

栽培漁業における水質改善の実証試験

—各種沪材構成と沪過精度の関係—

Improvement of Water Quality on "Aquaculture"

—Water Quality Under Several Filtrations—



(環)環境装置部 計画第一課
北 村 恭 男
Yasuo Kitamura
羽 島 修
Osamu Hajima

In recent years, "Aquaculture" has been growing interested in fishery industry. Because deep-sea fishing industry is regulated by several international laws. The key for success in "Aquaculture" is commercial payability, which depends on quality of the producing water.

This is our main concern, that we establish effective water usage system. There has not been enough studies produced suitable or economical use of water quality for "Aquaculture", even though the relationship between the inhabitable environment of life cycle and water is very important. Based on the information given, and our past experiences with other "Aquaculture" facilities, we, along with Oyster Research Institute, have studied the effects of water quality needed to raise abalone in their earlier stage.

まえがき

近年、遠洋漁業に各種の国際規制が設定され、捕る漁業から作り育てる漁業いわゆる“栽培漁業”に対する関心が高まってきた。

栽培漁業の成功の可否は、採算性に重要なポイントがあり、いかに効率的なシステムをつくるかが、その課題である。しかし、栽培漁業で使用される飼育海水の要求処理水質については、栽培魚種の生息環境、餌料との関係が深いにもかかわらず、未研究の状況にある。

一方、当社は長年培かってきた沪過ハード技術を海水用沪過池に生かして、過去多数の納入実績を誇っている。

このような背景の中にあって、栽培漁業で使用される飼育海水の要求処理水質を中心に、生物側からのソフト技術を得るべく、「(財)かき研究所」と共同研究を行った。

本報文では、各種沪材構成と沪過精度の関係および各種沪過処理水のアワビの種苗生産への影響を中心報告する。

1. 目的

自然海水を沪過してかけ流すシステムにおいて、自然海水の懸濁粒子を、その大きさによって選択的に除去する沪過を施した場合に、システム内に生ずる動植物の遷移状況を観察する基礎研究に基づき、最適沪過技術の開発・実用化を計ることとする。

2. 実験場所と期間

(1) 実験場所
財団法人 かき研究所 舞根実験室 実験棟内
宮城県本吉郡唐桑町東舞根211

(2) 実験期間
1986年7月1日～1988年3月31日

3. 研究分担

(1) (財) かき研究所
所定の精度の沪過処理水をかけ流して維持した種苗水槽の生物相の追跡、および沪過カラムの維持管理
(2) 神鋼パンテック㈱
沪過カラムの製作および処理水のモニタリング

4. 実験装置

使用した沪過カラムは、内径 285 mm が 2 本、240 mm が 1 本、194 mm が 2 本の計 5 本で、高さ 2000 mm の塩化ビニール製不透明カラムである。沪層高さは、沪層高さ/沪材有効径 (L/D) が 1000 近くなるように沪材により 600 mm または 800 mm とした。集水部は径 10 mm の孔を 15 mm ピッチであけた多孔板上に 60 と 80 メッシュのサランを取り付けたものとし、空洗および水洗は多孔板を通じて行った。

主要な配管設備は、原水流入管と逆洗排水流出管を共用としカラムの上蓋より 100 mm 下げた位置に、空洗前の水抜管を沪床面上 200 mm の位置に、処理水管と空洗用空気吹込管はカラム下部の集水部に設けた。

なお、カラム内面には、エポキシ系接着剤を用いて沪材をコーティングし、小口径カラムの影響を排除すべく配慮した。

本実験において、5 本のカラムに充填した、沪材の種類、有効径 (E. S.) および均等係数 (U. C.) 沪層高さ (L) などの沪過諸元は、第 1 表に、沪過カラムの概略構造図は、第 1 図に示す。

