

実用型ホタテ貝殻礁の浄化効果と活用方法について

寒地土木研究所 水産土木チーム ○岡本 健太郎
寒地土木研究所 道南支所 片山 勝
函館開発建設部 築港課 山田 文人

これまで、大規模に設置したホタテ貝殻礁の効果を検証したが、蛸集生物が減少し浄化能力も低下した。そこで、通水孔を設けた実用型ホタテ貝殻礁を考案して江良漁港に設置した。貝殻礁には約 160 種類の蛸集生物が確認され、さらに数カ所の魚卵を発見することで、貝殻礁が新たな生息場になる以外に産卵場にも適用することが確認された。蛸集生物の安定同位体比分析では、貝殻礁の食物連鎖網はナマコ、ウニ、魚類を頂点とする 3 つ系統に概ね示すことができた。貝殻礁の炭素・窒素循環は蛸集生物及び魚類の摂餌行動で貝殻礁に負荷される炭素の 51.9%、窒素の 87.7%が消費されることが示され、物質循環が効率的に機能していることがわかる。また、蓄養施設内でナマコを放流した場合でも、貝殻礁に負荷される炭素の 52.5%、窒素の 73.6%が消費されることが示され、蓄養施設でも貝殻礁周辺の物質循環が十分機能されていることがわかった。

キーワード：実用型ホタテ貝殻礁、蛸集生物、物質循環

1. 概要

北海道の漁業生産量は全国の約 1/4 を占めており、国民に豊富な水産物を常に供給している。また、水産物が安定供給できるように、港内では水産物の蓄養が行われている。しかし、蓄養魚から発生する排泄物が海底に堆積すると、徐々に底質が悪化することが懸念される。

一方、水産物の豊富な北海道では魚類以外にも、ホタテやホッキ等の貝類の水揚量も多く、特にホタテは年間 40 万 t で全国の約 80% を占めている。しかし、大量に水揚げされたホタテを加工することで、年間約 20 万 t の貝殻が発生し、その廃棄処理に苦慮している。

このような背景から、当研究所では水産廃棄物のホタテ貝殻を利用したホタテ貝殻礁を考案し、底質改善に有効であるか検証した。これまで、落石漁港にホタテ貝殻礁の試験礁（以下、試験礁）を設置し、生物蛸集効果や摂餌行動による浄化効果が確認され、設置から 3 年経過しても効果が持続することがわかった。そこで、さらなる効果を期待するために、大規模に設置した貝殻礁について効果を検証したが、試験礁と比較して蛸集量が 1 割程度しか確認されず、浄化効果も大幅に減少した。この原因は、ホタテ貝殻を隙間無く大規模に設置したことで、貝殻礁の中心部まで生物蛸集が十分に進行しなかったと思われる¹⁾。

そこで、貝殻礁の問題点を解決するために通水孔を設けたホタテ貝殻礁を考案し、図-1 に示すように 2009 年

8 月に江良漁港に設置した。ホタテ貝殻礁の資材は港湾・漁港工事で通常使用される石かご用金網を使用し、実用化の想定も考慮した。

本研究では、江良漁港で設置した実用型ホタテ貝殻礁（以下、貝殻礁）の効果を検証するため生物蛸集状況を調査し、蛸集生物については安定同位体比の分析による貝殻礁での食物連鎖網について検証した。また、系外からの貝殻礁への懸濁物負荷、蛸集生物の摂餌行動、自然死亡、高次生物による摂餌行動等を考慮した炭素・窒素の物質循環構造を解明し、これらの知見から今後の貝殻礁の活用方法について提案した。

