

マナマコの付着珪藻板飼育による大量生産 (予報)

伊藤 史郎・川原 逸朗

マナマコ *Stichopus japonicus* は水産上有用な磯根資源であり、近年、その増殖を目的とした人工種苗の生産が行われ、放流事業が試みられようとしている¹⁾。

石田²⁾ は、温度刺激法により大量の完熟卵を得ることに成功し、浮遊幼生の餌料として、*Pavlova lutheri* や *Chaetoceros gracilis* を用いて、浮遊幼生から着底初期の稚ナマコまでを同一水槽内で飼育する生産方法を開発した。それ以降、現在では、様々な生産方式によって稚ナマコの生産が試みられている³⁻⁷⁾。しかし、陸上水槽で、大型種苗を大量にしかも安定的に生産するには、まだ多くの問題点が残されている。

佐賀県栽培漁業センターでは、1979年からマナマコの種苗生産に着手し、資源の増殖を図る目的で人工種苗の放流事業を開始した。当センターにおける種苗生産方式は、当初、同一水槽内で浮遊幼生から稚ナマコまでを一貫して飼育する方式であった。しかし、着底初期の稚ナマコまで100万尾単位での飼育は可能であったが、その後の減耗が著しく、この方式では体長10mm程度までの飼育はできなかった。その後、*Auricularia* 後期以降の幼

生から稚ナマコへの変態促進に関する付着珪藻の効果について検討⁸⁾し、ウニ類の種苗生産方式に準じて付着珪藻を初期餌料とする生産方式を開発した。さらに付着珪藻の繁殖方法や飼育水槽を改良した結果、アオナマコについては1989年以降、採苗後約3か月間の飼育で体長10mmの稚ナマコを10万尾単位で生産できるようになり、稚ナマコの量産化が可能となってきた⁹⁾。また、アカナマコについても1992年から本格的な生産に着手し、アオナマコと同様な生産方式で10万尾単位 (体長約10mm) の生産が可能となった。

本報告では、1992年に行ったアオナマコ及びアカナマコの種苗生産について、親の仕立てから浮遊幼生の飼育、さらに稚ナマコの飼育経過について述べる。特に、付着珪藻板による稚ナマコの飼育経過を付着珪藻の量的変移と稚ナマコの成長、生残との関係を中心に観察し、さらに、4~20mmサイズで付着板から剝離、選別して行った人工餌料を用いた飼育実験の結果について言及する。

本文に先立ち、付着珪藻の分類を行うにあたり御協力いただいた東京久栄株式会社副主査小林稔氏に厚く御礼を申し上げる。

材料および方法

親ナマコの入手及び飼育 親ナマコの入手先と期日及び大きさなどについては表1にとりまとめ示した。アオナマコは、2 m³キャンパス水槽 (1.0×4.0×0.5m、以下2 m³水槽とする) 2水槽に、1水槽あたり80尾 (平均体重310g)、4 m³ FRP水槽 (2.8×1.8×0.8m 以下4 m³水槽とする) に122尾 (平均体重240g)、アカナマコは1.6 m³キャンパス水槽 (1.8×1.8×0.5m、以下1.6 m³水槽とする) 3水槽に1水槽あたり122尾 (平均体重279g)

をそれぞれ収容して、親ナマコ入手後から自然水温下で流水飼育を行った。なお、長崎県南部漁協から入手したアカナマコ37尾は4 m³水槽でアオナマコと混養した。飼育水槽の照度調整は常時遮光幕 (遮光率95%) によって行い、日長調節は行わなかった。親ナマコへの投餌は冷凍ワカメの細片と粘土の混合物を週2回与えた。投餌量は飼育開始時の親ナマコ総体重の約5%量とした。

親ナマコの成熟度調査 アオナマコ及びアカナ

表1 親ナマコの入手

	月日	尾数	平均体重(g)	入手先	漁獲方法
アオナマコ	2.7	282	300	長崎県大村湾南部漁協	ナマコ桁網
アカナマコ	1.28	366	279	長崎県新星賀漁協青島支所	素潜り
	2.7	37	203	長崎県大村湾南部漁協	ナマコ桁網

マコともに以下の方法によって成熟度調査を行い、種苗生産のための採卵適期を把握することとした。すなわち、定期的に飼育水槽から無作為に15尾ずつ取り出して腹部を切開し、生殖巣指数（生殖巣重量×100/殻重量）を求めた。また、雌の個体については、生殖巣内の卵母細胞の長径（以下、卵径とする）を測定し卵巣の成熟度の指標とした。卵径の測定は雌の生殖巣をピンセットで軽く絞り、卵母細胞を取り出して顕微鏡下で接眼マイクロメーターを使って測定した。

産卵誘発およびふ化 産卵誘発の方法は、午前10時頃から、そのときの飼育水温より5°C程度昇温した海水中へ入れる昇温刺激法で行った。すなわち、親ナマコ1尾ずつを昇温海水の入った20ℓ角型スチロール水槽（以下、20ℓ水槽とする）へ収容し、ただちに、昇温した海水を約0.5ℓ/分の流量で流し込んだ。刺激中は室内を暗くし、さらに各水槽を黒色のビニールシートで覆った。種苗生産のための産卵誘発は、アオナマコでは3月31日と4月7日に9尾と18尾を用いて行い、アカナマコでは4月28日と5月12日にそれぞれ18尾ずつ用いて行った。また、5月18日にはアカナマコ16尾を用いて産卵誘発実験を行った。

受精方法は、卵を20ℓ水槽へビニールホース（φ10mm）を用いて回収し、これに精子濃度が5～10×10⁴個/ml、卵1個に対して精子が500個程度になるようにして媒精した。その後、沈殿法で2～3回洗卵し、ふ化水槽である100ℓポリカーボネイト水槽に1水槽あたり200～300万粒程度収容した。翌日ふ化し浮上した幼生をビニールホースで回収し幼生の飼育水槽へ収容した。その際、浮上した幼生が少ない場合は、回収後海水を加えて30分～1時間静置し、再び浮上した幼生を飼育に

