

室戸海洋深層水の特性把握及び機能解明に関する研究

物質収支に関する研究

漁場漁場環境科 森山貴光・荻田淑彦・石川徹

1. 研究目的

海洋深層水を生物生産の場で、多段的、有効に利用するため、深層水を用いた生物生産過程における窒素、リンの収支に関する研究を行い、高度利用する技術について検討する。

2. 研究方法

容量30Lの小型水槽を用い、平成11年度に海洋深層水研究所において行った有用紅藻(トゲキリンサイ)および魚類(ヒラメ)の流水式、多段的飼育・培養試験を、より実用規模に近い200~500L水槽を用いて行い、収容生物の増重と各水槽における溶存態窒素、リンの濃度の変化を調べた。水槽は最上段から、深層水を所定水温(18℃)まで電気ヒーターにより加温させる昇温槽、トゲキリンサイを収容した藻類第1槽、陸上養殖の適種とされるヒラメを収容した魚類槽(いずれも容量500Lの角形水槽)、魚類飼育によって生じる懸濁物の除去とアンモニア態窒素の硝酸態窒素への硝化を図る硝化槽(容量200Lの円形水槽、合成樹脂製濾材充填、通気)およびトゲキリンサイを収容した藻類第2槽(容量500Lの角形水槽)の順に配置した。また、前年度試験において試験装置の最終排水における溶存態窒素、リンの濃度が注水される深層水の濃度を上回る結果となったことから、上記の水槽配列の後部に窒素、リンの吸収量が多く、生長の優れた不稔性アオサを収容した30L角形プラスチック水槽、10槽を階段状に配置、さらに飼育・培養水槽で活発な増殖が認められる付着珪藻の培養装置(口径40mm、長さ1.0mの塩ビ製パイプ20本を連結)を配置し、排水中の窒素、リンの回収を目指した(図-1)。

供試生物のうちトゲキリンサイおよびヒラメは海洋深層水研究所において飼育・培養したもので、前者は天然株、後者は人工種苗を養成したもの、また不稔性アオサは水産試験場で培養した天然株である。試験装置の各水槽における溶存態窒素、リンの濃度測定は前年度に準じ、採水後、ミリポアーフィルター

(0.45 μ)で濾過、冷凍保管したものを、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素およびリン酸態リンについては海洋観測指針(気象庁, 1985)、総窒素および総リンについてはペルオキシ2硫酸カリウム分解による定量法によりTraacs800を用いて行った。

3. 研究成果および考察

試験装置への深層水の注水量は前年度との比較、ヒラメの収容量を勘案し、3L/minとした。各水槽の換水率ならびに平成13年1月24~25日に実施した連続調査時の収容量等を表-1に示した。

(1) 飼育培養生物の重量変化

試験装置において溶存態窒素、リンの負荷側に位置するヒラメは平成12年8月18日に18尾、合計3.1Kgを放養、週5回、配合飼料の飽食給餌を行った。収容後は順調な増重を続け、約50日後の10月12日には平均体重237g、総重量4.3kg、約100日後の11月28日には平均体重288g、総重量5.2kg、約150日後には放養時の2倍を上回る平均体重352g、総重量6.7kgに成長した(図-2)。

一方、溶存態窒素、リンの吸収側に位置するトゲキリンサイについては予備培養が不調で十分な量が得られなかったため、11月中は水質が良好と判断される藻類第1槽に全量(3.1kg)を収容し増重を図った。この結果、収容後約3週間は増重が認められ総重量は3.6kgとなったが、以後はやや重量を減じ、12月6日の総重量は3.3kgとなった。同日、2.0kgを藻類第1槽に、1.3kgを藻類第2槽に収容したが重量の減少は両槽において依然として続き、1ヶ月後の1月上旬の重量はそれぞれ1.6kg、および0.9kgとなった(図-3)。また、不稔性アオサは11月7日に各槽190g、合計1.9kgを収容した結果、収容当初は各槽とも僅かながら増重が認められ、3週間後には合計重量は2.1kgとなったがトゲキリンサイ同様、以後は減少に転じ、2ヶ月

