

平成6～9年度（総括）

地域特産種量産放流技術開発事業報告書

棘皮類
(ナマコ)

1998年6月

石川県水産総合センター

担当機関及び担当者

・石川県水産総合センター技術開発部

部 長	山田 悦正
研究主幹	町田 洋一
研究専門員	沢矢 隆之
技 師	戒田 典久
技 師	田中 正隆*

研究専門員	大慶 則之 (現：水産課)
技 師	沢田 浩二 (現：水産課)

*執筆責任者

目 次

<事業の総括>

I 種苗生産技術開発

1. 産卵誘発	石1
2. 浮遊幼生飼育	石1
3. 稚ナマコ飼育	石1
4. 飼育密度試験	石2
5. 浮遊幼生飼育餌料試験	石3
6. 付着基質の比較試験	石4
7. 飼育環境照度の影響試験	石4
8. 稚ナマコ及びコペポータに対するディブテレックス乳剤の影響試験	石5

II 放流技術開発

[平成6年度放流追跡調査]	石6
---------------	----

[放流初期の大量減耗の原因解明に係わる調査]	石7
------------------------	----

1. 種苗の移動について	石7
(1) 試験礁の材質による種苗の滞留試験	石7
(2) 種苗の移動と放流初期の大量減耗との関係調査	石8
2. 外敵生物による食害について	石8
(1) 室内水槽試験による外敵生物の判定	石8
(2) 試験礁周辺における外敵生物の捕獲調査	石9
(3) イトマキヒトデによる食害調査	石9
3. 種苗の波による流出について	石10
(1) 放流方法の違いによる試験礁内での生残個体数の比較	石10
(2) 波による種苗の流出と放流初期の大量減耗との関係調査	石11
4. 種苗の活力低下による斃死について	石12
(1) 取り上げた種苗の室内水槽での生残試験	石12
(2) 放流場所での種苗の生残試験	石13
(3) 取り上げた種苗に対する振盪による影響試験	石14
(4) 室内水槽及び放流場所での種苗の生残比較試験	石14

[平成9年度放流追跡調査]	石16
---------------	-----

[総合考察]	石19
--------	-----

III 参考文献	石19
----------	-----

I 種苗生産技術開発

【目的】

石川県では昭和55年度からナマコの種苗生産技術開発に取り組み、産卵誘発技術の開発及び稚ナマコまでの種苗生産技術の開発を実施してきた。その結果平成2年度では、合計6トンの生産水槽により平均体長1~2mmの稚ナマコ653千個体の生産に成功し、目標としていた生産密度100千個体/トンの水準に達した。しかし稚ナマコ以降の餌料及び飼育条件には課題が多かった。従って本事業で放流サイズの種苗を大量かつ安定的に生産する技術開発を行うこととした。

1. 産卵誘発

【材料及び方法】

当県ではアオナマコの種苗生産に取り組んだ。産卵誘発に用いた親ナマコは、主として七尾湾で潜水及び底びき網で採集した。産卵誘発を行うまでは自然産卵を抑制するために約13℃の冷却海水のかけ流しによって飼育した。産卵誘発は主として5月上旬から6月下旬にかけて行い、飼育水温から約5℃の昇温刺激を与える方法を用いた。誘発により放精、放卵を開始した個体は個々に別の水槽に収容し、引き続き精子、卵を放出させた。受精は卵数に対しておおそ10倍の精子を媒精した。受精卵は洗卵後20℃の恒温室でふ化させた。

【結果及び考察】

誘発では概して放卵よりも放精の方が先に見られた。ナマコを採集後冷却海水による自然産卵の抑制を行いながら、1~2週間程度の馴致期間を設けた場合に概して多く産卵した。多い個体で1度に約2,000万個、平均的には100~200万個を産卵した。成熟した個体は腹部が軟らかい傾向にあり、予め腹部の軟らかい個体を選別することで効率よい採卵を行うことができた。1回目の誘発では反応せず、複数回誘発を行った場合に放精、産卵する個体もあり、産卵のタイミングに個体差があると考えられた。さらに、昇温刺激だけでなく、水温の昇降の繰り返しや、ナマコを収容している水槽の水位の上下操作を行うことで比較的容易に産卵を促すことができた。ふ化率は高い場合で90%以上だった。複数回の採卵によって得られた卵はふ化率の低い傾向にあった。

2. 浮遊幼生飼育

【材料及び方法】

ふ化幼生は主として0.5、1、5トンス水槽に約0.5個/mlで収容し、10μmのカートリッジフィルターで濾過した海水で飼育した。平成8年度までは2~3日に1回、40μmのミューラーガーゼで覆ったかごで排水する方法で換水した。平成9年度は水槽の排水口に同じかごを取り付け、0.25回転/日のかけ流しによって飼育した。餌料は主とし

て初期アウリクラリア幼生出現まではPavlova lutheri (以下パプロバ)を1日あたり約1,500~5,000cells/ml、それ以降はパプロバ及びCheatoceros gracilis (以下キートセロス)を1日あたり計約3,000~15,000cells/ml投与した。通気はエアーストーンで微弱に行った。

【結果及び考察】

後期浮遊幼生までの生残率には水槽によってかなりのばらつきが見られた。平成7年度はふ化2~3日後のアウリクラリア幼生時、ドリオラリア幼生への変態時に斃死が多く見られた。ドリオラリア幼生の出現しなかった水槽では、アウリクラリア幼生の輪郭と胃の形成がしっかりしていない個体が多く見られたことから摂餌不良による成長の停滞が斃死に結びついたと思われる。浮遊幼生期が順調な場合は、変態期までの成長の個体差が少なく、生残率が90%以上の水槽も見られた。

3. 稚ナマコ飼育

【材料及び方法】

ドリオラリア幼生が出現した時点で、付着珪藻を付けた波板ホルダー(40×40cm、高さ30cmのホルダーにポリカーボネート製波板20枚を並べたもの)、またはタマゴパックを稚ナマコの付着器として水槽に投入した。付着珪藻は、生産水槽へ投入する2週間前から海水の流水下で波板上に培養した。培養では、栄養塩(硫酸:尿素:過リン酸石灰=100:15:10)を穴を開けた100mlのポリ瓶に入れて自然に拡散するようにした。平成9年度の実験では、排水口にに取り付けていたミューラーガーゼを取り外し、0.25回転/日のかけ流しによって飼育した。餌料は1日あたりキートセロスを3,000~10,000cells/ml、及び海藻粉末のリビックBW(理研ビタミン社)を1~10g/トン併用して投与した。生産水槽に発生するチグリオパス類のコペポーダを駆除するために、ディプテレックス乳剤(DEP50%含有、日本農薬株式会社)を有効濃度1ppmにて、約3~4週間に1回投与した。

【結果及び考察】

平成6年度から9年度までの稚ナマコ種苗生産の結果を表1に示した。稚ナマコの取り上げ時期は各年度によって異なり、平成6年度では約3ヶ月半の飼育により、平均体長4.6mm、136千個体、平成7年度では約5ヶ月間の飼育により、平均体長9.1mm、18千個体、平成8年度では約6ヶ月間の飼育により、平均体長10.8mm、38千個体、平成9年度では約6ヶ月間の飼育により、平均体長18.4mm、17千個体の生産結果となった。稚ナマコの飼育途中で見られた減耗は、コペポーダの急激な大量発生や、底に溜まった残餌や排泄物を掃除したことによる水質の変化が原因と思われる。

表1 稚ナマコ種苗生産結果

	収容した後期浮遊幼生	生産個体数	生残率(%)	平均体長(mm)	生産期間
平成6年度	3,905,000	136,300	3.5	4.6	3ヶ月
平成7年度	1,150,000	17,864	1.6	9.1	5ヶ月
平成8年度	11,545,000	38,164	0.3	10.8	6ヶ月
平成9年度	7,228,000	16,708	0.2	18.4	6ヶ月

4. 飼育密度試験

【材料及び方法】

浮遊幼生期及び稚ナマコの飼育における最適な収容密度を求める目的で試験を行った。平成6年度の試験では、1ト水槽を用いてドリオラリア幼生出現期に飼育密度をそれぞれ4、8、16、32万個体/トに調整して、その後3ヶ月間の飼育で稚ナマコの生残、平均体長を比較した。平成9年度の試験では、0.2ト水槽を用いてふ化幼生をそれぞれ0.5、1、2、3個/mlに調整して、1週間飼育後の幼生の生残、平均体長を比較した。また、0.2ト水槽を用いて平均体長6.3mmの稚ナマコをそれぞれ100、200、400、800個体収容して、50日間飼育後の稚ナマコの生残、平均体長を比較した。

【結果及び考察】

平成6年度の試験結果を表2に示した。3ヶ月飼育後の稚ナマコの生残率は1.7~9.5%と収容密度が高いほど低い傾向を示し、平均体長は4.1~6.2mmの範囲で、生残数との相関は見られなかった。しかし、体長分布の標準偏差は16万個体収容区が2.4~2.6mmと、最も体長組成が均一になる結果となった。また、生残数も16万個体収容区が最も多い結果となった。この結果から1ト水槽での生産における適切な後期浮遊幼生の収容量は16万個体程度と考えられた。

表2 浮遊幼生収容密度試験

後期浮遊幼生 収容数 (万個体)	稚ナマコ飼育終了時(3ヶ月後)		
	生存数 (個体)	生存率 (%)	平均体長 (mm)
4.0	3,800	9.5	5.1
4.0	3,800	9.5	5.4
8.0	4,600	5.8	5.4
8.0	4,800	6.0	4.6
16.0	8,100	5.1	4.1
16.0	11,300	7.1	4.2
32.0	3,800	1.2	6.2
32.0	5,400	1.7	6.2

平成9年度の試験結果を図1及び図2に示した。1週間飼育後のアウリクラリア幼生の平均体長が最も大きかったのは0.5個/mlの時で564μm、最も小さかったのは3個/mlの時で516μmであった。生残率が最も高かったのは1個/mlの時で79.0%、最も低かったのは3個/mlの時で34.0%であった。この結果からふ化後の幼生の収容密度は0.5~1個/mlが適当と考えられた。また、50日間飼育後の稚ナマコの平均体長が最も大きかったのは100個体の時で14.3mm、最も小さかったのは800個体の時で7.3mmだった。しかし、生残率は27.0~79.0%の範囲で、収容密度との相関は見られなかった。この結果から、稚ナマコ出現後の飼育では、飼育密度が小さいほど成長がよく、稚ナマコ飼育の途中に密度調整することはその後の成長を高めるのに有効だと考えられた。

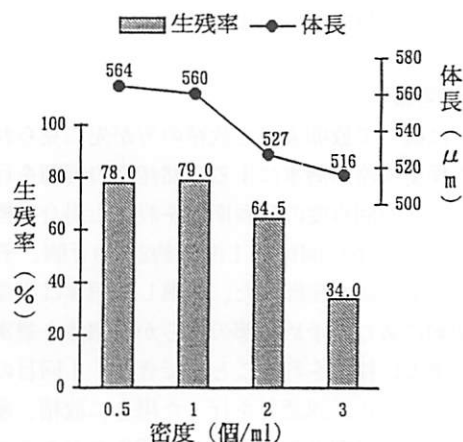


図1 浮遊幼生飼育密度試験

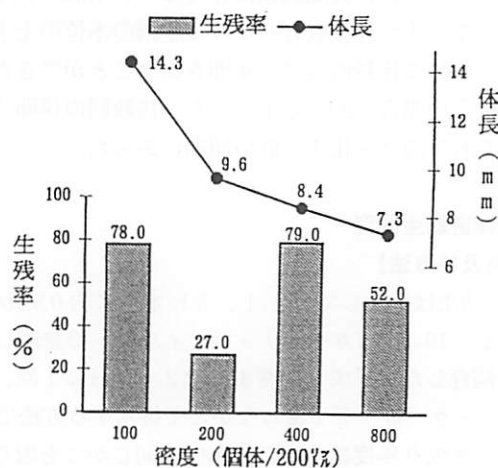


図2 稚ナマコ飼育密度試験

5. 浮遊幼生飼育餌料試験

【材料及び方法】

浮遊幼生期の適切な飼育餌料を検討するために餌料試験を行った。平成6年度の試験では、0.5ト水槽を用いて、産卵後8日目まで浮遊幼生をパプロバのみ (5,000cells/ml/日) で仮飼育した。餌料区分はキートセロス+パプロバ区 (各5,000cells/ml/日)、キートセロス区 (5,000cells/ml/日)、淡水濃縮クロレラ (日本クロレラ株式会社製 マリンアルファ) 区 (1 ml/500リットル/日) とし、9日目以降それぞれの餌料投与を開始した。試験開始後3日目及び8日目に幼生の体長を測定した。

