

環境教育の資料作成V : 河川の浄化能

著者	佐藤 成哉, 中川 正義, 立石 真理子
雑誌名	熊本大学教育学部紀要 自然科学
巻	45
ページ	1-9
発行年	1996-12-10
その他の言語のタイトル	Teaching Materials for Environmental Education V : Clarification Power of Rivers
URL	http://hdl.handle.net/2298/2318

環境教育の資料作成 V

— 河川の浄化能 —

佐藤成哉・中川正義*・立石真理子**

Teaching Materials for Environmental Education V

— Clarification Power of Rivers —

Shigeya SATO, Masayoshi NAKAGAWA* and Mariko TATEISHI**

(Received September 2, 1996)

As a teaching resource for environmental education, the clarification power of rivers, especially for surfactants, has been widely investigated by extraction-spectrophotometry and the BOD method. It was found that river water could be easily biodegraded of most surfactants that were the main constituents of domestic waste water. Moreover, sediments or sandy soils in rivers have been found to be effective for both biodegradation and adsorption of surfactants.

Key words : Environmental Education, Clarification power, Surfactants, Water pollution

1. 緒 言

近年の科学技術の飛躍的な進歩や産業の活性化は、我々の日常生活の大幅な変革を余儀なくしており、その結果もたらされる環境汚染は大きな社会問題として連日マスコミ等で報道されている。そこで、地球的規模だけでなく身近な地域の環境をも保護・保全する必要性が認識されるようになり、人間と環境との共生に関する議論が盛んに行われるようになってきた。

文部省においても、現指導要領・指導要録の中で「環境教育」を重要単元の一つに位置付け^{1,2)}、「環境に対する豊かな感受性や見識を持つ人づくり」こそ環境問題に対する意識を高める方法であるとし、環境教育の啓蒙活動（環境教育指導書作成（1990）や全国環境教育フェアの開催（1994～））を盛んに後援するようになってきたが、教育現場から眺めた場合、環境教育の副教材・資料集の絶対的不足は否めず、授業で取り扱うべき素材・内容に苦慮しているのが現状である³⁾。

本研究室では、生命活動に必要不可欠である「水」を主題とした環境教育の副教材・資料集を作成し、それらを活用した模擬・実践授業を構築することにより、義務教育課程における「環境教育の在り方」について研究・模索してきた⁴⁻⁶⁾。

今回は、「自然の素晴らしさ—河川—」を明確にする目的で、我々が大量に消費する日用品でありかつ河川を汚す元凶と言及されている洗剤（界面活性剤）に着目し、「実際どれくらいの洗剤が河川中で分解・除去されるのだろうか？」を調べてみた。その結果、生活雑排水中に含まれる洗剤が河川汚染の元凶であることが再認識させられた一方で、自然の仕組みの素晴らしさ—河川は

* 熊本県立芦北高等学校

** 熊本市立託麻原小学校

いろいろな仕掛けを駆使して洗剤から自然を守っている—に触れることができたので、ここに報告する。

2. 実 験

2.1 装 置

日本分光 UVTEC-660 可視紫外分光光度計, タイテック恒温槽 (mini80, CP-150P), イワキ KM 式垂直振り混ぜ機, 日立遠心分離機 (03P), 日立—堀場ハンティ DO 計 (OM-14), 日立—堀場 pH 計 (B-112) を用いた。

2.2 試 薬

《BOD 法》— 生物化学的酸素消費量 —

- 希釈水 貯蔵液 A [10ml] と貯蔵液 B [1.25ml] にはっ気水を加えて全量を [1l] にして用いた。
- 貯蔵液 A 無水塩化カルシウム [3.0g], 硫酸マグネシウム [3.0g] と塩化鉄 (III) 溶液 [1% 10ml] を水に溶かして [1l] にする。
- 貯蔵液 B リン酸二水素カリウム [34g/500ml] を水酸化ナトリウム溶液 [1N] で pH7.2 に調整した後, 硫酸アンモニウム [1.5g] を加え, 水で全量を [1l] にする。
- はっ気水 沸騰・殺菌して放冷した水 [1l] に, エアーポンプで 3 時間以上空気を送り続けたものを用いた。

