

陸奥湾におけるホタテガイ適正収容量

吉田 達¹・吉田 雅範²・小坂 善信¹・佐々木克之³

¹青森県水産総合研究センター増養殖研究所, 〒039-3381 青森県東津軽郡平内町大字茂浦字月泊10

²青森県下北地方農林水産事務所むつ水産事務所 〒035-0073 青森県むつ市中央1丁目1-8

³元独立行政法人中央水産研究所 現住所〒064-0807 札幌市中央区南7条西28丁目1-15-422

キーワード：ホタテガイ，増養殖，環境収容力

The Capacity of Scallop Culture in Mutsu Bay

Tooru YOSHIDA¹, Masanori YOSHIDA², Yoshinobu KOSAKA¹ and Katsuyuki SASAKI³

Abstract In order to obtain the information on feed conditions, we conducted following survey every month at one point on the west bay and east bay of Mutsu Bay. Primary production (13C method), concentrations of POC, chlorophyll a and nutrients were examined. Furthermore, biomass, feeding and excretion of zooplankton, sedimentation of organic matter from surface to bottom were surveyed. Then we calculated biomass, feeding and excretion of scallops, biofouling and benthos, the additional concentrations of organic matter produced from rotted seaweed, influx of organic matter concentrations from the river and the area outside the scallop culture area into the scallop culture area, using preexistent information. We mainly researched the monthly feeding budget of hanging culture and sowing culture scallop and the capacity of scallop culture in Mutsu Bay.

As a result, it was considered the present existent number of scallops in Mutsu Bay in October was 1,875,580,000 individuals, but the capacity of scallop in Mutsu Bay was 1,361,990,000 individuals in total; the number of juvenile hanging culture scallops was 823,890,000 individuals; the number of one year old hanging culture scallops was 235,760,000 individuals; the number of one year old sowing culture scallops was 139,540,000 individuals; the number of two years old sowing culture scallops was 139,540,000 individuals.

¹ Corresponding author: Tooru Yoshida, Aomori Prefectural Fisheries Research Center, Aquaculture Institute, Moura, Hiranai-machi, Aomori 039-3381
(E-mail: tooru_yoshida@ags.pref.aomori.jp)

陸奥湾のホタテガイ増養殖漁業は、1975年の大量へい死を克服し、近年は100億円産業に発展してきたものの、依然として総量規制値を上回る過剰生産状態が続いている。現在の適正収容量は

1974-1975年調査によるものであり、その後の増養殖技術、生産体制及び漁場環境などが変化していることから、ホタテガイ適正収容量の見直しを行い、陸奥湾におけるホタテガイ増養殖の持続的

安定生産を図るものである。

材料及び方法

(1) 基礎生産量等の調査

図1に調査地点を示した。青森市久栗坂沖（水深45m）及び平内町東田沢沖（水深35m）の各1点で、2000年5月から2003年2月に月1回採水し、基礎生産量（擬似現場法）、POC量、クロロフィルa量、栄養塩（硝酸塩、亜硝酸塩、アンモニウム塩、リン酸塩）及び動物プランクトン出現数を調べた。また、蟹田沖（水深54m）では養殖漁場外から養殖漁場内への流入量推定のため2000年5月から2001年3月にPOC量を測定した。さらに、久栗坂沖では、現場法による基礎生産量の測定を2000年8月から2001年10月に4回行った他、セジメントトラップによる沈降量調査を2000年8月から2003年2月に7回行った（図2）。

① 基礎生産量等

表面を含めた5層（海表面に対する相対照度100%、50%、33%、10%、1%層）から、バンドーン採水器（久栗坂沖）及びポンプアップ（東田沢沖、蟹田沖）により採水した。久栗坂沖では光量子計（CT and C LI-COR LI-193SA）とCTD（Ocean Sensors OS200CTD）を用いて各水深を決定した。東田沢沖では補償深度を透明度の3倍と仮定し、透明度を測った後、照度と水深の減衰関数として消散係数一定の指数関数を用い、各相対照度に対する水深を算出した。試水は100 μm ネットで濾過してから測定に用いた。

基礎生産量は $\text{NaH}^{13}\text{CO}_2$ を用いた ^{13}C 法により測定した。試水は1.15 ℓ の透明ポリカーボネート瓶に入れ、擬似現場法は各照度の遮光袋を被せて研究所桟橋上の水槽（表面海水かけ流し）に入れ、現場法は採水した水深へ垂下して、24時間培養を行った。培養開始時と24時間培養後の試水を、それぞれワットマンGF/Fフィルターでろ過し、乾燥機（IWAKI AFO-51）で60℃一晩乾燥後、塩酸に2-3時

間さらし、再度60℃で一晩乾燥した。POC量及び ^{13}C -atom%の測定は $^{13}\text{CO}_2$ アナライザー（日本分光EX-130S）で行った。

栄養塩は試水約20m ℓ を0.45 μm ミリポアフィルターで濾過し、凍結保存後、オートアナライザー（ブランルーベ社TRACCS800）で硝酸塩、亜硝酸塩、アンモニウム塩、リン酸塩を測定した。

クロロフィルa量は試水1 ℓ をワットマンGF/Cフィルター上に濾過し、凍結保存後、アセトンで抽出して蛍光法（日本分光FP-750）で測定した。

採水時の水温は、CTD、棒状水銀温度計、デジタル水温計（SATO-KEIRYO SK-1250MC）で測定した。

沈降量は海底上3-10mにセジメントトラップを24-44時間設置し、堆積したPOC量を元素分析計（FISON EA1108）で測定した。

② 動物プランクトン

200 μm 以上の動物プランクトンは北原式定量閉鎖ネット（離合社）を海底上2mから鉛直引きして採取し、5%中性ホルマリンで固定後、プランクトン分割器（離合社5605-B）を用いて1/64に分割し、体長測定及びソーティングによる乾燥重量測定に供した。乾燥重量は、コペポダについては、200 μm ごとに30個体の平均乾燥重量を求め、体長と乾燥重量の相関式を作成し、2001-2002年は体長を測定して乾燥重量に換算した（ノープリウスにも適用）。それ以外は種類ごとに選別し、Corningヌクレポアフィルター（ポアサイズ0.4 μm ）上に3.5%炭酸アンモニウム溶液を用いて濾過後、乾燥機（IWAKI AFO-51）で60℃24時間乾燥し、マイクロ電子天秤（Sartorius MC5）により乾燥重量を求めた。

これらの値を用いて、以下の方法により種類毎に摂餌量、排泄量を計算した。

- コペポダ等（二枚貝、ホヤ類以外）の摂餌量は、Ikeda and Motoda (1978) の計算式により乾燥重量と採水時水温から、排泄量はConover (1966) による *Calanus hyper-*

boreus の同化率64%を用いてそれぞれ算出した。

- 二枚貝の摂餌量は、林ほか（1986）によるアコヤガイラーバの殻長別摂食細胞数と、植物プランクトン1個体当りの炭素量（長径、短径5 μm の楕円体として体積を計算し、1/10を乾燥重量、0.4285を炭素量とした）を用いて、排泄量は馬久地（1982）によるイタヤガイラーバの消化率70%を用いてそれぞれ算出した。なお、殻長は全て300 μm として計算した。
- ホヤ類の摂餌量は、Bonchdansky and Deibel（1999）による *Oikopleura vanhoeffeni* 1個体あたりの濾水量とPOC量から、排泄量はコペポータと同様の率を用いてそれぞれ計算した。

20 - 200 μm の微小動物プランクトンは、基礎生産量調査と同水深から濾過前の海水を250m ℓ （2000年6月から2001年3月は1 ℓ ）採水し、5%中性ホルマリンで固定後、サイフォンにより上澄みを排出して10m ℓ に濃縮した。2000 - 2001年は1/10を、2002年は全量を検鏡して、個体毎の長径、短径、形状（円錐形、回転楕円体）を測定し、比重0.1として体積から乾燥重量を求め、以下の方法により種類毎に摂餌量、排泄量を計算した。

- 繊毛虫の摂餌量は、Müller and Geller（1993）による増殖速度、Hensen et al.（1997）による総成長効率33%を用いて摂餌速度を求め、現存量（乾燥重量）に摂餌速度を乗じて算出した。また、排泄量は、Hama（1997）による繊毛虫の窒素換算の排泄量、Bense（1974）による植物プランクトンC/N比を用いて計算した。
- 繊毛虫以外の種類の摂餌量、排泄量は、コペポータと同様の手法により計算した。

(2) 養殖及び地まきホタテガイ、養殖付着物、底生生物の現存量・摂餌量・排泄量、海藻枯死による有機物添加量、湾外等からの有機物流入量

① 養殖ホタテガイ

成長量、呼吸量、排泄量、産卵量から1個体当りの時期別摂餌量を算出した。成長量は軟体部重量の増減から計算し、呼吸量は蔵田（1996）の式を用いて乾燥重量と水温から計算した。軟体部重量と乾燥重量は、佐藤ほか（1993）、工藤ほか（1999）、吉田ほか（2002）の調査結果を用いた。水温は青森市久栗坂沖に設置してある自動観測ブイの1985 - 2000年の水深15m層の値を用いた。排泄量は富士（1974）の調査結果の年平均値30%を用い、放卵量は2年貝は1997 - 2001年母貝調査結果、1年貝は吉田ほか（2002）の調査結果から計算した。

また、稚貝数（2000 - 2001年青森県漁連水揚げ量から逆算）、ホタテガイのへい死率（1997 - 2001年養殖ホタテガイ実態調査）、時期別の出荷割合（1999 - 2000年青森県漁連水揚げ量から計算）を用いて、時期別、養殖種類別のホタテガイ現存個体数を求めた。

これらの値を用いて、地域別、時期別、養殖種類別にホタテガイの摂餌量、排泄量を求めた。

② 地まきホタテガイ

養殖ホタテガイと同様の手法により1個体当りの時期別摂餌量を算出した。軟体部重量と乾燥重量は、1997 - 2000年ホタテガイ増殖漁場評価試験と1996 - 1998年母貝調査結果を用い、水温は川内沖に設置してある自動観測ブイの1985 - 2000年の底層のデータ値を用いた。排泄量は前述の値30%を使用した。放卵量は1997 - 2002年母貝調査から計算した。

また、放流数（2000 - 2002年地まきホタテガイ実態調査）、ホタテガイのへい死率（1997 - 1999年地まきホタテガイ実態調査）、時期別の出荷割合（1999 - 2000年青森県漁連水揚げ量から計算）を用いて、時期別のホタテガイ現存個体数を求めた。

これらの値を用いて、漁場別、時期別にホタテガイの摂餌量、排泄量を求めた。

③ 養殖付着物

養殖種類別の付着物量（1991 - 1993年養殖

ホタテガイ実態調査結果等)を用いて、時期別、養殖種類別に、ホタテガイ全重量に対する付着物の現存量比を求め、現存量比とホタテガイ純生産量とから、付着物の純生産量を算出した。

また、付着物のほとんどが二枚貝(ムラサキイガイ及びキヌマトイガイ)と仮定し、養殖ホタテガイの0-1年目のエネルギー効率(純生産量に対する摂餌比、排泄比)を用いて、付着物の摂餌量、排泄量をそれぞれ算出した。

④ 底生生物

ホタテガイと餌料競合関係にある濾過食性の底生生物について、平野ほか(1986)の試算結果を、1983-1995年陸奥湾漁場保全基礎調査の生息密度で補正して求めた。

⑤ 海藻枯死による有機物添加量

東湾の藻場面積(2000年陸奥湾藻場・水産資源マップ作成調査)と、アマモ枯死量(1999年サロマ湖におけるホタテガイ・マガキ養殖許容量調査)から、東湾におけるアマモの枯死量を求め、地まき漁場への有機物供給量を試算した。

⑥ 陸奥湾外、養殖漁場周辺、河川からの有機物流入量

陸奥湾外からの有機物流入量については、森本ほか(1999-2001)による日本海側十三湖沖のクロロフィルa量の推移、西田(2002)による湾口部のクロロフィルa量の推移を基に試算した。

養殖漁場周辺から養殖漁場内への有機物流入量については、平野ほか(1986)、小倉ほか(1989)の調査結果から試算した。

河川からの有機物流入量については、各河川別の河川流量・SS値(1998年青森県公共用水域等の水質測定結果)、炭素含有率(1999年サロマ湖におけるホタテガイ・マガキ養殖許容量調査)から試算した。

結 果

(1) 基礎生産量等の調査

① 採水水深

図3に久栗坂沖と東田沢沖における採水水深の推移を示した。東田沢沖では1年を通して比較的底層付近まで採水できたが、久栗坂沖は中層までしか採水できなかった月が多く見られた。

② 光 量

図4に久栗坂沖における採水時の表層と底層(水深約45m)の光量及び水深別光量を示した。表層の光強度は73-975 μmol 、底層は0-131 μmol の範囲で推移し、夏から秋は底層にはほとんど光が届いていない状態であった。

③ 採水水温

図5に久栗坂沖及び東田沢沖における採水時の全層平均及び水深別水温を示した。

なお、水深別グラフは、以下全てのグラフについて、各月の最深水深のデータを、海底(久栗坂沖45m、東田沢沖35m)を基準にプロットして表示した。

全層平均水温は、久栗坂沖で4.9-23.1℃、東田沢沖で3.3-24.2℃の範囲で推移し、夏場は成層化により表層で水温は高いが、冬場は鉛直混合により全層でほぼ同じ水温であった。

④ 栄 養 塩

図6、図7に久栗坂沖及び東田沢沖における全層平均及び水深別の窒素塩(硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の合計)と磷酸塩の推移をそれぞれ示した。

全層平均の窒素塩は、久栗坂沖で0.07-2.77 μmol 、東田沢沖で0.05-3.29 μmol の範囲にあり、磷酸塩は、久栗坂沖で0.02-0.30 μmol 、東田沢沖では0.01-0.39 μmol の範囲にあった。窒素塩、磷酸塩とも鉛直混合により11-2月に全層で高い値を示した。

⑤ 基礎生産量

表1に久栗坂沖における擬似現場法と現場法による基礎生産量を示した。

擬似現場法と現場法とでは中層以深でかなりの差が見られ、全体として擬似現場法が高い傾向を示した。このため、各月の擬似現場法の測定値を、各照度別の擬似現場法と現場法の平均比率（1.19－31.26）で補正した。

また、調査日の日照時間による誤差を考慮する必要があるため、気象庁が公表している青森観測点の日別日照時間（図8）を用い、Aruga et al. (1962) の天候別基礎生産比を参考にして、調査日の日照時間を1とした場合の月別平均比率（表2）を求めて基礎生産量を補正した。

図9に久栗坂沖と東田沢沖における単位面積当たり及び水深別の基礎生産量（現場法比較による補正及び日照時間による補正後）の推移を示した。

単位面積当たりで見ると、久栗坂沖では10－1,058 mgC/m²/日の範囲で、鉛直混合期にピークを示し、春から秋にも比較的高い値があり、冬期間は低い値で推移した。東田沢沖では8－298mgC/m²/日の範囲で、鉛直混合期のピークが見られず、久栗坂沖と比較しても全体的に低い傾向を示した。

なお、年平均値では、西湾208mgC/m²/日、東湾89mgC/m²/日となり、1974－1975年の明暗瓶法による調査結果190－270mgC/m²/日と比べても、顕著な差は見られなかった。

⑥ クロロフィルa量

図10に久栗坂沖と東田沢沖における全層平均及び水深別のクロロフィルa量の推移を示した。

全層平均で見ると、久栗坂沖では0.13－5.17 mg/m³の範囲で、鉛直混合時に高い値を示した他、2001年6月の底層で12 mg/m³と非常に高い値を示したのが特徴的であった。東田沢沖では0.11－3.29mg/m³の範囲で、鉛直混合時に高い値を示した。

基礎生産量とは異なり、クロロフィルa量は久栗坂沖も東田沢沖もほぼ同じようなレベルで推移した。

⑦ POC量

図11に久栗坂沖、東田沢沖、蟹田沖における単位面積当たり及び水深別のPOC量の推移を示した。

単位面積当たりでは、久栗坂沖は3,660－11,208mgC/m²、東田沢沖は2,686－8,057 mgC/m²の範囲で、久栗坂沖の方が東田沢沖よりも高い傾向で推移した。

なお、養殖漁場外（蟹田沖）と養殖漁場内（久栗坂沖、東田沢沖）でのPOC量を比較したが、3地区での明瞭な関係は認められなかった。

⑧ 沈降量

表3に久栗坂沖における沈降量調査の結果を示した。

沈降量は38.5－301.9mgC/m²/日の範囲であるが、2001年6月、9月はセジメントトラップの固定位置を海底上2m（通常は10m）としたため、トラップ設置の際に海底の堆積物が巻き上がり、混入した可能性が考えられた。このため、平均値は2001年6月、9月の値を除いて計算した。

