

稚ナマコ放流・育成場としての 漁港水域の活用に関する研究

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水産土木チーム ○稲葉 信晴
松本 卓真
東海大学 生物学部 海洋生物科学科 大橋 正臣

中華圏向けの輸出増大に伴い北海道産マナマコ需要が高まる一方、漁獲量は2007年をピークに減少傾向にあり、資源回復が喫緊の課題となっている。マナマコ資源回復には人工種苗放流が有効とされるが、放流や生息適地、効果的な放流手法に関する知見は乏しい。本論文では、寒冷海域におけるマナマコ増養殖場としての活用が期待される漁港水域における種苗放流・生息適地選定や放流効果向上に資する知見、技術について報告する。

キーワード：マナマコ、漁港、生息環境、種苗放流、食害生物

1. はじめに

近年の世界的な魚食需要の高まりや日本食ブームなどを背景に北海道における水産物の輸出金額は増加傾向にあり、2015年には過去最高額の689億円を記録し、それ以後も高い水準を維持している(図-1A)。特に、輸出総額の内ホタテに次ぎ二番目に高いナマコ(マナマコ)は、高齢化や就業者数の減少、燃油高騰などの問題を抱える地域漁業を活性化させる魚種として注目されている(図-1B)。しかしながら、高まる需要を背景に漁獲圧が増加し、ナマコの漁獲量は2007年の2835トン进行ピークに2017年には2000トンを下回り、2020年にはピーク時の約6割の1768トンにまで減少した(図-1C)。ナマコは成熟するまでに数年を要し、放卵放精型の生殖による受精を行うため、産卵の際に近接した場所に一定数以上の成熟した雄雌個体数がない場合、幼生の加入量制限となり、資源回復にとって危機的な状況に陥る可能性がある²⁾。実際に、日本のマナマコ資源はここ30年間で少なくとも30%は減少したとする報告もある³⁾。このような状況から抜け出すためには禁漁などの手段では十分でなく、人工的に生産した種苗の放流が有効であるとされる⁴⁾。北海道でも2009年頃から本格的な種苗放流に取り組んでおり、2020年には5mm以上サイズの種苗を約1,500万尾放流している⁵⁾。しかし、継続的な種苗放流の実施にもかかわらず、放流後の種苗の動態に関する知見が乏しく⁵⁾、漁獲量も減少傾向にあり、必ずしも期待した放流効果が得られているとは言えない。高い放流効果を得るためには、稚ナマコの適正な放流、生息環境を知る必要がある。これまでに、山名ら⁵⁾の北海道沿岸域における稚ナマコの分布特性に関する研究や波浪等

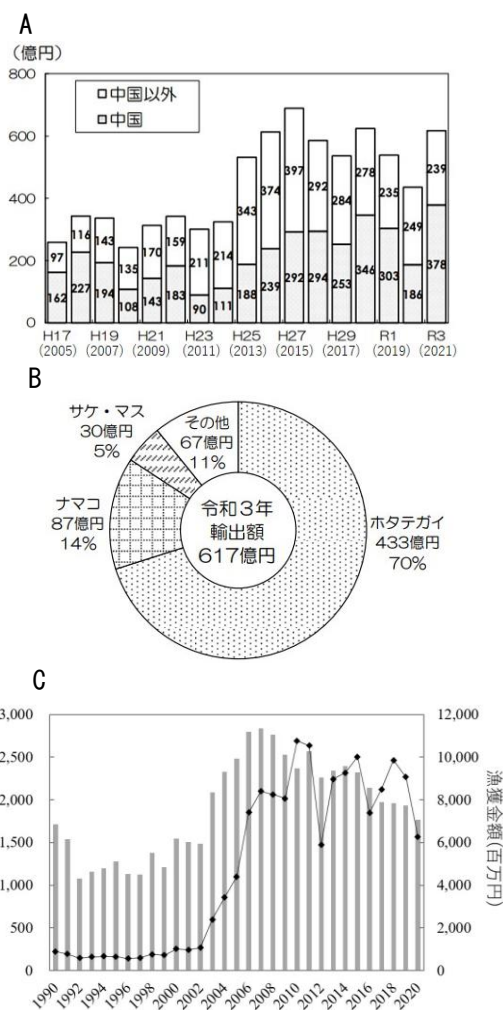


図-1 北海道における水産物輸出金額の推移 (A)、令和3年の輸出金額内訳 (B) ¹⁾一部改変及びナマコ漁獲量・金額の推移 (C)

