

平成18年度（財）港湾空港建設技術サービスセンター研究開発助成報告書

助成番号：平成18年2月9日付 第05—5号

研究開発項目：（番号）（3、9）に関するもの

港湾環境のアメニティー評価と 創生に関する研究

平成20年4月30日

北里大学

小河久朗

林崎健一

目次

1 . はじめに -----	1
2 . 大船渡湾 -----	4
3 . 調査完了項目 -----	5
4 . 大 船 渡 湾 の 水 質 環 境 の 経 年 変 化-----	6
5 . 養殖業の変遷 -----	9
6 . 現地調査と分析 -----	15
7 . 水質環境 -----	19
8 . 底質環境 -----	28
9 . ろ過食者の安定同位体比 -----	33
1 0 . アンケート調査-----	51
1 1 . ま と め-----	54

1. はじめに

港湾域は、物流の場・水産増殖場・憩いの場として重要な役割を果たしているため、多様な方面から環境評価が求められる。さらにその評価に基づき効果的な環境改善による新たなアメニティを創生することが望まれている。現在の環境評価は、港湾域を一体的・平均的に捉えた評価方法でしかなく、港湾の小領域を価値観の違う港湾域利用者が描くそれぞれのアメニティに配慮し、利用の形態と場の区分に基づいた的確な評価方法が必要となっている。本研究では、港湾の特定小領域を評価する手法として研究が進められている底泥中の有機元素安定同位体の研究に着目し、大船渡湾で港湾小域ごとの環境評価の手法を提案する。さらに、その結果をもとに、工学的手法で水生物の有機物取り込み能力を活性化させることで環境改善と漁場生産性向上を同時に可能とする、持続性のある環境改善手法を提案することをめざす。この研究で提案する環境評価法は、ピンポイントでの評価が可能であり、東京湾をはじめあらゆる港の環境評価に利用可能となるため、港湾工事で問題となる環境影響評価にも利用できるものである。さらに、水産生物を用いた環境改善手法は生産物の漁獲増加による経済効果も期待できる。

岩手県の大船渡湾は外内航船用の港湾施設があり、湾周辺域の住宅・工場から生活・産業排水を湾内放出している。また、湾内の湾口部に近い水域ではカキ・ホタテ・ワカメなどの水産増殖が行われており、日本の港湾域が持つ自然・社会的特徴をコンパクトに備えた場所である。大船渡湾は、湾口部に防波堤が建設され閉鎖性が強い。そのため、湾内は静穏で良港ではあるものの、富栄養化による有機汚染が深刻であり、場所によっては夏季に底で貧酸素層が出現する。現在でも湾内で養殖業は盛んであるが、富栄養化の進行に伴い養殖海面の利用は変遷を重ねてきた。また、湾内で海水浴が可能であった過去と比較して、現状を嘆く住民が少なくない。このような背景を基にして、H17年度には従来から行われてきた湾内の水質と底質の一般環境調査に加えて、有機負荷の量的調査と採取した水と底泥について生物検定試験を行い、環境の実態把握と生物生産力の解析を行い以下の知見を得た。湾内の生物生産ポテンシャルは十分にあるものの、表層で生産された有機物が底に沈みこんだままとなる。底では微生物が有機物を分解する際の酸素消費により無酸素水を形成する。これは、底層の生物を消滅させ、食物連鎖を断ち切る。そのため、水産増殖による有機物の回収が困難となり、一層富栄養化が進む。この富栄養化の負の連鎖を断ち切るために、湾内で従来の養殖可能水産生物以外の生物を検索し、水産生物による天然下の有機物除去能力とマリンリフターによる除去能力および生産量の増加を測定する。さらに、その漁獲がもたらす経済効果を推算し、環境改善能力の把握と漁場価値の向上を検討する。

沿岸域には陸上からの有機物が流入する。流下する水は植物の大型破片、細かい懸濁粒子、溶存態のものまでいろいろなサイズの有機物、さらには窒素やリン酸といった無機態の栄養塩を含んでいる。大型破片や懸濁粒子は、湾内に流下した後、底に沈んでいく。一方、栄養塩は植物プランクトンなどの1次生産者によって利用されるが、死骸となってやはり底に沈んでいく運命にある。湾口防波堤がある大船渡湾のような半閉鎖水域では外海との水交換が表層に限定され、栄養物が底に貯まりやすい。底に貯まった有機物は微生物によって分解され、その際に酸素を消費する。夏には底泥の温度が上昇するため微生物による酸素消費も大きくなる。また、

夏には表層水の温度上昇が下層にくらべて顕著であるため、上下で密度差を生じることにより成層が発達する。このため、底への酸素供給が妨げられやすい。湾口防波堤の存在によって海水流動が妨げられるので、底層の貧酸素化はさらに助長される。

わが国において、閉鎖性水域の富栄養化(有機汚染)は1970年代から深刻な問題となった。高度成長時代の幕開けとともに沿岸の開発が盛んに行われた時期と符合している。また、同時期には作り育てる漁業、いわゆる栽培漁業が漁業振興の施策となり養殖業が盛んに行われるようになった。水産分野においては、沿岸養殖漁場の漁場汚染の問題として捉えられ1980年代初めには水産庁による初の全国規模の調査が行われた。北海道から九州まで各地の閉鎖性水域が選定され底泥が採取された。測定項目はCOD、強熱減量、全硫化物量(AVSともいう)、窒素量、炭素量、種多様度など多岐にわたった。この調査の目的は富栄養化の指標を作ることであった。得られた結果を主成分分析により縮約し、データの変動が最大となる方向に新たな軸を設け、その軸上の値として表すことができる。結果として得られた一次式へ、COD、強熱減量、AVS、窒素量、炭素量、種多様度の計測値を代入することにより、その場所の富栄養化の程度を得点づけることが可能となる。各変数は高い相関を持っている。しかも有機物量の指標であるため、必ずしも貧酸素の程度を指標するものではないことに注意が必要である。測定項目が多いこともあってその後この指標が利用されることはほとんどなかった。この後も富栄養化の指標は新規の現場調査の実施をもとに、見直しが継続的に行われたものの現在に至るまで実用化にはいたっていない。

水域の富栄養化の問題、水産分野においては漁場劣化の問題は、前述のように長年の努力にもかかわらずどのような評価を行えばよいのか、評価基準が判然としていないのが現状である。沿岸の生産性を検討する際に、海水流動の物理的特性を組み込んだボックスモデルが有効であるとされる。しかし、評価基準が明確でない富栄養化の問題にはシミュレーションによるアプローチは適さない。

興味深いことに、大船渡湾のある三陸沿岸において海域は貧栄養であり、栄養塩の補給は外洋水、すなわち冬期の親潮の接岸によっている。また、冬季の北西風の卓越により小規模な沿岸湧昇が起こっており、底の栄養塩が表層に回帰している可能性が指摘されている。いずれにせよ栄養塩が豊富な時期は限定的で、他の時期には生物生産の活発な表層で栄養塩が枯渇しやすい。海面養殖の生産はこれによって制限されるといえる。

このような三陸海域のなかで、大船渡湾は例外的に富栄養化がすすんだ海域であるといえる。もし、湾内での物質循環の特性が十分に理解され、底に沈みこむ栄養塩を陸に回収することが可能であれば大船渡湾の環境浄化にも一定の役割を果たすものと考えられる。われわれは今回の調査研究においても漁業を念頭に置いた。将来的には、湾内での漁業活動を活発化することによって湾内の環境浄化を行うことを究極の目的としている。



図1．大船渡湾地図

2．大船渡湾

大船渡湾は南北約 6 km、表面積 7.7km²、体積 1.24 億 m³ の大きさで、湾口防波堤がある。湾内の最大水深は 40 m であるが、湾口防波堤は堤長 738 m、開口部 200 m、開口部水深 16 m であるため、海水の交換は悪い。大船渡湾にはいくつかの河川が流入しているが、盛川と幹線下水が主要なものである。その平均流量は 3.3m³ s⁻¹ と 0.2m³ s⁻¹ で、湾内全体の流量の 81 % を占める。湾口から湾中央までは養殖施設が一面に設置されているが、埠頭の整備に伴って湾奥での養殖は現在行われていない。また、湾中央西岸部も開発が進み養殖施設が存在しない。



図 2．西岸より大船渡湾奥を望む。向こう岸の右は新埠頭建設中。湾奥の養殖は消滅した。



図 3．西岸より大船渡湾中央を望む。養殖筏が多数ある。



図 4 . 高台より大船渡湾口を望む。養殖筏が多数ある。

3 . 調査完了項目

湾内の環境・生物生産力の解析と環境への意識調査

- ・ 岩手県水産技術センター、大船渡市水産課の環境調査資料から大船渡湾の水質、底質に関する一般分析項目の提供を受け解析を行った。
- ・ 大船渡市漁協と大船渡市水産課の公表資料から増養殖種、水揚げ高、価格の経年変化を解析した。
- ・ 湾内環境の変動について漁民を中心に意識の聞き取り調査を行った。

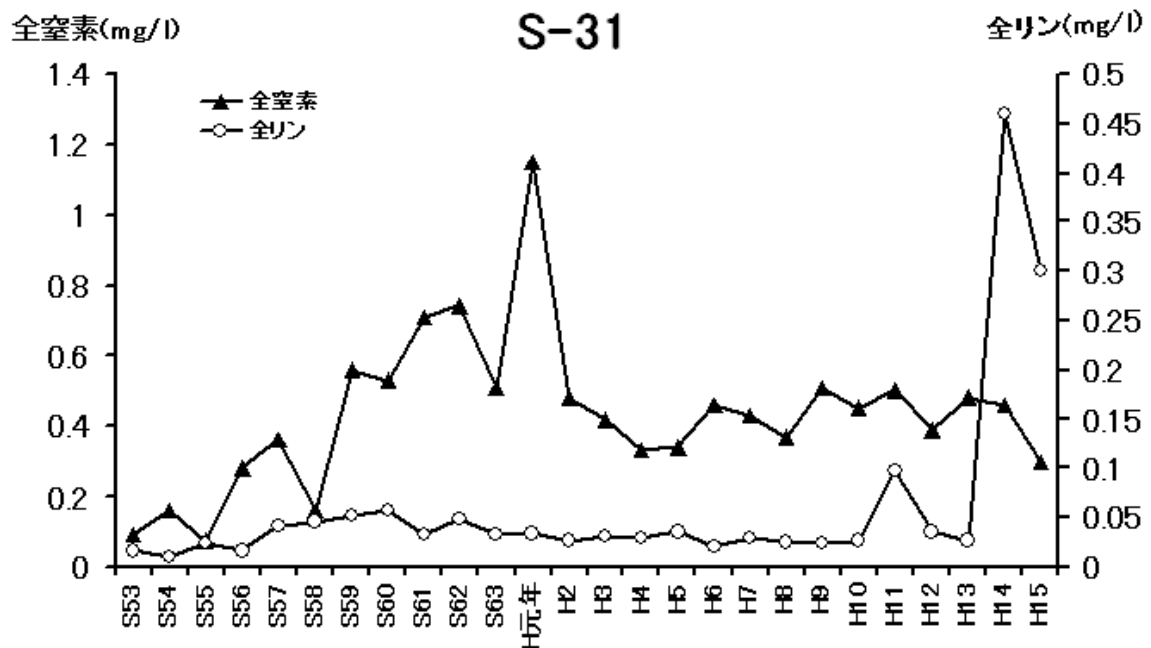
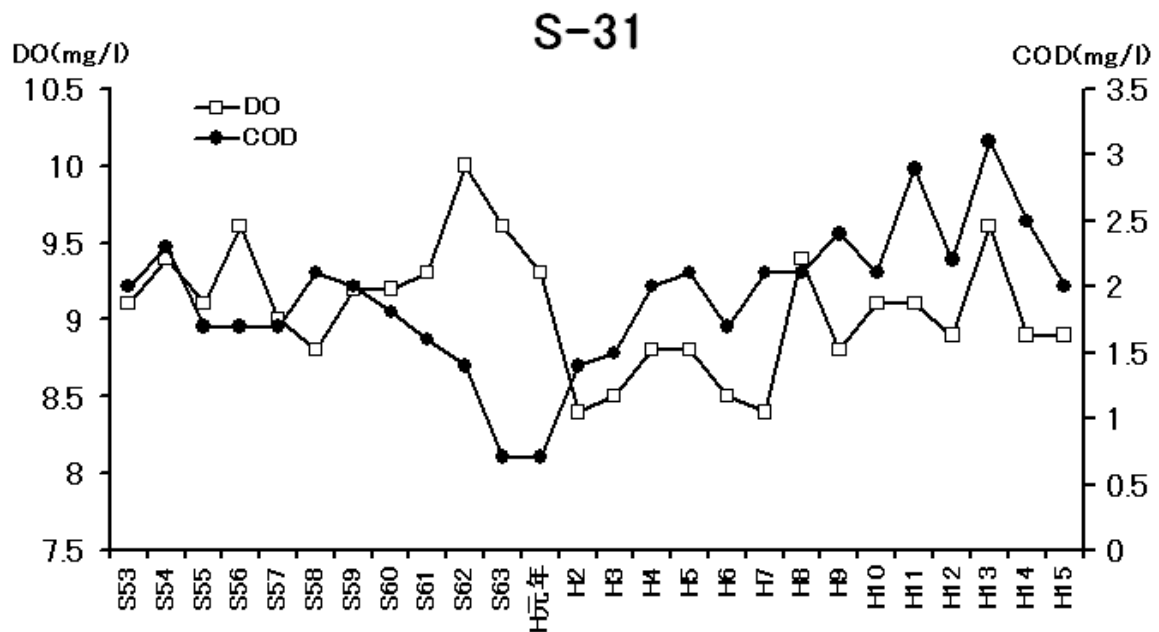
マリンリフターによる環境改善能力と生物生産活性化能の測定

