

環境における富栄養化物質の制御

山口大学工学部 中 西 弘

浮 田 正 夫

1. ま え が き

湖沼やダムにおける水の華や臭い水、海域における赤潮の発生など富栄養化にともなう水質汚濁が大きな問題となっている。この富栄養化に関する原因物質や影響・被害、富栄養化物質の環境基準と環境容量、あるいは環境における富栄養化物質の流出入などを主として工学的立場から統括的にとらえ、その制御の方法を検討してみた。もっとも個々の課題について正確な情報を得るには、今後の詳細な研究の積み重ねが必要であるが、ここでは基本的な考え方と問題点および大筋としての把握を示した。

これらの考え方について種々の御意見を賜れば幸いである。なお制御の方法については資源の有効利用と経済性に重点をおいた。

2. 富栄養化物質の代表指標について

富栄養化現象は、植物プランクトンの増殖とそれにとまなう種々の障害としてとらえられているが、植物プランクトンを増殖させる原因物質としてはやはりプランクトンの構成組成を基盤におくのが正当であろう。植物プランクトンの構成成分としてアメリカ湖沼における15種の藻類の分析値としてつぎの数値があげられている。¹⁾ C (29.3~49.7%), N (1.77~9.43%), P (0.08~0.68%), K (0.42~6.08%), Na (0.02~1.43%), S (0.15~1.58%), Ca (0.05~8.03%), Mg (0.07~0.95%), 灰分 (4.12~27.8%), なお灰分中にはFe, Mn, Zn, Cu, Siなども含まれている。また Stumm は淡水植物プランクトンの一般組成を $C_{106} H_{263} O_{110} N_{16} P$ であらわしている。²⁾ 植物性プランクトンの構成成分のうち、生理分析の結果、一般の水域で制限要因となるのは窒素やリンであることが指摘されており、富栄養化物質として窒素とリンが取りあげられる。窒素についてはプランクトンの種類によって NH_4-N , NO_3-N あるいは有機態のNを要求するものもあり、指標としては全窒素で表示するのが妥当である。同様にリンについても無機態のリンも有機態のリンも利用されるので、全リンを指標とすることが必要である。ただし全リンを対象にすると、河川を通じて水域へ流入するリンのうち、当初から不溶性であり、底泥に蓄積されたままほとんど溶出しない不活性リンの評価を怠ってはならない。宇部市における小河川塩田川における1年間の実測結果では晴天時に流出するTPのうち9~39% (加重平均15.4%) は PO_4-P であった。また雨天時ではTPのうち4~31% (加重平均14.6%) が PO_4-P であった。一方、宇部海域および徳山湾の底泥24検体の溶出試験の結果から、溶出する窒素は大部分は NH_3-N であり、溶出率は底泥中のTNの1.3~19.3%, 平均12%, リンは大部分は PO_4-P であり溶出率は底泥中のTPの4.0~18.2% 平均9% であった。窒素とリン以外にプランクトンの増殖に係る種々の刺激物質の存在が指摘されている。鉄、マンガンのような金属塩や有機栄養物としてのビタミン類などであるが、これらを総称して1つの指標にまとめることが工学的に意義がある。既に報告されている藻類培養試験法 (Provisional Algal Assay Procedure, Algal Growth Potential)^{3) 4) 5)} などがその動きであるが、われわれもこれをN, Pのプランクトンへの変換率という形で評価している⁶⁾。もっとも変換率には光や塩分などの環境要因も含まれているので、この場合には環境要因が制限因子と

ならないように固定して、N、P以外の物質だけに関係する指標にすることが必要である。したがってTN、TPおよびその他を総括したAGP物質の3つが富栄養化物質の代表指標となろう。

3. 富栄養化の影響と環境基準、環境容量

富栄養化の影響として、淡水域では水道水や工業用水に対して過障害や臭気問題が発生している。またダムや湖沼の底層の無酸素状態による鉄、マンガンの溶出や硫化水素の発生、あるいは透明度の低下や水の華の形成による観光、レクリエーション価値の低下、有毒藻の発生など種々の被害が報告されている。一方、海域では赤潮の発生に代表されるように水産被害が大きな比重を占めている。ところでこうした富栄養化の影響についてもできるだけ定量化することが必要であり、2、3の事例を示す。

