

## 廃食油を利用した手作り石けんの洗浄性能

天木 桂子\*・池田 揚子\*・池田 千鶴\*\*

(1991年6月6日受理)

### はじめに

現在、日本における衣料用洗剤の主流を成すのは合成洗剤で、全生産量の90%以上を占めている<sup>1)</sup>。わが国最初の本格的な合成洗剤は、1951(昭和26)年にハード型のABS(アルキルベンゼンスルホン酸塩)系として発売された“ワンダフル(花王)”であり、発売後の数年間は、緩やかに生産量を伸ばしていた。それが、1960(昭和35)年を境に急上昇に転じ、1963(昭和38)年にはそれまで洗剤の主流を成していた石けんを追い抜いた。これは、一般家庭への電気洗濯機の急速な普及や、原料である石油の安定供給がはかれるようになったことなどが原因だと考えられている。合成洗剤はその後も順調な伸びを続け、現在に至っている。一方、石けんの生産量は、1959(昭和34)年をピークとして減少の一途をたどり<sup>2)</sup>、現在は全衣料用洗剤の7~8%前後を占めるにすぎず、横ばい状態である。

しかし、1965(昭和40)年前後から、合成洗剤は2つの大きな社会問題を引き起こした。第1は、発泡問題である。これは、家庭や工場などから放出された雑排水が河川や湖沼に流入し、その中に含まれる界面活性剤が水面に拡散して美観を著しく損ねたり、下水処理場において著しく発泡し、周囲を汚染するというものであった<sup>3)</sup>。これは、当時合成洗剤の主原料として使用されていた分枝鎖型のABS系合成界面活性剤が原因とされた。すなわち、ABS系は洗浄性能は満足し得るものであったが、水中バクテリアによる分解能力(生分解性)が著しく劣り、有機物のまま自然界に長期間存在したのである。

この対策として、アルキル基をすべて直鎖型に変えることにより生分解性を高めたソフト型ABS(LAS)の製造へと原料転換が行われ、1971(昭和41)年に“ニューワンダフル(花王)”という商品名で市場に登場した。さらに、AOS(アルファオレフィンスルホン酸塩)のように生分解速度に優れた原料が開発され、生分解性を一層向上させて発泡問題の解決にあたった<sup>4)</sup>。現在、日本ではそのほとんどの衣料用洗剤のソフト化に成功している。

第2の問題は、湖沼の富栄養化である。その発端となったのは、琵琶湖湖水から取水していた京都市の浄水場で、1970(昭和45)年代中頃から濾過障害が起り始め、臭い水として騒がれ始めたことであった。さらに1970年代後半になると、全国いくつかの閉鎖性水域で赤潮が発生し、

\* 岩手大学教育学部家政科

\*\* 岩手県立岩泉高等学校

富栄養化が社会問題としてクローズアップされるようになった<sup>3)</sup>。この原因として、当時衣料用洗剤に洗浄力向上剤として多量に配合されていたリン酸塩 ( $P_2O_5$ ) が標的とされた。リン酸塩は、生物体にとって必須の栄養源となるため、家庭排水を通して湖沼、河川の水生生物の異常繁殖の原因とされたのである<sup>4)</sup>。

これに対しては、リン酸塩配合率の段階的自主規制や、代替物質の開発が行われた。そして、1980 (昭和55) 年に琵琶湖富栄養化防止条例が制定されたのを機に、リン酸塩の代替物質アルミノケイ酸塩 (ゼオライト) を配合した無リン洗剤が発売され、本格的な無リン時代を迎えた。その後の普及は目覚ましく、他の国に例を見ないほど急速に市場を席卷し、現在ではほぼ100%の無リン化に成功している。

以上のように、これら2つの問題は、洗剤のソフト化、無リン化を通してある程度の解決をみたが、この頃から一部消費者の間に合成洗剤を危険視し始め、再び石けんに戻ろうとする運動が見られ始めた。これは、今もなお続けられている。

