

児島湖および流入河川水中の陰イオン 界面活性剤濃度

村 本 茂 樹 ・ 青 山 勲

コンプレキサン的一種である界面活性剤は汎用性に富むことから、洗浄剤（家庭用、金属工業用）をはじめ、湿潤剤（薬品工業用、繊維工業用）、分散剤（製紙工業用）、乳化剤（農薬用）など多くの産業に使用が拡大されている。消費量も年々増加し、それに伴う自然界への放出により、水質、農作物、魚介類などへの影響も看過できない事態を生じつつある。自然界への混入の主なものには洗浄剤であり、ことに排水処理施設を持たない家庭排水からの流入が大半を占める。したがって、市街地、団地密集地を貫流する河川では、排水の影響が直接的に反映しやすい。また生活系排水と農業用水の用排水分離が不完全で廃水処理の不十分な現状では、農作物や魚介類の被害も発生しやすい条件下にある。

アルキルベンゼンスルホン酸塩（ABS）についてみると、作物発根阻害作用、土壌アンモニア態窒素の遊離に伴う窒素肥料の流亡、これらが相まって惹起される生育減退、秋落現象などの被害¹³⁾が認められている。

また ABS は環境中で質的变化をして魚介類に対しても多様な作用を及ぼすことが知られている^{8,7,11,16)}。本報で対象とした陰イオン界面活性剤のラウリル硫酸ナトリウムは低濃度においても魚の臭覚低下の作用や忌避行動¹⁵⁾などを起こすといわれ、その毒性は水中の溶存酸素や温度などに左右される。ことに硬度の上昇と共に魚への吸収が促進され毒性が著しく増大¹⁷⁾し魚の生存時間が短縮される¹⁸⁾ことが報告されている。

一方、水質汚濁に関しては、洗剤による泡沫汚濁⁹⁾の他に、富栄養化の一因となることが指摘^{14,19,20)}されている。例えば、合成洗剤の場合 1,000 ppm 溶液で BOD 値の平均は 57 ppm, BOD/TOD は平均 5.9%といわれ、生物化学的には分解が容易でないとする報告⁶⁾がある。これらの洗剤には、18~33%（平均 28%）の界面活性剤が配合¹⁴⁾されており、自然界における水、生物への影響は大きいと考えられる。

児島湖流域について、界面活性剤に係わるデータ¹⁾はほとんど見当たらない。湖水の富栄養化への影響、水生生物および農作物への影響などを知るためにも、その分布、挙動に関する知見が要求される。そこで、本報では、陰イオン界面活性剤について以下の調査を行い、児島湖およびその流域における陰イオン界面活性剤の濃度分布と樋門開門操作に伴う湖水中の挙動を知ろうとした。すなわち、(1)湖内水中濃度分布の季節による変化、(2)樋門開門に伴う湖水中の濃度変化、(3)流入河川水中における濃度の 24 時間変化である。

材料および方法

1. 調査方法

児島湖については、12定点を設け、季節毎に表層水、底層水を採水し、流入河川については、主要河川の笹ヶ瀬川とその支流の足守川および倉敷川とその支流の妹尾川を対象に、合計14地点で表層水を採水し、分析に供した。個々の詳細な方法は各調査結果の項で述べる。

2. 分析方法

洗剤の定量はほとんどがメチレンブルー活性物質 (MBAS) 量の変化で示されるが、アルキル鎖が酸化されて短鎖化されるか、あるいは SO_3 基が離脱すれば、メチレン活性を失い検出されない場合がある。またここで対象とする陰イオン界面活性剤の場合、比較的高濃度の試水に対しては、アンバーライト XAD-2 を用いて前処理した後にメチレンブルーで分析する方法⁹⁾ が用いられるが、微量分析には感度に難点がある。その他に最近では LAS の分析にはガスクロマトグラフィー、液体クロマトグラフィー²⁾ による方法、陰イオン界面活性剤の組成分析も報告¹⁶⁾ されはじめているが、本報では、迅速で感度の高い、原子吸光法⁹⁾ によった。

