九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

藻類による下水処理場放流水および湾底泥由来の窒素・燐の利用

今田, 信良
九州大学農学部水産増殖環境学教室

小林, 邦男
九州大学農学部水産増殖環境学教室

大嶋, 雄治
九州大学農学部水産増殖環境学教室

中尾, 貴史
九州大学農学部水産増殖環境学教室

https://doi.org/10.15017/22249

出版情報：九州大學農學部學藝雜誌. 42 (1/2), pp.37-44, 1987-12. 九州大學農學部
バージョン：
権利関係：

九大農学芸誌 (Sei. Bull. **Fac.** Agr., **Kyushu** Univ.)
第42巻 第1・2号 37-44 (1987)

藻類による下水処理場放流水および湾底泥由来の窒素・燐の利用

今田信良・小林邦男
大嶋雄治・中尾貴史
九州大学農学部水産増殖環境学教室
(1987年7月3日 受理)

Utilization of Nitrogen and Phosphorus from Treated Sewage and Bay-Sediment by Marine Algae

NOBUYOSHI IMADA, KUNIO KOBAYASHI, YUJI OSHIMA
and TAKASHI NAKAO
Laboratory of Fishery Environmental Science, Faculty of Agriculture,
Kyushu University 46-04, Fukuoka 812

緒言

海域がある程度富栄養化することは，のり養殖にとつてむしろ好ましいが，同時にのりの増殖に有害なプランクトンや利用価値のない藻類の競合的な増殖を促進することにもなる．都市下水処理場の放流水や湾底泥に由来する窒素・燐（N・P）は水域の富栄養化を助長し，いわゆる赤潮の発生を誘発すると考えられるため，両者がプランクトンの増殖に及ぼす影響については多くの研究が報告されている（Miller and Maloney, 1971; Doig and Martin, 1974; 山田ら, 1982; 岡市, 1983)．しかし，藻類による下水処理場放流水および底泥由来のN・Pの利用についてはあまり研究されていない．

本研究では，養殖対象藻類のスサビノリ *Porphyra yezoensis* と，その養殖場周辺に共存し競合するアオノリ *Enteromorpha* sp. およびアナアオサ *Ulva pertusa* の3種の藻類，ならびにのり養殖期の冬季にも富栄養化水域に頻繁に出現する珪藻プランクトンスケレトネマ *Skeletonema costatum* を供試し，下水処理場放流水および底泥由来のN・Pの利用性を比較検討した．

本研究を遂行するにあたり，藻類について有益なご教示を頂いた九州大学農学部奥田武男教授，ならびに下水処理場放流水の採取にご協力頂いた福岡市下水道局水質試験所および東部下水処理場の職員の方々に深く感謝する．

実験方法

1. 供試藻類

博多湾海の中道周辺で採集したスサビノリ，アオノリおよびアナアオサを実験室に持ち帰り，健全な葉体のみを1×1 cmに切断した後，Table 1に示す基準培

Table 1. Composition of standard medium.

NaCl	24	g
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	8	g
KC1	0.7	g
$NaHCO_3$	0.42	g
$NaNO_3$	0.1	g
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.37	g
$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	0.025	g
$Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$	0.05	g
Vitamin B_{12}	0.02	μg
Pl soln.*	1	ml
H_2O	1	*l*
*Pl soln.		
EDTA・2Na	6	g
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	0.432	g
$ZnCl_2$	0.0313	g
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0.0121	g
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.00471	g
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.126	g
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	0.387	g
H_3BO_3	3.429	g
H_2O	1	*l*

地で培養し，翌日実験に供した．基準培地は中谷・下茂（1962）のアサクサノリ培地からトリスアミノメタンおよびシスチンを除き，$Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$ を 0.05 g/l の割合で加えたものである．またスケレトネマの試験に当たつては，あらかじめ 10°C で培養し，波長 600 nm，1 cm の吸光度が約 0.1（3×10^4 細胞/ml）に達した培養液を供試した．

2. 下水処理場放流水

実験開始直前に福岡市東部下水処理場から塩素注入前の放流水を実験室に持ち帰り，孔径 0.45 μm のミリポアフィルターでろ過した後に供試した．

3. 湾底泥浸出液

前報（小林ら，1985）と同様の方法で，−25°C に保存した東部博多湾底泥を解凍し，その 1 kg に人工海水（Table 1 に示した基準培地から $NaNO_3$, $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$, V.B_{12} および P1 溶液を除いた）を 500 ml の割合で加え，嫌気状態で 20°C に保ち，時々振とうしながら 2 日間放置した．実験開始直前に遠心し，その上澄液を 0.45 μm ミリポアフィルターでろ過した後に供試した．

