

## 稚ナマコの餌料環境についての検討

稲葉 信晴 松本 卓真 梶原 瑠美子 松野 孝平

### 1. はじめに

棘皮動物の一種であるマナマコ *Apostichopus japonicus* は主に中国、韓国、日本、ロシアなどの西太平洋沿岸域における水産重要種である<sup>1)</sup>。中国ではナマコは海參(ハイシェン)と呼ばれ、魚翅(フカヒレ)、鮑魚(アワビ)、燕窩(ツバメの巣)と並び「四大海味」として中華料理には欠かせない高級食材である。日本においてもナマコは「古事記」に登場するなど、古くから貢納品や食材として用いられてきた<sup>2)</sup>。干しナマコは俵物三品の一つで江戸時代の重要な水産物輸出品目の一つであった<sup>3)</sup>。現在でもナマコは重要な水産輸出品であり、特に北海道産マナマコはイボの形や数の多さに価値が認められ、最上級品として取引されている<sup>4)</sup>。近年、中国の経済成長による中華圏向けの輸出増加を背景に北海道産ナマコの輸出金額が増大し、就業者減少や高齢化など様々な問題に直面する地域漁業を活性化させる魚種として大いに注目されている。一方で、日本のマナマコ資源はここ30年間で少なくとも30%は減少したという報告もあり<sup>1)</sup>、ナマコ資源の枯渇が問題視されている。マナマコの資源量を回復する手段として人工種苗放流が有効であるとされ<sup>5), 6)</sup>、北海道では2017年には約600万尾の種苗を放流している<sup>7)</sup>。しかし、北海道沿岸における本種幼稚仔の分布特性は本州と大きく異なるため<sup>8)</sup>、寒冷海域独自の種苗放流適地の選定や放流手法の確立が不可欠である事が指摘されている<sup>6)</sup>。波浪など物理的な攪乱による放流種苗の流出や埋没の影響<sup>9), 10), 11)</sup>や北海道沿岸域の稚ナマコ分布状況などから、寒冷域の放流・育成場選定において高い静穏性が重要と考えられる。

以上の事から、寒地土木研究所水産土木チームでは、ナマコ種苗放流適地としての寒冷域における漁港港湾静穏域の利活用に関する研究を進めている。本資料では、漁港内泊地の静穏域における種苗放流調査の一環として実施している生息環境調査の内、餌料環境についての分析結果について整理、考察を行い、技術資料として提供する。

### 2. 材料と方法

#### 2. 1 調査地点と試験礁

調査地点は道南に位置する漁港で、底質は主に砂泥質、左右に小規模河川が位置し、漁港中央から北西部防波堤沿いにかけてアマモ場が分布しているのが特徴である(図-1)。図-2に漁港中央部に設置したマナマコ種苗の放流育成場としての試験礁の全体像を示している<sup>12)</sup>。試験礁は、中央の蠣殻を詰めた小型貝殻ブロック(貝藻くん: NETIS登録No.CGK-150001-A, 海洋建設株式会社)を囲むように空隙あるいは材料の異なる5種類の基質ユニットで構成されている(表-1)。また、当該試験礁には2017年12月にマナマコ種苗を放流している。



図-1 調査地点

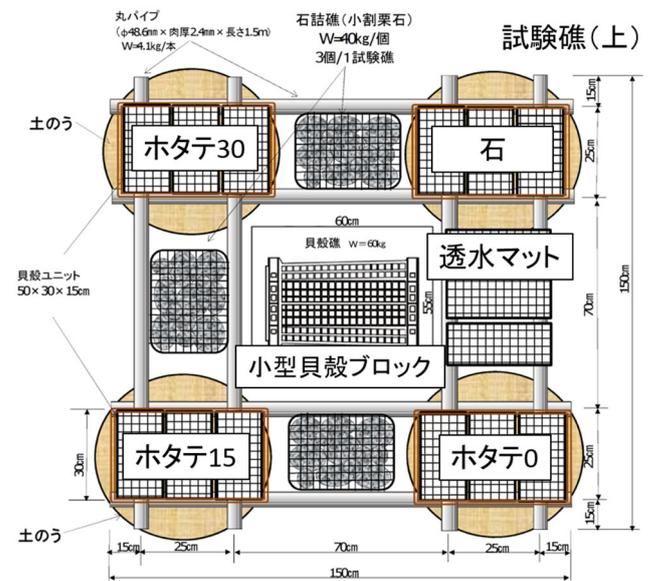
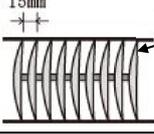
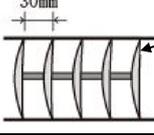