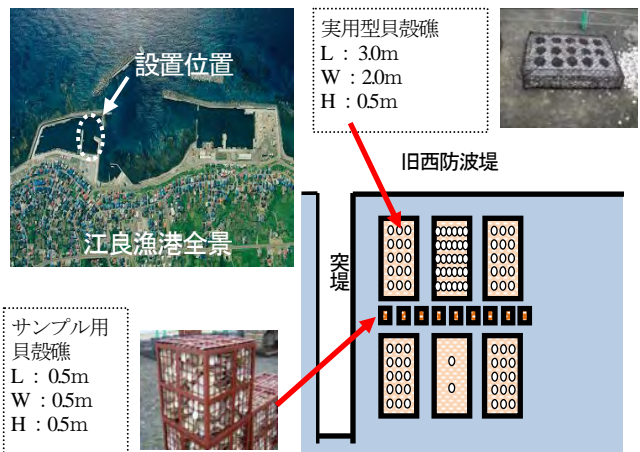


図-1 貝殻礁の設置地点詳細図

2. 実用型ホタテ貝殻礁の生物蛸集状況

実用型ホタテ貝殻礁の生物蛸集状況を確認するため、調査地点の中心付近に設置したサンプル用貝殻礁を回収して蛸集状況を調査した。貝殻礁の回収日は表-1に示したとおりでこれまで5度回収した。貝殻礁の回収方法は、写真-1に示すように潜水士が水中でプランクトンネット（58GG、目合い0.3mm）を貝殻礁にゆっくりかぶせ、蛸集生物が流失しないように慎重に回収した。得られた試料は、0.3mm目合いのふるいを用いて選別し、ふるい上に残った生物をホルマリンで固定して蛸集生物と見なし、その後、実験室で種の同定、種別個体数の計数および湿重量の測定を行った。

表-1 現地調査日

貝殻礁回収日	設置期間
2009年8月10日	貝殻礁設置
2009年9月30日	設置後50日
2009年11月5日	設置後85日
2010年7月27日	設置後351日
2010年9月9日	設置後393日
2010年10月21日	設置後435日



① 貝殻礁の回収状況



② 回収したサンプル用貝殻礁



③ 貝殻礁に蛸集した生物



④ ホルマリン処理した貝殻礁



⑤ 生物分類作業



⑥ 分類したゴカイ

写真-1 貝殻礁回収から蛸集生物の分類までの作業

回収した貝殻礁を目視確認すると、写真-2に示すように水産有用種であるナマコが確認され、さらに貝殻の隙間にはカジカの1種と思われる魚卵が確認され、貝殻礁が新たな生物の生息場を提供することに加えて、産卵場の機能も有することが確認された。貝殻礁の設置から現時点までの生物蛸集状況について図-2から4に整理

した。個体数については2009年11月では8万個体の生物の蛸集が確認されたが、2010年9月では2万個体まで減少した。特に、節足動物と環形動物の個体数はピーク値よりそれぞれ1割及び3割に減少し、この原因としては海水温の上昇などによる季節的な変動によるものと思われる。湿重量については個体数の変化に連動し、節足動物、環形動物の湿重量もピーク値よりそれぞれ6割と3割に減少した。しかし、減少幅は個体数より小さく、1個体当たりの蛸集生物の湿重量は重くなる傾向を示すので、蛸集生物が貝殻礁で摂餌行動して成長することが想定される。また2010年の調査以降では、その他の生物に分類されるホヤが多数蛸集しているのを確認された。ホヤは懸濁態有機物を摂餌する食性で、有機物浄化に貢献する生物であるので今後の浄化効果が期待される。種類数については約160種類の生物の蛸集が確認され、そのうち約8割が軟体動物、節足動物、環形動物で占められていた。種類数及び生物の構成は貝殻礁設置以降も変動が小さく、多種多様な生物が早くから安定して蛸集していることがいえる。



写真-2 貝殻礁の蛸集生物

(左側：ナマコ、右側：カジカの一種の魚卵)

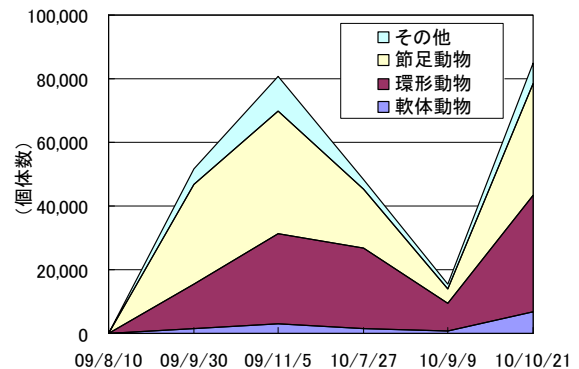


図-2 蛸集生物の個体数変動

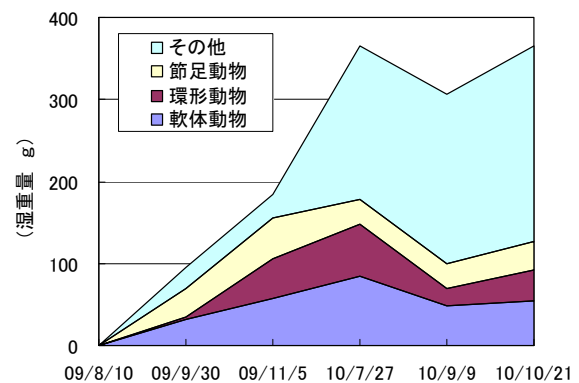


図-3 各動物の蛸集状況 (湿重量)

