

現しなかった。

考 察

アオナマコ、アカナマコの浮遊幼生の飼育では *C. gracilis* や *C. calcitrans* および *I. galbana* の単独投与でそれぞれ *Doliolaria* 幼生およびそれ以降の幼生が出現し、その割合はアオナマコ、アカナマコともに珪藻類の *C. gracilis* および *C. calcitrans* で高かった。このことからアオナマコ、アカナマコの浮遊幼生の飼育では *C. gracilis* や *C. calcitrans* の単独投与で効率的に *Doliolaria* 幼生までの飼育ができることが明らかとなった。一方、今回の実験では、*I. galbana* と同じハプト藻類である *P. lutheri* ではアオナマコ、アカナマコともに正常な発育がみられず、付着珪藻による稚ナマコへの変態も起こらなかった。*P. lutheri* は *C. gracilis* や *Nannochloropsis oculata* などと併用して使用され、稚ナマコまでの飼育がなされている(畑中ら 1992, 大橋ら 1992, 小川ら 1992)。また、石田 (1979) は *P. lutheri* の単独投与で稚ナマコまでの飼育に成功している。一方、愛知県での餌料別飼育試験では、*C. gracilis* や *I. galbana* に比べ *P. lutheri* はマナマコ浮遊幼生期の餌料として不適であることが確かめられ(愛知水試 1987)、さらに、原 (1980) は、*I. galbana* はその単独投与で幼生の成長や変態も順調に進み、マナマコ浮遊幼生の餌料として優れた餌料価値を持つのに対し、*P. lutheri* については、今回の実験結果と同様に餌料価値がないことを報告している。代田 (1975) は、微小藻類の餌料価値は藻類の化学成分の違いによることを報告しているが、その化学成分は培養条件や培養ステージで変化することも報告され (Fabregas *et al.* 1985)、*P. lutheri* の脂肪酸組成は培養温度によって変化することが確かめられている (立沢・滝沢 1993)。脂肪酸などの化学成分が餌料価値の1つの要因と考えるならば、今回のように石田 (1979) の実験結果とは異なった結果が得られたのも納得できる。いずれにせよ、*P. lutheri* 単独ではマナマコ浮遊幼生に対する餌料価値は低いものと推察される。また、マリンオメガ A についても、柳澤ら (1992)、高橋 (1992) はマナマコ浮遊幼生の餌料として十分に有効であることを報告しているが、池田ら (1992) の報告や今回の実験結果からは餌料として問題があるようであり、この点については、今後さらに検証する必要がある。

マナマコ浮遊幼生の大量飼育を行うためには大量の餌料が必要であるが、*C. gracilis* についてはウニ類の種苗

生産技術開発の過程でほぼ大量培養技術が確立され(伊藤ら 1985)、*C. calcitrans* についても、その大量培養法が実用化されており(天神・鈴木 1984)、これらの安定した大量供給によって、マナマコ浮遊幼生の飼育はよりいっそう安定するものと考えられる。

第3節 *Doliolaria* 幼生から稚ナマコへの変態促進 (伊藤ら 1994h)

ウニ類では、付着珪藻やヒジキなど数種の海藻の存在が浮遊期の八腕後期幼生から稚ウニへの変態を誘起することが明らかにされ、この現象をウニ類の種苗生産工程に活用している(谷・伊東 1979, 伊東ら 1980, 伊東 1984, 伊藤ら 1991)。

一方、マナマコ浮遊幼生でも、付着珪藻の存在により稚ナマコへの変態促進が誘起されることが知られている(柳橋ら 1984, 真崎ら 1987)。しかし、ウニ類で調べられているような付着珪藻の密度や種類の違いによる変態促進効果への影響、変態促進に有効な海藻の検索などについては検討されておらず、付着珪藻や海藻を使った採苗技術は確立していない。本章では、マナマコ浮遊幼生の採苗技術を高めるため、シャーレ内に入れる海藻の種類や付着珪藻の種類と密度を変えて、*Doliolaria* 幼生から稚ナマコへの変態の促進効果について検討した。さらに、付着珪藻の稚ナマコへの変態促進効果が *Doliolaria* 幼生と付着珪藻との物理的な接触によって、誘起されるのか否かを検討した。

アワビ類などの海産底棲性無脊椎動物の幼生では海水中の K^+ 濃度の増加は、着底と変態を誘起するとされている(Yool *et al.* 1986)。そこで、*Doliolaria* 幼生に及ぼす、 K^+ の変態促進効果について検討した。また、採苗時の付着板の設置方法の違いによる採苗率への影響についても検討した。

方 法

1. 海藻の種類別変態促進試験

実験は、それぞれの海藻や付着珪藻を収容した2組のシャーレ (Table 1-2 参照) に *Doliolaria* 幼生をそれぞれ20個体ずつ収容し、2日目に全個体の変態進行状況を観察し、各変態ステージごとの幼生を計数した。

用いた海藻は、アオナマコでは、緑藻のアナアオサ *Ulva pertusa*, ミル *Codium fragile*, 褐藻のヤツマタモク *Sargassum patens*, オオバモク *Sargassum ringgoldianum*, アラメ, ジョロモク *Cystophyllum sisymbrioides*, ヒジ

キ *Hizikia fusiformis*, ワカメ, フクロノリ *Colpomenia sinuosa* と紅藻のピリヒバ *Corallina pilulifera*, アカナマコでは, 緑藻のアナアオサ, ミル, 褐藻のオオバモク, アラメ, ジョロモク, ヒジキ, ワカメ, フクロノリ, ウミウチノ *Padina arborescens*, イソヒゲ *Myelophycus simplex* と, 紅藻のピリヒバ, マクサ *Gelidium amansii* である。

それぞれの海藻は海水の入ったシャーレに細片を 0.4 g ずつ入れ, さらに, 対照としては付着珪藻を入れたものと何も入れない海水だけのシャーレも用意した。付着珪藻区は海水の入ったシャーレ底面に付着板 (4 × 4 cm) を設置した。付着板はあらかじめ波板に天然珪藻を繁殖させたもので, その培養方法は伊藤ら (1994c) の方法に準じて行った。付着珪藻の密度は, アオナマコでは 157×10^4 cells/cm², アカナマコでは 127×10^4 cells/cm² で, その種類はともに小型の *Navicula* 類, *Nitzschia* 類が優占していた。海水の容量は 40 ml とし, 使用した海水はオートクレーブで殺菌処理を行った。実験は水温 20°C, 止水, 無通気の下とした。なお, 付着珪藻の細胞数の計数は, 接眼レンズに方形枠をセットして, 倒立顕微鏡を用いて行った。また, 各実験区の幼生収容後 2 日目の変態進行状況は, 2 組の平均値で示した。

2. 付着珪藻の種類別, 密度別変態促進試験

付着珪藻の種類と密度の違いが変態促進効果に与える影響について調べた。

実験容器, 海水および変態進行状況の比較や細胞数の計数方法などは海藻の種類別変態促進試験と同様とした。なお, 実験は水温 18°C で行った。

付着珪藻の種類別の実験区分は, 自然繁殖させた天然珪藻, 単離培養した *Achnanthes biceps*, *Navicula ramosissima* および *Nitzschia* sp. の 4 区分とした。これらの付着珪藻は, シャーレ底面にあらかじめ繁殖させておいた。すなわち, シャーレには PES 改変培養液 (伊藤ら 1985) を入れ, この中に天然珪藻は, 海藻の種類別変態促進試験と同様の方法で繁殖させた付着珪藻をスポンジで剥ぎ取り, 種として接種した。各単離培養珪藻は, 寒天培地で保存培養していたものを PES 改変培養液を用いて, あらかじめ 200 ml ガラスビーカーで培養し, これを種として使用した。また, 各付着珪藻濃度の設定は, 種の接種密度と培養照度を変えて, 各シャーレの濃度が 8 段階の密度になるよう調節した。なお, 種の接種は実験に使用する 10 日前に行い, シャーレ内の海水は変態実験を始める直前に新しい海水と入れ替えた。天然珪

藻での珪藻の優占種は, 小型の *Nitzschia* 類, *Navicula* 類で, その密度段階は, アオナマコでは $21 \sim 110 \times 10^4$ cells/cm², アカナマコでは $27 \sim 125 \times 10^4$ cells/cm² の範囲であった。*Achnanthes biceps* の密度は, アオナマコでは $38 \sim 245 \times 10^4$ cells/cm², アカナマコでは $49 \sim 183 \times 10^4$ cells/cm² であった。*Navicula ramosissima* の密度は, アオナマコでは $27 \sim 254 \times 10^4$ cells/cm², アカナマコでは $39 \sim 158 \times 10^4$ cells/cm² であった。*Nitzschia* sp. の密度は, アオナマコでは $31 \sim 224 \times 10^4$ cells/cm², アカナマコでは $21 \sim 159 \times 10^4$ cells/cm² の範囲であった。

3. 天然付着珪藻の密度別変態促進試験

本実験はアオナマコについてのみ行った。

実験容器, 海水および変態進行状況の比較, 付着珪藻の計数方法などは海藻の種類別変態促進試験, 付着珪藻の培養方法は付着珪藻の種類別, 密度別変態促進試験と同様である。なお, 実験は水温 18°C で行った。

密度条件は, 0 から 9×10^4 , 11×10^4 , 59×10^4 , 62×10^4 , 118×10^4 , 129×10^4 , 150×10^4 , 166×10^4 cells/cm² の 9 段階とした。変態進行状況は, *Doliolaria* 幼生収容後 1 日目, 2 日目, 3 日目にそれぞれの稚ナマコの計数を行って, 飼育経過に伴う変態の推移をみた。

4. *Doliolaria* 幼生の付着珪藻への接触の有無による変態促進試験

付着珪藻が *Doliolaria* 幼生に対して変態促進効果を発揮するために, *Doliolaria* 幼生が付着珪藻と物理的に接触することが必要であるかどうかを判定するため, 付着板をミューラーガーゼで包み, *Doliolaria* 幼生が接触できないようにして, 変態実験を行った。

実験容器, 変態進行状況などの観察は海藻の種類別変態促進試験と同様である。なお, 実験は水温 18°C で行った。実験に使用した付着珪藻の培養方法は海藻の種類別変態促進試験と同様で, その密度は, アオナマコでは 62×10^4 cells/cm², アカナマコでは 83×10^4 cells/cm² であった。実験は, 付着板を隔離しなかったもの, 付着板を入れなかったものについても, 同様な変態実験を行い, その変態進行状況を観察した。なお, 各実験区の幼生収容後 2 日目の変態進行状況は, 2 組の平均値で示した。

5. K⁺ による変態促進試験

実験容器, 変態進行状況の観察などは海藻の種類別変態促進試験と同様である。なお, 実験は水温 18°C で行った。

K⁺ の添加濃度は 0 (対照), 5, 10, 20, 30, 40, 50 mM の 7 段階とし, オートクレーブで処理した殺菌海水

に KCl を添加した。また、各濃度の KCl 海水容量は 40 ml とした。なお、各実験区の幼生収容後 2 日目の変態進行状況は、2 組の平均値で示した。

6. 付着板の設置方法別採苗試験

本実験はアオナマコについてのみ行った。

あらかじめ、海藻の種類別変態促進試験と同様の方法で付着珪藻を繁殖させた付着板 10 枚 1 セットを 100 l 水槽に Fig. 3-3-1 に示すように水槽底面に対し、水平および垂直に設置した。この中に浮遊幼生 (Auricularia 前期幼生 22%, Auricularia 後期幼生 17%, Doliolaria 幼生 61%) 1.5×10^4 個体を容積法で計数して収容した。通気は長さ 30 cm の通気管を通して行った。幼生収容後 3 日間は止水とし、4 日目に微流水とした。そのとき水平に設置した付着板を垂直に立てた。幼生収容後 10 日目にそれぞれの付着板を表、裏両面とも全数計数した。飼育期間中の水温は 17.9~20.4°C であった。なお、100 l

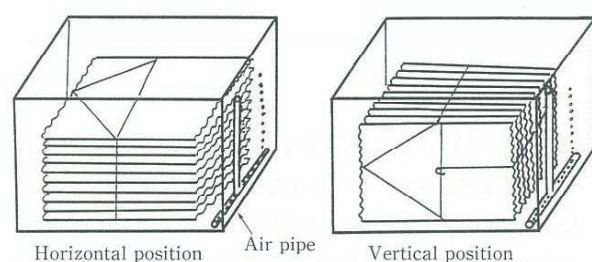


Fig. 3-3-1. Setting condition of collector plate in tank.

水槽を 2 組ずつ設けた。

結 果

1. 海藻の種類別変態促進試験

アオナマコ Doliolaria 幼生収容後 2 日目の変態進行状況を Table 3-3-1a に示した。付着珪藻では、Pentacutula 幼生 15%, 稚ナマコ 85% となり、他の海藻と比べると極めて速やかに稚ナマコへの変態が進み、斃死個体もみられなかった。海藻で稚ナマコの出現がみられたのは、ヤツマタモク、オオバモク、ヒジキ、ジョロモク、フクロノリの 5 種であった。しかし、その出現割合は 2.6~15% と付着珪藻での 85% と比べ著しく低かった。

アカナマコ Doliolaria 幼生収容後 2 日目の変態進行状況を Table 3-3-1b に示した。付着珪藻は、アオナマコと同様に稚ナマコへの変態が速やかに進み、稚ナマコの割合は 78.4% であった。海藻で稚ナマコの出現がみられたのは、緑藻類のアナアオサと褐藻類のオオバモク、ジョロモク、ヒジキ、フクロノリ、ウミウチワの 6 種であった。しかし、その出現割合は 2.5~21.1% とアオナマコと同様に付着珪藻の値に比べ低かった。

2. 付着珪藻の種類別、密度別変態促進試験

アオナマコ Doliolaria 幼生収容後 2 日目の変態進行状況を Table 3-3-2a に示した。天然珪藻では、設定したいずれの珪藻密度でも稚ナマコが出現し、その割合は

Table 3-3-1a. Percentage of green sea cucumber at different stages of metamorphosis, 2 days after Doliolaria larvae was transferred to the petri dishes with various kinds of algae

Algae	Metamorphosis stage (%)			
	Doliolaria	Pentacutula	Juvenile	Dead
<i>Ulva pertusa</i>	90.0	10.0	0	0
<i>Codium fragile</i>	97.5	2.5	0	0
<i>Sargassum patens</i>	45.0	40.0	15.0	0
<i>Sargassum ringgoldianum</i>	36.0	55.4	8.6	0
<i>Eisenia bicyclis</i>	8.6	2.6	0	88.8
<i>Cystophyllum sisymbrioides</i>	67.4	27.2	5.4	0
<i>Hizikia fusiformis</i>	74.4	17.5	8.1	0
<i>Undaria pinnatifida</i>	100	0	0	0
<i>Colpomenia sinuosa</i>	69.2	28.2	2.6	0
<i>Corallina pilulifera</i>	69.0	31.0	0	0
Attached diatoms	0	15.0	85.0	0
None (control)	91.6	8.4	0	0

Table 3-3-1b. Percentage of red sea cucumber at different stages of metamorphosis, 2 days after Doliolaria larvae was transferred to the petri dishes with various kinds of algae

Algae	Metamorphosis stage (%)			
	Doliolaria	Pentacutula	Juvenile	Dead
<i>Ulva pertusa</i>	15.4	66.7	17.9	0
<i>Codium fragile</i>	34.3	65.7	0	0
<i>Sargassum ringgoldianum</i>	17.5	37.5	2.5	42.5
<i>Eisenia bicyclis</i>	32.5	15.0	0	52.5
<i>Cystophyllum sisymbrioides</i>	18.2	66.6	15.2	0
<i>Hizikia fusiformis</i>	28.9	44.7	21.1	5.3
<i>Undaria pinnatifida</i>	33.3	56.4	0	10.3
<i>Colpomenia sinuosa</i>	5.9	50.0	17.6	26.5
<i>Padina arborescens</i>	29.4	26.5	2.9	41.2
<i>Myelophycus simplex</i>	27.8	36.1	0	36.1
<i>Corallina pilulifera</i>	20.0	75.0	0	5.0
<i>Gelidium amansii</i>	40.7	59.3	0	0
Attached diatoms	0	21.6	78.4	0
None (control)	31.4	68.6	0	0

33.3~100% であり、Pentacutula 幼生にまで変態した幼生を含めるとほぼ 100% の変態率を示した。また、珪藻密度が高いほど稚ナマコの出現率が高い傾向がみられた。単離培養珪藻では、*Nitzschia* sp. で 6.7, 5.9% の稚ナマコの出現がみられただけで、その他の区分では稚ナマコへの変態がみられなかった。

アカナマコ Doliolaria 幼生収容後 2 日目の変態進行状況を Table 3-3-2b に示した。天然珪藻では、アオナマコと同様に、設定したいずれの珪藻密度でも稚ナマコが出現し、その割合は 20~94.7% であった。また、珪藻密度 27 および 30×10^4 cells/cm² に比べ 66×10^4 cells/cm² 以上では稚ナマコの出現率が著しく高かった。単離培養珪藻区では、アオナマコと同様に *Nitzschia* sp. の 1 区を除いて稚ナマコへの変態がみられなかった。

3. 天然付着珪藻の密度別変態促進試験

飼育経過に伴う各珪藻密度と稚ナマコの出現率との関係を Fig. 3-3-2 に示した。本実験でも、付着珪藻の種類別、密度別変態促進試験での結果と同様に、全般的な傾向として、珪藻密度が高いほど稚ナマコへの変態が促進された。Doliolaria 幼生収容後 1 日目では、珪藻密度約 10×10^4 cells/cm² で稚ナマコの出現率は約 10%、約 60×10^4 cells/cm² で 40% 強、 $118 \sim 166 \times 10^4$ cells/cm² で 70% 前後となっている。幼生収容後 2 日目には、珪藻密度約 10×10^4 cells/cm² では稚ナマコの

出現率は 10% 強と収容後 1 日目と変わらないが、約 60×10^4 cells/cm² では 80% 前後と高くなり、 $118 \sim 166 \times 10^4$ cells/cm² では約 90% となっている。さらに幼生収容 3 日目では珪藻密度約 10×10^4 cells/cm² で 50% 前後、約 60×10^4 cells/cm² 以上では 90~100% の稚ナマコ出現率を示している。

4. Doliolaria 幼生の付着珪藻への接触の有無による変態促進試験

アオナマコ、アカナマコ Doliolaria 幼生収容後 2 日目の変態進行状況を Table 3-3-3a, 3b に示した。Doliolaria 幼生を付着珪藻に接触させた場合は、アオナマコで 62.9%、アカナマコで 89.7% の稚ナマコの出現がみられた。一方、ミュラーガーゼで覆って接触できないようにすると、アオナマコ、アカナマコともに稚ナマコの出現はなく、対照である海水だけのものと大きな差はなく、付着珪藻による変態促進効果はみられなかった。

5. K⁺ による変態促進試験

アオナマコ、アカナマコ Doliolaria 幼生収容後 2 日目の変態進行状況を Table 3-3-4a, 4b に示した。いずれの濃度区でも稚ナマコの出現はなく、K⁺ の添加効果はみられなかった。

6. 付着板の設置方法別採苗試験

幼生収容後 10 日目の付着状況を Table 3-3-5 に示し

Table 3-3-2a. Percentage of green sea cucumber at different stages of metamorphosis, 2 days after Doliolaria larvae was transferred to the petri dishes with various kinds of attached diatoms

Attached diatom ($\times 10^4$ cells/cm ²)		Metamorphosis stage (%)		
		Doliolaria	Pentacutula	Juvenile
Natural	-1 (21)	0	42.9	57.1
Natural	-2 (21)	6.7	60.0	33.3
Natural	-3 (42)	0	31.6	68.4
Natural	-4 (46)	0	20.0	80.0
Natural	-5 (75)	0	22.2	77.8
Natural	-6 (81)	0	17.6	82.4
Natural	-7 (99)	0	0	100
Natural	-8 (110)	0	11.7	88.3
<i>A. biceps</i>	-1 (38)	57.1	42.9	0
<i>A. biceps</i>	-2 (56)	61.5	38.5	0
<i>A. biceps</i>	-3 (73)	41.7	58.3	0
<i>A. biceps</i>	-4 (98)	60.0	40.0	0
<i>A. biceps</i>	-5 (162)	53.8	46.2	0
<i>A. biceps</i>	-6 (186)	71.4	28.6	0
<i>A. biceps</i>	-7 (222)	100	0	0
<i>A. biceps</i>	-8 (245)	100	0	0
<i>N. ramosissima</i>	-1 (27)	75.0	25.0	0
<i>N. ramosissima</i>	-2 (34)	63.6	36.4	0
<i>N. ramosissima</i>	-3 (71)	75.0	25.0	0
<i>N. ramosissima</i>	-4 (90)	90.0	10.0	0
<i>N. ramosissima</i>	-5 (131)	70.6	29.4	0
<i>N. ramosissima</i>	-6 (146)	46.7	53.3	0
<i>N. ramosissima</i>	-7 (207)	88.9	11.1	0
<i>N. ramosissima</i>	-8 (254)	87.5	12.5	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-1 (31)	45.5	54.5	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-2 (40)	33.3	60.0	6.7
<i>Nitzschia</i> sp.	-3 (96)	76.9	23.1	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-4 (97)	47.0	47.1	5.9
<i>Nitzschia</i> sp.	-5 (155)	88.9	11.1	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-6 (171)	73.3	26.7	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-7 (223)	100	0	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-8 (224)	100	0	0
None	-1 (control)	65.0	35.0	0
None	-2 (control)	57.2	42.8	0