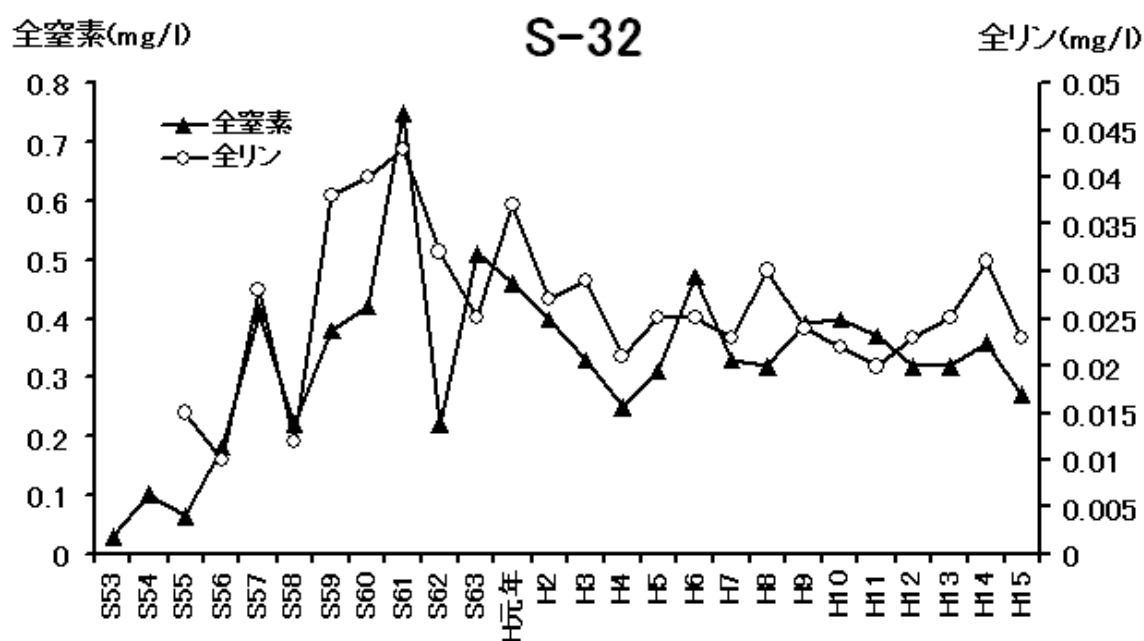
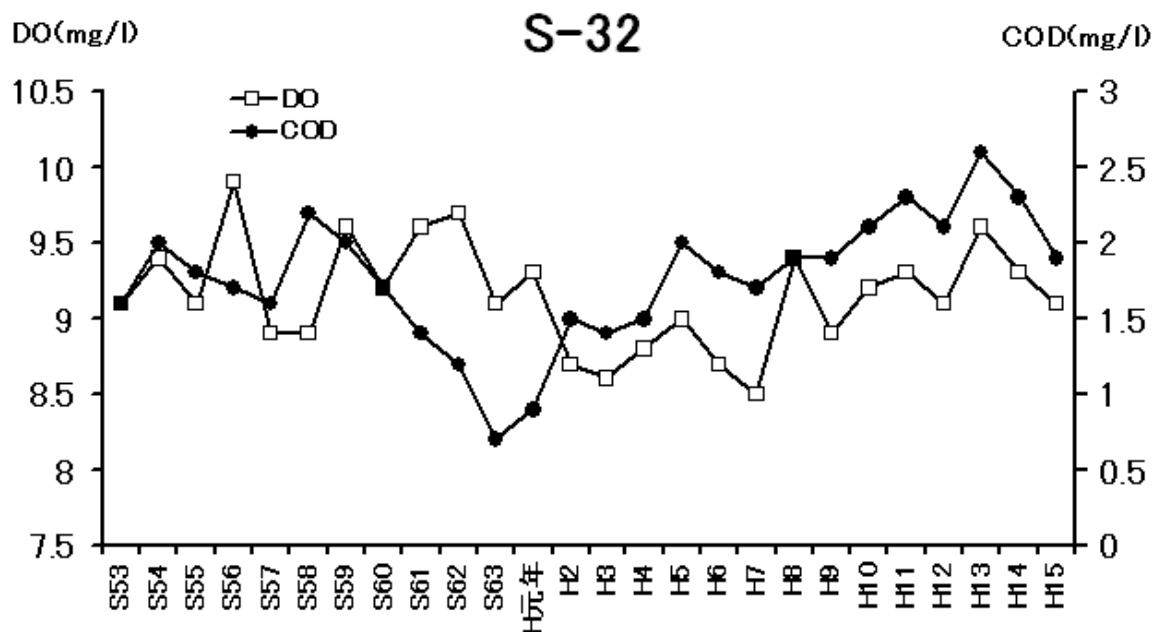
- ・ 湾内の既設揚水筒（マリンリフター）の近くを含む定点を設け、海水（バンドン採水器）、底泥（コア - サンプラー）の採取を年 4 回程度行う。
- ・ 各定点で、水深、透明度を測定した。クロロテックを用いて、クロロフィル量、塩分、水温の鉛直分布を調べた。また、多項目水質測定装置 Quanta を用いて、現場で DO 等の鉛直分布を調べた。ただし、Quanta の計測に関してはケーブル長の 30 m までの測定とした。
- ・ 水試料は COD を測定し、ろ過の後、固形物（懸濁物質）の有機物量、TN、TC を測定した。
- ・ 泥試料は COD、硫化物、IL を測定した。
- ・ 泥、有機懸濁物質の C、N、S の安定同位体の分析を行い、これらの各安定同位体比を求める。さらにそれらの元素分析を行い、餌としての価値を評価する。
- ・ ろ過食者であるホタテ、フジツボ類の経時的にサンプリングによる標本を入手した。これらの安定同位体を測定した。比較のために大船渡湾の近隣の湾からの標本も用いた。フジツボ類は大部分の測定を完了した。ホタテは現在分析中である。

4．大船渡湾の水質環境の経年変化

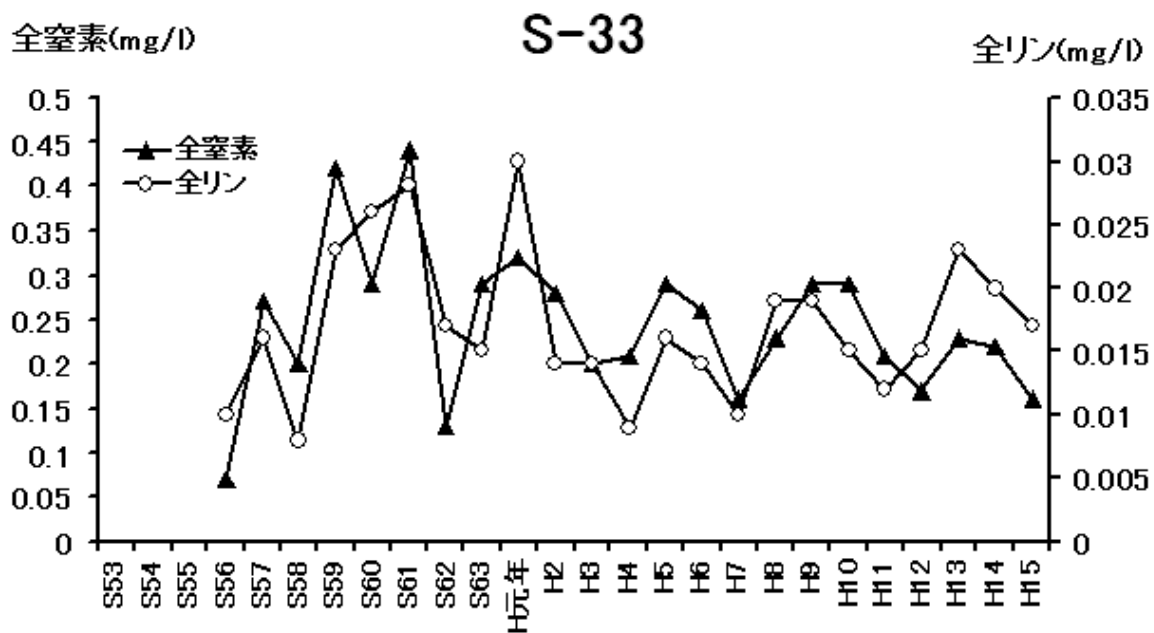
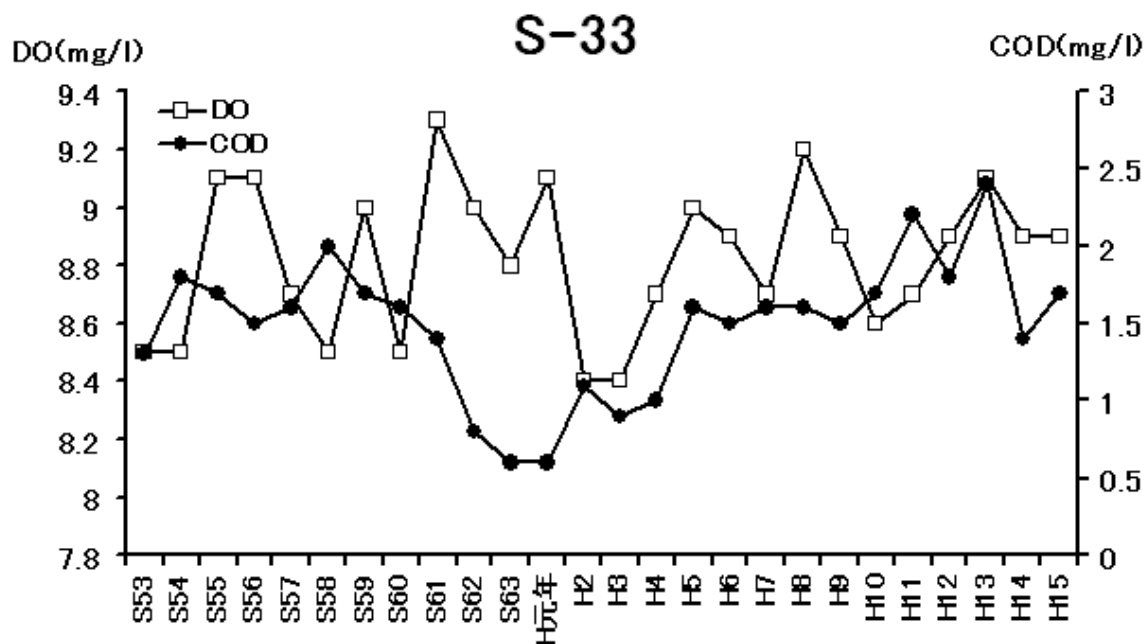
過去に蓄積された水質調査データを解析した。CODは昭和54年から平成元年にかけて2mg/lから0.5mg/l近くまで減少した。しかし、その後は振動しながらも増加し、平成13年に3mg/lまで増加した。平成15年には2mg/lに減少した。溶存酸素量(DO)は変動幅は大きいものの、9mg/lのレベルで推移している。DOは季節・水深によって大きく異なる。夏場淡水の影響の大きい湾奥域では赤潮が発生し、表層には光合成時に発生した酸素により表層の溶存酸素濃度は高くなる可能性があり注意が必要である。