平成8年度の試験では、0.2ト水槽を用いて、産卵後2日目より餌料試験を行った。餌料区分はキートセロス+パプロバ区 (各5,000cells/ml/日)、キートセロス区 (10,000cells/ml/日)、パプロバ区 (10,000cells/ml/日)、Tetraselmis tetrahele (以下テトラセルミス) 区 (2,500 cells/ml/日) とし、試験開始後7日目に幼生の体長及び生残率を求めた。

【結果及び考察】

平成6年度の試験結果を表3に示した。どの区とも試験開始後成長が停滞し、平均体長では収縮する結果となった。3区の中ではキートセロス+パプロバ区が最も大きかった。淡水濃縮クロレラ区は最も成績が悪く、ナマコ幼生飼育の餌料としては栄養的に欠陥があると思われる。

平成8年度の試験結果を表4に示した。試験開始後7日目の平均体長はキートセロス+パプロバ区が718 μ mであったのに対し、テトラセルミス区は465 μ mで最も成長が悪かった。生残率はキートセロス+パプロバ区が85.3%、キートセロス区が100%と良好であったが、パプロバ区が68.0%、テトラセルミス区が30.7%と低い値を示し、やがて全滅した。この結果から、幼生飼育にはキートセロスとパプロバの併用がよく、テトラセルミスは不適切であると考えられた。

表3 浮遊幼生飼育餌料試験 (平成6年度)

餌料試験結果 (カッコ内の数字は最小、最大を示す)

	平均体長 (μ m)			最終生残率 (%)
	開始時	3日後	8日後	
キートセロス+ パプロバ区	782 (680~880)	706 (480~840)	619 (420~820)	48.0
キートセロス区	782 (680~880)	741 (400~860)	577 (420~660)	28.0
濃縮クロレラ区	782 (680~880)	575 (360~720)	527 (440~620)	30.0

表4 浮遊幼生飼育餌料試験 (平成8年度)

餌料試験結果 (カッコ内の数字は最小、最大を示す)

	平均体長 (μ m)	生残率 (%)
キートセロス+ パプロバ区	718 (420~840)	85.3
キートセロス区	656 (504~766)	100
パプロバ区	683 (456~798)	68.0
テトラセルミス区	465 (370~554)	30.7

6. 付着基質の比較試験

【材料及び方法】

浮遊幼生が変態して着底する時期に付着器を投入しているが、その付着器の形状及び付着珪藻の有無が変態・着底に及ぼす影響を調べた。平成9年度に2トFRP水槽2面にて収容密度0.5個/mlで飼育を開始したふ化幼生は後期浮遊幼生期には両水槽とも約0.2個/mlとなった。ドリオラリア幼生が出現した時点でそれぞれに付着珪藻の付いた付着器、付いていない付着器を投入した。用いた

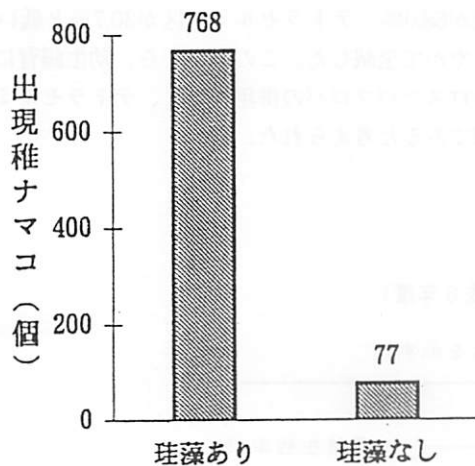


図3 稚ナマコの着底に関わる珪藻の影響

7. 飼育環境照度の影響試験

【材料及び方法】

浮遊幼生期や稚ナマコの飼育における生残率及び成長に及ぼす環境照度の影響を調べた。12リットルスチロール水槽（水量10リットル）6面にふ化幼生をそれぞれ0.5個/ml（2回目の試験では1個/ml）となるように収容した。20wの蛍光灯を1日中点灯した24時間照射区、半日だけ点灯した12時間照射区、真っ暗にした無灯火区の3区をそれぞれ2槽ずつ用意した。餌料はパブロバ、キートセロス供に1日あたり2,000cells/mlずつ与えた。2日に1回半分量の5リットルを換水した。1回目の試験では飼育開始後9日目に各区の生残率及び体長を測定した。2回目の試験では飼育開始後14日目に各区の生残率及び体長を測定した。

12リットルスチロール水槽（水量10リットル）6面に平均体長6.2~8.7mmの稚ナマコをそれぞれ100個体ずつ収容した。浮遊幼生期と同様照射時間の違う3区を2槽ずつ設定した。餌料は1日あたりリビックを0.1gずつ与えた。1週間に1回半分量の5リットルを換水した。飼育開始後21日目、42日目、73日目に各区の生残率及び体長を測定した。

付着器は、波板ホルダー（10枚1セット）、タマゴパック垂下連（10パック1セット）、タマゴパック入りネット（10パック1セット）、生分解性プラスチックプレート（4枚1セット）の4種類であった。付着器投入後45日目に各付着器及び水槽面に存在する稚ナマコを計数した。

【結果及び考察】

付着基質の比較試験結果を図3及び表5に示した。予め付着珪藻を付けた付着器を投入した水槽では計768個体が観察されたのに対し、付着珪藻の付いていない付着器を投入した水槽ではその約1/10の77個体だった。観察されたナマコの多くは水槽の底面や壁面に存在した。付着器あるいは水槽の壁面、底面の表面積が均一でないので一概に比較できないが、特に目立った基質の選択特異性は見られなかった。

表5 稚ナマコ付着基質の比較試験

	珪藻あり	珪藻なし
波板ホルダー	157	7
タマゴパック垂下連	41	4
タマゴパック入りネット	85	3
生分解性プラスチックプレート	48	0
水槽壁面・底面	437	63
出現稚ナマコ合計数	768	77

【結果及び考察】

浮遊幼生飼育での環境照度の影響試験結果を図4に、稚ナマコ飼育での環境照度の影響試験結果を図5に示した。ふ化幼生0.5個/mlで収容した場合は、体長は無灯火区で一番大きく24時間照射区で一番小さかった。生残率はどの区も低かったが、その中では12時間照射区が一番高かった。ふ化幼生1個/mlで収容した場合は、体長は無灯火区で一番大きく12時間区で一番小さかった。生残率はどの区も低かったが、その中では無灯火区が一番高かった。

稚ナマコ100個体を収容した場合は、生残率はどの測定日とも12時間照射区が一番高かった。体長は21日目は無灯火区が24時間照射区を上回ったが、42日目、73日目は逆に24時間照射区が無灯火区を上回った。

平成8年度の種苗生産では浮遊幼生飼育あるいは稚ナマコの飼育において、環境照度の低い水槽の生残、成長が悪かった。一方、一般にナマコの種苗生産の現場では、幼生、稚ナマコの飼育照度は暗い方がよいとの見解がある。しかし、今回の試験結果からは照度条件の違いによる生残、成長についての明白な差は見られなかった。

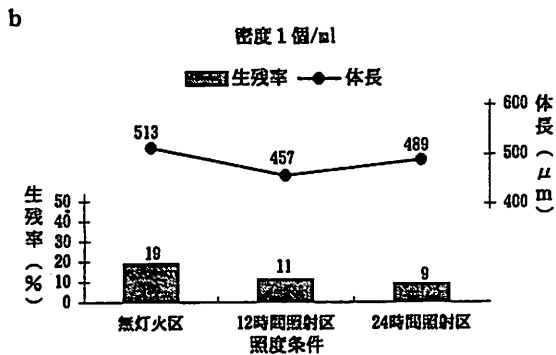
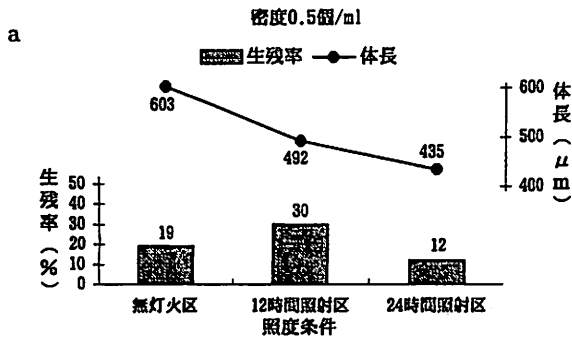


図4 浮遊幼生飼育環境照度の影響試験

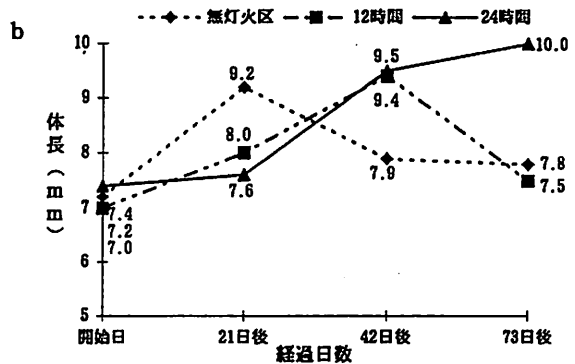
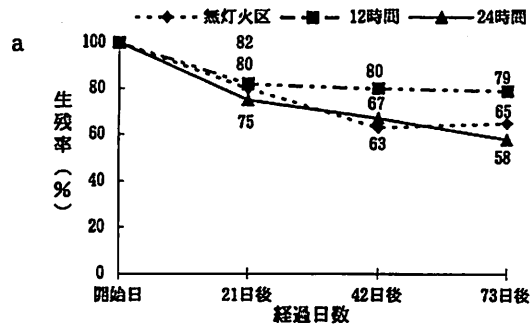


図5 稚ナマコ飼育環境照度の影響試験

8. 稚ナマコ及びコペポーダに対する

ディプテレックス乳剤の影響試験

【材料及び方法】

稚ナマコの飼育において、水槽内に発生するコペポーダを駆除する目的で、ディプテレックス乳剤の投与が行われている。平成8年度に、コペポーダ駆除の有効濃度、その時の稚ナマコに対する影響を調べた。40ml容量のサンプル瓶に、飼育中の体長約4.0mmの稚ナマコ約20匹あるいは飼育水槽内に発生したコペポーダ約10匹を入れ、ディプテレックス乳剤を0.5、1、2 ppmとなるように添加し、24時間後の生存数を調べた。さらに、稚ナマコとコペポーダを単独あるいは混合して収容し、薬浴しない

試験区を設定し、同様に24時間後の生存数を調べた。

【結果及び考察】

各試験区における24時間後の生存割合を表6に示した。ディプテレックス乳剤の濃度がどの場合でも、稚ナマコはほぼすべての個体が生存し、また、コペポーダは全滅していた。従って、コペポーダの駆除にはディプテレックス乳剤0.5ppm、24時間浴で充分有効であることが分かった。稚ナマコとコペポーダを共存させた試験区において、稚ナマコはすべて生存していたので、コペポーダが稚ナマコに与える影響は明らかでなかった。

