

生 活 と 環 境

The Lifestyle and the Environment

石久保鈴子・小林泰子・片山倫子

Reiko ISHIKUBO, Yasuko KOBAYASHI and Michiko KATAYAMA

科学技術の発展と高度経済成長に伴う産業の発展により、私達は快適で豊かな生活を送ることが出来るようになってきた。しかし、快適で豊かな生活と引替えに地球環境への負荷が増加し、酸性雨・森林破壊・地球温暖化・オゾン層破壊などの環境問題が起きている。

私達の日常生活の中からも、生ごみ・衣服・容器包装物などの廃棄物や炊事・洗濯・風呂等に使用した生活雑排水が環境中に排出され、廃棄物・水質汚濁・土壌汚染などの問題を引起している。

これに対処するため、生活環境学および被服整理学を担当している著者らは“環境にやさしく、安全な生活を送るための提言”に関する研究をそれぞれ続けてきた。本プロジェクトでは、廃棄物や家庭洗濯による環境汚染を軽減するための提言につき、それぞれ下記のテーマで検討を行った。

○食品包装材のリサイクルと環境汚染^{1) 2)}

石久保鈴子

食品包装材のリサイクルの可能性とリサイクルによって生じる環境に対する負荷量を総合的に検討する。

○各種界面活性剤の混合系における生分解性^{3) 4)}

小林 泰子

数種の界面活性剤が混合した市販洗剤の生分解性について比較検討する。

○洗剤の溶解性と洗浄力^{5) 6) 7)}

片山 倫子

洗剤の溶解性と洗浄力を総合的に検討する。

各種界面活性剤の混合系における生分解性

小林 泰子

1. 緒言

界面活性剤は浸透、分散、乳化、可溶化、洗浄等の作用を行うため、家庭用洗剤の主成分としてだけでなく、化学工業等多くの分野で使用されている。これらの界面活性剤は、使用後は環境中に排出されるため、以前より環境への影響が問題となっている。特に洗剤は日常生活で利用されているため、生活雑排水として環境中に流入し、河川・地下水などの汚濁化の原因となる。これに対処するため下水処理施設が建設されているがまだ十分ではなく、約50%が自然水域にたれ流しされており、界面活性剤の生分解性が問題となっている。

洗浄作用の目的で洗剤中に含まれる主要界面活性剤を表1⁸⁾に示した。著者らはこれまで、これらの界面活性剤の河川水中での消失挙動を明らかにするために、リバー・ダイ・アウエイ法により生分解性を比較検討してきた^{9) 10)}。その結果、陰イオン界面活性剤においては、生分解性は脂肪酸ナトリウム (S o a p) ≥ ドデシル硫酸ナトリウム (S D S) > α-オレフィンスルホン酸ナトリウム (A O S) > 直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (L A S) の順であることを確認した。また、主要非イオン界面活性剤のポリオキシエチレンアルキルエー

表1 洗剤に使用される主な界面活性剤

種 類	名 称	略 号	構 造
陰イオン 界面活性剤	脂肪酸ナトリウム(石けん)	—	$R-COONa$ $R: C_{11} \sim C_{17}$
	アルファスルホ脂肪酸エステルナトリウム	SFE	$R-CH-COOR'$ $\quad \quad \quad OSO_3Na$ $R: C_{10} \sim C_{16}$ $R': C_1 \sim C_6$
	アルキル硫酸エステルナトリウム	AS	$R-OSO_3Na$ $R: C_{10} \sim C_{18}$
	アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム	AES	$R-O(C_2H_4O)_nSO_3Na$ $R: C_{10} \sim C_{18}$ $n=1 \sim 5$
	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム	LAS	$R-\text{C}_6\text{H}_4-SO_3Na$ $R: C_{10} \sim C_{14}$
	アルファオレフィンスルホン酸ナトリウム	AOS	ANS と HOS の混合物
	アルケンスルホン酸ナトリウム	ANS	$R-CH=CH(CH_2)_nSO_3Na$ $R: C_9 \sim C_{15}$
	ヒドロキシアルカンスルホン酸ナトリウム	HOS	$R-CH-(CH_2)_nCH_2SO_3Na$ $\quad \quad \quad $ $\quad \quad \quad OH$ $n=0, 1 \sim 5$
	アルキルスルホン酸ナトリウム	SAS	$R-CH-R'$ $\quad \quad \quad $ $\quad \quad \quad SO_3Na$ $R+R': C_{13} \sim C_{17}$
非イオン 界面活性剤	ポリオキシエチレンアルキルエーテル	AE	$R-O(CH_2CH_2O)_n-H$ $R: C_9 \sim C_{18}$ $n=5 \sim 15$
	ポリオキシエチレン アルキルフェノールエーテル	APE	$R-\text{C}_6\text{H}_4-O(CH_2CH_2O)_n-H$ $R: C_6 \sim C_{12}$ $n=7 \sim 10$