後の1月7日の合計重量は収容時の70%を下回る1.3kgとなり藻体の褪色、劣化が生じた。このため1月11日にはすべてを回収、新たに各槽100g、合計1.0kg

を収容したが11月収容株と同様に約3週間増重した後、急激に重量を減じ1.5月後の2月21日の総重量は収容時の80%を下回った(図-4)。

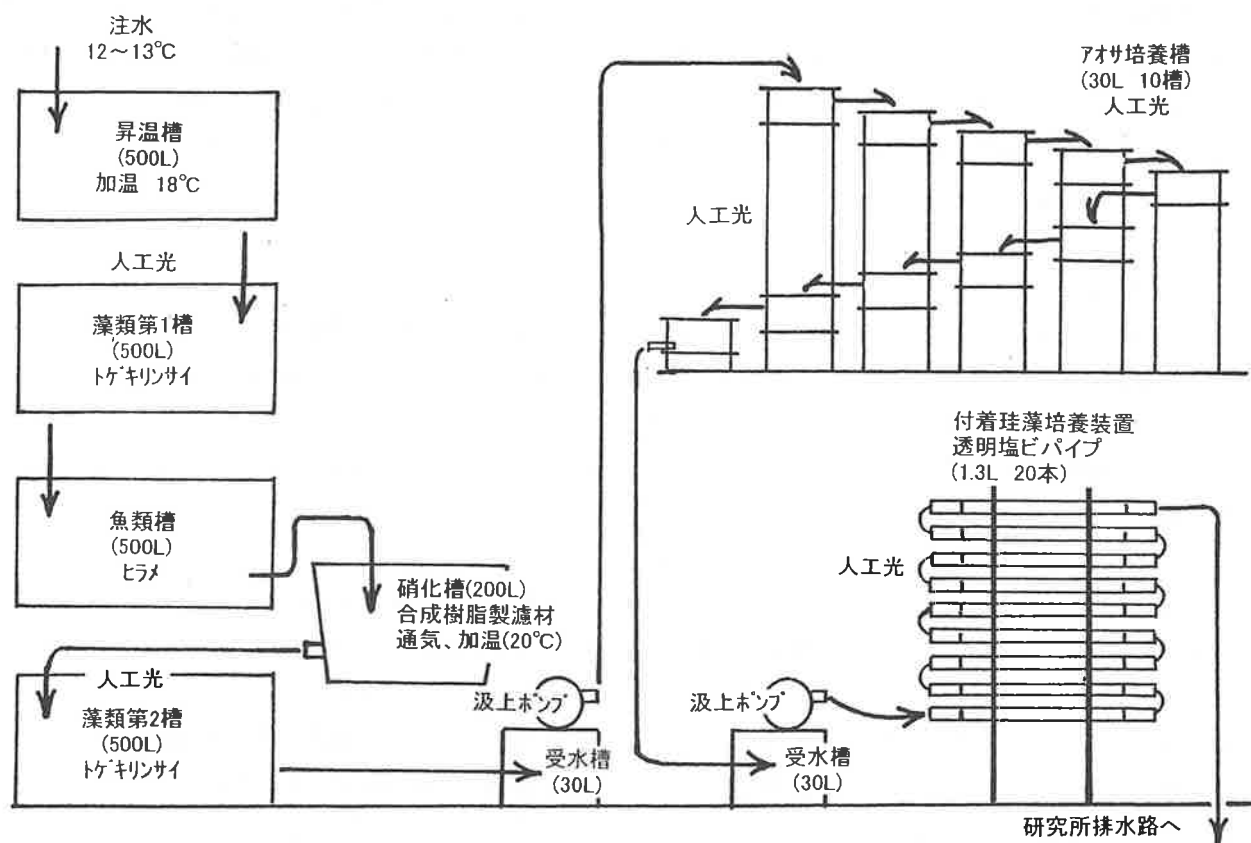


図-1.飼育・培養装置の概要

表-1. 連続調査時の生物収容量と注水量等

Date:2001.1.24-25

水槽名	収容 生物名	水槽容量 (L)	個数	総容量 (L)	注水量 (L/min)	収容量 (g/水槽)	収容量 (Kg/トン)	換水率 (回/日)	備考
昇温層			1	500	3			8.6	
藻類第1槽	トゲキリンサイ	500	1	500	3	1,646	3.3	8.6	