Table 3-3-2b. Percentage of red sea cucumber at different stages of metamorphosis, 2 days after Doliolaria larvae was transferred to the petri dishes with various kinds of attached diatoms

Attached diatom ($\times 10^4$ cells/cm ²)		Metamorphosis stage (%)		
		Doliolaria	Pentacutula	Juvenile
Natural	-1 (27)	55.0	25.0	20.0
Natural	-2 (30)	30.0	25.0	45.0
Natural	-3 (66)	0	11.1	88.9
Natural	-4 (85)	11.1	11.1	77.8
Natural	-5 (118)	16.7	0	83.3
Natural	-6 (125)	0	5.3	94.7
<i>A. biceps</i>	-1 (49)	80.0	20.0	0
<i>A. biceps</i>	-2 (56)	85.0	15.0	0
<i>A. biceps</i>	-3 (100)	95.0	5.0	0
<i>A. biceps</i>	-4 (109)	75.0	25.0	0
<i>A. biceps</i>	-5 (176)	90.0	10.0	0
<i>A. biceps</i>	-6 (183)	95.0	5.0	0
<i>N. ramosissima</i>	-1 (39)	75.0	25.0	0
<i>N. ramosissima</i>	-2 (49)	90.0	10.0	0
<i>N. ramosissima</i>	-3 (90)	90.0	10.0	0
<i>N. ramosissima</i>	-4 (102)	80.0	20.0	0
<i>N. ramosissima</i>	-5 (140)	80.0	20.0	0
<i>N. ramosissima</i>	-6 (158)	80.0	20.0	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-1 (21)	85.0	15.0	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-2 (24)	90.5	9.5	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-3 (79)	65.0	30.0	5.0
<i>Nitzschia</i> sp.	-4 (89)	80.0	20.0	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-5 (134)	90.0	10.0	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-6 (159)	89.5	10.5	0
None	-1 (control)	70.0	30.0	0
None	-2 (control)	90.0	10.0	0

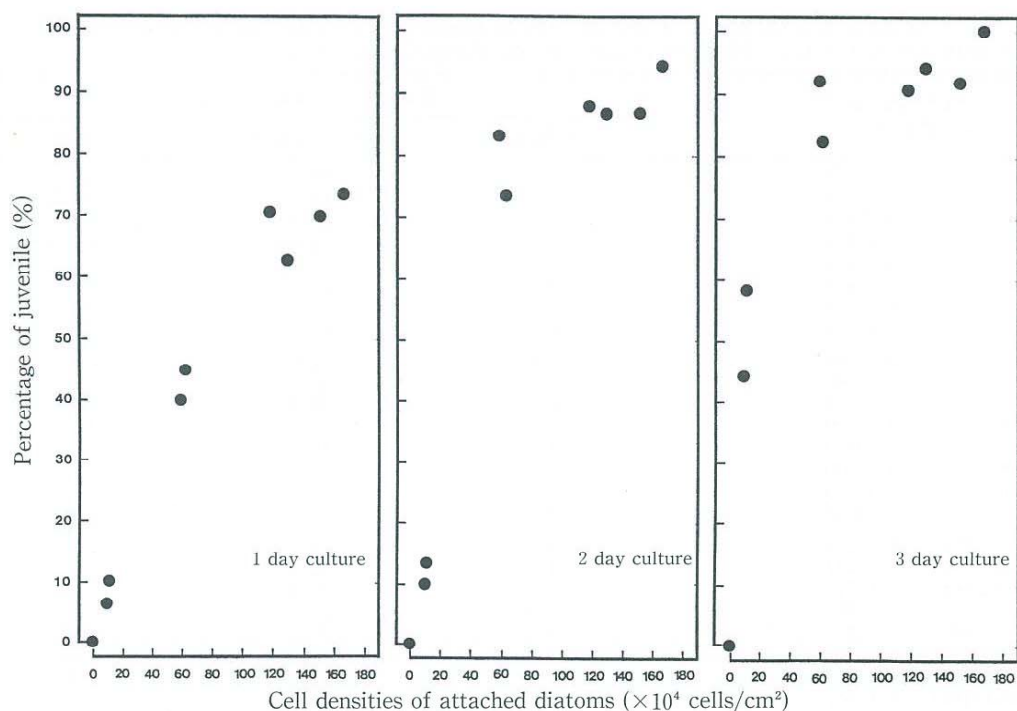


Fig. 3-3-2. Percentage of metamorphosed juvenile at day 1, 2 and 3 after transferred to the petri dishes containing attached diatoms of various cell densities.

Table 3-3-3a. Percentage of green sea cucumber at different stages of metamorphosis, 2 days after Doliolaria larvae was transferred to the petri dishes with various conditions

Condition	Metamorphosis stage (%)		
	Doliolaria	Pentacutula	Juvenile
Free to touch attached diatoms	8.5	28.6	62.9
Isolated from attached diatoms	35.9	64.1	0
None (control)	52.5	47.5	0

Table 3-3-3b. Percentage of red sea cucumber at different stages of metamorphosis, 2 days after Doliolaria larvae was transferred to the petri dishes with various conditions

Condition	Metamorphosis stage (%)		
	Doliolaria	Pentacutula	Juvenile
Free to touch attached diatoms	2.6	7.7	87.7
Isolated from attached diatoms	80.0	20.0	0
None (control)	59.0	41.0	0

た。稚ナマコの付着総数についてみると、水平に設置した区では2水槽でそれぞれ5,097個体と6,085個体で採苗率の2水槽の平均値は47.8%, 垂直に設置した区では6,588個体と6,327個体で採苗率の2水槽の平均値は55.2%であり、付着板を垂直に設置した区がわずかに採苗率が高かった。

Table 3-3-4a. Percentage of green sea cucumber at different stages of metamorphosis, 2 days after Doliolaria larvae was transferred to the petri dishes with various concentrations of K⁺

Concentration of K ⁺ (mM)	Metamorphosis stage (%)		
	Doliolaria	Pentacutula	Juvenile
0	61.0	39.0	0
5	63.4	36.6	0
10	89.4	10.6	0
20	92.5	7.5	0
30	90.0	10.0	0
40	97.5	2.5	0
50	92.1	7.9	0

Table 3-3-4b. Percentage of red sea cucumber at different stages of metamorphosis, 2 days after Doliolaria larvae was transferred to the petri dishes with various concentrations of K⁺

Concentration of K ⁺ (mM)	Metamorphosis stage (%)		
	Doliolaria	Pentacutula	Juvenile
0	45.0	55.0	0
5	37.5	62.5	0
10	42.5	57.5	0
20	35.0	65.0	0
30	47.5	52.5	0
40	45.0	55.0	0
50	40.0	60.0	0

Table 3-3-5. Number of juvenile green sea cucumbers on the collector plate

Number of tank	Plate setting condition	Side	Mean $\pm$ Standard deviation	Collecting rate (%)
1	Horizontal	Open side	444.9 $\pm$ 148.3	43.6
		Back side	64.8 $\pm$ 28.6	
		Total	509.7 $\pm$ 169.3	
2	Horizontal	Open side	552.3 $\pm$ 90.2	52.0
		Back side	56.2 $\pm$ 22.6	
		Total	608.5 $\pm$ 108.3	
3	Vertical	One side	378.4 $\pm$ 118.4	56.3
		Another side	280.4 $\pm$ 152.9	
		Total	658.8 $\pm$ 203.9	
4	Vertical	One side	388.7 $\pm$ 76.8	54.0
		Another side	244.0 $\pm$ 68.3	
		Total	632.7 $\pm$ 117.5	

付着板の上下、左右面別の付着数は、水平に設置した場合1つの水槽では、幼生収容時に上面であった面では、1面当り160～665個体(平均444.9個体)、下面であった面では、15～97個体(平均64.8個体)、もう1つの水槽では上面であった面では、415～721個体(平均552.3個体)、下面であった面では、27～105個体(平均56.2個体)と、いずれも幼生収容時に上面であった面のほうが下面であった面より著しく付着数が多かった。なお、上面と下面の付着数についても検定を行ったところ1%水準で有意であった。垂直に設置した場合では、1つの水槽で左右それぞれ129～500個体(平均378.4個体)、64～467個体(平均280.4個体)、もう1つの水槽で256～476個体(平均388.7個体)、123～338個体(平均244.0個体)でいずれも両面での付着数に大きな差がみられなかった。

考 察

ウニ類では、ヒジキなど数種の海藻の存在によって八腕後期幼生から稚ウニへの変態が促進されることが明らかにされており(伊東ら 1980, 伊東 1984)、今回の実験からマナマコの *Doliolaria* 幼生も、ヒジキなど数種類の海藻でわずかに、稚マナマコへの変態が促進された。しかし、その効果は付着珪藻の存在効果に比べると極めて低かった。この点については、添加した海藻の量的な問題も残されており、さらに、検討する必要がある。また、ウニ類では、付着珪藻とヒジキを併用することで、稚ウニへの変態促進効果が高まるが(伊藤ら 1991)、今後、この点も検証する必要がある。

ウニ類では、付着珪藻の密度の違いによって幼生への変態促進効果に差があり、珪藻密度が高いほど、稚ウニへの変態が速やかに行われることが明らかにされている(谷・伊東 1979, 伊藤ら 1991)。マナマコについても、今回の実験結果から、自然繁殖させた、いわゆる天然珪藻では、ウニ類と同様に付着珪藻の密度が高いほど *Doliolaria* 幼生から稚マナマコへの変態が促進される傾向がみられた。このことから、採苗に使用する付着板は、あらかじめ、付着珪藻を十分繁殖させたものを用い、幼生収容後数日は幼生の逸散を防ぐような飼育方法が望ましいと考えられる。しかし、単離培養した *A. biceps*, *N. ramosissima*, *Nitzschia* sp. では付着珪藻の密度にかかわらず、ほとんど変態が促進されなかった。ウニ類でも同様の現象が認められているが(伊東ら 1987b)、その原因の究明が必要である。したがって、今後、種苗生産工程の採苗で単離培養した付着珪藻を利用する場合は、培養条件や付着珪藻の活性などについても十分注意する必要がある。

付着珪藻の量については、今回の実験ではその細胞数を基準とした。しかし、自然繁殖させた付着珪藻では出現した種類によって、細胞の大きさに差がみられることから細胞数だけでは変態促進効果を量的に把握するには不十分であろう。今後、付着珪藻の量は細胞数とともにクロロフィル量などを測定することによって、より安定した採苗を行うための付着珪藻量の基準値を明らかにする必要がある。また、Jensen and Morse (1984) は環形動物のウズマキゴカイの一種、*Phragmatopoma californica* の幼生が、活性物質との接触によって着底す

ると推測しているが、今回の実験結果から、*Doliolaria* 幼生についてもウニ類の八腕後期幼生と同様（伊藤ら 1991）に付着珪藻が変態促進効果を発揮するには、*Doliolaria* 幼生との接触が必要であることがわかった。

Yool *et al.* (1986) は、海産の軟体動物、*Phostilla sibogae*, *Halotis rufescens*, *Astraea undosa* と環形動物、*P. californica* の幼生では、 K^+ 濃度の増加は付着と変態を引き起こし、その最適量は通常の海水の K^+ 濃度の約 2 倍であると報告している。また、川原ら (1994b, c) は同様な K^+ 濃度の増加でアカウニ *Pseudocentrotus depressus* 幼生の稚ウニへの変態が促進されることを確かめている。しかし、マナマコの *Doliolaria* 幼生では K^+ の変態促進効果は認められなかった。同じ棘皮動物であっても種によって K^+ の添加効果には差異があると言える。ただ、川原ら (1994c) は、 K^+ の添加効果は付着珪藻の存在によって高まるとしているの、マナマコの *Doliolaria* 幼生についても、付着珪藻が存在した条件下で K^+ の変態促進効果を調べる必要がある。

採苗時の付着板の設置方法は、ウニ類では付着板を水平に設置したほうが、垂直の場合より採苗率が高まるとされている（大滝ら 1984, 伊東ら 1987c, 田嶋ら 1991）。しかし、今回のアオナマコ浮遊幼生に対する実験結果からは、付着板を垂直に設置した場合と、水平の場合では全体の稚ナマコの採苗率に大きな差はみられなかった。さらに、水平に設置した場合、上、下面での付着数が著しく異なり、いわゆるムラ付きするのに対し、垂直の場合は両面での付着数の差はさほどなく、均等な付着がみられた。このことから採苗後の稚ナマコの行動範囲がウニ類に比べて小さいことなどを考えると、付着数のバラツキが少ない、付着板を水槽底面に対して垂直に設置する採苗方法のほうが望ましいと考えられる。

第4章 採苗方式による稚ナマコ的大量生産 （伊藤ら 1994i）

小林・石田 (1984) は、稚ナマコの害敵生物であるチグリオプス *Tigriopus japonicus* の駆除にトリクロロン製剤 (DPE 乳剤) を使用している。そこで、本章ではまず、稚ナマコの飼育にとって有害なコペポダをトリクロロン製剤を用いて駆除する方法を検討した。第3章でマナマコの浮遊幼生は *Doliolaria* 幼生の時期に、付着珪藻の存在によって効果的に稚ナマコへの変態が促進されることを明らかにしたが、本章では、浮遊幼生の飼育水槽とは別水槽で培養した付着珪藻を使ってアオナマコ、アカナマコの浮遊幼生を稚ナマコへ変態させ、さら

に、この付着珪藻を稚ナマコの餌料とする生産方式、いわゆる採苗方式によって、変態初期の稚ナマコから体長約 10 mm の稚ナマコに育てる量産規模の飼育実験を行った。

また、付着珪藻が餌料として不足した場合、付着板から稚ナマコを剥離し、人工餌料を用いた飼育方法についても検討した。

第1節 トリクロロンによるコペポダの駆除 と稚ナマコに対する毒性

佐賀県栽培漁業センターでは、1989年以前の付着板による稚ナマコの飼育において、付着板上に発生したコペポダに起因すると思われる付着珪藻の凋落が発生し、マナマコの餌料として重要な付着珪藻の繁殖、維持を行うのが困難であった。また、小林・石田 (1984) は、稚ナマコの減耗要因の一つとしてチグリオプスの食害による減耗を指摘している。これらのことから、稚ナマコの飼育においてコペポダを駆除することは重要な検討課題である。

本節では、トリクロロンによるコペポダの駆除法について、異なる水温でのトリクロロンの濃度と処理時間との関係について検討した。さらに、稚ナマコに対する毒性についても検討した。

方 法

1. 異なる水温でのコペポダの生残に及ぼすトリクロロン濃度と処理時間との関係

実験は、それぞれの濃度に設定したトリクロロン海水の入ったシャーレにコペポダを収容し、各水温での経過時間に伴うコペポダの生死状況を観察した。

供試したコペポダは、マナマコと同様な付着板による飼育方式をとっているバフンウニ *Hemicentrotus pulcherrimus* 飼育水槽内の付着板上で優占していた葡萄匐する性質が強い *Harpacticoida* 目、*Harpacticoidae* 科、*Tisbe* 属の一種を採取し、そのうち、抱卵個体を選んで実験に使用した。トリクロロンは、所定の水温に調整したろ過海水に、トリクロロン製剤として水産用マゾテン液 -20% (日本特殊農薬製造株式会社製) を溶解して、0.32, 0.50, 0.79, 1.25, 2.00 ppm になるように調整した。これにコペポダを10個体ずつ収容し、収容後8時間まで1時間ごとに生死状況を観察した。実験水温は14, 18, 22, 26°C の4段階とし、各温度に設定した多段式恒温ボックス内に、各トリクロロン濃度に調

整した海水 40 ml の入ったシャーレ (Table 1-2 参照) を設置した。各濃度区のシャーレは2組ずつ設けた。また、各シャーレにはガラス製のふたをして海水の蒸発を防いだ。実験は止水、無通気の条件下で行った。なお、各実験区とも対照区として海水だけのものも設定した。生死の判定は実体顕微鏡下で観察し、卵囊を脱落し動かない個体を斃死個体とした。なお、各濃度区の斃死個体の割合は2組の平均値で示した。

2. 稚ナマコに対する毒性について

実験は、以下に述べるそれぞれのトリクロルホン濃度に設定した海水 40 ml の入ったシャーレに稚ナマコ10個体を収容し、48時間後の生死状況を観察した。

実験区は、0, 63, 80, 100, 126, 158 ppm の6濃度区とした。供試した稚ナマコは採苗後31日目のアカナマコで、平均体長は 3.1 ± 0.4 (標準偏差) mm であった。

実験開始後24時間目に、トリクロルホンの減少を考慮して、新たな試水と交換した。実験は水温 20°C、止水、無通気の条件下で行った。また、各シャーレには、ガラス製のふたをして海水の蒸発を防いだ。

生死の判定は実体顕微鏡下で観察し、管足の動きがみられない個体を斃死個体とした。

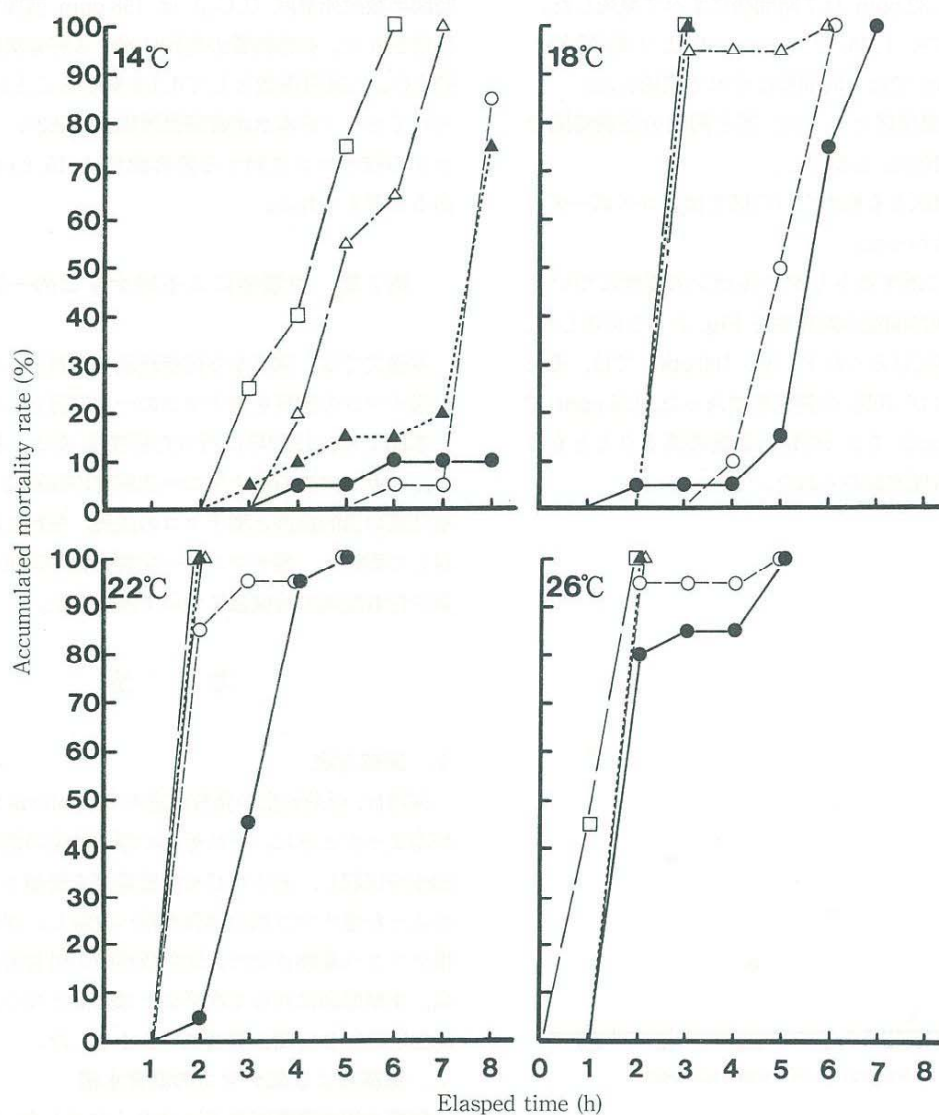


Fig. 4-1-1. Relationship between accumulated mortality rates of the copepod (*Tisbe* sp.) and elapsed time for exposure in the trichlorfon, 0.32 (●), 0.50 (○), 0.79 (▲), 1.25 (△), and 2.00 (□) ppm under different water temperatures (14, 18, 22 and 26°C).

