

博士論文

洗淨における「酸・塩基中和説」に関する  
消費者情報の分析

Analysis of Consumer Information on  
the "Acid / Base Neutralization Theory" in Cleaning

国立大学法人 横浜国立大学大学院

環境情報学府

駒津 順子

Junko KOMATSU

2021 年 9 月

September, 2021

# 目次

第1章 緒言 .....	1
1.1 研究背景 .....	2
1.1.1 家庭洗浄における酸・塩基と洗浄における酸・アルカリ（塩基）中和説.....	2
1.1.2 汚れ除去のメカニズムと酸塩基洗浄 .....	4
1.1.3 酸塩基洗浄の消費者情報学的な課題 .....	6
1.1.4 学校教育における酸塩基洗浄の位置づけ .....	8
1.2 研究目的 .....	11
1.3 本研究の流れ.....	11
1.4 博士論文を構成する論文など .....	12
文献 .....	13
第2章 洗浄における酸・塩基中和説の拡散経緯の推定 .....	15
2.1 研究目的 .....	16
2.2 研究方法 .....	16
2.2.1 インターネット上の情報収集 .....	16
2.3 結果および考察 .....	17
2.3.1 酸・塩基中和説に関する消費者情報の収集と分析 .....	17

2.3.2 酸・塩基中和説の起源情報サイトの分析と背景の推定 .....	20
2.4 まとめ .....	22
文献 .....	22
第3章 クエン酸によるカルシウム系汚れの洗浄に関する消費者情報の実験的検証 .....	24
3.1 研究目的 .....	25
3.2 研究方法 .....	26
3.2.1 クエン酸の洗浄利用に関する情報の分析 .....	26
3.2.2 有機酸によるカルシウムの溶解性試験 .....	26
3.2.3 クエン酸とカルシウムの反応試験 .....	27
3.2.4 カルシウムと他元素を含む汚染布と洗浄試験 .....	28
3.3 結果および考察 .....	29
3.3.1 クエン酸の洗浄利用に関する情報の分析 .....	29
3.3.2 有機酸によるカルシウムの溶解性試験 .....	31
3.3.3 クエン酸洗浄における除去性低下要因の検証 .....	34
3.3.3.1 クエン酸と炭酸カルシウムの反応実験 .....	34
3.3.3.2 クエン酸およびカルシウム濃度の測定 .....	36
3.3.3.3 酸洗浄のメカニズム .....	42

3.3.4 他元素を含むカルシウム系汚れの洗浄率の変化 .....	43
3.4 結論 .....	45
文献 .....	46
第4章 酸・塩基中和説の誤情報の拡散原因の解明 .....	49
4.1 研究目的 .....	50
4.2 研究方法 .....	51
4.2.1 中和の定義に関する辞典の情報整理 .....	51
4.3 結果および考察 .....	51
4.3.1 中和説の科学的問題点の整理 .....	51
4.3.1.1 中和の定義 .....	51
4.3.1.2 酸・アルカリに関する用語の混乱 .....	53
4.3.1.3 酸化と酸の混乱 .....	55
4.3.1.4 酸性汚れ・アルカリ性汚れの定義の問題 .....	55
4.3.1.5 脂肪酸の理解不足 .....	56
4.3.2 本来の酸塩基洗浄のメカニズム .....	58
4.3.2.1 アルカリ剤の作用 .....	58
4.3.2.2 酸剤の作用 .....	59

4.3.3 問題の本質 .....	59
4.4 まとめ .....	61
文献 .....	61
第 5 章 結言 .....	63
5.1 本論文の総括.....	64
5.2 今後の課題 .....	66
謝辞 .....	68

# 第 1 章

## 緒 言

## 1.1 研究背景

### 1.1.1 家庭洗浄における酸・塩基と洗浄における酸・塩基（アルカリ）中和説

家庭における洗浄の特色は、簡便性として大規模な設備・機器などを必要とせず、少ない労力で短時間に、しかも安価にできることがあげられる。更に、専門的知識や技術に乏しくとも洗浄の行為が行われるため、危険な機器や薬品を使用しない、安全性に優れたものでなければならぬ。このような特色は、同時に洗浄効率や清浄度の点で産業洗浄に比べて遜色があることは避けられない<sup>1)</sup>。また洗浄の効果を考えると、汚れや汚れの付着物に対応する専用洗剤を用いることが効果的である。それ故に労力・手間をかけずに短時間できれいにしたいという消費者のニーズに応えようと、多くの製品が販売されている<sup>2)</sup>。

一方で家庭においてそれぞれの専用洗剤を準備することは繁雑すぎ、なるべく汎用的な洗剤を求める傾向も見られる。そのため、特に掃除を中心とした生活環境管理においては、専門洗剤だけでなく化学反応剤である酸・アルカリなどの薬品が汎用的に活用されている。なおここでは、家庭用品品質表示法により、洗剤は界面活性剤の作用が主体であり、洗浄剤は洗剤を除く化学作用が主体として汚れを落とすものに分類する。これらの酸・アルカリ（塩基）洗浄剤による家庭内の掃除は、合理的でコストダウンにつながり環境にも負荷が少ないと、国民生活センターからも情報発信されている<sup>3)</sup>。

日本では、家庭の掃除に古くから酸やアルカリ（塩基）が用いられている。アルカリによる家庭掃除の記録では、大正期（1912～1926 年）の高等女学校家事科検定教科書に板戸・板塀・家屋外周の板張りに用いられていた<sup>4)</sup>。洗い掃除として炭酸ソーダ（曹達）を用いた掃除方法を表 1-1 に示す<sup>5)</sup>。このように酸塩基洗浄剤は古くから家庭で活用方法が紹介されているが、近年は前述の国民生活センターからの情報<sup>3)</sup>等、酸・アルカリ洗浄剤による洗浄のメカニズムに対する化学的知識と結びつけた説明が広まってきている。その中で、酸性汚れ・アルカリ性汚れと分けて、酸性汚れはアルカリで中和、アルカリ性汚れは酸で中和して汚れを除去するとする情報が、特に Web 情報・マスコミにおいて拡散している。この説を本論文では「洗浄における酸・塩基（アルカリ）中和説」と定義することとする。その説明の中で、中性脂肪を酸性汚れとして分類するなどの科学的に疑問に思われる説明が散見

されている。

表 1-1 家事新教科書（大正 8：1919 年）におけるアルカリを用いた掃除方法<sup>5)</sup>

第二章 住 居 第二節 掃 除	
住居の不潔なるは、(一)衛生上にも、(二)保存上にも、(三)修養上にも宜しからず。故に(一)毎日掃除する外に、(二)毎月、日を定めて大掃除をなし、(三)又毎年春秋には、清潔法施行の定めにより清潔法を行ふべし。毎日の掃除は、掃き掃除・拭き掃除をなし、毎月の大掃除は此の外適宜に洗ひ掃除等をもなし、春秋の清潔法は更に畳下・牀下等の掃除をもなすべし。	
一、 屋 内	一、 掃除準備
掃除用具	ハタキ・箒・塵取・雑巾・桶・刷毛・石鹼・ソーダ桶・如露
掃除材料*1 主要なるもの	水・湯・粉石鹼・炭酸ソーダ・濃硝酸・稀鹽酸
身仕度	作業に便にして、身體と衣服とを保護し得る身仕度をなせ、其の主要なる事左の如し。 イ.掃除服を着けて作業に便にし、且衣服を保護すべし。或は襷をかけ前掛を用ひてもよろし。 ロ.手拭にて頭髮を包み塵を防げ。 ハ.場合により、鼻及び口覆をかけ、呼吸器を保護すべし。
二、 掃除方法（「掃き掃除、拭き掃除」は省略）	
洗ひ掃除*2 拭き掃除のみにては、次第に汚れて色づくものなるにより、板の間・縁側等は時々洗ひ掃除をなすをよしとす。洗ひ掃除には、石鹼液を用ふる法と、炭酸ソーダ液を用ふる法とあり。	
甲、石鹼洗 障子の引手際・板の間・縁側等に行ふ法にして、品質を害する患なくば、ソーダ洗にてもよろし。 イ*3.中温の水に炭酸ソーダを加へて軟化せしめ、石鹼の沈澱を防げ。 ロ.粉末石鹼を溶かして約〇・五%液(水一升、石鹼二・四匁)を造れ。 ハ.掃き掃除せし後石鹼液にて 濕し、木理に沿ふて、刷毛洗をなせ、戸・障子の引手際ならば、爪刷毛又は布片を用ひよ。 ニ.石鹼液を拭い去りたる後、十分に水にて刷毛洗をなせ。 ホ.汚れざる雑巾にて清く拭ひ、室を開き置きて急に乾かせ。 乙、ソーダ洗 板塀・家屋外周の板張等の粗雑なる部は、石鹼洗にては費用高價なるにより、炭酸ソーダを用いて安價に洗ふことを得べし。 イ*4. 中温の水に炭酸ソーダを溶かして、約〇・五%液(水一升、炭酸ソーダ二・四匁)となせ、灰汁にてもよろし。 ロ.洗ふべき部分を水にて 濕し、炭酸ソーダ液の様に浸み渡るやうにせよ、然らざれば斑を生ずることあり。 ハ.炭酸ソーダ液にて、上方より下方に刷毛洗をなせ、下方より上方に洗へば、洗ひたる部を再び汚す患あり。 ニ.水にて清洗し、ソーダ液を去れ。 ホ.約〇・一%の鹽酸液(水一升、鹽酸〇・五匁)にて拭ひ(他の酸液にてもよろし)、残りたるアルカリ性溶液のために、白木の黄變することを防げ。 ヘ.よく水洗し、次に水分を拭ひ取りて乾かせ。	

欄外の記載：(関連する内容のみ抜粋)

\*1 石鹼桶およびソーダ桶はバケツにてもよし。炭酸ソーダ・硝酸・鹽酸は工業用品にてよし。  
\*2 炭酸ソーダは炭酸ソウヂウム又は炭酸ナトリウムとも云う、通俗に洗濯ソーダと稱するものなり。  
\*3 硬水はカルシウム・マグネシウム分を含むを以て、石鹼に遇はばそれぞれにカルシウム石鹼、マグネシウム石鹼を沈澱す。  
\*4 木灰は平均二〇%の炭酸カリを含むにより、灰汁は炭酸カリ液と考えふことを得るべし、二本の試験管に炭酸ソーダ液と炭酸カリ液とを入れ、これにフェノールフタレーン液を滴加すれば共に赤變してアルカリ性反應を呈すべし。  
注：仮名遣いは原文ママ 注：一升=約 1,800ml, 一匁=1.37 g  
注：鹽酸(塩酸)について、「実践家事新教本（昭和 12=1937 年）」においては、「家庭用酸は食酢でよい」の記載あり<sup>4)</sup>



1.1.2 汚れ除去のメカニズムと酸塩基洗浄

洗浄とはある基質から汚れを取り除く操作であり、生活の場面では洗濯，掃除，食器洗いなどの場面が相当する．洗浄に対する関心の大部分はその実用性にあり，特に洗浄技術の改善や，全く異なる切り口からの洗浄技術の開発に対しての需要が大きい．洗浄の操作は被洗物にダメージを与えないことが必要条件になる．洗浄は，そのメカニズムから図 1-1 に示すように，分離型洗浄，溶解型洗浄，分解型洗浄の 3 タイプに分類される．分離型洗浄とは界面活性剤や弱アルカリの力を借りて，汚れと被洗物基質の間の汚れの付着力を低下させ，汚れを引きはがすように除去するパターンである．溶解型洗浄とは，食塩を水で溶解するように，溶媒中の汚れをばらばらの分子・イオン等として溶解するパターンである．分解型洗浄とは主として有機物汚れに対する処理で，分子を壊して汚れではないものに分解し，そして取り除くというものである．生活の場面では界面活性剤を主体にした洗剤類で汚れを落とす分離型洗浄が主に用いられるが，分離型洗浄というのは洗浄効率から見ると好ましいものではない．洗浄効率からみて一番望ましいのは分解型洗浄で，次に溶解型洗浄，そして分離型洗浄は汚れの再付着や別の物質（界面活性剤など）が残留しやすいので，産業洗浄では避けられる傾向にある<sup>6)</sup>．

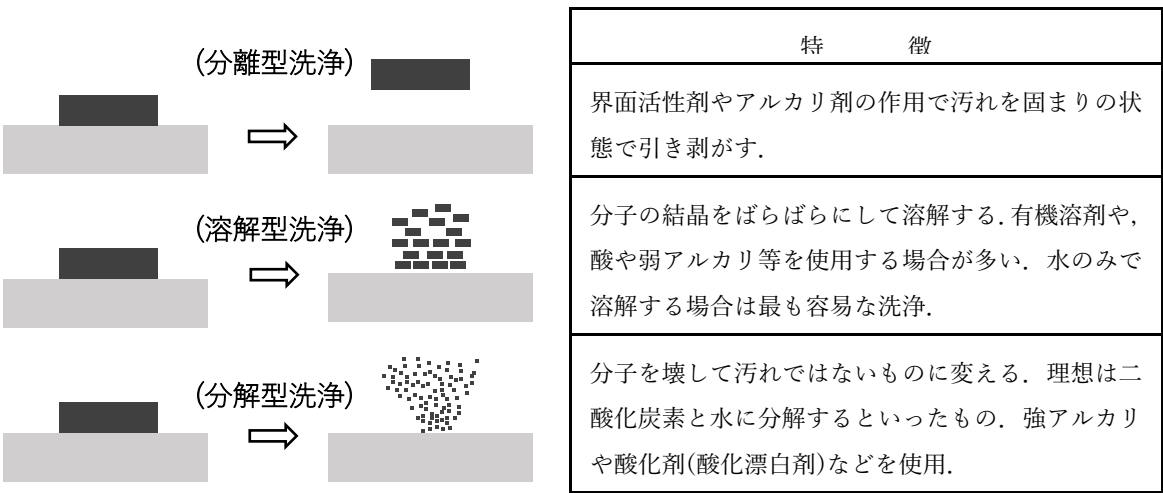


図 1-1 3 種の洗浄パターン<sup>6)</sup>

酸塩基洗浄は、酸やアルカリなどを使用した溶解型洗浄である。水溶性汚れの中で難溶性のものを、酸・アルカリを用いて水溶性を高めて洗浄する。酸性（酸）物質とアルカリ性（塩基）物質は、それぞれカルシウムと脂肪物質に溶解効果がある<sup>6)</sup>。溶解型洗浄は、汚れを水や有機溶剤に溶解する洗浄方式であり、その汚れの種類によって選択すべき洗浄液の種類など、洗浄方法が大きく異なる。タンパク質、脂肪酸、金属類などが溶解型洗浄の対象となる<sup>7)</sup>。酸・塩基中和説では、金属類の中でカルシウム系汚れである水垢が取り上げられている。酸洗浄としてカルシウム系汚れの化学的除去は、溶解型洗浄であり効果が著しく、洗浄時間が短いといった長所があるため、家庭での除去から産業における除去と幅広い面で利用されている。カルシウム系汚れの化学的除去に用いられる酸溶剤は、塩酸や硫酸、キレート効果からリン酸系の化合物が用いられる<sup>8)</sup>。酸溶剤を用いた家庭洗浄においては、金属汚れの溶解力は弱くとも安全性が高いため、無機酸よりも有機酸の使用が望ましく実際に活用されている。しかし、酸洗浄としてカルシウム塩の酸による洗浄のメカニズムは、酸・塩基中和説でも取り上げられているが、カルシウム塩の溶解の挙動について化学的に明確でない部分が課題といえる。

### 1.1.3 酸塩基洗浄の消費者情報学的な課題

洗浄に関する消費者情報は、理化学的なデータを根拠とする理系要素の強い情報であり、情報を整理するために「専門－一般」<sup>9)</sup>の尺度から捉えることができる。専門家レベルの情報から一般レベルの情報までを「専門－一般」尺度から4段階に区切ると、表1-2に示す第1次～4次の情報として分けることができる。その中で3次情報は、研究者ではない消費者リーダーレベルから発信される情報である。対象が一般レベルのため平易でわかりやすい内容が前提となる。一般消費者の関心の高い危険性や安全性に関する情報が多くの割合を占めることも特徴である。一般市民に与える影響が非常に大きいのが特徴であり、この次元の情報が良質になれば、洗浄に関しても情報流通の果たす役割が増大する。

表 1-2 理化学系情報の分類<sup>9)</sup>

	提供者	情報媒体
1次情報	研究者	学術誌(論文)、実験研究報告書など
2次情報	研究者	学術誌(解説・総説)、調査報告書、専門書、一般書籍(難解)
3次情報	消費者リーダー	一般書籍(平易)、消費者教育用教材など
4次情報	一般消費者	消費者教育用教材、個人WEBページなど

インターネットの普及とともに一般消費者が容易に情報を発信することができるようになってきている。このような一般消費者レベルから発信される情報を4次情報として分類できる<sup>10)</sup>。3次情報の課題は、一般消費者に受け入れられやすく、社会的な影響力が絶大になる場合があるため、いかに科学的な要素を重視する方向に導くことができるかという点があげられる<sup>11)</sup>。3次および4次情報に共通して、研究者レベルではない情報発信に伴う科学性の不備が課題としてあげられる。また、インターネット上の掲示板等を中心に不特定多数

の参加者が意見交換を行うシステムが普及している。この一般消費者レベルのコミュニケーションでは、情報発信に関する課題として、誤情報に対する防御性・抵抗性が非常に弱いという欠点を抱えており、しばしば誤情報を広める媒体となってしまう危険性が考えられる<sup>12)</sup>。酸・塩基中和説のような科学的に疑問のある内容であっても、3次および4次情報を媒体に消費者に拡散する可能性が考えられる。