⑨ 動物プランクトン（200 μm以上）

図12に200 μm以上の動物プランクトン（肉食性のヤムシ、クラゲを除く）の出現数の推移、組成を示した。

単位面積当たりの出現数は、久栗坂沖では27－1,318×10³個体/m²の範囲で、東田沢沖では3－1,149×10³個体/m²の範囲し、時期や年によって大きく変動する傾向を示した。

種類別に見ると、コペポダ・ノープリウスが優占種（年平均で久栗坂沖63%、東田沢沖63%）となっており、次いで二枚貝・巻貝（同21%、22%）、ホヤ類（同10%、8%）の順となっている。

図13に200 μm以上のコペポダの体長と乾燥重量の関係を示した。体長と乾燥重量には有意な相関が見られたことから、体長別の乾燥重量理論値（表4）を求め、摂餌量計算に必要な乾燥重量への換算に使用した。

図14に動物プランクトンの摂餌量の推移、

組成を示した。

単位面積当りで見ると、久栗坂沖では20－850mgC/m²/日の範囲で、東田沢沖では8－759mgC/m²/日の範囲で推移し、夏にピークがあり、冬から春にかけて低い傾向を示した。

また、種類別に見ると、コペポダ・ノープリウスの摂餌量（年平均で久栗坂沖66%，東田沢沖60%）が最も多く、次いでホヤ類（同11%，11%），その他甲殻類（同7%，11%）の順となっていた。

図15に動物プランクトンの排泄量の推移を示した。

久栗坂沖で7－304mgC/m²/日，東田沢沖で3－270mgC/m²/日の範囲で推移し，摂餌量と同じ傾向を示した。

⑩ 微小動物プランクトン（20－200 μm）

図16に微小動物プランクトンの出現数の推移を示した。

全層平均で見ると，久栗坂沖では19－294個体/ℓの範囲で，東田沢沖では8－427個体/ℓの範囲で推移し，時期や年によって大きく変動する傾向を示した。

種類別に見ると，繊毛虫が優占（年平均で久栗坂沖73%，東田沢沖65%）しており，次いで，コペポダ・ノープリウス（同20%，23%），二枚貝・巻貝（同6%，9%）の順であった。

図17に微小動物プランクトンの摂餌量の推移を示した。

単位面積当りで見ると，久栗坂沖は2－203mgC/m²/日の範囲で，東田沢沖は0－261mgC/m²/日の範囲で推移した。両地点とも夏に高く，冬から春にかけて低い傾向を示した。

種類別に見ると，コペポダ・ノープリウスが優占（年平均で久栗坂沖74%，東田沢沖79%）しており，次いで，繊毛虫（同21%，14%），二枚貝・巻貝（同3%，5%）の順であった。

図18に微小動物プランクトンの排泄量の推移を示した。

久栗坂沖で1－77mgC/m²/日，東田沢沖で0－97mgC/m²/日の範囲で推移し，摂餌量と同じ傾向を示した。

(2) 養殖及び地まきホタテガイ，養殖付着物，底生生物の現存量・摂餌量・排泄量，海藻枯死による有機物添加量，湾外等からの有機物流入量

① 養殖ホタテガイ

図19に養殖ホタテガイ1個体当りの摂餌量，排泄量の推移を示した。

成長とともに摂餌量は増大する傾向にあるが，成熟の影響により1年目5月と2年目4月に一時的に減少するほか，高水温と餌料の減少により1年目10月と2年目10月にも一時的に減少する傾向を示した。排泄量についても，同様の傾向を示した。

図20に，西湾，東湾における養殖ホタテガイの現存個体数，摂餌量，排泄量の推移を示した。

現存個体数は，両湾とも稚貝採取後の9月に最も多く，西湾で902×10⁶個体，東湾で886×10⁶個体となっていた。西湾の方が，養殖貝，中でも0－1年貝の割合が高いのが特徴的である。

摂餌量は，西湾では68－178mgC/m²/日，東湾では37－89mgC/m²/日で推移した。両湾とも，1年貝と2年貝を保有し，かつ，水温の上昇とともにホタテガイの成長が伸びる4月が摂餌量のピークとなっていた。その後は，半成貝や成貝の出荷，水温の上昇による活力低下に伴い，夏期以降の摂餌量は低く推移した。なお，西湾は東湾に比べて漁場面積が約1/2と小さいことや現存個体数が多いことから，単位面積当りの摂餌量はかなり高くなっていた。

排泄量は，西湾は17－56mgC/m²/日，東湾は9－28mgC/m²/日の範囲で推移し，摂餌量と同じ傾向を示した。

② 地まきホタテガイ

図21に地まきホタテガイ1個体当りの摂餌量，排泄量の推移を示した。

成長とともに摂餌量は増大するが、養殖貝と比較すると全体的に摂餌量の増加は緩やかな傾向を示し、摂餌量のピークが10-11月に見られるのが特徴的であった。排泄量も同様の傾向を示した。

図22に、東湾における地まきホタテガイの現存個体数、摂餌量、排泄量の推移を示した。

現存個体数は、秋放流後の12月に 245×10^6 個体と増加し、その後、春放流後の4月に 264×10^6 個体とピークに達した。

摂餌量は、放流漁場毎に見ると0年貝（残存貝含む）が $34-81 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ 、1年貝が $61-236 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ 、2年貝が $80-177 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ で推移した。ホタテガイの成長に伴い1年貝は11月、2年貝は12月にピークに達した。排泄量についても、同様の傾向で推移した。

③ 養殖付着物

図23に養殖付着物の摂餌量、排泄量をそれぞれ示した。

養殖付着物の摂餌量は、西湾は $1.4-115.0 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ の範囲で、6月に非常に大きなピークがあるが、その後減少して9-1月には低い値で推移した。東湾は $0.6-62.1 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ の範囲で、6-8月、11月、3月に高い値を示し、時期的に大きく変動する傾向を示した。排泄量は、西湾は $0.3-34.5 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ 、東湾は $0.2-29.0 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ の範囲で推移し、摂餌量と同様の傾向を示した。

④ 底生生物

図24に、東湾における底生生物の摂餌量、排泄量の推移を示した。

底生生物の生息密度は、1979年には414個体/ m^2 であったが、1983-1995年には平均で226個体/ m^2 と約1/2に減少しており、摂餌量は $11-23 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ 、排泄量は $2-7 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ の範囲と考えられた。

⑤ 海藻の枯死による有機物添加量

東湾の藻場面積は 33 km^2 、東湾の藻場の優占種であるアマモの枯死量は $156 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ であることから、東湾では $5,216,183,221 \text{ mgC/日}$ の有機物が供給されると考えられた。

また、アマモの分解は非常に遅いことから、長期的に見て地まきホタテガイ漁場を含む東湾全域（約 $1,000 \text{ km}^2$ ）に拡散するとすれば、 $5.1 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ の有機物が地まき漁場に添加されるものと考えられた。

⑥ 陸奥湾外、養殖漁場周辺、河川からの有機物流入量

日本海側（十三湖沖）におけるクロロフィルa量は4月に $2-7 \text{ mg/m}^3$ と比較的高い値を示すが、それ以外の時期は 1 mg/m^3 以下であり、陸奥湾と同様のレベルで推移していること（表5）、湾口部におけるクロロフィルa量の収支がごく僅かであることから、陸奥湾外から流入してくる有機物量については、考慮する必要はないものと考えられた。

養殖漁場周辺から養殖漁場内への有機物流入量については、1984-1985年及び1988年調査結果から平均値を求めた結果、西湾で5-10月は $47.59 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ 、10-5月は $21.06 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ 、東湾で5-10月は $27.35 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ 、10-5月は $10.25 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ であった（表6）。

陸奥湾へ流入する河川の平均流量、SS値、炭素含有率、流入有機物量を表7に示した。1日当りの総流入有機物量は $2,183,241,600 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ であり、増養殖漁場（ 589 km^2 ）への流入量は $3.7 \text{ mgC/m}^2/\text{日}$ と試算された。

なお、河川からの流入有機物については、飯泉ほか（2002）の調査結果からすると、ホタテガイの餌料として利用されないと考えられるが、後述の餌料収支計算上はこの値を用いた。

考 察

陸奥湾における養殖及び地まきホタテガイ漁場における有機炭素を指標とした物質循環モデルを図25に示した。

これに基づき、前述の調査結果を用いて、養殖ホタテガイ漁場（表中層）、地まきホタテガイ漁場（底層）の餌料収支をそれぞれ以下のように計算した。

(1) 養殖漁場の餌料収支

養殖ホタテガイ漁場における餌料収支については、単純に月別の収支を計算すると、ブルーミングで基礎生産量が高い時期を除いて、ほとんどがマイナス値となってしまうが、これはホタテガイ等の濾過食者が直接的にはPOCを利用しているためである。このため、以下のような考え方に基づいて補正を行った。

- 翌月のPOC（実測値）は、前月のPOCに基礎生産量等による1ヶ月分の供給量を加算し、摂餌及び沈降による1ヶ月分の消費量を減じた値（推定値）と一致するはずである。
- 翌月のPOCの実測値と推定値が一致（比率1.0）するのが理想的だが、各調査項目にはそれぞれ過大評価、過小評価の部分があるため、誤差を考慮して0.8～1.2の範囲であれば補正を行わない。
- 0.8～1.2を超えた場合は、各調査項目で少しずつ補正を行い、最終的に0.8～1.2の範囲に収まるように補正値を決定した。その際、基礎生産量と養殖ホタテガイは試算値±0.2以内（実測値や現存量から求めた値のため）、動物プランクトンは試算値-0.5以内（過大評価の可能性があるため）、それ以外の項目は試算値±1.0（誤差が大きい可能性があるため）とした。

図26に補正後の餌料収支の状況を示した。収入（餌料供給量）については、両湾とも基礎生産量による添加が最も大きな割合を占めており、全体的に東湾よりも西湾の方が高い傾向を示した。

支出（餌料消費量）については、動物プランクトンの摂餌量が相対的に多く、時期別に見ると夏場はかなり高い傾向を示した。ホタテガイの摂餌量は2～4月がピークになっているが、この時期に摂餌圧の高い1年貝（半成貝）を大量に抱えたと、餌料環境の悪い年や出荷が遅れた場合などには、動物プランクトンとの餌料競争が生じることにより、歩留りの低下や夏場のへい死を招く危険性が考えられた。

(2) 地まき漁場の餌料収支

地まきホタテガイ漁場については、底質中のPOC量や有機物の分解・還元量に関するデータが不足していることから、月別の収支状況をそのまま示した（図27）。

0年貝の漁場では月別に見ると餌料供給量が常に上回っているが、1年貝漁場では10～3月に、2年貝漁場では4月及び9～12月に餌料消費量の方が上回っている。

餌料の不足分については堆積物中の有機物を利用していると考えられ、仮に1年単位で収支を比較した場合、0年貝漁場では51mgC/m²/日、1年貝漁場では3 mgC/m²/日、2年貝漁場では2 mgC/m²/日になる。

底質中のPOC量や有機物の分解・還元量に関するデータが不足していることから、試算結果の検証は難しいが、山本（1973）は陸奥湾におけるホタテガイの最大生息密度（採捕時）を6個体/m²と報告しており、これに対して現在の東湾の放流数は3.7～7.3個体/m²（1999～2001年）、採捕時密度は2.2～4.1個体/m²となっている。このような生産の現状が、地まきホタテガイの成長や歩留りを考慮して各漁協が放流数を減らした結果であることを考えれば、現在の適正放流数は6個体/m²が妥当であると考えられる。

(3) 適正収容量について

現在の陸奥湾における養殖規制値は10月時点では14億1,202万個体であるのに対して、現状では18億7,558万個体のホタテガイが湾内に収容されている。

また、養殖ホタテガイ実態調査における幹綱1m当りのホタテガイ収容密度は年々増加傾向にあり、2002年春季実態調査では過去最高の599個体/mを記録するなど、依然として過密養殖が進行している状況にある。

養殖実態調査における幹綱1m当りのホタテガイ収容密度と軟体部歩留りには逆相関が見られ、生産枚数を増やしても生産量は増加しないこと、さらに、生産量の増加により単価が下がり、生産金額が伸びないということが、これま

でも様々な会議等で報告されている。

こうしたことから、生産金額の減少を数量でカバーしようとする現状の経営戦略は早急に見直す必要があり、現状の増養殖個体数18億7,558万個体については大幅に削減すべきものと考えられる。

今回の調査結果を基に、①養殖ホタテガイの月別摂餌量がマイナスにならない、②地まきホタテガイは現状維持、③業界が推奨している半成貝、新貝の年間生産量はそれぞれ2万トン、2万7,000トン以内、といった設定条件により10月における適正収容量を試算したところ13億6,199万個体という結果が得られた(表8)。

前述のとおり個体数を増やしても歩留り低下と単価低迷という悪循環に陥る危険性があることを踏まえると、陸奥湾におけるホタテガイの持続的安定生産のためには、今回の試算値を一目標として推進していくべきものとする。

要 約

陸奥湾の西湾、東湾それぞれ1点で毎月1回、餌料環境を把握するため基礎生産量(13C法)、POC量、クロロフィルa量、栄養塩の測定を行った他、ホタテガイと餌料競合関係にある動物プランクトンの現存・摂餌・排泄量の調査、表層から底層への有機物沈降量調査を行った。また、ホタテガイ、養殖付着物、底生生物の現存・摂餌・排泄量、海藻類の枯死による有機物添加量、養殖漁場外や河川からの有機物流入量について、既存データを用いて試算した。これらの調査結果を用いて、陸奥湾の西湾・東湾における養殖・地まきホタテガイを中心とした月別餌料収支をそれぞれ計算し、ホタテガイの適正収容量を求めた。

この結果、陸奥湾における10月時点でのホタテガイ現存量は18億7,558万個体と考えられ、これに対して、ホタテガイ適正収容量は、養殖貝が稚貝で8億2,389万個体、1年貝で2億3,576万個体、地まき貝が稚貝で1億3,954万個体、1-2年貝で1億6,280万個体、合計で13億6,199万個体と考えられた。

謝 辞

本研究にあたり、環境収容力調査全般に関する御指導を頂いた元独立行政法人中央水産研究所の松川康夫氏、毎月のサンプリングに御協力頂いた平内町漁業協同組合東田沢研究会の会員、基礎生産量分析への御協力を頂いた独立行政法人北海道水産研究所の葛西広海研究員、動物プランクトン摂餌量に関する御指導を頂いた独立行政法人東北水産研究所の神山孝史室長、齊藤宏明室長に心から感謝申し上げます。

文 献

- 青森県. 1998. 公共用水域及び地下水の水質測定結果. 青森県環境生活部環境政策課, 429pp.
- 青森県水産増殖センター. 1983-1995. 陸奥湾漁場保全対策基礎調査.
- 青森県水産増殖センター. 1985-2000. 陸奥湾海況自動観測. 青水増事業報告書, 16-31号.
- 青森県水産増殖センター. 1991-1993, 1996-2001. ホタテガイ天然採苗予報調査. 青水増事業報告書, 22-24号, 27-31号.
- 青森県水産増殖センター. 1997-2001. ホタテガイ垂下養殖実態調査. 青水増事業報告書, 28-32号.
- 青森県水産増殖センター. 1997-2000. ホタテガイ増殖漁場評価試験. 青水増事業報告書, 28-31号.
- 青森県水産増殖センター. 1997-2001. 地まき増殖ホタテガイ実態調査. 青水増事業報告書, 28-32号.
- 青森県水産増殖センター. 2000. 陸奥湾藻場・水産資源マップ作成調査: CD-ROM.
- Aruga, Y. and M. Monsi. 1962. Primary production in the northwestern parts of Pacific off Honshu, Japan. J. Oceanogr. Soc. Jap., 18: 85-94.
- Bense, K. 1974. On the interpretation of data for the carbon-to-nitrogen ratio of phytoplankton. Limnology and Oceanography, 19: 695-699.
- Bonchdanský, A. B. and D. Deibel. 1999. Measurement of in situ clearance rates of *Oikopleura vanhoeffeni* (Appendicularia: Tunicata) from tail beat frequency, time spent feeding and individual body size. Marine Biology, 133: 37-44.
- Conover, R. J. 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. Limnology and Oceanography, 11: 338-345.
- Fuji, A. and M. Hashizume. 1974. Energy budget for a Japanese common scallop *Patinopecten yessoensis* (Jay), in Mutsu Bay. Bull. Fac. Fisher. Hokkaido University, 25

- (1) : 7-19.
- Hama, T. 1997. Biogeochemical processes in the North Pacific. S. Tsunogai (ed.), Japan Marine Science Foundation, Tokyo : 187-191.
- 林 政博・瀬古慶子. 1986. アコヤガイの種苗生産について. 三重県水産技術センター研究報告, 1 : 39-68.
- Hensen, P. J., Bjornsen, P. K. and B.W. Hansen, 1997. Zooplankton grazing and growth : Scaling within the 2-2,000 μm body size range. *Limnology and Oceanography*, 42 : 687-704.
- 平野 忠ほか. 1986. 二枚貝養殖漁場における適正収容力に関する研究. 青森県水産増殖センター, 36pp.
- 飯泉 仁・鈴木健吾. 2002. 厚岸湖生態系における安定同位体比の分布. 月刊海洋, 34 : 412-416.
- Ikeda, T. and S. Motoda. 1978. Estimated zooplankton production and their ammonia excretion in the Kuroshio and adjacent seas. *Fishery Bulletin*, 76 : 357-367.
- 工藤敏博ほか. 1999. ホタテガイ種苗の種苗性評価及び改善に関する研究 (1996-1998年報告書). 青森県水産増殖センター, 82pp.
- 蔵田 護. 1996. オホーツク海における放流ホタテガイの呼吸量. 北海道立水産試験場研究報告, 49 : 7-13.
- 馬久地隆幸. 1982. イタヤガイ幼生の捕食, 消化時間. 広島県水産試験場研究報告, 12 : 1-8.
- Müller, H. and W. Geller. 1993. Maximum growth rates of aquatic ciliated protozoa : the dependence on body size and temperature reconsidered. *Archiv für Hydrobiologie Beiheft Ergebniss der Limnologie*, 126 : 315-327.
- 西田修三. 2002. 陸奥湾における流動構造の不定性と突発的水交換機構の解明と発生予測, 基盤研究C (No. 11650528) 研究成果報告書, 173pp.
- 小倉大二郎ほか. 1989. 二枚貝主要海域における漁場生産力に関する研究 (1987年報告書). 青森県水産増殖センター, 38pp.
- サロマ湖ホタテガイ・カキ養殖許容量調査専門委員会. 1999. サロマ湖におけるホタテガイ・マガキ養殖許容量調査報告書, 20pp.
- 佐藤恭成ほか. 1993. 陸奥湾における養殖ホタテガイの成長と環境要因 (ホタテガイの生理的活力の判定に関する研究). 青水増事業報告書, 22 : 185-203.
- 山本護太郎. 1973. 底生生物の生産. 山本護太郎編, pp.153-154. 海洋学講座 9, 海洋生態学, 東京大学出版会.
- 吉田 達ほか. 2002. ホタテガイ健康評価と養殖技術の改善に関する研究 (1999-2001年報告書). 青森県水産増殖センター, 70pp.