4. 培地の調製および培養条件

上記の下水処理場放流水および湾底泥浸出液（以下それぞれ放流水（E）および底泥浸出液（S）と略記）の各 100，250 および 500 ml を 1 l 容平底フラスコに採り，同じ塩素量になるように，人工海水または 2 倍濃度の人工海水 500 ml と適量の純水を加えて 1 l とし，それぞれ E-100，E-250，E-500；S-100，S-250，S-500 と表示した．別に人工海水のみを 1 l 入れ，対照区（C）とした．これに各供試藻体 0.2 または 0.5 g，あるいはスケレトネマ培養液 50 または 100 ml を接種し，通気によつて培養液を攪拌しながら 10°C に保ち，白色蛍光灯を用い 6,000 lx で 9 時間明-15 時間暗の下で 3〜4 日間培養した．

5. 藻体および培養液中の N，P の定量

NH_4-N，NO_2-N，ケルダール-N および PO_4-P は Strickland and Parson (1972) の方法により，また NO_3-N は American Public Health Association (APHA, 1975) の分析法によつて定量した．全-P の定量は硫酸と過酸化水素で灰化した後 PO_4-P の定量法に従つた．

藻体は人工海水で洗浄し，ろ紙で水を吸い取つた後に，また，スケレトネマはその培養液を 2,000 rpm，10 分間遠心し，沈殿物を人工海水で 1 度洗浄して純水に懸濁させ 50 ml とした後に，それぞれの適量をケルダール-N および全-P の定量に供した．

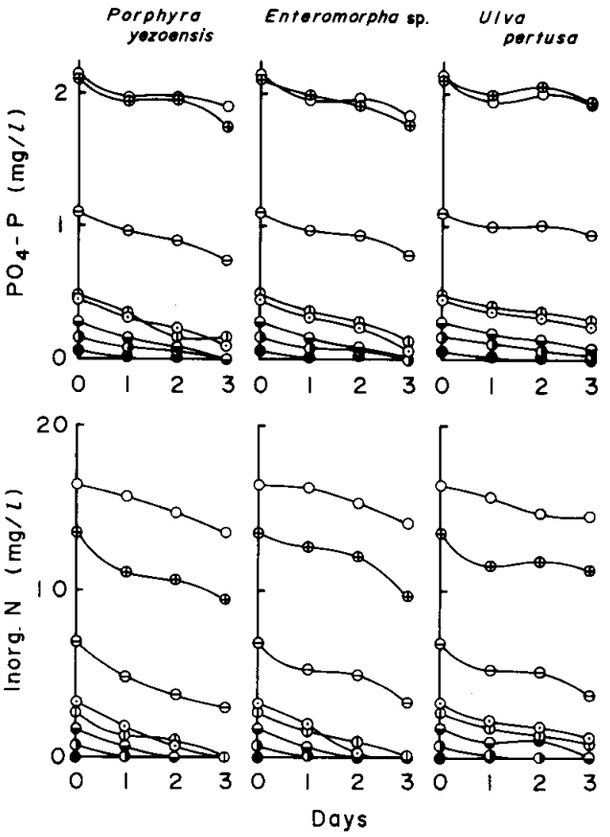

Fig. 1 Changes in N and P concentrations of media during culture of lavers.
Standard medium
Control medium
E-100
E-250
E-500
S-100
S-250
S-500

Table 2. The N and P concentrations (mg /l) in the effluent of sewage disposal plant and the exudate of bay-sediment.

	NH_4-N	NO_3-N	NO_2-N	Org.-N	PO_4-P	Org.-P
Sewage effluent (E)	19.5	7.4	tr.	2.38	3.83	0.97
Sediment exudate (S)	6.31	tr.	—	1.61	0.90	0.61

Table 3. The gains in weight, N and P of lavers after 3-day culture. Values are expressed as mg gained by 200 mg of the respective initial fronds.

