

(資料)

## マナマコ種苗生産技術の現状と課題

江口勝久\*

(Material) The present status and issues on seedlings culture technology of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*

Katsuhisa EGUCHI\*

当センターでは1979年からマナマコの種苗生産技術開発に着手し、1990年代には、浮遊幼生の飼育水槽とは別の水槽に、培養した付着珪藻板を収容し、そこで稚ナマコへ変態(採苗)させ、その後付着珪藻板上で飼育するという方式(採苗方式)を確立した<sup>1~4)</sup>。この方式により、採卵後4~5ヶ月間の飼育で体長10mm以上の稚ナマコが10万個体単位で生産可能となり、1996年にその方式による生産方法を生産マニュアルとして刊行した<sup>5)</sup>。

その後、種苗生産各工程の技術改良を続け、現在では採卵後3~4ヶ月間の飼育で、体長20mm程度の稚ナマコを100万個体以上生産することが可能な技術レベルに至っている<sup>6,7)</sup>。

我が国のマナマコ種苗生産は人工飼育成功後、半世紀以上の歴史を持ち、当センター以外にも北海道<sup>8)</sup>、青森<sup>9)</sup>、岩手<sup>10)</sup>等で、詳細な生産マニュアルが既に刊行されており、基本的な生産技術は確立していると考えられる。しかしながら、類似の方法で生産される他の介類(ウニ、アワビ類)と比較すると、生産年や回次毎の生産結果は不安定であり、依然として親の養成から始まる各生産工程において、技術改良の余地は多分に残されていると考えている。

そこで本報告は、マナマコ種苗生産技術の更なる向上の一助とすることを目的に、刊行後15年以上経過した生産マニュアル<sup>5)</sup>から変更した点を中心に、当センターの近年の生産方法についてその現状を記載し、今後の課題を整理した。なお、本報告は「ナマコ漁業とその管理—資源・生産・市場」(恒星社厚生閣)へ寄稿した内容を、当センターの生産施設や生産方法に焦点を絞って加筆、修正を加えたものである。

マナマコの生産工程は、親養成、採卵、幼生飼育、付着珪藻培養、採苗、稚ナマコ飼育の大きく6つに分けら

れる。以下、各工程別に生産方法や残された課題について述べる。

### 1. 親養成

#### 1) 産卵期(採卵時期)と産卵期の制御

当センター地先海域におけるマナマコの産卵期は3月~5月で、その盛期は年や地域によって若干異なるが、アカナマコ、アオナマコとも概ね3月下旬~4月下旬である<sup>11)</sup>。したがって、両タイプともに1回目の採卵を3月下旬に実施している。アカナマコの方がアオナマコよりも産卵盛期が若干遅く、昇温刺激による採卵では3月下旬には安定的な採卵が難しいことから、以前はアオナマコを3月下旬、アカナマコをアオナマコの幼生飼育終了後の4月中旬と別々に実施していた。しかしながら、産卵誘発ホルモン「クビフリン」(株産学連携機構九州)<sup>12,13)</sup>の開発で3月下旬より安定的な採卵が可能となったこと、幼生飼育工程でアカナマコが不調となる場合が多く、できるだけ多くの回次で幼生飼育を実施したいこと、両タイプで別々に実施すると全体の幼生飼育期間が長期化すること等があり、現在の形をとるに至っている。

ウニ類<sup>14)</sup>と同様に、マナマコも水温が成熟要因の一つとなっていることが予想され、自然水温よりも1~5℃程度加温して飼育することで、通常に比べ半月~1ヶ月程度早く卵を得ることが可能である<sup>15)</sup>。また、北海道においては消化管再生時期を起点とした積算水温を利用して、加温育成を行うことにより、早期に計画的な採卵を可能としている<sup>8)</sup>。

しかし、水温の制御による早期の採卵については、現在当センターでは検討していない。その理由は産卵数が少ない等の安定性に欠けること<sup>15)</sup>、養成時、その後の生

\* 現 水産課

産工程での加温コストが増大すること、マナマコの産卵時期は水温上昇期であるため、早期の飼育開始による成長の促進、飼育期間の短縮はそれほど期待できないことの3点である。

## 2) 親の調達

使用する親は天然海域から生産開始直前（採卵の1～2ヶ月前）に潜水もしくは桁網で漁獲したものを使用する。アカナマコ、アオナマコともに300～800g程度（平均500g程度）で、体表のスレ、内蔵吐出が無いものを選別して購入する。購入数は、アカナマコが300個体、アオナマコが200個体程度で、地域による産卵期や成熟状況の違い等のリスクに備えるため、複数の産地から調達する。

毎年、生産開始直前に調達する理由は、成熟した親ナマコの調達が比較的容易であること、親ナマコの養成方法に課題があり、養成期間が長期化するに依り、成熟した個体の割合が減少する事例や、体表のびらん、内蔵吐出の発生が増加する場合があること、マナマコは高水温時期に夏眠（餌をとらず自己消化で生命を維持）する性質があり、自然水温下で周年育成した場合、体サイズの著しい縮小がみられることの3点である。

なお、これまでの飼育経験上、成熟している個体の割合が低い事例はアオナマコが多く、体表のびらん、内蔵吐出はアカナマコで多い。

## 3) 養成方法

調達した親の養成方法を項目別に述べる。

①飼育容器、飼育密度：搬入した親は、収容密度30～50個体/m<sup>2</sup>を目安とし、1～3m<sup>2</sup>程度の角形水槽に産地別、搬入時期別に収容する。

②飼育水：水温は自然水温とするが、自然水温が13℃を超える4月上旬頃からは、2回次、3回次の採卵に備え、一部の個体を13℃の恒温飼育とする（成熟抑制のため）。換水率は10回転/日程度としている。また、採卵予定時期の1ヶ月程度前から、各水槽の排水をプランクネット（目合い63μm）で受け、産卵状況を毎日確認し、採卵時期の判断材料とする場合もある（図1）。

③餌料：アカナマコ、アオナマコともに冷凍ワカメの細片を中心とした餌料で養成・飼育している。給餌量は、体重の5～10%、給餌頻度は週2回を基準とし、摂餌状況を見ながら増減する。これに加え、補助的な餌料として北大西洋海流域に繁茂する大型褐藻である *Ascophyllum nodosum* の粉末（商品名；アルギンゴ-



図1 産卵確認用のネット

ルド、アンデス貿易(株)、以下アスコフィルム)、中国産のマコンブ *Laminaria japonica* の粉末（商品名；ラミナリアジャポニカ、アンデス貿易(株)、以下マコンブ)、ナマコ用配合餌料（商品名；海參エナジー、日本農産工業(株)、貝化石（商品名；フィッシュグリーン、(株)グリーンカルチャー）を重量比2：2：1：5で混合した配合餌料の給餌を行う。給餌量は体重の5%、給餌頻度は週1回を基準とし、摂餌状況を見ながら増減する。

現在の餌料は、アカナマコにおいて、ワカメ、アラメ、海藻粉末リピックBW（(株)栄研商事）（現在製造中止）、無給餌の比較試験において、ワカメが成熟を促す養成餌料として最も適するとの知見<sup>16)</sup>を基にしたものである。しかしながら、先に述べたとおり、特にアオナマコにおいては養成期間の長期化に依り、成熟状況が悪くなる場合がある等、成熟に最適な養成餌料に関しては未解明な点がある。そのために、毎年新規の親を産卵期直前に、大量に調達して生産を行わなければならない状況にある。安定的、かつ効率的な生産のためにはマナマコを成熟に導く、より適した養成餌料の検討が必要と考えられる。

④その他：給餌の前には、サイフォンによる底掃除を行う。また、観察を十分行い、体表のびらん、内臓吐出に注意する。体表のびらんは、*Vibrio* 属を中心とした細菌が分離されることから、細菌性の疾病であると考えられている<sup>17)</sup>。また、アカナマコでよく見られる内臓の吐出についても、同様の理由から細菌性の疾病であると考えられている<sup>17)</sup>。したがって、びらんや内臓吐出への対策としては、予防の面から、搬入時の物理的ダメージに注意すること、換水率を高く維持すること、発生後の対処の面から、速やかに発症個体を取り除くこと、水槽替え

をすることが重要である。

## 2. 採卵

採卵方法は、水槽内で自然に産卵する卵をネット等で回収する方法（自然採卵法）、昇温した紫外線殺菌海水による刺激で産卵を誘発する方法（昇温刺激法）、産卵誘発ホルモン「クビフリン」（㈱産学連携機構九州）を使用する方法（クビフリン法）の3つの方法がある。

1) 自然採卵法：養成水槽内で、自然に産卵した卵（受精卵）をネットで受け、生産に使用する方法である。産卵誘発や洗卵等の特別な作業が必要ないという長所があるが、計画的に採卵できない、シオダマリミジンコの混入を防げない等の短所がある。

2) 昇温刺激法：飼育水温よりも5℃程度昇温した紫外線殺菌海水中に親ナマコを収容し、産卵・放精を促す方法である。個体別または集団で容器に収容し、昇温、紫外線殺菌処理をした海水を掛け流しにして反応を待つ。通常、刺激開始から1～2時間で反応が見られ、そこで注水を止め、反応終了後、媒精、洗卵の作業に移る。

3) クビフリン法：クビフリンは近年発見されたマナマコの産卵誘発ホルモンで、成熟した個体の体内に注入することで、放卵・放精を促す。反応後の手順は昇温刺激法と同様である。