また、RUN 2 において、5 本のカラムのうち C2 および C3 の 2 本は、重力式定量沪過方式および重力式定圧沪過方式へそれぞれ改造した。

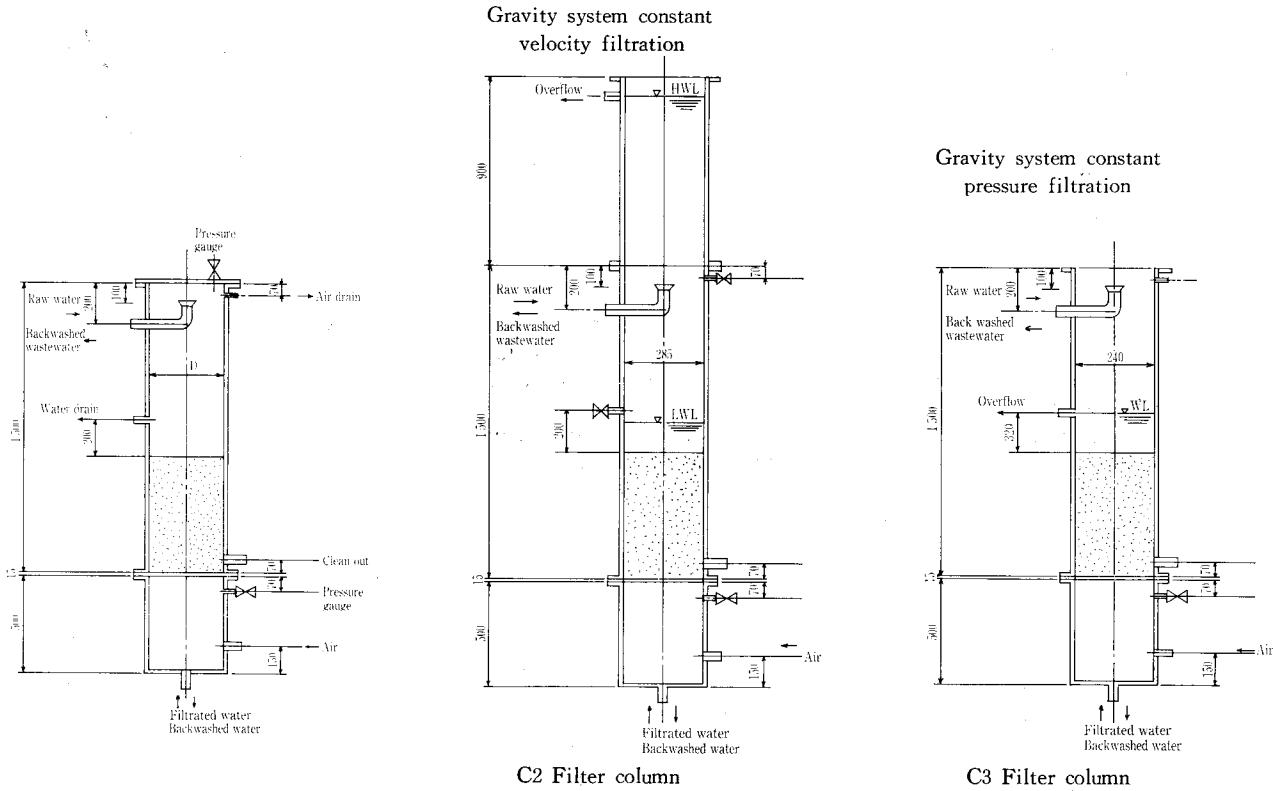
その主な改造点は、C2 カラムは同一の内径を有する長さ 900 mm のカラムを既設カラムに取り付け、上部を開放にもし、沪過水立ち上がり管を沪床面まで下げて重力式定量沪過に改造した。C3 カラムは、沪過水立ち上がり管を C2 カラムの改造点と同様に沪床面まで下げ、上部を開放にして、沪床より 320 mm にて定圧沪過ができるように改造した。洗浄については改造前と同じである。

改造後のカラムの構造図を、第 2 図に示す。

5. 実験方法

取水管は、写真 1 に示すように、実験施設に面した海中に布設した。取水ポイントは、陸より約 7 m 離れた水面下 2 m に設け、取水ポンプにて汲み上げ、直接 5 本の沪過カラムに通水した。(写真 2)

沪過水は動植物プランクトンの遷移状況を観察するため、



第1図 カラム組立構造図
Fig. 1 Filter column assembly

第1表 テストカラム諸元
Table 1 Test criteria

Run No.	Item No.	Dia. of column mm	Filtration area m ²	Filter media E S (U.C)	Depth of layer mm	L V m/h	Filtration rate e/h	Backwashing rate *1(L.V) e/h	Air blowing rate *1(L.V) e/h	L/D	Operation technique	Remark
RUN 1 test criteria	C1	285	0.064	Sand 0.6 (1.4)	600	6	380	3 000 (0.7)	3 840 (1.0)	1 000	Pressure-system	
	C2	285	0.064	Sand 0.5 (1.4)	600	6	380	2 500 (0.59)	3 840 (1.0)	1 200	Pressure-system	
	C3	240	0.045	Sand 0.8 (1.4)	800	10	450	3 000 (1.1)	2 700 (1.0)	1 000	Pressure-system	
	C4	194	0.030	Anthracite 0.8 (1.2)	800	15	440	950 (0.53)	1 800 (1.0)	1 000	Pressure-system	
	C5	194	0.030	Anthracite 1.4 (1.2)	800	20	590	1 500 (0.83)	1 800 (1.0)	571	Pressure-system	Low L/D
RUN 2 test criteria	C1	285	0.064	Garnet 0.28 (1.36)	635	5	320	3 000 (0.78)	3 840 (1.0)	2 268	Pressure-system (Fine filter media)	High L/D
	C2	285	0.064	Sand 0.5 (1.4)	610	5	320	3 000 (0.78)	3 840 (1.0)	1 220	Gravity-system (Constant velocity)	
	C3	240	0.045	Sand 0.6 (1.4)	655	2~8	90~360	3 000 (1.11)	2 700 (1.0)	1 092	Gravity-system (Constant pressure) 320 mm	
RUN 3 test criteria	C2	285	0.064	Sand 0.6 (1.4)	Single bed 600	6	380	3 000 (0.78)	3 840 (1.0)	1 000	Pressure-system	
	C3	240	0.045	Sand 0.5 Garnet 0.28 (1.4)	Mixed bed 800	6	270	1 600 (0.6)	2 700 (1.0)	2 050	Pressure-system	
	C4	194	0.030	Sand 0.8 (1.4)	Single bed 800	10	300	2 000 (1.1)	1 800 (1.0)	1 000	Pressure-system	

