

「物質収支に関する研究」

漁場環境科 森山貴光・荻田淑彦・石川 徹

1. 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. 方 法

平成10年度に海洋深層水研究所の飼育・培養水槽において実施した溶存態窒素、リン濃度調査の結果から、魚類飼育による溶存態窒素、リンの負荷（増加）、藻類による吸収（減少）が明らかとなった。本年度はこれ等の生物毎の窒素、リンの負荷、吸収能力を組み合わせ、海洋深層水を有効利用する生物生産システム開発のための知見を得るため、小型水槽による多段式飼育・培養装置を作製し、試験を行った。用いた水槽は30Lアクリル円形水槽（パンライト水槽）で、これを階段状に配置し、最上段から藻類、魚類、懸濁物の除去、アンモニア態窒素の硝化のための合成樹脂製濾材、藻類の順に収容し深層水を注水する流水式の装置とし、各水槽の注排水部における溶存態窒素、リン濃度の測定を行うとともに収容生物の重量変化をみた（図-1）。また、表層水を注水する同様の配列の飼育・培養装置を併せて作製し、合成樹脂製濾材の硝化能力の比較を行った。供試生物のうち藻類は有用藻として大量培養法の開発が進められている紅藻類のキリンサイ、魚類は陸上養殖の適種とされるヒラメで、前者は海洋深層水研究所で培養中の天然株、後者は栽培漁業センターで孵化、養成した人工種苗である。各水槽の注排水部における溶存態窒素、リンの濃度測定については平成10年度に準じ、採水後、直ちにミリポアフィルター（0.45 μ ）で濾過、冷凍保管したものを水産試験場に持ち帰り、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硫酸カリウム分解法によりTraacs800を用いて行った。

3. 結果および考察

1) 生物濾過槽（硝化槽）の機能変化

魚類の陸上養殖においては、近年、排水による周辺環境の悪化防止と節水のため、合成樹脂等の濾材に自然海域に存在する硝化細菌を増殖させた生物濾過槽（硝化槽）を設け、懸濁物の除去に加え、多量に発生するアンモニア態窒素を硝酸態窒素に変換（硝化）する手法が拡がりつつある。

深層水を利用した多段的な生物生産システムの開発にあたっては技術的な蓄積と経済性から魚類養殖をシステムの一部として組み込むことが必要と考えられるが、飼育に伴う水質の悪化は不可避な現象である。このため本年度の研究においては合成樹脂製濾材を水槽に充填し、曝気を行う一般的な生物濾過槽を魚類槽の次に配置し、その硝化機能の変化をみた。

深層水並びに表層水の生物濾過槽を含む多段式飼育・培養装置は7月15日に海洋深層水研究所の実験棟内に設置し、約1.5月、毎分1Lの流量で流水状況を保った後、深層水系の魚類槽にはヒラメ稚魚9尾（総重量384g）を、表層水系の魚類槽には海洋深層水研究所近辺で採捕したメジナ稚魚8尾（357g）を放養し、生物濾過槽におけるアンモニア態窒素および硝酸態窒素の濃度変化をみた。その結果、表層水系の生物濾過槽ではアンモニア態窒素濃度の減少、硝酸態窒素濃度の増加が認められたが、深層水系の生物濾過槽では逆にアンモニア態窒素濃度の増加、硝酸態窒素濃度の減少が認められた。この傾向は設

置後3ヶ月を経た10月14日にも認められたため、曝気量の増加、注水する深層水の加温（18℃）を行ったが、12月上旬（設置後4.5月）にも依然として十分な硝化機能は認められなかった。このため海洋深層水由来の硝化細菌による生物濾過槽の機能確立は困難と判断し、既に十分な機能が認められている表層水系の濾材の一部を深層水系のそれに組み込んだ（接種した）結果、約3週間を経た12月27日には表層水系同様、アンモニア態窒素濃度の減少と硝酸態窒素濃度の増加が認められ、生物濾過槽における硝