表6 コペポーダに対するディプテレックス乳剤の薬浴効果とナマコへの影響試験

試験区	24時間後生存割合(生存数/収容数)	
	ナマコ	コペポーダ
ナマコのみ	20/20	---
コペポーダのみ	---	10/10
コペポーダ+ナマコ	19/19	10/10
ナマコ+DEP0.5ppm	18/19	---
ナマコ+DEP1ppm	18/18	---
ナマコ+DEP2ppm	21/21	---
コペポーダ+DEP0.5ppm	---	0/11
コペポーダ+DEP1ppm	---	0/12
コペポーダ+DEP2ppm	---	0/9

Ⅱ 放流技術開発

【目的】

ナマコの主要漁場である七尾湾において、放流試験礁を設置し、種苗を放流した後、潜水による追跡調査を実施して、種苗の移動範囲、放流効果等を把握することとした。平成6年度の放流追跡調査において、放流後の種苗の急激な減耗が確認されたので、放流効果調査への取り組みに先立ち、放流後の減耗要因の解明と対策が急務となった。このことから放流追跡調査のなかで、初期減耗要因として考えられる項目に焦点を当てた試験を行い、また並行して、放流までの種苗の取り扱い方法、放流条件、放流礁の底質条件、外敵生物の把握等を室内水槽実験を中心として検討することとした。

【平成6年度放流追跡調査】

【材料及び方法】

能登半島東岸の七尾北湾に面した穴水町新崎地先を調査海域に選定した(図6)。調査場所は小島東岸の水深1.5m以浅の海域で、底質は拳大の転石が主体である。調査場所の沖側はアマモの繁茂する砂泥質が続いている。なお、平成7年度以降の放流追跡調査も同海域で行った。七尾湾内のカキ養殖場ではカキの垂下連やカキ殻に付着した稚ナマコが多く観察されることから、稚ナマコの良好な付着基質と考えられるカキ殻及び生カキを放流試験礁に用いることにした。

40×60×20cmのプラスチック製野菜かご(以下かご)にカキ殻を敷き詰め、7行×10列に並べた4.2m×4.0mの試験礁を2基作成した。このうち一方にはカキ殻の上に生カキを散布した。それぞれの礁の4ヶ所に平均体長4.6mm、4万個体の稚ナマコを放流した。放流3(4)日後、28日後に、試験礁に残存するナマコの追跡調査を行った。調査は試験礁を構成するかごのうち8~10かごを対角線に取り上げ、かご内のすべてのカキ殻に付着しているナマコを計数した。なお、試験礁はその後波浪のために流出し、追跡調査の継続が困難となった。

【結果及び考察】

試験礁における残存個体数の追跡調査結果を表7及び図7に示した。2回の調査日も、発見個体数はカキ殻+生カキ区がカキ殻区を上回った。しかし、個体数の減

少は両区とも極めて急速であり、放流28日後には1かごあたりの平均個体数が、カキ殻区で0.9個体、カキ殻+生カキ区で36個体と大幅に減少した。1かごあたりの平均個体数を礁全体(70かご)に引き伸ばすと、放流28日後の総残存個体数はカキ殻区で63個体、カキ殻+生カキ区で2,520個体となり、放流個体数に対する残存割合はカキ殻区で0.2%、カキ殻+生カキ区で6.3%と算定された。

種苗の減耗要因として波による流出、種苗の移動、活力低下による斃死、外敵生物による食害が推定される。平成6年度の追跡調査では、礁内での種苗の移動を示唆する状況は確認できたものの、礁周縁部で確認された個体数は極めて少なかったことから、種苗の礁外への移動は急激な減耗の主要因とは考えられない。放流3日後の調査時に取り上げた種苗の多くに体表色素の溶出や体組織の溶解、これに伴うと思われる活力の低下が観察されており、これに起因する斃死が減耗要因となった可能性がある。さらに、放流種苗の体長組成の推移を見ると(図8)、放流時には3mm前後に明瞭なモードが認められたものの、放流28日後はモードは不明瞭で、放流時のモードが移行した形跡が認められなかった。このことは、ナマコの成長差が大きいのを考慮しても、放流個体の主体となった3mm前後の小型個体が大幅に減少した可能性を示唆するものと考えられる。

波による流出や外敵生物による食害は今回の調査では確認されなかったが、可能性は否定できず、次年度以降の調査課題である。

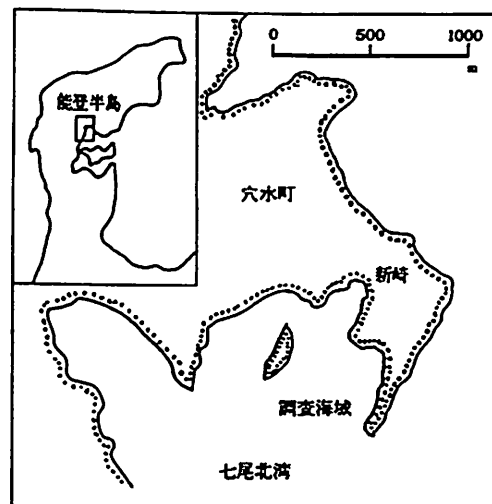


図6 放流追跡調査海域

表7 放流試験礁における追跡調査結果

試験区	放流3(4)日後		放流28日後	
	区画数	総再捕数(平均)	区画数	総再捕数(平均)
カキ殻区	8	557 (69.6)	9	8 (0.9)
カキ殻+生カキ区	8	1,947 (243.4)	10	360 (36.0)

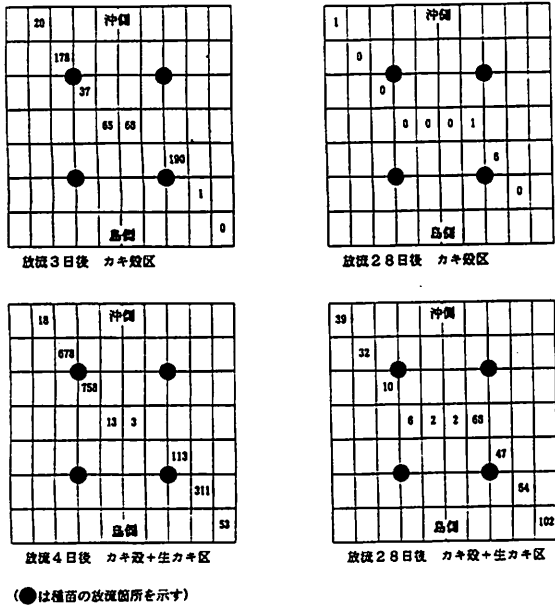


図7 放流試験礁における種苗の分布

【放流初期の大量減耗の原因解明に係わる調査】

放流初期減耗の要因として考えられる項目として、種苗の移動、外敵生物による食害、波による流出、活力低下による斃死に焦点を当てた試験を行うことにした。

1. 種苗の移動について

(1) 試験礁の材質による種苗の滞留試験

【材料及び方法】

減耗要因の解明に先立ち、放流試験礁から種苗が早期に礁外へ移動しない条件を把握するために、平成7年度に試験礁の材質によるナマコの滞留試験を行った。平成6年度の放流追跡調査では、カキ殻単独よりもカキ殻に生カキを混ぜた試験礁の方がナマコの滞留効果が見られたものの、重量が軽いため波浪によって流出した。1ト水槽にカキ殻あるいは生カキを別々に入れたかごを設置し、平均体長15.3mm、30個体のナマコを収容し、5日後にかごに残っているナマコを計数した。

また、1ト水槽に砕石（規格50～150mm）のみを入れたかごと、砕石と生カキを入れたかごを別々に設置し、それぞれに平均体長15.3mm、50個体のナマコを収容し、2日ごとにかごから這い出していたナマコを計数した。

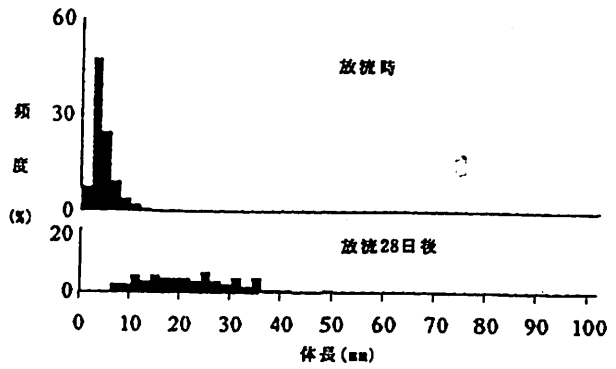


図8 放流種苗の体長組成の推移

【結果及び考察】

生カキとカキ殻の滞留比較試験の結果を表8に示した。5日後にかごの中に発見されたナマコの数は、カキ殻が12、10個体、生カキが28、35個体で、生きたカキの方がナマコの滞留効果が見られた。砕石のみと砕石+生カキの滞留比較試験の結果を表9に示した。試験開始15～21日後の這い出た個体数は、砕石のみでは36～39個体、砕石と生カキでは12～17個体で、生カキのナマコに対する滞留効果が確認された。これらの結果から、カキ殻よりも生カキを使用した試験礁の方がナマコの滞留率が高く、さらに砕石と組み合わせることで耐液性も向上することから、試験礁の材質に最適と考えられた。

平成7年度の放流追跡調査では砕石と生カキを組み合わせた試験礁を用いた。しかし後半の調査で死んだカキの腐敗物が目立ち始め、またイトマキヒトデの蟻集が多かったこともあり、平成8年度以降の放流追跡調査では砕石のみを投入した試験礁を用いることにした。

表8 生カキとカキ殻のナマコの滞留比較試験

材質	入れた個体数	取り揚げた個体数 (5日後)
生きたカキ	30	28
生きたカキ	30	35
カキ殻	30	12
カキ殻	30	10

表9 砕石のみと砕石+生カキのナマコの滞留比較試験

材質	入れた個体数	経過日数と個体数										
		1日	3日	5日	7日	9日	11日	13日	15日	17日	19日	21日
砕石	100	1	5		17	19	27		37	36		39
砕石と生きたカキ	100	0	1		3	4	1		17	12		15

(2) 種苗の移動と放流初期の大量減耗との関係調査

【材料及び方法】

平成7年度の調査で、試験礁における放流初期の大量減耗の原因が種苗の移動によるものかを検討した。碎石と生カキを入れたかごを6行9列に並べた試験礁の中心6かごに平均体長10.2mm、17,000個体のナマコをキンランに付けて放流した。放流5、10、15、20、28時間後に潜水により試験礁の表面に分布していた放流直下のかごを除いた各かごのナマコを計数した。また、試験礁のかごの碎石の下部と周囲のナマコの逸散状況を観察した。

【結果及び考察】

放流後の試験礁の表面に分布するナマコの計数結果を図9に示した。試験礁の表面に分布していたナマコの総個体数は、夜間で多く、昼間に少ない傾向が見られた。かご内の碎石の下部や試験礁周縁部の観察ではナマコはほとんど認められなかった。また、本調査時には波があり、ナマコは波の進行方向に沿って多く分布していた。これらのことから、放流直後のナマコは自ら大きな移動をすることはほとんどなく、波がある時は波によってわずかに波の方向に移動すると考えられた。この調査から試験礁における放流初期の大量減耗の原因として、種苗の移動による可能性は小さいと考えられた。

