

マナマコ中間育成礁「ナマコのゆりかご」の開発 —種苗放流・育成場としての漁港水域の有効活用に向けて—

土木研究所寒地土木研究所 水産土木チーム

松 本 卓 真
稲 葉 信 晴
森 山 健 二
片 口 真 基
穴 裕 司

海洋建設株式会社

目 次

1. はじめに	64	3. ナマコのゆりかごの詳細	69
2. 現地調査・試験の結果	65	3-1 ナマコのゆりかごの仕様	69
2-1 稚ナマコの好適な生息環境	65	3-2 ナマコのゆりかごの特徴	69
2-2 稚ナマコの好適な餌料環境	66	3-3 稚ナマコの放流方法	70
2-3 稚ナマコの新たな食害生物	67	4. 今後の展望	70
2-4 試験礁の効果検証	68		

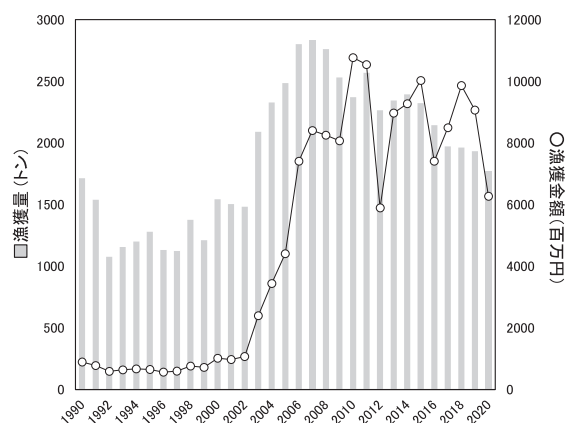
1. はじめに

我が国の重要な水産輸出品目のひとつであるマナマコは、近年、密漁や乱獲等の影響による資源量の減少・枯渇が懸念されており、マナマコの主要な生産地である北海道における漁獲量は2007年をピークに減少傾向にある（図－1）。ナマコ資源回復を目指した人工種苗放流が日本各地で実施されており、北海道においても2009年頃から継続的な種苗放流に取り組んでいるが、漁獲量は未だに減少傾向にあり、期待された放流効果が得られているとは言い難い。これまでの研究において、餌の不足¹⁾、捕食生物による食害^{2), 3)}、波浪による流出^{4), 5)}などが放流後の種苗の成長や生残に悪影響を及ぼす要因として挙げられているが、自然環境下における稚ナマコの分布や生態等に関する知見は十分ではなく、放流効果の向上につながる最適な放流環境の把握や手法の確立が重要な課題となっている。

現在、国内の一部の漁港では漁業者の減少や高齢化、漁業情勢の変化等により施設や用

地に余裕が生じており、漁港機能の再編・集約化が進められている。その中で、漁港水域内の静穏性を背景とした漁港施設の水産生物の増養殖場としての有効活用が進められており、ナマコ種苗放流場として漁港内静穏域を活用する取り組みが実施されている。

そこで我々は、2016年から数年間に渡り北海道内の漁港において放流種苗の生残および成長に影響を及ぼす環境要因に関する現地調

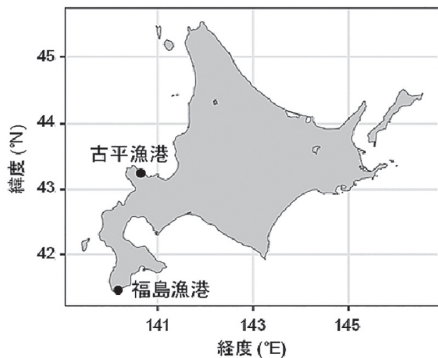


図－1 北海道におけるナマコ漁獲量・漁獲金額の推移

査ならびに実証試験を実施し、高い生残率を維持しつつ短期間での種苗の高成長を可能にする中間育成礁「ナマコのゆりかご」を開発・製品化し、今般特許を取得した。本稿では、「ナマコのゆりかご」の構造等を決定する根拠となった現地調査および実証試験等の結果について概説するとともに、「ナマコのゆりかご」の詳細について紹介する。