(Remark) *1 Demention of LV are m/min.

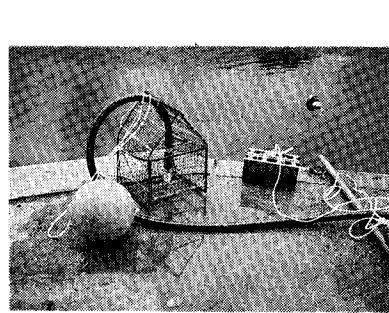


写真1 取水管
Photo. 1 Intake piping

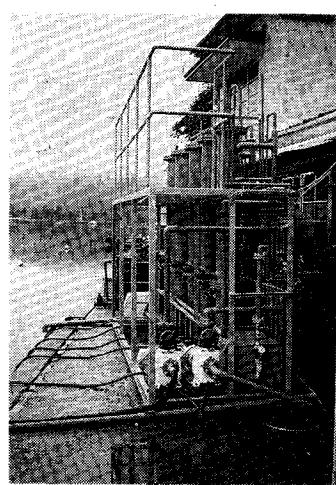
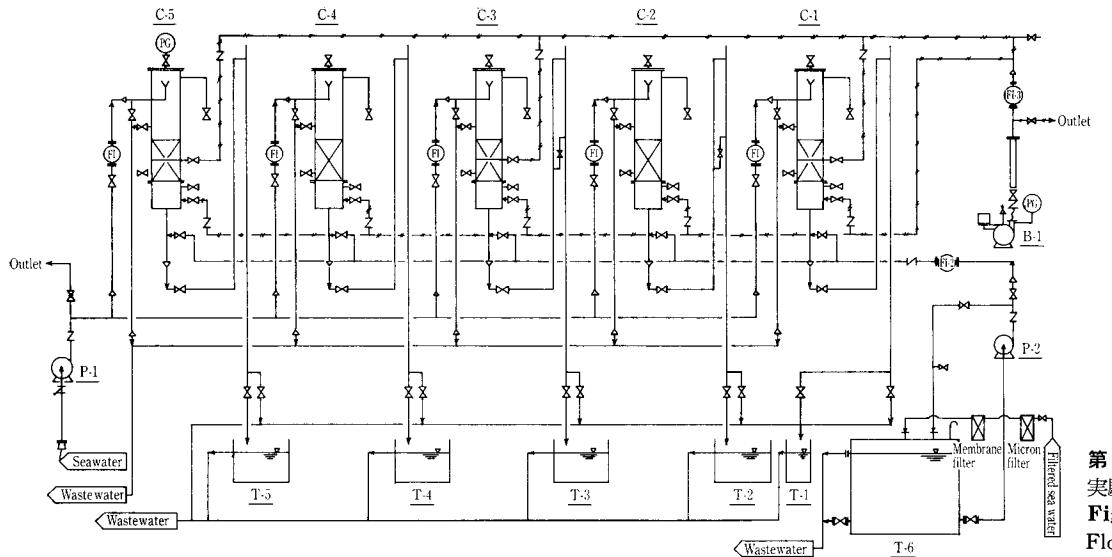


写真2 実験施設
Photo. 2 Test unit



第3図
実験施設フローシート
Fig. 3
Flow sheet

C-1 Column ϕ 285 C-4 Column ϕ 194 P-2 Backwashed pump
 C-2 Column ϕ 285 C-5 Column ϕ 194 B-1 Blower
 C-3 Column ϕ 240 P-1 Filtered pump FI Raw water flow meter
 FI-2 Backwashed water flow meter FI-3 Blower flow meter T-1~5 Rearing tank
 PG Pressure gauge T-6 Backwash water tank