テル(AE)についてはアルキル鎖長が長くなると分解が遅くなるが、LASよりは早いことを確認した¹¹⁾。

以上は単品の界面活性剤の結果であるが、市販の合成洗剤は単一の界面活性剤からなるものは少なく、数種の界面活性剤を含むものが殆どである。そこで本報では、需要の多いLASに他の陰イオン界面活性剤を混合した粉末洗剤、および非イオン界面活性剤のAEに陰イオン界面活性剤を混合した液体洗剤を用いて、リバー・ダイ・アウェイ法により生分解実験を行い、環境負荷の少ない洗剤の配合について検討した。

2. 実験

(1) 試料

1) 界面活性剤および洗剤

陰イオン界面活性剤としてJIS生分解試験用標準品のドデセン-1-LAS(C_{12} LAS, 和光純薬製), 非イオン界面活性剤としてJIS

生分解試験用標準品のアルキル鎖が12, エチレンオキサイド鎖が7のポリオキシエチレンアルキルエーテル(BL-7SY, 日光ケミカルズ製)を用いた。

洗剤としては衣料用粉末洗剤を4種と液体洗剤としてドライクリーニング用衣料も洗える洗剤を7種(A~G)およびおしゅれ着用洗剤を3種(H~J)用いた。粉末洗剤の組成を表2に, また液体洗剤の組成を表3に示した。

2) 試水

多摩川中流域(新二子橋下)の河川水を選び, 家庭での洗濯排水が流れ込む午前中に採水し, その後2時間以内に実験に供した。試水の水质について調べた結果, 懸濁物質(SS)は11.0~19.0mg/lであった。

(2) 生分解実験

試水1lをビーカーにとり, 界面活性剤が20mgになるように試料を加えた。これを20℃のインキュベーター(Taitec製BC-3200型)中に一部開放状態で静置して, ダイ・アウェイテス

表2 供試粉末洗剤の組成

洗剤名	界面活性剤 (%)	界面活性剤の種類
A	4 0	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム アルキル硫酸エステルナトリウム 脂肪酸ナトリウム アルカノイルオキシベンゼンスルホン酸ナトリウム
B	4 2	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム 高級アルコール系 (陰イオン) 脂肪酸ナトリウム (純石けん分) ポリオキシエチレンアルキルエーテル
C	4 1	直鎖アルキルベンゼン系 アルファオレフィン系 ポリオキシエチレンアルキルエーテル
D	2 7	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム

表3 供試液体洗剤の組成

洗剤名	界面活性剤 (%)	界面活性剤の種類
A	3 4	アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム アルキル硫酸エステルナトリウム 脂肪酸アルカノールアミド ポリオキシエチレンアルキルエーテル
B	2 8	ポリオキシエチレンアルキルエーテル ジアルキルジメチルアンモニウムクロライド
C	3 2	ポリオキシエチレンアルキルエーテル アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム ヤシ油脂肪酸アルカノールアミド
D	3 0	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム 直鎖アルキルベンゼンスルホン酸アミン塩 ポリオキシエチレンアルキルフェノールエーテル
E	3 2	ポリオキシエチレンアルキルエーテル アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム ヤシ油脂肪酸アルカノールアミド
F	4 0	ポリオキシエチレンアルキルエーテル アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム 脂肪酸アルカノールアミド
G	3 5	ポリオキシエチレンアルキルエーテル アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム 脂肪酸アルカノールアミド
H	2 4	ポリオキシエチレンアルキルエーテル
I	2 1	アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム ポリオキシエチレンアルキルエーテル
J	3 0	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム 脂肪酸アルカノールアミド