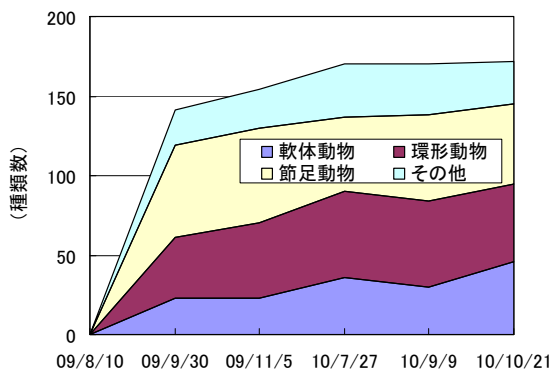


図-4 各動物の蛸集状況 (種類数)

3. 実用型貝殻礁での食物連鎖網について

貝殻礁では多種多様の蛸集生物が確認され、各生物は生態や食性が異なり複雑な生息環境を形成している。そこで貝殻礁の蛸集生物について安定同位体比の分析を行い、貝殻礁での食物連鎖網について検証した。食物連鎖での「食う-食われる」の関係は、「食う」側の炭素 ($\delta^{13}\text{C}$) 及び窒素 ($\delta^{15}\text{N}$) 安定同位体比はそれぞれ「食われる」側の値よりも1‰及び3‰高くなる性質がある²⁾。この性質を利用して、貝殻礁の蛸集生物と蛸集生物の摂餌対象物の安定同位体比を分析し、貝殻礁での食物連鎖網について検証した。分析試料は2010年7月に回収したサンプル用貝殻礁から採取し、蛸集生物はマボヤ、イチョウガニ、テッポウエビ、メリタヨコエビ、フサゴカイ、ムラサキウニ、マナマコ、ムスジカジ(魚類)とし、蛸集生物の摂餌対象物は貝殻礁内の堆積物、貝殻礁周辺の堆積物、植物プランクトン、動物プランクトン、海藻とした。安定同位体比の分析結果について図-5に $\delta\text{C-N}$ マップとして示した。図-5から貝殻礁での食物連鎖網は①ナマコ、②ウニ、③魚類を頂点とする3つの系統に概ね示すことができた。

ナマコは分析結果から貝殻礁周辺の主に堆積物を摂餌する関係が確認され、貝殻礁に蛸集したナマコは、摂餌行動時に貝殻礁の外側に移動して周辺の堆積物を摂餌することが想定された。ウニは主に海藻を摂餌する関係が確認された。しかしながら、ナマコと堆積物の「食う-食われる」の関係より明確ではなく、海藻以外にも植物プランクトンを摂餌すると想定された。

魚類は分析結果からゴカイとヨコエビを摂餌する関係が確認された。また、摂餌対象物であるゴカイとヨコエビは堆積物に含まれる有機物を摂餌することが室内試験で確認されている³⁾。そこで、魚類を頂点とした食物連鎖網と摂餌対象物の比率を図-6に示した。摂餌対象物の比率の算出は櫻井らの文献⁴⁾で得た関係式を準用した。その結果、魚類は67%がヨコエビを33%がゴカイを摂餌すると算出された。また、摂餌対象物のゴカイは32%が貝殻礁内の堆積物を68%が貝殻礁周辺の堆積物を摂餌すると算出され、ヨコエビは50%が貝殻礁内の

堆積物、45%が貝殻礁周辺の堆積物、5%が植物プランクトンを摂餌すると算出された。したがって、魚類はヨコエビ及びゴカイを経由して最終的に堆積物を摂餌していることになり、堆積物に含まれる有機物の浄化に貢献していることがいえる。

