

貝殻利用による港内の底質悪化防止技術の開発

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT FOR PREVENTION OF ENVIRONMENTAL DETERIORATION OF PORT-BOTTOM SOILS BY USING SHELLS

奥西 武¹・清田 健²・桜庭蔭蔵³・岩渕雅輝⁴・佐藤朱美⁵・足立久美子⁶
Takeshi OKUNISHI, Takeshi KIYOTA, Shouzou SAKURABA, Masateru IWABUCHI, Hit,
Akemi SATO and Kumiko ADACHI

- 1 水産科学博 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8)
- 2 理修 株式会社エコニクス (〒004-0015 札幌市厚別区下野幌テクノパーク1-2-14)
- 3 株式会社エコニクス (〒004-0015 札幌市厚別区下野幌テクノパーク1-2-14)
- 4 株式会社エコニクス (〒004-0015 札幌市厚別区下野幌テクノパーク1-2-14)
- 5 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34)
- 6 正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34)

The technological development for prevention of environmental deterioration of port-bottom soil using scallop shells has started. Expected depuration of bottom soil is performed by the following mechanism. Shells laid down on port bottom offer lots of and various spaces. Detritus feeders swarm into the space and live in. Port-bottom soil is depurated by a biologic function of detritus feeders.

In this research, water quality, soil quality, macrobenthos and mass flux to the bottom in Oinaoshi fishing port in Hokkaido are examined, and also the experiment of laying shells in the port is carried out. Water of the port is not eutrophicated, but soil quality is deteriorating. Mass flux is 45-55 g-dry/m²/day, and is 10 times of that in the nearby sea. Marine organisms are 48 species (10,389 ind./m²) in shells of 2 months after laying, and 62 species (21,467 ind./m²) of 4 months. Major species observed are detritus feeders. Shells are considered to be suitable for detritus feeder's habitat.

It is possible to prevent an environmental deterioration of port-bottom soils, if organic matter of new sediments is effectively decomposed by a biologic function of detritus feeders.

Key Words: scallop shells, detritus feeders, soil depuration, port-bottom soils

1. はじめに

水産基本法に基づく水産基本計画において、水産業の健全な発展のために水産加工残さリサイクルの技術開発が必要とされている。また、循環型社会形成推進基本法が2002年に制定されバイオマス・ニッポン総合戦略が閣議決定される中、北海道で年間約45万トンの排出があると見積られる水産系廃棄物の有効利用推進は重要な地域課題といえる。北海道では年間10万トンを超える貝殻が保管堆積処分となっており、さらなる利用方法の開発が必要である。港湾・漁港の整備の推進により、係船岸充足率や泊地静穏度については改善が図られてきたところである。また、近年は泊地での水産物の蓄養や増養殖の実施もしばしばみられ、港内の水質・底質の悪化が問題視されており、食材提供場としての環境保全が求められている。

佐々木と押野(1997)¹⁾は、ギンザケ養殖漁場下に敷設したカキ貝殻にコノハエビ等の底生生物が蠕集

し、生物攪拌作用による水質・底質の改善効果があることを報告している。しかし、浄化効果の定量的把握は今後の課題とされており、実用段階には至っていない。また、吉田ら(2001)²⁾は魚礁資材として、カキ、ホタテガイ、アコヤガイの貝殻、碎石、コンクリートについて生物の蠕集効果を比較している。この結果によると、表面積あたりの付着動物の湿重量は、貝殻、碎石、コンクリートの順に多く、表面積や空隙を多く有する貝殻が、生物の生息場の創出に効果的であることを示している。我々は、これらの報告を参考にして、貝殻の敷設によりデトリタス食性の生物の生息場を創出し、生物的作用による底質の悪化を防止する技術の確立を目指すこととした。

貝殻敷設によって、次に示す浄化効果を期待している。貝殻を海底面にある程度の厚みを持たせ敷設することにより、貝殻の空隙が生物の隠れ家を提供し、貝殻周辺の生物量と生物種が増大する。貝殻に蠕集したデトリタス食性生物が海底に供給される新生堆積物を捕食することにより有機物が固定される。