試水約 100 ml を 0.45 μl のミリポッフィルターでろ過後、50 ml を分液ロートに分取し、pH 6~9 に調整した。エチレンジアミン銅 (II) 試薬 2.5 ml およびクロロホルム 2.5 ml を加え (試水 : 試薬 : クロロホルム = 20:1:1)、5 分間振盪後、クロロホルム層 (2.5 ml) をフレームレス原子吸光用マイクロビーカーに取り、上層を約 3 mm の水層で覆い蒸発を防ぐ。そのうちのクロロホルム 10 μl をオートサンプラーで、Graphite furnace 中に注入し、以下の条件で、原子吸光装置により Cu を測定した。別に SLS 標準液について同一操作を行い検量線から陰イオン界面活性剤の濃度を求めた。

測定条件は波長 3247 Å ; ランプ電流 8 mA ; アトマイザー Dry 20 A, 30 秒, Ash 40 A, 15 秒 ; Atomize 230 A, 7.5 秒 ; Ar 流量 2 l/秒であった。

3. 試薬および装置

試薬はいずれも特級試薬を用い、以下のように調製した。1) エチレンジアミン銅 (II) : $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 62.3 g, $(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{SO}_4$ 49.6 g, 1-2-diaminoethane (ethylenediamine) 50 ml を 1 l の水に溶解した。2) SLS 標準液 : Sodium Laurylsulfate ($\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{OSO}_3\text{Na}$) を用い、20 mg/l を分析時に調製し、Antifoam-AF-Emulsion を微量添加し泡沫をおさえた。原子吸光装置は Nippon Jarrell-Ash AA-8200 Atomic Absorption Flameless Atomize Spectrophotometer を使用した。

結果および考察

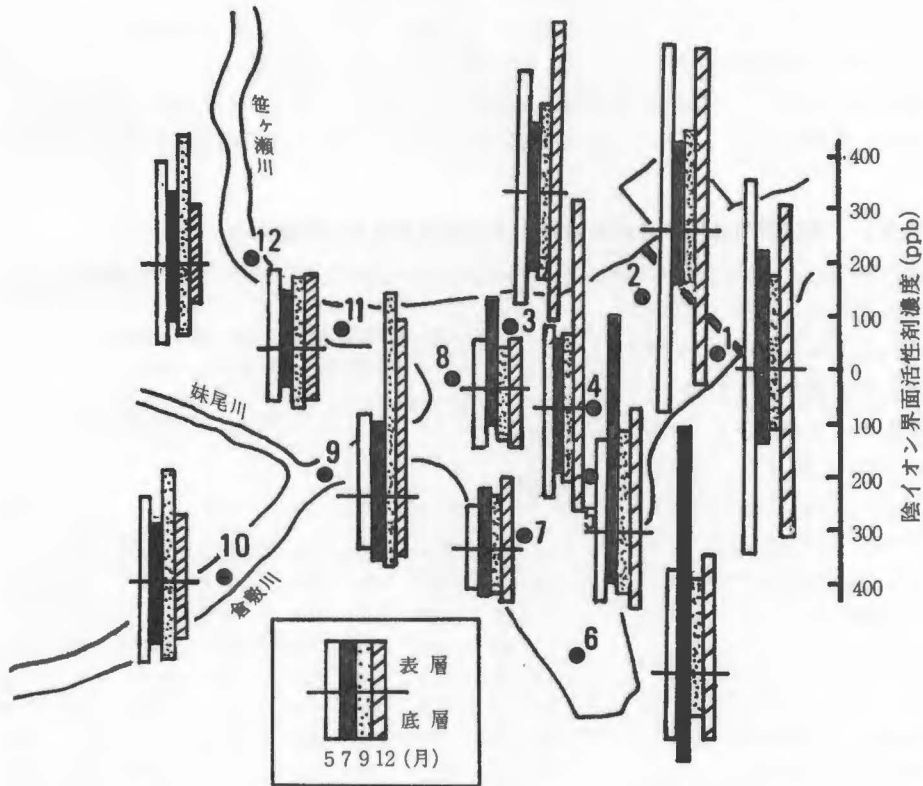
調査1 湖内の表層および底層水中の陰イオン界面活性剤濃度分布の季節変化

河川流入部を含む、児島湖内 12 定点で、年間 4 回 (5 月, 7 月, 9 月, 12 月) にわたり、表層および底層別に採水された。採水地点および分析結果を第 1 表 および 第 1 図に示す。

