$ 、 $\text{Mg}^{2+}=4.1$ 、硬度 38.1 でしたが、同じ大山の水でも「いろはす (実験 2-A)」は $\text{Ca}^{2+}=8.2$ 、 $\text{Mg}^{2+}=5.7$ 、硬度 43.9 で、採取する場所によって硬度が異なっていました。また、ポーランドの「山の井戸水 (実験 1-J)」では、 $\text{Ca}^{2+}=35$ 、 $\text{Mg}^{2+}=35$ 、硬度 231.0 で硬水でした。山だから軟水というわけではありませんでした。これは硬水になる条件のひとつである、地質が関係していると思います。
- 水のきれいさと硬度は関係ありません。「中学校の水道水 (実験 1-D)」と「中学校のウォータークーラーの水 (実験 1-E)」では、どちらも $\text{Ca}^{2+}=25$ 、 $\text{Mg}^{2+}=8.2$ 、硬度 96.1 でした。実験では、浄水されても硬度は変わらないということがわかりました。
- 実験方法 3 「泡立ちの観察」では、サンプルは少ないですが、洗剤の泡立ちは水の硬度に比例しないものの、軟水の方がはるかに泡立ちが良いという結果が出ました (図 3)。

図 3 水の硬度と泡立ちの関係



6. ヨーロッパのミネラルウォーターは、主に硬水でしたが、硬度は様々でした。たとえば、ポーランドの「Żywiec Zdrój (実験 2-C)」は $\text{Ca}^{2+}=41.69$ 、 $\text{Mg}^{2+}=5.62$ 、硬度 127.2 で軟水に近い硬水でしたが、「Nałęczowska (実験 2-B)」は $\text{Ca}^{2+}=110.2$ 、 $\text{Mg}^{2+}=23.1$ 、硬度 370.2 で極度な硬水でした。フランスの「Contrex (実験 2-F)」($\text{Ca}^{2+}=468.0$ 、 $\text{Mg}^{2+}=74.5$ 、硬度 1475.5) のように、ミネラルをたくさん含んでいる水を販売しているものもありました。

パックテストの様子



実験の準備をします



試薬のピンを外します



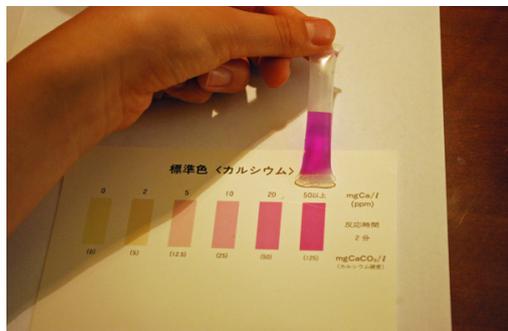
チューブの空気を抜きます



チューブに水を入れます



チューブを振ります



試薬の色を見ます



実験結果を書き込みます

実験 2-A



Ca²⁺ = 8.2 mg/L
Mg²⁺ = 5.7 mg/L

実験 2-B



$Ca^{2+} = 110.2 \text{ mg/L}$

$Mg^{2+} = 23.1 \text{ mg/L}$

実験 2-C



Ca²⁺
41.69 mg/L

Mg²⁺
5.62 mg/L

実験 2-D



$Ca^{2+} = 80 \text{ mg / L}$
 $Mg^{2+} = 26 \text{ mg / L}$

実験 2-E

$Ca^{2+} = 48 \text{ mg/L}$
 $Mg^{2+} = 9.8 \text{ mg/L}$

Nestlé
Pure Life
 EAU DE SOURCE NATURELLE

50cl

MP0262 R2

Plus d'informations ?
 Service Client Consommateurs
 NESTLÉ PURE LIFE France
 BP 900 Noisiel - 77446 Marne la Vallée,
 France
 Tél. sur 0 810 810 810 France
 Prix appel local depuis un poste fixe.
 www.nestlepurelife.fr

COMPOSITION
 MOTIVINE (mg/l)
 Calcium 48
 Sodium 11,1
 Hydrogencarbonate 178
 Magnésium 9,8
 Résidu sec à 180°C 200

Convertit la préparation des aliments des nourrissons

SE conformer aux instructions fournies par le fabricant de préparations infantiles.
 A consommer de préférence avant fin - voir sur la bouteille 50 cl.
 A conserver dans un endroit propre et sans odeur. Cet emballage est exclusivement destiné à contenir de l'eau de source NESTLÉ PURE LIFE.
 Embouteillée à la source par Source du Val S.L. Lambert - 17, chemin de la Messe - 78470 Saint Lambert des Bois - France

RENEZ-LE AU TRI
 100% BAC RECYCLÉS TRI

source des HETRES

Appréciez la goût rafraîchissant de NESTLÉ PURE LIFE. Pure et au goût léger, elle est idéale pour toute la famille.