結 果

1. 異なる温度でのコペポダの生残に及ぼすトリクロロホン濃度と処理時間との関係

各温度での経過時間に伴うコペポダの累積斃死率の推移を Fig. 4-1-1 に示した。

14°C 区：2.00 ppm では6時間後、1.25 ppm では7時間後にすべて斃死した。0.50 ppm と 0.79 ppm の8時間後の累積斃死率は、それぞれ 85% と 75%、0.32 ppm では 10% であった。

18°C 区：3時間後の累積斃死率は、0.79、2.00 ppm では 100%、1.25 ppm では 95% であった。0.50 ppm は6時間後、0.32 ppm は7時間後にすべて斃死した。

22°C 区：0.79、1.25、2.00 ppm では2時間後、0.32、0.50 ppm では5時間後にすべて斃死した。

26°C 区：各濃度区とも 22°C 区と同様の経過時間で累積斃死率が 100% となった。

なお、各温度区とも海水だけの区では、コペポダの斃死はみられなかった。

2. 稚ナマコに対するトリクロロホンの毒性について

各濃度での48時間後の斃死率を Fig. 4-1-2 に示した。63 ppm では斃死はみられず、80、100 ppm では、それぞれ 20% および 10% の斃死率であった。126 ppm では 30%、158 ppm では 50% と濃度の高まりとともに斃死率も高まる傾向がみられた。

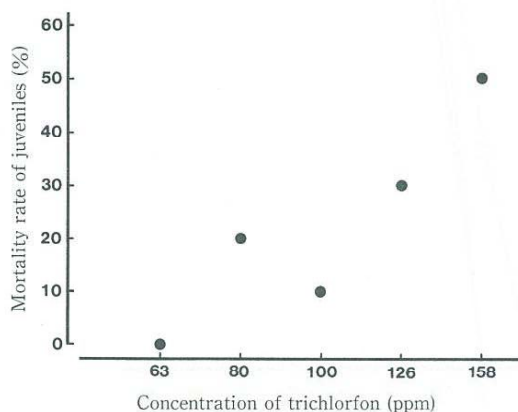


Fig. 4-1-2. Relationship between the mortality rate of juveniles and the concentration of trichlorfon.

考 察

トリクロロホン濃度と処理時間との関係から、水温 18°C 以上の場合、コペポダの駆除は、トリクロロホン濃度 0.32 ppm の7時間処理で十分であると考えられた。また、水温 14°C の場合でもトリクロロホン濃度 0.50 ppm の8時間処理によって 75% の累積斃死率が得られている。これらのことから、通常の稚ナマコ飼育時期の水温条件（伊藤ら 1994i）では、トリクロロホン濃度 0.5~1 ppm の8時間処理によってコペポダを十分駆除することができると考えられる。また、今回得られた実験結果から、トリクロロホンの稚ナマコに対する48時間半数致死濃度（ LC_{50} ）は 158 ppm 前後であろうと推察された。有害物質の生物に対する許容濃度は、48時間 LC_{50} に適用係数として0.1を乗じることにより求められており（日本水産資源保護協会 1983）、トリクロロホンの稚ナマコに対する許容濃度は 15.8 ppm 前後であると考えられる。

第2節 付着板による稚ナマコの一次飼育

本論文では、採苗から付着珪藻を餌料とした付着板での稚ナマコの飼育を稚ナマコの一次飼育とした。

本節では、1992年に行った採苗方式によるアオナマコ、アカナマコの稚ナマコ一次飼育の経過について、付着珪藻の量的推移と稚ナマコの成長、生残との関係に着目して観察し、稚ナマコの一次飼育での適正な付着珪藻量や付着珪藻の培養法について検討した。

方 法

1. 採苗方法

採苗は、浮遊幼生の発育が進み 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変態させた。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。

2. 採苗および稚ナマコの飼育水槽

飼育水槽の概略図を Fig. 4-2-1 に示した。飼育水槽は 15 m³ 水槽と 18 m³ 水槽を使用した。各飼育水槽の内側には、浮遊幼生や稚ナマコの流失を防ぐため、便宜上一

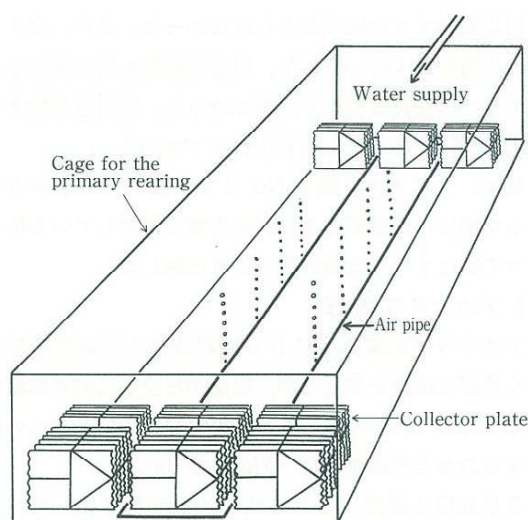


Fig. 4-2-1. Schematic view of the primary rearing system for juvenile sea cucumber.

次飼育用の生簀（オープニング 225 μ m, Table 1-2 参照）を設置し、その中に付着板を入れ浮遊幼生を収容した。通気は、15 m^3 水槽では長さ 9 m, 18 m^3 水槽では長さ 10 m の通気管（Table 1-2 参照）を飼育水槽の生簀内に 2 本設置して行った。

3. 付着珪藻の培養

浮遊幼生から稚ナマコへ変態を促進させ、さらに、稚ナマコの初期餌料として使用した付着珪藻は、15 m^3 水槽を用いて採苗に使用する約 2 か月前から培養を開始した。付着珪藻の培養は、波板（Table 1-1, 2 参照）を 1 水槽当たり 100 セット（1 セット 10 枚組）設置し、栄養塩を添加して止水状態で行った。その際、付着珪藻の種として、天然の付着珪藻を十分繁殖させた付着板（Table 1-1 参照）10 枚を培養水槽内の波板間に差し入れた。栄養塩の添加量は、培養水量 10 m^3 に対して、硫酸アンモニウム：500 g, 過リン酸石灰：75 g, クレワット 32：75 g, メタケイ酸ナトリウム：225 g とした。培養開始後は 7～10 日ごと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（*Licmophora* 類など）の付着珪藻などを洗い流し、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、培養開始時に添加した量と同量の栄養塩を添加した。また、同時にコペポダの繁殖を防ぐためトリクロルホン製剤として農業用ディブテレックス乳液 ー50%（三笠化学工業株式会社）を有効濃度で 0.5 ppm または 1 ppm

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、付着板の上、下面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、水温の調節は行わなかった。

4. 稚ナマコの飼育と付着珪藻の培養管理

採苗後の稚ナマコの飼育は流水（1 日当り約 5～8 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上、下面の反転を適宜行い、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：0.5 l, メタケイ酸ナトリウム：225 g）を添加した。また、その際コペポ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。栄養塩などの添加は一週間に 2～3 回行った。また、添加後は約 8 時間止水とした。

採苗後、約 30～60 日目には稚ナマコの飼育密度の引き下げと餌料不足を補うために稚ナマコの分槽作業を行った。すなわち、稚ナマコの付着した 10 枚 1 組の付着板から 1 枚おきに付着板を抜き取り、ここに付着珪藻が十分繁殖した新しい付着板を差し入れ、稚ナマコの付着した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。

また、水槽内にたまった糞などは、直径 20 mm の塩化ビニール製のパイプを用いてサイフォンによって適宜取り除いた。

5. 稚ナマコの生残と成長

稚ナマコの生残数は、採苗後 10 日目から 10 日ごとに付着板をそれぞれ無作為に 10 枚抽出して、付着板に付着した稚ナマコを計数し求めた。分槽後の生残数の計数は、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。また、飼育経過に伴う付着板上の稚ナマコの付着率（Table 1-1 参照）は、幼生収容後 10 日目の付着板上の稚ナマコ付着数を 100% として算出した。

稚ナマコの成長は、生残数の観察日ごとに付着板上の稚ナマコ 50～100 個体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、畑中・谷村（1994）の方法に準じて、L-メントール溶液で麻酔させた後測定した。

6. 付着板の付着珪藻量の推移

稚ナマコ飼育期間中の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

* 過去の飼育例から、稚ナマコの飼育に、大型の付着珪藻が優占した付着板を使用すると付着珪藻の長期間の維持が困難である。このため、付着珪藻の培養では付着力が強く活力のある小型の付着珪藻を優占させるように注意している。

眼的に代表的と思われる箇所を切り取り、12 cm² 当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 cm² 当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。

7. 飼育終了時の稚ナマコの計数方法

稚ナマコの数、ランダムに取り出した付着板20枚に付着した稚ナマコを計数して、比例法で全付着板の付着数を算出した。それに飼育生簀に付着している稚ナマコを全数計数して加えた。

結 果

1992年に行ったアオナマコ、アカナマコのそれぞれについて行った一次飼育の飼育結果を Table 4-2-1 に示した。

1. 採苗率

採苗率は、アオナマコ 27.4~39.0%、アカナマコ 26.3~38.9% でアオナマコとアカナマコでは大きな差はなかった。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。

2. 稚ナマコの成長、生残と付着珪藻量の推移

各飼育水槽 No. 別の付着板上の稚ナマコの成長と付着率、付着珪藻の量およびクロロフィル a 量の推移を Fig. 4-2-2a, 2b, 2c, 3a, 3b, 3c に示した。

1) アオナマコの飼育

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、使用した新しい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少なく、73日目の稚ナマコの体長は 4.3 mm と小さかった。このため73, 78日目にそれぞれ剥離し (Fig. 4-2-2a), 人工餌料による飼育を行った (本章第3節)。

アオナマコ飼育 No. 1 と 3 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なかったが、70日目の成長には差がみられた (Fig. 4-2-2a, 2c)。これは採苗時期の違いによる水温の差が稚ナマコの成長に影響したものと考えられる。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 (Fig. 4-2-2b)。付着珪藻量やその種類、飼育水温などは、飼育 No. 1 と大きな差はなく飼育

No. 2 の減耗の原因については不明である。しかし、20日目以降は大きな減耗はみられなかった。また、稚ナマコの付着数が少ないためか、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あった。70日目の稚ナマコの平均体長は 21.9±11.0 mm であった。

なお、アオナマコ飼育 No. 2 では稚ナマコ数が少なかったため、付着板および飼育生簀に付着している稚ナマコはすべて全数計数により把握した。

2) アカナマコの飼育

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板への付着する力が若干弱まった (Fig. 4-2-3a)。

5月26日に採苗した No. 2, 3 の飼育群を使って付着珪藻量が稚ナマコの成長、生残に及ぼす影響について観察を行った。すなわち、採苗に使用した付着珪藻の量は、No. 2 では 148×10^4 cells/cm²、クロロフィル a 量は 5.6 μg/cm²、一方、飼育 No. 3 はそれぞれ 38×10^4 cells/cm²、0.9 μg/cm² であり、飼育 No. 3 の付着板は No. 2 の飼育例に比べ、付着珪藻量が著しく少ないものを使用した。さらに、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、コペポダの駆除も行わない方法で飼育した。その結果、稚ナマコの生残率には大きな差はなかったが、30日目の成長は、飼育 No. 2 の稚ナマコが 2.0 mm であったのに対し飼育 No. 3 の稚ナマコは 1.2 mm と小さかった。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日目には約 10 mm まで成長した (Fig. 4-2-3b, 3c)。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と思われる稚ナマコの付着力の低下が観察された。

3. 付着珪藻の種類

付着珪藻の種類は飼育期間を通して、アオナマコ、アカナマコともに長軸長約 20 μm 以下の小型の *Navicula* 類、*Nitzschia* 類が主体でその他 *Achnanthes* 類、*Amphora* 類がみられた。また、30日目以降は、これらの種類に加えて大型の *Pleurosigma* 類、*Bacillaria* 類、*Nitzschia* 類、*Licmophora* 類などが出現したが、飼育水槽間での大きな差異はみられなかった。

Table 4-2-1. The records of the primary rearing for juvenile sea cucumbers in culture tanks

Type	Initial							Final								
	Tank No.	Date of seed collection	Tank (m ²)	Number of larvae ($\times 10^4$)	Number of plates	Plate setting condition	Collecting rate (%)	Tank No.	Date	Rearing period (days)	Number of plates	Total number of juveniles (body length)* (mm)	Number of juveniles on plates (body length, mm)* (body length, mm)*	Number of juveniles with cage (body length, mm)*	Survival rate (%)	W. T. (mean) (°C)
Green sea cucumber	1	1992 Apr. 13	18	100.7	1,080	horizontal	39.0	1-1	Jun. 25	73	1,080	94,471 (4.3 $\pm$ 2.9)	—	—	40.3	12.3~21.4 (18.1)
								1-2	Jun. 30	78	1,080	63,867 (4.7 $\pm$ 3.1)	—	—		
	2	Apr. 15	15	67.5	800	horizontal	27.4	2	Jun. 24	70	800	12,659	9,036 (21.9 $\pm$ 11.0)	3,623 (27.0 $\pm$ 8.9)	6.8	12.9~21.0 (18.4)
	3	Apr. 21	18	124.3	1,200	vertical	27.6	3-1	Jul. 22	92	1,200	73,356	61,800 (11.6 $\pm$ 7.8)	11,556 (21.7 $\pm$ 15.0)	37.3	15.5~27.0 (20.9)
								3-2	Jul. 23	93	1,200	80,061	72,780 (11.8 $\pm$ 6.9)	7,281 (18.1 $\pm$ 8.4)		
Red sea cucumber	1	1992 May 12	15	46.6	320	horizontal	26.4	1	Jul. 30	79	920	72,178	57,380 (9.8 $\pm$ 4.4)	14,798 (10.5 $\pm$ 6.2)	58.7	17.8~28.6 (21.6)
	2	May 26	15	69.6	900	vertical	26.3	2-1	Aug. 17	83	900	62,410	39,510 (10.1 $\pm$ 4.1)	22,900 (10.9 $\pm$ 5.2)	66.6	19.0~28.3 (22.5)
								2-2	Aug. 17	83	900	59,517	43,650 (10.3 $\pm$ 4.1)	15,767 (11.3 $\pm$ 6.4)		
	3	May 26	18	83.1	1,200	vertical	38.9	3-1	Aug. 24	90	1,200	56,341	50,809 (10.8 $\pm$ 4.2)	5,532 (11.7 $\pm$ 8.1)	37.0	18.5~27.3 (22.8)
								3-2	Aug. 24	90	1,200	63,178	54,880 (9.4 $\pm$ 3.8)	8,298 (11.6 $\pm$ 6.2)		

* Mean $\pm$ S. D.

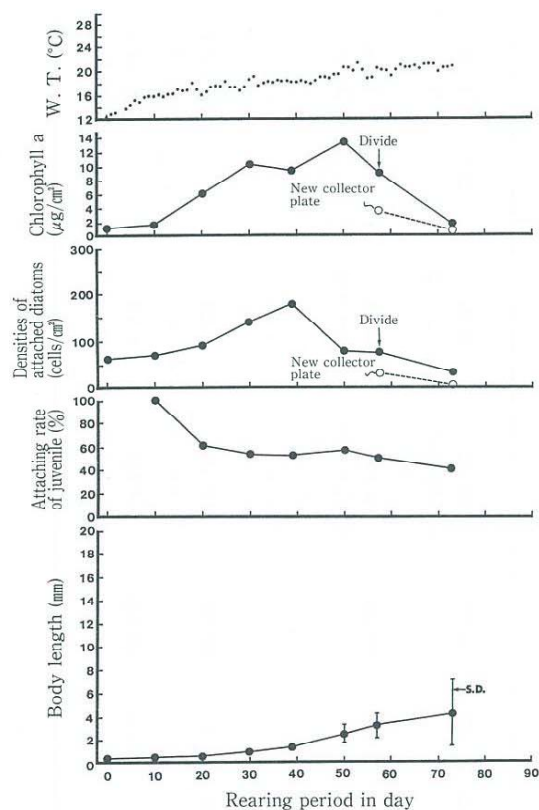


Fig. 4-2-2a. Rearing record of juvenile green sea cucumber in 18m³ No. 1 tank.

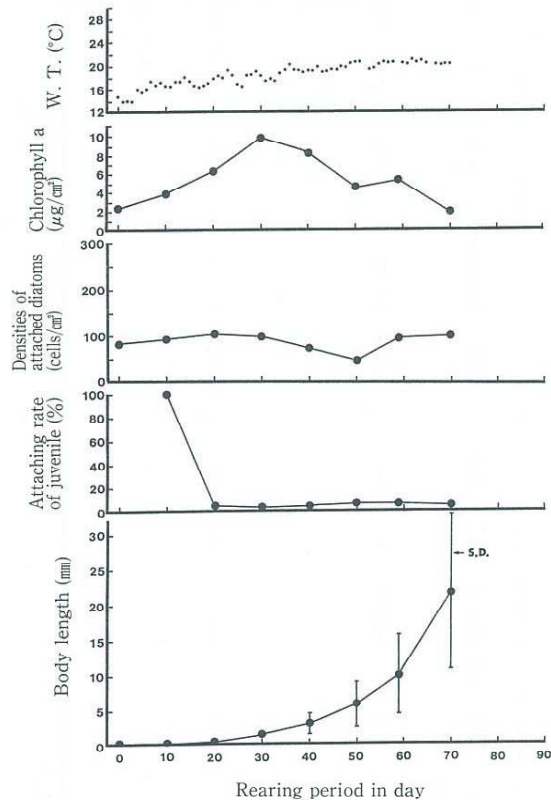


Fig. 4-2-2b. Rearing record of juvenile green sea cucumber in 15m³ No. 2 tank.

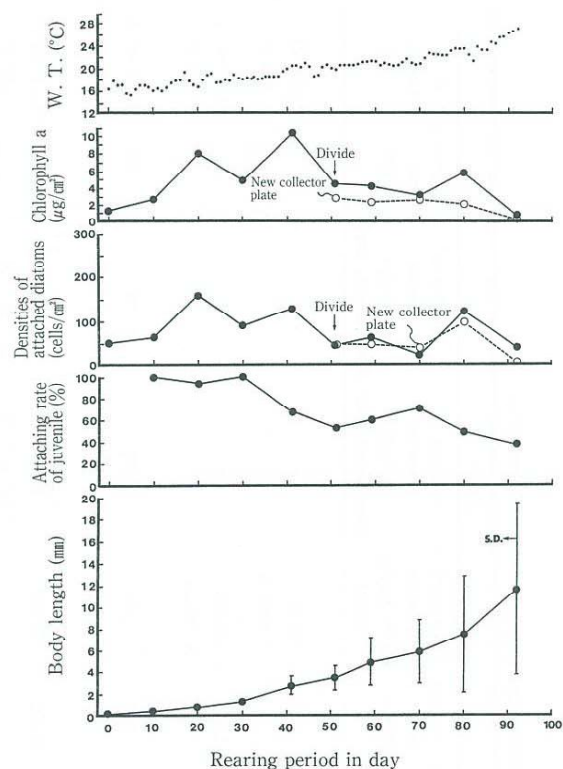


Fig. 4-2-2c. Rearing record of juvenile green sea cucumber in 18m³ No. 3 tank.