湖内部における陰イオン界面活性剤の濃度範囲は 5 月が 74-355 ppb, 平均 180 ppb, 7 月

第1表 1980年における児島湖内水中の陰イオン界面活性剤の濃度 (ppb)

地点 No.	層別	採水月				地点 No.	層別	採水月			
		5月	7月	9月	12月			5月	7月	9月	12月
1	表層	355	218	172	304	7	表層	83	114	101	136
	底層	350	136	143	318		底層	74	87	83	101
2	表層	345	166	178	341	8	表層	91	170	79	93
	底層	345	103	96	290		底層	111	70	99	113
3	表層	229	129	164	317	9	表層	156	139	383	332
	底層	213	171	160	241		底層	96	121	136	116
4	表層	157	129	141	394	10	表層	160	110	213	127
	底層	169	121	139	198		底層	154	116	150	106
5	表層	179	407	193	233	11	表層	171	110	136	140
	底層	129	100	114	143		底層	93	57	114	93
6	表層	196	472	179	226	12	表層	193	135	246	113
	底層	129	173	83	129		底層	150	106	136	71



第1図 児島湖内水中の陰イオン界面活性剤濃度の季節変化と分布

が 57-472 ppb, 平均 153 ppb, 9 月が 79-383 ppb, 平均 152 ppb, 12 月が 71-394 ppb, 平均 195 ppb, であり, 季節的には冬期 (12 月) > 春期 (5 月) > 夏期 (7 月) ≥ 秋期 (9 月) の順序で濃度が低下した。これは水温の影響によるものと推察された。すなわち, 平均水温が 12 月は表層 8.5°C, 底層 9.0°C, 5 月は表層 20.6°C, 底層 18.9°C であったのに対し, 7 月には表層 27.5°C, 底層 25.7°C, 9 月も表層 23.7°C, 底層 23.5°C とかなり高温であったために, 夏・秋期には微生物分解が促進され, 陰イオン界面活性剤の濃度減少がみられたものと推測される。また概して, 濃度の垂直分布は表層 > 底層の関係にあったが, 地点 1, 2 では, その差が少ない。これは陰イオン界面活性剤が浮遊物に吸着され, 底層への移動が生じるために, 表層と底層間差が少なくなるとも考えられるが, 原因は不明である。次に各地点における濃度分布についてみると, 樋門付近 (No. 1 地点), 湖心部 (No. 4), 水の停滞部 (No. 2 地点), 河口部 (No. 9 地点) およびその中間に位置する No. 3 地点において 250 ppb 以上の濃度を示した。冬期 (12 月), 春期 (5 月) にその傾向が顕著であり, いずれも表層にやや高く, 表層 > 底層の傾向にあった。これは陰イオン界面活性剤が水表面で拡散が大きい性状のあることと, 本湖の深層部は海水層であり, 安定な二重層を形成¹⁰⁾ していることによるとも考えられる。これに反し, 夏期 (7 月) には湖東部の水の停滞域と考えられる貯木場に接した場所, No. 5, 6 地点の表層水において高濃度を示した。これは貯木場付近の団地からの一時的な流入が予想される。

一方, 河口部 (倉敷川 No. 9, 10 地点; 笹ヶ瀬川 No. 11, 12 地点) においては, 9 月, 12 月に表層水で高濃度を示した他は, 湖内部に比しむしろ低濃度であった。このことは河川部からの陰イオン界面活性剤の流入が断続的であるか, あるいは時間的な濃度変動があるものと推察される。これについては流入河川水中における 24 時間濃度変動の項で後述する。

