

ホタテ貝殻礁の底質浄化能力に関する現地実験

Field Study on Effects of Artificial Reef of Scallop Shell for Sediment Purification

佐藤朱美¹・牧田佳巳²

Akemi SATO and Yoshimi MAKITA

The disposal of a large amount of scallop shell becomes a problem in Hokkaido. Authors developed the artificial reef that used the scallop shell as a measure of water pollution and sediment contamination in ports and harbors. Experimental reefs were installed at a port, then the species swarming the reefs were identify, counted and analyzed. In this study, the organic removal capacity of detritivorous organisms and their purification rates in the area were estimated. The organic removal capacity per 1-gram biota was found to be 20.0 mg-C/gDW/day for organic carbon and 0.327 mg-N/gDW/day for organic nitrogen. It can be explained that the reef creates the biotope for the species to the space between the shells and that it is useful for the removal of organism in the port.

1. はじめに

港内泊地等では、水産物の蓄養・養殖が盛んに行われ、養殖物の糞や残餌などの有機物が海底に堆積し底質悪化が問題となっている。海底環境を改善する手法として海底に堆積したヘドロの浚渫、覆砂等物理的な手法が行われているが、短期的で一時的な環境改善効果しか得られない。これらの手法はコストが高く持続性に課題があり根本的な対策とは言いがたい。閉鎖性水域における物質循環構造では、海底に堆積される有機物は、バクテリア、繊毛虫類、ベントスなど様々な生物の相互作用によって分解されていく。持続的に水域を利用するためには生物機能を利用した底質環境改善技術の開発が不可欠である。堆積物や懸濁物の摂食行動などの生物機能を利用した底質改善技術の開発が進められている。門谷らは(1998)イトゴカイを用いて有機汚泥の摂食による底質浄化効果を実験によって明らかにしているが、効果の定量的な把握や現場での適用範囲などの課題が残されている。

一方、水産業が盛んな北海道沿岸部では、漁業活動に伴い廃棄物が排出され、中でもホタテ貝殻は年間20万tにのぼり全体の約半数を占める。貝殻の一部は、堆肥化などにより再資源化が行われているが、その量は充分とは言いがたい排出される貝殻の約半分は埋立処理される。近年、埋立地の不足が問題となっており貝殻廃棄物の利用拡大が必要である。

そこで著者らは港内閉鎖域の海底にホタテ貝殻礁を敷設して懸濁物、堆積物食者の生息環境を創出し(図-1)、生物機能を利用した環境改善手法の開発を目的に、現地観測および生物実験を行った。本稿では、貝殻礁への生物増集効果と増集生物による有機懸濁物除去能を定量し、

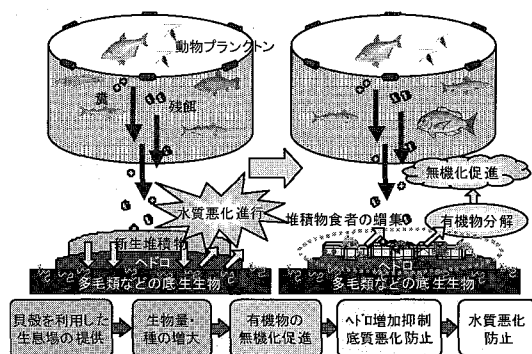


図-1 貝殻礁による浄化イメージ

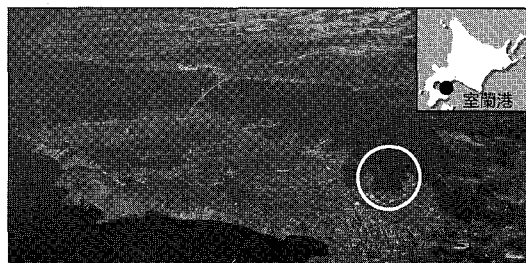


図-2 調査位置

貝殻礁による底質浄化効果を試算した結果について報告する。

2. 実験方法

(1) 貝殻礁設置および現地調査

調査は、図-2に示す北海道室蘭港の湾奥に位置する入江地区において、ホタテ貝殻礁による底質浄化効果を定量的に把握するため、①実験海域の現況および沈降物の性状の把握、②貝殻礁に形成される生物相の把握について行った。図-3に示す貝殻礁(ポリエチレン製のネット(φ150×300mm)の中にホタテ貝殻を充填した基質16本をマス状の架台に載せたもの)を海底(水深