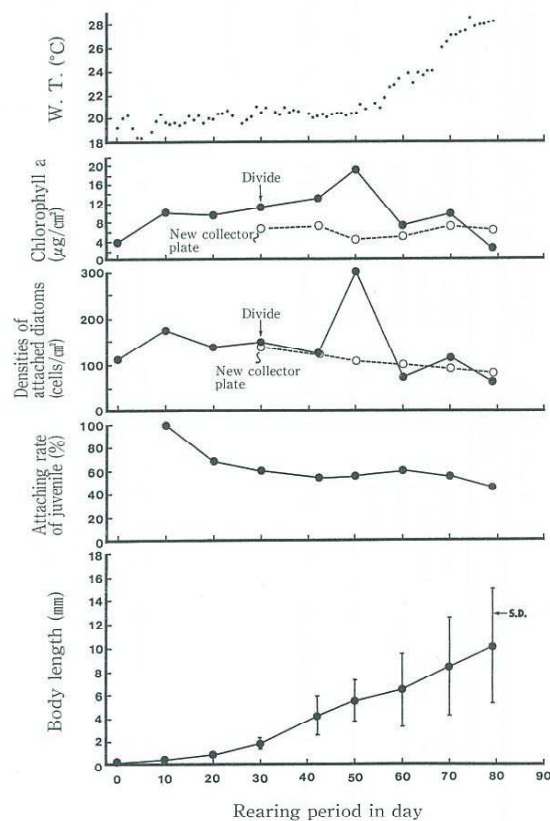


Fig. 4-2-3a. Rearing record of juvenile red sea cucumber in 15m³ No. 1 tank.

考 察

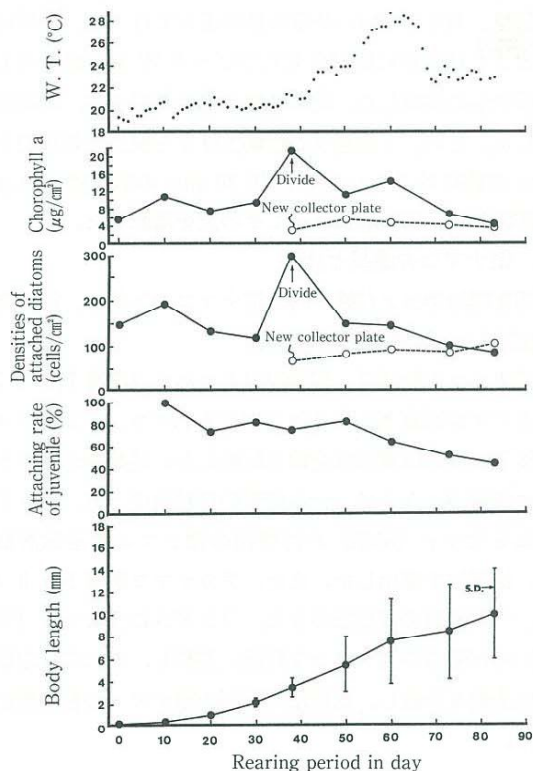


Fig. 4-2-3b. Rearing record of juvenile red sea cucumber in 15m³ No. 2 tank.

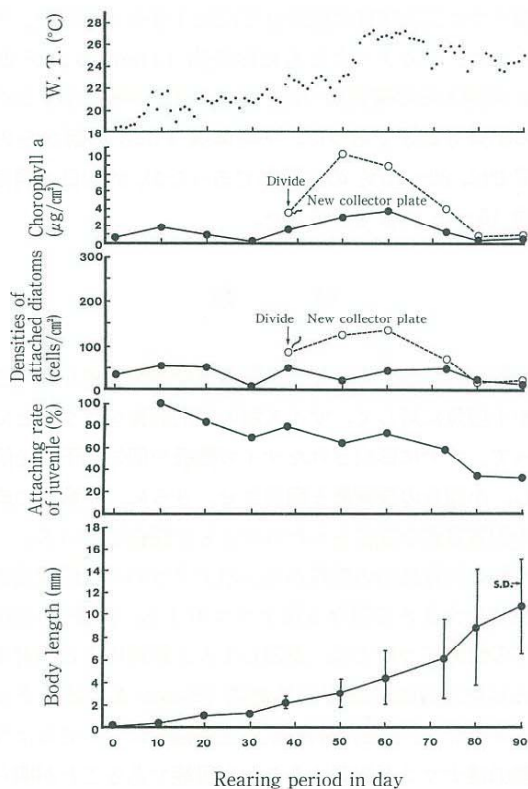


Fig. 4-2-3c. Rearing record of juvenile red sea cucumber in 18m³ No. 3 tank.

一次飼育での稚ナマコの成長には、採苗時期の違いによる飼育水温の差や付着板での飼育密度と付着珪藻の量に大きく影響される。特にアオナマコの飼育 No. 2 (Fig. 4-2-2b) の飼育結果やアカナマコの飼育 No. 2 と No. 3 との飼育結果 (Fig. 4-2-3b, 3c) から明らかなように、アオナマコ、アカナマコともに稚ナマコの成長には付着珪藻の量的な影響が非常に大きいと考えられた。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、稚ナマコは、付着珪藻だけでなく他の付着性藻類やバクテリア、デトライタスなども摂餌していると思われる。しかし、付着板の付着珪藻の量は稚ナマコの成長、生残の一つの指標となりうると考えられる。なお、トリクロロン製剤の添加による、稚ナマコおよび付着珪藻への影響はみられなかった。

飼育水槽への積極的な施肥、コベポーダの駆除および遮光幕による照度調節、さらには、新しい付着板を使った分槽などの操作によって稚ナマコに摂餌されやすい付着珪藻を長期間にわたって維持することができるものと思われ、今後、付着板を使った飼育方法で体長約 10 mm の稚ナマコの量産が可能であると考えられる。なお、実験終了時の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。アカナマコはアオナマコに比べ高水温の悪影響を受けやすいとされている (崔 1963)。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現れたものと考えられる。

第3節 人工餌料による稚ナマコの二次飼育

稚ナマコの成長に伴い、付着板の付着珪藻量が減少し、餌料として不足すると、付着板から稚ナマコを剥離し、人工餌料を与えて飼育した。本論文では、この飼育方法を稚ナマコの二次飼育とした。

本節では、本章第2節の稚ナマコ一次飼育で、稚ナマコの成長に伴い、付着板の付着珪藻量が減少し、餌料として不足した後の飼育、すなわち、稚ナマコの二次飼育について検討した。

人工餌料による稚ナマコの飼育は、畑中ら (1991) が海藻粉末のリビック (理研ビタミン社製) を用い好結果を得ている。そこで、付着板で飼育したアオナマコ、アカナマコの稚ナマコを付着板から剥離し、畑中ら (1991)

の実験結果を参考にして、乾燥ワカメ粉末（リビック W, 理研ビタミン社製）による飼育実験を行った。また、飼育実験では、一次飼育で生じた個体間の成長差を考慮して大きさ別の選別飼育を行った。

方 法

1. 剥離方法

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（後藤ら 1990）に準じて稚ナマコを剥離し、ふるいを使って3つの群（平均体長 4 mm, 10 mm, 20 mm）に選別した。剥離は 1 m³ FRP 水槽に剥離用ネット（Table 1-2 参照）を張りこの中に 0.4% の濃度となるように塩化カリウムを溶解させて行った。稚ナマコの選別は目合120経（オープニング 4 mm）および180経（同 2.7 mm）のモジ網製のふるい（50×80 cm）を使って行った。

2. 稚ナマコの飼育水槽

飼育水槽の概略図を Fig. 4-3-1 に示した。飼育は 15 m³ 水槽内に二次飼育用の生簀（オープニング 761 μ m, Table 1-2 参照）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ものと同じタイプの波板を使用した。波板は3枚を1セットとし、1生簀当り15セットを生簀底面に対して水平に設置した。また、波板間の稚ナマコの移動を助けるため、波板には直径約 3 cm の穴を9か所ほど開けて使用した。

3. 稚ナマコの飼育

稚ナマコの飼育は流水（1日当り約8回転量）とした。

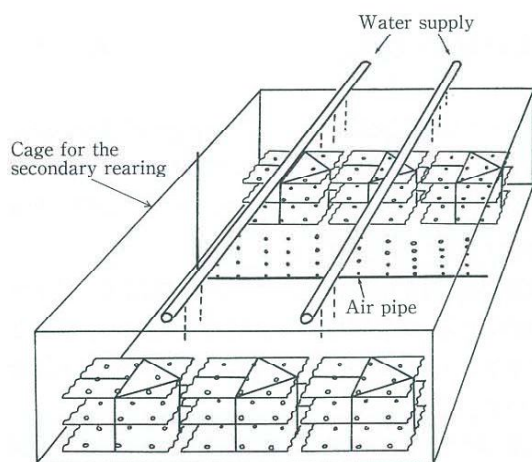


Fig. 4-3-1. Schematic view of the secondary rearing system for juvenile sea cucumber.

通気は、長さ 1.3 m の通気管を通して行った。投餌は、1日ごとに海水に懸濁させたりビック W を付着板の上に緩やかに散布した。投餌の際は約1時間止水、無通気とした。なお、1回当りの投餌量は1生簀当り体長約 4 mm の群には 50 g, 10および 20 mm の群には 100 g を基準とし、残餌量によってその量を増減した。

4. 稚ナマコの成長と生残

飼育開始時および終了時の稚ナマコの体長は、無作為に採取した100個体を測定した。

稚ナマコの計数は、開始時のアオナマコ飼育 No. 1, 2, アカナマコ飼育 No. 1, 2 およびアオナマコ, アカナマコの終了時の各飼育例は全数を計数した。開始時のアオナマコ飼育 No. 3, 4 は、一次飼育の付着板のうち、ランダムに5セット（50枚）の付着板の稚ナマコを全数計数し、比例法で算出した。また、アカナマコ飼育 No. 3, 4 は、一次飼育の付着板のうち、ランダムに3セット（30枚）の付着板の稚ナマコを剥離、選別し、それぞれの群別に全数を計数し、比例法で群別の稚ナマコの数を出した。

結 果

稚ナマコ二次飼育の結果を Table 4-3-1 に示した。アオナマコ, アカナマコともに体長約 10 mm および 20 mm の群からの飼育は 90% 以上の生残が得られ、この間の成長も良好であった。平均体長 4 mm の群からの飼育では、60~70% の生残率であったが、約30日の飼育で約 10 mm にまで成長した。

考 察

海野ら（1994）は、マダイ種苗生産過程で生じた大型魚や小型魚に対して、サイズ別の選別飼育を行うことによって、すでに形成されたサイズ階級や個体間干渉を解消し、小型魚の摂餌量を回復させ、さらに、小型魚の成長や脂質蓄積の改善をもたらすことを報告している。

今回の飼育実験の結果から、稚ナマコの一次飼育過程で生じた大きさの異なる稚ナマコのうち、体長 10 mm 以下の個体については、選別して人工餌料による飼育を行えば約30日間の飼育で体長約 10 mm まで成長させることができ、また、10 mm 以上の個体についてもより大型の稚ナマコを生産することが可能であることが明らかになった。これらのことから、稚ナマコの一次飼育が順調に行われ、平均体長 10 mm のものが生産された場

Table 4-3-1. The records of the secondary rearing for juvenile sea cucumbers in culture cages

Type	Cage No.	Tank No. of the primary rearing* ¹	Initial			Final						
			Date	Number of juveniles	Body length* ² (mm)	Stocking density (indi./m ²)	Date	Rearing period (days)	Number of juveniles	Body length* ² (mm)	Survival rate (%)	W. T. (mean) (°C)
Green sea cucumber	1	2	1992 Jun. 24	7,889	25.9±10.1	2,630	Jul. 24	30	7,359	33.1±9.5	93.3	20.2~28.4 (23.0)
	2	2	Jun. 24	4,770	9.5±2.3	1,590	Jul. 24	30	4,346	17.9±3.3	91.1	20.2~28.4 (23.0)
	3	1	Jun. 25	94,471	4.3±2.9	7,873	Jul. 21	31	64,534	10.3±4.6	68.3	20.0~28.5 (22.9)
	4	1	Jun. 30	63,867	4.7±3.1	5,322	Jul. 29	29	46,516	10.5±5.1	72.8	20.1~28.5 (23.9)

Red sea cucumber	1	1	1992 Jul. 30	15,388	21.6±5.9	2,565	Aug. 29	30	15,734	27.5±9.6	100	20.0~27.4 (23.3)
	2	1	Jul. 30	19,522	10.2±1.5	6,507	Aug. 29	30	18,683	16.0±1.9	95.7	20.0~27.4 (23.3)
	3	1	Jul. 30	37,268	4.9±0.8	12,422	Aug. 29	30	22,779	9.8±2.7	61.1	20.0~27.4 (23.3)
	4	2	Aug. 17	59,744	4.7±1.0	6,638	Sep. 16	30	40,208	10.0±1.4	67.3	22.0~25.4 (23.6)

*¹ See Table 4-2-1.

*² Mean±S. D.

合、10 mm 以下の個体については選別後、また、本章第2節のアオナマコ飼育 No.1 のように、一次飼育で付着珪藻が不足した場合は早期に二次飼育へ移行することによって、体長 10 mm 以上の稚ナマコを効率よく生産できると考えられる。

なお、平均体長 4 mm の群の生残率が平均体長10および 20 mm の群に比べ低かった。これが、稚ナマコの一次飼育で生じた小型群の活力などに起因しているか、または、剥離や選別作業などによる影響なのかは不明である。この点について、今後、選別飼育後の稚ナマコの健苗性なども検討する必要がある。

また、稚ナマコの二次飼育は一次飼育に比べ、給餌作業に労力を要する。このため、10 mm 以下の個体については選別後、新たな付着板に再付着させ、稚ナマコの一次飼育に準じた飼育を行うなど、付着板を使った飼育方法も検討する必要がある。

第5章 海上筏での他の水産動物との混養飼育 (伊藤ら 1994j)

第4章で示したように、採苗方式による種苗生産によって、体長 10~20 mm の稚ナマコを10万個体単位で生産できるようになり(伊藤ら 1994i)、稚ナマコの大量放流が可能となった。しかし、効果的な放流事業を行うための稚ナマコの適正な放流サイズについては、害敵生物の捕食サイズとの関係から、40 mm 以上が好ましいとの報告(畑中ら 1994)もある。このため、今後 10 mm 以上の稚ナマコの生産方式について、さらに効率的なものを開発する必要がある。その一つの方策として海上筏を利用した飼育方法の検討が考えられる。

佐賀県以外でも、陸上水槽で種苗生産した稚ナマコを使った海上での育成試験が行われ、体長 30~40 mm の稚ナマコの生産も可能となっている。しかし、海上での飼育は、陸上水槽のように海藻粉末などを給餌することが困難であり、特に餌を与える飼育方式はとられていない(畑中ら 1992, 小川ら 1992, 大橋ら 1992, 柳澤ら 1992)。

佐賀県北部沿岸域では、近年、海上筏を使ったウニ類(アカウニ、バフンウニ)やエゾアワビの放流を目的とした中間育成や養殖事業が行われている(久保居 1991)。このため、この飼育施設や技術を活用したマナマコの大型放流用種苗の生産が可能ではないかと考えられた。さらに、ウニ類やエゾアワビとの混養飼育を行うことによって、ウニ類やエゾアワビに餌として与えた海藻類の残餌や排泄物が二次的に稚ナマコの餌として活用でき、

稚ナマコへの給餌の問題が解消できるのではないかと考えられた。そこで、陸上水槽で種苗生産した体長 10~20 mm の稚ナマコを用いた海上筏でのウニ類やエゾアワビとの混養飼育実験を行った。

方 法

1. 小型籠での飼育試験

実験は1992年9月17日から1993年3月12日にかけて行った。

実験区は、アオナマコではアオナマコ単独飼育群(以下、アオ単独群と記す)、アオナマコとバフンウニとの混養飼育群(以下、アオ・ウニ混養群と記す)、アオナマコとエゾアワビとの混養飼育群(以下、アオ・アワビ混養群と記す)の3区とした。同様にアカナマコについても実験区を設定し、アカ単独群、アカ・ウニ混養群、アカ・アワビ混養群とした。1籠当りのアオナマコ、アカナマコ、バフンウニおよびエゾアワビの収容数はアオナマコ、アカナマコ各200個体、バフンウニ、エゾアワビは各50個体とした。各実験区は3組ずつ籠を設定した。

供試したアオナマコ、アカナマコは1992年4月に採卵し、種苗生産を行ったものである。稚ナマコの平均体長(平均体重)は、アオナマコ 15.3 ± 3.9 mm (96.2 mg)、アカナマコ 18.9 ± 4.6 mm (154.9 mg)であった。なお、混養したバフンウニは1991年10月に、エゾアワビは1991年9月にそれぞれ採卵し、種苗生産を行ったもので、バフンウニは殻径 17.0 ± 1.9 mm、エゾアワビは殻長 23.1 ± 2.6 mm のものであった。

飼育には Fig. 5-1 に示したような、小型籠(Table 1-2 参照)を用いた。籠の内側にはニップ網(オープニング 761 μ m)を袋状(30×47×60 cm)に取り付けた。袋



Fig. 5-1. Small basket used for the raft type rearing. Cf. Table 1-2.

の上部は紐で固く結び、稚ナマコなどの逸散を防いだ。

各実験区には、10～15日ごとに餌料としてアラメ、アナオサなどを与えた。なお、これらの餌料は、通常佐賀県において海上筏でのウニ類やエゾアワビの飼育餌料として使用されているものである。各実験区の籠には付着器として波板1枚を設置した。なお、波板は第4章第3節で使用したものと同様のものを使用した。各実験区の籠は、佐賀県栽培漁業センター地先の水深約5mの所に設置した海上筏から、水面下約2mの位置に垂下した。

実験終了時に体長測定を行った個体は、それぞれ個別に1mg単位まで秤量した。実験開始時および終了時の稚ナマコなどの計数は全数計数法で行った。

2. 小割生簀での飼育試験

実験は、アオナマコでは1992年7月27日から、アカナマコでは1992年9月1日からそれぞれ開始し、アオナマコ、アカナマコともに1992年12月9日に終了した。

実験区は、アオナマコでは実験1と同様にアオ単独群、アオナマコとアカウニとの混養飼育群（以下、アオ・アカウニ混養群と記す）の2区とした。同様にアカナマコについても実験区を設定し、アカ単独群、アカ・アカウニ混養群とした。1生簀当りのアオナマコ、アカナマコおよびアカウニの収容数はアオナマコ、アカナマコ各5,000個体、アカウニ5,000個体とした。

供試したアオナマコ、アカナマコは小型籠での飼育試験で使ったのと同じ飼育群から選んで使用した。平均体長（平均体重）はアオナマコが 16.3 ± 5.6 mm (112 mg) アカナマコが 11.2 ± 2.4 mm (42.1 mg)であった。また、アカウニは1992年4月に採卵し、種苗生産を行ったものである。その平均殻径は4.7 mmであった。

飼育に使用した小割生簀（Table 1-2 参照、有効水深1.3m）は、内側にモジ網（オープニング2mm）を張ったものを各実験区ごとに4ヶ使用した。小割生簀は、実験1で使用したものと同じ筏に設置した。

餌の種類や投餌間隔などは小型籠での飼育試験と同様とした。各実験区の小割生簀の底には付着器を設置した。アオ、アカ単独群はFig. 5-2に示したような竹を半分に割ったもの（長さ約1.3m）を井桁に組んで設置した。アオ・アカウニおよびアカ・アカウニ混養群は小割生簀の底にコレクター用の籠（Table 1-2 参照）9個を付着器として設置した。なお、アカ・アカウニ混養群のアカウニは、アオナマコの実験を開始した7月27日にあらかじめ小割生簀に収容し、アカナマコを収容した9月1日までアオナマコの実験区と同様の飼育管理を行った。

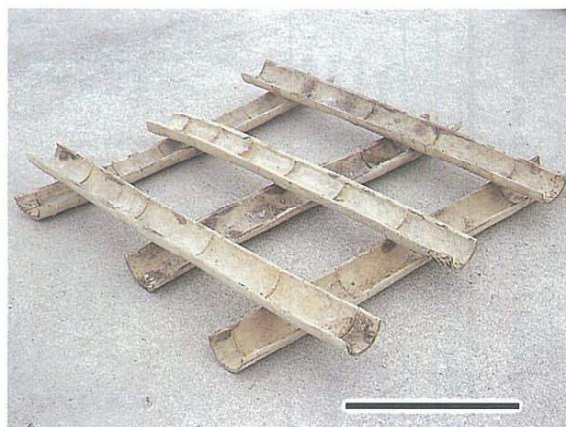


Fig. 5-2. Bamboo-made shelter used for the rearing experiment in the net cage. Scale bar indicates 50 cm.

