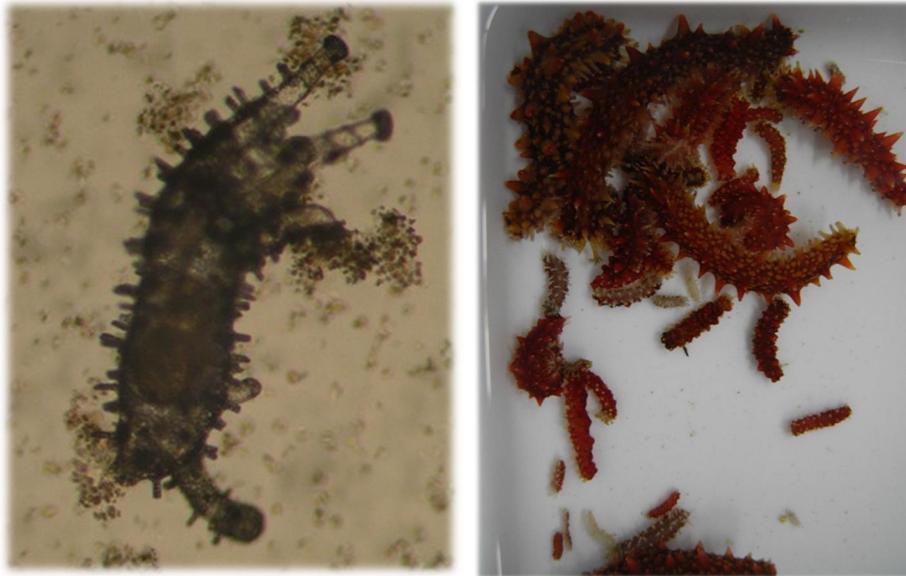


マナマコ人工種苗放流マニュアル
(2022 年度版)



2023 年 3 月

北海道立総合研究機構 函館水産試験場

はじめに

本マニュアルは、利用者される方が放流種苗を自分たちで生産するか購入するか、その場合の生産(購入)サイズ、放流方法や放流場所を、記載した試験結果や調査事例を参考に決めて頂くために作成しました。総論にマニュアルの概要をまとめ、その根拠とした関連する項目を各論にひもづけています。

目次または総論で、①～④までの関連する項目を選択すると、各論でその詳細を確認いただけます。

また、各ページの最後に[目次に戻る](#)、[総論の先頭に戻る](#)、[各論の先頭に戻る](#)の3つのリンクを設定しているので、ここからそれぞれの場所にジャンプできます。

本マニュアルは主に道総研経常研究「マナマコ資源増大Ⅱ DNA 標識技術を利用した放流追跡調査(平成 26 年～平成 29 年)」ならびに「マナマコ資源増大Ⅲ マナマコ人工種苗放流技術マニュアル化試験(平成 30 年～令和 4 年)」の成果をとりまとめて作成しています。

また、ナマコの餌環境に関わる情報は北海道大学大学院水産科学研究院海洋生物学教室と、行動特性に関わる情報は北海道大学大学院水産科学研究院水産工学研究教室と共同で、H28 年度、H29 年度 国補正予算 輸出重要種資源増大等実証委託事業予算を活用して進めてきた事業の成果も含まれます。

なお、本マニュアルに掲載している事例のうち、平成 19 年～平成 25 年まで栽培水試で行った追跡調査と、H26 年以降に函館水試で実施した追跡調査は全て、H21 年～H24 年に東北大学大学院農学研究科と共同で実施した重点研究「DNA 解析によるマナマコの放流効果推定技術の開発と系群構造の解明」で開発した、8 マイクロ座のアリル型に基づく親子鑑定技術¹⁾²⁾を利用して、放流種苗か在来個体かを判別しています。¹

また、本マニュアルで紹介している各調査には宗谷漁協、いぶり中央漁協、室蘭漁協、いぶり噴火湾漁協、鹿部漁協、えさん漁協、ひやま漁協、鹿部町、奥尻町、せたな町、胆振地区水産技術普及指導所、渡島地区水産技術普及指導所、檜山地区水産技術普及指導所ならびに北海道大学大学院水産科学研究院海洋生物学教室と同水産工学研究教室の多方面にわたる協力をいただきました。

令和 5 年 3 月 31 日

道総研 函館水産試験場 酒井勇一

¹放流種苗の親と調査などで採取した個体のマイクロ座(核 DNA の数塩基の繰り返し配列部分)を PCR で増幅して、アリル型を基に親由来の遺伝子を持たない個体を排除して人工種苗を判別する技術。このマニュアルでは PARFEX³⁾というフリーソフトを使って親子鑑定しています。

目次

| | |
|----------------------------|----|
| 目次..... | 2 |
| 総論..... | 5 |
| ○放流種苗について..... | 5 |
| ・放流サイズと放流時期..... | 6 |
| ・生産(放流)個体数..... | 6 |
| ・種苗放流による経済効果..... | 7 |
| ○着底稚仔を直接放流する方法について..... | 9 |
| ○着底稚仔を海中育成・放流する方法について..... | 10 |
| ○当歳種苗を直接放流する方法について..... | 11 |
| ○当歳種苗を海中育成・放流する方法について..... | 12 |
| ○越冬種苗を放流する方法について..... | 13 |
| ○種苗放流に関わる情報..... | 14 |

| | |
|-------------------------|----|
| 各論..... | 15 |
| ①着底稚仔の放流時期..... | 15 |
| ②着底稚仔放流適地の検討..... | 16 |
| ②-1 採苗器を用いる場合..... | 16 |
| ②-2 採苗器を用いない場合..... | 17 |
| ③着底稚仔の放流方法..... | 18 |
| ③-1 採苗器を用いる場合..... | 18 |
| ③-2 採苗器を用いない場合..... | 19 |
| ③-3 放流稚仔の計数..... | 19 |
| ③-4 着底稚仔の運搬..... | 20 |
| ③-5 船上からの放流..... | 21 |
| ③-6 潜水放流..... | 23 |
| ④放流密度..... | 24 |
| ④-1 採苗器を用いる場合..... | 24 |
| ④-2 採苗器を用いない場合..... | 25 |
| ⑤追跡調査事例(着底稚仔直接放流)..... | 27 |
| 【白老地区での事例】..... | 27 |
| 【せたな町大成区での事例】..... | 30 |
| ⑥着底稚仔の海中育成..... | 33 |
| 【白老地区の事例】..... | 33 |
| 【せたな町大成区の実例】..... | 35 |
| ⑦着底稚仔の海中育成による経済効果..... | 36 |
| 【白老地区の事例】..... | 36 |
| 【せたな町大成区の実例】..... | 36 |
| ⑧当歳種苗の放流時期..... | 38 |
| ⑨当歳種苗の放流場所..... | 38 |
| ⑩当歳種苗の放流方法..... | 38 |
| ⑪当歳種苗の放流密度..... | 40 |
| ⑫追跡調査事例(当歳種苗の直接放流)..... | 42 |
| 【豊浦地区】..... | 42 |
| 【虻田地区】..... | 45 |
| 【せたな町大成区】..... | 47 |
| 【奥尻地区】..... | 49 |
| ⑬海中育成方法(当歳種苗)..... | 51 |
| ⑬-1 育成に用いる籠の目合い..... | 51 |
| ⑬-2 海底設置籠による方式..... | 52 |

| | |
|--------------------------------|----|
| ⑬-3 海中に育成施設を垂下する方式..... | 53 |
| ⑬-4 海中育成の経済効果..... | 55 |
| ○越冬種苗の放流について..... | 56 |
| ⑭越冬種苗の放流時期..... | 56 |
| ⑮越冬種苗の放流場所..... | 56 |
| ⑯越冬種苗の放流方法..... | 56 |
| ⑰越冬種苗の放流密度..... | 56 |
| ⑱追跡調査事例(越冬種苗の放流)..... | 58 |
| 【せたな町大成区_袋潤への放流事例】..... | 58 |
| 【せたな町大成区_ A 漁港】..... | 59 |
| 【奥尻町の事例】..... | 62 |
| 【宗谷漁協の事例】 ¹²⁾ | 64 |
| 【長崎県の事例】 ⁹⁾ | 64 |
| ⑲放流適地..... | 65 |
| ⑲-1) 食害..... | 65 |
| ⑲-2) 餌(マナマコの摂餌物)..... | 67 |
| ⑲-3) 波浪による逸散..... | 69 |
| ⑲-4) マナマコの分布域..... | 70 |
| ⑳種苗放流によるリスク(遺伝的多様性への影響)..... | 71 |
| ㉑生態..... | 73 |
| 【成熟サイズ】..... | 73 |
| 【産卵期】..... | 73 |
| 【摂餌物】..... | 74 |
| 【成長】..... | 74 |
| 【行動_水平方向の移動】..... | 75 |
| 【行動_垂直方向の移動】..... | 76 |
| 【寿命】..... | 78 |
| ㉒調査方法..... | 79 |
| ㉒-1 放流種苗と在来個体の判別..... | 79 |
| ㉒-2 残留率..... | 80 |
| ㉒-3 漁獲物調査(市場調査)..... | 80 |
| ㉓流通..... | 81 |
| 【参考文献】..... | 85 |

総論

○放流種苗について

放流用の種苗には、自分たちで地場の親から生産する種苗のほか、北海道栽培漁業振興公社などで販売されている放流地先の親を用いた 10 mm種苗(30 円/個体)や 30 mm種苗(60 円/個体)があります。

※ 放流地先の遺伝的多様性を維持し、次世代に資源を残すために H24 年に公表した放流用種苗生産指針¹⁾

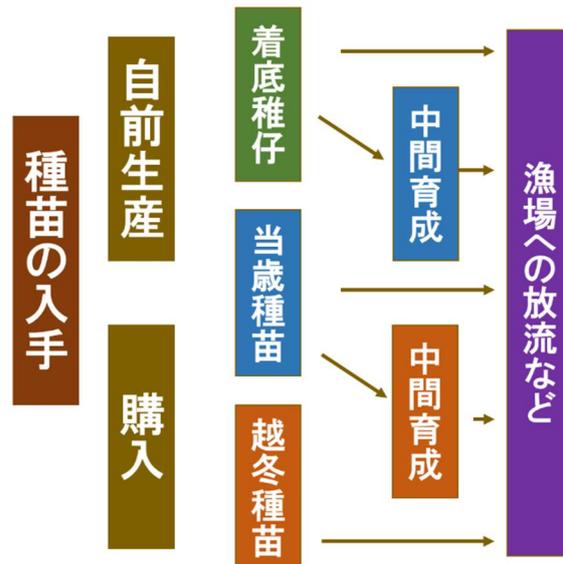
<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/saibai/section/saibai/att/namakoshishin.pdf> に則って、できるだけ多くの放流予定地先の親を使って生産した種苗を放流してください。

道内では北海道栽培漁業振興公社(以下栽培公社)などで 10 mm以上のマナマコの種苗を販売しています。

一方、着底稚仔や 10 mm以下の種苗は販売されていないため、自分たちで生産します。

着底稚仔の生産個体数の目安は、水槽 1t当たり 20~100 万個体程度で、当歳種苗や越冬種苗²⁾に比べ数を多く生産できます。

確保した種苗は、下の図のような育成を経て放流されることとなります。



²⁾ このマニュアルで着底稚仔は変態直後の体長 0.4 mmの人工種苗を、当歳種苗は体長にかかわらず着底稚仔を生産した当年内に放流した人工種苗を、越冬種苗は上記以外の人工種苗を示します

・放流サイズと放流時期

着底稚仔は採卵してから 2～3 週間で放流されるため、放流時期は産卵開始期から終了時期の 2～3 週間後までの間になります。一方、当歳種苗は採卵した年の 12 月頃までに、越冬種苗は厳冬期を避けて、翌年の 4～7 月までに放流します。

道内の主な産卵期と放流時期の目安は表 1 のようになります。

表 1 道内各地の産卵期に基づく放流時期目安

| | 月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|-------|---|-------|------|----|------|-----|-----|-----|
| | | | 産卵期 | | | | | |
| 種苗サイズ | | | 着底稚仔 | | 当歳種苗 | | | |
| | | | ● | ● | | | | |
| | | | 越冬種苗 | | | | | |
| | | | ● | | | | | |
| | 月 | 翌年 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 |
| 種苗サイズ | | | 越冬種苗 | | | | | |
| | | | ● | | | | | |

・生産(放流)個体数

道総研で開発・改良した種苗育成技術⁴⁾や道総研と水産資源研究所(旧北水研)が共同開発した餌飼料⁵⁾により、マナモコの種苗生産技術は格段に進歩しました。

図1は令和3年度と令和4年度に道内の種苗生産施設に「北海道種苗生産者担当者会議」が行ったアンケート調査を基に、水槽容積 1t 当たりの種苗生産能力をまとめたものです。大きい種苗を作るためには広いスペースが必要になり、生産数も限られます。

体長 0.4 mm の着底稚仔は 1t の海水容量当たりの 20～100 万個体生産できますが、体長 10 mm の当歳種苗と 30 mm 種苗(越冬種苗サイズ)の生産数はそれぞれ 1～2 万個体と 0.1～0.2 万個体です。

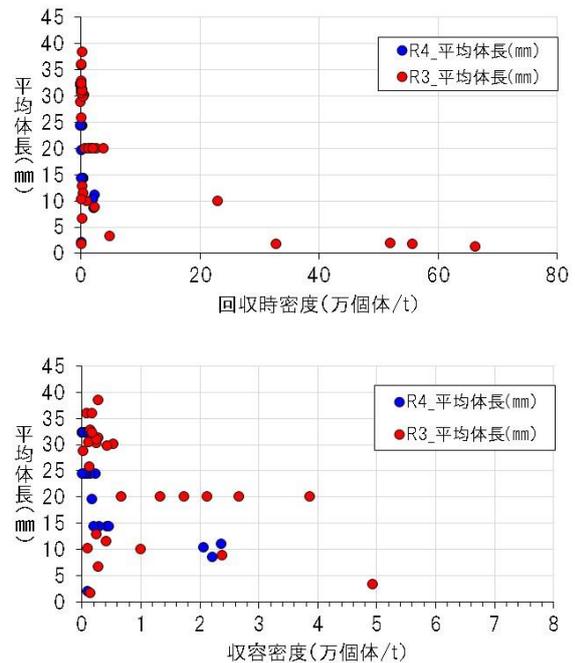


図 1 水槽飼育時の回収時密度と平均体長

下図は上図の一部を拡大して表示

・種苗放流による経済効果

北海道産のマナマコ魚価を 5,000 円/kg とした場合の、漁獲回収により期待される収益を、種苗単価別に図 2 に示しました。

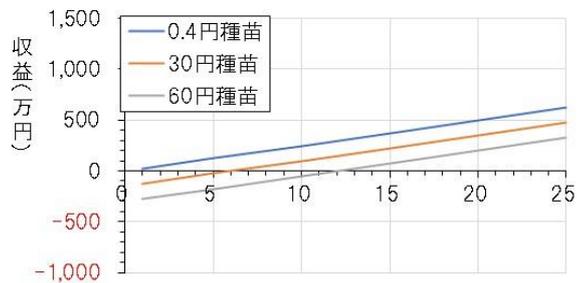
種苗単価が安く、放流個体数が多い程、収益も増えます。また、高価な種苗ほど、多く漁獲できなければ投資を回収できません(表 2)。

表 3 にせたな町大成区で H27 年～R3 年まで行った放流区周辺での漁獲物調査から、着底稚仔、当歳種苗、越冬種苗の投資効率³について検討した事例を示しました。後述するように、マナマコは少なくとも 12 年以上生き残り漁獲され続けるので、7 年間の調査結果であるこの表は、まだ調査途上のものであります。これまでの調査では、着底稚仔に比べて、当歳種苗や越冬種苗の方が漁獲回収率⁴は高い傾向にあります。一方、投資効率は種苗単価の安い着底稚仔の方が高くなります。

H25 年～R3 年までの漁獲物調査で、H22 年～H24 年に白老地区で放流した着底稚仔は、表 4 のように資源に添加し、投資効率は栽培漁業の優等生とされるシロサケと同等です。

また、奥尻地区で放流した当歳・越冬種苗も、H30 年～R3 年に放流区周辺での漁獲物調査から(たも取り漁業と潜水漁業で漁獲)、どちらも漁獲されていることが分かりました(表 5)。ただし、ここでは放流区周辺でのマナマコ漁業があまり行われていないため、他地域に比べ漁獲回収率や投資効率は低くなっています⁵。

5万個体放流時に期待される収益



10万個体放流時に期待される収益

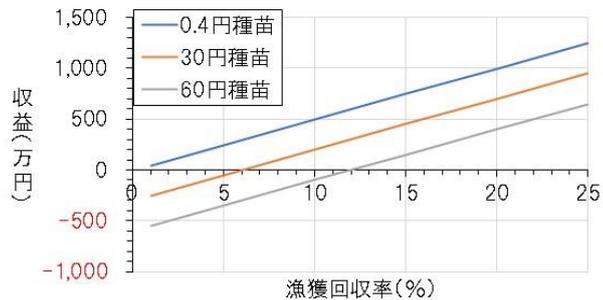


図 2 5万個体を放流する場合(上図)と10万個体を放流する場合の種苗単価別の漁獲回収率と期待される収益の関係

表 2 放流サイズ別の単価と必要な漁獲回収率の目安

| 放流サイズ | 0.4mm | 10mm | 30mm |
|-------------|-------|------|-------|
| 種苗単価(円/個体) | 0.4 | 30 | 60 |
| 必要な漁獲回収率(%) | 0.08 | 6.00 | 12.00 |

※100gで出荷したときの魚価が5,000円/kgの場合

³ 投資効率＝漁獲収益／放流経費で、この数値が1を超えなければ赤字(投資超過)を示します

⁴ 放流種苗のうち漁獲で回収された個体数の割合

⁵ これらの追跡調査の詳細は各サイズの種苗の追跡調査事例の項目で説明します

表 3 放流サイズ別の漁獲回収率と投資効率の事例

(せたな町大成区でのH27年～R3までの漁獲物調査の結果)

| | 放流年次 | 放流数(万) | 累積漁獲回収数 | 累積漁獲回収率(%) | 放流サイズ別漁獲回収率(%) | 種苗単価 ¹⁾ | 投資金額(万円A) | 漁獲収益(B) | 投資効率(B/A) | 放流サイズ別投資効率 |
|------|------|--------------|--------------|-------------|----------------|--------------------|---------------|---------------|-------------|------------|
| 着底稚仔 | H26 | 7.20 | 317 | 0.44 | 0.13 | 0.5 | 3.40 | 34.23 | 10.06 | 1.12 |
| | H27 | 4.59 | 26 | 0.06 | | 2.2 | 10.20 | 2.18 | 0.21 | |
| | H28 | 6.90 | 78 | 0.11 | | 0.8 | 5.60 | 6.12 | 1.16 | |
| | H29 | 12.10 | 10 | 0.01 | | 0.6 | 7.60 | 1.29 | 0.17 | |
| | H30 | 17.90 | 0 | 0.00 | | 7.0 | 12.47 | 0.00 | 0.00 | |
| 当歳 | H28 | 8.67 | 300 | 0.35 | 0.34 | 17.0 | 147.45 | 33.50 | 0.23 | 0.2 |
| | H29 | 6.13 | 67 | 0.11 | | 17.0 | 104.18 | 7.86 | 0.08 | |
| | H30 | 4.53 | 297 | 0.66 | | 17.0 | 76.98 | 35.11 | 0.46 | |
| 越冬 | H26 | 3.24 | 225 | 0.69 | 0.83 | 17.0 | 55.00 | 20.64 | 0.38 | 0.5 |
| | H27 | 1.52 | 169 | 1.11 | | 17.0 | 25.80 | 15.85 | 0.61 | |
| | | 72.78 | 1,490 | 0.20 | | | 448.68 | 156.78 | 0.35 | |

1)アワビセンター運営経費を種苗生産数で割り返した

表 4 着底稚仔の漁獲回収率と投資効率

(白老地区でのH25年～R3年までの漁獲物調査の結果)

| | 人工種苗放流年 | | | 3カ年合計 |
|--------------|-----------|---------|---------|-----------|
| | H22年 | H23年 | H24年 | |
| 累積漁獲回収数 | 1,535 | 476 | 248 | 2,258 |
| 放流数 | 58,000 | 470,000 | 274,000 | 802,000 |
| 累積漁獲回収率(%) | 2.6 | 0.1 | 0.1 | 0.3 |
| 種苗単価 | 1.2 | 0.2 | 0.4 | 0.4 |
| A:種苗放流経費(円) | 70,361 | 115,240 | 109,175 | 294,776 |
| B:人工種苗水揚げ(円) | 1,228,213 | 394,990 | 209,910 | 1,833,113 |
| 投資効率(B/A) | 17.5 | 3.4 | 1.9 | 6.2 |

表 5 当歳・越冬種苗の漁獲回収率と投資効率(奥尻地区でのH30年～R3年までの結果)

| 人工種苗放流年 | 当歳種苗 | | | | 越冬種苗 | | |
|--------------|---------|---------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|
| | H26.12月 | H27.12月 | H28.12月 | 小計 | H27.4月 | H28.5月 | 小計 |
| 累積漁獲回収数 | 78 | 19 | 25 | 122 | 19 | 22 | 41 |
| 放流数 | 25,192 | 95,622 | 122,490 | 243,304 | 35,663 | 94,430 | 130,093 |
| 累積漁獲回収率(%) | 0.31 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.03 |
| A:種苗放流経費(円) | 411,000 | 411,000 | 1,233,000 | 2,055,000 | 822,000 | 822,000 | 1,644,000 |
| B:人工種苗水揚げ(円) | 57,502 | 12,194 | 12,851 | 82,547 | 15,702 | 11,423 | 27,125 |
| 投資効率(B/A) | 0.14 | 0.03 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |

○着底稚仔を直接放流する方法について

……自前で育成した着底稚仔を放流する



放流時期

7-9 月

放流場所

10～50cm 程度の玉石や転石が積み重なった安定した場所で、ヤドカリ類が少ない場所

放流方法

採苗器に付着させたり、水槽底面に付着した稚仔を集めて海水を満たしたビニール袋に詰めて、潜水または放流器で海底面に放流

放流密度

・採苗器を用いる場合：採苗器(タマネギ袋 40cm×70cm)当たり 3.6 万個体程度

リンク：

[①着底稚仔の放流時期](#)

[②着底稚仔の放流適地の検討](#)

[③着底稚仔の放流方法](#)

[④放流密度](#)

[⑤追跡調査事例\(着底稚仔直接放流\)](#)



[目次に戻る](#)

[総論の先頭に戻る](#)

[各論先頭に戻る](#)

○着底稚仔を海中育成・放流する方法について

……自前で育成した着底稚仔を、籠などで一定期間育成してから、回収して漁場などへ再放流する

海中育成開始時期

7-9 月(着底稚仔生産後)

海中育成場所と方法

- ・海底設置型 : 港湾など波浪の影響を受けにくい海底面に採苗器を固定
- ・垂下式 : 港湾など波浪の影響を受けにくい場所に採苗器を垂下

収容密度

40cm×70cm のタマネギ袋を幼生飼育水槽に収容できる個数設置して採苗できた個数

回収時期

11-12 月(海中育成開始後 3 か月程度で回収)

回収方法

- ・海底設置型 : 潜水で採苗器を回収して、陸上で稚ナマコを分別
- ・垂下式 : 船で採苗器を回収して、陸上で稚ナマコを分別

放流場所(当歳種苗と同じ)

玉石や転石が複数段積み重なった安定した底質で、ヤドカリ類が少ない場所

放流方法(当歳種苗と同じ)

回収種苗を海水ごとビニール袋に詰め、潜水で目的の海底面に移動して、水中で放流するか、放流器を活用する

リンク:

[⑥着底稚仔の海中育成](#)

[⑦着底稚仔の海中育成による
経済効果](#)



○当歳種苗を直接放流する方法について

……種苗生産施設などから購入した種苗を放流する

放流時期

主に11-12月

放流場所

10~50cm程度の玉石や転石が積み重なった安定した基質でヤドカリ類が少ない場所

放流方法

放流種苗を集めてビニール袋に詰めて、潜水で目的の海底面に放流するか、放流器を活用する。潜水放流する場合は、放流面の上をメッシュで覆い、食害や流れによる逸散を防ぐことも有効

放流密度

右表を参考に決定

| 体長(mm) | 5 | 7.5 | 10 | 15 |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|
| 個体重量(mg) | 8.71 | 22.53 | 44.23 | 114.45 |
| 1m ² 当たりの放流数 | 112,285 | 43,409 | 22,112 | 8,545 |

リンク:

- [⑧当歳種苗の放流時期](#)
- [⑨当歳種苗の放流場所](#)
- [⑩当歳種苗の放流方法](#)
- [⑪当歳種苗の放流密度](#)
- [⑫追跡調査事例\(当歳種苗の直接放流\)](#)



直接放流した当歳種苗と食害と拡散を防止するためのネット

○当歳種苗を海中育成・放流する方法について

……種苗生産施設などから購入した種苗を放流する

海中育成開始時期
主に 11～12 月(種苗購入時)

海中育成場所

- ・海底設置型 : 港湾など波浪の影響を受けにくい海底面に採苗器を固定
- ・垂下式 : 港湾など波浪の影響を受けにくい場所に採苗器を垂下

育成施設への収容密度 : タマネギ袋へは 100 個体/袋以下
(採苗器容積当たり 100 個体/6L 以下)

回収時期
4～7 月(厳冬期をさける)

回収方法

- ・海底設置型 : 潜水して回収し陸上で稚ナマコを分別回収
- ・垂下式 : 籠を陸上に上げて稚ナマコを分別

放流場所
玉石や転石が積み重なった安定した底質で、ヤドカリ類が少ない場所(当歳種苗と同じ)

放流方法
回収種苗を海水ごとビニール袋に詰め、潜水で目的の海底面に移動して、水中で放流するか、放流器を活用する(当歳種苗と同じ)

| | | | | | |
|-------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 体長(mm) | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 放流密度 | 個体重量(mg) | 114.45 | 224.68 | 379.12 | 581.35 |
| 右表を参考に決定 | 1m ² 当たりの放流数 | 8,545 | 4,353 | 2,580 | 1,682 |

リンク:

[⑬海中育成方法\(当歳種苗\)](#)



[目次に戻る](#)

[総論の先頭に戻る](#)

[各論先頭に戻る](#)

○越冬種苗を放流する方法について

…………種苗生産施設から購入した種苗を放流する

放流時期
4-6月(種苗購入時)

放流場所
玉石や転石が積み重なった安定した底質で、ヤドカリ類が少ない場所(当歳種苗と同じ)

放流方法
種苗を海水ごとビニール袋に詰め、潜水で目的の海底面に移動して、水中で放流するか、放流機を活用する(当歳種苗と同じ)

放流密度

| | | | | | |
|----------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 体長(mm) | 15 | 20 | 25 | 30 |
| サイズに合わせて | 個体重量(mg) | 114.45 | 224.68 | 379.12 | 581.35 |
| 右表を参考に決定 | 1m ² 当たりの放流数 | 8,545 | 4,353 | 2,580 | 1,682 |

リンク:

- [⑭越冬種苗の放流時期](#)
- [⑮越冬種苗の放流場所](#)
- [⑯越冬当歳種苗の放流方法](#)
- [⑰越冬当歳種苗の放流密度](#)
- [⑱追跡調査事例\(越冬種苗の放流\)](#)



越冬種苗の潜水放流(上)と食害・拡散防止の網を設置した様子(下)

○種苗放流に関わる情報

放流適地

水深4m以深の港湾内か、水深10m以深で波当たりが強くない、安定した転石がある場所

種苗放流によるリスク(遺伝的多様性への影響)

現時点では種苗放流により放流地先の遺伝的多様性の低下は認められていませんが、道総研で発行している放流用種苗生産指針

<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/saibai/section/saibai/att/namakoshishin.pdf> に

則って生産した種苗の生産と放流を心がけて下さい。

生態

人工種苗の追跡調査などで成長、移動、摂餌、寿命など様々な生態が明らかになってきています(詳細は各論へ)。

調査方法

本種は、成長のばらつきが大きく広域に移動するため、放流種苗の判別には遺伝的マーカーが有効です。また、放流効果調査には、漁獲物調査が有効です。

流通

道内で生産されるマナマコの多くは、塩蔵品や乾燥品として加工されて、中華圏へ輸出されます。加工品の等級を落とさないよう、漁獲後の取り扱いに留意するほか、魚価が低い小型個体は次年度以降の資源として取り残すようにして下さい。

国際条約

輸出需要による高値がマナマコ種苗放流の原動力になっているので、これに関わる条約や協定を把握しておく必要があります。

リンク: [⑱放流適地](#)

[⑳種苗放流によるリスク\(遺伝的多様性への影響\)](#)

[㉑生態](#)

[㉒調査方法](#)

[㉓流通](#)

[㉔国際条約](#)

各論

①着底稚仔の放流時期

着底稚仔は、地場の親を用いて、狭い場所、少ない設備で、短期間に生産できる、最も安価な種苗です。

1t容量の水槽で20万個体～100万個体の着底稚仔を生産することができ、放流時期はそれぞれの地先の産卵期(採卵時期)によって決まります(表6)。親を加温育成するなどして、成熟調整を行わない場合の種苗生産は、産卵期に行われるため、道内の放流は概ね採卵から2～3週間後に行うことになります。

着底稚仔生産に必要な資材の例を表7に示しました。幼生の飼育水槽の形状は特に問わないので、既存の漁業用コンテナも種苗生産用水槽として利用できます。必要な餌(キートセラス)の量は1t水槽で100万個体の幼生を育成する場合、濃縮キートセラス(1.1億細胞/ml)であれば、のべ1.6～2.0Lが必要になります。キートセラスの使用期限を考慮して2～3回に分けて購入するようにします。