Good water
 Light & Refreshing

NUTRITIONAL COMPASS
 © Reg. Trademark of Société des Produits Nestlé S.A.

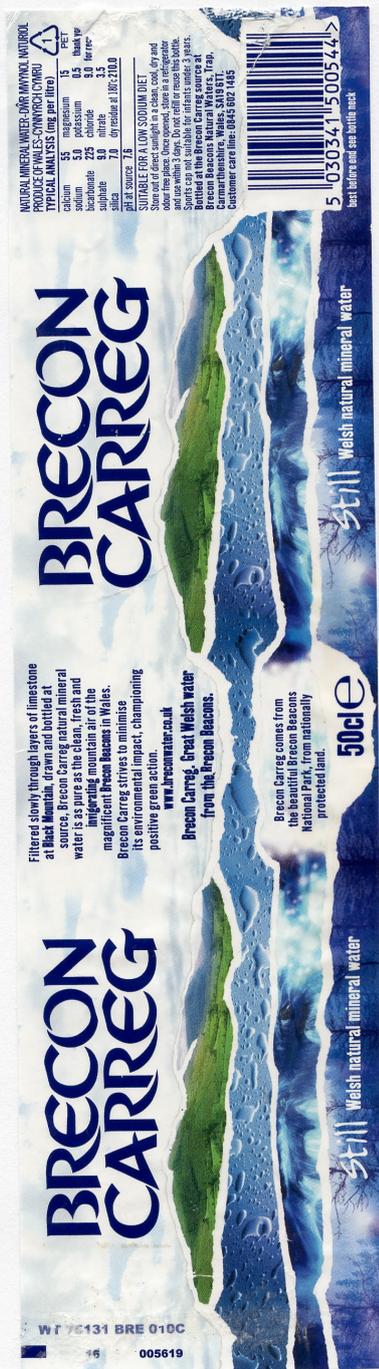
実験 2-G



$Ca^{2+} = 11.5 \text{ mg/L}$
 $Mg^{2+} = 8.0 \text{ mg/L}$

実験 2-H

$Ca^{2+} = 55mg/L$
 $Mg^{2+} = 15mg/L$



実験 2-I

$Ca^{2+} = 60.0 \text{ mg/L}$
 $Mg^{2+} = 16.0 \text{ mg/L}$



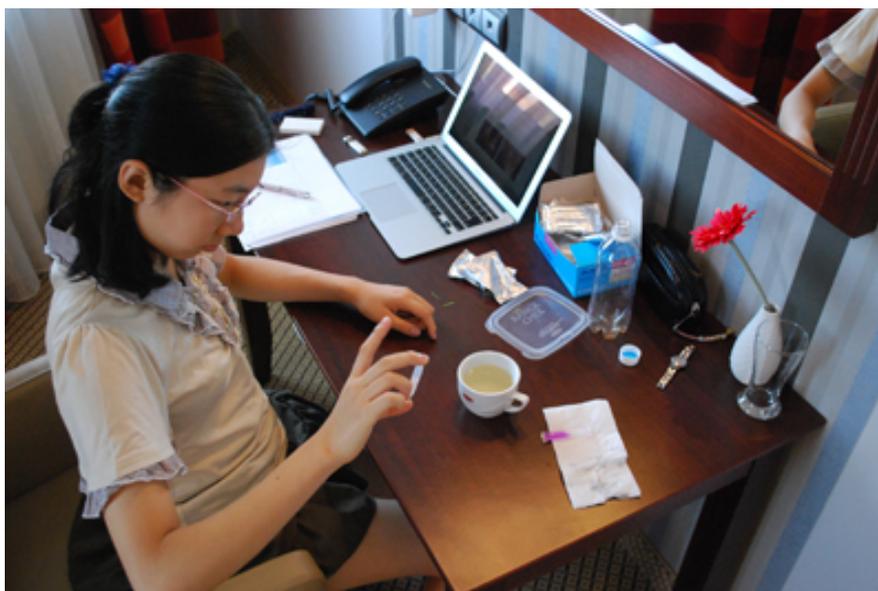
ポーランドおよびその他の諸国の水の硬度検査

参考資料

エイビアン ウォーター・ガイド <http://www.evian.co.jp/water/>

ドイツの水 硬水と健康

<http://www.newsdigest.de/newsde/column/doctor/2989-water.html>



ホテルでパックテスト (ポーランド)



山のペンションでパックテスト (ポーランド)