実験開始時および終了時の稚ナマコなどの計数は全数計数法で行ったが、実験開始時のアカウニについては重量法で計数した。

なお、小型籠および小割生簀の実験で、アオナマコ、アカナマコの飼育期間中の体重の日間増重量を求めるため、実験開始時のアオナマコ、アカナマコの体重を伊藤ら（1994）の体重と体長との関係式から求めた。また、実験期間中の籠や生簀などの掃除（付着物の除去）は行わなかった。

実験期間中の海上筏の水温は、佐賀県栽培漁業センター地先の午前9時の観測値を用いた。

結 果

実験期間中の旬別平均水温をFig. 5-3に示した。

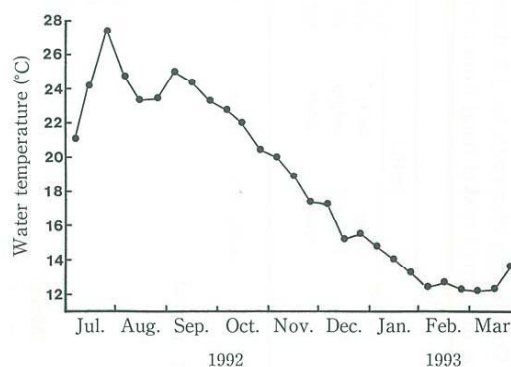


Fig. 5-3. Water temperatures from July 1992 to March 1993 at the seashore of Saga Prefectural sea farming center.

Table 5-1. Comparison of growth for 176 days between mono- and polyculture of juvenile sea cucumber. The juveniles were reared alone or together with sea urchin/ abalone in a small basket hang from a raft

Green and red sea cucumber											Sea urchin, Abalone			
Culture experiment	Basket No.	Initial			Final			Initial		Final				
		Body length*1 (mm)	Body weight (mg)	Number of survival	Survival rate (%)	Body length*1 (mm)	Daily growth in length (μm/day)	Body weight*1 (mg)	Daily growth in weight (mg/day)	Sell size*1,2 (mm)	Number of survival	Survival rate (%)	Sell size*1,2 (mm)	Daily growth in shell (μm/day)
Green sea cucumber (Monoculture)	1	15.3±3.9	96.2	52	31.0	35.9±14.5	117.0	1,288±1,724	6.8					
	2			78	39.0	34.6±15.5	110.0	1,299±1,759	6.8					
	(Mean)				(35.0)		(113.5)		(6.8)					
Green sea cucumber with sea urchin	1			107	53.5	45.2±14.6	169.9	2,047±1,672	11.1	17.0±1.9	50	100	30.5±1.7	76.7
	2			105	52.5	44.4±14.7	165.3	2,005±1,909	10.8		49	98	30.1±1.7	74.4
	3			116	58.0	51.4±12.8	205.1	2,114±1,053	11.5		47	94	30.6±2.2	77.3
	(Mean)				(54.7)		(180.1)		(11.1)			(97.3)		(76.1)
Green sea cucumber with abalone	1			92	46.0	37.2±8.5	124.4	1,269±633	6.7	23.1±2.6	48	96	44.1±4.3	119.3
	2			79	39.5	34.6±11.2	110.0	1,092±898	5.7		50	100	46.7±3.9	134.1
	3			97	48.5	35.9±8.6	117.0	1,010±730	5.2		50	100	45.1±3.0	125.0
	(Mean)				(44.7)		(117.1)		(5.9)			(98.7)		(126.1)
Red sea cucumber (Monoculture)	1	18.9±4.6	154.9	75	37.5	38.8±14.2	113.1	1,427±1,354	7.2					
	2			58	29.0	44.6±17.3	146.0	2,062±2,386	10.8					
	(Mean)				(33.3)		(129.6)		(9.0)					
Red sea cucumber with sea urchin	1			79	39.5	49.3±20.7	172.7	2,890±4,338	15.5	17.0±1.9	50	100	30.1±1.6	74.4
	2			87	43.5	44.6±16.1	146.0	2,522±3,038	13.4		50	100	29.5±1.2	71.0
	(Mean)				(41.5)		(159.4)		(14.5)			(100)		(72.7)
Red sea cucumber with abalone	1			72	36.0	43.9±10.9	142.0	1,570±1,361	8.0	23.1±2.6	50	100	45.8±3.2	129.0
	2			65	32.5	40.8±11.5	124.4	1,488±1,536	7.6		49	98	43.6±5.2	116.5
	3			77	38.5	44.9±8.5	147.7	1,375±641	6.9		50	100	43.2±4.4	114.2
	(Mean)				(35.7)		(138.0)		(7.5)			(99.3)		(119.9)

*1 Mean±S. D.

*2 Test diameter for sea urchin, shell length for abalone.

1. 小型籠での飼育試験

実験終了時の飼育結果を Table 5-1 に示した。

アオ単独群、アカ単独群およびアカ・ウニ混養群の各1籠は、実験期間中の時化によって籠が流失した。

混養飼育群でのバフンウニやエゾアワビの生残率は高く、成長量も高い値を示し、実験期間中の籠での飼育は順調に行われたことが推察された。

生残率はアオナマコ、アカナマコともにバフンウニとの混養飼育群が最も高く、次ぎにエゾアワビとの混養飼育群、最も低かったのがアオナマコ、アカナマコを単独で飼育した群であった。アカナマコの実験では、アカ・アワビ混養群とアカ単独群との生残率の差は小さかった。

体長の日間成長量は、アオナマコ、アカナマコともにバフンウニとの混養飼育群が最も大きく、次ぎにエゾアワビとの混養飼育群、アオナマコ、アカナマコを単独で飼育した群であった。特に、アオナマコの実験区ではアオ単独群やアオ・アワビ混養群に比べ、アオ・ウニ混養群の成長量が著しく大きかった。

体重の日間増重量は、体長の成長量と同様に、アオナマコ、アカナマコともバフンウニとの混養飼育群が最も大きかった。しかし、アオナマコ、アカナマコを単独で飼育した群とエゾアワビとの混養飼育群とでは、体長の成長量とは異なりエゾアワビとの混養飼育群のほうが若干小さかった。

投餌日ごとの観察では、アオナマコ、アカナマコともにバフンウニやエゾアワビとの混養飼育群では残餌がみられず、海藻類の摂餌が活発に行われていた。一方、アオナマコ、アカナマコを単独で飼育した群では常に海藻類が残っているのがみられた。

実験終了時のアオ単独群、アオ・ウニ混養群、アオ・アワビ混養群の付着器の状況を Fig. 5-4 に示した。バフンウニとの混養飼育群の付着器が最も付着物が少なく飼育籠の内部の付着物も少なかった。また、アカナマコの実験区でも同様であった。

2. 小割生簀での飼育試験

小割生簀での飼育結果を Table 5-2 に示した。

生残率はアオナマコ、アカナマコともに単独飼育群に比べアカウニとの混養飼育群のほうが若干高かった。

体長の日間成長量および体重の日間増重量は、アオナマコ、アカナマコともに、単独で飼育を行った群に比べ、アカウニとの混養飼育群のほうが大きかった。

各実験区への海藻類の投与量は、アカウニとの混養飼育群のほうがアオナマコ、アカナマコを単独で飼育した群に比べ多かった。アオナマコ、アカナマコを単独で飼



Fig. 5-4. The last stage condition of the shelter set into the small basket in different types (1-3) of the juvenile green sea cucumbers rearing. Rearing types : 1, polyculture with sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus* ; 2, polyculture with abalone *Haliotis discus hannai* ; 3, monoculture.

育した群では、海藻類の減少はみられなかった。

アカウニは、8月下旬から9月上旬にかけて斃死がみられた。このため、実験終了時の生残率は小型籠での飼育試験のバフンウニの値に比べ低く、それぞれ40.2, 38.7%であった。

考 察

今回行った飼育実験の結果から、アオナマコ、アカナマコともに、それぞれを単独で飼育するより、バフンウニやアカウニと混養して飼育を行ったほうが、体長、体重とも成長がよいことが明らかとなった。稚ナマコを単独で飼育した群では、ウニ類やエゾアワビのように大型の海藻類を積極的に摂餌したとは考えにくく、籠の中に付着した微細藻類や有機物あるいは餌料として与えた海藻類が腐食して柔らかくなったものを摂餌していたものと考えられる。一方、ウニ類と混養した飼育群では、ウニ類が海藻類や付着物を摂餌し、その排泄物が、稚ナマコの餌料として利用されたのではないかと考えられる。また、エゾアワビとの混養飼育群は、単独飼育群と成長量では大きな差がみられなかった。これは、ウニ類とエゾアワビとの排泄物に質的な差があったものと推察される。この点については、今後、室内実験により検証していきたい。マナマコは海底の砂泥に含まれる有機物や他の水産動物の排泄物などを摂餌する堆積物食者であり

Table 5-2. Comparison of growth between mono- and polyculture of juvenile sea cucumber. The juveniles were reared alone or either with sea urchin in a net cage hang from a raft

Culture experiment	Green and red sea cucumber								Sea urchin					
	Initial				Final				Initial				Final	
	Body length* ¹ (mm)	Body weight (mg)	Number of survival	Survival rate (%)	Body length* ¹ (mm)	Daily growth in length* ² (μ m/day)	Body weight* ¹ (mg)	Daily growth in weight* ² (mg/day)	Test diameter (mm)	Number of survival	Survival rate (%)	Test diameter* ¹ (mm)	Daily growth diameter* ² (μ m/day)	
Green sea cucumber (Monoculture)	16.3± 5.6	112	1,551	31.0	44.8±15.0	211.1	2,230±2,290	15.7						
Gree sea cucumber with sea urchin			1,713	34.3	49.8±14.1	248.1	2,760±2,110	19.6	4.7	2,009	40.2	22.2± 5.0	129.6	

Red sea cucumber (Monoculture)	11.2± 2.4	42.1	1,006	20.1	38.8±10.5	278.8	1,600±1,250	15.7						
Red sea cucumber with sea urchin			1,103	22.1	44.2±13.5	333.3	2,060±2,010	20.4	4.7	1,937	38.7	20.7± 3.9	118.5	

*¹ Mean $\pm$ S. D.

*² Rearing periods were 135 and 99 days for green and red sea cucumbers, respectively.

(木下・田中 1939, Tanaka 1958b, 崔 1963), 海上筏を用いた飼育では, 海藻粉末など陸上飼育で使用されている餌料を給餌することが困難なことを考慮すると, ウニ類との混養飼育は有効な飼育方法であると考えられる。

また, 小型籠を使った実験区に比べ, 小割生簀を使った実験区のほうが稚ナマコの生残率が低かった。これは, 小割生簀内の潮通しをよくするため, 生簀の内側には小型籠での飼育試験に使用したものより目合の大きなモジ網を内張りしたが, この目合では稚ナマコの逸散が若干あったものと考えられた。

第6章 築堤式育成場でのマナマコ人工種苗の成長と移動 (伊藤ら 1994k)

第5章では, 陸上水槽で生産した体長 10~20 mm の稚ナマコを, さらに海上筏を使って飼育し, より大型の種苗を生産する手法について言及した。しかし, 施設の維持管理の問題や作業性, 生産性などを考慮すると, 種苗の大量放流の点からは, 第4章で示した一次飼育および二次飼育によって生産された 10~20 mm の稚ナマコが, 放流用種苗として使用できるならばより好ましい。このため, 第4章で生産した稚ナマコの放流用種苗としての質の検討を行う必要があると考えられた。

そこで, 採苗方式によって種苗生産した 10~20 mm の稚ナマコを用いて, 放流後の稚ナマコの成長, 生残や移動などを調査する実験モデルとして, 人工礁を設置した築堤式育成場での大規模な飼育実験を行うとともに, 採苗方式によって生産した 10~20 mm の稚ナマコの放流用種苗としての種苗性について検討した。

方 法

飼育実験は1992年9月7日から1993年3月8日にかけて行った。

実験は, 1つの築堤式育成場 (以下, 育成場と記す) 内に2組の人工礁群を設置し, 1組の人工礁群にはアオナマコ, もう1組の人工礁群にはアカナマコをそれぞれ収容し飼育を行った。

供試したマナマコは1992年4~5月に採卵し, 採苗方式によって種苗生産を行った平均体長 13.56 ± 6.44 mm のアオナマコと 16.00 ± 1.90 mm のアカナマコである。また, 各組の人工礁群にはウニ類 (アカウニ, バフンウニ) も併せて収容し, 成長, 生残や移動などをマナマコと比較した。アカウニは1992年4月, バフンウニは1991年10月にそれぞれ採卵し, 種苗生産を行ったもの

である。その大きさは, それぞれ殻径 11.18 ± 2.24 mm と 11.71 ± 2.37 mm であった。

収容数は, アオナマコ, アカナマコは各20,000個体

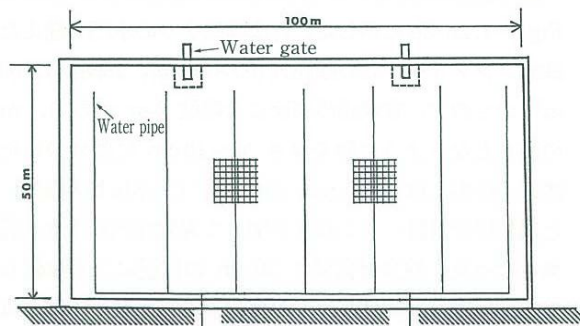


Fig. 6-1. Schematic plan of the diked pond. Supply system of water (solid line) is distributed from facilities on shore (hatched area). A pair of checker patterns, shade-curtained area, under which artificial reefs are set up on the bottom.

The diked pond open outward to the sea by a pair of water gates with a screened pool (area closed by broken line) inside its wall.



Fig. 6-2a. Aspects of the diked pond at low tide.



Fig. 6-2b. Aspects of the diked pond at high tide.

とし、さらにアカウニとバフンウニは7,500個体と10,000個体をアオナマコ、アカナマコそれぞれの人工礁群に収容した。

飼育実験に使用した育成場の平面図および全景をFig. 6-1, 2a, 2bに示した。育成場は2つの水門を備えた鉄筋コンクリート製の築堤式(50×100 m, 底面積5,000 m²)のもので、育成場の底面には潮位 0 m から 0.4 m の高さとなるように砂を厚さ 30~40 cm に敷きつめた。底面の砂中には長さ 45 m の給水管 (Table 1-2 参照) と通気管を設置し、これらを使って育成場内に給水と通気を行った。給水管は深さ 30 cm の位置に 7 本設置した。通気管 (直径 40 mm の塩化ビニール製パイプ、直径 1 mm の通気口を 40 cm 間隔に開口) も給水管と同じ深さの位置に、給水管と並列に54本設置した。飼育期間中は、揚水ポンプ (7.5 kw) とブローア (11 kw) をそれぞれ1台ずつ使って、給水は1週間に1~2回 (1回当たり24時間連続給水、注水量 1.9 m³/時間)、通気は常時行った。水門は常時解放し、潮の干満による育成場内の換水を行った。なお、水門には低潮時でも育成場内の水位が1 m 程度に保てるよう、堰板を設置した。また、水門の内側には、ステンレス製の枠にニップ網 (オープニング 1,243 μ m) を張り、稚ナマコなどの外部への流失、または外部からの魚類などの侵入を防いだ。

人工礁群は Fig. 6-3 に示したような 4 種類の人工礁を設置した。また、人工礁群の上部には、高さ約 1 m の位置に遮光幕 (10×10 m, 遮光率 95%) を張り、人工礁周辺の照度を調節した (Fig. 6-2b)。なお、遮光幕は周囲に鉄柱 (直径 2 cm, 長さ 2 m) を立て、所定の高さに固定した。4 つの人工礁は、それぞれコンクリート製のブロック (以下、ブロックと記す) で枠 (2×2×0.2 m) を作り、この中にそれぞれの礁で異なった付着器を入れ、稚ナマコや稚ウニの付着や分布状況を比較した。1 つは、プレート (Table 1-2 参照) を 2 枚設置したもの (Fig. 6-3-a)。1 つは、プレート 2 枚の上に稚ナマコの種苗生産に使用するものと同タイプの波板 6 セットを設置したもの (Fig. 6-3-b)。1 つは、人工藻 (Table 1-2 参照) を敷きつめ、この上に 6 セットの波板を設置したもの (Fig. 6-3-c)。他の 1 つは、砂の上に 6 セットの波板を設置したものである (Fig. 6-3-d)。育成場内の貯水および人工礁の設置は稚ナマコなどを収容する 8 日前に行った。また、育成場内は実験を開始する約半月前から海水を排出して干出させ、魚類などの駆除を行った。

飼育経過に伴う稚ナマコやウニ類の調査は、月に 1~2 回潜水調査を行い、稚ナマコやウニ類の分布や移動を観察した。その調査の際、遮光幕の下の礁の周辺や各礁から稚ナマコ 30~50 個体を採取し、実験室に持ち帰り

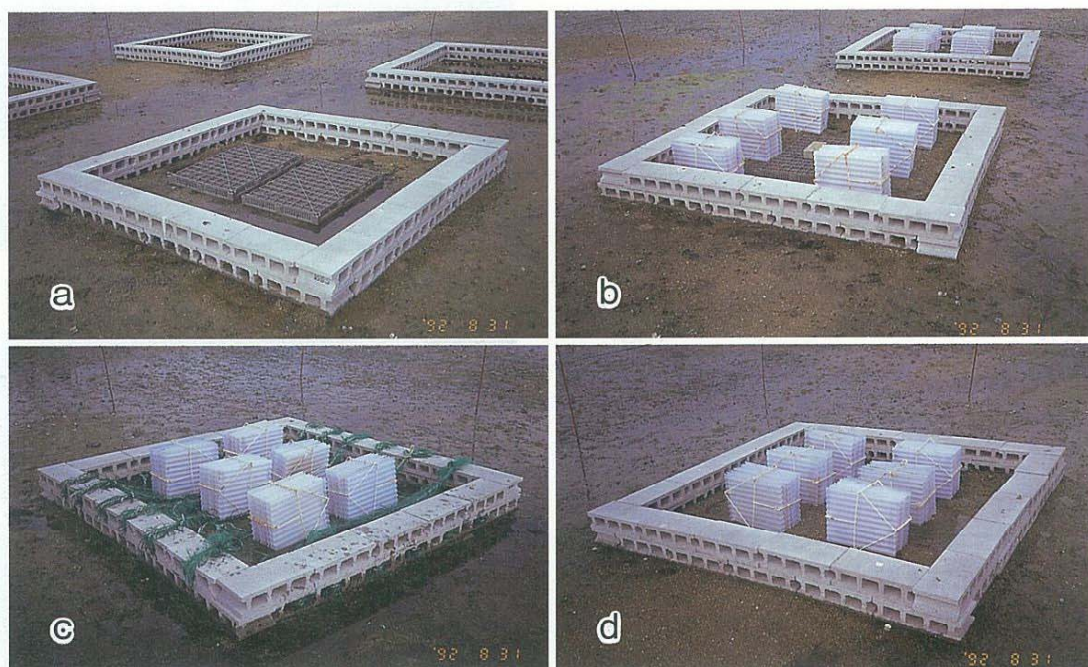


Fig. 6-3. Aspects of the artificial reefs. a, plates; b, plates with corrugated plates; c, artificial sea weed with corrugated plates; d, corrugated plates.