魚類槽	ヒラメ	500	1	500	3	7,100	14.2	8.6	
硝化槽		200	1	200	3			21.6	
藻類第2槽	トゲキリンサイ	500	1	500	3	814	1.6	8.6	
アオサ槽	アオサ	30	10	300	3	1,459	4.9	14.4	*1:10槽合計値
					3			144.0	*2:1水槽あたり
珪藻培養装置		1.3	20	26	3			166.2	

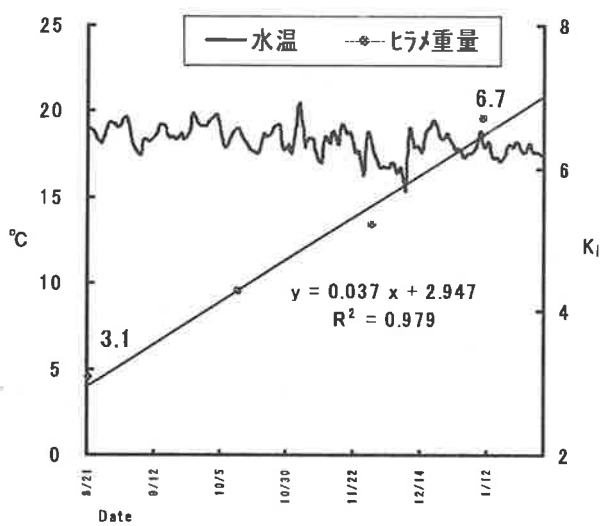


図-2. ヒラメの増重と飼育水温

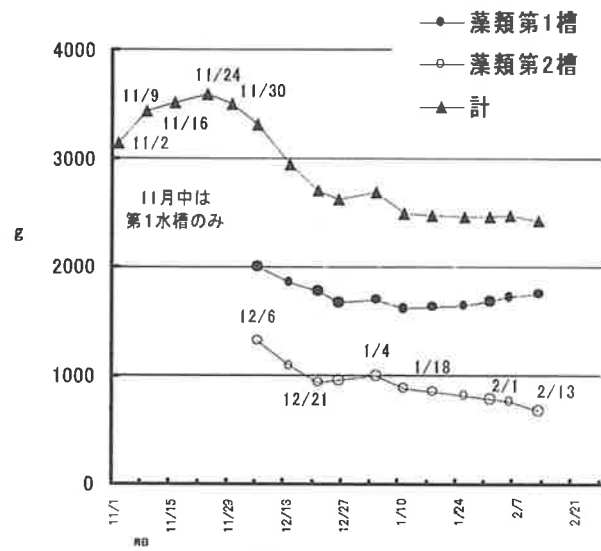
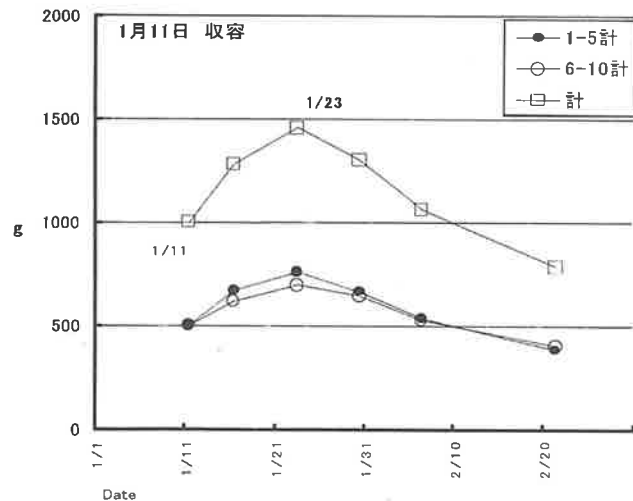
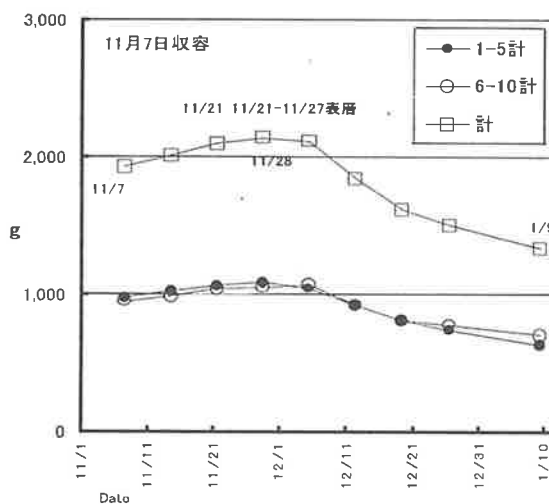
図-3. トゲキリンサイの重量変化
('00.11.2-'01.2.13)

