



Title	マナマコ種苗の放流初期における発見率低下要因
Author(s)	植草, 亮人; 吉田, 奈未; 柏尾, 翔; 戸梶, 裕樹; 浅見, 愛; 中原, 功太郎; 五嶋, 聖治
Citation	北海道大学水産科学研究彙報, 62(2), 43-49
Issue Date	2012-08-08
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/49838">http://hdl.handle.net/2115/49838</a>
Type	bulletin (article)
File Information	p43-49.pdf



[Instructions for use](#)

## マナマコ種苗の放流初期における発見率低下要因

植草 亮人<sup>1)</sup>・吉田 奈未<sup>1)</sup>・柏尾 翔<sup>1)</sup>・戸梶 裕樹<sup>1)</sup>・浅見 愛<sup>1)</sup>  
中原功太郎<sup>1)</sup>・五嶋 聖治<sup>2)</sup>

(2012年3月28日受付, 2012年5月25日受理)

### Low discovery rate of sea cucumber *Apostichopus japonicus* juveniles after seed release in the field

Ryoto UEKUSA<sup>1)</sup>, Nami YOSHIDA<sup>1)</sup>, Sho KASHIO<sup>1)</sup>, Hiroki TOKAI<sup>1)</sup>, Ai ASAMI<sup>1)</sup>,  
Koutaro NAKAHARA<sup>1)</sup> and Seiji GOSHIMA<sup>2)</sup>

#### Abstract

Low discovery rates are common at initial stages of sea cucumber *Apostichopus japonicus* juveniles release, and possible causes, such as drifting away by waves, predation, burying by mud, and emigration have been suggested. In order to clarify causes of the low discovery rate, the body length and juvenile occurrence were examined by releasing juveniles into artificial reefs. We compared discovery rates among four releasing treatments; using oyster shells as attachment devices, covering whole artificial reefs with different net mesh size as 2 mm and 4 mm, and control groups which were directly released into artificial reefs. The discovery rate decreased quickly during the first 7 to 14 days after release, after that it decreased slowly. Comparison of juvenile body length between just released and 28 days after releasing groups, indicated no size-dependent disappearance pattern. Discovery rates did not differ significantly among the four releasing treatments. We discuss the other possible causes contributing to the observed low discovery rate.

**Key words** : low discovery rate, *Apostichopus japonicus*, sea cucumber, release, juvenile, artificial reef

#### 緒 言

マナマコ *Apostichopus japonicus* は九州から北海道の沿岸域にかけて広く分布しており、ナマコ類の中では最も商業価値の高い水産有用種である。本種は腹部の色彩から赤型、青型、黒型の3種類に区別されており(崔, 1963), 主に赤型と青型の2種類が食用として利用されている。日本では江戸時代から本種を煮熟させて干した乾燥ナマコを、高級中華料理の材料として中国へ輸出してきた(赤嶺, 2010)。中国での乾燥ナマコの品質は疣足の数が最も重要で、数が多いほど高値で取引されている(成田ら, 2010)。日本産の中でも北海道産は、疣立ちが良く、疣足の数も多いため最高級品として扱われている。近年マナマコは、中国が経済的発展を遂げ、富裕層が増えた影響を受けて2003年頃から需要が増大している。マナマコの価格も上昇し、特に北海道産のマナマコの単価は急騰した(北海道水産現勢資料, 1991~2010)。その影響でマナマコに対する漁獲圧が高まり、資源の減少が危惧されている。そこで資源を持続的に利用していくため、北海道ではマナマコの人工種苗生産に取り組む漁業協同組合、種

苗場などの機関が急速に増えている。

これまでマナマコの人工種苗生産は西日本が中心であり、北海道では宗谷海域等の一部の地域でしか行われておらず、北海道での種苗生産事業は十分には確立されていないのが現状である。近年、マナマコの生殖行動を誘発する神経ホルモンである「クビフリン」が発見され(Kato et al., 2009), 産卵誘発が容易となり、大量の種苗を生産することが可能となってきた。しかしながら、種苗放流において放流場所の選定や放流場所整備などに関する知見が圧倒的に不足しているのが現状である。

種苗放流事業の問題の1つとして、放流後早期に種苗が消失する発見率低下の問題が挙げられている。たとえば北海道宗谷漁港沖でおこなわれた種苗放流では、放流後2ヵ月間で種苗の発見率が急激に低下し、その後は発見率を維持したことが報告されている(中島ら, 2004)。資源添加に効果的な放流をおこなうためには、放流直後の発見率低下の要因を追及し、それを防止する適切な対策を講じて放流をおこなうべきである。

発見率低下要因についてこれまで報告されている事例では、基質への付着力の弱い小型種苗の波浪による流出

<sup>1)</sup> 北海道大学大学院水産科学院海洋生物学講座底生生物学領域  
(Laboratory of Marine Biology (Benthos Laboratory), Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University)  
<sup>2)</sup> 北海道大学大学院水産科学研究院海洋生物学分野底生生物学領域  
(Laboratory of Marine Biology (Benthos Laboratory), Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University)