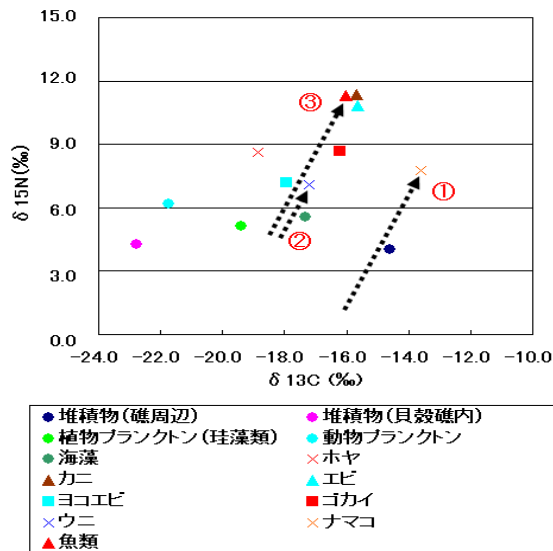


図-5 蛸集生物と摂餌物の $\delta\text{C-N}$ マップ

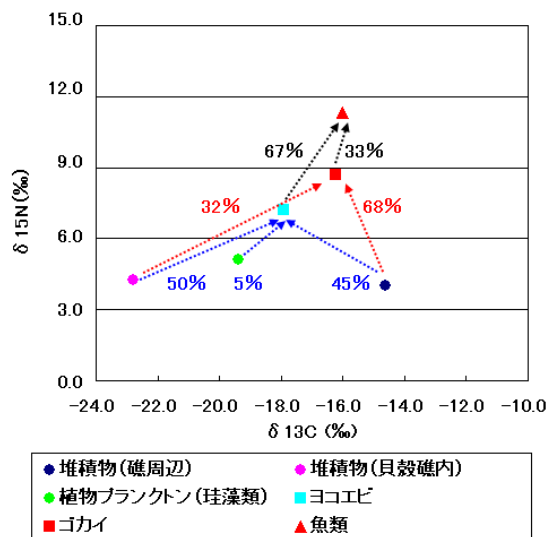


図-6 魚類を頂点とした食物連鎖網

4. 実用型貝殻礁での物質循環構造

(1) 生態系モデルの概要

貝殻礁を設置することで多種多様の生物が蛸集することが確認され、特に優占種であるゴカイ・ヨコエビは摂餌行動で有機物を浄化することが確認されている。そこで、貝殻礁での物質循環構造について検証した。物質循環の対象物は炭素・窒素とし、検証には中田による生態系モデル⁵⁾を準用し、図-7に示すように、通常の低次生態系モデルにホタテ貝殻礁のサブモデルを追加する構成とした。算出方法の詳細は過年度の文献⁶⁾を参照され

たい。

サブモデルでは、図-8に示すように貝殻礁への荷
 として、系外からの流入・沈降、蠕集生物の排泄・自然
 死亡があり、貝殻礁での消費として蠕集生物・高次生物
 の摂餌行動がある。消費量と負荷量の差異が少ない場合、
 不要な炭素・窒素の滞留を抑えることができ、物質循環
 がうまく機能して炭素・窒素を効率的に浄化することが
 できる。一方、消費量と負荷量の差異が大きい場合、物
 質循環機能が次第に低下し、周辺環境の底質悪化が懸念
 される。