図-4 不穏性アオサの重量増加

(2) 各水槽における溶存態窒素、リン濃度の変化
すべての生物が収容された1月24日～25日、各水槽における溶存態窒素、リンの濃度変化を知るため2時間毎、計12回の連続調査を実施した。調査結果のうち総窒素(TN)濃度の平均値の変化についてみると、藻類第1槽では収容されたトゲキリンサイによる吸収により注水に比べ約 $3\mu\text{mol}$ の低下が認められたが、魚類槽ではヒラメ飼育による負荷のため一挙に $24\mu\text{mol}$ 上昇し $50.05\mu\text{mol}$ となった。さらに硝化槽でも僅かながら上昇が認められ、藻類第2槽中でのトゲキリンサイの吸収による濃度低下は認められるものの、同槽排水の濃度は装置に注水される深層水の濃度の約1.8倍($50.66\mu\text{mol}$)となった。藻類第2槽排水中のこの様な高濃度の溶存態窒素、リンを回収するため同槽後部に配置した不稔性アオサ培養槽および珪藻培養装置では、これ等藻類による吸収と考えられる濃度低下が認められ、試験装置の最終排水における濃度は藻類第2槽の排水濃度を $12\mu\text{mol}$ 下回ったが、装置に注水される深層水の濃度に比べると約1.3倍の高濃度となった(図-5)。

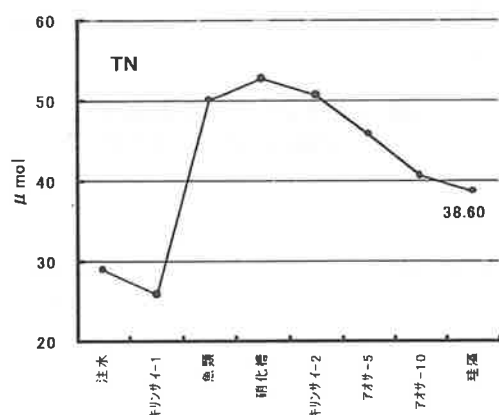


図-5. TN 濃度推移

一方、総リン(TP)濃度の平均値についてみると総窒素同様、藻類第1槽における濃度低下、魚類槽および硝化槽における上昇がみとめられ、硝化槽排水の濃度は注水される深層水の2.6倍($4.45\mu\text{mol}$)に達した。藻類第2槽以降の各水槽においては総窒素同様、収容藻類の吸収による濃度低下が認められたが、その傾向は総窒素に比べ緩やかで、試験装置の最終排水における濃度は注水される深層水の濃度の約2.3倍($3.96\mu\text{mol}$)となった(図-6)。