(Tanaka, 2000), イトマキヒトデ *Asterina pectinifera* による捕食 (畑中ら, 1994), 浮泥や漂砂による埋没 (草加ら, 1995) といった種苗の死亡が要因であるとの報告がある。それに対して死亡ではなく、急速な逸散と日周運動の影響を受けての種苗自身の移動が要因であるとの報告もある (浜野ら, 1996; 真崎ら, 2007a)。しかしながら、北海道の種苗放流現場において発見率低下要因について検証された例はこれまでない。

そこで本研究では放流場所として追跡調査可能な放流礁を設置して、種苗放流試験を2回おこなった。放流試験Ⅰでは、発見率低下の詳細な時期と消失個体のサイズを検証した。放流試験Ⅱでは、4種類の異なる放流方法を用いて先行研究で述べられている発見率低下要因である3つの死亡要因(波浪による流出, 害敵による捕食, 浮泥による埋没)と1つの移出要因(種苗自身の移動)について検証した。なお、本研究で取扱ったマナマコは全て青型である。

### 材料および方法

#### 放流試験Ⅰ：発見率低下時期・消失種苗サイズの検討

稚ナマコが転石や玉石が複雑に重なりあった小さな間隙内に生息しているとの知見(前迫ら, 1991; 古川ら, 未発表データ)から、放流にはプラスチックコンテナ(長さ520 mm, 幅360 mm, 高さ300 mm), 建材用コンクリートブロック(長さ390 mm, 幅120 mm, 高さ190 mm), 割り石といった安価な素材で生息地特性を再現した放流礁を用いた(Fig. 1)。放流礁は紐やケーブルタイなどを用いて礁同士を連結することが可能であり、種苗はコンテナの開口部から礁内を自由に移動できる。放流礁は北海道江差町の愛宕にある離岸堤の内側に計8個を設置した(Fig. 2A)。本試験場所は1年を通して地形変動が起こらず、転石の反転も見られない静穏域が保たれている場所である。礁設置区は水深約3 mで、底質は粗砂および泥に礫が混在しており、離岸堤側の礁周辺には少量の20~30 cm大の転石も存在していた。各礁は種苗の移動を防ぐため、それぞれ1 m ずつ間隔をあけた。各礁の下には、砂による埋没を避けるためコンクリートブロック3枚を敷いた。礁の設置は2011年8月4日におこない、馴致期間を9日間設け、2011年8月13日に種苗を放流した。

種苗は、ひやま漁業協同組合にて2010年に人工採卵によって得られた浮遊幼生をタマネギネットに沈着させ、江差漁港内の筏に垂下して約1年間、粗放的に中間育成された平均体長  $26.3 \pm 6.3$  SD mm, 計408個体を用いた。1個の礁につき、51個体ずつ礁内に直接的にばら撒いて放流した。

追跡調査は放流7日後の8月19日, 13日後の8月26日, 28日後の9月10日におこなった。調査はスキューバ潜水で、設置した全ての放流礁内部に存在する個体数を海中にて計測した。計測後の種苗は、採集した礁と同じ礁内

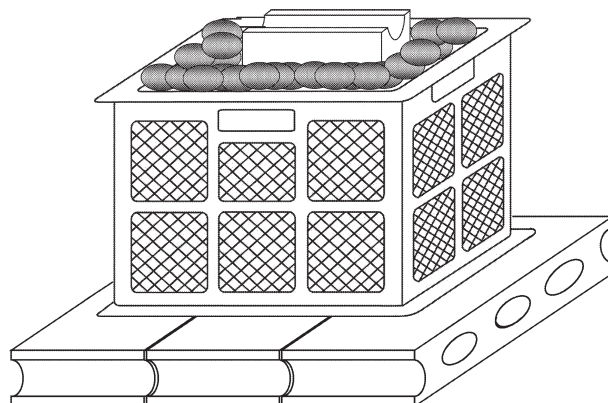


Fig. 1. Artificial reef for sea cucumber consisted of a plastic container with full of boulder stones and a concrete block. Three concrete blocks under artificial reef are set in order to prevent it from being buried in sand.