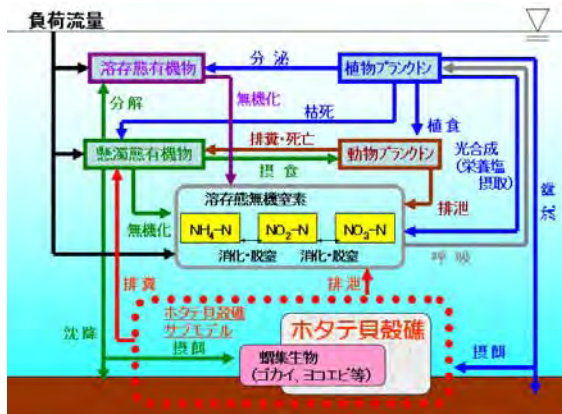


図-7 ホタテ貝殻礁を取り巻く生態系モデル

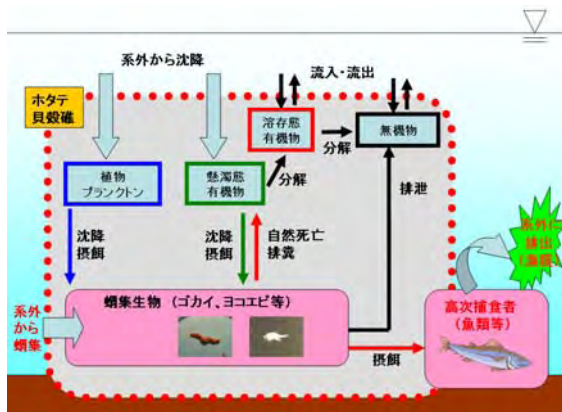


図-8 ホタテ貝殻礁のサブモデル

(2) 実用型貝殻礁での炭素・窒素循環構造

物質循環の算出方法について、系外からの流入は貝殻
 礁近傍にセジメントトラップを設置し、堆積物の湿重量
 と炭素・窒素の含有量を分析して懸濁物の負荷量を算出
 した。蠕集生物の自然死亡については文献⁷⁾から蠕集生
 物の優占種のゴカイ・ヨコエビの寿命を1年とし、斃死
 した生物は全て懸濁物になるとした。また、ゴカイ・ヨ
 コエビの分析結果、ゴカイのTOC値は384.8mg-C/g(d)、T-
 N値は87.8mg-N/g(d)、ヨコエビのTOC値は303.5mg-C/g(d)、
 T-N値は73.3mg-N/g(d)と測定され、死亡生物の乾燥重量
 と分析値を乗じた値を自然死亡による負荷量とした。

一方、消費要因である蠕集生物の摂餌行動は、貝殻礁
 の優占種であるゴカイ・ヨコエビの室内試験⁹⁾で得た摂

餌量と蠕集量を乗じた値とした。高次生物の摂餌行動は、
 安定同位体比分析で概ねゴカイ・ヨコエビを摂餌してい
 る魚類を対象とし、摂餌量は文献²⁾から魚類の湿重量の
 8.71%/dayとし、これにゴカイ・ヨコエビの分析値を乗
 じた値とした。

以上から貝殻礁を設置しない場合、図-9、10に示すよ
 うに負荷量について炭素は2,241.9mg-C/m²/day、窒素は
 265.4mg-N/m²/dayと算出された。一方、消費量について
 プランクトンネットや採泥で確認された動物プランクト
 ン及びゴカイの摂餌行動で炭素で0.248mg-C/m²/day、窒素
 で0.019mg-N/m²/dayと算出され、負荷された炭素・窒素
 がほとんど消化せず、物質循環が機能していないことが
 いえる。

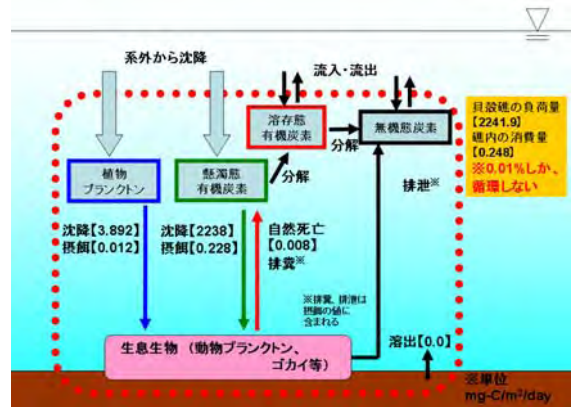


図-9 貝殻礁を設置しない場合の炭素循環

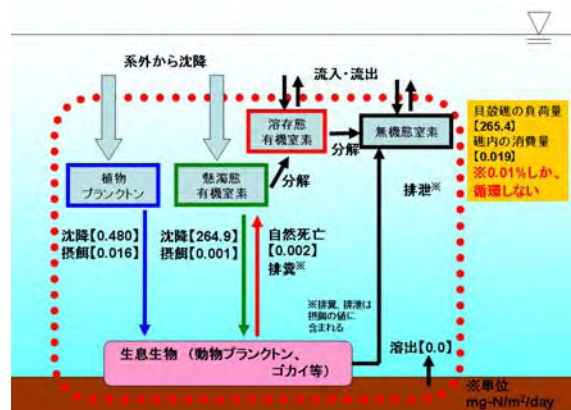


図-10 貝殻礁を設置しない場合の窒素循環

次に貝殻礁を設置した場合、図-11、12に示すように負
 荷量について炭素は2,273.9mg-C/m²/day、窒素は273.0mg-
 N/m²/dayと算出され、貝殻礁を設置しない場合と比較し
 て微増した。これは蠕集生物の自然死亡によるものであ
 る。一方、消費量については蠕集生物の摂餌行動と魚類
 の摂餌行動で、炭素は1,179.4mg-C/m²/day、窒素は
 239.5mg-N/m²/dayと算出された。これは、貝殻礁に負
 荷される炭素の51.9%、窒素の87.7%が貝殻礁内で消費
 されることを示しており、貝殻礁を設置することで炭素・
 窒素の物質循環が機能して効率的に炭素・窒素が浄化さ
 れることがいえる。