図-2 試験礁の全体図

表-1 用いた基質ユニット

ユニット名	構造	材料
ホタテ0	 ホタテ貝殻	材料：ホタテ貝殻 ※スペーサー無し
ホタテ15	 ホタテ貝殻 15mm	材料：ホタテ貝殻 ※15mm スペーサー
ホタテ30	 ホタテ貝殻 30mm	材料：ホタテ貝殻 ※30mm スペーサー
石		材料：割石 ※代表径 2cm~4cm
透水マット(ヘチマロン)		材料：ポリプロピレン プラスチック立体網状形成品(※NETIS登録 No.KT-140118-A)

## 2. 2 サンプリング

2018年9月21日に試験礁を陸揚げし、試験礁を構成する各基質上のバイオフィーム（堆積物を含む）を2.3×2.3cm四方の範囲から滅菌菌ブラシを用いて剥離し、採取した。採取試料は滅菌人工海水(MARINE ART SF-1,富田製薬株式会社)に懸濁させ、ボルテックスで良く攪拌後に、一部をGF/Fで濾過しクロロフィルa (Chl.a) 及びバイオフィーム乾重量 (BDW)、残りをグルタルアルデヒド(終濃度1%)にて固定し微生物計数用の試料とした。Chl.a試料については90%アセトンにて抽出後、蛍光光度計にてChl.a量を測定後、酸処理によるフェオフィチン(Pheo.)の測定を行った。BDW試料は濾過後速やかに冷凍し、室内にて十分乾燥させた後、乾重量を計測した。また、小型貝殻ブロック及び各基質ユニット内に生息していたナマコを取り分け、メントール麻酔を施し<sup>13)</sup>、体長、体幅、湿重量を計測した。更に、各基質から稚ナマコを無作為に10個体抽出し、滅菌人工海水にて体壁などをよく洗浄後、滅菌人工海水で満たされた滅菌容器に稚ナマコを収容し、糞粒を採取した。糞粒は基質毎にまとめて一つの試料とし、バイオフィーム同様の処理でChl.a及び糞粒乾重量試料、微生物計数用の固定試料を得た。

## 2. 3 バイオフィーム及び糞粒中の微細藻類の計数

バイオフィーム及び糞試料は、サンプル水中に均等に分布させるため、ボルテックスを用いて十分に攪拌

した後、一部分取し、倒立顕微鏡を用いて同定・計数した。計数の際には、微細藻類の細胞質の有無によって個別に計数を行った。

## 3. 結果

### 3. 1 バイオフィーム

各基質に形成されたバイオフィームの分析結果を図-3に示す。また、透水マットに関しては、基質の構造上、単位面積あたりの正確な値が得られなかったため除いている。バイオフィーム乾重量(BDW)は基質ホタテでは空隙が大きくなるに従い増加し、空隙が0mmと30mmでは約14倍もの違いが認められた。また、小型貝殻ブロックでも同様に高い値(2.19mg dry weight/cm<sup>2</sup>)が確認された。Chl.aとPheo.を合わせた全色素量については、基質ホタテでは0mm<30mm<15mmとなりホタテ15で単位面積当たり1.96µg/cm<sup>2</sup>と最大であった。生藻類比率(=Chl.a/(Chl.a+Pheo.))はホタテ30で96%と最も高く、石及び小型貝殻ブロックに関してはホタテ0よりも低い値を示した。また、バイオフィーム中の微細藻類密度(全細胞数)はホタテ30で最大で1.54×10<sup>4</sup>cells/cm<sup>2</sup>であった。小型貝殻ブロック中から中心目珪藻が低密度で観察されたが、どの基質中においても羽条目珪藻が優占した。また、バイオフィーム中の生細胞比率(=細胞数(細胞質有り)/全細胞数)は、ホタテ15及び30で高く70%程度であった。