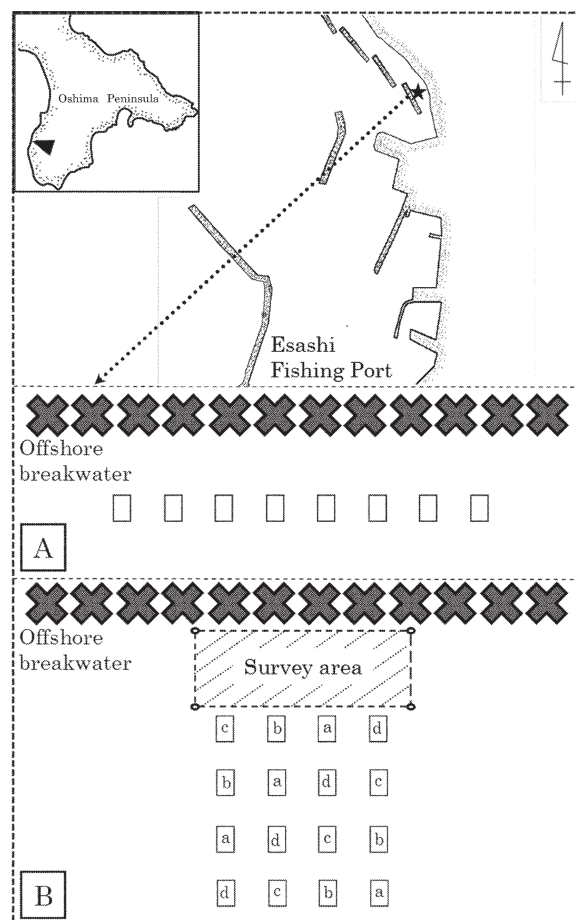


Fig. 2. Map showing the survey site located in Esashi, south western coast of Hokkaido, Japan. (A) and (B) indicate two sets of releasing test respectively, (A) is aimed to clarify decreasing time and vanished size of sea cucumber, and (B) is aimed to clarify decreasing factor. Layout of rectangles represents artificial reefs which made by plastic container, stones and concrete blocks. Each letter indicates releasing method used for artificial reefs; (a) control, (b) attachment with oyster shells, (c) covering with 4 mm mesh net, and (d) covering with 2 mm mesh net.

に戻した。放流 28 日後の調査では、礁から消失してしまった個体の体長サイズを把握するため再捕したナマコについて、陸上で写真撮影をおこなった。また、同調査日に礁内に蟄集した潜在的な捕食者である甲殻類、棘皮動物および魚類を採集した。

種苗の体長測定は定規とともに種苗の写真を撮り、画像処理ソフト ImageJ を用いて体長と体幅を測定した。次に体長と体幅から麻酔体長を算出できる式 (Yamana and Hamano, 2006; 山名ら, 2011) を使用し、標準体長 (麻酔体長) を記録した。用いた式は (1) 式の通りである。

$$Le = 2.21 \times \sqrt{L \times B} \quad (1)$$

ここで、 $Le$  は標準体長 (麻酔体長, mm),  $L$  は体長 (mm),  $B$  は体幅 (mm) を示す。

### 放流試験 II : 発見率低下要因の検証

試験は、放流試験 I と同じ場所でおこない、同様の放流礁を使用した。放流礁は計 16 個を使用し、各礁は種苗の移動を防ぐため、それぞれ 1 m ずつ間隔をあけた (Fig. 2B)。礁の設置は 2011 年 8 月 4 日におこない、2011 年 9 月 29 日に種苗を放流した。

種苗は、放流試験 I と同様の方法で中間育成された平均体長  $26.7 \pm 6.3$  SD mm のものを計 480 個体用いた。1 個の礁につき 30 個体ずつ放流し、放流方法は下記の 4 通りとし、いずれもスキューバ潜水によって作業をおこなった。

方法の 1 つ目は対照区として、礁内に直接的に種苗をばらまいて放流した。方法の 2 つ目は付着器を用いた。放流日の前日に殻長約 10 cm のカキ殻 20 枚が入ったタマネギ袋の中に種苗を入れ、袋の口を閉じて 1 日置き、種苗がカキ殻か袋に付着している状態となっている袋ごと礁内に放流した。放流の際は袋の口を開け、反対の閉じている面はハサミで切り取り、袋の両端が開いていることで種苗が礁内へ容易に移出できる状態とした。付着器があることで、対照区よりも種苗が波浪の影響を受けることを緩和した。

方法の 3 つ目は礁全体を 2 mm の目合いのネットで囲んだ。礁内へ直接的に種苗をばらまいて放流後、礁全体を袋の形状をした 2 mm の目合いのネットで覆った。袋の開口はケーブルタイを使用して締めて閉じた。2 mm の目合いのネットは全種苗の体幅よりも小さいため、種苗が礁から移出することを防ぎ、かつ波浪の影響を軽減できる。

4 つ目の方法は、礁全体を 4 mm の目合いのネットを用いて、3 つ目と同様の方法で礁全体を囲んだ。体幅が 4 mm より小さい種苗は礁から移出可能であり、目が粗いため波浪の影響もやや受けやすいことになる。

1 つの方法につき用いた放流礁は 4 個ずつとした。追跡調査は放流 7 日後、14 日後、28 日後、60 日後の計 4 回おこなった。調査は放流試験 I と同様の方法で、放流礁内

部に存在する個体数を計測した。計測後の種苗は採集した礁へ戻した。2 mm と 4 mm の目合いのネットで囲った放流礁では、種苗を礁に戻した後に再び礁をネットで囲み、ケーブルタイで開口を締めて計測前と同じ状況にした。また放流 60 日後の最終調査では、陸上で写真撮影をおこない体長も測定し、各放流方法での残存個体の体長を検討した。種苗の体長測定は式 (1) を用いて、放流試験 I と同様の方法でおこなった。