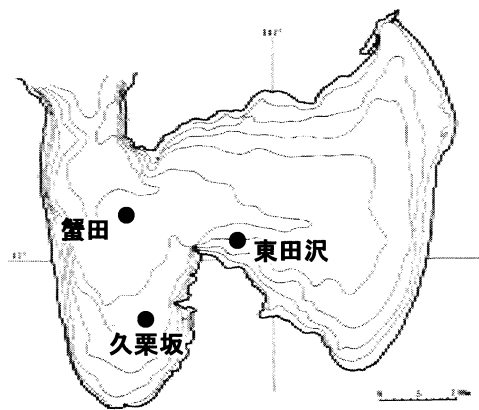


図1 基礎生産量等の調査地点

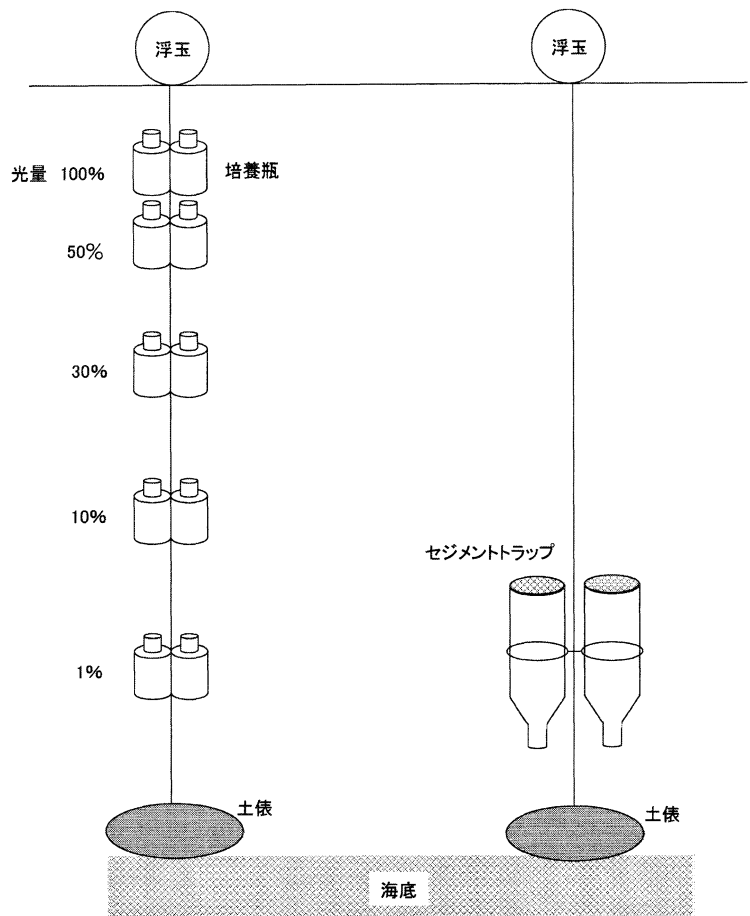


図2 基礎生産量（現場法）及び沈降量調査方法

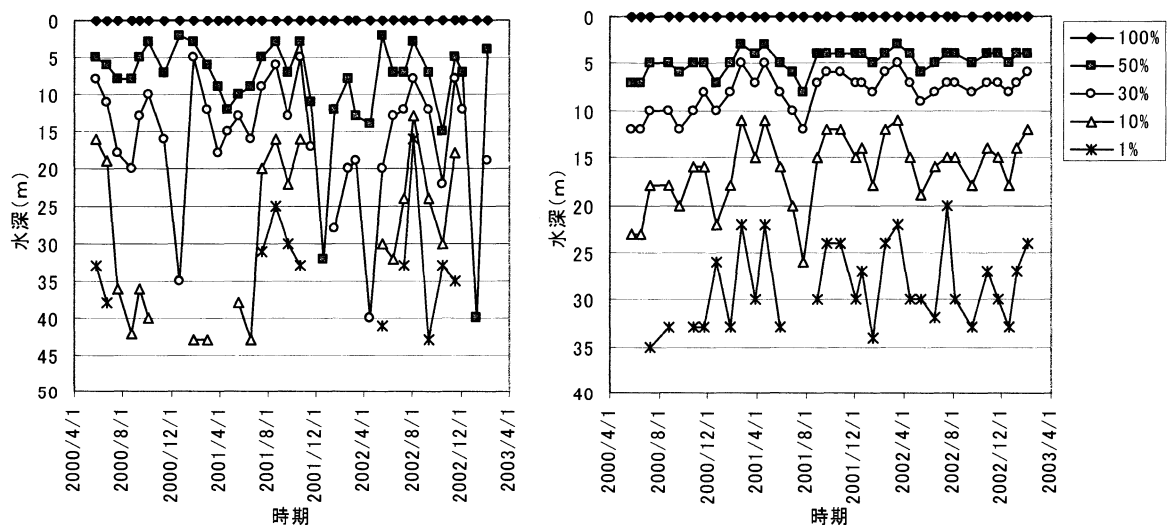


図3 採水水深の推移（左が久栗坂沖，右が東田沢沖）

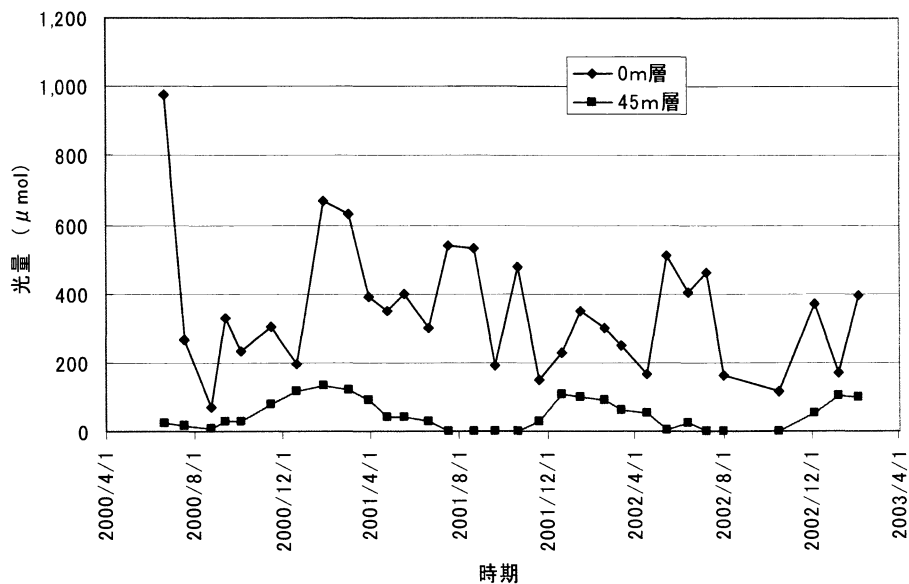


図 4-1 久栗坂沖における採水時の表層 0 m と底層 45 m の光量

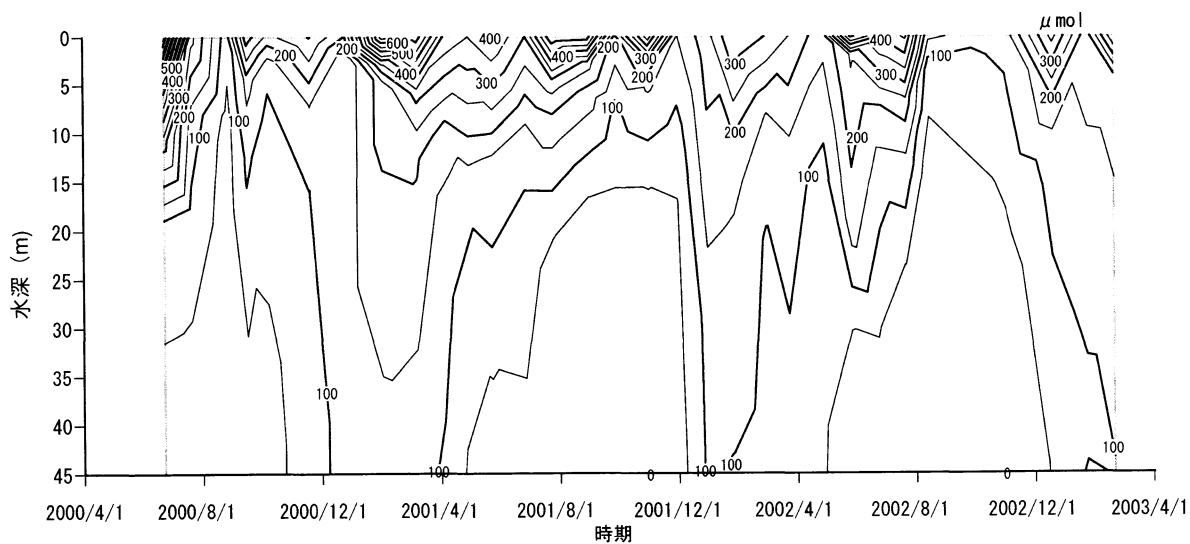


図 4-2 久栗坂沖における採水時の水深別光量

陸奥湾におけるホタテガイ適正収容量

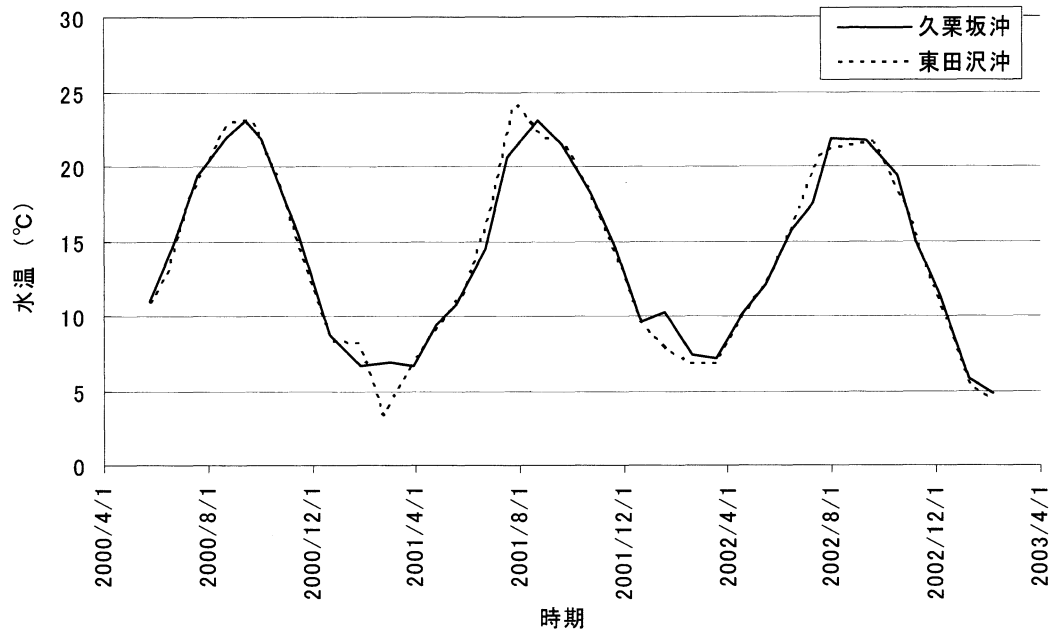


図 5 - 1 全層平均の採水水温の推移

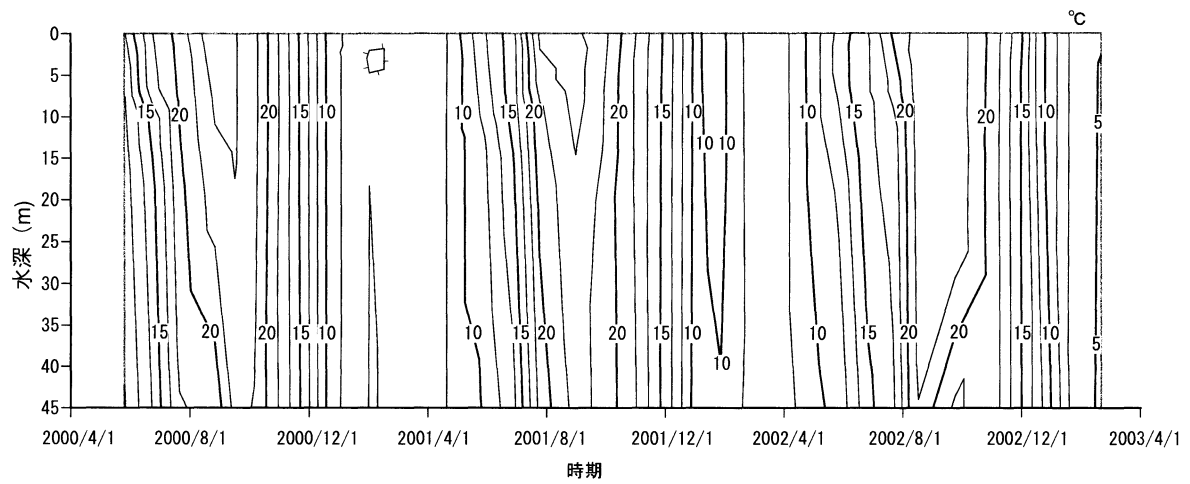


図 5 - 2 水深別の採水水温の推移 (久栗坂沖)

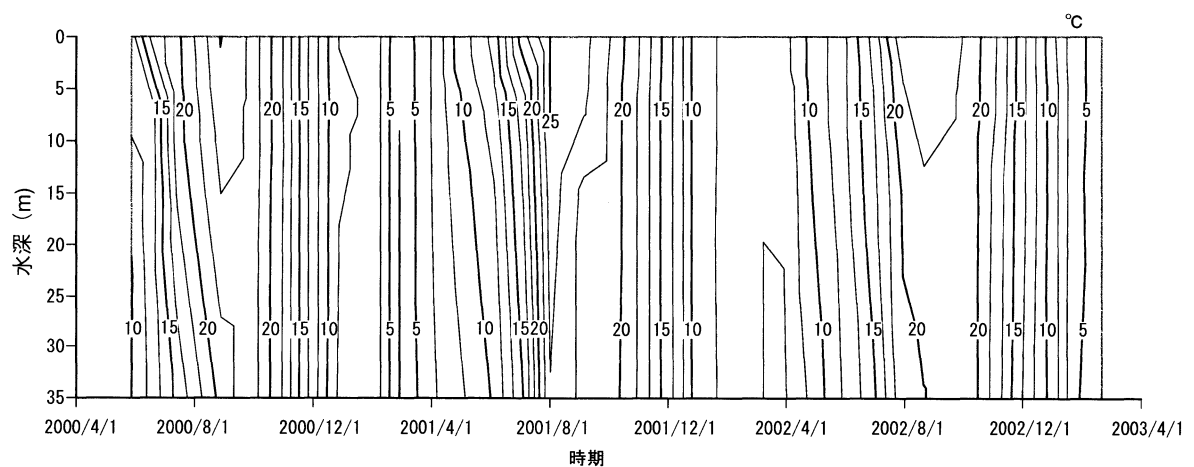


図 5 - 3 水深別の採水水温の推移 (東田沢沖)