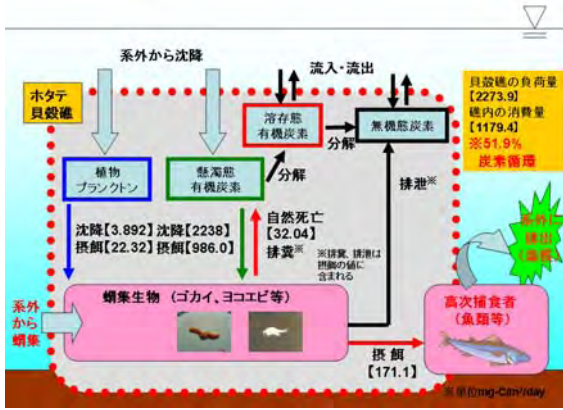


図-11 貝殻礁を設置した場合の炭素循環

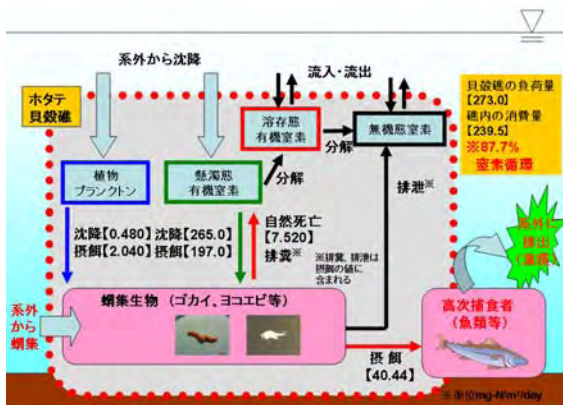


図-12 貝殻礁を設置した場合の窒素循環

5. 実用型貝殻礁の活用方法

江良漁港では図-13に示すように蓄養施設の計画があり、漁港区域の北側に3.5m岸壁を施工し、岸壁に4m四方の生け簀を南側に6基、東側に6基を施工する予定である。また、岸壁前面から内部まで海水が流入する構造であり、岸壁は鋼管で支えられている。この区間の水深は3.0mである。本検討では実用型貝殻礁の活用例として3.5m岸壁下に貝殻礁を設置した場合の物質循環について検証した。

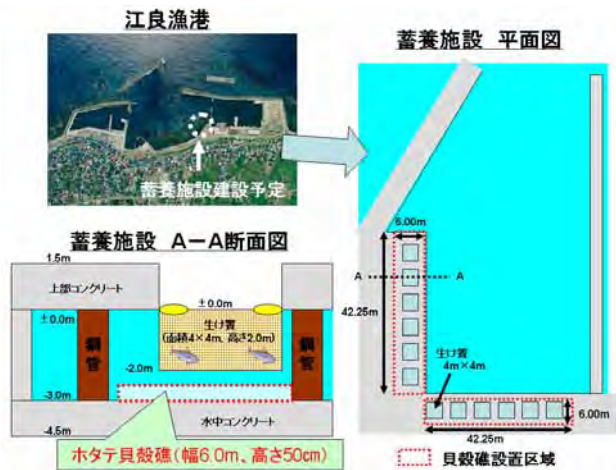


図-13 蓄養施設の平面図・断面図

貝殻礁の設置範囲は蓄養施設の南側と東側に全長42.0m、幅6.0m、高さ0.5mで設置するとした。蓄養対象魚は冬期に港内で蓄養が実施されているホッケとし、生け簀に收容する密度は上ノ国町での蓄養例から、1m³当たり8個体收容するとした。生け簀の設置方法は下端部が貝殻礁と接触させないために、下端部の設置水深は-2.0mとした。ホッケ排泄物量は文献²⁾から0.507g(d)/個体/day、排泄物のTOCは195mg-C/g(d)、T-Nは69.1mg-N/g(d)とし、1日当たりのホッケの排糞による負荷量は、炭素で98.87mg-C/個体/day、窒素で35.03mg-N/個体/dayと算出した。