礁周辺調査は、礁から周辺への種苗の移出を検討するためにおこなった。礁に近接した場所に縦 6 m、横 8 m の調査区を設置し (Fig. 2B)、放流前の 2011 年 9 月 20 日、32 日後の 10 月 31 日、そして 60 日後の 11 月 28 日に調査区内の全てのマナマコを採集して個体数と体長を計測した。計測後の個体は全て調査区内に戻した。調査区内の底質は砂地に 20~30 cm 大の転石が少量存在していた。

礁内の流速と浮泥の量は、試験区から 2 m 離れた場所に種苗放流区と同様の 4 つの方法を用いて設置した礁内で測定した。流速は放流日 2011 年 9 月 29 日から 10 月 5 日にかけて測定した。測定は石膏球 (ドリスジャパン、東京) 5 個を使用して、各放流方法の礁内と礁外の 5 ヶ所でおこなった。流速を測定するための水温はデータロガー (米国オンセットコンピュータ社) を使用して測定した。浮泥量は 2011 年 10 月 27 日から 10 月 31 日にかけて、対照区と、2 mm と 4 mm の目合いのネットを用いた 3 つの方法を使用した礁内で測定した。方法は建材用コンクリートブロック上にプラスチックボックス (縦 60 mm、横 60 mm、高さ 45 mm) をセジメントトラップとして設置し、中に溜まった量を計測、ボックスと礁の体積比から礁全体に溜まると考えられる量を算出した。

## 結 果

### 放流試験 I : 発見率低下時期・消失種苗サイズの検討

追跡調査の間、全ての礁はその形状を維持していた。放流されたマナマコ種苗は礁の表面には現れず、多くの個体が石と石の間隙で確認された。本試験では 1 つの礁にて、放流 7 日後の調査では発見されなかった種苗 2 個体が放流 13 日後に発見された。この種苗は観察者の見落としとみなし、放流 7 日後にも存在したのとして解析をおこなった。

調査日ごとの各礁での発見率の変化を Fig. 3 に示した。放流から 7 日後、7~13 日後、13~28 日後の各期間での減少個体数を比較した結果、放流から 7 日後の期間の発見率低下が最も著しく、その後は低下が収まる傾向にあった (Friedman-test,  $\chi^2 = 12.25, p < 0.005$ )。放流 28 日後の全礁の平均発見率は 50% であった。

放流前と放流 28 日後に発見された全個体の体長組成を Fig. 4 に示した。放流前は体長 40 mm 以上の個体が 4 個体であったのに対し、28 日後は 37 個体とやや増加していたものの、放流 28 日後の体長組成は、放流前の体長組成と

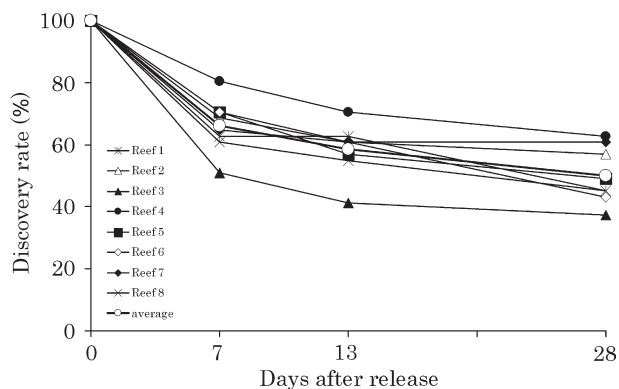


Fig. 3. Changes in discovery rate of released individuals at Esashi. Each symbol represents different artificial reef.

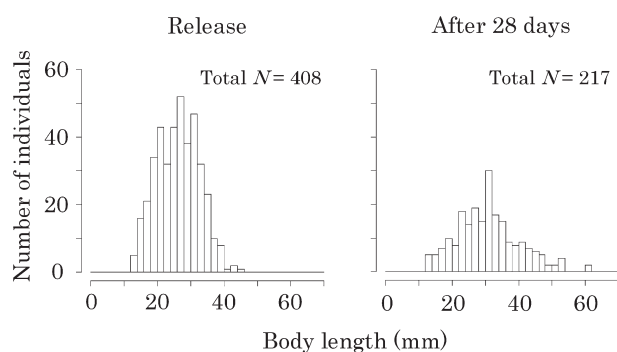


Fig. 4. Composition of body length of sea cucumber at release and after 28 days, respectively.

目立った変化は見られず、個体は体の大小に関わらず発見された。各礁ごとに比較した場合も同様であり、小型個体の消失が特に多いなどの体長特異的な変化は見られなかった。

放流 28 日後の調査で採集した礁に蝸集した捕食者となりえる生物を Table 1 に示した。甲殻類・魚類に関しては、採集作業中に礁から逃げ出した個体もあり、全ての個体を採集することはできなかった。捕食者であると報告されているイトマキヒトデも確認されたが、全ての個体がプラスチックコンテナの外側に張り付いており、礁内部に入り込んでいる個体はいなかった。礁内部の生物はイソガニ *Hemigrapsus sanguineus* が最も数が多かった。

#### 放流試験 II：発見率低下要因の検証

追跡調査期間中、対照区と付着器を用いた礁では、放流試験 I と同様に礁内にカニ類、魚類等の多数の生物が蝸集しており、プラスチックコンテナの外側にはイトマキヒトデが張り付いているのが観察できた。2 mm と 4 mm の目合いのネットを用いた礁では、ネットで礁全体を囲ったことにより種苗以外の生物は入り込んでいなかった。

追跡調査中、放流試験 I と同様に 1~2 個体の種苗の見落としが 8 個の礁で発生した。この種苗は観察者の見落

Table 1. Possible predatory species on sea cucumber in the artificial reefs.