湾奥 S-31





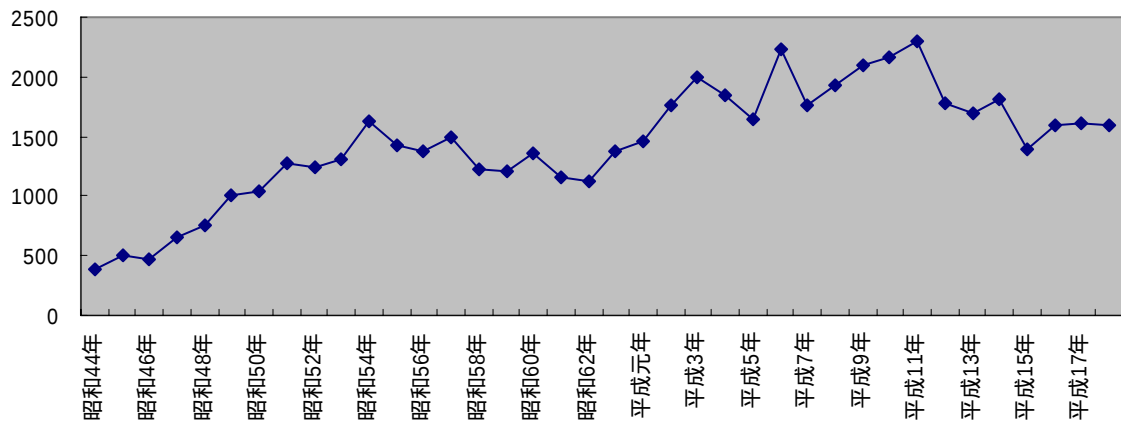
湾央 S-32



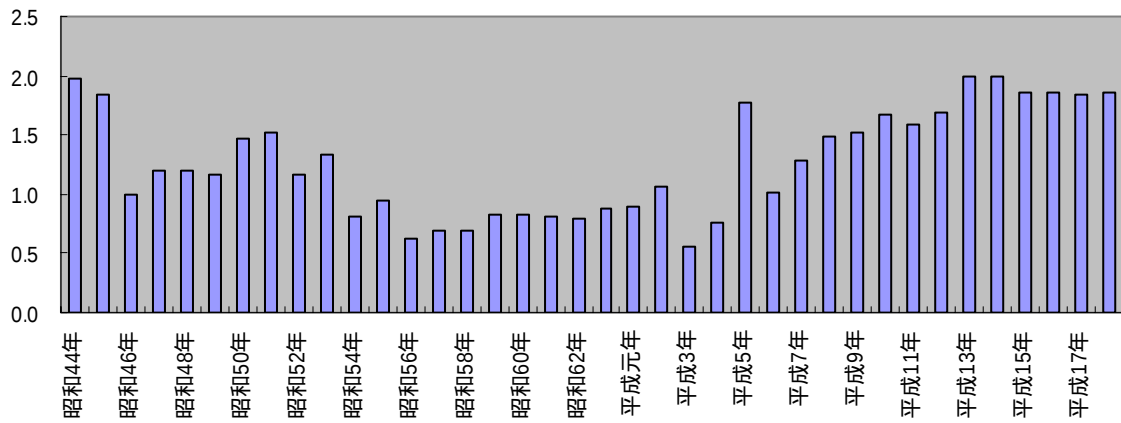
湾外 S-33

DO および COD の変化傾向と絶対値を湾内と湾外で比較しても大差がない。しかし、栄養塩のリンに関しては湾外よりも湾内の値が高かった。

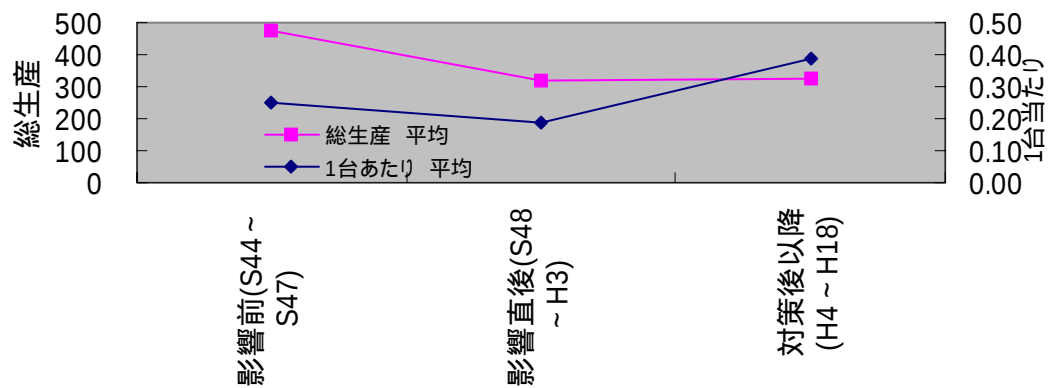
カキの価格の推移(千円/トン)



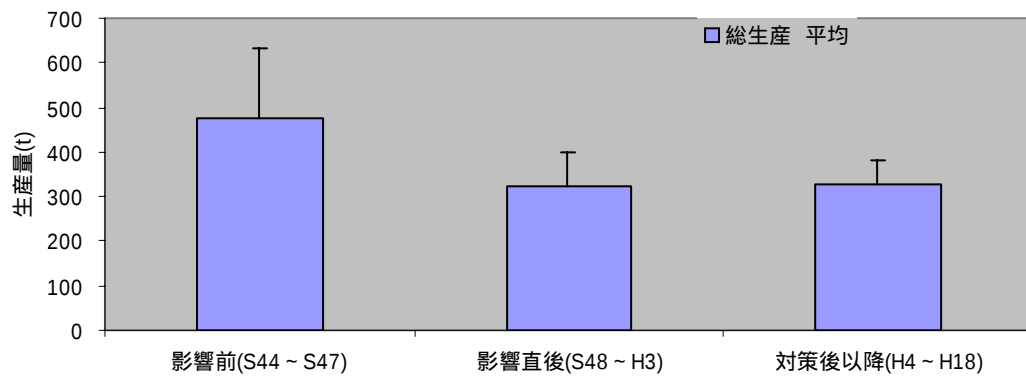
カキ 行使者一人当たりの生産量(トン)



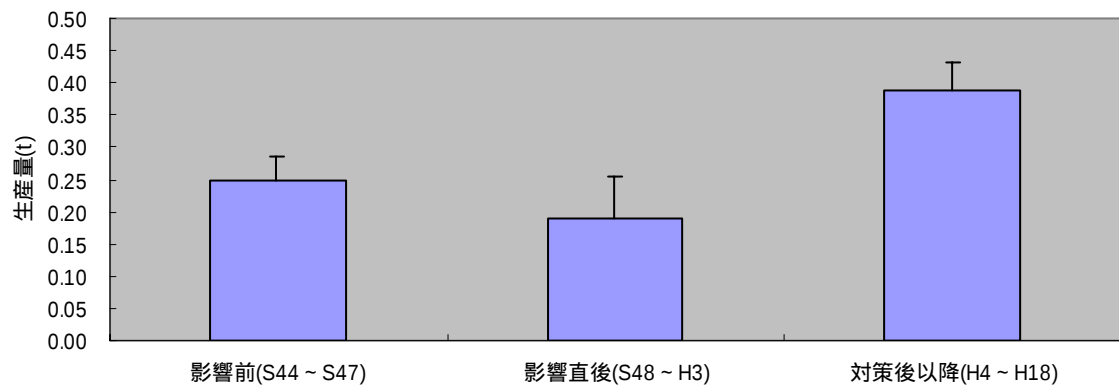
カキ養殖生産の推移



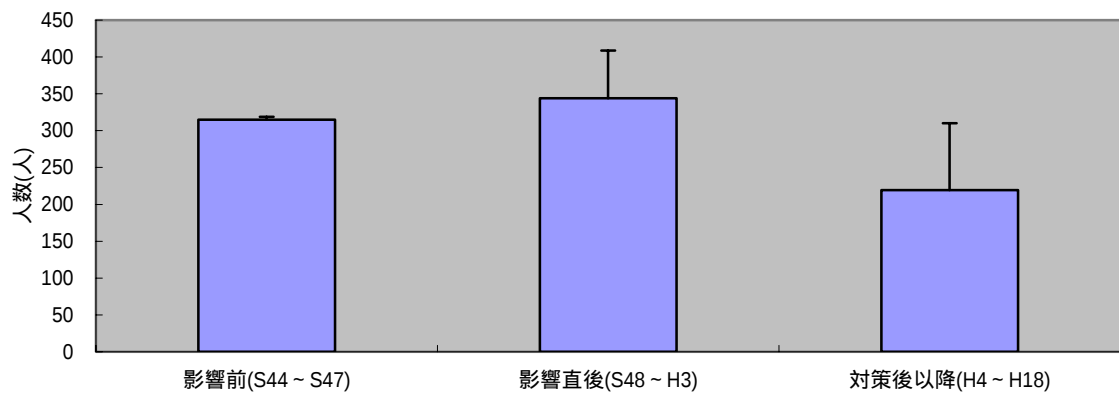
総生産の平均
値の推移



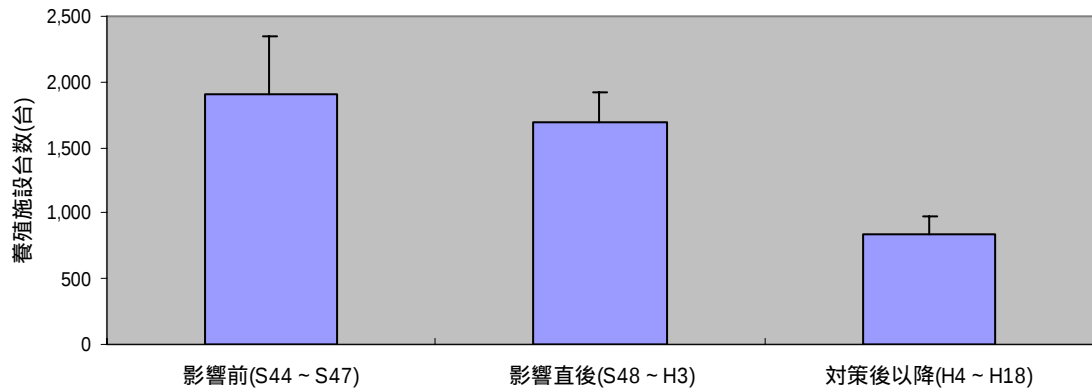
施設1台当たりの年間生産量の推移



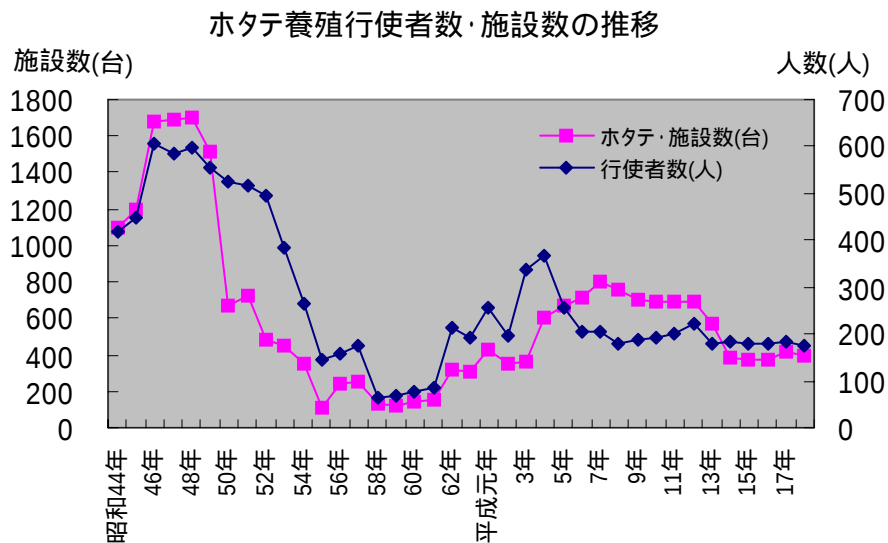
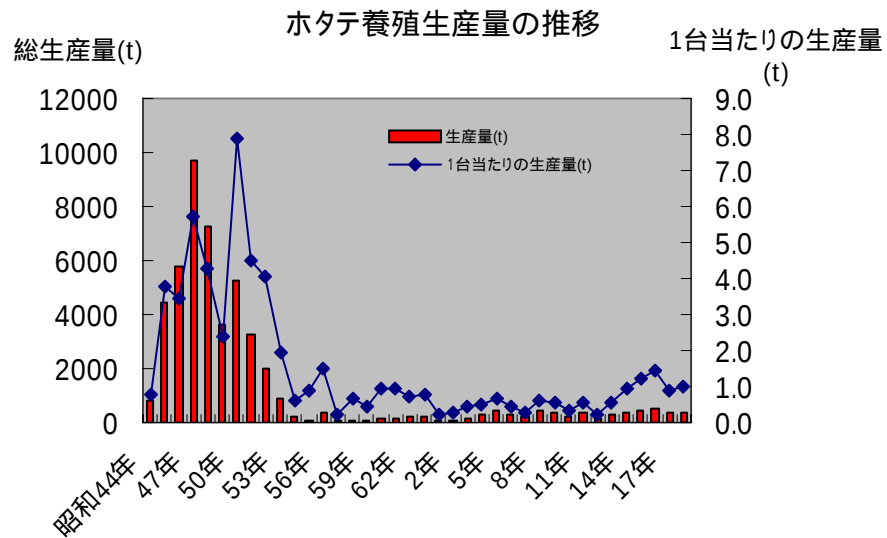
漁業権行使者数