上記の溶存態窒素のうちアンモニア態窒素、亜硝

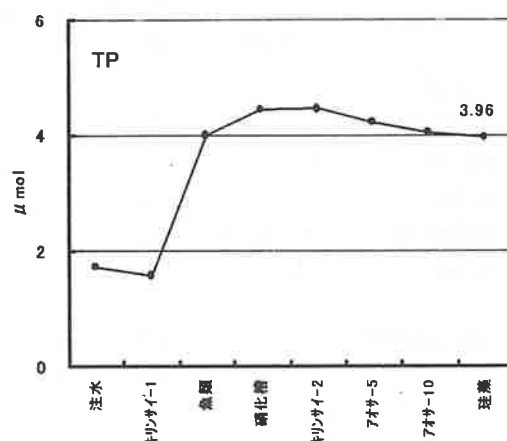


図-6. TP 濃度推移

酸態窒素および硝酸態窒素のいわゆる3態窒素については、過去の試験結果から各水槽における濃度変動の大きなことが判明している。今回の連続調査においてもアンモニア態窒素の濃度(12回調査の平均値、以下同様)は魚類槽で急激に上昇し、注水される深層水の濃度の約30倍($16.51\mu\text{mol}$)となったが、硝化槽では大幅に低下し、魚類槽の値の約40%($6.96\mu\text{mol}$)となった。さらに同槽後部に配置した藻類第2槽、アオサ培養槽、珪藻培養器においても濃度の低下が認められ、最終排水における濃度は魚類槽の約10%($1.70\mu\text{mol}$)にまで低下したが、注水される深層水の濃度に比べると $1.19\mu\text{mol}$ 高い値となった(図-7)。

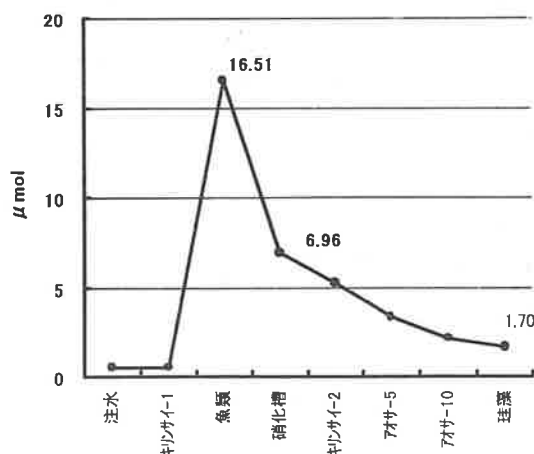


図-7. NH4-N 濃度推移

一方、藻類による吸収が行われる硝酸態窒素の濃度についてはトゲキリンサイの吸収による $2.69\mu\text{mol}$ の低下が藻類第1槽において認められたが、硝化槽で

は急激に上昇し注水される深層水の約1.4倍(31.38 μmol)となった。しかしながら同槽に続く藻類第2槽、アオサ培養槽および珪藻培養器においては収容藻類の吸収によるものと考えられる濃度の低下が認められ、最終排水における濃度(23.52 μmol)は硝化槽排水の75%、注水される深層水とほぼ同レベルの濃度となった(図-8)。

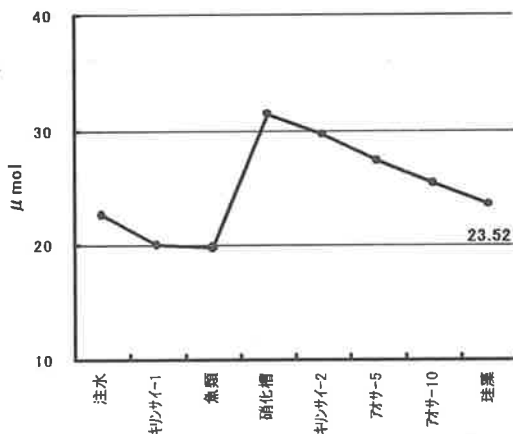


図-8. NO3-N 濃度推移

また、亜硝酸態窒素濃度は硝化槽で急激に上昇し、魚類槽の濃度の約9倍(6.83 μmol)となった。同槽以降に配置された藻類第2槽、アオサ培養槽および珪藻培養装置では硝酸態窒素同様、濃度低下が認められたが、その傾向は緩やかであり、最終排水における濃度は魚類排水の約7倍、注水される深層水の濃度の約10倍にも達した(図-9)。