1 正会員 国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部 室蘭港湾事務所

2 正会員 (独法)土木研究所 寒地土木研究所 水産土木チーム

6 m) に 2004.5.21 ~ 2005.2.1 の期間設置した。基質は、間隙の量、サイズの違いによる生物増集効果を比較するため、原貝（間隙 80 %）、貝殻を数片に分割した破砕貝（間隙 70 %）、対照区として貝殻を充填していない貝殻なしの 3 種類としそれぞれ 1 基ずつ設置した。

表-1 に調査内容および調査時期、表-2 に各調査の分析項目について示す。貝殻礁設置による周辺環境への影響を把握するため、設置前（2004.5.21）、設置中（8.25）については貝殻礁近傍から、撤去後（2005.2.1）については貝殻礁近傍および貝殻礁直下から海底面直上水および底泥をダイバーにより採取し、水質分析、底質分析および底生生物の種同定、計数を行った。実験海域における沈降物量を定量するため、貝殻礁設置箇所近傍に捕砂器（日油技研社製 SMC7S-500）を設置し、30 日間隔で沈降物を捕集した。捕砂器にはホルマリンを注入し沈降物の分解を防止した。捕集した沈降物は粒度組成、土粒子密度、TOC、TON について分析した。また期間中の現況を把握するため、海水温の連続観測を行った。

貝殻礁の各基質は設置後 2004.6.24（37 日）、8.25（93 日）、11.10（170 日）、2005.2.1（253 日）にダイバーが注射器で間隙水を採取後に回収し、増集生物は種同定・計数を、堆積物は分析を行った。

（2）ヨコエビ類の有機物除去能定量化

増集した堆積物食生物のうち優占種となったヨコエビ類を用いて、有機物除去能を室内試験により定量した。現地調査で採取した生物試料、堆積物を分析用試料と有機物除去能定量試験用試料に分画した。分析用の生物試料については、ホルマリンで固定し、全体の湿潤重量を測定するとともに、生物分析を行い、全体の乾燥重量を測定した。分析用試料の堆積物については、湿潤重量、乾燥重量、TOC、TON を測定した。

室内試験試料のヨコエビ類を、排泄物が確認されなくなるまで数日間馴致した。このとき、死亡個体や弱っている個体を取り除いた。試験は 1L ビーカーに堆積物と馴致したヨコエビ類を添加した試験区（生物添加）、堆積物のみを添加した試験区（対照）を設定し、15℃に保ったインキュベーター内に収容し試験を行った。試験期間は 25 日間とした。1 条件につき、5 ビーカーを用意した。堆積物量は乾燥重量で約 7 g とし、ヨコエビ類は個体差があるため湿潤重量が合計で 0.1 g となるように添加した。ろ過海水は 5 日ごとに約 1/3 量の交換を行い、曝気については、堆積物の分解を促進する恐れがあるので行わなかった。試験後、生物試料は湿潤重量、乾燥重量を、堆積物は湿潤重量、乾燥重量、TOC、TON を測定した。

有機物除去能は、実験開始前および実験終了後の炭素

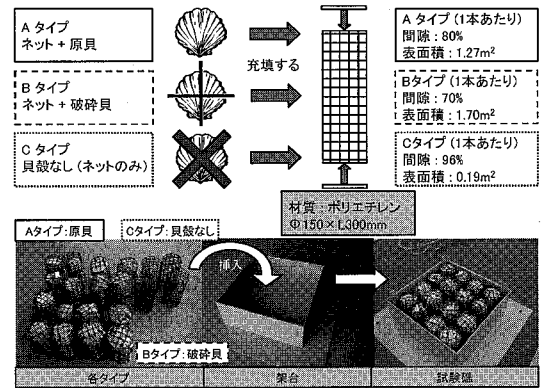


図-3 実験で用いた貝殻礁

表-1 調査内容および調査時期

	設置時 2004.5.21	(1ヶ月) 2004.6.24	(3ヶ月) 2004.8.25	(6ヶ月) 2004.11.10	撤去時 2005.2.1
水 質	○		○		○
底 質	○		○		○
貝殻礁		○	○	○	○
捕砂器	←				→