体長、体重などを測定した。ウニ類は調査現場で殻径を測定し、再び採取地点にもどし飼育を継続した。

また、月に1～2回、ウニ類の餌料としてアラメを1回当たり約 10 kg 投与した。

なお、12月から翌年の3月にかけて採取したアオナマコの大型個体については、生殖巣の発育過程を観察した。生殖巣が確認された場合は第2章第1節と同様の方法で組織切片を作成し、顕微鏡観察により成熟度を観察した。

実験期間中の育成場の水温は、毎日午前9時に測定した。

結 果

育成場の飼育水温は、12月から1月にかけて急激に下がり、2月には最低水温を記録した。

アオナマコ、アカナマコの飼育経過に伴う体長、体重の推移、および取り上げ時の大きさを Fig. 6-4a, 4b に示した。稚ナマコの体長はルーメントールで麻酔処理して測定したが、10 g 以上の個体については、麻酔処理はせ

ずに海水中の自然長を測定した。実験開始時と10月9日のアオナマコ、アカナマコの体重は各体長の測定結果から、伊藤ら (1994) のマナマコの体重と体長との関係式を使って算出した。

飼育開始時の平均体長は、アカナマコのほうがアオナマコに比べ若干大きかったが、約1か月後の10月9日の調査ではアカナマコがそれほど成長しなかったのに対し、アオナマコは 35.4 ± 17.2 mm とよく成長していた。その後も、アオナマコはアカナマコに比べ成長がよく、11月16日の調査では 67.1 g の個体もみられた。このように、アオナマコの成長は良好で、12月18日には 102.5 g、12月25日には 110.7 g の個体 (Fig. 6-5) が観察された。一方、12月25日に観察されたアカナマコの大型個体は 13.6 g であった。また、飼育経過に伴い個体間の成長差が著しく、特にアオナマコで顕著であった。

成長に伴う稚ナマコやウニ類の移動、分布は、10月9日の調査ではアオナマコ、アカナマコともにブロックの枠内に分布し、特に、波板やプレート上、ブロックなどに多数みられた。また、アカウニも同様な分布を示した。

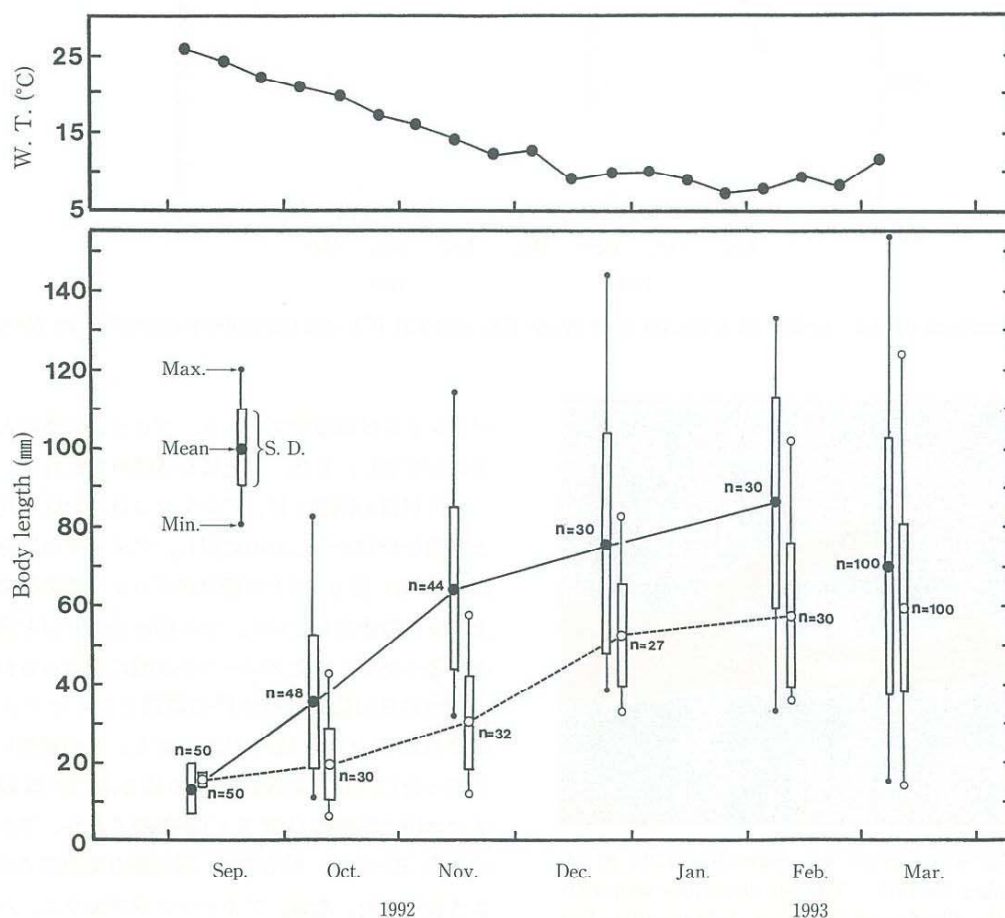


Fig. 6-4a. Increase in body length of artificial seed green (●) and red (○) sea cucumbers reared in the diked pond.

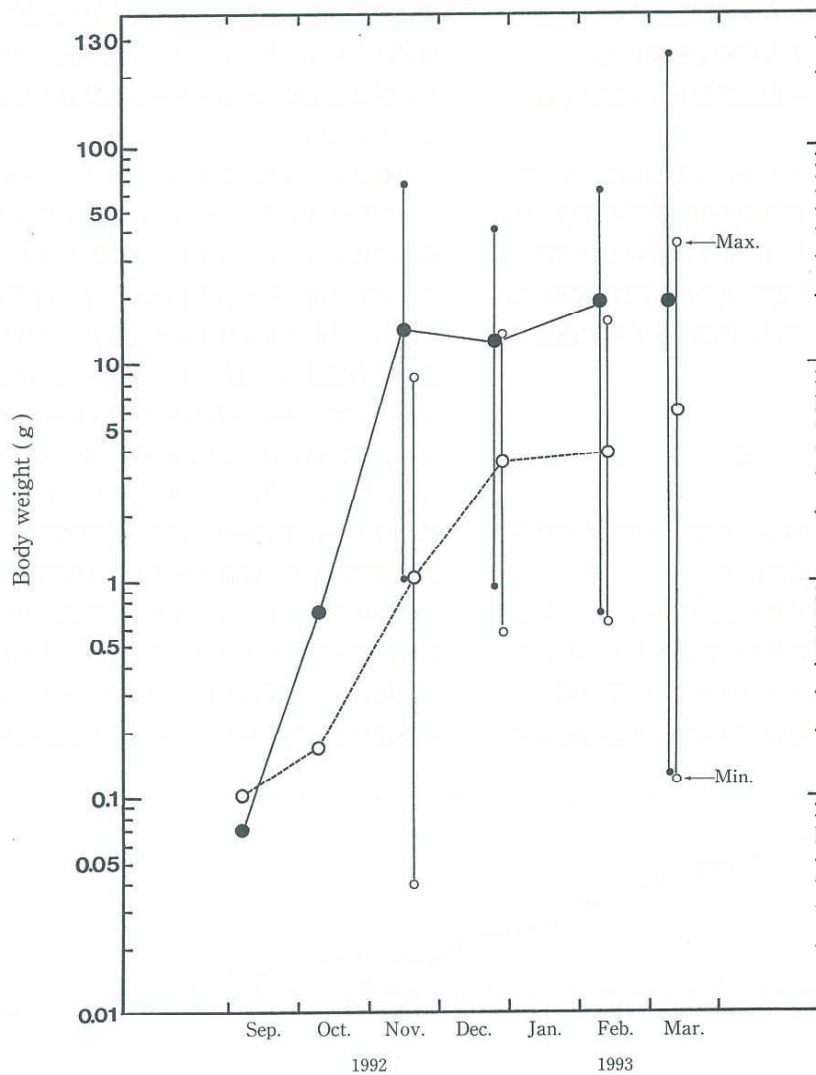


Fig. 6-4b. Increase in body weight of artificial seed green (●) and red (○) sea cucumbers reared in the diked pond.



Fig. 6-5. Harvested green sea cucumber (110.7 g) on December 25, 1992. The sea cucumber was reared in the diked pond for about eight months after fertilization.

バフンウニは波板やプレート、ブロックの他に人工藻などにも付着し、また、砂上にも多数みられた。

11月16日の調査では、アカナマコは、やはり10月9日と同様な分布を示したのに対し、アオナマコは分布域が広がり、約 10 g 以上の個体がブロック枠の外に出て砂上にも多数分布していた。ウニ類は10月9日と同様な分布であったが、特にプレートや波板に多数みられた。

12月25日の調査では水門の周辺でアオナマコの大型個体 (110.7 g) が採取された。また、この調査に先立って行った12月18日の投餌作業の際も水門の周辺でアオナマコの大型個体 (102.5 g) が採取された。アオナマコの体重 30~50 g のものは、遮光幕の周辺部でみられるようになった。なお、アカナマコやアカウニ、バフンウニは遮光幕の外では見られなかった。人工藻は浮泥で覆

われ、アオナマコ、アカナマコやアカウニの分布はみられず、バフンウニのみ分布していた。

2月9日の調査では、アオナマコが分布をやや広め、アカナマコはブロック枠の周辺や波板、プレートなどに付着していた。アカウニはアカナマコと同様な分布を示したが、バフンウニは砂上や遮光幕の下側に付着するなど活発に移動していた。しかし、アカナマコやアカウニ、バフンウニでは、アオナマコのような遮光幕の外への移動はみられなかった。

実験終了時の取り上げ結果を Table 6-1 に示した。

取り上げは、育成場内の海水を大型の水中ポンプ (11 kw) 2 台を用いて排出した後行った。

アオナマコ、アカナマコの回収率 (Table 1-1 参照) はそれぞれ 14.7% と 13.0% であった。アオナマコ、アカナマコとも大多数が人工礁内やその周辺部で回収された。アオナマコは遮光幕の設営場所の砂上や人工礁内のそれぞれの付着器、ブロックの隙間などの広範囲で回収され、特に、体重約 50 g 以上の個体は育成場の周囲のコンクリート壁や水門の周辺で回収された。アカナマ

コはプレートや付着板、ブロックの隙間などで回収され、砂上にはあまりみられなかった。

バフンウニの回収率は 99.1% と高い値で、遮光幕の設営場所内のみ分布していた。また、砂の中にも多数みられた。アカウニの回収率は 1.0% と著しく低く、多数の斃死個体がみられた。この大量斃死は 2月9日の調査後に発生したものと思われた。

アオナマコの生殖巣指数および生殖巣の組織学的観察結果を Table 6-2 に示した。生殖巣の組織像の发育過程の区分は、Tanaka (1958a) が定めた区分を参考にし第 2 章第 1 節に準じて行った。1992年12月18日および25日の調査では 100 g 以上の個体に生殖巣が観察され、それぞれ雌、雄の成長期であった。しかし、42.2 g と 69.5 g の個体では生殖巣はみられなかった。1993年 2 月 9 日では、63.7 g の個体でも生殖巣が観察された。実験終了後の 3月22日に、50 g 以上の 5 個体について調査を行ったが、すべて生殖巣が確認された。95.4 g の個体は成熟前期の雄で、顕微鏡下では精子の運動も確認された。

Table 6-1. The records of rearing for sea cucumber in the diked pond

Species	Initial		Final			
	Number of individuals	Body length (test diameter)* (mm)	Number of harvested	Harvesting rate (%)	Body length (test diameter)* (mm)	Body weight* (g)
Green sea cucumber	20,000	13.56±6.44	2,907	14.7	70.12±32.87	19.204±24.920
Red sea cucumber	20,000	16.00±1.90	2,586	13.0	59.52±21.49	6.065± 6.536
<i>Pseudocentrotus depressus</i>	15,000	11.18±2.24	153	1.0	19.15± 2.87	—
<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	20,000	11.71±2.37	19,817	99.1	18.72± 3.24	—

* Mean±S. D.

Table 6-2. Gonad indices and histologically determined maturation stages in green sea cucumber collected from the diked pond

Date of collection	Body weight (g)	Body wall weight (g)	Gonad weight (g)	Gonad index	Sex	Maturation stage
1992 Dec. 18	102.5	54.2	0.017	0.031	Female	Growing stage
Dec. 25	42.4	22.2	—	—	—	—
	69.5	36.2	—	—	—	—
	110.7	56.5	0.390	0.690	Male	Growing stage
1993 Feb. 9	63.7	34.8	0.020	0.057	Female	Growing stage
Mar. 22	56.8	31.3	0.076	0.243	Male	Growing stage
	74.6	36.0	0.013	0.036	Female	Growing stage
	78.9	39.9	0.240	0.602	Male	Growing stage
	84.8	49.9	0.057	0.114	Female	Growing stage
	95.4	44.8	1.268	2.830	Male	Premature stage

考 察

育成場を使った飼育実験の結果から、アオナマコは個体間の成長差が著しいものの、ふ化後約8ヶ月で体重約100 g にまで成長した個体がみられるなど、速い成長を示すことが明らかになった。また、約10 g 以上の個体は、砂上に移動し、さらに成長するに伴って移動範囲が広くなり、約50 g 以上の個体はかなりの移動距離を示すものと考えられる。一方、育成場でのアカナマコの成長はアオナマコに比べ若干劣っていた。また、アカナマコはアオナマコに比べ生息場所の選択性が強く、砂上よりも波板やプレート、ブロックなどに多く分布していた。このように、育成場の飼育において、稚ナマコ以後の成長や移動、分布などにアオナマコとアカナマコの間で差がみられた。これは、アオナマコとアカナマコの天然海域での生息域の違い（崔・大島 1961, 崔 1963）に起因するものと考えられた。すなわち、今回実験を行った育成場の飼育環境がアオナマコの成育に適した内湾の砂泥質地帯に類似していたため、アオナマコとアカナマコの間、成長や移動、分布などの差が生じたものと考えられる。

今回のマナマコの回収率は13~14%とバフンウニの値に比べ低い値であった。しかし、他県の報告（畑中ら 1992, 小川ら 1992, 大橋ら 1992, 柳澤ら 1992）にみられるように、マナマコの放流後の回収率は著しく低く、また濱野（1994）がタイドプールで行った稚ナマコの放流後の移動に関する実験結果などと比較しても、今回の13~14%の回収率はかならずしも低い値とは言えない。これらのことから、放流サイズについては、より大型のものほど好ましいと思われるが、採苗方式に

よって生産された体長10~20 mmの稚ナマコを生息に適した海域へ放流すれば、十分放流効果が期待できると考えられる。

また、マナマコやウニ類のほとんどが、人工礁やその周辺で回収されたことから、人工礁の上部に設置した遮光幕による照度調節が、マナマコやウニ類の人工礁やその周辺への定着をより高いものにした要因の一つと考えられた。

稚ナマコの成熟について、愛知県の報告（愛知水試 1987）では、陸上水槽で飼育した成長のすぐれた個体のうち、受精後308日目の体重60~126 gの7個体を調べた結果、62 g, 74 g, 83 gの3個体で生殖巣が観察され、62 gのものは少量であるが精子は活動的であったとしている。今回の調査結果からも、受精後約8ヶ月の個体ですでに生殖巣が確認され、さらに受精後約11ヶ月では、56.8~95.4 gの5個体の調査個体すべてで生殖巣が確認された。これらのことから、アオナマコの成熟は受精後1年をまたずに始まるものと推察される。

なお、アカウニでみられた大量斃死は、育成場内の著しい水温の低下や同時期に陸上水槽で発生したウニ類特有の疾病（川原ら 1994a）などによるものと考えられる。

第7章 マナマコ種苗の大量生産への実用化試験 （伊藤ら 1994）

第2章から第4章で得られた知見をもとに行った1993年の稚ナマコの種苗生産経過について述べる。

1. 親ナマコの養成と成熟

親ナマコの入手先、期日および大きさなどについてはTable 7-1に示した。入手後の親ナマコは、第2章第3節の実験結果にもとずき定期的に生殖巣指数と卵母細胞

Table 7-1. Summaries of the parent sea cucumbers used for the mass production of artificial seed

Type	Date of collection	Number of parents	Mean body weight (g)	Collecting places	Method of collection
Gree sea cucumber	1993 Jan. 30	385	297	Oomura bay, Nagasaki Pref.	Dredge net
Red sea cucumber	1993 Jan. 25	17	465	Takakushi, Saga Pref.	Dredge net
	Jan. 27	231	133	Kashiwazima, Saga Pref.	Diving
	Jan. 29	323	302	Aoshima, Nagasaki Pref.	Diving

の長径の推移を観察し、種苗生産のための採卵時期を決定した。高串産のアカナマコは入手時の個体数が少なかったため、前述した成熟度調査は行わず、第2章第1節の天然群の産卵期調査の結果を参考にし、4月13日に産卵誘発を行った。

神集島産アカナマコの飼育経過に伴う生殖巣指数および卵母細胞の長径の推移を Fig. 7-1 に示した。1月27日の入手時には、生殖巣指数は 0.04 ± 0.11 と低く、また、卵母細胞も小さく測定できなかった。生殖巣指数は3月15日以降急激に高くなり、4月13日には 4.29 ± 2.46 と最大値を示した。卵母細胞の大きさは3月1日以降急激に大きくなり、4月13日には $154.1 \pm 7.0 \mu\text{m}$ を示した。これらのことから、4月19日に産卵誘発を行った。

なお、高串産および神集島産のアカナマコを除く、他のアオナマコ、アカナマコの成熟状況の詳細は第2章第3、4節に示した。

2. 産卵誘発およびふ化

産卵誘発は、アオナマコは個別に(第2章第3節)、アカナマコは集団で(第2章第4節)行う昇温刺激法で行った。アオナマコ、アカナマコの受精卵は、洗卵後、水温

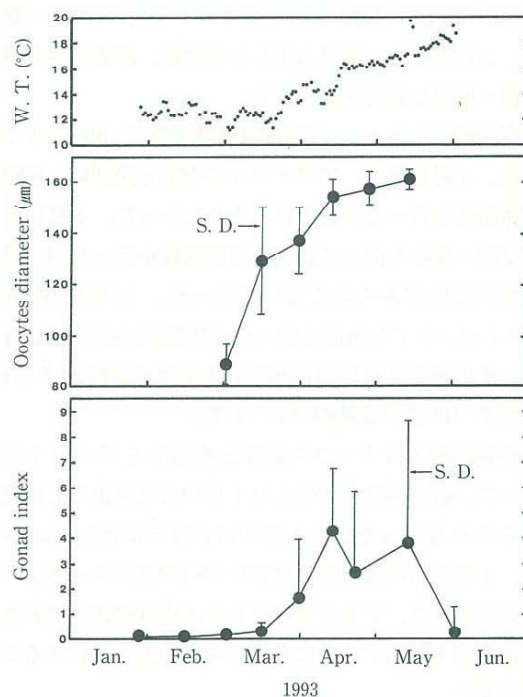


Fig. 7-1. Changes in gonad index and oocytes diameter of red sea cucumber collected from Kashiwazima, Saga Prefecture, reared under natural water temperature.

Table 7-2. The records of spawning induction in red sea cucumber collected from Takakushi, Saga Pref., reared under natural water condition

Date of spawning induction	Number of parents (mean body weight, g)	Induction temperature (°C)		Number of responded individuals		Total number of spawned eggs ($\times 10^4$)
		before	after	male	female	
1993 Apr. 13* ¹	15(552)	14.3	19.4	0	0	0
Apr. 14* ¹		18.8	19.4	3	0	0
Apr. 15* ²		18.4	22.2	2	0	0
Apr. 16* ²		18.7	24.4	2	0	0
Apr. 17* ²		18.8	24.0	0	0	0
Apr. 19* ²		19.8	24.0	1	1	662.3

*¹ One individual/tank (20l).

*² 15 individuals/tank (500l).