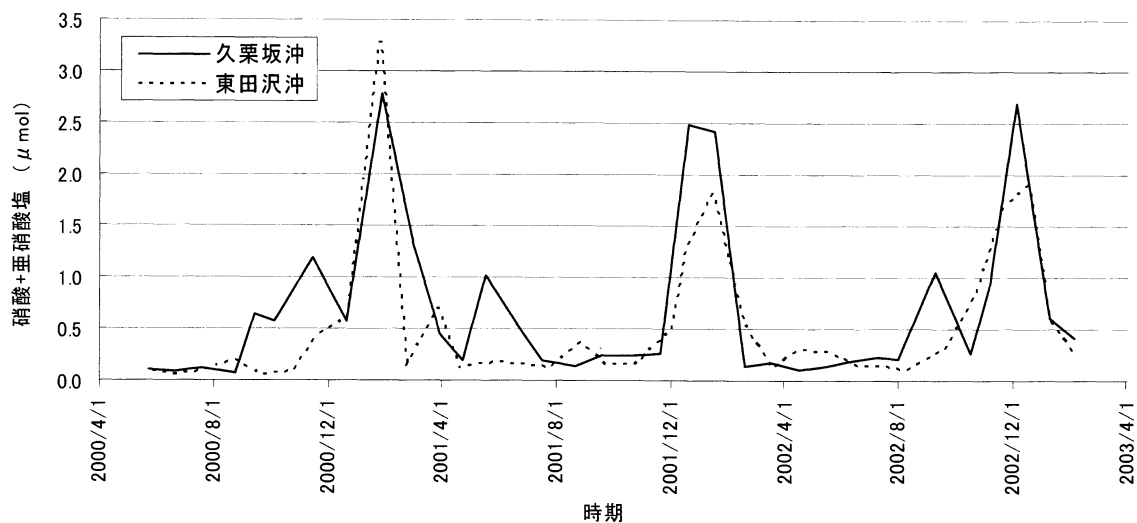


図 6-1 全層平均の硝酸及び亜硝酸塩の推移

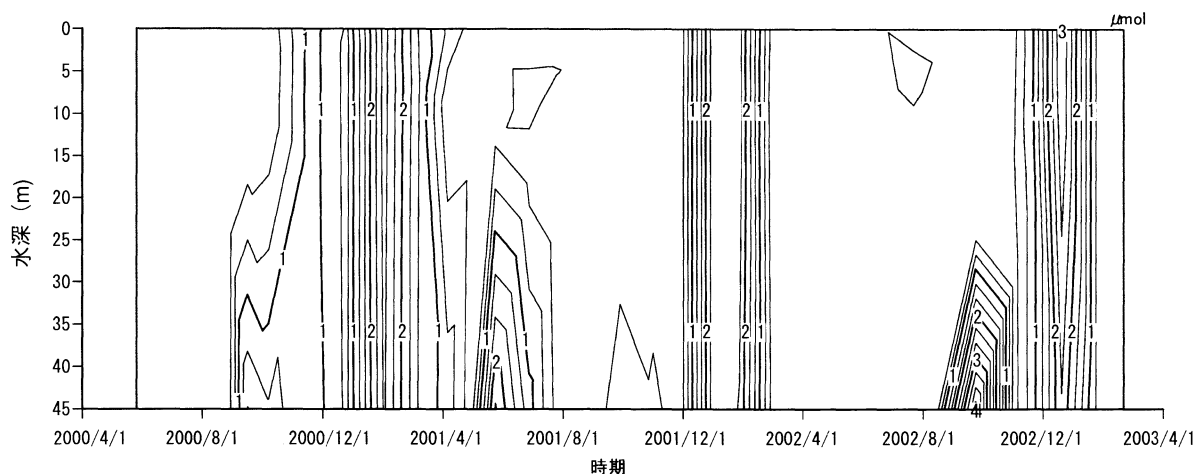


図 6-2 水深別の硝酸及び亜硝酸塩の推移 (久栗坂沖)

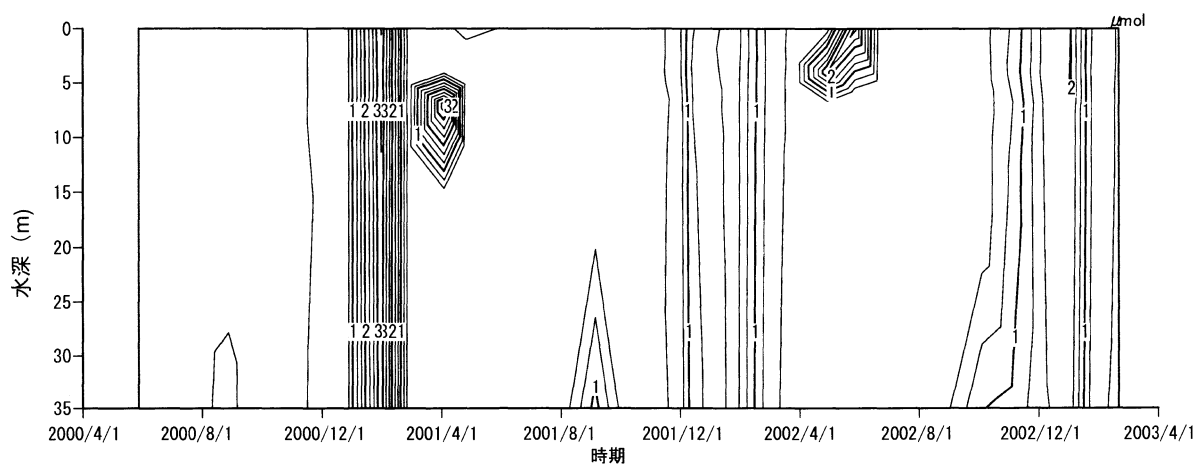


図 6-3 水深別の硝酸及び亜硝酸塩の推移 (東田沢沖)

陸奥湾におけるホタテガイ適正収容量

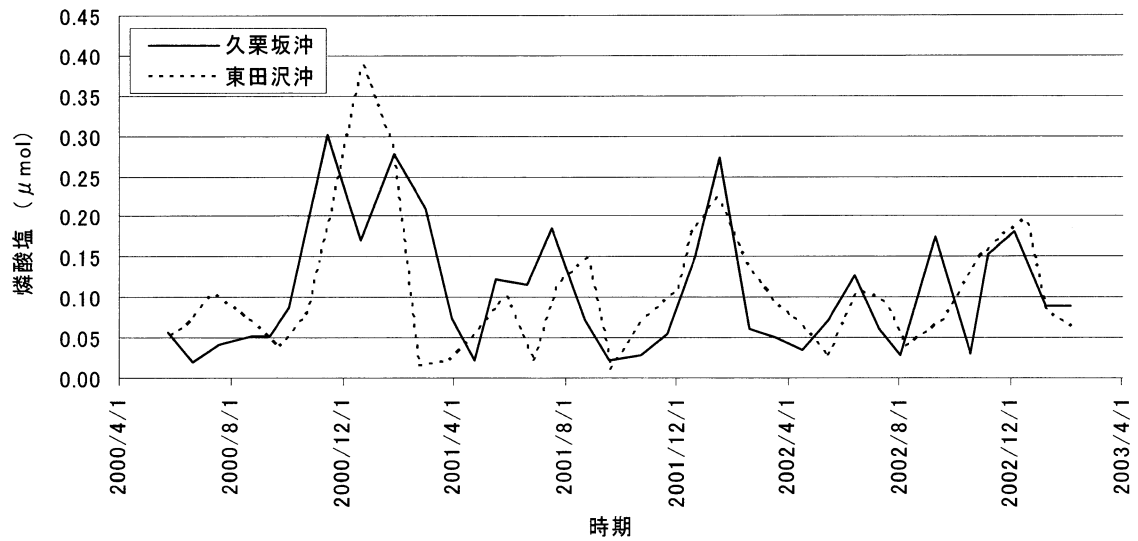


図 7-1 全層平均の磷酸塩の推移

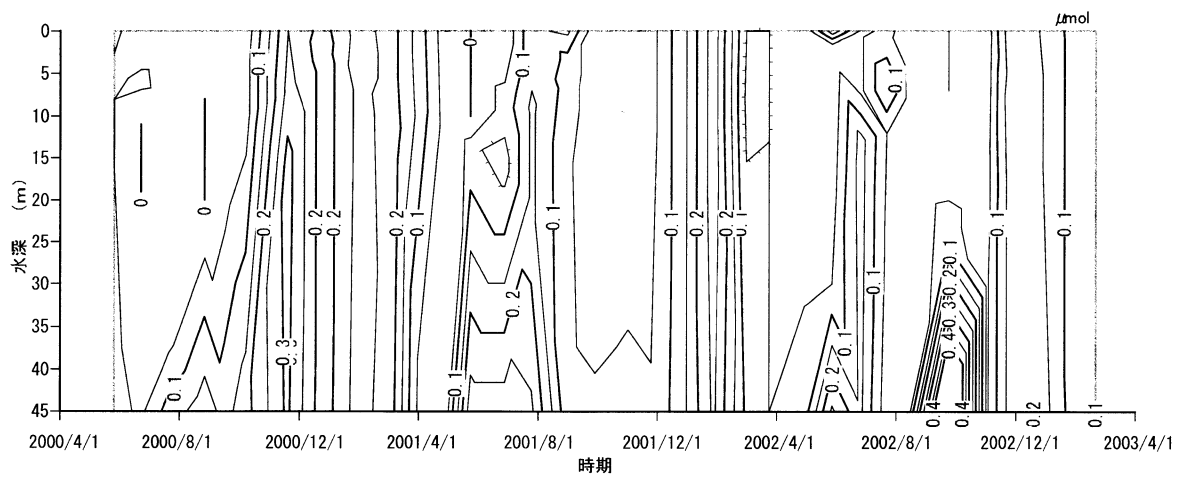


図 7-2 水深別の磷酸塩の推移 (久栗坂沖)

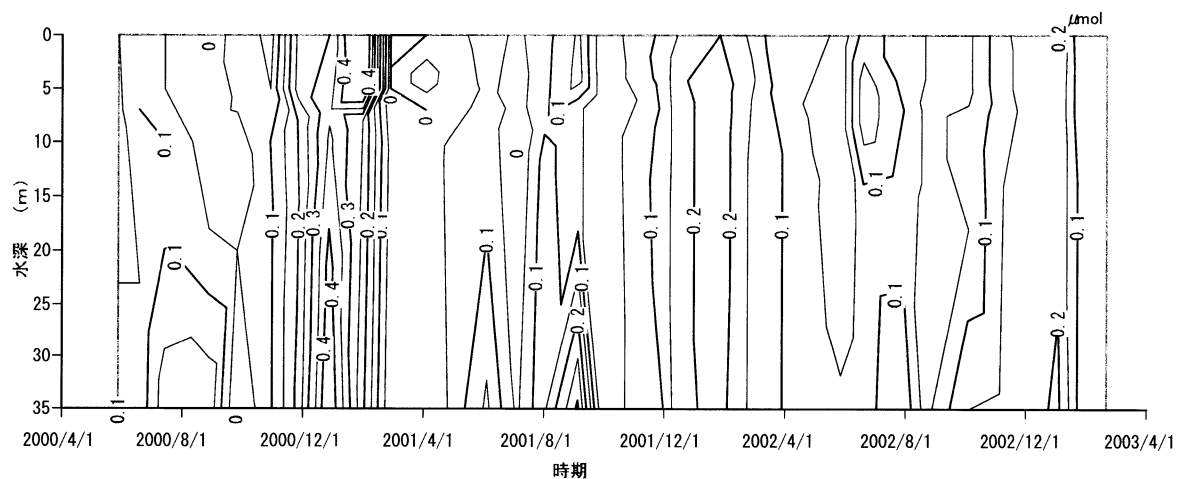


図 7-3 水深別の磷酸塩の推移 (東田沢沖)