生産個体数(規模)にもよりますが、種苗単価は概ね0.4円～0.5円/個体です。

表6 産卵期と着底稚仔の生産時期の目安

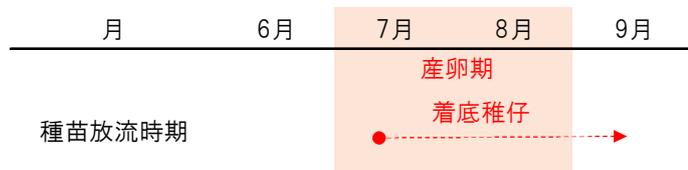


表7 1tの漁業用コンテナで着底稚仔を生産するときの資材の事例

| 工程 | 用途 | 資材名 | 個数 | 金額 |
|------|------|-------------------|----|---------|
| 幼生飼育 | 水槽設備 | 漁業用コンテナ(1t) | 1 | 179,000 |
| | | 塩ビ管(径20)4m | 2 | 940 |
| | | 異径ソケット(40→20) | 1 | 132 |
| | | フローア | 1 | 42,000 |
| | | エアストーン | 6 | 4,080 |
| | | ビニールチューブ | 1 | 6,120 |
| | | 分岐コック | 1 | 2,550 |
| | 餌料関係 | プランクトンネット(ミュラガーゼ) | 1 | 14,900 |
| | | 濃縮キートセラス(5L) | 3 | 39,630 |
| | | 駒込ピペット(10ml) | 2 | 500 |
| | | 駒込ピペット用シリコンゴムキャップ | 2 | 400 |
| 合計 | | | | 290,252 |

②着底稚仔放流適地の検討

着底稚仔の採苗⁶には採苗器を用いる場合と、採苗器を用いずに飼育水槽に直接着底させる方法があります。

採苗器を用いる場合は、幼生を飼育している水槽に採苗器を投入して、変態期の幼生がここに着底するように促します(写真 1 左)。着底稚仔を着底させた採苗器は、放流予定の海底に設置しておいた資材に固定して放流します。

一方、採苗器を用いない場合(写真 1 右)は、育成した変態期の幼生を飼育水槽底面に直接着底させます。放流時にこの水槽底面から水流や刷毛で着底稚仔を剥離して、30～45 μ m 程度の目合いのメッシュで海水ごと受けて回収します。



写真1 着底稚仔生産時に採苗器を用いる場合(左)と用いない場合(右)
採苗器を用いない場合は、飼育水槽の底面に着底させてその後着底稚仔を回収する

②-1 採苗器を用いる場合

放流予定地に、あらかじめ採苗器を固定する場所を設ける必要があります。

砂に覆われた水深7mの外海に、採苗器を入れた高さ50cmのアワビ用畜養籠をアンカーで固定したところ(写真2)、1回の時化で畜養籠ごと流失してしまいました。また、港湾外の防波堤の内側、水深15m地点に設置した高さ30.5cmの籠も、1年後の調査までに時化で流失しました。

砂が多い地先では施設が砂で埋没してしまう場合もあります(写真3)。

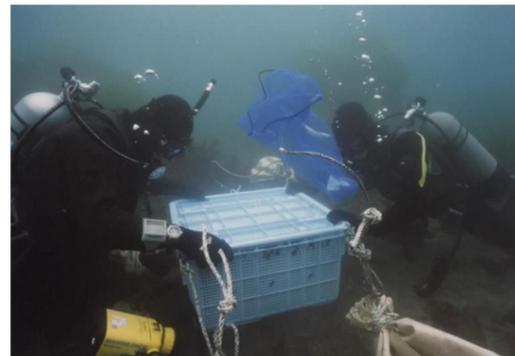


写真2 海底に設置したアワビ育成籠
この中に採苗器を封入した

⁶ 変態期(ペンタクチュラ幼生)の幼生を稚ナマコに変態させて底生生活に移行させる工程を採苗とよびます

そこで、採苗器を固定する籠や施設は、できるだけ波に対して抵抗が小さくなるように、高さが低く安定した形状のものを、漂砂などによる埋没の危険が少ない場所に固定します。



写真3 籠に設置した採苗器(右)漂砂と泥で埋没した採苗器(左)

コンブやモク・ホンダワラ類等の多年生海藻の根元が砂で埋もれているような場所は、漂砂があると考えられるため、こうした施設の設置には不向きです(写真4)。

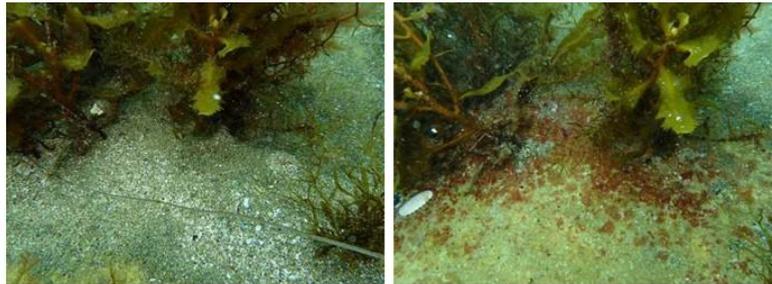


写真4 フシスジモク(多年生海藻)の付着器が漂砂に埋もれている様子と、その砂を払ったときの様子(右)
多年生海藻の基部が砂に覆われている場合、この海藻が付着後に砂が堆積したことが分かる

また、採苗器からしみ出した稚ナマコが食害を受けたり、波浪によって流されてしまうリス

クを低減するために、周辺に安定した玉石や転石がある場所は有効です。

以上のように、漂砂が少なく採苗器を固定でき、周囲が安定した玉石や転石で覆われた底質が着底稚仔の放流適地になります。

②-2 採苗器を用いない場合

潜水や後述する放流器を用いるなどして、漂砂がなく安定した玉石や転石があり、食害や波浪による流失が懸念されない場所に着底稚仔を直接振りかけて放流します。

③着底稚仔の放流方法

着底稚仔の放流効果を確認するためや、着底稚仔を一度回収して改めて別の場所に放流する「海中中間育成」を行う場合は、農業用の遮光幕やホタテの採苗などに用いるネトロンネットを、細かい目合いのタマネギ袋で覆った採苗器に着底稚仔を付着させて放流します。

一方、特に追跡調査をする予定がない場合は、採苗器を用いず直接適地に放流します。

③-1 採苗器を用いる場合

あらかじめ放流する海底面に、石詰めしたコンテナや、これに固定したかごを設置しておきます。放流はこれらに、採苗器を結び付けて固定して行います。

このとき用いる採苗器には、主にプラスチック製品を使います。海洋プラスチックゴミを出さないためにも、こうしたプラスチック製の採苗器やこれを固定するために用いたコンテナや籠は後日回収する必要があります。

採苗器を回収する手間を省くために、自然分解する牧草(ウサギなどの寝床として販売されるチモシー)や木片(チップ)などを試しましたが、22日間の試験期間中に基質が腐敗して、着底稚仔が斃死しました(図3)。紙や脱脂綿も10日程度の採苗期間中の腐敗により、着底稚仔が斃死しました。また、ポリ乳酸製の生分解性のプラスチック

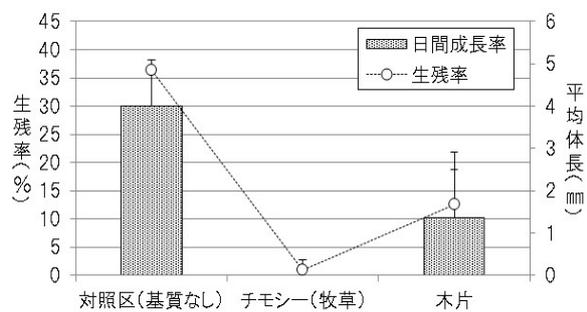


図3 牧草や木片を採苗基質とした場合の着底稚仔の22日目の生残率と平均体長

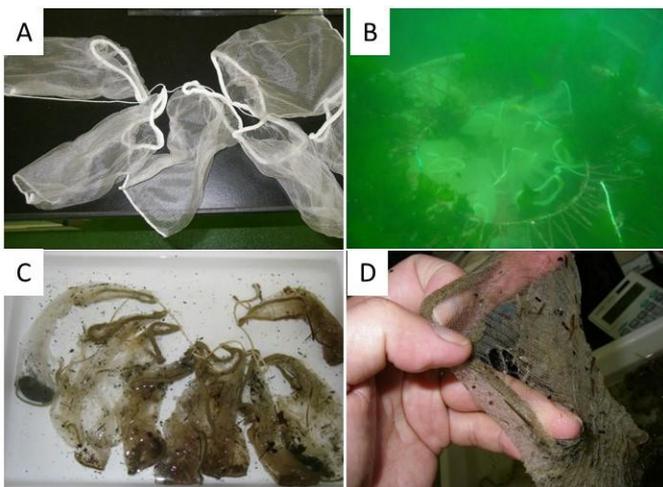


写真5 ポリ乳酸でできたメッシュ(A)に稚ナマコを採苗して海底面に設置して(B)、125日目に回収した(C,D)



写真6 幼生飼育水槽に垂下させた採苗器
赤い2mm目のタマネギ袋に農業用の遮光幕を封入して水槽底面に接触するように垂下

も、海水中ではそれほど分解が進まないため回収する必要があります(写真5)。

採苗器を設置して変態期の幼生の着底を待つ間、天候次第で放流が予定より遅くなり、想定よりも長い間水槽で育成しなければなくなる場合があります(写真6)。これらを考えると、採苗器には腐敗の影響がないプラスチック製品が適しています。

なお、採苗器を港湾に設置する場合は、漁港漁場整備法に基づく漁港区域内の水域における占有の許可を受ける必要があります。

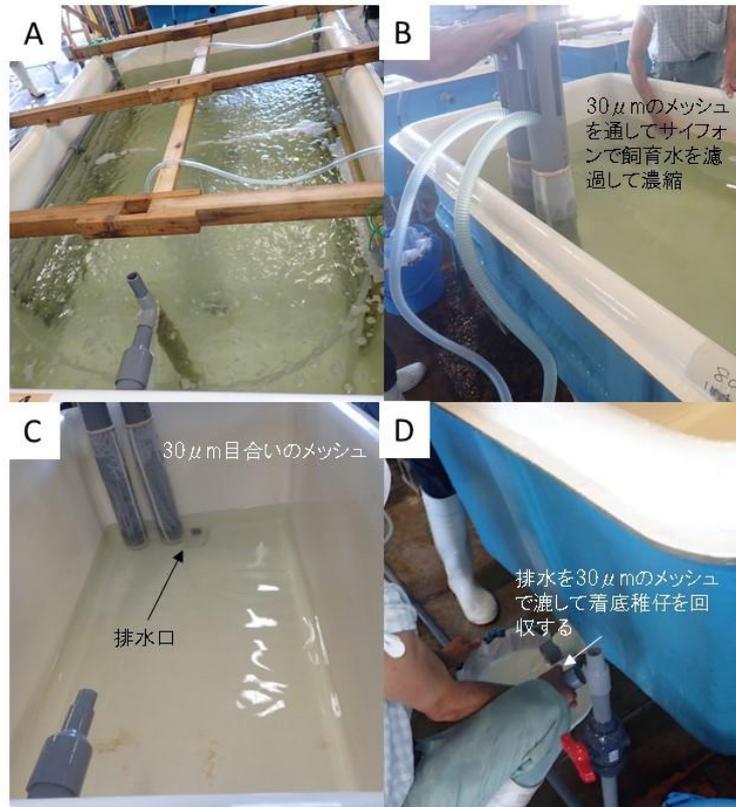


写真7 採苗器を用いない着底稚仔生産

育成水槽(A)から30 μ 目のメッシュを通して飼育水を廃棄し(B)、水位を下げるその後底面に付着している個体を、海水をかけるなどして排水口に集めて(C)、30 μ のメッシュで受けて回収する(D)

③-2 採苗器を用いない場合

採苗器を投入せずに、幼生を飼育していた水槽の底に着底させ、放流時に写真7のように稚仔を回収します。

③-3 放流稚仔の計数

採苗器を用いる場合、採苗器と同じ材質のテストピース(写真8)を水槽に吊り下げて置き、ここに着底した稚仔の面積当たりの個体数から、放流する採苗器上の個体数を推定します。この際、水槽壁や水槽底面にも付着しますので、これらの数も計数します。

水槽壁や底面に着底した数は、写真7-Dのように回収した稚仔を、一度目盛り付き容器に集めてこの海水の容積を量り、よく攪拌してここから一定量を採取します。この採取した海水中に含まれる個体数(密度)から回収した海水中の全量を算出します。



写真8 採苗器に着底した稚仔数を推定するために用いたテストピース
農業用遮光幕(黒)とこれを封入するタマネギ袋(赤)の基質を一定面積切り出して、採苗用水槽の数本垂下しこの上に付いた着底稚仔の個体数から採苗器当たりの着底数を推定する

採苗器上の個体数の算出事例

タマネギ袋 1 枚の表面積： $70\text{cm} \times 40\text{cm} = 2,800\text{cm}^2$

1m × 1m の遮光幕の表面積： $100\text{cm} \times 100\text{cm} = 10,000\text{cm}^2$

タマネギ袋や遮光幕と同じ素材のテストピースを $5\text{cm} \times 5\text{cm} = 25\text{cm}^2$ とした場合、それぞれ A 個体、B 個体付着していれば(海水 1L に 15g の食塩を溶かして高塩分海水を作り、ここにテストピースを入れて 2 分程度おいておくと、これらの基質に付着していた着底稚仔が落ちてくるので、これを顕微鏡下で計数します)、

タマネギ袋 1 枚当たりに $A \div 25\text{cm}^2 \times 2,800\text{cm}^2 = 112 \times A$ 個体、

遮光幕 1 枚当たりに $B \div 25\text{cm}^2 \times 10,000\text{cm}^2 = 400 \times B$ 個体付着していたと算出できます。

水槽壁と水槽底面に付着した個体数

回収した幼生を含む海水の容積を量ります。あらかじめ目盛りを付けておいた透明な水槽で容積を測るか、重量から推定します(海水の重量は水温 20℃で 1L 当たり 1.02kg です)。この海水をよく攪拌して一部を採取し、これに含まれる着底稚仔の密度から全体の個体数を算出します。例えば回収した幼生を含む海水が 10.2kg (10L に相当します)で、ここから 10ml 採取し、顕微鏡で 10 個体の着底稚仔が含まれていることを確認した場合、 $10 \text{ 個体} \div 10\text{ml} \times 10 \times 1,000\text{ml} = 10,000$ 個体と計算できます。

③-4 着底稚仔の運搬

着底稚仔は非常に乾燥に弱いため、できるだけ海水中で取り扱います(図 4、写真 9)。

回収した着底稚仔や採苗器は、空気に触れないように、速やかに運搬用のビニール袋に移します。これを空気が入らないように封入⁷して、放流地先に運びます。輸送時の水温が 23℃を超えるような場合は、保冷材などで冷却します。

⁷ ビニール袋に封入する場合、空気を入れないようにして運搬すれば、輸送中の振動による海水の攪拌の程度が弱まり、着底稚仔への影響は軽減されます

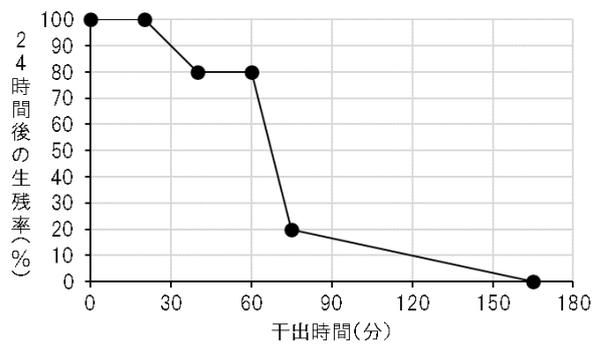


図4 着底稚仔の干出耐性



写真9 干出によって表皮が乖離した着底稚仔

③-5 船上からの放流

着底稚仔は非常に軽いため、船上から放流すると、広い範囲に拡散してしまい適地に放流できない可能性があります。

そこで、図5のようなビニール袋で簡単に作れる放流器を開発しました。当歳種苗や越冬種苗の放流にも利用できます。

まずこの放流器に着底稚仔を封入します。船上からのぞきガラスで底質を確認して、転石や玉石が敷き詰められている場所に放流器を落とします。放流器が海底に着いたら、紐Bを引いて、海底面でビニール袋を開きます(紐Bは回収)。そのあとで、紐Aを上下に揺すって、ビニール袋の中にある着底稚仔を海底面に放流します。

この放流器は、えさん漁協榎法華支所の浜辺真人さんのアイデアで、写真10のように改良しました。ビニール袋の角に錘を入れる代わりに、ビニール袋の角に結び目を付けます(写真10-B1)。次にこの結び目に紐を結びつけ、紐の反対側には輪を作り、ここに紐Aと錘を結びつけます。紐Aを結び目に結びつけて、錘を紐Aの末端に結びつけることもできます(写真10-B2)。これにより、紐A、紐Bそれぞれ1本と錘を1つ用意すれば、複数の放流器を扱えるようになりました⁶⁾。

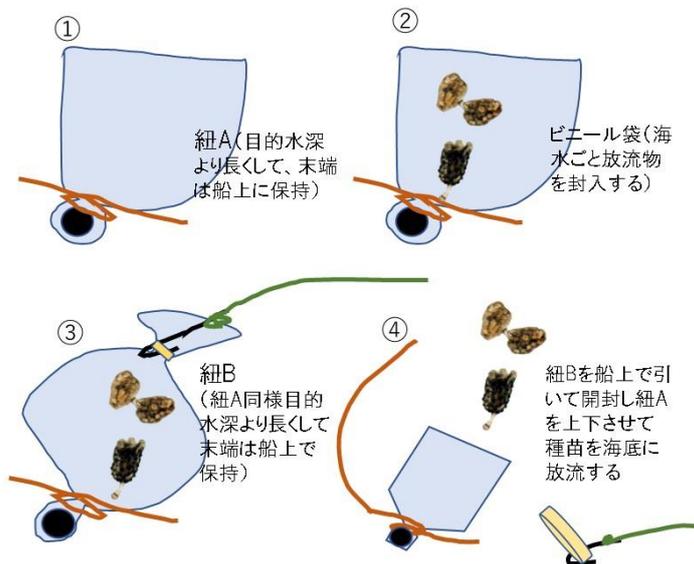


図5 ビニール袋を利用した稚ナマコを海底面に放流する方法
 ①ビニール袋の一角に、おもりとなる石を入れて、海底面まで届く長さの紐Aで結ぶ(末端は船上)
 ②幼生や稚ナマコを海水ごとビニール袋に封入する
 ③空気を入れないように輪ゴムで縛り、この輪ゴムに海底面に届く長さの紐Bを結びつけて、海底に投入する
 ④目的の海底面に付いたら、紐Bを引いて海底面でビニール袋を開いてから紐Aを30cm程度上下に揺すって、中の幼生や稚ナマコを放流する

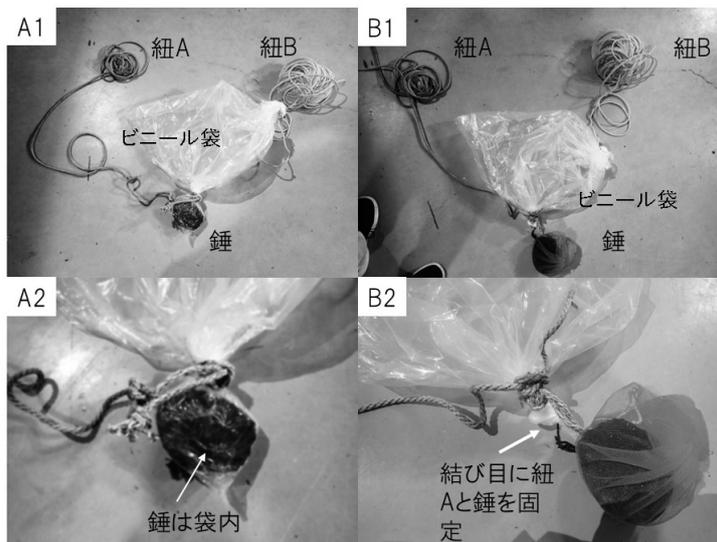


写真10 改良前(左A1,A2)と改良後(B1,B2)の放流器

改良前(A1,A2)はビニール袋内に錘となる石をいれて、紐Aで強く結びつけてその後に入る幼生と接触しないように固定したが、改良後(B1,B2)はビニール袋の1角に結び目を付けて、ここに外から錘や紐Aを結びつけた。この改良により錘や紐A、Bは1本用意するだけで複数の放流器を扱えるようになり、放流数が多い場合などの利便性が高くなった

③-6 潜水放流

採苗器を用いる場合は、あらかじめ海底面に石詰めしたコンテナで籠などを固定しておき、ここに潜水で持ち込んだ採苗器を固定します(写真 11)。

採苗器を用いない放流では、ビニール袋に封入した着底稚子を潜水で持ち込んで直接目的の場所に振りかけて放流します。

写真 12 は、調査のため以前に設置した採苗器にビニール袋に封入した着底稚子を振りかけているところです。追跡調査の予定が無い場合は、直接放流適地である安定した玉石や転石がある場所に振りかけます。



写真11 採苗器を用いた着底稚子の潜水放流

- A: あらかじめ海底面に採苗器を固定する籠などを設置しておく
- B: 干出しないように採苗器をビニール袋に封入して放流予定地先まで運搬
- C: 水中でダイバーが籠に採苗器(タマネギ袋)を結びつけ固定
- D: 固定された採苗器



写真12 ビニール袋に封入した着底稚子を海底面で既存の採苗器上に振りかけている様子

直接転石などの放流適地に振りかけて放流しても良い

④放流密度

④-1 採苗器を用いる場合

白老地区では全ての放流群で採苗器(目合い 2 mmのタマネギ袋にポリエチレン製の遮光幕を丸めて封入)を用いました。

あらかじめ海底に設置した籠に、着底稚仔を付けた採苗器を 9 月に固定して追跡調査しました。

採苗器に留まっていた種苗は、3 か月目の 11 月に平均体長 9.4 mm に成長し、その後翌年の 8 月までに 15 mm 程度まで成長するものの、残留数は 4 月までの冬期間に急速に減少しました(図 6)。

H23 年と H24 年に設置した採苗器も放流 3 か月目に取り上げ、放流密度別の残留率を調べて採苗器当たりの放流数との関係を調べました。

また、後述するせたな町大成区の試験と比較するために、放流 4 年目まで累積漁獲回収率との関係を図 7 に示しました。

採苗器当たりの密度が 3,800 個体～8,900 個体の間では、3 か月後の残留率と放流から 4 年間の累積漁獲回収率に顕著な関係は認められませんでした。

せたな町大成区でも、3 漁港に着底稚仔を放流しましたが、このうちの A 漁港では周辺の漁獲物調査も並行して実施しています。この A 漁港に H26 年～H28 年に放流した着底稚仔の、3 か月目の残留率と放流後 4

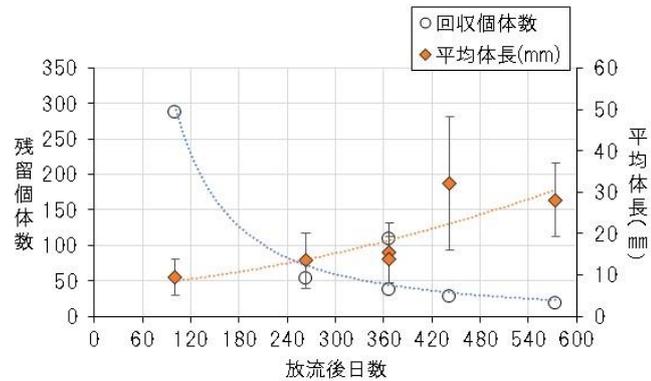


図 6 採苗器上の個体数と平均体長の経時変化(白老地区)

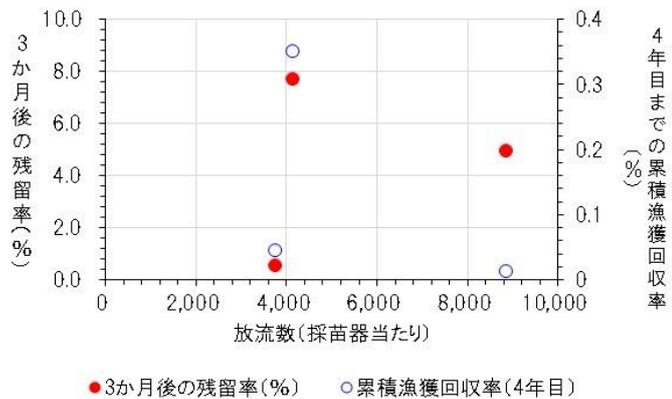


図 7 放流密度と残留率および4年目までの累積漁獲回収率の関係(白老地区)

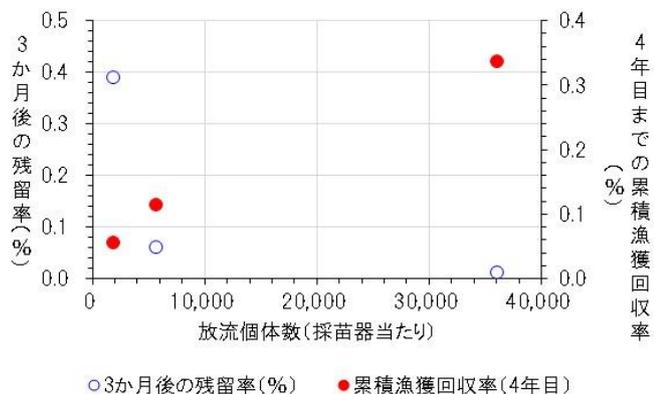


図 8 放流密度と残留率および4年目までの累積漁獲回収率の関係(せたな町大成地区)

この試験から、採苗器を用いないで 1.8 万個体/採苗器(11.3 個体/cm²)程度の密度で放流しても、最初から採苗器に付けて放流した場合と同程度採苗器に残留すると考えられました。一方で、12.8 万個体/採苗器の高密度で放流した種苗はほとんど残っていませんでした。

採苗器への残留率は、その後の漁獲回収率と相関があるとはいえないため、着底稚仔の適正な放流密度はまだ明らかではありませんが、採苗器を用いずに直接底質に放流する場合も、採苗器で放流したときの最高密度である 22.5 個体/cm²の密度(22.5 万個体/m²)で放流すれば、後述するような効果が期待できると考えられます。

なお、採苗器を用いた放流は、こうした残留率を調べる目的で開発した手法です。追跡調査をする予定がない方流の場合は、採苗器は必ずしも必要ではありません。

⑤追跡調査事例(着底稚仔直接放流)

着底稚仔を直接放流した場合の資源添加効果は、白老地区とせたな町大成区の2箇所調べています。人工種苗と在来個体の判別は、msDNA のアレル型から親子鑑定を基に行っています。

【白老地区での事例】

白老地区では、潜水部会が中心になって、平成 22 年から平成 24 年に着底稚仔を放流しました(表 8)。

H24 年からは、放流区周辺を潜水調査して採取した個体を調べて、放流種苗の成長を調べました。また H25 年からは周辺の漁獲物調査も開始しました。

この結果、同じ放流年級でも成長が大きくばらつくことが明らかになりました。

また、H22 年放流種苗は、放流後 11 年 6 カ月目にも漁獲されており、長期間生き残ることも明らかになりました(図 10)。

この H22 年の放流群は、3 年後の H25 年に行った漁獲物調査で、放流区から最も離れた漁場(放流区から直線距離で 1.9km)からも漁獲されていたため、放流した着底稚仔は、3 年目までに漁場全域に分散したと考えられました。

そこで、H25 年から毎年の漁期の前期・中期・後期⁸に 100 個体程度の漁獲物を調べて、79 ページの⑳調査手法で紹介する msDNA(マイクロサテライト DNA)のアレル型から、人工種苗の混獲率を調べました。

表 8 着底稚仔放流数(白老地区)

| 放流年 | H22 | H23 | H24 |
|-------------|------|------|------|
| 経費(万円) | 7.0 | 11.5 | 10.9 |
| 着底稚仔放流数(万個) | 5.8 | 47.0 | 27.4 |
| 種苗単価(円/個体)* | 1.21 | 0.25 | 0.40 |

※:経費の合計を種苗個体数で割り出した値

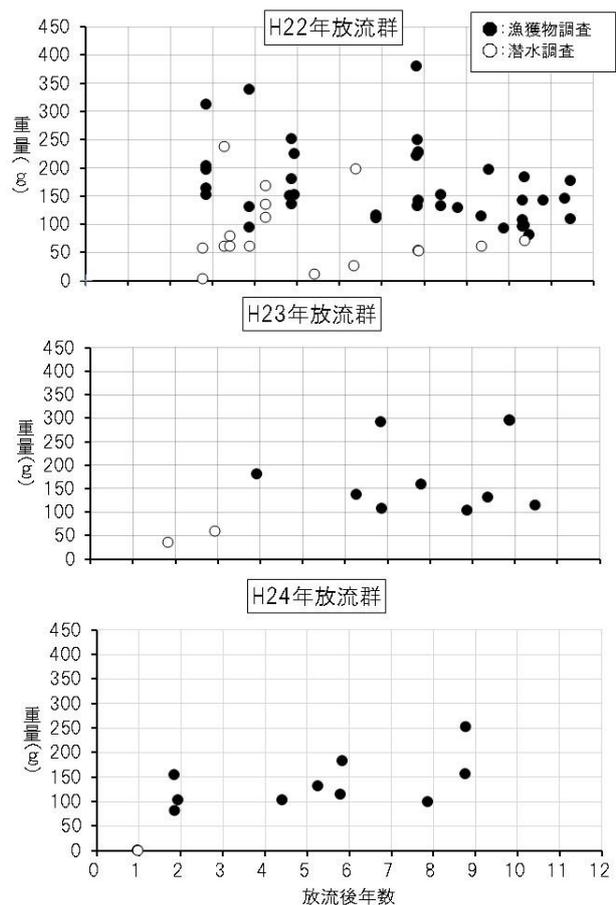


図 10 放流後年数と重量成長の関係

⁸ 白老地区では H25 年～H27 年までは 4 月末～6 月 20 日までの春季のみ、H29 年以降はこの春季に加えて 10 月末～翌年の 2 月中旬までの秋季も漁獲するようになったので、この双方を調査しています。

次に漁獲物の平均個体重量から当該漁期の漁獲個体数を推定して、混獲率を基にどれだけの人工種苗が漁獲されたのかを、放流群ごとに算出しました(表9)。

この結果、R3年の秋漁期までに、H22年放流個体のおよそ2.65%が、H23年とH24年の放流個体はそれぞれ0.10%と0.09%が漁獲されたと推定されます(図11)。