の物理的外力による種苗の流出や損傷、砂への埋没^{6,7,8)}に関する報告がなされ、冬期の波浪条件の厳しい寒冷域においては、高い静穏性が種苗放流場としての最上位の条件として挙げられている⁹⁾。現在、漁港ストックの有効活用策として港内の高い静穏性を生かした水産有用種の増殖や生育場となる施設整備が全国各地の漁港にて検討されており¹⁰⁾、北海道においてもマナモコの種苗放流、増養殖場としての漁港水域の活用に期待が高まっている^{11), 12)}。しかし、漁港をフィールドとしたマナモコの生態に焦点を当てた研究は限定的であり⁵⁾、マナモコ放流、増養殖適地としての港内水域の評価や整備技術の開発が重要な課題となっている。

本論文では、道南と積丹半島東部に位置する2漁港内において実施したマナモコ（青色型）放流、生息環境調査の結果を基に、漁港水域におけるマナモコ増養殖の推進に資する新たな知見、技術について整理し、報告する。

2. 漁港水域におけるマナモコ生息適地

道南と積丹半島東部に位置する2漁港内水域にてマナモコの分布調査を実施し、漁港水域におけるマナモコの分布特性、生息適地について検討した。

(1) 道南の漁港

対象とした漁港は、泊地の底質は主に砂泥質で、中央部にアマモ (*Zostera marina*) 場が広がり、防波堤沿いには被覆ブロックが配置されており、左右から小規模河川に挟まれている特徴がある。当該漁港において冬期に毎年1回、2017年から2019年の3年間に渡り分布調査を実施した。

2019年の分布調査の結果を図-2に示す。全25地点からマナモコは50個体観察され、全ての個体が被覆ブロック上のみから出現した。出現した個体の平均標準体長は 14.09 ± 3.3 cm、平均湿重量は 50.84 ± 29.41 g、平均生息密度は4.17個体/m²、最大個体数密度は10個体/m²であった。2017年でも同様に被覆ブロック上のみで出現が確認され、2018年についても全73個体中2個体を除き全てが被覆ブロック上に出現した。本州ではマナモコの生息場として機能する事が知られるアマモ場¹³⁾には3年間を通してマナモコの分布は認められず、当該漁港においては、被覆ブロックのみが生息場として機能している事が示唆された。

(2) 積丹半島東部の漁港

対象とした漁港の海底は、シルトや砂、岩盤、礫、天然カキ殻礁、防波堤沿いの一部に根固めブロックが見ら



図-2 道南の漁港内におけるマナモコ分布状況

れるなど道南の漁港と比較して多様な環境であった。当該漁港では、2021年10月に対象水域(4ha)における海底地形を正確に把握するためにマルチビーム音響測量(ネットワーク型RTK法)を実施し、得られた点群データについては、3D画像も出力可能なTREND VIEWERを用いて求積が可能なデータを整備した(図-3)。また、潜水調査による動画撮影、目視観察により、詳細な海底地形・底質環境を把握した上で、ベルトトランセクト調査を実施する側線を決定し(全6側線、1測線100m*測線5のみ30m:図-4)、マナモコの分布状況と海底環境の関係について検討した。

表-1にマナモコ出現密度と出現した海底環境(底質区分)について示すが、根固めブロックと被覆ブロックで構成された「コンクリート」あるいは「シルト・砂」が100%を占める海底における平均生息密度が最も少なく(約0.2個体/m²)、「岩盤・礫・カキ殻等」の安定した底質の割合が50~75%、残りの25~50%が「シルト・砂」で占められた海底における平均生息密度が最も高く1.18個体/m²であった。また、側線3上にあるカキ殻礁周辺で10個体/m²と最も高い密度で分布が観察され(写真-1)、「岩盤・礫・カキ殻等」の割合が75%以上の場合