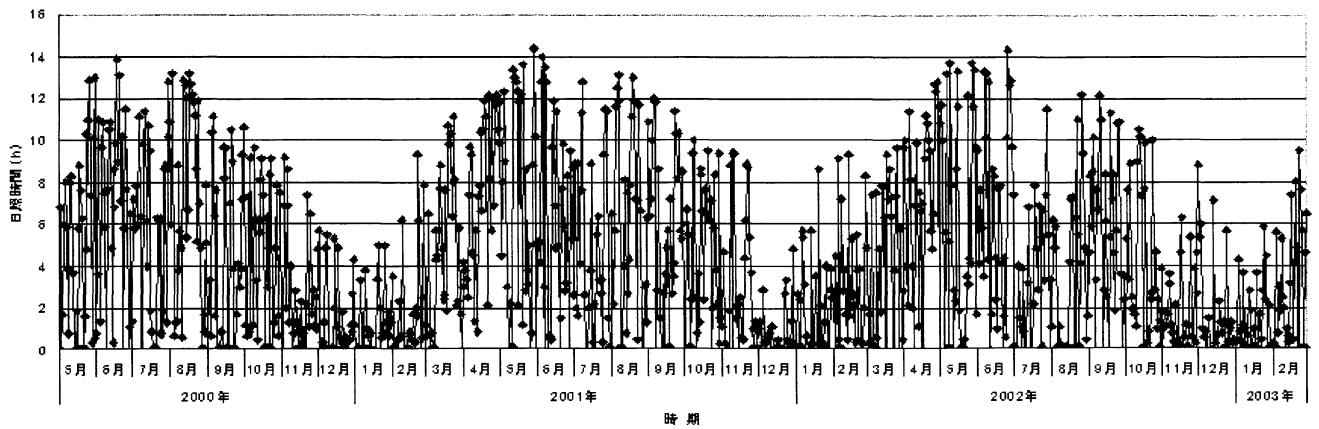


図8 気象庁青森観測点における日別日照時間の推移

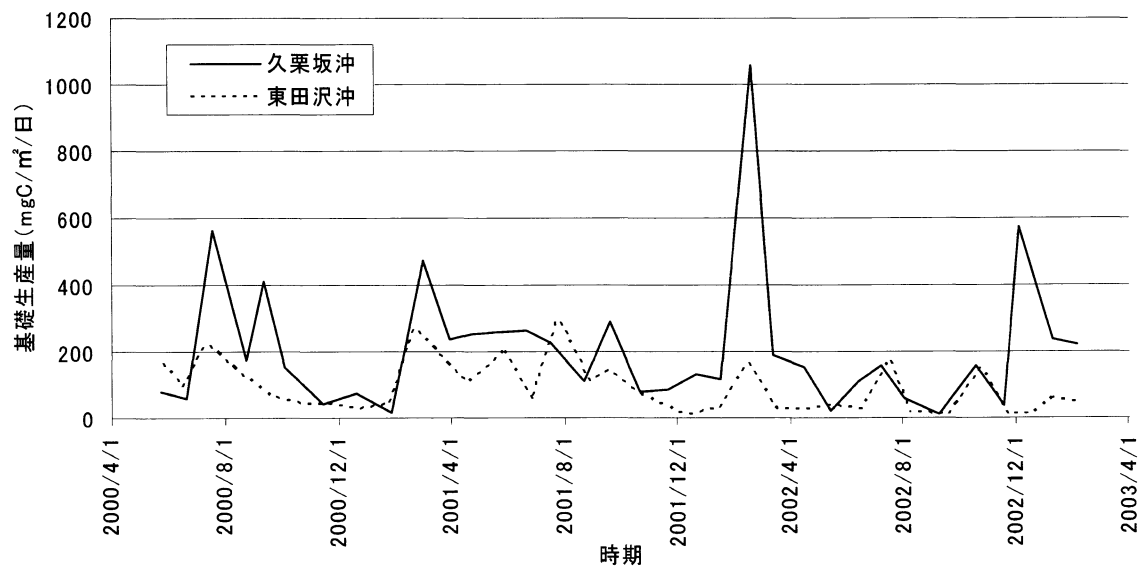


図9-1 単位面積当りの基礎生産量の推移

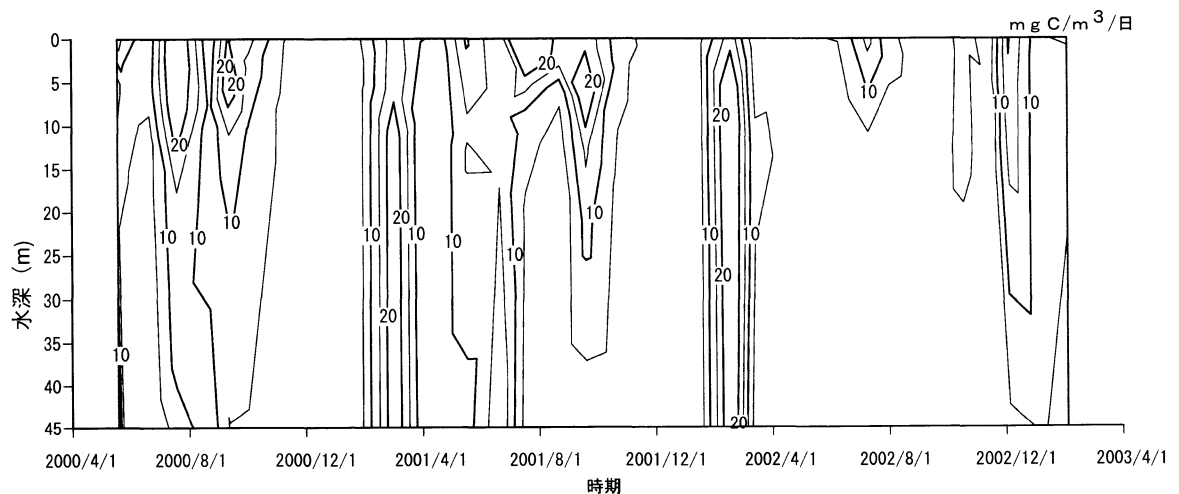


図9-2 水深別の基礎生産量の推移（久栗坂沖）

陸奥湾におけるホタテガイ適正収容量

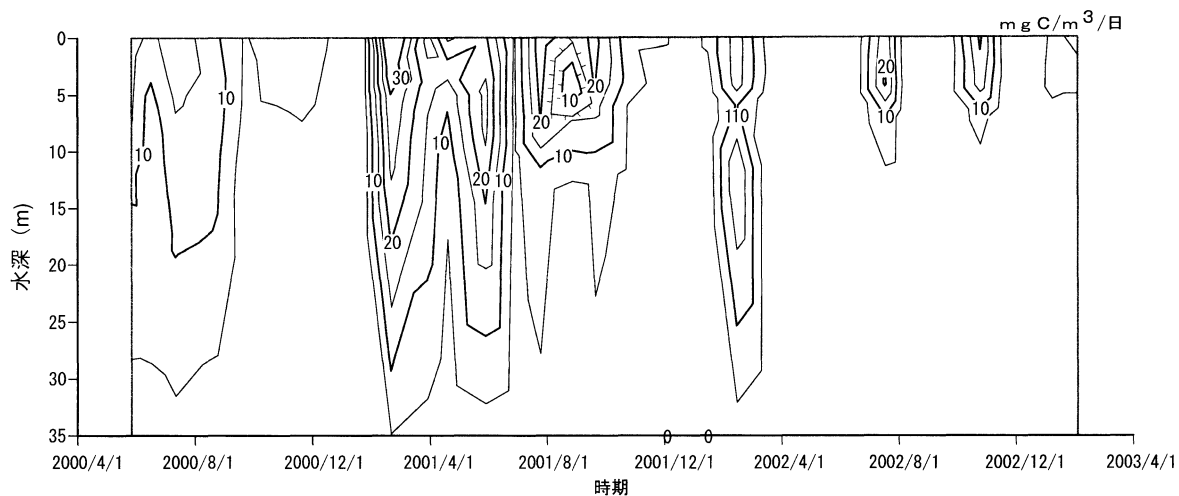


図 9 - 3 水深別の基礎生産量の推移 (東田沢沖)

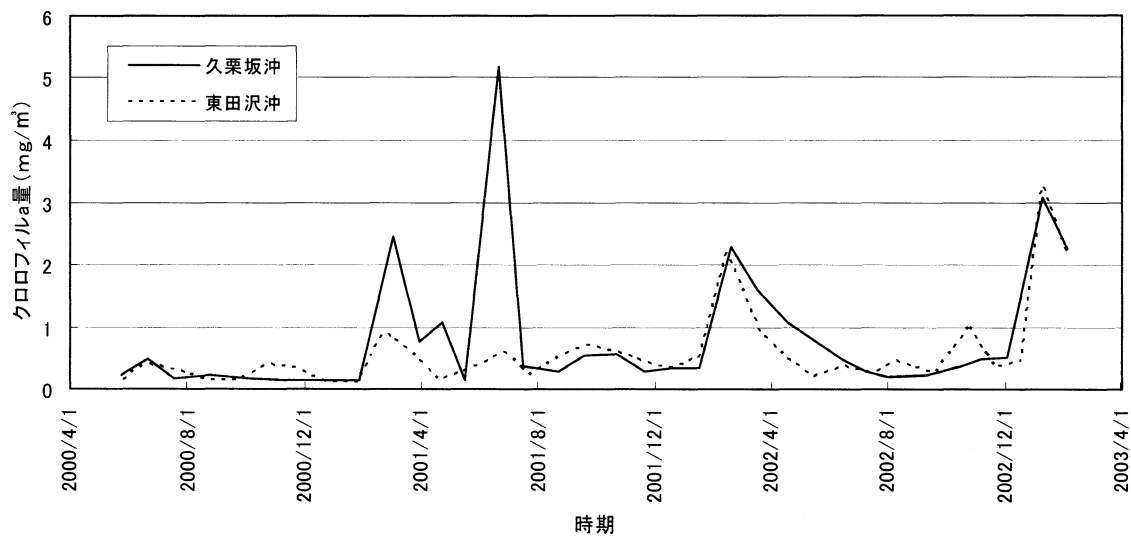


図10-1 全層平均のクロロフィルa量の推移

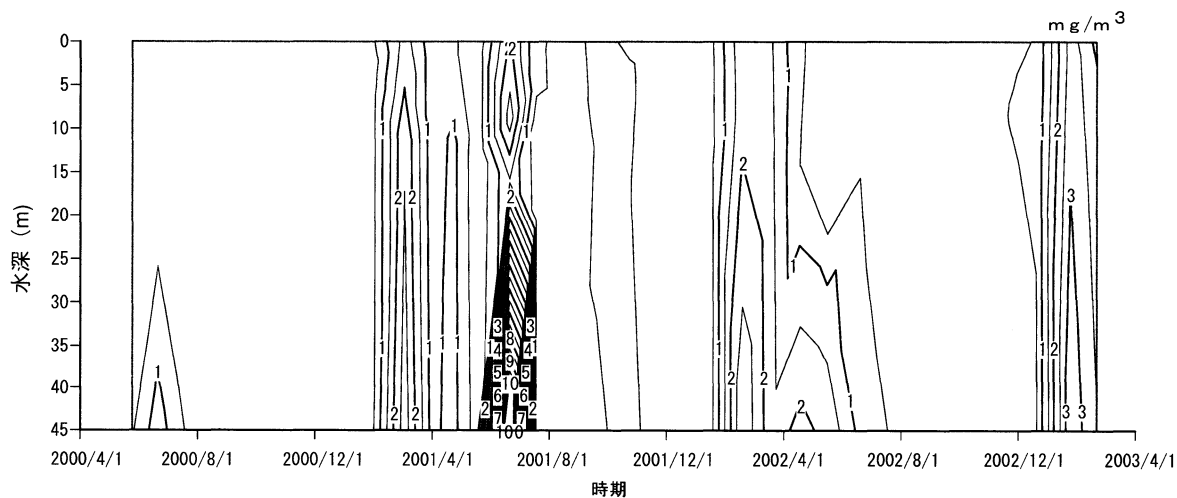


図10-2 水深別のクロロフィルa量の推移 (久栗坂沖)

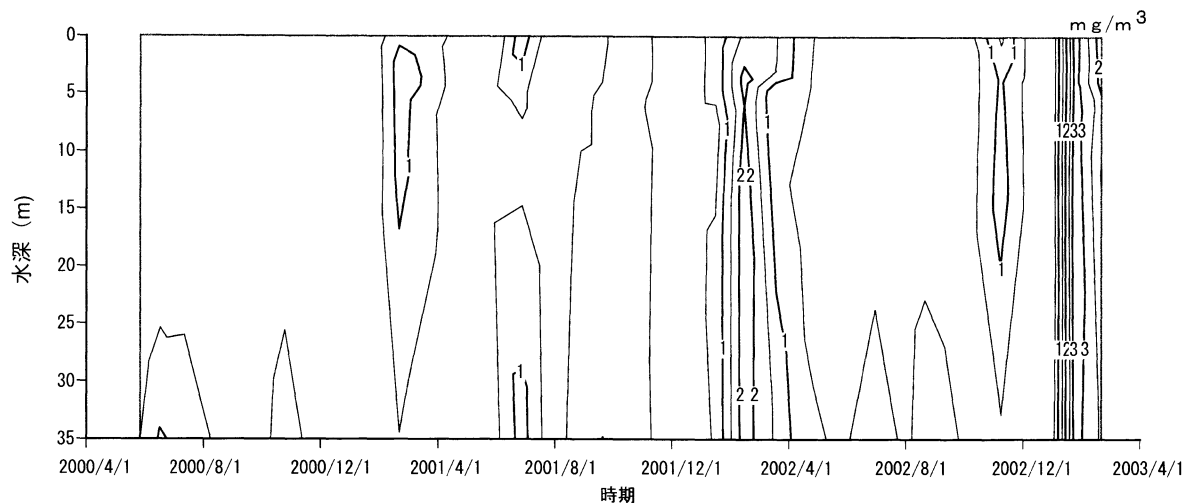


図10-3 水深別のクロロフィルa量の推移（東田沢沖）

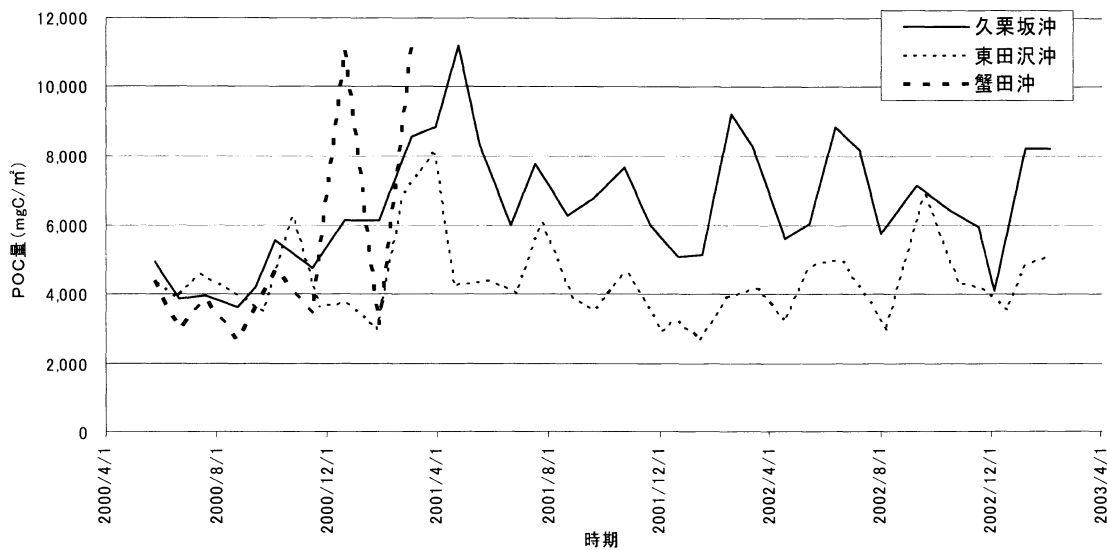


図11-1 単位面積当りのPOC量の推移

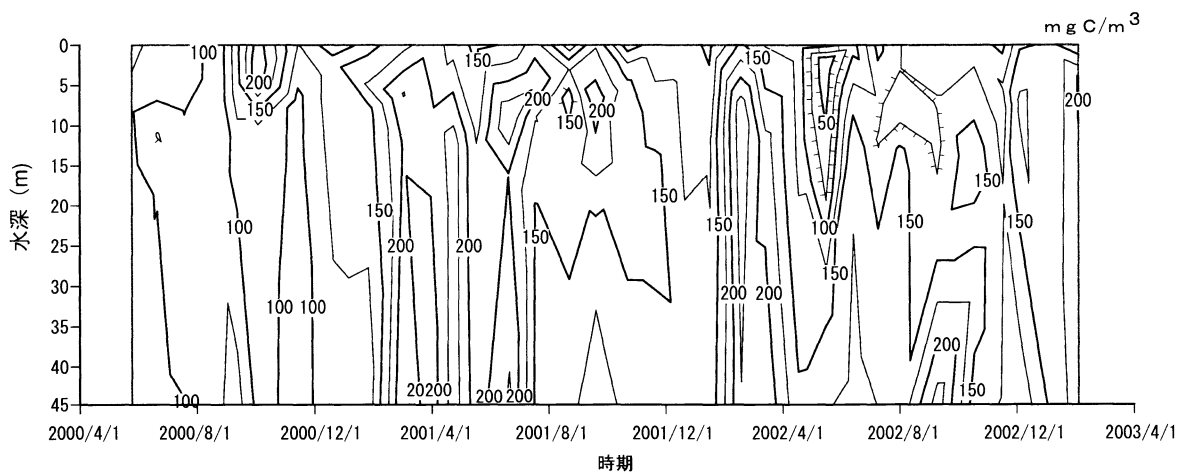


図11-2 水深別のPOC量の推移（久栗坂沖）

陸奥湾におけるホタテガイ適正収容量

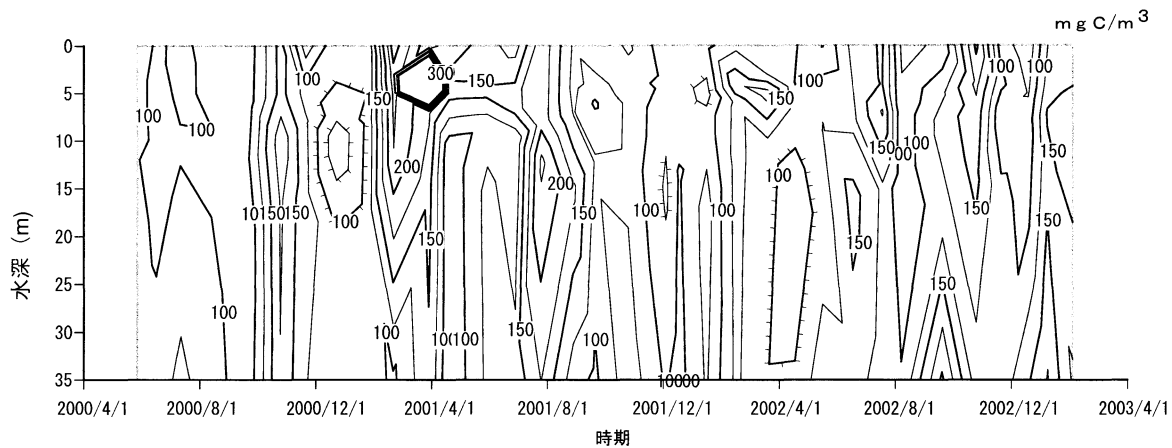


図11-3 水深別のPOC量の推移（東田沢沖）

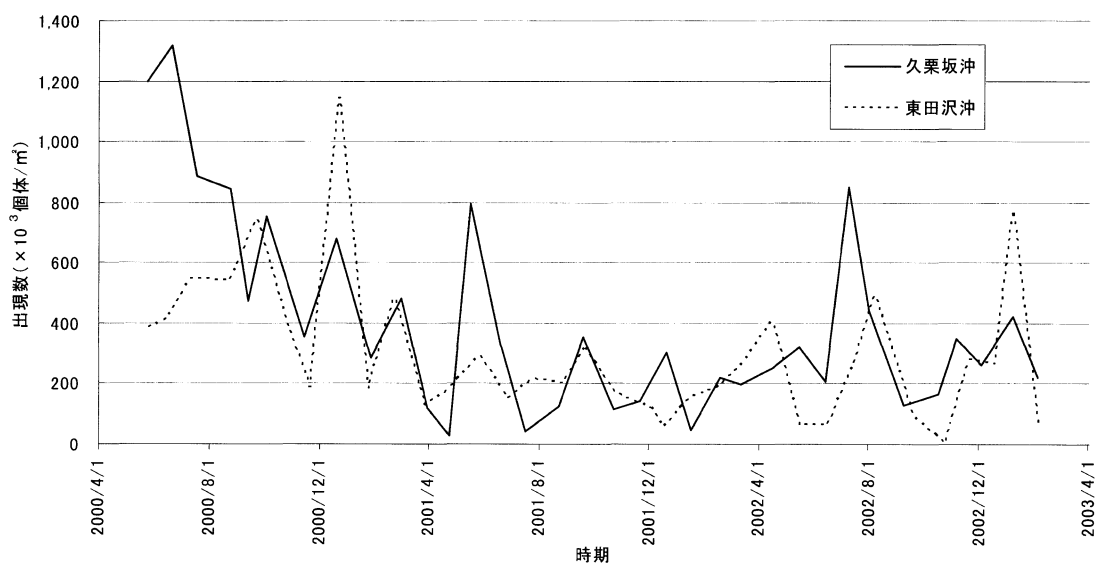


図12-1 単位面積当りの動物プランクトン（200 μ m以上）の出現数の推移

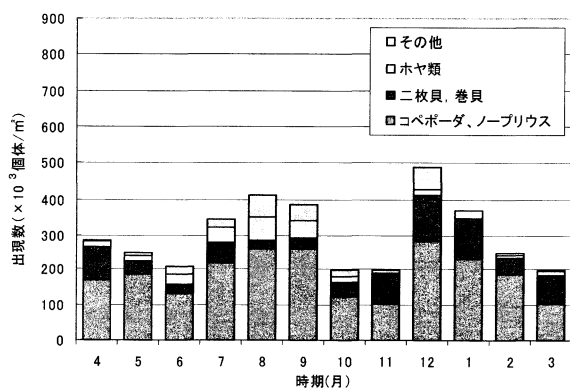
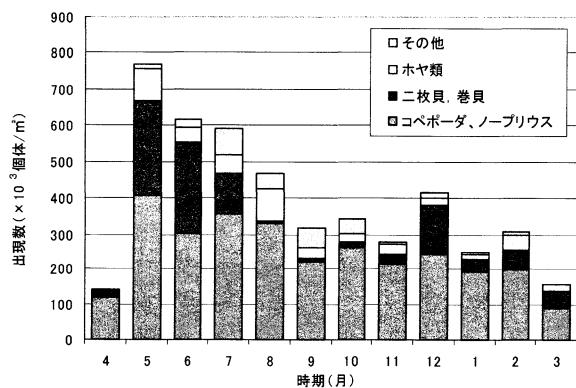