2. 現地調査・試験の結果

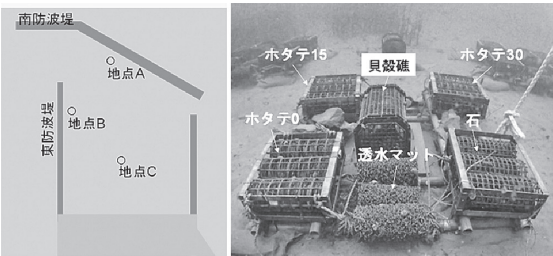
現地調査および実証試験は、北海道南西部に位置する福島漁港と北西部に位置する古平漁港の2箇所において実施した（図－2）。



図－2 調査・試験を実施した漁港

2-1 稚ナマコの好適な生息環境

2016年11月に、福島漁港内の3地点（地点A、B、C）に、空隙や材料が異なる5種類の基質ユニットからなる試験礁を設置した（図－3）。各基質ユニットの仕様を表－1に示す。その後、2016年から複数年に渡り毎年11月前後に試験礁の中心部に配置された小型貝殻礁（貝藻くん、海洋建設株式会社）に約2000個体のマナマコ種苗（体長10～30mm程度）を放流し、放流種苗が小型貝殻礁から試



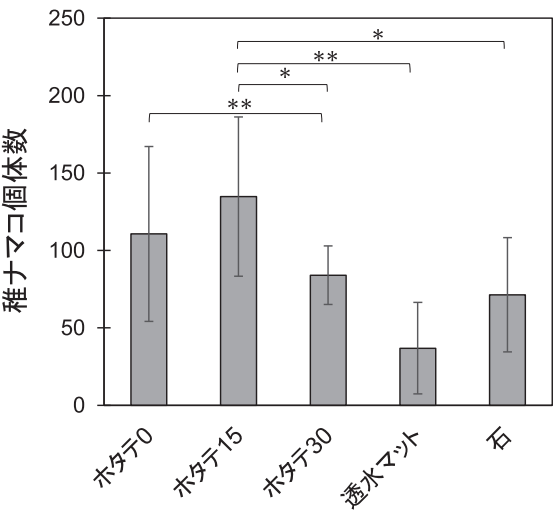
図－3 調査地点と試験礁の外観

験礁内のどの基質ユニットに移動・定着したのかを1年間、約3カ月に一度の頻度で各地点から基質ユニットを陸上に揚げし、稚ナマコの計数および体長、湿重量の測定を行うことにより評価した。

表－1 基質ユニットの基質材料と構造

種類	基質材料	構造
ホタテ0	ホタテ貝殻	メッシュパイプ内に貝殻を0mm間隔で配置
ホタテ15	ホタテ貝殻	メッシュパイプ内に貝殻を15mm間隔で配置
ホタテ30	ホタテ貝殻	メッシュパイプ内に貝殻を30mm間隔で配置
透水マット	ポリプロピレン	丸型ヘチマロン（内部中空型）
石	割石（代表径2～4cm）	メッシュパイプ内に割石を充填

図－4は2018年の調査期間を通じて出現した稚ナマコの基質ユニット毎（地点BとC）の個体数の平均値を示したものである。放流から3カ月後の時点では、ホタテ基質（特にホタテ0と15）に出現した個体数が多く、その傾向は放流から12カ月後も大きく変わらず、1年間を通じて出現した個体数はホタテ15で有意に他の基質よりも高い値であった。その傾向は他の年でも同様であったことから、ホタテ貝殻かつ基質間隔が15mmの環境が放流種苗に選択され、好適な生息場であることが示唆された。また、漁港外からの漂砂の



図－4 基質ユニット毎に出現した稚ナマコ個体数（2018年）
（**：p<0.01、*：p<0.05）

影響を強く受けたことにより試験礁の埋没が見られた港口付近に位置する地点A（写真－1）では、極端に生残数が低かったことから、土砂の堆積による生息環境の悪化が生残率の低下を引き起こしたと考えられた。