表-2 分析項目

	分析項目
周 辺 間	水 質 PH・DO・COD・T-N・T-P・大腸菌群数
	底 質 粒度組成・密度・COD・T-N・IL
	生 物 種の同定・計数
貝殻礁	隙水境 DO
	堆積物 粒度組成・密度・COD・T-N・IL・TOC・TON
	生 物 種の同定・計数
捕砂器	沈降物 粒度組成・密度・TOC・TON

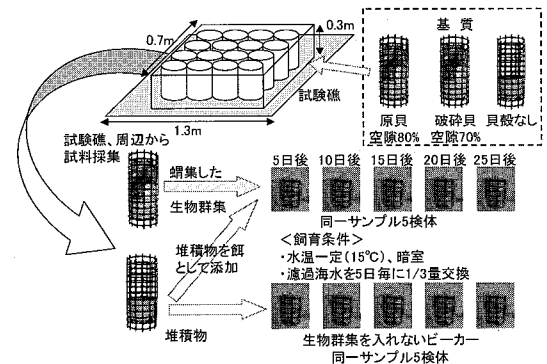


図-4 室内実験イメージ

（窒素）の量の差、実験期間および生物の乾燥重量から以下のように算定した（式（1））。

$$R_c = \{ (Cbc_1 - Cbc_0)W - (Cbc_0 - Cbc_0)W \} M^{-1} T^{-1} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 R ：有機物除去能（mg/gDW/day）、 C ：有機物濃度（mg/gDW）、 W ：堆積物乾燥重量（gDW）、 M ：生物乾燥重量（gDW）、 T ：実験期間（day）、 b ：

試験前, a: 試験後, c: 炭素, n: 窒素, 数字1: 生物添加, 0: 対照を示す。

3. 実験結果と考察

(1) 貝殻礁設置および現地調査結果

期間中, 調査区域において明らかな水質汚濁はみられなかったが, 底質は T-S の値が $0.24 \sim 0.44 \text{ mg/gDW}$ と高く汚濁傾向であった。

図-5 に捕砂器で捕集された沈降粒子の炭素および窒素の沈降粒子束 (C, N Flux) を示す。C, N Flux は春季から夏季に向かって増加し, 秋季から冬季に向かって減少する傾向がみられた。また, 入江地区は湾奥に位置するため季節に関わらず泥分 (シルト、粘土分) 含有率が高く 80 % を超えていた。図-6 に沈降粒子および試験礁内堆積物の C/N 原子比の経時変化を示す。有機物の分解過程において, 炭素に比べて窒素のほうが早く分解されることが知られており, 動物プランクトンの C/N 原子比は 5 ~ 7 (Redfield ら, 1963; Lawrence ら, 1983), 動物プランクトンの糞粒の C/N 原子比は 10 ~ 15 (Honjo ら, 1978; Paffenhofer ら, 1978) の報告がある。捕砂器に捕集された沈降物の C/N 原子比は 7.2 ~ 15.8 の範囲で変動しており, 春季から夏季に向かって減少し, 冬季に向かって増加する傾向がみられた。また, 7 月下旬 ~ 8 月中旬にかけては C, N Flux も多く C/N 原子比の低下に現れていた。試験礁内堆積物の C/N 原子比は 13.2 ~ 20.5 の範囲で変動しており, 調査海域の沈降物の C/N 原子比と比べて常に高い傾向にあり, 有機物の分解が促進している可能性が示唆された。