Table 7-3. The records of spawning induction in red sea cucumber collected from Kashiwazima, Saga Pref., reared under natural water condition

Date of spawning induction	Number of parents (mean body weight, g)	Induction temperature (°C)		Number of responded individual		Total number of spawned eggs ($\times 10^4$)
		before	after	male	female	
1993 Apr. 19	38(284)	16.0	21.0	0	0	0
Apr. 20		19.0	24.0	2	1	52.8
Apr. 21		20.0	24.0	3	3	250.5
Apr. 22		19.2	23.2	4	0	0

を 18~20°C に調整した 100 l パンライト水槽へ収容し、ふ化させた。翌日ふ化した幼生は、浮遊幼生の飼育水槽へ収容し飼育を開始した。

高串産アカナマコの産卵誘発結果を Table 7-2 に示した。4月13日は、アオナマコの方法と同様に、個別に産卵誘発を行ったが反応はみられなかった。4月14日に再び同一個体を使って個別に産卵誘発を行ったが、雄3個体の反応がみられただけであった。4月15日からは 500 l パンライト水槽を使った産卵誘発を繰り返した。その結果 4月19日に雌雄それぞれの反応がみられ、 662.3×10^4 粒の受精卵が得られた。

神集島産アカナマコの産卵誘発結果を Table 7-3 に示した。産卵誘発を開始した 4月19日は雌雄ともに反応はみられなかったが、4月20日と21日には反応がみられ、4月21日の総産卵数は 250.5×10^4 粒であった。

アオナマコ、アカナマコともにふ化は順調に行われ、種苗生産を開始するのに必要なふ化幼生を回収することができた。

なお、長崎県の人村湾産アオナマコおよび青島産アカナマコの産卵誘発結果の詳細は、第2章第3、4節に示した。

3. 浮遊幼生の飼育

浮遊幼生の飼育は 1kl パンライト水槽を用いて、第3章第1節の方法で行った。

浮遊幼生の飼育経過を Table 7-4 に示した。アオナマ

コでは、大きな減耗もなく順調に推移した。飼育開始14日目には *Doliolaria* 幼生の割合が高まった(約 70%) ため、幼生を回収し採苗を行った。アカナマコでは、いずれの飼育例も大きな減耗はみられなかったが、生残率はいずれも 50% 程度で、アオナマコに比べ若干低い値であった。これは、アカナマコのほうがアオナマコに比べ、飼育水温が高く推移し、さらに、一部の飼育水槽内には原生動物の発生がみられ、水質が悪化したためと考えられた。アオナマコと同様に飼育開始14日目に幼生を回収し採苗を行った。

4. 稚ナマコの一次飼育

稚ナマコ一次飼育の結果を Table 7-5 に示した。

1) アオナマコ

4月16日から19日にかけて4水槽で採苗を行った。その結果、採苗率は 37.9~61.9% と過去の飼育例に比べ高い値であった。これは、採苗に使用した浮遊幼生の飼育が順調であったこととともに、第3章第1節で明らかにしたように、採苗水槽の水温と浮遊幼生の飼育水温との格差が比較的小さく、稚ナマコへの変態に及ぼす水温の影響が少なかったためと考えられた。

稚ナマコは、いずれの飼育水槽でも採苗後10~20日にかけて減耗がみられた。特に、飼育 No. 1, 2, 3 は著しい減耗がみられた。畑中ら(1991)は海上での中間育成で、急激な比重低下によって稚ナマコの大量減耗が発生したことを報告しているが、今回の飼育 No. 1, 2, 3 にお

Table 7-4. The records of planktonic larvae culture for mass production of sea cucumber in culture tanks

Type	Group	Initial				Final		
		Date	Culture tank (kl)	Number of tanks	Total number of larvae ($\times 10^4$)	Date (culture period) (days)	Survival rate (mean) (%)	Water temperature (mean) (°C)
Green sea cucumber	1	1993 Apr. 3	1	5	489	Apr.16,17 (14,15)	54.2~78.1 (65.1)	17.3~18.3 (17.7)
	2	Apr. 6	1	5	500	Apr.19 (14)	56.2~100 (80.1)	17.5~19.6 (18.4)
Red sea cucumber	1	1993 Apr.20	1	5	513	May 3 (14)	36.7~60.0 (49.1)	18.3~19.7 (19.1)
	2	Apr.22	1	2	196	May 5 (14)	45.9, 50.7 (48.3)	18.7~21.1 (19.5)
	3	Apr.23	1	1	90	May 6 (14)	53.7	18.7~21.1 (19.4)
	4	Apr.27	1	2	147	May10 (10)	22.6, 76.7 (49.7)	18.7~19.7 (19.1)

Table 7-5. The records of the primary rearing for juvenile sea cucumbers in culture tanks

Type	Tank No.	Date of seed collection	Initial					Final									
			Tank of (m³)	Number of larvae (×10⁴)	Number of plates	Plate setting condition	Collecting rate (%)	W. T. of seed collection (°C)	Tank No.	Date	Rearing period (days)	Number of plates	Total number of juveniles (mean b. l., mm)	Number of juveniles on plates (mean b. l., mm)	Number of juveniles with cage (mean b. l., mm)	Survival rate (%)	W. T. (mean) (°C)
Green sea cucumber	1	1993 Apr.16	15	106.8	900	horizontal	61.9	17.1	1,2-1	Jul.16	91	900	69,164(9.0)	47,475(9.1)	21,689(8.8)	11.9	15.6~24.6 (19.0)
	2	Apr.16	15	103.0	900	horizontal	45.1	17.3	1,2-2	Jul.16	91	900	64,878(11.0)	44,775(11.2)	20,103(10.6)		15.6~24.6 (18.9)
	3	Apr.17	18	100.0	1,040	vertical	49.1	14.4	3	Jul.16	90	1,040	21,647(19.4)	19,136(19.0)	2,511(22.1)	4.4	14.4~24.6 (19.7)
	4	Apr.19	18	129.2	1,200	horizontal	37.9	14.8	4-1	Aug. 3	106	1,200	55,035(14.7)	48,000(14.3)	7,035(17.3)	23.7	14.3~23.9 (20.2)
								4-2	Aug. 4	107	1,200	61,140(14.8)	56,840(14.6)	4,300(17.8)	14.3~24.2 (20.2)		
Red sea cucumber	1	1993 May 3	15	72.2 (41.9)*	900	horizontal	22.3	15.6	1-1	Aug.2,3	89,90	900	63,249(7.3)	52,038(7.3)	11,211(7.5)	58.2	15.6~24.6 (20.1)
								1-2	Aug. 3	90	900	64,494(10.1)	49,518(10.0)	14,976(10.4)	15.6~24.6 (20.1)		
	2	May 3	15	69.7	900	horizontal	—	15.2	1-3	Aug. 3	90	200	16,039(7.8)	7,892(8.6)	8,147(7.0)	15.6~24.6 (20.1)	
	3	May 3	18	66.5 (45.2)*	1,080	vertical	40.0	15.6	3-1	Aug.26	115	1,120	90,352(11.1)	86,912(11.0)	3,440(14.2)	36.2	15.6~24.6 (21.2)
								3-2	Aug.26	115	1,040	71,550(12.1)	66,976(11.9)	4,574(14.5)	15.6~25.0 (21.2)		
4	May10	15	54.9	810	vertical	60.7	16.3	4-1	Aug. 4	86	900	76,335(8.2)	58,887(8.5)	17,448(7.1)	53.0	16.3~24.6 (20.4)	
								4-2	Aug. 4	86	900	80,490(7.2)	67,104(7.1)	13,386(7.7)		16.3~24.6 (20.4)	
								4-3	Aug. 3	85	200	19,573(8.0)	7,928(8.7)	11,645(7.6)	16.3~24.6 (20.4)		

* The numbers of Doliolaria larvae were 41.9×10^4 and 45.2×10^4 individuals placed into the 15 and 18m³ tanks at May 5, 1993, respectively.

ける稚ナマコの減耗も、5月2日から3日にかけての記録的な降雨による飼育水の塩分濃度の低下が原因と考えられた。採苗後30日目以降の稚ナマコの飼育は順調で、7月16日から8月4日にかけて、平均体長 9.0~14.8 mm のもの271,864個体を取り上げることができた。これらの稚ナマコは、第4章第3節の方法に準じて、サイズ別に稚ナマコの二次飼育へ移行した。

なお、平均体長 10 mm 以上の稚ナマコのうち、137,822個体は二次飼育へ移行せず放流用種苗として使用した。また、小サイズの約半数は新たな付着板に再付着させ、一次飼育と同様の方法で飼育を行い人工餌料による二次飼育と成長、生残などを比較した。

2) アカナマコ

5月3日から10日にかけて4水槽で採苗を行った。採苗率は5月10日の飼育 No. 4 を除いて、いずれも低い値であった。これは、第3章第1節で採苗時の塩分濃度の低下が稚ナマコへの変態を阻害することを明らかにしたが、今回の大量生産の飼育例でも採苗時の塩分濃度の低下が採苗率の低下につながったと考えられた。すなわち、飼育 No. 1, 2, 3 は、採苗水槽の準備を5月2日に行い注水量を著しく少なくしていたことから、アオナマコの飼育例と同様に、降雨による飼育水の塩分濃度の低下が起こったものと考えられた。このため、飼育 No. 2 は飼育を中止し、飼育 No. 1, 3 は5月5日に飼育水の全換水を行い、再び幼生を収容して再採苗を行った。採苗後20日目以降の稚ナマコの飼育は順調で、8月2日から26日にかけて平均体長 7.1~12.1 mm の稚ナマコ482,082個体を取り上げることができた。これらはアオナマコと同様に二次飼育へ移行した。

なお、平均体長 10 mm 以上の稚ナマコのうち147,741個体は、アオナマコと同様に二次飼育へ移行せ

ず放流用種苗として使用した。また、小サイズの稚ナマコは人工餌料による二次飼育は行わず、新たな付着板に再付着させ、一次飼育と同様の方法で飼育を行った。

1993年は、異常気象のため、6~8月の日照量が著しく不足した。このため、稚ナマコの餌料である付着珪藻の繁殖への影響が懸念されたが、大きな障害もなく飼育を行うことができた。しかし、アカナマコの成長はアオナマコに比べ若干劣っていた。これは、7月以降アカナマコの飼育水槽内（付着板や飼育生簀）に殻長約 1 mm の甲殻類に属する貝形虫 (*Loxoconcha japonica*, *Xestoleberis hannai*) が異常発生したことや、貝形虫の発生に伴い付着珪藻量が若干減少したことなどに起因していると考えられた。

なお、貝形虫による稚ナマコの食害はみられなかった。また、飼育水槽にディプテレックス乳液を有効濃度で 2 ppm となるように添加し、貝形虫の駆除を試みたが、駆除はできなかった。

5. 稚ナマコの二次飼育

1) アオナマコ

一次飼育の終了後、大サイズ31,562個体（平均体長 20.4 mm）、中サイズ46,925個体（平均体長 8.9 mm）、小サイズ55,555個体（平均体長 5.0 mm）を使って二次飼育を行った。なお、小サイズのうち27,882個体については、付着板による一次飼育と同様の方法で飼育を行った。

二次飼育の結果を Table 7-6 に示した。飼育終了時の大、中サイズの生残率はほぼ 100% で高い値であった。しかし、稚ナマコの成長は1992年の飼育例（第4章第3節）に比べ良くなかった。大、中サイズの飼育を終了した8月16日（31日目）では、付着板で飼育を行っていた小サイズは、平均体長 11.9 mm と 10 mm 以上に成長

Table 7-6. The records of the secondary rearing for juvenile green sea cucumbers in culture cages

Group	Initial				Final					
	Date	Number of juveniles	Mean body length (mm)	Stocking density (indi./m ²)	Date	Rearing period (days)	Number of juveniles	Mean body length (mm)	Survival rate (%)	W. T. (mean) (°C)
Large size	1993 Jul. 16	31,562	20.4	2,625	Aug. 16	31	31,505	22.6	99.8	21.3~24.3 (22.6)
Middle size	Jul. 16	46,925	8.9	5,214	Aug. 16	31	46,202	12.4	98.5	21.3~24.3 (22.6)
Small size-1*	Jul. 16	27,673	5.0	4,612	Sep. 8	54	17,281	11.4	62.4	21.3~25.1 (23.2)
Small size-2*	Jul. 16	27,882	5.0	4,647	Aug. 16	31	18,406	11.9	66.0	21.1~24.1 (22.5)

*1 Artificial food "Ribikku".

*2 Attached diatom.

Table 7-7. The records of the secondary rearing for juvenile red sea cucumbers in culture cages

Group	Date	Initial			Date	Rearing period (days)	Final			
		Number of juveniles	Mean body length (mm)	Stocking density (indi./m ²)			Number of juveniles	Mean body length (mm)	Survival rate (%)	W. T. (mean) (°C)
Large size	1993 Aug.2,3	43,805	19.1	7,301	Aug.31 Sep. 1	28~30	46,364	19.4	100	23.5~25.1 (23.7)
Middle size	Aug.2,3	118,979	8.9	16,997	Sep.1,8	29~37	96,126	13.2	80.8	23.5~25.1 (23.9)
Small size*	Aug.2,3	171,557	4.8	6,354	Aug.23	20~21	126,074	7.9	73.5	22.4~24.5 (23.4)

* Attached diatom.

していた。しかし、人工餌料による飼育を行っていた小サイズは、平均体長 6.9 mm で付着板を使った飼育群に比べ成長が良くなかった。このため、付着板を使った飼育群は剥離を行い生残数を計数したが、人工餌料による飼育群は継続して飼育を行い、平均体長が 11.4 mm となった 9 月 8 日 (54 日目) に剥離し、生残数を計数した。小サイズの飼育終了時の生残率は、飼育日数の違いはあるが、飼育餌料による大きな差はみられず、ともに 60% 台であった。

2) アカナマコ

一次飼育の終了後、大サイズ 43,805 個体 (平均体長 19.1 mm)、中サイズ 118,979 個体 (平均体長 8.9 mm)、小サイズ 171,557 個体 (平均体長 4.8 mm) を使って二次飼育を行った。なお、小サイズはすべて付着板による飼育を行った。

二次飼育の結果を Table 7-7 に示した。大、中サイズは 8 月 31 日から 9 月 8 日にかけて飼育を終了した。生残率は、大サイズはほぼ 100% であったが、中サイズは 80.8% でアオナマコの飼育例に比べ低い値であった。小サイズは 8 月 23 日 (19~21 日目) に付着板による飼育を終了した。稚ナマコの生残率は 73.5% で若干低い値であったが、平均体長は 7.9 mm で良好な成長を示した。小サイズは 8 月 23 日以降、人工餌料による通常の二次飼育を行い、体長 10 mm 以上のものを随時取り上げ放流用種苗として使用した。

6. 稚ナマコの放流

1993 年 7 月から 9 月にかけて、一次飼育および二次飼育終了後に体長 10 mm 以上の稚ナマコ 520,700 個体 (アオナマコ 247,600 個体、アカナマコ 273,100 個体) を放流した。稚ナマコの放流地点への輸送は、麻酔 (第 4 章第 3 節) でコレクターから剥離した稚ナマコを約 15 l の海水の入った厚手のビニール袋に約 2,000~3,000 個体ずつ収容し、酸素を封入して車または船で行った。

なお、放流後の詳細な追跡調査は行っていないが、漁業者からの聞き取り調査によれば、放流効果が認められる海域もあり、今後、平均体長 10 mm 以上の稚ナマコの大量放流によって、稚ナマコの放流効果が十分期待される。

第 8 章 総合考察

種苗生産工程の残された問題点

1. 親ナマコの養成と採卵法

産卵期の 2~3 か月前に天然海域から採取した親ナマコは、ワカメの給餌によって養成し、定期的に生殖巣指数や卵母細胞の長径の推移を観察することによって、産卵誘発のための採卵適期が推定できるようになった。このことから、昇温刺激法で長崎県大村湾産のアオナマコから安定して大量の受精卵を得ることが可能となった。しかし、佐賀県北部沿岸域や長崎県青島産のアカナマコを使った産卵誘発では、成熟が十分に進み採卵適期と推定される個体群でも大村湾産のアオナマコに比べ昇温刺激に対する反応率は低く、得られる受精卵量も少ない (第 2 章第 3, 4 節, 第 7 章)。このため、マナマコの採卵技術については改良すべき点が多分に残されている。

マナマコの産卵誘発は、石田 (1979) が貝類で使用されていた温度刺激法を使って大量の受精卵を得ることに成功して以来、石田の方法を基本とした様々な温度刺激法で行われてきた。しかし、近年、貝類では紫外線照射海水 (西広 1980, Uki and Kikuchi 1984)、過酸化水素水 (Morse 1984) やその他の活性物質 (Matsutani and Nomura 1982, 田中・村越 1985) を使った採卵法の開発によって、計画的な採卵が可能になっているのに対し、マナマコの採卵法は温度刺激法の域を出ていない。この

ため、今後、より安定した採卵技術を確立するためには、親ナマコの成熟度を高め、昇温刺激に対して容易に反応する個体を養成するとともに、温度刺激法に代わる新たな採卵法を開発する必要がある。

マナマコでは、成熟した精巣を摘出し海水に懸濁させることによって受精能をもつ精子が得られるが(丸山 1988)、雌の成熟した卵母細胞は、卵巣内で第1減数分裂前期で減数分裂が停止しているため、摘出した卵巣から大量の受精卵を得ることは不可能である。しかし、第2章第4節でみられたように、養成した親ナマコは、昇温刺激に対して反応しない場合でも、産卵期には雌雄ともに成熟した個体が多数得られる。このため、産卵期に摘出した生殖巣を使って卵母細胞の減数分裂を開始させ、大量の受精卵を得ることができれば、採卵がより計画的なものになる。Maruyama (1980) はニセクロナマコ *Holothuria leucospilota* など数種類でジチオトレイトール (DTT), 2, 3-ジメルカプト-1-プロパノール (BAL), システインなど S-S 結合の還元剤を使って卵母細胞の減数分裂を再開させることに成功している。また、マナマコでは Kishimoto and Kanatani (1980) が蛋白分解酵素のプロナーゼと 10 mM のジチオトレイトールを使って減数分裂が再開することを報告している。さらに、川原・伊藤 (未発表) は、アカナマコの卵巣から摘出した卵母細胞をプロナーゼの製品であるアクチナーゼ 0.01% 溶液で処理し、これに精巣から摘出した精子を加えることによってふ化幼生を得ている。これらのことから、今後、摘出した生殖巣を使った採卵法を事業化レベルで検討すれば、種苗生産現場での実用化も可能と思われ、採卵技術の進展が望めるであろう。

2. 浮遊幼生の採苗と稚ナマコの一次飼育

採苗に供する幼生のステージや付着珪藻の密度などの検討(第3章)により稚ナマコの採苗率を高めることが可能となった。しかし、1993年の飼育(第7章)では、降雨による塩分濃度の低下が採苗率や稚ナマコの生残に大きな影響を及ぼした。この点については、飼育水槽や取水施設などの問題であり、施設の改善によって防除できると考えられる。次に、稚ナマコ一次飼育における初期減耗(第4章第2節)のうち、施設の改善では防除できない採苗後10日目から20日目にかけての減耗は、一次飼育での大きな問題と思われ、今後その原因について説明する必要がある。

3. 稚ナマコの二次飼育

畑中ら(1992)は、変態初期の稚ナマコから海藻粉末であるリピックを使うことにより、平均体長 12 mm の

稚ナマコ44万個体を生産することに成功し、また、池田・元谷(1993)も畑中らと飼育方法は若干異なるが、リピックを使って平均体長 9.8 mm の稚ナマコ27.7万個体を生産している。このように、近年、人工餌料を用いた稚ナマコの飼育技術もめざましい進展をみせており、今後これらの技術を参考にすることにより、稚ナマコの二次飼育がより安定したものになると考える。ただ、人工餌料による飼育は、投餌作業の手間や残餌にともなう水質の悪化などが懸念される。この点、1993年の稚ナマコの二次飼育で行った新たな付着板への稚ナマコの再付着による飼育は(第7章)、作業性なども考慮すると一つの良い手法であり、今後、付着板を活用した飼育方法をさらに検討していきたい。

4. 稚ナマコの疾病

1992年の二次飼育では、被害程度としてはさほど大きくなかったものの、稚ナマコの表皮がびらんし、さらに症状が進んだものは、表皮が剥離し体表が白色となり斃死する個体がみられた(伊藤 1994)。これは高密度飼育に伴う飼育環境の悪化が原因と思われたが、今後、種苗生産の事業化に伴いマナマコ種苗の新たな疾病の発生も考えられることから、マナマコ種苗生産での病害防除についても十分留意する必要がある。

アオナマコとアカナマコの種苗生産上の相違点

佐賀県北部沿岸域のアオナマコおよびアカナマコの産卵期は3~5月で、その期間に大きな差はみられなかった。しかし、成熟期の卵母細胞の長径の平均値は、アオナマコで 140~150 μm 、アカナマコで 150~160 μm と、アカナマコのほうがアオナマコに比べ 10~20 μm 大きかった(第2章第1節)。

採卵から採苗方式による稚ナマコの大量生産までは、採卵後の適正な媒精濃度、浮遊幼生の形態や飼育餌料、浮遊幼生から稚ナマコへの変態誘起に関する要因、付着板や人工餌料を使った稚ナマコの生産方式など、すべての点で、アオナマコとアカナマコとは大きな差は認められず、同様の飼育方法で浮遊幼生から体長 10~20 mm の稚ナマコまで育てることが可能であった(第2章第5節、第3、4章)。

海上筏でのウニ類やエゾアワビなどとの混養飼育でも、アオナマコ、アカナマコの成長、生残はウニ類と混養したほうが、アワビとの混養や単独による飼育に比べ良かった。この点も、両者の間に差はみられなかった(第5章)。

以上のように、陸上水槽での種苗生産や海上筏での飼育結果から、アオナマコとアカナマコとの間には種苗生産に関するかぎり、成長、生残などで大きな差がみられず、同一手法で稚ナマコの生産ができることがわかった。

しかし、稚ナマコの一次および二次飼育で生産したアオナマコとアカナマコを使った築堤式育成場での飼育実験では、アオナマコはアカナマコに比べ成長が速く、ふ化後約8か月で体重約100gにまで成長した個体もあった。また、アカナマコは、波板やブロック、プレートなどを主な生息域としていたが、アオナマコは成長にともない移動範囲が広くなり、約10g以上の個体は砂上にも移動した。このように、底質が砂泥質である築堤式育成場での稚ナマコ以後の飼育では、アオナマコとアカナマコとの間で、成長や移動、分布などに大きな差がみられた(第6章)。このことから、採苗方式で生産した体長10~20mmの稚ナマコを放流する場合、放流海域の選定については十分検討する必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、懇切な御指導をいただき、御校閲くださった長崎大学教授 平山和次博士、御校閲くださりマナマコ生殖巣の組織切片作成およびその取り纏めに御指導いただいた長崎大学教授 吉越一馬博士、御校閲くださった長崎大学教授 夏苺 豊博士、同大学教授 千田哲資博士に謹んで深謝の意を表す。