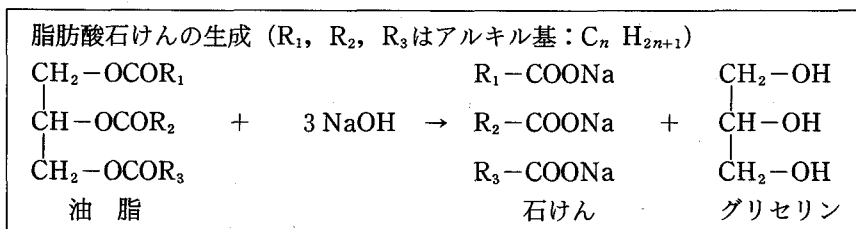
一方、石けんや合成洗剤の問題とは別に、現在、家庭から出るフライ廃油の処分法が問題になっている。一般家庭における食用廃油などの捨て方の調査結果<sup>5)</sup>によると、「流しで水を流しながら捨てる」が比較的多く、その他「紙や布に浸み込ませて捨てる」、「瓶や袋に入れて捨てる」、「庭に捨てる、土に埋める」、「燃やす」等様々な方法が行われている。このうち、流しに直接捨てることは最も簡単であるが、後に種々の問題をもたらす。すなわち、パイプのつまりや悪臭の原因となり、さらには下水処理場の機械に付着してその機能を妨げ、処理の過程で浄水機能を持つ微生物にも悪影響を与える。また、他の処分法にしても、手や衣服を汚したり、埋めたり燃やしたりする場所も確保されにくく、油脂類の処分は現在でも比較的困難であると言える。

これらのことを考え合わせると、家庭から出る廃食油を利用して手作り石けんを作り、実生活で使用することは、資源再利用の面から合理的かつ経済的であると言えるだろう。実際、一部の人々の間では、廃食油を利用した手作り石けんの普及を試みており、自然環境を守るという立場から活発な活動を行っている。

そこで本研究は、台所の廃食油を利用した手作り石けんを作成し、その洗浄性能を明らかにすることを目的とした。すなわち、数種類の方法で作成した手作り石けんを用いて様々な条件下で洗浄実験を行い、その洗浄性や特徴を、市販の洗濯用石けん、合成洗剤と比較した。評価にあたっては、洗浄効率のみでなく、作成所要時間、扱いやすさなどの実用的観点も考慮して、総合的見地から手作り石けんを検討した。

## 実 験 方 法

### 1. 石けんの作成方法



作成した石けんは4種類で、それぞれ「標準石けん」「牛脂石けん」「エタノール石けん」「プリン石けん」と命名した。図1に作成方法を示す。すべて、前記に示す油脂と水酸化ナトリウムによるケン化反応が基本である。