Media	N (mg/l)	P (mg/l)	*Porphyra* Wt	*Porphyra* N	*Porphyra* P	*Enteromorpha* Wt	*Enteromorpha* N	*Enteromorpha* P	*Ulva* Wt	*Ulva* N	*Ulva* P
Standard	16.39	2.15	148	2.43	0.10	264	1.64	0.20	99	1.24	0.04
Control	0.03	0.06	132	0.16	0.00	278	0.15	0.05	79	0.01	−0.04
E-100	2.65	0.48	189	2.47	0.20	290	2.01	0.27	102	1.91	0.07
E-250	6.81	1.10	112	3.73	0.21	250	2.72	0.25	99	2.12	0.02
E-500	13.46	2.11	139	3.85	0.22	291	3.34	0.23	110	2.50	0.04
S-100	0.72	0.16	136	0.68	0.06	323	0.43	0.09	87	0.64	0.02
S-250	1.69	0.28	152	1.54	0.14	303	1.30	0.20	101	1.45	0.08
S-500	3.22	0.45	125	2.70	0.17	295	2.01	0.23	97	1.85	0.06
Initial frond			200	2.19	0.22	200	1.69	0.15	200	1.86	0.18

Standard: Standard medium (Table 1.).
Control: NaCl, 24 g; $MgSO_4 \cdot 7aq.$ 8 g; KCl, 0.7 g; $NaHCO_3$, 0.42 g; $CaCl_2 \cdot 2aq.$ 0.37 g; $Na_2SiO_3 \cdot 9aq.$ 0.05 g/l.
E-100, 250, 500: 100, 250 and 500 ml of sewage effluent per liter of media.
S-100, 250, 500: 100, 250 and 500 ml of sediment exudate per liter of media.
Condition: 6,000 lx. 9 h/day, 10 °C.

実 験 結 果

1. 藻類による下水処理場放流水中および湾底泥浸出液中の N・P の利用

本実験に使用した放流水中の NH_4-N, NO_3-N, 有機態-N, PO_4-P および有機態-P の濃度は Table 2 に示すようであつた. したがつて, N・P 濃度から見ると E-100 と S-500 が近似しており, 基準培地とは E-500 が近い N・P レベルであつた.

各培養液中の N, P の経日変化は Fig. 1 に示すようであつた. スサビノリおよびアオノリの培養液中の N・P はアナアオサのそれらに比べて速やかに減少した. また基準培地の N に比べて放流水添加区 (E 区) および底泥浸出液添加区 (S 区) の N が幾分早く減少した. 特に培養当初から低レベルであつた S 区の無機態-N は試験終了時には殆ど消失しており, N 不足の状態にあつたと考えられる.

各藻体の増重量および N・P 取込量は Table 3 に示すようであつた. 藻体増重量はアオノリが最も高くスサビノリの約 2 倍の値を示したが, 両者の N・P 取込量にはそれほど大きな差は認められなかつた. アナアオサのそれらは三者の中でいずれも最低であつた.

スサビノリでは E-250 区の増重量が最低であつたが, N・P 取込量が大きく, 基準培地区よりも良好な色調を示したことは, 色素タンパク質含量が高かつたことを示唆する. N・P 無添加の対照区および N 欠乏と思われる S-100 区を除く他の試験区は, いずれも同レベルの色調を示した. アオノリは E 区で基準培地区と同レベルの色調を示したが, S 区では色調が低下し, 特に S-500 区では一部葉体の脱落が認められた. このことはアオノリにとつて有害な物質が底泥浸出液中に存在することを示唆する. アナアオサの色調は対照区を除き各区とも同様であつた.

Table 4. The gains in weight, N and P of *Porphyra yezoensis* in the medium with or without *Skeletonema costatum*. Values are expressed as mg gained by 200 mg of initial frond.

	Wt	N	P
With *S. costatum*	336	3.9	0.33
Without *S. costatum*	330	4.3	0.33

2. スサビノリおよびスケレトネマによる下水処理場放流水中の N・P の利用

基準培地にスサビノリを単独またはスケレトネマを混合して 5 日間培養した結果は Table 4 に示すようであつた. スサビノリの増重量および N・P 取込量はスケレトネマに全く影響されず, 充分に栄養塩が存在すれば, 両者間に競合は起らないことが明らかになつた.