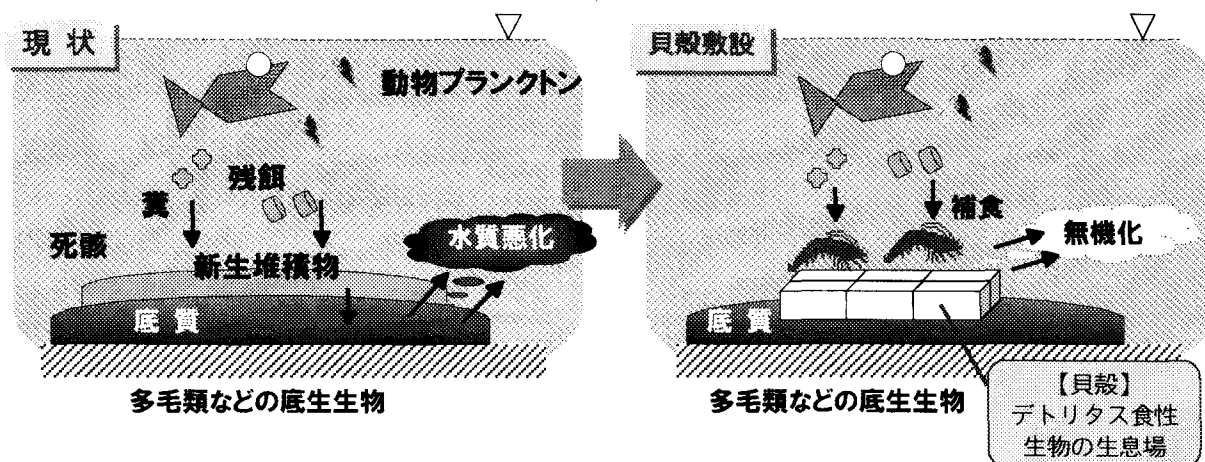


図-1 貝殻敷設によって期待している浄化効果（概念図）

また、捕食活動のロスなどによる有機物の無機化、高次生物への物質移動が生じ、海底面への有機物負荷が軽減される。貝殻の空隙は、フラットな海底面に単純に堆積するよりも、新生堆積物に好気的な環境を提供する可能性が高い。これは、微生物による有機物分解を促進する働きがある。このように、新たに負荷される有機物の無機化を促進することを底質悪化の防止と考えている（図-1参照）。

この技術が確立できれば、将来的に港湾や漁港整備等の事業の一環として、貝殻の有効利用促進が期待できる。そこで、我々は底質の悪化防止技術の開発に向けた基礎データを収集することとした。本研究では、その第一段階として、北海道追直漁港における水質、底質、底生生物、沈降粒子束の観測と貝殻を利用した試験礁設置（貝殻の海底敷設をイメージしたもの）によって起きる出現生物の変化を観測した結果を報告する。

2. 方法

(1) 水質および底質

観測地点は北海道追直漁港内の水深約10m地点である（図-2）。漁港内ではクロソイの養殖を行っており、観測地点付近は残餌による有機物負荷を受けている可能性がある。漁港内の水質および底質の現況を把握するため、平成15年9月3日に水質と底質の観測を行った。潜水土によって、バンドーン採水器を用い海底面から20cm程度上で採水を行った。採水した試料について、pH、DO、COD、T-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、T-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$ について分析を行った。また、ダイバーにより底泥を採取し、COD、全硫化物、強熱減量の分析を行った。

(2) 底生生物

追直漁港内の同地点において、採集面積 0.05m^2 のスミス・マッキンタイヤ型採泥器を用いて3回採泥し、1mm目合の篩にかけ、篩上に残った底生生物（

マクロベントス）を10%ホルマリン溶液で固定して実験室に持ち帰った。マクロベントスは、実体顕微鏡でできる限り、種レベルまで同定し、 1m^2 当たりの個体数とした。