図-7, 8 に貝殻礁近傍の底泥中の底生生物, 試験礁に増集した生物の湿重量および個体数を, 調査期, 基質別に示す。底泥では 5 月調査時には環形動物が, 8 月, 2 月調査時には軟体動物が優占した。出現種をみると富栄養域代表種として紹介されるアサリ (*Ruditapes philipinarum*) や, 汚濁指標種として紹介されるミズヒキゴカイ (*Cirriiforma tentaculata*) が優占しており (例えば北森, 1975), 出現生物からも底質の汚濁傾向にあるといえる。底泥, 貝殻なしの基質に比べ, 原貝, 破砕貝基質は設置後時間が経過するにつれて湿重量の増加が確認された。基質の違いによる生物相の差はみられなかったが, 時間の経過とともに生物相が変化した。貝殻礁設置後 1 ~ 3 ヶ月では主にコノハエビ (*Nebalia bipes*), ヤマトモエビ (*Eualus leptognathus*), オホソクトゲモエビ (*Spirontocaris ochotensis*) 等の節足動物が優占した。これらの種は, 葉上性付着性のデトリタス食性生物である (向井, 1994; 澤村, 2000)。これらの生物に取って海藻は餌料としての価値よりも隠れ家や生息空間としての価値が高いと考えられている。貝殻礁の間隙が海

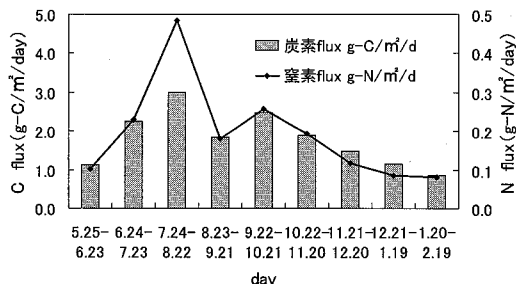


図-5 C, N Flux の経時変化

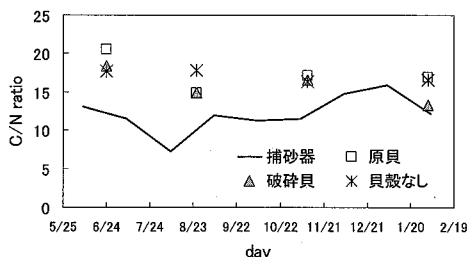


図-6 C/N 原子比の経時変化

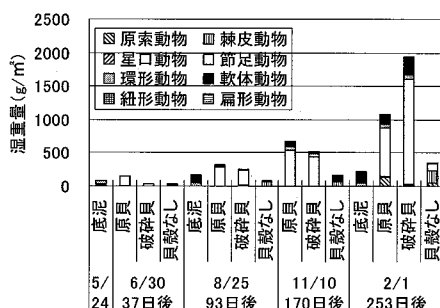


図-7 湿重量の経時変化

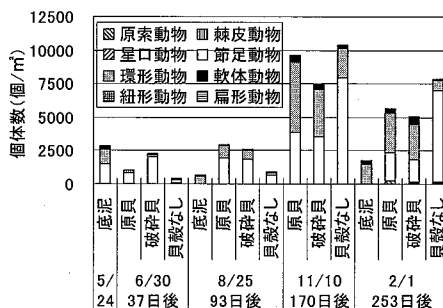


図-8 個体数の経時変化

藻と同様の機能を果たし, 多くの葉上生物が生息可能になるものと考えられる。貝殻礁設置後 6 ヶ月以降では, スピオ科一種 (*Capitella* sp.), ニホンドロソコエビ (*Grandidierella japonica*) 等の底泥に生息する種が優占した。比較対照の貝殻なしの基質では, ニホンドロソ

コエビの組成比率が時間の経過とともに40%程度から80%程度と高くなる傾向がみられた。浮泥が堆積するため砂泥底で生息する種が卓越したものと考えられる。

原貝・破砕貝基質では出現種のほとんどが葉上性、附着性の懸濁物、堆積物食生物であった。本来は藻場を生息域とする生物が貝殻礁設置により生息可能となったと推察された。しかし、時間の経過と共に貝殻礁に浮遊泥が堆積していることが確認されている。そのため、時間経過において砂泥底に生息する種類が卓越する傾向も認められた。将来的に浮遊泥堆積に起因する動物相へ変化することも可能性として考えられ、貝殻礁周辺の動物相と同一化する可能性も示唆される。

(2) ヨコエビ類の有機物除去能の定量化

試験には採集した生物群集の中からデトリタス食性のコノハエビ (*Nebalia bipes*)、ニッポンスガメ (*Byblis japonicus*)、ニホンドロソコエビ (*Grandidierella japonica*)、メリタヨコエビ科の一種 (*Merita* sp.)、コソドロトゲヨコエビ (*Liljeborgia serrata*)、フトヒゲソコエビ科の一種 (*Socarnes* sp.)、ウラシマヨコエビ科 (*Callopiidae*)、ヒサシソコエビ科の一種 (*Metaphoxus* sp.) の8種を選択した (写真-1)。試験期間中、斃死する個体は無かった。