ホッケを蓄養した場合、貝殻礁に負荷される炭素・窒素量は、図-14, 15に示すように前章で示した負荷要因に加え、ホッケの排糞による負荷が生じて炭素で2,871.2mg-C/m²/day、窒素で484.6mg-N/m²/dayであると算出された。一方、貝殻礁で消費される炭素・窒素量は前章で示した消費量と同値であり、これは貝殻礁に負荷される炭素の41.1%、窒素の49.4%に相当し、蓄養を実施しない場合と比較して炭素で10%、窒素で40%減少した。よって、蓄養が長期間実施された場合、物質循環されない負荷物が海底に堆積していき、次第に堆積物の酸化反応に必要な溶存酸素が不足していき、遂には貧酸素による蛸集生物及び蓄養魚の斃死につながる恐れがある。したがって負荷量の減少対策として蓄養期間の短縮など、適正な管理手法や物質循環の機能を高めるために消費要因を新たに設ける必要がある。

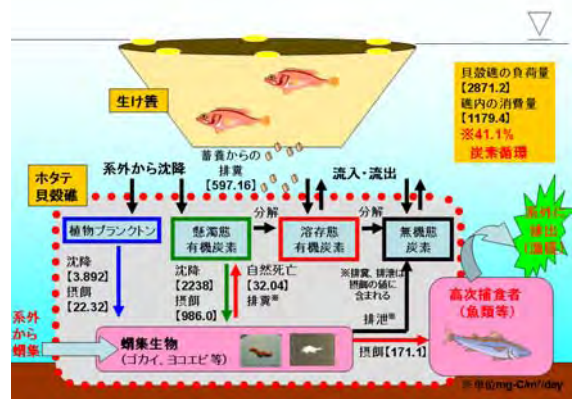


図-14 蓄養施設での炭素循環

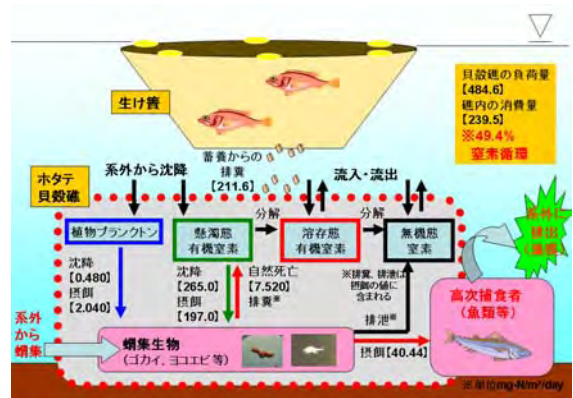


図-15 蓄養施設での窒素循環

そこで、蓄養施設下の貝殻礁にナマコを放流した場合について検証した。江良漁港では港内にナマコの生息が確認されており、貝殻礁にもナマコが蛸集することが確認された。ナマコの放流密度は72個体/m²、平均湿重量は12.4g/個体と文献⁸⁾から引用した。摂餌行動による炭素・窒素の消費量は過年度に浮泥を対象とした摂餌試験⁹⁾で得た値を引用し、炭素で4.56mg/個体/day、窒素で1.62mg/個体/dayとした。

ナマコを放流した場合、貝殻礁に負荷される炭素・窒素量は、図-16、17に示すように前述のホッケを蓄養した場合と同値を示し、一方、貝殻礁で消費される炭素・窒素量では前述に示した消費要因にナマコの摂餌行動による消費が生じて炭素で1,507.8 mg-C/m²/day、窒素で356.5 mg-C/m²/dayと算出された。これは、貝殻礁に供給される炭素の52.5%、窒素の73.6%に相当し、ナマコを放流することで炭素・窒素の物質循環の機能を引き上げることが確認された。