《TBPE 法》— 陽イオン界面活性剤の定量 —

- TBPE・K 溶液 テトラフロムフェノールフタレインエチルエステルカリウム塩 (和光純薬) [0.070g] を水 [100ml] で溶解して用いた。
- シクロロエタン (DCE) 市販品 (和光純薬) をそのまま用いた。
- 緩衝溶液 (pH1) 酢酸ナトリウム (和光純薬) を水 [100ml] に溶解し, 塩酸で pH 調整して用いた。
- TBPE・H-DCE 溶液 分液ロート (500ml) に TBPE・K 溶液 [50ml], 緩衝溶液 (pH1) [100ml] と DCE [500ml] を入れて 10 分間振り混ぜた後, 30 分間静置させて得られた DCE 相を用いた。
- 緩衝溶液 (pH9) ホウ酸ナトリウム溶液 (和光純薬) [9.58g] を水 [1l] で溶解して用いた。

《TTCA 法》— 非イオン性界面活性剤 (エーテル系) の定量 —

- TTCA 溶液 硝酸コハルト (II) 六水和物 (和光純薬) [118.8g] とチオシアン酸アンモニウム (和光純薬) [224.8g] を水で溶解し全量を [500ml] にして用いた。
- 塩化ナトリウム 市販品 (和光純薬) をそのまま用いた。
- ベンゼン 市販品 (和光純薬) をそのまま用いた。

《メチレンブルー (MB) 法》— 陰イオン界面活性剤の定量 —

- メチレンブルー溶液 メチレンブルー (東京化成) [0.13g] を水 [500ml] に溶解して用いた。
- 緩衝溶液 ホウ酸ナトリウム溶液 (和光純薬) [9.58g] を水 [1l] で溶解し, 水酸化ナトリウム溶液 [1N] を適宜加えて目的溶液 (pH9 および pH11) を調整して用いた。

○クロロホルム：市販品（和光純薬）をそのまま用いた。

《COD法》—— 化学的酸素消費量 ——

○硫酸 [12N]：原液（和光純薬）を3倍に希釈して用いた。

○シュウ酸標準溶液 [N/80]：市販のシュウ酸標準溶液（和光純薬 N/10）を希釈して用いた。

○過マンガン酸カリウム標準溶液 [N/40]：市販の標準溶液（和光純薬 N/10）を希釈して用いた。

○モール塩溶液 [N/40]：モール塩 [0.984g] を硫酸 [0.1N 100ml] に溶解して用いた。

○チオシアン酸アンモニウム溶液 [5.0%]：チオシアン酸アンモニウム（和光純薬） [5.0g] を水 [100ml] に溶解して用いた。

《界面活性剤》

種類	名称	略称	構造式	
非イオン	合成	ポリオキシエチレン ^α リコール-p-イソオクチルフェニルエーテル	トリツX-100	$C_8H_{17}-C_6H_4-O-(CH_2CH_2O)_{\alpha-1}H$
	脂肪	ヘptaエチレン ^α リコール ^β デシルエーテル	7-OEDE	$C_{12}H_{25}-O-(CH_2CH_2O)_7H$
陽イオン	合成	テトラデシル ^α メチル ^β ソル ^γ ブチル ^δ アンモニウムクロリド [*]	Zeph	$[C_{14}H_{29}-N^+(CH_3)_3-C_6H_4]Cl^-$
	脂肪	セチルトリメチルアンモニウムブロミド [*]	CTAB	$C_{16}H_{33}-N^+(CH_3)_3Br^-$

2.3 標準操作法

河川の水質分析は、公定法に準じて行った（一部改良）。

また、生分解の確認法としては溶媒抽出-吸光光度法およびBOD法を用いた。

BOD法：水中の有機物を微生物や細菌が栄養源として摂取・消費するときの酸素消費量 (ppm)