当センターでは、以前は昇温刺激法を中心とした採卵を行っていたが、クビフリンの開発後、採卵の確実性、作業の効率化等を優先し、クビフリン法を採用している。特にアカナマコの採卵では、これまでの昇温刺激での反応率が悪い事例が多く<sup>5)</sup>、クビフリンの使用により、採卵効率はかなり向上している。

クビフリンによる採卵方法は、山野<sup>18, 19)</sup>、吉国<sup>20)</sup>や商品に添付される取り扱い説明書を参照されたいが、それらをふまえた当センターでの採卵方法を述べる。

- ①卵への糞の混入を避けるため、採卵予定の1週間前から餌止めを行う。
- ②親ナマコ体表についたマナマコの害敵生物となるシオダマリミジンコを除去するため、収容水槽から取り上げ後、水道水に2分程度浸漬し、体表を素手でこすり、別水槽（海水中）に収容する。
- ③親ナマコの体重を計測後、海水中でメスを用いて体表を1cm程度切開し、生殖巣の一部を取り出す（図2）。このとき、出来るだけ速やかに、静かにいき、内臓の

吐出に注意する。経験上、アカナマコの方が、内臓を吐出しやすいため、特に注意が必要である。



図2 切開による雌雄・成熟状況の確認

- ④生殖巣の色から雌雄を判別し（雄は白色、雌は橙色）、雄の場合は切開して生殖巣を切り出し、ドライスパーム状態でピーカー等に保存する（図3, 4）。なお、生殖巣の太さが太く、真っ白でなく少しクリームがかった色調のものが経験的に良い。雌の場合は取り出した生殖巣の一部を切り出し、顕微鏡下で卵径を計測する。



図3 切開部分から露出した卵巣



図4 雄個体より切り出した精巣

- ⑤卵径が150 $\mu\text{m}$ 程度であれば、成熟していると予想されるため、規定量のクビフリンを体腔内に注入し、軽く振って20l容角形スチロール水槽内に個別に收容する。
- ⑥クビフリン注入後、概ね1時間で産卵が始まる。産卵が始まる直前に、切り出した精巣を滅菌海水中に入れ、ハサミ等で細かく刻み、それを50 $\mu\text{m}$ のネットで濾した精子混濁液を作製しておく。産卵が始まったら、速やかに、その精子混濁液を $2.5 \times 10^4$ 個/ml程度となるように加える(受精率はある程度の時間まで高いままであるが、正常発生率は卵成熟の進行とともに、下がるとされているため<sup>20, 21)</sup>。この精子懸濁液の使用期限は作成後30分以内とし、産卵のタイミングに合わせて、適宜新たに作製する。
- ⑦産卵は、反応開始後1時間程度継続する。産卵が終わったら、念のため、再び精子混濁液を $2.5 \times 10^4$ 個/ml程度となるように加え、完全に受精させる。
- ⑧攪拌、サンプリングし、顕微鏡下で受精率、産卵数の計測、卵の形態を確認後、生産に使用する卵群に優先順位をつけ(産卵量が多く、卵の形がきれいなものを優先)、洗卵作業に移る。

上記の方法は、山野<sup>18, 19)</sup>における手順のうち、生体外でのクビフリン反応試験を省略している。これまでの経験上、卵径が150 $\mu\text{m}$ 程度であれば、ほぼ100%反応するため、省力化しても差し支えないと考えている。また、一部取り出した卵巣の色や大きさ(太さ)のみでもおおまかな成熟度は判別可能である。

媒精濃度については、低すぎれば受精率の低下、高すぎれば形態異常の発生を招くため、これまでの知見<sup>22)</sup>を参考に、2回の精子混濁液を加えた $5 \times 10^4$ 個/ml程度となるように調整している。

成熟状況が良好な場合、個体あたりの産卵数は300~1000万個程度であり、予定の産卵数に応じて、反応させる個体数を調整する。ただし、遺伝的多様性に配慮するためには、出来るだけ多くの親からの採卵(精)が望ましい。なお、③の手順により、雌が卵巣を吐き出した場合でも、成熟した卵であればクビフリンを用いて体外受精を行うことが技術的には可能である<sup>20)</sup>。

手順③において生殖巣が確認されない未成熟の個体の割合は年や採卵時期によって異なるが、アカナマコで20~30%、アオナマコで30~50%程度であり、先に述べたとおり、アオナマコは半数近くの個体で生殖巣

を確認できない年があり、予定の卵数確保に苦勞する場合がある。

洗卵作業は、多精受精による発生異常や奇形を防止する目的で行う工程で、卵の比重を利用して、海水中での沈降と上澄み液を捨てて希釈する作業を繰り返す「沈殿法(希釈法とも呼ぶ)」、卵径より細かい目合いのネットを用いて海水を掛け流して洗浄する「メッシュ法」の2つがある。また、受精卵を1 $\text{m}^3$ 程度の容量の大きい幼生飼育水槽に收容し孵化させることで、自然に精子濃度を低くし、特別な洗卵を実施しない方法もある。これらのうち当センターでは沈殿法を採用している。理由は、マナマコの卵は物理的な衝撃に弱く、極力これを避けたいこと、幼生飼育水槽に收容する前にふ化幼生に優先順位をつけるため、ふ化にふ化用の小規模な別水槽を用いたいことの2点である。ただし、マナマコの卵は、同様の沈殿法で洗卵を行うウニ類よりも比重が小さく、沈降までに時間を要するという問題もある。

沈殿に用いる水槽は採卵時と同様の20l容角形スチロール水槽で、各水槽200万粒を上限に受精卵を收容し、1時間~2時間かけて沈降させ、大部分が沈降した後に上澄みを捨てる。沈降に要する時間は回次や卵群により異なるが、経験上、沈降の速度と卵の質に相関はないと判断している。この作業を延べ3回行い、ふ化用の100l容パンライト水槽に收容する。受精卵を水槽あたり200万粒程度收容し、均一に攪拌後、翌日までふ化(浮上)を待つ。このときの水温は、幼生飼育水温の18 $^{\circ}\text{C}$ 程度に合わせるが、その水温であれば、概ね受精後18時間でふ化が始まる。

### 3. 浮遊幼生飼育

マナマコはふ化後、囊胚期、アウリクラリア前・後期、ドリオラリア期、ペンタクチュラ期を経て稚ナマコに変態する。水温や餌料条件で異なるが、その期間は、当センターの方法でふ化後14日程度である。

採卵の翌日、ふ化水槽でふ化(浮上)した幼生は、浮上の状況(おおまかな孵化率)、ふ化幼生の形態、動きで優先順位をつける。ふ化幼生は、きれいな楕円形をしている群(図5)を優先し、形がいびつなものが多い群(図6)は使用しない。また、動きについてはゆっくりと自転しながら、直線的な動きをしているものが経験上良い。奇形個体は洗卵等の作業における物理的な衝撃、卵質(精

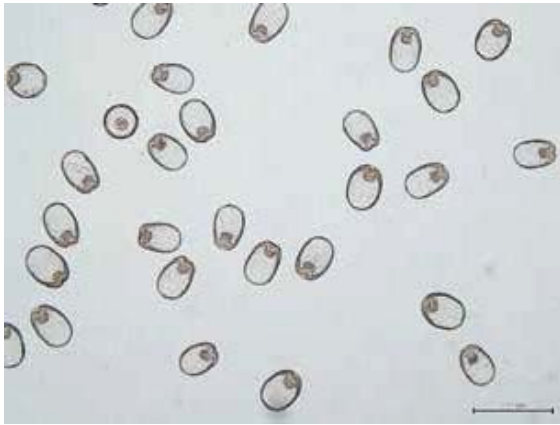


図5 囊胚期の浮遊幼生（形態が通常な群）



図7 幼生飼育施設

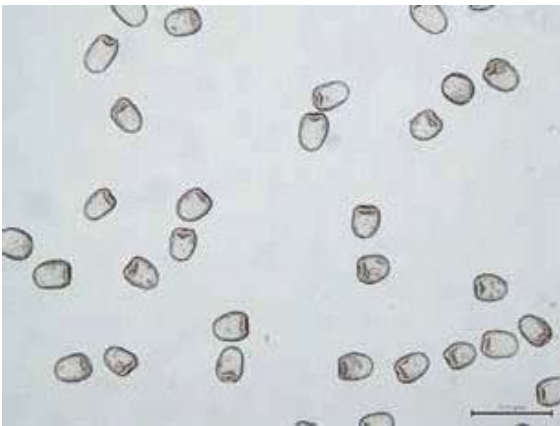


図6 囊胚期浮遊幼生（形態異常がみられる群）

子の質)、媒精時間の遅滞、不十分な洗卵(媒精濃度が濃い)等により発生すると考えられる。優先順位をつけた後、サイフォンで上澄みだけをゆっくりと回収し、計数後、幼生飼育水槽に収容する。その後の飼育方法の詳細は各項目別に述べる。