使用した。

浮遊幼生の飼育 浮遊幼生の飼育は、500ℓポリカーボネイト水槽（以下、500ℓ水槽とする）を用い、餌料として *Chaetoceros gracilis* を1日あたり0.5～2.5×10⁴cells/mlの範囲内で毎日投与して行なった。*Chaetoceros gracilis* の培養は伊藤ら¹⁰⁾の方法によって行なった。幼生の飼育はウォーターバス方式で水温を18°C程度に加温して行なった。飼育水は簡易ろ過した海水を紫外線照射によって滅菌し、さらに、1μmのカートリッジフィルターでろ過したものを使用した。飼育水の換水はふ化幼生収容後4日目から毎日行い、ニップ網製（200目、オープニング111μm）の換水ネットを用いて飼育水量の40%量を換水した。通気は径5cmのエアーストンを用いて水槽底面から行なった。

付着珪藻板による稚ナマコの一次飼育 アオナマコ及びアカナマコの採苗は、浮遊幼生期の飼育で *Doliolaria* 幼生の割合が高まったときに、それぞれの浮遊幼生の飼育水槽から幼生を回収し、あらかじめ付着珪藻を繁殖させた付着板（塩化ビニール製、40×32cm、1セット10枚）の入った稚ナマコ用の飼育水槽へ収容し、浮遊幼生から稚ナマコへの変態をさせた。幼生収容時の付着板の設置方法は、水槽底面に対して水平または垂直となるようにした。幼生収容後2日間は弱通気で、止水とした。稚ナマコの飼育水槽は、15m³コンクリート水槽（10×1.5×1.0m、以下15m³水槽とする）と18m³コンクリート水槽（10×1.8×1.0m、以下18m³水槽とする）を使用した。従来¹¹⁾は、15m³水槽底面に小石を敷いて二重底にしたものやキャンバス水槽で飼育を行っていたが、稚ナマコの流失や逸散が減耗の一つの要因と考えられたので、各飼育水槽の内側にニップ網製（100目、オープン

グ202 μ m)の生簀を設置してその中に収容し、浮遊幼生や稚ナマコの流失等を防いだ。生簀の大きさは、15 m^2 水槽では9 \times 1.5 \times 0.5m及び2 \times 1.5 \times 0.5m、18 m^2 水槽では10 \times 1.8 \times 0.5mである。

浮遊幼生から稚ナマコへの変態促進及び稚ナマコの初期餌料として使用した付着珪藻の培養は、採苗に使用する約2か月前から開始した。7 m^2 キャンパス水槽(7.2 \times 1.8 \times 0.5m、以下7 m^2 水槽とする)、15 m^2 水槽及び18 m^2 水槽に付着板を100~150セット設置し、栄養塩として海水1 m^3 あたり硫酸アンモニウム100g、過りん酸石灰15g、クレソット(32)5g、メタケイ酸ナトリウム45gを3~5 m^3 分添加し、止水状態で培養した。培養開始後は7~10日毎に培養水槽の海水を排水し、付着板に海水を強く吹きつけて、大型の付着珪藻等を洗い流し、付着力が強く活力のある小型の付着珪藻だけを残す作業を繰り返し行った。洗浄後は、3~5 m^3 分の栄養塩をそれぞれの水槽に添加した。また、同時にコペポーダの繁殖を防ぐためトリクロロン製剤として農業用ディブテレックス乳液-50% (三笠化学工業株式会社)を有効濃度で1ppmとなるように添加した。培養時の照度は遮光幕(遮光率65%または75%)によって調整し、適宜、付着板を反転して付着珪藻を均一に繁殖させるようにした。なお、水温の調節等は行わなかった。

採苗後の稚ナマコの飼育は流水(1日あたり5回転)とし、餌料として十分量の良質な付着珪藻を供給するため遮光幕による照度調節と付着板の反転を行い、さらに付着珪藻の繁殖を促すため栄養塩(市販のノリ糸状体培養液0.1 ℓ / m^3 、メタケイ酸ナトリウム45g/ m^3)を5 m^3 分添加した。また、その際、コペポーダの発生を防ぐため、前述と同濃度のディブテレックス乳液を添加した。栄養塩等の添加は一週間に2~3回行った。また、栄養塩等の添加の際は午前9時頃から約8時間は止水とした。採苗後、約30~60日目には稚ナマコの分養と新たな付着珪藻の補給の目的で稚ナマコの飼育板と同数の付着珪藻の充分繁殖した新しい付着板を用いて分槽作業を行った。すなわち、稚

ナマコの付着した板と新しい付着板とを交互に差し替え、付着板のセット数を2倍(飼育水槽も2倍)にする作業を行った。

稚ナマコの付着数は採苗後10日目から10日毎に付着板を10枚それぞれ無作為に抽出して稚ナマコ数を計数し求めた。また、分槽後は従来から飼育を行っていた付着板を10枚、新たに供給した付着板を10枚それぞれ無作為に抽出して計数した。成長は付着数の観察日毎に付着板上の稚ナマコ50~100尾を無作為に採取して体長を測定し求めた。その際、稚ナマコはL-メントール溶液で麻酔⁶⁾させた後測定した。また、水槽内にたまった糞などは適宜底掃除を行い取り除いた。

稚ナマコ飼育期間中における付着板の付着珪藻量は付着珪藻の細胞数とクロロフィルa量を測定することによって求めた。細胞数の測定は飼育水槽内の付着板のうち肉眼的に代表的と思われる箇所を切り取り、12 cm^2 あたりの付着珪藻をメスで剥ぎ取りガラス製のホモジナイザーで海水10 ml 中に懸濁させ、トーマの血球計算盤で計数して行った。その際、10%中性ホルマリンで固定し、主な付着珪藻の出現種類を調べた。クロロフィルa量は24 cm^2 あたりの付着珪藻をメスで剥ぎ取り同様の方法で懸濁液を作製してメンブランフィルター(GF/C)でろ過した後、アセトンで溶解し、蛍光光度法によって測定した。