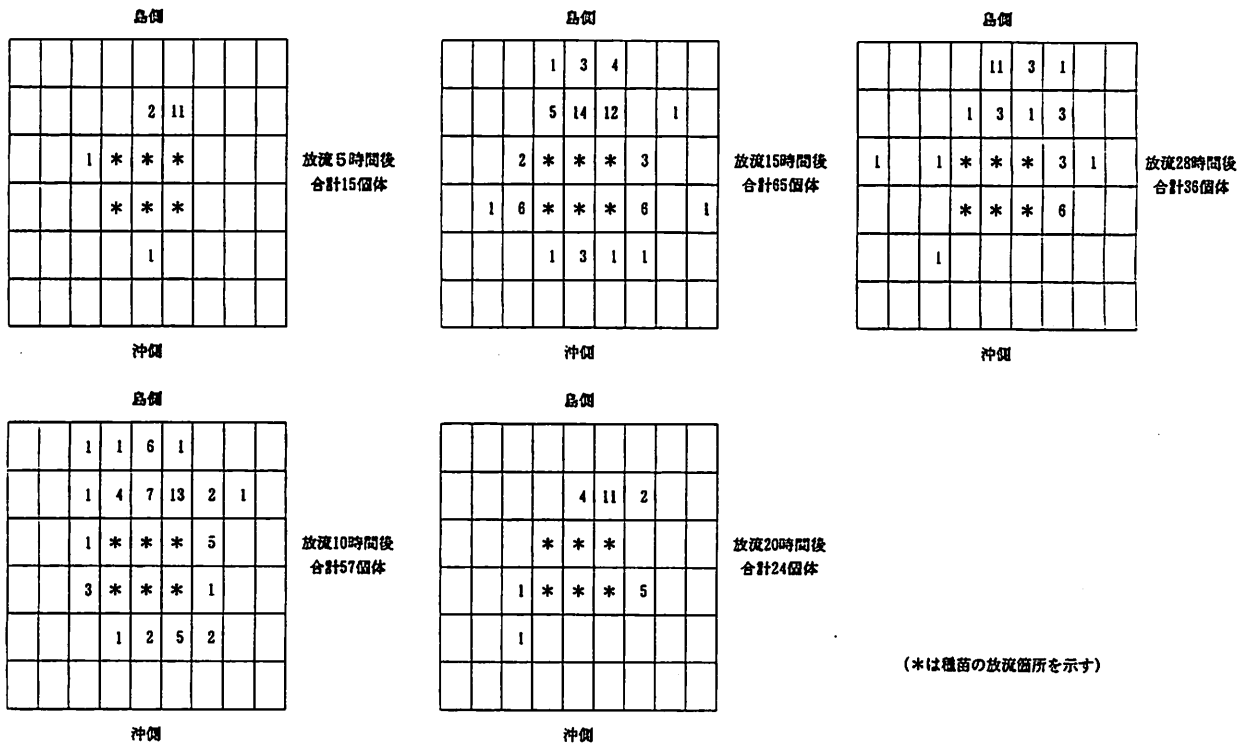


図9 放流後の試験礁の表面に分布するナマコの計数結果

2. 外敵生物による食害について

(1) 室内水槽試験による外敵生物の判定

【材料及び方法】

放流初期の大量減耗と外敵生物による食害の関係調査として、はじめに外敵生物の判定を行うために、平成7年度に調査海域でナマコの外敵生物と考えられる生物を採集し、室内水槽試験を実施した。平均体長13.8mm、20個体のナマコと各生物とを150リットル水槽に収容し、7日間にわたって1日ごとに生残していたナマコを計数した。

【結果及び考察】

水槽におけるナマコの食害調査の結果を表10に示した。食害によるナマコの減少が見られた生物はイシガニ、イトマキヒトデ、カワハギであった。イシガニはナマコをハサミで挟み、口まで運ぶ行動を示すがすぐに吐き出す

ことから、ナマコを好んで捕食する外敵生物ではないと思われた。カワハギは試験開始直後からナマコを口に出し入れし、すべてを死亡させた。しかし、カワハギは試験礁を設置した水深帯には分布しないことから、10m以深で放流した場合は外敵生物になり得るものの、試験礁では直接の外敵生物ではないと思われた。イトマキヒトデは、ナマコを全く捕食しない場合もあったが、多いときで15個体を捕食し、食害生物の可能性が示唆された。

表10 水槽におけるナマコの食害調査

種	大きさ (mm)	経過日数と生残個体数						水温 (°C)
		1日後	2日後	3日後	4日後	5日後	6日後	
イカニ イトマキヒトデ カキ	甲幅61.9 腕長46.2, 41.9 体長127.3	20	19		17		17	22.2~23.4
クダイ アミナギ メゴチ	体長57.7 体長34.4, 37.0, 35.5 体長129.1	20	19	18	18	18	18	
イトマキヒトデ イカニ	腕長44.7, 35.7 甲幅72.2, 64.9	20	16			5	5	
ダイソウソウ ムスガシ シマハゼ ハコヒ	体長17.5 体長11.1 体長7.9 体長7.7	20	20	20	20	20	20	
イトマキヒトデ イカニ	腕長44.7, 35.7 甲幅72.2, 64.9	20	20	20	20	20	20	15.4~16.6
シロキス	体長111.0, 85.1	20	20	20	20	20	20	

(2) 試験礁周辺における外敵生物の捕獲調査

【材料及び方法】

試験礁周辺でナマコに蝟集する外敵生物の捕獲をトラップによって試みた。刻んだナマコをセルビンに入れ、かごに固定したトラップを試験礁周辺に設置し、4日後に取り上げ、セルビンの中に入っていた生物を採集した。また、碎石だけを入れたかごと、碎石及び刻んだナマコを入れた網の袋とを入れたかごを設置し、生物の蝟集を比較した。

【結果及び考察】

セルビンに入った生物は、シマハゼが2匹、イソスジエビが1匹であり、外敵となるような生物の蝟集は見られなかった。蝟集比較調査では、ナマコを入れたかごにイトマキヒトデが1個体存在しただけで、それ以外の生物は見られなかった。また、ヒトデはナマコを入れた網の袋に付着していなかったことから、ナマコと碎石のどちらに蝟集するかは明らかでなかった。

(3) イトマキヒトデによる食害調査

【材料及び方法】

室内水槽による外敵生物の判定試験では、イトマキヒトデは食害生物としての可能性が高いと考えられた。そこで試験礁での分布量の把握とともに、ナマコの収容密度とイトマキヒトデの食害量との関係を調査した。平成7年度の調査では、碎石と生カキを入れたかごを3行×4列に並べた試験礁の中央2かごに5,000個体のナマコを放流し、4日後に礁内に蝟集していたイトマキヒトデを各かごごとに計数した。

室内水槽試験では、20リットル水槽3つにイトマキヒトデを2個体ずつ入れ、それぞれに平均体長12.3mmのナマコを20、50、100個体収容し、2日後及び3日後に生残しているナマコを計数した。平成9年度の調査では、碎石を入れたかごを4行×6列に並べた試験礁の中央4かごに2,400個体のナマコを放流し、放流1日後から各調査日ごとに礁内に蝟集していたイトマキヒトデを取り上げ計数した。放流1日後に取り上げたイトマキヒトデはすぐに10%のホルマリンで固定し、持ち帰って消化管の中を調べた。

【結果及び考察】

平成7年度の調査において、かご別のイトマキヒトデの計数結果を図10に示した。放流4日後、試験礁には合計43個体のイトマキヒトデが蝟集していた。イトマキヒトデは外側のかごに多かった。これは、試験礁周辺に分布していたイトマキヒトデがナマコでなくカキに蝟集するためで、ナマコに蝟集する場合は、ナマコが多く存在する中心部でイトマキヒトデの個体数が多くなるものと考えられた。

イトマキヒトデのナマコに対する密度別の捕食試験結果を表11に示した。イトマキヒトデは3日後ではナマコの密度が高いほど多く捕食していたが、2日後では、50個体収容区よりも20個体収容区で多く捕食しており、捕食量は一定ではなかった。

平成9年度の調査では、各調査日において2~15個体のイトマキヒトデが確認された。しかし、放流1日後に取り上げたイトマキヒトデの消化管の中にナマコは確認されなかった。

以上の試験結果から、イトマキヒトデはナマコの外敵生物と考えられるが、試験礁でナマコに蝟集しないこと、捕食量は一定ではないことから、試験礁における放流初期の大量減耗の要因ではないと考えられた。しかし、放流後長期間経過した場合の被害の影響は無視できないものと思われた。

表11 イトマキヒトデのナマコに対する密度別の補食試験結果

試験区	イトマキヒトデ 腕長 (mm)	経過月日と生残個体数		
		開始時	2日後	3日後
20個体区	39.8, 40.8	20	6	2
50個体区	42.4, 41.6	50	47	27
100個体区	38.9, 39.0	100	58	23

水温 13.4~16.4℃

3. 種苗の波による流出について

(1) 放流方法の違いによる試験礁内での

生残個体数の比較

【材料及び方法】

平成7年度の放流追跡調査で、種苗を試験礁へ放流する際にキンランを用いたが、その時にキンランに付着していない個体が波によって礁外へ流される可能性が危惧された。平成8年度の放流追跡調査では、放流後すぐに種苗が波によって礁外へ流出しないような新たな放流方法を用い、従来のキンランを用いて放流した場合とその後生残数を比較した。その放流方法は図11に示すような塩ビ管をコンクリートに埋め込んだ筒型の台座（以下塩ビ管台座）を用いた方法で、塩ビ管の底部には半円状の穴が8ヶ所開いており、これを試験礁の中央に据え、表面を碎石で覆うことにより、筒の中に放流したナマコが徐々に礁内に移動していくようにした。試験礁は碎石の入ったかごを3行×4列に並べ、毎回異なる試験礁か

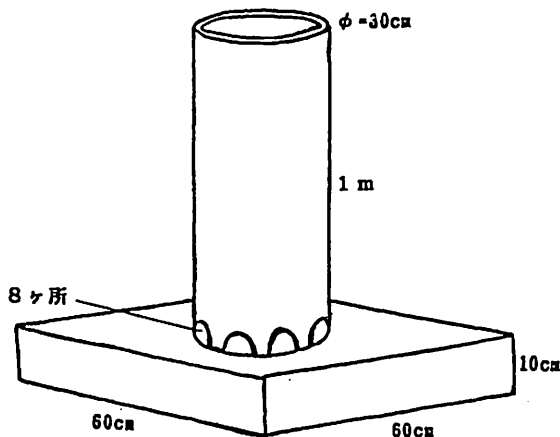


図11 種苗の放流に用いた塩ビ管台座

島側			
3	4	1	1
5	1 *	2 *	3
6	5	4	8

沖側

イトマキヒトデ個体数合計
43

(*は種苗の放流箇所を示す)

図10 放流試験礁のかご別のイトマキヒトデの計数結果

らナマコを取り上げられるように調査回数分の礁を設置した。試験礁にはそれぞれ平均体長9.4mm、1,000体のナマコを放流し、放流14、42、85、115日後の礁内の生残数を調査した。

【結果及び考察】

放流方法の違いによる試験礁内で発見されたナマコの個体数を図12に示した。放流14、42、115日後ではキンランを用いた方が生残数が多かった。一方放流85日後では塩ビ管台座を用いた方が生残数が多かった。このように、放流方法の違いによるナマコの滞留効果の相違は見られなかった。平成8年度の調査では放流後の種苗の生残に係わる調査の際のハンドリングの影響を想定し、これを防ぐために毎回別の試験礁からナマコを取り上げられるように調査回数分の礁を設置した。このためそれぞれの礁の環境が一定条件とはいえず、追跡調査での生残数の結果に一定の傾向が現れにくくなったと考えられる。