種苗放流にかけた経費(投資)が、どの程度漁獲収益として回収できたのかを示す投資効率(漁獲収益/放流経費)は、それぞれ17.5、3.4、1.9で、3か年の着底稚仔放流の投資効率はR3年度までに6.2と考えられました。

人工種苗による収益が放流経費を上回る(投資効率が1を上回る)のは、回収率が高いH22年放流群の場合4年目以降で、H23年とH24年放流群はそれぞれ7年目と5年目以降でした(図12)。

この結果、ごく小さい着底稚仔でも十分資源に添加すること、着底稚仔は種苗単価が安いため、漁獲回収率が低くても投資効率は高くな

表9 放流年級別の混獲率、漁獲回収率と投資効率(白老地区)

| | 操業年度 | 人工種苗放流年 | | | 3カ年 合計 |
|--------------|-------|-----------|---------|---------|-----------|
| | | H22年 | H23年 | H24年 | |
| 混獲率 (%) | H25年 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | 1.4 |
| | H26年 | 1.8 | 0.4 | 1.4 | 3.5 |
| | H27年 | 1.3 | 0.3 | 0.0 | 1.7 |
| | H29年 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 1.4 |
| | H30年春 | 1.8 | 0.4 | 0.4 | 2.6 |
| | H30年秋 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| | R1年春 | 0.5 | 0.5 | 0.0 | 1.0 |
| | R1年秋 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 |
| | R2春 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 1.0 |
| | R2秋 | 3.0 | 1.0 | 0.0 | 4.0 |
| | R3春 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 1.0 |
| | R3秋 | 1.5 | 0.5 | 0.0 | 2.0 |
| 漁獲個体数 | H25 | 105 | 0 | 0 | 105 |
| | H26 | 98 | 21 | 80 | 199 |
| | H27 | 146 | 36 | 0 | 182 |
| | H29 | 86 | 42 | 42 | 170 |
| | H30春 | 161 | 69 | 69 | 299 |
| | H30秋 | 100 | 0 | 0 | 100 |
| | R1春 | 80 | 80 | 0 | 160 |
| | R1秋 | 160 | 0 | 0 | 160 |
| | R2春 | 27 | 27 | 27 | 80 |
| | R2秋 | 349 | 116 | 0 | 465 |
| | R3春 | 15 | 15 | 30 | 60 |
| | R3秋 | 208 | 69 | 0 | 277 |
| 累積漁獲回収数 | | 1,535 | 476 | 248 | 2,258 |
| 放流数 | | 58,000 | 470,000 | 274,000 | 802,000 |
| 累積漁獲回収率(%) | | 2.6 | 0.1 | 0.1 | 0.3 |
| A:種苗放流経費(円) | | 70,361 | 115,240 | 109,175 | 294,776 |
| 人工種苗由来漁獲収益 | H25年 | 66,793 | 0 | 0 | 66,793 |
| | H26年 | 77,088 | 16,504 | 62,973 | 156,565 |
| | H27年 | 111,032 | 27,531 | 0 | 138,563 |
| | H29年 | 32,866 | 16,195 | 16,195 | 65,256 |
| | H30年春 | 173,869 | 74,515 | 74,515 | 322,899 |
| | H30年秋 | 134,039 | 0 | 0 | 134,039 |
| | R1年春 | 87,937 | 87,937 | 0 | 175,874 |
| | R1年秋 | 103,260 | 0 | 0 | 103,260 |
| | R2春 | 19,367 | 19,367 | 19,367 | 58,100 |
| | R2秋 | 248,133 | 82,711 | 0 | 330,844 |
| | R3春 | 18,430 | 18,430 | 36,860 | 73,721 |
| | R3秋 | 155,400 | 51,800 | 0 | 207,200 |
| B:人工種苗水揚げ(円) | | 1,228,213 | 394,990 | 209,910 | 1,833,113 |
| 投資効果指数(B/A) | | 17.5 | 3.4 | 1.9 | 6.2 |

ることも明らかになりました。

放流群で漁獲回収率や投資効率は大きく異なりましたが、現時点でこの理由は明らかではありません。

投資効率が1を上回り、投資分を回収できた時期は、放流群によって4年目から7年目と変動していました。このため本種の漁獲回収率や投資効率をあきらかにするためには、長期間の調査が必要になります。

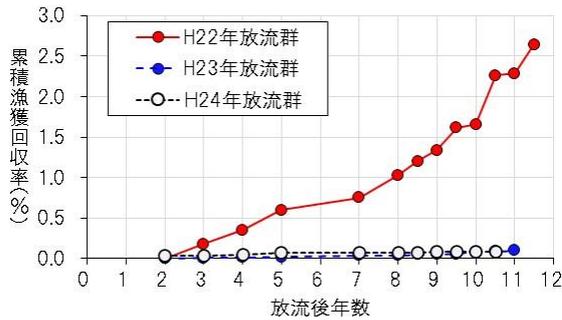


図 11 放流群別の累積漁獲回収率の経年変化

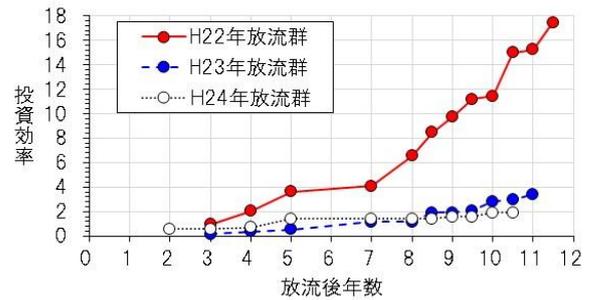


図 12 放流群別の投資効率の経年変化

【せたな町大成区での事例】

せたな町大成区のA漁港では、H26年～H30年の9月前後に表10の着底稚子を放流しています。

表10 着底稚子放流数(せたな町大成区)

| 放流年 | H26 | H27 | H28 | H29 | H30 |
|-------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| 経費(万円) | 34,041 | 102,571 | 56,039 | 76,203 | 124,760 |
| 着底稚子放流数(万個) | 72,077 | 45,867 | 68,960 | 121,365 | 17,875 |
| 種苗単価(円/個体)* | 0.5 | 2.2 | 0.8 | 0.6 | 7.0 |

※: 経費の合計を種苗個体数で割り出した値

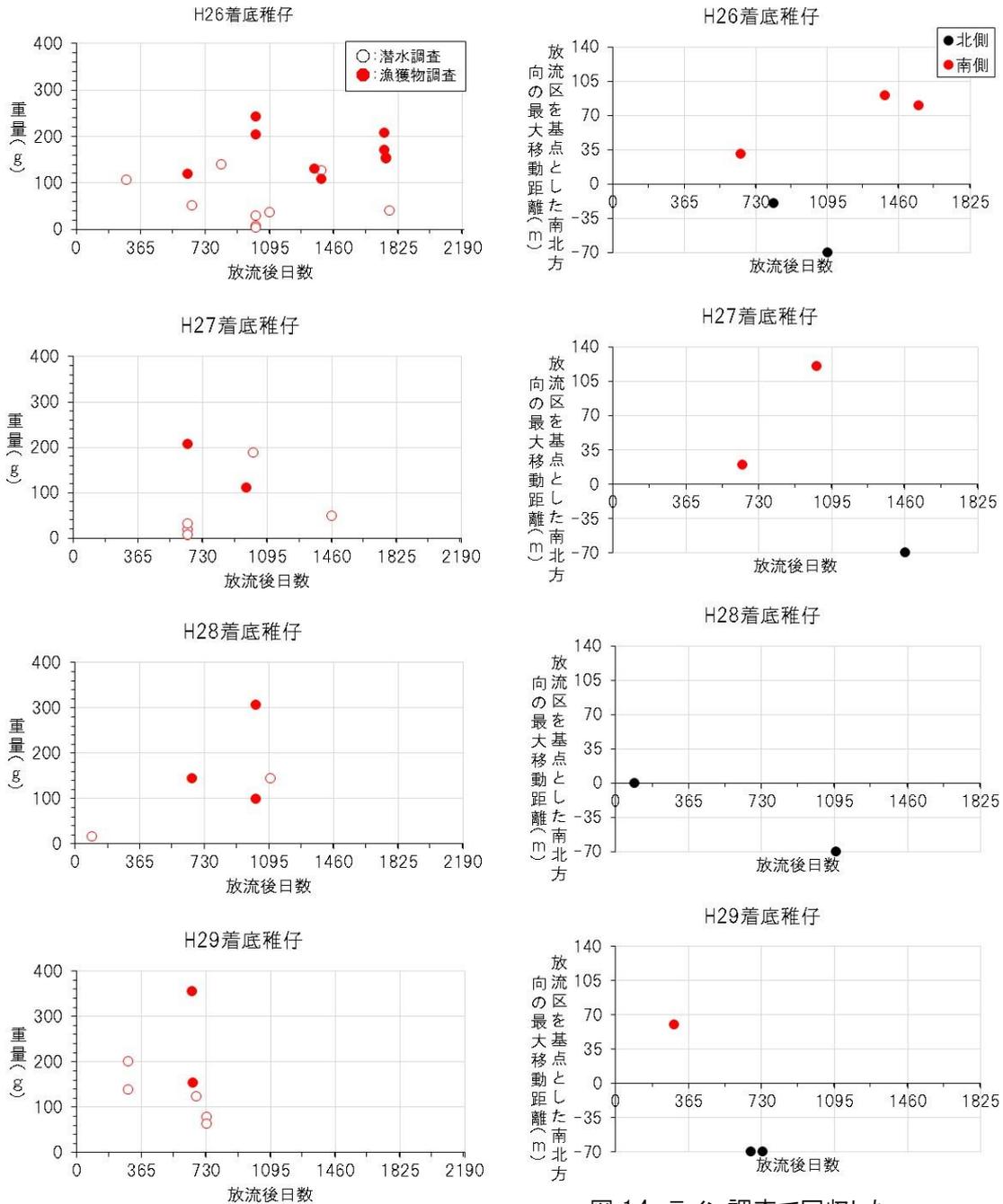


図13 放流した着底稚子の成長

図14 ライン調査で回収した着底稚子の最大移動距離

ここでは、漁港内を横断する南北方向に 270m のラインを張って、1m幅の範囲にいるマナモコを 10m 間隔で全数回収するライン調査と、放流した漁港周辺の漁獲物調査を行いました。

これらの調査で回収された、着底稚仔放流個体の重量と放流後日数の関係を図 13 に示しました。同じ放流群にもかかわらず成長は大きくばらついていました。

ライン調査で回収した着底稚仔のうち、最も短期間に動いた距離(移動速度)が大きかったのは、H29 年に放流した着底稚仔でした。この個体は放流から 292 日後に 201g に成長し、放流区からは南方向に 60m~70m 地点まで移動していました(図 14)。

調査ライン沿いの 1m幅の区域内で確認された個体数の推移を、図 15 に示しました。H26 年以降毎年 9 月に着底稚仔を放流していますが、ライン調査で見つかる個体数は各放流群とも 0~2 個体でした。一般に放流効果や放流適地の指標とすることが多い残留率は、こうした調査時に見つけた個体の密度から推定しますが、発見個体数が 0~2 個体とばらつくため、精度は非常に低くなります。

H26 年~H30 年に A 漁港に放流した着底稚仔が、この漁港周辺で H27 年度~R3 年度までにどの程度漁獲され、漁獲収益を上げているのか、混獲率と水揚げ伝票から推定して表 11 に示しました。

R3 年度までに H30 年に放流した放流群を除く全ての放流群が漁港周辺で漁獲されており、累積漁獲回収率は 0.01~0.44%、投資効率は 0.17~10.06 でした。

放流群別の累積漁獲回収率と投資効率の経年変化を図 16 と図 17 に示しました。

累積漁獲回収率は経年的に増えていきますが、放流群によって大きな違いが認められます。H26 年の放流群は、R3 年までに放流区周辺で 7 漁期を経験し、放流個体の 0.44%が漁獲回収されています。一方、H30 年に放流した種苗は、R3 年までに漁獲されていません。

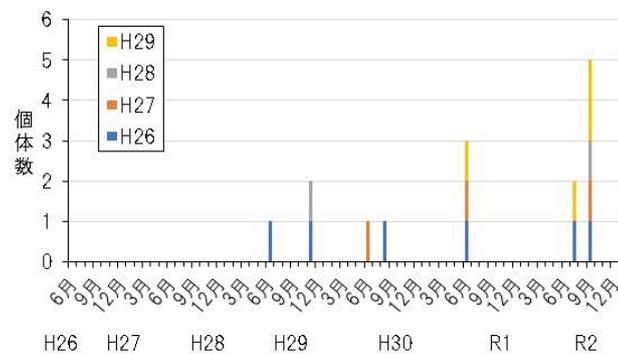


図 15 調査回次ごとの着底稚仔発見数

表 11 H26 年~H30 年に O 漁港で放流した着底稚仔の漁港周辺での漁獲回収率と投資効率

| 放流年 | 漁獲年 | 混獲率から推定した漁獲個体数 | | | | | | 累積漁獲回収率 | 放流数 | 累積漁獲回収率 (%) | 全群の累積回収率 (%) ¹⁾ | 種苗単価 ²⁾ | 投資金額 (A) | 漁獲収益 (B) | 投資効率 (B/A) | 全群の投資効率 ³⁾ | |
|------|-----|----------------|-----|-----|-----|----|----|---------|-----|-------------|----------------------------|--------------------|----------|----------|------------|-----------------------|------|
| | | H27 | H28 | H29 | H30 | R1 | R2 | | | | | | | | | | R3 |
| 着底稚仔 | H26 | 128 | 97 | 52 | 15 | 15 | 0 | 10 | 317 | 72,077 | 0.44 | 0.13 | 0.47 | 34,041 | 342,349 | 10.06 | 1.12 |
| | H27 | | 0 | 10 | 15 | 0 | 0 | 0 | 26 | 45,867 | 0.06 | | 2.24 | 102,571 | 21,773 | 0.21 | |
| | H28 | | | 0 | 61 | 5 | 13 | 0 | 78 | 68,960 | 0.11 | | 0.81 | 56,039 | 65,169 | 1.16 | |
| | H29 | | | | 0 | 5 | 0 | 5 | 10 | 121,365 | 0.01 | | 0.63 | 76,203 | 12,907 | 0.17 | |
| | H30 | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 17,875 | 0.00 | | 6.98 | 124,760 | 0 | 0.00 | |

1) H26 年~H30 年に放流した全ての着底稚仔の累積漁獲回収率

2) 着底稚仔生産と放流に用いた全ての消耗品と日当を放流個体数で割り返して算出

3) H26 年~H30 年に放流した全ての着底稚仔の投資効率

投資効率にも放流群による違いが認められます。H26 年放流群と H28 年放流群はそれぞれ放流翌年と 3 年目に投資効率 1 を超えましたが、これ以外の放流群はまだ投資効率が 0～0.21 で、投資分を回収できていません。

H26 年～H30 年に放流した全ての放流群をまとめた累積漁獲回収率と投資効率はそれぞれ 0.13%と 1.12 で、全体としては放流区周辺での 7 年間の漁獲分で投資金額を上回ったこととなります。

なお、H29 年に放流した着底稚仔は、R1 年には放流区から 2.0～2.5km離れた漁場でも漁獲されており、広範囲の移動が確認されています。

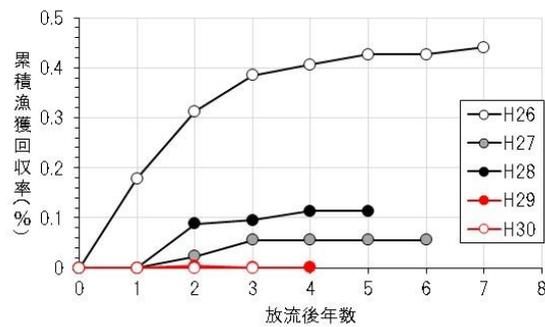


図 16 放流群別の累積漁獲回収率の経年変化

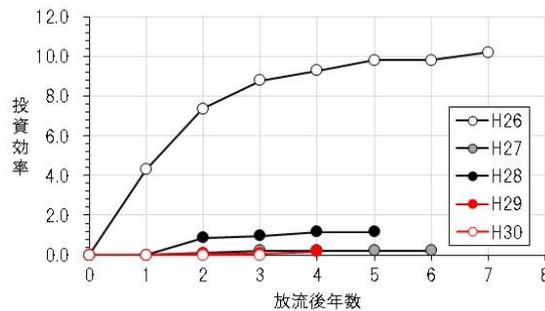


図 17 放流群別の投資効率の経年変化

⑥着底稚仔の海中育成

海中育成は、給餌や施設管理などのコストをかけずにマナマコ種苗を育成する手法の一つで、いずれの場合も回収する必要があるため採苗器を用います。採苗器には海中に垂下するものと、海底に設置するものの2つのタイプがあります。

【白老地区の事例】

港内の海底 7m 地点にあらかじめ採苗器を固定する籠を設置しておきました。H22 年 9 月に 4,143 個体の稚仔を着底させた採苗器を、潜水でこの籠に固定して放流しました。このあと採苗器を定期的に回収して、採苗器への残留個体数と体長を調べ図 18 に示しました。

採苗器に残留個体数は、3 ヶ月後に 7%程度(288 個体(うち人工種苗は 83.3%の 240 個体))に急減し、1 年後には 3.5%(147 個体)へと減少しました。平均体長は、設置当初 91 μ m/日の割合で成長していましたが、翌年の 4 月までの半年間は 15.5 μ m/日で、冬期間は成長速度が鈍化しました。

この成長や個体数から、着底稚仔を最も効率的に回収できるのは、平均体長が 9.4 mmに達し、残留率も比較的高い 3 か月目の 11 月でした。

一方、この採苗器には表 12 のような動物が付着しました。

比較のためにこの人工採苗器から 50m 程度離れた海底から立ち上げた天然採苗器(着底稚仔を付着させていません)には、海底面に設置した採苗器に比べ、ホヤ類や二枚貝などが大量に付着し、重量も重くなりました(写真 14、表 13)。

着底稚仔を海中育成した後、効率的に回収するうえで、付着物の多寡は回収効率に影響します。付着物の除去や分離のために回収に時間がかかれば、その分回収した稚ナマコや、まだ回収していない採苗器上にある個体を、乾燥や高水温にさらす危険も長引くことになり

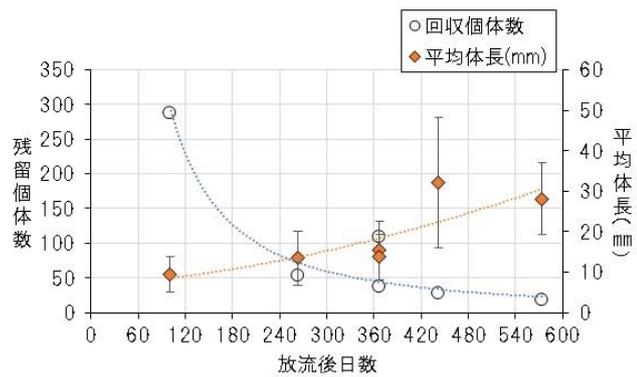


図 18 採苗器上の個体数と平均体長±SD



写真14 海底面から立ち上げた天然採苗器と、3か月後の採苗器の様子

ます。

着底稚仔を海中育成する場合は、着底稚仔の脱落の他、こうした付着物による回収の手間も考慮する必要があります。

表 12 海底への設置後日数と採苗器への付着生物(白老地区)

| 付着生物種 | 101日目 | 263日目 | 367日目 |
|-----------|-------|-------|-------|
| エソバフンウニ | | | 1 |
| クモトデ | | | 2 |
| モエビ類 | | | 2 |
| コイチョウガニ | | | 3 |
| ウミグモ | | | 1 |
| ニッポンコツブムシ | 4 | 1 | |
| エソチヂミボラ | | | 1 |
| アズマニシキ | 1 | | |
| アラムシロガイ | | | 4 |
| ソトオリガイ | | | 1 |
| ウロコムシ類 | 13 | 5 | 2 |
| ヒモムシ類 | | | 3 |
| 多毛類 | 10 | | 16 |
| ウスヒラムシ | 8 | 1 | 1 |
| サメハダホシムシ | | | 3 |
| マクワボヤ | | | 7 |
| ザラボヤ | 15 | 17 | 20 |
| ユウレイボヤ | 7 | 3 | |
| ケツボカイメン | | | 1 |
| 総数 | 58 | 27 | 68 |

表 13 海底から立ち上げた採苗器への付着生物(設置 3 か月後)

| 付着生物種 | 上段 | | 下段 | |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 重量(g) | 個体数 | 重量(g) | 個体数 |
| マナマコ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ウスヒラムシ | | 4 | | 2 |
| 多毛類(ウロコムシ) | 5 | 20 | 3 | 13 |
| 環形動物 | | | | |
| ユウレイボヤ | 794 | 616 | 122 | 95 |
| ザラボヤ | 1,700 | 586 | 987 | 340 |
| ニッポンコツブムシ | 42 | 210 | 7 | 35 |
| アズマニシキ | | | | |
| イガイ | 252 | 1,797 | 135 | 965 |
| キヌマトイガイ | | 2 | | |
| 不明二枚貝 | | | | |
| ホタテガイ | | 2 | 2 | 2 |
| エボヤ | | | 63 | 2 |
| エソチヂミボラ | | | | |
| 不明海綿 | | | | |
| 総数 | 2,793 | 3,237 | 1,320 | 1,454 |

赤字は平均個体重量からの換算値

【せたな町大成区の事例】

タマネギ袋にネロンネットと遮光幕を封入した採苗器に着底稚仔を付着させて、ABC3 漁港の水深4mの海底に設置しました(図 19)。A 漁港では放流 3 か月目に、B 漁港と C 漁港では 3 か月後と 1 年後に確認したところ、3 漁港ともに採苗器上の個体数は急減しました。3 漁港の中では B 漁港の残留個体が他の地区よりも大きく($P < 0.01$ Mann Whitney 検定)、3 か月後と 1 年後では平均体長に差がありませんでした。一方で C 漁港の残留個体は 3 か月後の残留個体よりも 1 年後の個体の平均体長の方が小さくなっていました($P < 0.05$ Mann Whitney 検定)。

このことから、着底稚仔を海中中間育成する場合は、採苗器を設置してから 3 か月後の 11 月頃に回収した方が、1 年後に回収するよりも効率が良いと考えられました。

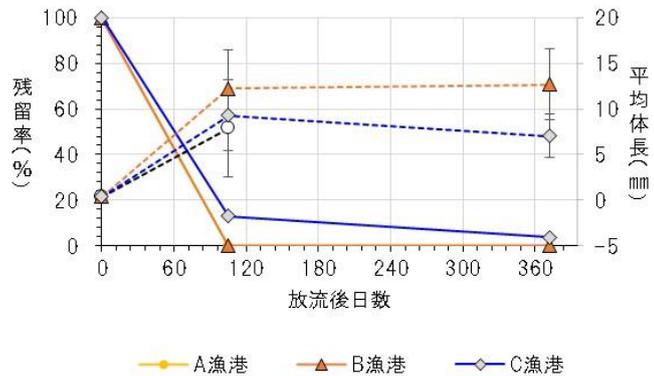


図 19 採苗器への残留率(実線)と平均体長(破線)
実線は残留率、破線は平均体長を示し、漁港別に色分けして表示した

⑦着底稚仔の海中育成による経済効果

【白老地区の事例】

H22年～H24年に設置した採苗器の一部を、3か月目に回収して、個体数と平均体長を調べました。この結果から、設置した全ての採苗器を回収した場合に、確保できると期待できる種苗のサイズと個体数を表14に示しました。採苗器への残留数により回収できる個体数が変動するため、単価は5.6円/個体～72.8円/個体で、最も回収数が少ないH24年群では市販の種苗(10mm 30円/個体)よりも高くなると考えられました。

【せたな町大成区の事例】

せたな町大成区の3漁港の海底に設置した採苗器から、3か月後に回収した個体の残留率は0.02～5.23%で、設置した採苗器全てを回収したときに確保できると考えられる個体数も17個体～4,779個体と大きくばらつきました(表15)。さらに、海中育成後の体長4.4mm～12.3mmの種苗単価は48円/個体～1,993円/個体となり、回収数が少ないと高価になってしまいます。今回の3漁港の中で、A漁港の採苗器設置場所は漂砂により埋没してしまうことが多い場所でした(写真15)。

このように着底稚仔を海中育成して大型種苗を確保しようとするれば、市販の個体を購入する場合に比べて割高になる場合もあります。

ただし、白老地区とせたな町大成地区での着底稚仔放流事例(⑧追跡調査事例(着底稚仔の直接放流))は、この採苗器からしみ出した個体を

表14 3か月後に回収した個体数と平均体長から期待できる海中育成後の稚ナマコの数と単価(白老地区)

| 放流群 | H22 | H23 | H24 |
|-------------------------|-------|--------|-------|
| 3か月後の平均体長(mm) | 9.4 | 5.6 | 13.2 |
| 回収個体数の期待値 ¹⁾ | 4,032 | 20,656 | 1,497 |
| 生産コスト(万円) ²⁾ | 7.0 | 11.5 | 10.9 |
| 個体当たり単価 ³⁾ | 17.36 | 5.57 | 72.84 |

1)回収した採苗器当たりの個体数から推定した回収可能総数

2)各放流個体の生産経費

2)種苗生産経費を3か月後の回収個体可能数で割返した値

表15 採苗器への残留率から求めた海中育成後の種苗単価

| 年 | 漁港 | A | B | C |
|-----|-----------------------|---------|---------|---------|
| H26 | 着底稚仔放流数 | 72,077 | 728,212 | 485,505 |
| | 推定残留率(%) | 0.02 | 0.03 | 0.63 |
| | 平均体長(mm) | 7.9 | 12.26 | 9.32 |
| | 種苗生産コスト ¹⁾ | 33,876 | 342,260 | 228,188 |
| | 期待される回収数 | 17 | 405 | 4,779 |
| | 種苗単価(円/個) | 1,993 | 845 | 48 |
| H27 | 着底稚仔放流数 | 45,867 | 69,200 | 52,300 |
| | 推定残留率(%) | 0.39 | 3.12 | 5.23 |
| | 平均体長(mm) | 8.91 | 9.62 | 10.29 |
| | 種苗生産コスト ¹⁾ | 102,283 | 154,316 | 116,629 |
| | 期待される回収数 | 180 | 2,160 | 2,736 |
| | 種苗単価(円/個) | 568 | 71 | 43 |
| H28 | 着底稚仔放流数 | 68,960 | 194,140 | 197,478 |
| | 推定残留率(%) | 0.06 | 0.61 | 0.59 |
| | 平均体長(mm) | 5.64 | 4.42 | 9.37 |
| | 種苗生産コスト ¹⁾ | 55,858 | 157,253 | 159,957 |
| | 期待される回収数 | 41 | 1,175 | 1,159 |
| | 種苗単価(円/個) | 1,362 | 134 | 138 |

1)着底稚仔生産と採苗器などにかかった経費(人件費含む)を放流数で割り返した

調べたものです。白老地区では既に H22 年放流群～H24 年放流群の全てで、せたな町大成地区では H26 年放流群と H28 年放流群で投資効率が 1 を超えていますので、こうした採苗器からしみ出した個体は、漁獲資源に添加することも期待できます。



写真15 砂に埋没した採苗器

⑧当歳種苗の放流時期

当歳種苗は、採卵年内に放流する種苗のうち、給餌して着底稚仔よりも大きく育てた種苗を指します。自分たちで生産するか、栽培会社などから購入して確保します。

自前で生産する場合は、サイズ・個体数・時期を調節できるので、放流可能時期は着底稚仔生産時期以降の9月～12月までの間で選択できます。

栽培会社などで購入する場合は、概ね11月～12月に10mm～30mmを30円～60円/個体で購入します⁹。

⑨当歳種苗の放流場所

後述する⑨放流適地の項で詳しく述べますが、波浪による流失や食害を免れる、港湾などの波浪が小さい場所か、波当たりが強い外海に放流する場合は、水深10m以深で、玉石や転石が敷き詰められている底質が放流の適地になると考えられます。

⑩当歳種苗の放流方法

当歳種苗は、飼育施設から剥離・回収して、海水と一緒にビニール袋に詰めて放流地先まで移動します。この際、小さい個体ほど干出に弱いため、できるだけ干出させないように気をつけます(図20)。

平均体長10.3mmの種苗を1Lの海水とともにビニール袋に封入して17時間かけて陸送した試験(剥離から輸送にかけて水温は10℃～4℃に下降)では、30g/Lの密度で封入しても、その後の生残に問題はありませんでした(表16)。そこでこの30g/Lを目安に封入します。

輸送中は高水温にならないよう、必要に応じて保冷剤などで冷却します。冷却しすぎないようにするため、保冷剤が直接海水に触れないように、保冷剤を緩衝材などでくるんでビニール袋の上に置きます。

種苗の放流には、船上からの放流か潜水による放流の2通りがあります。

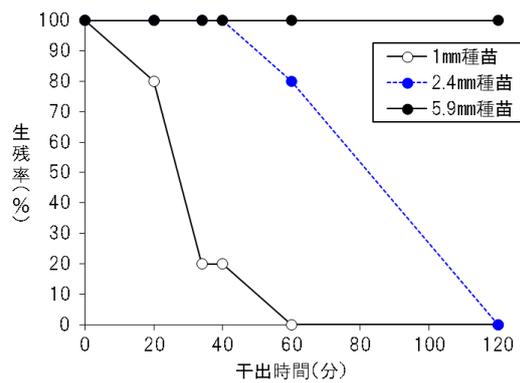


図20 稚ナマコのサイズ別の干出耐性
干出から24時間後の生残率

表16 海水1Lに10.3mm種苗を封入して17時間輸送し、到着時と水槽収容後1週間目に調べた生残率

| (g) | 到着時 | 到着後1週間 |
|-----|-----|--------|
| 10 | 100 | 100 |
| 20 | 100 | 100 |
| 30 | 100 | 100 |

種苗は1Lの飼育水とともにビニール袋で個装して、クール便で輸送(水温は10℃～4℃に下降)

⁹ R4年時点で、大型水槽で低密度飼育して生産する種苗は、当歳であっても30mm程度の個体を確保できるようになっています。ただし、効果調査を始めたH26年の当歳種苗は5～10mm、越冬種苗が15mm程度でしたので、このマニュアルで調査対象とした越冬種苗は12mm～15mm程度の個体です。