人工餌料による稚ナマコの二次飼育 付着珪藻板で飼育したアオナマコ及びアカナマコの稚ナマコを付着珪藻板から剝離し、サイズ別に市販の乾燥ワカメの粉末(商品名、リビックW)を投与して飼育実験を行った。

アオナマコ、アカナマコともに平均体長4mm、10mm、20mmの3つのサイズに分け、それぞれ飼育実験を行った。飼育は15 m^2 水槽内にニップ網製(30目、オープニング691 μ m、2 \times 1.5 \times 0.5m)の生簀を設置して行った。稚ナマコの付着器は、一次飼育で使用した同じタイプの付着板3枚を1セットとしたものを1生簀あたり15セット、生簀底面に対して水平に設置した。また、付着板は直径3cm程度の穴を10か所ほど開けて使用した。海水の注

水は、 $\phi 30\text{mm}$ の塩ビパイプに $\phi 3\text{mm}$ の穴を約10cm間隔に開け、これからシャワー方式で行った。乾燥ワカメ粉末の投餌は、海水に懸濁させた餌料を付着板の上に緩やかに散布して行った。投餌の際は約1時間程度止水、無通気とした。一次飼育から二次飼育への稚ナマコの収容は、塩化カリウムによるアカウニ稚ウニの麻酔剥離法¹²⁾に準じて稚ナマコを剥離して行った。剥離は1 m^3 FRP水槽(2.0 \times 1.0 \times 0.5m)にニップ網(100目、オープ

ニング202 μm)を張りこの中に0.4%の濃度となるように塩化カリウム(食品添加物用)を溶解させて行った。稚ナマコの選別はモジ網製のふるい(50 \times 80cm)で、目合80径(オープニング6mm)、120径(オープニング4mm)および180径(オープニング3mm)のものを使って行った。なお、アオナマコの4mmサイズについては付着板での平均体長が約4mmのときに剥離を行い二次飼育へ移行したが、その際の選別作業は行わなかった。

結果および考察

親ナマコの成熟及び産卵誘発 アオナマコ及びアカナマコ(青島産)の飼育経過に伴う生殖巣指数及び卵径の推移を図1に示した。アオナマコの生殖巣については、顕微鏡下で雌雄の判別が可能であったので雌雄それぞれの生殖巣指数を示した。一方、アカナマコについては雌雄の判別ができないものが多数みられたので、雌雄を合わせた生殖巣指数を示した。

アオナマコの生殖巣指数は雌雄ともに3月26日の測定値が最も高く、その後減少した。特に、雌の指数が雄の指数に比べて著しく減少した。アカナマコは5月17日の値が最も高く、その後は減少した。このように、アオナマコとアカナマコでは生殖巣指数のピークの時期がずれて現れ、また、アカナマコの生殖巣指数は、アオナマコに比べ全般に低い値を示した。卵径は、アオナマコでは、2月7日の搬入時は、 $102 \pm 27 \mu\text{m}$ であったが、その後急激に大きくなり、生殖巣指数のピークがみられた3月26日には、 $146 \pm 9 \mu\text{m}$ となった。アカナマコでは、1月28日の搬入時は、 $120 \pm 9 \mu\text{m}$ であったが、その後、緩やかに大きくなり、5月7日には、 $159 \pm 5 \mu\text{m}$ で最大となった。成熟期の卵母細胞の大きさは、アカナマコの方がアオナマコに比べて平均値で約10 μm ほど大きかった。これらの値を参考にして産卵誘発の時期を決定した。大村湾産のアカナマコについては、飼育水槽内での自然放精が確認された4月28日に産卵誘発を試みた。

アオナマコ及びアカナマコの昇温刺激に対する

反応個体数や産卵数等については表2に示した。従来、大村湾産のアオナマコについては、1月下旬から2月上旬に当センターへ搬入し約2か月程度養成して、卵径が140~150 μm に達した頃、昇温