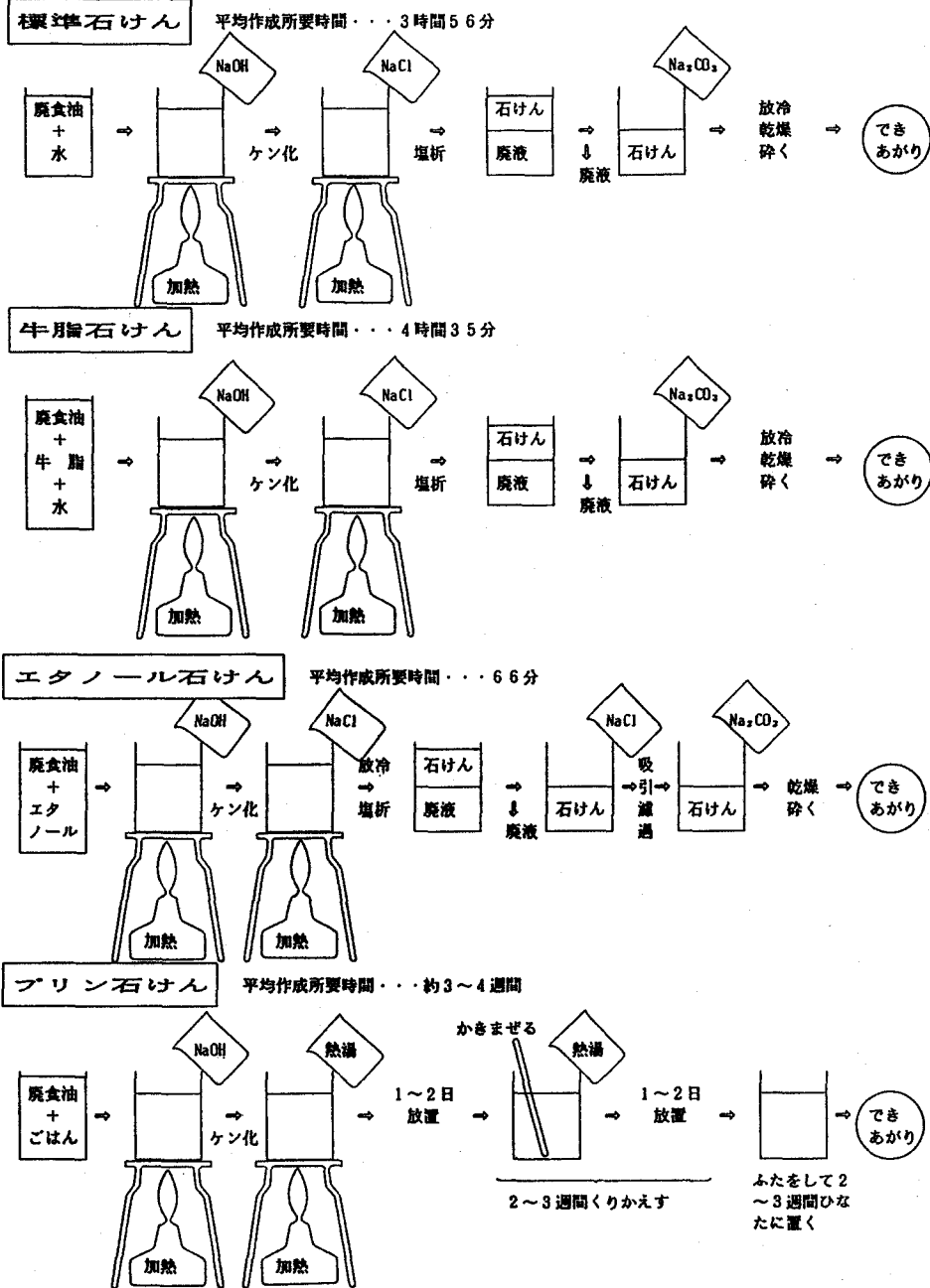


図1 手作り石けんの作成方法

## (1) 標準石けん

〔材料〕 できあがり予定量 100 g

食用油脂の廃油 40 g, NaOH 6 g, NaCl 1~1.5 g, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (無水) 40 g

〔作成方法〕①NaOH 6 g を約2倍, NaCl 1~1.5 g を約2~3倍の水に溶かしておく。②200 ml ビーカーに廃食油を入れ, 同量の水を加えて湯せんにし, 攪拌しながら約75°Cまで加熱する。③NaOH水溶液約2 ml を少しずつ②に加えながら, 約1~1.5時間攪拌を続けケン化させる。温度は80~90°Cに保ち, 100°C以上にならないようにする。④さらにNaOH水溶液を少しずつ加えながら攪拌を続け, 約1時間でNaOH水溶液を加え終わるようにする。⑤ケン化終了後, NaCl水溶液を加えてしばらく攪拌する。次に, シャーレまたはアルミホイルでふたをして湯せんにしたまま1時間以上放置し, 2層に分離させる(塩析)。⑥分離したらビーカーを取り出し, 熱いうちに下層の廃液(余分なNaOH及び油脂から分離したグリセリンや不純物)を抜き取る。残った上層の純良石けんにNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を加えて均一に混ぜ合わせる。⑦ラップフィルムかアルミホイル上に広げて1~2日放冷した後, 乳鉢で碎いて粉状にする。