(1) 試料の前処理

河川水は、採水後ろ過（2号ろ紙）して実験に用い、BODの測定にはそのまま使用した。

(2) 定量法

《BOD法（生物化学的酸素要求量）》

フラン瓶（100ml）に植種水（試料溶液）の適量 [10~20ml] を入れ、希釈水を瓶が一杯になるまで加える。栓をしっかりして恒温槽（20℃）で一定期間放置した後、フラン瓶中の溶存酸素濃度をDOメーターで測定し、初日からの酸素消費量を算出する。

《TTCA法（テトラチオシアナトコバルト（II）酸アンモニウム）》

共栓付き試験管（10ml）に試料溶液 [3.0ml]、TTCA液 [2.0ml] とNaCl [1.8g] を加える。これにベンゼン [3.0ml] を加えて10分間振り混ぜる。両相を分離後、得られた有機相の吸光度を測定する（波長320nm 対照：ベンゼン）。また、河川水中の非イオン界面活性剤の濃度測定の場合は、前処理（ベンゼンへの分離濃縮）として分液ロート（100ml）に試料溶液（河川水） [50ml]、NaCl [0.5g] とベンゼン [10ml] を加え、5分間振り混ぜた後静置し、得られたベンゼン相を試料溶液として使用する。

《TBPE法》

共栓付試験管（10ml）に試料溶液 [1.0ml]、緩衝溶液 [1.0ml] を加え、水で全量を3.0mlにする。これにTBPE・H-DCE液 [3.0ml] を加えて10分間振り混ぜ、両相を分離後、得られた有機相の吸光度を測定する（波長630nm 対照：DCE）。

《メチレンブルー（MB）法》

共栓付試験管 (10ml) に試料溶液 [1.0ml], 緩衝溶液 [1.0ml] と MB 溶液 [5.0×10^{-4} M 1.0ml] を加え, 水で全量を 4.0ml にする. これにクロロホルム [4.0ml] を加え, 10 分間振り混ぜた後, 両相を分離し, 得られた有機相の吸光度を測定する (波長 650nm 対照: クロロホルム). 《COD 法 (化学的酸素要求量)》

共栓付試験管 (10ml) に試料 [5.0ml], 硫酸 [12N 0.5ml] と過マンガン酸カリウム溶液 [N/40 0.5ml] を加えて, 加熱 (60°C 30 分) する. 放冷後, モール塩溶液 [N/40 1.0ml] とチオシアン酸溶液 [5% 0.5ml] を加え, 水で全量を 10ml にし, 得られた水溶液の吸光度を測定する (波長 457nm 対照: 水). なお, シュウ酸標準溶液 [N/40 0.2ml (4.0ppm に対応)] の添加により得られた回収率から, 実試料中の COD 値を算出する.

3. 結果及び考察

3.1 界面活性剤による河川の汚染状況

洗剤の主成分である界面活性剤による河川の汚染の現状を把握するために, 熊本市を流れる河川 (6ヶ所) において毎月定点観測を行った. その結果, 表 1 に示すように住宅地を流れる藻器堀川と健軍川で多くの界面活性剤 (特に陰イオン性) が検出されてきた. これは他の河川と比べ水量が少ないにもかかわらず多量の生活雑排水が流れ込んでいるためと思われる. また, 河川水中の BOD に関してはどの河川においても夏場が高く, 冬場に低い傾向を示した. 微生物の活動に起因 (低温では活動が鈍る) しているためと考え, 藻器堀川と健軍川で見られた活性剤濃度の季節的変動 (冬場に高く, 夏場にやや低い) を説明することができる (河川水中の有機物量は四季を通じてあまり変わらないと思うので). 夏場の 6 月に得られた低い値は, 降水による河川水の希釈 (微生物濃度の減少) が原因と思われる. また, 上流から下流にかけても水質分析を行って見たところ, 坪井川と井芹川では, 採水場所による活性剤濃度の違いはあまり認められなかった (1ppm 以内) が, 藻器堀川と健軍川では, 場所による違いが大きく (1~4ppm) 認められ, 特に住宅密集地域では高い数値が得られた. このような傾向は, BOD に関しても認められ, 坪井川, 井芹川では数値の大きな変動は見られなかったが (2~4ppm), 藻器堀川と健軍川での採水場所による違いは顕著であった (1~19ppm). 前者は上流域で, 後者は中流域で高い BOD 値が, 反対に江津湖に近い地点では両河川とも低い値が得られてきた.