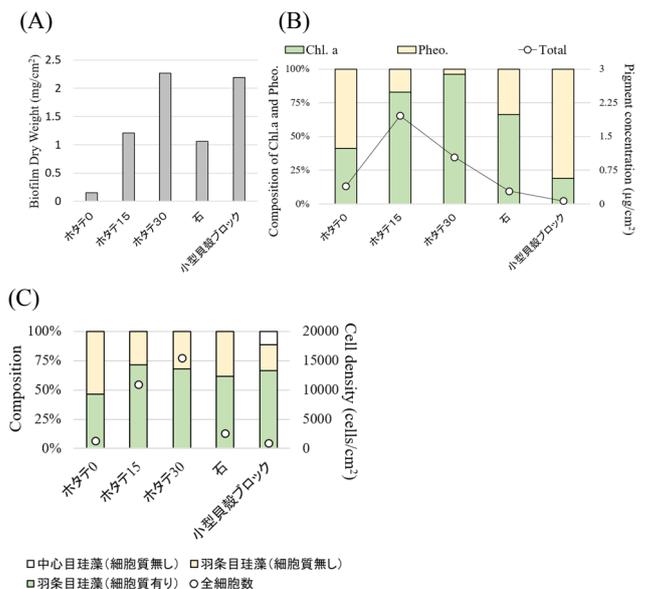


図-3 (A) バイオフィーム乾重量(mg/cm<sup>2</sup>), (B) バイオフィーム中のChl.a及びフェオフィチン, (C) バイオフィーム中の微細藻密度及び組成

### 3. 2 ナマコ生息密度と体長

各基質中に生息していたナマコの生息密度及び体長(標準体長:  $Le=2.17 \times (L \times B)^{1/2}$ )<sup>14)</sup>を図-4に示す。生息密度については、ホタテ0と15で83個体、ホタテ30で若干少ない70個体、透水マットで一番少なく34個体であった。平均標準体長は小型貝殻ブロックで最小の  $3.54 \pm 0.95$ cm (Mean  $\pm$  SD) を示し、ホタテ30で  $5.24 \pm 1.47$ cmと最大を示した。基質内のナマコ総重量については、ホタテ30で最大の254.01g、次いでホタテ15の223.85g、透水マットで54.45gと最小だった。また基質間における稚ナマコの標準体長及び湿重量に差が見られ、ホタテ15及び30に分布した個体はその他基質に比べて有意に大きかった。

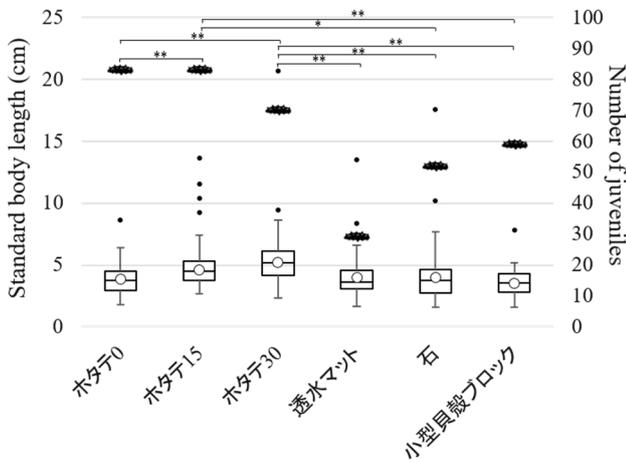
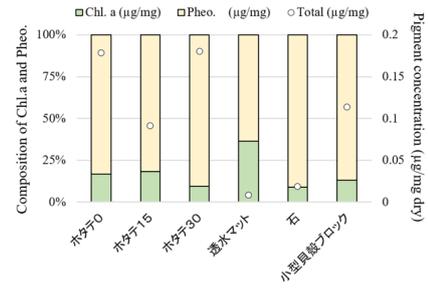


図-4 各基質中に生息していたナマコの密度及び体長 (Box-plot: 四分位点間距離 (IQR), ●: 外れ値, ○: 平均標準体長, ■: ナマコ個体数), \*\* $p < 0.01$ , \* $p < 0.05$  (Steel-Dwass test)

### 3. 3 稚ナマコ糞粒

図-5 (A) には稚ナマコの糞粒中の色素量 (Chl.a及びPheo.)、図-5 (B) に糞粒中の微細藻類密度と組成を示した。糞粒中の色素量 (Chl.a + Pheo.) はホタテ30に分布していた稚ナマコで最も高く  $0.18 \mu\text{g}/\text{mg}$  dry weightで、ホタテ0が次いで高かった。生藻類比率は透水マットで最大 (36%) を示し、他は20%以下と低かった。特にホタテ30と石で9%と最低だった。糞粒中の微細藻類の細胞密度については、Chl.a同様にホタテ30で  $2.4 \times 10^4$  cells/mg dry weightと最も高く、小型貝殻ブロックで最小を示した。糞粒中では羽条目珪藻が優占したが、全ての糞粒から中心目珪藻やシアノバクテリアなどが観察された。また、糞粒中の羽条目珪藻の生細胞比率は8~26%と低く、ホタテ30で8%と最も低かった。

(A)



(B)