トを行った。対照として河川水からのみなるブランク液についても同様のテストを行った。一定時間毎に試験水の一部を採取し、以下の分析に用いた。

(3) 分析方法

1) フェロイン試薬活性物質 (FRAS)

組成中の陰イオン界面活性剤の一次的生分解を調べるために用いた。Taylor らの方法¹²⁾に準じ、陰イオン界面活性剤とフェロイン試薬との複合体をクロロホルムに抽出し、512nmで吸光度を測定した後、 C_{12} LASの濃度として示した。

2) コバルトチオシアネート活性物質 (CTAS)

非イオン界面活性剤の一次的生分解を調べる方法で、JIS K 3363法に準じて求めた。非イオン界面活性剤とコバルトチオシアン酸アンモニウムとの複合体をベンゼン層に移し、322nmで吸光度を測定した。

3) 全有機炭素 (TOC)

界面活性剤の二酸化炭素までの無機化分解の指標として求めた。被検液を $0.45\mu\text{m}$ のミリポアフィルターでろ過した後、全有機炭素分析計 (島津TOC-5000型) により定量した。なお、被検液のTOCはブランク液のTOCを差し引いて補正した。

4) 高速液体クロマトグラフィー (HPLC)

被検液を $0.45\mu\text{m}$ のミリポアフィルターでろ過した後、HPLC分析装置 (島津LC-6A型) を用い、紫外分光光度計 (島津SPD-2A型) により225nmで界面活性剤中のLAS

の分析を行った。分析条件は表4に示した。

3. 結果および考察

(1) 粉末洗剤の生分解性

陰イオン界面活性剤の C_{12} LAS, アルキル硫酸エステルナトリウム (AS) の代表であるSDSおよびAOSを単独で用いた系と、これらを混合したLAS+SDS, LAS+AOSの系における 10°C の生分解試験の結果についてはすでに報告¹³⁾した。その中で図1に示したように界面活性剤を単独で用いた系では、 $\text{SDS} > \text{AOS} > \text{LAS}$ の順に生分解速度が遅くなる。さらに、LAS+SDS混合系ではLAS単独系とSDS単独系を加算した形で、LAS+

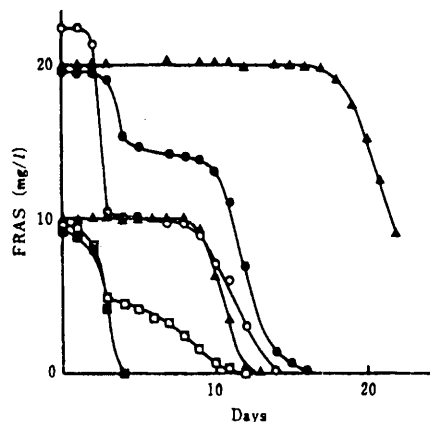


図1 界面活性剤の生分解性 (温度 10°C)

▲LAS 10mg/l, △LAS 20mg/l,
□AOS 10mg/l, ■SDS 10mg/l,
●LAS 10mg/l + AOS 10mg/l,
○LAS 10mg/l + SDS mg/l.

表4 HPLC分析条件

カラム	Hitachi Gel #3056, 4mm i.d. \times 150mm
流速	1.0ml/min
圧力	74kg/cm ²
溶離液	0.1M sodium perchlorate in acetonitrile/water(45/55)
カラム温度	40°C
注入量	50 μl

AOS混合系ではAOS単独系とLAS単独系を加算した形で生分解が進むことを示した。これらより界面活性剤を混合した場合、個々に易分解性の界面活性剤から消失し、最後にLASが誘導期間を経て分解することを明らかにした。