化機能が確認された（図-2）。

2) 各水槽における溶存態窒素、リン濃度の変化

生物濾過槽の機能確立が認められたことから、各水槽における溶存態窒素、リン濃度を知るため、1月12～13日に3時間毎、計7回、3月9～10日には2時間毎、計12回の連続調査を行った。これ等2回の連続調査における生物の収容状況および各水槽における水温、PH等の飼育環境は表-1、2のとおりであった。

表-1 供試生物の収容状況

水槽名	収容 生物名	収容量 (g/水槽)	水槽 容量(L)	収容密度 (Kg/ト)	注水量 (L/min)	換水率 (回/日)	備考
藻類第1槽	1月 キリンサイ	500	25 ^{*1}	20.0	1.0	57.6	*2
	3月 キリンサイ	460	25	18.4	0.1	5.8	:実容量
魚類槽	1月 ヒラメ	400 ^{*1}	25	16.0	1.0	57.6	*1
	3月 ヒラメ	544	25	18.4	0.1	5.8	:推定値
藻類第2槽	1月 キリンサイ	500	25	20.0	1.0	57.6	
	3月 キリンサイ	460	25	18.4	0.1	5.8	

表-2 連続調査時の注水および各水槽における水温、PH、照度

項目	/ 測定箇所	注水 (深層水)	藻類 第1槽	魚類槽	生物 濾過槽	藻類 第2槽	備考
水温 (℃)	1月 平均	11.8	19.0	18.6	18.2	17.7	
	1月 最高	12.1	19.9	19.4	18.8	18.3	
	1月 最低	11.3	18.2	18.1	17.8	17.1	
	3月 平均	12.8	16.8	14.4	17.9	17.9	
	3月 最高	13.1	18.7	16.1	18.7	18.7	
	3月 最低	12.5	12.4	10.9	16.5	12.2	
PH	1月 平均	7.89	7.93	7.93	8.08	8.08	
	1月 最高	8.14	8.12	8.09	8.16	8.18	
	1月 最低	7.76	7.76	7.79	7.97	7.95	
	3月 平均	8.04	8.19	7.96	8.15	8.20	
	3月 最高	8.10	8.47	8.12	8.23	8.46	
	3月 最低	7.98	8.02	7.88	8.07	8.02	
照度 (lux)	1月 平均		4,840			3,070	
	1月 最高		5,700			4,300	
	1月 最低		3,740			1,580	
	3月 平均		6,020			4,360	
	3月 最高		7,800			6,300	
	3月 最低		4,600			3,100	

2回の連続調査の結果のうち、各水槽における総窒素濃度（平均値）についてみると、藻類第1槽（キリンサイ収容）の値は1月調査では $33.6\mu\text{g-at/L}$ 、3月調査では $19.6\mu\text{g-at/L}$ と1月の値が3月の値を上回ったが、魚類槽では3月の（ $96.1\mu\text{g-at/L}$ ）が1月の値の約2.5倍の高濃度となった。1月に比べ3月の濃度の高い傾向は硝化槽および藻類第2槽においても認められ、3月の濃度は1月のそれに比べ前者で2.7倍、後者で2.3倍となった。また、1月調査では不明瞭であった藻類槽における減少、魚類槽における増加が明瞭に認められたが、最終排水にあたる藻類第2槽の値は装置に注水する深層水のそれに比べ約 $60\mu\text{g-at/L}$ の高い値となった。このような状況は総リン濃度においても認められ、藻類第1槽で3月調査の値が1月のそれを約 $0.9\mu\text{g-at/L}$ 下回ったほかはいずれの水槽においても3月の値が1月の値を大きく上回り、最終排水にあたる藻類第2槽の値は注水部の値を $5.3\mu\text{g-at/L}$ も上回った（図-3）。