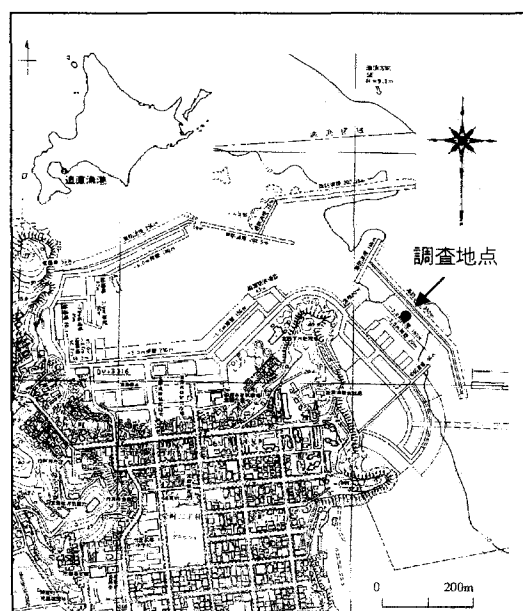


図-2 観測地点

(3) セジメントトラップ実験

漁港内における海底への沈降粒子束（有機物負荷量）を把握するために、同地点の海底にセジメントトラップ2本を72日間（平成15年9月3日～平成15年11月14日）設置した。1本は10%ホルマリンをトラップ内に入れ有機物の分解を防止した。使用したセジメントトラップは塩ビ製で、口径10cm、高さ50cmである。

セジメントトラップ回収後、試料はミリポアフィルター（HA type, 孔径 $0.45\mu\text{m}$ ）でろ過し、フィルター上の試料を凍結乾燥機で乾燥後、乾重量を測定した。その後、試料中の有機炭素量および有機窒素

量を沿岸環境調査マニュアル（日本海洋学会、1986）³⁾に準じCHN元素分析計にて分析した。

(4) 試験礁の設置実験

貝殻の敷設により、生物蛸集が生じるかの確認と貝殻に堆積した沈降粒子の性状を把握するために、貝殻の海底敷設をイメージした試験礁を同地点の海底に126日間（平成15年9月3日～平成16年1月7日）設置した（写真-1参照）。試験礁は、ステンレス製のカゴにホタテ貝殻を詰め込んだもので、大きさは一辺約30cmの立方体である（30×30×30cmのもの9基で1ユニット）。1基に貝殻約15kgが入り、空隙率は71%である。ホタテ貝殻は屋外に一年以上堆積されていたものを、水道水で洗浄後カゴに充填した。

設置2ヶ月後および4ヶ月後に試験礁の1基を海水中でビニール袋を用いて密閉して回収した。回収後、カゴから取り出した貝殻を水道水で洗浄し、洗浄液を1mm目合の篩にかけ、篩上に残った生物を実体顕微鏡でできる限り、種レベルまで同定し、1m²当たりの個体数とした。1mm目合を通過した堆積物は凍結乾燥後、乾重量と有機炭素量および有機窒素量の分析を行った。

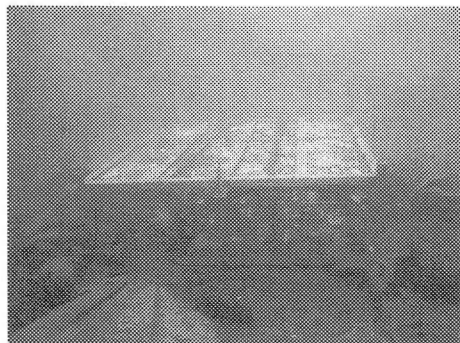


写真-1 試験礁設置状況

3. 結果

(1) 水質および底質

表-1に水質分析の結果を示す。海水のCODは1.7mg/l、T-Nは0.13mg/l、T-Pは0.023mg/lであり、富栄養化している傾向は見られなかった。

底質のCODは22mg/g乾泥、全硫化物は1.1mg/g乾泥、強熱減量は6.8mg/g乾泥であった。

表-2 セジメントトラップおよび試験礁への粒子束

試料名	乾重量	有機態炭素		有機態窒素	
	g/m ² /day	mg-C/m ² /day	%	mg-N/m ² /day	%
ホルマリン無しセジメントトラップ	55	3,390	6.1	393	0.71
ホルマリン入りセジメントトラップ	45	3,147	7.0	335	0.75
試験礁(2ヶ月)	114	2,579	2.3	297	0.26