- 1) **飼育容器**：1000l 容ポリカーボネイト水槽を用いる(図7)。当センターの施設規模では、最大20水槽での幼生飼育が可能である。
- 2) **飼育密度**：1～1.2 個体/ml (100～120 万個体/水槽)としている。これまでの飼育結果では、これ以上の密度で飼育した場合、生残率や成長(変態)等の飼育成績が不安定となる。
- 3) **通気**：水槽中央底面にφ50mmのエアストーンを1個設置し通気を行う。通気量は0.5～1.5l/分程度とし、幼生の発育に応じて徐々に増加する。
- 4) **水温**：マナマコの幼生飼育が可能な水温範囲は15～22℃程度であるが<sup>23)</sup>、その範囲内でも飼育水温が低

すぎると飼育期間の長期化、それに伴う飼育成績の不安定化、餌料供給量の増加があり、高すぎれば、成長は早まるが、飼育成績の不安定化、加温コストの増加といった問題が生じる。これら知見をもとに当センターでは18℃に設定している。

5) **換水**：収容後4日目より毎日半分量を一度に交換する定期的な換水を200目(目合い229μm)の換水ネットを用いて行う。

6) **底掃除、設備洗浄**：2日に1回程度、水槽底面をサイフォンによって、全体の1～2%程度排水する。残餌、死骸、糞等の有機物除去だけでなく、底面の状態(斃死、奇形個体の割合や有機物の量等)から、飼育状況を推測する目的もある。飼育状況が良好な場合は、期間を通じて底面は清浄である場合が多い。底掃除によって排出された幼生は基本的に廃棄するが、採苗直前期にドリオリア期幼生の生存個体が多数みられる場合は、採苗に供する場合もある。

飼育に使用するエアストーン、換水ネットは2～3日に1度程度水道水で洗浄する。

7) **餌料**：自家培養したキートセロス・ネオグラシール *Chaetoceros neogracile* (最近までキートセロス・グラシリス *C. gracilis* と称されていたもの。以下、ネオグラシール)の単独給餌としている。これは、単独で用いる場合、マナマコ幼生の餌料としてはネオグラシールとキートセロス・カルシトランスが適し、パプロバ・ルテリ、イソクリシス・ガルバナ、ナンノクロロプシス(可消化処理済みのもの)は適さないという知見<sup>24)</sup>に基づいている。給餌量は0.5～3万細胞/mlで、発育段階や摂餌状況に応じて増減する。増減の基準は状況によるが、

残餌が0.5万細胞/ml未満であれば増加、0.5～1.0万細胞/mlで維持、それ以上の場合は減少させることとしている。給餌は、幼生収容の翌日から行い、その後毎日、残餌の計数、換水後に行う。給餌する餌料の細胞数はトーマ血球計算盤、残餌の計数はフックスローゼンタール血球計数盤を用いて行う。

以上の方法で、通常の飼育事例では、生残率が60～70%程度、稚ナマコ変態直前のドリオラリア期以降の幼生の割合が50%程度である。しかし、アオナマコは比較的良好である場合が多いが、アカナマコでは成長、変態の停滞、胃の萎縮（図8）、生残率の低下等の飼育不良がしばしばみられる。マナマコ種苗生産工程のうち、当センターで最も苦勞することが多い工程はアカナマコの浮遊幼生飼育である。

幼生飼育不調の原因については回次によって異なることも予想され、現時点で特定できていないが、餌料の質や飼育水中の細菌による場合が多いと考えている。その理由としては、培養期間が長い、古い餌料を与えることで、胃の萎縮が起こるという知見があること<sup>8)</sup>、当センターでは、元種からのバッチ式培養を徹底し、培養期間の短い餌料を給餌するように改善したことで、それ以前よりも飼育成績は改善していること、餌料以外の条件は同じで、自家培養餌料と購入した餌料での比較試験を行った結果、購入した餌料を給餌した試験区のみで、胃の萎縮がみられたこと<sup>7)</sup>、エアストーン等の飼育器具の洗浄を行うことで、胃の萎縮症状が起りにくいと知見があること<sup>8)</sup>、中国において胃の萎縮と類似の症例（Stomach ulceration symptom）があり、それは細菌類と関係していて、不適切な給餌や高密度飼育によって



図8 胃の萎縮症状がみられるアカナマコ浮遊幼生

引き起こされると考えられていること<sup>25)</sup>の4点が挙げられる。

したがって、特にアカナマコの幼生管理においては、良質な餌料、すなわち、対数増殖期（増殖速度が早い時期）のもので、培養期間が短く、細菌・原生動物等の混入が少ないものを給餌すること、および細菌類の影響を少なくするため、飼育準備段階における飼育設備の殺菌、消毒の徹底、飼育期間中の器具（エアストーン、換水ネット等）の洗浄の徹底を心がけている。

また、この他の対策として、緑藻類ドナリエラ *Dunaliella tertiolecta* の併用給餌（中国でアオナマコの生産によく使われる餌料）や光合成細菌等によるバイオコントロールを試行したが、これまでに明確な改善効果はみられていない<sup>6)</sup>。

良質な餌料の供給と飼育設備を清潔に保つことを基本としつつ、今後は、微細藻類の栄養成分の違いに着目し、ネオグラシーレと他の微細藻類の混合給餌について検討する必要があると考えている。

#### 4. 付着珪藻培養

付着珪藻は、浮遊幼生から稚ナマコへの変態促進、およびその後の餌料としての役割がある。付着板として塩化ビニルもしくはポリカーボネイト製の32×40cmの波板を10枚1組でホルダーに固定して使用している（図9）。

これまでの知見<sup>26)</sup>により、単一珪藻よりもマナマコの採苗に適すると思われる、自然に増殖する天然の付着珪藻を屋外水槽で1ヶ月半～2ヶ月程度かけて培養する。付着板を水槽に設置し、種となる付着珪藻が繁茂した種板を全体の3%程度差し込み、農業用の肥料を投入後、止水状態で培養する。水槽上面には光量調節のため



図9 付着珪藻板

の遮光幕を設置し、水面直上で1000～10000lx程度となるように付着珪藻の繁茂状態を見ながら遮光幕で調節する。培養期間中は1～2週間に1回程度の換水、海水シャワーによる洗浄、施肥、波板の上下反転を行い、小型で付着力の強い珪藻を均一に繁茂させる。種組成は小型(20 $\mu\text{m}$ 以下)の*Navicula*類、*Nitzschia*類、*Amphora*類などが主体である。

マナマコの採苗においては、付着珪藻の密度が高い方が着底は速やかに進み、その密度はその後の成長にも影響する<sup>26)</sup>。このため、出来るだけ細胞密度の高い(100万細胞/cm<sup>2</sup>以上)付着珪藻板を準備するよう心がけている。しかし、50～160万細胞/cm<sup>2</sup>程度の範囲では、数日経過後の付着率にはほとんど差はなく<sup>26)</sup>、また、マナマコはウニ、アワビ類と比較して摂餌圧が低いため、付着させた後でも付着珪藻を繁茂させることは可能である。したがって、細胞密度の低い付着板を採苗に使用しても、その後の維持管理を適切に行えば、生産上の支障は比較的少ないと考えている。

## 5. 採苗

採苗とは、浮遊幼生を付着珪藻板等の付着基質上で稚ナマコへ変態させる工程のことである。当センターでは幼生飼育を終了し、採苗に移るタイミングとして、浮遊幼生の変態が進み、ドリオラリア期以降の幼生が50%以上となった時点を基準としている。この基準はアウリクラリア後期幼生の割合が高まったステージよりも、ドリオラリア期幼生の割合が高まったステージの方が<sup>3)</sup>、効率よく稚ナマコへの変態が進むという知見<sup>27)</sup>を基にしている。

この基準に従えば、当センターでの幼生飼育方法では、通常、飼育開始後14日前後での採苗となる。逆に言えば、飼育日数が14日経過後、ドリオラリア期幼生の割合が基準より著しく低い場合(20%以下)は、成育不良で、その後飼育を継続しても改善しない(変態が進まない)ことが多い。以下、項目別に採苗の工程について紹介する。

**1) 採苗水槽：**採苗には、加温が可能なポリカーボネイト製の屋根がある屋外の長さ7.2×幅1.8×深さ0.5mの7 $\text{m}^2$ のFRP製水槽(図10)もしくは、屋内の、長さ9.0×幅1.0×深さ1.5mの15 $\text{m}^2$ 角形コンクリート水槽を使用する。自然水温が18 $^{\circ}\text{C}$ 以上となり、加温が必要ない場合は、屋外の15 $\text{m}^2$ 角形コンクリート水槽を使用す



図10 採苗に使用するFRP水槽

る。水槽内に200目のポリエチレン製のネット(目合い122 $\mu\text{m}$ )を設置し、幼生の逸散を防ぐ。以前は100目(目合い229 $\mu\text{m}$ )を使用していたが、現在は幼生が逸散するため一部を200目に変更している。

**2) 付着基質：**付着基質として前述の付着珪藻板を用い、出来るだけ細胞密度の高いもの(100万細胞/cm<sup>2</sup>以上)を使用するようにしている。また、付着基質からのシオダマリミジンコ侵入を防除するため、炭酸ガス<sup>28)</sup>もしくは0.2%KCL溶液<sup>8)</sup>で事前に処理し、採苗水槽に設置する。

付着板の設置の向きについては、垂直置きと水平置きで付着数は変わらず、水平置きは上下で付着数がばらつくとの知見<sup>26)</sup>を参考に、垂直置きとしている。ただし、それは幼生の変態状況や水槽の形状、エアレーションの状況等に左右されると考えられ、機関によっては水平置きの方が多くの付着数を確保出来るとし、水平置きを採用している例もある<sup>9,10)</sup>。付着板を設置した後の水位は、幼生と付着基質の接触機会を増加させるため、付着板上となるように調整している。