そこで，新たに採水した放流水（NH_4-N，27.5；NO_3-N，0.21；NO_2-N，0.24；有機態-N，6.42；PO_4-P，3.87；有機態-P，0.09 mg/l）を用いた以外は前記と同じ条件で，両者をそれぞれ単独に培養した．

スサビノリおよびスケレトネマの4日間培養による試験水中の無機態-N・Pの経日変化，ならびに両者の増重量およびN・P取込量はそれぞれ Fig. 2 と Table 5 に示すようであつた．スサビノリの供試量が500 mg（生重量）/l であつたのに対してスケレトネマは約1/3量の170 mg/l（5×10^7 細胞/l）であつたけれども，

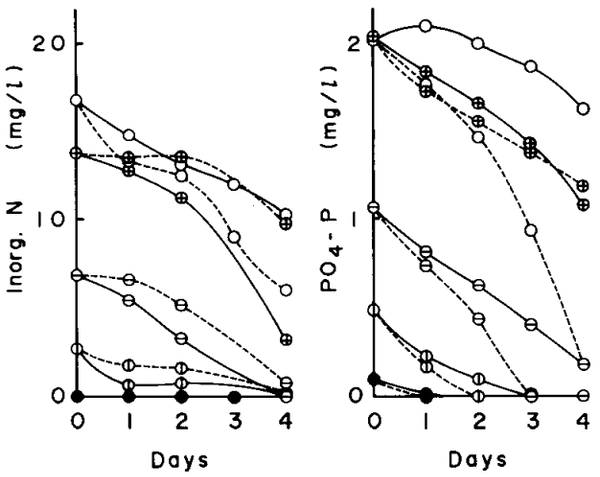

Fig. 2 Changes of N and P in the effluent-media during cultures of *Porphyra yezoensis* (solid lines) and *Skeletonema costatum* (broken lines).
○—○ Standard medium
●—● Control medium
①—① E-100 ⊕—⊕ E-500
⊖—⊖ E-250

両者の培養水中N，Pの変化を比較すると，Fig. 2 に示すように，NO_3-N はスケレトネマにより，また，放流水中の大部分を占める NH_4-N はスサビノリにより速やかに取り込まれた．PO_4-P はいずれの試験区でもスサビノリに比べてスケレトネマにより速やかに取り込まれ，E-100区およびE-250区ではそれぞれ2日および3日後には消失していた．スケレトネマの増殖率は水温の低下とともに著しく低下すると報告されている（真鍋，1976；Sakshaug, 1977）が，Table 5 に示すように，10°C の低温においてもスケレトネマはスサビノリに比べて著しい増重量およびN・P取込量を示し，若干の増殖障害を受けたE-500区においても，その増重量およびP取込量はスサビノリのそれらを凌駕していた．

スサビノリの色調は基準培地とE-250区およびE-500区との間に差は認められなかつたが，E-100区では色度が半減した．これは培養液中の無機態-N が3日後にほぼ消失したためであろう．スケレトネマはE-250区では基準培地に近い状態にあつたが，E-100区では色度が半減した．E-500区では暗褐色となり器底に沈降するなどの障害を受けたことから，スケレトネマの NH_3 に対する耐性はスサビノリに比べて幾分小さいと考えられる．

そこで，両者の NH_3 に対する耐性を比較するために，基準培地のN源として $NaNO_3$ および NH_4Cl を用いてそれぞれ1～32 mg-N/l の8段階の濃度を調製し，前述の放流水添加実験と同じ条件で培養した．

6日間の培養期間中におけるスケレトネマの細胞数とクロロフィル a 量の経時的変化は Figs. 3 および4 に示すようであり，また，実験終了時におけるそれら

Table 5. The gains in weight, N and P of *Porphyra* and *Skeletonema* after 4- day culture. Values are expressed as mg gained per gram of initial.

Media	N (mg/l)	P (mg/l)	*Porphyra* Wt	*Porphyra* N	*Porphyra* P	*Skeletonema* Wt	*Skeletonema* N	*Skeletonema* P
Standard	16.08	2.02	664	9.36	0.98	9,770	52.1	12.1
Control	0.00	0.10	510	−0.46	0.20	2,540	−6.76	0.47
E-100	2.75	0.49	866	5.20	0.96	7,580	10.2	2.84
E-250	6.98	1.07	856	13.4	1.66	8,940	34.2	4.44
E-500	13.87	2.04	628	20.0	1.68	3,660	19.0	3.49
Initial			500	5.43	0.45	170	2.27	0.25

Effluent : NH_4-N, 27.5 ; NO_3-N, 0.21 ; NO_2-N, 0.24 ; PO_4-P, 3.78 mg/l.
E-100, 250, 500 : 100, 250 and 500 ml of sewage effluent per liter of media.
Condition : 6,000 lx, 9 h/day ; 10 °C.