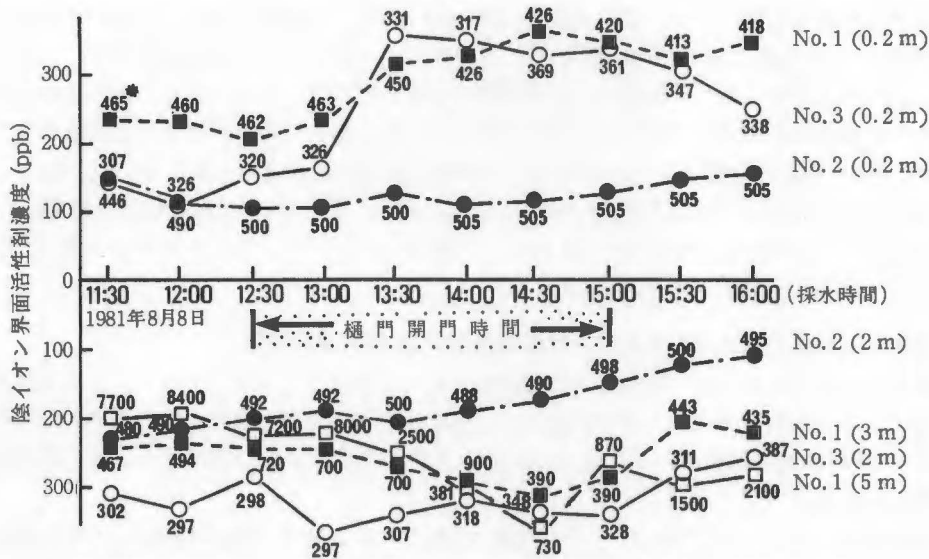
調査 2 樋門開門に伴う湖内水の陰イオン界面活性剤の濃度変化

樋門開門による湖内水中の陰イオン界面活性剤の濃度変化を知るために, 樋門に最も近い No. 1 地点, 水の停滞が考えられる No. 2 地点および河口部と停滞部のほぼ中間に位置する No. 3 地点の上, 下層水について調べた。採水は 30 分毎に No. 1 地点は上層 (0.2 m), 中層 (3 m), 下層 (5 m), No. 2 地点は上層 (0.2 m), 中層 (2 m), No. 3 地点は上層 (0.2 m), 下層 (3 m) において行った。分析結果を第 2 表および第 2 図に示す。

調査日 (1980 年 8 月 7 日)
の樋門開門操作は 12 時 30 分
~ 15 時 00 分 (以下 12:30 の

第 2 表 樋門開門に伴う湖内水中の陰イオン界面活性剤の濃度変化 (ppb)

採水時間 (8月7日)	採水地点および水深						
	No. 1			No. 2		No. 3	
	0.2m	3 m	5 m	0.2m	2 m	0.2m	2 m
11:30	224	195	233	146	225	144	205
12:00	225	190	227	113	206	119	190
12:30	200	218	234	105	191	145	163
13:00	226	215	240	103	184	158	355
13:30	308	260	247	125	198	341	330
14:00	317	281	316	108	186	338	308
14:30	337	303	358	113	170	315	325
15:00	323	278	265	123	145	325	335
15:30	312	200	289	155	118	309	275
16:00	302	215	275	153	102	241	252



第2図 樋門開門による湖内水の陰イオン界面活性剤濃度および電気伝導度の変化
* 数値は電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) を示す。

ように時刻を略記する)の間に行われた。まず No.1 地点における濃度変化をみると、上層 (0.2 m)、中層 (3 m)、下層 (5 m) とともに開門前 (11:30) の濃度はほぼ同値であった。しかし開門直後 (13:00) から上層 (0.2 m) は徐々に濃度が上昇しはじめ2時間後 (14:30) には初期濃度の約 1.5 倍に達し、ついで 15:00 以後は減少傾向を示した。一方、導電率 (図中に数値で示す) の変動をみると、初期 (11:30) に $465\mu\text{S}/\text{cm}$ であったが、14:00~16:00 の間は $426\sim 413\mu\text{S}/\text{cm}$ と低下し、淡水の移動が推察される。すなわち、樋門開門に伴って表層水の動きがより大となり、陰イオン界面活性剤濃度の高い表層水の影響を受け濃度が上昇したとも考えられる。同様に中層 (3 m) においては、導電率は 11:30~13:30 の間は $467\sim 720\mu\text{S}/\text{cm}$ であったが、14:00~16:00 の間には $385\sim 443\mu\text{S}/\text{cm}$ と低下し、樋門開門による上層水のすべり出し現象^{4,10)} がみられた。陰イオン界面活性剤濃度もこの動きに呼応して、14:00~15:00 の間には初期の約 1.5 倍の濃度上昇がみられた。また下層 (5 m) では初期に導電率が $7700\mu\text{S}/\text{cm}$ であったが、樋門開門後 13:30 には $2500\mu\text{S}/\text{cm}$ と低下し、14:00~16:00 の間は $900\sim 2100\mu\text{S}/\text{cm}$ となり、淡水の混入がみられる。陰イオン界面活性剤の濃度も初期には 233ppb であり上層とほぼ同値であったが、14:00 には 316ppb に達し、その後徐々に減少する傾向を示した。