一方で消費者基本法の平成16(2004)年の改正では、消費者の保護だけでなく自立支援が求められている。消費者の責務として「消費者は、自ら進んで消費生活に関する必要な知識を習得するとともに、情報収集など自主的かつ合理的に行動するように努め、環境の保全・知的財産権などの保護に配慮するよう努めること。<sup>13)</sup>」と定められている。自立的な消費者として、科学的な事実と証拠、不良情報の理解、相手方の意見も尊重しながら「自分に合う製品を自分で考えて選ぼう」とする態度<sup>14)</sup>等が求められる。そのため、消費者自身も情報の発信者となる状況において、科学的に正確な情報は重要視されなければならない。

#### 1.1.4 学校教育における酸塩基洗浄の位置づけ

消費者情報の他に、家庭における酸塩基洗浄に関する情報源は、学校教育から考えることができる。学習指導要領や教科書に取り扱われている、学校教育における酸塩基洗浄および洗浄に関連する校種別の学習内容を表 1-3 に示す。家庭における酸塩基洗浄は、掃除を主な対象とする。大学生による掃除、住居学と家庭科教育からの室内環境整備の技術の習得の調査では、黒光ら<sup>15)</sup>によって掃除方法の技術の指導は、母親に次いで小学校の先生から教わったことが明らかにされ、学校教育における掃除の実践方法の伝達の意義は大きい。これまでに学校教育では、大正期には高等女学校の家事科において掃除の実践の学習が位置づけられていた<sup>4), 5)</sup>。しかしながら、現時点(2021 年)で最新となる学習指導要領では教科の学習として清掃の学習に取り組むのは、小学校家庭科(5・6 年生)のみである。学習指導要領解説<sup>16)</sup>には学習内容として、「汚れの種類、汚れ方に応じた清掃の仕方が分かり、状況に応じた清掃の仕方を理解し、適切にできるようにする。」と示されている。小学校の掃除の仕方の指導において、三好ら<sup>17)</sup>の授業実践から家庭生活上の特殊な汚れを落とすための科学的な理解の必要性が示唆されている。この実践により、科学的に明確化する必要のある内容は、汚れに対する知識・技能の習得であると明らかにされている。どのような方法で掃除をすればよいのかについて、思考が深まらなかったことが課題としてあげられ、対象の汚れは、水垢、石鹸かす、焦げ、かび、テープ跡、墨、さびなどであった。掃除の学習の指導については、どの段階でどのような指導を行うのか検討が必要であり、理科等における既習の中に応用できる知識がない中でどのような科学的な理解を促すかが課題とされている。なお実用レベルの洗浄について家庭科教育では、洗濯を主な対象として理論を中心に、分離型洗浄として界面活性剤を中心とした内容<sup>16), 18), 19)</sup>について小・中・高等学校で、分解型洗浄として漂白剤や酵素<sup>19)</sup>について高等学校で、すべて必修科目において取り扱われ学ぶ機会が保障されている。

理論部分が不明瞭な酸・塩基中和説の酸洗浄など酸塩基洗浄のメカニズムに関連する化学的な内容は、学校教育では理科において、小学校 6 年生から高等学校まで段階的な学習内容として位置づけられている。酸・アルカリの最初の学習<sup>20)</sup>をする小学校 6 年生の教材

として、玉井により<sup>21)</sup> 酸の水溶液の働きの指導のためにチョーク（炭酸カルシウム）とクエン酸水溶液の反応が取り扱われている。この授業研究は、より深い科学的認識を育む理解の学習を目指し、実生活と結びつける理科の学習として家庭実践も重視し、チョークとクエン酸の反応から家庭の掃除への実践に発展し、化学的な知識の学習を実生活への応用に発展させている。さらに分子やイオンについて中学校では、化学変化とイオンとして水溶液とイオンの酸・アルカリや中和と塩としての学習<sup>22)</sup> や、高等学校では、物質の変化とその利用として物質と化学反応式および化学反応の酸・塩基と中和の学習<sup>23)</sup> として段階的に上位概念が位置づけられている。しかしながら高等学校においては、選択した科目によってイオンや酸・塩基などの上位概念の履修に差がみられる。

さらに学習指導に当たり特に留意する項目として、最新の学習指導要領の改訂で重視されている主体的・対話的で深い学びの実現に向けて、コンピュータや情報通信ネットワークを積極的に活用する事が求められている。その事例として小学校家庭科の学習指導要領解説<sup>16)</sup> では、「汚れの種類による清掃の仕方について、情報通信ネットワークを活用して調べ、収集した情報を基に解決方法を検討」する事があげられている。家庭科の学習方法として、日常生活の中から問題を見いだして課題を設定したり解決したりする際に、情報通信ネットワークを活用して調べ、その情報を収集・整理する事が想定されている。

以上のことから、現状では学校教育で掃除など実用レベルの酸塩基洗浄を取り扱うためには、家庭科と理科（化学など）の学習段階が異なり、掃除の実践と同時にその理論的解釈を教科連携によって学習する事は困難と考えられる。洗浄は汚れを落とす操作であるが、その場面や方法は無限にある。重要なのは条件に合った適切な洗浄方法を探し出すことである。実用レベルで洗浄を理解するためには、洗浄に関連する多くの事柄を整理することが求められる<sup>24)</sup>。今後は、日常生活への実践をねらい、小学生でも活用できる酸塩基洗浄に関する化学的根拠を伴う情報が重要となる。

したがって現状の学習指導要領において、酸塩基洗浄を小学生から実用レベルで化学的な上位概念も含む内容として整理するためには、化学的な理論について系統立てた学びとは別な情報の提供が必要である。そのため化学的な反応について、生活科学の専門家からの

複雑さを取り除いた情報提供は重要だと考えられる。

表 1-3 学校教育における酸塩洗浄および洗浄に関連する校種別の学習内容

校 種	教 科			
	家庭科		理科	
	掃除の理論と実践	洗濯の理論と実践	酸・塩基の学習	洗濯の理論
小 学 校	<b>B 衣食住の生活</b> <sup>16)</sup> <b>(6)快適な住まい方</b> <b>ア(イ)住まいの整理・整頓や清掃の仕方</b> <b>汚れの種類、汚れ方に応じた清掃の仕方が分かり、状況に応じた清掃の仕方を理解し、適切にできるようにする。</b>	<b>B衣食住の生活</b> <sup>16)</sup> <b>(4)衣服の着用と手入れ</b> <b>ア(イ)日常着の洗濯に必要な洗剤、用具及び洗い方などを理解し、洗濯ができるようにする。</b>	<b>水溶液の性質</b> <sup>20)</sup> ・酸性、アルカリ性、中性 ・気体が溶けている水溶液 ・金属を変化させる水溶液	
中 学 校		<b>B衣食住の生活</b> <sup>18)</sup> <b>(4)衣服の選択と手入れ</b> <b>ア(イ)洗剤の働きと衣服の材料に応じた洗剤の種類などが分かり、洗剤を適切に選択して使用できるようにする。衣服の材料や汚れ方に応じた洗濯の仕方について理解できるようにする。</b>	<b>水溶液とイオン</b> <sup>22)</sup> ・原子の成り立ちとイオン ・酸・アルカリ ・中和と塩	
高 等 学 校		<b>家庭基礎</b> <sup>19)</sup> <b>B衣食住の生活の自立と設計</b> <b>(2)衣生活と健康</b> <b>ア(イ)汚れが落ちる仕組み、湿式洗濯（ランドリー）と乾式洗濯（ドライクリーニング）の特徴を理解した上で、組成表示、家庭用品品質表示、取扱表示などに基づいた、適切な洗濯ができるようにする。</b>	<b>化学基礎</b> <sup>23)</sup> <b>(2)物質の構成</b> <b>ア(イ)物質と化学結合</b> <b>①イオンとイオン結合</b> イオンの生成を電子配置と関連付けて理解すること。また、イオン結合及びイオン結合でできた物質の性質を理解すること。 <b>②分子と共有結合</b> 共有結合を電子配置と関連付けて理解すること。また、分子からなる物質の性質を理解すること。 <b>(3)物質の変化とその利用</b> <b>ア(イ)化学反応</b> <b>①酸・塩基と中和</b> 酸や塩基に関する実験などを行い、酸と塩基の性質及び中和反応に関与する物質の量的関係を理解すること。	<b>科学と人間生活</b> <sup>25)</sup> <b>2.物質の科学</b> <b>1 章 食品と衣料</b> <b>B 衣料の科学</b> <b>：衣料の洗濯</b> ・セッケン ・合成洗剤 ・繊維の洗浄 ・漂白剤

※高等学校は履修の多い科目を選択し記載した

## 1.2 研究目的

家庭における洗浄では、被服学として洗濯を中心に研究が行われているが、住居学、食物学と関連づけられる掃除、食器洗いにおける洗浄の研究事例は少ない。学問分野として捉えた場合、更に分野を広げれば、ビル外壁や道路等の掃除は建築・土木分野、金属加工工程での切削油の除去は機械・金属分野、手術器具の汚れ除去は医学分野等々、洗浄というのは種々の専門分野の一工程であることが分かる<sup>6)</sup>。このように洗浄技術は、それぞれの学問分野において発展していることから、種々の洗浄分野を包括した洗浄の全体像を捉えることは、消費者情報においても有益だと考えられる。

しかしながら、酸・塩基中和説のように消費者情報として洗浄のメカニズムについて明確ではない課題がみられる。そこで本研究では、酸塩基洗浄の消費者情報について、洗浄に関心のある一般消費者を対象とし、掃除、家庭実践、化学系の知識等の視点から整理する。そのために酸・塩基中和説に関する消費者情報の具体的内容を調査し、消費者情報がどのように酸・塩基中和説として主張されているのか、どのように拡散したのか経緯を解明し拡散原因の問題点を整理した。さらに酸・塩基中和説で取り上げられている、家庭洗浄では挙動が未解明であるカルシウム系汚れの有機酸を用いた酸洗浄については、洗浄のメカニズムについて実験的に検証した。このような消費者情報の分析と実験的検証に基づき、酸・塩基中和説の修正ロジックを構築した。

## 1.3 本研究の流れ

本研究は全5章から構成されている。

第1章では、本研究の背景として日本の家庭洗浄における酸・塩基の活用および洗浄における酸・塩基中和説の定義を整理した。さらに汚れ除去のメカニズムと酸塩基洗浄、酸塩基洗浄の消費者情報学的な課題、学校教育における酸塩基洗浄の理論と実践の位置づけをまとめ、研究目的について論述した。

第2章では、洗浄に関する酸・塩基中和説の拡散経緯の推定として、中和説に関する消費者情報の収集・分析および中和説の起源情報サイトの分析と背景の推定を行った。



第3章では、クエン酸とカルシウム系汚れの消費者情報に関する実験的検証として、消費者情報の中で酸・塩基中和説として、メカニズムが解明されていない酸洗浄の金属塩除去について、家庭で実践しやすく環境に配慮した有機酸による水垢除去の反応から実験的に検証した。

第4章では、洗浄に関する酸・塩基中和説の拡散原因の解明として、酸・塩基中和説の科学的問題点を整理し、酸・塩基中和説にかわる酸塩基洗浄の修正ロジックを提案した。

第5章では、本研究の結言を述べた。

#### 1.4 博士論文を構成する論文等

##### 本論文を構成する公表論文

- 1) 駒津 順子, 田母 神礼美, 大矢 勝. クエン酸によるカルシウム系汚れの洗浄に関する消費者情報の実験的検証. 日本家政学会誌. 2019, Vol.70, No.10, 643-652
- 2) 駒津 順子, 大矢 勝. 洗浄における酸・塩基(アルカリ)中和説の問題点, 日本家政学会誌, 2021, Vol.72, No.4, 197-205

##### 学会発表

- 1) 駒津順子, 田母神礼美, 大矢勝. クエン酸を用いた水垢除去に関する消費者情報の検証. 日本家政学会第71回大会(2019年5月24~26日, 徳島県)
- 2) J Komatsu, R Tamogami, M Oya. Experimental Verification of Consumer Information on Calcium Stain Removal with Citric Acid. Comfort and Smart Textile International Symposium 2019. (2019.9.5-7. Nara, Japan)
- 3) 駒津順子, 大矢勝. 酸・アルカリを利用する洗浄に関する消費者情報の問題点. 日本家政学会第72回大会 (2020年5月29~31日, 群馬県)

## 文献

- 1) 辻 薦. 洗淨と洗剤. 地人書館, 1992
- 2) 小林 恒雄. 住まいを清潔に：住居用洗剤・洗淨剤のいろいろ(<特集>化学の目で家庭生活を見る：清潔を保つための化学). 化学と教育, 1990, Vol.38, No.6, 661-664
- 3) 西室 弓絵. そこが知りたい! そこも知りたい! 重曹 クエン酸を活用! 汚れの正体を知れば楽に掃除ができる. 国民生活センター, 2013-11. Vol.16, 40-44
- 4) 表 真美. 学校における「家庭の掃除」に関する教育の歴史的変遷—高等学校家事科検定教科書を資料として—. 日本家政学会誌, 2021, Vol.72, No.5, 260-271
- 5) 石沢 吉磨. 家事新教科書 上巻. 集成堂, 1919, 3-12 <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/942754>(閲覧日：2021.5.1)
- 6) 大矢 勝. よくわかる最新洗淨—シャツの黄ばみの正体と解消法—. 日本家政学会誌, 2019, Vol.70, No.1, 42-46
- 7) 大矢 勝. 洗淨のメカニズム. 表面技術. 2009, Vol.60, No.2, 85-89
- 8) HE Patterson, 馬場 宣良. 塗装前の鋼の化学的表面処理. CORROSION ENGINEERING DIGEST, 1957, Vol.6, No.6, 326-331
- 9) 大矢 勝. 消費の環境情報学. 大学教育出版, 2006, 63-64
- 10)前掲 9) 66-67
- 11)前掲 9) 72-75
- 12)前掲 9) 112-113
- 13)消費者基本法. <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=343AC10000000078> (閲覧日：2021.3.1)
- 14)大矢勝. 洗剤論争の経験から，消費者情報の問題点を考える．クリーンエイジ, 2018, Vol.255, No.3, [https://jsda.org/w/01\\_katud/PL\\_ca255.html](https://jsda.org/w/01_katud/PL_ca255.html) (閲覧日：2021.3.1)
- 15)黒光 貴峰, 徳重 礼美, 新馬場 有希. 大学生の室内環境整備の実態と意識. 鹿児島大学教育学部研究紀要人文・社会科学編, 2011, Vol.62, 89-100
- 16)文部科学省. “小学校学習指導要領解説 家庭編”. 2017. <https://www.mext.go.jp/comp>

- onent/a\_menu/education/micro\_detail/\_\_\_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017\_009.pdf (入手日：2020.10.1)
- 17)三好 智恵, 岡 陽子. 家庭科の「活用する力」を育むための「習得場面」における知識・技能の指導についての考察. 佐賀大学教育学部附属教育実践総合センター, 2018, Vol.36, 87-94
- 18)文部科学省. “中学校学習指導要領解説 技術・家庭編”. 2017. [https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_\\_\\_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387018\\_009.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/___icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387018_009.pdf) (入手日：2020.10.1)
- 19)文部科学省. “高等学校学習指導要領解説 家庭編 家庭分野”. 2018. [https://www.mext.go.jp/content/1407073\\_10\\_1\\_2.pdf](https://www.mext.go.jp/content/1407073_10_1_2.pdf) (入手日：2020.10.1)
- 20)文部科学省. “小学校学習指導要領解説 理科編”. 2017. [https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_\\_\\_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017\\_005\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/___icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017_005_1.pdf) (入手日：2020.10.1)
- 21)玉井 裕和. 「酸のはたらき」の授業：より深い科学的認識を育む授業を創るための一考察. 近畿大学教育論叢, 2012, Vol.24, No.1, 35-58
- 22)文部科学省. “中学校学習指導要領解説 理科編”. 2017. [https://www.mext.go.jp/content/20201203-mxt\\_kyoiku01-100002608\\_5.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20201203-mxt_kyoiku01-100002608_5.pdf) (入手日：2020.10.1)
- 23)文部科学省. “高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編”. 2018. [https://www.mext.go.jp/content/1407073\\_06\\_1\\_2.pdf](https://www.mext.go.jp/content/1407073_06_1_2.pdf) (入手日：2020.10.1)
- 24)大矢 勝. 図解入門よくわかる最新洗剤・洗剤の基本と仕組み. 秀和システム, 2011, 11
- 25)藤嶋 昭, 植松 恒夫, 江里口 良治, 本川 達雄, 山本 隆一, 他. 科学と人間生活. 新興出版社啓林館, 2020(2011 検定, 2021 年度用), 81-84

## 第 2 章

### 洗浄における酸・塩基中和説の拡散経緯の推定

## 2.1 研究目的

一般に洗浄といった場合は、汚れとそれが吸付着している基質、それらと接する媒質の三者からなる系において、媒質中で基質から汚れを引き離し、できるだけその引き離された汚れを再び基質へ付着することなしに、系から取り除く操作を指す。洗浄は日常生活においても、あるいは精密な電子部品などを製造する工程においても、重要かつ必須の作業といえる。しかし繊維製品などになった後に、くり返し使用するために必要な作業になってくる洗浄は、物造りの段階には組み入れられず、製品化したあとの取扱い段階で必要となる。日常的に家庭で行なうことが一般的なため産業とかけはなれ、学問研究としての発展が遅れた<sup>1)</sup>とも言われている。