図12-2 種類別の動物プランクトン（200 μ m以上）の出現数の推移（左が久栗坂沖，右が東田沢沖）

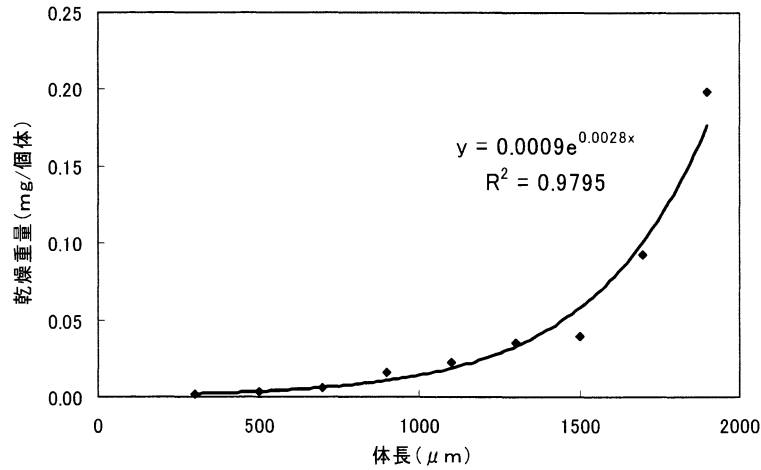


図13 コペポダの体長と乾燥重量の関係

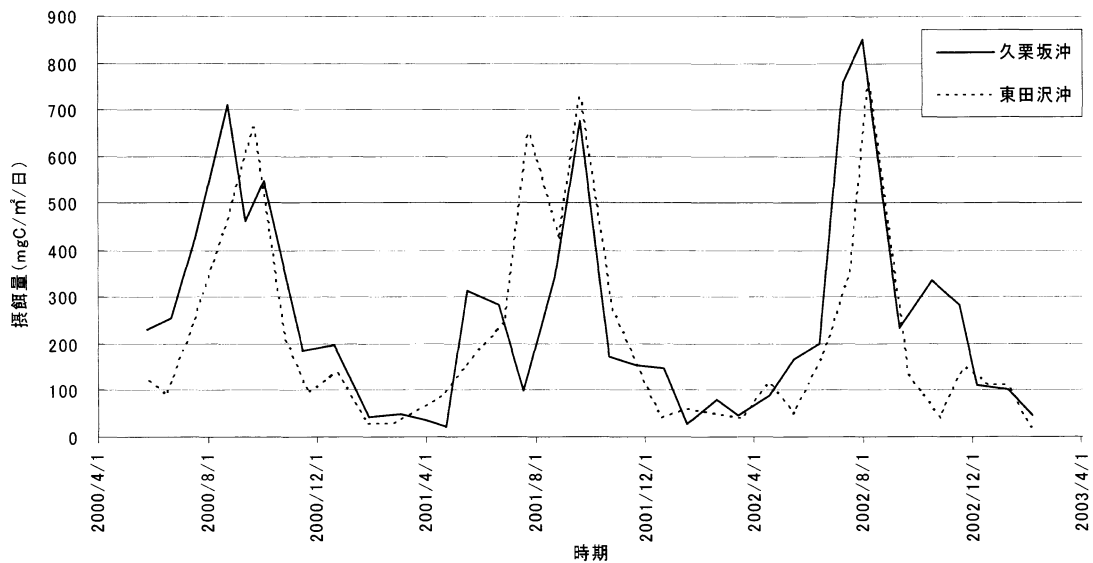


図14-1 単位面積当りの動物プランクトン (200 μm以上) の摂餌量の推移

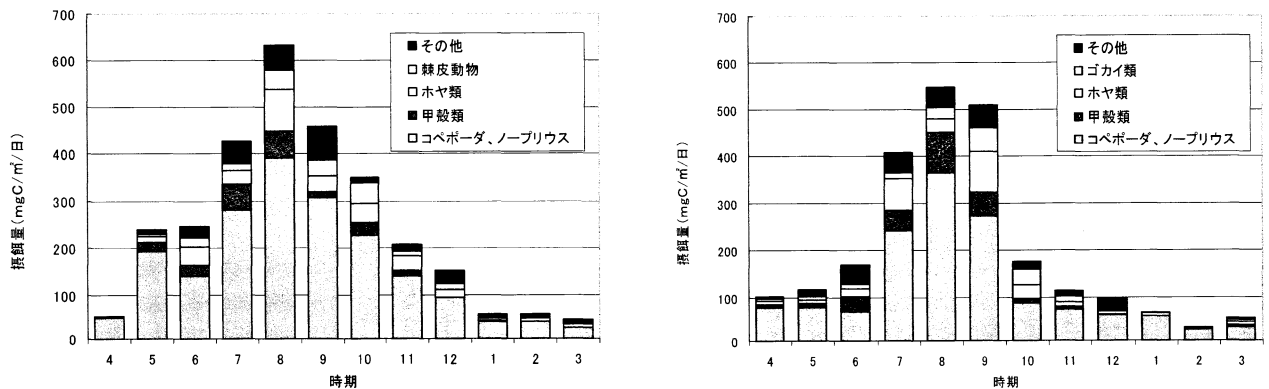


図14-2 種類別の動物プランクトン (200 μm以上) の摂餌量の推移 (左が久栗坂沖, 右が東田沢沖)

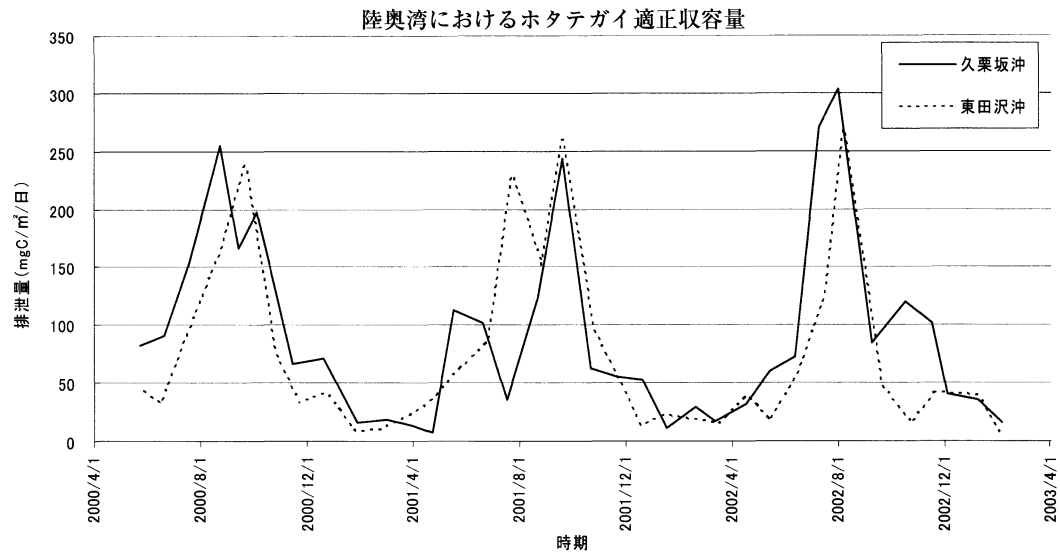


図15 単面積当りの動物プランクトン（200 μ m以上）の排泄量の推移

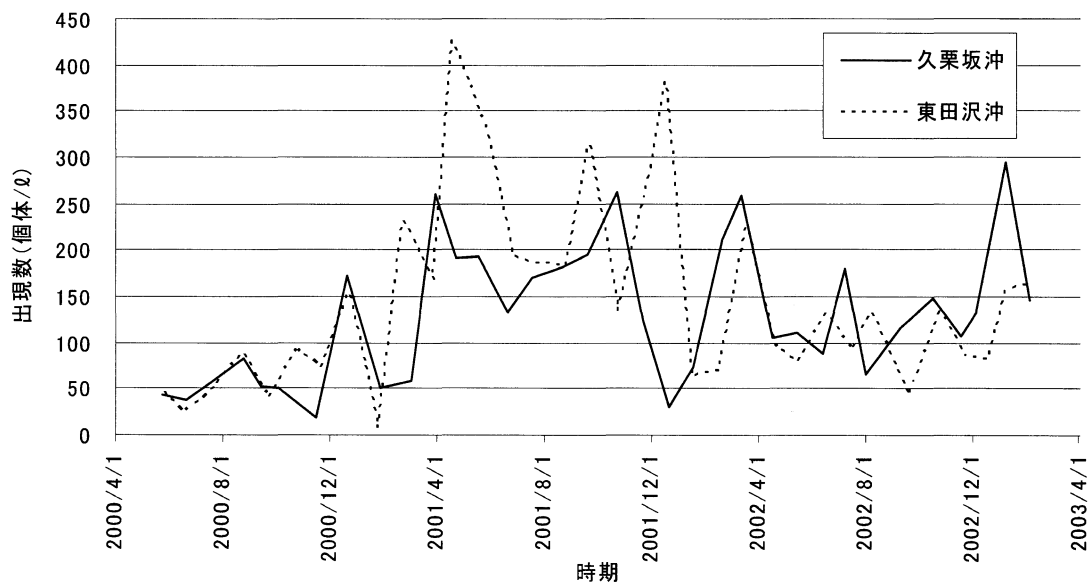


図16-1 全層平均の微小動物プランクトン（20–200 μ m）の出現数の推移

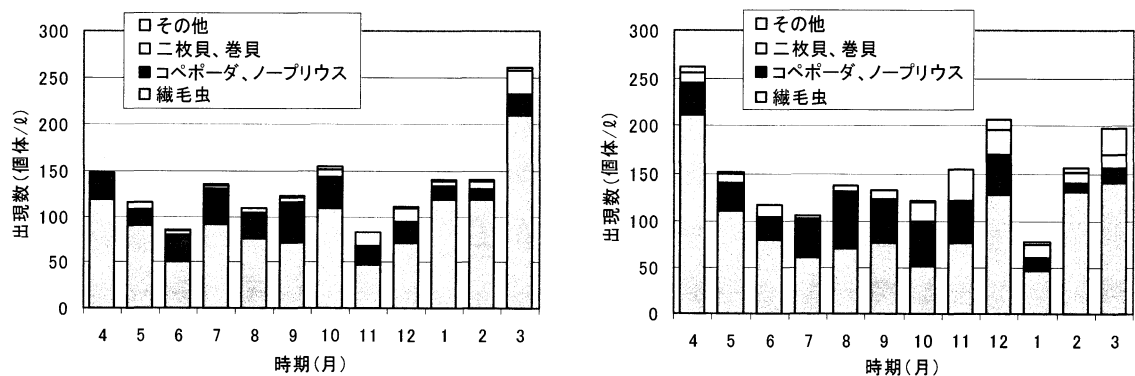


図16-2 種類別の微小動物プランクトン（20–200 μ m）の出現数の推移（左が久栗坂沖，右が東田沢沖）

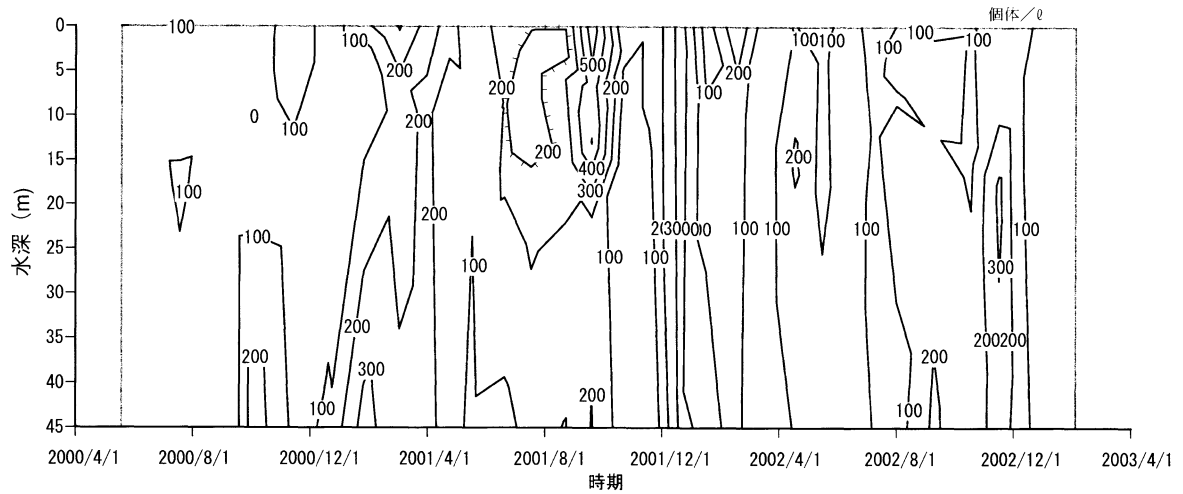


図16-3 水深別の微小動物プランクトン (20-200 μ m) の出現数の推移 (久栗坂沖)

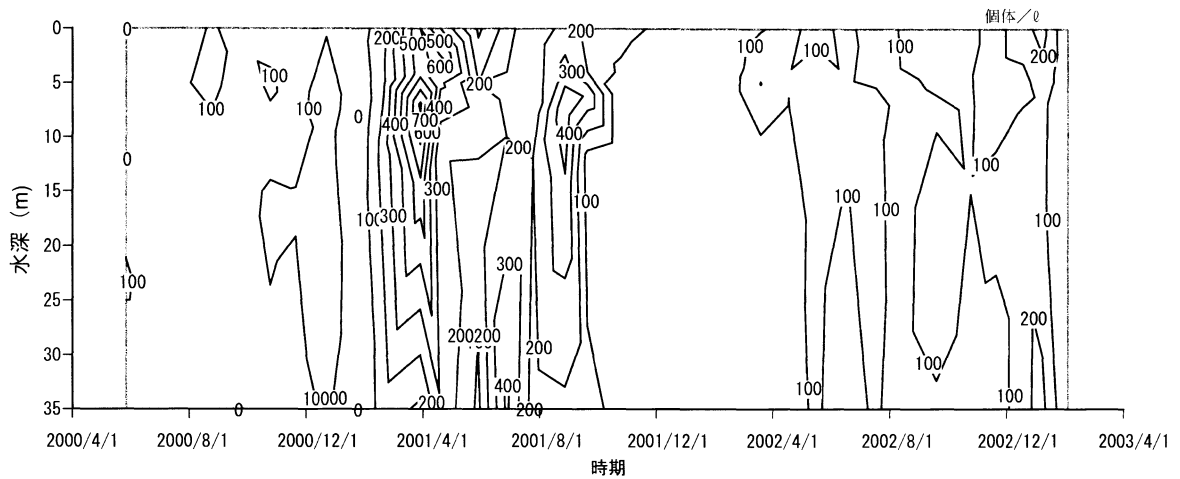


図16-4 水深別の微小動物プランクトン (20-200 μ m) の出現数の推移 (東田沢沖)