写真－1 地点Aにおける試験礁の埋没状況

2-2 稚ナマコの好適な餌料環境

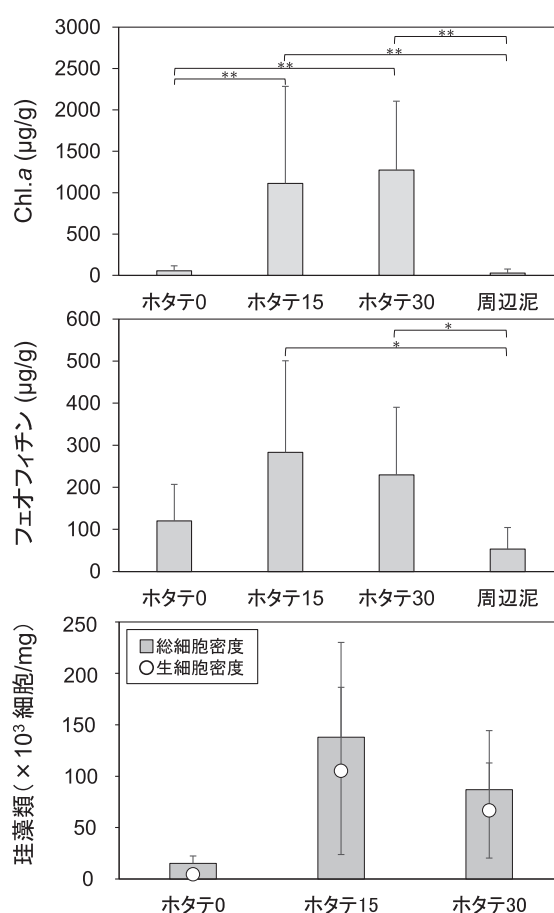
上記の生息環境に関する調査から稚ナマコに選択され、生息に好適であることが示唆されたホタテ貝殻を用いた基質ユニット（ホタテ0、15、30）中の餌料環境について調査を行った。福島漁港において3ヵ月に一度の頻度で試験礁を陸上に揚げ、礁内の稚ナマコの主要な餌料源となる基質上のバイオフィルムを採取し、餌料環境の指標となるバイオフィルム中の色素量（クロロフィルaおよびフェオフィチン）、有機物量（全有機炭素および全窒素）、微細藻類（珪藻類）について分析を行った（写真－2）。



写真－2 バイオフィルム採取後のホタテ貝殻基質

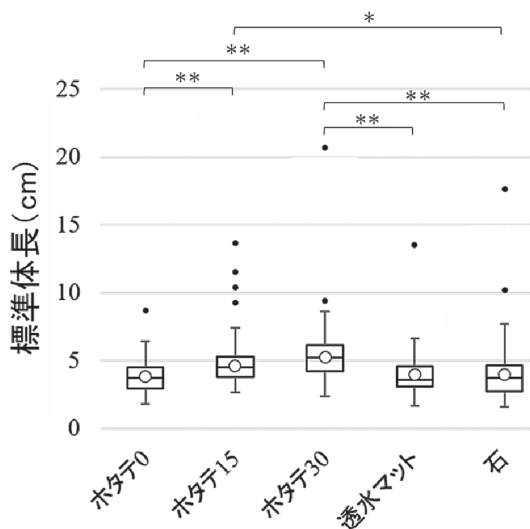
図－5に調査期間中のバイオフィルム中の平均の色素量（2018年）および珪藻類の細胞密度（2019年）を示す。クロロフィルa量

に関しては、基質間隔が大きくなるほど高い値を示し、ホタテ15と30では有意な差が認められなかったものの、ホタテ15はホタテ0および試験礁周辺の底泥（周辺泥）と比較して有意にクロロフィルa量が高く、ホタテ0の平均値の約20倍という高い値を示した。一方で、フェオフィチンの量に関しては、ホタテ基質ユニット間で有意な差は見られなかったが、周辺泥と比較するとホタテ15と30が有意に高いという結果が得られた。全有機炭素および全窒素についても、クロロフィルaと同様にホタテ0、15、30の順に値が大きくなった。珪藻類の細胞密度についても、ホタテ0と比較してホタテ15および30で高い値（5.7～9.1倍）であった。さらに、総細胞密度に占める生きた珪藻細胞の割合は、ホタテ15とホタテ30では、いずれも約76%であったのに対して、ホタテ0では約30%と低い値であった。これは、ホタテ0では基質が隙間なく配置されているため、ホタテ15および30よりも



図－5 ホタテ貝殻基質ユニットの餌料環境の比較 (**: p<0.01, *: p<0.05)