表 1 陰イオン性界面活性剤濃度と BOD [定点観測]

1995 (月)	〈白川〉		〈藻器堀川〉		〈健軍川〉		〈江津湖〉		〈坪井川〉		〈井芹川〉	
	陰イオン	BOD	陰イオン	BOD	陰イオン	BOD	陰イオン	BOD	陰イオン	BOD	陰イオン	BOD
2	-	-	2.12	3.26	2.26	3.41	0.42	0.26	0.43	3.24	0.80	4.24
4	0.41	1.96	1.30	3.21	2.21	4.76	0.46	2.86	0.50	5.16	0.54	3.26
6	0.21	0.71	0.60	3.41	1.40	5.66	0.41	1.36	0.41	2.21	0.75	5.06
8	0.11	3.87	0.32	4.12	0.84	5.02	0.28	1.17	0.24	4.22	0.65	5.72
10	0.09	3.81	0.64	3.21	1.53	5.64	0.36	3.91	0.03	3.71	0.47	4.31
12	0.02	1.45	0.37	2.00	1.01	2.90	-	1.45	0.51	1.40	2.39	2.45

単位: ppm

3.2 河川の浄化能

我々は日々の生活によって多量の洗剤を消費し、河川等に流している。そこで、これに対する自然の防御策—浄化能—を明確にする目的で、河川・海水・土（汚泥など）の働きについて詳しく調べることにした。

《河川水の働き—生分解—》

河川水中の微生物による洗剤の分解について、抽出—比色法（活性剤濃度）および BOD（酸素消費量）の二つの側面から検討してみた（操作 1 参照）。

〈操作 1〉 各種界面活性剤溶液 [10⁻² M 5ml] に河川水 [495ml] を加えて一定時間放置した後、適宜活性剤濃度を測定する。一方、フラン瓶に上記の要領で調製した試料溶液と希釈水（人工河川水）を加えて栓をし、恒温槽（20℃）で培養しながら随時フラン瓶中の溶存酸素量を測定する。

その結果、陰イオン性界面活性剤の中でも、LAS（合成—ベンゼン環あり）ではあまり濃度の減少が認められなかったが、AS（合成—ベンゼン環なし）と脂肪酸系（直鎖の長さが異なる）とではすべてほぼ 1 日で 90% 程度まで減少（分解）していた。ところが、BOD の経時変化は、界面活性剤の種類によってかなり異なった挙動を示した。これは、界面活性剤が微生物によって小さく（細かく）分解されると、有機溶媒に抽出されにくくなるため（大きな構造の方が抽出されやすい）と思われる。LAS で活性剤濃度の減少が観察されなかったのは、「ベンゼン環は生分解されにくい」ことを示唆しているものと思われる。非イオン系では 7-OEDE の方がトリトン（ベンゼン環あり）よりも、また陽イオン系では CTAB の方がゼフィラミン（ベンゼン環あり）よりも分解されやすかった（図 1~4 参照）。一方、吸光度差（界面活性剤の有無の指標）が得られないにもかかわらず BOD 値が増加しているのは、生分解によって生じた分解生成物がさらに細かく生分解されていくことを示している。

今回、実験で用いた界面活性剤の生分解の速さは、概ね陰イオン系 > 非イオン系 > 陽イオン系の順となり、各界面活性剤の構造 {ベンゼン環の有無・直鎖の長さ・親水基の種類（電荷等）} が生分解速度にかなり影響を与えているように思われる。