船上からの放流は、放流日程をダイバーと調整する必要も無く、安価に行うことができます。

図 21 のように、マナマコは比重(重量÷容積)が軽く、海水よりわずかに重い程度なので、船縁から放流すればゆっくり沈降して広く拡散してしまい、転石などの適地に到着できずに、長い間波浪に揺られ続ける可能性があります(写真 16)。

そこで、着底稚仔の項(22 ページ図 5, 写真 10)で紹介した放流器などを用いて放流します。

潜水放流する場合は、適地である転石や玉石が敷き詰められた場所に運び、この上に放流します。

食害や波浪による流失を防ぐために、この種苗の上からメッシュをかける方法もあります(写真 17)。ただし、プラスチック製のメッシュは海洋廃棄物にならないように、後日回収する必要があります(食害防止用のメッシュは、複数箇所を海底面にくい打ちするか、石で固定すれば、数年は海底面に残ります)。

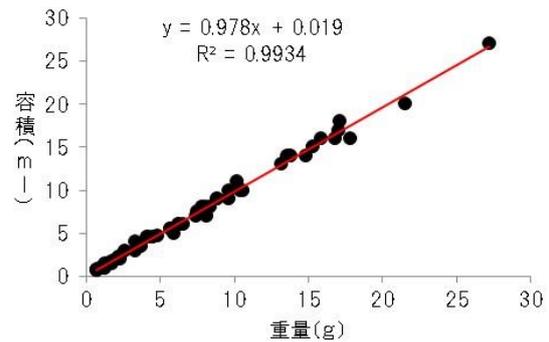


図 21 マナマコの重量と容積の関係



写真16 船上からの放流で種苗が拡散していく様子



写真 17 放流種苗の上にメッシュをかけて放流直後の食害や波浪による流失を防止する

⑪当歳種苗の放流密度

種苗を低密度で放流しようとするれば、放流面積は広くなります。放流初期の食害や波浪による流失を防ぐために、放流種苗の上に前頁写真 17 のようなメッシュを張って減耗抑制策を講じる場合は、広く播くことが難しくなるため高密度での放流が必要になります。また、高密度で放流すれば、潜水で一度に海底に持ち込む袋数も減らすことができるため、放流作業も短時間で済み効率的です。また、残りの種苗の放流までの間、種苗を船上などに置いておく時間を短縮でき、種苗を高水温にさらしたり、放流中の天候の変化で、波により種苗が適地外へと拡散してしまうリスクも減らすこともできます。

草加ら⁷⁾は 8.8 mm 種苗と 13.5 mm 種苗をそれぞれ 50 個体ずつ、目合い 0.5 mm のメッシュで覆った牡蠣殻に封入したうえで、43×27×14cm の籠に収容して海底面に設置しました。3 ヶ月後に 8.8 mm 種苗の 80%、13.5 mm 種苗の 94% が回収できたと報告しています。これは面積換算で 427 個体/m² の密度に相当します。

赤池ら⁸⁾は 1×2 mm 目のタマネギ袋で覆ったシェルター(25×45×10cm)に 11.6 mm の種苗 100 個体を封入して、海底面に設置しています。1~2 か月後に 81~96 個体が生き残っていたと報告しています。これは 890 個体/m² に相当する密度です。

また、光永ら⁹⁾は 26.2 mm 5,000 個体と 14.2 mm 12,000 個体を 2.3×1.5×0.3m のコンテナに放流して、大型個体は 18 日目まで 90% 以上の生残し、小型個体は 5 日目に 58.8% 生残していたと報告しています。これは 4,928 個体/m² に相当する密度です。

各報告での放流密度を参考に、10 mm 種苗 5 万個体を放流しようとするれば、表 17 のような広い面積が必要になり、放流直後の減耗を抑制するために、メッシュで覆うなどの措置をする場合は作業量やコストも増えます。

そこで、放流種苗はどの程度の密度に耐えられるのか検討しました。

表 17 10 mm 種苗 5 万個を放流するために必要な面積事例

| | | | |
|--------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 放流密度(個体/m ²) | 427 ¹⁾ | 890 ²⁾ | 4,928 ³⁾ |
| 必要な面積(m ²) | 117 | 56 | 10 |

1) 草加ら⁷⁾から算出した密度

2) 赤池ら⁸⁾から算出した密度

3) 光永ら⁹⁾から算出した密度

⑬当歳種苗の放流方法で紹介したように、平均体長 10.3 mm の種苗を 1L の海水とともに 17 時間かけて陸送した試験では、30g/L の密度で斃死などの問題は生じませんでした。30g は 10 mm 種苗 678 個体に相当しますが、封入したビニール袋の底面(20×20cm)に 16,950 個体/m² に相当する個体数重なっていても、少なくとも 17 時間は問題が無いと考えられます(なお、このときは陸送しているので 17 時間の間、封入した海水は輸送中の振動で動いていたと考えられます)。

直径 19.8cm の篩の上に平均体長 19.0±15.1 mm の種苗を 480 個体置いて、どの篩を抜出すか 2 日間静置した試験(後述する⑯海中育成の項で紹介します)でも、斃死などの問題は生じていません。この篩の面積は 307.7cm² でしたので、15,600 個体/m² に相当します。

水深 4m の恵山町のウニ養殖施設で写真 18 のように、こぶし大の石を 7L 容積分各トレイ(内

寸 502×320×195mm、底面に 11 mmの格子が 20×31 列あり、上下移動可能)に詰めて、これを側面からは逃げられないように 5 段積み重ねて海底面に固定しました。6 月にこの最上段にマナマコ 0.1g 以上のマナマコを放流しました。これを 10 月までの間に 2 週間から 2 か月間隔で計 4 回繰り返して、その都度各トレイに残っている個体の数と重量を測定しました。



写真 18 こぶし大の石を積めて 5 段に積み重ねたトレイ
底面は 11 mm目の格子になって上下移動はできるが側面からは移動できない

トレイの上 2 段は転石などの上に種苗を放流した直後に分散する範囲に相当します。当歳種苗を放流する 10 月時点で、上 2 段に残留していた個体の総重量は 978g/m² でした(図 22)。

この重量を稚ナマコのサイズ別の個体数に換算すると表 18 のようになります。

10 mmの当歳種苗の平均重量は 44.2mg ですので、22,112 個体/m² までは生息できると考えられます。実際の放流も、こぶし大の石が複数段重なるような底質であれば、この程度の密度で放流による斃死は生じないと考えられます。

ただし、放流時に種苗同士が重なっているような場合は、手で水流を起こして分散してやり、極力個体が重なるのを防ぎます。

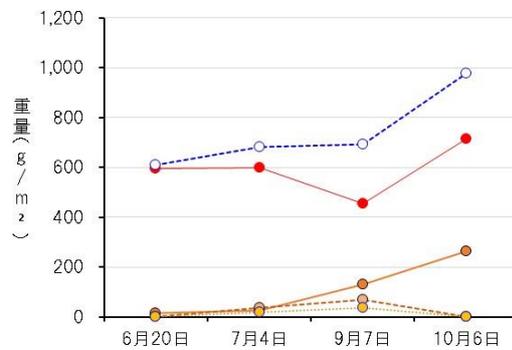


図 22 トレイに残留した個体の総重量

—●— 1段目 —●— 2段目 - -●- - 3段目 - -●- - 4段目 - -○- - 合計

表 18 1m² 当たり 978g の種苗を放流する場合の重量から換算したサイズ別放流数目安

| 体長(mm) | 5 | 7.5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 個体重量(mg) ¹⁾ | 8.71 | 22.53 | 44.23 | 114.45 | 224.68 | 379.12 | 581.35 |
| 1m ² 当たりの放流数 | 112,285 | 43,409 | 22,112 | 8,545 | 4,353 | 2,580 | 1,682 |

1) 個体重量(g) = 0.0002(麻醉体長)^{2.3447}

⑫追跡調査事例(当歳種苗の直接放流)

当歳種苗の追跡調査は豊浦地区、虻田地区、せたな町大成区、奥尻地区で行っています。いずれも在来個体と放流種苗はmsDNAのアリル型に基づく親子鑑定で判別しています。

【豊浦地区】

平成19年、H21年、H23年に表19の種苗を、離岸堤内側の水深7mの転石場(放流面積0.25m²)に設定された禁漁区に放流しました(写真19)。この転石場は、離岸堤のテトラポッドとなる1m程度の巨石と、その周辺を50cm程度の転石3段で覆われた底質です。

H20年～H24年の秋季(10月～12月)に、放流区を中心として十字方向にラインを伸ばし、5m間隔で1m²の枠取り調査を行いました。また、H23年以降(平成19年に種苗を放流してから4年目以降)は、146m砂で隔てられた漁場からの漁獲物調査も行いました。枠取り調査で回収したマナマコに占める人工種苗の混入率¹⁰は1.0～8.3%でした(表20)。

H19年に放流した種苗は、3年目にはすでに放流区と連続した転石場の端に当たる140mまで

表19 豊浦への放流種苗

| 放流地先 | 生産年 | 放流年月日 | 放流個体数 ¹⁾ (万個体) | 平均体長 (最小～最大) |
|------|-----|-------------|------------------------------|-----------------|
| 豊浦 | H19 | 平成19年11月16日 | 3.9 | 8.19(3.9～22.3) |
| | H21 | 平成21年12月3日 | 0.5 | 11.2(2.6～31.0) |
| | H23 | 平成23年11月24日 | 1.6 | 6.6(1.0～25.4) |

の礎石

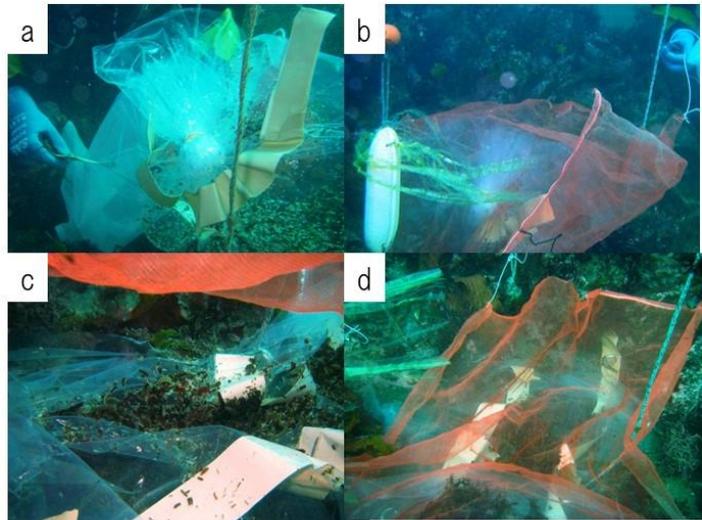


写真19 播種減耗を軽減する種苗放流事例

a: ビニール詰めした種苗を水中に固定 b: この上から1mm目合いの網をかぶせて網の一部を固定 c: この網の下でビニール袋を破る d: ビニール袋の上を網で覆い固定して、網の上から軽く海水を攪拌

表20 ライン調査で求めたH19年放流群の混入率

| 年月 | 平成20年 10月 | 平成21年 12月 | 平成22年 12月 | 平成23年 10月～11月 | 平成24年 12月 |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|
| 放流後日数 | 320 | 747 | 1,130 | 1,432 | 1,856 |
| 調査点数 | 11 | 17 | 36 | 102 | 63 |
| 採取個体数 | 24 | 100 | 115 | 154 | 91 |
| 人工種苗数 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 混入率(%) | 8.3 | 1.0 | 2.6 | 1.3 | 1.1 |
| 調査範囲 | 35×20m範囲 | 55×25m範囲 | 145×30m範囲 | 145×30m範囲 | 145×30m範囲 |
| 推定残留率 ¹⁾ | | | | 3.9 | 9.8 |

1)放流区域を礎石と転石に分けて調査したH23年とH24年のみ残留率を推定した

¹⁰ このマニュアルでは、ライン調査などの潜水調査で、サイズにかかわらず回収サンプル中に含まれる人工種苗の割合を混入率としました。北海道では漁獲物サイズを地域により100g～130g以上としているため、漁獲物調査で漁獲物として上げられた人工種苗の割合(混獲率)と区別して扱います。

移動し、4年目にはこの転石場と砂で146m隔てられた漁場からの漁獲物に、人工種苗が混獲されていました。

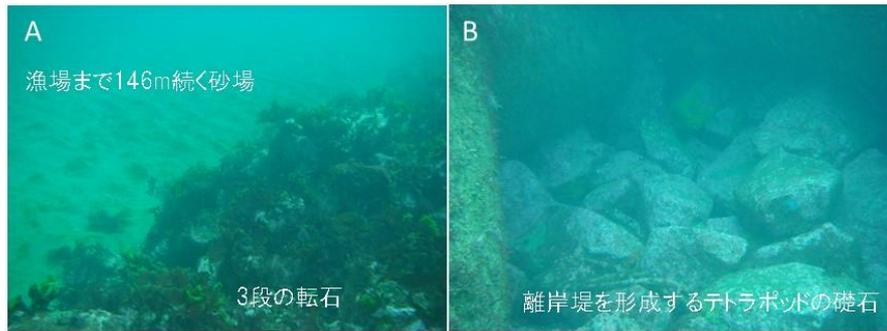


写真20 放流種苗の追跡調査対象とした底質

この転石場は、ダイバーがひっくり

返すことができる転石と、動かすことができない礎石(巨石)で覆われています(写真 20)。そこで、平成 23 年 10 月 14 日にスパゲッティタグを装着した平均重量 65g(12g~186g)のマナマコ各 50 個体を、転石場とテトラポットの礎石部に設置した 1m²の放流区に放流しました。5 日後に、放流場所とその周辺にいた全てのスパゲッティタグ装着個体を回収しました。ここで用いたスパゲッティタグは水槽で行った試験で 60 日間脱落は認められなかったもので、調査期間中の標識の脱落はないものとして、装着して放流した個体数に対して回収できた個体の割合(発見率)を求めました。この結果、礎石部での発見率はわずか 12%であったのに対して、動かせる転石部では 68.9%でした。

そこで表 20 の調査のうち、H23 年と H24 年は礎石部と転石部でそれぞれ別個のラインを伸ばし、ライン沿いに枠取り調査を行って、それぞれの底質で見つけたマナマコの密度を発見率で割返して、放流区域にいる全てのマナマコ個体数を推定しました。次にこの個体数にmsDNA のアレル型から判別した人工種苗の混入率を乗じて、H19 年の放流種苗の個体数を推定しました。その結果、推定残留率は H23 年が 3.9%、H24 年が 9.8%となり、調査年次によって推定残留率は大きく異なりました。

これらの調査で見つかった H19 年放流種苗の、放流後日数と重量の関係を図 23 に示しました。この結果、放流種苗が漁獲対象となる 100g に達しはじめるのは、放流から 3 年目以降と考えられました。また、重量組成から平成 19 年放流種苗を在来個体と区別することはできませんでした(図 24)。

豊浦地区でナマコ漁業を行った漁業者は H23 年が 5 名、H24 年は 6 名でした。この中で、放流区に隣接する漁場のみで漁獲した A 氏の漁獲物を調べると、平成 23 年に人工種苗が 2%、H24 年には 1%含まれていました。漁期中の調査はそれぞれ 1 回しか行わなかったため精度に問題はありますが、A 氏の漁獲で回収された H19 年放流種苗は H23

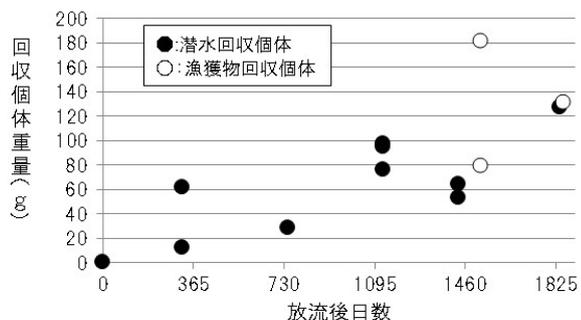


図 23 H19 年放流個体の成長

年には 139 個体、
H24 年には 18 個体
で、放流した 3.9 万
個体の少なくとも
0.4%は H24 年まで
に漁獲されたと考え
られました(表 21)。

なお、平成 21 年
に放流した種苗は確
認されておらず、平
成 23 年に放流した
個体 1 個体(8.8g)
が平成 24 年に確認
されています。

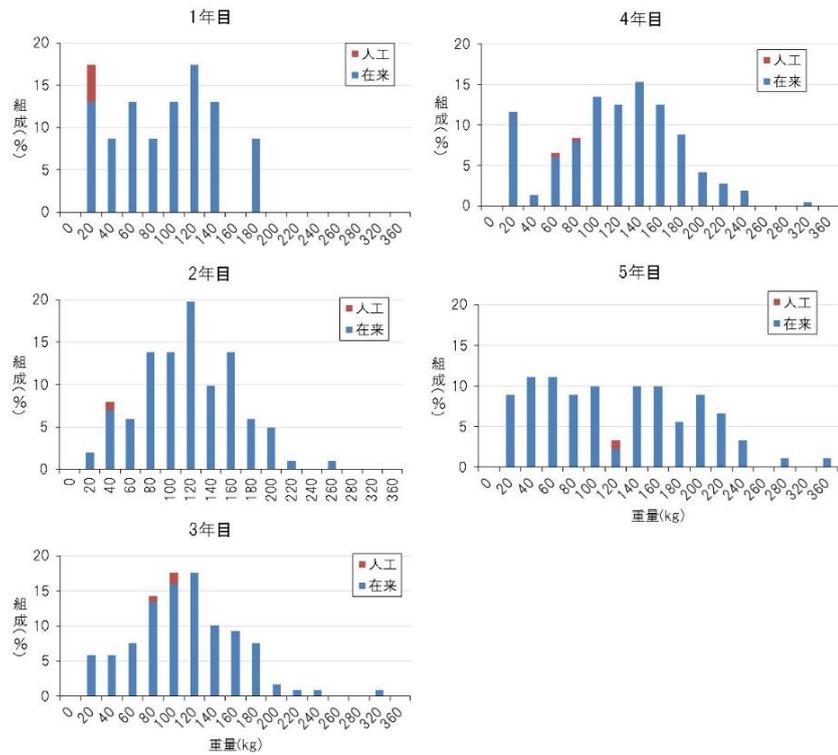


図 24 追跡調査で回収した在来個体とH19年放流種苗の重量組成

表 21 試験地先での漁獲量とH19年放流種苗の混獲率と
漁獲回収率

| 漁期 | 漁業者 | 漁獲量 (kg) | 調査日 | 混獲率 (%) | H19放流個体 | |
|------|-----|-------------|--------|------------|---------|-------|
| | | | | | 推定回収数 | 累積回収率 |
| H23年 | A | 696.0 | 1月16日 | 2.0 | 139 | 0.36 |
| | B | 1.2 | | | | |
| | C | 440.6 | | | | |
| | D | 790.0 | | | | |
| | E | 320.0 | | | | |
| | 累計 | 2,247.8 | | | | |
| H24年 | A | 181.0 | 12月18日 | 1.0 | 18 | 0.40 |
| | B | 14.0 | | | | |
| | C | 22.0 | | | | |
| | D | 731.0 | | | | |
| | E | 578.0 | | | | |
| | F | 558.0 | | | | |
| | 累計 | 2,084.0 | | | | |

【虻田地区】

平成 20 年 10 月に虻田町の砂泥域に設置したナマコ礁(20m×500m 域に 5m×5m の大割石 3 段積み投石礁を 12.5m 間隔で 2 列交互に計 40 基設置)に、翌年 9 月に 3.6 mm 種苗 7.7 万個体を放流して、放流種苗の追跡とともに、このナマコ礁が砂に埋没するかどうかを検討しました(写真 21)。

H24 年 12 月(礁設置 4 年目、放流 3 年目)に 2 列あるナマコ礁のうち、岸側の 18 礁全域にまたがるようにラインを張り、各礁で 1/4m² の枠取りを 3 枠ずつ実施するとともに、埋没状況を把握するためにナマコ礁の面積も測りました(表 22)。

ナマコ礁の面積は 16~77m² と、一部の礁が当初計画(25m²)よりも大きく広がっていましたが、埋没して縮小しているのは 140m 地点の 1 礁のみで、砂泥域に直接大転石を設置しても 4 年程度は設計形状を維持できていました。ただし、設置した 40 基は、岸側と沖側にそれぞれ 20 基ずつ平行して設置しているはずであったものの、調査した岸側で 20 基あるはずの礁が 18 基しか確認できなかったこと、基点とした放流礁とは反対側(西側)で、設計時よりも礁面積が広がっていたことから、こちら側での波当たりが強く、3 段の礁が崩れ、小を設置して 4 年目には西側の末端部の 2 礁が埋没したと推定されます。この投石礁は埋没防止用のシートなども設置していないので、他の造成礁に比べて設置コストが安くなり、

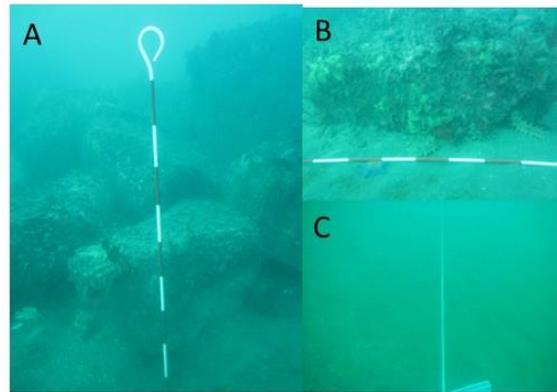


写真21 虻田の人工礁
A:投石 B:投石周辺の砂 C:投石間の砂場

表 22 礁面積と生息する推定マナマコ個体数および放流種苗の発見位置

| 礁 | 放流礁 | 20m | 40m | 60m | 80m | 100m | 120m | 140m | 160m |
|----------------------|------|-------|------|-------|------------|-------|-------|-------|------|
| 回収個体数 | 12 | 8 | 19 | 5 | 18 | 7 | 5 | 7 | 5 |
| 礁面積(m ²) | 25 | 35 | 25 | 42 | 25 | 36 | 30 | 16 | 42 |
| 推定個体数 | 400 | 373 | 633 | 280 | 300 | 336 | 200 | 149 | 280 |
| 抽出率(%) | 3.0 | 2.1 | 3.0 | 1.8 | 6.0 | 2.1 | 2.5 | 4.7 | 1.8 |
| 平均重量(g) | 74.0 | 118.2 | 77.0 | 162.0 | 42.0 | 140.4 | 193.5 | 138.2 | 83.4 |
| 推定資源量(kg) | 29.6 | 44.1 | 48.8 | 45.4 | 12.6 | 47.2 | 38.7 | 20.6 | 23.3 |
| 人工種苗重量 | | | | | 69g | | | | |

| 礁 | 180m | 200m | 220m | 240m | 260m | 280m | 300m | 320m | 340m | 合計 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|
| 回収個体数 | 7 | 15 | 23 | 17 | 15 | 9 | 14 | 13 | 14 | 213 |
| 礁面積(m ²) | 35 | 42 | 25 | 30 | 30 | 52.5 | 67.5 | 63 | 77 | 698 |
| 推定個体数 | 327 | 840 | 767 | 680 | 600 | 630 | 1,260 | 1,092 | 1,437 | 10,585 |
| 抽出率(%) | 2.1 | 1.8 | 3.0 | 2.5 | 2.5 | 1.4 | 1.1 | 1.2 | 1.0 | 1.9 |
| 平均重量(g) | 41.7 | 82.9 | 83.1 | 45.0 | 60.5 | 99.6 | 43.7 | 57.1 | 90.6 | 78.9 |
| 推定資源量(kg) | 13.6 | 69.6 | 63.7 | 30.6 | 36.3 | 62.8 | 55.1 | 62.3 | 130.2 | 834.6 |
| 人工種苗重量 | | | | | | | | | | |

今回の礁設置にかかったコストは 500 万円でした。

採取できたマナマコは各礁 5～23 個体で合計 213 個体でした。発見率は考慮せず、回収した個体数から割りだした平均密度を、各マナマコ礁の面積にかけて、礁内にいる個体数を推定しました。また、各礁ごとに回収した個体の平均重量から推定した資源量も合わせて検討しています。

この結果、調べた 18 礁全体では 10,585 個体、834.6kg のマナマコがいると推定されました。

礁の面積当たりの個体数(密度)と平均重量の関係を図 25 に示しました。人工礁内の密度が高いほど平均重量は小さくなっていました。図 26 に礁内の密度と推定資源量(g/m^2)の関係を示しました。礁 1m^2 当たり最大で 2.5kg のマナマコが生息していました。

回収したマナマコのうち放流種苗は、放流礁から 80m 離れた地点で 1 個体のみ確認でき(重量 69g)、回収した 213 個体のうち放流種苗の混入率は 0.47% でした。

調査した 18 基の礁全体の推定個体数から、人工種苗の残留個体数は 50 個体と推定され、放流した 7.7 万個体の 0.07% が残留したと推定されます。体表 3.4 mm の種苗も生残すること、3 年間で放流場所から少なくとも 80m は移動し 69g に成長したことが分かりました。

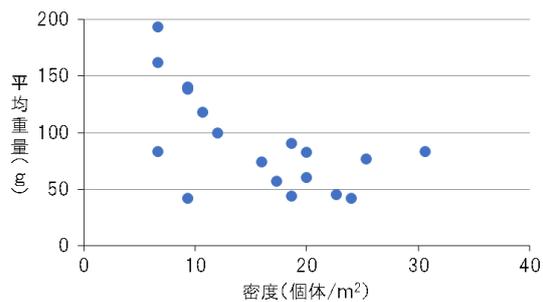


図 25 礁内の生息密度と平均重量の関係

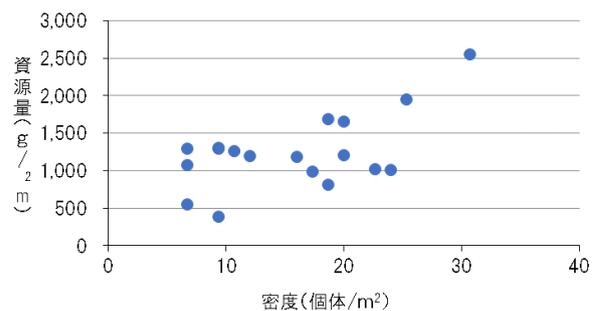


図 26 礁内の密度と資源量の関係

【せたな町大成区】

せたな町大成区では、H28 年から表 23 の当歳種苗を水深 4m の 4m² の放流区に潜水放流しています。

放流区を中心に南北方向に伸ばした 270m のライン沿いに行った 10m 間隔のトランセクト調査で、回収された放流種苗と、後述する放流漁港周辺での漁獲物の放流後の成長を図 27 に示しました。同一年級でも重量(成長)に大きなばらつきが認められました。

図 28 に当歳種苗の南北方向への分散範囲を示しました。H28 年放流種苗は 275 日目に放流区から北へ 70m 地点で、630 日目に南へ 130m 地点で確認されました。

調査ライン沿いの 1m 幅の区域内で確認された放流種苗の個体数を図 29 に示しました。これまでの調査で、H30 年の放流種苗は回収できていません。最も多く回収されている H28 年放流種苗も、調査のたびに大きく変動しました。

表 23 放流した当歳種苗

| | H28 | H29 | H30 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 放流日 | H28.11.28 | H29.12.15 | H30.12.25 |
| 放流数 | 86,738 | 61,282 | 45,280 |
| 放流サイズ(mm) | 5.4 | 8.11 | 10.1 |

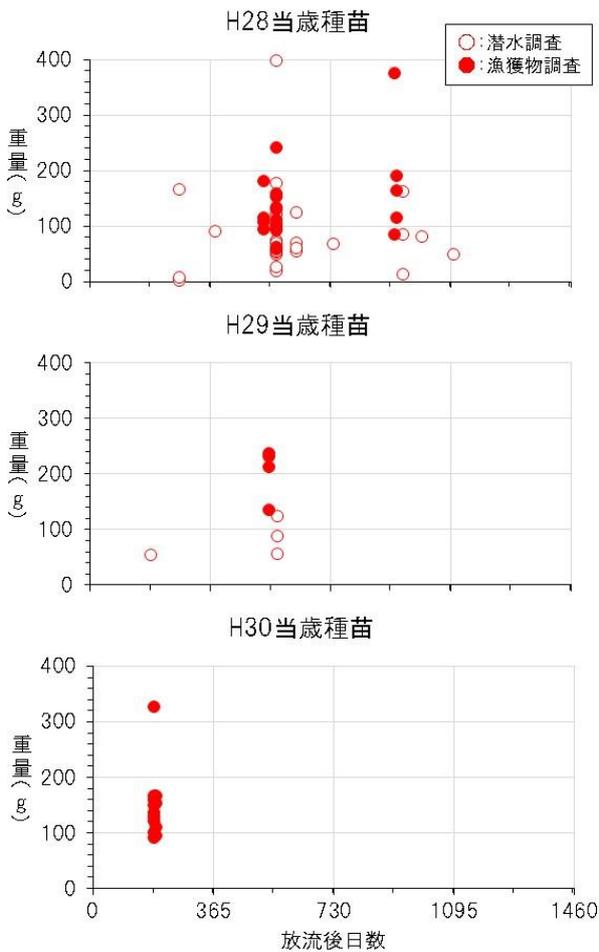


図 27 当歳種苗の成長(せたな町大成区)