の値とN・P取込量は Table 6 に示すようであつた.

Fig. 3 に示すように，スケレトネマの細胞数は $NaNO_3$ 添加培地(NO_3 区)では 1 mg-N/l 区で 6 日目に減少したのを除き，各培地で培養時間とともに指数関数的に増加したが，他方 NH_4Cl 添加培地(NH_4 区)では N 濃度が 12 mg/l を超えるとともに細胞数は急激に減少し，特に最高濃度の 32 mg-N/l 区では 2 日以後には実験開始時よりも低い値を示し，6 日後にはほぼ完全に死滅した.

この結果は Fig. 4 のクロロフィル a 量の経時的変化とよく一致している。NO_3-N 2 mg/l 区において，実験期間中細胞数が増加し続けたのに対して，そのクロロフィル a 量が 4 日以後殆ど増加しなかつたのは，この培地中の N が消費し尽された後も，細胞は依然として分裂を継続し，色素胞の減少した細胞を新生したためである.

Table 6 に示すように，実験終了時におけるスケレトネマの増重量および N・P 取込量は NO_3 区では 4

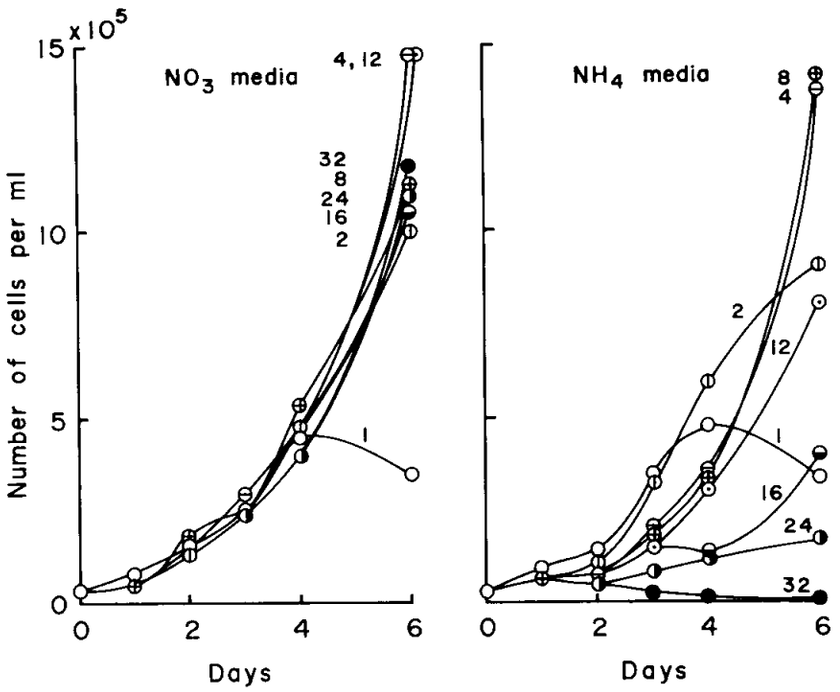

Fig. 3 Increase of cell number of *Skeletonema costatum* during culture in NO_3- and NH_4-media. The values in the figures express the nitrogen concentrations of media in NO_3 or NH_4 form.