**3) 飼育水：**シオダマリミジンコの侵入を防ぐため、50 $\mu\text{m}$ 以下の目合いのカートリッジフィルターと目合い45 $\mu\text{m}$ のプランクトンネットですり過した海水を使用する(図11)。また、使用可能な水槽では紫外線殺菌海水を使用する。

採苗時の水温に関しては、12 $^{\circ}\text{C}$ ～20 $^{\circ}\text{C}$ の範囲では水温が高いほど採苗率が高まる<sup>27)</sup>、加温コストとその効果の兼ね合いから、18 $^{\circ}\text{C}$ に設定している。また、幼生収容後1週間程度は基本的に止水とし、その後定期換水で、0.5～1.0回転/日程度の換水を行う。



図 11 カートリッジフィルターとネットによるシオダマリミジンコ侵入防除

4) **通気**：当センターは塩ビ管を用いた通気管で通気を行っているが、幼生と付着基質の遭遇率を高めるため、水槽全体が均一に攪拌されるように通気する（図 10）。

5) **照度**：強い光、紫外線は稚ナマコの減耗要因となる<sup>29, 30)</sup>。ただし、稚ナマコに影響を与える光の強度（照度）に対する認識は研究例で異なる場合がある<sup>8-10, 31)</sup>。この要因は、水槽の形状、付着基質の種類・形状、ネオグラシーレ給餌の有無等の飼育方法の違いや、暴露条件の違い、照度の測定方法の違い等によるのかもしれない。いずれにせよ、当センターの採苗方法では採苗時に直射日光に暴露すると、稚ナマコが減耗することを確認しており、水面直上の照度が 3000lx 以下となるように遮光幕を用いて調節する。採苗直後の稚ナマコの付着珪藻類餌圧は低く、またその期間も短いので、低照度による付着珪藻類に対する悪影響よりも、紫外線による減耗リスクを優先し、暗めに維持している。屋内採苗の場合は、最大でも 1,000lx 程度であるので、照度調整の必要はない。

6) **給餌**：採苗率の上昇、着底後の稚ナマコ飼料として、飼育水中に 2～5 万細胞/ml となるように、ネオグラシーレを給餌する。給餌は幼生収容後、15 日目前後まで継続する。その理由や効果については後述する。

7) **計数**：稚ナマコの計数作業を、目視による確認が出来る 10 日目を目安に行う。抽出率 1% で無作為に選んだ付着板上の付着数を計測し、全体に引き延ばして推定値を算出する。

以上の方法で、ドリオラリア期以降の幼生の割合が 50% 程度である平均的な幼生群を採苗に用いた場合は、収容全幼生数から算出した採苗率（付着率）は概ね

30% 前後、収容幼生中のドリオラリア期以降の個体割合から算出した採苗率は 50% 前後である。しかしながら、年や回次、水槽によって値はばらつくことが多い。その一番の要因は採苗に供した幼生の状態（質）であると考えられ、近年、幼生飼育の不調がよく見られるアカナマコの場合は、平均の採苗率で 5% 程度と、かなり低い年もある。

検証の余地が残されているとされているが、伊藤<sup>26)</sup>によれば、ウニ類で変態促進効果のあるヒジキ<sup>32)</sup>やカリウムイオン K<sup>+</sup><sup>33)</sup>のように、生産現場で使用可能なマナマコの変態を促進するもの（物質）は、これまで確認されていない（実験室レベルではマナマコの変態を促進する物質として、ドーパミンが知られている<sup>34)</sup>）。したがって、現状では採苗率を高め、効率的な生産を行うための最善策は、良好な状態の幼生を供給することである。

幼生の飼育状況と上記の基準となる採苗率を併せ、予定とする付着数となるように収容幼生数を決定する。予定とする付着数は当センターの場合、付着板 1 枚あたり 300 個体としている。これよりも多ければ、その後の飼育における成長停滞や後述する大量減耗がみられる場合がある等飼育成績が不安定になり、これよりも少なければ、採苗用に準備する水槽の増大、加温コストの増大等、非効率的な採苗となる。

付着数が著しく多い場合（500 個 / 枚以上）、採苗から 10～20 日目に大量に減耗する事例がみられることがある<sup>5)</sup>。直近では、2011 年のアオナマコ生産で、採苗後 15 日前後に、一晩に約 100 万個体が大量減耗する減少がみられた<sup>6)</sup>。減耗した水槽内に別の水槽から稚ナマコを収容すると、同様に一晩で減耗したこと等から、細菌性の疾病ではないかと推測した。また、最近、北海道ではスクーチカ（大きさ 10～50 μm の繊毛虫で *Miamiensis avidus*）という繊毛虫による減耗が確認されている（北海道酒井氏私信）。酒井氏によれば、このスクーチカによる減耗は体長 1.5mm 未満の飼育初期にみられ、シオダマリミジンコ等で体表が損傷した場合は体長 10mm でも発症する場合があるとのことである。初期の大量減耗要因については特定が困難だが、これら知見をもとに、対策として、付着数を著しく多くしないように努め（500 個体 / 枚以下）、多く付着した場合は、早期の分槽により付着密度を下げるよう努めている。また、直接の減耗要因ともなるシオダマリミジンコ対策を



スクーチカによる減耗防除の点からも実施している。

## 6. 稚ナマコ飼育（採苗後 10 日目の計数後～）

目視確認が可能となる採苗後 10 日目前後で付着数を計数後、稚ナマコ飼育の工程に移る。以下、各項目について述べる。

**1) 飼育密度:** 採苗を屋内の加温水槽で行っている場合、ネオグラシーレの給餌を終了する採苗後 15 日目前後で屋外の飼育水槽へ移動する。屋内では照度が低く（最大で 1000Lx 程度）、付着珪藻密度の維持が困難であるためである。移動に合わせ、水槽に設置するネットの目合いを 200 目から 100 目（目合い 229  $\mu\text{m}$ ）に交換し、併せて飼育密度の調整を行う。生残率や成長等の飼育成績と水槽数の増加によるコスト・作業量増加を併せて考えると、飼育密度は付着板あたり 100～150 個体程度（10～15 万個体/水槽）が望ましい。したがって、採苗時の付着数により 1 水槽を 2～3 水槽に分槽し、飼育密度を 100～150 個体/枚程度に調整する。このとき、稚ナマコが付着している付着板と、新たな付着板（付着珪藻のみ）を 1～2 枚おきに交互に入れ替え、稚ナマコの分散を促す。概ね 2～3 週間後には、均一に分散する。また、前述の FRP 水槽や屋外で採苗した場合でも、同様の密度調整を同様の時期に行う。なお、この、付着板の移動や密度調整は、紫外線による減耗を防ぐため、曇りの日に行い、出来るだけ迅速な作業を心がけている。

**2) 飼育水槽:** 採苗水槽と同型の屋外コンクリート水槽を使用する。当センターのコンクリート水槽は二重底で、水槽の上半分に飼育用のネット（100 目）を設置し、その中で飼育を行う方式である（実効水量は約 7  $\text{m}^3$ ）。水深の浅い FRP 水槽で、直に付着基質を設置して行う方法と比べると、底に堆積した稚ナマコの糞や残餌等の有機物の腐敗が起きにくく、底掃除が不要になる、流水条件下でも配合飼料が流出しにくいという長所がある。

**3) 飼育水:** 採苗期間中、加温していた場合は、1 日に 1～2℃の幅で、自然水温に近づける。シオダマリミジンコ対策として、注水は採苗後 40 日程度、遮光幕を撤去するまで、前述のカートリッジフィルター、プランクトンネットでろ過し、可能な場合は紫外線殺菌海水を使用する。採苗後 1 週間程度は止水、その後飼育日数の経過とともに 0.5～8 回転/日程度に増加する。注水からのシオダマリミジンコ侵入リスクを出来るだけ低減する

ため、換水率は出来るだけ低く維持するが、遮光幕撤去後は、日射による水温上昇を防ぐため、換水率を増加させる必要がある。また、その際は注水側と排水側での水温差を防ぐため、水槽の長辺と同程度の長さの注水パイプを用いた注水を行う。なお、後述するネオグラシーレ、海藻粉末主体の配合飼料（以下、配合飼料）の給餌を行う場合は給餌後止水とし、夕方に通水する定期換水で流出を防ぐ場合もある。

**4) 通気:** 採苗時と同様に水槽全体の飼育水が均一に攪拌されるように通気する。

**5) 遮光:** 照度別の稚ナマコ飼育試験結果では、稚ナマコに悪影響が無い範囲では、高照度下で成長が良い傾向にある<sup>36)</sup>。実際の生産では 50%と 70%の遮光率の遮光幕を用いて、採苗～20 日（平均体長で約 3mm まで）の期間を照度 3000lx 以下（70%を 1 枚）、その後 40 日程度（平均体長で約 5mm まで）まで 20,000lx 以下（50%を 1 枚）、それ以降は遮光幕を撤去する（晴天時には 80,000lx 以上になる）ようにしている。ただし、これらは目安であり、飼育状況や付着珪藻の状態によって異なる。遮光率の変更を行う場合は、事前に部分的に行い、問題が無いことを確認してから全体で行う。また、晴れの昼間に遮光幕を撤去するなど、急激に照度を変化させた場合、稚ナマコが光から逃避する時間がなく、その場で萎縮し、斃死する可能性がある。したがって、遮光率を変更する際は、曇りや雨の日か、夕方に行うようにしている。