長崎大学助教授 北村 等博士には浮遊幼生から稚ナマコへの変態促進に関する研究に関して終始御指導いただいた。静岡大学助教授 阿部勝己博士には貝形虫の同定を行っていただいた。東京久栄株式会社 小林 稔氏には付着珪藻およびコペポダの同定について御教授いただいた。田崎真珠株式会社 明楽秀作氏には *Chaetoceros calcitrans*, *Pavlova lutheri* および *Isochrysis galbana* を分与していただいた。ここに感謝の意を表す。

本研究の機会を与えてくださり、研究上の御指導と種々の御配慮を賜った佐賀県栽培漁業センター 宮崎征男所長、本研究遂行にあたって御協力いただいた佐賀県栽培漁業センターの職員の方々、ならびに唐津市水産種苗センターの方々に深く感謝の意を表す。

さらに、マナマコの採捕に御協力いただいた佐賀県神集島および加部島漁業協同組合の海士漁業者の方々、ならびに、高串漁業協同組合の山下松三氏に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 愛知県水産試験場(1987):愛知県におけるナマコ増殖(昭和58年~61年の試験研究のまとめ)。愛知水試B集 6, 37-41.
- 崔 相・大島泰雄(1961):ナマコにみられる「アオ」と「アカ」の形態および生態的差異について。日水誌 27(2), 97-106.
- 崔 相(1963):なまこの研究。海文堂 東京, 226pp.
- Cochran, R. C. and Engelman, F. (1975): Environmental regulation of the annual reproductive season of *Strogilocentrotus purpuratus* (Stimpson). *Biol. Bull.* 148, 393-401.
- Fabregas, J., C. Herrero, J. Abalde and B. Cabezas (1985b): Growth chlorophyll and protein of the marine microalga *Isochrysis galbana* and high nutrient concentrations. *Aquaculture* 50, 1-11.
- 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.
- 濱野龍夫(1994):平成5年度地域特産種増殖技術開発事業報告会(棘皮類)資料 東京.
- 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) 83-118.
- 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) 79-114.
- 畑中宏之・谷村健一(1994):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 42(2), 221-225.
- 畑中宏之・上奥秀樹・安田 徹(1994):マナマコのイトマキヒトデによる食害に関する実験的研究。水産増殖 42(4), 563-566.
- 原 修(1980):ナマコ受精卵の発生と水温ならびに幼生の初期餌料。長崎水試研報 6, 55-59.
- 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.
- 池田善平・植木範行・草加耕司(1992):ナマコ幼生期の飼育餌料の検討。岡山水試報告 7, 47-52.
- 池田善平・元谷 剛(1993):マナマコの種苗生産。岡山水試報告 8, 110-113.
- 今井丈夫・稲葉伝三郎・佐藤隆平・畑中正吉(1950):無色鞭毛虫に依るナマコ(*Stichopus japonicus* Selenka)の人工飼育。東北大農学研彙報 2(2), 269-277.
- 稲葉伝三郎(1937):ナマコの人工受精について。水産研究誌 35(2), 241-246.
- 稲葉伝三郎(1942):ナマコの増殖。海洋の科学 2(5), 364-369.
- 石田雅俊(1979):マナマコの種苗生産。栽培技研 8(1), 63-75.
- 伊丹宏造・丹下勝義・山内幸児・竹田文弥・浜口 章(1970):アカガいの種苗生産に関する研究-I, 水槽採苗について。水産増殖 18(1), 25-34.

- 伊藤史郎・有吉敏和・伊東義信 (1985): *Chaetoceros gracilis* の大量培養法. 佐賀栽漁センター事報 (昭和55~58年度) 97-103.
- 伊藤史郎・小早川 淳・谷 雄策 (1987): 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 34(4), 257-259.
- 伊藤史郎・柴山雅洋・小早川 淳・谷 雄策 (1989): 水温制御によるバフンウニ *Hemicentrotus pulcherrimus* の成熟・産卵促進. 日水誌 55(5), 757-763.
- 伊藤史郎・小早川 淳・谷 雄策・中村展男 (1991): バフンウニ, 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 19(2), 61-66.
- 伊藤史郎・川原逸朗・森 勇一郎・江口泰蔵 (1994a): 佐賀県北部沿岸域におけるマナマコの産卵期 (予報). 佐賀栽漁センター研報 3, 1-13.
- 伊藤史郎・川原逸朗 (1994b): マナマコの養成餌料に関する研究. 佐賀栽漁センター研報 3, 15-17.
- 伊藤史郎・川原逸朗・平山和次 (1994c): マナマコの成熟と採卵適期 (予報). 佐賀栽漁センター研報 3, 19-25.
- 伊藤史郎・川原逸朗 (1994d): マナマコの水温制御による成熟・産卵促進 (予報). 佐賀栽漁センター研報 3, 27-33.
- 伊藤史郎・川原逸朗・青戸 泉・江口泰蔵 (1994e): 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). 佐賀栽漁センター研報 3, 35-37.
- 伊藤史郎・川原逸朗・平山和次 (1994f): マナマコ浮遊幼生の採苗ステージの検討. 水産増殖 42(2), 287-297.
- 伊藤史郎・川原逸朗 (1994g): マナマコ浮遊幼生の飼育餌料に関する研究. 佐賀栽漁センター研報 3, 39-50.
- 伊藤史郎・川原逸朗・平山和次 (1994h): 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 42(2), 299-306.
- 伊藤史郎・川原逸朗・平山和次 (1994i): マナマコ種苗の大量生産技術開発に関する研究. 栽培技研 22(2), 83-91.
- 伊藤史郎・川原逸朗・広瀬 茂 (1994j): 海上筏におけるマナマコ大型種苗の飼育について. 佐賀栽漁センター研報 3, 51-56.
- 伊藤史郎・川原逸朗・広瀬 茂 (1994k): 築堤式育成場におけるマナマコ大型種苗の飼育について. 佐賀栽漁センター研報 3, 57-63.
- 伊藤史郎・川原逸朗・江口泰造 (1994l): マナマコの種苗生産. 佐賀栽漁センター事報 (平成4~5年度) 32-46.
- 伊藤史郎 (1994): マナマコ稚仔にみられた斃死事例について (短報). 佐賀栽漁センター研報 3, 103.
- 伊東義信・伊賀田邦義・有吉敏和・西田隆英 (1980): バフンウニの種苗生産について. 栽培技研 9(2), 21-26.
- 伊東義信 (1984): ウニ幼生に対する付着珪藻の変態促進効果. 付着生物研究 5(1), 15-18.
- 伊東義信・山田 徹・有吉敏和・野田進治・伊藤史郎 (1985): ウニ類 (アカウニ, バフンウニ, ムラサキウニ) の種苗生産の現状と問題点. 佐賀栽漁センター事報 (昭和55~58年度) 79-96.
- 伊東義信・真崎邦彦・金丸彦一郎・伊藤史郎 (1987a): アカウニの生殖巣成熟に対する飼育水温コントロールの効果. 佐賀栽漁センター研報 1, 1-4.
- 伊東義信・金丸彦一郎・真崎邦彦・伊藤史郎 (1987b): アカウニ稚ウニ期の餌料として有効な付着珪藻の検索-IV, 付着珪藻 *Navicula ramosissima* 単一種を用いたアカウニ幼生の採苗法の検討. 佐賀栽漁センター研報 1, 39-43.
- 伊東義信・伊藤史郎・金丸彦一郎 (1987c): アカウニ幼生の採苗法-II, 採苗時の付着板の設置方法および飼育水の攪拌方法. 佐賀栽漁センター研報 1, 19-23.
- Jensen, R. A. and D. E. Morse (1984): Intraspecific facilitation of larval recruitment gregarious settlement of the polychaete *Phragmatopoma californica*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 83, 107-126.
- 川原逸朗・広瀬 茂・伊藤史郎 (1994a): アカウニの種苗生産. 佐賀栽漁センター事報 (平成4~5年度) 10-17.
- 川原逸朗・広瀬 茂・伊藤史郎・北村 等 (1994b): 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). 佐賀栽漁センター研報 3, 79-83.
- 川原逸朗・広瀬 茂・伊藤史郎・北村 等 (1994c): 塩化カリウムを用いたアカウニの採苗方法の検討 (予報). 佐賀栽漁センター研報 3, 85-89.
- 菊地省吾・浮 永久 (1974): アワビ属の採卵技術に関する研究 第3報 精子濃度と受精率の関係. 東北水研研報 34, 67-71.
- Kishimoto, T. and H. Kanatani (1980): Induction of oocyte maturation by disulfide-reducing agent in the sea cucumber, *Stichopus japonicus*. *Develop., Growth and Differ.* 22(2) 163-167.
- 木下虎一郎・渋谷三五郎 (1939): ナマコ産卵期調査総括. 北海道水試事業旬報 430, 1-6.
- 木下虎一郎・田中正午 (1939): 北海道産海鼠 *Stichopus japonicus* Selenka の食餌について. 水産研究誌 34, 32-35.
- 小林 信・石田雅俊・尾田一成・鶴島治市 (1984): ナマコ *Stichopus japonicus* Selenka の増殖に関する研究-IV. 福岡豊前水試昭和57年度研究事報 111-116.
- 小林 信・石田雅俊 (1984): 稚ナマコの減耗要因に関する二・三の実験. 栽培技研 13(1), 41-48.
- 久保居喜一 (1991): アワビ養殖に取り組んで. 第37回漁村青壮年婦人活動実績発表佐賀県大会要録 1-5.
- 九州農政局佐賀統計情報事務所 (1973): 第19次佐賀農林水産統計年報 (水産編) 昭和46年~昭和47年. 佐賀農林統計協会 265-342.
- 九州農政局佐賀統計情報事務所 (1991): 第38次佐賀農林水産統計年報 (水産編) 平成2年~平成3年. 佐賀農林統計協会 32-39.
- 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及ぼす付着珪藻の効果と採苗ステージについて). 佐賀栽漁センター研報 1, 65-70.
- Matsutani, T. and T. Nomura (1982): Induction of spawning by serotonin in the scallop *Patinopecten yessoensis* (Jay). *Mar. Biol. Lett.* 3, 353-358.
- Maruyama, Y. (1980): Artificial induction of oocyte

- maturity and development in the sea cucumbers *Holothuria leucospilota* and *Holothuria pardalis*. *Biol. Bull.* 158, 339-348.
- 丸山好彦 (1988): ナマコ類, 海産無脊椎動物の発生実験 (石川・沼宮内編), 培風館 東京, pp. 167-174.
- Mitsukuri, K. (1903): Notes on the habits and life history of *Stichopus japonicus* Selenka. *Annot. Zool. Japon.* 5(1), 1-21.
- Morse, D. E. (1984): Biochemical and genetic engineering for improved production of abalones and other valuable molluscs. *Aquaculture* 39, 263-282.
- 日本水産資源保護協会 (1983): 水産用水基準 (改訂版), 日本水産資源保護協会 東京, 29 pp.
- 西広富夫 (1980): トリガイの人工採苗に関する研究-I, 産卵誘発と初期発生, 京都海洋センター研報 4, 13-17.
- 野田進治・伊東義信 (1987): ムラサキウニ幼生の飼育餌料について, 佐賀栽漁センター研報 1, 45-47.
- 野口弘三・伊藤史郎・有吉敏和 (1990): マナモ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.
- 農林水産省統計情報部 (1981): 昭和53年漁業養殖業生産統計年報, 農林水産省統計情報部 12-15.
- 農林水産省統計情報部 (1991): 平成2年漁業養殖業生産統計年報, 農林水産省統計情報部 10-13.
- 小川 浩・鳥島嘉明・井本有治 (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) 57-77.
- 大橋 裕・山本 翠・藤村治夫 (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) 115-148.
- 大滝勝久・下園栄昭・天神 僚 (1984): キタムラサキウニの人工採苗について-I, 浮遊幼生の大量飼育手法と採苗手法, 福島種苗研報 1, 1-18.
- Pearse, J. S., Pearse, V. B. and Davis, K. K. (1986): Photoperiodic regulation of gametogenesis and growth in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. *J. Exp. Zool.* 237, 107-118.
- 酒井克己・小川七郎・池田修二 (1980): 大村湾におけるナマコの天然採苗, 栽培技研 9(1), 1-20.
- Sakairi, K., M. Yamamoto, K. Ohtsu and M. Yoshida (1989): Environmental control of gonadal maturation in laboratory-reared sea urchins, *Anthocardia crassispina* and *Hemicentrotus pulcherrimus*. *Zool. Sci.* 6, 721-730.
- 代田昭彦 (1975): 水産餌料生物学, 恒星社厚生閣 東京, pp. 303-333.
- 高橋和寛 (1992): マナモコの人工種苗生産技術の現状について, 北水試だより 17, 13-15.
- 田島健一郎・山下幸悦・福地 誠 (1991): エゾバフンウニ人工種苗生産の研究II, 変態期幼生の沈着, 北水試研報 36, 61-70.
- 瀧口克己 (1988): マナモコの増殖に関する研究-VIII, 福岡豊前水試研報 2, 77-79.
- Tanaka, Y. (1958a): Seasonal changes occurring in the gonad of *Stichopus japonicus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 9(1), 29-36.
- Tanaka, Y. (1958b): Feeding and digestive processes of *Stichopus japonicus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 9(1), 14-28.
- 田中弥太郎・村越正慶 (1985): セロトニン注射によるイタヤガイの放精・放卵誘起, 養殖研研報 7, 9-12.
- 谷 雄策・伊東義信 (1979): アカウニ幼生の付着および付着珪藻の影響について, 水産増殖 27(3), 148-150.
- 立沢秀高・滝沢悦子 (1993): 海産微細藻類 *Pavlova lutheri* の脂質組成, マリンバイオテクノロジー研究発表会講演要旨集 pp. 109.
- 田内森三郎・松本 巖 (1954): 兵庫県におけるナマコ増殖の効果について, 日水誌 20(5), 386-387.
- 天神 僚 (1983): 昭和55年度キタムラサキウニ種苗量産技術開発試験-II *Chaetoceros* 属3種のウニ幼生に対する餌料効果, 昭和54~56年度種苗量産技術開発研究報告書 57-59.
- 天神 僚・鈴木 信 (1984): 餌料生物としての珪藻の大量培養, 福島種苗研報 1, 35-40.
- 鳥羽光晴・深山義文 (1992): アサリ産卵誘発方法の比較, 水産増殖 40(3), 303-311.
- 徳久三種 (1915): 七尾湾のナマコについて, 水産研究誌 32, 241-246.
- Uki, N. and S. Kikuchi (1984): Regulation of Maturation and Spawning of an Abalone, *Haliotis* (Gastropoda) by external environmental factors. *Aquaculture* 39, 247-261.
- 海野徹也, 武田高明, 若松 秀, 中川平介 (1994): マダイ稚魚の成長および体成分に及ぼす選別の影響, 日水誌 60(4), 499-503.
- Yamamoto, M., M. Ishine and M. Yoshida (1988): Gonadal maturation independent of photic conditions in laboratory-reared sea urchins, *Pseudocentrotus depressus* and *Hemicentrotus pulcherrimus*. *Zool. Sci.* 5, 979-988.
- 柳橋茂昭・柳澤豊重・河崎 憲 (1984): マナモコ種苗生産における浮遊幼生の着底および着底以後の幼若個体の餌料と飼育方法について, 水産増殖 32(1), 6-14.
- 柳澤豊重・本田是人 (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) 19-55.
- Yool, A. J., S. M. Graup, M. G. Hadfield, R. A. Jensen, D. A. Markell and D. E. Morse (1986): Excess potassium induces larval metamorphosis in four marine invertebrate species. *Biol. Bull.* 170, 255-266.

Summary

The sea cucumber, *Stichopus japonicus*, is an important fishery resource on the rocky shores in Japan. As a remarkable decrease has recently occurred in catches, it is expected to make good its population abundance in any parts of Japan, including Saga Prefecture. Concerning the recovery measure for the sea cucumber population in question, it is usual to conduct the artificial seeds restocking in fishing grounds. For this purpose mass and stable production of macro seeds in tank should be achieved, but so many problems in relation to spawning induction and juvenile rearing are not yet resolved. In fact sufficient effect has not necessarily been observed in the seed restocking.

The present studies aim at technical establishment for the mass production of restocking seeds of 10 mm long. The production system developed here is apparently distinguished from other usual ones in application of attached diatoms as initial food. Planktonic larvae represented by *Doliolaria* may transform to juveniles there on the introduction of attached diatoms which is cultivated in tanks for exclusive use (cf. Paragraph No. 2, below), as applied to the developed case of the sea urchin seed production. Additional studies are pursued to recognize biological differences from the viewpoint of seed production between two types called "aonamako" (green type) and "akanamako" (red type) at the market. Further details are given in the following lines.

1. Parent rearing and spawning induction Investigation at the northern coast of Saga Prefecture reveals (i) the spawning season (March-May) by means of gonad measurements in both types mentioned above; (ii) high efficiency of sea mustard, *Undaria pinnatifida*, as rearing food for parents; (iii) industrial possibility of estimation of optimum period for induced spawning by means of fluctuating trend observation on gonad index and oocyte size (in major axis); it results an efficient and mass production of fertilized eggs; (iv) possibility of a half-a-month earlier procurement of fertilized eggs than in the case of parent rearing in the normal temperature, by means of maturation and spawning acceleration under the rearing temperature control. Rates of fertilization and hatching indicate the optimum density of spermatozoon available for insemination ($5-10 \times 10^4$ spermatozoon/mL, or $1-2 \times 10^3$ spermatozoon per ovum.).

2. Planktonic larvae culture and seed collection Metamorphic activity of planktonic larvae fed on attached diatoms is effectively induced at the period when *Doliolaria* larvae are developed in the highest rate. The larvae at this stage are economically produced in the case where planktonic larvae are fed on planktonic diatom such as *Chaetoceros gracilis* and *C. calcitrans*. The metamorphosis of *Doliolaria* larvae to juvenile is more accelerated the higher the density of the attached diatoms from the natural environment is observed in the medium. In this connection it is noted here that mechanical touch with the attached diatoms is indispensable for the larvae under the condition of metamorphic inducement.

3. Rearing of juveniles fed on attached diatoms As a preparatory study, it is investigated how to get rid of harmful copepods from the medium by a trichlorfonic chemical. Experiments provided an appropriate quantity of concentration (0.5-1 ppm) and the time required (8 hrs) for the purpose. These are practically harmless for the growth and survival of the juvenile. Based on the evidence, mass rearing experiments were conducted for juveniles; it was intended there to grow juveniles in the initial stage of metamorphosis up to those of 10 mm long. In this case, aggressive fertilization in the medium, destruction of harmful copepods and illumination control by shade curtains helped together to achieve the purpose, because they are very useful to

keep for a long period an abundance of the attached diatoms as a good nutrients to the juveniles.

4. Rearing of juveniles in the raft-type polyculture with other animals in the sea In relation to the production in the raft type culture of macro seeds for restocking, the polyculture of juveniles as the seed was investigated with sea urchins and abalones; growth and survival were found to progress favorably in mixing with sea urchins rather than in the other cases of the mixing with abalones and the monoculture.

5. Rearing of juveniles in the diked pond The availability as the seed for restocking was investigated on juveniles of 10-20 mm long produced in the tank and reared in the diked pond at the sea. In addition a model experiment was carried out on movement, dispersion, growth and survival of juveniles liberated out into the sea. Reliable evidence was given on expectable effects of the above-mentioned restocking operation in both green and red types. In fact, in comparison with the red type, the growth rate may be higher in the green type, taking into consideration the fact that some samples grew up to a size stage of 100 g in weight 8 months after hatching. It is noted here the green type was found to expand the range of dispersal with its growth.

These results may support the conclusions as follows: (i) the developed technology proposed here is applicable to the seed production for the sea cucumber of both green and red types, because in this case little difference is recognized between them in their growth and survival; (ii) careful consideration should be given, however, in the diked pond with sandy mud bottom, where differences are remarkable between them in such characteristics as growth, movement and dispersal at the juvenile and adult stages.

