

抹茶の科学

～水の硬度が抹茶の泡立ちを変える～

5年B組 松井絵莉子

指導教員 櫻井 昭

1. 要約

茶の湯を完成させた千利休の言葉とされる茶訓に「茶は服のよきように点て」がある。お客様が飲みやすいお茶を点てなさい、ということである。

飲みやすいお茶、つまりおいしい抹茶とはどのような抹茶なのか。

抹茶は茶筌で点てるので、おいしい抹茶とは泡立ちのよい抹茶なのではないかと仮説を立てた。そこで、味覚と泡立ちの関係、泡立ちと水の硬度の関係を分析した。その結果、泡立ちがよいとおいしいと感じる人が多く、泡立ちがよい水には最適な硬度があることがわかった。また、水の硬度の算出に用いるイオンである Ca^{2+} と Mg^{2+} の濃度を変えた水を用いて、泡立ちを調べることにより、抹茶の泡立ちは、水の硬度に依存していることを裏付けることができた。さらに、抹茶を泡立たせる茶葉成分の抽出量が、水の硬度により異なることを突き止めた。

キーワード 抹茶、泡、水の硬度、マグネシウム、カルシウム、茶葉サポニン

2. 研究の背景と目的

私は茶道同好会に所属し活動している。お客様に最高のおもてなしをするために、おいしい抹茶を点てるにはどうすればよいかを科学的に検証した。

一般的に抹茶（薄茶）を点てるのには硬度の低い軟水が適しているとされ、沸騰させた後、70－85度に冷ましてから使用するのがよいといわれている（[1]参考）。

WHO 飲料水水質ガイドラインで硬度は以下のように分類されている。

- ・軟水は硬度 0－60 未満
- ・中程度の軟水は硬度 60－120 未満
- ・硬水は硬度 120－180 未満
- ・非常な硬水は硬度 180 以上

※水の硬度は一般的に以下の方法で算出されている

$$\text{硬度(mg/L)} = \text{Ca 量(mg/L)} \times 2.5 \\ + \text{Mg 量(mg/L)} \times 4.1$$

どの程度の硬度の水が抹茶を点てるのに適しているのか、水の硬度に注目して、実験した。

3. 実験内容

3. 1 味覚実験

3.1.1 実験仮説

日本の水のほとんどが軟水で、ヨーロッパや北米には硬水が多く存在する。日本は国土が狭く地層に浸透する時間が短く、ヨ

ヨーロッパや北米の大陸では地層に接する時間が長いことが、軟水と硬水を生み出す原因のひとつとされている。また、主に旨みを味わう日本茶には軟水が、主に香りを楽しむ中国茶や紅茶には硬水が最適だとされている ([2]参考)。

抹茶の場合も日本茶と同じように軟水が適しているのではないかと予想し、実験を開始した。

3.1.2 実験方法

硬度の異なる水で実際に抹茶を点て、硬度による味の違いを、人の味覚を用い調べた。硬度の異なる水として、硬度 30 (市販の水)、奈良県の水道水(硬度 40 度台)、硬度 97 (市販の水)、温泉水(硬度 約 150)、硬度 304 (市販の水)、硬度 1468 (市販の水) の 6 種類の水で比較した。手順は下記のように行なった。

- ①抹茶茶碗に抹茶の粉を二杓入れる。実験には、苦味が少なく、色鮮やかとされる抹茶を使用する。
- ②①にお湯(ポットで一度沸騰させ、80 度(設定)を柄杓の半量入れる。
- ③それぞれ、20 秒間、茶筌(百本立)で抹茶を点てる。
- ④味見協力者(12 歳～78 歳)に味を比較してもらい。口の中を同じ条件にし、また抹茶の味を引き立たせるため、抹茶を飲む前に同じ落雁を一人一つずつ食べてもらう。また、味見協力者には水の種類は伝えずに行なった。