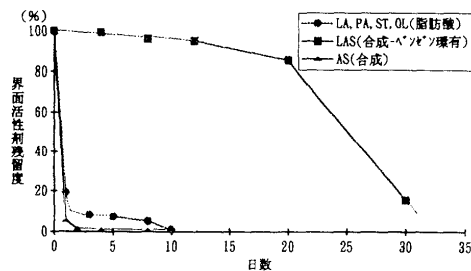


図 1 陰イオン性界面活性剤の生分解—比色—
界面活性剤溶液 [10⁻²M 5ml] + 河川水 [495ml]

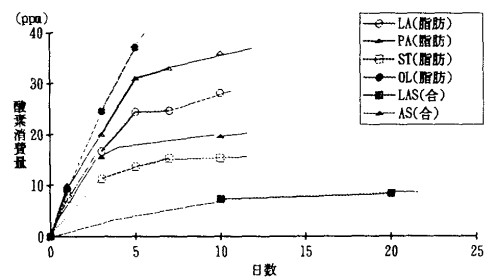


図 2 陰イオン性界面活性剤の生分解—BOD—
界面活性剤溶液 [10⁻²M 5ml] + 河川水 [495ml]

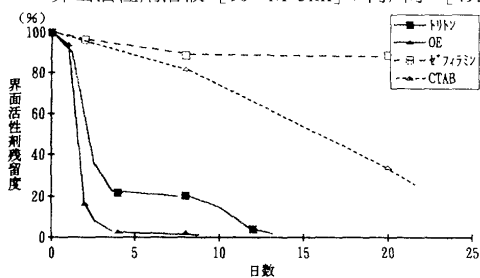


図 3 界面活性剤（非，陽イオン）の生分解—比色—

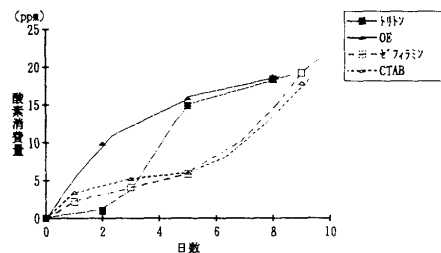


図 4 界面活性剤（非，陽イオン）の生分解—BOD—

《海水の働き—生分解—》

海水も河川水と同様な浄化能（生分解）を有しているかどうかをAS（陰イオン系合成）と7-OEDE（非イオン系）の2種類の界面活性剤を用いて調べてみた（操作2参照）。

その結果、AS濃度が $[10^{-4} M]$ 程度では海水（熊本港で採水）と河川水（白川・藻器堀川から採水）の違いは認められなかった。しかし、濃度を高く $[10^{-3} M]$ すると、河川水では4日目ではほとんど生分解されてしまうが、海水では1/4程度しか分解されなかった。一方、7-OEDE（非イオン性）では $[10^{-4} M]$ でも海水と河川水では明らかに分解能の差が認められた（表2参照）。

〈操作2〉AS, 7-OEDE 試料溶液 [それぞれ 10^{-2} , $10^{-3} M$ 50ml] に河川水及び海水 [450ml] を加え、一定期間室温（20°C）放置した後、活性剤濃度を測定する。

表2 海水・河川水の生分解

放置 (日)	AS($10^{-4} M$)			AS($10^{-3} M$)			7-OEDE($10^{-4} M$)			7-OEDE($10^{-3} M$)		
	海水	白川	藻器堀	海水	白川	藻器堀	海水	白川	藻器堀	海水	白川	藻器堀
0	2.072	2.297	2.310	2.221	2.284	2.306	0.437	0.469	0.457	0.471	0.478	0.491
2	0.859	0.892	0.408	2.015	1.684	1.928	0.293	0.334	0.314	0.463	0.472	0.476
4	0.098	0.090	0.039	1.717	0.153	0.054	0.191	0.123	0.012	0.434	0.399	0.392
9	0.035	0.021	0.032	1.710	0.024	0.044	0.107	0.002	0.000	0.449	0.420	0.410