注) セジメントトラップと試験礁は同一条件ではない。

(4) 試験礁の設置実験

表-1 水質分析結果

項目	値
pH	8.2
DO (mg/l)	8.0
COD (mg/l)	1.7
T-N (mg/l)	0.13
NH ₄ -N (mg/l)	0.018
NO ₂ -N (mg/l)	N.D.
NO ₃ -N (mg/l)	0.009
T-P (mg/l)	0.023
PO ₄ -P (mg/l)	0.014

注) N.D.は検出限界以下を示す。

(2) 底生生物

マクロベントスは軟体動物2種、節足動物5種、環形動物13種、合計20種が出現した。個体数は節足動物が多く（88%）、出現密度は2,912個体/m²であった。優占種はコノハエビ（*Nebalia bipes*）であった（全個体数の86%）。

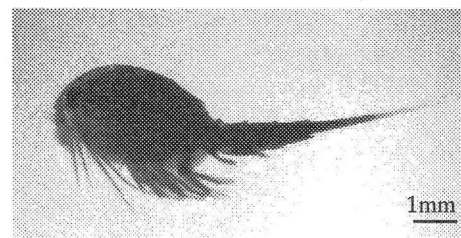


写真-2 コノハエビ (*Nebalia bipes*)

(3) セジメントトラップ実験

ホルマリンを入れたトラップへの全粒状物質フラックスは45 g-dry/m²/dayであり、有機炭素フラックスは3,147 mg-C/m²/day、有機窒素フラックスは335 mg-N/m²/dayであった。また、堆積物の有機炭素および有機窒素含有量は、それぞれ7.0%、0.75%であった。

ホルマリンを入れていないトラップへの全粒状物質フラックスは55 g-dry/m²/dayであり、有機炭素フラックスは3,390 mg-C/m²/day、有機窒素フラックスは393 mg-N/m²/dayであった。また、堆積物の有機炭素および有機窒素含有量は、それぞれ6.1%、0.71%であった（表-2）。

2ヶ月後に回収した試験礁内には、軟体動物8種、環形動物6種、節足動物30種、脊椎動物（魚類）4種、

合計48種が出現した。個体数は節足動物が多く（全個体数の93%），出現密度は10,389個体/m²であった。優占種はメリタヨコエビ科の1種（*Melita japonica*）であった（全個体数の32%）。

4ヵ月後に回収した試験礁には，軟体動物6種，環形動物21種，節足動物29種，毛顎動物1種，棘皮動物2種，脊椎動物(魚類)3種，合計62種が出現した。個体数は2ヶ月後と同様に節足動物が多く（全個体数の92%），出現密度は21,467個体/m²であった。優占種はフトヒゲソコエビ科の1種（*Orchomene* sp.）であった（全個体数の28%）。

試験礁への全粒状物質フラックスは114 g/m²/dayであり，有機炭素フラックスは2,579 mg-C/m²/day，有機窒素フラックスは297 mg-N/m²/dayであった（表-2；2ヶ月間での計算）。

試験礁内の堆積物は，2ヶ月後8,215 g-dry/m²，4ヶ月後8,977 g-dry/m²であった。堆積物の有機炭素および有機窒素含有量は，それぞれ2ヶ月後で2.3%，0.26%，4ヶ月後で2.4%，0.40%であった。

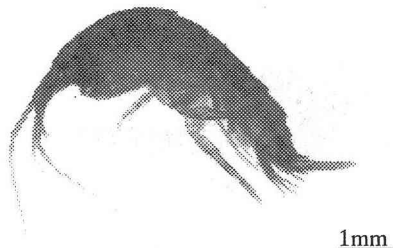


写真-3 メリタヨコエビ科の1種
(*Melita japonica*)

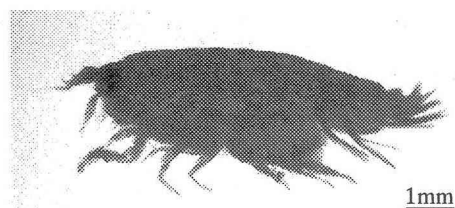


写真-4 フトヒゲソコエビ科の1種
(*Orchomene* sp.)