珪藻類の増殖に必要な光環境が悪く、基質上において珪藻類が増殖しにくい環境であったことが原因と考えられる。礁内の稚ナマコの糞からはバイオフィルム中に出現した珪藻類が多く観察されるとともに、その大部分が細胞質を失った死細胞であったことから、基質上の珪藻類が餌として稚ナマコに利用されていたと考えられる。有機物や珪藻類は特にマナマコ稚仔の主要な餌料源であることから⁶⁾、それらが豊富に存在するホタテ15および30は、稚ナマコにとって良好な餌料環境であることが示唆された。実際、放流から約10ヵ月後の稚ナマコの平均体長（2018年）を基質別に比較すると、餌料環境が良好であったことが示されたホタテ15および30において他の基質よりも有意に大きかった（図－6）。以上の調査結果より、放流後の生残率と餌料環境の両方において優れた結果を示したホタテ15が、稚ナマコの生息環境および餌料環境として最良であったことが明らかとなった。



図－6 各基質ユニットに出現した個体の標準体長（2018年）
 (Box-plot: 四分位点間距離、●:外れ値、○:平均標準体長)**: $p < 0.01$ 、*: $p < 0.05$
 (稲葉ら 2020⁷⁾一部改変)

2-3 稚ナマコの新たな食害生物

ナマコを含む無脊椎動物の個体群動態は捕食による影響を大きく受けることが知られている^{8),9)}。一方、これまで報告されているマナマコの食害生物としてはイトマキヒトデなどが挙げられるが²⁾、食害生物に関する知

見は限定的である¹⁰⁾。そこで本研究では、福島漁港において、基質ユニット内に優占したカニ類およびヤドカリ類を採集し、食害生物としての可能性を検討した。

調査期間中の出現種数は、カニ類が7種、ヤドカリ類が3種の合計10種であり、カニ類ではオオヨツハモガニ、ヤドカリ類ではケブカヒメヨコバサミが季節を問わず優占した。調査期間中の最優占種であったオオヨツハモガニおよびケブカヒメヨコバサミの胃内容物からはマナマコの骨片がコンスタントに検出され（写真－3）、調査期間中の礁内のカニ・ヤドカリ類と稚ナマコの個体数は有意な負の相関を示した。

優占種の1種であるオオヨツハモガニが実際にマナマコ幼稚仔を捕食するのを確認するため、現地にて採集したオオヨツハモガニを用いた稚ナマコ（標準体長10mm以上20mm未満）捕食試験を実施した。試験方法等の詳細については、Inaba et al. (2021)¹²⁾および稲葉ら (2022)¹³⁾を参照されたい。試験全体でのオオヨツハモガニの稚ナマコ捕食速度の平均は、 7.7 ± 2.4 個体/日であった。稚ナマコの食害生物としてこれまで最も危険視されていたイトマキヒトデの捕食速度は平均1.8個体/日であることから、オオヨツハモガニはイトマキヒトデの4倍以上の速度で稚ナマコを捕食する脅威的な捕食者である可能性が示された（写真－4）。以上の現地調査および室内試験の結果から、天然環境下においてオオヨツハモガニによる稚ナマコの捕食が行われていることが示唆されるとともに、オオヨツハモガニによる食害対策の重要性が新たに示された。

一方で、体長30mm以上の稚ナマコを用いた予備試験では、オオヨツハモガニが捕食に至るまで半日以上を要した¹³⁾。ハネジナマコの種苗放流において、放流サイズが大型になるほど捕食の影響が大きく低減されることから¹⁴⁾、マナマコ種苗についても一定のサイズまで成長後はオオヨツハモガニ等の捕食者による影響を受けにくくなると推察される。よって、放流種苗が捕食者の影響を受けにくいサイズに成長するまでの期間の食害対策が特に重要であると考えられる。

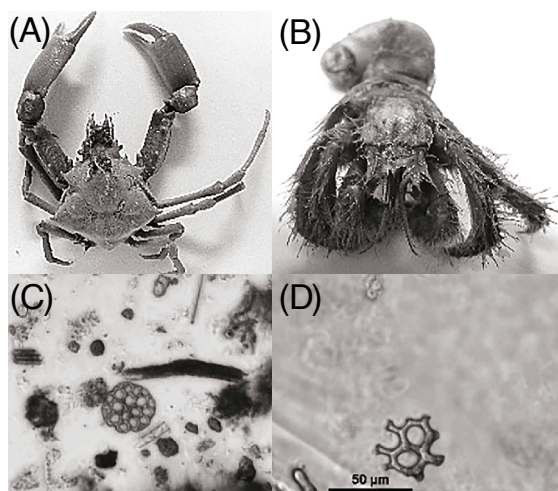


写真-3 試験礁中で優占したカニ・ヤドカリ類
(A) オオヨツハモガニ、(B) ケブカヒメ
ヨコバサミ、(C)、(D) 胃内容物中のマ
ナモコ骨片(稲葉ら2021¹¹⁾)