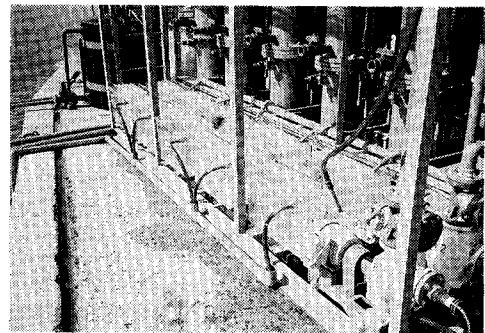


写真3 種苗水槽
Photo. 3 Rearing tank

写真3に示すように、その沪過水の一部をカラムごとに透明塩ビ製の30ℓ種苗水槽に貯留したのち、オーバーフローにて再び海へ戻した。

逆洗用水は、かき研究所実験棟の既設圧力沪過器(10m³/h)の沪過水をミクロンフィルター(10μ)とメンブレンフィルター(2.5μ)で二次沪過した後、30μミューラーガーゼで沪過した海水を500ℓ水槽に貯留し使用した。逆洗方法は各カラムに設けた水抜管にて、沪床面上200mmの位置まで水位を下げた後、プロワーで空気洗浄を行い、その後に逆洗ポンプにて、水洗浄を行った。逆洗作業は各カラムごとに行い、頻度は原則として1回/日とした。

第3図は、実験におけるフローシートを示す。

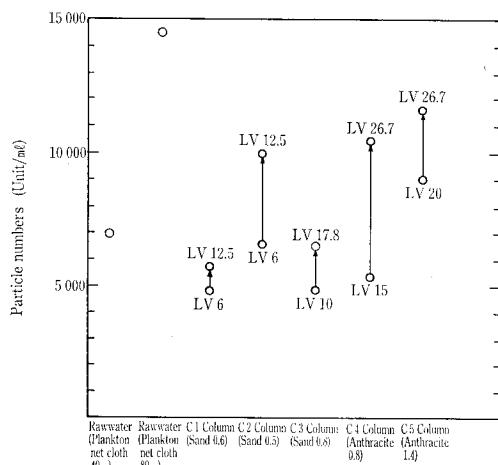
6. 分析方法

粒子径および粒子数の測定には、米国パーティクルデータ社製のエルゾール・パーティクルカウンター(80X Y-2型)精密粒度分布分析装置を用いた。分析時の機器設定値は次のとおりである。

オリフィスサイズ 120 μ

ボルメトリックセクション 1 000 μ

サンプルの固定方法については、種々検討した結果サン



第4図 沪過速度と沪層通過粒子数の変化
Fig. 4 Change of particle numbers vs. change of LV

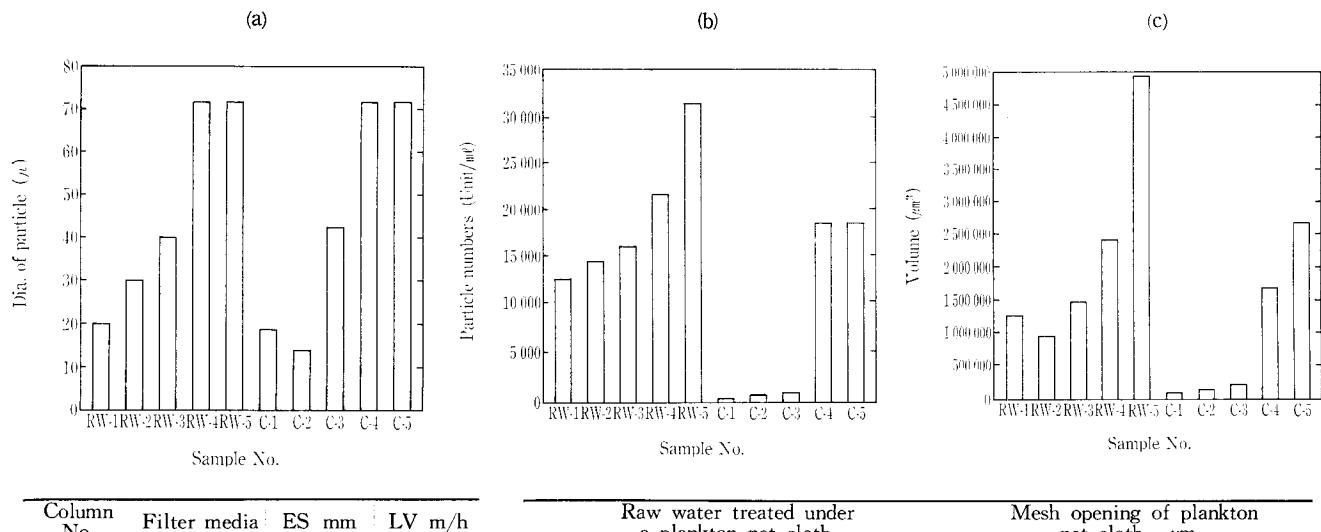
プリング水にホルマリン原液を10%加える方法にて行った。さらに、サンプル水は冷暗所に保管運搬し、速やかに分析に供した。