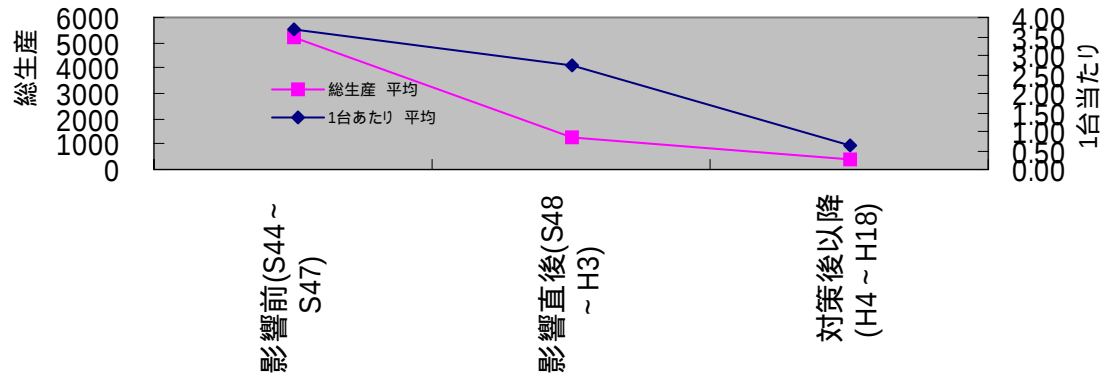
養殖施設台数



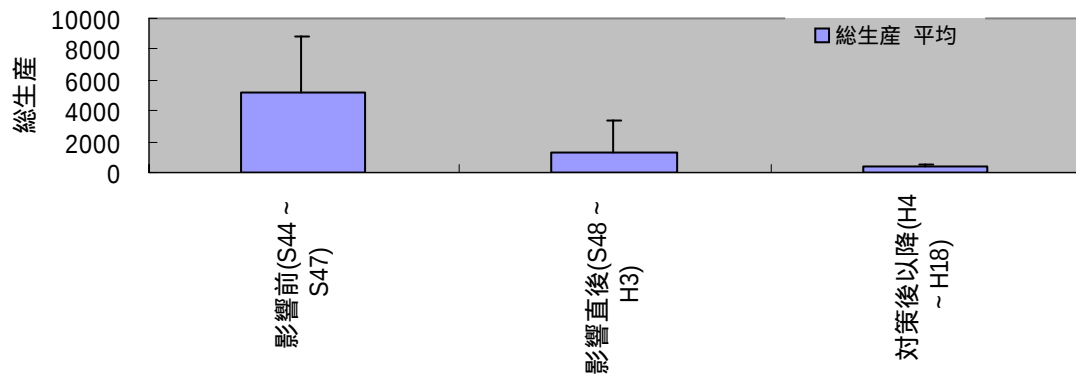
ホタテ養殖



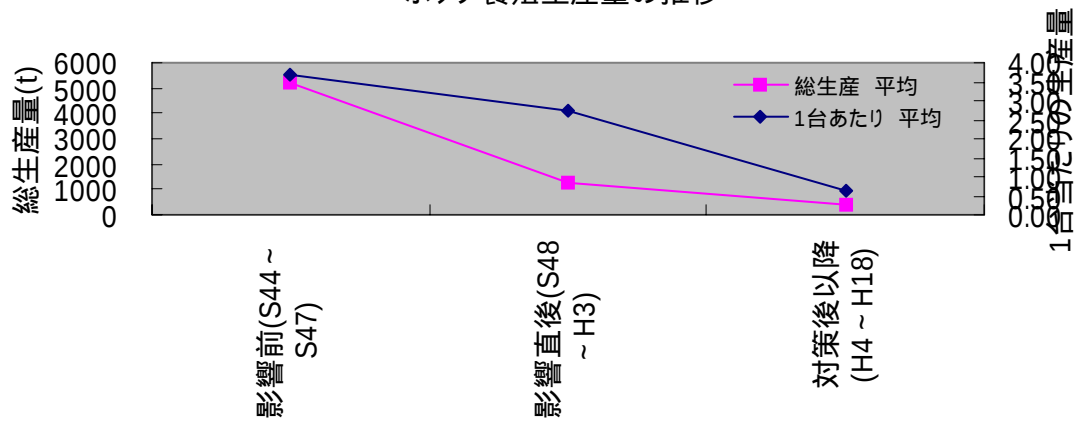
ホタテ養殖



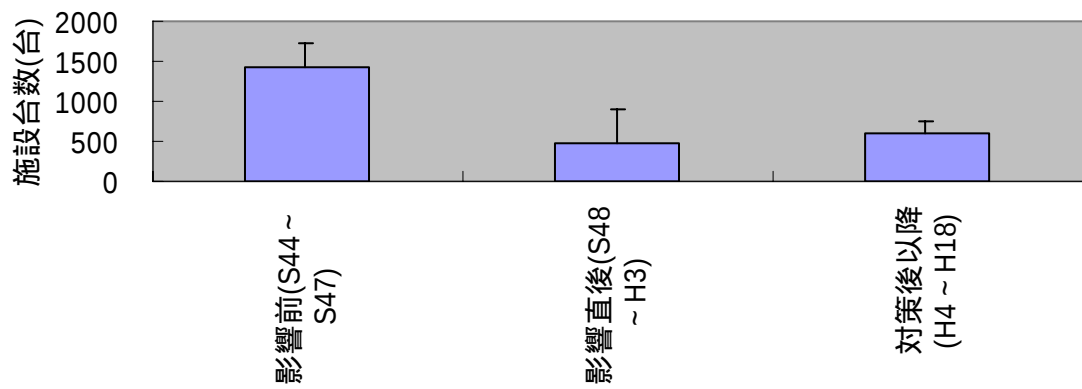
ホタテ養殖総生産量(トン)



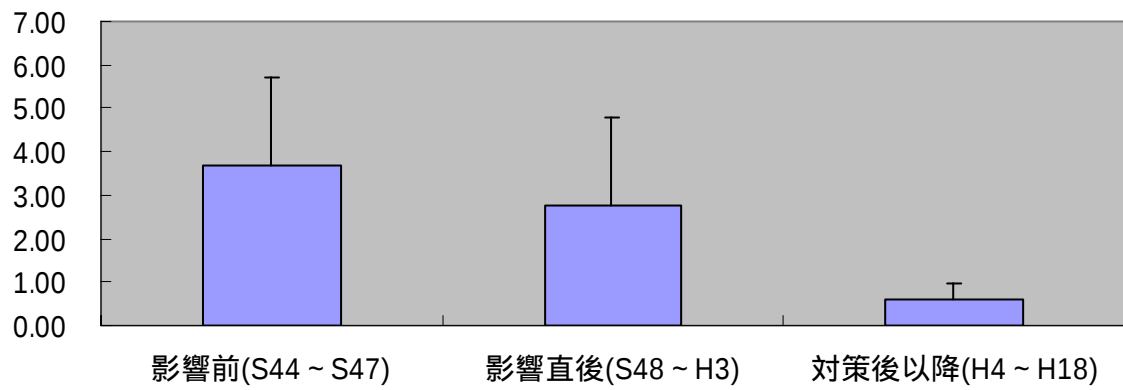
ホタテ養殖生産量の推移



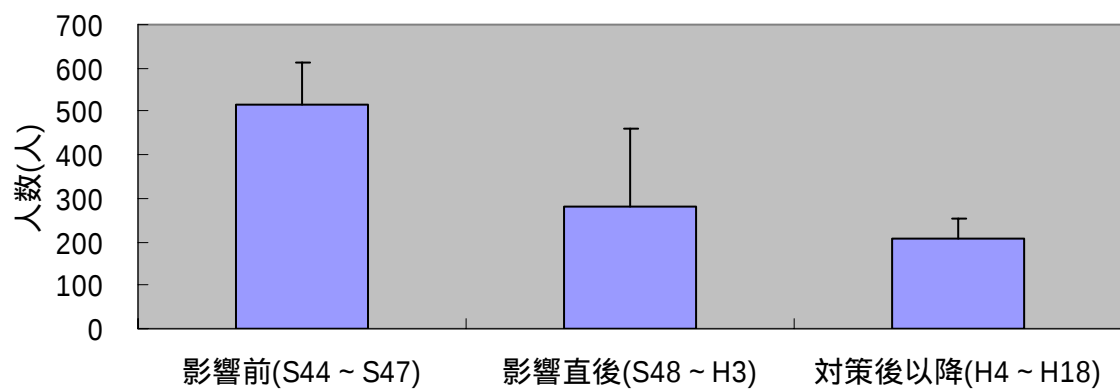
養殖施設台数



養殖施設1台当り生産量(トン)



行使者数



6．現地調査と分析

6月22日と、8月23日に大船渡湾の現場調査を行った。昨年度の調査をもとに調査地点を選定した。6月22日の調査地点は、南から北に向かって Stn-15, 12, 10, 7, 5, 3, 24, 4, 1, 33 の10定点であった。また、8月23日および11月14日は、Stn-15, 10, 7, 1, 3 の5定点であった。調査地点は下図に示した。

現場において、定点ごとに 水深を音波式水深計で、透明度をセッキ板で、深度別のクロロフィル量、塩分、水温を Alec 電子製クロロテックで測定した。多項目測定装置クオンタを用いて、5 mごとの層別水温、溶存酸素量、pH、エクマン・バージ採泥器を用いて底泥を採取した。そして、泥温度、酸化還元電位を現場で測定した。海水をバンドン採水器により底・中層・上層の3層において層別採水を行った。

底泥サンプルと採水サンプルは研究室に持ち帰った後、処理を行った。水、泥ともに COD を測定した。また、底泥は AVS と強熱減量を測定した。水は GF/F フィルターでろ過を行い、得られた POM(Particulate Organic Matter)の重量と炭素、窒素、硫黄量の測定、および炭素、窒素、硫黄安定同位体比の測定を行った。また、ろ過後の海水は AGP の測定に用いた。

COD、強熱減量、AVS 測定方法

COD、強熱減量および全硫黄量の測定を以下に示すように定法に従って行った。

COD

0.1 から 0.5g の底泥あるいは採水サンプルに約 5 mg の DIW、0.5ml の NaOH 溶液、10ml の KMnO_4 溶液加えて 100 の水で 15 分から 20 分熱した。その後すぐにシュウ酸を 10ml、硫酸 (H_2SO_4) を 1ml 加えた。サンプルが冷えたらそこから 10ml とり、 KMnO_4 溶液を 1ml 加えて 5 分待った。その後、ヨウ化カリウム溶液を 0.5ml と PVA を 1 滴加えてチオ硫酸ナトリウム溶液で滴定した。その後次の式により COD を求めた。

$$\text{COD}(\text{O}_2\text{mg/g-dry}) = 0.08 \times (b - t) \times 5 \times f(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2) / m \times \text{DW}$$

b=使用したチオ硫酸ナトリウム溶液の量

t=チオ硫酸ナトリウム溶液の量

乾重量割合

底泥サンプルを 20 から 30 g を計りとり、102 ～ 105 のオーブンで乾燥させ、再び重さを計り乾重量割合 (DW %) を求めた。

全硫化物量 (AVS)

底泥サンプルを約 0.5 g 計りとり 16 N 硫酸を加え、発生した硫化水素ガスを検知管で測定した。

強熱減量

乾重量割合 (DW) の測定で使用したサンプルを 500 ℃ で乾燥させて重さを計り強熱減量を測定した。

硫黄安定同位体比の測定

硫黄安定同位体比の測定のため、エグマンバージで採取したサンプルは測定に必要な量を取り、60 ℃ のオープンで乾燥させ、保存した。測定に使用するサンプルに塩化リチウム (LiCl) を加えて濾過し洗浄した後、60 ℃ のオープンで乾燥させた。その後、乳鉢で細かい粉末にして約 12mg ずつスズ箔につつんだ。前処理装置である元素分析計に投入し 1000 ℃ で燃焼させ、燃焼ガスをガスクロマト (GC) 分離処理の後 confloIII を介して質量分析計 Delta plus XP に導入し硫黄安定同位体比を測定した。

全硫黄量

硫黄安定同位体比測定時に電圧強度が得られる。これはディテクターであるファラデーカップに到達したイオン化した分子の総量を示す。秤量して重量が既知の標準物質の測定により検量線を作成し、各サンプルの全硫黄量を決定した。

安定同位体比の測定のため、底泥サンプルを 60 ℃ で乾燥させた後、乳鉢で細かい粉末にしスズ箔につつんだ。前処理装置である元素分析計に投入し 1000 ℃ で燃焼させ、燃焼ガスを GC 処理の後 confloIII を介して質量分析計 Delta plus XP に導入し安定同位体比を測定した。



元素分析計 FlashEA

連続ガス導入装置 ConFloIII

質量分析計 Delta plus XP

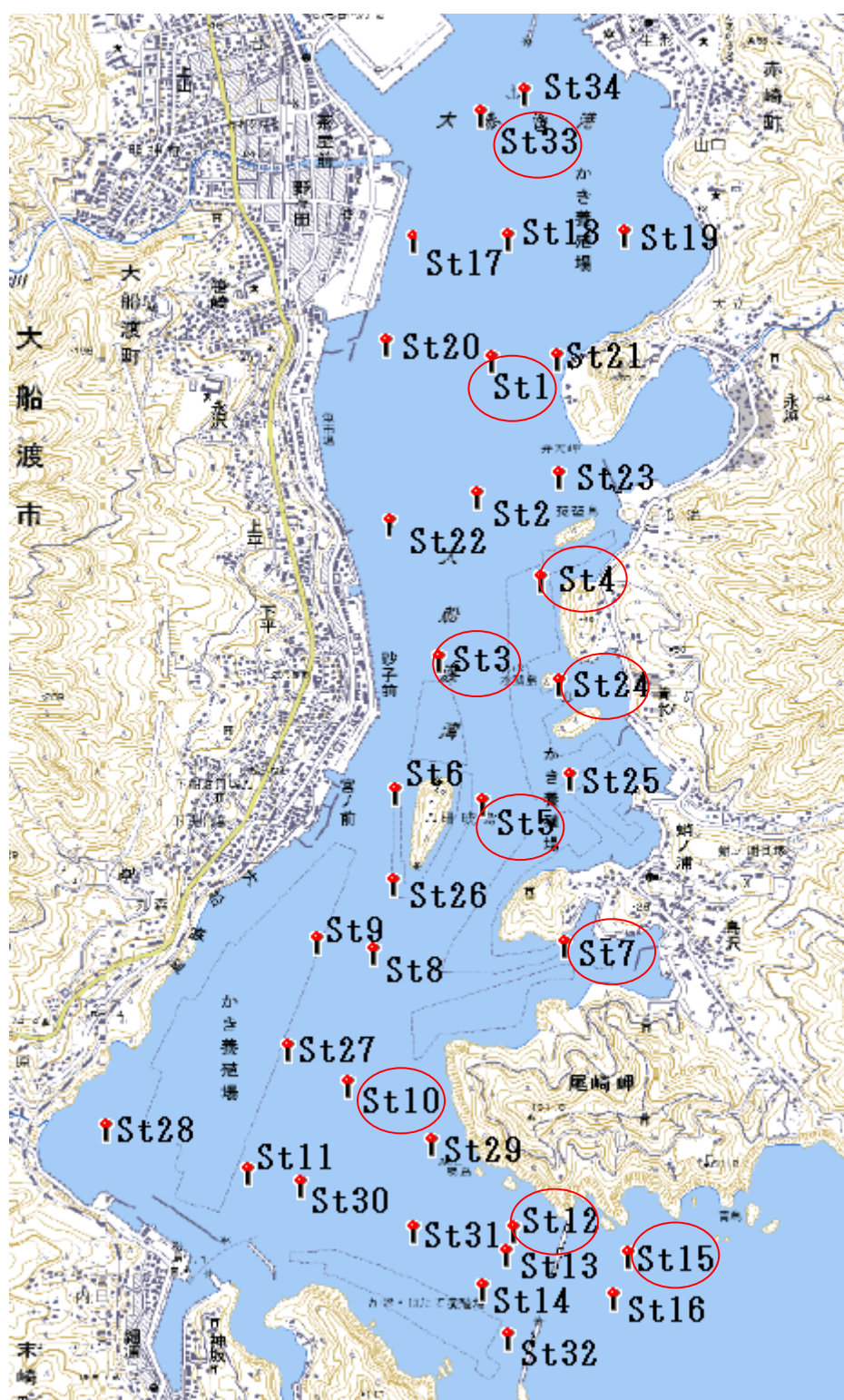


図 6月のサンプリング定点(赤枠で囲んだ。n = 10)