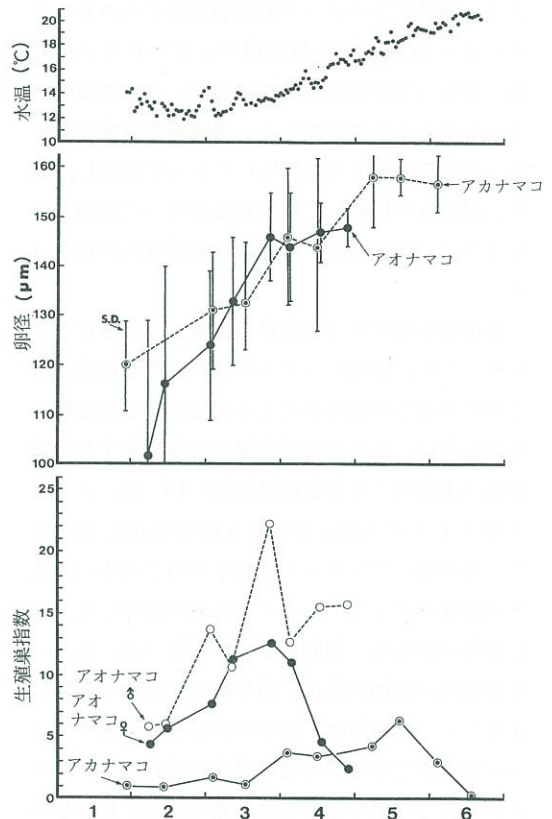


図1 アオナマコ、アカナマコの生殖巣指数及び卵径の推移

刺激に対する反応率が高まることが明らかになっている¹³⁾。今回の事例でも昇温刺激後1～2時間以内に雌雄ともに反応がみられ、容易に受精卵を得ることが可能であった。昇温刺激に対する反応時間は、アオナマコの雄では40分～2時間後、雌では1時間15分～2時間後であった。アカナマコでは、4月28日に産卵誘発を試みた大村湾産の雄では10分～2時間40分後、雌では2時間20分後であった。青島産のアカナマコは、5月12日では午前10時30分から産卵誘発を試みたが反応がみられなかったため、午後1時30分にアセチルコリン0.1 mMを1 mlずつ各個体の生殖孔周辺部に注射して再び昇温刺激を行った。その後、午後4時に各個体を24°Cに昇温した500 l水槽に収容し、止水で弱通気を施して反応状況を観察した。その結果、午後8時(水温22.4°C)に1尾がわずかに放精し、午後10時(水温22.2°C)には1尾による産卵がわずかではあるが確認されたので、ただちに雌雄それぞれ1尾ずつを20 l水槽(水温24.4°C)へ収容した。雌は午後10時20分から午後11時50分の間放卵がみられた。雄は少量の精子しか放精しなかったため、切開し精巢を取り出して滅菌海水の入った200 mlピーカーへ入れ懸濁させ、ただちに媒精を行った。その際の精子濃度は 10×10^4 cells/ml(卵1個に対して精子330個)であった。また、5月18日のアカナマコでは、雄は1時間後、雌は1時間～1時間30分後にそれぞれ反応がみられ、常法によって媒精を行った。反応率は、アオナマコ、アカナマコともに雄の方が雌に比べ高く、さらに、アオナマコの方がアカナマコに比べ雌雄ともに高い傾向を示した。

種苗生産のための産卵誘発の時期については、生殖巣指数の高まりとともに、卵母細胞の大きさが重要な指標になると考えられる。大村産のアオナマコについては、これらの値を参考にし昇温刺激を与えることにより昼間容易に受精卵を得ることが可能となっているが、アカナマコについても同様な傾向があるものと推察され、今後、安定した受精卵の入手が期待できると思われる。また、アカナマコに対するアセチルコリン溶液の注射による産卵誘発の効果については、今回の事例からだけでは明らかでないが、今後、反応率向上のためには昇温刺激以外の誘発方法の検討も必要であろう。

浮遊幼生の飼育 浮遊幼生の飼育結果を表3に示した。飼育期間中、数例を除いて大きな減耗は見られなかった。しかし、生残率はアオナマコでは33.8～100%、アカナマコでは27.2～80.9%と若干のばらつきがみられたが、これはふ化幼生を回収する際、2回目に回収した幼生の生残率が低かったためで、今後は、最初に回収した幼生のみを使って飼育を行うのが好ましいであろう。

稚ナマコの一次飼育 稚ナマコ一次飼育における飼育結果を表4に示した。

収容幼生数はAuricularia後期幼生以降の幼生の総数で、採苗率は幼生収容後10日目の稚ナマコ付着総数の収容幼生数に対する割合でそれぞれ示した。飼育経過に伴う稚ナマコの付着率は幼生収容後10日目の付着板での稚ナマコ付着数を100%として算出した。

採苗率は、アオナマコでは27.4～39.0%、アカナマコで26.3～38.9%でアオナマコとアカナマコ

表2 アオナマコ及びアカナマコの反応個体及び産卵数

月 日	反応個体数(反応率%)		反応個体の平均殻重(g)		総産卵数(平均) ($\times 10^4$)	飼育水温 (°C)	誘発水温 (°C)	
	雄	雌	雄	雌				
アオナマコ	3.31	3/3(100)	2/5 (40)	139	124	951.0(475.5)	13.8	19.2～19.6
	4. 7	5/7(71)	2/10(20)	123	136	1819.3(909.7)	14.4	19.5～20.2
アカナマコ	4.28	10/10(100)	1/8 (13)	128	139	258.7(258.7)	18.9	23.4～23.8
	5.12	3/7(43)	1/11(9)	195	202	454.5(454.5)	18.2	23.4～24.4
	5.18	2/7(29)	2/6 (33)	187	230	420.0(210.0)	18.0	23.8～24.0

表3 浮遊幼生の飼育結果

	開始時				終了時		
	月日	飼育水槽 (ℓ)	水槽数	幼生数/水槽	月日(飼育日数)	生残率(平均) (%)	水温(平均) (°C)
アオナマコ	4. 1	500	9	44.3×10 ⁴	4.13~15(13~15)	33.8~100(66.3)	17.5~19.6(18.4)
	4. 8	500	10	48.8×10 ⁴	4.21(14)	63.8~77.3(63.5)	17.0~18.7(18.1)
アカナマコ	4.28	500	3	35.7×10 ⁴	5.12(14)	27.2~80.9(50.5)	19.0~20.5(19.5)
	5.13	500	8	42.3×10 ⁴	5.26(13)	50.9~65.1(56.1)	19.0~20.0(20.0)