7. 実験結果と考察

7. 1 沪過諸元と沪過水質

沪材の種類、沪材粒径、および沪過速度の沪過処理水質に与える影響を確認するため、予想通過粒径ごとに沪材の種類および沪材粒径を想定し、C1~C5カラムにて種々の沪過試験を行った。各カラムの代表する沪過諸元は第1表のとおりである。

また、短期間ではあるが沪過速度を当初設定値の2倍にした場合の沪過処理水質の変化についても試験した。この結果については、沪過速度の変化による沪過処理水質として第4図に示した。



第5図 各カラムの汎過通過粒子

Fig. 5 Comparison of filter layer passage particle

これらの試験により得られた結果を、第5図にまとめた。このとき、汎過処理水の粒子径の測定はパーティクルカウンターで行ったが、設定オリフィスサイズによる制限要因として80 μ 以上の粒子を含む場合には前処理を必要とした。本件では30 μ のミューラーガーゼで汎過をしてその前処理とした。ただし、この場合には30 μ のミューラーガーゼで得られた物質は検鏡して確認をした。

第5図(a)は、第1表(RUN1)の汎過諸元における各カラムの汎層通過粒子径を示している。第5図(b)は同様に汎層通過個数を、第5図(c)は汎層通過粒子体積を示している。

これらの結果を、第2表にまとめて示したが、一般的に栽培漁業分野にて使用されている有効径0.5~0.6 mmの砂を用いた重力式の汎過ではその汎過精度は20 μ 程度といえる。

これは、上水処理、下水処理では¹⁾、直接汎過の場合で5~7 μ の除去粒子径、凝集汎過の場合には1~3 μ との一般的な値からすれば、1桁汎過精度が悪化している。この原因としては、除去対象物質が生物であることに起因しているものと考えられる。さらには、淡水に比べ比重の重い、浸透圧の高い海水が汎過対象原水であることもこの結果の一要因と考えられる。

またアンスラサイトの場合、同一粒径の砂と比較し汎過精度が悪いという結果が得られた。これは下水処理などでもいわれ²⁾、アンスラサイトの表面の形状が大きく関与しているためと考えられる。アンスラサイトは比重が小さいため汎材間の衝突エネルギーが小さくなり²⁾、洗浄面からも砂に比べ劣るといわざるをえない。

7.2 汎過方式と汎過水質

汎過方式の汎過処理水質へ与える影響を調べるために、C1~C3カラムにて種々の汎過試験を行った。各カラムの汎

第2表 代表的な汎過諸元と汎過精度

Table 2 Typical filter criteria and removal particle dia.

Filter media	Dia. of filter media E. S.	Filtration rate m/h	Removal particle dia.
Sand	0.5, 0.6	6	20 μ
Sand	0.8	10	40 μ
Anthracite	0.8	15	80 μ
Anthracite	1.4	20	80 μ

過諸元および汎過方式は、第1表(RUN2)のとおりである。

これらの試験により得られた結果を、第6図にまとめた。

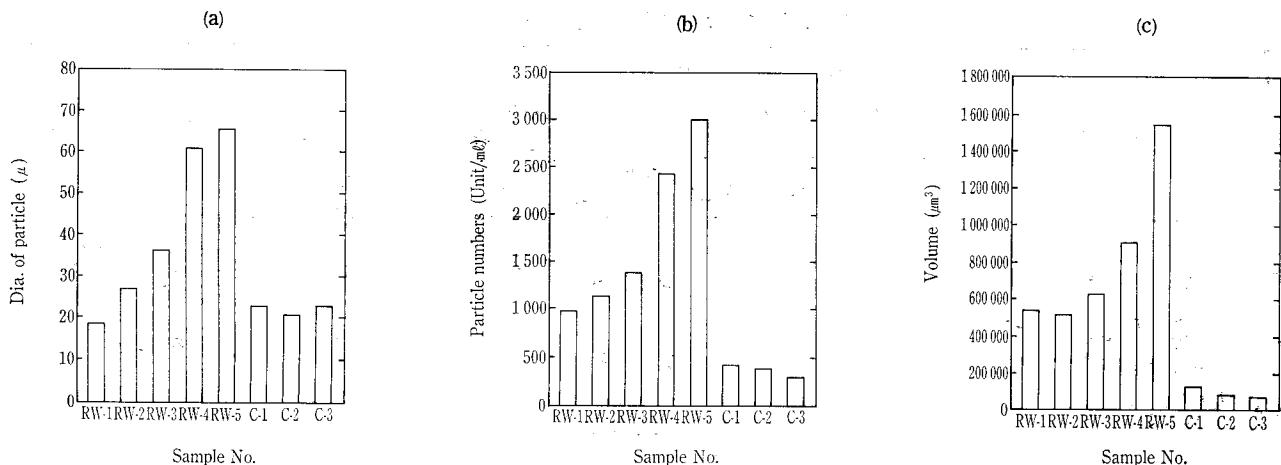
第6図(a)は、第1表(RUN2)の汎過方式および汎過諸元における各カラムの汎層通過粒子径を示している。第6図(b)は同様に汎層通過個数を、第6図(c)は汎層通過粒子体積を示している。