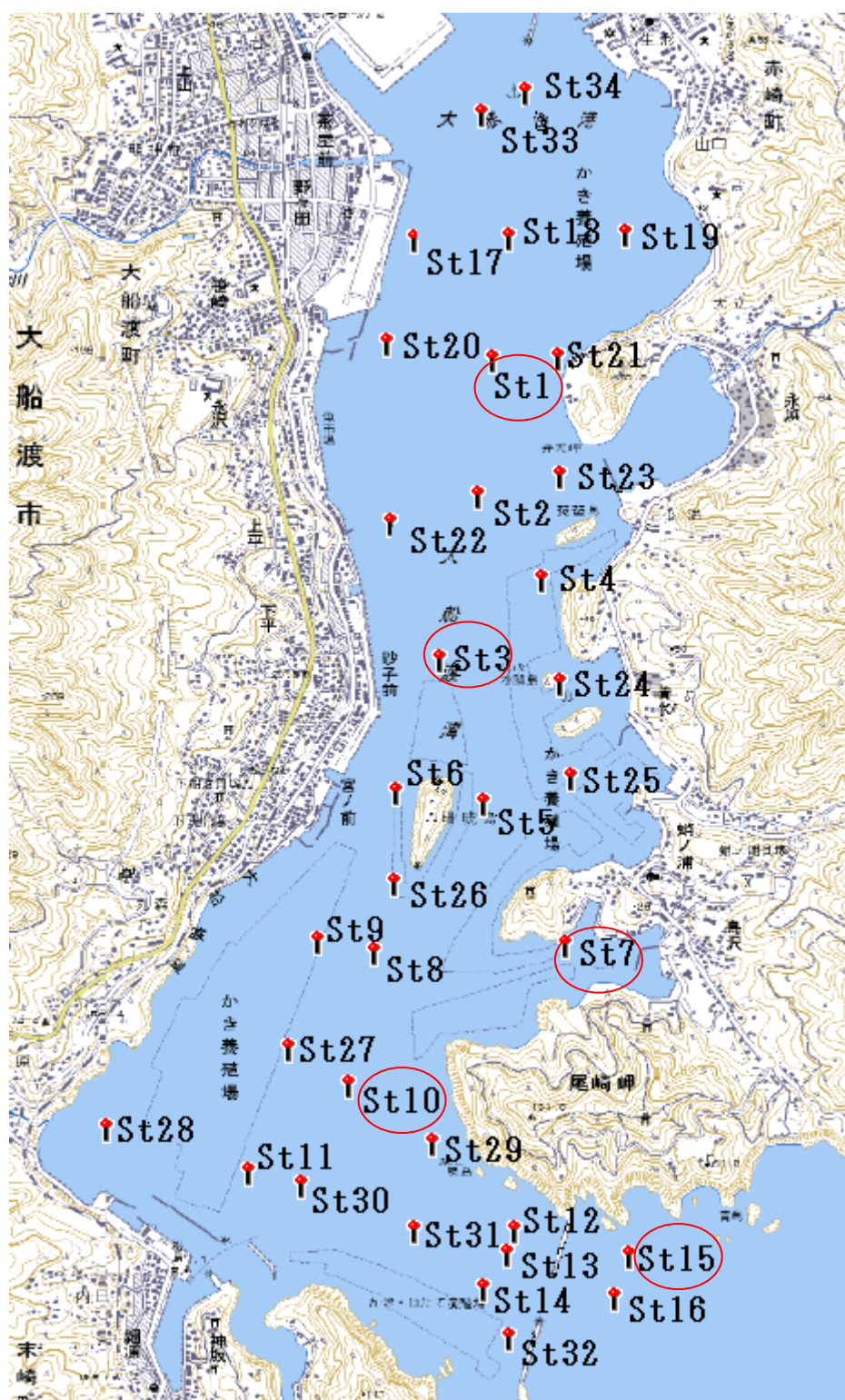
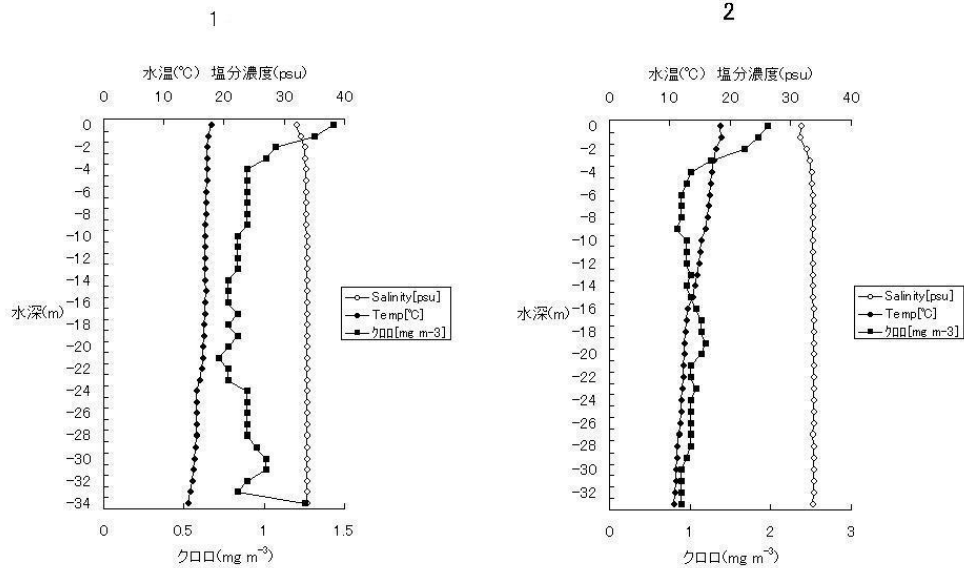


図8．8、11月のサンプリング定点（赤枠で囲んだ。n = 5）

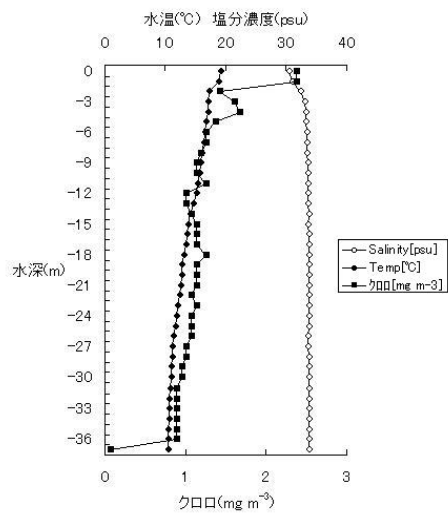
7. 水質環境

6月の水質環境（水温、塩分、クロロフィル量の鉛直分布）

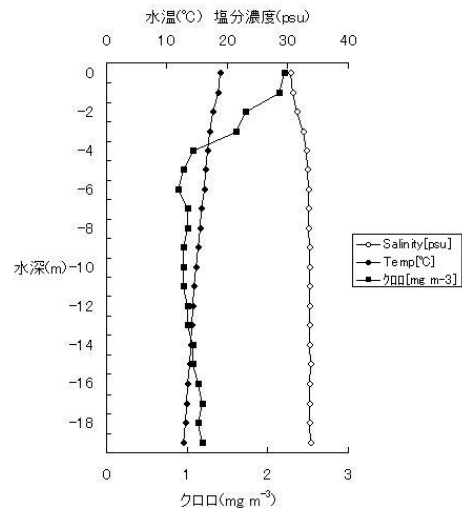
塩分は表層でやや低く淡水の影響が見られた。しかしそれ以下の層では変化がなく 33 psu 程度であった。一方、温度には水深とともにゆるやかな勾配がみられた。成層が形成されはじめている。さらに、クロロフィルは表層で卓越していた。