1) 水域におけるCOD内部生産量：水域におけるCOD濃度の季節変化は主としてプランクトンの増減によるという前提から、プランクトン生産量の最も低い冬場のCOD最小値を基準においてそれぞれの地点のCOD平均増加濃度 $\Delta COD (= COD \text{年平均値} - COD \text{最小値})$ と関係する水塊量とからCOD内部生産現存量を求める。一方COD内部生産量については、水域のTN、TPの平均濃度からこれらが全量プランクトンの生産に利用された場合の理論COD値を求め、 ΔCOD と理論CODとの比である変換率を求める。この変換率はNとPとで異なるが変換率の大きい方が制限因子である。N、Pの当該水域への流入負荷量の理論COD換算値に変換率を掛ければCOD内部生産量が求まる。

瀬戸内海を対象にした場合COD内部生産量は冬場からの平均増加量だけで1200t/日となり、これに冬場の内部生産量を加えると真の生産量はさらに大きな値となる。一方、遠藤らの求めた一次生産量1月0.257gc/m²・日、6月0.592gc、9月0.617gcおよび0.415gc⁷⁾から計算するとCOD内部生産量は1月5681t/日、1月、6月、9月平均で12000t/日となる。また西村のプランクトン生産量の試算⁸⁾よりCODに換算すれば冬期1211t/日、夏場1864t/日となる。これに対して陸地よりの流入負荷量は1700t/日(環境庁調査)であるから、CODの内部生産量が大きな比重を占めていることがわかる。

2) 富栄養化と漁獲高：図1は白旗の資料⁹⁾より湖面単位面積当りのN負荷量と漁獲量との関係をまとめたものである。この図で見るかぎりNの流入負荷量と漁獲量とは比例関係にあり、富栄養化の進んだ諏訪湖や霞ヶ浦においても漁獲量の減少傾向はみられない。一方、瀬戸内海の漁獲統計をみると表2

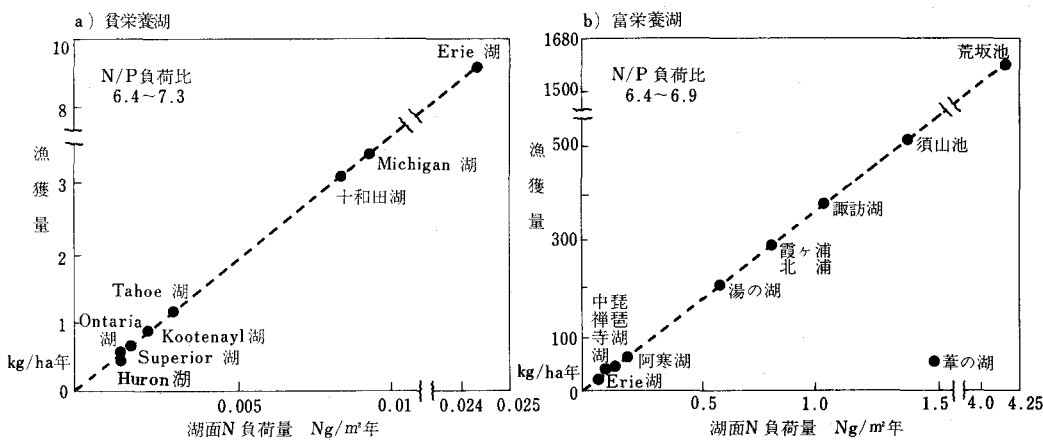


図1 湖面当りのN負荷量と漁獲量との関係(白旗の資料より整理)

のようであり、養殖業の伸びは著しいが、海面漁業においてもやや増加の傾向にある。表 2 は灘別の海面単位面積当りの漁獲量、漁獲高と汚濁物負荷量との関係であるが、漁獲量と N、P 負荷量との間にもほぼ正の相関が認められる。もっとも魚価からみればこの位置は逆転し、N、P 負荷量の低いところの魚価は高い傾向にあり、富栄養化の進行は高級魚の減少に関係がある。

表 1 瀬戸内海の漁獲量の変化（中国四国農政局）

年度 漁種	昭和 40 年		41 年	42 年	43 年	44 年	45 年	46 年	47 年	48 年	
	魚獲量 t/年	指数	指数	指数	指数	指数	指数	指数	指数	魚獲量 t/年	指数
海面漁業計	301,087	100	105	111	116	126	124	126	145	365,539	121
魚類計	185,783	100	106	112	124	126	130	130	136	222,551	120
貝類計	57,779	100	98	112	108	152	132	137	210	52,439	139
水産動物計	51,372	100	113	105	96	99	94	101	108	80,220	102
浅海養殖業計	167,731	100	115	130	146	142	120	140	164	319,282	190
総計	468,818	100	109	118	127	132	123	131	152	684,821	146