C2カラムとC3カラムの相違は定量か定圧かという点である。定圧方式の場合の実際の汎過速度は平均5 m/hで、定量方式の場合とほぼ同じであった。また、C1カラムの汎材は有効径0.28のガーネットを使用していることから、その除去率はC2カラムおよびC3カラムより良くなるものと考えられた。しかし、測定結果を除去率で評価すると、C3>C2>C1という結果になった。この結果から、汎過方式の汎過水質を評価した場合、その汎過精度は次のとおりである。

重力式定圧 > 重力式定量 > 圧力式

7.3 最適種苗生産用水と汎過諸元の検討

C2~4カラムを第1表(RUN3)に示す汎過諸元のもとで汎過した後、二次汎過装置で汎過した水と、既設圧力汎過器処理水および原海水を簡易汎過器(ディスクフィルター)で粗汎過した各処理水を、種苗水槽にかけて流し



第6図 各カラムの汎層通過粒子

Fig. 6 Comparison of filter layer passage particle

て、種苗板に繁殖したプランクトンの相違を観察した。

なお、各汎過処理水の検鏡結果を右に示す。

また、種苗水槽を設置して19日後に各水槽内の種苗板上のプランクトンを検鏡した結果は次頁に示す。

これらの結果から、汎過精度の最も高いC3カラムの汎過諸元では、写真4に示すように、ほぼ純粋培養に近い状態で、アワビの餌となる舟形ケイソウ(ニッチャ、ナビキュラ)が飼育できた。既設圧力汎過器処理水の種苗水槽では、写真5に示すように、舟形ケイソウは少なく、コシノディスクスカスなどの大型の植物性プランクトンが多い。この原因は既設圧力汎過器処理水には、コペポーダやデトリタスが多いことと、その反面舟形ケイソウが少ないと考えられる。

C2カラムの種苗水槽内では、植物性プランクトンのうちアワビの餌となるプランクトンと、餌にならないプランクトンが混存している。このことから、二次汎過を施していない種苗生産設備では、種苗水槽にコペポーダが流入するため、ニッチャやナビキュラなどの餌が、より少なくなるものと考えられる。

C2カラムとC4カラムの種苗水槽では、ほぼ同様な検鏡

Column No.	Filter media	ES mm	LV m/h	Type	Raw water treated under a plankton net cloth	Mesh opening of plankton net cloth μm
C1	Garnet	0.28	5	Pressure-system	RW-1	20
C2	Sand	0.5	5	Gravity(Constant velocity)	RW-2	30
C3	Sand	0.6	2~8	Gravity(Constant pressure)	RW-3	40
					RW-4	80
					RW-5	100

サンプル名	時間 種類	0.3 hr	2 hr	7 hr	24 hr	*2 26 hr	152 hr	624 hr	SS量*1
		X	△60 μ コペ	△60 μ	△60 μ	△60 μ 数減少	○100 μ	○100 μ	
C2	A. P	X	△60 μ コペ	△60 μ	△60 μ	×	○100 μ	○100 μ	
	V. P	X	△	△	△	×	○	○	4
	D	△	△	△	△	×	△	△	
C2+30 μ ミューラー ガーゼ	A. P	—	—	—	—	—	△	—	
	V. P	—	—	—	—	—	△	—	
	D	—	—	—	—	—	△	—	
C3	A. P	X	△線虫	△60 μ コペ	△60 μ	△線虫	△60 μ	△60 μ 線虫	
	V. P	X	△	△	X	X	X	X	1
	D	X	△	X	X	X	X	X	
C3+30 μ ミューラー ガーゼ	A. P	—	—	—	—	—	—	—	
	V. P	—	—	—	—	—	—	—	
	D	—	—	—	—	—	—	—	
C4	A. P	△線虫	△60 μ コペ	△200 μ	△	△	○100 -200 μ	○成虫 200-300 μ	
	V. P	△	△	△	○	△	△	△	18
	D	△	○	△	○	△	△	△	
C4+30 μ ミューラー ガーゼ	A. P	—	—	—	—	—	—	—	
	V. P	—	—	—	—	—	—	—	
	D	—	—	—	—	—	—	—	
既設 圧力汎過器	A. P	—	—	—	—	○成虫	○100 μ	○成虫	
	V. P	—	—	—	—	○	○100 μ	○500 μ	16
	D	—	—	—	—	○	○	○	