Species name		No. of individuals
Japanese name	Scientific name	
Crustacea		
Ishigani	<i>Charybdis japonica</i>	1
Kefusaisogani	<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	1
Isogani	<i>Hemigrapsus sanguineus</i>	7
Yotsuhamogani	<i>Pugettia quadridens</i>	1
Ikubihonyadokari	<i>Pagurus proximus</i>	1
Echinodermata		
Itomakihitode	<i>Asterina pectinifera</i>	3
Pisces		
Benitsukeginpo	<i>Dictyosoma rubrimaculatum</i>	1

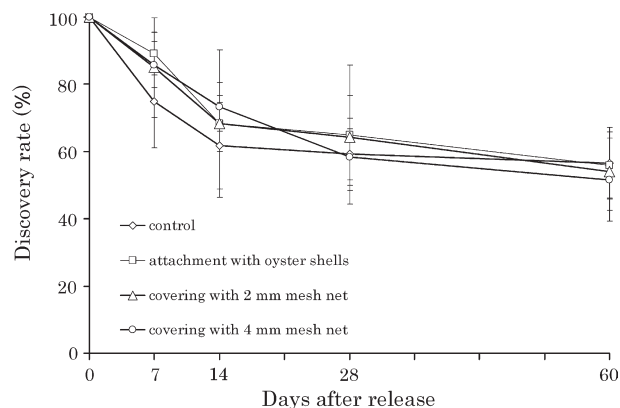


Fig. 5. Changes in discovery rate of released individuals with respective releasing methods. Each symbol represents different releasing method.

としとみなして前調査時にも存在したものとして解析をおこなった。

各放流方法を用いた礁ごとでの種苗の発見率の変化を Fig. 5 に示した。発見率低下は、放流方法に関わらず放流 14 日後までが著しく、14 日後以降は低下が収まってきた。放流 60 日後、各放流方法を用いた礁ごとでの発見率に差はみられなかった (Kruskal-Wallis test,  $\chi^2 = 0.56, p > 0.05$ )。

放流 2 ヶ月後の各放流方法を用いた礁ごとでの種苗の平均体長は、対照区が  $37.0 \pm 10.6$  SD mm, 付着器を用いた方法が  $35.9 \pm 9.1$  mm, 2 mm と 4 mm の目合いのネットを用いた方法がそれぞれ  $37.3 \pm 12.1$  mm,  $33.2 \pm 9.1$  mm であった。各放流方法を用いた礁ごとでの種苗の体長に差はみられなかった (ANOVA,  $F_3 = 2.09, p > 0.05$ )。

放流前、放流 32 日後、60 日後の礁周辺調査の結果を Fig. 6 に示した。放流前と 32 日後の調査区内のマナモコの総数はそれぞれ 13 個体と 16 個体であり、大きな変化は見られなかったが、60 日後の総数は 39 個体と 32 日後の総数よりも 2 倍以上に増えた。体長組成は、3 回の調査

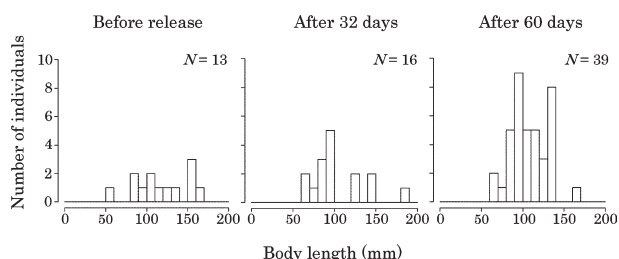


Fig. 6. Compositions of body length of sea cucumber in neighboring survey area before release, after 32 days and after 60 days.