表 2 瀬戸内海灘別の海面単位面積当りの漁獲量、漁獲額と汚濁物負荷（昭和 45 年）

	魚獲量 t/km ² ・年	順位	魚獲額 万円/km ² ・年	順位	COD 負荷量 kg/km ² ・日	順位	N 負荷量 kg/km ² ・日	順位	P 負荷量 kg/km ² ・日	順位	魚価 万円/t	順位	平均水深 m
大阪湾	41.5	①	442 (267)	⑦	390	①	112	①	13.2	①	10.7	⑧	27
備讃瀬戸	26.3	②	677 (513)	①	91.1	④	43.7	②	35.8	②	25.7	④	14
紀伊水道	25.8	③	555 (415)	③	—	—	—	—	—	—	21.5	⑥	—
燧灘	25.3	④	623 (473)	②	160	③	20.8	③	1.67	④	24.6	⑤	21
播磨灘	23.1	⑤	445 (230)	⑥	51.8	⑤	13.9	⑥	1.25	⑥	19.3	⑦	26
周防灘	18.0	⑥	480 (240)	⑤	40.0	⑥	20.2	④	2.15	③	26.7	③	24
安芸灘	11.4	⑦	509 (230)	④	289	②	15.8	⑤	1.77	⑤	44.7	①	28
伊予灘	7.6	⑧	207 (162)	⑧	20.8	⑦	4.9	⑦	0.55	⑦	27.2	②	54

3) 赤潮の発生と被害額：

表 3 赤潮発生件数と漁業被害額の推移（水産庁）

	昭和 42 年	43 年	44 年	45 年	46 年	47 年	48 年	49 年	50 年 (10月まで)
赤潮発生件数	48	61	67	79	136	164	210	298	190
漁業被害・発生件数	8	12	18	35	39	23	18	17	13
被害率 %	17	20	27	44	29	14	8	5	6
被害額 千円/年				335,160	533,725	7,137,564	350	70,000	97,000

表 3 は赤潮の発生と被害額の推移である。最近の傾向として小規模の赤潮の発生はみられるが、漁業被害をともなったものは少く、被害額は昭和 47 年の 7.1 億円を最高に最近は減少している。

さて、富栄養化進行防止のための環境基準の設定が急がれるが、富栄養化防止の目標をどこにおくかが問題である。それはその水域の利水目的とも密接な関係がある。淡水域において水道水や工業用水などの取水、あるいは観光、レクリエーションを目標にするならば貧栄養湖であるに越したことはない。農業用水利用が目的ならある程度の富栄養化は許容されるだろう。また総たん白質生産量の増加を目ざして漁獲量を最大に保つためには富栄養化はむしろ歓迎される。もっとも過栄養化状態となれば漁獲量も急速な減少傾向を示すが、図 1 の範囲ではその傾向は認められていない。海域についても同様なことが言える。紺碧の海、赤潮の発生しない限界、高級魚の採れる海、漁獲量の最大の状態、ノリ生産最大

の状態によって各々の目標の設定が異なる。また富栄養化物質については、健康項目と全く同様に取扱うことはできない。すなわち健康被害防止のような絶対的な尺度ではなく、対策とその経済性も十分に検討する必要がある。たとえば公共水域でノリに施肥するような状態においては一方で第3次処理を強化するようなアンバランスはあってはならない。したがって環境基準も一率の基準ではなく、利水目標によってランク分けが必要である。たとえば表4のような富栄養化に関する水質基準（案）が考えられる。表4は一試案に過ぎないが、現在の湖沼、海域にかかる環境基準の追加項目とした。したがって、

表4 富栄養化物質に関する水質環境基準

湖 沼	海 域	全窒素 ppm	全リン ppm	A. G. P. ppm
A.A. 自然環境, 水道1級, 水産1級	A 水産1級	0.10	0.01	2.0
A. 水道2・3級, 水産2級	B 水産2級	0.20	0.02	4.0
B. 水産3級, 工業用水1級, 農業用水	B' 水産3級	0.40	0.04	10.0
C. 工業用水2級, 環境保全	C 環境保全	1.00	0.10	25.0

CODとの対応をも考慮に入れている。現実にはC水域に属するところではこの基準値を上廻っているが、基準の最大値をNは1 ppm, Pは0.1 ppmとした。これらの基準値ではリンが制限因子となろう。ここでA, G, PはN, P以外の物質が制限要因となる場合を想定している。なお、河川については環境基準は設定していない。それは富栄養化の影響が少ない理由によるが、都市域河川ではこのC類型より可なり高濃度のN, Pが認められている。