3.1.3 実験結果

3.1.3-1 水道水(硬度 40 度台)、硬度 30、硬度 1468 の比較

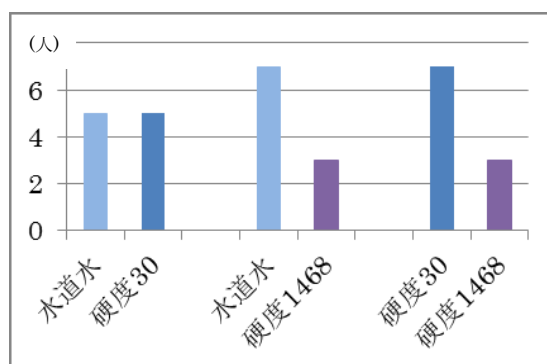
水道水と硬度 30 の味見実験では、味にあまり差がないと答えた人が 6 割でどちらがおいしいかの意見もわかれた(グラフ 1)。また、抹茶の泡立ちや泡の細かさに差はなかった(写真 1)。

水道水と硬度 1468、硬度 30 と硬度 1468 との比較では 8 割～9 割の人が硬度 1468 の方が苦いと答えた。硬度 1468 のほうがおいしいと答えた人は、普段から苦味を好む人であった(グラフ 1)。硬度 1468 で点てた抹茶は、水道水や硬度 30 で点てた抹茶より泡立ちにくく、泡の大きさが不均一であった(写真 1)。

硬度約 40 (水道水) 硬度 30 (市販の水) 硬度 1468 (市販の水)



写真 1



グラフ 1

水道水、硬度 30、硬度 1468 の比較
どちらがおいしいと感じたか

3.1.3-2 硬度 30 と温泉水(硬度 約 150) の比較

温泉地で見つけた飲泉用の温泉水で抹茶

を点てるとどうなるのか、試してみた。
 3.1.3-1 で水道水と硬度 30 には、泡立ちと味に差がないことがわかったため、硬度が安定している硬度 30 の市販の水と比べることにした。温泉水が塩っぱいのでおいしいと感じると答えた人は 10 人中 6 人で、4 人は温泉の独特の匂い、味でおいしくないという意見が出た（グラフ 2）。温泉水は硬度 30 より泡立ちやすく、泡がさらにきめ細かくなった（写真 2）。

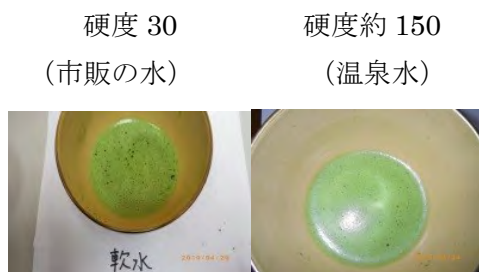
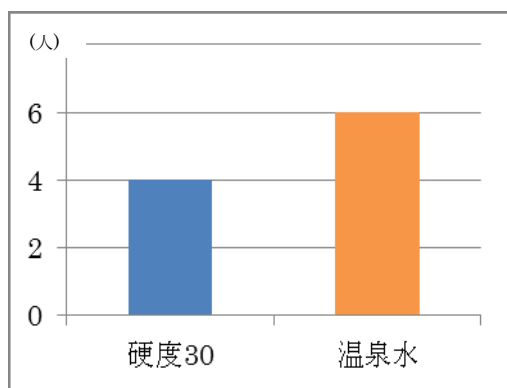


写真 2



グラフ 2 硬度 30 と温泉水の比較
 どちらがおいしいと感じたか

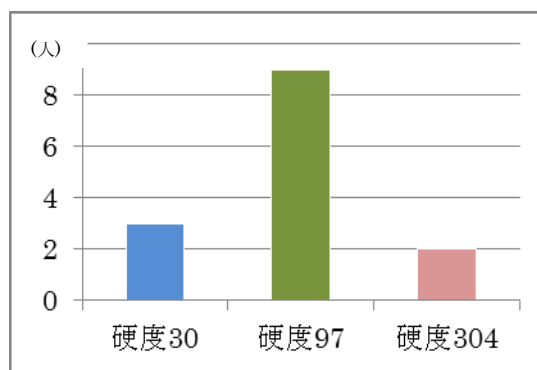
3.1.33-3 硬度 30 と硬度 97、硬度 304 の比較

硬度 30、97、304 の味見実験では、硬度 97 が 1 番おいしいと答えた人が 14 人中 9 人であった（グラフ 3）。その理由に柔らかい茶の味がした、まろやかな味がした、な