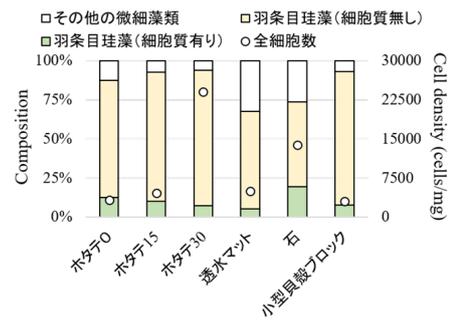


図-5 (A)糞粒中のChl.a及びフェオフィチン, (B)糞粒中の微細藻類密度と組成

## 4. 考察

マナマコの種苗放流適地を選定する上で餌料環境は非常に重要である<sup>6),15)</sup>。これまでにマナマコの初期餌料として珪藻や渦鞭毛藻、原生動物、バクテリア、菌類が重要である事が報告されており<sup>16)</sup>、人工種苗生産の現場においても底生珪藻が用いられている<sup>17),18)</sup>。一般的にナマコは非選択性の堆積物食者と考えられており、海藻の破片や砂泥中に含まれる微生物などの有機物を餌として利用する事が知られている<sup>19),20)</sup>。一方で、生息場の堆積物中よりも消化管内容物の有機物含有量が高い事<sup>21)</sup>や1~80 $\mu\text{m}$ の範囲の土砂粒子の割合が周辺底質より高い事<sup>22)</sup>は摂餌行動における選択性を示唆している。また、Zhangら<sup>23)</sup>は、マナマコの餌料の由来が季節的に異なり、底質だけでなく海水中の微細藻類の餌料の重要性について指摘している。本研究においても、生息基質上に形成されたバイオフィーム(堆積物を含む)中からは羽条目珪藻のみが検出された(小型貝殻ブロックを除く)にも関わらず、糞粒からは常に一定程度の中心目珪藻や渦鞭毛藻類などが観察された。このことは稚ナマコの索餌行動範囲が基質から海水中に及んでいる事を示唆している。一方で、基質上の付着珪藻密度が高かったホタテ15や30では海水由来

の微細藻類の糞中に占める割合が小さいなど、餌となる有機物が多い場所を選択的に索餌している可能性が示唆された。本種の極端な成長の差は移動能力の低さによる摂餌機会の差である事や<sup>24)</sup>、同じ珪藻類でも餌料価値が異なる事が報告されている<sup>25),26)</sup>。本研究においても、色素量や羽状目珪藻の密度が高い基質（ホタテ15及びホタテ30）に分布していたナマコは平均体長及び平均湿重量が他の基質の個体よりも有意に高い事が認められた事から、基質や空隙の違いによる餌料環境の差が体サイズと密接に関係している可能性が示された。

## 5. おわりに

本技術資料では、道南の漁港内静穏域に設置している種苗放流育成場としての試験礁内のナマコ密度や体長、そして各基質ユニット毎の餌料環境の違いについて整理、考察し報告している。本調査結果から、稚ナマコの生息場としては、材料はホタテ、空隙は15mmあるいは30mmの基質が生息個体数、成長及び餌料環境の面で良好であった可能性が示された。