環境基準と環境容量との関係については、単に富栄養化物質の流出入のみならず、水域内での循環、底泥への堆積と再溶出との関係を十分に把握していなければならない。また流入負荷量と富栄養化との関係には水深が強く影響しており図2の関係が認められている。年間を通じた平均的な富栄養物質の収支と同時に季節的な変動も重視しなければならない。とくに富栄養化の影響が顕著な夏季、底層が嫌気性となる時期には底泥から大量のPの溶出が認められる。こうした時期と赤潮の発生とが一致することがしばしば認められる。このようなN, Pの水域濃度と供給源の関係について、現在徳山湾をモデルにして解析を行なっているが、夏季においては陸上から湾内に供給されるP 170kg/日に対して底泥からの供給が60kg/日程度であることが推察される。何れにしても富栄養化物質の水質基準と環境容量との関係には、水域内での保存量、底泥での蓄積量、および流入負荷量が関係するが底泥の除去とか水の入れかえなどの一時的な対策と流入負荷量の削減という恒久的な対策とがある。環境容量を考えると、やはり流入負荷量との対応を重視することが必要である。すなわち流入負荷量による水質濃度の増加分を明確にし、環境基準値を越える部分はすべて流入負荷量の削減で対処することとし、許容流入負荷量、すなわち環境容量を決定する。したがって底泥溶出分や水域保存分の削減に関する対策は、環境容量の

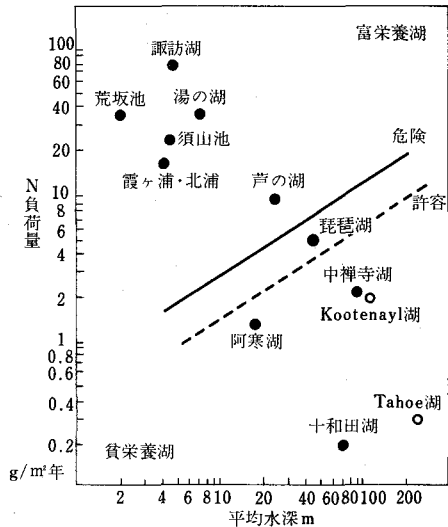


図2 水深とN負荷量と富栄養湖との関係 (白旗 Vollenweider)⁹⁾

の増大を計る対策と解釈してよい。

4. わが国における窒素，リンの収支

既報^{3) 4)}などの内容であるが対策を考えるうえで必要であり、その要点を示す。図3、4はわが国におけるN、Pの収支を示したものである。表5にその結果をまとめる。また、表6は水域排出量である。表7には食糧、飼料と肥料との関係を示した。これらの結果からつぎのことが明らかである。

(1) 年間わが国に入ってくる正味の窒素量は37884 t/年であり、そのうち27%が水域に排出され、33%が土壌その他に蓄積され、44%が大気中に放出される。大気中の窒素もまた降雨とともに水域に還元されるので水域流入量はさらに増加する。

(2) リンについては、年間正味の流入量は490千tであり、このうち68.8%が土壌その他に蓄積され、25.4%が水域に流入する。なお土壌蓄積量337千tは投入された全肥料中のリンの86.4%に相当する。

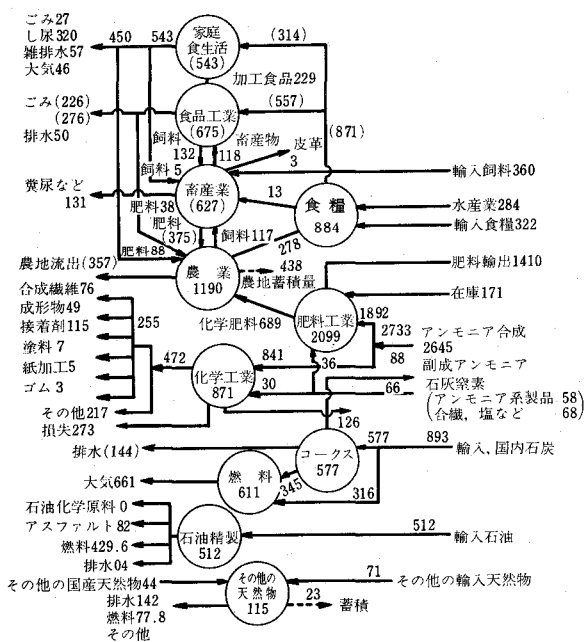


図3 わが国の窒素の収支(単位 千t/年)