表4 稚ナマコ一次飼育での飼育結果

	開始時							終了時										
	飼育No	採苗 月日	飼育水槽 (m ³)	水槽数	収容幼生数 (×10 ⁴)	付着 板数	付着板の 設置方法	採苗率 (%)	飼育No	月日	飼育 日数	飼育水 槽数	付着 板数	総取り上げ尾数 (平均体長mm)	付着板での尾数 (平均体長mm)	生簀での尾数 (平均体長mm)	生残率 (%)	水温(平均) (°C)
アオナマコ	1	4.13	18	1	100.7	1,080	水平	39.0	1-1	6.25	73	1	1,080	94,471 (4.3±2.9)	-	-	40.3	12.3~21.4 (18.1)
									1-2	6.30	78	1	1,080	63,867 (4.7±3.1)	-	-	12.3~21.7 (18.4)	
	2	4.15	15	1	67.5	800	水平	27.4	2	6.24	70	1	800	12,659	9,036 (21.9±11.0)	3,623 (27.0±8.9)	6.8	12.8~21.0 (18.4)
	3	4.21	18	1	124.3	1,200	垂直	27.6	3-1	7.22	92	1	1,200	73,356	61,800 (11.6±7.8)	11,556 (21.7±15.0)	37.3	15.5~27.0 (20.9)
3-2									7.23	93	1	1,200	80,061	72,780 (11.8±6.9)	7,281 (18.1±8.4)	15.5~27.0 (21.0)		
アカナマコ	1	5.12	15	1	46.6	320	水平	26.4	1	7.30	79	1	920	72,178	57,380 (9.8±4.4)	14,798 (10.5±6.2)	58.7	17.8~28.6 (21.6)
	2	5.26	15	1	69.6	900	垂直	26.3	2-1	8.17	83	1	900	62,410	39,510 (10.1±4.1)	22,900 (10.9±5.2)	66.6	19.0~28.3 (22.5)
									2-2	8.17	83	1	900	59,517	43,650 (10.3±4.1)	15,767 (11.3±6.4)	''	
	3	5.26	18	1	83.1	1,200	垂直	38.9	3-1	8.24	90	1	1,200	56,341	50,809 (10.8±4.2)	5,532 (11.7±8.1)	37.0	18.5~27.3 (22.8)
									3-2	8.24	90	1	1,200	63,178	54,880 (9.4±3.8)	8,298 (11.6±6.2)	''	

では大きな差はみられなかった。また、付着板の設置方法の違いによる採苗率への影響もみられなかった。しかし、付着板を水槽底面に対して水平に設置して採苗を行った場合、各付着板での稚ナマコ付着数のバラツキが大きい¹⁴⁾ことから、その後の稚ナマコの分散と成長などを考えると今後は水槽底面に対して付着板を垂直に設置して採苗を行うのが好ましいと考えられる。

各飼育水槽 No. 別の付着板での稚ナマコの成長と付着率、付着珪藻の量及びクロロフィル a 量の推移を図 2~7 にそれぞれ示した。

アオナマコの飼育 No. 1 水槽では 57 日目に分槽を行ったが、使用した付着板の珪藻量が少なめで、その後の付着珪藻量の増加もみられず、73 日目の稚ナマコの体長も 4.3mm と小さかったので 73, 78 日目にそれぞれ剥離し二次飼育を行った (図 2)。

アオナマコ飼育 No. 1 と 3 では採苗に使用した付着珪藻の量や分槽に使用した付着珪藻の量などには大きな差は見られなかったが、70 日目での成長には差がみられた (図 4)。これは採苗時期の違いによる水温の差がその後の成長に影響したものと推察される。アオナマコ飼育 No. 2 では、採苗後 10~20 日目の間で付着数の著しい減少がみられた (図 3)。付着珪藻量やその種類、飼育水温などは、飼育 No. 1 と大きな差はみられず飼育 No. 2 の減耗の原因についてはよく分からない。しかし、20 日目に降の減耗はとまり、付着数が少なく、したがって飼育密度が低いためか、付着珪藻量も常に安定し、稚ナマコの成長は著しく良好で、70 日目における付着板での稚ナマコの平均体長は 21.9±11.0mm であった。このことから稚ナマコの成長は飼育密度と付着珪藻の量が大きく影響していると推察され

る。

アカナマコ飼育No.1は採苗時点から付着珪藻量が多く良好な成長を示したが、採苗70日目頃に飼育水温が27°Cと高くなり、このころから稚ナマコの付着力が若干弱まってきたようであり高水温が影響したように思われた(図5)。飼育No.2と3では、採苗に使用した付着珪藻量やその後の付着珪藻の維持管理方法について若干異なった方法で飼育を行い、稚ナマコの成長、生残の比較を行った。飼育No.2では採苗に使用した付着珪藻の量は 148×10^4 cells/cm²、クロロフィル a 量は $5.6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 、飼育No.3ではそれぞれ 38×10^4 cells/cm²、 $0.9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ と飼育No.2の付着珪藻量を著しく多くし、また、飼育No.3については採苗から30日目までは施肥を行わず、さらにコペポダの駆除も行わない方法で飼育した。その結果、稚ナマコの生残では大きな差は見られなかったが、30日目での成長では飼育

No.2の2.0mmに対し飼育No.3では1.2mmと大きな差が見られた。飼育No.2, 3ともに38日目に分槽して新しい付着珪藻の補充を行い、さらに飼育No.3については30日目以降施肥とコペポダの駆除を行い付着珪藻の繁殖を促した。その結果、飼育No.3では、その後の成長が回復し、90日目では10mm程度にまで成長した(図6, 7)。

このように、アカナマコについてもアオナマコと同様に稚ナマコの成長には付着珪藻の量的な影響が大きいと考えられる。また、コペポダによる付着珪藻繁殖への影響が、稚ナマコの成長へ与える要因として大きく作用していると考えられた。自然繁殖させた付着珪藻であり、流水下で飼育を行っているので、稚ナマコの餌料としては、付着珪藻だけでなく他の藻類やバクテリア、デトライタスなども摂餌していると思われるが、付着珪藻の量が稚ナマコの成長、生残の一つの指標となり