4. 考察

(1) 追直漁港の環境

水産用水基準⁴⁾では，底質のCOD 20 mg/g乾泥 以下，硫化物 0.2 mg/g乾泥 以下を正常な海域としている。観測地点の底質はCODおよび全硫化物ともにこの基準値より高い値であり，底質の汚濁が進んでいると考えられる。底生生物の優占種であるコノハエビは汚濁指標種（北森，1975）⁵⁾として紹介される種であり，出現生物からみても，港内の底泥が汚濁化しているといえる。底質の悪化は，水の貧酸素化，栄養塩溶出にともなう富栄養化など水域環境

の悪化を促進する可能性があるが，水質の結果からはそのような富栄養化している状況は確認できなかった。本調査域が，年間を通して正常な水環境を維持できているのか，確認しておく必要があるかもしれない。

米田ら（1986）⁶⁾は追直漁港に近い，噴火湾中央の水深72m地点における秋季の粒子フラックスを報告している。彼らの報告によると，全粒状物質フラックスは2.16 g-dry/m²/dayであり，有機炭素フラックスは242 mg-C/m²/day，有機窒素フラックスは27.1 mg-N/m²/dayである。本研究のように港内における粒子束の報告事例はないが，港内の海底への物質負荷量は近隣の沿岸の粒子束より10倍以上であった。このように多い堆積量が底質の悪化を促進している原因であると考えられる。また，沈降粒子の有機炭素含量が噴火湾では11%であるのに対し，本研究のホルマリン入りのトラップでは7.0%と低くなっており，無機粒子を多く含んでいると推察できる。ホルマリン入りとホルマリンを入れなかったトラップの全粒子フラックスの差は小さく，実験誤差であると思われる。また，有機炭素含量および有機窒素含量はホルマリン入りトラップの方が少し高いが，トラップの設置期間において，さほど分解は進まなかったと思われる。これも，多い物質負荷量に関係しているかもしれない。

動物プランクトンのC/N原子比は5～7（Lawrence et al., 1983; Redfield et al., 1963）^{7) 8)}，動物プランクトンの糞粒のC/N原子比は10～15（Honjo and Roman, 1978; Paffenhofer and Knowles, 1978）^{9) 10)}，また，渦鞭毛藻のC/N原子比は9.0程度（Parsons et al., 1961）¹¹⁾であることが報告されている。ホルマリン入りトラップのC/N原子比は10であり，トラップ内に沈降する粒子は動植物プランクトンの死骸ではなく，微細な無機粒子を含む，動物プランクトンの糞粒や有機物凝集物質などが主な成分であると考えられる。

(2) 試験礁設置の影響

回収した試験礁には2ヵ月後および4ヵ月後ともに節足動物のヨコエビ類が優占して出現した。試験礁は底生生物の出現密度（単位面積当り）より1オーダー多く節足動物が出現している（図-4）。試験礁の生物増集効果は非常に大きいと言える。底生生物はスミス・マッキンタイヤ型採泥器を利用しているため，約15～25cmの厚さで採泥していることになるので，単位体積当たりに換算しても底生生物と試験礁の生物密度の差は大きく変わることはない。ヨコエビ類は藻場の葉上でよく出現する動物である。葉上生物にとって海藻（海草）は，食物資源としての価値よりも隠れ家であり，生活場所としての価値が高い（向井，1994）¹²⁾と考えられている。試験礁における貝殻の空隙が海藻と同じ隠れ家としての機能を果たしているため，ヨコエビ類を主として多くの生物が増集したと考えられる。また，底生生物で