## (2) 牛脂石けん

〔材料〕 できあがり予定量 100 g

食用油脂の廃油 40 g, 牛脂 25 g, NaOH 50 g, 飽和食塩水(水100 mlにNaCl 35 gの割合で溶かしたもの) 120 ml, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (無水) 50 g

〔作成方法〕①NaOHを約70 mlの水に溶かしておく。②ビーカーに廃食油と牛脂を入れ, 同量の水を加えて湯せんにする。③温度が低いうちからNaOH水溶液を少しずつ加えて攪拌する。沸騰後もNaOH水溶液を少しずつ加えながら攪拌し, 約1時間ですべて加え終わるようにする。④さらに約3時間沸騰を続けた後, 湯を適量加えて火を弱める。⑤あめ色に変わり粘りが出てきたら, 熱くした飽和食塩水を注いでかきまぜ, 放置して2層に分離させる(塩析)。⑥分離後, 綿ブロードで漉して廃液を捨てる。残った純良石けんにNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を加え, 広げて放冷乾燥した後, 乳鉢で碎いて粉状にする。

## (3) エタノール石けん

〔材料〕 できあがり予定量 100 g

食用油脂の廃油 20 g, 20% NaOH水溶液 40 ml, 飽和食塩水 400 ml, エタノール 30 ml, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (無水) 20 g

〔作成方法〕①ビーカーに廃食油とエタノールを入れて湯せんにし, 緩やかに加熱する。②20% NaOH水溶液を少しずつ加えながら7~10分間攪拌し, ケン化させる。③溶液が透明になり細かな泡が立つようになったら, 熱いうちに加熱した飽和食塩水200 ml中に攪拌しながら注ぐ。④これを冷やすと石けんが塩析されて上に浮く。食塩水を捨て, 新しい飽和食塩水200 mlを加えて攪拌しながら加熱融解する。⑤吸引濾過を行い, 残った純良石けんにNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を加え, 広げて放冷乾燥した後, 乳鉢で碎いて粉状にする。

## (4) プリン石けん

これは, 前記の3種類とは異なり, できあがりにはクリーム状になる。

〔材料〕 できあがり予定量 180 ml

食用油脂の廃油 27 ml, ごはん 少量, NaOH 4.5 g

〔作成方法〕①200 ml ビーカーに廃食油と少量のごはんを入れ, 湯せんにして80°Cに加熱する。②NaOHを加えて攪拌し, さらに熱湯20~30 mlを加えて3~5分攪拌してその日の作業は終了

する。③その後、1～2日おきに同量の熱湯を加えてよく攪拌する。それを2～3週間続け、ビーカーに一杯になったらふたをして日向に置き、さらに2～3週間放置した後使用する。

## 2. 実験方法

### (1) 使用洗剤

実験に使用した洗剤は、前記の手作り石けん4種(純石けん分「標準石けん」・「牛脂石けん」・「エタノール石けん」は約60%、「プリン石けん」は約17%<sup>9)</sup>)である。作成にあたっては、4種とも水道水を使用し、廃食油は大学内調理室で使用した後冷暗所に保存されていたものを用いた。また、比較対象として、市販洗濯用石けん1種(日本生活協同組合連合会「Co-opセフター」、純石けん分約65%、標準使用濃度0.13%)、市販洗濯用合成洗剤2種(花王株式会社製「ザブ」-弱アルカリ性粉末、界面活性剤LAS、高級アルコール系25%およびライオン株式会社製「トップ」-弱アルカリ性粉末、界面活性剤AOS、LAS25%、いずれも標準使用濃度0.13%)の計7種を使用した。

### (2) 汚染布および補助布

汚染布は、日本油化学協会法による綿標準人工汚染布を作成し、5cm×10cmに裁断して使用した。補助布は、60番綿ブロード(白)を約9cm×12cmに裁断したものを用いた。