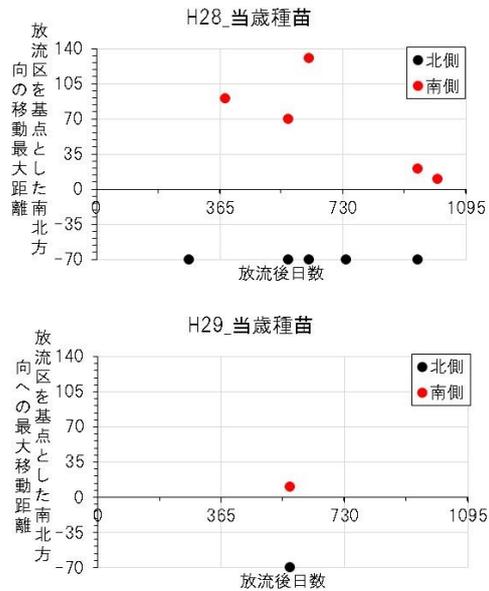


図 28 ライン調査で回収した当歳種苗の最大移動距離

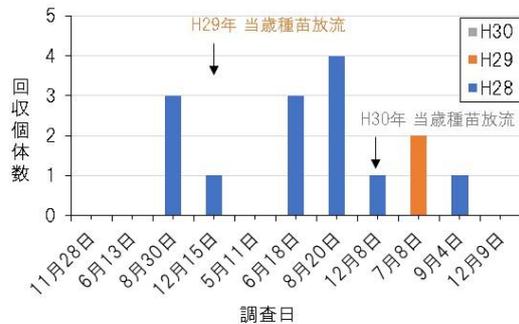


図 29 調査ライン上で回収された当歳種苗の個体数

この放流区は周辺に転石場が点在する泥場で、河川水の流入があるため濁りも強く、潜水調査でも港湾内部全体の底質を把握し切れていません。また、追跡調査でマナマコが認められた場所は、全て玉石または転石場でした。このため、ライン上の密度から放流港内全体への残留率を推定するのは困難であると考え、放流区を中心に南北 270m に張ったライン沿い 1m 幅、計 270m² への残留率を算出して図 30 に示しました。H28 年放流種苗の残留率は 0~0.005%、H29 放流種苗は 0~0.003%、H30 年放流種苗は 0% でした。

H29 年~R3 年までに、漁港周辺でも取り漁業の漁獲物への放流種苗の混獲率を基に、累積漁獲回収率と投資効率を表 24 に示しました。またその経年変化を図 31 と図 32 に示しました。

各放流群は、放流の翌年または翌々年から漁獲され、R3 年までに放流種苗の 0.11~0.66% が漁獲回収され、現時点での投資効率は 0.08~0.46 です。漁獲物調査では H28 年~H30 年に放流された全ての放流群が漁獲回収されています。

また、この他に、放流区から 2.0~2.5km 離れた漁場でも、着底稚仔と同様に当歳種苗が漁獲されています。

ライン調査では全く見つからない H30 年放流種苗も漁獲されています。

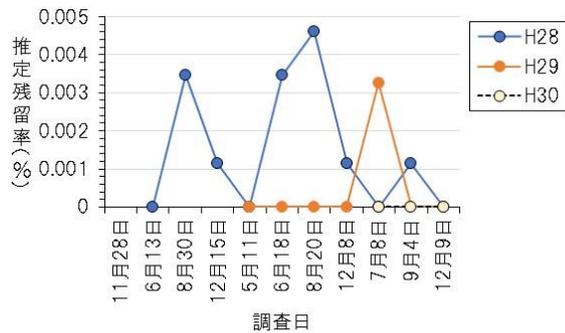


図 30 調査ライン上への推定残留率

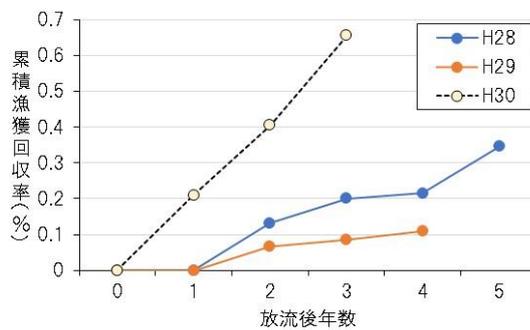


図 31 放流区周辺のも取り漁業による累積漁獲回収率

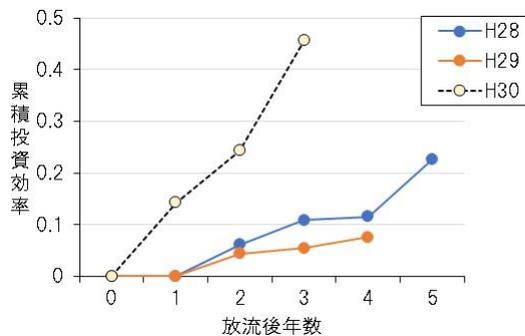


図 32 放流区周辺のも取り漁業から算出した投資効率の経年推移

表 24 当歳種苗の累積漁獲回収率と投資効率(せたな町大成区)

| 放流年 | 漁獲年 | | | | | 累積漁獲回収数 | 放流数 | 累積漁獲回収率 (%) | 全群の累積回収率 (%) ¹⁾ | 種苗単価 ²⁾ | 投資金額 (A) | 漁獲収益 (B) | 投資効率 (B/A) | 全群の投資効率 ³⁾ | |
|-----|-----|-----|-----|----|----|---------|-----|-------------|----------------------------|--------------------|----------|-----------|------------|-----------------------|-----|
| | H29 | H30 | R1 | R2 | R3 | | | | | | | | | | |
| 当歳 | H28 | 0 | 114 | 60 | 13 | 113 | 300 | 86,738 | 0.35 | 0.34 | 17.00 | 1,474,546 | 335,064 | 0.23 | 0.2 |
| | H29 | | 0 | 40 | 13 | 15 | 67 | 61,282 | 0.11 | | 17.00 | 1,041,794 | 78,632 | 0.08 | |
| | H30 | | | 95 | 88 | 113 | 297 | 45,280 | 0.66 | | 17.00 | 769,760 | 351,109 | 0.46 | |

【奥尻地区】

奥尻では表 25 の当歳種苗を港湾外側の外海（水深 4m 地点）の 4m² の放流区に放流しています（写真 22）。その後、R1 年まで毎年 5 月と 12 月にこの放流区を中心に、東西南北とその中間の計 8 方向に 100m のラインを張って、10m ごとに 1m 幅にいるマナマコを全て回収しました。回収し

た個体のうち、放流した当歳種苗の成長を放流群ごとに図 33 に示しました。いずれの放流群も成長は大きくばらつくものの、3 年目頃に漁獲サイズである 100g に達する個体が現れ始めました。また、放流種苗の分散範囲と密度から、調査域（約 31,400m²）に残留した放流種苗の残留率は、図 34 のように調査回次によって大きく変動しました。

放流区周辺の 15m 以浅では胴突き漁業が、水深 15m 以深では潜水漁業が行われています。この潜水漁場は放流区から直線距離で 300m 程度離れていますが、ここでの漁獲物からも放流種苗が見つかっています。そこで、ここで H30 年～R3 年までに行われた漁業での、放流種苗の混獲率から、漁獲による回収率と投資効率を算出しました（表 26）。H26 年放流群はこれまで放流種苗の 0.31% が、H27 年と H28 年放流群はそれぞれ 0.02% が漁獲されたと推定されます（図 35）。また、投資効率は 0.01～0.14 で、まだ十分放流による投資が回収されていないと考えられます（図 36）。

表 25 奥尻に放流した当歳種苗

| 放流年月日 | 平均体長(mm) | 放流数 |
|----------|----------|---------|
| H26.12.9 | 7.13 | 25,192 |
| H27.12.2 | 5.5 | 95,622 |
| H28.12.8 | 14.7 | 50,160 |
| 合計 | | 170,974 |

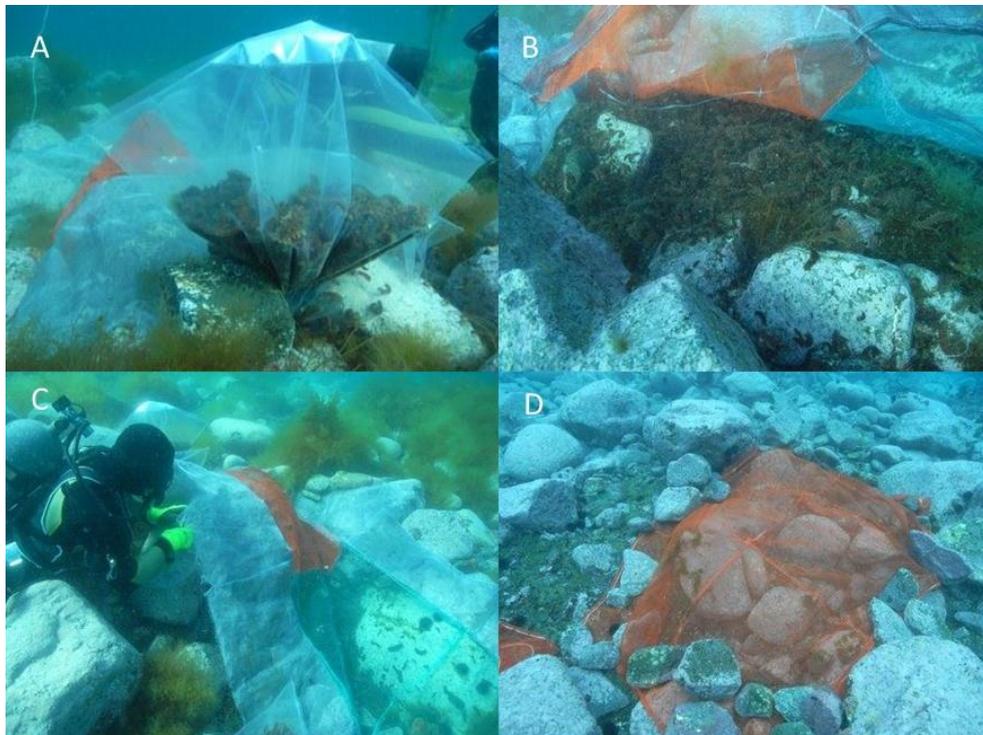


写真22 ビニール袋に封入して持ち込んだ種苗を放流する様子

A: ビニール袋に封入した種苗 B: あらかじめ2点を固定したメッシュの隙間に種苗を放流
C: メッシュの下で持ち込んだ種苗を拡散 D: 全体を覆って4隅を石やマルカン杭で固定

[目次に戻る](#)

[総論の先頭に戻る](#)

[各論先頭に戻る](#)

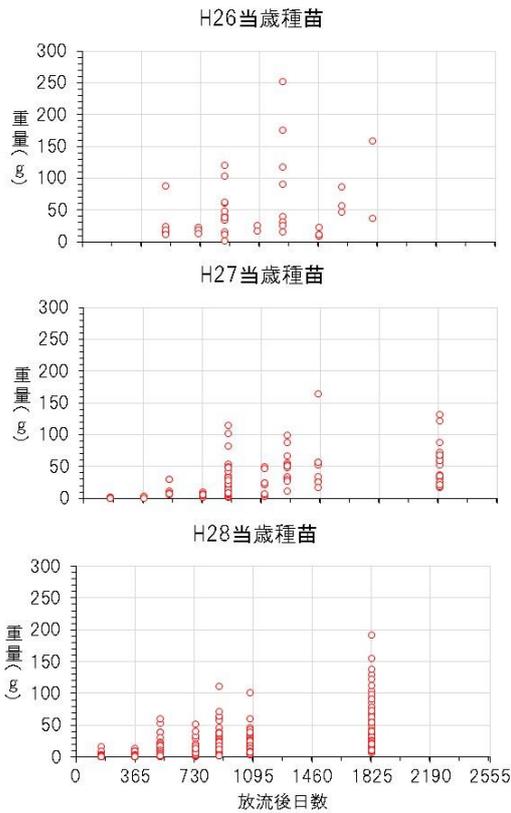


図 33 ライン調査で回収した当歳種苗の成長

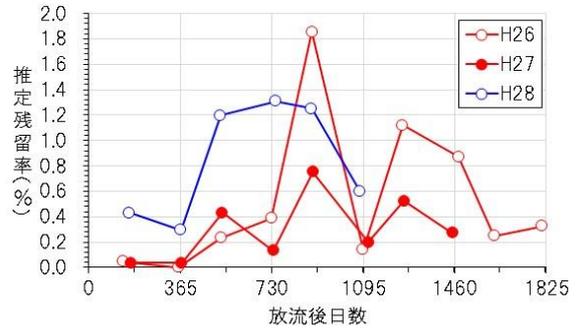


図 34 推定残留率

表 26 R3 年までの累積漁獲回収率と投資効率

| 漁獲年 放流年 | 漁獲個体数 | | | | 累積漁獲 回収数 | 放流数 | 累積漁獲 回収率 (%) | 全群の累積漁獲回 収率(%) | 種苗単価 (円) | 投資金額 (A) | 漁獲収益 (B) | 投資効率 (B/A) | 全群の投資 効率 ²⁾ |
|------------|-------|----|----|----|-------------|---------|--------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------------------|
| | H30 | R1 | R2 | R3 | | | | | | | | | |
| H26 | 46 | 5 | 13 | 14 | 78 | 25,192 | 0.31 | 0.50 | 16 | 411,000 | 57,502 | 0.14 | 0.04 |
| H27 | 0 | 0 | 19 | 0 | 19 | 95,622 | 0.02 | | 4 | 411,000 | 12,194 | 0.03 | |
| H28 | 0 | 0 | 25 | 0 | 25 | 122,490 | 0.02 | | 10 | 1,233,000 | 12,851 | 0.01 | |

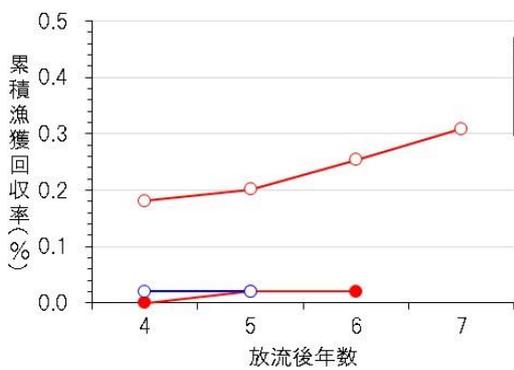


図 35 累積漁獲回収率

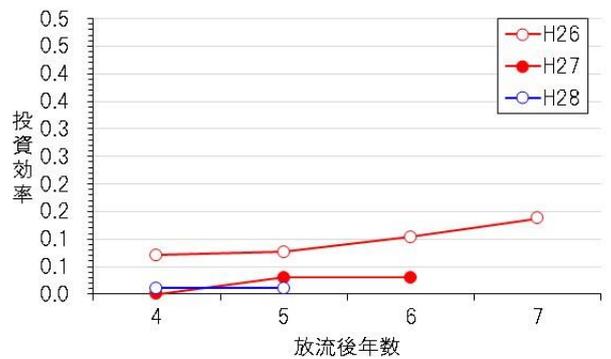


図 36 投資効率の経年変化

⑬海中育成方法(当歳種苗)

当歳種苗を海中で大きく育てるための方法で、当歳種苗の出荷時期以降から、翌年暖かくなる4月～7月頃までが育成期間になります。

育成方法には育成籠の海底設置と海面からの垂下式の2通りあります。

いずれの場合も当歳種苗が付着できる農業用遮光幕やネットネットなどの基質を、タマネギ袋など細かい網目で覆って育成します。



⑬-1 育成に用いる籠の目合い

写真 23 のマナマコのレントゲン写真(Soft X線写真)をみると、口の周りに囲周口骨という大きめの骨がある他は、ほとんど表皮や筋肉などの軟体部です。この囲周口骨同士は筋肉などの軟組織で結びついて1つの塊を形成しています。この幅(囲周口骨径と呼びます)は、麻醉体長に比例して大きくなり概ね体長の7.7%が囲周口骨径になります(図 37)。

$$\text{囲周口骨径} = 0.077 \times \text{体長} + 0.405$$

1.00 mm～7.93 mm目合いの篩を、粗いものから順に重ねて、この最上段(粗い目合いの篩)の上に平均体長 19.0±15.1 mmの種苗を計 480 個体のせて、2 日間静置し、各目合いの篩に残った(それぞれの目合いを抜けられなかった)種苗の体長を調べました(図 38)。この結果、囲周口骨径よりも狭い目合いは抜けられないことが分かりました。

稚ナマコの体長と抜け出せる目合いの関係を表 27 に示しま

した。市販されているタマネギ袋の目合いは 2 mmですので、20 mm以下の種苗は抜け出せる目合い

表 27 稚ナマコの体長と抜け出せない目合いの目安

| 種苗の体長(mm) | 5.0 | 10.0 | 15.0 | 20.0 | 25.0 | 30.0 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 囲周口骨径(mm) | 0.79 | 1.17 | 1.56 | 1.94 | 2.33 | 2.71 |
| 抜け出せない網目(mm) ¹⁾ | 0.79 | 1.17 | 1.56 | 1.94 | 2.33 | 2.71 |

1) 囲周口骨径=0.077×体長+0.4から算出

写真 23 マナマコのレントゲン写真
丸で囲んだ部分が囲周口骨
矢印は測定した囲周口骨径

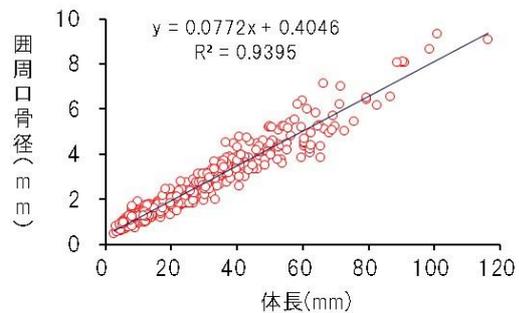


図 37 麻醉体長と囲周口骨径の関係

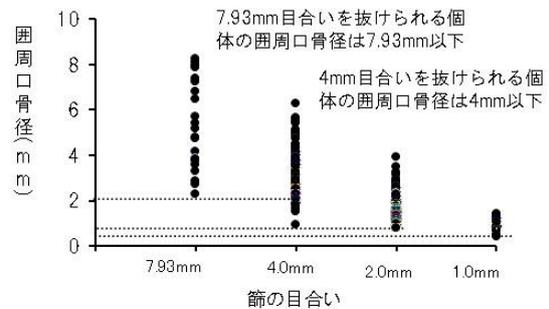


図 38 篩の目合いとこれを抜けられなかった個体の囲周口骨径の関係

1 mm～8 mm目合いの4つの篩を、粗いものから上下に重ね、最上段の篩にナマコを置き、2日後に各篩に残った稚ナマコを測定

です。海中育成の対象となる当歳種苗は概ね 15 mm以下なので、1.56 mm以下の目合いの網目は抜け出せると考えられます。

⑬-2 海底設置籠による方式

2004 年 11 月に、鹿部沖で目合い 2 mmのタマネギ袋にネロンネットを入れて、ここに平均体長 4.1 ± 1.0 mmと 10.3 ± 2.9 mm種苗の稚ナマコを、密度別(10 個体、25 個体、50 個体、100 個体、150 個体、250 個体/採苗器)に封入して、ホタテ丸籠に収容して、海中に垂下しました。138 日後の 2005 年 4 月に回収したところ、4.1 mm種苗

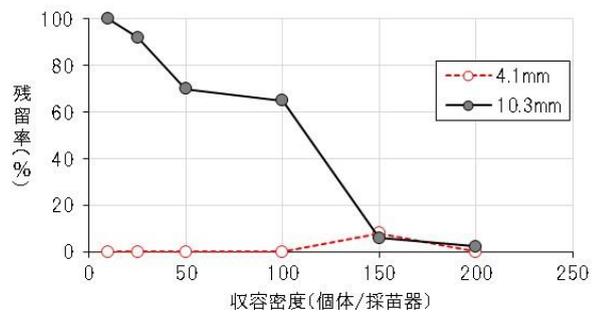


図 39 体長別収容密度別の残留率(収容 138 日後)

はほとんど回収できませんでした(図 39)。一方、10.3 mmの種苗の方は、低密度で収容した放流群ほど多く残り、袋当たりの最大の残存個体数は 65 個体(100 個体/袋)でした。

前頁の麻酔体長と囲周口骨径の関係式から 4.1 mm種苗は 0.7 mm目合いの網目を抜け出せ、10.3 mm種苗は 1.2 mm目合いを抜け出せると考えられますが、ここで用いたタマネギ袋の目合い 2 mmは両種苗ともに十分に抜け出せる目合いです。

瀬戸ら¹⁰⁾は水槽実験から、固着力(ナマコの管足が基質に吸着する力)は体長に比例して増加すると報告しています。4.1 mm種苗は 10.3 mm種苗に比べ海中育成時の振動など物理的な流動条件に弱く、採苗器からふり落とされてしまった可能性があります。

一方、0.4 mmの着底稚仔 4,146 個体を付着させた採苗器を、同じ 2 mm目合いで覆って海底面に設置した事例では(⑨着底稚仔の海中育成参照)、3 か月後に平均体長が 9.4 mmに育った種苗が 288 個体/袋の密度で残っていました。垂下施設に比べ海底設置型の施設では、上下方向の振動がなく、ふり落とされるような物理的な影響は小さい可能性があります。

また、着底稚仔の項で触れたように海底設置式の場合は、垂下式に比べて採苗器に付着するマナマコ以外の生物が少ないメリットもあります。

ただし、これらを海底に設置するためには、漁港漁場整備法に基づく許可(漁港区域内の水域における占有の許可)が必要な上、設置や回収に潜水作業が加わるためにコスト高になります。また、着底稚仔の項で説明した漂砂による埋没のリスクもありますから、場所の選定は重要です。

⑬-3 海中に育成施設を垂下する方式

海中育成施設の設置や回収は、海底設置式に比べて垂下式の方が簡便です。

特に 10 mm以上の個体は、その収容密度に応じて高い回収率が期待できます。

図 40 は、ホタテ丸籠の上・中・下段にネトロンネットを丸めて目合い 2 mmのタマネギ袋に詰め、ここに平均体長 10.3 mmの稚ナマコを密度別に収容したときの結果です。上段は水面下 0.5m、中段と下段はそれぞれ 2.5m、4.5m に当たります。208 日後に回収して残留率と平均体長を比較しました。10.3 mmは囲周口骨径が 1.17 mmですので、2 mm目合いのタマネギ袋からは十分に抜け出せるサイズでしたが、袋当たり 100 個体以下では 73~96%残留しています(表 28)。一方で、150 個体以上詰めた場合は残留率が低下しました。海中に垂下したタマネギ袋やその中に詰めたネトロンネットに付着した、ナマコ以外の生物種と個体数を表 29 に示しました。目的としたマナマコ 4 個体~116 個体に対して、これ以外の付着生物数は 1,263~5,144 個体でした。

海中育成では、こうした付着生物の中から目的のマナマコを選び取る必要があります。過密に収容すると回収率が低いばかりではなく成長も悪くなります。そこで、タマネギ袋を利用した海中育成の適正な収容密度は 100 個体/袋程度と考えられます。

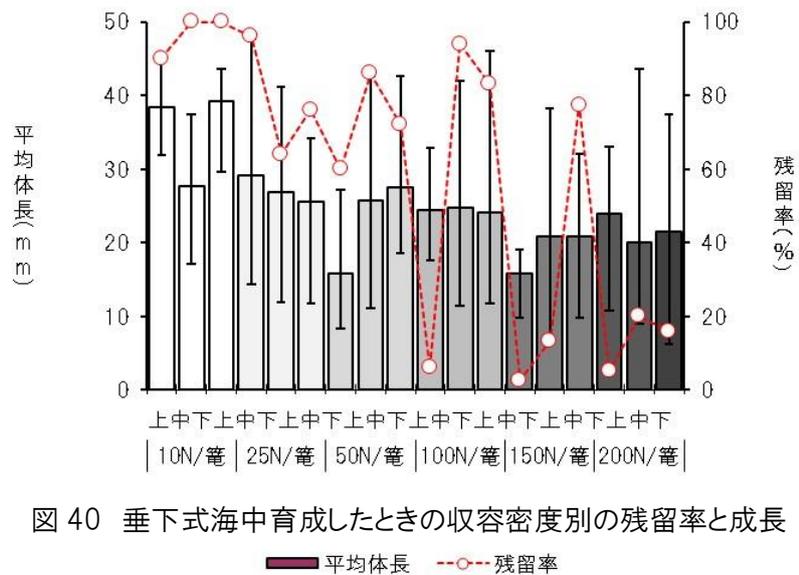


図 40 垂下式海中育成したときの収容密度別の残留率と成長

2mm目のタマネギ袋にネトロンネットを収容し、それぞれ密度別の稚ナマコを収容。これをホタテ丸籠の上・中・下段に設置し、205 日後に回収して残留率と体長を測定。

(鹿部漁協青年部と共同試験)

表 28 収容密度別の残留率と平均体長

| | 10個体/袋 | 50個体/袋 | 100個体/袋 | 150個体/袋 | 200個体/袋 |
|-------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 平均体長(mm) | 35.0 | 27.4 | 24.4 | 19.7 | 21.1 |
| 平均残留率(%) | 96.7 | 78.7 | 72.7 | 39.3 | 13.7 |
| 日間成長量(μm/日) | 120.1 | 82.9 | 68.5 | 45.1 | 52.0 |

(鹿部漁協青年部との共同研究)

表 29 海中育成した基質に付着していた生物種と個体数

| 出現生物 | N=10 | | | N=25 | | | N=50 | | | N=100 | | | N=150 | | | N=200 | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 上段 | 中段 | 下段 |
| 棘皮動物 マナマコ | 9 | 10 | 10 | 24 | 16 | 19 | 30 | 43 | 36 | 6 | 94 | 83 | 4 | 20 | 116 | 10 | 40 | 32 |
| 節足動物 ヨコエビ類 | 103 | 46 | 53 | 108 | 76 | 87 | 229 | 87 | 152 | 100 | 6 | 29 | 394 | 21 | 43 | 103 | 42 | 7 |
| ワレカラ類 | 188 | 36 | 77 | 175 | 98 | 46 | 110 | 124 | 18 | 104 | 8 | 11 | 176 | 55 | 110 | 147 | 67 | 38 |
| ニッポンコツブムシ | 1 | | 11 | | | 2 | | | 2 | | | 1 | | | 3 | | | 1 |
| 軟体動物 キヌマイトガイ | 1,068 | 3,024 | 3,093 | 1,121 | 2,562 | 2,418 | 1,051 | 2,546 | 2,142 | 1,570 | 5,026 | 3,388 | 1,421 | 2,381 | 2,680 | 953 | 2,687 | 2,526 |
| エゾイガイ | 233 | 51 | 35 | 43 | 44 | 28 | 5 | 57 | 7 | 60 | 59 | 40 | 50 | 48 | 30 | 55 | 34 | 47 |
| アスマニシキ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ホタテガイ | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | |
| ウミウシ類 | 34 | | 39 | 14 | 10 | 2 | 17 | 27 | | 2 | 1 | 1 | 14 | 10 | | | | 38 |
| ミノウミウシ | 6 | | 2 | | 3 | 2 | | 4 | 5 | | 1 | | | | 2 | | | 1 |
| 原索動物 ホヤ類 | | | | | | | | 2 | | | 2 | | | 2 | | | | 3 |
| ユウレイボヤ | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| 扁形動物 ウスヒラムシ | | | 5 | | 2 | 1 | | | | | 1 | 4 | | 1 | | | | 2 |
| ヒドロ虫類 | | 1 | | | 1 | | | | | | | 1 | | | | | | 3 |
| ウミシバ | 1 | | | 1 | 8 | | | | 13 | | 17 | 1 | | | | | | 2 |
| こけむし類 | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | | | |
| 環形動物 環形動物 | | 2 | | | 2 | 3 | | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 多毛類 | 2 | 15 | 4 | 1 | 6 | 7 | 1 | 8 | 3 | 9 | 20 | 21 | | 8 | 8 | | | 6 |
| 海綿動物 海綿類 | | | | 1 | | 2 | | | | | | 2 | 1 | | 2 | | | 2 |
| 海藻類 セイヨウハバハリ | | | | | | | | | | | | | | 3 | 1 | | | 1 |
| すじめ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| モロイトグサ | | 1 | | | | | | | | | | | | | 2 | | | |
| コンブ類 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| アナメ | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| マナマコ以外の生物数 | 1,636 | 3,176 | 3,319 | 1,466 | 2,814 | 2,599 | 1,413 | 2,857 | 2,341 | 1,848 | 5,144 | 3,502 | 2,063 | 2,527 | 2,880 | 1,263 | 2,887 | 2,666 |

※高密度で収容すると残留率が下がる理由

図 41 は、ネットを収容した 1 mm 目合いのタマネギ袋に、平均体長 5.6 mm (囲周口骨は 0.83 mm) の稚ナマコを、密度別に収容して、波などの影響を受ける海中育成した場合と、陸上の水槽で 99 日間育成した場合を比較したものです。

折れ線で示した残留率は、いずれの場合も高密度で収容するほど低下しました。水槽内の静穏な条件下であっても、高密度で収容したタマネギ袋では残留率が低下します。この水槽内の試験期間中、タマネギ袋内の観察は行いませんでしたが、収容直後から種苗がタマネギ袋外へ抜け出している様子が観察され、高密度時に稚ナマコが自ら網目を抜け出していたと考えられました。

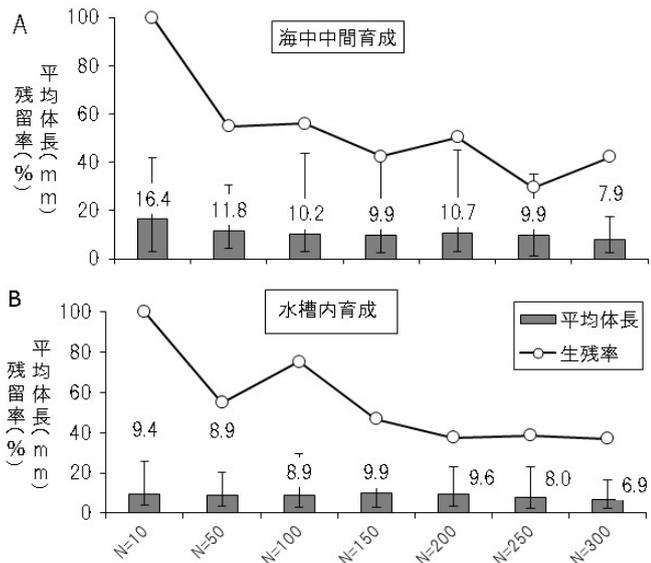


図 41 タマネギ袋を利用した海中育成と水槽育成での収容密度別残留率と成長

図中の数値は平均値を縦バーは最大値最小値を示す
1mm網目のタマネギ袋に密度別に封入して育成
陸上育成では個体あたり0.44mg/2日のビックを給餌し
海中育成では無給餌