**6) 施肥:** 付着珪藻の繁茂を促すため、イオンカルチャーパック（㈱不動テトラ製）、ゲルカルチャー（第一製網㈱製）を水槽内に設置し、栄養塩を添加する。使用量は水槽あたりそれぞれ 2kg とし、タマネギ袋に小分けして設置する。

**7) 付着板の反転:** 5)、6) に加え、1 回/週程度（遮光幕撤去後は 2 回/週程度）、付着板の上下を入れ替える反転作業を行うことで、付着珪藻の維持に努める。特に遮光幕撤去後は、稚ナマコの減耗要因となり<sup>10)</sup>、取り上げ選別作業に多大な労力が必要ともなるシリオミドロ類が繁茂しやすい状態（図 12）となるため、頻繁に行う必要がある。これら緑藻類の繁茂が確認された場合は遮光幕を設置するが、設置を早い段階で行わなければ、消失にかなりの期間を要し、その間の付着珪藻の維持が困難となる。

**8) 給餌:** 稚ナマコ飼育時の主な飼料は付着珪藻である



図 12 シリオミドロ類が繁茂した付着板

が、採苗～15日目を目安にネオグラシール（2～5万細胞/ml）を、それ以降は海藻粉末を主体とした配合餌料の併用給餌を行う。

ネオグラシールの給餌については北海道での知見<sup>8)</sup>を参考にし、近年給餌するようになった。当センターでのアカナマコにおける試験結果でも採苗後15日目まで付着珪藻のみで飼育する場合と、付着珪藻とネオグラシール（2万細胞/ml）を併用給餌する場合の成長比較で、後者が前者の約1.3倍となり、その後、30日目まで飼育する場合は、ネオグラシールよりも海藻粉末主体の配合餌料や市販の付着珪藻粉末（商品名：ダイアパウダー、マリンテック㈱）を給餌した方が成長がよいとの知見を得ている<sup>37)</sup>。

以上から、ネオグラシールは着底初期において餌料価値が高く、海藻粉末等に比べ飼育水の水質悪化も少ないが、一方で、成長に従い餌料価値が相対的に低下し、培養の手間やコストもかかる餌料である。したがって、給餌期間を、効果の高い採苗から15日程度（体長約2mm）までとし、その後は後述する配合餌料を給餌している。

配合餌料は海藻粉末と貝化石の同重量混合物で、当センターにおける給餌量と頻度は表2のとおりである。

表1 配合餌料の給餌基準表

採苗後 日数(日)	配合餌料の種類と混合割合*	給餌量(g) /水槽	給餌量(mg) /個体数**	給餌 頻度
15～30日		100g	1	
30～60日	LJ:AN:FG=1:1:2	150g	1.5	週2-3回
60日～		200g	2	

\*LJ:マコンブ粉末、AN アスコフィルム粉末、FG:貝化石

\*\*水槽あたりの個体数を10万個体とした場合

給餌にあたっては、ミキサーで海水に懸濁後、水槽全

体に散布する。遮光幕を設置して水温の上昇が少ない、採苗から40日前後までは、散布後に2～5時間程度止水とし餌料の流出を防ぐ。以前は沈降を促すため、止水時間中は無通気としていたが、効果が認められなかったため、通気は行っている。国内で稚ナマコ用餌料として市販されているものは複数あるが、当センターでは使用量が多く（1シーズンの生産で、海藻粉末を50～100kg程度使用する）、コスト面から導入は難しいと考えている。

海藻粉末の種類は、親ナマコの餌料としても使用するマコンブ粉末とアスコフィルム粉末と暫定的に決めている。その理由を以下に述べる。

これまでに実績のあるリビック<sup>1, 8, 9, 10, 38)</sup>が製造中止となり、筆者が緊急的に代替となるようなものを探索した結果、ほぼ同じ成分内容であるアスコフィルム粉末が稚ナマコ餌料として使用可能であった<sup>39)</sup>。その後、検討する餌料種類数を増やしたところ、量産規模では差はみられなかったが、小規模の比較試験での成長はマコンブ粉末が最も良く、次いでアスコフィルム粉末が良かった<sup>37)</sup>。したがって、現状で、安価に入手可能な海藻粉末の中ではマコンブ粉末がマナマコの餌料として最も適すると考えている。これに栄養バランスを考慮し、実証試験でほとんど差がみられなかったアスコフィルムも併用する方法を暫定的に採用している。

また、砂粒等の無機物で給餌効果が高まるという知見<sup>40-42)</sup>をもとに、これら海藻粉末に貝化石を混合給餌している。

マナマコの餌料や栄養要求に関しては、近年盛んに研究が行われている。例えば、Sun et al.<sup>43)</sup>、Liu et al.<sup>44)</sup>、小林ら<sup>44)</sup>、Seo and Lee<sup>45)</sup>、Gao et al.<sup>46)</sup>、Shi et al.<sup>47)</sup>、鶴沼ら<sup>48)</sup>などのマナマコ餌料に適した餌料成分の種類や栄養成分（主にタンパク質と脂質含量）や、さらに混合する砂泥の影響に関する研究例、Okorie et al.<sup>49, 50)</sup>、Gao et al.<sup>51)</sup>などの餌料に添加するビタミン類（ビタミンCとE）の影響に関する研究例、Hasegawa et al.<sup>52)</sup>による餌料の微生物分解による影響に関する研究例、Zhang et al.<sup>53)</sup>、Zhao et al.<sup>54)</sup>、Wang et al.<sup>55)</sup>などの免疫賦活剤に関する研究例、Xia et al.<sup>56)</sup>などの餌料の形状に関する研究例、Jiang et al.<sup>57)</sup>のアカナマコとアオアナマコの栄養要求の差に関する研究例等を参考にしながら、今後、マコンブ粉末を主体としつつ、他の海

藻粉末や栄養成分を混合し、稚ナマコの栄養要求や摂餌生態に即し、かつコストや給餌の容易さ等を加味した、好適な配合飼料を検討していく必要がある。

配合飼料の給餌の効果については、その他の飼育方法が若干異なるため、一概に比較することは難しいが、配合飼料を給餌せず、附着珪藻のみで飼育していた過去の事例と比較すると、配合飼料給餌期間中の成長や生残は大幅に向上している<sup>39)</sup>。それに伴い、生産数量の増加、生産期間の短縮化が可能となっている。

給餌にかかるコストについては、海藻粉末が300円/kg程度、貝化石が350円/kg程度であり、種苗生産全体にかかるコストに比較して低い。また、後述するように二重底の水槽で飼育する場合は底掃除も必要ないことから、配合飼料の給餌による大きなデメリットはないと考えている。

**9) 底掃除:** 二重底の角形コンクリート水槽で飼育している場合は、基本的に1回目の取り上げを行う採苗後60～70日程度まで必要ない。二重底でないFRP水槽で、附着板を水槽に直に設置して飼育する場合は、堆積した有機物が腐敗し、硫化水素を発生するため、2週間に1～2回程度の底掃除が必要である。

**10) 取り上げ選別:** 平均体長が15mm前後となる採苗後60～70日で、1回目の取り上げ作業を行う。取り上げは、基本的に刷毛による手作業で行うが(図13)、水槽内(ネット内)に残った個体は、底掃除と同じ要領でサイフォンを用いて回収する(図14)。

取り上げ後、目合い3mm(対角線4.2mm)のステンレス金網製の篩い(図15)でサイズ選別を行い、大サイズ(図16)と小サイズ(図17)に分ける。平均体長が

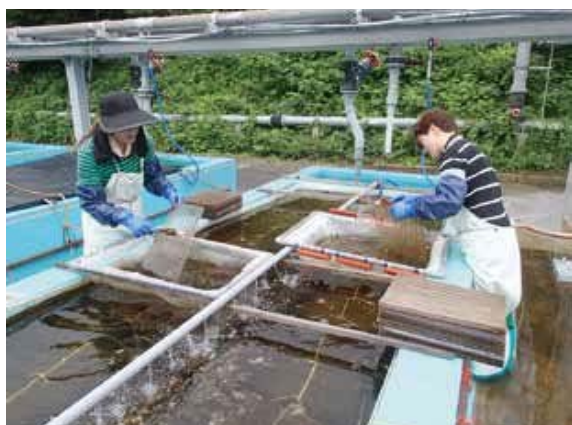


図13 刷毛による剥離作業



図14 サイフォンによる水槽内に残った個体の回収



図15 サイズ選別用のステンレス金網(目合い3mm)



図16 篩いあがり個体



図17 篩いおち個体(メントール麻酔時)

15mm程度の場合では、大サイズの平均体長は20mm程度、小サイズの平均体長は10mm程度で、その個体数割合は1：1程度である。

個体数の計数は重量法による(図18)。すなわち、大と小それぞれで、全体の5～10%程度(水槽あたり5000～10,000個体)の個体数の重量を計測し、それをもとにした個体あたりの重量で個体数を推定する。大サイズは付着板を入れた出荷用のイケス(30目)に收容し(図19)、各漁協、漁業者に配布する。小サイズは、後述する再付着飼育に供する。