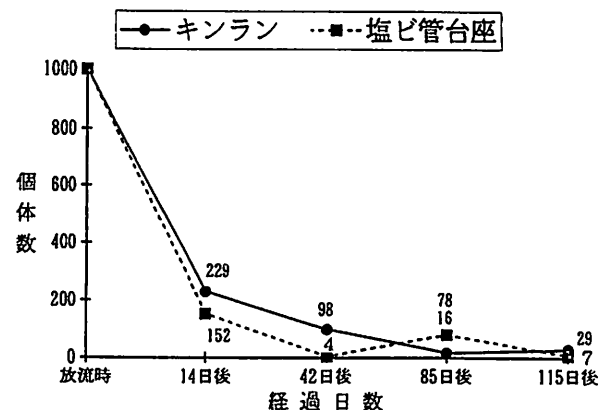


図12 放流方法の違いによる試験礁内での生残個体数の比較

(2) 波による種苗の流出と放流初期の

大量減耗との関係調査

【材料及び方法】

試験礁における放流初期の大量減耗の原因が波による流出によるものかを検討した。

平成7年度の調査では、碎石と生カキを入れたかごを3行×4列に並べた試験礁を2基設置し、うち1基は礁の周囲を40目の強力網を張った塩ビ管で囲んだ。それぞれの試験礁の中央にキンランに付けた平均体長7.7mm、5,000個体のナマコを放流し、4日後に各試験礁のかごのナマコ及び流出によって網に捕捉されたナマコを計数した。

平成9年度の調査（長期放流追跡調査として後述）では、碎石を入れたかごを4行×6列に並べた試験礁を2基設置し、うち1基は礁の周囲を目合い1mmのネットを張った鉄棒で囲んだ。別の1基は外周に50cm幅で碎石を設置した。2基とも試験礁の下には4.5m四方のシートを敷いた。それぞれの試験礁の中央に直接、平均体長18.1mm、2,400個体のナマコを放流し、放流1日後から各調査日に礁を構成するかごのうち半分を交互に揚げ、付着しているナマコを取り上げ、計数した。

【結果及び考察】

平成7年度の調査結果を図13に示した。放流4日後に取り上げたナマコの総個体数は、ネットで囲った区で1,928個体、囲わない区で2,658個体となり、それぞれ38.6%と53.2%の残存率であった。また、ネットで囲った区のネットにはナマコは1個体も採集されなかった。この調査からは、波が静穏時の場合では、試験礁における放流初期の大量減耗要因は、波による流出ではないと考えられた。また、ネットで囲わなかった区より囲った区の方が発見総個体数が少なかったことも、波による流出の可能性を否定するものであった。しかし、波があった場合の種苗の流出は今回の調査からは判定できず、その可能性は否定できないと思われた。

平成9年度の調査結果を図14に示した。礁内推定個体数の対放流尾数割合は、放流1日後にネットで囲った区は100%、囲わない区で99.0%、放流3日後にネットで囲った区は90.7%、囲わない区で82.6%、放流9日後にネットで囲った区は68.7%、囲わない区で62.6%と算出された。両区とも生残率の値が高かったのは、試験礁の下にシートを敷いたことによって、取り上げの際の見落としが少なくなったことによると考えられる。放流3日後において、ネットで囲わない区の礁の外周に設置した碎石を調べたところ、観察されたナマコはわずかに11個体であった。前述のイトマキヒトデによる初期の捕食はほとんどないこと、礁外に移動したナマコが放流初期にはほとんどいなかったことから、ネットの有無による発見個体数の差は、放流初期においては波によって礁外に流出した数であると推測される。

このように波による流出については、試験礁が開放型の場合、放流初期の減耗に関係してくる要因と考えられた。

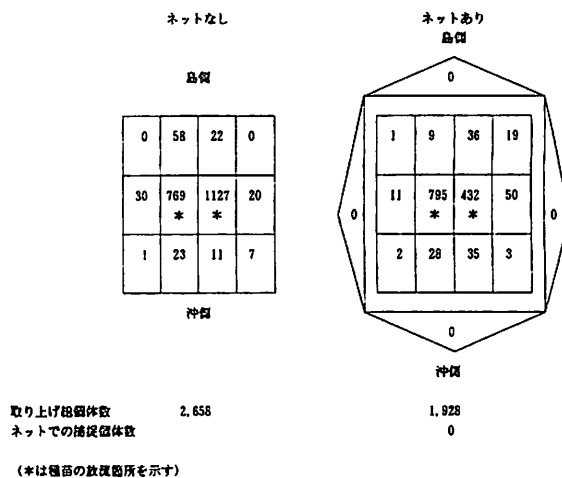


図13 波による種苗の流出調査（平成7年度）

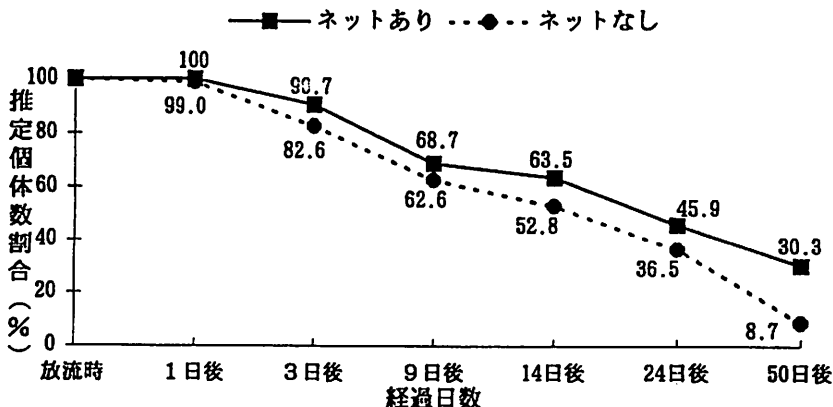


図14 波による種苗の流出調査（平成9年度）

4. 種苗の活力低下による斃死について

(1) 取り上げた種苗の室内水槽での生残試験

【材料及び方法】

平成6年度の放流追跡調査で、放流初期に種苗の大きな減耗が見られたが、その要因の一つとして、生産水槽から種苗を取り上げる時の剥離方法や放流までの管理状態による活力の低下で放流後死亡することが減耗に結びついている可能性が考えられる。そこで、平成8年度に生産水槽から取り上げたナマコをサイズ別に別の室内水槽に再収容し、時間の経過に伴う生残率の変化を調べた。

生産水槽から筆や刷毛を用いて剥離したナマコを大サイズ(約15mm以上)、中サイズ(約7~15mm)、小サイズ(約7mm未満)に選別した。各サイズとも200個体ずつ、サイズ別に150リットル水槽に再収容した。1回の測定ごとに取り上げられるように、試験区を4区ずつ設置した。収容2、3、4、5週間後に各サイズの生残しているナマコを計数した。

付着しているナマコをKCl溶液で麻酔し、剥離する方法が知られているが、麻酔がナマコに与える影響は分かっていない。そこで筆を用いた剥離方法と、KCl溶液の麻酔による剥離方法における生残数の違いを調べた。0.25%KCl溶液を満した200リットル水槽にナマコの付着した液板ホルダーを投入し、数分間浸漬した後、液板を揺すってナマコを剥離した。集めたナマコは上記と同様にサイズによる選別を行い、150リットル水槽に再収容した。5週間後に各サイズの生残しているナマコを計数した。

ナマコを剥離する際、表皮や管足が擦れることを想定し、合成抗菌剤の一種であるニフルスチレン酸ナトリウムによる薬浴を施すことにより生残数に相違が生じるかを検討した。筆や刷毛を用いて剥離したナマコを上記と同様にサイズによる選別を行い、150リットル水槽に再収容した。飼育開始時にニフルスチレン酸ナトリウムを5ppmとなるように飼育水に混合した。5週間後に各サイズの生残しているナマコを計数した。

【結果及び考察】

大、中、小各サイズについて、飼育開始時、2、3、4、5週間後、及びKCl溶液による剥離、ニフルスチレン酸ナトリウムによる薬浴を行った時の飼育5週間後の取り上げたナマコの数を(表12)に示した。また、取り上げ時期の経過に伴う生残数の変化を図15に示した。大サイズは飼育3週間後まではほとんど変化がなく、飼育5週間後には約90%が生残していた。中サイズは大サイズと同様、飼育3週間後まではほとんど変化がなかったが、飼育5週間後には生残率が70%に減少した。小サイズは他のサイズと異なり、飼育2週間後に生残率が87.5%に減少し、5週間後には生残率が77.5%となった。体長10mm未満のサイズは筆を用いて剥離した場合、その後の生残に影響があることが示唆された。特に体長7mm

表12 取り上げ種苗の室内飼育試験

	個数 (平均長mm)		
	大	中	小
開始時	200 (24.8)	200 (12.7)	200 (8.2)
2週目	195 (20.3)	200 (13.4)	175 (7.7)
3週目	197 (18.9)	197 (12.2)	162 (7.5)
4週目	189 (15.5)	191 (10.6)	170 (7.2)
5週目	182 (15.8)	140 (10.5)	155 (7.5)
KCl剥離	197 (15.7)	188 (10.2)	163 (5.9)
薬浴	197 (15.9)	176 (10.7)	174 (7.0)

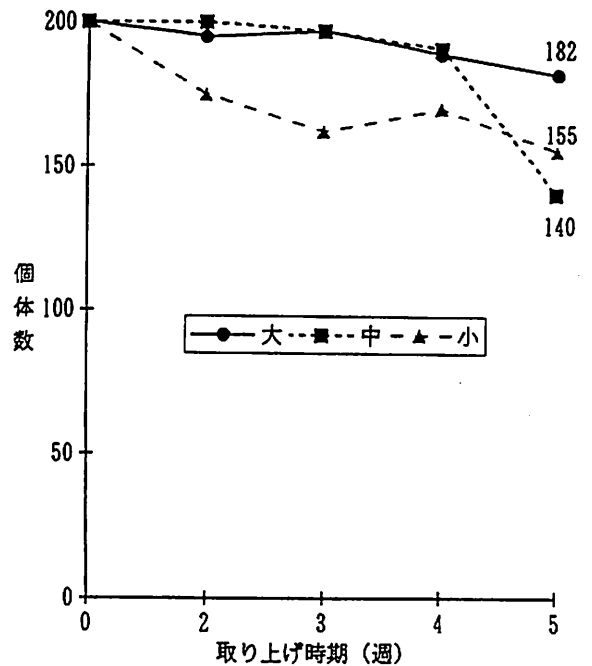


図15 取り上げ時期の経過に伴うサイズ別の生残数の変化

未満の小さなサイズは比較的短期間にその影響が生じると思われた。

KCl溶液を用いて剥離した場合、及び筆で剥離した後ニフルスチレン酸ナトリウム浴をした場合の、飼育5週間後の生残数を、筆で剥離し薬浴しなかった場合の生残数(対照区)と比較した結果を図16に示した。どのサイ

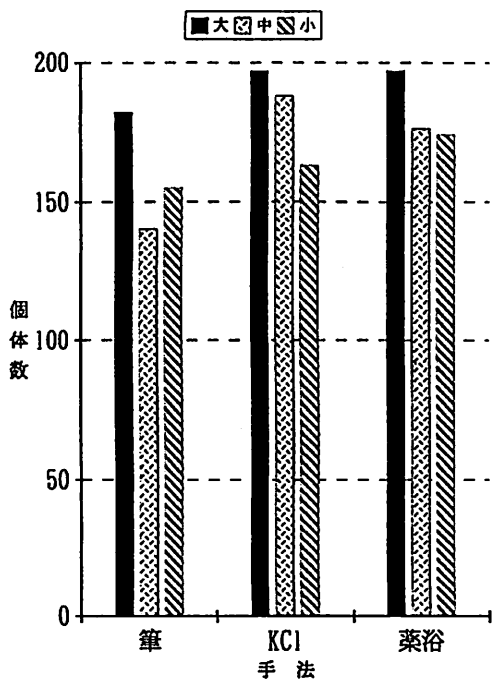


図16 種苗の取り扱い手法の違いによる生残数の比較

ズにおいても、KCl 溶液を用いた場合、及び薬浴した場合ともに対照区の生残数を上回った。KCl 溶液で麻酔し剥離する方法は筆を用いて直接剥離するよりも、基質に付着しているナマコの管足に対する影響が少ないと考えられた。また、ニフルスチレン酸ナトリウムの薬浴により、損傷を受けた管足のびらんが多少抑制されると考えられた。