家庭における洗浄と洗浄剤については、主として界面活性剤に注目し、衣料用の洗濯用洗浄剤についてまとめられている<sup>2~5)</sup>。また、界面活性剤以外の生活環境管理として家庭の掃除に活用する洗浄剤などについても、洗浄剤の成分を中心とした科学的な視点からまとめられている<sup>6~8)</sup>。さらに洗浄の実用性を捉え、消費者の目的に応じた洗剤の選び方や、洗剤や洗浄剤等に即した洗浄の仕組みについてもまとめられている<sup>9),10)</sup>。

しかしながら、酸・塩基中和説として、科学的には問題点を含む内容が、消費者情報の中で大きな影響力を有している。酸塩基洗浄について、消費者の求める科学的な情報を提供することが重要である。そこで本研究では、科学情報の誤解に関する消費者情報学的な検討を目的として、洗浄における酸・塩基中和説に関する情報を収集・分析し、誤情報の拡散経緯を明らかにした。

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 インターネット上の情報収集

2020年2月12日から2月24日までの10日間を情報収集期間として、Googleのサイトで「酸 OR アルカリ OR 塩基 掃除 OR 洗濯 OR 洗浄」「アルカリ性の汚れ 例」「アルカリ性の汚れ 洗濯」をキーワードとして、総検索件数が200件となるようWebpageのデー

タを対象として情報を収集した。情報の整理は、洗浄剤を商品の販売目的とする機関「洗浄剤の販売サイト」、清掃業や住宅業などの清掃関連企業の立場から家庭における洗浄剤の活用方法を紹介する「清掃業、住宅業などのサイト（関連企業）」、個人的にクエン酸などを洗浄剤としての利用について言及する「個人サイト」、リンク集や巨大掲示板および電力会社やガス会社などの生活の知恵として紹介されている「その他のサイト」に分けた。また、洗浄剤の種類と洗浄理論について、酸性およびアルカリ性洗浄剤と、洗浄剤を用いる根拠等の関連から情報を分析した。ただし上記の情報収集及び分析は、日本語情報についてのことと限定する。

## 2.3 結果および考察

### 2.3.1 酸・塩基中和説に関する消費者情報の収集と分析

200 件の収集データから酸・塩基による洗浄に関連するデータとして 113 件が抽出されたが、その内訳はキーワード「酸 OR アルカリ OR 塩基 掃除 OR 洗濯 OR 洗浄」が 15 件中 6 件、「アルカリ性の汚れ 例」173 件中 96 件、「アルカリ性の汚れ 洗濯」12 件中 11 件であった。具体的な洗浄剤としては、酸性洗浄剤の中ではクエン酸が圧倒的に多く、その次に酢酸が続く。アルカリ性洗浄剤では重曹とセスキ炭酸ソーダに関する情報が多くみられた。

洗浄に関する中和説の記述が見られたのは 45 件で、内訳は「洗浄剤の販売サイト」7 件、「清掃業、住宅業などのサイト」14 件、「個人サイト」3 件、「その他のサイト」21 件であった（表 2-1）。

中和説を説明する文章を表 2-2 にまとめた。共通するのは以下のポイントである。

- ・汚れは酸性汚れとアルカリ性汚れがある
- ・油汚れ，タンパク質汚れなどは酸性汚れ
- ・水垢汚れ，尿石，さび汚れはアルカリ性汚れ
- ・酸性汚れはアルカリで中和して除去される
- ・アルカリ性汚れは酸で中和して除去される

そして，今回収集した酸性洗剤・アルカリ性洗剤に関する洗浄メカニズムについて説明しているものは，全て中和をその原因であるとしていた。

表 2-1 収集した情報の内訳

内 容			洗浄剤販売	清掃業等	個人	その他	合計
洗 浄 剤	酸性洗浄剤	クエン酸	8	19	4	37	68
		酢酸	2	6	2	13	23
		塩酸	2	2	1	1	6
		電解水(酸性)	1	0	0	0	1
	アルカリ性 洗浄剤	重曹	9	22	3	44	78
		セスキ炭酸塩	5	11	2	24	42
		炭酸ソーダ	5	4	0	5	14
		電解水(アルカリ性)	6	5	0	8	19
酸・塩基中和説			7	14	3	21	45

表 2-2 インターネット上で収集された洗浄における酸・塩基(アルカリ)中和説の記述内容

d1	酸性の汚れもアルカリ性の汚れも違うものと掛け合わせることで真ん中の中性に値を近づけてあげる…これを「中和」というのですが、中和すると汚れを溶かすことができるそうです!	o1	「酸性」の住宅用洗剤で洗浄できる汚れは、カルキ汚れ、尿石汚れ。これらの汚れは「アルカリ性」である成分が固まった汚れです。そのため、酸性のクリーナーで「中和分解」させるのが汚れ落とすには効果的。
d2	汚れ落としの基本は「中和させること」。酸性の汚れにはアルカリ性のものを使用する。逆にアルカリ性の汚れには酸性のものを使用すると効果が高いのです。	o2	「油」は酸性なので、重曹や石けんなどのアルカリ性の洗浄剤を使うと、汚れを中和してスムーズに落とすことができます。
d3	酸性の汚れにはアルカリ性の洗剤、アルカリ性の汚れには酸性の洗剤で中和することで汚れの個性を弱め、取り除きやすくします。	o3	お風呂用洗剤に多く見られるアルカリ性洗剤は、酸性の汚れを中和する働きがあります。汚れが中和されると、塩と呼ばれる水に溶ける性質の物質に変化します。
d4	ナチュラルクリーニングは、基本的に汚れを中和させて落としますので、汚れと反対の性質のアイテムを使うのが基本です。	o4	油汚れは酸性なのでアルカリ性の洗剤で中和することで汚れが落ちます。対して、人体からの分泌物はアルカリ性のものが多いので、酸性洗剤を使うのが効果的なのです。
d5	強力なアルカリ性の力で、べったりした手アカ・足アカ汚れも中和して落とします。こびりついた油汚れ：酸性の油汚れを強力アルカリが中和します。	o5	アルカリ性の汚れには反対の性質である「酸性」の洗剤を使うと、汚れが中和されてやわらかくなり落とすことができます。
d6	石けん水あかに対する洗浄力：[アルカリ性洗剤]石けん水あかの汚れはアルカリ性で中和できないので、洗浄力が弱い。[酸性洗剤]石けん水あかのアルカリ性の汚れを中和するので洗浄力が高い。	o6	おもな酸性の汚れは「油汚れ」「手あか」「皮脂」など、ベタベタしているのが特徴で、反対の性質である「アルカリ性」の洗剤でお掃除をすると、汚れが中和されて落とすようになります。
d7	せっけんで洗濯した衣類に残ったアルカリ分を中和すると、仕上がりがよりやわらかくなり、せんけんの臭いも防ぐことができます。	o7	酸性の汚れにはアルカリ性のクリーナーを、アルカリ性の汚れには酸性のクリーナーを使います。「汚れと正反対の性質をもつクリーナーを使う」＝「汚れを中和させる」ということなのです。
r1	つまり、日常の汚れのほとんどが酸性の汚れであるのでアルカリ性の洗剤で中和反応させて汚れを浮かせて溶かし落とします。	o8	基本的には汚れと反対の性質を持つ洗剤を使い、汚れを中和して落としましょう。
r2	尿や便などは、アルカリ性の汚れです。そのため、酸性の洗剤を使うことがポイント。『中和』という化学反応によって、汚れをスッキリと落とせるのです。	o9	汚れの性質をとらえ、その反対の性質の洗浄剤をぶつければ、中和反応で効率的に汚れを落とす事ができます。
r3	酸性の汚れにはアルカリ性、結晶性の汚れには酸性の洗浄剤を使い、前者は中和させて落とし、後者は結晶をゆるませて磨き落とすのが基本だからです。	o10	汚れにも、酸性の汚れとアルカリ性の汚れがあって、その汚れと反対側の性質の洗剤を使って、中和させるのがナチュラルクリーニングの基本です。
r4	酸性の汚れを効果的に落とすにはアルカリ性の洗剤で中和すると汚れを落としやすくなる。アルカリ性の汚れを効果的に落とすには酸性の洗剤で中和することで汚れを落としやすくなる。	o11	エコ洗剤にはアルカリ性の性質を中和する、酸性のクエン酸や、酸性の性質を中和する、アルカリ性の重曹があります。
r5	汚れを落とすには、それぞれの汚れのpH値を7、つまり中性に近づけることが大切で、これを「中和」と言います。つまり酸性の汚れにはアルカリ性洗剤を、アルカリ性の汚れには酸性洗剤を使えばより簡単に汚れを落とせるようになります。	o12	これらの汚れを綺麗にするためには、「中和」という化学反応を利用する必要があります。汚れの性質とは逆の洗剤を使って中和させると、汚れがとっても落ちやすいんですよ。
r6	汚れにも、酸性の汚れとアルカリ性の汚れがあって、その汚れと反対側の性質の洗剤を使って、中和させるのがナチュラルクリーニングの基本です。	o13	汚れの特性に対して中和作用のある液性の洗剤を用いることで、より効率的に汚れを落とすことができるというわけです。尿石や水アカ・湯アカはアルカリ性の汚れです。
r7	実は汚れと洗剤には相性があります。たとえばアルカリ性の汚れには酸性の洗剤を使うことで、汚れを中和して落とすことができます。	o14	水回りの水垢や、トイレの尿石などはアルカリ性になっているので、酸性洗剤を使用すれば、中和して柔らかくし、簡単に綺麗に落とすことができ、掃除が楽にできるのがポイントです。
r8	酸性の汚れ+アルカリ性洗剤 中和することで汚れを落としやすくなる。・・・アルカリ性の汚れ+酸性洗剤、中和することで汚れを落としやすくなる	o15	中和とは反対の性質をぶつけること。つまり、酸性が強い汚れにはアルカリ性のものを、アルカリ性が強い汚れには酸性のものをあてるとのことです。「反対の性質のものがぶつかることで性質が中和され、汚れが落ちていく」というのが汚れ落としの基本的な構造です。
r9	汚れを落とすための基本的な考えとしては、汚れを中和させること。	o16	汚れはアルカリ性の物には酸性のものを、酸性の物にはアルカリ性のものを使い、中和して中性に近づかせることで落としやすくなります。
r10	汚れ落としというのは、ある種、化学です。汚れ落としとは、中和させる（反対の性質を混ぜる）ことです。	o17	汚れの多くは酸性の脂のため、弱アルカリの重曹と中和して水溶性にし、洗い流しやすくします。
r11	汚れには酸性やアルカリ性といった性質があり、『反対の性質の洗剤』を使うと、汚れが中和されて落とすようになります。	o18	アルカリ性洗剤！酸性の汚れを中和して分解します！
r12	洗剤の液性には酸性、中性、アルカリ性があります。何故このような分類があるのでしょうか？それは汚れにも酸性、中性、アルカリ性があるからなのです。汚れは中和することで落としやすくなります。	o19	家庭内の汚れは基本的に、酸性かアルカリ性の汚れに分類されることが多いです。汚れを落とすポイントは、この性質を理解して中和させる洗剤を投入し、汚れを落とすことにあります。
r13	油は酸性なので、アルカリ性で中和すればスルスルと油汚れが落ちてくれます。	o20	地球に優しいエコな洗濯と掃除 ポイントは中和させて汚れを落とす！重曹とは、炭酸水素ナトリウム。
r14	クエン酸や酢は酸性のため、石けんカスなどのアルカリ性の汚れを中和して、洗浄しやすくします。	o21	クエン酸を洗濯機に投入することで、衣類についたアルカリ性の汚れを中和してくれる効果が期待できるのです。
p1	アルカリ、別名「塩基」の力で汚れを落とすことや反対の酸性を中和することに使われます。		
p2	この中和とは、酸性の物体とアルカリ性の物体を(混ぜたりして)反応させて塩(えん)と呼ばれる物質を作ること。・・・そのため、中性(pH7)にすることを中和というわけではありません。ただ一般的には、中和という言葉は、酸性の物体とアルカリ性の物体を混ぜて、中性(pH7)に近づけること。・・・[アルカリ性の汚れ：水あか、尿汚れ・尿石、石けんカス、電気ポット内部の汚れ(水道水中のカルシウム汚れ)汚れは洗剤で中和すると、落ちやすくなります！]		
p3	汚れにも酸性、アルカリ性があり、それぞれ逆の性質を持つもので反応させると、中和し、汚れを分解しやすくなります。		

d：洗浄剤販売，r：清掃業等，p：個人，o：その他



### 2.3.2 酸・塩基中和説の起源情報サイトの分析と背景の推定

洗浄における酸・塩基中和説に従う情報は多数見られるが、その大部分は油脂を酸性であるとする前提をもとに展開されており、その理由についての説明は見られなかった。Web 情報で得られた「汚れは酸性とアルカリ性」と記載され下に述べる「酸化と酸」に繋がる情報をたどっていくと、ある企業の重曹に関する広告記事（Copyright 1997-2011 と記載）が見出された。それは、「酸性の汚れは、重曹で落とす」と題した内容で、表 2-3 の記述を含んでいた。

表 2-3 重曹広告ページの情報

対象項目	具体的記述
酸性汚れ・アルカリ性汚れ	家庭のキッチンや風呂、トイレなど汚れは、大きく分けると酸性とアルカリ性の2種類です。
酸性汚れの種類	酸性の汚れは、食器や調理器具の油汚れ、バターなどの油脂、ビールや日本酒、冷蔵庫など家電についた手あかなど。
アルカリ性汚れの種類	アルカリ性の汚れは、水あか、カルキ、電気ポットの中の汚れ、野菜のアクによる鍋の黒ずみ、魚の生臭さ、タバコのヤニなどです。
中和	汚れ落としの原理では、酸性汚れにはアルカリ性洗剤、アルカリ性汚れには酸性洗剤で汚れを中和させればいいのですが、
重曹の効能	弱アルカリ性なので、空気に触れて酸化したしつこい油汚れに効果的。
酸化で悪臭	汗の臭いや腐敗臭はものが酸化された臭いなので、冷蔵庫などの消臭にも役立ちます。

このページに、洗浄における酸・塩基中和説の主要な内容が記されていることが分かる。洗浄における酸・塩基中和説の中で、油脂を酸性汚れとしている点が化学的には理解し難い点であるが、この情報源の重曹の効能に関する記述の中で「弱アルカリ性なので、空気に触れて酸化したしつこい油汚れに効果的」との記述より、「酸化」を酸になる・酸性になると考えて、油脂は酸化するので酸性だと誤解した背景が読み取れる。

酸化は酸化剤によって対象物質の電子が奪われる反応であるのに対して、酸・塩基の酸は $H^+$ を与える物質を指すので次元が異なる。ルイスの定義では酸は酸・塩基反応において電子対を受け取る側の物質を指すが、これも電子を放出する酸化とは異なる。有機物は酸化によって一般にカルボキシ基 ( $-COOH$ ) を生成するので、カルボン酸、つまり酸の一種になるという見方もできなくもないが、油脂の酸化はむしろラジカル生成による分子量の増大に伴う粘度増大・固化が特徴的であり、カルボキシ基をアルカリでアニオン化したところで水溶性が高まるということは期待できない。汗のにおいや腐敗臭も酸化を原因に挙げているが、実際には微生物による物質の生化学的な分解が主要因であるので、酸化を強調した説明は、「酸化」を酸になるという誤解から生じたものと理解できる。このように、「酸化」と「酸」の関係についての誤解が洗浄における酸・塩基中和説の根本的な原因になったものと考えられる。

また、酸廃液をアルカリで中和して浄化するシステムを例に中和を洗浄に結びつけた背景も読み取れた。工場等の排水は pH 等も管理対象であり酸性水やアルカリ水は中性付近に調整したうえで排出しなければならず、そこではアルカリ剤を用いて排水を浄化するとされる。しかしその浄化はあくまで水質を中性にすることであり、固体基質に付着した異物を除去する一般の洗浄とは全く異なるものである。しかし上記の混同が、中和を洗浄に結びつける要因となった可能性は高いと思われる。

## 2.4 まとめ

洗浄における酸・塩基中和説とは、①汚れは酸性汚れとアルカリ性汚れに分類できる、②酸性汚れとアルカリ性汚れは、それぞれアルカリと酸で中和して除去できる、とする説である。その説は日本の消費者の中で広まっているが、科学的な誤りが含まれている。そこで本研究では関連情報をインターネット上から収集して分析し、誤情報が生まれて拡散していく過程を調べた。

その結果、Web 情報では大部分が酸塩基洗浄の理論について、酸・塩基中和説を支持していることが確認された。また、中和説の関連情報の分析から、酸性汚れ・アルカリ性汚れに分類する方法に問題のあること、過度の酸性化やアルカリ化を中和と表現するなどの問題が確認できた。消費者情報の分析において、酸化と酸に繋がる元情報が確認できた。元情報からは、廃液の浄化から中和を洗浄に結びつけた背景が推定された。

一般消費者を対象とした洗浄に関する科学的な情報は、知識不足が原因で営利や信念・信条的な動機なく見解が偏っている情報が見られる場合がある<sup>1)</sup>。一種の流行現象に乗って、社会的に存在意義のない情報を発信する行為は、それが良心からのものであるとしても問題があると判断をせざるを得ない。家庭において、汚れを判断し適切な洗剤や洗浄剤を選択するためには、消費者情報においても洗浄の理論の科学的な正確さは重要である。

## 文献

- 1) 駒城 素子. 「洗濯・洗浄」の特集にあたって. 繊維学会誌, 2005, Vol.61, No.9, 228-229
- 2) 齊藤 昌子. 洗浄の科学：洗浄と洗浄剤. オレオサイエンス. 2001, Vol.1, No.7, 773-777
- 3) 岡野 知道. 「家庭用洗剤分野における界面活性剤」. オレオサイエンス, 2002, Vol.2, No.2, 91-99
- 4) 米山 雄二. 界面活性剤の力. 精密工学会誌, 2004, Vol.70, No.7, 884-887
- 5) 大矢 勝. 洗剤の基礎. 洗濯の科学, 2020, Vol.65, No.1, 8-15