分析結果から有機物除去能を定量化した。ヨコエビ類1g当たりの有機物除去能は、炭素で20.0 mg-C/gDW/day、窒素で0.33 mg-N/gDW/dayであった。

(3) ホタテ貝殻礁の底質浄化能力の算定

室内試験によって得られたヨコエビ類1日、1gあたりの有機物除去能 (原単位) に貝殻礁に甥集した生物量を乗じ単位面積あたりの有機物浄化量を算定した (式(2))。得られた貝殻礁の有機物浄化量と、実験海域で実測したC、N fluxとを比較することにより、沈降物に対する底質浄化率を算定した (式(3))。

$$Q_c = dS \times Rc \dots\dots\dots (2)$$

$$Pc = Q_c \times Fc^{-1} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 Q : 有機物浄化量 (mg/m²/day)、 d : 生物乾燥重量/生物湿潤重量 (gDW/gWW)、 S : 貝殻礁への生物甥集量 (mg/m²)、 R : 有機物除去能 (mg/gDW/day)、 P : 底質浄化率 (%), F : C、N flux (mg/m²/day)、 c : 炭素、 n : 窒素を示す。 d については室内試験結果の平均値0.1を、 S は貝殻礁へ甥集した節足動物のみを対象とした。C、N fluxの比較対照は貝殻礁回収日が含まれている期間のfluxとした。

室内試験は水温15℃で行っているが、2月の水温は試験水温に比べて10℃以上低く、生物の活性も低いと考えられる。よって15℃で得られた除去能を用いて2



写真-1 甥集生物 (左) とコノハエビ (右)

表-3 炭素、窒素浄化量

回収日	Q_c mg-C/m ² /day			Q_n mg-N/m ² /day		
	原 貝	破砕貝	貝殻なし	原 貝	破砕貝	貝殻なし
6 / 30	306.4	71.7	1.9	10.0	2.3	0.1
8 / 25	544	450.4	13.0	17.8	14.7	0.4
11/10	1081.8	868.2	47.6	35.4	28.4	1.6

表-4 C、N fluxの実測値

捕集期間	C flux mg-C/m ² /day	N flux mg-N/m ² /day
6 / 24 ~ 7 / 23	2,263	230
8 / 23 ~ 9 / 21	1,838	180
10/22 ~ 11/20	1,903	194

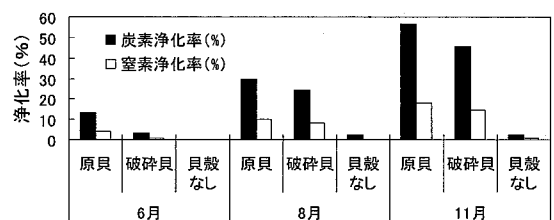


図-9 浄化率の経時変化

月調査時の有機物浄化量および浄化率を試算した場合、実際の値よりも過大評価になると懸念されるため2月調査については算定から除外した。

表-3に貝殻礁の有機物浄化量を、表-4に浄化率算定に用いたC、N fluxの実測値を、図-9に底質浄化率の算定結果を基質別に示す。

炭素、窒素浄化量は、貝殻礁の設置から時間が経過するにつれて、浄化量が大きくなる傾向がみられた。いずれの基質も11月に最大であった。これは貝殻礁に甥集した節足動物量が時間の経過とともに増大したためである。

矢持ら(1997)は底生生物の浄化能力に関する飼育試験(30日間)を行い、飼育期間あたりの底質浄化能力について報告している。これを比較のため日あたり量に換算すると、ニホンスナモグリ (*Callinassa japonica*) が炭素 745 mg-C/m²/day、窒素 172 mg-N/m²/day、ヤマトオサガニ (*Macrophthalmus japonica*) が炭素 1698 mg-C/m²/day、窒素 448 mg-N/m²/day である。