また、3月の調査結果から各水槽間の総窒素および総リン濃度の差（平均値）を比較すると、総窒素濃度の減少の認められた水槽は藻類第1槽および第2槽で、その値 $6.2\mu\text{g-at/L}$ および $6.9\mu\text{g-at/L}$ はそれぞれ収容したキリンサイの吸収によるものと判断された。これに対し増加の認められた水槽は魚類槽および硝化槽で、魚類槽の約 $70\mu\text{g-at/L}$ に達する増加は収容したヒラメによる負荷と考えられたが、硝化槽の増加がどのような要因によるものかは不明である。一方、総リン濃度の差についてみると減少が認められた水槽は藻類第1槽、第2槽および硝化槽で、藻類槽における減少はキリンサイの吸収によるものと考えられるが、硝化槽における減少の要因は不明である。さらに、魚類槽では総窒素同様、ヒラメ飼育によって生じたものと考えられる $7.0\mu\text{g-at/L}$ に達する著しい増加が認められた（図-4）。

以上の結果をもとに、収容生物の1日あたりの溶存態窒素およびリンの負荷、吸収量を試算すると、ヒラメ約0.5kgによる窒素負荷量は138mg、キリンサイによる吸収量は藻類第1槽（収容量460g）で12

mg、第2槽（収容量550g）で14mg、収容量合計約1.0kgに対し26mgとなり、藻類第2槽を経て系外に排出される総窒素量は180mgと試算された。同様にして溶存態の総リン量を試算すると、ヒラメによる負荷量は32.5mg、キリンサイによる吸収量は両槽併せて6.5mgとなり、系外に排出される総リン量は30.8mgと試算された。

3) 収容生物の増重

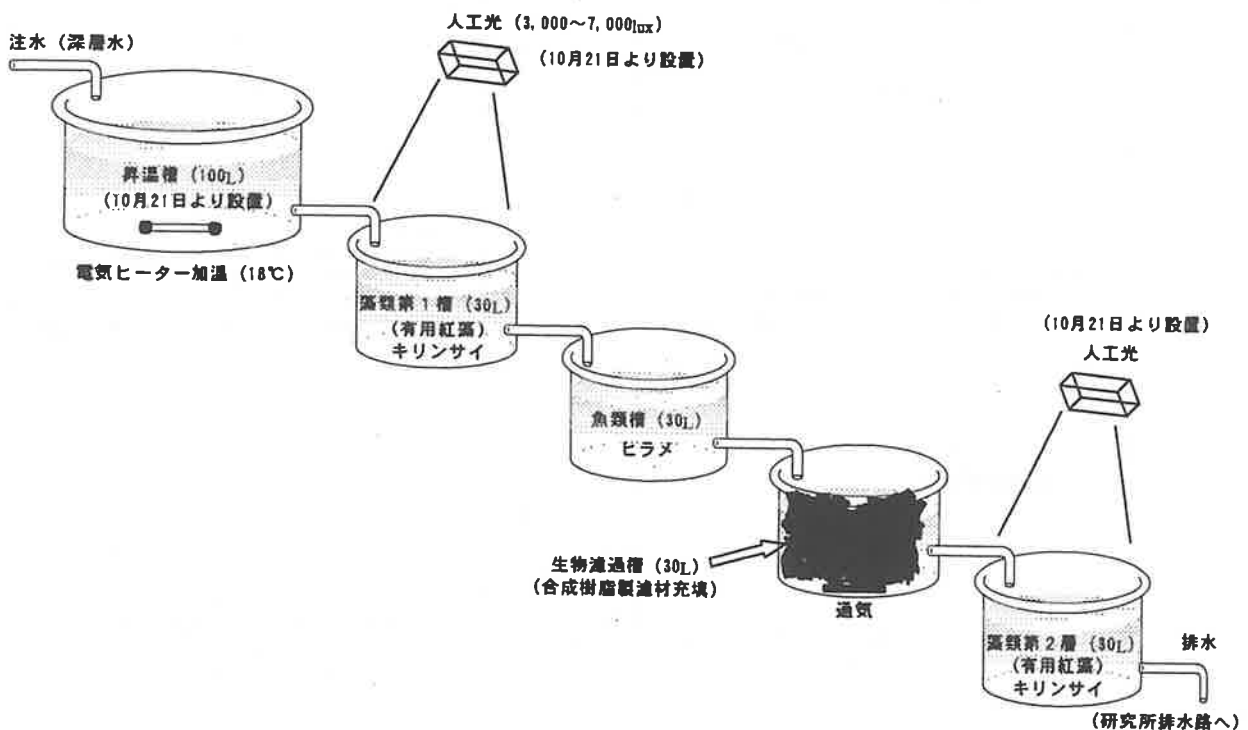
深層水研究所内に設置した飼育・培養装置には11月11日にキリンサイおよびヒラメを収容し、キリンサイについては人工光による照明（10L：14D 3,000～7,000lux）を、ヒラメには市販のドライペレットの飽食給餌（1回/日）を行い、以後の増重をみた。このうちキリンサイについては1ヶ月後に第1槽で18%、第2槽では記述の生物濾過槽の機能が未確立の状態にもかかわらず第1槽を上回る27%の増重（湿重量）が認められ、50日後には第1槽で56%、第2槽では42%の増重が認められた（図-5）。本種については海洋深層水研究所において、加温深層水の流水培養により15%/週の良い増重が認められており、本試験の結果はこれを下回るが、魚類飼育と組み合わせた培養装置での結果として、今後の実用的な多段式生物生産システムの開発のための有用な知見と考えられる。