どが挙げられた。また、硬度 304 で点てた抹茶は後味が気になったという意見が多かった。硬度 97 は最も泡立ちやすく、また最も泡がきめ細かくなった（写真 3）。



写真 3



グラフ 3

硬度 30、硬度 97、硬度 304 の比較
 どれが最もおいしいと感じたか

3.1.4 実験考察

水道水と硬度 30 でそれぞれ点てた抹茶に差がなかった理由は、奈良県の水道水の硬度は平均 40 台であるため、硬度 30 と硬度が同程度であるからだと考えられた。

温泉水の泡立ちがよかった理由を、硬度によるものではないかと考え、温泉水の硬度を求めることにした。

温泉水の硬度を計算式により計算してみると約 150 で、硬度 30 と 1468 の中間の硬度であることより、硬度が高いほど泡立ちが悪くなるわけではないことがわかった。

温泉の独特の匂いや味のない、硬度 30 から 1468 の間の硬度の水であれば、泡立ちのよいおいしい抹茶を点てることのできるのではないかと考えた。そこで 3.1.3-3 の実験を行った。その結果、硬度 97 が一番おいしいと答えた人が多かった。また、硬度 97 のとき一番泡立ちがよく、泡がきめ細かくなったため、抹茶の泡立ちがよければおいしいと感じる人が多いと推測した。

3. 2 水の硬度と泡の容積

3.2.1 実験仮説

抹茶の泡立ちがおいしさに関連すると考えられるため、硬度の異なる水（硬度 30～1468）で抹茶を点て、抹茶の泡立ち方に違いが生じるか調べることにした。最もおいしいと答えた人が多かった硬度 97 付近の水で点てた抹茶が最も泡立ちがよいと予想した。

3.2.2 実験方法

- ①抹茶 0.5g にポットで沸騰させ、80 度設定した水 50ml を入れてそれぞれ、20 秒間、茶筌（百本立）で抹茶を泡立てメスシリンダーに全量流し入れる。
- ②直後に全体の容積に対する泡の容積の割合を比較する。
- ③泡の容積が時間経過によって減少するかどうか、時間の経過とともに泡の容積と全体の容積の割合を記録する。

3.2.3 実験結果

3.2.3-1 硬度 30、97、304、1468 比較

抹茶を点てたときの印象どおり、硬度 97 のとき一番泡立ちがよく、生成された泡の容積が最も大きくなった。次に泡の容積が

大きかったのは、硬度 304、硬度 30 の順だった。硬度 1468 では泡立ちが 1 番悪く、生成された泡の容積も 1 番小さくなった（写真 4）。

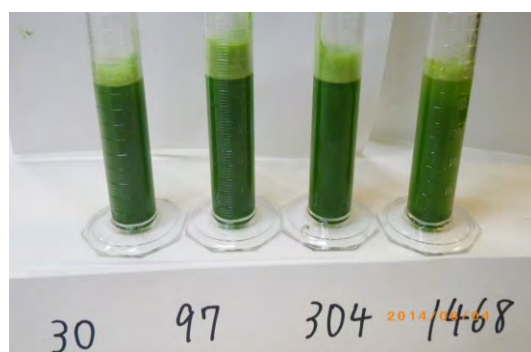
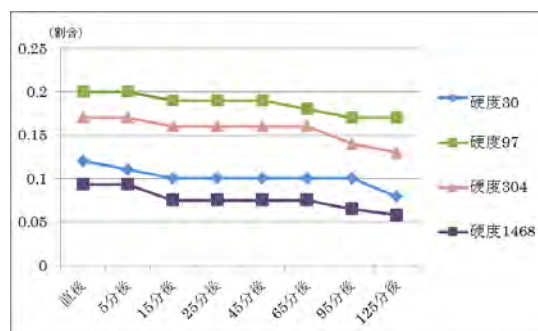