⑬-4 海中育成の経済効果

先述の表 27 の事例から、タマネギ袋当たり 10～200 個体の範囲で収容して、7 か月海中育成し、1 万個体の種苗を得るために必要な経費を試算しました(表 30、図 42)。必要な設備投資と種苗代金(ここでは 30 円/個体として試算しています)の合計は、10 個体/袋で収容した場合が最も低くなりますが、剥離など作業量(ここではタマネギ袋の数)と垂下する丸籠の本数(海中育成による占有面積ともいえます)は低密度で育成するほど多くなります。これらを考えると、経費も低く作業効率も良いのは、タマネギ袋を収容する丸籠の連数が最も少なくて済む 100 個体/袋で育成した場合です。

100 個体/袋で育成し 1 万個体の種苗を得るための経費は 513,130 円ですので、海中育成後の種苗単価は 51.3 円になります。

表 30 海中育成で 1 万個体の越冬種苗を確保するために必要な経費

| 収容密度 | 回収率 (%) | 必要稚ナマコ数 | タマネギ袋数 | 単価 (円) | 丸籠の連数* | 単価 (円) | 設備投資の合計 | 種苗経費** | 合計 |
|------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------|-----------|
| 10 | 96.7 | 10,341 | 1,034 | | 52 | | 127,136 | 310,238 | 437,374 |
| 25 | 78.7 | 12,706 | 508 | | 26 | | 63,172 | 381,194 | 444,366 |
| 50 | 72.6 | 13,774 | 275 | 45 | 14 | 1,550 | 34,097 | 413,223 | 447,320 |
| 100 | 61.0 | 16,393 | 164 | | 9 | | 21,327 | 491,803 | 513,130 |
| 150 | 31.1 | 32,154 | 214 | | 11 | | 26,696 | 964,630 | 991,327 |
| 200 | 13.7 | 72,993 | 365 | | 19 | | 45,873 | 2,189,781 | 2,235,654 |

*: 1 連10段の丸籠1段に2袋ずつタマネギ袋を収容(施設管理費は考慮していない)

** : 種苗単価を30円/個体として試算

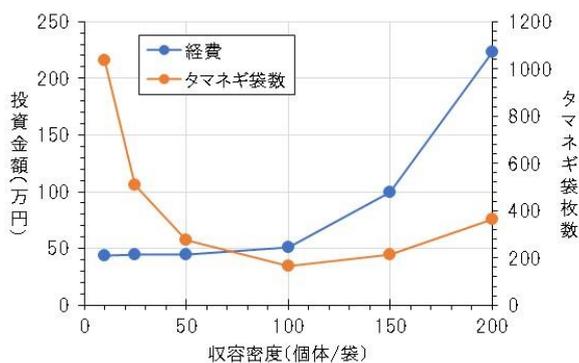


図 42 海中育成で 1 万個体の越冬種苗を得るために必要な経費

○越冬種苗の放流について

種苗生産技術は日進月歩で、現在は年内 30 mm種苗の生産も可能になっています。

H26 年に越冬サイズの種苗を放流し始めた当時は、越冬して長期間育成しても平均体長は 12 mm～15 mm程度でした。ここではこのサイズの種苗を 4 月～6 月に放流した事例を基に放流手法について紹介します。

⑭越冬種苗の放流時期

越冬種苗は陸上の施設か、前年に生産した種苗を海中施設で育成して確保することになります。通常陸上施設は 7 月頃には次年度の種苗生産のための準備に取りかかることになるため、この時期までには剥離して放流することになります。海中の施設の場合も長期間海中に置くことで、稚ナマコ数が減少したり、成長速度が低下する懸念があるため、海上での回収作業が楽になる 4 月～7 月ごろに剥離と放流が行われることになります。なお、厳冬期は剥離個体が凍結してしまう懸念があるほか、放流後に基質に付着できず時化などで流されやすくなるため放流は避けます。

⑮越冬種苗の放流場所

後述する⑲放流適地の項で詳しく述べますが、当歳種苗と同様に、波浪による流失や食害を免れる玉石や転石が敷き詰められている底質が放流の適地になると考えられます。

⑯越冬種苗の放流方法

越冬種苗では、飼育施設から剥離・回収して、海水と一緒に海水に詰めて放流地先まで移動します。この際、できるだけ干出しないように気をつけます。稚ナマコは比重が軽いので、船上から海面に直接播いてしまうと、広く分散してしまい、砂地などの放流に適さない場所に着底してしまう懸念があります(⑬当歳種苗の放流方法 参照)。そこで、できるだけ潜水放流するか、着底稚仔の項で説明した船上から放流器を用いて転石場に放流します。

⑰越冬種苗の放流密度

高山¹¹⁾は直径 20cm 高さ 70cm の塩ビ管に石を積み、ここに体長 18.2 mm以上(平均重量 2.63g)の種苗 30 個体(2,513g/m²に相当)を封入し 220 μm 目合いのネットで覆って、40 日目に 90%～100%、77 日目に 83.3%～90%の個体を回収しています。平均重量 2.63g は概ね 52 mm～57 mm程度の個体を 955 個体/m²の放流密度に相当します。ただし、この場合放流に用いた塩ビ管は 70cm の高さがあるため、当歳種苗で紹介した 5 段トレイ 3 段分に相当すると考えられます。

当歳種苗と同様、5 段トレイでの事例(⑭当歳種苗の放流密度_図 22)から、許容量を $978\text{g}/\text{m}^2$ として、表 31 の密度で放流できると考えられます。

表 31 サイズ別の放流密度の目安

| 体長(mm) | 15 | 20 | 25 | 30 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 個体重量(mg) ¹⁾ | 114.45 | 224.68 | 379.12 | 581.35 |
| 1m ² 当たりの放流数 | 8,545 | 4,353 | 2,580 | 1,682 |

1) 個体重量(g) = $0.0002(\text{麻酔体長})^{2.3447}$

⑱追跡調査事例(越冬種苗の放流)

【せたな町大成区_袋澗への放流事例】

H26 年と H27 年の 6 月に表 32 に示した越冬種苗を、袋澗に放流しました。ここにラインを張りライトランセクト調査を行いました。マナマコを採取できなかったため、フリーサンプリングして集めた種苗に、どれだけ放流種苗が混入するかを検討しました(表 33)。この結果、在来個体が少ないこともあり放流種苗の混入率は 11.5~65.8%と非常に高くなりました。

表 32 袋澗に放流した越冬種苗

| 放流年月日 | H26.6.13 | H27.6.10 |
|-----------|----------|----------|
| 放流数 | 7,343 | 2,464 |
| 放流サイズ(mm) | 13.7 | 20.1 |

表 33 調査ごとの混入率

| 調査日 | 140925 | 150625 | 150716 | 150924 | 151021 | 160622 | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 人工種苗数 | H26年6月 | 29 | 10 | 11 | 21 | 5 | 15 |
| | H27年6月 | | | | 2 | 1 | 8 |
| 分析数 | 44 | 46 | 96 | 79 | 14 | 195 | |
| 混入率(%) | H26年6月 | 65.9 | 21.7 | 11.5 | 26.6 | 35.7 | 7.7 |
| | H27年6月 | | | | 2.5 | 7.1 | 4.1 |
| 合計 | 65.9 | 15.2 | 11.5 | 29.1 | 42.9 | 11.8 | |

H28 年 6 月に、地元青年部 6 名と著者ら計 8 名で、袋澗に伸ばした 6 本のライン沿い 1m幅にいた全てのマナマコを採取して、人工種苗の混入率から、残留している放流種苗の割合を推定しました(表 34)。

表 34 袋澗での放流種苗の推定残留率

| | 人工種苗 | | 天然 | 合計 |
|--------|-------|-------|-----|-------|
| | H26放流 | H27放流 | | |
| 個体数 | 15 | 8 | 172 | 195 |
| 混入率(%) | 7.69 | 4.10 | | 11.79 |
| 放流数 | 7,343 | 2,464 | | 9,807 |
| 残留率(%) | 2.00 | 3.17 | | 2.29 |

放流 2 年目の H26 放流群の推定残留率は 2.0%、放流 1 年目の H27 年放流群は 3.2%でした。

それぞれの放流群の放流後の成長は大きばらついていました(図 43)。

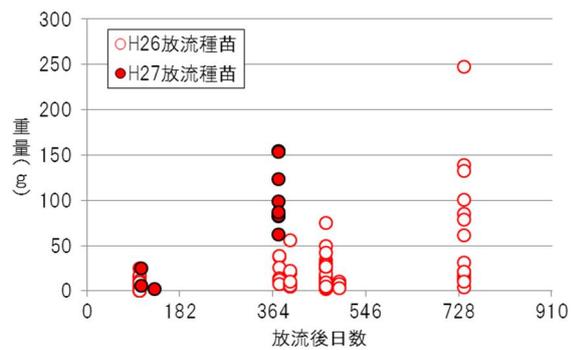


図 43 放流種苗の成長(袋澗)

【せたな町大成区_ A 漁港】

ここには表 35 に示した種苗を放流しています。

放流区を中心に南北 270m に伸ばしたライン沿いの 1m幅の全てのマナマコを回収して、放流した越冬種苗の有無を調べ、成長を後述する漁獲物調査の結果と合わせて図 44 に示しました。同一年級の個体でも成長に大きなばらつきが認められます。

H26 年放流種苗の回収位置と在来個体の採取位置の関係を図 45 に示しました。放流事前調査で、在来個体は見つかっていませんでしたが、放流後、H26 年放流種苗が見つかる場所で、在来個体が採取されました。

放流区から南北に伸ばした調査ライン上の H26、H27 放流種苗の最大移動距離を図 46 に示しました。2 年で 160m 以上離れた場所で、越冬種苗が回収されました。

図 47 に調査ごとの各放流種苗の回収数の推移を示しました。調査のたびに大きく個体数が変動しました。調査ラインの 1m幅内への放流種苗の残留率も、調査のたびに大きく変動しました(図 48)。

H27 年～R3 年まで放流区周辺でも取り漁獲されたマナマコの漁獲物中の混獲率から、累積漁獲回収率と投資効率を調べ表 36、図 49、図 50 に示しました。漁獲回収率は経年的に増加しこれに伴い投資効率も増加していますが、R3 年までの漁獲で投資分を回収できていません。

表 35 A 漁港へ放流した越冬種苗

| | H26 | H27 |
|-----------|----------|----------|
| 放流日 | H26.6.13 | H27.6.10 |
| 放流数 | 32,375 | 15,183 |
| 放流サイズ(mm) | 13.2 | 16.7 |
| | 越冬 | 越冬 |

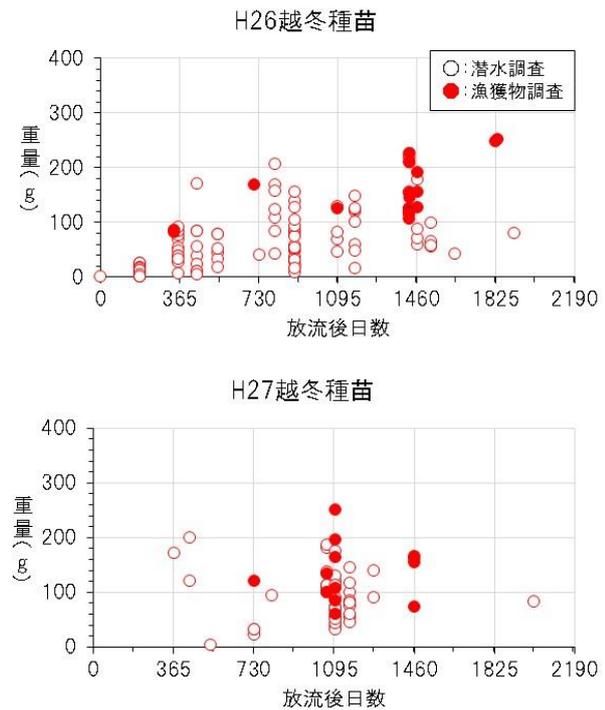


図 44 越冬種苗の成長(せたな町大成区)

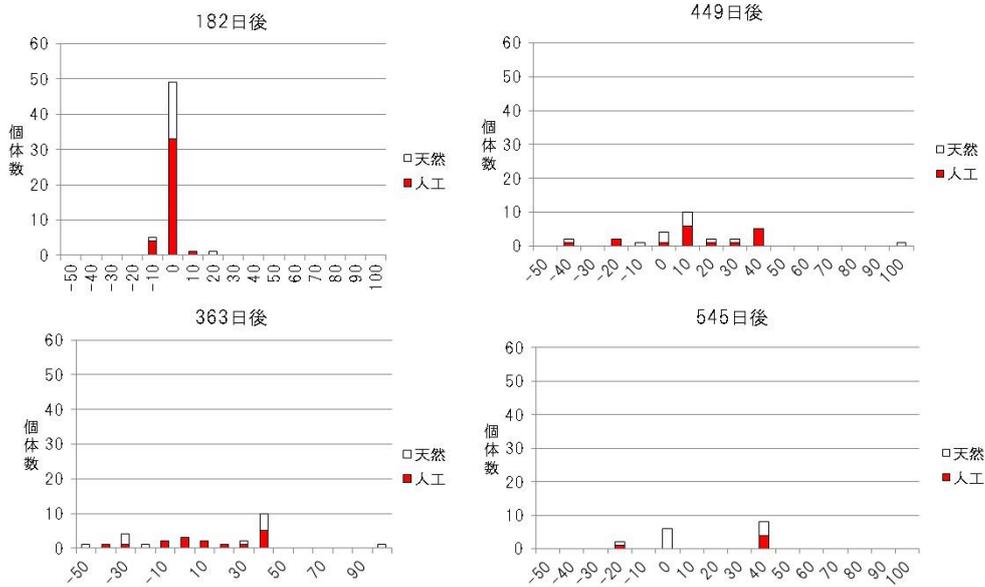


図 45 放流種苗の分散(A 漁港)

放流区を 0mとして北方向は-50m、南方向は+100m まで表示

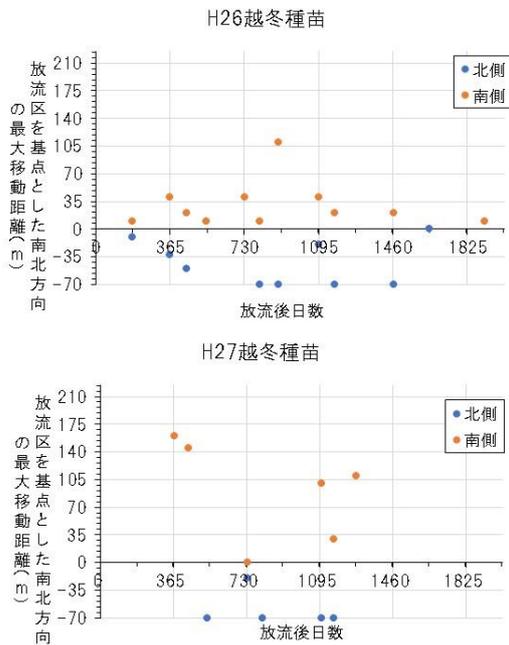


図 46 放流区を基点とした南北方向への最大移動距離

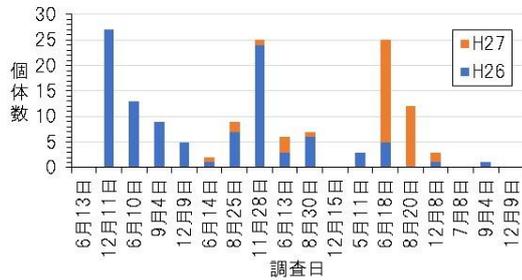


図 47 越冬種苗の調査日ごとの回収数

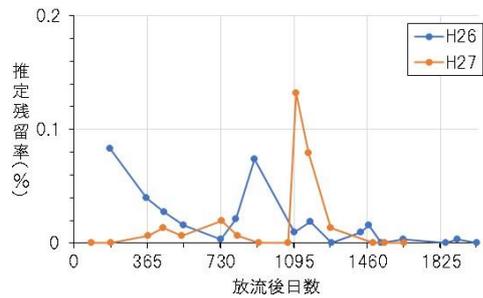


図 48 越冬種苗の調査ライン上の残留率の推移

表 36 越冬種苗の累積漁獲回収率と投資効率(A 漁港)

| 漁獲年 放流年 | 漁獲個体数 | | | | 累積漁獲 回収数 | 放流数 | 累積漁獲 回収率 (%) | 全群の累 積漁獲回 収率(%) | 種苗単価 | 投資金額 | 漁獲収益 | 投資効率 | 全群の投 資効率 ²⁾ |
|------------|-------|----|----|----|-------------|--------|--------------------|-----------------------|------|---------|--------|-------|---------------------------|
| | H30 | R1 | R2 | R3 | | | | | | (A) | (B) | (B/A) | |
| H27 | 0 | 0 | 19 | 0 | 19 | 35,663 | 0.05 | 0.03 | 23 | 822,000 | 15,702 | 0.02 | 0.02 |
| H28 | 0 | 0 | 22 | 0 | 22 | 94,430 | 0.02 | | 9 | 822,000 | 11,423 | 0.01 | |

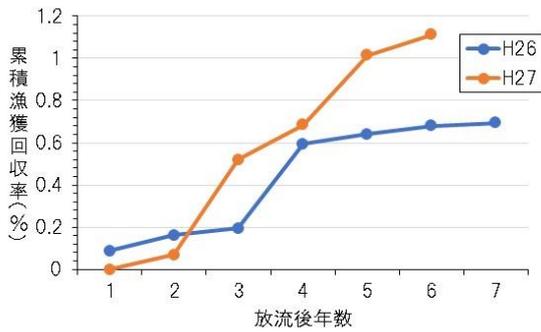


図 49 越冬種苗のたも取りによる累積漁獲回収率

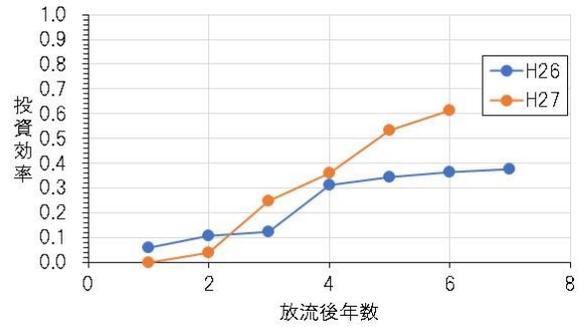


図 50 越冬種苗の投資効率の経年変化

【奥尻町の事例】

奥尻町の水深 7m の外海域に表 37 の越冬種苗を放流しています。

放流区から東西南北とその中間の 8 方向に引いたライン 1m幅上のマナマコを 10m間隔で全て回収して、越冬種苗の密度から、放流域全体での残留率を推定しました(図 51)。残留率は調査のたびに 0~1.2%の間で大きく変動しました。

放流種苗の成長を図 52 に示しました。同じ放流群であっても成長は大きくばらつきました。

漁獲物調査の結果、放流種苗は放流区内(洞突き漁場)を超え、ここから 300m 以上離れた水深 15m 以深の潜水漁場でも漁獲されています。

これらの漁獲物にどの程度放流種苗が含まれているのかを調べて表 38 と図 53、図 54 に示しました。漁獲回数が少ないため、放流種苗の回収数も少なく、まだ十分に回収できていません。

表 37 放流した越冬種苗(奥尻)

| 放流種苗 | 平均体長(mm) | 放流数 |
|-----------|----------|---------|
| H27.4.23. | 10.4 | 35,663 |
| H28.5.19. | 12.8 | 94,430 |
| H29.5.17 | 13.5 | 72,330 |
| 合計 | | 202,423 |

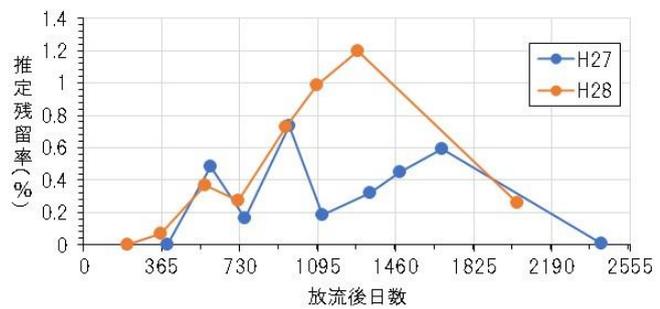


図 51 推定残留率(奥尻)

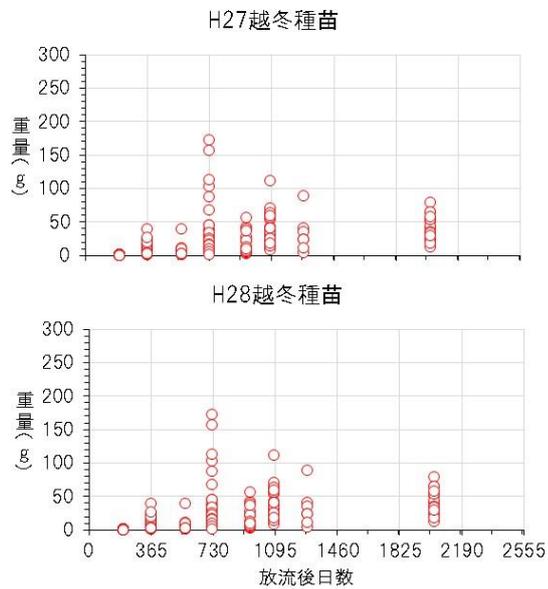


図 52 越冬種苗の成長

表 38 越冬種苗の H30 年～R3 年までの累積漁獲回収率と投資効果

| 漁獲年 放流年 | 漁獲個体数 | | | | 累積漁獲 回収数 | 放流数 | 累積漁獲 回収率 (%) | 全群の累積 漁獲回 収率(%) | 種苗単価 (円) | 投資金額 (A) | 漁獲収益 (B) | 投資効率 (B/A) | 全群の投資 効率 ²⁾ |
|------------|-------|----|----|----|-------------|---------|--------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------------------|
| | H30 | R1 | R2 | R3 | | | | | | | | | |
| H26 | 46 | 5 | 13 | 14 | 78 | 25,192 | 0.31 | 0.50 | 16 | 411,000 | 57,502 | 0.14 | 0.04 |
| H27 | 0 | 0 | 19 | 0 | 19 | 95,622 | 0.02 | | 4 | 411,000 | 12,194 | 0.03 | |
| H28 | 0 | 0 | 25 | 0 | 25 | 122,490 | 0.02 | | 10 | 1,233,000 | 12,851 | 0.01 | |

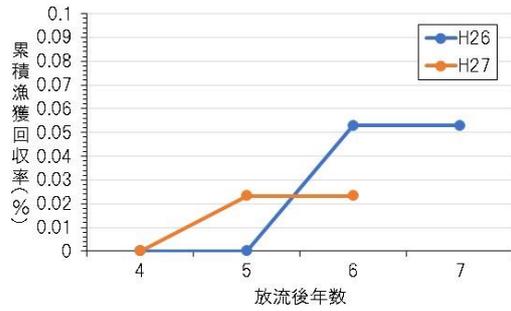


図 53 累積漁獲回収率

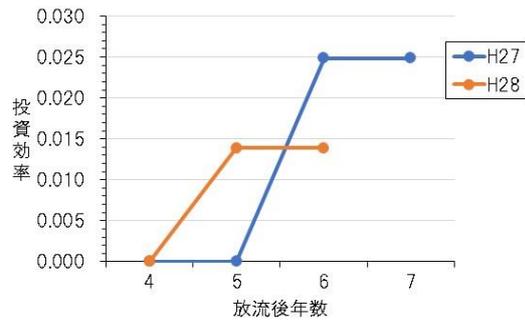


図 54 投資効率

【宗谷漁協の事例】¹²⁾

宗谷漁協では、平成20～22年に試験地区に放流した満1歳の3放流群(平成20年が17.6mm、3.2万個体、平成21年が21.8mm、1.6万個体、平成22年が23.1mm、1.5万個体)の一部にALC標識を施し、延べ6年に渡り追跡調査を行っています。追跡調査区は400m四方の放流区の中央部に土俵または石詰め礁を置き、これを中心とした10m×10mの範囲とし、7月下旬にビニール袋に収容した標識種苗を潜水で均等に放流しました。放流区の水深は14～16m、底質は岩盤(溝、小孔多)、転石、玉石、砂でした。

追跡調査は毎年8～10月に1回、放流1～3年後までは0.25㎡枠36～42点についてコンプレッサーを利用した吸引採集機で、4年後以降は90～120㎡の目視によるライン採集(1m幅×5mでサンプル袋交換)で何れも潜水により実施しました。採集したマナマコは、全長、体幅(H24調査より追加)、体重を測定後、放流種苗と想定された範囲(体長が全重量で)の個体全てを冷凍保存し、後日解凍後、囲周口骨を摘出、クリーニング後、蛍光顕微鏡下で観察を行って、標識の視認度をA(各骨板の標識域が明瞭)、B(複数の骨板で蛍光発色がある)、C(発色が確認できない)の3段階で記録しました。

標識検出個体の検鏡個体数に占める割合は1年後で平均64.7%(61.4～68.0%)、2年後で平均46.2%(27.5～64.9%)、3年後で平均34.5%(26.0～41.4%)、4年後で14.0%(10.0～17.9%)、5年後で6.7%(5.3～8.0%)と経過年と共に低下し、4年以上経過すると標識域の明瞭な個体の頻度は大幅に減少しました。放流4年後に回収した比較的小さい標識個体で各骨板に明瞭な標識域が確認できることから、標識の消失や標識個体の斃死ではなく、放流後良く成長した個体ほど囲周口骨の肥大に伴い標識の視認が困難となると推察されました。

生産サイズのナマコをALC標識で直接放流個体か否か判断する事は困難と判断されました。しかしながら、放流種苗の減耗は1年以内にその殆どが生じることが確認されており、以後の減耗は僅かな量と考え、放流2～3年後のALC標識率、漁獲前の直近の密度(放流と思われる範囲の体長のみ)と分布面積から残留数(≒漁獲時の現存個体数)の推定を試みています。3年後の標識率で算出した放流種苗の残留率はH20群(5年後)で5.2%、H21群(5年後)で35.4%、H22群(4年後)で22.3%、3放流群の平均残留率は21.0%と推定しています。

【長崎県の事例】⁹⁾

14 mm 12,000 個と 26 mm 5,000 個体の種苗を OTC(オキシテトラサイクリン)と ALC(アリザリンコンプレキソン)で生体標識して放流。50m 範囲の追跡調査から 336 日後の調査でそれぞれの残留率は 3.8%と 0.1%と推定しています。

⑱放流適地

放流適地は 1)食害を受けにくく、2)餌があり、3)波浪よって流されにくい場所であると考えられます。

⑱-1) 食害

北海道においてマナマコは、マコガレイ⁸⁾やトゲカジカ(留萌市農林水産課 山田主任より私信)、キタフサギンポ(著者観察)などの魚類による被食の他、ヤドカリ類¹³⁾¹⁴⁾や、ウミズムシ¹⁵⁾、ミジンコ類(写真 24)¹⁶⁾などの甲殻類や、キタムラサキウニ(利尻地区水産技術普及指導所より私信)に被食されることが確認されています。

この食害を防ぐためには、これら捕食者がいない場所を選ぶか、駆除することが考えられますが、いずれも現実的ではありません。著者は放流場所に分布するヤドカリ類を駆除するために籠や潜水による採捕を試みましたが、いずれの方法でも除去しきれませんでした。また、魚類は広く回遊し、キタムラサキウニは商品価値のある漁業資源ですから駆除の対象外です。

一方、放流種苗の生残を高めるには、食害を低減することが求められます。著者がマナマコの種苗生産技術の開発に取り組んでいた際、水槽内にミジンコ類が増えると、マナマコ種苗は底質に敷いていた小石の隙間に隠れて食害を免れ、ミジンコ類を除去すれば石の隙間から上がってくる様子が観察されました。接触を避けることができれば食害に遭わなくて済みます。種苗生産現場で用いられる大型水槽に石を敷き詰めると、飼育や回収作業が困難になるので、種苗が隠れる隙間を作るために、細かい目合いのメッシュ



写真 24 シオダマリミジンコ類似種

シュを利用して飼育する手法を開発しました。これにより、それまで行われていた波板を用いた飼育に比べて食害を受けにくくなり、生残率が向上しました(表 39)。

表 39 基質別の生残率(水槽試験)

| 試験年 | 飼育形態 | 収容個体数 | 飼育 | 生残率 (%) | 平均体長 (mm) |
|-------|---------------------|----------|-----|------------|--------------|
| | | (変態期幼生数) | 日数 | | |
| 平成21年 | タマネギ袋 ¹⁾ | 42,000 | 186 | 48.1 | 7.4 |
| | 波板 | 42,000 | 186 | 29.4 | 9.6 |
| 平成22年 | 1mmメッシュ | 182,000 | 91 | 100.0 | 3.6 |
| | 波板 | 182,000 | 91 | 34.9 | 3.8 |
| | 1mmメッシュ | 3,333 | 217 | 100.0 | 12.8 |
| | 波板 | 3,333 | 217 | 100.0 | 10.4 |

1)タマネギ袋の目合いは2mm

また、写真 25 のツマベニホンヤドカリは、放流現場でマナマコ種苗を捕食することを確認しています¹³⁾¹⁴⁾。室蘭で当歳種苗の放流時に、放流地点(1m²)の本種を含むヤドカリ類を駆除して放流しました。半年後の追跡調査では、放流区に向かってこのツマベニホンヤドカリの密度が高まっています(表 40)。また性比が極端に雌に偏り、ほぼ全ての個体が抱卵していました。本種は雌雄異体なので季節的な移動で雌が浅海に移動してきたものと考えられます。こうした移動性がある甲殻類は、食害を防ぐために駆除しても、季節的にまた移動してくることが考えられ、駆除の効果に持続性は期待できず限定的であると考えられます。



写真 25 ツマベニホンヤドカリ

水槽の底に 3cm 程度の小石を敷いた場合と、何も敷かない水槽で本種とマナマコ種苗の同居試験をしたところ、石を敷いた場合には食害が低減されました(写真 26、図 55)。

このように、マナマコ種苗は石の隙間に身を隠すことで食害を回避できると考えられます。こうした転石などの間隙は、物理的に食害を防除する機能があると考えられ、放流の適地の指標になります。