次に No.3 地点についてみると、上層 (0.2 m) は 13:30 に初期の約 2.4 倍の値を示し、16:00 においても約 1.7 倍と高濃度を示した。下層 (2 m) では 13:00~15:30 の間には初期濃度の約 1.6 倍に上昇した。導電率も 12:30~14:00 の間にやや低下を示すが、 $300\mu\text{S}/\text{cm}$ 前後の値で、淡水の影響が大きく、その差は顕著には示されなかった。また No.2 地点についてみると、水の動きの最も少ない地点と考えられ、導電率の変動は少なく、全観測時間 (11:30~16:00) を通じて、上層 (0.2 m) は $446\sim 505\mu\text{S}/\text{cm}$ 、下層 (2m) は $480\sim 500\mu\text{S}/\text{cm}$ で上下層の差も少なかった。樋門開門に伴う陰イオン界面活性

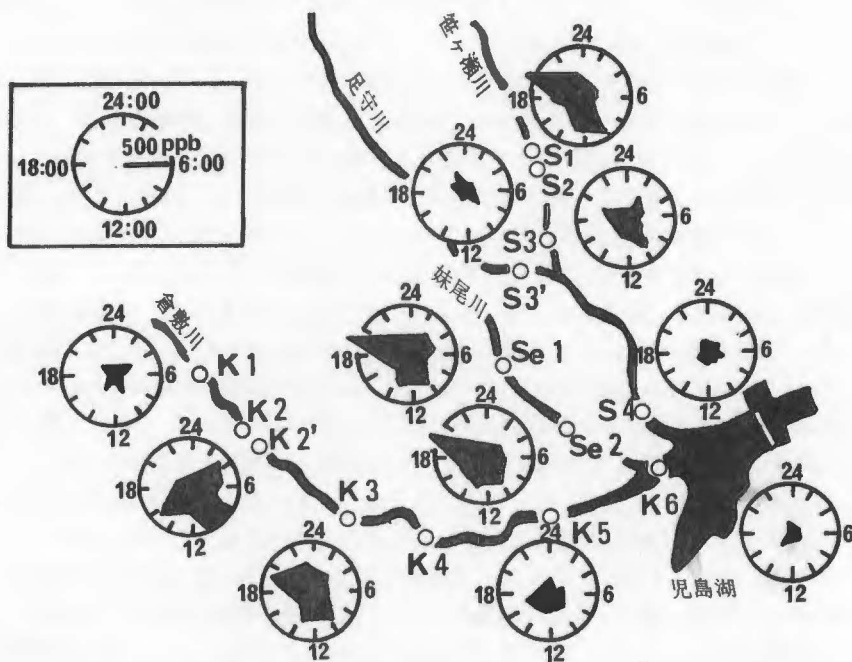
剤の濃度変動も顕著ではないが、初期の 146 ppb に対し、樋門開門の 12:30~15:00 の間は 103~125 ppb と減少傾向にあった。下層においても、初期の 225 ppb に対し、12:30~15:00 の間は 145~206 ppb と上層同様にやや濃度の低下がみられた。湖内水中の陰イオン界面活性剤濃度は導電率との関係が認められ水の動きに影響されることが推察されたが、他の $\text{NO}_3\text{-N}$ $\text{NO}_2\text{-N}$ $\text{PO}_4\text{-P}$ などの栄養塩との相関性は認められなかった。なおこの調査時の水温は、No. 1 地点の上層 26.6~27.5°C、中層 25.5~26.8°C、下層 25.2~26.0°C、No. 2 地点の上層 26.6~28.2°C、下層 26.2~27.0°C、No. 3 地点の上層 26.6~27.8°C、下層 26.2~27.6°C であった。