写真 4 メスシリンダーに流し入れた泡立て直後の抹茶

時間が経っても 4 種類とも泡の容積は比較的保たれていた（グラフ 4）。

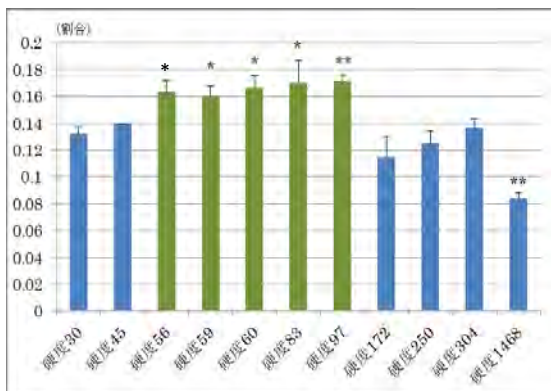


グラフ 4 経時的変化

3.2.3-2 硬度 30～1468 比較

抹茶の泡立ちに最適な硬度を見つけるために、ほかの硬度の水でも抹茶を点てて全体の容積に対する泡の容積の割合を比較することにした。（グラフ 5）。その結果、硬度 56～97 で点てた抹茶がよく泡立ったため、中程度の軟水が最適であることがわかった。

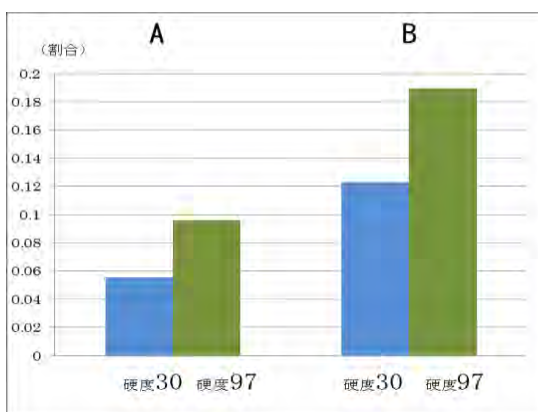
*:ttest (vs 30)p<0.05 **:ttest (vs 30)p<0.01



グラフ5 水の硬度による泡立ちの違い

3.2.3-3 確認実験

水の硬度を知らせずに抹茶を点てても同じ結果になるのか確かめるために、茶道経験者 A (76 歳女性)、B (51 歳女性) に実験協力をお願いした。硬度 30 と硬度 97 の 2 種類の水で 3.2.2 と同様に抹茶を点てて全体の容積に対する泡の容積の割合を比較した。3.2.3-1, 3.2.3-2 の結果と同じく、実験協力者 A、B とともに硬度 30 より硬度 97 の方がより泡立った。



グラフ6 水の硬度による泡立ちの違い

3.2.4 実験考察

他の硬度の水に比べて、硬度 56~97 で点

てた抹茶の泡立ちがよかったことから、水の硬度が泡立ちに関連していることがわかった。水の硬度を決定する Ca^{2+} と Mg^{2+} が抹茶の泡立ちに関与していると考えられた。

3.3 イオンと泡の容積

3.3.1 実験仮説

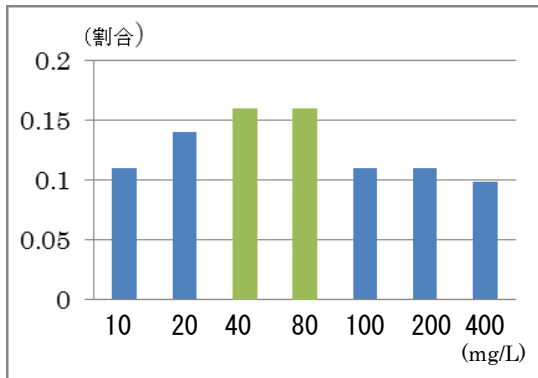
水の硬度が泡立ちの差異の原因なのか、水の硬度の算出に用いる、 Ca^{2+} と Mg^{2+} の抹茶の泡立ちへの影響を調べることにした。抹茶の泡立ちが最もよくなる Ca^{2+} 濃度と Mg^{2+} 濃度が存在すると予想した。