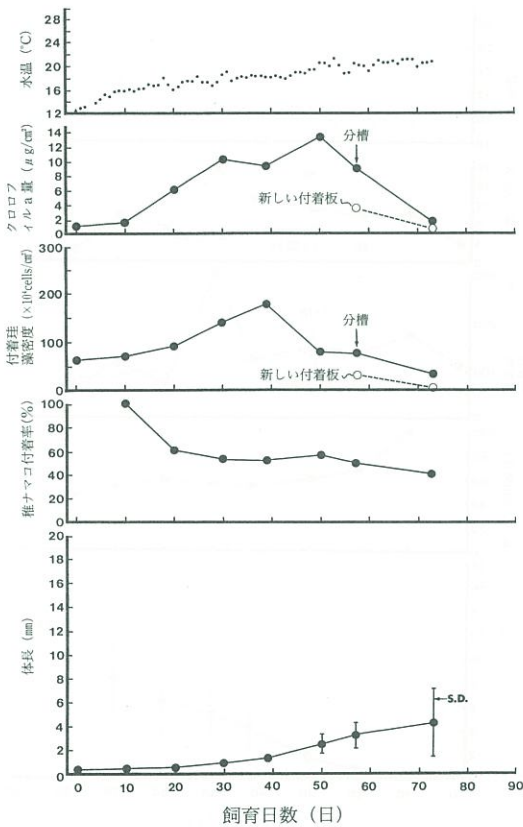


図2 アオナマコ飼育No.1の飼育経過

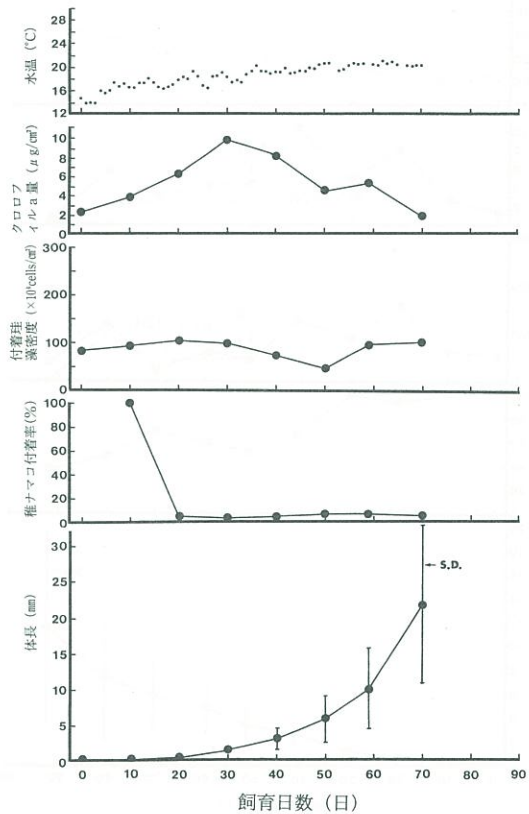


図3 アオナマコ飼育No.2の飼育経過

うるのは確かであろう。なお、飼育No.2についても飼育No.1と同時期に高水温の影響によるものと思われる稚ナマコの付着力の低下が観察された。

付着珪藻の種類は飼育期間を通して、アオナマコ、アカナマコともに小型の *Navicula* 類, *Nitzschia* 類が主体でその他 *Achnanthes* 類, *Amphora* 類がみられた。また、30日目以降では、これらの種類に加えて大型の *Pleurosigma* 類, *Bacillaria* 類, *Nitzschia* 類, *Licmophora* 類がみられたが、飼育水槽間での大きな差異はみられなかった。

以上のように、アオナマコとアカナマコの付着珪藻板を使った稚ナマコの飼育方法では、その生残、成長に大きな違いはないように思われた。今後、飼育水槽への積極的な施肥とコペポーダの駆除や遮光幕による遮光調整、さらには、新しい付着珪藻板を使った分槽等の操作によって稚ナマコに摂餌されやすい付着珪藻の長期間の繁殖、維持

ができるものと思われ、付着珪藻板を使った飼育方法で体長10mmサイズの稚ナマコの量産化が可能であると考えられる。

なお、実験終了時における稚ナマコの大きさは、アオナマコに比べアカナマコの方が小さかった。これは、アカナマコの採苗時期がアオナマコに比べ遅かったため飼育後半における高水温の影響がみられたのかもしれない。アカナマコはアオナマコに比べ高水温の影響を受けやすい¹⁵⁾とされているが、この点については今後、稚ナマコ期の水温耐性などの検討とともにアカナマコの早期採卵技術の開発も必要となってくるであろう。

稚ナマコ一次飼育では、アオナマコは平均体長4.3~27.0mmの稚ナマコを324,414尾、アカナマコは平均体長9.4~11.7mmの稚ナマコを313,624尾取り上げることができた。その際の稚ナマコの尾数は、付着板では、アオナマコ飼育No.2以外の飼育