取り上げ、選別の際は出来るだけ丁寧な作業を心がけ、びらんの発生要因となる体表のスレや内蔵吐出に注意する。出荷最盛期である夏場の高水温時期はそれらが発生しやすいため、特に注意が必要である。

生残率は、採苗後20日以内に大量減耗が無ければ、採苗～1回目の取り上げを行う60～70日までで80%以上である。年によってバラツキはあるが、アカナマコ



図18 重量の計測



図19 出荷用イケスへの收容状況

とアオナマコで差はほとんどみられない。

成長は採苗後20日で約3mm、30日で約5mm、60日で約15mm(図20、図21)となり、これもアカナマコとアオナマコで差はほとんどみられない。

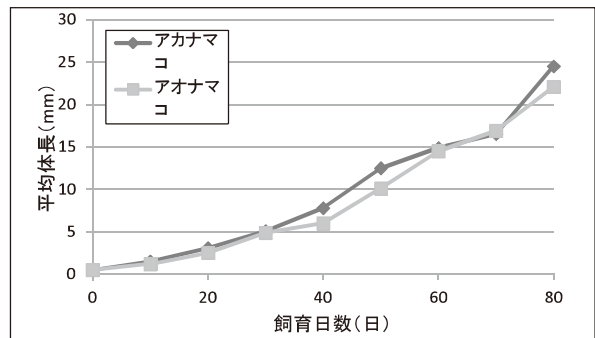


図20 稚ナマコの成長(2012、2013年生産の平均値)



図21 採苗後約60日の付着状況  
(上：アカナマコ、下：アオナマコ)

過去の飼育マニュアル<sup>5)</sup>に記載の1994年の通常飼育時と成長を比較すると、採苗後30日時点で約2倍、60日時点で約3倍の成長が期待できるようになった。これ

は、飼育方法の各項目の改良のうち、付着珪藻に加えて、ネオグラシーレ、海藻粉末主体の配合餌料の給餌を開始したことが主要因と考えている。

11) 再付着飼育：1回目の取り上げ時の小サイズは、新たに準備した付着珪藻板に再付着させ、同じ飼育方法で飼育する。付着板に再度付着させる際には、通気を止め、付着を確認した後（30分後程度）に通気する。

収容密度は、付着板1枚あたり100～200個体程度とし、通常の場合、体長10mm程度での再付着から15～30日程度の飼育で平均体長が15mm程度に成長する。その段階で再び取り上げ、選別作業を行う。この期間中の生残率は、概ね80%以上である。

## 7. シオダマリミジンコ対策

シオダマリミジンコ *Tigriopus japonicus* とは匍匐性の小型の甲殻類（カイアシ類）で、天然の海域では潮間帯などに生息する（図22）。このシオダマリミジンコは、稚ナマコの飼育水槽内に侵入し、増殖することで減耗を引き起こすマナマコの害敵生物である。当センターの試験結果では、この減耗は食害ではなく物理的な損傷によって引き起こされる<sup>58)</sup>。稚ナマコと同居させると、稚ナマコの体表に付着し、激しく動き回り、時間の経過と共に稚ナマコが斃死する（図23）。また、シオダマリミジンコによる体表の物理的損傷が原因で、スクーチカの寄生による減耗（酒井氏私信）や、体表のびらんによる斃死が発生する場合、稚ナマコが萎縮し成長が停滞する場合がある。さらに、これらの稚ナマコへの直接的な影響だけでなく、餌料である付着珪藻を食害するため、餌料競合という間接的な影響もある。薬事法の改正以降、駆除に有効な薬品<sup>1, 29)</sup>が使用不可となった現在、シオダマリミジンコによる減耗や成長の停滞は、全国のマナマコの種苗生産機関の共通で深刻な問題となっている。

これまでのシオダマリミジンコに関する知見の中で、稚ナマコ減耗防除の観点から重要と思われるものは以下の4点である。

①成体の体長は約1mmで、卵の大きさは50 $\mu$ m程度である。ふ化後脱皮を繰り返しながら成体となり、その期間は、水温の低下とともに長くなる<sup>59, 60)</sup>。成体は2日に1回、50個程度の卵を産む<sup>59)</sup>。

16～20℃では、卵は2日程度でふ化に至る<sup>8)</sup>。

②生息密度が高くなると、稚ナマコの減耗要因となる。

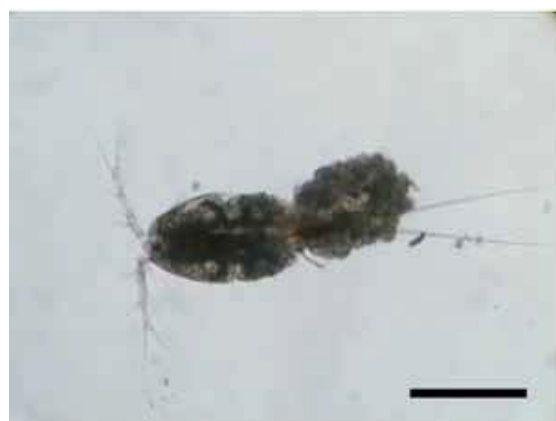


図22 シオダマリミジンコ *Tigriopus japonicus* の抱卵個体  
スケール・バーは500 $\mu$ m。



図23 シオダマリミジンコによる物理的損傷により斃死したと思われる稚ナマコ

10個体/21.2 $\text{cm}^2$ 以上<sup>61)</sup>、2個体/ $\text{cm}^2$ 以上<sup>58)</sup>で減耗が始まるとの知見がある。

③稚ナマコの体長が小さいほど影響(減耗)を受けやすく、特に影響を受けやすいサイズは3mm以下である<sup>58, 60)</sup>。ただし、それ以上のサイズでもシオダマリミジンコの密度によっては減耗が起きる<sup>61)</sup>。

④付着板に付着珪藻が繁茂している間は、付着珪藻を摂餌し、無くなると稚ナマコの体表に付着し、減耗を引き起こす<sup>58, 60)</sup>。

以上の知見をもとに、シオダマリミジンコ対策について、飼育水槽内へのシオダマリミジンコの侵入を防ぐ方法（侵入防除）、飼育水槽内に侵入した後に、シオダマリミジンコの増殖を防ぐ方法（増殖抑制）、シオダマリミジンコが増殖した後で減耗を低減する方法（減耗低減）の3つの観点から対策を紹介する。

## 1) 侵入防除

①注水からの侵入防除：シオダマリミジンコは、天然海域に存在する普通種であり、そのサイズも小さいことから、砂ろ過処理後の海水中にも存在している。よって、注水からの侵入を防ぐためには、卵のサイズ (50  $\mu\text{m}$ ) 以下のフィルターで再度ろ過する必要がある<sup>61)</sup>。

注水量が少ない採卵や幼生飼育等の場合は、カートリッジ式のフィルターを使用し、最終的な目合いを1  $\mu\text{m}$  としている。注水量が多い稚ナマコ飼育の場合は、カートリッジフィルターの目合いを25  $\mu\text{m}$  程度とし、プランクトンネット (目合い45  $\mu\text{m}$ ) と併用して使用する (図11)。注水量が多い場合は、1~2週間に1度程度のフィルターの交換、毎日のネット洗浄が必要となる。ただし、使用するカートリッジフィルターは簡易式のものであるため、目合い1  $\mu\text{m}$  のフィルターを設置していても完全には排除出来ないということを認識しておく必要がある。

②人からの侵入防除：マナマコの飼育作業を行う場合は、作業従事者の全身 (特に手) と使用する飼育器具を水道水でよく洗ってから作業する。

③親ナマコからの侵入防除：採卵の節で述べたが、採卵に用いる親ナマコの体表や体内に存在するシオダマリミジンコを除去する必要がある。具体的には、北海道で行われている方法を参考に、2分程度淡水浴を実施し、体表をこすって脱落させる<sup>8, 61)</sup>。これにより1個体の親から数十~数百個体のシオダマリミジンコが回収される<sup>3)</sup>、体腔に侵入している個体の排除は難しい。

④付着基質からの侵入防除：採苗に使用する付着珪藻板には、特別な管理をしていなければ、必ずシオダマリミジンコが存在するため、採苗の直前に可能な限り排除しておく必要がある。方法としては、炭酸ガス通気海水<sup>58)</sup>、0.2% KCL 溶液<sup>61)</sup>、淡水 (水道水での洗浄)<sup>8, 9, 61)</sup>、低塩分海水<sup>62)</sup>、濃塩水 (食塩水)<sup>63)</sup> 等に付着板を浸漬し、シオダマリミジンコを脱落させる方法が用いられている。各溶液で浸漬時間は異なるが、作業の流れは同様である。

⑤紫外線殺菌海水の使用：注水に紫外線を照射することで、飼育水槽内でのシオダマリミジンコの増殖が遅れるという知見<sup>9)</sup>がある。当センターでは、クロアワビやアカウニの飼育に紫外線殺菌処理海水を使用するが、砂ろ過のみの海水を使用する水槽に比べ、シオダマリミジンコの増殖が遅いという同様の感覚を筆者も持っている。紫外線照射により、シオダマリミジンコの活力や繁殖力

を低下させることが出来るのでは無いかと考え、現在、その効果について検証を行っている。

以上の侵入防除をもれなく行うことにより、当センターでは採苗から少なくとも1ヶ月程度は、シオダマリミジンコの大増殖を抑えることが可能となっている。

## 2) 増殖抑制

3つの方法のうち、この増殖抑制は、稚ナマコとシオダマリミジンコが飼育水槽内に同所的に存在する状態で行うため、稚ナマコへの影響を考慮する必要があり、技術的に最も難しく、手間もかかる方法である。