調査3 流入河川水中の陰イオン界面活性剤の24時間濃度変化

水温による微生物分解の影響および農業用水による影響などが最も少なく、生活系排水が陰イオン界面剤の河川水中濃度に直接的に反映しやすい冬期を選び、児島湖流入河川において24時間採水調査を行った。採水地点および分析結果を第3図に示し、分析値を第3表に示した。

採水地点は倉敷川(7地点)とその支流(2地点)および笹ヶ瀬(4地点)とその支流(1地点)を選んだ。採水は12月29日~12月30日の間に行い、全地点の1巡は車で約1.5時間を要した。厳寒時で、市街地を除いて水温1.0~3.5°Cで河岸は凍結していたが、各定点とも、橋の中央部から採水は可能であった。

まず笹ヶ瀬川についてみると、 S_1 の上流約500mに一の宮団地があり、人口密集地か



第3図 児島湖流入河川水中の陰イオン界面活性剤の24時間濃度変化 (1980年12月29~30日)

第3表 児島湖流入河川水中の陰イオン界面活性剤濃度の24時間変化 (ppb)

河川名	採水地点		湖から の距離 (km)	採 水 時 間								
	No.	地名		12月29日				12月30日				
				10:00	13:00	15:30	19:00	22:00	2:00	4:00	6:00	8:30
笹ヶ瀬川	S 1	一宮	12.0	485	332	220	580	250	82	78	69	124
	S 2	大安寺	11.0	378	235	150	287	210	161	137	108	253
	S 3	今保	9.0	362	173	118	232	170	190	114	70	170
	S 4	浦安	1.0	98	72	95	40	143	95	80	98	70
足守川	S 3'	引米橋	9.0	51	59	53	122	53	87	51	40	122
倉敷川	K 1	酒津	21.0	76	67	65	169	105	135	49	64	76
	K 2	船倉	18.0	488	270	395	208	161	317	214	152	381
	K 2'	新田	17.5	423	298	365	269	205	365	149	120	327
	K 3	天城	13.0	280	248	163	492	317	205	70	83	205
	K 4	灘崎	10.0	266	225	111	205	295	127	105	82	181
	K 5	倉敷橋	4.5	125	167	240	102	190	39	85	92	102
妹尾川	K 6	都六区	0.5	59	57	107	29	105	98	64	58	60
	Se 1	妹尾	7.0	332	250	200	680	220	245	243	145	225
	Se 2	藤田	3.0	291	305	253	605	183	199	315	160	205

らの影響が大であると考えられる。S₁地点から約3km下流で足守川が合流するがこの支流は農耕地帯で比較的生活系排水が少ないと考えられる。分析値を12月29日、10:00の例でみると、S₁(一宮)地点で485ppbと高濃度を示し、約3kmのS₃(今保)地点では362ppbに減少している。ここから約500m下流で流入する足守川のS₄(引米橋)地点では51ppbと低濃度でやはり生活系排水の影響が少ないことが示された。さらに、8km下流のS₄(浦安)地点では98ppbと減少し、調査最上流部のS₁地点に比し20%の濃度にまで低下していることがわかる。

また、時間帯による濃度変化をみてみると、地点S₁(一宮)においては、19:00、10:00、13:00の順に高濃度を示した。すなわち、採水時間の関係から時間的ずれは少々あるものの、陰イオン界面活性剤の濃度は人間の生活時間帯と呼応し、生活排水の影響が河川水質に直接的に反映していると考えられる。S₂(大安寺)地点では、S₁(一宮)地点すぐ横の一宮し尿処理場からの影響が予想されたが、特に濃度変動は認められず、処理場からの陰イオン界面活性剤の影響は今回の調査では無視できた。