そこで、本報では界面活性剤としてLASを単独で用いた市販洗剤と、LASに他の界面活性剤を混合した市販洗剤の生分解性について検討を行った。4種の弱アルカリ性粉末洗剤を用いて、実験初濃度を界面活性剤相当分が20mgとなるように調整し、温度20℃においてダイ・アウエイテストを行い、FRASとTOCの分析結果をそれぞれ図2、3に示した。

図2では、対照としたC₁₂LASは試験開始後4～5日間の誘導期間を経て、11日後には界面活性を失う。洗剤Aは4種の界面活性剤の混合系であり、配合割合については未確認であるが、LAS+AS混合系とみなすと分解性の良いASが先に分解し、3～4日の誘導期間を経てLASの分解が起こると考えられる。洗剤Bは主としてLAS+高級アルコール系（陰イオン）であり、家庭用品品質規定では高級アルコール系にASの他にアルキルエテル硫酸エステルナトリウムも含まれるが、図1のLAS+SDS混合系と類似した挙動を示した。洗剤CはLAS+AOS混合系でありAOSの分解が先に起こり、やや遅れてLASの分解が起こる。洗剤DはLAS単独系であり、C₁₂LASと類似した挙動をとるが、分解は遅くなる。

図3のTOCの分析結果では、C₁₂LASは試験開始後6日間の誘導期間を経て分解が始まるが、その後11日目より第2の誘導期間に入る。洗剤Aは試験開始後直ちにASの分解が始まり、続いてLASの分解が始まるが、洗剤B、Cより分解は遅くなる。洗剤Bでは同様に高級アルコール系の界面活性剤の分解が先行し、続いてLASの分解が進む。洗剤Cは1日の誘導期間を経てAOSの分解が始まり、その後は数日の誘導期間を経て洗剤Bと類似した挙動を示す。洗剤DはLAS単独系のため、7日間の誘導期

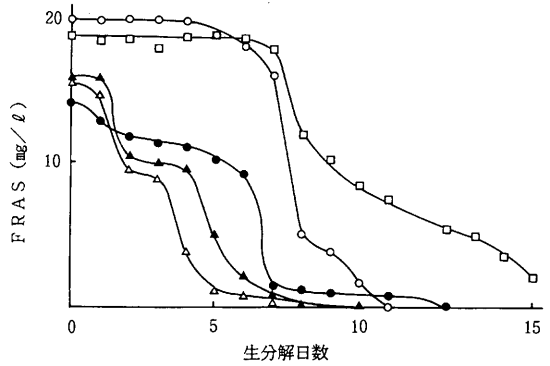


図2 弱アルカリ性粉末洗剤中の
アニオン界面活性剤の生分解性

初濃度 20mg/ℓ, 温度 20℃

○C₁₂LAS, ●洗剤A,
△B, ▲C, □D

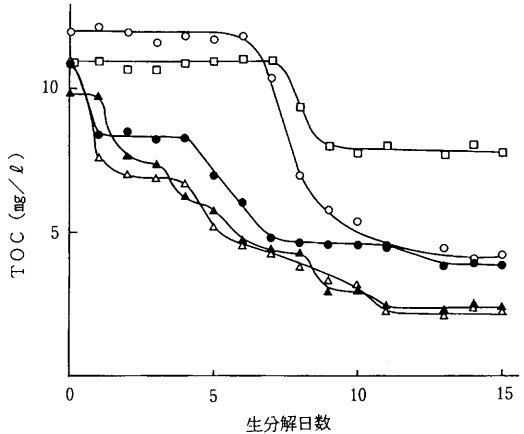


図3 弱アルカリ性粉末洗剤の生分解性

初濃度 20mg/ℓ, 温度 20℃

○C₁₂LAS, ●洗剤A,
△B, ▲C, □D

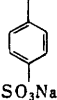
間を経て分解が始まるが他の洗剤に比較し分解が遅くなる。各洗剤の分解性はB≧C>A>Dの順となり、各洗剤中のLASの配合量の違いやLASの構造が生分解性に寄与していると考えられる¹³⁾。

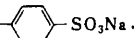
一般にLASはアルキル基の炭素数が異なる同族体とフェニル基の位置の異なる異性体との混合物からなり、その組成は原料や製造法により異なる。そこでHPLCによりLASのみを検出しLASの化学構造を調べ、同族体と異性