数値：吸光度差

《汚泥や川砂の働き—生分解—》

川底に沈降している汚泥や川砂の働きを明確にする目的で(1)汚泥や川砂は、河川水と同じように界面活性剤を生分解させる働きがあるのか、また(2)活性炭や木炭と同じように界面活性剤

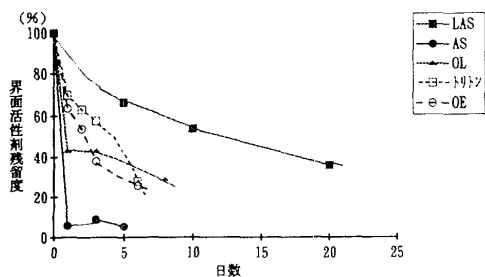


図5 汚泥による生分解—陰、非イオン—
汚泥（白川）[10g]+界面活性剤 [$10^{-3} M$ 5ml]

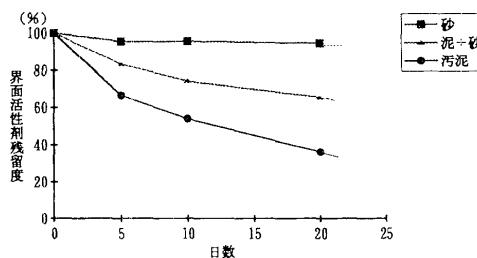


図6 泥・砂による生分解—LAS—
泥・泥+砂, 汚泥は白川流域から採取

を吸着することができるのだろうか、調べてみることにした（操作3参照）。

〈操作3〉共栓付三角フラスコに汚泥・砂 [10g]と界面活性剤溶液 [$10^{-3} M$ 5ml] を加え、恒温槽（20°C）で一定期間放置後、随時界面活性剤濃度を測定する。なお、測定の際は汚泥や川砂への吸着が認められたので、メタノール溶出してから測定することにした。

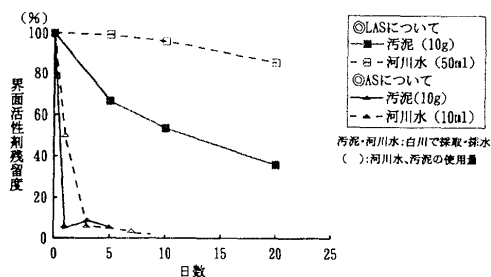


図7 汚泥と河川水による生分解—LAS, AS—

その結果、図5~7に示すように、汚泥や川砂を共存させると活性剤濃度の減少が認められたことより、汚泥や川砂の中にも界面活性剤を生分解する微生物が生息していることがわかった。また、生分解されやすさは、陰イオン性：AS>OL>LAS，非イオン性：7-OEDE>トリトンであり、この順序は河川水の場合と同じであった。さらに、生分解のされやすさは、土壌の種類（汚泥・泥・川砂など）や採取場所によってもかなり影響を受けることもわかった。（水無川の同域で採取した汚泥でも、上部層（表面から3cmまで）の汚泥では顕著な生分解が観察されたが、下部層（3cm以下）では分解速度は非常に遅かった。）また、汚泥は河川水よりも効率よく界面活性剤を生分解することがわかり、河川水では分解されにくかったLAS（陰一合成）でもかなり生分解できることがわかった。

《汚泥や川砂の働きー吸着ー》

吸着能に関しては、表3に示すように汚泥や川砂は界面活性剤をよく吸着させることがわかった。しかし、その吸着のされやすさは土壌や界面活性剤の種類によって異なっており、汚泥では、陽イオン（ゼフィラミン）が最もよく吸着され、以下非イオン（7-OEDE，トリトン）>陰イオン（LAS，AS）の順序であった。なお、これは河川や海水中での生分解されやすさの順とは全く逆の結果であった。一方、砂の場合は、陽イオン性は汚泥と変わらないくらい吸着されるのに対し、陰イオン性ではあまり吸着されてこなかった。