写真-4 稚ナマコを捕食するオオヨツハモガニ

2-4 試験礁の効果検証

上記の現地調査および試験の結果に基づいて構造等を決定した試験礁を、2019年12月に福島漁港に、2020年12月に古平漁港の港内に設置し、稚ナマコの放流を行った(写真-5)。試験礁外部は食害生物の侵入抑制を目的とする異なる複数の目合(2.1~7.8mm)のメッシュで覆い、内部には生息空間としてホタテ貝殻を15mm間隔で配置した。図-7は放流から6ヵ月後(福島漁港)および9ヵ月後(古平漁港)の礁内の稚ナマコの生残率および成長を、メッシュで覆っていない対策なし礁と比較した結果、写真-6は放流時および礁内で成長した稚ナマコの写真を示している。生残率に関しては、試験礁では福島漁港で最大100%、古平漁港で97%と非常に高い値が得られた一方で、対策なし礁では福島漁港と古平漁港でそれぞれ60%と15%であった。稚ナマコの標準体長については、試験礁

で $48.41 \pm 16.32\text{mm}$ (平均 $\pm$ SD)と対策なし礁($47.94 \pm 13.72\text{mm}$)よりも高く(福島漁港)、稚ナマコ総重量(平均)に関しても、試験礁では対策なし礁と比較して、両漁港ともに1.5倍以上の高い値が得られた。以上の結果は、メッシュで被覆することにより、捕食生物の礁内への侵入を防止するとともに、礁外への種苗の流失(散逸)が防がれたこと、さらに礁内に種苗にとって好適な生息環境および餌料環境を創出したことが、高い生残率の維持、高成長につながったと考えられる。以上の検証結果から、稚ナマコの生息環境および餌料環境を最適化し、食害生物による影響を抑制した本礁を活用することで、放流した稚ナマコの減耗を抑えつつ、短期間で効率的に成長させることが可能であることが示された。

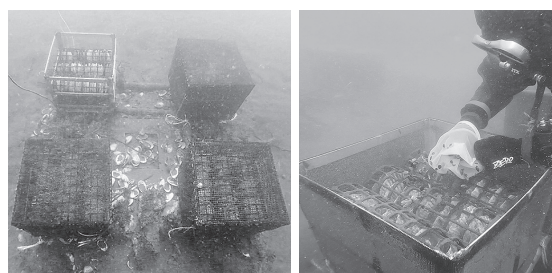


写真-5 試験礁の外観と稚ナマコ放流の様子

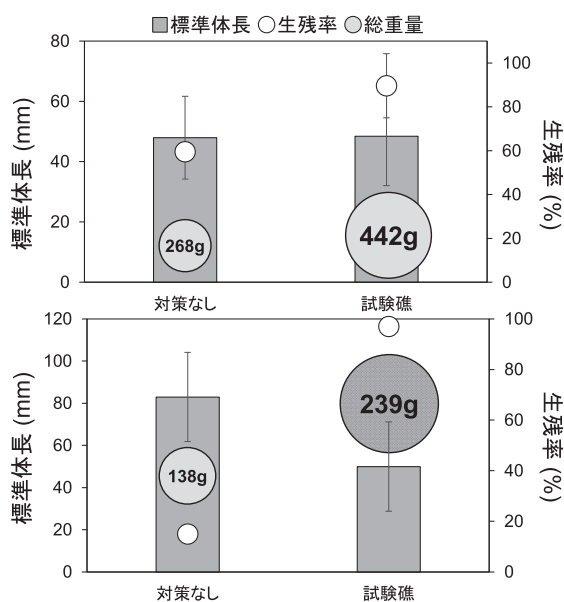
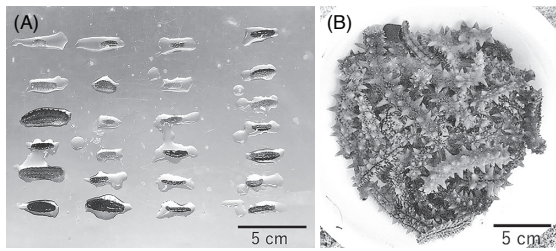