A. P : 動物性プランクトン

V. P : 植物性

D : デトリタス

X : 無

△ : 少し

○ : 普通

◎ : 多い

*1 C3のSS量を1とした場合の比較

*2 24 hr 経過後逆洗実施

100 ℓ採水後 20 μ ミューラー ガーゼで回収したSSをホルマリンで固定し、検鏡した。

結果が得られた。

7.4 海水汎過の特長

RUN 1~3を通じて得られた海水の汎過の特長をまとめると、次のとおりである。

- 原海水懸濁物質中に多くの海洋性プランクトンを含むため汎過精度が悪化する。

種苗水槽内波板に付着した生物の検鏡結果

カラム No.	沪過条件	検 鏡 結 果								評 価	
		植物性プランクトン			動物性プランクトン						
		ニッチャ 数 $\mu \times 100\mu$	ナビキュラ 数 $\mu \times 100\mu$	その他 の種類	原生類	線虫類 幼生10~15 μ $\times 100\mu$	二枚貝 成虫(数ミリ)	コペポーダ 幼生 成虫 40~100~ 100 μ 1,500 μ			
C2	砂 0.6; LV6 m/h +30 μ ミューラーガーゼ	○	◎	○	○ 繊毛虫類	○	×	× ×	ニッチャ、ナビキュラを含む植物性プランクトンを多く含んでいる。	良	
C3	砂 0.5, ガーネット 0.28 の混層; LV6 m/h +30 μ ミューラーガーゼ	◎	○	×	○ 繊毛虫類	○	×	× ×	ニッチャがほぼ純粹培養できた。	優	
C4	砂 0.8; LV10 m/h +30 μ ミューラーガーゼ	○	◎	○	○ 繊毛虫類	○	×	× ×	C2と同じ	良	
	既設圧力沪過器	△	△	○ コシノデ イスカス 30~100 μ	△	△	○	○ ○	ケイソウはコペに食べられたようだ。	劣	
	粗沪過のみ	○	△	○	△	△	○	○ ○	有機性SSが多くケイソウも少ない。	劣	

○ 多い

* ナビキュラ、ニッチャはアワビ幼生の餌料として最良なケイソウである。

○ 普通

* C2~C4の線虫は、幼生のうちに沪過器を通過したと考えられる。

△ 少ない

× 無い

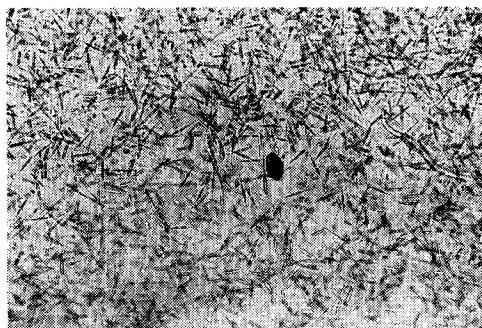


写真4 C3カラム+二次沪過装置沪過水検鏡写真 倍率100
Photo. 4 C3 Column + 30 μ plankton net cloth

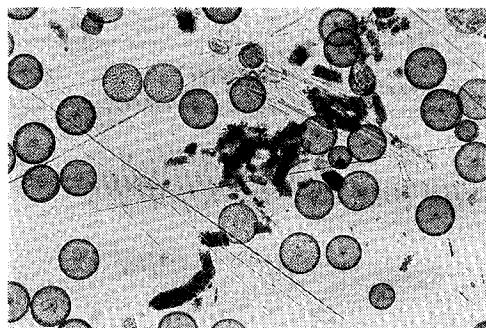


写真5 既設圧力沪過器沪過水検鏡写真 倍率100
Photo. 5 Existing pressure filter

各種沪過理論からすれば、物理的ふるい作用と生物学的な吸着作用による除去が主に起っているものと考えられるが、海水に含まれる動物性プランクトンの沪層通過は、沪過時に起こっている。

又、沪過の経過により沪過精度が良くなる傾向が見られたことは、流入懸濁物質が粘着性に富むため、沪材に付着し、見掛けの間隙を小さくしたためと考えられる。

海水沪過においては、特に沪過初期には上水道・下水道にいわれる直接沪過による粒径カットよりも、はるかに大きな粒径のプランクトンが沪層を通過する。また、植物性プランクトンに比べ遊泳能力の優れているチグリオプスなどの動物性プランクトンは、植物性プランクトンが50 μ 程度であるのに比べて 100 μ 程度の大きさのものまで通過する。