表3 汚泥・川砂による界面活性剤の吸着率 (%)

添加濃度	〈陽イオン性〉			〈非イオン性〉				〈陰イオン性〉								
	ゼフィラミン			OE		トリトン		LAS		AS		OL		LA		
	汚泥1	泥+砂	川砂	汚泥1	泥+砂	川砂	汚泥2	汚泥1	泥+砂	川砂	汚泥2	汚泥1	汚泥2	汚泥1		
1.0	100	100	82	82	53	17	88	53	27	30	30	31	28	-	70	36
2.0	100	99	83	78	49	10	83	48	26	33	14	31	11	61	60	67
4.0	99	99	45	64	32	7	85	41	-	-	19	33	-	-	-	-

添加濃度：x10⁻⁴M 汚泥1：白川（黒髪） 泥+砂：白川（立野） 川砂：白川（大津） 汚泥2：水無川下流（八代）

このように、川底の汚泥や川砂は洗剤を吸着することがわかったので、特に吸着性の高かった陽イオン界面活性剤を使って同様な働きが土壌（陸地）や炭（活性炭・木炭）にもあるのかを調べてみることにした（操作4参照）。その結果、表4に示すように [10⁻²M] までであれば花壇土、黒ボク土、赤ボク土はほとんど100%、鹿沼土と火山灰では60%程度まで吸着することがわかった。ところが [10⁻¹M] まで濃度を高くすると、調べた土壌のすべてで吸着量=40%以下の結果となってしまった。なお、活性炭と木炭を使って比較実験を行ったところ、活性炭ではほぼ完全に [10⁻¹M] まで吸着されることがわかったが、木炭では10%程度しか吸着されなかった。

表4 陽イオン性界面活性剤の吸着率 (%)

添加濃度	白川汚泥	花壇土	黒ボク土	赤ボク土	鹿沼土	シラス	火山灰
0.1	99	99	100	100	72	92	99
1.0	57	97	99	97	53	49	54
5.0	17	22	64	40	23	24	26
10.0	10	29	38	36	19	-	-

界面活性剤：ゼフィラミン 添加濃度：x10⁻²M

〈操作4〉 汚泥・川砂 [10g] に濃度既知の界面活性剤 [100ml] を加えて攪拌（10分間）・静置（1時間）した後、上澄み液中の界面活性剤濃度を測定し、吸着除去率を算出する。

〈操作5〉 ポリ試験管に土（<メッシュ16） [1g] と陽イオン界面活性剤 [10⁻¹M 10ml] を加えて振り混ぜた（10分間）後、分離し得られた上澄み液の界面活性剤濃度を測定し、吸着

率を算出する。
《生分解に影響を与える因子》

前述したように、生分解能は汚泥や川砂の採取場所によってかなり異なった結果を与えることがわかった。そこで、河川の種類による生分解能の違いを調べてみたところ、表5に示すように同じ地域を流れる河川によっても、また同一河川の流域(中・下流)によってもかなり異なる生分解能が認められた。そこで、生分解(微生物の活動)に影響を与える要因-水温・液性・漂白剤濃度の影響については既報-について調べてみることにした(操作6, 7参照)。

〈操作6〉AS [10⁻² M 50ml] と河川水 [450ml] の混合試料溶液に①十分な酸素供給, ②既知濃度のEDTA溶液を添加した後, 室温で一定時間放置する。その後, 随時活性剤濃度を測定し, 活性剤の分解率を算出する。

〈操作7〉LAS, AS [10⁻³ M 10ml] に河川水 [80ml] とCa²⁺ [1.0M 10ml] 又はゼフィラミン [10⁻³ M 10ml] を加えた試料溶液を調製し, 室温で一定期間放置した後, 試料溶液のBOD値及び活性剤濃度を測定する。