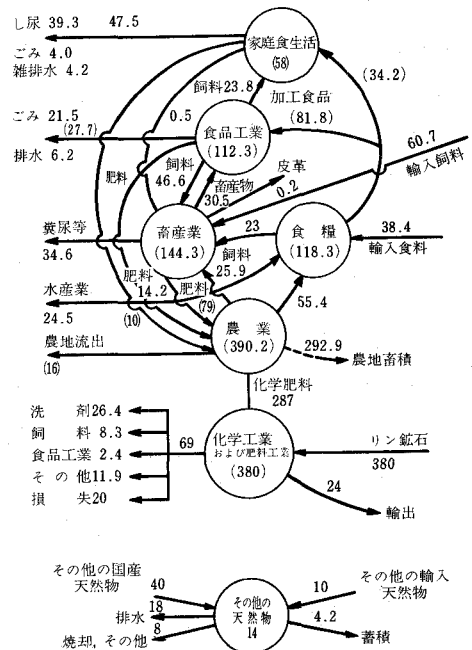


図4 わが国のリンの収支(単位 千t/年)

(3) 食糧および飼料中の窒素とリンは全流入窒素とリンのそれぞれ36%と37%であり、食糧と飼料の自給率は45～50%である。

(4) 全肥料中の化学肥料の割合は、窒素58%，リン74%である。

(5) 肥料の利用率は窒素57%，リン20.5%である。この比率で計算すれば、全食糧と肥料をわが国で自給する場合には、窒素肥料2384千t/年，リン肥料874千t/年となる。これらの値は窒素については全流入量を下廻っているが，リンでは1.82倍である。したがって食糧，飼料の自給率を100%に高めるにはリンの流入量を増すか，肥料の利用効率を高めるかしなければならない。

(6) 未回収の窒素やリンはそれぞれ704千tと106千tである。これらの大部分は水域流出量であり，窒素では化学肥料に匹敵する。またリンでは化学肥料の37%である。これらを回収して化学肥料の代

替に利用することが、富栄養化防止上最も望ましい姿である。

大気に排出される窒素酸化物は年間1200千t近くにも達する。これらの1部は降雨や降下ばいじんによってもたて地表に還元される。大気からの窒素、リンの供給量は地域によって変動があるが、宇部市でN 2.02～11.29kg/km²・日、P 0.1～5.51kg、徳山市ではN 4.15kg、P 0.17kgであった。瀬戸内海レベルではN 3.0kg/km²・日、P 0.10kgとみて、大気より供給量はN 48.3t/日、P 1.61t/日であり、これは陸地よりの供給量のNで10%、Pで2%に相当する。

底泥よりの窒素、リンの供給量についても種々の試算があるが、広島湾北部での実測では、N 9.3kg/km²・日、P 0.63kgの供給量であり、これはこの地区の陸地よりの供給量のNで18%、Pで5.3%に相当した。

表 5 わが国の窒素、リンの収支（まとめ）

項目	物質	窒素（千t/年）	リン（千t/年）
流入		3788	489.6
	化学肥料・工業	1434	35.6
	輸入食糧・飼料	682	99.1
	水産物	284	24.5
	石油・石炭	1317	—
	その他の天然物	71	10.0
排出（大気・水域）		2517	152.5
	家庭生活	423	43.5
	化学肥料・工業	273	46.4
	食品工業	50	(内洗剤 26.4)
	家畜糞尿	131	6.2
	農地流出	357	34.6
	石油・石炭	1123	16.0
	その他の天然物	160	—
蓄積（土壌・その他）		1271	5.8
	家庭生活	27	337.1
	工業	475	4.0
	食品工業	226	14.5
	農地蓄積	438	21.5
	石油・石炭	82	292.9
	その他の天然物	23	—
			4.2

表 6 窒素、リンの水域排出量

	肥料化学工業	天然物工業	生活排水	家畜排水	肥料流出	計
窒素（千t/年）	125.6	50.0	334.3	242.4	263.5	1015.8
リン（千t/年）	19.3	6.2	54.0	36.5	8.4	124.4

表 7 食糧、飼料と肥料との関係

種類	物質	窒素（千t/年）	リン（千t/年）	比率	物質	窒素（%）	リン（%）
①全流入量		3788	480	食糧・飼料への利用率	②/①	35.9	37.3
②全食糧・飼料		1361	179	食糧・飼料輸入率	③/②	50.1	55.4
③輸入食糧・飼料		682	99	食糧・飼料自給率	④/②	49.9	44.6
④自給食糧・飼料		679	80	肥料利用率	④/⑤	57.1	20.5
⑤全肥料		1190	390	化学肥料率	⑥/⑤	57.9	73.6
⑥化学肥料		689	287	自給肥料率	⑤-⑥/⑤	42.1	26.4
⑦未回収し尿・糞尿・ごみ		704	106	化学肥料変換可能率	⑦/⑥	102.2	36.9