- 6) 小林 恒雄. 住まいを清潔に : 住居用洗剤・洗浄剤のいろいろ(<特集>化学の目で家庭生活を見る : 清潔を保つための化学). 化学と教育, 1990, Vol.38, No.6, 661-664
- 7) 川崎 義巳. 快適なお風呂(<特集>化学の目で家庭生活を見る : 清潔を保つための化学), 化学と教育. 1990, Vol.38, No.6, 640-643
- 8) 犬伏 式生. “4.住まいの清潔”. 繊維製品消費科学, 1996, Vol.37, No.11, 585-592
- 9) 大矢 勝. “3. 家庭洗剤を正しく選び, 表示を読み解くために”. 繊維製品消費科学, 2015, Vol.56, No.7, 597-601
- 10) 大矢 勝. “4. 洗浄剤, 漂白剤, 柔軟剤などが何をしているのか”. 繊維製品消費科学, 2015, Vol.56, No.8, 654-659
- 11) 大矢 勝. 消費の環境情報学. 大学教育出版, 2006, 76-80

### 第3章

#### クエン酸によるカルシウム系汚れの洗浄に関する 消費者情報の実験的検証

### 3.1 研究目的

カルシウム系汚れは炭酸カルシウムや硫酸カルシウム等の金属塩が主体となる汚れであり、家庭では水垢汚れ<sup>1)</sup>として、産業分野ではカルシウムスケール<sup>2)</sup>として問題視される。地熱システムや水処理の分野でも注目され<sup>3) 4)</sup>、また配管や熱交換器に付着することで熱伝導率低下や水運搬能力の低下、パイプ材質の耐久性の低下に関連するとされている<sup>5) ~8)</sup>。

カルシウム系汚れの生成機構や防止に関する研究として David M. Warsinger ら<sup>9)</sup>は水処理分野における生成するスケールの種類やスケール生成に関与する因子及び防止に関する研究をまとめ、R. Ketrane ら<sup>10)</sup>は硬水中に生成する炭酸カルシウム沈殿に対する一般的に使用される 5 つのスケール抑制剤の性能を調べ、ポリホスホン酸塩 (SECAL) が地熱システムのメンテナンスに有効であることを示した。またカルシウム塩と有機酸の反応について、原油・天然ガスの重要な貯留層である炭酸カルシウム等を含む炭酸塩岩の開発のために、化学的な手法として有機酸を用いた酸処理が行われている。その中で、B.J. Levien<sup>11)</sup>による弱有機酸であるクエン酸の水中での段階的なイオン化の反応から、M.A. Al-Khalidi ら<sup>12)</sup>がクエン酸カルシウムに関する研究をまとめ、炭酸カルシウムの結晶であるカルサイト表面にクエン酸カルシウムの沈殿物が形成されることを明らかにした。

カルシウム汚れを含んだ金属スケールの除去方法は、一般に物理的除去と化学的除去に分類される。物理的除去はチップング法、ワイヤブラシ法、サンドブラスト法のほか、超音波処理や磁場処理などがある<sup>13) 14)</sup>。しかし物理的除去は軽い汚れに対して利用され、より深刻な汚れに対してはピッキング、酸浸漬、酸洗いなどの化学的除去が求められる<sup>15)</sup>。産業洗浄での酸溶剤としては、一般的に塩酸や硫酸、キレート効果からリン系の化合物が用いられる<sup>16)</sup>。塩酸は主に金属洗浄に広く用いられている無機酸であり、スケールの溶解力は大きいですが、使用時の HCl ガス発生等が問題視される<sup>17)</sup>。またアルミニウムの耐食性、銅の空気接触面での腐食、マグネシウムとの反応・水素ガス発生なども問題視される<sup>18)</sup>。硫酸も腐食性と水素ガスの発生等が問題視される<sup>18)</sup>。リン系化合物は洗浄能力が優れている反面、水環境への富栄養化要因として問題視される<sup>19)</sup>。

このように酸洗浄剤について、主に産業洗浄の立場から多様な研究が行われてきたが、現

在でも安全性や環境影響で課題が残っているといえる。一方で生活環境管理に関する酸洗浄についての研究は非常に少なく、特に一般消費者の中で「ナチュラルクリーニング」の一種として注目されている、水垢汚れ除去のためのクエン酸活用の有効性や使用上の注意点等に関する科学的な情報はほとんど見当たらない。そこで本研究では、一般消費者の中で流通しているクエン酸等の酸洗浄に関する情報流通の実態を探ると共に、消費者情報としてフィードバックが望まれる科学的事象について実験的検証を行った。

## 3.2 研究方法

### 3.2.1 クエン酸の洗浄利用に関する情報の分析

2018年11月28日から12月7日までの情報内容の変化が少ないと考えられる10日間以内で情報を収集することを目指して、Googleのサイトで「クエン酸」「掃除」をキーワードとして、上位50位のWebpageのデータを収集した。情報の整理は、商品の販売を目的とする機関による「企業サイト」、個人的にクエン酸の利用について言及する「個人サイト」、リンク集や巨大掲示板などの「その他のサイト」に分類するとともにクエン酸洗浄に関しての処理方法（時間やすすぎ等）およびカルシウム系汚れに対してクエン酸を用いる根拠等の観点等から情報を分析した。

### 3.2.2 有機酸によるカルシウムの溶解性試験

有機酸洗浄成分のカルシウムスケール溶解による除去効果を検証するために、炭酸カルシウムをモデル汚れとし、無機酸として塩酸、リン酸、有機酸としてシュウ酸、酢酸、クエン酸、乳酸、L(+)-アスコルビン酸、リンゴ酸（すべて和光純薬製、試薬特級）の8種を用いて溶解試験を行った。炭酸カルシウム1.0gに8種の酸の5%水溶液20mLを加えて十分に攪拌し、30℃のウォーターバス内で10分間静置したものを直後、さらに30℃低温インキュベーター（島津理化）内で1日静置したものを1日後として、それぞれ沈殿の状況について試験管を写真で撮影し観察した。2種の混酸は、炭酸カルシウム約1.0gに、8種の5%

酸溶液の各 10ml に、3 種（クエン酸、乳酸、リンゴ酸）の 5% 溶液 10ml を加え、単一酸の試験と同様の手順で攪拌・静置し、直後および 1 日後に観察した。有機酸による炭酸カルシウムの除去性能の判定は、単独の酸および混合酸の両方において、溶解試験前の炭酸カルシウム量（蒸留水 20mL 中の炭酸カルシウムの外観）と比較し、同等～増加を×、1/2 以上の残存を△、1/2 未満の残存～すべて溶解を○と評価した。また、溶解 1 日後の試験管内の沈殿の変化を確認し、沈殿量が増加した場合を○、変化なしまたは減少していた場合を×と評価した。

### 3.2.3 クエン酸とカルシウムの反応試験

酸洗浄剤としてクエン酸を、モデル汚れとして炭酸カルシウムを用い、時間経過による反応で生成した新たなカルシウム塩の組成の変化を解析するために、不溶性塩中のクエン酸とカルシウムの存在量と溶液の pH の変化を測定した。クエン酸を所定の濃度に調製し、それぞれに飽和量の炭酸カルシウムを加え攪拌し、吸引ろ過（メンブレンフィルター：0.45 $\mu$ m  $\times$   $\phi$  90mm）で未反応の炭酸カルシウムを除去した。任意の時間でろ液の pH を EUTECH pH700 で測定し、生成した沈殿物を再度吸引ろ過し、不溶性塩の重量を加熱式水分計（A&D）で測定した。クエン酸 5wt% のろ液および時間経過で析出した沈殿物は以下の手順で測定した。クエン酸は、HPLC を用いて分析した。HPLC には、inertsil ODS カラム（日本分光）、JASCO PU-980 ポンプ（1,000ml/min, 日本分光）および CO-2065 Plus オーブン（カラム温度 40 $^{\circ}$ C, 日本分光）を用い、溶離液は 0.1% リン酸水溶液を用いた。溶離液は、pH を 2.2 としてクエン酸の電離度を一定に保った。検出器としては、UV 検出と RI 検出を候補として予備試験を行った結果、成分の濃度に見合った大きさのピークが得られ主成分のピークがわかりやすい RI（示差屈折）検出器（RI-2031, 日本分光）を用いることとした。あらかじめ所定濃度で調製したクエン酸と酒石酸を体積比 1:1 で混合したクロマトグラムのピーク比から作成した検量線を用いて、ろ液及び塩中のクエン酸濃度を算出した。カルシウムは、所定濃度で調製した炭酸カルシウムと塩化マグネシウムを体積比 1:1 で混合し XRF（OLYMPUS ハンドヘルド蛍光 X 線分析計 DELTA）で測定し検量線を作成し、ろ液及び



塩中のカルシウム濃度を算出した。析出した塩は重量測定後、0.1g 塩を 10wt%塩酸 5ml で溶解した後蒸留水で 100ml に調製し、HPLC 及び XRF でクエン酸量とカルシウム量を測定した。

### 3.2.4 カルシウムと他元素を含む汚染布と洗浄試験

カルシウムのモデル汚れは短時間で付着させることが困難であるため、先行研究でも実際の配管のスケール付着物を利用する事例などが多いが、本研究では洗浄試験で多く用いられ表面に凹凸が多い布を用いてのモデル試料の作成を試みた。綿の黒色ブロードを 2×3cm に切断し、塩化カルシウム ( $\text{CaCl}_2$ ) 50wt%に 1 時間浸漬後 70°Cで 1 時間乾燥させた後、他元素複合汚れとして 5wt%のケイ酸ナトリウム ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , (Si)), 硫酸ナトリウム ( $\text{NaSO}_4$ , ( $\text{SO}_4$ )), リン酸水素二ナトリウム ( $\text{NaHPO}_4$ , ( $\text{PO}_4$ )) (すべて和光純薬製, 試薬特級), および比較として 10wt%炭酸ナトリウム ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , (Ca)) 溶液に同様に浸漬・乾燥させ、水洗後再度乾燥させ汚染布を作成した。洗浄試験は、5wt%酢酸に汚染布を 5 分間浸漬し、XRF で洗浄前後の Ca, S, Si, P のそれぞれの含有量 (ppm) を測定し、次式により洗浄率を算出した。

$$(\text{Es} - \text{Ew}) / (\text{Es} - \text{Eo}) \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここに Es : 汚染布の元素割合 (ppm)

Ew : 洗浄後の布の元素割合 (ppm)

Eo : 原白布の元素割合 (ppm)

### 3.3 結果および考察

#### 3.3.1 クエン酸の洗浄利用に関する情報の分析

検索対象とした Web 情報 50 件中、本研究の対象となる情報 44 件を収集した。情報発信者の属性によって分類した結果は、企業系 46.0%、個人系 14.0%、その他 40.0%であった。項目別の分析結果を表 3-1 に示す。それぞれの分野において、検索全体では、クエン酸を掃除に用いるとはどういうことなのか、という解説については 36 件であった。クエン酸の使用方法の中で、クエン酸を水に溶解させたクエン酸水をスプレーボトルに入れ噴霧して使用することが 38 件で推奨されており、より濃度の高いクエン酸ペーストの利用も紹介されていた。酸洗浄の処理時間は、数分が 4 件、数時間が 15 件、一晩が 6 件であった。処理時間に対応する使途（表 3-2）では、鏡や蛇口に一晩処理する記述も見られた。クエン酸を掃除に用いる原理と捉える「中和」という記載は 22 件見られたが、いずれもクエン酸は酸性、水垢はアルカリ性であり、中和反応で除去が進むとしていた。

しかし、クエン酸と水垢等のカルシウムの反応に関連して、クエン酸の処理による新たな沈殿生成や落ちにくい汚れが生じる<sup>20)</sup>という記載は皆無であった。また、水垢汚れがクエン酸で溶解しきれず固形物が残ったまま処理時間を長くすると、急激に新たな不溶性の塩が生成されかえって汚れが落ちにくくなるという記載もみられなかった。処理後のすすぎの重要性も含めた、カルシウム系汚れのクエン酸処理による沈殿生成のメカニズム等についての消費者情報が不足している状況が明らかになるとともに、中和で除去されるという生活分野の科学的な側面での課題も明らかになった。

表 3-1 クエン酸洗浄に関するウェブページの分析

No.	清掃の原理	スプレー法	ペースト法	すすぎの必要性	処理時間	酸・塩基中和説
1	○	○			数時間	
2	○	○				○
3		○				
4	○	○				
5	○	○	○		数時間	○
6	○	○	○		数時間	
7	○	○			数時間	○
8	○	○		○		
9	○	○			数時間	
10						
11	○	○		○	数十分間	○
12		○		○	数時間	
13	○	○		○	数時間	○
14	○	○		○	数十分間	○
15	○	○			数時間	○
16	○					
17	○	○			一晚	
18	○	○		○	数時間	○
19	○					
20	○	○				○
21		○				○
22	○	○			一晚	○
23	○	○				
24	○	○				○
25	○	○				
26	○	○			一晚	○
27	○	○				○
28	○	○			一晚	○
29	○	○		○	数時間	○
30	○	○			一晚	○
31	○	○		○	一晚	
32		○				
33	○	○		○	数時間	
34						
35	○					○
36	○	○		○	数十分間	
37	○	○		○	数十分間	
38	○	○		○		
39	○	○				○
40	○	○			数時間	○
41	○	○	○		数時間	○
42		○		○	数時間	
43	○					○
44		○		○	数時間	
total	36	38	3	14	25	22

表 3-2 クエン酸洗浄に関連する Web 情報の用途別の処理時間

用 途	数十分間	数時間	一晚
トイレ	2		
蛇口	1	2	1
シンク	1	2	
電気ポット		7	
風呂の石鹸かす		2	
鏡	1		1
トイレタンクの水受け	1	1	
洗濯槽		1	4

### 3.3.2 有機酸によるカルシウム系汚れの除去能力の検討

有機酸への炭酸カルシウムの除去能力を検討するために、各種有機酸および無機酸に対する炭酸カルシウムの溶解試験を行った（表 3-3）。単一酸の比較では塩酸、酢酸、クエン酸が優れており、乳酸やリンゴ酸が弱い溶解力があるが、その他の酸では炭酸カルシウムを溶解するのは困難である。またクエン酸とマレイン酸の場合は 1 日放置した後に溶解した成分が析出するという問題があることが分かった。

一般的にカルシウム汚れの除去には産業分野では塩酸が、ハウスホールド分野ではクエン酸や酢酸が使用されることが多いが、それが理にかなっていることが一応は確認できた。しかし、クエン酸で溶解したカルシウム汚れの再析出についてはあまり触れられることがなく、注目すべきポイントであると考えられる。

塩酸および酢酸による炭酸カルシウムの溶解量が大きくなる要因は、酸とカルシウムで生成する塩である塩化カルシウムと酢酸カルシウムの溶解度が高いことが原因であると考えられる。塩化カルシウムの溶解度は 745g/L (20℃)<sup>21)</sup>、酢酸カルシウムの溶解度は 34.7g / 100 g 水 (20℃)<sup>22)</sup>である。金属洗浄に対して有効な洗浄剤に要求される性質の一つに、スケール成分の溶解後、酸性洗浄剤の成分と形成する塩の溶解度があげられる。溶解度が大きい塩は、酸による洗浄で洗浄後もスケール成分はイオンのまま溶液中に溶けている状態を保つため、再沈殿することなく洗浄することができる。

一方でクエン酸とカルシウムの反応で生成すると予想されるクエン酸カルシウムの溶解度は (0.085g/100 g 水, 18°C) <sup>22)</sup>であり, 水に対する溶解性をほとんど有していないと判断される. しかし, クエン酸がカルシウム汚れの除去によく用いられていることは事実であり, 本研究でも優れた溶解性が確認された. クエン酸によるカルシウム塩の溶解現象には時間経過とともに塩の状態が変化する複雑なメカニズムがあるように考えられる.

次に異なる酸を混合することによってカルシウム汚れの溶解力を高められないか, また沈殿物生成を抑制できないかという点について検討するため混合酸による溶解試験を行った (表 3-4, 3-5). その結果, 乳酸-クエン酸の混酸で溶解性が改善させるなどの効果は認められたが全般的には混酸で溶解性が高まることは少なく, またクエン酸の不溶性塩の沈殿も乳酸との組み合わせを含めて混酸では抑えきれないことが分かった. クエン酸との混合では白色沈殿が生成することから, クエン酸による不溶性塩の生成は洗浄における解決すべき課題といえる. これらの不溶性塩は, 水に対して難溶な塩であることから, スケール溶解後にそれぞれ塩が生成され, 一度溶解するが新たに白色沈殿が生成したと考えられる. また, クエン酸とリンゴ酸の単一酸および混合酸による結果では, クエン酸を利用した場合の方がリンゴ酸を利用した場合よりも多くの不溶性塩が生成している. リンゴ酸カルシウムの溶解度は 0.839g/100 g 水 (15°C) <sup>22)</sup>であり, クエン酸よりは溶解度が高いことが影響したと考えられる.

クエン酸は一般的にカルシウム塩の除去に効果があるとされている. しかし 1 日経過後に新たな不溶性塩の生成が確認された. したがって, つけ置きやクエン酸を粉末でそのまま利用するような使い方は避けるべきであり, 洗浄で利用する際, 洗浄後のすすぎを十分に行う必要があることが示唆された.