このため特に沪過精度を高める必要がある場合には、二次沪過装置を設けるか、特殊な沪材構成にする必要がある。動物性プランクトンの除去に関する詳細については、次報にて述べる。

(2) 流入懸濁物質は、粘着性に富む動植物プランクトンなど生物に起因する物質が多いため、沪材洗浄法には特に配慮が必要となる。

デトリタスは、粘着性を有するため、動植物性プランクトンと同様、沪過時において沪材に付着する。また、逆洗時は微細な懸濁物質を凝集させ、細かなマッドボールを、形成させる働きをする。細かなマッドボール化したデトリタスは、逆洗時排出しにくくなる。これらの流入懸濁物質は粘着性に富むため、沪材に付着し、沪過精度を向上させる傾向も有する。

その他、ほふく性または固着性の動物性プランクトンは、沪過時において沪材に付着するため、水逆洗だけで剥離させることがむずかしく、ある程度は沪層内に生息することになる。このため特に動物性プランクトンが問題になることが予想される場合には、特殊な洗浄方法を検討する必要がある。特に集水装置より下部に位置する砂利層はこれらの生物の格好の生息場所となるため、避けなければならない。

(3) 海水沪過の場合、流入懸濁物の多寡に係わらず、沪過損失水頭がつき難い。

内湾の場合、海水中の懸濁成分は取水点での時化などによる土砂の巻き上げがない限り、無機性の懸濁物質は少なく、動植物性プランクトンなど生物に起因するものがその大半を占めている。このため、沪過時に顕著な特長は、動植物性プランクトンなど生物に起因する懸濁物質が多少多くとも、損失水頭はそれ程上昇しないことである。

この現象は、海水の有する凝集性に起因するものと考えられる。つまり原海水に含まれる懸濁物質は沪材表層により除去された後、逆洗により、海水の有する凝集性と相まって粒子状になる。しかし、通常の表層沪過と異なる点は、表層で除去された懸濁物質が以上のような理由から粒子状になっているため、除去された表層にて粒子が積み重ねられ、次の段階では沪過に寄与する点である。海水沪過池の沪層のメンテナンス時には、表層上に沪材ではない茶褐色の懸濁物質が、ポーラスに積層しているのをよく見掛けることによってもうなづける。このときの圧力損失は、ほとんどついていない。

8.まとめ

アワビの種苗生産用水に関して、最適な沪過諸元を解明するため実験を行ってきた。

その中でアワビの稚貝の餌料となる一次ケイソウの発生と繁殖および沪過諸元について確認できたが、時間的な制約から二次ケイソウとアワビの成育度との関係についての確認はできなかった。しかし、この実験をとおして、海水を沪過する場合の原水と処理水水質と沪過諸元との関係について多くの知見が得られた。

第3表に、アワビの飼育段階別の供給用水と沪過諸元をまとめた。

第3表 アワビ生産用水の沪過諸元

Table 3 Filter criteria for abalone farming water

Item Developmental stage	Filter bed mm	Filter media ES mm	Filtration rate LV m/h	Operation technique
Juvenile rearing (~13)	Mixed bed 600	Sand : 0.5 Garnet : 0.28	< 6	Gravity or pressure system
Young abalone (13~30)	Single bed 600	0.6	5~10	do.
Through culture	Single bed 600	0.6 0.8	<25 <20	do.

本表では各飼育段階別に沪過諸元を述べているが、飼育段階別に異なる沪過装置を設置するケースはほとんどなく、最も使用水量の多いグレードの処理水が得られる沪過装置を計画して、よりグレードの高い処理水は、二次沪過によって得ることが現実的であろう。

む　す　び

本研究は、(財)かき研究所との共同実験として行われ、共同実験を遂行していく過程では、水処理という工学から見た“栽培漁業”，また生物を扱う側から見た水処理、この間における意見の相違も多々あり、われわれが得た知見も本稿では表現できない種類のものが多い。これらの交流を通じて得られた経験を，“栽培漁業”の今後の発展に寄与できれば幸いである。

最後に、本報告を投稿するに当たって、快諾して頂いた(財)かき研究所の関哲夫所長に感謝するとともに、本研究を遂行するに当たってご協力頂いた(財)かき研究所の所員の方々に感謝する。

〔参考文献〕

- 1) 神鋼ファウドラー・ニュース Vol. 19, No. 3 (1975)
「下水三次処理システムにおける高速沪過」
- 2) 羽島修, 神鋼ファウドラー・ニュース Vol. 24, No. 1 (1980)
「自動サイフォン・フィルターの下水三次処理向け適用実験」