3.3.2 実験方法

- ①純水に CaCl_2 を加え、濃度の異なる水溶液をつくる。(Ca10mg/L・20mg/L・40mg/L・80 mg/L・100mg/L・200mg/L・400mg/L)
- ②純水に MgCl_2 を加え、濃度の異なる水溶液をつくる。(Mg2.5mg/L・5mg/L・10mg/L・20 mg/L・40mg/L・80mg/L)
- ①②ともに市販の水の Ca^{2+} 濃度、 Mg^{2+} 濃度を参考に設定した。
- ③それぞれ濃度の異なる水溶液で 3.2.2 と同条件で抹茶を点てて、メスシリンダーに全量流し入れ、直後に全体の容積に対する泡の容積の割合を比較する。

3.3.3 実験結果

Ca^{2+} 濃度によって、抹茶の泡立ちは変化する、1 番泡立ちがよかったのは、40-80mg/L であった (グラフ 7)。硬度計算すると、
 $40(\text{mg/L}) \times 2.5 + 0(\text{mg/L}) \times 4.1 = 100$
 $80(\text{mg/L}) \times 2.5 + 0(\text{mg/L}) \times 4.1 = 200$
 で前者の方は、3.2.3.2 の最適硬度とほぼ一致した。

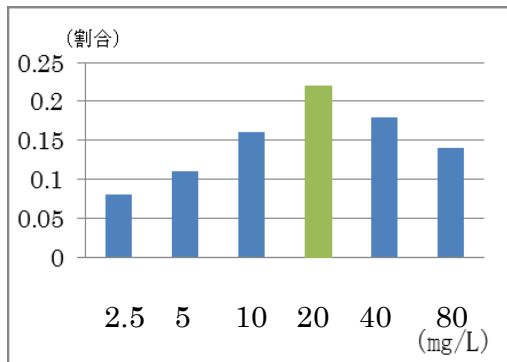


グラフ7 Ca²⁺濃度と泡の容積

Mg²⁺濃度によって、抹茶の泡立ちは変化し、一番泡立ちがよかったのは、20mg/Lであった（グラフ8）。硬度計算すると

$$0(\text{mg/L}) \times 2.5 + 20(\text{mg/L}) \times 4.1 = 82$$

で、3.2.3.2の最適硬度と一致した。

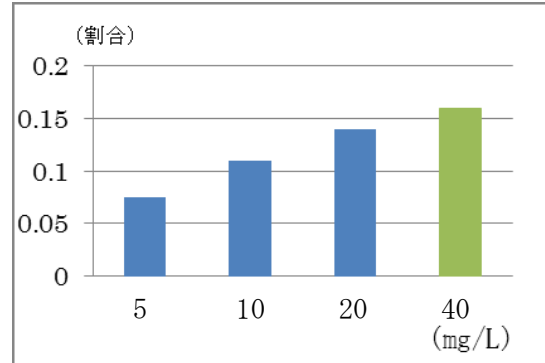


グラフ8 Mg²⁺濃度と泡の容積

抹茶の泡立ちにはCa²⁺とMg²⁺が適量必要であり、過剰だと阻害することがわかった。水の硬度が抹茶の泡立ちに影響を与えていることが裏付けられた。

また、温泉水（ナトリウム塩化物泉）が硬度が約150と高めであるにもかかわらず、泡立ちがよかった理由にNa⁺が関係していると予想した。そこで、Na⁺の量を変えて純水に加え作成した水溶液で抹茶を点てて同様に比較した。その結果、Na⁺も抹茶の