表 40 放流区とその周辺の甲殻類の密度とツマベニホンヤドカリの性比

| | 種 | 個体数 | 密度(個体/m ²) | ♀の割合(%) |
|-------|------------|-------|------------------------|---------|
| 放流区 | ツマベニホンヤドカリ | 620 | 620 | 86.7 |
| | ケブカヨコバサミ | 1 | 1 | |
| | ヨツハモガニ | 3 | 3 | |
| 1 m 幅 | ツマベニホンヤドカリ | 2,467 | 308.4 | 73.3 |
| | テナガホンヤドカリ | 1 | 0.1 | |
| | ケブカヒメヨコバサミ | 5 | 0.6 | |
| | ヨツハモガニ | 4 | 0.5 | |
| | ヒラツノガニ | 1 | 0.1 | |
| 2 m 幅 | ツマベニホンヤドカリ | 1,737 | 108.6 | 71.7 |
| | テナガホンヤドカリ | 15 | 0.9 | |
| | ケブカヒメヨコバサミ | 3 | 0.2 | |
| | ヨツハモガニ | 1 | 0.1 | |
| 合計 | | 4,858 | | |



写真 26 3cm 程度の小石を敷いた試験区

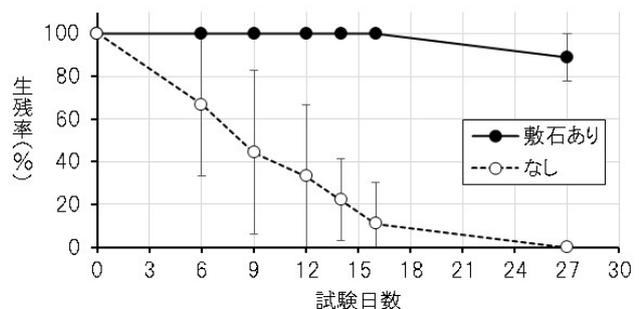


図 55 敷石の有無による生残率の違い

⑬-2) 餌(マナマコの摂餌物)

着底直後の種苗は無給餌でも 30 日間は餓死する個体はほとんど無く、58 日間無給餌でも 1 割程度は生き残ることを飼育試験で確認しています¹⁷⁾。

また、天然海域のマナマコの消化管を観察すると、砂などの鉱物やその場所に生えている珪藻類の他、様々な形態をした有機物が観察されます(写真 27)。これらの判別は難しく、これまでデトライタス(有機物残渣)としてまとめられていました。このデトライタスを含めて、マナマコが何を食べているのかを把握できれば、それらが豊富な場所に放流することで、種苗の成長も期待できます。

そこで、北海道大学大学院水産科学研究院海洋生物工学教室と共同で、放流試験地(函館市恵山町の水深 4m 地点)に生息する微生物と、マナマコの摂餌物をアンプリコン解析¹¹⁾という方法で調べました。

試験地の底質には 1,650~2,230 種の細菌類と、184~330 種の微小藻類が分布しており、出現種数は季節的に変動しました。ここに分布するマナマコは、これらのうちの 5 割前後の細菌類と 6 割以上の微小藻類を食べていることがわかりました(図 56)。また、4 月と 5 月にはマナマコが食べている微小藻類の種数は底質よりも多くなっていました。これは、主に浮遊性のあるキートセロス科(ツノケイソウ科)の珪藻を食べていたためでした¹⁸⁾。マナマコはこうした浮遊

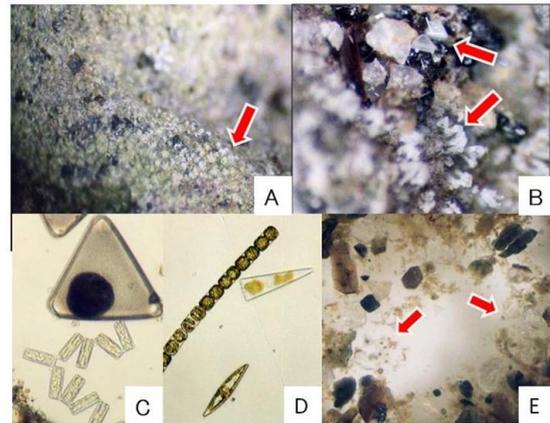


写真27 鹿部町での放流試験(平成11年)で回収した放流地先の小石の表面に付着していた珪藻類と稚ナマコの消化管で確認した同種の藻類

A: 放流地先の小石の表面 B:Aの拡大像 C、D: 同顕微鏡写真 E: 回収した種苗の消化管内容物 矢印部分はC,Dの付着珪藻類を示す

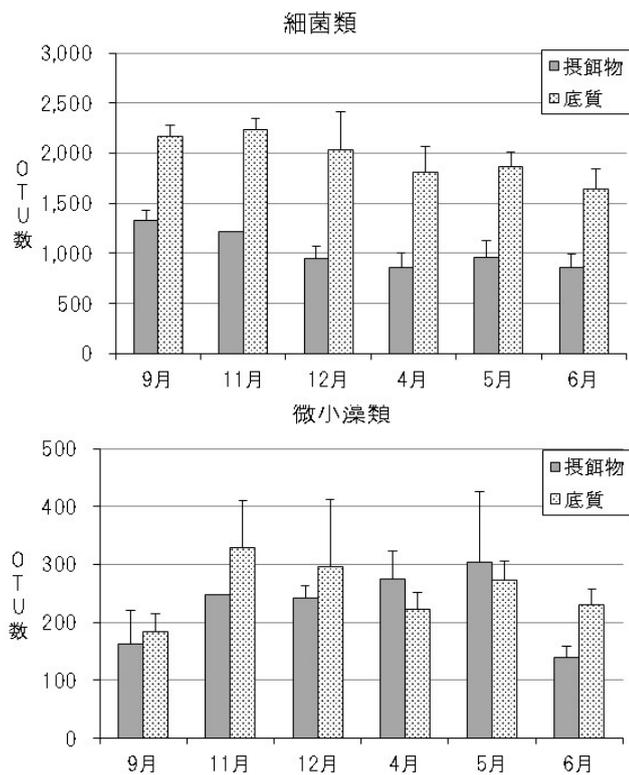


図 56 試験区底質と摂餌物の細菌類(上)と微小藻類(下)の出現数の季節変化(※H28 年度国補正予算輸出重要種資源増大等実証試験委託事業予算で北大と共同で実施)

¹¹⁾次世代シーケンサーを用いて、採取したサンプルの特定部位(ここでは 16S rRNA の V1-V2 領域)の塩基配列を元に、OTU(DNA の塩基配列に基づく種の分類単位)を網羅的に調べる方法

性の藻類も取り込むことができることも分かりました。

浮遊性の藻類を除くマナマコの摂餌物の組成は、底質上の生物組成に連動していました¹⁹⁾。

また、同じ地先でも、マナマコの分布が多い場所(図 57_密 2:マナマコ密度 0.2 個体/m²)と少ない場所(図 57_粗 2:同 0.02 個体/m²)で、底質に生息する主な細菌類の出現率に明確な違いは認められていません。ここに隣接するマナマコが認められない試験地_粗 4(砂地、図 57)の出現菌叢も同様でした。微小藻類の出現種数は、6 月と 9 月に試験地_粗 4 で、他の試験地と差が認められたものの、試験地の粗 2 と密 2 の間で藻類の出現種数に差はありませんでした(図 58)¹⁹⁾。

マナマコは飢餓に強く、多種多様な細菌類や藻類を摂餌することから、在来個体が分布するような海域では、餓死の心配や特定の餌生物を放流適地選定の指標にする必要はなさそうです。

マナマコは絶食に強く、多種多様な生物を食べていることから、天然海域で飢餓による斃死が起こる可能性は低く、少なくとも在来個体がいるような海域では、特定の餌生物(細菌類や微小藻類)を指標にする必要は無いと考えられます。

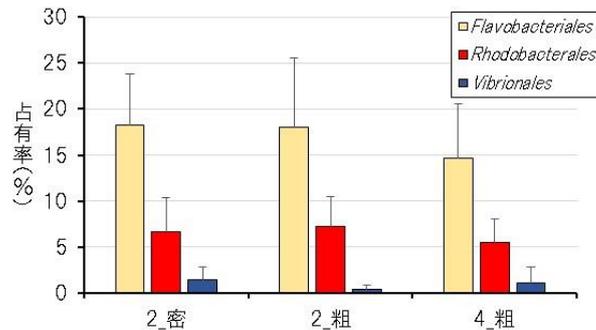


図 57 底質上での主要な 3 目の菌類の占有率

在来マナマコの粗(0.02 個体/m²)と密(0.20 個体/m²)地先での占有率の違い

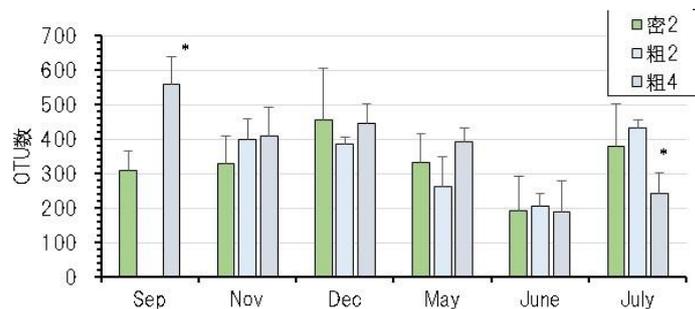


図 58 在来マナマコの密度別底質上の藻類の出現種数の季節変化

*: 堆積物真核生物群集間の非類似性を Unweighted UniFrac 距離に基づいて算出し、粗密地点間で有意差を検定(PERMANOVA 検定 P<0.05)

⑬-3) 波浪による逸散

乙部町の水深4mの海底面にカメラを設置して、放流種苗の移動・分散や食害の有無を1分間隔で撮影しています。このカメラに約6時間、漁獲サイズのマナマコが左右に振られながら流されている様子が映り込んでいました(写真28)。このときは、波高計等の流れの強さを測定できる機材を設置していませんでしたが、画像に写っていたマナマコが流されて動いている幅(振幅幅)から、令和元年10月8日～10日にかけて、同所に接近中の台風による時化時と同等の、0.5m/秒(有義波高0.45m)相当の流速であったと推定できました。一方で、同じ映像で、高さ10cm程度の転石や、設置してある青いトレイの横にいる個体が流されることはありませんでした。

田中ら²⁰⁾は、回流水槽による試験で、このときと同じ流れを与えてやると、転石等の障害物の下流では、体長未満の範囲で障害物側に引きつける力が働き、体長より離れた位置では逆に押し流す力が働くことを確認しています。

瀬戸ら¹⁰⁾は体長5mm～35mmの種苗に対して、振動流水槽内で基質から剥離する波高について、水深別の指標を示しています。5mm種苗では水深4mで波高2.0～2.5m、水深10mでは波高5.5～6.5mを超えると流されてしまうと推定しています。一方、15mm種苗では水深4mであれば波高が1.5mで流されてしまうのに対して、水深10mなら波高2.5m～3.5mで、30mm種苗では水深4mでは波高1.5mで流されてしまい、水深10mでは波高2～3mで流されると

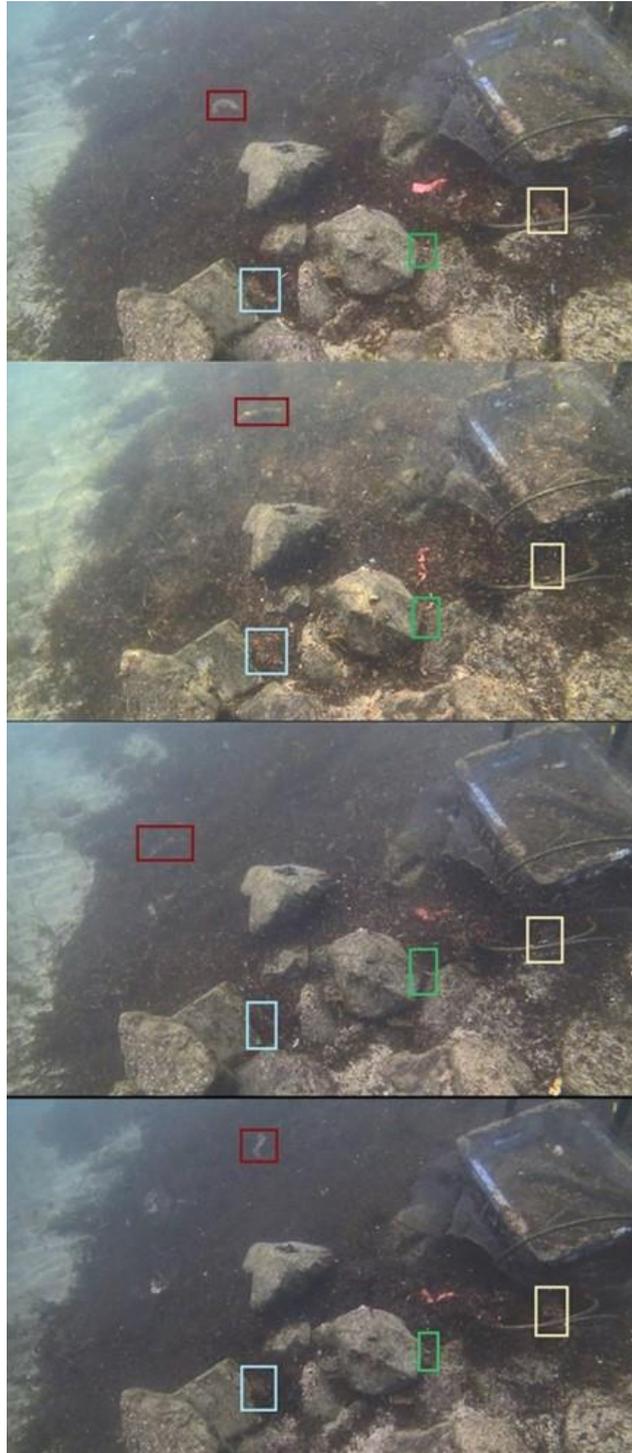


写真28 流される漁獲サイズのマナマコ(海底設置カメラによるタイムラプス写真)

赤く囲んだ個体は11:57～17:49までの画像の中で流れている様子が確認できた(他の3色の個体は転石近傍で流されていない)

報告しています。どのサイズでも、水深が深いほど波に流されにくくなり、小さいサイズの方が大きいサイズよりも波の影響を受けにくいことが分かります。

気象庁では、「波が高い」を波高 2.5～4 m、「しける」を波高 4～6 m、「大しけ」を波高 6～9 mとしています。特に外海に放流する場合は、こうした流れに関わる指標を参考にして、特にしけやすい海域では放流水深を検討すると良いでしょう。

なお、この指標は固着面を指標にしているので、砂地などの底質そのものが動く場合はより小さい流れでも流失してしまうと考えられます。

⑬-4) マナマコの分布域

砂泥域が多く、転石や玉石が点在するせたな町大成区に放流した種苗の追跡調査では、マナマコは全て転石や玉石上で回収されました。

砂泥域がなく、岩盤(調査域の 5%)、大転石(同 10%)、転石(同 29%)、玉石で構成される底質の奥尻町での放流試験では、回収された個体の多くは玉石と転石場で確認されています(図 59)。

北海道大学大学院水産学 研究院水産工学教室と共同で、恵山町で、漁獲サイズ(平均重量 185g)のマナマコに超音波発信器を取り付けて、季節別に移動範囲を調べました。この試験地は、およそ 5m 間隔で転石があり、この占有面積は全体の 30%を占め、70%は砂場という底質です。

ここでは、マナマコは砂場も転石場も利用し、転石場での滞在時間が長いことが明らかになっています(図 60)。

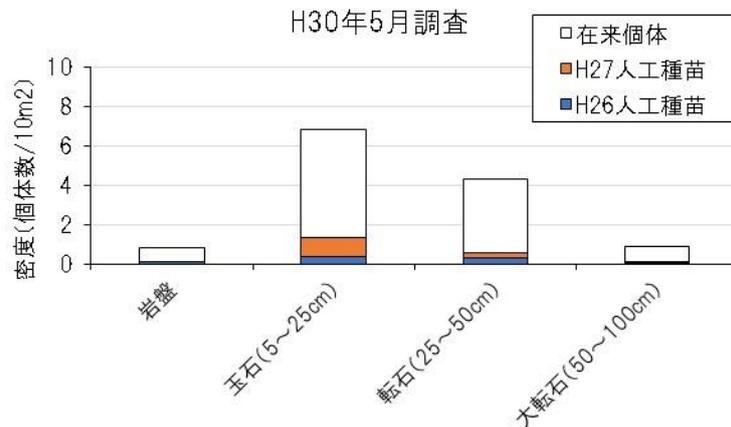


図 59 底質別のマナマコの分布密度

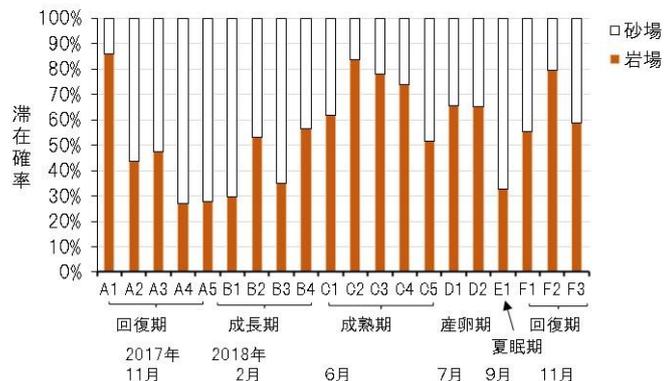


図 60 発信器装着個体の滞在場所

(北海道大学との共同研究)

⑩種苗放流によるリスク(遺伝的多様性への影響)

港湾は波当たりが弱いため、波浪により放流種苗が流されてしまうリスクは小さく、また転石や玉石などを設置しやすいという放流適地の条件を備えています。一方で、外海に比べ成長した放流種苗が港湾内に留まり、人工種苗同士の交配により遺伝的多様性が損なわれる懸念¹²もあります。

せたな町大成区の〇漁港は、開口部が30mで奥行き200m、水深4m前後の閉鎖的港湾です。ここではH26年から着底稚仔や当歳・越冬種苗を重ね播きしています。

H27年以降、この放流区周辺でも取り漁獲されたマナマコのうち、放流種苗の占める割合は経時的に増加しています(図61)。

遺伝的多様性は見た目だけでは分からないため、今回の漁獲物調査で調べたmsDNAのアリル型を基に、遺伝的多様性の指標である平均アリル数、平均アリルリッチネス、平均ヘテロ接合度、固定化指数¹³を調べました。

現時点で漁港周辺の漁獲物中の人工種苗の比率(混獲比)が増えても、遺伝的多様性に顕著な差は認められていません(図62)。

ここに放流した種苗の親の数を表41に示しました。いずれの親も、地元で漁獲された個体です。このように多くの親を使用して放流種苗を生産して放流していても、H26年～H30年に放流した種苗のう

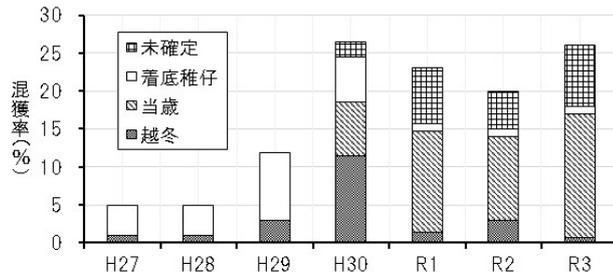


図 61 漁獲物中の放流種苗の混獲率(〇漁港)

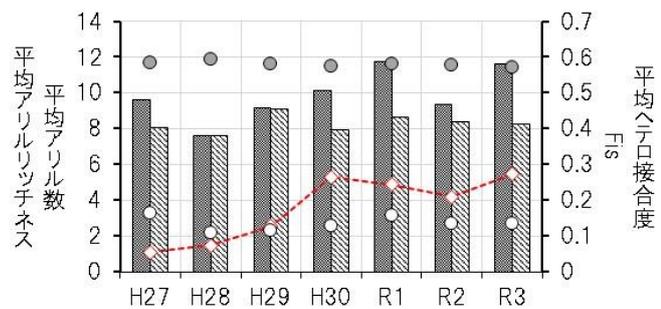


図 62 放流漁港周辺漁獲物の遺伝的指数の変化

表 41 せたな町大成区に放流した種苗の生産に用いた親の数

| 放流年 | | H26 | H27 | H28 | H29 | H30 |
|------|---|-----|--------------|------------------|-----|-------|
| 着底稚仔 | 雌 | 28 | 11 | 10 | 19 | 9 |
| | 雄 | 32 | 18 | 31 | 43 | 28 |
| 当歳種苗 | 雌 | | | 3 25 17 14 14 35 | 35 | 65 50 |
| | 雄 | | | 3 25 11 21 29 22 | 22 | 28 46 |
| 越冬種苗 | 雌 | 2 6 | 4 9 5 15 16 | | | |
| | 雄 | 4 5 | 5 10 6 22 10 | | | |

¹² 遺伝的に近いもの同士の交配によって遺伝的多様性が下がると、繁殖力が低下(近交弱性と呼びます)や、疾病に対する抵抗力の低下などで生残率が下がることが様々な種で報告されています。

¹³ 平均アリル数、アリルリッチネス、ヘテロ接合度はその数が多いほど多様性が高いとされます。また、固定化指数は近親交配の程度を示す指標で小さいほど多様性が高いとされます。いずれもFSTAT²¹⁾というソフトを用いて解析しました。

ち、回収された 256 個体は、他の在来の 986 個体と比べてアレル数が少なく、ヘテロ接合度は低くなっています(表 42)。一方、固定化指数は人工種苗の方が在来個体に比べ小さくなっていて、在来とは異なる群れになっていると考えられます($P < 0.05$)。在来個体で固定化指数が高いのは、この中に同じ遺伝子を共有している割合が高いことを示しています。共有している遺伝子の割合が高いことは再生産個体が含まれている可能性を示唆しています(表 41)。

漁港内では全体として遺伝的多様性は損なわれていないものの、人工種苗と在来個体とで異なる群れとなって来ていることから、放流の方法を改良するためにも、今後もこうした遺伝的なモニタリングを進めていく必要があります。

表 42 在来個体と漁獲回収された放流種苗の遺伝的な違い

| | 人工 | 在来 |
|------------|------|-------|
| 個体数 | 255 | 986 |
| 平均アレル数 | 8.25 | 15.5 |
| 平均アレルリッチネス | 8.23 | 12.16 |
| 平均ヘテロ接合度 | 0.48 | 0.60 |
| 固定化指数 | 0.03 | 0.16 |

④生態

【成熟サイズ】

江差町で北海道区水産研究所(現 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産資源研究所)と共同で行った調査では、全重量 14g(殻重量 8g)の個体でも、生殖巣を確認しています。この調査で、生殖巣の組織切片の観察から、成熟後期に達していた♀の重量は最小 54g、♂は 103g でした。

著者が鹿部産の親を用いて行った、加温刺激による産卵誘発試験で、受精能がある卵と精子を放出した最小の♀と♂はそれぞれ全重量が 64.6g と 37.5g でした。少なくともこの程度のサイズで生殖能力を持つと考えられます。なお、高柳ら²²⁾は、50%成熟個体(半数の個体が成熟すると推定された大きさ)の殻重量¹⁴⁾は地区により異なり、渡島～宗谷地区で 97.5g、オホーツク地域で 81.2g、根室・日高海域では 67.4g と報告しています。

【産卵期】

北海道のマナマコは概ね 6 月下旬から 8 月下旬にかけて産卵します。水温が 14℃以上の時に放卵・放精し、水中で受精した卵は 10～16 日程度の浮遊期を経て水底での生活に移行します。放卵卵径は親ナマコの重量とは関係無く、道内の産地によって異なります(表 43、図 63)。

雌雄異体で成熟個体は水温変化などを刺激として、水中でそれぞれ放卵と放精を行い、受精します。受精卵は翌日には孵化して、浮遊幼生となり水中で植物プランクトンなどを食べて成長し、水底への着底生活に移ります(写真 29)。

幼生の浮遊期間は産地(放卵卵径)によって異なり、日本海南西

表 43 産地別放卵卵径

| 海域 | 地区 | 平均卵径(μm) | 調査年次 |
|----------|-----|----------|--------------------|
| 日本海南西部 | 江差 | 211 | 2013年 |
| | 乙部 | 192、214 | 2013年、2014年 |
| | 大成 | 180 | 2016年 |
| 津軽海峡 | 松前 | 182 | 2017、2018年 |
| | 知内 | 174 | 2022年 |
| | 恵山 | 154 | 2022年 |
| | 楸法華 | 159 | 2022年 |
| 道南太平洋 | 鹿部 | 150 | 2000年 |
| | 室蘭 | 155 | 2013年 |
| えりも以西太平洋 | えりも | 153 | 2016年 |
| 根室 | 根室 | 150 | 2013年 |
| オホーツク | 猿払 | 160 | 2014年 [※] |
| 日本海北部 | 稚内 | 150 | 2014年 [※] |
| | 留萌 | 160 | 2014年 [※] |

※ 北海道マナマコ資源管理ガイドラインより²³⁾

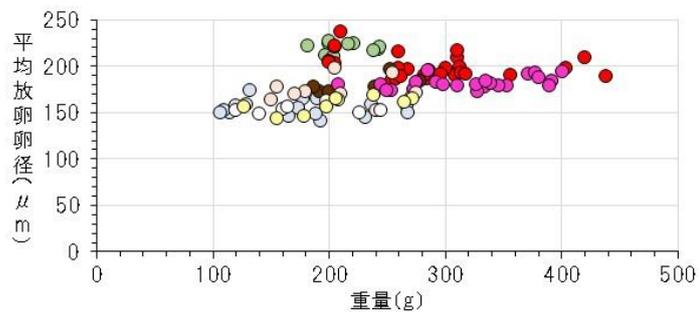


図 63 産地別の放卵卵径と親ナマコのサイズの関係

○室蘭 ●乙部 ●江差 ●檜山(大成) ●松前 ○知内 ○恵山 ○楸法華

¹⁴⁾ 殻重量:消化管、生殖巣、呼吸樹、体腔液を取り除いた重量

部から津軽海峡(放卵卵径が 200 μm)では 10 日程度であるのに対して、これ以外の地区では 14 日~16 日前後です。なお、この浮遊期間は水温や餌の量により変動します。

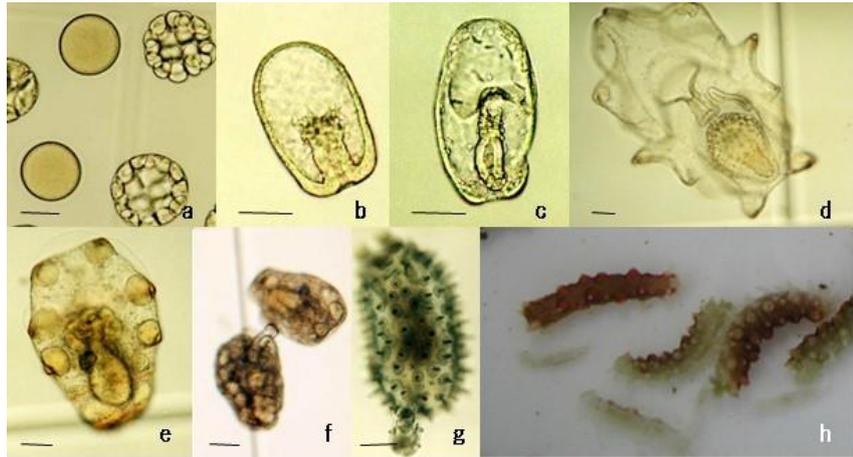


写真29 マナマコの発生

a: 未受精卵(左)と受精卵 b: 囊胚期幼生 c: 初期アウリクラリア幼生
d: 後期アウリクラリア幼生 e: トロフォリア幼生 f: ペンタクチュラ幼生
g: 着底直後の稚ナマコ h: 稚ナマコ 比率: 100μm

【摂餌物】

着底直後の稚仔の体長は 0.4 mmです。水槽内では喉を通るサイズの珪藻や海藻粉末を食べて成長します²⁴⁾。

水槽で飼育している場合のみならず、海に放流した種苗も個体により成長は大きくばらつきます。北海道大学との共同研究で、成長が良い個体の消化管では、悪い個体に比べて *Rhodobacteriales* 目の細菌遺伝子の総体存在量が有意に高いことが明らかになりました²⁵⁾。こうした消化管共生菌はマナマコの成長に関与している可能性があります。

放流適地の項で触れましたが、マナマコは地先に生息する微生物や藻類を広く摂餌しているほか、一部浮遊性の藻類も摂餌します。

【成長】

種苗生産時の育成(図 64)の他、放流種苗の追跡調査で同一年級であっても成長が非常にばらつくことが明らかになっています。

既に紹介したように白老、せたな町大成区、奥尻町で実際に放流した種苗の追跡調査でも、同一年級で大きく成長がばらつくことが明らかになっています。

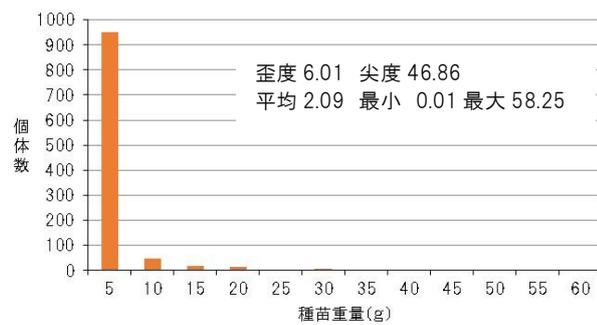


図 64 雌 1×雄 3 個体で生産した種苗を 1 年間水槽飼育したときの成長のばらつき

【行動_水平方向の移動】

北海道大学大学院水産学研究院水産工学教室と共同で、恵山町(およそ 5m間隔で転石があり、砂場が全体の 70%を占める場所)で、漁獲サイズ(平均重量 185g)のマナマコに超音波発信器を取り付けて、季節別に移動範囲を調べています。マナマコの 50%行動圏は(標識を装着した個体が最も多く活動していた場所から上位 50%の行動範囲、コアエリア)、特に産卵期(7月～9月上旬)に、他の時期(夏眠期である 10月～11月、成長期の 12月～6月)に比べて広い範囲を動き回っていることが分かってきました(図 65)。また、個体差はありますが、昼も夜も動いていること(図 66)や、転石も砂場も利用することも明らかになってきています(図 67)。