図-7 試験礁と対策なし礁の稚ナマコの生残率および成長の比較(上: 福島漁港、下: 古平漁港)



写真－6 (A)放流時の稚ナマコ、
(B)礁内で成長した稚ナマコ

3. ナマコのゆりかごの詳細

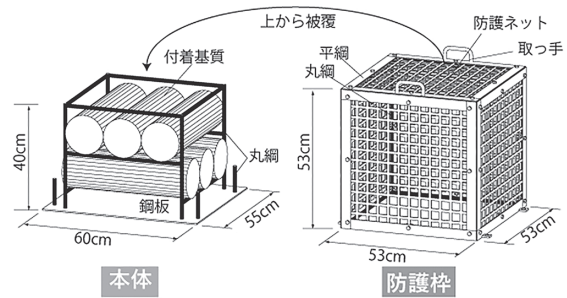
製品化に当たっては、上記の試験・調査の結果に基づき設計を行った。製品化した「ナマコのゆりかご」の仕様および特徴を以下に示す。

3-1 ナマコのゆりかごの仕様

ナマコのゆりかごの仕様および構造・外観を表－2および図－8に示す。本製品は本体と防護枠の2つに分かれており、本体のサイズは幅600mm、長さ550mm、高さ400mm、質量26kgで、防護枠は幅533mm、長さ533mm、高さ533mm、質量19kgであり、本体と防護枠を合わせた総質量は45kgと比較的軽量である。材質は本体と防護枠のフレームおよび底面は鋼材（SS400）、稚ナマコの付着基質に使用する貝殻はホタテガイ殻、パイプには高密度ポリエチレン製のメッシュパイプ、防護ネットには目合8mm以下のポリエチレン製ネットを使用している。

表－2 ナマコのゆりかごの主な仕様

部材	サイズ	重量	材質
本体	幅:600mm	26kg	フレーム:鋼材(SS400) 底面:鋼材(SS400)
	長さ:550mm		
	高さ:400mm		
防護枠	幅:533mm	19kg	フレーム:鋼材(SS400) ネット:ポリエチレン
	長さ:533mm		
	高さ:533mm		



図－8 ナマコのゆりかごの構造(上)と外観(下)

3-2 ナマコのゆりかごの特徴

ナマコのゆりかごの特徴を以下に示す。

- ①稚ナマコの付着基質には、放流後の生残率・餌料環境ともに最も優れていたホタテ貝殻を15mm間隔で配置した基質を採用した。
- ②土砂の堆積による生息環境の悪化に対応するため、基質底面を座上げし、付着基質を2段組とした。また、鋼板により底面積を広くとることで海底面に対する接地圧を低く抑えた。このような構造とすることで、土砂の流入が多い場所、底質が軟らかく施設の埋没・沈下が懸念されるような環境下においても稚ナマコの生息場としての好適環境を維持することができる。
- ③食害生物の侵入および初期の稚ナマコの散逸を防ぐための防護ネットを装着した。防護ネットの素材は形状が安定し耐久性に優れるポリエチレンを採用し、目合は稚ナマコの捕食が可能な甲幅10mm以上のカニ類が侵入できないように8mm以下となるものを基本としている。目合は細かい方が稚ナマコの周囲への逸散が減り滞留率が高まるが、浮泥や付着物の多い場所では目詰まりが懸念されるため、8mm以下の範囲で

適切な目合を設定する。

- ④防護枠の骨組み、ネット固定部に鋼材を使用することで耐久性・形状の安定性を高めている。
- ⑤防護枠と本体との装着部は脱着が容易にできるようにした。また、鋼材と本体底面の鋼板が密接するため、外敵生物の侵入、稚ナマコの流失を極力防げる構造となっている。
- ⑥小型・軽量とすることで、大型クレーン等の重機を必要とすることなく、実際に種苗放流や中間育成などを実施する漁業者らが自らの工夫で活用できるサイズとした。
- ⑦稚ナマコの育成礁として特許を取得している¹⁵⁾。