5. 富栄養化物質の制御

富栄養化物質の水域濃度を減少させる方法としては、1) 水域内の貯留分を除去または排除させる。2) 供給源としての底泥の排除と無害化を計る。3) 大気や陸地よりの流入量の削減させるなどの方法があげられる。1) 2) は環境容量増大の手段として、浄化用水の導入や底泥のしゅんせつなどであるが、瀬戸内海を対象として太平洋を清水から導入しようとする金野らの構想がある。¹⁵⁾ 底泥のしゅんせつに

表 8 窒素, リンの排出量増加の直接の要因とその量 (浮田・中西文献¹⁸⁾ 参照)

項 目	窒素の発生負荷量 (t/日)					リンの発生負荷量 (t/日)				
	瀬 戸 内 海				全 国	瀬 戸 内 海				全 国
	昭 27 年	35 年	40 年	44 年	45 年	昭 27 年	35 年	40 年	44 年	45 年
A. 排出量そのものの増加 (増加指数 昭 27 年 100)	188.2	265.3	363.8	514.3	2783	11.34	20.52	36.30	52.93	340.9
1. 家庭排出量の増加 (増加指数)	73.8	93.3	115.5	142.8	916	5.88	8.59	15.22	22.17	148.0
1) 人口の増加 (千人)	12,263	13,353	14,891	16,070						
(増加指数)	(100)	(109)	(121)	(131)						
2) 原単位の増加 (g/人・日)	9.6	11.1	11.5	12.0	12.0	1.52	1.70	2.01	2.01	
(増加指数)						(100)	(112)	(132)		
(1) 食品摂取量 (g/人・日)	11.9		12.3	13.2	13.2					
(増加指数)	(100)		(103)	(111)						
(2) 洗剤の増加 (g/人・日)						0.19	0.37	0.65	0.70	
(増加指数)						(100)	(195)	(342)		
2. 工場排出量の増加 (増加指数)	20.8	55.1	115.9	212.7	481	3.76	8.42	14.01	18.12	69.9
	(100)	(265)	(557)	(1023)	(17.3%)	(100)	(224)	(373)	(482)	(20.5%)
3. 畜産排出量の増加 (増加指数)	33.6	44.9	65.9	86.8	664	0.77	2.47	5.73	10.77	100.0
	(100)	(134)	(196)	(257)	(23.9%)	(100)	(321)	(744)	(1399)	(29.3%)
4. 化学肥料使用量 (肥料流出量) (増加指数)	60.0	72.0	66.5	72.0	722	0.93	1.04	1.34	1.87	23.0
	(100)	(120)	(111)	(120)	(25.9%)	(100)	(112)	(144)	(201)	(6.7%)

についても種々の小計画があるが、ここでは流入負荷量の削減対策について検討してみる。表 8 は、瀬戸内海地区における窒素, リンの排出量増加の要因とその量をまとめたものである。表 8 において瀬戸内海地区を例にとったのは比較的この地区のデータが整っているからである。この表より明らかなように瀬戸内海地区では窒素の排出量は昭和 27 年から 44 年までの間に 2.73 倍に増加しているが、その内訳では工場排水の増加が著しく 10.2 倍となっている。全国的な排出量の比率でみると、家庭排出量が最も多く 32.9%、つづいて畜産、肥料流出は 25% であり、工場排水は 17.3% となっている。またリンの排出量はこの間、瀬戸内海で 4.67 倍に増加しているが、そのなかで畜産関係の伸びが著しく 14 倍である。全国的な内訳では家庭排出量が 43.4% で最も多く、畜産の 29.3% と工場排水の 20.5% がこれにつづく。肥料流出はリンの場合には比較的少なく 6.7% である。こうした窒素やリンの排出量増加の原因のなかでとくに注目すべきことは、第 1 に従来は肥料として利用され、水域に流出することの少なかった家庭のし尿や家畜糞尿が十分な処理技術もなく、不完全のまま水の系で処理、処分されるようになったことである。その結果、し尿や家畜糞尿に由来する排出量自体が増加し、さらにし尿にとって代って大量の化学肥料が農地に投入されたので、肥料流出量も増加した。第 2 は洗剤の使用量増加にともなうビルダー中のリンの排出量の増加である。この洗剤中のリンは溶解性であり、家庭雑排水を通じて水域への高い流出率を示すので、その影響は大きい。すなわち、洗剤中のリンの排出量は 0.7 g/人・日であり、これは家庭排水全体のリンの 30%、家庭雑排水中のリンの 78% にも達する。