### (3) 洗浄方法

洗浄力試験機を用いて実験を行った。1回の洗浄には汚染布5枚を用い、残りは補助布で所定量に調整した。また、硬度水は、塩化カルシウム2水塩(CaCl<sub>2</sub>・2H<sub>2</sub>O、関東化学)を用い、イオン交換水に溶解して所定硬度に調製した。すすぎは、すべての条件について常温のイオン交換水を500ml使用した。実験は、1条件につき3回行った。

洗浄条件を以下に示す。

洗 浄 機	ターボメータ (上島製作所株式会社製) 100 rpm
浴 比	1 : 50 (浴量 500 ml, 汚染布 5 枚 + 補助布 = 10 g)
洗 剤	7 種 手作り石けん 4 種 (標準石けん・牛脂石けん・エタノール石けん・プリン石けん) 市販洗濯用石けん 1 種 (Co-op セフター) 市販洗濯用合成洗剤 2 種 (ザブ・トップ)
洗 剤 濃 度	5 条件——0.05%・0.1%・0.15%・0.2%・0.25% (洗浄温度 40°C, 硬度 0 ppm)
洗 浄 温 度	5 条件——10°C・20°C・40°C・60°C・80°C (洗剤濃度 0.13%, 硬度 0 ppm)
洗 浄 水 硬 度	5 条件——33 ppm・66 ppm・99 ppm・133 ppm・166 ppm (洗剤濃度 0.13%, 洗浄温度 20°C および 40°C)
洗 浄 の 手 順	水注入→洗剤投入, 1分駆動→汚染布+補助布を入れる→洗い10分→ため すすぎ3分×2回→乾燥

洗浄後の汚染布(洗浄布)は、しばらくに広げて風乾した後、あて布をしてアイロンをかけた。

### (4) 洗浄効率の算出

平沼表面反射率計 (SPR-3 型) にグリーンフィルター (波長 530 nm) を用いて洗浄前後の表面

反射率を測定し、下式より洗浄効率 (D%) を算出した。実験1条件に用いた15枚の洗浄効率の平均値をその条件の洗浄効率とし、以後の解析に用いた。

$$D(\%) = (R_w - R_s) \times 100 / (R_0 - R_s)$$

$R_0$  : 原白布の表面反射率

$R_s$  : 汚染布の表面反射率

$R_w$  : 洗浄布の表面反射率

## 結果および考察

### 1. 洗剤濃度の影響

図2に洗剤濃度を変化させた時の洗浄効率を示す。図中の□は、イオン交換水のみで洗浄した結果である。

全体的に、濃度の増加と共に洗浄効率も上昇する傾向が見られる。しかし、0.15%を越えると目立った上昇は見られず、逆に低下する洗剤もある。今回用いた市販洗剤3種の標準濃度は0.13% (水30 lに40 g) であるが、この結果から手作り石けんでも0.15%前後で使用することが望ましいと判断できる。

手作り石けんと合成洗剤を比較すると、合成洗剤は、低濃度からある程度の洗浄効率を示し、濃度が増加してもわずかに上昇するのみでそれほど変化は見られない。それに対して手作り石けんは、低濃度では合成洗剤に比べて洗浄効率が低いが、0.05%から0.1%にかけて急激に増加し、合成洗剤と変わらなくなる。このことから、合成洗剤は、濃度にあまり依存せず比較的安定した洗浄効果が得られるが、手作り石けんは、濃度の影響を受けやすく、低濃度では十分な効果が得られないと判断でき、正確な計量が必要だと考えられた。