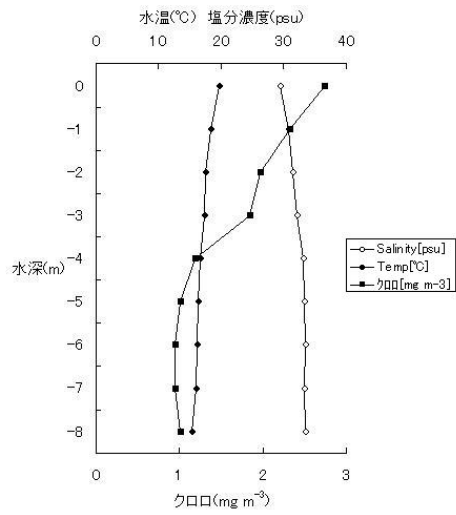
3



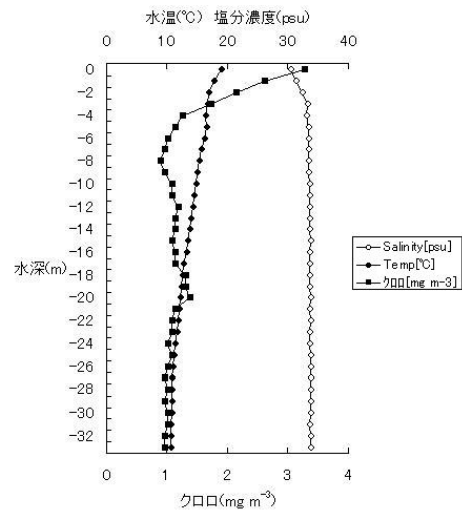
4



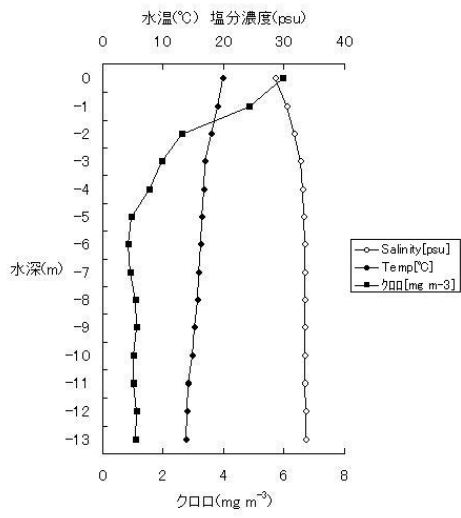
5



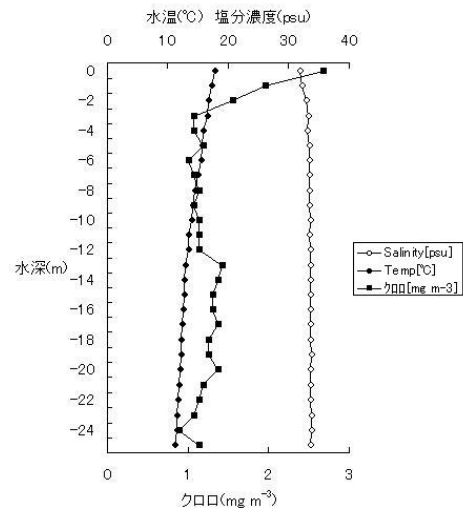
6



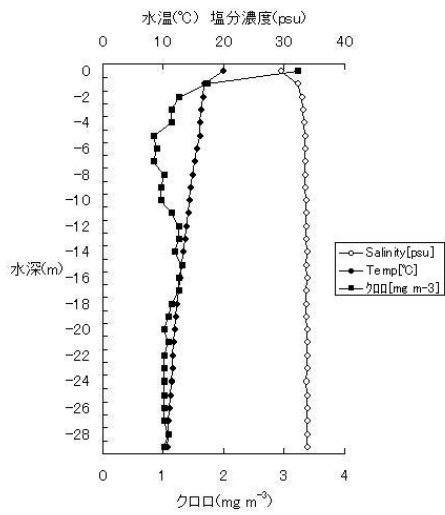
7



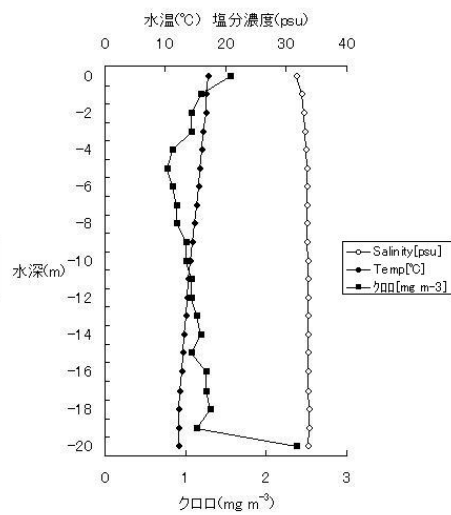
8



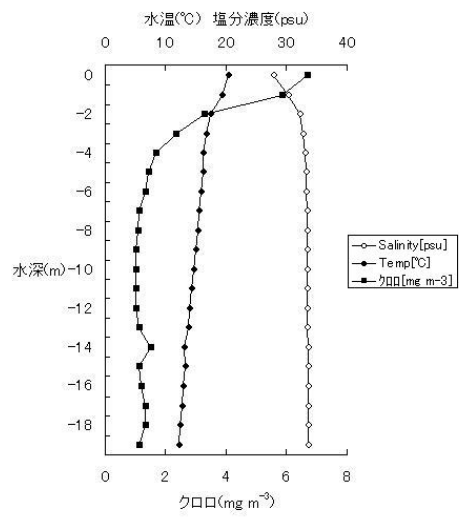
9



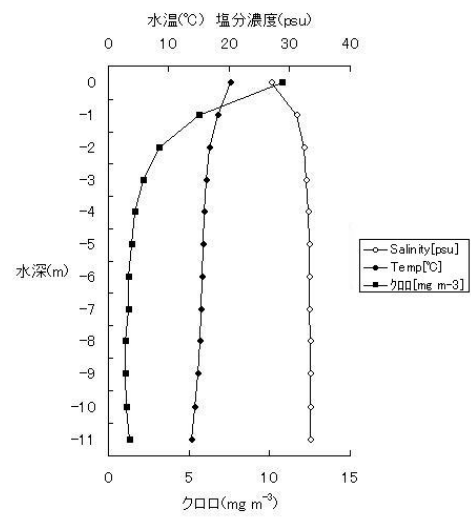
10



11

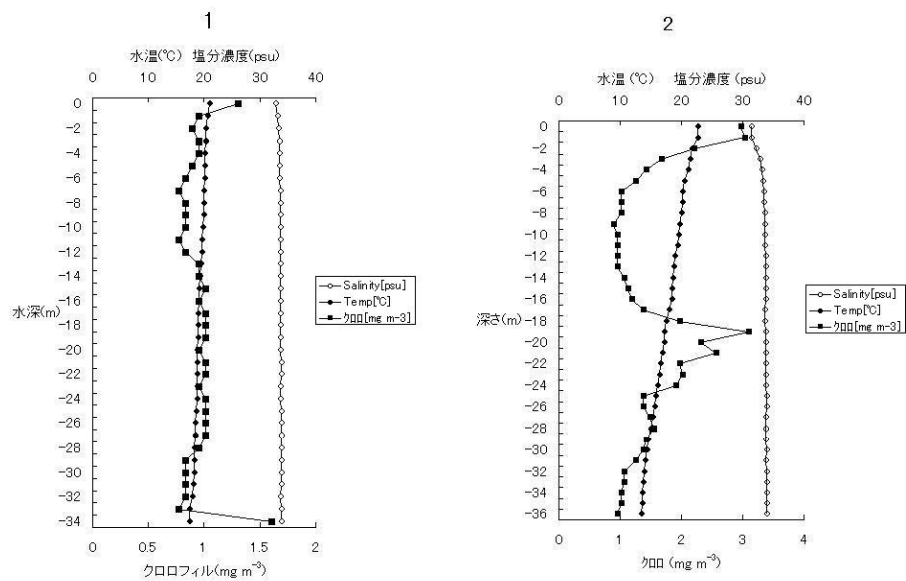


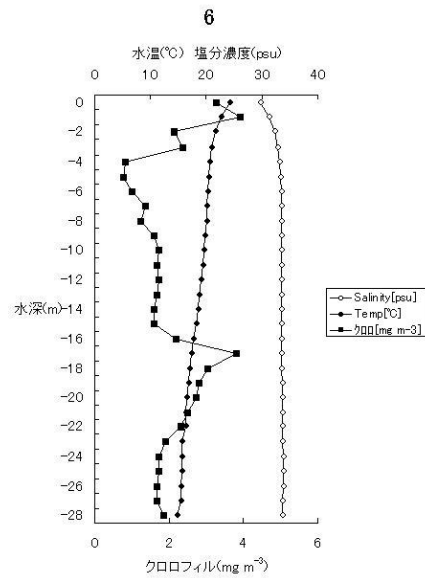
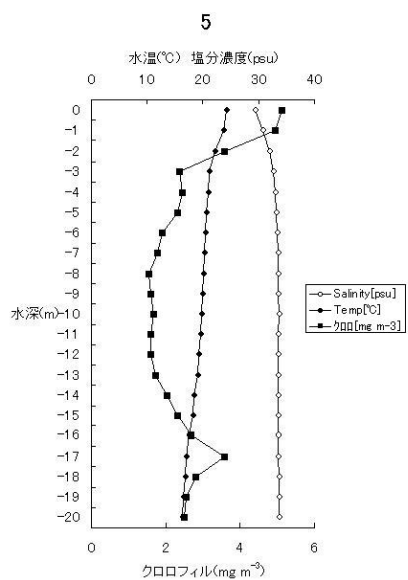
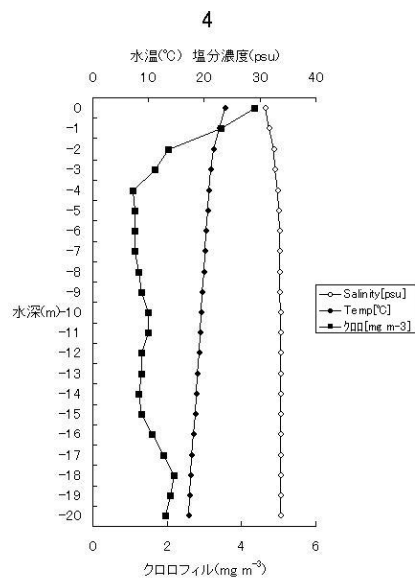
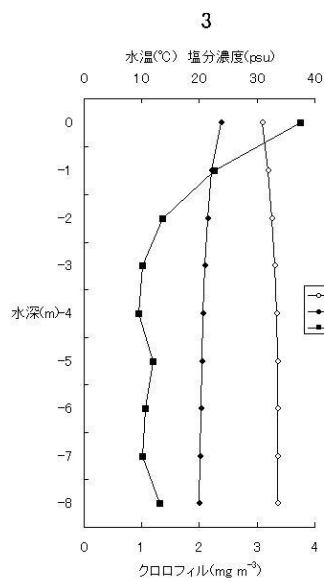
12



8月の水質環境（水温、塩分、クロロフィル量の鉛直分布）

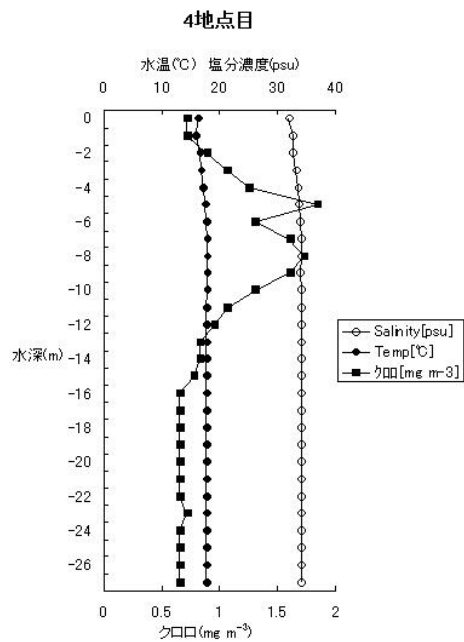
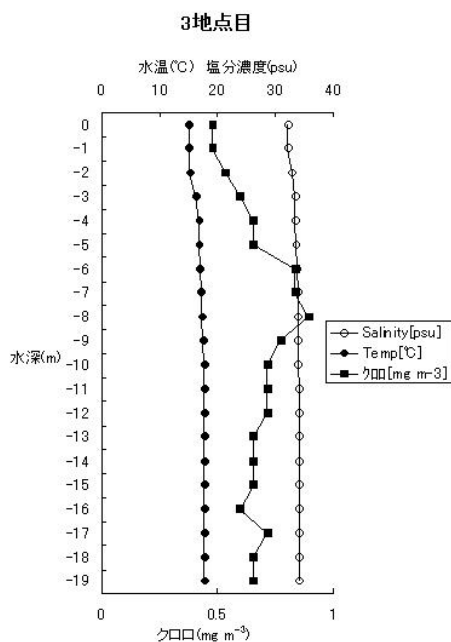
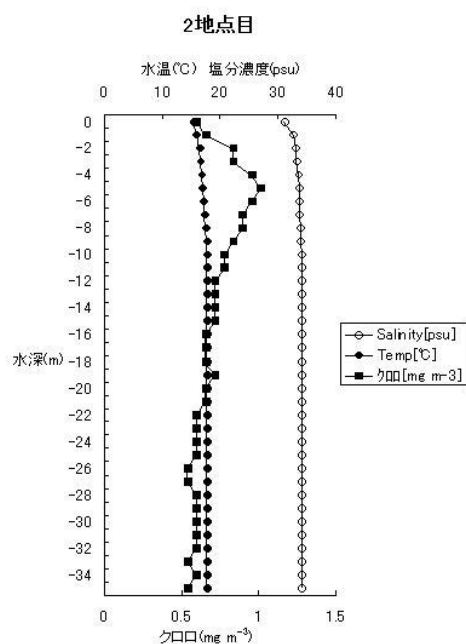
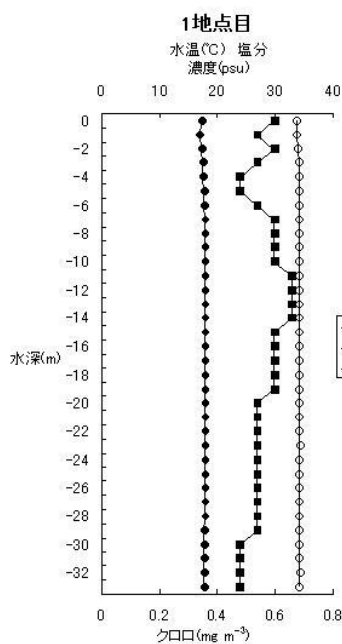
湾内では表層に低塩の水がある。表層でクロロフィルが卓越し内湾全体に広がっている。さらに16 - 18 m層でクロロフィルの極大が見られた。



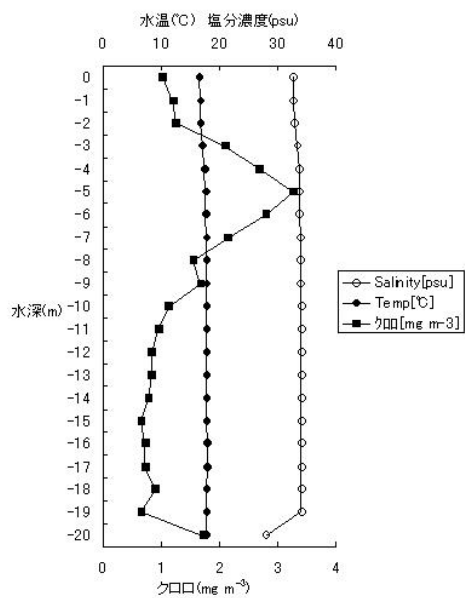


1 1月の水質環境（水温、塩分、クロロフィル量の鉛直分布）

表層が冷やされ、亜表層でクロロフィルの極大が見られる。



5地点目



懸濁物量

ガラスフィルター（GF/F）でろ過した懸濁物量を下に示した。

水柱の層別懸濁物量の分布（mg/l）

Stn.	6 月			8 月			11 月		
	上層	中層	下層	上層	中層	下層	上層	中層	下層
33	10.0	9.0	12.86	-	-	-	-	-	-
1	12.73	2.41	8.75	14.67	7.92	8.67	7.86	7.33	16.47
3	13.33	2.69	6.82	6.82	3.91	6.50	9.05	11.20	12.78
24	7.08	4.00	8.00	-	-	-	-	-	-
4	8.18	3.10	6.54	-	-	-	-	-	-
5	9.33	3.21	7.00	-	-	-	-	-	-
7	6.82	4.29	6.21	8.33	6.07	7.73	7.39	7.27	9.38
10	6.84	3.45	7.69	11.58	2.31	7.73	6.09	6.15	7.50
12	4.78	5.77	6.21	-	-	-	-	-	-
15	7.50	2.17	3.04	11.67	4.00	5.00	7.23	4.69	4.92

成層期である夏季（6 月および 8 月）にはクロロフィル量の多い上層で懸濁物量が多い。しかし、混合期の 11 月では、湾外の stn.15 を除いて底層で懸濁物量が多い。11 月のクロロフィルの鉛直分布は上層で多くそれ以外では少ない。これは、鉛直混合が盛んになったためにセジメントが巻き上げられている可能性がある。