今後、餌料環境を考慮した種苗放流適地の選定や人工放流育成礁の設計などを含めたマナマコ種苗放流効果の増大を目指した評価・整備手法の確立が強く望まれる。

## 参考文献

- 1) Choo, P.S. : Population status, fisheries and trade of sea cucumbers in Asia. Sea cucumbers: A global review of fisheries and trade. Eds Toral-Granda V, Lovatelli A, Vasconcellos M, *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, No. 516, pp.81-118, 2008.
- 2) 王慧琴：ナマコ食文化の変容に関する考察, 哲学, 第128集, pp.347-367, 2012.
- 3) 松浦章：日清貿易による俵物の中国流入について, 千里山文学論集, 第7号, 19-38, 1972.
- 4) 渋谷長生, 葛西由佳：ナマコ輸出拡大に伴うナマコ産地・加工業者の対応と課題 ～青森県陸奥湾を中心として～, 弘大農生報, No.13, pp.39-59, 2010.
- 5) Uthicke, S., Welch, D., Benzie, J. A. H. : Slow growth and lack of recovery in overfished holothurians on the Great Barrier Reef: evidence from DNA fingerprints and repeated large-scale surveys. *Conserv. Biol.*, 18, pp.1395-1404, 2004.
- 6) 五嶋聖治：水産増殖を支える基礎学と応用学水産増殖, 64, pp.253-264, 2016.
- 7) 北海道：北海道水産業・漁村のすがた ～北海道水産白書～, 2019.
- 8) 山名裕介, 古川佳道, 柏尾翔, 五嶋聖治：北海道周辺におけるマナマコ幼稚仔の生息環境について - 特に南北海道を中心にした推論 -, 水産増殖, 62, pp.163-181, 2014.
- 9) Tanaka, M. : Diminution of Sea Cucumber *Stichopus japonicus* Juveniles released on artificial reefs, *Ishikawa Pref. Fish. Res. Center*, 2, pp.19-29, 2000.
- 10) 草加耕司, 泉川晃一, 池田善平：マナマコ種苗の放流種苗の検討, 岡山水産試験場報告, 10, pp.30-36, 1995.
- 11) 中島幹二, 坂東忠男, 吉村圭三, 瀧谷明朗：宗谷海域におけるマナマコ人工種苗放流サイズの検討, 北海道立水産試験場研究報告, 67, pp.97-104, 2004.
- 12) 大橋正臣, 梶原瑠美子, 伊藤敏朗, 穴口裕司, 片山真基, 門谷茂：漁港水面を利用した稚ナマコ中間育成における生息基質に関する基礎的研究, 土木学会論文集B3 (海洋開発), 74 (2), pp.342-347, 2018.
- 13) 山名裕介, 浜野龍夫, 山元憲一：成体マナマコのメントール麻酔に関する研究, 日本水産学会誌, 71 (3), pp.299-306, 2005.
- 14) 山名裕介, 五嶋聖治, 浜野龍夫, 遊佐貴志, 古川佳道, 吉田奈未：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(6), pp.989-998, 2011.
- 15) 浜野龍夫, 網尾勝, 林健一：潮間帯および人工藻礁域におけるマナマコ個体群動態. 水産増殖, 37, pp.179-186, 1989.
- 16) Xu, Q., Hamel, J.-F., Mercier, A. : Feeding, digestion, nutritional physiology, and bioenergetic. The Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*: History, Biology and Aquaculture. Eds Yang, H.S., Hamel, J.F., Mercier, A., *Academic Press*, pp.243-256, 2015.
- 17) 地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所：ナマコ種苗生産マニュアル, 2010.
- 18) 和歌山県水産試験場：和歌山県におけるマナマコ

種苗生産マニュアル, 2016.

- 19) 崔相:なまこの研究,海文堂, pp.127-158, 1963.
- 20) Moriaty, D. : Feeding of *Hothuria atra* and *Sticopus chloronotus* on bacteria, organic carbon and organic nitrogen in sediments of the Great Barrier Reef. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 33, pp.255-263, 1982.
- 21) Zhao, P. : Basic study on feeding selectivity of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Master Degree Thesis, Institute of Oceanology, *Chinese Academy of Sciences*, 2010.
- 22) Zhao, P., Yang, H.S. : Selectivity of particle size by sea cucumber *Apostichopus japonicus* indifferent culture systems, *Mark. Sci.*, 34, pp.11-16, 2010.
- 23) Zhang, H., Xu, Q., Zhao, Y. et al. : Sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) eukaryotic food source composition determined by 18s rDNA barcoding. *Mar. Biol.*, 163, 153, 2016.
- 24) Yamana, Y., Hamano T., Niiyama H., Goshima, S. : Feeding characteristics of juvenile Japanese sea cucumber *Apostichopus japonica* (Stichopodidae) in a nursery culture tank. *Journal of National Fishery University*, 57, pp.9-20, 2008.
- 25) Shi C., Dong, S.L., Wang, F., Gao, Q.F., Tian, X.L. : Effects of four fresh microalgae in diet on growth and energy budget of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture*, 416, pp.296-301, 2013.
- 26) Li, J., Dong, S.L., Tian, X.L., Shi C, D., Wang, F., Gao, Q.F., Zhu, C. : Effects of the diatom *Cylindrotheca fusiformis* on the growth of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* and water quality in ponds. *Aquac. Int.*, 23, pp.955-965, 2015.



稲葉 信晴  
INABA Nobuharu

寒地土木研究所  
寒地水圏研究グループ  
水産土木チーム  
研究員  
博士(水産科学)



松本 卓真  
MATSUMOTO Takuma

北海道大学大学院  
水産科学院  
海洋生物学講座



梶原 瑠美子  
KAJIHARA Rumiko

寒地土木研究所  
寒地水圏研究グループ  
水産土木チーム  
研究員  
博士(環境科学)



松野 孝平  
MATSUNO Kohei

北海道大学大学院  
水産科学研究院  
海洋生物学講座  
助教  
博士(水産科学)