表5 洗剤中のLAS異性体の組成 (mol%)

異性体*	洗 剤 A	洗 剤 B	洗 剤 C	洗 剤 D
2φ**	4.1	3.9	3.3	4.8
C ₁₀ 3φ	3.1 (12.7)	3.1 (13.5)	3.4 (13.4)	2.9 (12.0)
4, 5φ	5.5	6.5	6.7	4.3
2φ	7.8	6.5	6.0	8.7
C ₁₁ 3φ	6.8 (35.1)	6.3 (32.7)	6.5 (34.8)	6.8 (34.5)
4φ	7.1	6.7	7.4	6.6
5φ	13.4	13.2	14.9	12.4
2φ	6.1	5.5	4.3	7.0
C ₁₂ 3φ	5.3 (32.0)	5.0 (30.9)	4.5 (28.7)	5.5 (31.8)
4φ	5.7	5.5	5.3	5.3
5, 6φ	14.9	14.9	14.6	14.0
2φ	2.0	2.6	2.1	2.4
C ₁₃ 3φ	2.1 (15.5)	2.6 (22.5)	2.0 (15.9)	2.4 (16.2)
4φ	2.4	2.9	2.2	2.5
5, 6φ	9.0	14.4	9.6	8.9
2φ	—	—	—	—
3φ	0.4	—	—	—
C ₁₄ 4φ	0.6 (2.7)	—	0.5 (3.5)	— (1.9)
5φ	1.7	—	0.8	0.6
6, 7φ }		—	2.2	1.3

* $\text{CH}_2^1\text{CH}_2^2\text{CH}_2^3\text{CH}_2^4\text{CH}_2^5\text{CH}_2^6\text{CH}_2^7(\text{CH}_2)_n\text{CH}_3$, $n=2-6$.



** φ indicates .

体の組成を表5に示した。洗剤AはC₁₀～C₁₄の同族体からなり、2φ体のようなフェニル基がアルキル基末端に結合した構造の含有量が多い。洗剤BはC₁₀～C₁₃の同族体からなり、C₁₄を含まない。洗剤CはC₁₄を含むが、洗剤Bと類似した分布を示す。洗剤DはC₁₀～C₁₄の同族体からなり、2φ体の含有量が多い。単一鎖長のLASについてC₁₂～C₁₄ではC₁₄が馴化するまでC₁₂の分解が起こらず、アルキル基末端に結合している2φ体より順次分解していくことが報告されている¹⁴⁾。従って、洗剤Bは分解の遅

いC₁₄を含まないため分解が早く、洗剤AはC₁₄を含み、2φ体が洗剤B、Cに比べ多いため分解が少し遅れ、さらに洗剤Dは2φ体の含有量が多く、LASの配合量も多いため最も分解が遅くなると考えられる。

現在、環境問題を考慮した多種類の洗剤¹⁵⁾が市販されているが、界面活性剤としてLASを主成分にする場合、C₁₀～C₁₃の同族体からなり、2φ体の割合の少ない組成にすることにより生分解性を高めることができると思われる。

(2) 液体洗剤の生分解性

最近、「クリーニング代の節約」、「フロン不使用による環境保全」、「布地の風合いの向上、型崩れ・縮みの防止」等を記したドライクリーニング用衣料も洗える洗剤がいろいろ市販されている。従来からの中性洗剤も合わせ組成を調べると、非イオン界面活性剤のAEに陰イオン界面活性剤のAESを配合した洗剤が多く、またAEの形状より、液状のものが多く。これらの液体洗剤の生分解性を検討するために、まず、弱アルカリ性粉末洗剤に多く配合されているLASと液体洗剤に多く配合されている非イオン界面活性剤のAEについてダイ・アウエイテストを行い、生分解過程を比較した。LASとして生分解試験標準品のC₁₂LAS、AEとして同様に生分解試験標準品のBL-7SYを用い、結果を図4に示した。C₁₂LASおよびBL-7SYの一時的生分解はそれぞれFRAS、CTASにより求めた。BL-7SYの消失はC₁₂LASに比較し、著しく早い。TOCの消失もBL-7SY>C₁₂LASである。アルキル鎖長やエチレンオキサイド鎖長の異なるAEについても生分解性はAE>C₁₂LASであることを確認している¹⁰⁾。