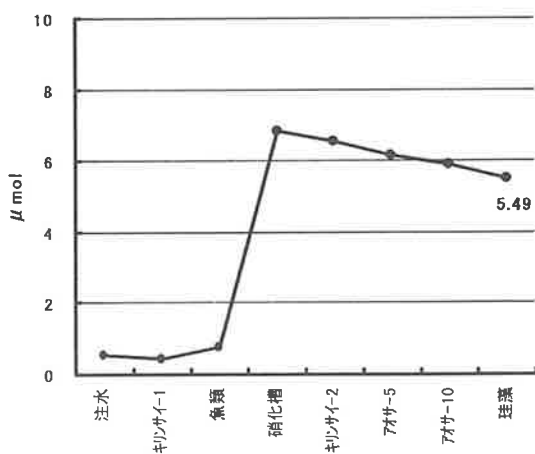


図-9. NO2-N 濃度推移

さらに、これら3態窒素の変動を昼夜間別にみると、昼間の藻類による硝酸態窒素、亜硝酸態窒素の吸収が明瞭で、特に硝酸態窒素の最終排水における濃度

(16.55 μmol)は夜間のその60%、注水に比べ6.81 μmol も低い濃度となった(図-10-1～3)。

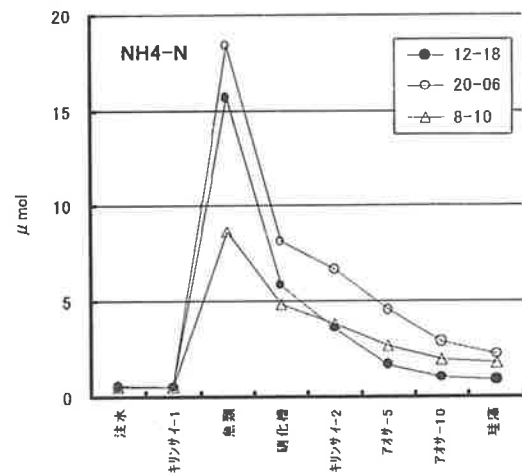


図-10-1. NH4-N 濃度の時間帯別比較

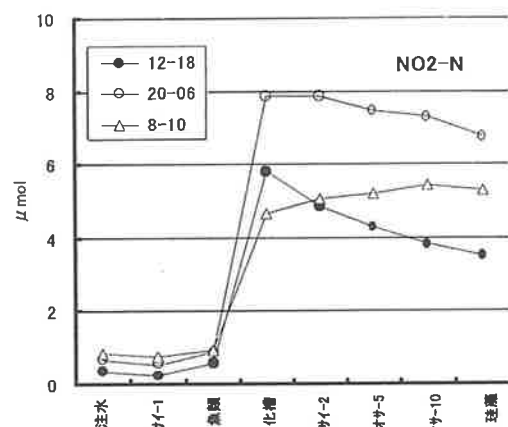


図-10-2. NO2-N 濃度の時間帯別比較

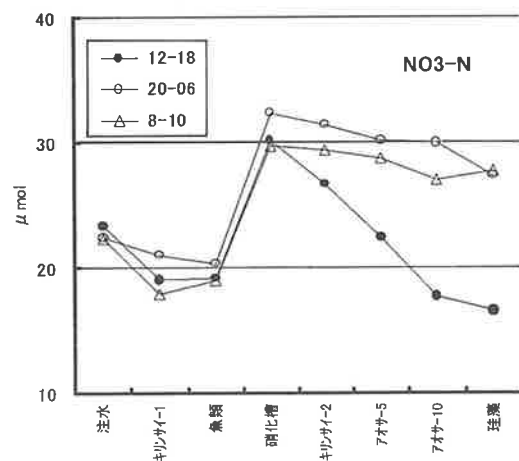


図-10-3. NO3-N 濃度の時間帯別比較

(3) 収容生物による溶存態窒素、リンの負荷、吸収

2時間毎、計12回の連続調査の結果から各水槽の注水部と排水部における溶存態窒素、リン濃度の差(平均値)について見ると、試験装置の負荷側に位置する魚類槽では総窒素(TN)、総リン(TP)のいずれの濃度も排水部が注水部を上回り、総窒素では注水される深層水の濃度に匹敵する $24.16 \mu\text{mol}$ 、総リンでは約40%も上回る $2.24 \mu\text{mol}$ の濃度が増加した。また、硝化槽においても総窒素では $2.68 \mu\text{mol}$ 、総リンでは $0.45 \mu\text{mol}$ と、魚類槽に比べると低い値ではあるが、排水部における濃度が注水部における濃度を上回った。