出現した汚濁指標種であるコノハエビの出現密度は少なく、2ヶ月後で133個体/m³（全個体数の1%）、4ヵ月後で78個体/m³（全個体数の0.3%）であった。

試験礁への全粒状物質フラックスはセジメントトラップの約2倍であったが（2ヶ月間の計算）、有機炭素フラックスおよび有機窒素フラックスはトラップより小さく、有機物含有量が小さい堆積物であった。全粒状物質フラックスが大きいのは砂など無機物質を多く含んでいるためと考えられる。1回の試験だけでは、試験礁内で有機物分解が促進されているかの判断は困難であるが、試験礁内に堆積した粒子は2ヶ月後および4ヵ月後ともに有機物含量は低く、質的には汚濁は認められなかった。

ヨコエビ類の多くはデトリタス食性であることが報告されている（澤村, 2000）¹³⁾。本研究ではこのようなデトリタス食性生物が介在して、堆積する有機物量を低減することを狙っている。そのメカニズムとしてデトリタス食者による有機物の同化と排泄にともなう海中への溶存物質の放出が考えられる。

節足動物の湿重量を比較すると、試験礁中の節足動物の湿重量は、底生生物（底泥）の18～20倍であり（図-5）、これらの生物を介した堆積物の浄化が期待できる。また、ヨコエビ類は魚類の餌料生物となる（大森, 1974; Hayase and Hamai, 1974）^{14),15)}。ため、高次生物へエネルギー伝達によって底生環境から有機物を輸送することが期待できる。さらに、試験礁は空隙率が高いので沈降粒子の堆積過程において嫌気化を抑止でき、微生物による有機物分解を促進することも期待できる。

生物機能を利用した底質改善技術として、イトゴカイ（門谷と堤, 1998）¹⁶⁾、マナマコ（倉田ら, 2000）¹⁷⁾を利用した方法が研究されている。そのうち、イトゴカイを利用したものは、実際に西日本の養殖場下の底質改善に効果があったことが示されている（門谷と堤, 1998）¹⁶⁾。しかしながら、この技術を導入するには、利用するイトゴカイの同種が現場水域に生息していることが、生態系保全の観点からも重要と思われる。また、イトゴカイを培養する技術が必要であることが、導入を難しくしていると考えられる。

一方、本研究の方法は、現場に生息する生物を利用するため、特に技術的な難しさがないことが利点である。しかしながら、問題点として、①蛸集した生物の生活史が不明で、蛸集に季節的な変動があるのかどうか未解明であることから、年間を通して安定した効果が保障されてないこと、②蛸集した生物が大量斃死した場合には環境悪化となる可能性があることなどが考えられる。このため、今後は長期的な実証実験が必要である。また、貝殻が埋没した場合、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くらいかなどを把握する必要がある。さらに、長期間の設置が周辺環境に与える影響を把握する必要もある。そして、海底部に貝殻を設置することに

より、有機物の分解促進が行われているかを定量的に評価することが今後の課題である。

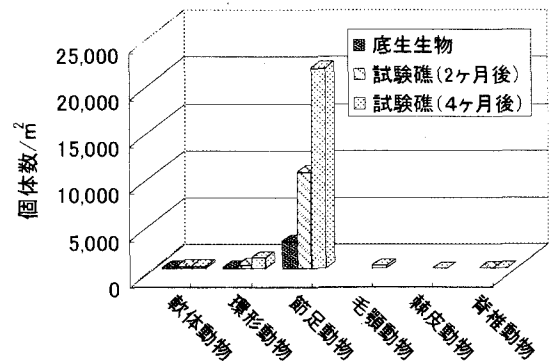
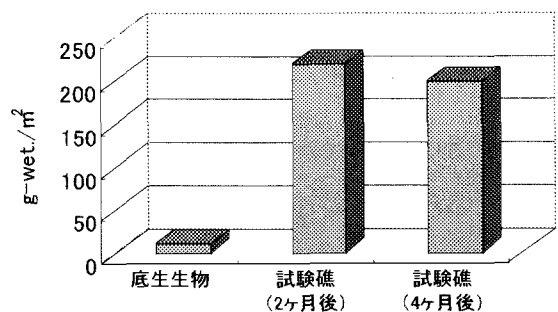