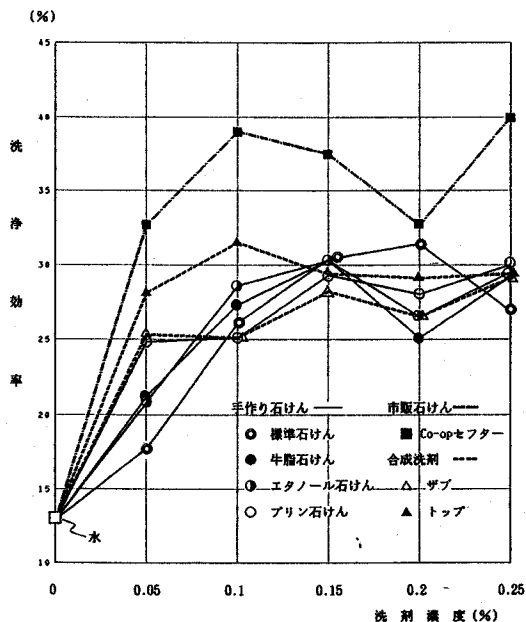


図2 濃度の影響 (40°C, 0 ppm)

一方市販石けんは、すべての濃度で他の洗剤に比べて高い洗浄効率を示した。これは、洗浄条件がイオン交換水を用いた硬度0 ppmであったことが原因だと考えられるが、詳しくは後述する。また、市販石けんの水分率は8%前後と他の洗剤に比べて $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ であり、界面活性剤濃度が高かったことにも原因があると推察される。

## 2. 洗浄温度の影響

図3に、洗浄温度を変化させた時の洗浄効率を示す。図中の破線は、イオン交換水のみで洗浄した結果である。濃度は、市販洗剤は表示されている標準使用濃度0.13%とし、図2の結果から、手作り石けんも同じく0.13%とした。

温度の上昇と共に洗浄効率も増加し、ほとんどの洗剤が80°Cで最も高い値を示していることから、洗浄温度は高いほど良い洗浄効果が得られると判断できる。しかし、10°C~40°C間では、洗浄効率に顕著な上昇が見られるが、40°C以上になると上昇は緩やかになり効果が出にくくなる。このことから、家庭洗濯では、日本の水が比較的軟質であることや、高温洗濯に伴うエネルギー消費などを考え合わせると、手作り石けん、市販洗剤とも40°C前後で行うことが望ましいと判断された。

洗剤別に比較すると、温度の影響を大きく受けたのは「プリン石けん」であった。10°C~40°C間ではすべての洗剤中最も洗浄効率が低いが、40°C~80°Cに顕著な上昇が見られ、最も高い洗浄性を示している。このことから、プリン石けんは高温で使用しないと十分な効果が得られないことがわかる。それに対して、「標準石けん」「牛脂石けん」および2種の合成洗剤は、温度依存性が小さく、低温度でもある程度の洗浄効率が見られることがわかった。市販石けんは、濃度の影響と同様、全体的に洗浄効率が高い傾向が認められた。

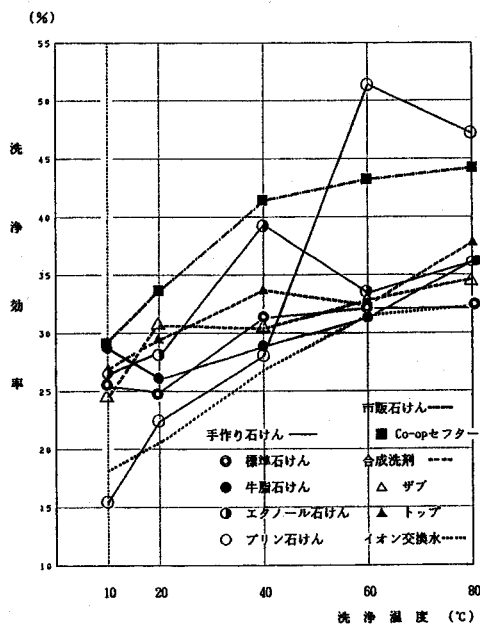
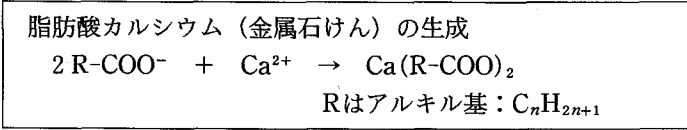