泡立ちに影響するイオンであることがわかった（グラフ9）。



グラフ9 Na⁺濃度と泡の容積

3.4 水の硬度と茶葉サポニン溶出量

3.4.1 実験仮説

抹茶の茶葉中に含まれる成分には以下のものがある。

テアニン アミノ酸のうち、茶葉中のみに含まれるテアニンの味はよく上品な旨みと表現される

タンニン カテキン類で、渋み・苦味の要素とされている

※抹茶の茶葉はある一定期間黒い覆いをかけて育てられ、渋みの成分(タンニン)が少なく、旨み成分(テアニン)の多い、抹茶に適した高級茶葉になる（覆下栽培）（写真5）。



写真5 覆下栽培

カフェイン すっきりした苦味で茶を飲んだあとの爽快感 を与えてくれる

サポニン 水に混ぜると溶解し、ふり混ぜると石鹸のように泡が立つなどの界面活性作用がある

水の硬度が抹茶の泡立ちに影響を与える理由に、抹茶の泡立ちに関係する茶葉中のサポニンが関係している可能性があると考えた。泡立ちが最もよかった硬度 97 において茶葉サポニンが最も多く溶出されると予想して、水の硬度によって茶葉サポニンの溶出量に差があるのかを調べることにした。

3.4.2 実験方法

- ①硬度の異なる 3 種類の水（硬度 30、硬度 97、硬度 1468）を用い、実験 3-2-2 と同条件で抹茶を点てる。
- ②抹茶液 2ml（硬度 30、硬度 97、硬度 1468 で点てた 3 種類の抹茶液それぞれ液相部分から採取）を固相抽出カラム (Sep-Pak Plus C18 カートリッジ: Waters) に注入する。
- ③蒸留水 8ml を流して水溶性ペクチン画分を除去する。
- ④20%メタノール水溶液 15ml をカラムに通してカテキン類を除去する。
- ⑤80%メタノール水溶液 5ml を通して茶葉サポニン画分を回収する。
- ⑥茶葉サポニン画分をエバポレーターにて濃縮乾固後、蒸留水 4ml に溶解する。
- ⑦試料液 1ml に 5%フェノール水溶液 1ml + 濃硫酸 5ml を加え、80℃で 30 分間処理する。
- ⑧室温に戻した反応液の吸光度（490 nm）を測定することで茶葉サポニン含量を比

較する（[3]参考）。

3.4.3 実験結果

抹茶の泡立ちが最もよい硬度 97 の液相中では、茶葉サポニンが最も多く溶出された（表 1）。次に硬度 30、硬度 1468 の順であった。茶葉サポニンの溶出には、水の硬度に関係するイオンが、影響を与えることがわかった。

表 1 吸光度（490nm）の測定結果

	1 回目	2 回目	3 回目
硬度 30	0.213	0.257	0.261
硬度 97	0.269	0.263	0.308
硬度 1468	0.207	0.236	0.238

4. 考察

今回の実験により、抹茶に使用する水の硬度は、抹茶の味に影響を与えることがわかった。その理由のひとつに水の硬度によって抹茶を点てたときの泡立ちに差があることがあげられる。抹茶の泡立ちには、Mg と Ca が適量必要であり、過剰だと阻害することがわかった。

一般的に抹茶の泡立ちに欠かせないものは 3 つある。まず、1 つめは、抹茶茶碗と茶筌である。抹茶を点てる際、茶碗からの適度の反発力を受け、竹製の茶筌が変形しながら泡立ちに有効的に働く。茶碗内面にある凹凸により茶筌の先がはね、この振動が味を損ねずに抹茶を攪拌・溶解する（[4]参考）。私は、実際に抹茶茶碗ではない内面が平滑なガラス容器で抹茶を点ててみたが、ほとんど泡立たなかった（写真 6）。



写真6 ガラス容器で点てた抹茶

※今回のすべての実験は、毎回、同条件にするため同じ抹茶茶碗と茶筌を用いて実験した。

2 つめは、石臼で挽いたきめ細かい抹茶である。てん茶（抹茶に挽く前の原茶）を石臼で 10 数 μm 前後の粒子に挽く。微細に挽くことによって粒子数が増加して泡立ちやすくなる ([5]参考)。私は、実際にすり鉢・すり棒で粗挽きしたてん茶を点ててみたことがあるがまったく泡立たなかった (写真7)。