そこでLASより分解性が良く、また界面活性性に優れ、比較的低濃度で高い洗浄力が得られるAEに、陰イオン界面活性剤であるAES、AS、LASを配合した液体洗剤の生分解性をダイ・アウエイテストにより調べ、比較検討を行った。組成中のAEの一時的生分解はいずれも2日と早いことが確認されている¹⁰⁾ため、CTASの分析は省略した。

図5、6にはドライクリーニング用衣料も洗える洗剤7種の生分解試験の結果を示した。洗剤Aは主としてAES+AS+AEの混合系で、分解の良いASを含む。また、AEやAESについては関口ら¹⁷⁾が、一時的生分解の消失は2~3日でASと同様に早く、TOC分析における初期分解率はAES>AEで、最終的分解にはいずれも時間がかかることを報告している。従って、洗剤AではFRASの消失は早く、

TOCは試験開始後急激に減少するが、完全な消失には時間を要する。洗剤Bは柔軟剤として陽イオン界面活性剤も含むが、AE単独系とみなすと洗剤Aより分解に時間を要する。洗剤DはLAS+ポリオキシエチレンアルキルフェノールエーテル(APE)混合系であり、他の6種の供試洗剤とは配合が異なるが比較のために用いた。APEはAEに比較しTOCの初期分解率が高いが、完全な消失は遅いことが確認されている¹⁶⁾。従って洗剤Dでは試験開始後まずAPEが分解し、長い誘導期間を経てLASの分解が始まるが、14日目にはまだ約50%残存する。図6に示した洗剤C、E、F、GはすべてAE+AESの混合系であるが、FRASの初期値よりAEとAESの割合が異なることがわかる。また、洗剤FとGの初期値は同じでも洗剤Gの分解が遅いが、表1に示したようにそれぞれの洗剤中のAESの組成が異なるためではないかと推測される。また、TOC値は試験開始後3日目から多少差が見られるが、AESの組成に加えてそれぞれの洗剤中のAEの組成も異なるためではないかと考えられる。

図7には従来から使用されているおしゃれ着用中性洗剤の生分解実験の結果を示した。洗剤HはAE単独系であり、洗剤Bと類似した挙動を示す。洗剤IはAES+AEの混合系であり、FRASの消失は早く、TOCにおける初期分解はAES>AEのため、洗剤Hより分解が早い。一方、洗剤Jは洗剤Dと同様に比較のために用いた。LASを主としAESを配合した洗剤であるが、分解性の良い組成のLASを含むためか、洗剤Dより易分解性である。

これらの結果より、供試液体洗剤の生分解性はAE+AES+AS混合系>AE+AES混合系>AE単独系>LAS+AES混合系>LAS+APE混合系の順となる。従って、今回実験に用いた主に毛・絹・アセテート用の液体洗剤の場合、AEにAESやASを配合することにより生分解性を高めることができると考えられる。洗剤A、C、E、F、G、Jには界