図3 温度の影響 (0.13%, 0 ppm)

### 3. 洗浄水硬度の影響

図4, 図5に硬度を変化させた時の洗浄効率を示す。洗剤濃度は0.13%とし, 温度は図4に20°C, 図5に40°Cの結果を示した。硬度は, 調製した硬度水をEDTA法により測定し, CaCO<sub>3</sub>相当量として示している。

硬度の増加と共にすべての洗剤の洗浄効率が低下している。これは, 硬度成分として使用した塩化カルシウムのカルシウムカチオンとアニオン系界面活性剤分子が結合して水に不溶性金属塩(脂肪酸カルシウムなど), いわゆる石けんカスが生成された(下式参照)ことが原因である。すなわち, 金属石けんの生成により洗浄に寄与する界面活性剤の有効濃度が減少し, 洗浄作用を低下させたと判断される<sup>7)</sup>。



下がり方を見ると, 20°Cでは0~33 ppm間, 40°Cでは33~66 ppm間での低下が特に著しく, それ以降の低下は緩やかである。99 ppm以上になると, 手作り石けんと合成洗剤はいずれも変化がほとんど認められず, 横ばい傾向にある。一方市販石けんは, 硬度の増加と共に洗浄効率もほぼ直線的に低下している。すなわち, 0 ppmと166 ppmの洗浄効率の差は, 20°Cでは18.0%, 40°Cでは24.2%におよび, 他の洗剤や硬度水のみでの差が20°Cでは6.6~12.3%, 40°Cで1.5~23.7%あったのに比べて, 最も大きな低下を示していた。このことから, 市販石けんは硬度依存性が高いと判断できる。

さらに, 20°C, 40°Cとも, 硬度が高くなるにつれて7種類の洗剤が2つのグループに分類される傾向が見られた。第1は, 合成洗剤グループで, 硬度の増加に伴う洗浄効率の低下が小さく,

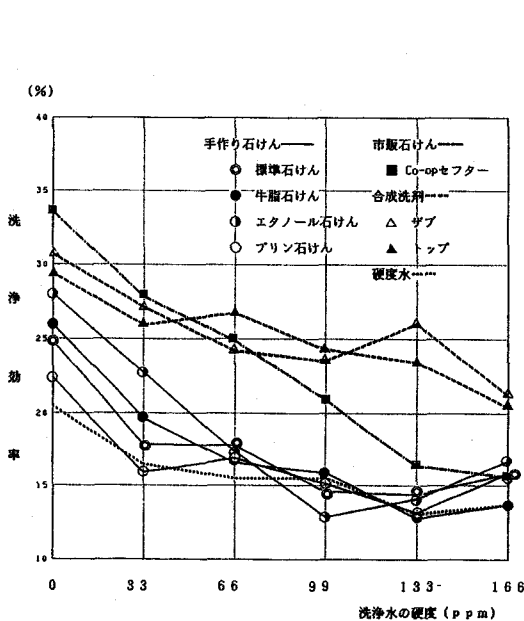


図4 硬度の影響 (20°C, 0.13%)

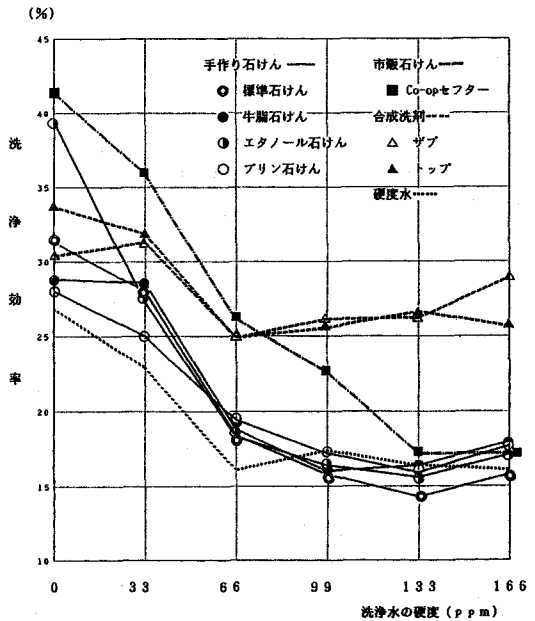


図5 硬度の影響 (40°C, 0.13%)