平成7年度の放流追跡調査では、2、3日という極短期間で放流ナマコの大量減耗が認められた。しかし、今回の室内水槽飼育試験では、小サイズが2週間でやや減少したものの、大量減耗ではなかった。また飼育開始から3日間飼育水槽内のナマコの数を目視で計数した結果、ほとんど減少していなかった。従って、大量減耗の原因に活力低下による斃死が関与しているとしても、それが種苗生産水槽からの取り上げの際の剥離による影響だけではないと思われる。従って剥離してから放流するまでのナマコの管理方法や放流場所までの運搬方法等、一連の作業がナマコの活力低下に関係してくると考えられる。

(2) 放流場所での種苗の生残試験

【材料及び方法】

平成7年度及び8年度の調査で、種苗の放流の際、試験礁を構成するかごを網で覆うことにより放流場所でのその後の種苗の生残を追跡し、種苗の活力低下による斃死と放流後の大量減耗との関係を検討した。

平成7年度の調査では、碎石と生カキを入れたかご1つにつき、平均体長8.8mm、500個体ずつのナマコを收容し、40目の強力網でかごを覆った。放流1、2、3、23、122日後にかご内のナマコを取り上げ、計数した。

平成8年度の調査では、碎石を入れたかご1つにつき、室内水槽試験の時と同様、大（平均体長26.8mm）、中（平均体長11.5mm）、小（平均体長7.3mm）の各サイズ別に200個体ずつのナマコを收容し、40目の強力網でかごを覆った。放流1、2、8、14、42日後にかご内のナマコを取り上げ、計数した。

【結果及び考察】

平成7年度の調査結果を図17に示した。放流1日後には16.2%の種苗が減耗していたが、2、3日後はほとんど種苗の減耗は見られなかった。また、放流23日後には52.4%、122日後には64.2%の減耗が見られた。この調査において、長期の追跡では種苗の活力低下による斃死が減耗の大きな原因になっていることが確認された。放流初期の減耗については、同時に実施した放流追跡調査で、放流3日後までに66.6%もの減耗があったにも係わらず、網で覆ったかご内での種苗の斃死はほとんど見られなかったことから、数字上は種苗の活力低下による斃死と大量減耗との相関は認められなかった。しかし、網で覆ったかご内での種苗のなかには体表が爛れている個体が多く観察されたことから、放流直後に斃死しないまでも、潜在的に斃死につながる傷害を受けている個体が多く存在していたことが予想された。同時に実施した放流追跡調査で放流3日後に体長7mm以下の個体の減耗が見られたことから、平成8年度の調査では、サイズ別に種苗の斃死と放流後の減耗との関係を調べた。

平成8年度の調査結果を図18に示した。大サイズは放流1、2日後は斃死した個体は無く、放流42日後においても放流当初の93.5%の個体が確認された。中サイズは放流14日後までは90%以上の生残が確認されたが、放流42日後には放流当初の58.5%にまで生残数が減少した。

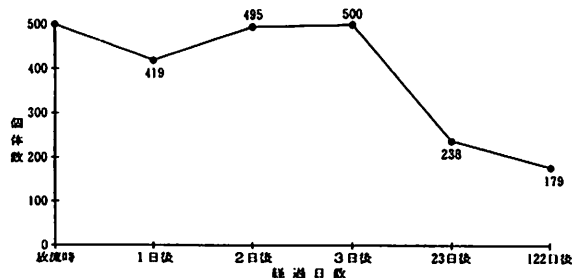


図17 放流場所での種苗の生残試験（平成7年度）

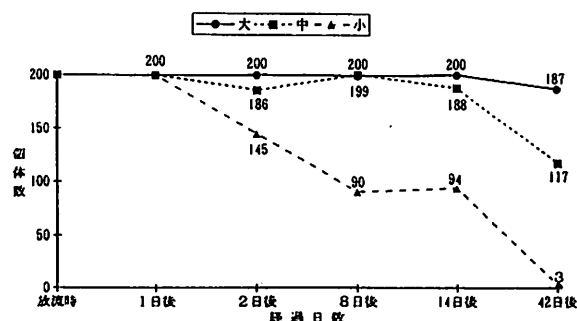


図18 放流場所での種苗の生残試験（平成8年度）

小サイズは放流1日後では斃死した個体は無かったが、放流2日後には放流当初の72.5%、8日後には45.0%にまで生残数が減少した。さらに、放流42日後には生存しているナマコはわずかに3個体しか確認できなかった。前述の室内水槽での生残試験の結果と比較すると、試験開始2週間後において小サイズは室内水槽では12.5%の減耗が見られたのに対し、放流場所での調査では53.0%の減耗が見られた。従って、生産水槽からの取り上げの際の剥離による影響だけでなく、剥離してから放流するまでの保管時や放流場所までの運搬時に受ける影響が放流後の減耗につながると予想された。

(3) 取り上げた種苗に対する振盪による影響試験

【材料及び方法】

生産水槽から取り上げたナマコを放流場所まで運搬する間の振盪がナマコの管足に影響を与え、放流後の活力低下を招き、その後の生残に関与すると考え、室内試験を行った。

平成7年度の試験では、振盪培養器（ヤマト科学株式会社、IK41）に固定した300ml三角フラスコ3個に海水100mlと平均体長17.4mm、20個体のナマコを収容した。試験区は2、4、6時間の振盪継続時間を設定した。振盪後、各試験区のナマコを150リットル水槽に収容し、20日後に生存しているナマコの数を計数した。

平成9年度の試験では、ふるいを用いて選別した大サイズ（平均体長32.9mm）、中サイズ（平均体長14.4mm）、小サイズ（平均体長6.9mm）のナマコ各50個体を、振盪培養器に固定した1リットルビーカーにそれぞれ収容した。試験区は60分間連続振盪、20分間振盪後20分間停止した後さらに20分間振盪、10分間振盪後10分間停止を3回繰り返しの計3区を設定した。振盪後、各試験区のナマコを150リットル水槽に収容し、15日後に生存しているナマコの数を計数した。

【結果及び考察】

平成7年度の試験結果を表13に示した。各区とも斃死した個体は認められなかった。また、ナマコの体表や管足の傷害は確認されなかった。連続的な振盪が、ナマコの生残に与える影響はないと思われた。しかし、実際の運搬時の振盪は揺れが断続的であり、静止時にナマコが

基質に付着することを想定すると、再度の振盪により管足が傷害を受け、その後の生残に関係することが考えられた。また、種苗の大きさにより受ける影響が異なること考え、平成9年度に新たな試験を行った。

平成9年度の試験結果を図19に示した。60分間連続振盪を施した小サイズは生残数が24個体と少なかったが、これは再収容した水槽の飼育環境の悪化が原因と思われた。他の区ではほぼすべての個体の生残が確認されたことから、連続的、断続的振盪がナマコのその後の生残に与える影響はほとんどないと思われた。

(4) 室内水槽及び放流場所での種苗の生残比較試験

【材料及び方法】

前述のとおり、平成8年度の試験において、生産水槽から取り上げたナマコについて、小サイズの種苗は比較的短期の間に活力低下による斃死を招くものの、室内水槽で継続飼育した場合と放流場所での調査結果とは、その生残率に相違が見られた。一方平成7、9年度に行った、取り上げたナマコに対する振盪による影響試験では、連続的、断続的振盪がナマコのその後の生残に与える影響はほとんどないとの結果を得た。そこで平成9年度の調査で、室内水槽での飼育環境と放流場所での環境とは異なることから、放流場所まで運搬したナマコを再度実験室へ持ち帰って室内水槽で飼育し、取り上げ後室内水槽で継続飼育した場合及び放流した場合との生残割合を比較することとした。これにより、種苗の活力低下による斃死は、取り上げ後放流するまでの保管時や放流場所までの運搬時に受ける影響によるものか、放流後の環境要因によるものが改めて推定できると考えられた。

平成9年度の試験では、筆や刷毛を用いて生産水槽よ

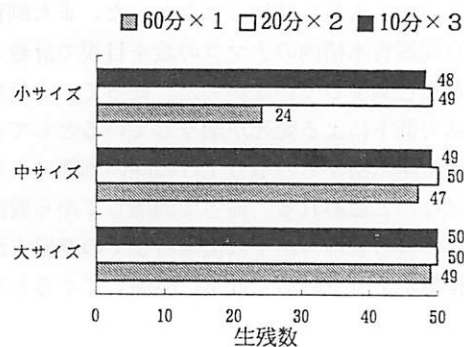


図19 種苗に対する振盪による影響試験 (平成9年度)

表13 種苗に対する振盪による影響試験 (平成7年度)

経過時間	水槽に入れた個体数	生存していた個体数 (20日後)
2時間区	20	20
4時間区	20	20
6時間区	20	20

り剥離した種苗をふるいにより大（平均体長32.9mm）、中（平均体長14.4mm）、小（平均体長6.9mm）の各サイズに選別し、試験開始まで150リットルアクリル水槽でかけ流し飼育した。放流場所まで運搬する種苗は放流当日にアクリル水槽から取り上げ、ポリ容器に収容し、エアレーションを施した。種苗の一部はそのままサイズ別にアクリル水槽内で継続飼育した（室内区とする）。放流場所まで運搬した種苗の一部は現場で計数後再びポリ容器で実験室まで持ち帰り、サイズ別にアクリル水槽内で継続飼育した（持ち帰り区とする）。また、放流場所にて18日の強力網で覆った碎石入りのかごにサイズ別に種苗を収容した（放流区とする）。各区、各サイズとも試験に供した種苗は100個体とした。放流日から1、3、9、16、24日後の各区の種苗の生残数を調べた。

【結果及び考察】

種苗の生残比較試験の結果をサイズ別あるいは試験区別に図20に示した。放流24日後の室内区の大、中、小サイズ、及び持ち帰り区の小サイズの生残数が極端に低いのは、室内水槽の飼育環境の悪化が原因と思われた。サイズ別に各区の比較をみると、放流16日後まで大サイズはどの区ともすべて生存していた。中サイズではやや減少したものの放流16日後までどの区ともほとんどの個体が生存していた。小サイズでは放流16日後まで放流区が生残率が他区より低く、24日後には45個体しか発見でき

なかった。各区においてサイズの違いによる比較をみると、室内区及び持ち帰り区では放流9、16日後に小サイズが他のサイズをやや下回ったが、概して生残数は同じだった。放流区では小サイズが放流1日後に75個体に減少し、その後もいずれの調査日においても他のサイズの生残数を下回った。

以上の結果から、体長約7mm以下の小サイズの種苗は放流後の活力低下による斃死を生じやすいこと、そのうち、生産水槽より取り上げてから放流するまでの間の種苗の取り扱いが招く斃死は、今回のような手法で行った場合は若干あるものの少なく、むしろ放流後の自然環境が原因で起こるもの（自然死亡）であると考えられた。

平成8年度までは、放流追跡調査での各試験において、個体数の把握を重視したために、種苗を放流場所へ運搬する前に計数し、予め計数した個体を区ごとに密閉した状態で放流まで管理、運搬していた。つまり、放流までに人為的に種苗の活力低下を招く環境を形成していた可能性があったと思われる。