その結果, 溶液中への酸素供給は生分解を加速させる働きがあること(表6参照), 洗剤中の添加物-錯化剤(EDTA)-はかなり顕著な負の影響を与えること(表7参照)がわかった。また, 陰イオン性界面活性剤は高濃度のCa²⁺, Mg²⁺や陽イオン性界面活性剤の共存により生分解されにくい白濁物(イオン対化合物)をつくること(表8, 9参照)がわかった。

4. 結 語

河川の水質汚染の主因である洗剤(界面活性剤)に着目し, 河川中での洗剤の残存量を追跡することにより「自然の素晴らしさ-河川の浄化能-」を明確にすることを主題として本研究を行った。

その結果, 界面活性剤は, 河川水中の微生物の働きによって比較的簡単に分解・除去されることがわかったが, その分解のされやすさは, 界面活性剤の種類(陰>非>陽)・構造(脂肪族>芳

表5 ASの生分解-河川の影響- 数値:吸光度

放置 (日)	熊本市			八代市	
	藤野川	健軍川	坪井川	水無川(中)	水無川(下)
0	2.357	2.357	2.357	2.294	2.316
4	0.086	0.916	0.689	1.546	1.938
18	0.033	0.135	0.013	0.647	1.785

表6 酸素の影響

放置 (日)	酸素供給	
	無	有
0	17.9	17.9
2	14.1	8.1
8	14.7	3.3

数値:COD値(ppm)

表7 EDTA濃度の影響

放置 (日)	[EDTA添加濃度](x10 ⁻² M)				
	0	0.5	1.0	2.0	4.0
0	2.462	2.286	2.435	2.361	2.351
4	0.173	1.674	2.314	2.405	2.372
8	0.163	0.384	2.019	2.141	2.253
残量(EDTA)	0	0	20	120	300
残量(Ca+Mg)	84	30	0	0	0

試料溶液にEDTA[50ml]を添加し, pH調整後室温放置
pH調整:HCl[0.1M]でpH7.6~7.9に調整

表8 会合体の生分解

放置 (日)	<BOD>	
	-	+Ca ²⁺
0	0	0
5	6.78	1.98
15	8.46	5.46
25	13.30	8.30

LAS:1.0x10⁻⁶M

表9 イオン対生成物の生分解

放置 (日)	ゼフィラミン			
	ASのみ	添加	LASのみ	添加
2	36.2	11.5	-	-
5	18.9	-	2.9	-
11	20.0	7.2	2.6	-
21	28.6	8.3	6.2	-

数値:BOD(ppm)

4. 結 語

香族系)・活性剤濃度(低>高)によってかなり異なっていた。一方、土(汚泥・川砂)は界面活性剤を吸着させる力を持っており(河川水中から取り除かれる)、しかも吸着した界面活性剤は土壌中の微生物によって河川水の場合と同様に分解・除去されることが分かった(吸着のされやすさ順は河川の生分解の場合とまったく逆で陰<非<陽)。

このように自然は、自らが作り出した素晴らしい浄化能を駆使して自然(自ら)を保護しているが、この自然の治癒力は絶対ではなく必ずどこかに限界があることも自明の理である。したがって、環境教育では児童生徒とともに体験的な学習を通じて、自然の素晴らしさや自然の弱さ(はかなさ)を学び・理解することで、自然と共存していくためには我々一人ひとりが如何にしていけばよいかを話し合い、実践していくことが大切ではないだろうか。

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(No. 06858027)によって実施したものです。

参考文献

- 1) 文部省；平成元年度学習指導要領・指導要録
- 2) 文部省；環境教育指導資料(中・高校編)(1991)
- 3) 河村龍式；実践で生きる環境教育，大日本図書(1994)
- 4) 佐藤成哉・青井弘毅・井上二夫；熊本大学教育学部紀要，自然科学，42，13-18(1993)
- 5) 佐藤成哉・青井弘毅・中川正義；熊本大学教育学部紀要，自然科学，43，7-14(1994)
- 6) 佐藤成哉・古閑美保子・中川正義；熊本大学教育学部紀要，自然科学，44，33-40(1995)