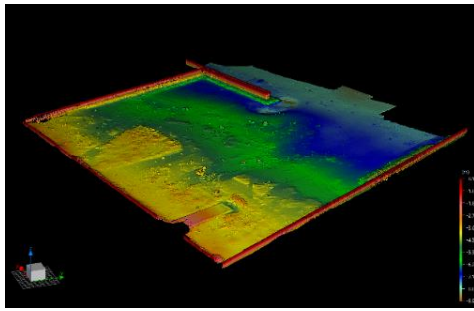


図-3 点群データを用いて作成した3Dデータ

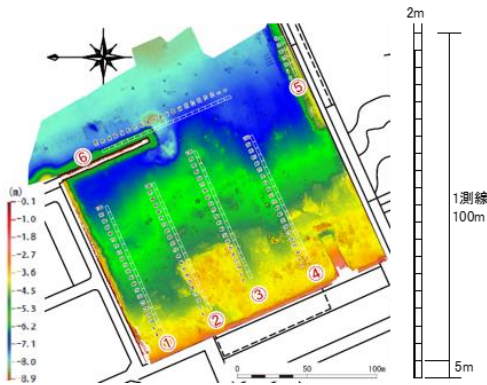


図-4 ベルトトランセクト調査を実施した6測線

表-1 海底環境（底質区分）とマナマコの出現状況

岩・礫・カキ殻等	底質区分割合		総区画面積(m ²)	総個体数	密度(個体/m ²)
	砂・シルト	コンクリート			
-	100%	-	300	64	0.21
1~20%	80~99%	-	320	97	0.30
20~50%	50~80%	-	110	43	0.39
50~75%	25~50%	-	60	71	1.18
75~99%	1~25%	-	60	37	0.62
100%	-	-	150	91	0.61
		100%	60	12	0.20



写真-1 生息密度が最も高かったカキ殻礁

に影響を及ぼしていた可能性も考えられる。以上は、当該漁港に分布するマナマコは、凹凸のある足場が強固な隠れ場となる環境に加え、良好な餌場として機能しうる粒径の細かい底質¹⁴⁾が近隣にバランス良く存在する環境に好んで生息している可能性を示しており、漁港における分布に関しても、五嶋⁹⁾の報告と概ね一致している。従って、これらの知見に基づき、海底を占める底質の種類や割合の最適化などマナマコが利用し易い環境の創出などの取り組みを含む港内（環境）整備による生息適地拡大が期待される。

3. 種苗放流・中間育成手法に関する調査

道南の漁港をフィールドとして、2016年から2021年の6年の期間、種苗放流試験を通じた稚マナマコの中間育成技術に関する調査に取り組んだ。

(1) 生残、成長に資する基質、構造の検討

2016年11月に漁港内泊地の海底に材質や空隙の異なる基質を用いた試験礁（写真-2）を設置後、マナマコ種苗を礁中央に配置した小型貝殻礁（貝藻くん、海洋建設株式会社）に2000尾放流し、分布、成長に関する追跡調査を実施した。ホタテ貝殻を用いた基質（ホタテ0、ホタテ15、ホタテ30）についてはスパーサーを用いてそれぞれ任意の空隙（0mm, 15mm, 30mm）を設定した。試験礁は港内に3地点（港口付近のA地点、東部防波堤側のB地点、港内中央部のC地点）に設置した。この試験礁は稚マナマコの放流中間育成場として空隙や材質の違いによる定着や成長、餌環境の差異について検討する事を目的とした。

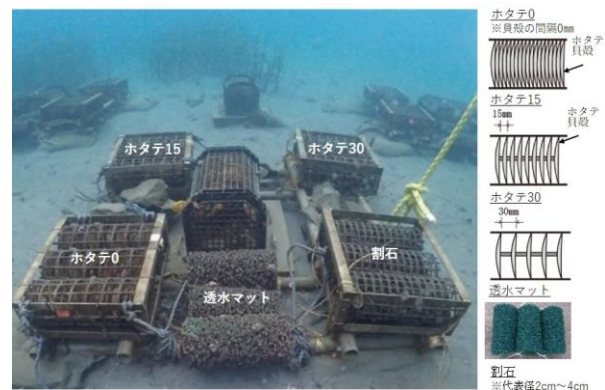


写真-2 海底に設置した試験礁の様子

でも、他の環境と比べ相対的に高い生息密度を示す事が認められた。一方で、道南の漁港で高い生息密度を示したコンクリートブロック上で最も分布密度が低い結果となったが、その近隣の底質中の硫化物量が水産用水基準で定める水産生物の生育に望ましい基準値 (<0.2 mg/dry weight) を大幅に超えていた事から、周辺環境が分布