これに対し、吸収側に位置する藻類第1槽および第2槽では総窒素、総リンのいずれもが排水部の濃度が注水部を下回ったが、トゲキリンサイの収容量に対応し、藻類第1槽における値が第2槽の値を上回った。さらに第2槽排水中の溶存態窒素、リン回収を目指して配置した不稔性アオサ培養槽、珪藻培養装置においても総窒素、総リンの濃度は低下し、これ等の藻類による吸収が認められた。特にアオサ培養槽(10槽合計値)はトゲキリンサイを収容した藻類第1槽に比べ総窒素では3.4倍、総リンでは2.9倍の高レベルの濃度低下が認められ、同種による溶存態窒素、リン回収の有効性が示唆された(図-11、12)。

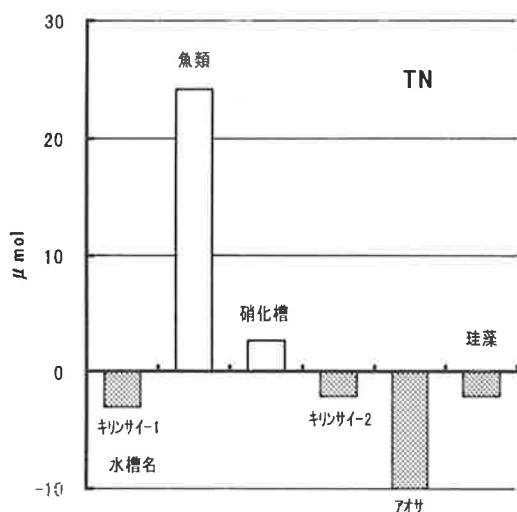


図-11 各水槽の注排水部における濃度差(TN)

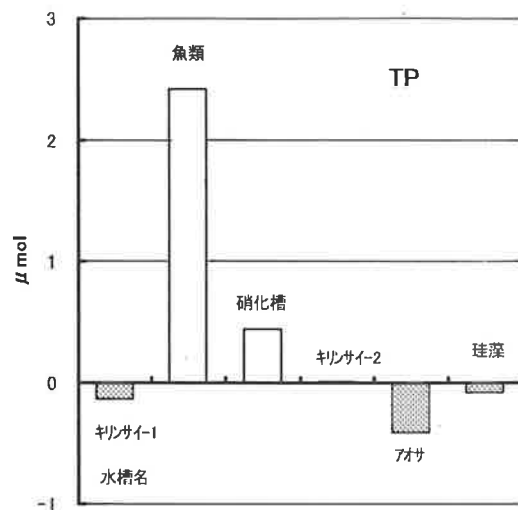


図-12. 各水槽の注排水部における濃度差(TP)

これ等の注排水部における濃度差と各水槽における収容量から各生物による単位重量当たりの溶存態総窒素、総リンの負荷、吸収量を試算した結果、ヒラメによる負荷量は総窒素では 8.57mg/kg/hr 、総リンでは 1.90mg/kg/hr となり、前年小型水槽を用いて行った試験によって得られた値とほぼ同レベルとなった。一方、トゲキリンサイによる吸収量では総リンは前年度とほぼ同レベルの値となったが総窒素は前年の約4倍の高い値となった。また、藻類第2槽後部に配置したアオサの吸収量はトゲキリンサイの吸収量に比べ総窒素では約3倍、総リンでは約6倍に達する値となり、特に総窒素の値はヒラメによる負荷量を上回った(表-2)。