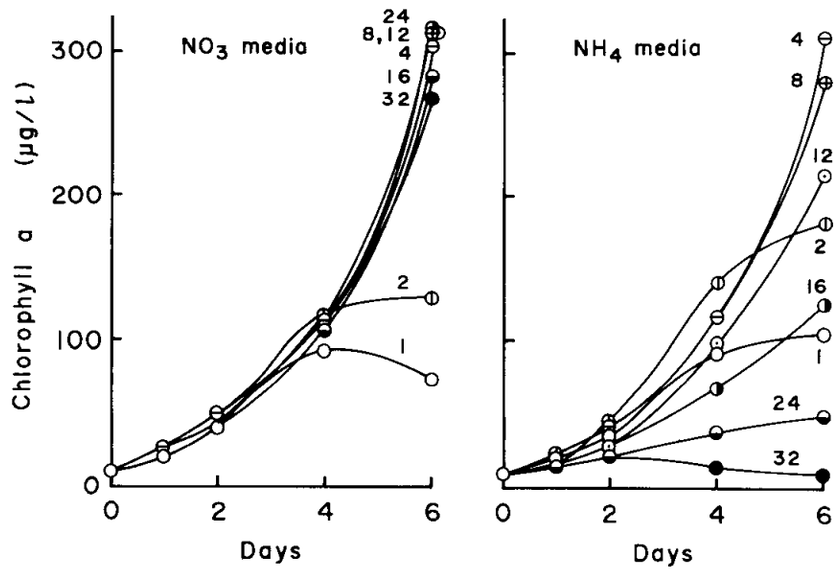

Fig. 4 Change in chlorophyll *a* content of *Skeletonema costatum* during culture in NO_3- and NH_4-media.
The values in the figures express the nitrogen concentrations of media in NO_3 or NH_4 form.

mg-N/l 以上でほぼ一定となり，その色調は良好であつたが，NH_4 区では 12 mg-N/l 以上において強い障害を受け，増重量，クロロフィル a 量および N・P 取込量は N 濃度の増大とともに著しく減少し，特に最高濃度の 32 mg-N/l 区では，細胞数とクロロフィル a 量が実験開始時より低い値となつた．

他方，培養 3 日後におけるスサビノリの増重量および N・P 取込量は Table 7 に示すようであり，NO_3 区では 4 mg-N/l 以上でほぼ一定の値を示したが，NH_4 区では N 濃度の増加とともに N 取込量が著しく増加したものの，その増重量は 8 mg-N/l 以上で約半減し，P の取込量も幾分低下した．しかし，藻体の色調は NO_3 と NH_4 の両試験区とも 4 mg-N/l 以上で良好であり，培地間における差は認められなかつた．

考　　察

Uno *et al.* (1983) は，アナアオサが山口湾における N 循環の重要な役割を果していると推定しているが，その N 含量は 5.6 mg/g-湿重量 (37 mg/g-乾重量) であつた．本研究で供試した博多湾のアナアオサの N 含量は，Table 3 に示すように 9.3 mg/g-湿重量であり，山口湾のそれの約 1.7 倍の値を示したが，アナアオサの藻体増重量および N・P 取込量はスサビノリおよびアオノリのそれらに比べて低く，特に P 取込量は著しく低い値であつた．しかし，N・P レベルの低かつた S-100 区および S-250 区を除き，各供試藻類とも下水処理場放流水および底泥浸出液添加培地で基準培地よりもすべて良好な N・P 取り込みを示したことは，少な

Table 6. The utilization of NO_3-N and NH_4-N by *Skeletonema*.
Values are expressed as the increase of cells number, chlorophyll *a*, N and P of *Skeletonema* after 6- day culture.

Media		NO_3-media				NH_4-media			
N (mg / l)	P	Cells ($\times 10^6$)	Chlor. (μg)	N (mg)	P (mg)	Cells ($\times 10^6$)	Chlor. (μg)	N (mg)	P (mg)
1	0.125	309	53	1.18	0.18	303	86	1.14	0.16
2	0.25	965	113	1.83	0.41	865	163	1.89	0.28
4	0.50	1,440	286	4.29	0.57	1,340	293	3.95	0.57
8	1.0	1,090	295	4.39	1.00	1,380	261	4.38	0.95
12	1.5	1,440	294	4.18	0.98	765	195	3.51	0.78
16	2.0	1,020	265	3.74	0.98	365	125	2.25	0.65
24	3.0	1,060	298	4.19	1.09	138	31	1.74	0.28
32	4.0	1,140	249	3.57	1.15	−21	−8.4	1.27	0.24
Initial		35	20	0.135	0.039	35	20	0.135	0.039

Condition : 6,000 lx, 9 h/day ; 10 °C.

Table 7. The utilization of NO_3-N and NH_4-N by *Porphyra*.
Values are expressed as the gains (mg) in weight, N and P of 500 mg of initial frond after 3- day culture.

Media		NO_3-media			NH_4-media		
N (mg / l)	P	Wt	N	P	Wt	N	P
1	0.125	287	1.08	0.16	338	1.08	0.16
2	0.25	315	2.00	0.31	302	2.07	0.31
4	0.50	360	3.72	0.52	329	3.85	0.52
8	1.0	286	3.04	0.41	177	5.83	0.54
12	1.5	290	3.59	0.44	175	5.73	0.49
16	2.0	303	3.56	0.47	181	5.94	0.49
24	3.0	307	3.69	0.49	184	6.17	0.48
32	4.0	281	3.41	0.46	167	6.07	0.39
Initial		500	5.45	0.52	500	5.45	0.52

Condition : 6,000 lx, 9 h/day ; 10 °C.