とも体長 50~150 mm のマナマコが大半を占めており、目立った変化はみられなかった。

各放流方法を用いた礁内と礁外の推定平均流速は、対照区が 10.8 cm/s、付着器を用いた礁が 10.9 cm/s、2 mm と 4 mm の目合いのネットを用いた礁ではともに 12.0 cm/s であり、各放流礁では明確な差はみられなかったが、礁外は 14.2 cm/s であり流速が最も速かった。水温については、放流直後が 9 月終わりであったので 20℃前後と最も高く、10 月に入ると 18~15℃前後とゆっくりと下がっていき、11 月終わりには 10℃前後まで下がった。

浮泥量は、対照区では 433.3 ml、2 mm と 4 mm の目合いのネットを用いた礁ではそれぞれ 722.1 ml、577.9 ml と算出された。2 mm の目合いのネットを用いた礁内が最も浮泥が溜まる結果となった。

## 考 察

本研究では、発見率低下の詳細な時期と消失個体の体長サイズ、要因について検証した。発見率低下の要因の 1 つとして、観察者の見落としの影響が大きいとの報告がある(浜野ら, 1996)。本研究でも 2 回の試験ともに、種苗 1~2 個体の見落としがあった。しかしながら、設置した半分以上の礁では見落としが発生しなかったこと、見落としがあってもその個体数はわずかであったこと、本試験の礁がプラスチックコンテナに石とブロックを詰めていることで種苗を確認しやすかったことより、見落としによる発見率低下の影響は少ないと考えられた。

放流試験 I での発見率低下の時期は、放流後 1 週間が最も著しく、その後は低下が収まる傾向にあった。放流 1 ヶ月後の平均発見率は 50% であった。佐賀県大浦浜地先では種苗 10,000 個体の放流を行ったところ、放流 19 日後で発見率が 3.1% まで低下したと報告されている(真崎ら, 2007b)。しかし、本試験場所では放流後 1 ヶ月間で低下が収まる傾向を見せ、1 ヶ月後の種苗の発見率は 50% を保っていた。このことより、静穏が保たれている本試験場所は放流場所として優れていることが示唆された。

放流試験 I での放流前と放流 28 日後の体長組成では、放流前が体長 40 mm 以上の個体が 4 個体であったのに対し、28 日後は 37 個体と増加していた (Fig. 4)。これは種苗

の成長によるものと考えられた。本試験では各種苗の個体識別がされていないことから確実ではないが、放流前と放流 28 日後の個体の体長組成の比較から (Fig. 4)、発見率低下が全体長サイズの種苗で発生する可能性が高いと思われた。同様に、放流前と放流 29 日後の種苗の体長組成に差がなかった報告例もある(酒井・近田, 2009)。これらのことから本試験で取扱った体長 10~40 mm の範囲であるならば、発見率低下と種苗の大きさは、一概には関係しないことが示唆された。もし発見率低下が体長 10~40 mm の全てのサイズの種苗で発生しているならば、体長 10 mm 以上に種苗を成長させる飼育(中間育成)は、放流後の生存率を高める上で大きな効果は期待できないかもしれない。種苗は体長 10 mm 程度まで成長させ、成長した種苗から静穏が保たれた場所へ放流を順次おこなっていくことで、より効率的な種苗生産をおこなうことができるかもしれない。今後は放流礁へ体長別の放流をおこない、より詳細な適正放流サイズの検討をおこなっていく必要があると考えられる。

発見率低下要因について、先行研究で述べられている波浪による流出、捕食、浮泥による埋没の死亡要因、および種苗の移出の 4 つの要因に着目して検討した。放流礁に 4 通りの異なる方法を用いて放流を行った結果、どの方法においても種苗の発見率に差はみられず、付着器、2 mm の目合いのネット、4 mm の目合いのネットを用いた方法は発見率低下に影響を与えない結果となった。

この結果をふまえて、発見率低下要因について以下にひとつずつ検証していく。波浪による流出については、流れや波浪による種苗流出の緩和が期待できる付着器を用いた方法とそうではない対照区の礁での発見率に差がないことから、波浪による流出は主な減耗要因ではなかったと考えられる。次に種苗の移出に関しては、礁周辺調査で放流前と 32 日後、60 日後のマナマコの体長組成に差がみられなかったことと、移出入を防ぐことができる 2 mm ネットでも同様の減耗がおこなっていることから、移出も大きな減耗要因ではなかったと考えられる。つまり波浪による流出と種苗の移出の影響が除外されたことになる。浮泥による埋没については、多くの浮泥堆積が認められた 2 mm の目合いを用いた礁と浮泥の少ない 4 mm の目合いのネットを用いた礁での発見率に差がなかったことから、やはり減耗の大きな要因ではなかったと考えられる。最後に捕食の影響については、対照区と付着器を用いた礁と、2 mm と 4 mm の目合いのネットによって捕食者の侵入を防ぐことができる礁と、侵入を防げない対照区と付着器を用いた礁での発見率に差がなかったことから、これもまた減耗要因ではなかったことになる。以上のことから本試験場所では、波浪による流出、捕食、浮泥による埋没、種苗の移出は発見率低下の主要な要因ではないことが示唆される。

波浪に関しては、礁外での平均流速が 14.2 cm/s であり、各方法を用いた礁内の流速は 10.8~12.0 cm/s であった。

礁内は、礁を構成しているプラスチックコンテナと割り石によって水流が分散されることで流速が緩和されていると考えられた。本試験では種苗の波浪による流出はないことが示唆されたことから、本試験場所の流速が放流場所選定の際の目安になると考えられる。