次に倉敷川についてみると、K₁(酒津)地点は高梁川から分水後、約200mの下流の地点であり市街地より上流部にあたり生活系排水の影響は少ないと考えられ、19:00の169ppbを除いては低濃度であった。K₂(船倉)地点は倉敷市街地を貫流直後の地点にあたり、濃度範囲は161~488ppbと高濃度であった。K₂(新田)地点は倉敷市街地貫流直後にさらにし尿処理場排水が流入する地点であるが、濃度範囲は120~423ppbとK₂(船倉)地点とはほぼ同値を示し、笹ヶ瀬川の一宮処理場の場合と同様、本調査ではほとんど陰イオン界面活性剤の流入は認められなかった。流程による濃度変化は笹ヶ瀬川同様、流下に伴う濃度減少がみられた。例えば、10:00の例をみると、K₁(酒津)地点で76ppbである

が、市街地直下の K_2 (船倉) 地点では 488 ppb と急上昇し、ここから約 5 km 下流の K_3 (天城) 地点では 280 ppb、さらに 3 km 下流の K_4 (灘崎) 地点では 266 ppb、湖から 4.5 km 地点 No. 5 (倉敷橋) では 125 ppb と暫次減少し、 K_6 (都六区) 地点では 59 ppb となる。これは、濃度の最も高い、 K_2 (船倉) 地点に比し、12% の値であった。また、濃度の 24 時間経時変化を K_2 (船倉) 地点についてみると、10:00 > 15:30 > 2:00 > 13:00 > 19:00 の順に高濃度を示し、笹ヶ瀬川の場合と同様、人間生活パターンと呼応して、河川水への生活系排水の影響がみられた。2:00 に濃度上昇したのは、病院、豆腐製造業などの影響かとも考えられるが、何に起因するかは本調査の段階では不明である。また、この地点は市街地の温排水の影響からか他の採水地点の水温が昼夜を通じ 1.0~3.5°C であったのに対し、4.6~6.0°C であった。

一方、湖より約 3 km 上流地点で倉敷川に流入する妹尾川は妹尾市街地を貫流することと水量が少ないことから汚濁が進行しており、陰イオン界面活性剤の濃度も、本調査地点中の最高値 680 ppb が示され、全般的に高濃度を示した。 Se_1 (妹尾) 地点では、19:00 > 10:00 > 13:30 の順に高濃度を示し、その 4 km 下流の Se_2 (藤田) 地点では 19:00 > 4:00 > 13:00 > 10:00 の順であり、倉敷川合流直前でも 160~605 ppb の濃度範囲を示し、他の河川に比し高濃度であった。妹尾川は流量が少なく水量調整樋門により水管理が行われているために、倉敷川への影響は断続的に現われるものと考えられる。したがって、本調査からも、合流後の K_6 (都六区) 地点では 29~107 ppb の濃度範囲にあり、16:00、22:00 に 100 ppb 以上の濃度を示す他はいずれも低濃度で、先述の湖内濃度と同値かやや低い値を示したものと考えられる。

摘 要

1980年の児島湖内水中の陰イオン界面活性剤濃度の季節的变化および樋門開門に伴う湖内水中の濃度分布の変化を調査した。また、主要流入河川水については 24 時間の経時変化を、会社等が休業期間に入った 12 月 29~30 日に調査し、以下の結果を得た。

1) 湖内水の陰イオン界面活性剤の濃度範囲は 5 月が 74~355 ppb、7 月が 57~477 ppb、9 月が 79~383 ppb、12 月が 71~394 ppb であり、冬期において最も高い濃度を示した。また垂直分布は概して表層水濃度の方が底層水より高い関係にあった。

2) 樋門開門に伴って、表層水中の陰イオン界面活性剤の濃度は上昇し、逆に導電率は減少傾向を示し、表層水の移動が大になることが推察された。

3) 流入河川水中の陰イオン界面活性剤の冬期における 24 時間経時変化は、人間生活パターンと呼応し、河川水への生活系排水の影響が大きく反映した結果が示された。河川水中の最高濃度は 680 ppb、最低濃度は 29 ppb であった。また河川水の流下に伴う濃度変化をみると、市街地直下で最高を示し、湖に至る間、徐々に減少する傾向が示された。この減少は生分解によるものではなく、希釈によるものと推察される。一方、倉敷および一宮の両下水処理場の排出口直下でも濃度上昇はみられず、陰イオン界面活性剤の汚染源とはなっていないことが示された。