以上のように放流初期減耗の要因として考えられる項目として、種苗の移動、外敵生物による食害、波による流出、活力低下による斃死に焦点を当てた試験を行った。

その結果、種苗の移動と外敵生物による食害については、放流後長期間経過した場合は関係するが、初期の減耗要因としては考えられにくいと思われた。波による流

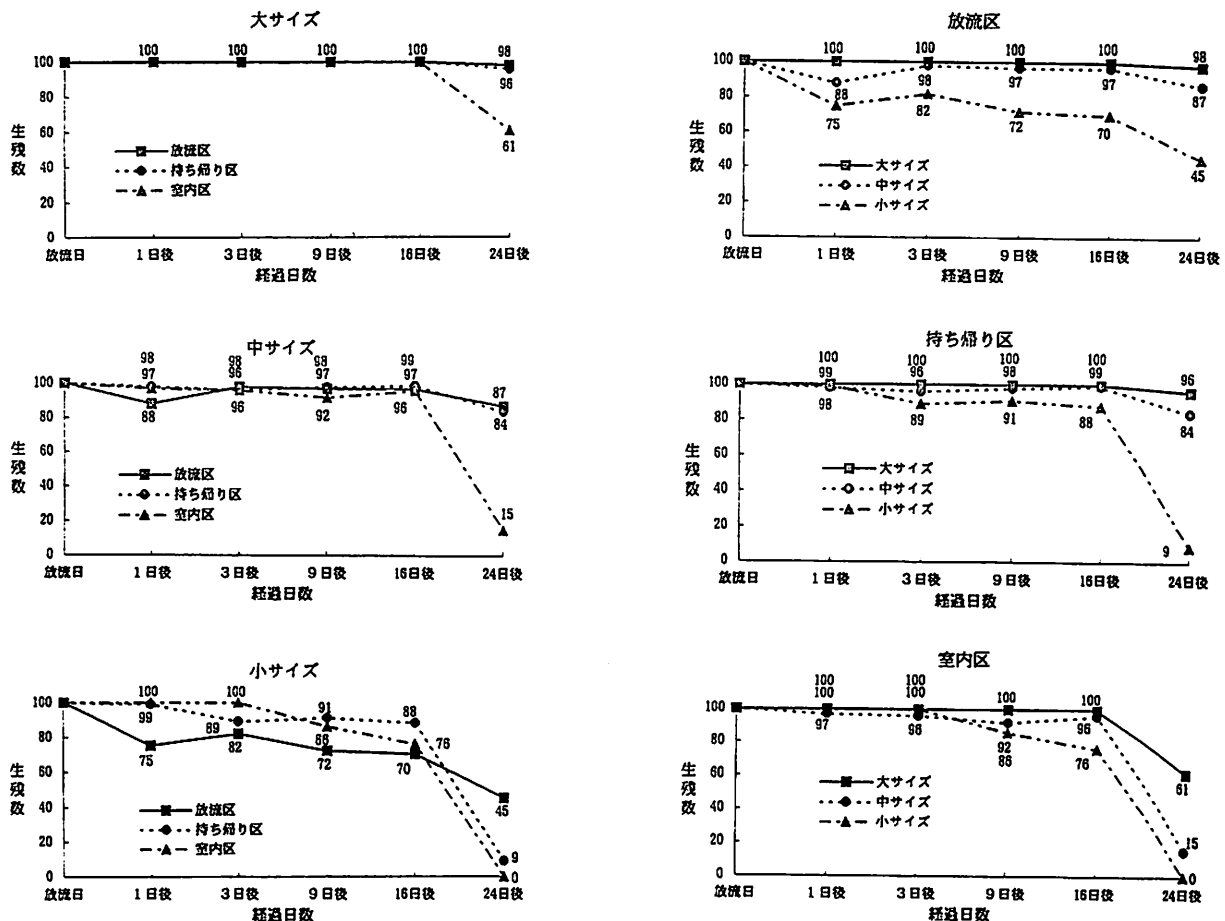


図20 種苗生残比較試験

出については、試験礁が開放型の場合で波が生じた場合十分関係する要因と考えられた。活力低下による斃死については、種苗のサイズと放流までの種苗の取り扱い方が反映し、体長15mm以上の種苗はほとんど活力低下による斃死はないが、体長7mm以下の種苗は放流までの取り扱いに注意した場合でも、放流後の自然環境が原因で斃死を誘発し、減耗要因となると考えられた。

また、種苗の発見率の問題は減耗には直接関係ないものの、放流追跡調査を行っていく上で重要であると思われた。

これらの試験結果とその考察をもとに以下に平成9年度に行った長期放流追跡調査の概要を記した。

[平成9年度放流追跡調査]

【材料及び方法】

拳大の碎石を投入したかご(40×60cm)を4行×6列に並べた240×240cmの放流試験礁を2区設け、うち1区は礁の周囲を目合い1mmのネットで囲った(以下ネットあり区)(図21)。また、追跡調査での種苗の見落としを防ぐために、2区とも試験礁の下には450×450cmのシートを敷いた。さらにネットで囲まない区(以下ネットなし区)

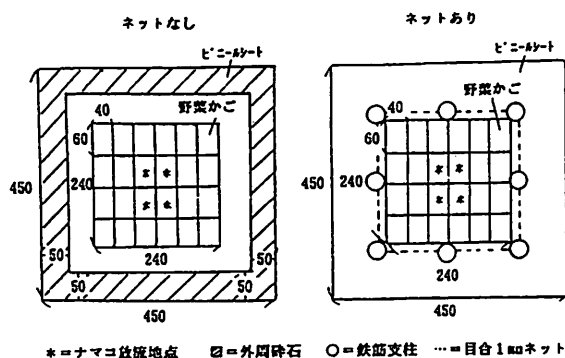


図21 放流試験礁

トなし区)については外周に50cm幅で碎石を設置した。生産水槽から取り上げたナマコはふるいをを用いて大(平均体長32.9mm)、中(平均体長14.4mm)、小(平均体長6.9mm)の各サイズに選別した後、アクリル水槽に再収容し、放流当日までかけ流し飼育をした。放流当日各サイズごとに種苗をポリ容器にてエアレーションを施して運搬し、放流場所で各サイズ800個体ずつ、計2,400個体を2区分抽出した。両区とも礁の中央4かごにそれぞれ計2,400個体のナマコを放流した。放流1、3、9、16、24、50日後に礁を構成するかごのうち半分を交互に揚げ、付着しているナマコをすべて取り上げた。取り上げたナマコはかごごとに体長を測定した後、試験礁に再放流した。また、ネットなし区については放流3日後から礁の外周の碎石も併せて観察した。

【結果及び考察】

礁内で発見したナマコの個体数(実際の取り上げ数)、礁内にいるナマコの推定個体数、放流したナマコの個体数に対する推定個体数の割合、及び発見したナマコの平均体長の経過を表14に示した。さらに、発見したナマコの分布と各かごごとの個体数、平均体長を図22に示した。礁内にいるナマコの推定個体数は、実際の取り上げ数を2倍した値とした。(ネットあり区の放流1日後の値は2倍すると放流尾数を越えてしまうので、放流尾数と同じ値とした。また、ネットなし区の放流24日後以降は、調査中の波浪により取り上げたナマコが流出したために、半分量は礁内に残っていると仮定して、実際の取り上げ数を4倍した値とした。)

放流尾数に対する放流1日後及び3日後の推定個体数割合はそれぞれネットあり区で100%、90.7%、ネットなし区で99.0%、82.6%と高い割合を示した。これは試験礁の下にシートを敷いたことによる種苗の発見率の向上が大きな要因と考えられる。さらに、放流までの種苗の

表14 放流追跡調査結果

	11/18 放流時	11/19 1日後	11/21 3日後	11/27 9日後	12/2 14日後	12/12 24日後	1/7 50日後
(ネットあり)							
実際の取り上げ数		1222	1088	824	762	551	363
礁内推定個体数	2400	2400	2176	1648	1524	1102	726
対放流尾数割合(%)		100	90.7	68.7	63.5	45.9	30.3
平均体長(mm)	18.1	21.3	22.3	20.5	21.9	21.4	27.8
(ネットなし)							
実際の取り上げ数		1188	991	751	633	*219	*52
礁内推定個体数	2400	2376	1982	1502	1266	876	208
対放流尾数割合(%)		99.0	82.6	62.6	52.8	36.5	8.7
平均体長(mm)	18.1	19.8	20.9	18.5	18.0	18.6	26.4
ネットなし外周個体数			11	83	52	41	32
平均体長(mm)				36.4	43.9	32.8	32.4

*波浪の為、調査中半分量が消失した。

a

ネットあり

1日後

		沖囲				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	6	16	4		
	B	8	572	43		
	C	57	476	15		
	D	2	17	6		
合計		68	1061	22.1		
合計		21.3mm				

14日後

		沖囲				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	35	56	68		
	B	29	85	72		
	C	83	138	27		
	D	100	50	19		
合計		244	329	31.9		
合計		21.9mm				

3日後

		沖囲				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	23	45	26		
	B	21	275	102		
	C	116	363	19		
	D	17	68	13		
合計		168	751	22.3		
合計		22.3mm				

24日後

		沖囲				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	24	56	44		
	B	65	76	28		
	C	42	78	35		
	D	53	32	20		
合計		184	242	21.4		
合計		21.4mm				

9日後

		沖囲				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	21	48	32		
	B	55	165	35		
	C	39	230	82		
	D	46	55	16		
合計		161	498	20.5		
合計		20.5mm				

50日後

		沖囲				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	27	28	28		
	B	40	21	21		
	C	32	17	17		
	D	100	22	10		
合計		199	68	27.6		
合計		27.6mm				

b

ネットなし

1日後

		沖囲				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	0	3	3		
	B	49	503	1		
	C	1	580	33		
	D	6	6	3		
合計		56	1123	18.0		
合計		18.0mm				

14日後

		沖囲 7 40.0				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	36	35	7		
	B	33	114	42		
	C	76	119	39		
	D	40	51	41		
合計		184	319	17.3		
合計		19.0mm				

3日後

		沖囲 4				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	10	24	55		
	B	23	228	56		
	C	115	327	30		
	D	12	67	44		
合計		160	636	20.9		
合計		20.9mm				

24日後

		沖囲 5 18.4				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	9	10	7		
	B	37	24	16		
	C	11	24	21		
	D	20	24	16		
合計		77	82	18.4		
合計		18.4mm				

9日後

		沖囲 11 29.1				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	13	40	15		
	B	82	142	27		
	C	28	187	77		
	D	32	70	38		
合計		155	449	29.1		
合計		29.1mm				

50日後

		沖囲 8 36.0				
		①	②	③	④	⑤
合計	A	4	4	1		
	B	3	1	10		
	C	2	9	6		
	D	1	7	4		
合計		10	21	17		
合計		36.0mm				

図22 放流追跡調査における採捕したナマコの分布 (大字は個体数、小字は平均体長 (mm) を示す)

取り扱いを慎重に行ったことから、放流直後の活力低下に伴う種苗の斃死が少なかったことも要因として考えられる。その後の推定個体数の割合は次第に減少し、放流50日後にはネットあり区で30.3%、ネットなし区で8.7%となった。どの調査日においてもネットあり区の個体数がネットなし区の個体数を上回った。その間の平均体長はネットあり区が18.1~27.8mm、ネットなし区が18.0~

26.4mmで推移し、常にネットあり区の平均体長がネットなし区の平均体長を上回った。ネットなし区の試験礁が開放型であるのに対して、ネットあり区の試験礁は外周がネットで囲まれていることにより、日数の経過とともに浮泥が礁内の碎石にやや沈積した状態となった。つまり、両区で種苗に対する餌料の量の差が生まれ、このことが両区の平均体長の差を生じた要因の1つとなった