一方、ヒラメは収容7日後に1尾が水槽から飛び出しへい死したため、連続調査を行った12月27日に改めて5尾、計318gを放養し給餌を続けた結果、50日後には50%を上回る増重が認められた。以後も増重率はやや劣ったものの70日後には70%を上回る増重が認められ、キリンサイ同様、実用的な生産システム開発のための手がかりが得られた（図-6）。

4. 参考文献

- 1) 窪田敏文等：海洋深層水資源の有効利用技術の開発に関する研究（第I期）成果報告書、科学技術庁開発局（1990）
- 2) 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）

- 3) 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)
- 4) 川北浩久等：海洋深層水利用のための基礎調査 (第2報)、高知県工業技術センター研究報告書、26 (1995)
- 5) 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)
- 6) 平岡雅規等：室戸海洋深層水の特性把握および機能解明、紅藻類の培養に関する研究要旨、平成11年度第2回地域先導研究推進委員会資料 (2000)



図一 1 飼育・培養試験装置の概要

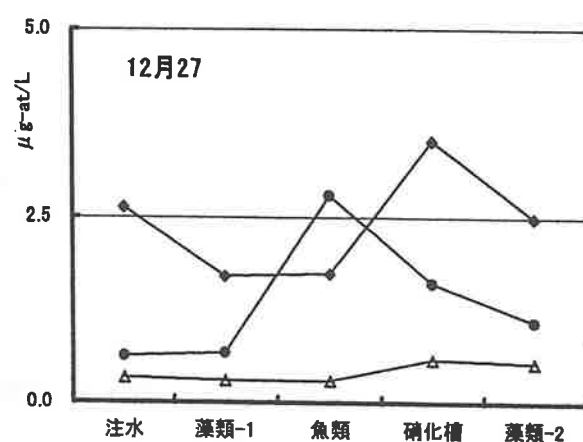
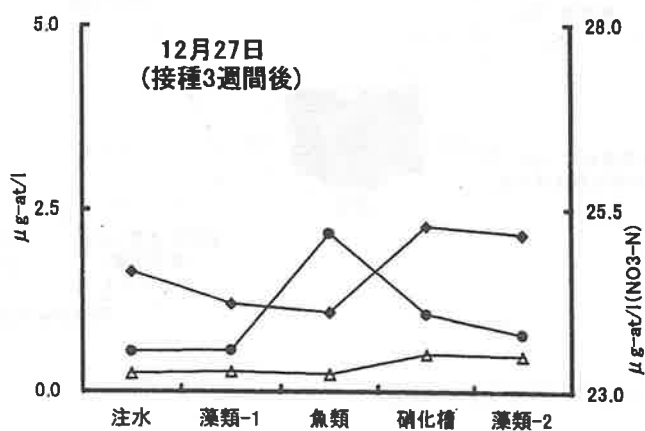
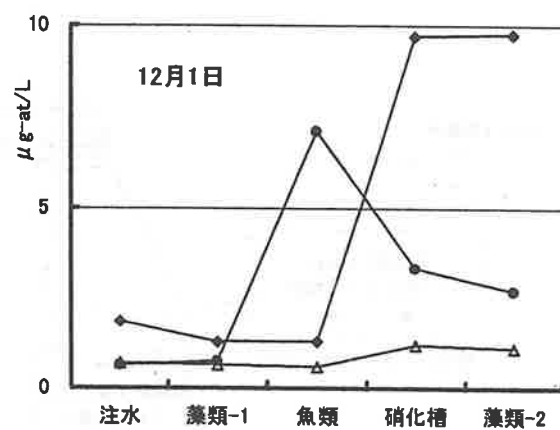
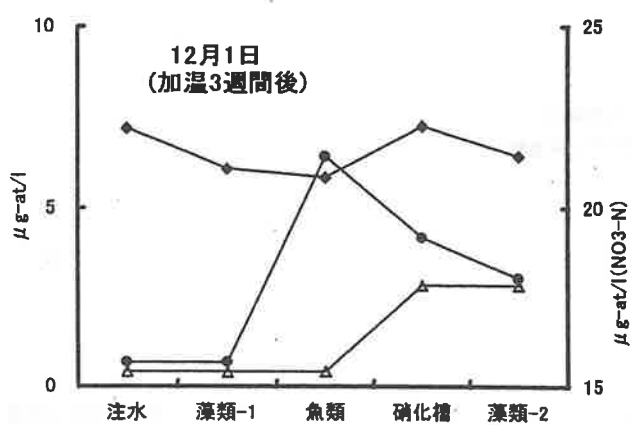
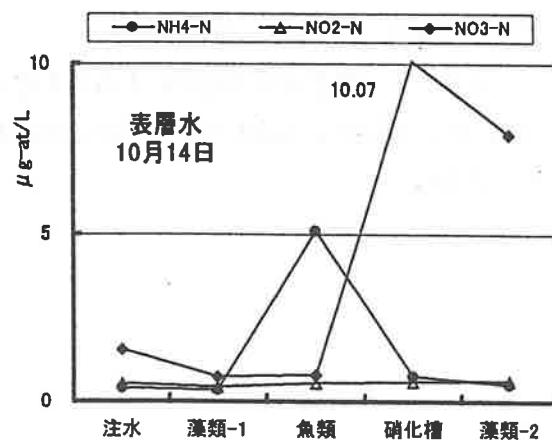
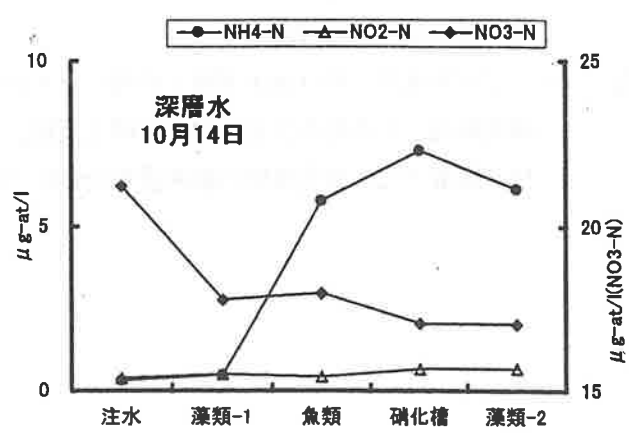