写真-3に放流1年後の礁の様子と生残率、図-5に1年目で最も定着率の高かったC地点における基質毎の稚マナマコの個体数の2年間の変化を示す。河川や港外の影響を受けやすかったA地点では、堆積物による埋没が見られ、1年後の定着率が最も低かった⁸⁾。年間を通して静穏度の高かったB地点とC地点の成長や定着率に関しては、2年

間を通じて同様な傾向が認められ、特に基質としては、「ホタテ」、空隙に関しては、15mm及び30mmにおいて有意に体長サイズの大きな稚ナマコが生息していた¹⁶⁾。ナマコは微細藻類やバクテリアや底質中の有機物などを餌料とする事が知られているが¹⁵⁾、実際に空隙の異なるホタテ貝殻上に形成されていたバイオフィルム量を比較して見ると空隙30mmで0mmよりも約14倍も多く、微細藻類の量の指標とされるクロロフィルa量では空隙15mm、微細藻類の細胞数では30mmで最も高かった事が分かっている¹⁶⁾。これらの結果は、大きな個体が高い密度を維持し分布した理由の一つとしてホタテ15や30の基質に稚ナマコにとって豊富な餌環境が創出されていた事を示唆している。

以上は、漁港内においても、物理的外力の影響を大きく受ける場所を避け放流場とし、生息空間としての基質、空隙等を適切に制御し餌料環境を最適化する事で、放流後の定着率を高め、成長を促進させる事で中間育成期間を短縮できる可能性を示している。