①飼育水槽内での物理的除去：飼育水を水槽内で循環させ、50  $\mu\text{m}$  以下のネットでろ過することで、物理的に除去する方法である。北海道では、水中ポンプで循環させる方法や、より簡便にエアリフトを用いて循環させる方法を開発し、薬浴による除去と同程度の飼育結果を得ている<sup>8, 61, 64)</sup>。この方法が増殖抑制の方法の中で、現時点では最も効果的かつ比較的省労力と考えられる。

②水槽替え：稚ナマコが取り上げ作業に耐えられる大きさであれば、水槽替えによるシオダマリミジンコの密度低下は効果的である。北海道では、濃塩水 (食塩水) を用いて取り上げ作業を行い、その後メッシュを用いて稚ナマコとシオダマリミジンコを分離する方法が開発されている<sup>63)</sup>。しかし、取り上げ、分離・選別作業は作業量が多く、また採苗前の付着板の処理とは異なり、稚ナマコに対するダメージも考慮して実施する必要がある。

③捕食生物による除去：シオダマリミジンコを含むカイアシ類は天然海域において他の生物の (初期) 餌料であり、稚ナマコ飼育水槽内に捕食生物を導入し、シオダマリミジンコを捕食させるという方法である。捕食生物を収容するだけで済み、手間がかからないという長所がある。

これまでに捕食生物としてアゴハゼを用いた例が知られている<sup>9)</sup>。少なくとも体長2mm以上のマナマコはアゴハゼによる食害は受けず、一定の駆除効果は認められているようである。筆者は同様の考えで、アゴハゼよりも入手が容易 (大量に安価に購入可能) と考えられるミニメダカ *Oryzias latipes* (従来のメダカの南日本集団、以下メダカ) を海水馴致したもので駆除効果を検証した。その結果、体長2mm以下のマナマコはメダカによる減耗を受けること、それ以上のサイズの個体では減耗は無いが、メダカにつつかれることにより大半の個体が付着板から脱落する例があること等を確認している。しかし、

シオダマリミジンコの駆除効果は高いことを確認しており、今後、稚ナマコに影響を与えない適正なメダカのサイズや収容密度等を解明し、実用化に向けて検討を進めていく予定である。

### 3) 減耗低減

①付着珪藻密度の維持：シオダマリミジンコは付着珪藻の存在下では付着珪藻を主に摂餌するため稚ナマコの減耗は抑制されることに着目し、付着珪藻の密度を高く維持することで減耗を防ぐ（低減する）方法である。具体的方法としては稚ナマコ飼育で述べた遮光の調整、施肥、反転作業である。遮光幕を撤去し、付着珪藻の繁茂を促した場合、シオダマリミジンコが増殖しても、ある程度の付着珪藻密度を維持できる。したがって、後述するように、遮光幕を撤去可能な（紫外線による減耗が起こらない）体長まで速やかに稚ナマコを成長させることが併せて重要である。

②メッシュによる飼育：付着基質として付着珪藻板でなく、メッシュを使用することで、シオダマリミジンコの影響を低減できるという知見がある<sup>8)</sup>。付着板に比べ、水槽あたりの飼育可能個体数は減少するが、稚ナマコがメッシュ内部に入り込むことで、シオダマリミジンコから避難し、減耗を抑制できると考えられている。

③稚ナマコの成長促進：シオダマリミジンコの減耗を受けやすいサイズは、体長3mm以下であり、そのサイズまで速やかに成長させることが対策となる。当センターでは、この対策に、前述の侵入防除を併せて行うことが、シオダマリミジンコによる減耗に対する最も効果的かつ労力のかからない方法と考えている。

成長が良好である場合、シオダマリミジンコの増殖がみられる採苗後30日前後には、減耗が抑制される体長である4～5mmまで成長させることが可能である。

## 8. おわりに

現在当センターで実施しているマナマコ種苗生産の現状と課題を紹介した。1996年に刊行した種苗生産マニュアルと基本的な技術は変わっていないが、例えばクビフリンの登場による採卵の安定化・効率化、付着珪藻以外の餌料を併用することによる稚ナマコの成長・生残の改善等、技術的に進歩している点が見られる。これらの結果、当時に比べ生産数量の増加、生産期間の短縮化が可能となった。一方で、親ナマコ養成方法に不明な点があ

ること（特にアオナマコ）、幼生飼育の不調（特にアカナマコ）、稚ナマコ飼育初期の大量減耗等、解決されていない課題も多い。また、薬事法改正により薬剤駆除ができなくなったシオダマリミジンコによる減耗という新たな課題もあり、マナマコ種苗生産技術は未だ技術発展の途上である。

近年、特に2000年代頃から、中国への輸出用としての需要の増加、単価の上昇を受け、我が国全体で、ナマコ類の漁獲量が急増している<sup>65, 66)</sup>。それに伴い全国的に種苗生産に取り組む機関が増加し、種苗生産数量も増加傾向にある<sup>67)</sup>。県内においても放流種苗の要望数は近年増加傾向にあり、ナマコ漁業関係者の種苗放流、栽培漁業に対する期待は大きいと考えられる。本報告で取り上げた課題を解決し、生産の安定化・効率化を図ることでマナマコ種苗生産技術の更なる発展を目指していきたい。

## 文 献

- 1) 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. 佐裁漁七研報第4号, 1-87.
- 2) Ito, S and Kitamura, H(1997): Induction of larval metamorphosis in the sea cucumber *Stichopus japonicus* by periphytic diatoms. *Hydrobiologia*, 358, 281-284.
- 3) Ito, S and Kitamura, H(1998): Technical development in seed production of the Japanese sea cucumber, *Stichopus japonicus*. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 10, 24-28.
- 4) 伊藤史郎 (2001): 11章 ナマコ グルメの水産学2. 199-214, 「ヒトデ学 棘皮動物のミラクルワールド」(本川達雄編), 東海大学出版, 東京.
- 5) 佐賀県栽培漁業センター 1996: 佐賀県栽培漁業センターにおける種苗生産マニュアル. 1-167.
- 6) 江口勝久・森勇一郎 2013: 種苗量産技術開発事業(2) マナマコの種苗生産. 平成23年度佐玄水業報, 70-74.
- 7) 江口勝久 2014: 種苗量産技術開発事業(2) マナマコの種苗生産. 平成24年度佐玄水業報, 印刷中.
- 8) 酒井勇一, 近田靖子 2009: マナマコ人工種苗の陸上育成マニュアル. 北海道立栽培水産試験場, 97pp.
- 9) ナマコ種苗生産マニュアル. 青森県産業技術センター水産総合研究所. 2010.
- 10) 岩手県栽培漁業協会種市事業所におけるナマコ種苗生産実践マニュアル. 岩手県水産技術センター. 2010.
- 11) 伊藤史郎, 川原逸朗, 森勇一郎, 江口泰蔵. 佐賀県北部沿岸域におけるマナマコの産卵期(予報). 佐裁漁七研報