影響をあまり受けていない。それに対して第2は、手作り石けんグループで、常に合成洗剤グループに比べて洗浄効率が低い。しかも硬度の増加に伴う洗浄効率の低下が著しいため、両グループ間の洗浄効率の差は硬度と共に広がる傾向が見られた。この傾向は、20°Cより40°Cにはっきりと認められる。

また、手作り石けんは、20°Cでは33 ppm以降、40°Cでは99 ppm以降で硬度水のみで洗浄した結果とほぼ同程度の洗浄効率を示しており、この時点では洗剤としての役割を果たしていないことがわかる。

以上のことを考え合わせると、手作り石けんは合成洗剤に比べて耐硬水性に劣っており、全体的に洗浄効率が低く、硬度の影響を受けやすいことが明らかとなった。

市販石けんの挙動に着目すると、0 ppmでの洗浄効率は他に比べて最も高く、66 ppmまでは合成洗剤グループに属している。しかし、99 ppmになると合成洗剤グループから離れ始め、166 ppmでは完全に手作り石けんグループに入る。このことから、市販洗濯用石けんは、低硬度では合成洗剤をしのぐ非常に高い洗浄性を示すのに対し、硬度の増加に伴って急激に洗浄効率が低下し、依存性が高いと判断できる。

ここで、前述の濃度(図2)、温度(図3)において市販石けんが高い洗浄効率を示していたが、今回の硬度の結果から、濃度、温度の実験が0 ppmと恵まれた洗浄条件下で行われたことが大きく関わっていたと推察される。したがって、濃度、温度の結果を、硬度成分を含んだ水道水を用いて行っている日常の家庭洗濯にそのまま当てはめることはできないであろう。

次に、硬度に対する洗浄温度の影響に関して考察する。20°Cと40°Cを比較すると、同一硬度での洗浄効率はすべての条件下で40°Cの方が高い。また、洗剤液と硬度水の結果を比較すると、前述したように両者が同程度の洗浄効率を示すのは、40°Cでは99 ppmであるのに対し、20°Cではこの現象が33 ppmの時点で既に現れている。このことから、洗浄温度を高くすることは、金属石けんの生成に伴う界面活性剤の有効濃度の低下をある程度防いでいると判断でき、洗浄効率の低下を抑制すると考えられた。日本より硬度の高いアメリカやヨーロッパで、一般に高温洗濯が行われているのはこのためであろう。しかし、日本の水道水はそのほとんどが80 ppm以下であると言われており、実際に筆者らの研究室および盛岡市内の民家の水道水の硬度を測定した結果、20~60 ppm程度であった。したがって、石けんを使用する場合でも40°C前後で十分高い洗浄性が得られると判断でき、特に高温にする必要はないと考えられた。

手作り石けん4種を比較すると、0~33 ppmの低硬度において、「エタノール石けん」の洗浄効率が高く、「プリン石けん」は低い傾向が見られるが、66 ppm以上になると差はほとんど認められなくなった。

#### 4. 手作り石けんの特徴

以下に、今回作成した4種類の手作り石けんについて認められた特徴を述べる。

##### (1) 標準石けん

平均作成所要時間は約4時間と、かなり長い時間を必要とする。できあがり量は作成毎に差が見られ、実際は予定量の75~80%しか得られなかった。また、できあがり状態のやわらかさもまちまちだった。そのため、均質な石けんを作るためにはある程度の熟練を要すると判断された。特に、NaOH水溶液の添加速度に左右される傾向があり、十分ケン化しないうちに加えていくと分離しやすいため、あわてず攪拌を続け、ケン化が十分終了した後、次のNaOH水溶液を添加し