捕食に関しては、先行研究(畑中ら, 1994)で報告のあるイトマキヒトデが放流礁に螺集していた。ただし、全ての個体がプラスチックコンテナの外側に張り付いており、礁内部に入り込んでいる個体はいなかった。一方、追跡調査で観察された全てのマナマコ種苗は、礁の表面には現れず礁内の石の隙間にいたことから、種苗が礁内に留まっている間は影響しないと考えられた。甲殻類では、室内実験により種苗を捕食したと報告(高橋・秋野, 2010)されているヨツハモガニ *Pugettia quadridens* が少数発見された。最も個体数の多かった種類はイソガニであった。上述した通り、対照区と付着器を用いた礁と、2 mm と 4 mm の目合いのネットを用いた礁での発見率に差がないことから、甲殻類による捕食の影響も大きくはないと考えられた。

マナマコは、酸素量の多い海水交流の良いところに生息することが知られている(五嶋ら, 1994)。2 mm の目合いのネットを用いた礁内部は視界がほとんど見えなくなるほど浮泥が溜まっており、海水交流は滞っていたと考えられるが発見率低下に影響はなかった。このことは、本試験で用いた種苗に体長が 10 mm 以下の小さな種苗がおらず、浮泥に埋もれてしまう個体がいなかったためではないかと推察される。

放流試験Ⅱの期間中の水温は、放流直後が 20°C 前後と最も高く、60 日後の 11 月終わりには 10°C 前後と 10°C から 20°C の間であった。稚マナマコは水温が 30°C を超えると生存に影響が出てくることが報告されている(Dong and Dong, 2008)。本試験場所ではそこまでの高水温に達した日がなかったため、水温による生存への影響はないと考えられた。

礁周辺調査では放流後 60 日後に調査区内の個体数が増えていたが、体長組成は中大型個体のみで変化はなく、本試験で用いた種苗が礁から移出することはみられなかった。本試験場所の礁周辺調査では、大きなサイズのマナマコは砂地の上を歩いているのが観察できたが、小さなサイズの多数のマナマコは転石に張り付いていた。マナマコは砂地に吸着できないことから、波浪の影響が強くなってきた際に転石に付着しなければ流されてしまう。マナマコはサイズの大きな個体ほど生息地を広げる傾向にあると報告されていることから(Yamana et al., 2009)、サイズの大きな個体は小さな個体よりも移動能力が高いと推察される。サイズの大きい個体は波浪が強まった時、砂地から転石域へすぐに移動できるが小さな個体は逃げられない。礁内の種苗はサイズが小さいことで波浪から逃げる能力が低く、砂地へ移出しなかったと考えられる。

本試験場所では波浪による流出、捕食、浮泥による埋没、種苗の移出は発見率低下要因ではなかった。本試験での発見率低下要因については、種苗自身の活力の低下が影響していたと考えられる。例えば、飼育水槽と野外での水質などの環境の違いや、飼育水槽から種苗を剥離して放流場所まで運ぶ際のハンドリングの影響が、種苗にストレスを与えて活力の低下を招き、衰弱した個体を死亡させ発見率が低下したことが考えられる。発見率低下は、種苗の活力低下に起因する死亡によるとの同様の例が石川県で報告されており、活力低下による死亡は主に体長 10 mm 以下のサイズで起こるとされている(Tanaka, 2000)。しかしながら本試験で用いた種苗の体長 10 mm 以上であり、発見率低下は体長に関わらず発生していると考えられた。このことは、北海道と石川県のマナマコの個体差や野外環境の違いが関わっている可能性があり、今後の精査を必要とする。

本試験場所では、種苗の発見率低下は放流後 1, 2 週間が最も著しく、その後は低下が収まる傾向にあり、その要因は種苗の活力低下であると推察された。また種苗の体長と活力の強さが一概には関係せず、体長 10~40 mm の全種苗で活力低下が発生することで、放流後早期の発見率低下に繋がっていると考えられた。活力低下を防ぐための方法は、マナマコを放流サイズまで育てる中間育成を海中でおこない、種苗を陸上に揚げずに海中から直接的に放流場所へ放流することが有効かもしれない。中間育成場所が野外で行えない場合には、飼育水槽からの種苗の剥離、放流場所までの運送中の取り扱いを慎重に行うべきである。例えば、KCl 溶液を用いて種苗を麻酔して剥離する方法(田中, 1998)や、種苗を取り扱う際に手袋を着用するなどの措置を行う必要があると考えられる。

## 要 約

これまでマナマコ種苗の放流直後の発見率低下要因については、波浪による流出、捕食、浮泥や砂による埋没の減耗であるという報告と、減耗ではなく種苗の移出によるとの報告があった。本研究では、知見の少ない北海道の放流初期における発見率低下時期と消失種苗の体長、消失要因について、人工礁への放流試験を行い検討した。発見率低下要因は、付着器を用いる方法、2 mm と 4 mm の目合いのネットで礁全体を覆う方法、礁内へ種苗を直接ばら撒いて放流する方法での発見率の比較によって検討した。発見率低下は放流から 7 日ないし 14 日間が最も著しく、その後は低下が収まる傾向にあった。放流前と 28 日後のマナマコの体長組成の比較から、発見率低下と種苗の大きさは一概に関係なく発生すると示唆された。これまで報告のあった発見率低下要因は、本放流場所では 4 通りの方法に発見率の違いがみられなかったことから、主要な要因とはならず、種苗放流時の活力低下が引