くとも NH_4-N が 10 mg/l のレベルでは藻体に対して殆ど障害を与えず，むしろ基準培地中の NO_3-N よりも試験水中に含まれる N をよく利用するという結果が得られた．これらの結果は，放流水に含まれた NH_4-N が NH_4Cl より毒性が弱い錯体などの形で存在し，且つ利用され易いこと，また放流水には N・P 以外に藻類の増殖に有効なビタミンなどの微量栄養素が存在すること，などを示唆している．

富山ら（1968）は N・P，微量金属およびビタミン類を含まない人工海水に，設置直後（1966）の福岡市中部下水処理場放流水（無機態-N，65～75 mg/l；PO_4-P，1.7～2.6 mg/l）を加えてアサクサノリを培養し，放流水の添加量が 10～20%の場合その生長は著しく良好であり，30%で藻体の色調および光沢が最もよく，10～30%添加のいずれの場合も中谷・下茂（1962）の完全培地より生長・色調が良好であつたと報告している．しかし，丸山ら（1985）は都市下水処理場放流水がスサビノリの生育を阻害したと述べている．

Iwasaki (1965) はビタミン B_{12}，ヒポキサンチンおよびウラシルがアサクサノリのコンコセリスの生長を促進することを明らかにしており，また，Dunstan and Menzel (1971) は下水処理場放流水にはのりの生育に必要な N・P 以外にチアミン，ビオチン，ビタミン B_{12} および植物生長ホルモンなどが多く含まれていると報告している．本研究において，放流水添加区はいずれも基準培地に匹敵するかそれ以上の生長を示し，富山らの報告とよく一致した．このことは，福岡市の放流水が生活排水を主体としているのに対して，丸山らが用いた放流水はその性質が異なり，のりの生育に有害な物質を含んでいたものと思われる．

スサビノリとスケレトネマに対する NH_4-N の影響を比較すると，スサビノリの重量増加率は 8 mg/l 以上で減少したが，32 mg/l 区でも 6 日間の培養で約 30%の増加を認めた（Table 7）．

一方，スケレトネマの細胞数は 4 および 8 mg/l 区で 6 日後に当初の 39 倍に増加したが，12 mg/l 以上では急激に減少し，32 mg/l 区では実験開始時の半数以下となつた（Table 6）．両者の N・P 取込量も同様の傾向を示した．

すなわち，スサビノリとスケレトネマはいずれも NH_4-N 濃度が 10 mg/l を超えると生育が阻害されるが，高濃度域ではスケレトネマの方が影響を受け易いことが明らかになつた．

要　　約

博多湾の N，P は主に下水処理場放流水や湾底泥から供給される．本研究では，冬季における主要養殖対象藻類であるスサビノリを中心とし，その競合藻類であるアオノリとアナアオサならびに珪藻プランクトンスケレトネマによる放流水および湾底泥由来の N・P の利用性について検討した．

1. スサビノリ，アオノリおよびアナアオサは，いずれも NO_3-N よりも放流水および湾底泥由来の NH_4-N をよく利用した．藻体増重量はアオノリが最も高く，スサビノリの約 2 倍の値を示したが，両者の N・P 取込量の差は殆ど見られなかつた．アナアオサのそれらは三者の中でいずれも最低であつた．

2. 10°C の低温においても 4 日間の培養によるスケレトネマの増重量，N および P の取込量は，スサビノリに比べてそれぞれ 15 倍，6 倍および 12 倍の大きな値を示した．

3. スサビノリは，培地中の栄養塩が充分であれば，スケレトネマが共存し増殖しても，その生長を阻害されなかつた．

4. スサビノリの生長は人工培地の NH_4-N 濃度が 8 mg/l 以上で，またスケレトネマの増殖は 12 mg/l 以上で阻害されたが，NH_4-N 濃度がさらに高まつた場合，スケレトネマの増殖が急激に減少し，32 mg/l では死滅したのに対して，スサビノリは 32 mg/l でも正常培地の約 1/2 の生長を示した．

5. スサビノリに対する NH_4-N の毒性は，放流水添加培地では NH_4Cl 添加培地に比べてかなり弱まり，14 mg/l でも NO_3 塩を N 源とする基準培地とほぼ同程度の生長が認められた．

文　　献

APHA, AWWA, WPCF 1975 *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 14th ed., Amer. Public Health Assoc., Inc.