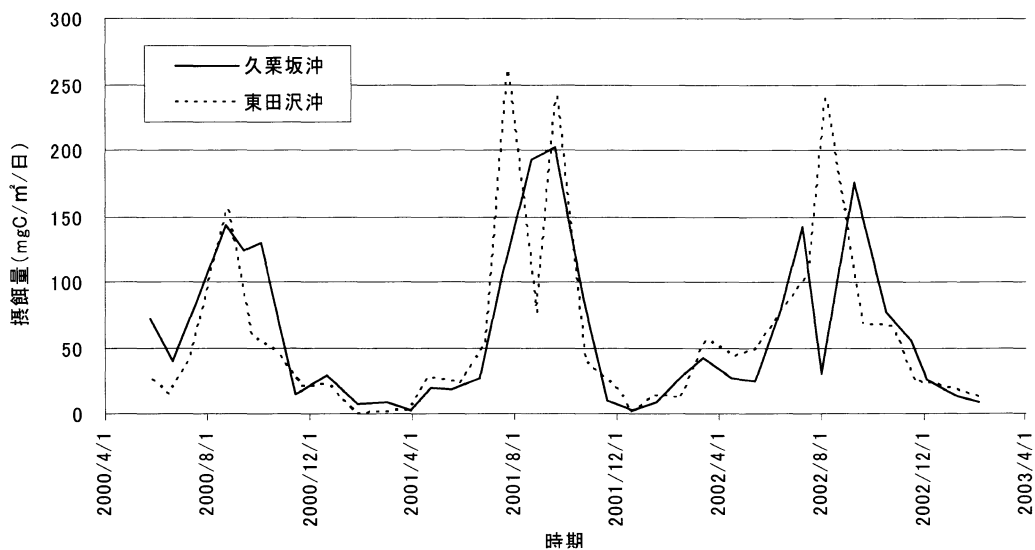


図17-1 単位面積当りの微小動物プランクトン (20-200 μ m) の摂餌量の推移

陸奥湾におけるホタテガイ適正収容量

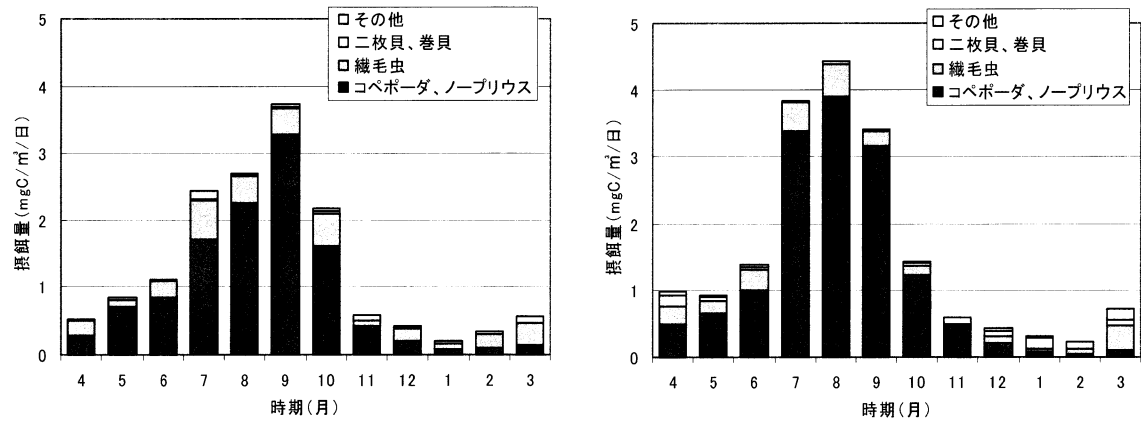


図17-2 種類別の微小動物プランクトン (20-200 μ m) の摂餌量の推移 (左が久栗坂沖, 右が東田沢沖)

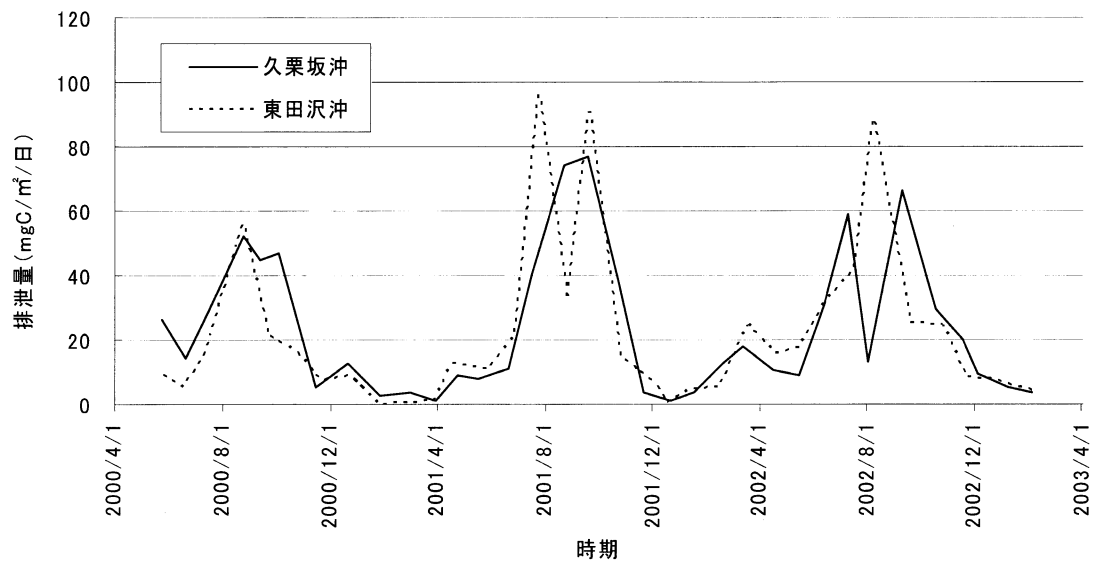


図18 時期別の微小動物プランクトン (20-200 μ m) の排泄量の推移

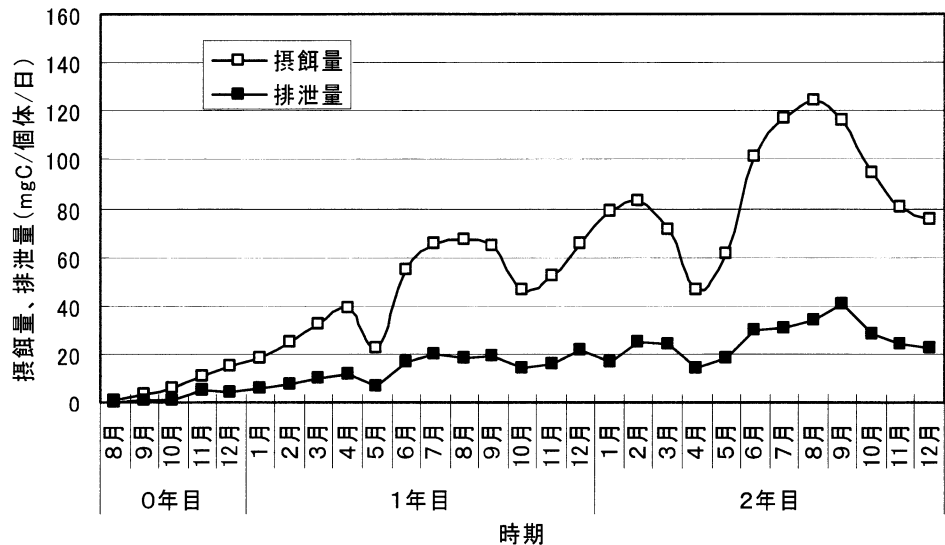


図19 養殖ホタテガイ 1 個体当りの摂餌量, 排泄量

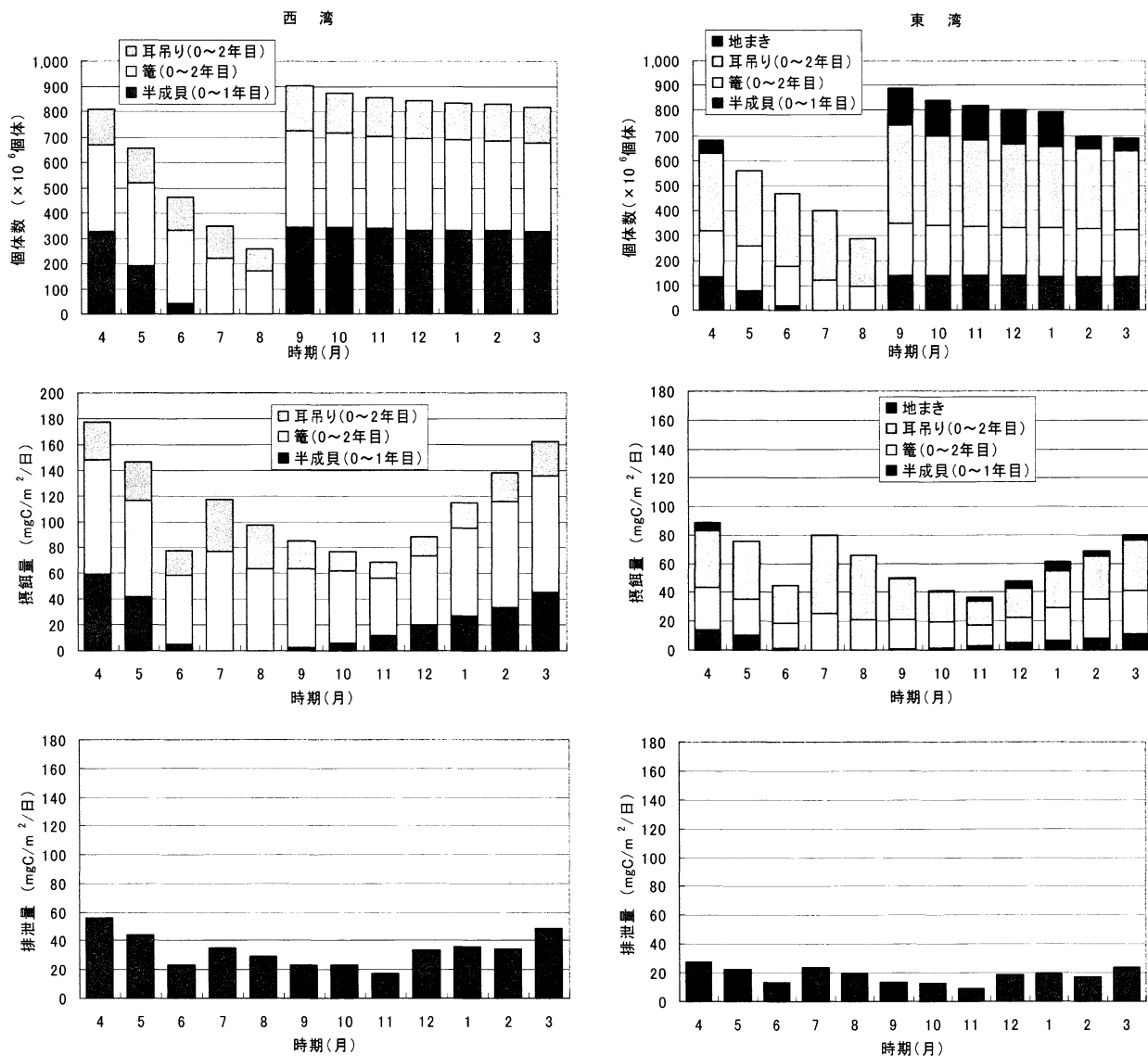


図20 西湾，東湾の養殖ホタテガイの現存個体数，摂餌量，排泄量の推移

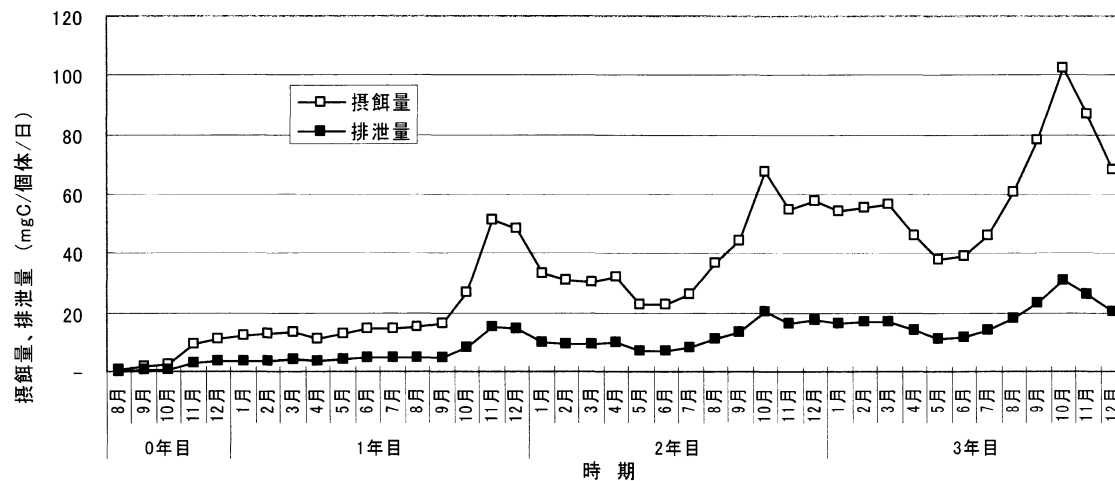


図21 地まきホタテガイ1個体当りの摂餌量，排泄量

陸奥湾におけるホタテガイ適正収容量

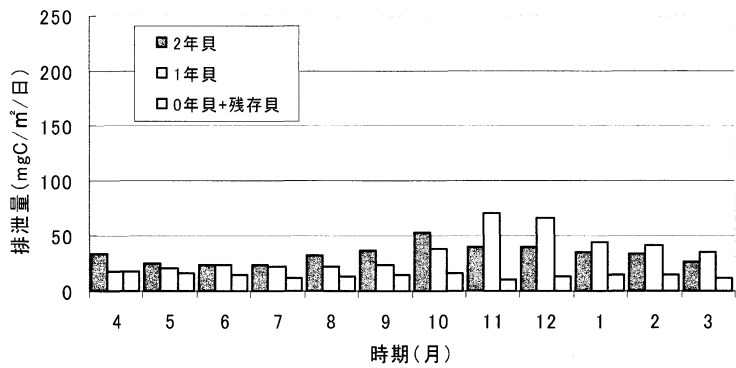
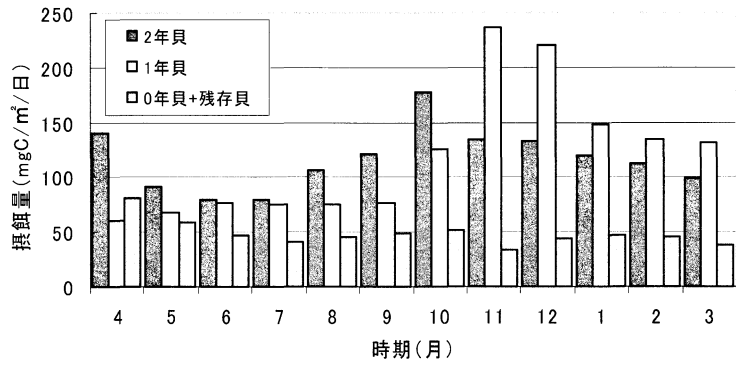
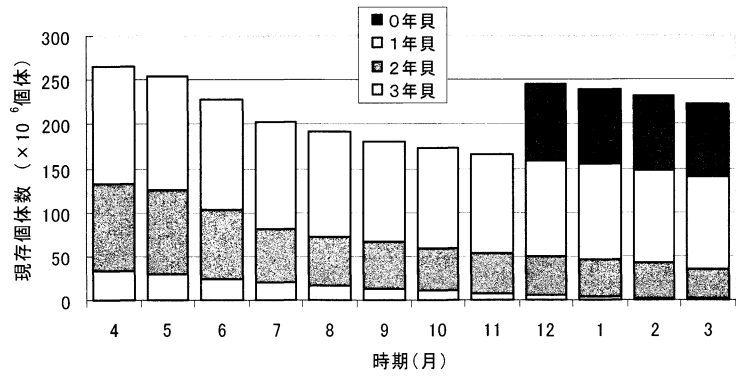


図22 東湾の地まきホタテガイの現存個体数，摂餌量，排泄量の推移

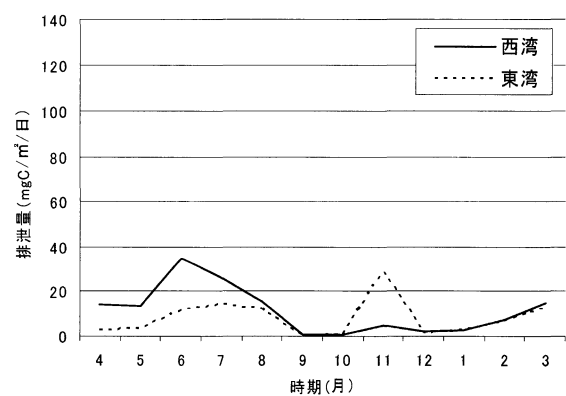
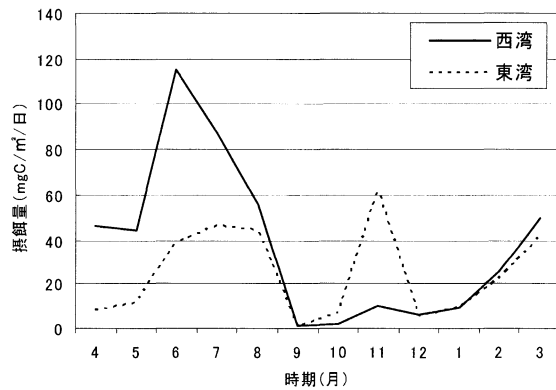