文 献

1. 土井 章, 圓堂 稔, 石井 猛, 加計 勉. 1976. 旭川における MBAS の分布. 水処理技術 18 : 937-941.
2. 橋本 茂, 桜井健二, 永井敏雄. 1976. 高速液体クロマトグラフィーによる河川水中の微量アルカリベンゼンスルホン酸ナトリウムの定量. 分析化学 25 : 639-643.
3. 飯森正秀, 滝田八広. 1979. 直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩の魚への影響に関する研究. 油化学 28 : 185-189.
4. 小林 純, 森井ふじ, 村本茂樹, 中島 進, 奥田節夫. 1971. 倉敷川, 笹ヶ瀬川による児島湖への栄養塩供給量. JIBP-PF 児島湖群集生産研究経過報告, 第4号 : 53-59.
5. 小島貞男. 1980. 合成洗剤と水道. 用水と廃水 22 : 413-420.
6. 楠本正康. 1980. 合成洗剤概論. 用水と廃水 22 : 389-397.
7. Lundahl, P. and Cabridenc, R. 1978. Molecular structure- biological properties relationships in anionic surface-active agents. Water Res. 12 : 25-30.
8. Michel J. Gagnon. 1978. Note on a rapid and sensitive method for the determination of anionic detergents in natural waters at the ppb level. Water Res. 13 : 53-56.
9. 小倉紀雄, 安部喜也, 小椋和子, 石渡良志, 水谷達夫, 佐藤泰哲, 松島 肇, 片瀬隆雄, 落合正宏, 田所孝生, 高田利彦, 松原慶一, 松本源喜, 中本信忠, 船越真樹, 半谷高久. 1975. 多摩川水中の有機化合物の化学組成. 陸水学雑誌 36 : 23-30.
10. 奥田節夫, 金城誠一. 1970. 強風時の児島湖内における塩分分布. JIBP-PF 児島湖群集生産研究経過報告, 第3号 : 62-67.
11. Patrick R. Dugan. 1967. Influence of chronic exposure to anionic detergents on toxicity of pesticides to goldfish. JOURNAL WPCF 39 : 63-71.
12. P. W. A. Tovell, Newsome, C. and Howes, D. 1974. Effect of water hardness on the toxicity of an anionic detergent to fish. Water Res. 8 : 291-296.
13. 坂井 弘. 1974. 洗剤汚濁による被害と対策. 農業公害ハンドブック. 81頁. 地人書館, 東京.
14. 須藤隆一. 1980. 合成洗剤と下水処理. 用水と廃水 22 : 413-420.
15. 立川 涼, 日高秀夫. 1978. 魚類による化学薬剤の忌避試験法—アユによる洗剤の忌避—. 農化誌 52 : 263-270.
16. 高野 敏, 八木典子, 国弘和雄. 1975. 水中の微量アルキルベンゼンスルホン酸塩の定量メチレンブルー比色法および高速液体クロマトグラフィーによる定量. 油化学 24 : 389-394.
17. Tovell, P. W. A., Newsome, C. and Howes, D. 1974. Effect of water hardness on the toxicity of an anionic detergent to fish. Water Res. 8 : 291-296.
18. 若林明子, 菊地幹夫, 中村多恵子, 井上 互, 高橋耿之介, 川名俊雄, 川原浩, 古井戸良雄. 1976. 洗剤に関する研究 II 陰イオン界面活性剤の水棲生物に対する急性毒性. 東京都公害研究所年報 7 : 122-124.
19. 矢木修身. 1980. 合成洗剤と水棲生物. 用水と廃水 22 : 429-437.
20. 山根敦子, 岡田光正, 須藤隆一. 1980. 水環境に及ぼす合成洗剤の影響. 用水と廃水 22 : 1417-1430.