8．底質環境

6月の底質環境

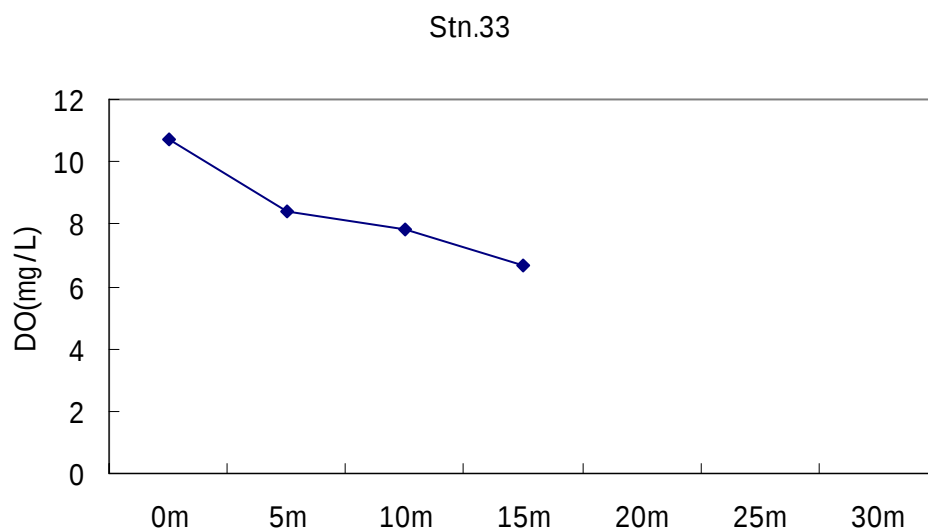
下表に現場で測定した観測項目をまとめた。透明度は外海と内湾で大きくことなつた。とくに河口に近い場所で透明度が低くなっている。これは淡水の流入量と関係する。

泥温は浅いところで高い傾向がある。Stn.3, 24 で酸化還元電位は最低となっている。この定点は昨年度の実験でも AVS の値が高かったところである。

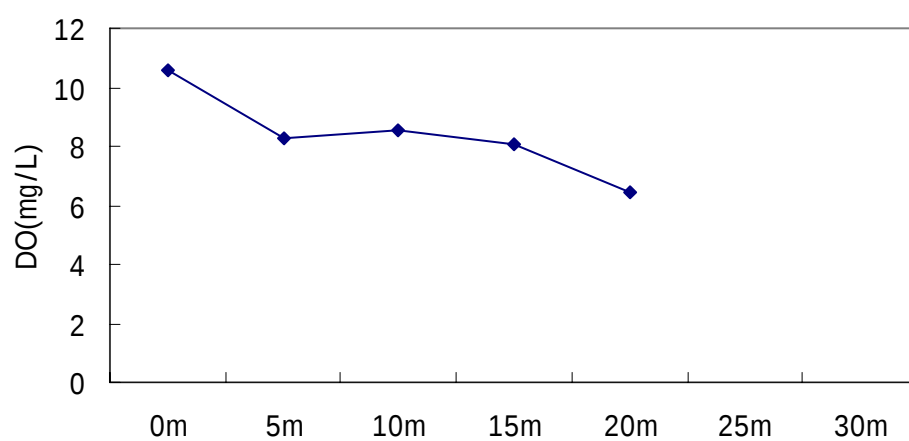
Stn.	水深 (m)	透明度 (m)	泥温 ()	酸化還元 電位(mV)
33	13.1	1.8	15.7	-301
1	20.9	2.6	15.5	-223
3	13.6	3.5	13.6	-380
24	32.0	6.3	13.8	-343
4	22.6	6.7	15.6	-263
5	35.4	6.0	12.8	-285
7	20.1	8.1	15.7	-208
10	37.6	7.4	12.3	-170
12	33.8	9.0	12.8	-315
15	34.9	13.0		

水柱の溶存酸素量（6月）

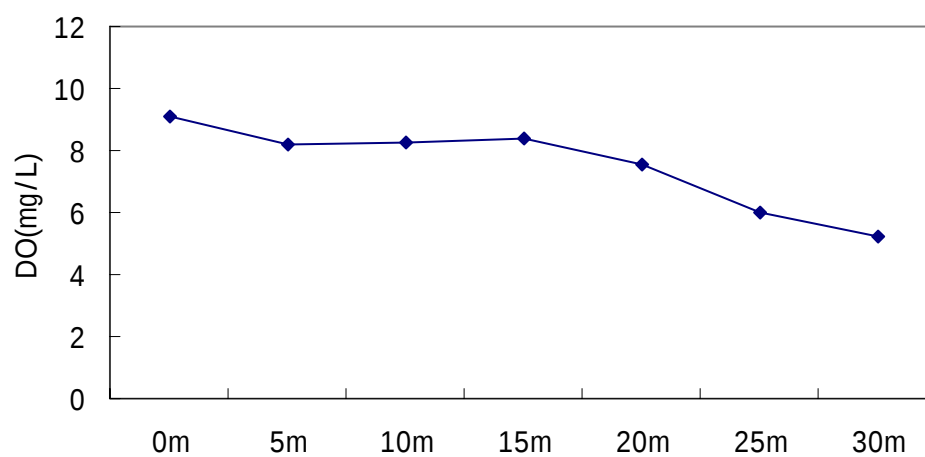
気温の上昇とともに底質が貧酸素化を始める。表層では光合成が盛んなため、溶存酸素は高い値を示す。