Doig, M. T. III and D. F. Martin 1974 The response *Gymnodinium breve* to municipal waste materials. *Mar. Biol.*, **24**: 223-228

Dunstan, W. M. and D. W. Menzel 1971 Continuous cultures of natural populations of phytoplankton in dilute, treated sewage effluent. *Limnol. Oceanogr.*, **16**: 623-632

Iwasaki, H. 1965 Nutritional studies of the edible seaweed *Porphyra tenera* I. *Plant and Cell Physiol.*, **6**: 325-336

小林邦男・今田信良・大嶋雄治 1985 内湾性植物プランクトンの増殖に及ぼす下水処理場放流水およ

び湾底泥の影響.九大農学芸誌, 39 : 143-151
真鍋武彦 1976 赤潮プランクトンによ a 赤潮防止技術.環境技術, 5 : 784-790
丸山俊朗・三浦昭雄・吉田多摩夫 1985 静置培養にお If る養殖ノリの生育に及ぼす都市下水処理水の影響.日水誌, 51 : 315-320
Miller, W. E. and T. E. Maloney 1971 Effects of secondary and tertiary wastewater effluent on algal growth in lake-river system. *J. Wat. Pollut. Cont.* Fed., 43: 2361-2365
中谷 茂・下茂 繁 1962 アサクサノリ培養のための培地および培養槽について.農電研報告, 62001
岡市友利 1983 赤潮に関する生物環境学的研究.日本海洋学会誌, 39 : 267-278
Sakshaug, E. 1977 Limiting nutrients and maximum growth rates for diatoms in Narragansett bay. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 28:* 109-123
Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons 1972 A *Practical Handbook of Seawater Analysis.* Fish. Res. Boad Can., Ottawa
富山哲夫・石尾真弥・小林邦男・大庭信良・中川久機 1968 福岡市中部下水処理場放流水の湾内水産生物に対する影響調査. 九大農水産化学第一教室報告
Uno. S., Y. Sakai and K. Yoshikawa 1983 Distribution of *Ulva pertusa* and amount of nitrogen in Yamaguchi Bay. *Jap. J.* Phycol., 31 : 148-155
山田真知子・武居 薫・鶴田新生 1982 数種海産植物プランクトンの増殖に及ぼす染料排水などの影響.日水誌, 48 : 1453-1456

Summary

The main sources of nitrogen and phosphor& in Hakata Bay are the effluent from the sewage disposal plants and the bay sediments. The present paper deals with the utilization of nitrogen and phosphorus which are contained in the effluent from Fukuoka Eastern Sewage Disposal Plant and released from the sediment in Hakata Bay by an important laver in fishery, *Porphyra yezoensis* and its competitors such as green lavers *Enteromorpha* sp. and *Ulva pertusa* and also a diatom *Skeletonema costatum*.

1. All lavers used in the experiment utilized NH_4-N from the effluent and bay sediment rather than NO_3-N in the standard medium. The weight increment of *Enteromorpha* sp. was the highest among the tested lavers corresponding to about twice that of F! *yezoensis,* but no difference was observed in absorption of N and P between both lavers. Those of *U. pertusa* were the lowest among the lavers used.

2. Although the growth of *S. costatum* decreases with lowering temperature, its weight gain and the absorbed amounts of N and P were much larger as compared with those of *P. yezoensis* even at 10°C, corresponding to 15, 6 and 12 times, respectively.

3. The growth of *P. yezoensis* was not affected by S. *costatum* coexisting in the same media, when the amounts of nutrients in the media were sufficient.

4. The growth of *P. yezoensis* and S. *costatum* was inhibited with the increase of NH_4-N level in media more than 8 mg/*l* and 12 mg/*l*, respectively. However, S. *costatum* was more affected by the high level of NH_4-N than *P.* yezoensis, resulting in the rapid decrease of cell number and the death of almost all cells at 32 mg/*l* after 4 days culture, whereas in the same medium *P. yezoensis* showed the growth ca. half that in the standard medium (NO_3-N) after 3 days.

5. The toxicity of NH,-N to *P. yezoensis* in the effluent media was lower than that in the artificial media which contain NH_4Cl as N-source, resulting in the almost same growth even at 14 mg/*l* of NH_4-N with that in the standard media containing $NaNO_3$ as N-source.