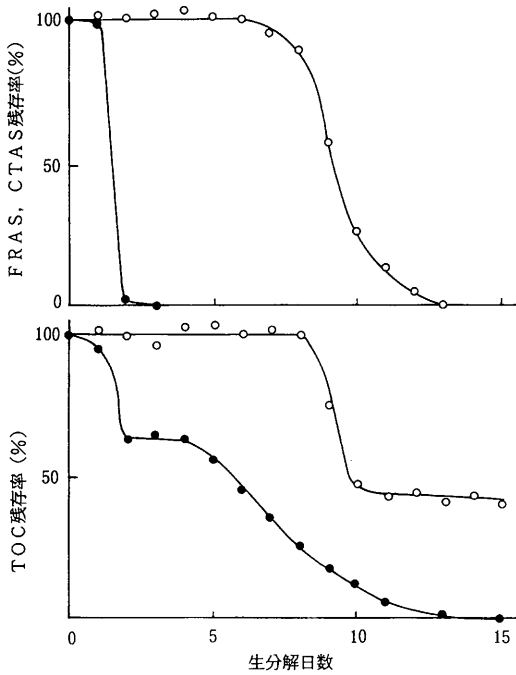


図4 界面活性剤の生分解性

初濃度 20mg/ℓ,
温度 20℃,
○C₁₂LAS, ●BL-7SY

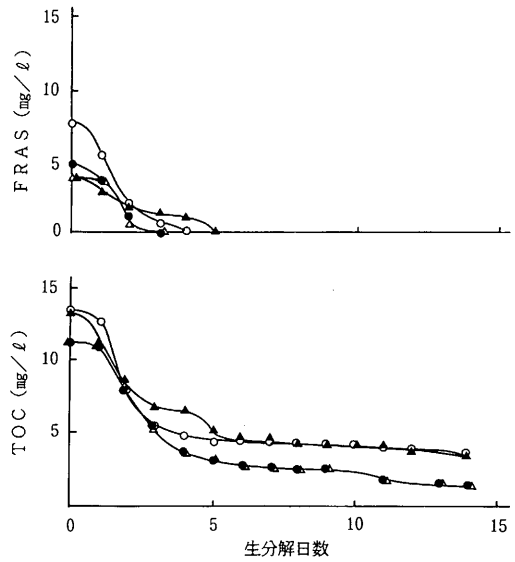


図6 ドライクリーニング用衣料も洗える
洗剤の生分解性(2)

初濃度 20mg/ℓ, 温度 20℃,
○洗剤C, ●E, △F, ▲G

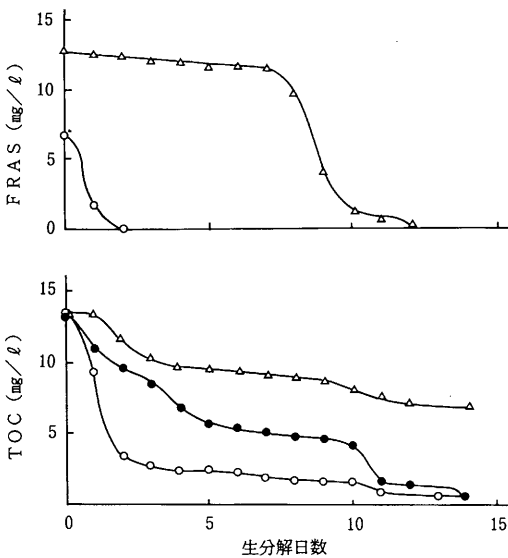


図5 ドライクリーニング用衣料も洗える
洗剤の生分解性(1)

初濃度 20mg/ℓ, 温度 20℃,
○洗剤A, ●B, △D

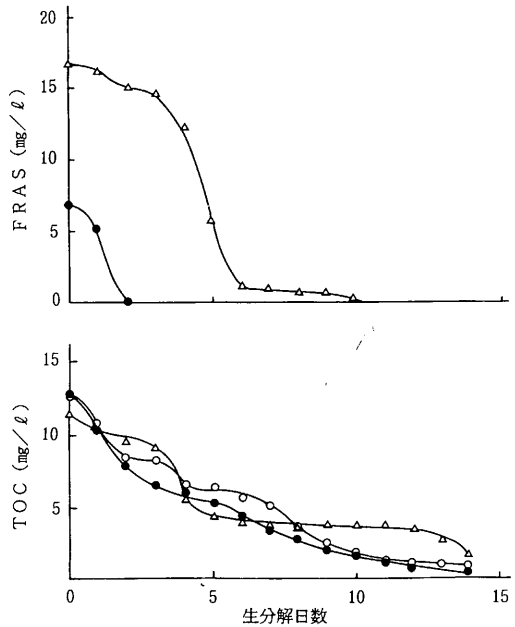


図7 おしゃれ着用中性洗剤の生分解性

初濃度 20mg/ℓ, 温度 20℃,
○洗剤H, ●I, △J

面活性剤として脂肪酸アルカノールアミドも含まれるが、この影響については今後検討したい。また、今後さらに界面活性剤のAEやAESおよびASを用いて、配合割合を変えて生分解実験を行い、洗浄力が高くしかも分解性の良い洗剤の配合について検討を進めたい。