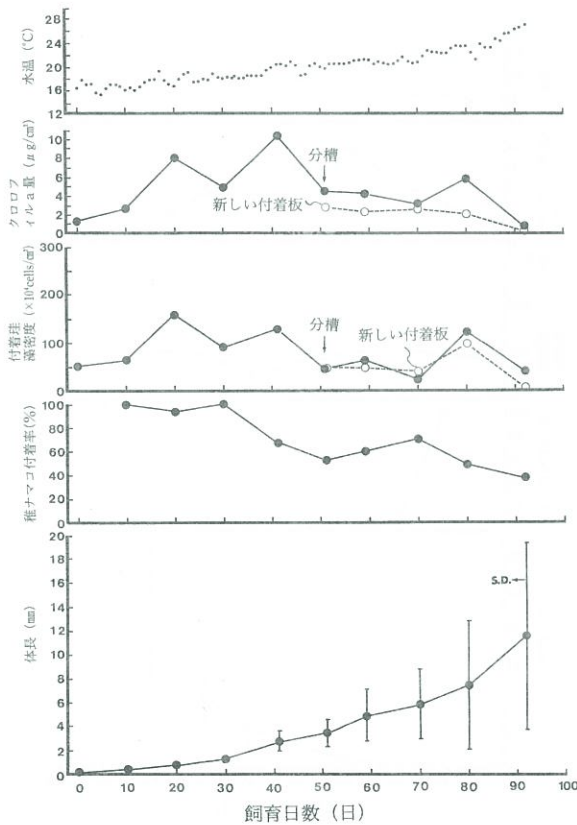


図4 アオナマコ飼育No.3の飼育経過

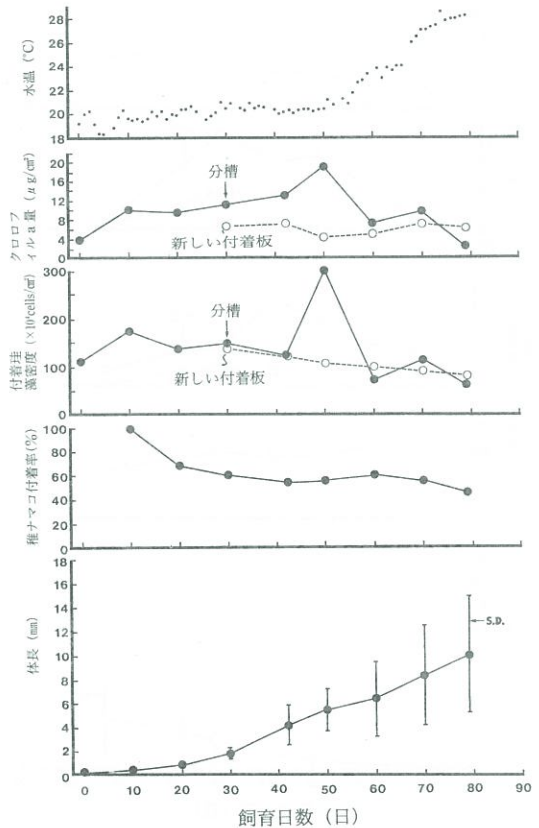


図5 アカナマコ飼育No.1の飼育経過

例では附着板をランダムに20枚取り出し、附着した稚ナマコを計数して比例法で算出した。アオナマコ飼育No. 2の附着板及び他の飼育例での飼育生簀に附着している稚ナマコ数はすべて全数計数により把握した。

稚ナマコの二次飼育 稚ナマコ二次飼育での飼育結果を表5に示した。

稚ナマコの計数方法は、開始時のアオナマコ飼育No. 1, 2, アカナマコ飼育No. 1, 2及びアオナマコ, アカナマコの終了時の各飼育例では全数計数を行った。開始時のアカナマコ飼育No. 3, 4については、一次飼育での飼育No. 1, 2の附着板のうち、各水槽ともランダムに3セット(30枚)の附着板の稚ナマコを剝離、選別し、それぞれサイズ別に全数計数を行い、比例法でサイズ別の稚ナマコ尾数を算出した。アオナマコの飼育No. 1, 2は、一次飼育での飼育No. 2を選別して用い、アカ

ナマコの飼育No. 1, 2, 3は、一次飼育での飼育No. 1を、飼育No. 4は、一次飼育での飼育No. 2をそれぞれ使用した。アオナマコ, アカナマコともに10mm程度からの飼育では90%以上の生残が得られた。また、塩化カリウムによる麻酔剝離の影響等は見られなかった。4~5mmサイズからは、60~70%の生残率であったが、約30日の飼育で10mm程度にまで成長させることが可能であった。このことから、一次飼育で附着珪藻が不足した場合は早期に、また、一次飼育後選別を行い、サイズ別で、それぞれ約30日程度二次飼育を行うことによって、より大型の稚ナマコを得られることが明らかとなった。また、今回、二次飼育での餌料は乾燥ワカメ粉末のみを使用した。他の餌料についても検討する必要がある。