と推測できる。

放流3日後のデータを取ると、ネットあり区での放流尾数に対する減耗割合9.3%は、種苗の斃死によると推定できる。またネットなし区での放流尾数に対する減耗割合17.4%は、種苗の斃死と波による流出によると推定できる。すなわち、その値の差8.1%が波による流出によるものと考えられる。放流日及び放流3日後のネットあり区、ネットなし区の種苗の体長組成を図23に示した。体長組成は5mm単位で区分した。放流日は平均体長18.1mm、モード6~10mm、体長10mm以下の個体の割合は34.0%、体長15mm以下の個体の割合は57.3%であった。放流3日後は、ネットあり区において平均体長22.3mm、モード6~10mm、体長10mm以下の個体の割合は26.2%、体長15mm以下の個体の割合は46.8%で、ネットなし区において平均体長20.9mm、モード11~15mm、体長10mm以下の個体の割合は19.6%、体長15mm以下の個体の割合は42.3%となった。このことから、放流3日後に平均体長が増加したのは、種苗が成長したことによるのではなく、体長10mm以下の小サイズ種苗が減耗したことによると推測できる。さらに放流初期の減耗要因として考えられる活力低下に伴う種苗の斃死や波による種苗の流出は、放流個体群の中の、小サイズ種苗によるものだといえる。

放流50日後までのデータをもとに、ネットあり区及びネットなし区における、放流後の日数経過に伴う礁内の推定生残数の推移を、指数近似した(図24)。切片の値は放流尾数の2,400として近似曲線を表した。ネットあり区では $y=2400e^{-0.0263x}$ 、相関係数0.9464、ネットなし区では $y=2400e^{-0.0476x}$ 、相関係数0.9936となった。ネットなし区で放流後の日数経過に伴って推定生残数の減少カーブの傾きがネットあり区よりも大きくなるのは、放流直後にはあまり問題とならなかった、種苗の礁外への移動や、外敵生物による食害による減耗が係わってくることによると考えられる。放流3日後よりネットなし区の試験礁の外周を観察したところ、放流尾数に対して0.5~3.5%の個体が移動しているのを確認した。採捕したナマコの平均体長は32.4~43.9mmと大きかった。図22でのナマコの分布をみると、放流1日後は試験礁の中心に多くの個体が観察されたが、放流3日後以降は試験礁全体に種苗が分散した。ネットあり区では島側のかごに種苗が比較的多く観察され、ネットの内側に付着している個体も見られたことから、波の影響を受けて種苗が分散していく可能性が示唆された。また、常にネットあり区で平均体長がネットなし区で平均体長を上回ったこと、試験礁の中心部よりその周りのかごで平均体長が大きかったこと、ネットなし区の外周で発見された種苗の平均体長が大きかったことから、大きい種苗ほど礁外へ分散していきやすいと考えられた。

以上の結果をもとに、平成9年度の放流追跡調査における放流種苗の減耗過程と、その要因の内訳をシミュレ

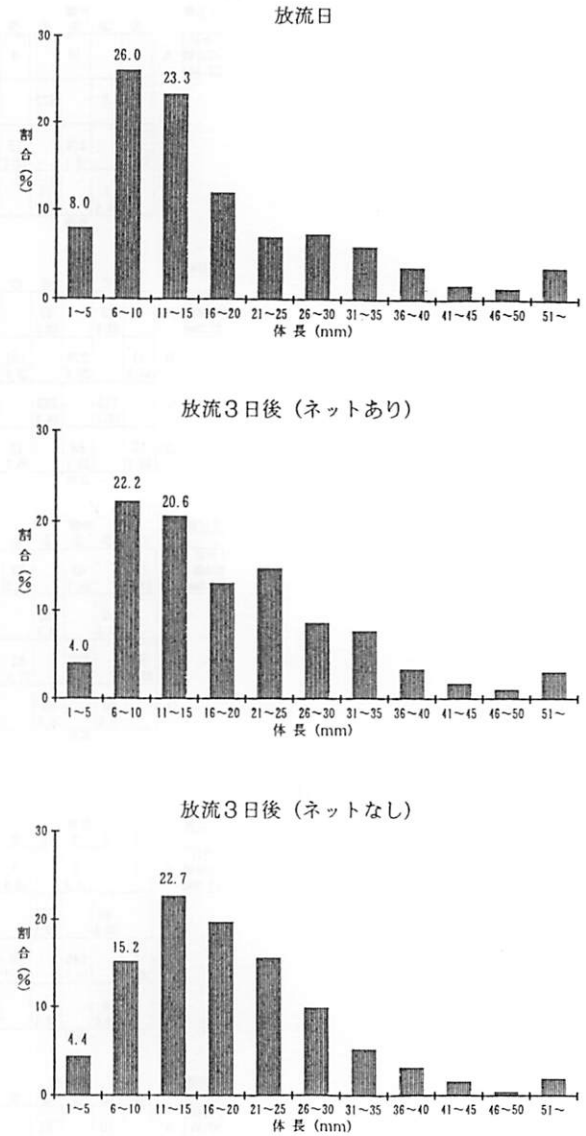


図23 放流日及び放流3日後の種苗の体長組成

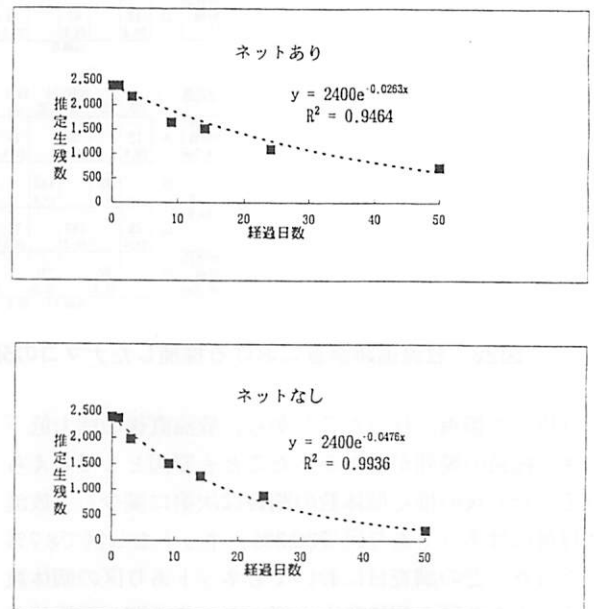


図24 放流後の日数経過に伴う礁内の推定生残数の推移

ーションし、表15に示した。これによれば、放流50日後の推定生残数と減耗数の内訳は、ネットあり区では推定生残数644個体、減耗数1,756個体（うち斃死が1,756個体）、ネットなし区では推定生残数222個体、減耗数2,178個体（うち斃死が1,340個体、能動的移動が219個体、流出及び食害が619個体）となる。仮にその後の減耗率が放流50日

後までの計算式のとおりと仮定すると、放流後約3ヶ月経った時（放流90日後）の推定生残数と減耗数の内訳は、ネットあり区では推定生残数225個体、減耗数2,175個体（うち斃死が2,175個体）、ネットなし区では推定生残数33個体、減耗数2,367個体（うち斃死が1,485個体、能動的移動、流出及び食害の合計が882個体）と算出される。

表15 平成9年度放流追跡調査における種苗の生残、減耗過程

ネットあり区

経過日数	推定生残数	減耗数 (斃死数)
0	2,400	0
1	2,338	62
3	2,218	182
9	1,894	506
14	1,661	739
24	1,277	1,123
50	644	1,756

ネットなし区

経過日数	推定生残数	減耗数	斃死数	移動数	流出数 (一部食害数)
0	2,400	0	0	0	0
1	2,288	112	62	0	49
3	2,081	319	180	11	129
9	1,564	836	483	94	259
14	1,233	1,167	676	146	346
24	766	1,634	961	187	486
50	222	2,178	1,340	219	619

- ・ ネットあり、なし区とも推定生残率は指数近似した関係式より換算した値である（このため表14の値とは異なる）。
- ・ ネットなし区での種苗の斃死数は、下記の式により算出した値の累計である（このためネットあり区での斃死数とは異なる）。
 $(\text{ネットあり区での前調査からの斃死数}) / (\text{ネットあり区での前調査の推定生残数}) \times (\text{ネットなし区での前調査の推定生残数})$
 例えば、ネットなし区の放流50日後の斃死数（累計）は次の計算より1,340となる。
 $(\text{ネットあり区50日後の斃死数} - \text{ネットあり区24日後の斃死数}) / (\text{ネットあり区24日後の推定生残数})$
 $\times (\text{ネットなし区24日後の推定生残数}) + (\text{ネットなし区24日後の斃死数})$
 すなわち、 $(1,756 - 1,123) / 1,277 \times 766 + 961 = 1,340$
- ・ ネットなし区での種苗の移動数は、実際に試験罐外で採捕された個体数の累計である。
- ・ ネットなし区での種苗の流出数は、減耗数 - 上記の式により換算した斃死数 - 移動数である。

【総合考察】

平成9年度までの放流追跡調査の結果、放流初期の減耗要因として、体長10mm以下の種苗の活力低下に伴う斃死と波による流出が関与していることが判明した。生産水槽から取り上げて放流するまでの種苗の取り扱いには傷害を与えないよう最善の方法で行い、試験罐の下にシートを敷くことで見かけの減耗率を軽減した場合でも、放流後3日間に放流尾数に対して約7.5%の種苗が斃死し、約5.4%の種苗が流出すると考えられた。放流後長期に亘ってはこれらの要因に加えてさらに、種苗の移動と外敵生物による食害により、種苗の数は指数関数的に減耗すると考えられた。

体長15mm以上の比較的大型の種苗は放流後初期に斃死することはほとんどないことから、放流効果を期待した資源添加効率をあげるためには、大型種苗の放流が必要不可欠となる。従っていかに効率よく大きい個体を大量生産できるかという種苗生産段階に重要課題がフィードバックすることとなり、現段階での種苗生産技術では、生産時の種苗の大小差が著しい点、平均体長15mm以上の種苗を生産するのに約半年を要する点等から大型種苗を短期間に大量生産するというのは困難な状況にあると考えられる。

Ⅲ 参考文献

- 愛知県・大分県・福井県・山口県（1989）：昭和63年度地域特産種増殖技術開発事業報告書（棘皮類）
- 愛知県・大分県・福井県・山口県（1990）：平成元年度地域特産種増殖技術開発事業報告書（棘皮類）
- 愛知県・大分県・福井県・山口県（1991）：平成2年度地域特産種増殖技術開発事業報告書（棘皮類）
- 愛知県・大分県・福井県・山口県（1992）：平成3年度地域特産種増殖技術開発事業報告書（棘皮類）
- 愛知県・大分県・福井県・山口県（1993）：平成4年度地域特産種増殖技術開発事業報告書（棘皮類）
- 大分県・福井県・山口県・水産大学校（1994）：平成5年度地域特産種増殖技術開発事業報告書（棘皮類）
- 石川県・大分県・福井県・山口県（1995）：平成6年度地域特産種増殖技術開発事業報告書（棘皮類）
- 大分県・山口県・福井県・石川県（1996）：平成7年度地域特産種増殖技術開発事業報告書（棘皮類）
- 山口県・福井県・石川県・大分県（1997）：平成8年度地域特産種増殖技術開発事業報告書（棘皮類）
- （社）日本栽培漁業協会（1995）：種苗生産期に問題となっている疾病について—種苗期疾病情報事業に報告された情報を基にして—
- 伊藤史郎（1995）：マナマコの人工大量生産技術の開発に関する研究。佐賀県栽培漁業センター研究報告4, 1-87