表 3-3 CaCO<sub>3</sub> に対する数種類の酸性溶液（5 wt%）の溶解度と沈殿傾向

酸剤	溶解直後の溶解度	1 日後の沈殿傾向
塩酸	○	×
リン酸	×	×
シュウ酸	×	×
酢酸	○	×
クエン酸	○	○
乳酸	△	×
L-アスコルビン酸	×	×
リンゴ酸	△	○

表 3-4 CaCO<sub>3</sub> に対する混酸溶液の溶解度

酸剤	混合した酸剤		
	クエン酸	乳酸	リンゴ酸
塩酸	○	○	○
リン酸	×	×	×
シュウ酸	×	×	×
酢酸	○	○	○
クエン酸	—	○	○
乳酸	○	—	△
L-アスコルビン酸	△	△	△
リンゴ酸	○	△	—

表 3-5 混酸溶液の沈殿傾向(1 日後)

酸剤	混合した酸剤		
	クエン酸	乳酸	リンゴ酸
塩酸	○	×	×
リン酸	○	×	×
シュウ酸	○	×	×
酢酸	○	×	○
クエン酸	—	○	×
乳酸	○	—	×
L-アスコルビン酸	○	×	○
リンゴ酸	×	×	—

※表 3-3, 3-4, 3-5

・溶解度(溶解直後、蒸留水 20mL 中の CaCO<sub>3</sub> との比較による)：

同等～増加を×，1/2 以上の残存を△，1/2 未満の残存～すべて溶解を○

・溶解 1 日後の沈殿傾向：沈殿量が増加した場合○，変化なしまたは減少していた場合×

### 3.3.3 クエン酸洗浄における除去性低下要因の検証

#### 3.3.3.1 クエン酸と炭酸カルシウムの反応実験

クエン酸の各濃度における反応時間ごとの不溶性塩の生成量（加熱式水分計で測定）を図 3-1 に示す。各濃度で反応開始から 10 時間までは、緩やかに不溶性塩が増加し、それ以後 12 時間後には沈殿生成が一定になったので平衡状態に達したものと考えられる。同時に測定していた pH（図 3-2）をみると、沈殿物が徐々に生成していく状況や沈殿生成が一定値になったタイミングとも pH の変化には微妙なずれがあることが分かった。例えば、5% 溶液は反応直後に pH が一度高くなり 12 時間まで少し低くなり、12 時間経過から 14 時間にかけて一気に高くなり、その後大きな変化はみられなかったが、沈殿量は 12 時間まで徐々に増大してその後は変化が見られなくなった。これらの事実より沈殿物の中で組成の変化が起こっていることが予測された。

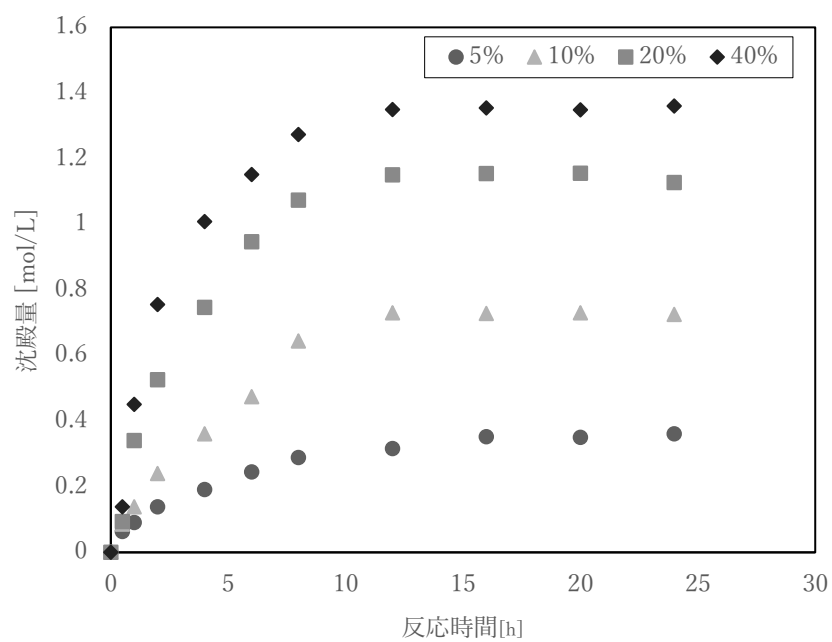


図 3-1 クエン酸に溶解した  $\text{CaCO}_3$  の沈殿物の経時変化

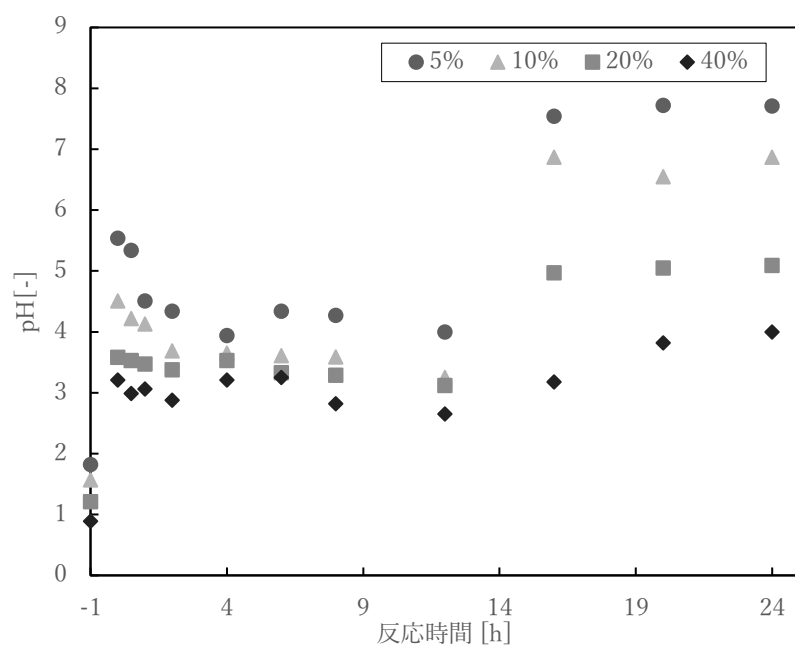


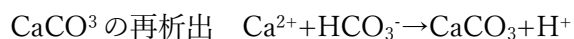
図 3-2  $\text{CaCO}_3$  が溶解したクエン酸溶液の pH の経時変化



### 3.3.3.2 クエン酸およびカルシウム濃度の測定

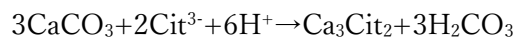
過剰の炭酸カルシウムを 5wt%クエン酸水溶液で溶解した後のろ液を用い、時間経過ごとのクエン酸およびカルシウム濃度の変化を図 3-3, 3-4 に、その時の pH 変化を図 3-5 に、また時間経過で形成された不溶性塩中のカルシウムとクエン酸の存在比を表 3-6 に示す。さらに、pH 変化に伴うクエン酸のイオン種の存在割合も変化するため (表 3-7)、イオン種の存在分率 (図 3-6) をまとめ、段階的に塩の成分が変化する様子を予測した。

反応開始から 3 時間までの初期では、沈殿物中のクエン酸濃度は低い、カルシウム濃度は塩の増加に伴い増加している。一時 pH は高くなるがその後低くなることから、反応直後の炭酸カルシウムは弱酸の遊離が起こることで炭酸カルシウムの溶解に伴い pH が上昇するが、その後溶存していた炭酸水素イオン ( $\text{HCO}_3^-$ ) とカルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) が反応することで、炭酸カルシウムが再沈殿し炭酸水素イオンから放出された  $\text{H}^+$  によって pH が再度低下すると考えられる。

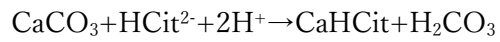


pH が大きく変化する 8~14 時間、特に 10~12 時間では不溶性塩中のカルシウムとクエン酸の比率が 1:1 に近づく。この事実より反応開始から 8 時間まで生成していた炭酸カルシウム中の炭酸イオン ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) と主としてクエン酸イオン ( $\text{Cit}^{3-}$ ) との入れ替えが起こり、クエン酸カルシウム ( $\text{Ca}_3\text{Cit}_2$ ) が生成されることが予測される。また一部クエン酸水素イオン ( $\text{HCit}^{2-}$ ) による入れ替え反応が起こることで、沈殿として表れクエン酸カルシウム ( $\text{Ca}_3\text{Cit}_2$ ) とクエン酸水素カルシウム ( $\text{CaHCit}$ ) が混在する状態になると考えられる。クエン酸水素イオンの塩は本来溶解されやすいはずだが、炭酸カルシウムの結晶中の炭酸イオンと入れ替わり、そのまま沈殿として存在すると考えられる。

Cit<sup>3-</sup>とCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の置き換え



結晶中のイオンの入れ替わりと沈殿



塩の生成と pH の変化がほぼ一定となる 16～24 時間では、カルシウムとクエン酸の比率がほぼ 1 : 1 になることから、変化の大きかった 10～12 時間に引き続き結晶中のイオン交換反応が起こると考えられる。

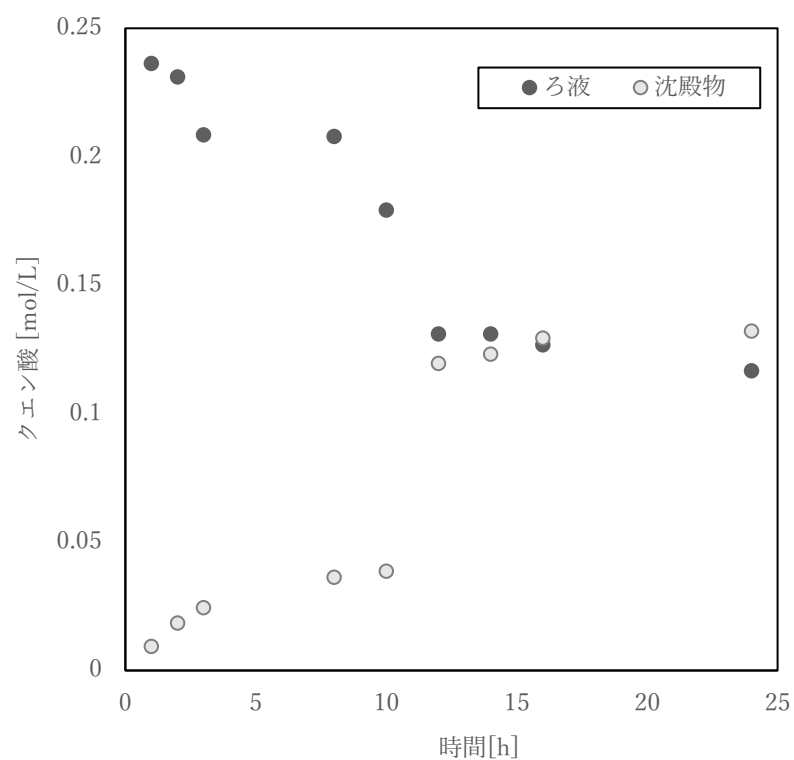


図 3-3 ろ液と沈殿物中の時間経過によるクエン酸濃度の変化

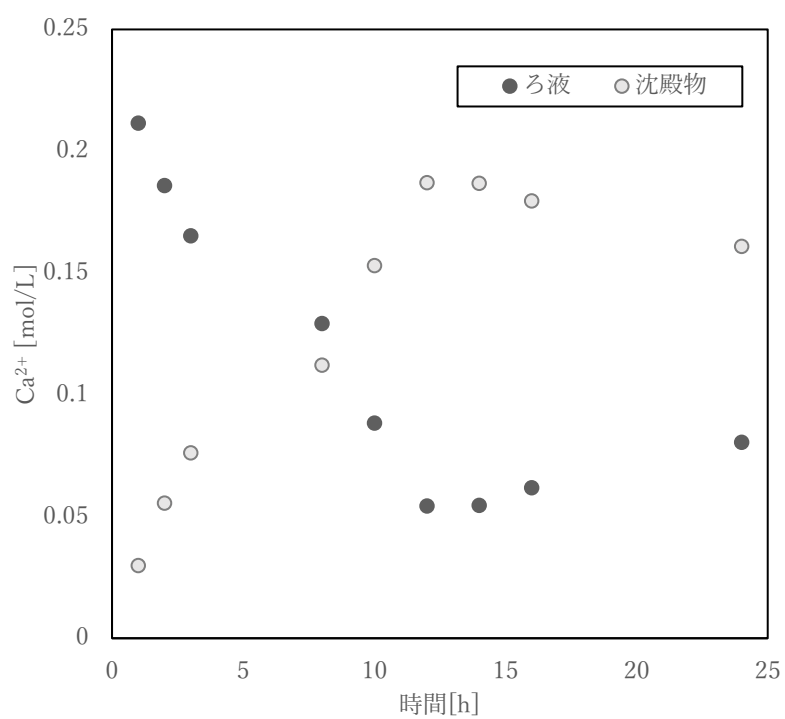


図 3-4 ろ液と沈殿物中の時間経過による  $\text{Ca}^{2+}$  濃度の変化

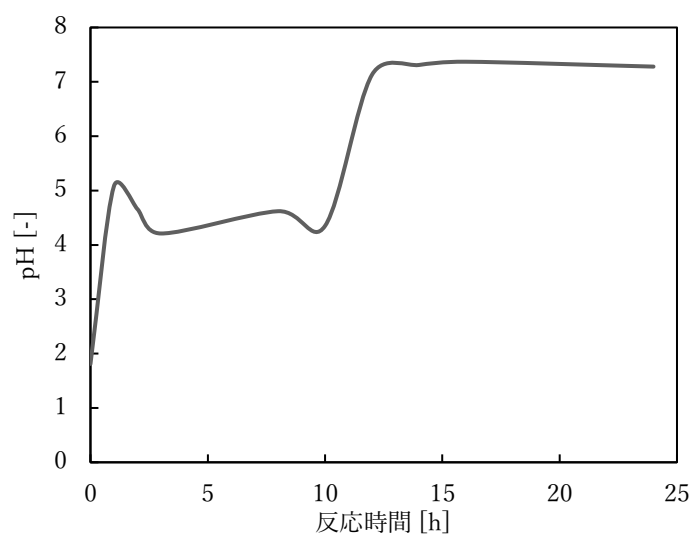


図 3-5  $\text{CaCO}_3$ が溶解したクエン酸（5%）溶液の pH の時間変化

表 3-6 生成した沈殿物中のカルシウム/クエン酸比の時間的变化

時間[h]	Ca/Cit
1	3.20
2	3.00
3	3.11
8	3.09
10	3.97
12	1.57
14	1.52
16	1.39
24	1.22

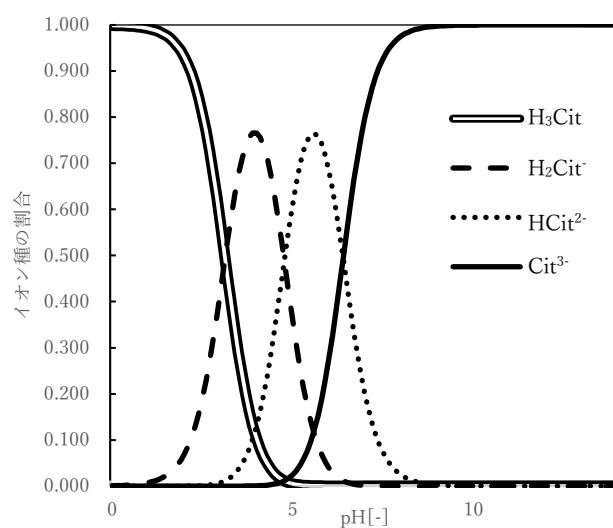


図 3-6 クエン酸のイオン種

表 3-7 pH 範囲ごとの主要なクエン酸のイオン種

イオン種	Max pH
$\text{H}_3\text{Cit}$	pH 0-3.1
$\text{H}_2\text{Cit}^-$	pH 3.2-4.7
$\text{HCit}^{2-}$	pH 4.8-6.3
$\text{Cit}^{3-}$	pH 6.4-14

また実験の過程で観察された事象であるが、未反応の炭酸カルシウムの存在の有無で不溶性塩の生成速度に違いがみられた。未反応の炭酸カルシウムの有無によるクエン酸と炭酸カルシウムの反応実験を 24 時間で行った結果、図 3-7、3-8 に示すように未反応の炭酸カルシウムが存在する場合に生成する塩の量が多くなり、pH も反応直後から高くなった。これは、未反応の炭酸カルシウム表面付近では溶液の液性が大きく塩基性に傾くことになり、その部分ではクエン酸イオンの存在割合が大きくなり、反応直後からクエン酸カルシウムが多く析出したものと予測される。クエン酸カルシウムは溶液からではなく、炭酸カルシウム表面、つまり炭酸カルシウムとクエン酸の接触している面から生成するという報告がある<sup>12)</sup>。このことから、反応開始から 3 時間までの反応で炭酸カルシウムが一部再沈殿することで、それ以降にクエン酸とのカルシウム塩が生成しやすくなるものと考えられる。