3-3 稚ナマコの放流方法

ナマコのゆりかごを用いた稚ナマコの放流は、ダイバーにより行うことが基本となるが、工夫次第ではダイバーに頼ることなく実施することも可能である。ここでは、これまで筆者らが実施してきた2つの方法を示す。

1つ目の方法はダイバーによる放流手法で、開発時から想定していたものである（図-9）。まず、ナマコのゆりかご本体に餌となる珪藻等を付着させるため、放流事前に防護ネットを装着した状態で海中に設置する。一定期間（数日～1ヵ月程度）経過後、放流する稚ナマコを蓋つきのタッパー等に入れ、ダイバーによりナマコのゆりかご本体に放流し、即座に防護枠を装着する。放流の際には、慎重な操作、静穏なタイミングでの実施を心掛け、流動環境に合わせて、礁外への稚ナマコの流出を最小限にするための方法を採用する（例えば、蓋を軽く開けた状態の容器ごと防護枠を装着し、後日、容器のみを回収するなど）。その後、海域環境にもよるが、概ね半年後にダイバーにより防護枠を取り外すことで、食害を受けにくいサイズまで成長した稚ナマコの周囲への分布拡大を促す。

もう1つの方法は船上（陸上）でゆりかご本体に稚ナマコを収容し、防護枠を装着した状態で海底に降ろして設置することによって放流を行う手法である（図-10）。この手法では放流時にダイバーが不要となること、ま

た、放流時の礁外への稚ナマコ流出が発生するリスクが低いことがメリットとなる。防護枠の取り外しは、本体ごと船上に引き上げるか、ダイバーにより海中で防護枠を取り外すかになる。なお、船上に引き上げる場合は、設置時に防護枠の取っ手部にロープとブイを予め付けておく必要がある。

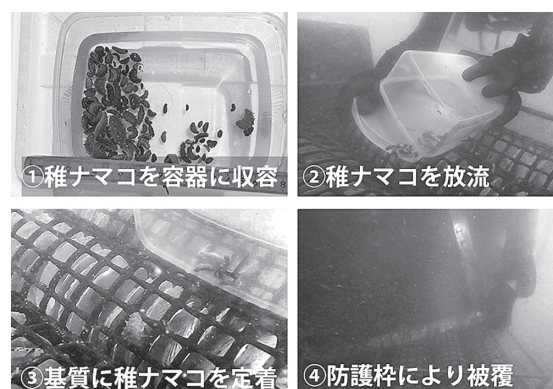


図-9 ダイバーによる稚ナマコ放流イメージ

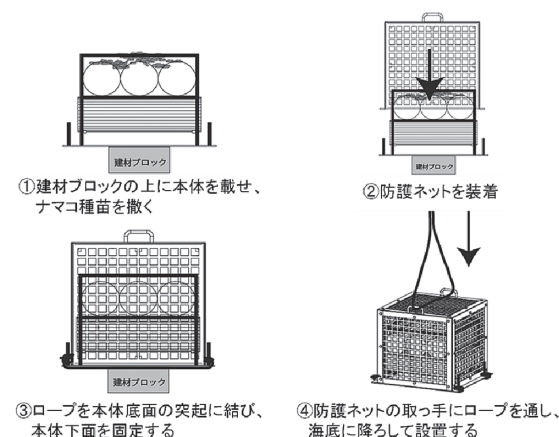


図-10 船上からの稚ナマコ放流イメージ

4. 今後の展望

冒頭で述べたように、マナマコの漁獲量は減少傾向が続いており、全国各地で種苗生産・放流、漁場造成など様々な取り組みが行われている。オオヨツハモガニのような影響の大きい食害生物が分布する北海道はもちろん、本州・四国・九州の各海域においても放流後の稚ナマコの定着は大きな課題となっている。こうした状況下において本技術・製品は小型軽量で取り回しが容易であることから、漁業集落単位の小さなコミュニティでも

活用できるものである。2023年7月～11月には、香川県さぬき市海域でも試験的に施設の設置および稚ナマコの放流調査を行い、ナマコのゆりかご内での稚ナマコの成長を確認した（写真－7）。今後は、活用事例なども含めて情報発信を積極的に行っていくことで普及を図り（写真－8）、現地で新たに得られた知見をフィードバックしていくことで、マナマコの種苗放流技術の発展、資源の維持・回復に努めていく所存である。