現在行われているマナマコの種苗生産方式は大きくみて、2つのタイプに分けられ、稚ナマコの

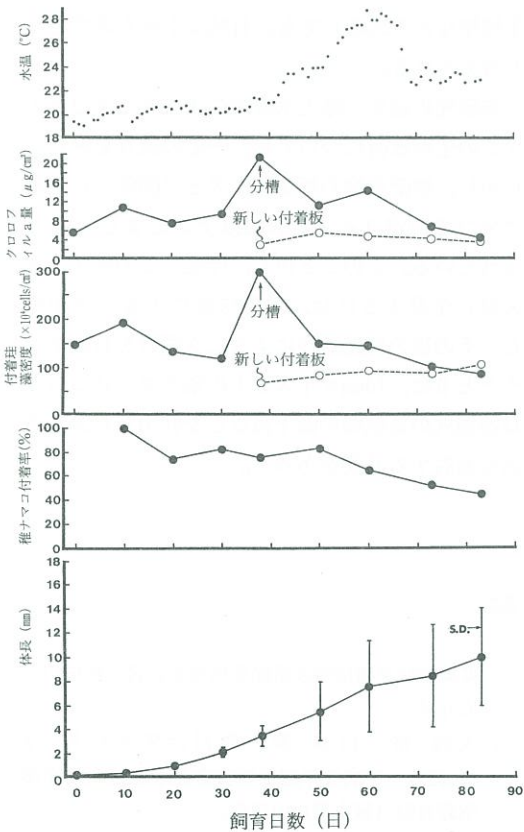


図6 アカナマコ飼育No. 2の飼育経過

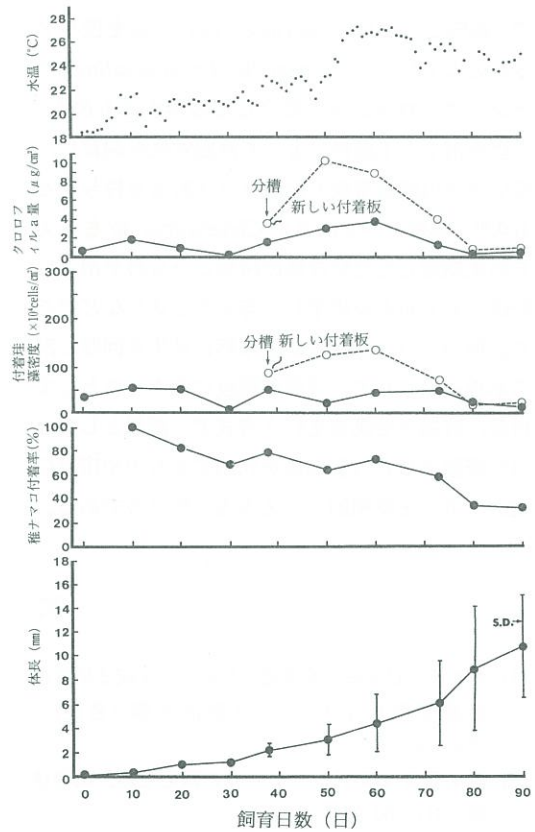


図7 アカナマコ飼育No. 3の飼育経過

表5 稚ナマコ二次飼育での飼育結果

飼育No	開始時				終了時						
	月日	稚ナマコ尾数	平均体長 (mm)	収容密度 (尾/m ²)	月日	飼育 日数	稚ナマコ尾数	平均体長 (mm)	生残率 (%)	水温 (平均) (°C)	
アオナマコ	1	6.24	7,889	25.9±10.1	2,630	7.24	30	7,359	33.1±9.5	93.3	20.2~28.4 (23.0)
	2	6.24	4,770	9.5± 2.3	1,590	7.24	30	4,346	17.9±3.3	91.1	〃
	3	6.25	94,471	4.3± 2.9	7,873	7.21	31	64,534	10.3±4.6	68.3	20.0~28.5 (22.9)
	4	6.30	63,867	4.7± 3.1	5,322	7.29	29	46,516	10.5±5.1	72.8	20.1~28.5 (23.9)
アカナマコ	1	7.30	15,388	21.6± 5.9	2,565	8.29	30	15,734	27.5±9.6	100	20.0~27.4 (23.3)
	2	7.30	19,522	10.2± 1.5	6,507	8.29	30	18,683	16.0±1.9	95.7	〃
	3	7.30	37,268	4.9± 0.8	12,422	8.29	30	22,779	9.8±2.7	61.1	〃
	4	8.17	59,744	4.7± 1.0	6,638	9.16	30	40,208	10.0±1.4	67.3	22.0~25.4 (23.6)

餌料もさまざまなものが使われている。一つは、同一水槽内で浮遊幼生から稚ナマコ初期またはそれ以降の稚ナマコまでの飼育を一貫して行う方式で、餌料としては、*Chaetoceros gracilis* を投与するもの³⁾、*Chaetoceros gracilis*、*Pavlova lutheri* やナンノクロロプシスを複合して投与するもの⁴⁾、大型水槽で人工餌料によって浮遊幼生を飼育し、稚ナマコ以降は市販の乾燥ワカメ粉末を投与するもの⁵⁾、体長1~2mmまで *Chaetoceros sp.* を与え、その後剥離して付着珪藻の冷凍したものや市販の乾燥ワカメ粉末を併用して与えるもの⁷⁾ などである。他の一つは、浮遊幼生末期に幼生を回収し別の水槽に収容して、付着珪藻板に稚ナマコとして付着、変態させ飼育を行う方式で、餌料として、自然繁殖させた付着珪藻を利用するものや市販の乾燥ワカメを積極的に与えるもの⁹⁾ なのである。

当センターでの生産方式は後者であり、餌料としては付着珪藻を主体に飼育をする方式である。この方式は、他機関の生産方式と稚ナマコの成長や生残率などを比較しても、有効な生産方式であると考えられる。

本研究の結果、陸上水槽での10mmサイズの稚ナマコの実産技術については、一応の確立をみた。しかし、害敵生物の捕食サイズとの関係から、稚ナマコの放流サイズは30mm以上が好ましい¹⁶⁾ とされている。このことから、今後、このサイズを大量に生産するには、付着珪藻による一次飼育と、その後の剥離選別による二次飼育を有効に行うとともに、10mmサイズ以上の稚ナマコについては築堤式の育成場や海上筏などを利用した飼育方式を検討する必要があるだろう。

文 献

- 1) 水産庁・日本栽培漁業協会(1992)：平成2年度栽培漁業種苗生産，入手・放流実績（全国），425-428.
- 2) 石田雅俊（1979）：マナマコの種苗生産，栽培技術研，8(1),63-75.
- 3) 小川 浩・高野 傑・稗田賢治(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）大分県.
- 4) 大橋 裕・山本 翠・藤村治夫・今井 厚（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）山口県.
- 5) 柳澤豊重・田中健二・本田是人(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。
- 6) 畑中宏之・中島輝彦・嶋田雅弘(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）
福井県。
- 7) 池田善平・片山勝介(1986)：マナマコの種苗生産と稚ナマコの飼育について。岡山水試報告，1，71-75。
- 8) 真崎邦彦・伊藤史郎・小澄千尋・金丸彦一郎(1987)：マナマコ幼生の採苗に関する研究-1（マナマコ幼生の変態着底におよぼす付着珪藻の効果と採苗ステージについて）。佐賀県栽培漁業センター研究報告，1，65-70。
- 9) 伊藤史郎・川原逸朗・青戸 泉・真崎邦彦(1993)：マナマコの種苗生産。佐賀県栽培漁業センター事業報告書，2，34-40。
- 10) 伊藤史郎・有吉敏和・伊東義信(1985)：*Chaetoceros gracilis* の大量培養法。昭和55～58年度佐賀県栽培漁業センター事業報告書，97-103。
- 11) 野口弘三・伊藤史郎・有吉敏和(1990)：マナマコの種苗生産に関する知見と今後の検討課題。西海区ブロック藻類・介類研究会報，6，67-81。
- 12) 後藤政則・伊藤史郎・真崎邦彦(1990)：塩化カリウムによるアカウニ稚ウニの麻酔剥離。栽培技研，19(1)，9-14。
- 13) 伊藤史郎・川原逸朗：マナマコの親仕立てに関する研究-1。（未発表）
- 14) 伊藤史郎・川原逸朗・青戸 泉(1993)：マナマコ浮遊幼生の変態促進に関する研究-II，アオナマコ *Doliolaria* 幼生から稚ナマコへの変態促進（予報）。佐賀県栽培漁業センター研究報告，2，23-31。
- 15) 崔相(1963)：なまこの研究。海文堂，東京。
- 16) 畑中宏之・中島輝彦・嶋田雅弘(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）
福井県。