これらは大型個体の水平方向の動きについて調べたものですが、越冬種苗サイズの種苗の垂直方向の動きについても明らかになってきています。

この他、本マニュアルで紹介している放流事例(DNA マーカーを用いた追跡調査)から、以下のようにマナマコは水平方向に広範囲に移動することが確認できています。

豊浦地区:放流 3 年目にはすでに 140m を移動し、翌年には砂で 146m 隔てられた漁場からの漁獲物に人工種苗が混じっていることを確認しています。

虻田地区:放流 3 年目に放流地点から 80m 離れた人工礁への移動を確認しています。

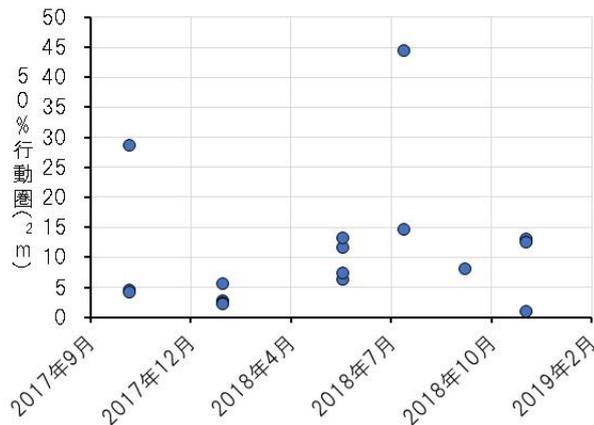


図 65 マナマコの季節別の行動圏

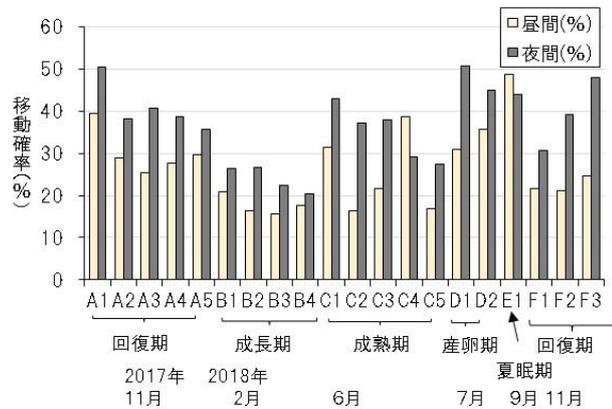


図 66 マナマコの行動時間(恵山調査)

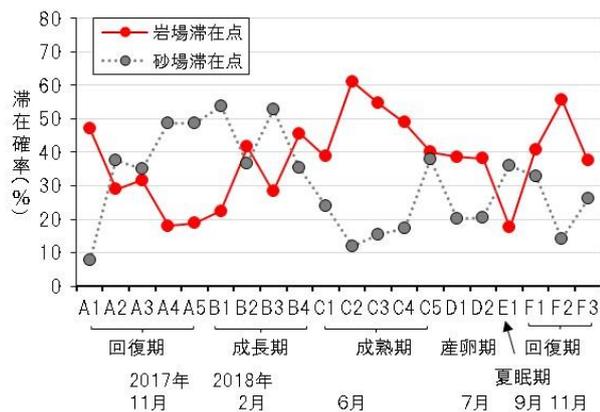


図 67 マナマコの行動底質(恵山調査)

白老地区:放流した着底稚仔は、3年目にはすでに調査対象である漁場の最も離れた場所(放流区から直線距離で1.9km)から漁獲されています。

せたな町大成区:平成26年から行っている放流効果調査で、体長0.4mmと10.4mmの放流種苗は、3年目に放流地点から2.0~2.5km以上離れた漁場で漁獲されています。

奥尻町:平成26年に放流した当歳種苗は放流区から320mほど離れた水深15m以深の潜水漁場で漁獲されています。

【行動_垂直方向の移動】

41 ページ写真 18 のように、7L 容積分のこぶし大の石を 5 枚のトレイ(内寸 502×320×195mm、底面に 11 mmの格子が 20×31 列あり、上下移動可能)に詰めて、側面からは逃げられないように積み重ねて、海底面に固定しました。この最上段に、0.1g 以上のマナマコ種苗(放流前に触手を採取して遺伝子型を把握済みの個体)を 6 月に放流しました。これを 10 月まで 2 週間から 2 か月間隔で計 4 回繰り返して、その都度各トレイに残っている個体の数と重量を測定しました。さらに、回収時にマナマコの触手を採取して、msDNA のアليل型から、どの個体がどこに移動したのかを調べました(表 44)。マナマコはこれまで述べてきた水平方向の動きばかりではなく、鉛直方向に少なくとも 4 段程度は移動できることが明らかになっています。

表 44 マナマコの鉛直方向の移動

| | 6月6日 | 6月20日 | | 7月4日 | | 9月7日 | | 10月6日 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| | 添加 | 残留 | 添加 | 残留 | 添加 | 残留 | 添加 | 残留 |
| 個体数 | 20 | 5 | 24 | 22 | 35 | 22 | 20 | 23 |
| 一段目 | No.01 | No.01 | No.21 | No.01 | No.46 | No.02 | No.81 | No.02 |
| | No.02 | No.02 | No.22 | No.02 | No.47 | No.27 | No.82 | No.05 |
| | No.03 | No.08 | No.23 | No.08 | No.48 | No.34 | No.83 | No.10 |
| | No.04 | 斃死 | No.24 | No.12 | No.49 | No.44 | No.84 | No.26 |
| | No.05 | | No.25 | No.20 | No.50 | No.47 | No.85 | No.47 |
| | No.06 | | No.26 | No.22 | No.51 | No.48 | No.86 | No.48 |
| | No.07 | | No.27 | No.24 | No.52 | No.49 | No.87 | No.49 |
| | No.08 | | No.28 | No.26 | No.53 | No.50 | No.88 | No.50 |
| | No.09 | | No.29 | No.27 | No.54 | No.52 | No.89 | No.52 |
| | No.10 | | No.30 | No.28 | No.55 | No.53 | No.90 | No.59 |
| | No.11 | | No.31 | No.29 | No.56 | No.54 | No.91 | No.63 |
| | No.12 | | No.32 | No.30 | No.57 | No.56 | No.92 | No.67 |
| | No.13 | | No.33 | | No.58 | | No.93 | No.74 |
| | No.14 | | No.34 | | No.59 | | No.94 | No.75 |
| | No.15 | | No.35 | | No.60 | | No.95 | No.81 |
| | No.16 | | No.36 | | No.61 | | No.96 | No.83 |
| | No.17 | | No.37 | | No.62 | | No.97 | No.84 |
| | No.18 | | No.38 | | No.63 | | No.98 | |
| | No.19 | | No.39 | | No.64 | | No.99 | |
| | No.20 | | No.40 | | No.65 | | No.100 | |
| | | No.41 | | No.66 | | No.101 | | |
| | | No.42 | | No.67 | | No.102 | | |
| | | No.43 | | No.68 | | No.103 | | |
| | | No.44 | | No.69 | | No.104 | | |
| | | No.45 | | No.70 | | No.105 | | |
| | | | | No.71 | | No.106 | | |
| | | | | No.72 | | | | |
| | | | | No.73 | | | | |
| | | | | No.74 | | | | |
| | | | | No.75 | | | | |
| | | | | No.76 | | | | |
| | | | | No.77 | | | | |
| | | | | No.78 | | | | |
| | | | | No.79 | | | | |
| | | | | No.80 | | | | |
| 二段目 | | No.05 | | No.05 | | No.59 | | No.08 |
| | | | | No.10 | | No.41 | | No.41 |
| | | | | No.33 | | No.43 | | No.45 |
| | | | | No.34 | | No.45 | | No.89 |
| | | | | No.35 | | | | No.90 |
| | | | No.36 | | | | | |
| | | | No.37 | | | | | |
| | | | No.38 | | | | | |
| | | | No.39 | | | | | |
| 三段目 | | | | No.40 | | No.05 | | |
| | | | | No.41 | | No.10 | | |
| | | | | No.42 | | No.29 | | |
| | | | | No.43 | | No.37 | | |
| | | | No.44 | | No.63 | | | |
| 四段目 | | | No.45 | | No.67 | | No.91 | |

No.はマイクロ座のアリル型で個体識別した個体番号を示す。
 同色の塗りつぶしたセルは同一時期の放流群で、各調査日に5段に重ねたト
 レイのどの位置にいたのかを残留の列に記載

[戻る](#)

【寿命】

このマニュアルで紹介している調査の中で、最も長く追跡しているのは H22 年に白老地区に放流した着底稚仔で、11.5 年経過した現在もまだ漁獲されています。H26 年から放流を開始したせたな町大成区や奥尻町でも R3 年までの漁獲物に放流個体が含まれており、日本海南西部でも 7 年は生き残ることが明らかになっています。

②調査方法

追跡調査を行う場合は、放流種苗と在来個体の判別が不可欠です。ここまでの調査事例で紹介したように、成長がばらつき、かなり広く移動する能力があるため、大きさや放流した場所で人工種苗を在来個体と区別することはできません。

②-1 放流種苗と在来個体の判別

DNA マーカーを利用した親子鑑定

本マニュアルでは DNA マーカーを用いて放流種苗を判別しています。ここで用いたのは msDNA¹⁵(マイクロサテライト DNA)と呼ばれる核 DNA の短い塩基の繰り返し配列です。核 DNA は両親から 1 対ずつ引き継ぎますが、生きている限り消えることはなく、どんなに小さい種苗でも使える標識となるため、極小さい着底稚仔の放流効果調査にも利用できます。また、親の組み合わせで放流時期などを区別できるため、サイズが違う個体を同じ時期、同じ場所に重ね播きしても、いつ、どこに播いた個体であるのかを判別できます。ごく一部の組織があれば分析できるため、サンプルの買い上げなどの費用がかからない上、確保した組織を 99.5%エタノールに浸けておき、DNA 分解酵素を失活させておけば、いつまでも使える(急いで分析しなくても良い)という優れたものです。ただし、分析するために遠心分離機、サーマルサイクラー(PCR)、シーケンサーといった専用の高価な機材が必要になるうえ、特定の領域を PCR で増やすためのプライマーと呼ばれる短い配列や DNA の抽出、増幅に多くの薬品を必要とします。一方で、得られた情報は、単に放流種苗の判別のみならず、本マニュアルで紹介しているような遺伝的な多様性のモニタリング(天然に比べ少ない親から生産する種苗を放流することで、放流海域にどんなインパクトが与えられ

るか)にも利用
できます。
この方法を
用いる場合の
消耗品費用
と、外注した場
合の参考金額
を表 45 に示し
ました。

表 45 DNA マーカーを利用する場合の経費事例

| 工程 | 品名 | 規格 | 単価 | 1サンプル当たりの費用 | |
|---------------|------------------------------------|--------|---------|-------------|-------|
| | | | | 自家分析 | 外注時 |
| 固定 | PETスクリーバイアル | 20ml | 2,210 | 44.2 | |
| | フリーザーラック1.5ml用 | 20入り | 7,300 | 3.7 | |
| | 99.5%エタノール | 500ml | 1,920 | 37.8 | |
| DNA抽出 | マイクロチューブ(DNA/RNAフリー) | 1000入り | 3,600 | 3.6 | |
| | 10μLピペットチップ | 960入り | 3,120 | 3.3 | |
| | 200μLピペットチップ | 960入り | 3,050 | 3.2 | |
| | 96穴プレート0.2ml | 10枚/袋 | 4,950 | 5.2 | |
| | 99.5%エタノール | 500ml | 1,920 | 37.8 | |
| | DT-S | | 34,850 | 348.5 | 1,500 |
| PCR | Hi-Di Formamide | 25ml | 6,650 | 0.3 | |
| | 500LIZ サイズスタンダード | | 62,700 | 39.2 | |
| | Multiplex PCR Kit (1000) | | 308,000 | 106.9 | |
| シーケンサー 消耗品 | SeqStudio Cartridge 1000サンプル | A41331 | 248,000 | 124.0 | |
| | SeqStudio Cathode Buffer Container | A33401 | 15,300 | 3.8 | |
| | 96穴プレート0.2ml | 10枚/袋 | 8,500 | 88.5 | |
| 合計 | | | | 849.9 | 6,300 |

¹⁵ マイクロサテライト DNA は核 DNA のうち 2~4 塩基の短い配列の繰り返し部分を指し、変異性が高いため親子鑑定や鶏群解析などに利用されます

②-2 残留率

残留率は、放流種苗がどれだけ放流した場所に残ったのかを表す指標です。特に移動性が低い動植物では、種苗が多く残っている場所は適地とされ、放流場所を決める重要な指標になります。

この精度を高めるためには、目的の場所にいる個体をどの程度正確に見つけられるかが重要です。

マナマコの調査では、潜水調査でこれを調べます。【生態】の項で紹介したように、マナマコは水平方向だけではなく、垂直方向にも移動します。数段重なった石の下にいる個体も採取しようとするれば、水深 4m の場所でポンベ 1 本を使って可能な作業時間は 1.5 時間でいどなので、底質の半分が転石場で 2 段目まで確認するとした場合、見つけやすい親サイズのマナコの調査であっても 1,250m² 程度が限界です。

小さい種苗をターゲットにした場合は、調査に時間もかかるため、調査できる範囲はさらに狭くなります。

潜水調査での発見率を調べるために、46m×55m のウニ養殖場(水深 4m)で、スパゲッティタグを装着した 185g 程度のマナマコを放流して、季節別にどの程度発見できるかを調べてみると、同じ季節であっても調査回次によって大きくばらつきました(図 68)。同じ場所(底質条件)で、同じ人間が、同じ時間潜って漁獲サイズのマナマコを追跡したにもかかわらず大きく変動してしまうため、見つけた個体数から推定する残留率も大きく変動してしまいます。

一方で、潜水調査で見つけられていない場所でも、せたな町大成区での調査のように(⑫追跡調査事例(当歳種苗の直接放流))のように漁獲で回収される事例もあります。

石詰め礁や育成籠など、極狭い資材の利用価値を調べる場合をのぞき、残留率調査から放流効果を検討するのは難しいと考えられます。

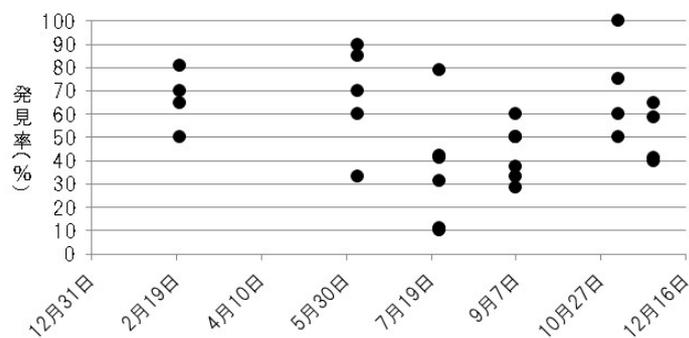


図 68 潜水調査でのマナマコの発見率

②-3 漁獲物調査(市場調査)

マナマコの種苗放流は、漁獲資源の底上げを目的に行うことが多くなります。

生態の項で示したように、放流種苗は非常に広範囲に分散します。そこで、分散した範囲内での漁獲物に、放流種苗がどの程度混獲されたのかを調べ、その年の調査した周辺での漁獲物総数から放流種苗の回収率などを推定します。

③流通

北海道産のマナマコは、いわゆる疣立ちがよく、加工されたときに「刺参」に分類されます。ポイル乾燥品(いりこ)の形態から6列ナマコと呼ばれたり、産地から北海きんこ、宗谷産などと様々な名称・銘柄で取り扱われます。

図 69 は平成 4 年から令和 3 年までの北海道での漁獲量と単価の推移を、北海道水産現勢からまとめたものです。北海道では 2004 年以降に単価が急騰しました。

また、図 70 は同じ資料を漁獲量と単価の関係として並び替えたものです。一般に商品は供給量(漁獲量)が増えると単価が下がりますが、マナマコの場合は通常の商品とは異なる価格動向を示します。震災翌年に商品(マナマコ)のだぶつきで単価が下落しますが、その後再び高騰に転じて、現在も高価格を維持しています。

北海道とそれに次ぐ青森、そして比較的漁獲情報が整っている福井県のマナマコの漁獲量と単価の関係を図 71 に示しました。R3 年の福井県産のマナマコは 1,000 円/kg であったのに対し、青森産が 3,000 円/kg、北海道産が 4,800 円/kg でした。

我が国の税関統計では 2004 年から乾燥マナマコが、2012 年から塩蔵マナマコが記載されるようになりました。直近の道産マナマコの輸出動向を、この税関統計から調べたのが図 72 です。昨年(2022 年)乾燥マナマコは 70%が香港、25%が中国に輸出されています。一方、塩蔵マナマコは

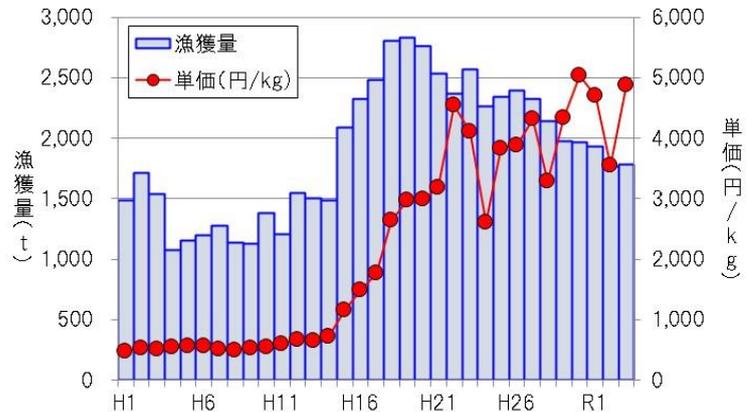
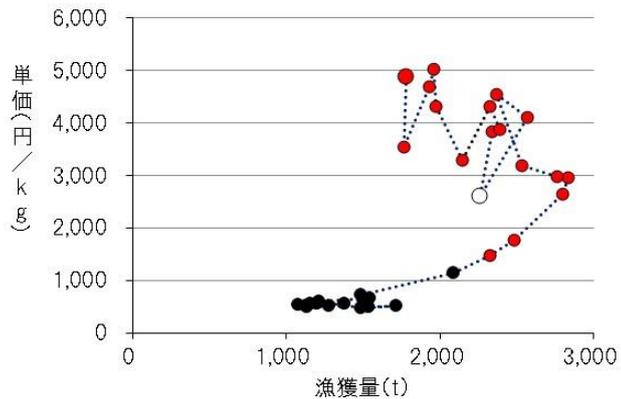


図 69 北海道のマナマコ漁獲量と単価の推移



漁獲量と単価の関係(H1～R3年)

図 70 北海道のマナマコ漁獲量と単価の関係

○は震災翌年で単価急落

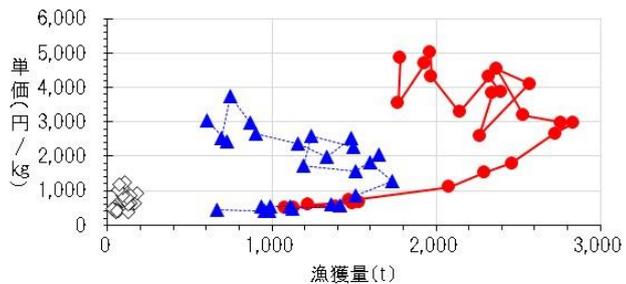


図 71 北海道・青森・福井の漁獲量と単価の関係(H8-R3)

●北海道 ▲青森 ◇福井

77%が中国に輸出され、台湾が18%、香港への輸出は2%が輸出されています。

漁獲したマナマコは、消化管を除去して体内に含まれる砂などを抜き、煮沸した海水で煮て一次加工します(写真30)。この際、疣足部分に傷があると、加工後に写真31Bのような跡が残るため、製品としての等級が落とされて、単価が1.5割程度下がります。

体表の傷は、漁獲時の物理的な要因によるもの(桁曳き網などによるすれ)のほか、マナマコを過密に樽などに収容したことによる酸欠や、高水温にさらしたことで生じます。漁獲後は高密度に収容することを避け、保冷剤などを使って冷却することで、こうした傷の発生を防ぎ、魚価を損なわずに出荷できるようになります。

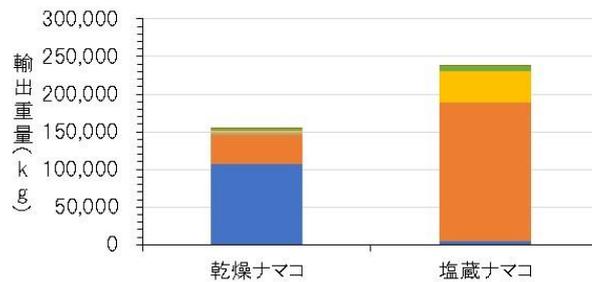


図72 我が国からのナマコ輸出品(沖縄除く、税関統計より)

- 香港
- 中国
- 韓国
- 台湾
- マカオ
- シンガポール
- カンボジア
- フランス
- カナダ
- アメリカ



写真30 マナマコの乾燥品の製造工程

- A: 漁獲後消化管などを除く B: 沸騰した海水で煮る
- C, D: 機械または天日で乾燥する(BとCの工程は2回繰り返す)

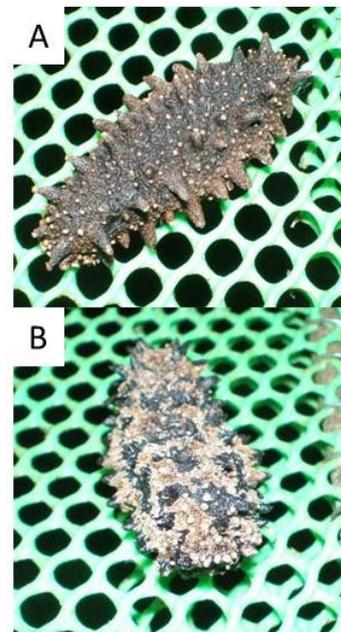


写真31 マナマコの乾燥品
傷がない個体の乾燥品(A)と傷があった個体の乾燥品(B)
Bはまだら模様になって等級が落とされる

乾燥品の主な輸出先である香港では、重量当たりの個体数で細かく価格設定されます。

香港での道産乾燥品の販売単価から、歩留まりを5%として生換算したマナマコ個体重量当たりの単価を図73に示しました。80gから200g(殻重量なので、重量としては160g~400g)がよく売れるサイズです。できるだけ160g~400gのマナマコを、体表を傷つけないように気をつけて出荷することで、マナマコの資源を維持しつつ収益も上げることが可能になると考えられます。

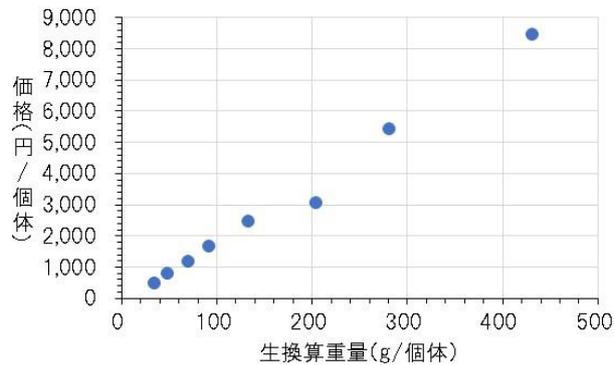


図73 香港での乾燥品の販売価格から算出した生換算単価

④国際条約

マナマコは 2010 年にクロマグロやウナギとともに IUCN(国際自然保護連合)のレッドリスト入りしました。このとき一緒にレッドリスト入りした 6 種のナマコ類のうち、イシナマコ 3 種 *Holothuria whitmaei*, *H. nobilis*, *H. fuscogilva* が 2019 年に CITES(絶滅の恐れのある野生動植物の種の国際取引に関する条約)の付属書 II¹⁶に掲載されました。

マナマコも同じように付属書 II に掲載されることになると、国の輸出許可証が必要になり、この許可証発行のため、漁獲によって種の存続を脅かさないという助言(NDF)¹⁷が求められるようになります。

NDF が行われる要件(輸出が許可される要件)としては、以下の 4 条件が挙げられています。

- 1 野生起源ではない場合
- 2 科学的根拠に基づき許容漁獲量が設定されている場合は、漁獲量がこの範囲に収まっていること
- 3 科学的根拠に基づく許容量の設定は困難であるが、漁獲量などにより資源の動向が可能な場合で資源の減少が認められず安定している場合、または現在導入されている(または導入予定の)管理措置の効果で資源が維持されると考えられること
- 4 上記のいずれにも当てはまらないが年間漁獲量が推定資源規模に比べ無視できるレベルであること
- 5 当該種について資源増殖事業が行われており、これにより現在の漁獲量の下でも資源が維持されると考えられること。

2002 年に CITES 会議で、ナマコ類の輸出規制が俎上にのぼり、それまで 300 円/kg~400 円/kg で推移していたナマコの単価が急騰しました。本種の資源を維持することは、本種を漁獲している皆さんの生活を維持することにもつながります。是非本書の知見を、資源管理に活用してください。

¹⁶ CITES の付属書 II に記載された場合、国際取引を規制しないと絶滅の恐れがあるものとして、国際取引の際には輸出国政府機関が発行する輸出許可書が必要になります。

¹⁷ 輸出に向けた漁獲が種の存続を脅かさないという科学的根拠

【参考文献】

- 1) 北海道立総合研究機構 栽培水産試験場、東北大学大学院農学研究科 マナモコ放流用種苗生産指針(2013年) 20p.
<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/saibai/section/saibai/att/namakoshishin.pdf>
- 2) Yuichi Sakai and Manami Kanno (2017) Stock Enhancement Program of Japanese Common Sea Cucumber *Apostichopus japonicus* in Hokkaido and a Trial to Reveal Its Effectiveness Using Microsatellite DNA Markers 水産育種 46. 95–97.
- 3) Sekino, M. and S. Kakehi (2011) PARFEX v1.0 : an EXCEL™-based software package for parentage allocation. Conservation Genetics Resources, 4: 275–278.
- 4) 北海道立栽培水産試験場・北海道立稚内水産試験場 (2009) マナモコ人工種苗の陸上育成マニュアル、1–97. 札幌市
- 5) 酒井勇一・前田高志 (2020) マナモコ初期餌料の開発 試験研究は今 912号
- 6) 酒井勇一 (2023) マナモコ種苗の放流場所と放流方法について 北水試だより 106 13–17.
- 7) 草加耕司・泉川晃一・池田善平(1995) マナモコ種苗の放流手法の検討 岡山水試報告 10. 30–36.
- 8) 赤池章一・吉田秀嗣 (2012) マナモコ資源増大推進事業 平成 22 年度函館水試事業報告書 58–64.
- 9) 光永直樹・松村靖治 (2004) サイズ別に放流した人工稚ナマコの成長と生残 長崎水試報告 30. 7–13.
- 10) 瀬戸雅文、佐藤総一郎、巻口範人、小形孝 (2011) マナモコ人工種苗の管足より発生する固着力と流動耐性、土木学会論文集 B3、Vol67(2)、316–321.
- 11) 高山治 (1995) なまこ増殖管理技術開発事業 青森県水産増殖センター事業報告書(26)、237–240.
- 12) 坂東忠男 (2014) ALC標識を用いたマナモコ種苗の放流効果の検討について 北海道なまこ増殖研究会要旨集
- 13) 酒井勇一 (2013) DNA 解析によるマナモコの放流効果推定技術の開発と系統群構造の解明(重点研究)平成 23 年度 道総研栽培水産試験場事業報告書 6–18.
- 14) 酒井勇一 (2014) DNA 解析によるマナモコの放流効果推定技術の開発と系統群構造の解明(重点研究)平成 24 年度 道総研栽培水産試験場事業報告書 7–15.
- 15) 酒井勇一 (2011) DNA 解析によるマナモコの放流効果推定技術の開発と系統群構造の解明 平成 21 年度 北海道立栽培水産試験場事業報告書 86–94.
- 16) 酒井勇一・近田靖子 (2007) マナモコ人工種苗の陸上育成技術確立試験 平成 18 年度北海道立栽培漁業総合センター事業報告書 81–94.
- 17) 酒井勇一・元谷怜 (2002) マナモコ栽培漁業技術開発試験 平成 13 年度北海道立栽培漁業総合センター事業報告書 24–32.
- 18) Yohei Yamazaki, Yuichi Sakai, Sayaka Mino, Wataru Suda, Masahira Hattori, Pedro Milet Meirelles,

- Fabiano Thompson and Tomoo Sawabe (2019) Repeated selective enrichment process of sediment microbiota occurred in sea cucumber guts Environmental Microbiology Reports (2019) 11(6), 797-807
- 19) 酒井勇一 (2019) 輸出重要種資源増大等実証委託事業 マナマコ 平成 29 年度道総研函館水産試験場事業報告書 82-86.
- 20) 田中 優斗, 酒井 勇一, 神田 紘暉, 江口 剛, 高木 力(2022) マナマコの流体力特性と構造物の流体力学的陰影の影響、第 45 回エアロ・アクアバイオメカニズム学会講演会
- 21) Goudet J. (1995) FSTAT(version 1.2): A computer program to calculate F-statistics. J Hered 86: 485-486.
- 22) 高柳志朗、美坂正 (2014) 肉眼観察による北海道沿岸域におけるマナマコの成熟サイズと海域間差の検討 北水試研報 85, 1-12.
- 23) 北海道マナマコ資源管理技術開発共同研究機関 (2014) 北海道マナマコ資源管理ガイドライン 1-63. 北広島市
- 24) 近田靖子・酒井勇一 (2005) 稚マナマコの摂餌珪藻観察手法の検討 北水試研究報告 68. 71-74.
- 25) Yohei Yamazaki, Pedro Milet Meirelles, Sayaka Mino, Wataru Suda, Kenshiro Oshima, Masahira Hattori, Fabiano L. Thompson, Yuichi Sakai, Toko Sawabe & Tomoo Sawabe (2016) Individual *Apostichopus japonicus* fecal microbiome reveals a link with polyhydroxybutyrate producers in host growth gaps Scientific Reports 6:21631

令和 5 年 3 月

北海道総合研究機構 函館水産試験場

〒040-0051 北海道函館市弁天町 20-5 函館市国際水産・海洋総合研究センター内

TEL 0138-83-2893 FAX 0138-83-2849