き起こす初期死亡がその要因であることが示唆された。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、函館市ウニ種苗センターの佐々木司氏、函館市水産課の大野孝悦氏には、実験へのご協力、実験材料、実験資材のご提供を賜った。野外調査において、田中利明氏をはじめとするひやま漁業協同組合の方々には、地先での調査に対してご理解とご支援、ご助力を賜った。江差町産業振興課水産係村上修氏、檜山南部地区水産技術普及指導所とひやま漁業協同組合の方々には、礁の作製・設置から、潜水調査にいたるまで、数々のご助力を賜った。北海道大学大学院水産科学院海洋生物学講座底生生物学領域の学生諸氏には研究全般におよび多大なる御協力を賜った。心より感謝申し上げます。なお、本研究の一部は、函館市漁業振興基礎研究費、および江差ナマコ資源増殖協議会の寄附金によった。記して御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 赤嶺 淳 (2010) ナマコを歩く. pp. 10-20, 新泉社, 東京.
- Dong, Y. and Dong, S. (2008) Induced thermotolerance and expression of heat shock protein 70 in sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Fisheries Science*, **74**, 573-578.
- 五嶋聖治・藤芳義裕・井出名誉・Gamboa, R.U.・中尾 繁 (1994) サロマ湖におけるマナマコの分布. *水産増殖*, **42**, 261-266.
- 浜野龍夫・近藤正和・大橋 裕・立石 健・藤村治夫・末吉 隆 (1996) 放流したマナマコ種苗の行方. *水産増殖*, **44**, 249-254.
- 畑中宏之・上奥秀樹・安田 徹 (1994) マナマコのイトマキヒトデによる食害に関する実験的研究. *水産増殖*, **42**, 563-566.
- Kato, S., Tsurumaru, S., Taga, M., Yamane, T., Shibata, Y., Ohno, K., Fujiwara, A., Yamano, K. and Yoshikuni, M. (2009) Neuronal peptides induce oocyte maturation and gamete spawning of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. *Developmental*

- Biology*, **326**, 169-176.
- 前迫信彦・最上泰秀・平野聖治・四位敏雄 (1991) 大村湾における幼ナマコの生息場所. 長崎県水産試験場研究報告, **17**, 31-34.
- 真崎邦彦・山浦啓治・青戸 泉・大隈 齊 (2007a) マナマコ種苗の放流後の発見率低下要因について. *水産増殖*, **55**, 347-354.
- 真崎邦彦・山浦啓治・青戸 泉・大隈 齊・金丸彦一朗・伊藤義信 (2007b) 人工礁へ放流したマナマコ種苗の移動, 分散および成長. *水産増殖*, **55**, 355-366.
- 中島幹二・坂東忠男・吉村圭三・瀧谷明朗 (2004) 宗谷海域におけるマナマコ人工種苗放流サイズの検討. 北海道立水産試験場研究報告, **67**, 97-104.
- 成田正直・宮崎亜希子・飯田訓之 (2010) 乾燥ナマコの品質基準の確立. 平成 21 年度北海道立網走水産試験場事業報告書, 61-63.
- 崔 相 (1963) なまこの研究. 海文堂, 東京, 226 pp.
- 酒井勇一・近田靖子 (2009) マナマコ人工種苗の陸上育成技術確立試験. 平成 19 年度北海道立栽培水産試験場事業報告書, 110-127.
- 草加耕司・泉川晃一・池田善平 (1995) マナマコ種苗の放流種苗の検討. 岡山水産試験場報告, **10**, 30-36.
- 高橋和寛・秋野秀樹 (2010) 北日本海域における天然資源の効果的添加技術の開発. 平成 21 年度北海道立中央水産試験場事業報告書, 130-134.
- 田中正隆 (1998) 放流技術開発. 地域特産種量産放流技術開発事業総括報告書棘皮類, 石 6-石 19.
- Tanaka, M. (2000) Diminution of sea cucumber *Stichopus japonicus* juveniles released on artificial reefs. *Bulletin of Ishikawa Prefecture Fisheries Research Center*, **2**, 19-29.
- Yamana, Y. and Hamano, T. (2006) New size measurement for the Japanese sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Stichopodidae) estimated from the body length and body breadth. *Fisheries Science*, **72**, 585-589.
- Yamana, Y., Hamano, T. and Goshima, S. (2009) Seasonal distribution pattern of adult sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Stichopodidae) in Yoshimi Bay, western Yamaguchi Prefecture, Japan. *Fisheries Science*, **75**, 585-591.
- 山名祐介・五嶋聖治・浜野龍夫・佐佐貴志・古川佳道・吉田奈未 (2011) 北海道および本州産マナマコの体サイズ推定のための回帰式. 日本水産学会誌, **77**, 989-998.