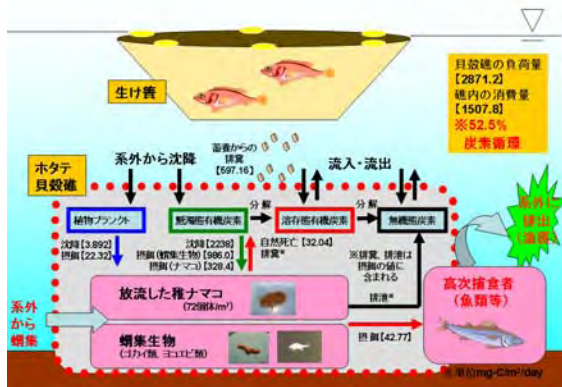


図-16 ナマコを放流した場合での炭素循環

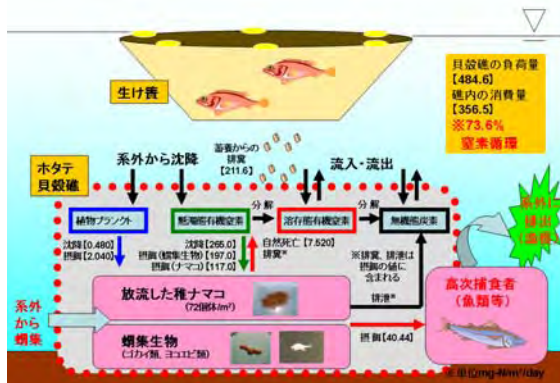


図-17 ナマコを放流した場合での窒素循環

6. まとめ

本研究で得た知見を要約すると以下の通りである。

- i) 実用型貝殻礁には約 160 種類の生物が持続的に蛸集することが確認され、貝殻礁が新たな生物の生息場として機能していることがわかった。さらに貝殻の隙間に魚卵を確認することができ、産卵場としても機能しているといえる。
- ii) 蛸集生物の安定同位体比を分析した結果、貝殻礁で

Kentaro Okamoto, Masaru Katayama, Humihito Yamada

の食物連鎖網はナマコ、ウニ、魚類を頂点とする3つの系統に概ね示すことができた。また、魚類はヨコエビ及びゴカイを經由して最終的に堆積物を摂餌している構造であることが示され、堆積物に含まれる有機物の浄化に貢献していることがわかった。

iii) 貝殻礁を設置した場合、蛸集生物及び魚類の摂餌行動で貝殻礁に負荷される炭素の51.9%、窒素の87.7%が貝殻礁内で消費されることが判明し、物質循環が機能して効率的に炭素・窒素が浄化されていることがわかった。しかし、貝殻礁を蓄養施設に設置すると、蓄養対象物の排泄物の増大により浄化率が低下するが、ナマコの放流で貝殻礁に負荷される炭素の53.0%、窒素の74.9%まで浄化率を引き上げることが確認された。

しかし、ナマコを放流しても物質循環が完全とはいえ、今後の手法としては貝殻礁の蛸集生物を増加させる工夫、新たな堆積物食者の放流、負荷量を減少させる工夫等、対象水域の物質循環について総合的に考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 岡本健太郎, 福田光男, 山本潤: ホタテ貝殻礁の実用化への取り組み, 寒地土木研究所月報 No683, pp.41-45
- 2) 平野 敏行監修: 沿岸の環境圏, フジ・テクノシステム, pp.301-307, 603. 1998
- 3) 岡本健太郎, 山本潤, 三森繁昭: ホタテ貝殻礁に蛸集した生物による有機物除去能力の検討, 平成 20 年度土木学会全国大会, 2008.
- 4) 櫻井泉, 柳井清治, 伊藤絹子, 金田友紀: 河川域に堆積する落ち葉を起点とした食物連鎖の定量評価, 北海道立水産試験場研究報告第 72 号, pp.37-45, 2007.
- 5) 中田喜三郎: 生態系モデル-定式化と未知のパラメータ推定法, J.Adv.Mar.Tech.Conf.Vol.8, pp.99-138, 1993
- 6) 岡本健太郎, 山本潤, 牧野昌史: ホタテ貝殻礁に蛸集した生物の変遷と浄化効果について, 海洋開発論文集 VOL.25, pp.419-424, 2009.
- 7) 長沢和也: カイアシ類学入門-水中の小さな巨人たちの世界, 東海大学出版会, pp.65-66. 2005
- 8) 岡本健太郎・山本潤・大水達暁: ホタテ貝殻礁による効果の持続性とナマコ中間育成場としての検討, 平成 21 年度北海道開発局技術研究発表会、環-8 2010
- 9) 岡本健太郎・山本潤・上平大介: 底質が汚濁した港内でのナマコの摂餌行動について 平成 20 年度北海道開発局技術研究発表会、環-32 2009