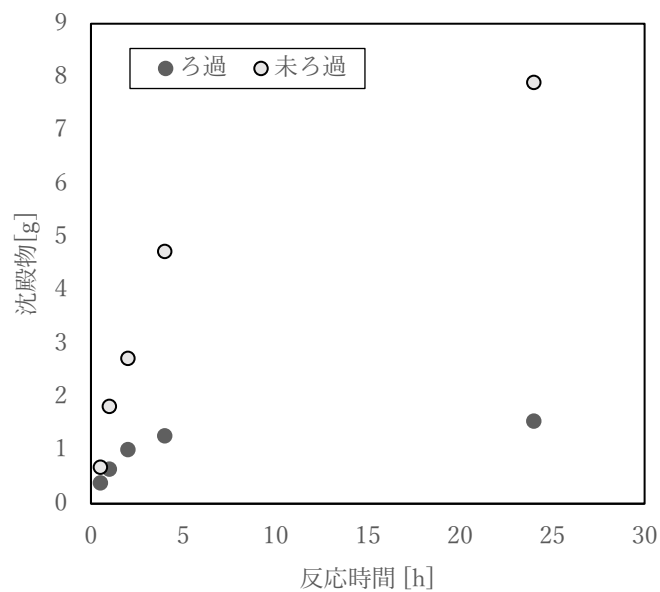


図 3-7 ろ過および未ろ過の  $\text{CaCO}_3$  の溶解したクエン酸溶液の沈殿生成の経時変化

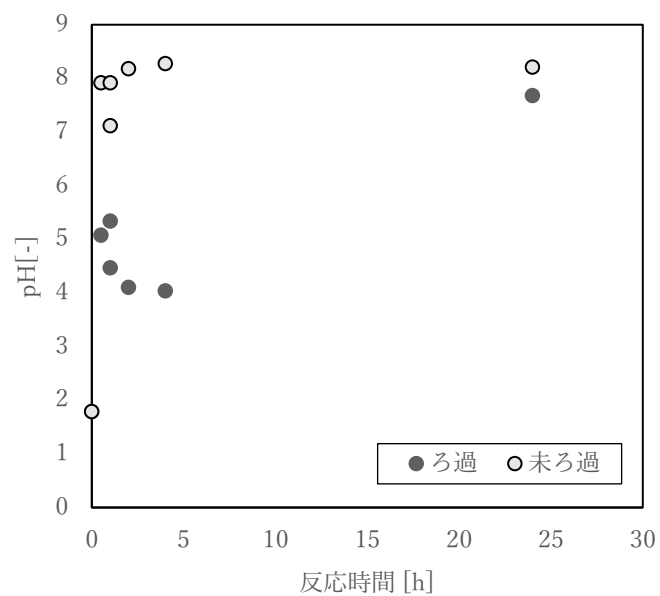


図 3-8 ろ過および未ろ過の  $\text{CaCO}_3$  の溶解したクエン酸溶液の pH の経時変化

### 3.3.3.3 酸洗浄のメカニズム

クエン酸と炭酸カルシウムの反応は、2章の消費者情報で分析した Web 情報において酸・塩基（アルカリ）中和説が支持されていた。しかし酸洗浄剤が酸性度のかかなり高い状態であれば汚れ除去に働きにくいという事実と、酸剤の種類による複雑な挙動を説明するためには、ルシャトリエの原理を適応するのが有効だと考えられる。ルシャトリエの原理は、平衡状態にある反応系において、温度、圧力、物質濃度等の状態変数を変化させると、その変化を相殺する方向へ平衡は移動することを示す原理であるが、酸洗浄に適応する場合は  $H^+$  濃度を状態変数として扱う。

水中に  $H^+$  が過多になるとそれを減少させるように推進力が働く（図 3-9）。それは炭酸イオン  $CO_3^{2-}$  と結びついて炭酸  $H_2CO_3$  を生成することである。 $H_2CO_3$  は  $H_2O$  と二酸化炭素  $CO_2$  ガスに変化するので、この反応は水中の  $H^+$  がある程度低下するまで続く。ポイントは作用させる酸が硫酸やシュウ酸である場合だが、硫酸やシュウ酸はカルシウムイオン  $Ca^{2+}$  と水不溶性のイオン結晶を作りやすいので、カルシウムスケールの表面が不溶となり反応が進まなくなるというものである。

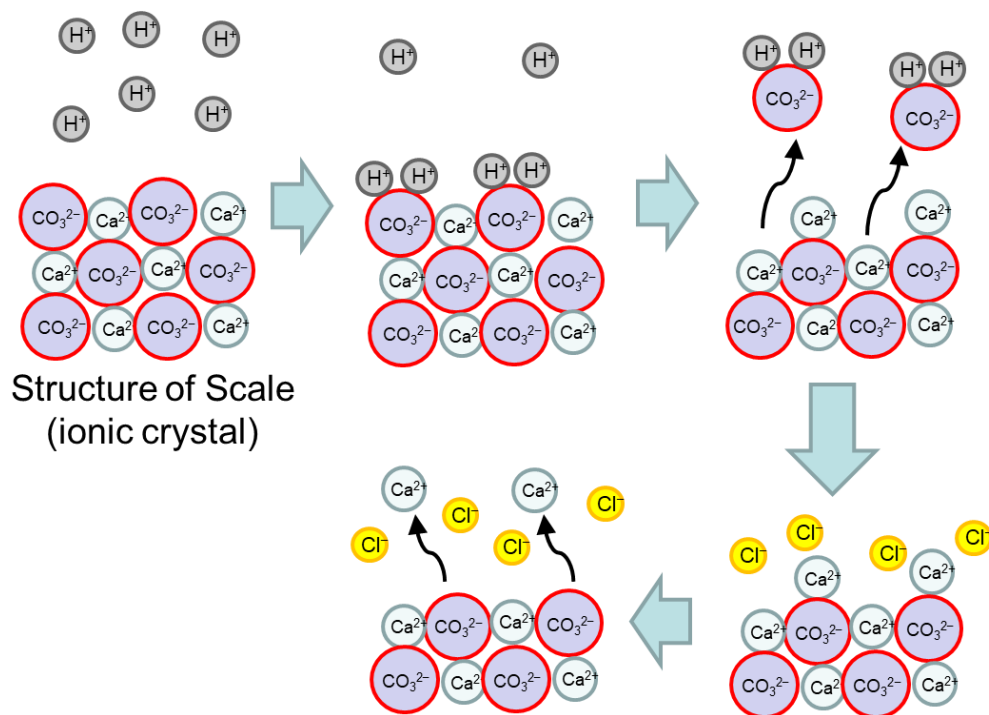


図 3-9 塩酸による  $CaCO_3$  除去メカニズムの推定モデル

### 3.3.4 他元素を含むカルシウム系汚れの洗浄率の変化

水垢の成分の主体はカルシウムの炭酸塩である炭酸カルシウムであるが、その他にカルシウムの硫酸塩、ケイ酸塩、リン酸塩なども含まれている。そこで、それらの塩類の溶解性についても試験を行った。5%の酢酸洗浄による炭酸カルシウム、硫酸カルシウム、ケイ酸カルシウムおよびリン酸カルシウムを布に付着させたモデル汚れの洗浄率を図 3-10 に示す。カルシウムの除去性から判断すると除去性が最も低いのは、硫酸カルシウムであり、リン酸カルシウムは炭酸カルシウムと同程度の除去率を示した。複合塩中のカルシウムと他元素の比率についてみてみると、硫黄成分とカルシウム、およびリンとカルシウムは同程度の除去率となった。

一方シリカ系汚れは、他の汚れと異なりカルシウム成分はある程度除去できたが、シリカ成分の除去はカルシウムと比べて困難であることが確認できた。これはケイ素の一部がケイ酸の形で布上に付着したためと考えられる。ケイ酸汚れは、酸での除去が困難でアルカリ洗浄剤での処理が必要となるといわれている<sup>23)</sup>。

さらに、シリカーカルシウム混合系汚れ中のカルシウムの洗浄率と、炭酸カルシウム単独の汚れモデルのカルシウムの洗浄率を比較すると、シリカーカルシウム混合系汚れのほうが洗浄率は低くなっている。これはシリカが存在することでカルシウムの結晶化の過程が変化することが原因になるものと考えられる。すなわち、一般の炭酸カルシウムはバテライトと呼ばれる不安定な炭酸カルシウム結晶からカルサイトと呼ばれるより安定な炭酸カルシウムの結晶に変化していくのに対して、シリカが混在するとバテライトの生成を経ずにカルサイトが生成する<sup>24)</sup>ことで、より強固なカルシウム汚れになっている可能性が考えられる。

また、シリカーカルシウム汚れについて、酢酸以外の有機酸（乳酸およびクエン酸）による酸洗浄試験を行い、有機酸の種類による効果を検証した（図 3-11）結果、有機酸洗浄として酢酸と同様に乳酸とクエン酸においてもカルシウムとの複合汚れやシリカ単独について、洗浄率が低くカルシウムの洗浄率と差が確認できた。よって、有機酸によるシリカーカルシウム複合汚れの除去では有機酸単独での除去は難しく、付着したカルシウム汚れのス



ケール構成を予測あるいは分析をし、適切な洗浄剤の選定と洗浄方法を選択する必要があると結論付けられる。

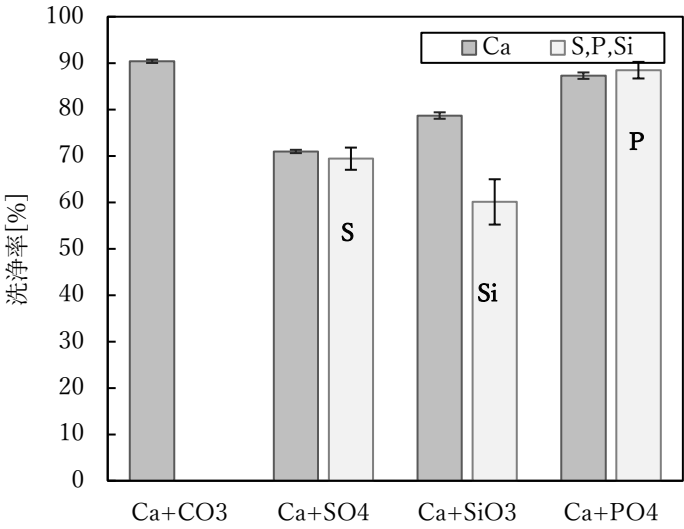


図 3-10 酢酸水溶液(5wt%)による数種のカルシウム塩汚れの汚染布の汚れの除去率

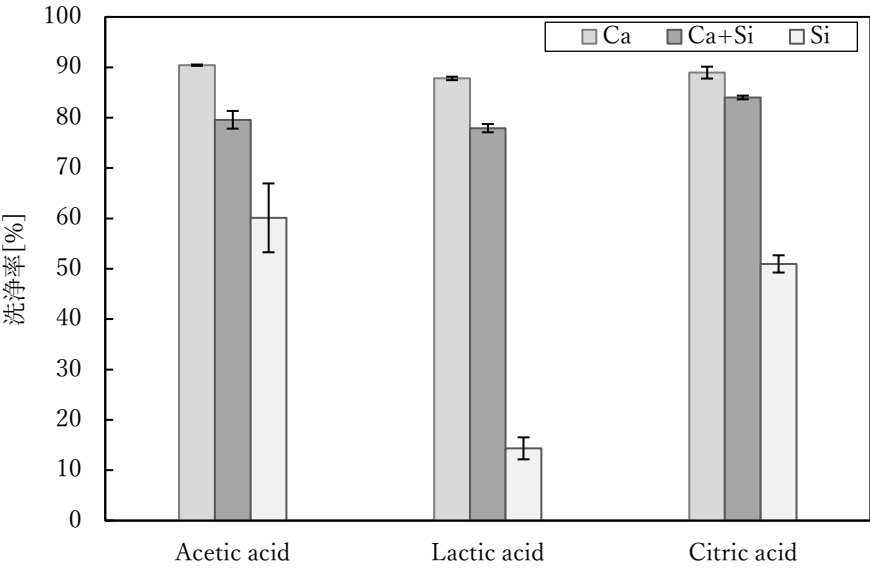


図 3-11 3 種類の有機酸による Ca-Si 汚染布の汚れの除去率

### 3.4 結論

水垢除去のためのクエン酸利用についての消費者情報を分析した結果、クエン酸利用を肯定して推奨する消費者情報が多くみられるが、確かにクエン酸には塩酸、酢酸と同様に優れたカルシウム塩の除去性を有することが実験的に確認できた。しかし、時間を経過するとクエン酸とカルシウム塩の反応で沈殿が生成してより厄介な汚れになることが実験的に認められたが消費者情報ではほとんど取り上げられていない。よって、今後は消費者に向けて注意点として広めていくことが望まれる。

また生活分野の科学情報としての視点からの問題も明らかになった。カルシウムを含む無機スケールは、アルカリスケールと非アルカリスケールに大別され<sup>9)</sup>、アルカリスケールは水処理のシステムにおいて最も一般的なスケールであり、主成分は炭酸カルシウムであるとされる。また、非アルカリスケールはアルカリスケールと比較すると洗浄が難しいものが多いとされる。非アルカリスケールの硫酸-カルシウム複合汚れでは、全体的な除去性は悪いが、カルシウムと硫黄の洗浄率が同程度で、生成している汚れは硫酸カルシウムが主成分と考えられる。非アルカリスケールは弱酸の遊離による溶解が行われにくくなるため、酸による除去が難しくなり、全体的に洗浄率が低下したと考えられる。

一方、同じく非アルカリスケールのリン酸-カルシウム複合汚れは、今回の実験では洗浄率の低下は確認できなかった。これは、本実験の汚れモデルの作成が、短時間で急激に結晶を付着させたことに起因し、通常のカルシウムスケールと比べ結晶性が悪いことも理由の一つとして考えられる。しかし、リン酸カルシウムは、ヒトをはじめ生物の骨の成分の一種であるため、時間をかけて結晶性が高くなった場合洗浄性の低い、落ちにくい汚れになる可能性も考えられる。

但し、上記のアルカリスケールと非アルカリスケールの区別は、弱酸・強アルカリ塩と強酸・強アルカリ塩の区別によるものである。実際にはアルカリスケールでも弱酸での洗浄も不可能ではなく、硫酸カルシウムは中性成分、炭酸カルシウムはアルカリ性成分として、炭酸カルシウムの除去のメカニズムのみを中和反応としてとらえるには無理がある。もともと中和は酸と塩基を反応して塩を生成する反応であり、酸や塩基と塩を比べると一般的に

は酸や塩基の方が電氣的な偏りが大きい分、水溶性が高くなる傾向がある。よって、中和によって洗浄が進むとする説はこの点からも不適切だと判断できる。

さらに、イオン結晶であるカルシウム塩の酸洗浄剤による溶解は、酸・塩基中和説の中和反応にかわり、酸洗浄剤中の  $H^+$  を状態変数とする平衡に関するルシャトリエの原理による反応とイオン結合のバランスで解釈できることがわかった。カルシウム塩汚れの除去では、作用させる酸洗浄剤中の  $H^+$  を減少させる反応において、酸洗浄剤の陰イオンと  $Ca^{2+}$  の組み合わせによって、イオン結合のバランスで水溶性となることが洗浄作用に重要であると解釈した。

消費者情報として流通しているクエン酸等の酸による水垢の除去に関するメカニズムを中和によるものとする説は、科学的な視点からは種々の問題を含んでおり、ハウスホールド分野の科学の発展のためには、より正確な説明のロジックを明らかにして社会に還元することが望まれる。

## 文献

- 1) 西川 武, 石黒 文康, 天野 良三. 水垢による陶器汚れのメカニズム. 材料と環境. 1999. Vol.48, 451-453
- 2) Yousef M.Al-Roomi, Kaneez F.Hussain. Potential kinetic model for scaling and scale inhibition mechanism. *Desalination*. 2016, Vol.393, 186-195
- 3) Fusun Tut Haklidir, Mehmet Haklidir. Fuzzy control of calcium carbonate and silica scales in geothermal systems. *Geothermics*. 2017, Vol.70, 230-238
- 4) Irina Zaslavski, Hilla Shemer, David Hasson, Raphael Semiat. Electrochemical  $CaCO_3$  scale removal with a bipolar membrane system. *Journal of Membrane Science*. 2013, Vol.445, 88-95
- 5) Zhen Wu, Jane H.Davidson, Lorraine F.Francis. Effect of water chemistry on calcium carbonate deposition on metal and polymer surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2010, Vol.343, Issue.1, 176-187

- 6) Alice Antony, Jor How Low, Stephen Gray, Amy E.Childress, Pierre Le-Clech, Greg Leslie. Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: A review. *Journal of Membrane Science*. 2011, Vol.383, Issues.1–2, 1-16
- 7) Konstantinos D.Demadis, Eleftheria Neofotistou, Eleftheria Mavredaki, Michalis Tsiknakis, Eva-Maria Sarigiannidou, Stella D.Katarachia. Inorganic foulants in membrane systems: chemical control strategies and the contribution of “green chemistry”. *Desalination*. 2005, Vol.179, Issues.1–3, 281-295
- 8) Said S. Al-Jaroudi, Anwar Ul-Hamid, Jamal A. Al-Matar. Prevention of failure in a distillation unit exhibiting extensive scale formation. *Desalination*. 2010, Vol.260, Issues.1–3, 119-128
- 9) David M.Warsinger, Jaichander Swaminathan, Elena Guillen-Burrieza, Hassan A.Arafat, John H.Lienhard V. Scaling and fouling in membrane distillation for desalination applications: A review. *Desalination*. 2015, Vol.356, 294-313
- 10) R. Ketranea, B. Saidani, O. Gil, L.Leleyter, F. Baraud. Efficiency of five scale inhibitors on calcium carbonate precipitation from hard water: Effect of temperature and concentration. *Desalination*. 2009, Vol.249, Issue.3, 1397-1404
- 11) B. J. Levien. A Physicochemical Study of Aqueous Citric Acid Solutions. *The Journal of Physical Chemistry*. 1955, Vol.59, Issue.7, 640-644
- 12) M.H. Al-Khaldia, H.A. Nasr-El-Dinb, S. Mehtab, A.D. Al-Aamrib. Reaction of citric acid with calcite. *Chemical Engineering Science*. 2007, Vol.62, Issue .21, 5880–5896
- 13) Boštjan Pečnik, Marko Hočever, Brane Širok, Benjamin Bizjan. Scale deposit removal by means of ultrasonic cavitation. *Wear*. 2016, Volumes.356–357, 45-52
- 14) Johan Sohaili, Hon Siau Shi, Lavania-Baloo, Noorul Hassan Zardari, Noraziah Ahmad, Shantha Kumari Muniyandi. *Journal of Cleaner Production*. 2016, Vol.139, 1393-1399
- 15) 辻 薦. 工業用洗剤と洗浄技術. 地人書館, 1992, 123-124
- 16) H. E. Patterson, 馬場宣良. 塗装前における鉄鋼の化学的表面処理について, *Corrosion*.