表-3.試験装置の最終排水濃度と装置外への負荷量

		H13.1	H12.1	H12.3
魚類の 収容状況	注水量 (L/min)	3.0	1.0	0.1
	換水率 (回/日)	8.6	57.6	5.8
	飼育重量 (kg)	7.1	0.4	0.5
	収容量 (kg/ton)	14.2	16.0	21.8
TN	注排水濃度差	9.76	9.35	63.50
	総負荷量 (mg/day)	590.0	188.5	128.0
	魚類単位重量当たり (mg/kg/day)	83	471	256
TP	注排水濃度差	2.23	0.87	5.36
	総負荷量 (mg/day)	299.3	38.7	23.9
	魚類単位重量当たり (mg/kg/day)	42.1	96.8	47.8
NH4-N	注排水濃度差	1.19	1.82	0.13
	総負荷量 (mg/day)	72.1	36.8	0.3
	魚類単位重量当たり (mg/kg/day)	10.2	92.0	0.5
NO2-N	注排水濃度差	4.93	0.46	1.24
	総負荷量 (mg/day)	298.4	9.4	2.5
	魚類単位重量当たり (mg/kg/day)	42.0	23.4	5.0
NO3-N	注排水濃度差	0.84	2.82	55.27
	総負荷量 (mg/day)	50.9	56.8	111.4
	魚類単位重量当たり (mg/kg/day)	7.2	142.1	222.8

表-2 飼育・培養生物によるTN,TP負荷、吸収量の試算

2001.1.24-25

	注水量 (L/min)	水槽容量 (L)	換水率 (回/日)	収容量(kg)	収容密度 (Kg/トン)	TN (mg/kg/hr)	TP (mg/kg/hr)	備考
ヒラメ	3.0	500	8.6	7.1	14.2	8.57	1.90	
トゲキリンサイ	3.0	500	8.6	1.23 *1	2.5	-5.59	-0.24	*1: 平均値
アオサ	3.0	300	14.4	1.46 *2	4.9	-16.94	-1.52	*2: 合計値

	注水量 (L/min)	容量 (L)	本数	全容量 (L)	換水率 (回/日)	TN (mg/kg/hr)	TP (mg/kg/hr)	
付着珪藻	3.0	1.3	20	26	166.2	-5.15 -0.26	-0.46 -0.02	1本当たり

(4) 試験装置の最終排水における溶存態窒素、リン濃度と装置外への負荷量

藻類、魚類の収容量と溶存態窒素、リン濃度の分析結果から、連続調査時の試験装置の装置外への溶存態窒素、リン負荷量を試算した(表-3)装置は深層水の富栄養性を利用して有用紅藻トゲキリンサイを培養するとともに、清浄性、恒温性を利用して陸上養殖の適種であるヒラメ飼育を試みたものであるが、ヒラメ飼育による溶存態窒素、リンの負荷量は多く、不稔性アオサおよび付着珪藻の培養による回収を目指したものの、排水部における溶存態濃度は注水される深層水の濃度を総窒素で $9.76 \mu\text{mol}$ 、総リンで $2.23 \mu\text{mol}$ 上回った。しかしながら、ヒラメの単位体重当たりの装置外への負荷量を、小型水槽を用いて行った前年度試験の結果と比較すると、総窒素および総リンのいずれも前年度結果を下回り、本年、試みた不稔性アオサおよび付着珪藻の培養による回収の有効性は確認された。一方、装置外に負荷される溶存態窒素中の3態窒素について見ると、アンモニア態窒素量および硝酸態窒素量はいずれも前年度結果を下回ったが、亜硝酸態窒素量は大幅に上回った。多量の亜硝酸態窒素の装置外への負荷は、魚類飼育によって生じるアンモニア態窒素を硝酸態窒素に変換(硝化)させる硝化槽の機能が不十分で、亜硝酸態窒素の濃度を大幅に上昇させたことによるものと判断された。さらに増加した亜硝酸態窒素はトゲキリンサイ、不稔性アオサの増重を妨げ、溶存態窒素、リンの回収能力を低下させた可能性も考えられ、流水

式の飼育・培養装置における硝化槽の機能確立の困難性が再確認された。

4. 参考文献

- [1] 山口光明等：海洋深層水による大型海藻類の培養、月刊海洋、26、3(1994)
- [2] 上野幸徳等：深層水によるメダイの飼育について、月刊海洋、26、3(1994)
- [3] 丸山俊朗等：養魚排水の現状と水域への負荷、日水誌、64(2)、(1998)
- [4] 谷口道子等：紅藻類の培養に関する研究、平成11年度地域先導研究 研究成果報告書「室戸海洋深層水の特性把握および機能解明」、高知県産業振興センター、(2000)