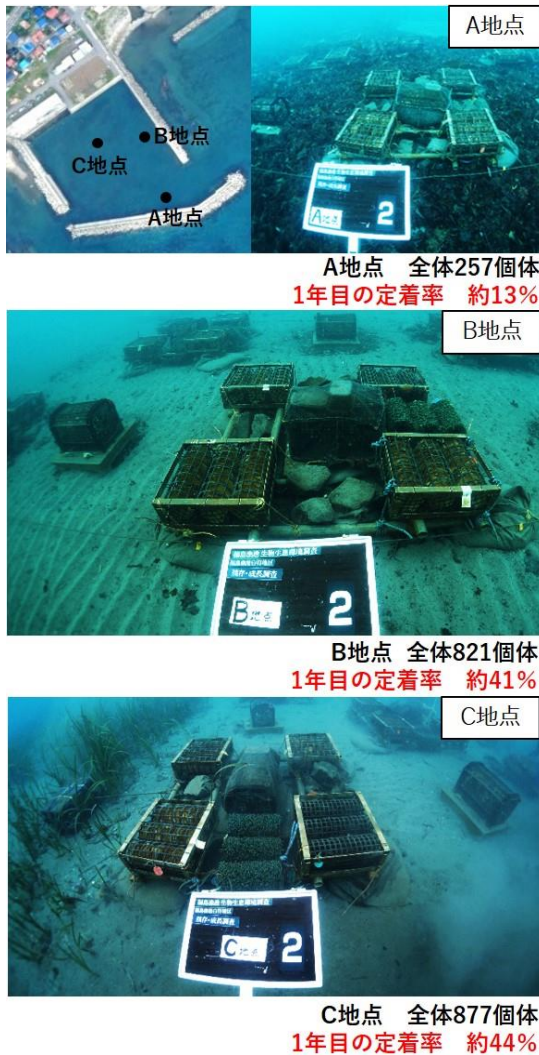


写真-3 放流1年後の礁全体の様子と生残率

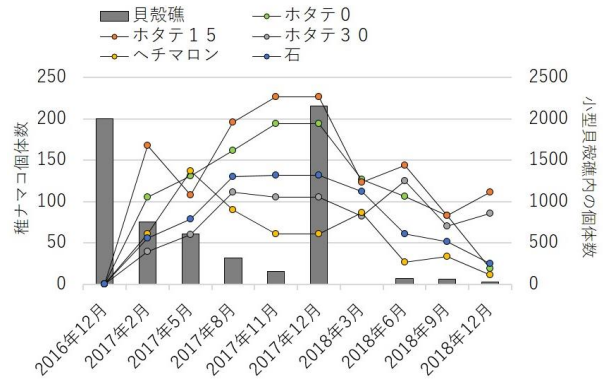


図-5 基質毎の分布した稚ナマコ個体数変化

(2) 食害生物による生残への影響

捕食者は水産有用種を多く含む二枚貝や十脚甲殻類、棘皮動物などの初期減耗に大きな影響を及ぼす事が知られており¹⁷⁾、マナモコに関してはイトマキヒトデが主な幼稚仔の捕食者として挙げられていた¹⁸⁾。一方で、ナマコ類はサポニン系の毒素による捕食者に対する化学防御が知られており、一般的に食害生物は少ないと考えられてきたことから¹⁹⁾、種苗など幼稚仔についての捕食者についての詳細な検討はあまりなされていなかった。そこで、漁港内に設置した試験礁に放流した種苗の追跡調査とともに同所的に出現したベントスとの関係についても調査した。

その結果、調査期間中に出現したカニ・ヤドカリ類と礁内のマナモコ幼稚仔の個体数が有意な負の相関 ($p < 0.05$) を示し²⁰⁾、カニ・ヤドカリ類の中で最も優占したオオヨツハモガニ及びケブカヒメヨコバサミの胃内容物からマナモコの骨片が高頻度で検出された(写真-4)。実際に、生きたオオヨツハモガニ及びケブカヒメヨコバサミを用いた水槽内における稚ナマコ (<20mm) の捕食試験を行った結果、積極的な捕食行動が観察され(写真-4E)、オオヨツハモガニでは 7.7 ± 2.4 個体/日²¹⁾、ケブカヒメヨコバサミについても、オオヨツハモガニには及ばないものの、イトマキヒトデの平均 1.8 個体/日の捕食速度よりも早い速度でマナモコ幼稚仔を捕食する事²²⁾が明らかとなった。さらに、食害生物は多いときには試験礁内に 500 匹/ m^3 を超える密度で出現した事から、仮にオオヨツハモガニ 500 匹が一日 7 尾のペースで稚ナマコを捕食した場合、一ヶ月で約 10 万尾もの稚ナマコが捕食される計算となり、種苗放流の効果は大幅に薄れると考えられる。ただし、上記で用いた数字は障害物、隠れ場などの無い水槽実験により算出された捕食速度であるため、天然環境下でそこまで極端な減少は考え難いが、実際に天然環境から採取した個体の胃内容物から高頻度でマナモコ骨片が検出された事からも、漁港等における人工種苗放流の際にはこれらカニ・ヤドカリ類の出現状況には特に注意を払い、対策を講じることで放流後の生残率を向上させることが可能と考えられる。

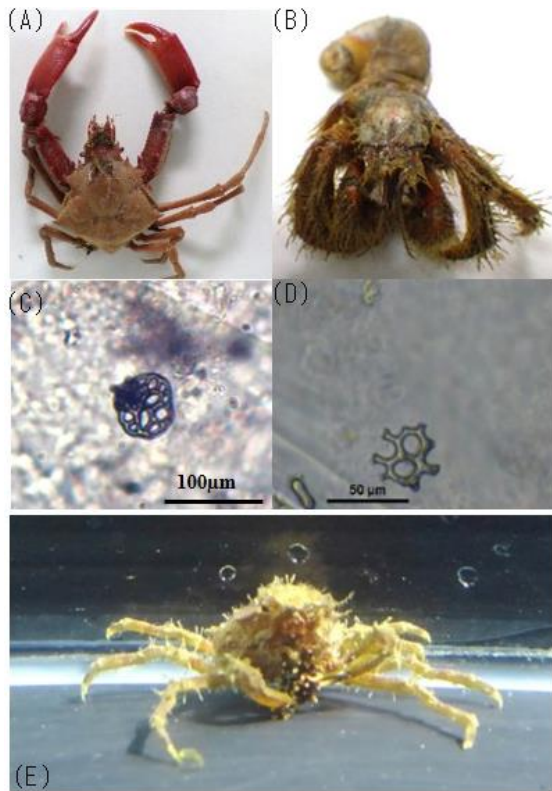


写真-4 マナマコ幼稚仔の食害生物

(A) オオヨツハモガニ、(B) ケブカヒメヨコバサミ、
(C, D) 胃内容物中の骨片、(E) 稚ナマコを捕食するオ
オヨツハモガニ

4. まとめ

本論文では、道内の漁港内水域がマナマコの生息場としてどのように機能しているかについての新たな知見や漁港をナマコ放流場や増養殖場として活用する上で注意すべき点などについても整理し、報告した。