1957, Vol.6, No.6, 326-331

- 17) Bing Tang, Wen Su Jing Wang, Fenglian Fu, Guojun Yu, Jianyin Zhang. Minimizing the creation of spent pickling liquors in a pickling process with high-concentration hydrochloric acid solutions: Mechanism and evaluation method. *Journal of Environmental Management*. 2012, Vol.98, 147-154
- 18) 間宮 富士雄. 金属の洗浄. 油化学. 1969, Vol.18, 68-78.
- 19) Eduard Rott, Heidrun Steinmetz, Jörg W. Metzger. Organophosphonates: A review on environmental relevance, biodegradability and removal in wastewater treatment plants. *Science of The Total Environment*. 2018, Vol.615, 1176-1191
- 20) 大矢 勝. 図解入門よくわかる最新洗浄・洗剤の基本と仕組み. 秀和システム, 2011, 86-87
- 21) 厚生労働省, 職場の安全サイト(化学物質, 塩化カルシウム) : <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/gmsds/10043-52-4.html>(入手日: 2018.12.17).
- 22) 竹内 徹, 長瀧 重義. 超遅延剤を用いたコンクリートの特性. コンクリート工学. 1999, Vol.37, No.11, 9-19
- 23) Bunnaporn Phakam, Lalehvash Moghaddam, Mark Wellard, William OS Doherty. The effect of cleaning agents on the structural features of heat exchanger deposits from sugar factories. *Journal of Food Engineering*. 2018, Vol.226, 65-72
- 24) L.Z.Lakshtanov, S.L.S.Stipp. Interaction between dissolved silica and calcium carbonate: 1. Spontaneous precipitation of calcium carbonate in the presence of dissolved silica. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2010, Vol.74, Issue.9, 2655-2664

## 第 4 章

### 酸・塩基中和説の誤情報の拡散原因の解明

#### 4.1 研究目的

衣類の洗濯や住居の清掃などの家庭内の洗浄には、界面活性剤、酸・アルカリ（塩基）、酸化剤・還元剤、有機溶剤など様々な化学薬品が活用される。その中でも酸とアルカリは、酢酸、クエン酸、重曹、セスキ炭酸ソーダなどの比較的環境にやさしく安全性の高いものとしてナチュラルクリーニング<sup>1)</sup>等でよく活用され、生活環境管理の手段の一つとして定着している。このように洗濯や掃除の技術に関する事項に消費者の関心が寄せられることは好ましいことであるが、その中で科学的な誤りが広まることは避けるべきである。

学校教育の掃除に関する学習は、家庭科で小学校に位置づけられている。H29(2017)年改訂の学習指導要領<sup>2)</sup>では、家庭科は知識を実生活で活用することや、様々な解決方法を考える等の学習方法が重視されている。小学校 6 年理科に位置づけられている、水溶液の性質の酸性・アルカリ性・中性の学習内容と関連させて、酸塩基洗浄の理論と実践が、汚れと洗浄剤の組み合わせについて小学校で扱われることが考えられる。こうした場面では消費者の関心が高いナチュラルクリーニングのメカニズムについて、正しい情報が重要となる。

一般に消費者情報は、拡散過程で誤情報を生みやすい傾向がある。営利目的では経皮毒に関する情報の問題<sup>3)</sup>、イデオロギーや営利の絡んだものとしては合成洗剤をめぐる情報の問題<sup>4)-7)</sup>があった。しかし、洗浄における酸・塩基中和説に関しては、特定の商品の宣伝に結びつきにくく、またある特定の企業や思想を攻撃する要素も少ないため、営利や思想的なファクターは少ないと予想されるので、より純粋な誤解等による影響が明らかになるものと期待される。

そこで本研究では、科学情報の誤認に関する消費者情報学的な検討を目的として、2 章において整理した洗浄における酸・塩基中和説に関する誤情報の拡散した原因について考察し、酸・塩基中和説の科学的問題点を整理した。さらに、酸・塩基中和説にかわる酸塩基洗浄の修正ロジックを提案した。

## 4.2 研究方法

### 4.2.1 中和の定義に関する辞典の情報整理

辞書類や専門事典等を対象に中和の定義を調べた。対象としたのは広辞苑、大辞林、大辞泉などの国語事典と科学大辞典、理化学事典などの化学分野の事典類である。それらの内容を、酸と塩基が塩を生成する意味の中和（酸と塩基の当量反応を含む）、酸性液または塩基性液の pH を中性域にする、物理的な電気現象としての中和、性質の打ち消し合いという意味、中正で調和がとれている状態（心理・精神面を含む）、毒物の無毒化、音韻論上の用語としての中和のそれぞれの観点の記述があるかどうかを判定した。

## 4.3 結果および考察

### 4.3.1 中和説の科学的問題点の整理

2 章において調査した洗浄に関する酸・塩基中和説の問題点を整理すると、(1)中和の定義、(2)酸・アルカリに関する用語の混乱、(3)酸化と酸の混乱、(4)酸性汚れ・アルカリ性汚れの定義の問題、(5)脂肪酸の理解不足の 5 点が見出された。以下、それぞれの問題点について説明する。

#### 4.3.1.1 中和の定義

「中和」には異なる性質のものが融合するという広義の用法や、当量の酸と塩基が反応して塩を生成するという化学的に厳密な狭義の用法がある。表 4-1 に種々の辞典の中和の定義をまとめた。比較的多くの辞書が酸と塩基による塩生成、或いは酸と塩基の当量反応である化学的な中和を説明しており、広辞苑等の一般辞典では性質の打ち消し合いや中正で調和がとれている状態などの広義の中和も説明していた。

一方、酸性液にアルカリ、アルカリ性液に酸を入れて液の pH を中性領域に移行させる操作・過程を中和として説明しているものもみられた。これは「酸廃液をアルカリで中和して廃棄する」といった用法であり、化学分野でも多用されるのだが、実は化学的な塩生成を意味する中和とは異なる。酸と塩基を当量で反応させて液性を中性にするとする記述もあっ



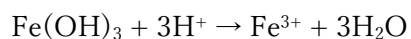
表 4-1 各種事典中の中和の定義比較

	酸と塩基が塩を生成（当量反応）	酸性液又は塩基性液のpHを中性域（≒7）にする	物理的な電気現象として	性質の打ち消し合い	中正で調和がとれている状態	毒素の無毒化	音韻論上の用語
広辞苑 第七版 岩波書店	○		○	○	○		
大辞林 第四版 三省堂	○		○	○	○	○	○
大辞泉 増補・新装版 小学館	○		○	○	○	○	○
現代新国語辞典 第六版 三省堂				○			
国語辞典 第3版 集英社	○ <del>=====</del> ○		○	○	○		
科学大事典 丸善		○	○				
理化学辞典 第五版 岩波書店	○		○			○	
化学辞典 東京化学同人	○						
化学小事典 三省堂	○	○					

たが、弱塩基と強酸，強塩基と弱酸の反応が考慮されておらず不適切な表現であろう。

炭酸カルシウムに酸を作用させて溶解する反応は，炭酸カルシウム自体が酸である炭酸と塩基である水酸化カルシウムの反応した塩であるので酸を過多にして溶解する反応は，狭義の化学的な中和とは言えない。

鉄さびを酸で溶解する場合，鉄さびは水酸化鉄（Ⅲ），酸化鉄（Ⅲ）などの鉄酸化物を酸と反応させるので，反応式自体は中和反応に見える。



しかし，鉄酸化物に対しての当量の酸を反応させてもほとんど溶解は進まない。こちらも過多の酸を反応させる必要があるので，当量の酸と塩基で塩を生成する化学的な中和ではないばかりでなく，液性を中性にする中和でもない。

よって，洗浄における酸・塩基中和説での「中和」は異なる性質のものが融合するという

広義の意味で用いられていることになる。しかし、「酸」と「アルカリ」という化学的な色合いの用語であるため、狭義の化学的な「中和」であるとの誤解を招いている可能性が高い。

#### 4.3.1.2 酸・アルカリに関する用語の混乱

酸やアルカリに関連する用語の定義は容易ではない。洗浄分野では pH (水素イオン濃度) と関連付けて、pH の 7 付近が中性、より高い pH がアルカリ性 (塩基性)、より低い pH が酸性という区分での液性が非常に重要である。洗剤・洗浄剤は酸性、弱酸性、中性、弱アルカリ性、アルカリ性と 5 つに分類され、その使い分けが洗浄方法を選択する際の重要なファクターとなる (表 4-2)。

酸とアルカリ・塩基の定義は、酸性の物質＝酸、アルカリ性の物質＝アルカリと認識されがちであるが、正確な定義には酸性・アルカリ性の液性とは区別する必要がある。酸と塩基にはアレニウスの定義、ブレンステッド・ローリーの定義、ルイスの定義などの厳格な定義がある。アレニウスの定義では水素イオン  $H^+$  または水酸化物イオン  $OH^-$  の供与する性質が酸、および塩基と定義される。酸は強酸の塩酸  $HCl$ 、硫酸  $H_2SO_4$  や弱酸の酢酸  $CH_3COOH$  などを含めて  $H^+$  を放出するのでアレニウスの酸となる。塩基は水酸化ナトリウム  $NaOH$  や水酸化カリウム  $KOH$  などの強塩基は  $OH^-$  を放出するので、アレニウスの塩基であるが、アンモニア  $NH_3$  や炭酸ナトリウム  $Na_2CO_3$  などは  $OH^-$  を直接的には放出しないのでアレニウスの塩基とは言えない。

ブレンステッド・ローリーの酸はアレニウスの酸と同じ定義であるが、ブレンステッド・ローリーの塩基は  $H^+$  を受け取る物質であると定義されるので、 $NH_3$  や  $Na_2CO_3$  など水  $H_2O$  から  $H^+$  を受け取って  $OH^-$  を放出する反応と結びつけられるので塩基とみなされる。よって、水溶液が酸性になる物質は酸、水溶液が塩基性になる物質は塩基であると表現することができる。但し、ブレンステッド・ローリーの酸および塩基と反応する際の  $H_2O$  は、それぞれブレンステッド・ローリーの塩基および酸となるが、水自体を酸性・塩基性の原因となる酸・塩基と呼ぶのは不適當である。

表 4-2 酸・アルカリ関連用語の整理

用語		意味
酸性・塩基性（アルカリ性）		水溶液中の $H^+$ と $OH^-$ の割合で、 $H^+$ が多い（pHが低い）と酸性、 $OH^-$ が多い（pHが高い）と塩基性またはアルカリ性と呼ぶ。酸性・塩基性は酸・塩基の各定義における酸・塩基の強さを表す意味で用いられる場合もある。
酸性・弱酸性・中性・弱アルカリ性・アルカリ性		家庭用品品質表示法で洗剤類に定められた基準でpHが11.0を超えるものがアルカリ性、11.0以下8.0を超えるものが弱アルカリ性、8.0以下6.0以上が中性、6.0未満3.0以上が弱酸性、3.0未満が酸性とする。
酸・塩基	アレニウスの定義	水中で解離し $H^+$ を生じる物質が酸、 $OH^-$ を生じる物質が塩基
	ブレンステッドローリーの定義	$H^+$ を供与する物質が酸、 $H^+$ を受容する物質が塩基
	ルイスの定義	電子対の受容体が酸、電子対の供与体が塩基
アルカリ		狭義にはアルカリ金属の水酸化物とアルカリ土類金属の水酸化物を指す。広義には水に溶解して塩基性を示す物質全般を指し、洗浄分野ではこの用法が多い。

ルイスの酸・塩基は孤立電子対を介した配位結合による酸塩基反応をもととする定義であり、液性の酸性・塩基性とは直接的な関係はなくなる。 $H^+$ が $OH^-$ と反応して $H_2O$ になる反応のように、 $A+B \rightarrow AB$ のタイプの酸塩基反応を説明するのによく用いられ、金属イオンが水和する反応などでは金属イオンがルイス酸、水がルイス塩基となる。このルイスの定義の場合、 $H^+$ や $OH^-$ が直接関与しない場合でも酸塩基反応を説明できるが、 $H^+$ や $OH^-$ の量の大小には直接的な関連性がなくなるので、酸性やアルカリ性などの液性と関連付けることが困難になる。

以上のように、酸・塩基は定義によって酸性－塩基性を示す液性との関係が大きく異なってくる。洗浄分野での酸・塩基は水溶液状態で酸性にする物質、塩基性にする物質という意味合いで用いられる場合が多いので、アレニウスの定義による酸・塩基に、ブレンステッド・ローリーの塩基の定義の中で $NH_3$ や $Na_2CO_3$ などの化学式には $OH^-$ を含まないが $H_2O$ を加水分解して $OH^-$ を生成する物質も含めるという用法になる。ルイスの定義の酸・塩基は

もともと酸性・塩基性という液性とは異なる次元の用語であり、基本的に洗浄分野での酸・塩基とは異なるものという認識が必要である。

なお、アルカリは広義で水に溶解すると塩基性を示す物質を意味するので、洗浄分野で扱う用語として適切である。

#### 4.3.1.3 酸化と酸の混乱

「酸化」と「酸」の用語の混乱も消費者情報等を扱う上では重要である。日本語で「～化」の用法は、強化、弱化、悪化、激化、老化、近代化、国際化など、漢語の表す物や事、状態に変える、または変わるという意を表す接尾語として用いられる。よって、前提の知識が備わっていなければ「酸化」は「酸」の状態にするものと捉えられやすい。しかし、化学の分野での酸化は還元に対義語で「物質を酸化する」は「物質から電子を奪う」であり、酸・塩基の概念とは全く異なるものである。英語で酸化は oxidation (=酸素)、酸は acid (=すっぱい) であり別の概念の用語として理解できるが、日本語では酸と酸化が非常に関連深く見える名称が用いられている。高等学校理科で扱われてはいるが、酸と酸化の関係はそれほど簡単には割り切れない。ニクロム酸カリウムにより酸化反応を進める場合は硫酸酸性状態にすることが望ましいなど、酸化に酸が関与する場合も多い。また硝酸は酸であると共に酸化剤としての性質もある。一方、シュウ酸は酸であるが還元剤としての働きもある。これらの事例からも明らかなように酸と酸化剤の関係は複雑で、別の次元の用語として捉えるべきである。

#### 4.3.1.4 酸性汚れ・アルカリ性汚れの定義の問題

洗浄における酸・塩基中和説では汚れを油脂、皮脂、タンパク質などの酸性汚れと、水垢、鉄さび、尿石などのアルカリ性汚れに分類するという点に特徴があるが、この点が混乱に拍車をかけることとなっている。

酸性・アルカリ性（塩基性）は実質的には pH で表す液性に関連する用語であり、水溶液の性質を表す用語である。水に溶解した際に水溶液が酸性になる汚れが酸性汚れ、水溶液が

アルカリ性になる汚れがアルカリ性汚れとすべきものである。

さて、洗浄において問題となる汚れは水溶性に乏しい難溶性であり、実質的には水に不溶性の物質であるため、水で洗うだけでは除去できず問題となる。そのため酸性洗浄剤やアルカリ性洗浄剤などを用いることになる。つまり、水に溶けないのだから酸性かアルカリ性かと議論すること自体が矛盾を含んでいる。

水垢は水への溶解性がほとんどない炭酸カルシウムが主成分となっている。酸・塩基反応において炭酸イオンは  $H^+$  に電子対を供与して炭酸を生成するので、ルイスの定義における塩基であると表現できなくもないが、ルイスの定義を用いる時点で用語として「アルカリ」を使用するのは不適である。またルイスの定義の酸・塩基であるなら、水溶液の液性を表現する酸性・アルカリ性とは切り離さなければならない。このように種々の問題を含んでいるので、水溶解性に乏しい水垢をアルカリ性の汚れであるとする説明は不適切である。

また、油脂を酸性汚れとして分類することが洗浄における酸・塩基中和説の土台となっているが、油脂（トリアシルグリセロール）は水への溶解性がほとんどなく、仮に油脂が水に溶解する状態を仮定したとしても、 $H^+$  を放出することもない。仮に「酸性」を「酸の特徴を有する」と拡大解釈し、本来は適応することが不適な「ルイスの定義における酸の特徴を有する」と解釈した場合は、油脂のケン化が、油脂のエステル結合のカルボニル炭素が水酸化物イオンの孤立電子対を受け入れる反応が始点となるので、油脂は酸塩基反応における酸であるとみなすことも不可能ではないが、もともと酸性・アルカリ性の液性に関連の無いルイスの定義の「酸」の性質を表す用語として「酸性」を用いるというのは、やはり不適切といわざるを得ない。洗浄分野での酸性・アルカリ性は pH やリトマス試験紙等の関与する液性を連想させることが明白だからだ。

#### 4.3.1.5 脂肪酸の理解不足

脂肪酸は脂肪分が皮膚常在菌等によって分解されて生成する油性成分で、皮脂汚れ中の主要な成分の一つを構成している。名称の通り、カルボキシ基を有する有機酸である。この脂肪酸はアルカリ性条件下で水溶性の石けんに変化する。この変化は酸と塩基の中和反応

であり、塩基の種類によらず、水酸化ナトリウムなどの強アルカリでも重炭酸ナトリウムなどの弱アルカリでも反応は進む。よって、脂肪酸に関しては「酸の汚れをアルカリで中和して除去する」という表現は正しい。