図-2 各水槽における3態窒素濃度の変化

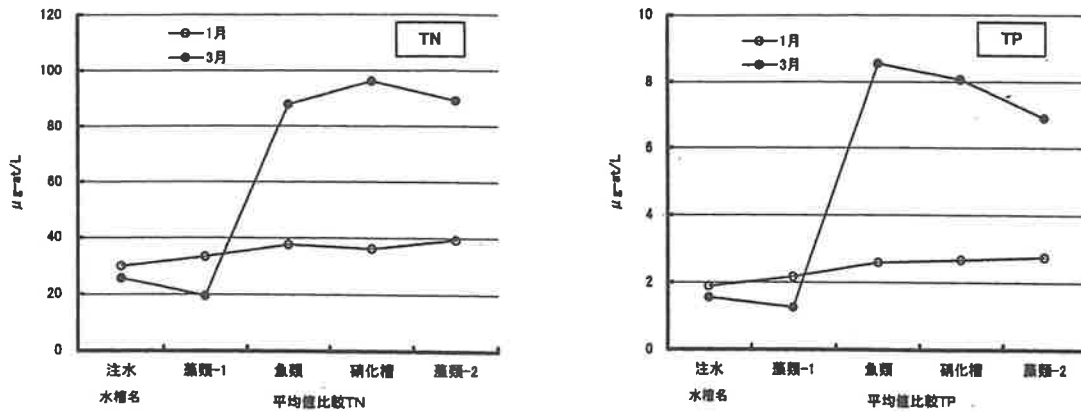


図-3 連続調査における溶存態窒素、リン濃度の推移（平均値）

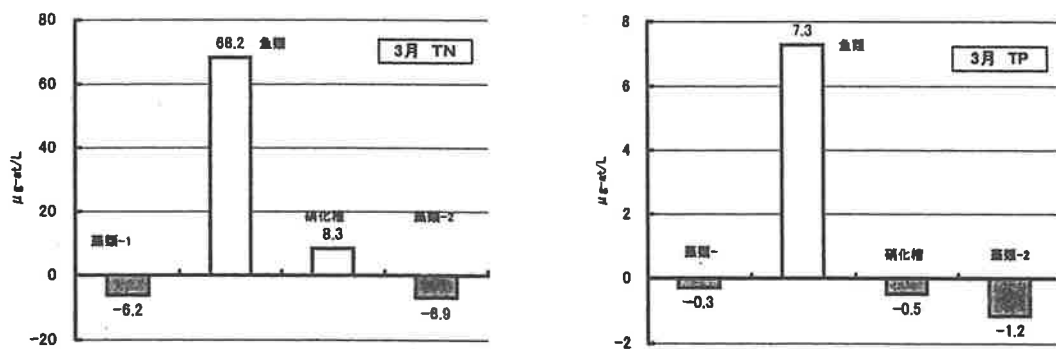


図-4 各水槽における溶存態窒素、リン濃度の変化（3月連続調査：平均）

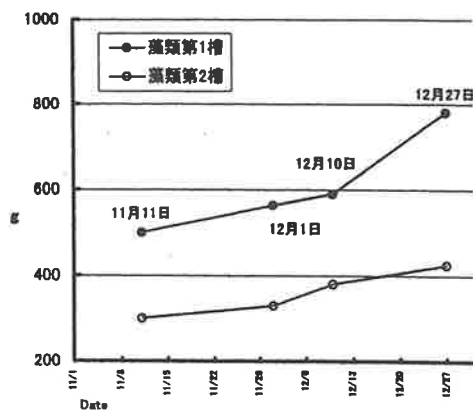


図-5 収容したキリンサイの増重

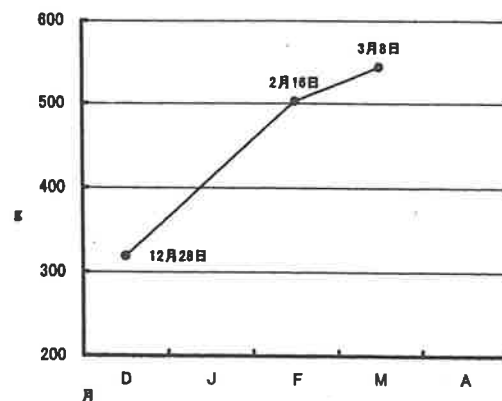


図-6 収容したヒラメの増重