写真－7 香川県海域での調査状況

稚ナマコの育成礁 特許第7298829号

ナマコのゆりかご

ナマコのゆりかごは、(国研)土木研究所寒地土木研究所・水産土木チームと海洋建設(株)の共同研究により開発されました。生産コスト面からも望まれているマナコの小型種苗(体長1cm程度)を外敵から保護し、確実に成長させることのできる育成礁です。

ナマコのゆりかご

本体ブロック
ホタテガイ殻が稚ナマコの生息基盤になります

防護ネット
取り外しが容易で、稚ナマコを外敵から守ります

主な仕様

品名	ナマコのゆりかご
材質	鋼材(SS400)、パイプ・ネット:高密度ポリエチレン、ホタテガイ殻
サイズ	本体:幅600mm、長さ550mm、高さ400mm、質量26kg 防護枠(枠組:押さえ):幅589mm、長さ533mm、高さ533mm、質量19kg

写真－8 普及用パンフレット

参考文献

- 1) 古川奈未、古川佳道、山名裕介、柏尾翔、植草亮人、五嶋聖治:人工礁に放流した稚ナマコの成長と生残、北海道大学水産科学研究集報、Vol.66、pp.39-46、2016。
- 2) 畑中宏之、上奥秀樹、安田徹: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、Vol.42、pp.563-566、1994。
- 3) Francour, P. : Predation on Holothurians: A Literature review, Invertebrate Biology, 116, pp.52-60, 1997.
- 4) 草加耕司、泉川晃一、池田善平:マナマコ種苗の放流手法の検討、岡山県水産試験場研究報告、Vol.10、pp.30-36、1995。
- 5) 中島幹二、坂東忠男、吉村圭三、瀧谷明朗:宗谷海域におけるマナマコ人工種苗放流サイズの検討、北海道立水産試験場研究報告、Vol.67、pp.97-104、2004。
- 6) Xu, Q., Hamel, J.-F., Mercier, A. : Feeding, digestion, nutritional physiology, and bioenergetics, The Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*: History, Biology, and Aquaculture, Academic Press, pp.153-175, 2015.
- 7) 稲葉信晴、松本卓真、梶原瑠美子、松野孝平:稚ナマコの餌料環境についての検討、寒地土木研究所月報、No.802、pp.71-75。
- 8) Gosselin, L., Qian, P. : Juvenile mortality in benthic marine invertebrates, Mar. Ecol. Prog. Ser., 155, pp.269-301, 1997.
- 9) Bell, J.D., Munro, J.L., Nash, W.J., Rothlisberg, P., Loneragan, N.R., Ward, R., Andrew, N.R. : Restocking and stock enhancement of marine invertebrate fisheries, Adv. Mar. Biol., 49, pp.1-374, 2005.
- 10) Yu, Z., Yang, H., Hamel, J.F. : Larval, juvenile and adult predators, The Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*: History, Biology and Aquaculture, Academic Press, pp.243-256, 2015.
- 11) 稲葉信晴、大橋正臣、白井さわか、的野博行:稚ナマコ中間育成基質中のカニ・ヤドカリ類の出現状況、寒地土木研究所月報、No.817、pp.39-42、2021。
- 12) Inaba, N., Matsumoto, T., Kawai, H., Anaguchi, Y., Matsuno, K. : Predation of juvenile Japanese sea cucumber *Apostichopus japonicus* by kelp crab *Pugettia ferox*, Front. Mar. Sci., 8:684989, 2015.
- 13) 稲葉信晴、松本卓真、白井さわか、的野博行:オオヨツハモガニ(*Pugettia ferox*)によるマナマコ稚仔の捕食、寒地土木研究所月報、No.828、pp.38-43、2022。
- 14) Purcell, S., Simutoga, M. : Spatio-temporal and size-dependent variation in the success of releasing cultured sea cucumbers in the wild, Rev. Fish. Sci. Aquac., 16, pp.204-214, 2008.
- 15) 海洋建設株式会社、国立研究開発法人土木研究所。片山真基、穴口裕司、稲葉信晴、的野博之。稚ナマコの育成礁。特許第7298829号。2023-06-27。