以上のことを勘案して窒素, リンの環境への排出量削減に対して考えられる幾つかの方法、効果および経済性をまとめると表 9 のようになる。ここにおいて窒素, リンの必要削減量、すなわち環境容量についてはなお多くの検討余地を残している。表 9 の結果は、現在水域に排出されている窒素の 19.5% の 542.3 t/日 は処理施設で 2 次処理まで行なった後、土地還元すれば窒素, リンはほぼ完全に処理す

表9 窒素、リンの排出量削減の方法、削減量および費用

削減方法	わが国全体の削減量(昭和44年基準)	窒素 t/日	リン t/日	削減費	
				窒素 千円/日	リン 千円/日
1. 家庭内排出量の削減					
1) 人口抑制	現実の問題として対象にならない。		0		
2) 食生活の制限	"		0		
3) 洗剤(リン)の使用制限	削減原単位 0.5g/人・日(原単位をリン 0.7gから0.2gに削減)		52.5		
4) 雑排水への排出制限(ごみとして処分)	削減原単位を窒素 1g, リン 0.08gとする。 (雑排水の1/3を見積る。ただし、洗剤は対象外)	105	8.4		
2. し尿処理の改善					
1) 放流水の土地還元(肥料としては2次処理までは処理施設で行なう)					
(1) し尿処理施設放流水の土地還元	普及率 37.2%として、土地還元可能地は処理施設の1/4と評価、加重平均流出率窒素 6.5%, リン 5.6%, 除去率それぞれ 90%	54.9	5.4		
(2) 浄化槽放流水の土地還元	普及率 8.2%として、処理施設の1/4を土地還元、加重平均流出率窒素 1.9%, リン 1.9%, 除去率それぞれ 90%	16.1	1.9		
2) 第3処理の採用					
(1) し尿処理施設	1/2の処理施設に適用、加重平均流出率、窒素 13.0%, リン 11.2%, 除去率はそれぞれ 80%	97.6	9.6	窒素、リンの処理費 15円/人・日 292.950千円/日	
(2) 浄化槽	1/2の処理施設に適用、加重平均流出率、窒素 3.8%, 除去率はそれぞれ 80%	28.6	3.4	窒素、リンの処理費 15円/人・日、 64.575千円/日	
3. 下水処理の改善					
1) 放流水の土地還元(肥料として利用、処理は2次処理まで施設で行なう)	普及率 21%(昭49)として、還元可能地を1/5とし、加重平均流出率、窒素 2.73%, リン 2.1%, 除去率はそれぞれ 90%	30.7	4.1		
2) 第3次処理の採用	普及率 21%(昭49)、1/2の処理施設に適用、加重平均流出率、窒素 6.83%, リン 5.25%, 除去率それぞれ 80%	76.8	10.1	窒素、リンの処理費 15円/人・日 165.300千円/日	
4. 工場排水の改善					
1) 肥料化学工場					
(1) 発生源対策	宇部・徳山・新南州市の例を参考にして窒素 16%, リン 30%の削減とする。	55.0	15.9	窒素、リンの処理費を1/5と推定 窒素 6600千円/日, リン 11639千円/日	
(2) 排水処理	窒素残存排出量の1/3, すなわち 27%の削減 リン " 1/3 " 23.3% "	92.9	92.9	窒素処理費は下, リン処理費は下 水処理の1/4 水処理の1/6 600千円/t 3660千円/t 55740千円/日 45018千円/日	
(3) 排水の土地還元	それぞれ排出量の2%削減	6.9	1.1		
2) 天然物、食品工場					
(1) 発生源対策	それぞれ排出量の25%削減	34.3	4.3	窒素、リンの処理費を1/5と推定 窒素 4116千円/日, リン 3148千円/日	
(2) 排水処理	それぞれの排出量の30%削減	41.4	5.1	窒素処理費 リン処理費 600千円/t 3660千円/t 24660千円/日 18.666千円/日	
(3) 排水の土地還元	それぞれの排出量の10%削減	13.7	1.7		
5. 畜産排出量の改善					
1) 排水処理	それぞれ排出量の20%削減	132.8	20.0	窒素処理費, 下 リン処理費, 下 水処理場の1/3 水処理場の1/4 として750千円/日 として5490千円/日 99.600千円/日 109800千円/日	
2) 排水の土地還元	それぞれ排出量の35%削減	232.4	35.0		
6. 化学肥料の使用量削減					
窒素 263.4t リン 227.3t					
1) 土地環境排出物の肥料化による代替(60%)	肥料流出の削減量 窒素 30% 流出量 リン 2%	79.2	4.5		
窒素 212.8t リン 29.5t					
2) ごみの肥料化(排出量の20%)	化学肥料生産削減による工場排水削減量 窒素 1.3% 流出率 リン 1.1%	3.4	2.5		
窒素 50.6t リン 5.1t					
3) リン肥料の利用効率の向上					
リン 192.7t (20.5%から25%)					
・土地還元などによる削減	3次処理などによる削減				
窒素 542.3t/日 (19.5%)	窒素 559.1t/日(20.1%)	452.128千円/日		計 901.811千円/日	
リン 117.1t/日 (37.3%)	リン 80.7t/日(25.7%)	449.683千円/日			
(内洗剤のリン規制) 52.5t/日(16.7%)					