今後、これらの知見に基づく種苗放流や増養殖場としての漁港ストックの有効活用によるマナマコ資源の回復、増大が大いに期待される。

参考文献

- 1) 北海道 (2022) : 北海道水産業・漁村のすがた 2022～北海道水産白書～
- 2) 五嶋聖治 (2014) マナマコの生態. ナマコ漁業とその管理 - 資源・生産・市場、恒星社 厚生閣、47-71.
- 3) Choo, P. S. (2008) : Population status, fisheries and trade of sea cucumbers in Asia. Sea cucumbers: A global review of fisheries and trade., FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, Rome, No. 516, 81-118.
- 4) Uthicke, S., D. Welch, J. A. H. Benzie (2004) : Slow growth and lack of recovery in overfished holothurians on the Great Barrier Reef: evidence from DNA fingerprints and repeated large-scale surveys., Conservation Biology, 18, 1395-1404.

- 5) 山名裕介・古川佳道・柏尾翔・五嶋聖治 (2014) : 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、163-181.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 大橋正臣・梶原瑠美子・伊藤敏朗・穴口裕司・片山真基・門谷茂 (2018) : 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)、342-347.
- 9) 五嶋聖治 (2016) : 水産増殖を支える基礎学と応用学、水産増殖、64、253-264.
- 10) 水産庁 (2020) : 漁港水域を活用した増養殖の手引き
- 11) Sakurai, I., Yamada, T., Asabatake, R., Ohno, F. (2017) : Growth, dispersal, and survival of juvenile Japanese sea cucumber *Apostichopus japonicus* cultured in a rearing facility with air-pocket fences, Aquaculture Science, 65 (4) 、395-408.
- 12) Sakurai, I., Yamada, T., Hotta, M., Suzuki, T., Minami, H. (2022) : Estimation and validation of optimal density of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* in a rearing facility with air-pocket fences, Aquaculture Science, 70, 35-46.
- 13) 志田崇・藤川義一・石川義朗・今男人・桐原慎二 (2016) : アマモ・ナマコ増殖礁におけるスゲアマモの保護育成及びマナマコの資源培養効果、日本水産工学会誌、52 (3) 、161-170.
- 14) Zhao, P., Yang, H.S. (2010) : Selectivity of particle size by sea cucumber *Apostichopus japonicus* in different culture systems, Marine Science 34, 11-16.
- 15) Xu, Q., Hamel, J.-F., Mercier, A. (2015) : Feeding, digestion, nutritional physiology, and bioenergetic. The Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*: History, Biology and Aquaculture, Academic Press, 243-256.
- 16) 稲葉信晴・松本卓真・梶原瑠美子・松野孝平 (2020) 稚ナマコの餌料環境についての検討、寒地土木研究所月報、No. 802、71-75.
- 17) Bell, J.D., Munro, J.L., Nash, W.J., Rothlisberg, P., Loneragan, N.R., Ward, R., Andrew, N.R. (2005) : Restocking and stock enhancement of marine invertebrate fisheries, Advances in marine biology, Vol 49, 1-374.
- 18) 畑中宏之, 上奥秀樹, 安田 徹 (1994) : マナマコのイトマキヒトデによる食害に関する実験的研究 水産増殖、42 (4)、563-566.
- 19) Francour, P. (1997) : Predation on Holothurians: A Literature Review, Invertebrate Biology, 116, 52-60.
- 20) 稲葉信晴・大橋正臣・白井さわか・的野博行

(2021) 稚ナマコ中間育成基質中のカニ・ヤドカリ類の出現状況、寒地土木研究所月報、No. 817、39-42.
21) Inaba, N., Matsumoto, T., Kawai, H., Anaguchi, Y., Matsuno, K. (2021) : Predation of Juvenile Japanese Sea Cucumber *Apostichopus japonicus* by Kelp Crab *Pugettia ferox*,

Frontiers in Marine Science, 8, 684989.

22) 稲葉信晴・松本卓真・梶原瑠美子・白井さわこ・大橋正臣・松野孝平 (2021) : マナマコ稚仔食害生物としてのオオヨツハマガニ及びケブカヒメヨコバサミ、令和3年度日本水産学会秋季大会講演要旨集、9.