- 1994 ; 3 : 1-13.
- 12) Kato S, Tsurumaru S, Taga M, Yamane T, Shibata Y, Ohno K, Fujiwara A, Yamano K, Yoshikuni M. Neuronal peptides induce oocytes maturation and gamete spawning of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Dev. Biol. 2009; 326: 169-176
- 13) Fujiwara A, Yamano K, Ohno K, Yoshikuni M. Spawning induced by cubifrin in the Japanese common sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Fish. Sci. 2010; 76:795-801.
- 14) 伊東義信, 真崎邦彦, 金丸彦一郎, 伊藤史郎. アカウニの生殖巣成熟に対する飼育水温のコントロールの効果. 佐栽漁セ研報 1987 ; 1 : 1-4.
- 15) 伊藤史郎, 川原逸朗. マナマコの水溫制御による成熟・産卵促進 (予報). 佐栽漁セ研報 1994 ; 3 : 19-25.
- 16) 伊藤史郎, 川原逸朗. マナマコの養成餌料に関する研究. 佐栽漁セ研報 1994 ; 3 : 15-17.
- 17) Deng H, He CB, Zhou ZC, Liu C, Tan KF, Wang NB, Jiang B, Gao XG, Liu WD. Isolation and pathogenicity of pathogens from skin ulceration disease and viscera ejection syndrome of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*: Aquaculture. 2009; 287: 18-27.
- 18) 山野恵祐. 産卵誘発ホルモン「クビフリン」を用いたマナマコの採卵技術. 養殖 2009 ; 577 : 40-42.
- 19) 山野恵祐. マナマコの産卵を誘発するホルモンの発見と種苗生産への応用. 「うみうし通信」 2010 ; 68 : 10-11.
- 20) 吉国通庸. 第3章 成熟・産卵. 「ナマコ学—生物・産業・文化—」(高橋明義, 奥村誠一編) 成山堂書店. 2012 ; 35-60.
- 21) 経塚啓一郎. 良質な種苗を確保するための成熟制御技術の開発. 「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「乾燥ナマコ輸出のための計画的生産技術の開発」平成21年度報告書(最終年度)」((独)水産総合研究センター北海道区水産研究所) 2010 ; 50-53.
- 22) 伊藤史郎, 川原逸朗, 青戸 泉, 江口泰蔵. マナマコの精子濃度と受精率およびふ化率との関係 (予報). 佐栽漁セ研報 1994 ; 3 : 35-37.
- 23) 伊藤史郎, 小早川 淳, 谷 雄作. マナマコ (アオナマコ) 浮遊幼生の飼育適水温について. 水産増殖 1987;34 (4) : 257-259.
- 24) 伊藤史郎, 川原逸朗. マナマコの浮遊幼生の飼育餌料に関する研究. 佐栽漁セ研報 1994 ; 3 : 39-50.
- 25) Wang YG, Zhang CY, Rong XJ, Chen JJ, Shi CY. Diseases of cultured sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, in China. In: Alessandro L (eds). Advances in sea cucumber aquaculture and management. FAO Fisheries Technical Paper, Roma, FAO, 463. 2004; 297-310.
- 26) 伊藤史郎, 川原逸朗, 平山和次. マナマコ (アオナマコ) *Doliolaria* 幼生から稚ナマコへの変態促進. 水産増殖 1994 ; 42 (2) : 287-297.
- 27) 伊藤史郎, 川原逸朗, 平山和次. マナマコ浮遊幼生の採苗ステージの検討. 水産増殖 1994 ; 42 (2) : 299-306.
- 28) 野口浩介, 野田進治. 炭酸ガス通気海水を用いたコベポーダ除去法の開発. 佐玄水振セ研報 2013 ; 6 : 15-20.
- 29) 小林 信・石田雅俊. 稚ナマコの減耗要因に関する二・三の実験. 栽培技研 1984 ; 13 : 41-48.
- 30) 藤崎 博, 岡山英史, 青戸 泉. マナマコの初期飼育における照度—I. 佐玄水振セ研報 2005 ; 3 : 39-42.
- 31) 江崎恭志. マナマコ種苗生産安定化のための飼育条件. 福岡水技研報 2001 ; 11 : 17-20.
- 32) 伊藤史郎, 小早川 淳, 谷 雄作, 中村展男. パフンウニ, アカウニ幼生の変態促進に及ぼす付着珪藻とヒジキの併用効果. 栽培技研 1991 ; 19 (2) : 61-66.
- 33) 川原逸朗, 広瀬 茂, 伊藤史郎, 北村 等. アカウニ幼生に対する塩化カリウムの変態誘起効果 (予報). 佐栽漁セ研報 1994 ; 3 : 79-83.
- 34) Matsuura H, Yazaki I, Okino T. Induction larval metamorphosis in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* by neurotransmitters. *Fish Sci.* 2009; 75: 777-783.
- 35) 畑中宏之・谷村健一. 稚ナマコの体長測定用麻酔剤としての menthol の利用について. 水産増殖 1994 ; 42 : 221-225.
- 36) 山浦啓治, 江口勝久. 2014 : 付着珪藻板飼育時の照度が稚ナマコの成長と生残に及ぼす影響. 佐玄水研報第7号, 印刷中.
- 37) 江口勝久. 2014 : 稚ナマコ (アオナマコ) 飼育における付着珪藻以外の餌料の比較. 佐玄水研報第7号, 印刷中.
- 38) 畑中宏之. マナマコ種苗の中間育成における適性給餌量の検討. 栽培技研 1996 ; 25 : 11-14.
- 39) 江口勝久. 2013 : 稚ナマコの成長, 生残に及ぼす海藻粉末の併用給餌効果. 佐玄水研報第6号, 9-13.
- 40) 木原 稔・田本淳一・星 貴敬. 水槽内のマナマコ摂餌行動におよぼす砂粒の影響. 水産技術 2009 ; 2 (1) : 39-43.
- 41) Liu Y, Dong SL, Tian XL, Wang F, Gao QF. Effects of dietary sea mud and yellow soil on growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture.* 2009; 286: 266-270.
- 42) 小林俊将, 山口 仁, 根田 幸三. 稚ナマコ飼育のための配合飼料の研究. 岩手水技セ研報 2011 ; 7 : 15-18.
- 43) Sun HL, Liang MQ, Yan JP, Chen BJ. Nutrient requirements and growth of the sea cucumber,



- Apostichopus japonicus*. In: Alessandro L (eds). Advances in sea cucumber aquaculture and management. FAO Fisheries Technical Paper, Roma, FAO, 463. 2004; 327-332.
- 44) 小林俊将, 山口 仁, 根田 幸三. 稚ナマコ飼育のための配合飼料の研究. 岩手水技七研報 2011 ; 7 : 15-18.
- 45) Seo JY and Lee SM. Optimum dietary protein and lipid levels for growth of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Aquaculture Nutrition*. 2011; 17: e56-e61.
- 46) Gao QF, Wang YS, Dong SL, Sun ZL, Wang, F. Absorption of different food sources by sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka)(Echinodermata: Holothuroidea): Evidence from carbon stable isotope. *Aquaculture*. 2011; 39: 272-276
- 47) Shi C, Dong SL, Pei SR, Wang F, Tian XL, Gao QF. Effects of diatom concentration in prepared feeds on growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture Research*. 2013; 1-9.
- 48) 鶴沼辰哉, 野口浩介, 澤口小有美, 長谷川夏樹, 町口裕二 2013 珪藻土とゼオライトを添加したフロック状のマナマコ用配合飼料. 水産増殖, 61 (4) : 331-340
- 49) Okorie OE, Ko SH, Go S, Lee S, Bae JY, Han KM, Bai SC. Primary study of the optimum dietary ascorbic acid level in sea cucumber, *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Journal of the World Aquaculture Society*. 2008; 39: 758-765.
- 50) Okorie OE, Ko SH, Go S, Kim YC, Lee S, Yoo GY, Bai SC. Primary study of the dietary alpha-tocopherol requirement sea cucumber, *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Journal of the World Aquaculture Society*. 2009; 40: 659-666.
- 51) Gao J, Koshino S, Ishikawa M, Yokoyama S, Nose D. Interactive effects of vitamin C and E supplementation on growth, fatty acid composition, and lipid peroxidation of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, fed with dietary oxidized fish oil. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2013; 44(4): 536-546.
- 52) Hasegawa N, Sawaguchi S, Tokuda M, Unuma T. Fatty acid composition in sea cucumber *Apostichopus japonicus* fed with microbially degraded dietary sources. *Aquaculture Research*. 2013; 1-11.
- 53) Zhang Q, Ma HM, Mai KS, Zhang WB, Liufu ZG, Xu W. Interaction of dietary *Bacillus subtilis* and fructooligosaccharide on the growth performance, non-specific immunity of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. *Fish Shellfish Immunol*. 2010; 29: 204-211.
- 54) Zhao Y, Ma HM, Zhang WB, Ai QH, Mai KS, Xu W, Wang XJ, Liufu ZG. Effects of dietary  $\beta$ -glucan on the growth, immune responses and resistance of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* against *Vibrio splendidus* infection. *Aquaculture*. 2011; 315: 269-274.
- 55) Wang SX, Ye HB, Li TB, Yang XS, Fan Y, Yu XQ, Wang YQ. Effects of small peptides on nonspecific immune responses in sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2013; 44(2): 249-258.
- 56) Xia SD, Yang HS, Li Y, Liu SL, Xu QZ, Rajkumar, MG. Effects of food processing method on digestibility and energy budget of *Apostichopus japonicus*. *Aquaculture*. 2013; 384-387: 128-133.
- 57) Jiang SH, Dong SL, Gao QF, Wang F, Tian XL. Comparative study on nutrient composition and growth of green and red sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka, 1876), under the same culture conditions. *Aquaculture Research*. 2013; 44; 317-320.
- 58) 野口浩介, 野田進治. ナマコ種苗生産時に出現するコペポーダの影響について. 水産技術 2011 ; 3 (2) : 131-135.
- 59) 古賀文洋. 魚類の初期餌料としての動物プランクトンの探索と大量培養研究-VI. 福岡県水産試験場. 1978.
- 60) 小林俊将, 山口 仁. マナマコ種苗生産におけるシオダマリミジンコの影響. 岩手水技七研報 2011 ; 7 : 19-24.
- 61) 酒井勇一, 近田靖子. マナマコ人工種苗の食害防除技術について. 北水試だより 2008 ; 76 : 8-14.
- 62) 奥村誠一. 第8章 ビジネスとしての陸上完全養殖. 「ナマコ学—生物・産業・文化—」(高橋明義, 奥村誠一編) 成山堂書店. 2012 ; 129-142
- 63) 酒井勇一, 近田靖子. 食塩を利用したシオダマリミジンコの侵入防除と除去方法. 試験研究は今 No.640. 2008.
- 64) 酒井勇一, 近田靖子. ペットボトルを利用した揚水機によるシオダマリミジンコの除去法. 試験研究は今 No.641. 2009
- 65) 廣田将仁. 国際商材ナマコ製品の市場と流通事情. 水産振興第, 東京水産振興会. 2012 ; 533 ; 1-68.
- 66) 澁谷長生. 第9章 流通・経済. 「ナマコ学—生物・産業・文化—」(高橋明義, 奥村誠一編) 成山堂書店. 2012 ; 143-168
- 67) 酒井勇一. 第6章 種苗生産と栽培漁業. 「ナマコ学—生物・産業・文化—」(高橋明義, 奥村誠一編) 成山堂書店. 2012 ; 101-114.