本実験で得られたヨコエビ類の底質浄化能力のうち貝殻区について比較すると、ニホンスナモグリ浄化量に対し炭素で41～145%程度、窒素で6～21%程度、ヤマトオサガニの浄化量に対し炭素で18～64%程度、窒素で2～8%であった。炭素に比べて窒素浄化量が低いが、ヨコエビ類の個体あたりの重量がニホンスナモグリやヤマトオサガニに比べて1/100程度と小さく、誤差が大きいものと推察される。

炭素、窒素浄化率は、原貝で13.6～56.8%、4.3～18.2%、破砕貝で3.2～45.6%、1.0～14.6%、貝殻なしで0.1～2.5%、0～0.8%であった。いずれの基質も11月で最大であった。これは時間の経過とともに底質浄化能力が増大したこと、調査期間中のC、N fluxが夏季から秋季に向かって減少したことに起因するものと考えられる。原貝、破砕貝の試験区の炭素、窒素浄化率は、貝殻なしの試験区を上回っており貝殻礁の底質浄化効果が期待できる。

ホタテ貝殻礁を海域へ設置した場合、貝殻礁の間隙に堆積物食性生物を蛸集し、底泥と比較して単位面積当たりの生息密度を高められることが確認された。

貝殻礁に蛸集したヨコエビ類1g当たりの有機物除去能を室内試験において測定したところ、炭素20.0 mg-C/gDW/day、窒素0.33 mg-N/gDW/dayであった。実験海域のC、N fluxの実測値を用いて貝殻礁1 m²あたりの浄化率を試算した結果、C fluxに対し最大56.8%（原貝11月）、N fluxに対し最大18.2%（原貝11月）の値が得られた。貝殻礁に蛸集する生物群の生物機能を利用することによって港内閉鎖性水域の有機負荷低減の可能性が示唆された。

4. おわりに

本実験でおおよそではあるが貝殻礁の底質浄化能力を算定した。今回の実験ではヨコエビ類を対象として有機物除去能を定量したが、自然の沿岸域においては多種多様な生物が共存しながら生息しているため、本実験で得

られた実験値のみでは貝殻礁の底質浄化能力を過大あるいは過小評価する可能性がある。

今後は、環形動物など他の生物について検討することにより、貝殻礁の浄化能力について精度よく定量する必要がある。また、貝殻礁が埋没した場合、その効果が喪失するため、どの程度の堆積速度に対応できるか、そして浄化効果が持続する期間はどのぐらいかなどを把握する必要がある。海域での実用化に向けて、施工方法、経済的な断面などを含めた検討が必要である。

参考文献

- 北森良之助(1975):環境指標としての底生動物(2)-指標生物を中心に-,環境と生物指標2,水界編,共立出版,pp. 265-273.
- 澤村正幸(2000):スガモ場における魚類・ベントス間の食物網構造,海洋と生物,vol22, No. 6, pp. 542-549.
- 向井 宏(1994):藻場(海中植物群落)の生物群集(5)-藻場構成植物と葉上性動物の相互作用-,海洋と生物, vol16, No. 4, pp. 276-281.
- 門谷 茂・堤 裕昭(1998):魚類養殖場へのイトゴカイによる浄化法,沿岸の環境圏,平野 敏行監修,フジテクノシステム, pp. 1097-1105
- 矢持 進・岡本庄市・小田一紀(1997):砂浜や泥浜優占する底生生物の底質浄化能力,第44回海講論文集, pp. 1176-1180.
- Honjo, S. and M. R. Roman(1978):Marine copepod fecal pellet: production, preservation and sedimentation. J. Mar. Res. 36, pp. 45-57.
- Lawrence, F. S., S. W. Fowler, S. A. Moore, and J. LaRosa(1983):Dissolved and fecal pellet carbon and nitrogen release by zooplankton in tropical water. Deep-Sea Res. 30, pp. 1199-1220.
- Paffenhofer, G. A. and S. C. Knowles(1978):Ecological implications of fecal pellet size production and consumption by copepods. J. Mar. Res. 37, pp. 35-49.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum, and F. A. Richards(1963):The influence of organisms on the composition of seawater. pp. 26-77. In M. N. Hill(ed). The sea. 2nd. 554p. John Wiley & Sons, New York