図-4 底生生物と試験礁出現生物の個体数



注) 試験礁の2ヶ月後はスナエビ1個体の湿重量で54%を占めていた。

図-5 出現節足動物の湿重量

4. まとめ

試験海域の追直漁港の底質は汚濁傾向にあると考えられる。ホタテ貝殻を充填した試験礁を設置したところ、ヨコエビ類を主とする節足動物が蛸集し、その蛸集効果は大きいことが確認できた。そして、試験礁内の堆積物は質的には汚濁は認められなかった。デトリタス食性の生物の生息環境を提供し、有機物の分解を促進させることにより、腐泥化を防止しようとするのが技術開発の狙いであり、本研究の結果より、実現性が高いと考えられる。

参考文献

- 1) 佐々木 良・押野明夫: ギンザケ養殖漁場下における堆積有機物とベントス分布態様, 宮城県水産研究開発センター研究報告, No.15, pp.61-69, 1997.
- 2) 吉田 創・田原 実・片山貴之・片山敬一・柿元 皓: 貝殻を利用した餌料培養基質の特性-基質の表面積, 空隙率と着生量との関係-, 平成13年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp.19-22, 2001.

- 3) 日本海洋学会編: 沿岸環境調査マニュアル[底質・生物編], 恒星社厚生閣, pp.57-59, 1986.
- 4) 水産用水基準: 社団法人日本水産資源保護協会, 平成13年6月, 2000.
- 5) 北森良之助: 環境指標としての底生動物(2), 指標生物を中心に(津田, 菊池編), 環境と指標生物2, 水界編, 共立出版, pp.265-273, 1975.
- 6) 米田義昭, 築田 満, 塩本明弘: 秋季噴火湾における粒状有機炭素および窒素のフラックスについて, 北大水産彙報, 37(2), pp.124-133, 1986.
- 7) Lawrence, F. S., Fowler, S. W., Moore, S. A. and LaRosa, J.: Dissolved and fecal pellet carbon and nitrogen release by zooplankton in tropical water. *Deep-Sea Res.* 30, pp.1199-1220, 1983.
- 8) Redfield, A. C., Ketchum, B. H. and Richards, F. A.: The influence of organisms on the composition of sea water. P.26-77. In Hill, M. N. (ed), *The sea*. 2nd. 554p. John Wiley & Sons, New York, 1963.
- 9) Honjo, S. and Roman, M. R.: Marine copepod fecal pellet: production, preservation and sedimentation. *J. Mar. Res.* 36, pp.45-57, 1978.
- 10) Paffenhofer, G. A. and Knowles, S. C.: Ecological implications of fecal pellet size production and consumption by copepods. *J. Mar. Res.* 37, pp.35-49, 1978.
- 11) Parsons T.R., Stephens, K. and Strickland, J.D.H.: On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *J. Fish. Res. Board of Canada*, 18, pp.1001-1016, 1961.
- 12) 向井 宏: 藻場(海中植物群落)の生物群集(5) — 藻場構成植物と葉上動物の相互作用 —, 海洋と生物, Vol.16, No.4, pp.276-281, 1994.
- 13) 澤村正幸: 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, Vol.22, No.6, pp.542-549, 2000.
- 14) 大森迪夫: 仙台湾における底魚の生産構造に関する研究—1 カコガレイの食性と分布について, 日水誌, 40(11), pp.1115-1126, 1974.
- 15) Hayase, S. and Hamai, I.: Studies on feeding habits of three flatfishes, *Cleisthenes pinetorum herzensteini* (SCHMIDT), *Hippoglossoides dubius* (SCHMIDT) and *Glyptocephalus stelleri* (SCHMIDT). *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 25(2), pp.82-99, 1974.
- 16) 門谷 茂, 堤 裕昭: 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, 1998.
- 17) 倉田健悟, 上月康則, 村上仁士, 仁木秀典, 豊田裕作, 北野倫生: 内湾性水域におけるマナマコを利用した底質改善手法, 海岸工学論文集, 47, pp.1086-1090, 2000.