図23 養殖付着物の摂餌量，排泄量の推移

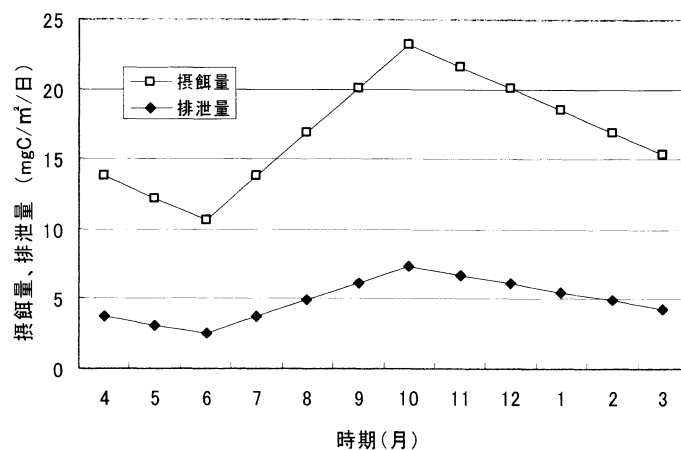


図24 東湾における底生生物の摂餌量，排泄量の推移

【表～中層】

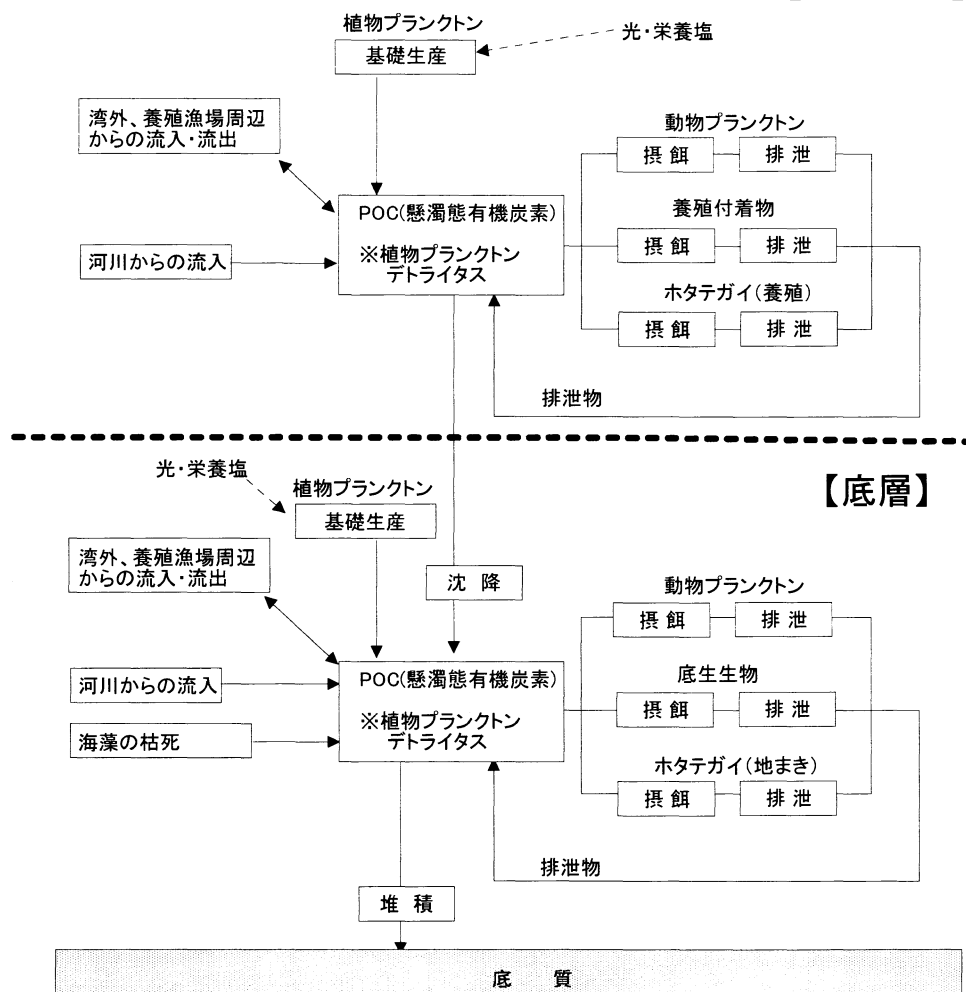


図25 陸奥湾におけるホタテガイ増養殖漁場における有機炭素を指標とした物質循環図

陸奥湾におけるホタテガイ適正収容量

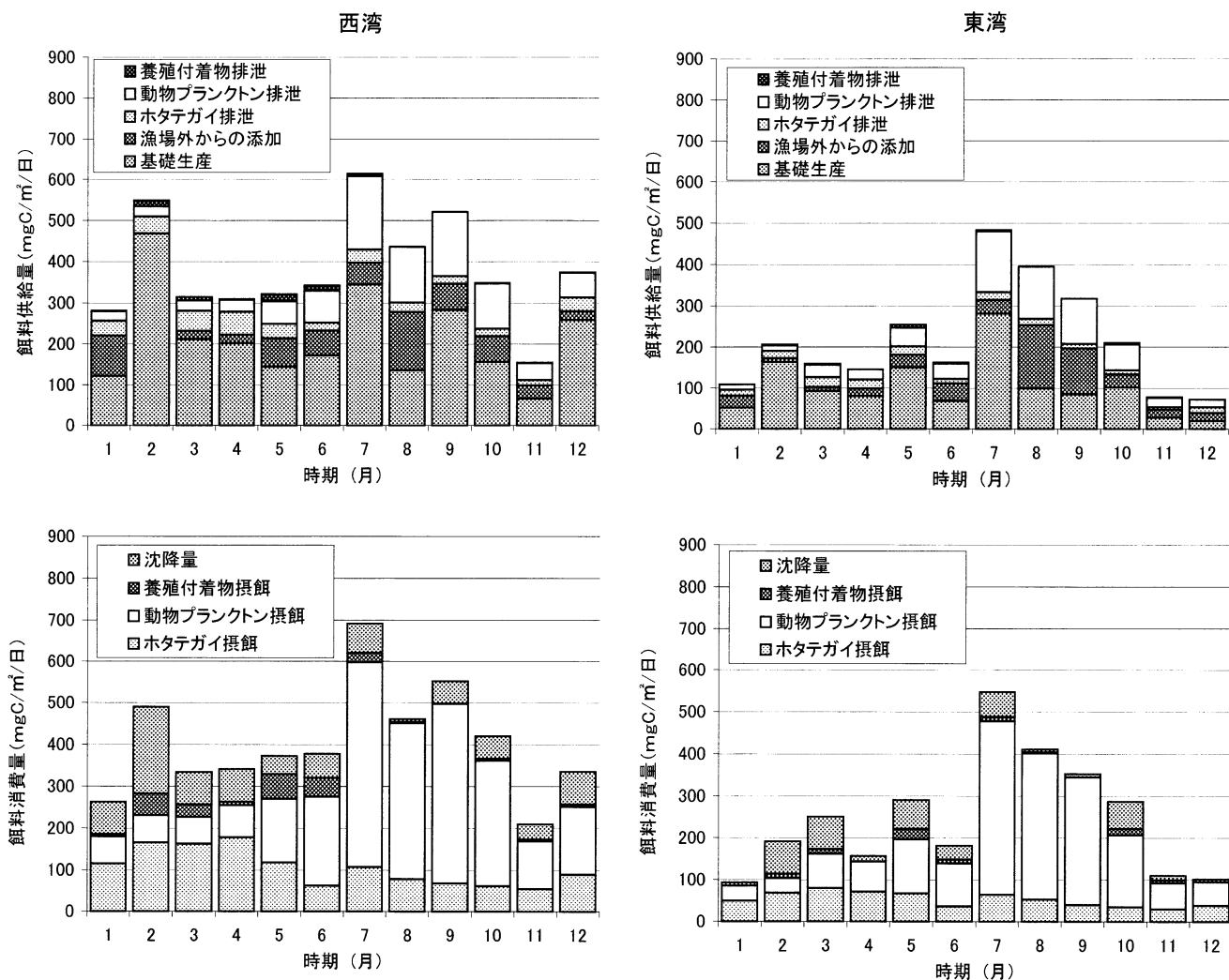


図26 ホタテガイ養殖漁場における有機炭素を指標とした餌料収支
(上段は餌料供給量, 下段は餌料消費量)

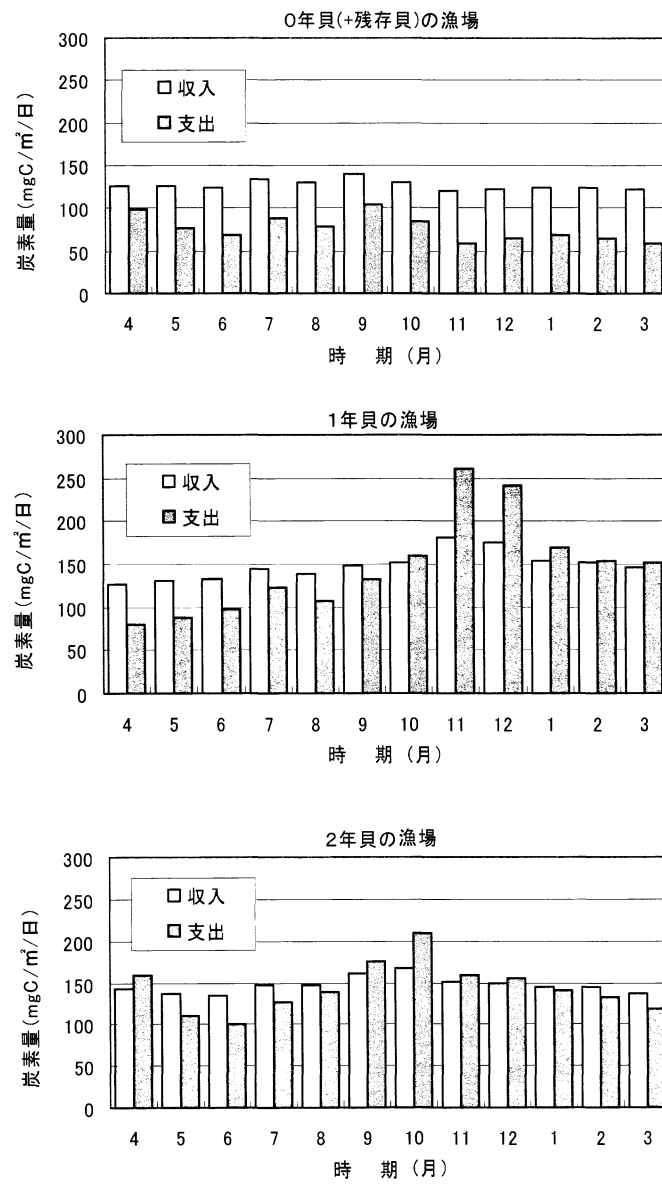


図27 ホタテガイ地まき漁場における有機炭素を指標とした餌料収支

表1 久栗坂沖における擬似現場法と現場法による基礎生産量調査結果

月日	光度 (%)	深度 (m)	水深別基礎生産量(mgC/m ² /日)			単位面積当り基礎生産量(mgC/m ² /日)		
			A 現場法	B 擬似現場法	B/A	A 現場法	B 擬似現場法	B/A
2000/8/23	100	0	7.70	13.00	1.69	246.22	412.62	1.68
	50	8	9.00	7.60	0.84			
	33	20	5.90	8.70	1.47			
	10	45	1.40	5.60	4.00			
	1							
2000/11/14	100	0	4.10	4.00	0.98	100.70	106.88	1.06
	50	7	3.20	2.70	0.84			
	33	16	2.60	2.60	1.00			
	10	45	0.70	1.50	2.14			
	1							
2001/6/20	100	0	10.26	10.15	0.99	195.34	684.61	3.50
	50	9	9.43	11.58	1.23			
	33	16	3.23	14.82	4.59			
	10	43	1.07	19.27	17.93			
	1							
2001/10/22	100	0	6.99	7.83	1.12	82.08	164.41	2.00
	50	3	6.36	8.53	1.34			
	33	5	4.10	6.00	1.46			
	10	16	1.43	3.98	2.78			
	1	33	0.03	0.88	31.26			
平均	100				1.19			2.06
	50				1.06			
	33				2.13			
	10				6.71			
	1				31.26			

表2 調査日を1とした場合の日照時間の月別平均比率

	2000年	2001年	2002年	2003年
1月	—	1.1	1.1	1.1
2月	—	1.1	1.2	0.9
3月	—	1.3	0.8	—
4月	—	1.0	1.0	—
5月	0.9	0.8	0.8	—
6月	0.8	0.9	0.9	—
7月	1.3	1.2	1.2	—
8月	0.9	1.3	1.2	—
9月	1.3	1.0	0.8	—
10月	0.8	1.3	0.8	—
11月	0.7	0.7	0.8	—
12月	1.1	1.0	1.1	—

表3 久栗坂沖における沈降量調査結果

調査月日	POC量 (mgC/m ² /日)	備考	
		設置時間	海底上
2000/8/23	41.3	24時間	10m
2000/11/14	170.8	24時間	10m
2001/6/20	149.6	24時間	2m
2001/9/19	301.9	24時間	2m
2001/10/22	78.0	24時間	10m
2003/1/8	38.5	42時間	10m
2003/2/4	63.5	44時間	10m
平均	78.4		

表4 コペポータの乾燥重量理論値

全長(μm)	重量理論値(mg/個体)
200-400	0.0020
400-600	0.0035
600-800	0.0062
800-1000	0.0108
1000-1200	0.0189
1200-1400	0.0330
1400-1600	0.0578
1600-1800	0.1011
1800-2000	0.1768

表5 十三湖沖におけるクロロフィルa量の推移

単位:mg/m ³			
	1999年	2000年	2001年
1月		0.00	0.37
2月	0.28	0.00	0.79
3月	0.42	0.04	1.27
4月	2.15	7.66	2.28
5月		0.42	
6月	0.27	0.12	
7月	0.07	0.84	
8月	0.35	0.99	
9月	0.20	0.61	
10月	0.22	0.72	
11月	0.11	0.25	
12月	0.28	0.76	

表6 養殖漁場周辺からの有機物流入量

		単位:mgC/m ² /日	
地区	項目	5-10月	10-5月
西湾	1984-1985年調査	74.70	32.30
	1988年調査	20.48	9.82
	平均	47.59	21.06
東湾	1984-1985年調査	41.60	14.70
	1988年調査	13.10	5.80
	平均	27.35	10.25

表7 陸奥湾に流入する河川別の有機物流入量

河川名	平均流量 m ³ /秒	SS mg/l	炭素含有量 mgC/mg	流入有機物量 mgC/日
蟹田川	3.49	4.0	0.3	361,843,200
新城川	1.46	10.0	0.3	378,432,000
沖館川	0.04	8.0	0.3	8,294,400
堤川	2.38	2.0	0.3	123,379,200
横内川	0.44	2.0	0.3	22,809,600
駒込川	5.30	1.0	0.3	137,376,000
野内川	3.13	3.0	0.3	243,388,800
浅虫川	0.14	3.0	0.3	10,886,400
小湊川	-	6.0	0.3	-
野辺地	1.81	3.0	0.3	140,745,600
小沢川	-	3.0	0.3	-
境川	0.28	2.0	0.3	14,515,200
田名部川	1.23	5.0	0.3	159,408,000
小荒川	0.19	3.0	0.3	14,774,400
宇曹利川	0.64	2.0	0.3	33,177,600
永下川	1.00	2.0	0.3	51,840,000
川内川	5.69	3.0	0.3	442,454,400
葛沢川	0.22	7.0	0.3	39,916,800
合計				2,183,241,600

表8 10月時点での陸奥湾におけるホタテガイ適正収容量

		単位:10 ³ 個体				
	種類	養殖		地まき		
		稚貝	1年貝	稚貝	1年貝	2年貝
現在の総量規制値	養殖	444,450	147,890			
	半成貝	264,490		234,000	201,290	119,900
	小計	708,940	147,890			
	合計	856,830		555,190		
現状	養殖	748,000	342,247			
	半成貝	483,000		139,543	113,527	49,270
	小計	1,231,000	342,247			
	合計	1,573,247		302,340		
今回の適正収容量	養殖	496,099	235,763			
	半成貝	327,789		139,543	113,527	49,270
	小計	823,888	235,763			
	合計	1,059,651		302,340		