ることができることを示している。この場合、土地還元分の約60%は肥料として活用できることを想定しているので、土地還元処分費はほぼ零とした。同様にリンについては37.3%の117 t/日は洗剤中のリンの規制や土地還元によって、あらたに処理費を計上することなく削減することができる。この場合洗剤の規制による削減は全体の16.7%の52.5 t/日であり、その効果は大きい。

発生源対策やあらたな窒素、リンの処理施設の設置による削減は窒素で全体の20.1%の559 t/日、リンは25.7%の80.7 t/日であり、その費用は1日9億、年間3285億にも達する。この場合削減費算定の根拠として都市下水の窒素、リンの除去を対象とした第3次処理場15円/人・日を基礎として、工場排水や畜産排水などについてそれよりも相当安く見積った。このあたりの精度については今後検討を要する。

6. む す び

窒素、リンの処理方法として第3次処理とともに2次処理後の土地還元法が今後注目されるであろう。しかし、排水は直接水域へ放流するという観念が定着していることや、土地還元の適地が得られるかどうかということなど土地還元法については、今後の研究課題である。人口や工業の密集した都市域にあっては第3次処理、土地に比較적余裕のある過疎域にあっては土地還元法に注目することが望ましい。

引 用 文 献

- 1) Water Quality Criteria, US. Government (1968)
- 2) W. Stumm et al : The Role of Phosphorus in Eutrophication IAWPR, Paper III-26 (1970)
- 3) G. Bringmann : R. Ruhn : " Der Algal-Titer als Massstab der Eutrophierung von Wasser und Schlamm " Gesundheits ingenieur 77. 374 (1956)
- 4) T. E. Maloney. W. E. Miller, N. L. Blind : Use of Algal assay in studying eutrophication Problems 6th IWPR III-6 (1972)
- 5) 須藤隆一, 森忠洋, 大竹久夫, 岡田光正, 合葉修一 : 都市下水の2次処理水が示す藻類生産の潜在能力, 下水道協会誌, 12. No. 133. 34-42 (1975)
- 6) 中西弘, 浮田正夫, 宇野良治 : 海域におけるCOD生産量について, 用水と廃水, 17. No. 6. 43-53 (1975)
- 7) 遠藤拓郎 : 瀬戸内海の一次生産に関する研究 : 広島大学水畜産学部紀要9 (1970)
- 8) 西村 肇 : 国際環境保全科学会議で報告 (1975. 11. 19)
- 9) 白旗総一郎 : 湖沼の浄化機能の計量化と問題点, 淡水区水産研究所報告書 (1974)
- 10) 国立国会図書館 : 瀬戸内海における環境破壊に関する諸問題, 昭和46年
- 11) 環境庁 : 瀬戸内海環境保全基本計画関連資料 昭和50年9月
- 12) 日本水産学会編 : 水圏の富栄養化と水産増養殖, 恒星社厚生閣 (1974. 4)
- 13) 浮田正夫, 中西 弘ら : 富栄養化の原因と対策, 公害と対策 Vol. No. 6 昭47
- 14) 中西 弘・浮田正夫 : 水質汚濁制御の手法—富栄養化物質を中心として— 第8回水質汚濁研究に関するシンポジウム, 講演集, 日本水質汚濁研究会 (昭49. 9. 20)
- 15) 金野 仁 : 瀬戸内海の浄化計画, 環境研究, 10号 21-32 (1975)