写真7 泡立たない粗挽きてん茶

※今回のすべての実験は、毎回、同条件にするため同じ抹茶を用いて実験した。

3 つめは、茶葉中のサポニンである。今回の実験より、水の硬度に関連するイオンが適量あると茶葉サポニン溶出を促進し、過剰であると溶出を抑制することがわかった。

水の硬度が抹茶の泡立ちを変える理由は、水の硬度に関連するイオンが抹茶茶葉中のサポニン溶出に影響を与えているためだと考えられる。

また、Na については大豆サポニンが NaCl の添加によって、界面張力を低下させるという報告がある ([6]参考)。同様に茶葉中のサポニンが NaCl の添加によって抹茶の界面張力を低下させ、液体の中に空気を抱え込むことになり、泡立ちをよくした可能性も考えられる。

先行研究では、水の硬度が低ければ低いほど抹茶の泡立ちがよいという報告 ([7], [8]参考) があるのに対して、実際に抹茶を点てた本研究では、抹茶の泡立ちには最適な水の硬度があることを発見した。

5. 結論

中程度の軟水で点てた抹茶は、抹茶の泡立ちに関係する茶葉サポニンが多く溶出されるため、泡立ちがよい。よって、おいしい抹茶を点てるには、中程度の軟水を選択すればよい。

6. 歴史：茶の湯と名水

古くから茶の湯に利用されてきた名水で抹茶を点ててみた。

①離宮の水（大阪府島本町）

②御井の清水（兵庫県淡路島）

どちらも泡立ちがよく、泡がきめ細かくなった。メスシリンダーに流し入れたとこ

ろ、どちらも硬度 30 より 1.15 倍泡立ちがよかった。水の硬度を調べてみたところ、①は硬度約 87、②は硬度約 97 であった。

茶人が好んで使用してきた水は、今回の実験結果と一致する中程度の軟水であり、抹茶に適していると科学的に実証できたと思う。

7. 今後の課題と展望

茶筌を使うことにより、茶葉の中にある味に芳しくない不可溶性の物質、タンニンなどは、液から逃れようとして液体の表面に移動する。そのとき、泡は水の表面そのものであるから、きめ細かい泡が多いと抹茶の味を阻害する成分の逃げ場所が増え、抹茶の味がよくなるとされる ([4]参考)。今後は、このタンニンをはじめ、テアニン、カフェインなどの茶葉中の味に影響を与える成分と水の硬度との関係について検証してみたいと思う。

抹茶に適した水の硬度があることと同様に他の飲みものや食べものにも適切な水の硬度が存在すると考えられる。例えば、コーヒーの香り成分や出汁の旨み成分の抽出など、世の中の飲食物を調理する際に使用する水の硬度を変えることでよりおいしくなれば、豊かな食生活を人々に提供することができると思う。

8. 参考文献

- [1] 小山園 抹茶の点て方
<http://www.marukyu-koyamaen.co.jp/>
- [2] エビアン ミネラル量と水の硬度
<http://www.evian.co.jp/water/type/04>
- [3] 「緑茶浸出液中の茶葉サポニンと水溶性ペクチンの分析」、島田和子、日本家政学会誌(2003)
- [4] 「茶の湯の科学入門」、堀内國彦、淡交社(2010)
- [5] 「粒度の異なる抹茶の起泡性と泡沫径」、沢村信一 他(2012)
- [6] 「大豆サポニンの界面活性」、合谷祥一、山野善正(1991)
- [7] 「抹茶の起泡性に及ぼす NaCl, CaCl₂, MgCl₂, 脂質の影響」、前田昭子、日比善子、早川史子(1998)
- [8] 「水の硬度が抹茶の起泡性に及ぼす影響」、池田博子(2006)

9. 謝辞

茶道同好会部員をはじめとする味覚実験に協力していただいた方々、そしてこの研究、論文作成につき指導していただいた櫻井昭先生にこの場をかりて御礼申し上げます。