但し、通常の汚れとして存在する脂肪酸は水にはほとんど溶解せず、その水溶液が酸性であるということはないので、油性物質である脂肪酸を「酸性の汚れ」と呼ぶのは不適切である。しかも、これは主要な油性成分の中でも脂肪酸についてのみ適用できる表現であり、食用油脂や脂肪は遊離脂肪酸をほとんど含まないので、弱いアルカリとの中和反応で除去が進行するということはない。

しかし、この油性成分である脂肪酸がアルカリと中和して除去されるという事実は、油脂類全般に適応できるメカニズムだとの誤解を招く危険性もある。たとえば牛脂、ヤシ油、パーム油などの各種脂肪・油脂の説明には構成脂肪酸としてオレイン酸、パルミチン酸、ラウリン酸等のパーセンテージが示される場合が多い。脂肪酸がグリセリンとエステル結合した状態が脂肪であり、脂肪の有するカルボキシ基はエステル基に変化しており、脂肪はカルボキシ基がなく酸としての性質がなくなっている。しかし、油脂は脂肪酸と関連付けた説明が多く、化学的知識をあまり有していない場合、脂肪・油脂が酸を含む、或いは酸そのものであると誤解を招く可能性もある。

## 4.3.2 本来の酸塩基洗浄のメカニズム

### 4.3.2.1 アルカリ剤の作用

強アルカリは油脂・脂肪の加水分解（ケン化）やタンパク質の分解などが作用する。弱アルカリでは基質や汚れの負の表面電位を大きくして<sup>8)</sup> 電気二重層による斥力を高めて分散力や洗浄力を高める<sup>9)</sup> (図 4-1,2)。この作用は有機物・無機物を含めて大部分の物質に対して有効な作用である。ほか、油性汚れの中でも脂肪酸に対しては弱アルカリであっても中和作用で石けんに変化させて除去できる。

以上の洗浄メカニズムはこれまで築かれた洗浄科学で蓄積・共有されてきた知識である。この汚れを「酸性汚れ」と定義して「中和」をそのメカニズムとして説明するのはあまりにも乱暴すぎる。

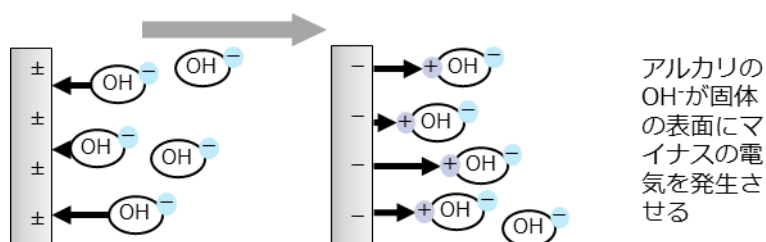


図 4-1 負の表面電位の生じる仕組み<sup>8)</sup>

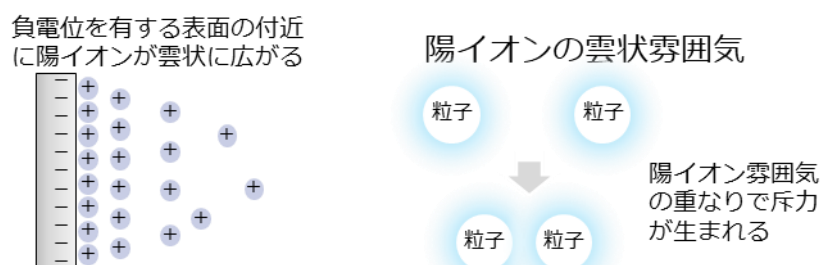


図 4-2 電気二重層による反発力<sup>9)</sup>

#### 4.3.2.2 酸剤の作用

酸の洗浄作用については、実は化学的な論議が十分には行われてこなかった経緯があり、経験論的な知識が多い。但し、酸剤で除去する対象の汚れをアルカリ性として中和で片付けるのは、やはり不適である。

酸洗浄剤で除去する対象の代表的なものは炭酸カルシウムが主成分の水垢と鉄(Ⅲ)酸化物である鉄さびが主体であるが、酸剤によって適・不適が大きく分かれる。塩酸や硝酸はCa系、Fe系の両者の汚れ除去に有効であるが、硫酸やシュウ酸はFe系には有効だがCa系には不適で、クエン酸や酢酸等はCa系には有効だがFe系には弱い。またCa系に対してクエン酸は有効ではあるが不溶性の沈着物を生じやすいので注意が必要である。これらの複雑な挙動は中和では説明できない。酸・塩基の中和なら基本的に酸の種類は影響し難いからである。

洗浄対象がアルカリではなく、正イオンと負イオンのイオン結晶であること、そしてそのイオン結晶の結合力に対して、 $H^+$ が過多であるという酸性条件下で $H^+$ がイオン結晶中の負イオン、つまり炭酸カルシウムの場合は $CO_3^{2-}$ 、鉄酸化物の場合は $OH^-$ や $O^{2-}$ などと結合して $H^+$ の濃度を下げようとする働きだと理解すべきであろう。鉄酸化物の場合、 $H^+$ 濃度がかなり高い場合、或いはシュウ酸やアスコルビン酸のように酸度はあまり高くなくとも還元性があって不溶性の鉄(Ⅲ)イオン  $Fe^{3+}$ を水溶解性の高い鉄(Ⅱ)イオン  $Fe^{2+}$ に変化させるなどの効果を伴って除去が進むと考えられる。

#### 4.3.3 問題の本質

洗浄における酸・塩基中和説は、「酸・アルカリの中和で汚れを落とす」「汚れ落としの基は中和させること」のような表現が散見され非常に分かりやすいので消費者間に広まったと考えられ、洗浄に関する関心を高めた点は評価できる。但し、その影響力がかなり広まってきたので、本来の化学的「中和」の誤解の原因になりかねないレベルに達してきたのではないかと危惧される。

また汚れを酸性汚れやアルカリ性汚れに分類する手法も、そろそろ是正が求められても



よいだろう。水に溶解しない汚れを、液性と結びつけた表現の酸性・アルカリ性として表現するのは誤解の元である。油脂汚れを酸性汚れとするのも、空気中の酸素で酸化するので酸性だという誤解から生じた可能性が高く、科学的には許容されるべきものではない。

また洗浄に関する酸・塩基中和説は洗浄の基本的理論に関する誤解を生む点でも問題となる。実は物質は中和状態が最も安定であり、溶解しにくい状態となる。逆に酸性或いはアルカリ性に大きく偏らせると、物質は電氣的な安定性を失い、水への溶解性を高める。したがって、酸と塩基が当量反応した状態や pH7 付近の中和とされる状態が最も汚れの除去し難い状況なのである。アルカリによる脂肪酸の中和（セッケン生成）は例外とみなすべきである。洗浄で酸やアルカリを作用させる場合、基本的には溶液は十分な酸性状態かアルカリ性状態を保つ必要がある。中和ではなく中和状態からの逸脱が洗浄の基本と考えるべきである。

酸・塩基中和説に変えての新たな説明パターンとしては、「有機物汚れはアルカリ性洗浄剤、無機物汚れには酸性洗浄剤」程度の説明が望ましいのではないと思われる。この説明では中和説に比べると複雑に見えて印象に残りにくいことは否めないが、中和説による科学からの逸脱のマイナス面を考慮すれば、何らかの改善策が求められる。

#### 4.4 まとめ

洗浄に関する酸・塩基中和説の問題点や拡散経緯について考察した結果、以下の課題が抽出された。

- 1) 中和には当量の酸と塩基が塩をつくる化学的定義や、異なる性質のものが混ざるといふ一般用語としての定義が存在するが、その使い分けが意識されることがあまりなかった。
- 2) 酸、酸性、塩基、塩基性、アルカリ、アルカリ性等の用語は一般的によく使用されている割には厳密な定義は難しく、混乱しやすい面がある。
- 3) 酸と酸化の違いが認識されず、酸化を酸性になることと誤解するケースがあり、結果として化学的に誤った説を派生したという可能性がある。

いずれも化学の専門的用語であるが、一般社会の中でも専門的な意味を特に意識せずに用いられるものが原因になっているように思われる。このような用語の混乱は、生活分野の科学、特に化学等をベースとする分野にとっては避けることのできない宿命的な課題であると思われる。

洗浄分野の話題で一般消費者レベルでの情報交換が活発に行われることは非常に好ましいことだが、科学用語等の解釈等で社会的悪影響が及ぶことがないよう、生活分野の専門家からの情報提供が求められる。

#### 文献

- 1) 坂本 ゆか, 大熊 俊稀, 大矢 勝. ビールを活用するナチュラルクリーニングに関する消費者情報の分析と実験的検証. 繊維製品消費科学. 2020, Vol.61, No.1, 38-45
- 2) 文部科学省. “小学校学習指導要領解説 家庭編”. 2017. (入手日: 2020.10.1)
- 3) 大矢 勝. 安全性・環境問題に関する消費者情報の課題—2.5 次情報中の誤情報に対応するために—. 日本家政学会誌. 2010, No.61, Vol.8, 511-516

- 4) 大矢 勝. 消費者情報の問題点－石けん, 合成洗剤問題について－. 繊維製品消費科学, 1999, No.40, Vol.3, 151-156
- 5) 大矢 勝. 合成洗剤・石けん論争のその後. 繊維製品消費科学, 2001, Vol.42, No.8, 503-508
- 6) 大矢 勝. 最近の石けん運動と今後の課題. 洗濯の科学, 2002, Vol.47, No.1, 2-8
- 7) 大矢 勝. 合成洗剤・石けん問題. 洗濯の科学, 2013, Vol.58, No.228, 9-14
- 8) 大矢 勝. 図解入門よくわかる最新洗剤・洗剤の基本と仕組み. 秀和システム, 2011, 80-81
- 9) 前掲 8) 82-83

## 第 5 章

### 結 言

## 5.1 本論文の総括

本研究では、酸・塩基中和説の消費者情報の拡散経緯を明らかにし、消費者情報として科学的根拠が望まれる酸洗浄についてクエン酸を用いた  $\text{CaCO}_3$  除去を実験的に検証し、酸・塩基中和説に関する問題点の原因を考察した。

第1章では、日本の家庭洗浄における酸・塩基および洗浄における酸・塩基中和説の定義を整理し、汚れ除去のメカニズムと酸塩基洗浄、酸塩基洗浄の消費者情報学的な課題、学校教育における酸塩基洗浄の理論と実践の位置づけについて論述した。

第2章では、洗浄に関する酸・塩基中和説の拡散経緯の推定として、酸・塩基中和説に関する消費者情報の収集・分析および酸・塩基中和説の起源情報サイトの分析と背景の推定を考察した。酸・塩基中和説の関連情報の分析から、酸塩基洗浄の理論について Web では大部分が酸・塩基中和説を支持していることが確認された。また、酸性汚れ・アルカリ性汚れに分類する方法に問題があること、酸化と酸に繋がる元情報が確認できた。元情報より廃液の浄化から中和を洗浄に結びつけた背景が推定された。

第3章では、消費者情報である酸・塩基中和説として関心が高く家庭洗浄におけるメカニズムが未解明な、酸を用いた金属塩汚れ除去について実験的に検証した。具体的にはクエン酸など有機酸を用い、水垢と呼ばれるカルシウムを含む金属塩汚れ酸洗浄について解析した。消費者情報を分析した結果、クエン酸利用を肯定し推奨する記述が多くみられた。またクエン酸とカルシウムの反応による沈殿について言及している消費者情報は見当たらなかった。炭酸カルシウムの溶解実験によりクエン酸の洗浄力は塩酸や酢酸と同様に高いが、クエン酸は時間が経過すると大量の沈殿を生成することがわかった。pH 測定、XRF によるカルシウム定量及び HPLC によるクエン酸の定量的結果、沈殿は炭酸カルシウムの再結晶化から始まり、12 時間後から炭酸イオンとクエン酸イオンが交換する形で反応が進むことが分かった。また未溶解の炭酸カルシウムの存在が沈殿生成速度を大幅に増大することも分

かった。更にカルシウムは炭酸塩よりもケイ酸塩や硫酸塩の方が除去困難であることも明らかになった。以上の実験結果より、消費者情報に多く見られるクエン酸による水垢の除去メカニズムに関する中和説が、科学的なロジックとして問題があることが明らかになった。また、酸・塩基中和説に変わりカルシウム系汚れのクエン酸による洗浄のメカニズムは、 $H^+$ イオン濃度を状態変数とするルシャトリエの原理とイオン結合力のバランスで解釈できることがわかった。

第4章では、洗浄に関する酸・塩基中和説の拡散原因の解明として、酸・塩基中和説の科学的問題点を整理し、酸・塩基中和説にかわる実験的に検証した酸塩基洗浄の修正ロジックを考察した。中和には等量の酸と塩基が塩をつくる化学的定義や、異なる性質のものが混ざるという一般用語としての定義が存在するが、その使い分けが意識されることがあまりなかったと推定される。汚れの分類について、水に溶解しない汚れを、液性と結びつけた酸性・アルカリ性という表現は、中和に関連づける誤解の元となる。酸・塩基中和説に変えての新たな説明パターンは、以下のように提案した。

- ・有機物汚れはアルカリ性洗浄剤
- ・無機物汚れは酸性洗浄剤

本研究では、酸・塩基中和説と本論文で定義する科学的に問題点を含む消費者情報について、消費者情報の分析と実験的検証により修正のための理論構築を目指した。

その結果、酸性汚れ・アルカリ性汚れに分類する方法に問題のあること、過度の酸性化やアルカリ化を中和と表現するなどの問題が確認できた。酸・塩基中和説で未解明なカルシウムを含む水垢汚れの酸洗浄に関する消費者情報を調査し、その科学的根拠の実験的検証を行った。クエン酸によるカルシウム塩汚れの洗浄時の沈澱生成の挙動の解析により、炭酸イオンとクエン酸イオンの置換による反応で大量の沈澱を生成することが分かった。イオン結晶であるカルシウム塩(水垢)の酸洗浄剤(クエン酸)による溶解は、酸・塩基中和説の中和反応にかわり、酸洗浄剤中の  $H^+$  を状態変数とする平衡に関するルシャトリエの原理による

反応とイオン結合のバランスで解釈できることがわかった。カルシウム塩汚れの除去では、作用させる酸洗浄剤中の  $\text{H}^+$  を減少させる反応において、酸洗浄剤の陰イオンと  $\text{Ca}^{2+}$  の組み合わせによって、イオン結合のバランスで水溶性となることが洗浄作用に重要であることが明らかになった。また、酸・塩基中和説という情報が広まった原因は、もともと中和に関して種々の定義が存在していたことと、酸・塩基に関連する用語を厳密に理解するのが難しいことである。日本語の用語としての酸と酸化が混同しやすいことも関与している。酸とアルカリの中和という表現は、単純で分かりやすいため多くの人に受け入れられたと考えられる。以上のことから、一般の消費者レベルで流通している誤情報である中和説を訂正するための、新たな説明ロジックの原案を作成した。

## 5.2 今後の課題

本研究では、洗浄における酸・塩基中和説の消費者情報について、科学的な問題点の分析と実験的検証により修正のための理論構築を行った。家庭で行う洗濯や掃除について、洗剤や洗浄剤を成分や形、大きさ、などから適切に選ぶことは、消費者にとって難しいテーマと考えられる。掃除については道具との関連も含め、どこから掃除をするのか、汚れの落とし方が分からない等といった掃除の方法も合わせた理論について情報が求められている。それ故に、酸・塩基中和説のように簡易的に汚れに対する洗浄剤を選択するための理論展開ではなく、個別の汚れ除去に対応できる科学的根拠を伴った情報が求められる。そのためには、科学用語等の解釈等で、一般消費者が受け入れやすい内容として、生活分野の専門家からの情報提供が重要となる。

また、洗浄に関する情報発信は、学校教育との関連も期待できる。日本の家庭科教育では、習得した知識・技能を活用し、各自の生活実践に活用できる力の育成を図っている。洗浄のメカニズムをもとに、汚れや基質に対し適切な洗剤や洗浄剤、道具を選び、生活環境管理に役立てるよう、自ら生活の中から課題を設定し解決する学習を展開する中で、生活をよりよくしていこうと工夫することが可能となる。

今後の課題としては、学校教育では掃除の実践と理論を学習する時期が異なっているた

め、先に履修する掃除の実践に対し、学習段階を越えた上位概念をふまえた化学的な説明のロジックが必要である。本研究で明らかにした、消費者情報としての酸塩基洗浄のロジックをふまえて、小学校の家庭科における掃除の実践でも活用できるロジックの解明が望まれる。



## 謝 辞

本研究は、著者が横浜国立大学大学院環境情報学府人工環境学専攻博士課程後期在学中に、同大学環境情報研究院 教授 大矢 勝 先生よりご指導賜りました。大矢先生におかれましては、大学院入学時のアドバイス、研究テーマの選定から分析方法、結果考察、研究発表など、研究全般にわたりご指導頂きました。心からの敬意と謝意を申し上げます。

また、本論文の審査員を務めてくださった横浜国立大学 教授 松本 真哉 先生、准教授 松宮 正彦 先生、教授 中井 里史 先生、教授 亀屋 隆志 先生に心から感謝いたします。本論文の予備審査会および審査会にて貴重なご意見を賜り、本論文をまとめるにあたり大変参考になりました。

また、本論は横浜国立大学大矢研究室でこれまでに行われた実験と研究に基づくものであり、大矢研究室修了生の田母神 礼美氏にご協力をいただきました。田母神氏に深甚なる敬意と感謝を申し上げます。

加えて、長期にわたる研究でお世話になりました、長崎大学の同僚の皆様、ご支援いただいたすべての皆様に厚く感謝を申し上げます。

最後に、著者をここまで励まし、支えてくれた家族に心より感謝いたします。

2021 年 9 月