4. 要約

洗濯排水による環境への影響を軽減するために、需要の多いLASに他の陰イオン界面活性剤を混合した粉末洗剤と、非イオン界面活性剤のAEに陰イオン界面活性剤を混合した液体洗剤を用いて生分解実験を行い、環境負荷の少ない洗剤の配合について検討した。

多摩川の河川水を試水とし、4種の弱アルカリ性粉末洗剤と、ドライクリーニング用衣料も洗える洗剤と従来からの中性洗剤の10種の液体洗剤を選び、リバー・ダイ・アウエイテスト法により20℃で生分解実験を行った。

界面活性剤としてLASのみを含む粉末洗剤と、LASに他の界面活性剤を混合した粉末洗剤については、易分解性の界面活性剤から先に消失し、最後にLASが誘導期間を経て分解することが確認された。各洗剤の分解性は洗剤 $B \geq C > A > D$ の順となり、洗剤中のLASの配合量の違いやLASの構造が生分解性に寄与していると考えられる¹³⁾。一般に市販のLASはアルキル基の炭素数が異なる同族体とフェニル基の位置の異なる異性体との混合物からなる。HPLCによる分析結果より、界面活性剤としてLASを主成分にする場合、 $C_{10} \sim C_{13}$ の同族体からなり、2φ体の割合の少ない組成にすることにより生分解性を高めることができると思われる。

次に、界面活性剤としてAEに陰イオン界面活性剤のAES、AS、LASを配合した液体洗剤の生分解性は、 $AE + AES + AS$ 混合系 $> AE + AES$ 混合系 $> AE$ 単独系 $> LAS + AES$ 混合系 $> LAS + APE$ 混合系の順となっ

た。毛・絹・アセテート用の液体洗剤の場合、AEにAESやASを配合することにより生分解性を高めることができると考えられる。

終わりに、本研究を行うにあたり、実験に協力して下さった堤 みどりさんに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 石久保鈴子, 茂木三由紀, 片山倫子, 阿部幸子: 日本家政学会第45回大会研究発表要旨集, 263 (1993)
- 2) 石久保鈴子: 日本家政学会第47回大会研究発表要旨集, 81 (1995)
- 3) 岩崎芳枝, 小林泰子, 阿部幸子: 日本繊維製品消費科学会1992年年次大会研究発表要旨集, 48 (1992)
- 4) 小林泰子, 片山倫子, 阿部幸子: 日本家政学会第47回大会研究発表要旨集, 79 (1995)
- 5) 片山倫子, 渡辺咲子, 宮崎伊津子, 小林泰子, 阿部幸子: 家政誌, **46**, 1173 (1996)
- 6) 片山倫子, 宮崎伊津子, 小林泰子, 阿部幸子: 東京家政大学研究紀要, **36**(2), 119 (1996)
- 7) 宮崎伊津子, 小林泰子, 阿部幸子, 片山倫子: 東京家政大学研究紀要, **36**(2), 127 (1996)
- 8) 水野上与志子, 岩崎芳枝編著: 被服整理学, 建帛社, 東京, 27 (1986)
- 9) 阿部幸子, 小林泰子, 片山倫子: 家政誌, **35**, 385 (1984)
- 10) 阿部幸子, 小林泰子: 家政誌, **36**, 874 (1985)
- 11) 小林泰子, 阿部幸子: 家政誌, **45**, 539 (1994)
- 12) C. G. Taylor and Fryer: *Analyst*, **94**, 1106 (1969)
- 13) 小林泰子, 阿部幸子: 家政誌, **39**, 895 (1988)

- 14) R. D. Swisher: Surfactant Biodegradation, Mercel Dekker Inc., New York, 212 (1970)
- 15) 山村正明: 第1回洗浄・洗剤部会講演会テキスト, 1 (1994)
- 16) 片山倫子ら: 平成8年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書, 15 (1997)
- 17) 関口 一, 大場健吉, 増田光輝, 杉山豊樹: 油化学, 24, 651 (1975)