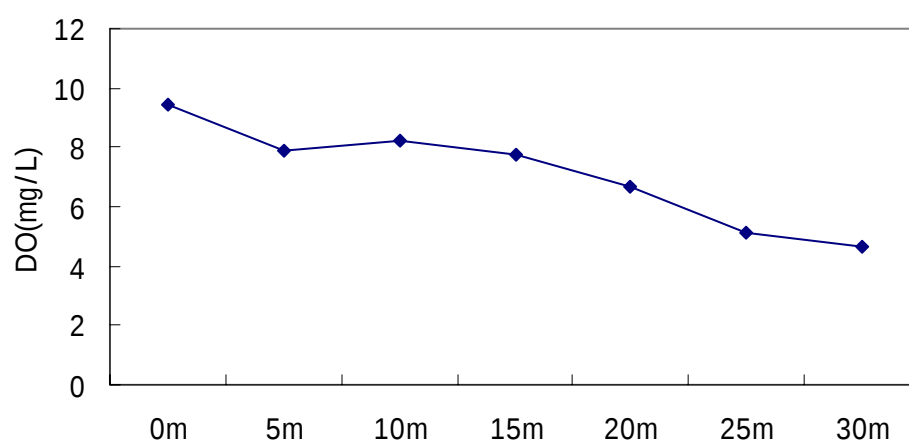
Stn.1



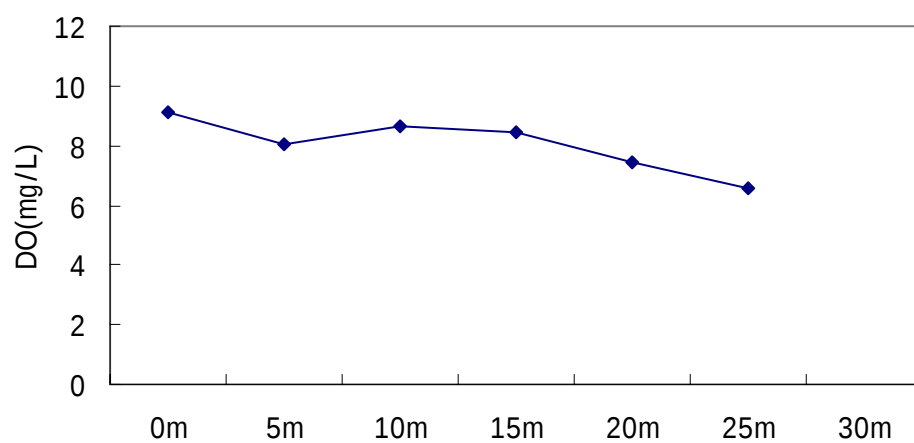
Stn.24



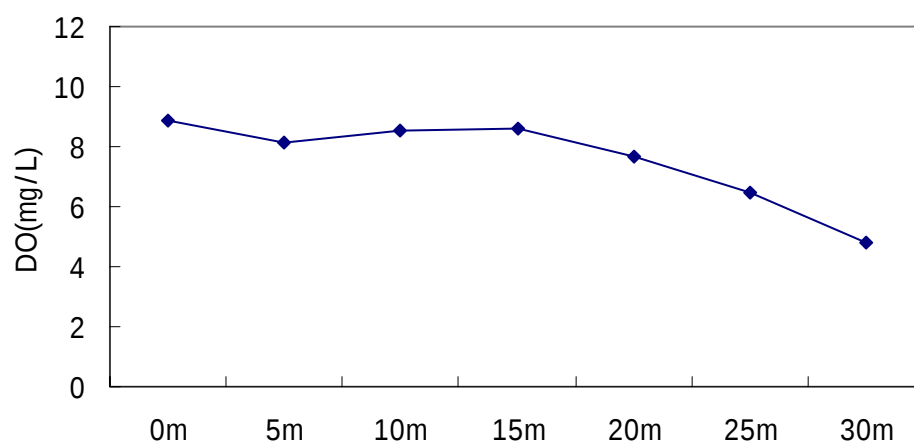
Stn.3



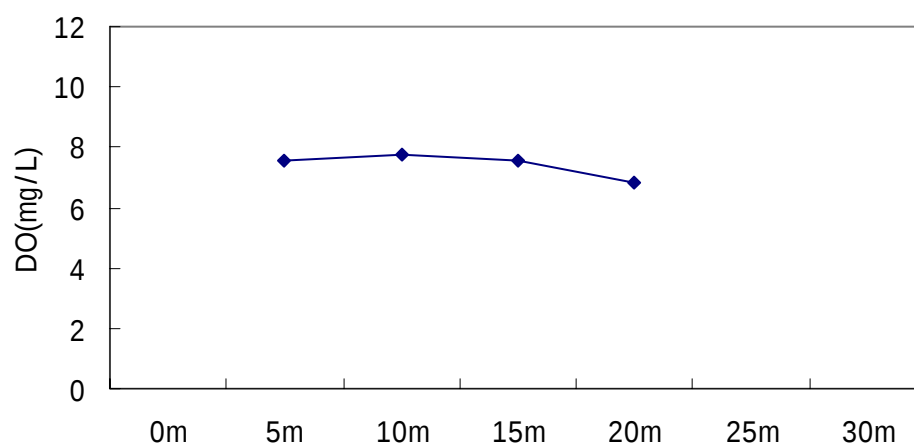
Stn.4



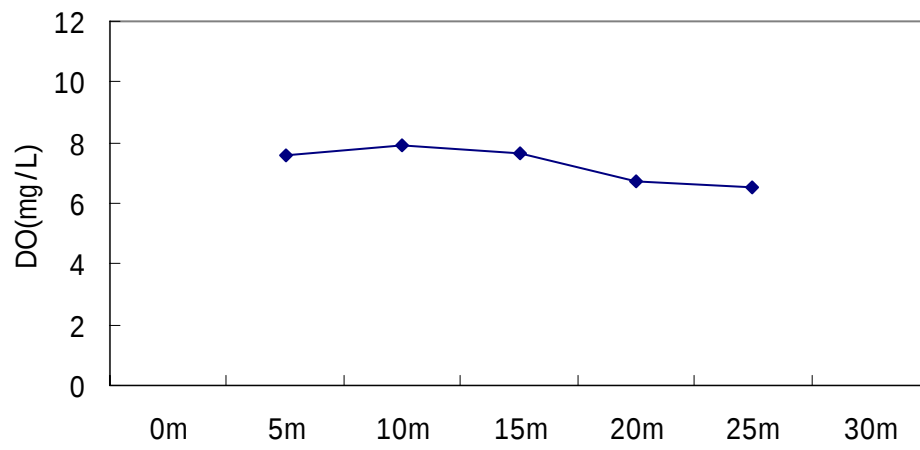
Stn.5



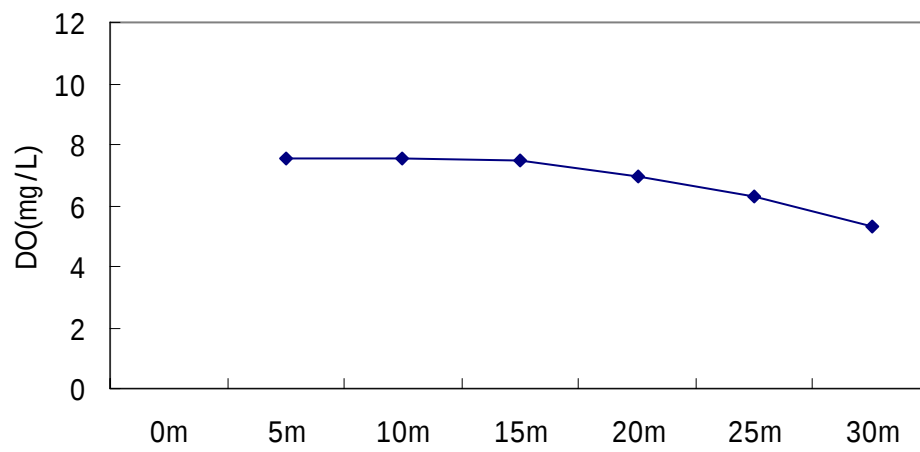
Stn.7



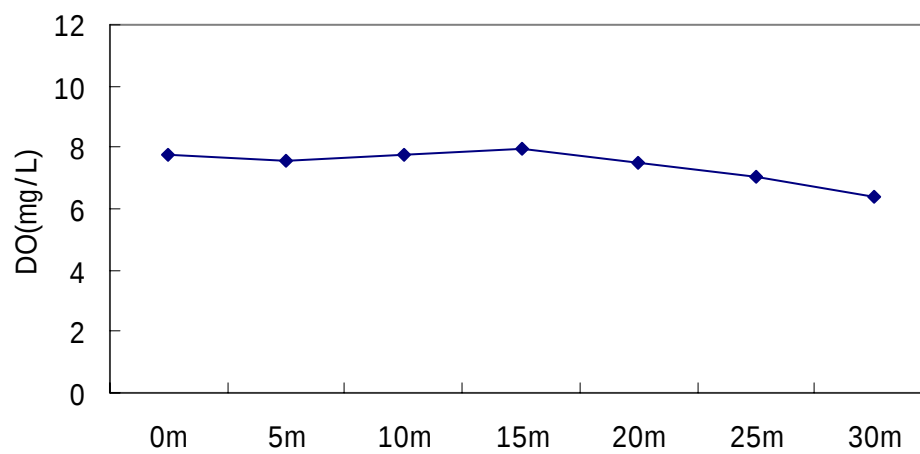
Stn.7-2



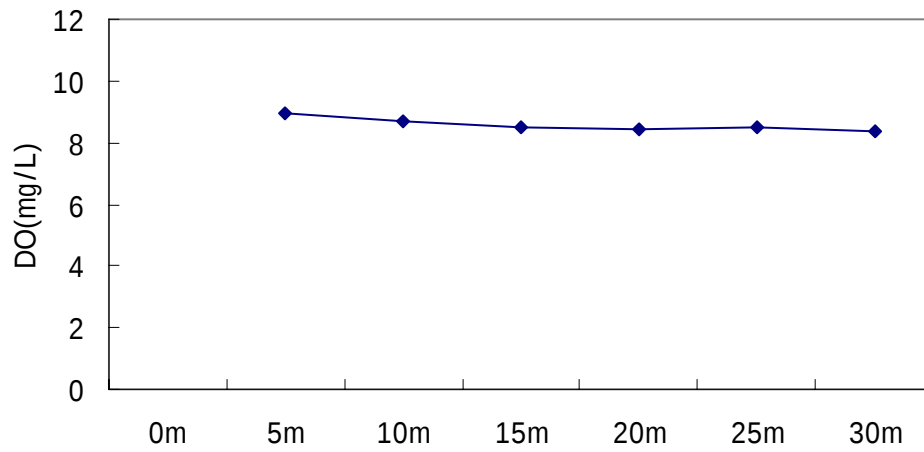
Stn.10



Stn.12



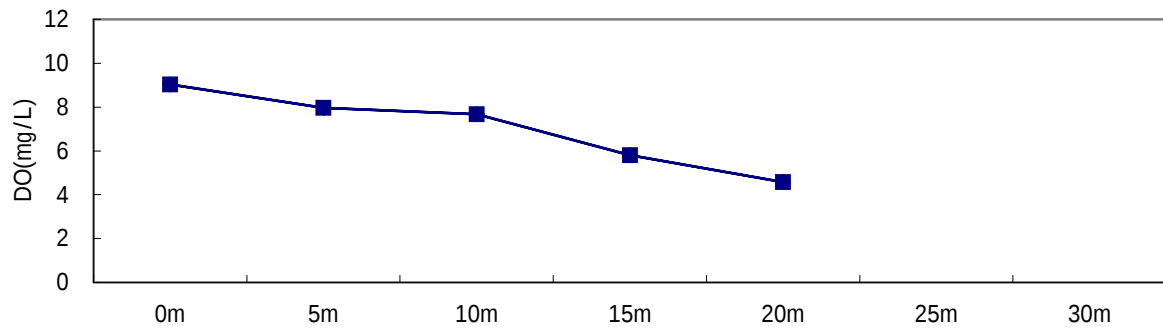
Stn.15



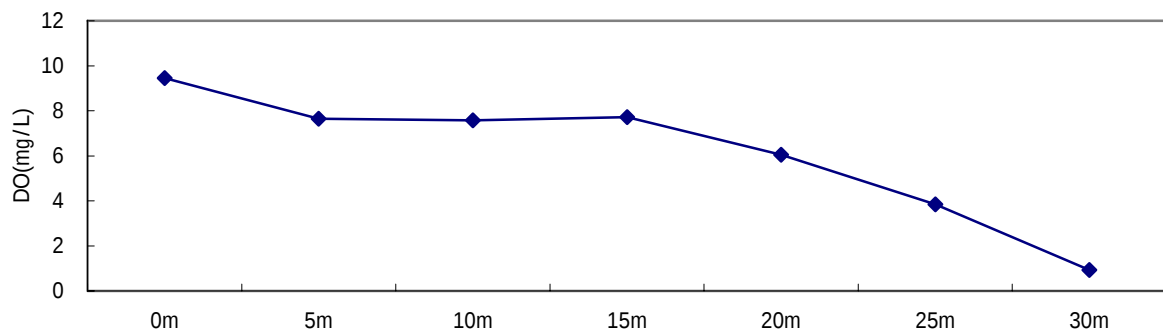
8月の溶存酸素

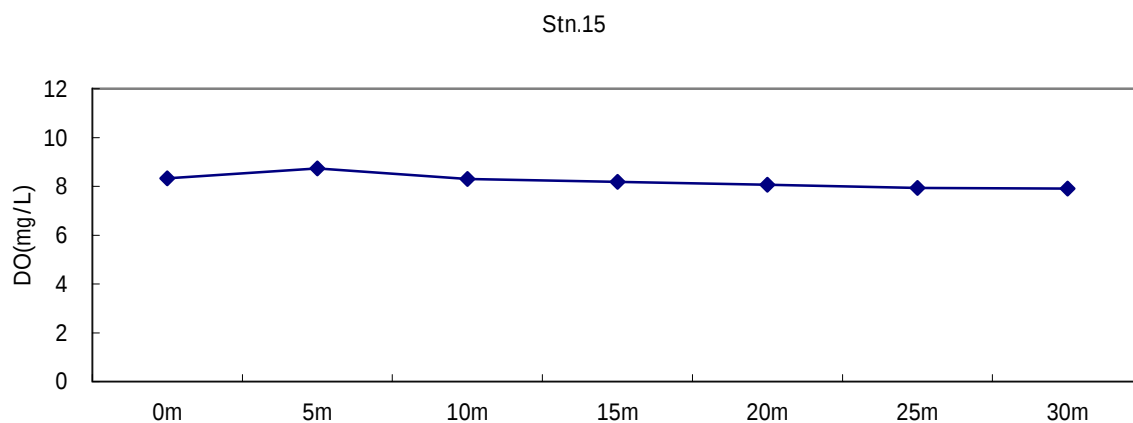
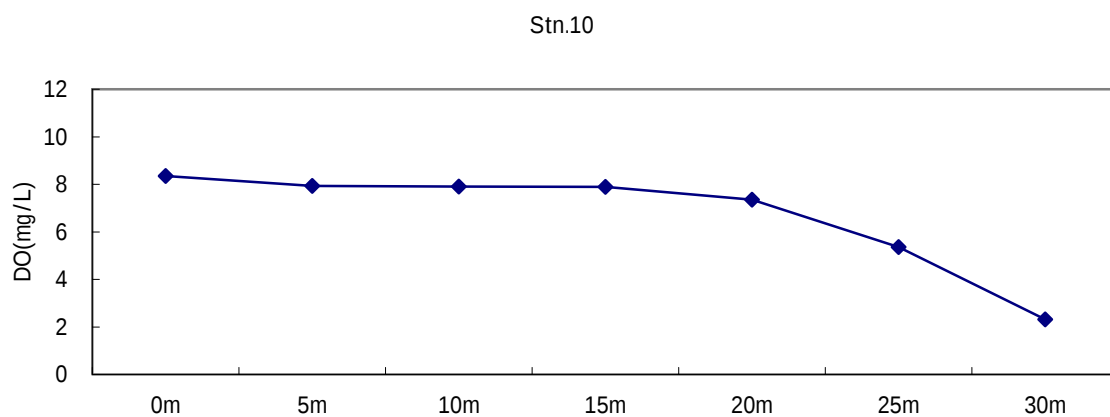
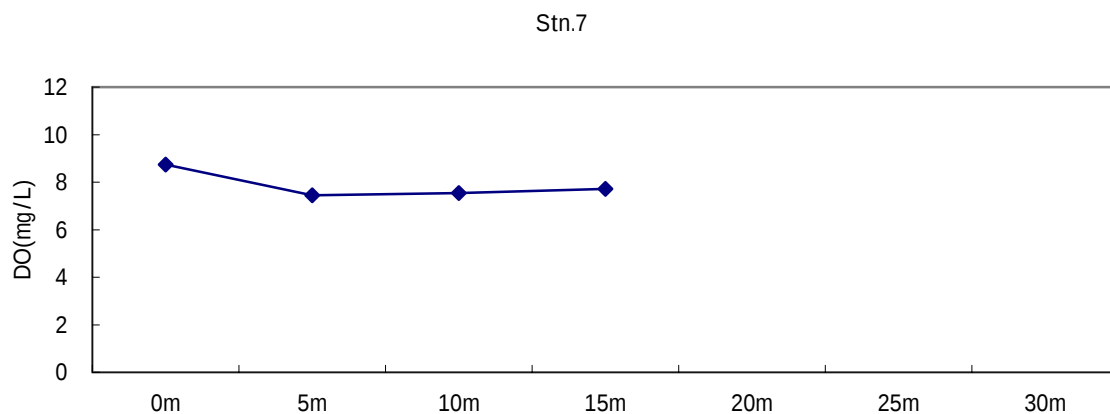
湾内では成層が発達し、底は貧酸素、場所によっては無酸素層ができている。しかし湾外の stn.15 では貧酸素層は生じない。Stn.7 はマリンリフターの近くであるため、stn.15 と同様に貧酸素層は生じていない。

Stn.1



Stn.3





9. ろ過食者の安定同位体比

材料

大船渡湾からキタアメリカフジツボ *Balanus glandula*、シロスジフジツボ *Fistulobalanus albicostatus*、越喜来湾からはチシマフジツボ *Semibalanus cariosus*、イワフジツボ *Chthamalus challenger*、キタアメリカフジツボ、シロスジフジツボ、吉浜湾からはカメノテ *Capitulum mitella* をそれぞれ 2005 年 5 月、7 月、9 月、11 月、1 月(越喜来湾のキタアメリカフジツボ、シロスジフジツボは 7 月のみ)(カメノテは 5 月、7 月)を採集し、本実験に供した。

材料の処理と測定試料の調整

まず材料となる蔓脚類の軟体部をピンセットやニードルで摘出し、その軟体部を恒温乾燥器(ADVANTEC、CI-310)で 60℃, 24 h 乾燥させる。乾燥重量で約 1mg 以上必要であるため、チシマフジツボ、カメノテは 1 個体の軟体部を 1 サンプル、シロスジフジツボ、キタアメリカフジツボは約 3~4 個体を 1 サンプル、イワフジツボは 6~7 個体を 1 サンプルとして、乾燥させたサンプルは乳鉢で粉末状にすりつぶし試験管に入れ、過去の同位体比を引きずらないようにするため 67 %CHCl₃ + 33 %CH₃OH(2:1)混合液を乾燥試料約 2 mg に対して 7 ml 加え、試験管ミキサー(Si、VOLTEX GENIE 2)で攪拌後、遠心分離機(KUBOTA、5700)で遠心分離し、上清を捨て脱脂した。この操作は遠心分離した混合液の色が透明になるまで(約 3 回)行い最後は混合液を捨てて脱脂したサンプルが試験管に入ったまま自然乾燥させ、その後小型ビニールパックに入れ、デシケータで測定するまで保存した。

測定

デシケータで保存しておいたサンプルをまず電子天秤で 1~2 mg 量った。このサンプルを錫箔で包み、元素分析計上部にあるオートサンプラーに投入し、測定した。測定原理は以下のようである。安定同位体を測定するためには、まずサンプルをガス化させる必要があり、そのために前処理装置である元素分析計(サーモエレクトロン、EA112)を使用した。この装置は有機物であるサンプルをまず酸化炉で燃焼させ、サンプルを CO、NO_x、SO_xに酸化する。次いで、これらのガスを還元炉でリファレンスガスと同じ CO₂、NO、SO に還元する。有機物燃焼の際、H₂O が発生するので、水トラップでこれを除去する。発生したサンプルガスは運搬用の He ガスでガスクロマトグラフィーカラムに送られ、ここを通過する間にそれぞれ CO₂、NO、SO に分離される。次にこれらサンプルガスと比較用リファレンスガスを連続的に送り出す装置であるインターフェース(サーモエレクトロン、Conflo)を使用し、安定同位体測定装置である質量分析計(サーモエレクトロン、DELTA^{plus}XP)に送り込む。質量分析計では、まずイオンソースでガスのイオン化が行われる。これにより、ガスが磁場の影響を受けるようにする。イオン化されたガスは磁場が発生しているアナライザへ送られる。この時、同位体元素の質量数の違いにより磁場を受けたときの湾曲度が異なる。質量数の異なる元素は、湾曲度の違いにより対応した別々のファラデーカップに入る。これらカップに入った元素量の比を調べることで同位体比が測定できる。本研究では δ¹³C、δ¹⁵N について測定したので、二次標準試料としてアラニンを使用した。

安定同位体比を表す δ 値について説明する。δ 値はそれぞれの原子の国際的に決められた標準試料と、サンプルの同位体存在比の相対千分比率で表す。標準試料は δ¹³C が PDB、δ¹⁵N が大気窒素である。式として表すと次のようになる。なお、R_{sample} がサンプルの値、R_{std} が標準試料の値である。

$$\delta = (R_{\text{sample}} - R_{\text{std}})/R_{\text{std}} \times 1000$$

測定により得られた安定同位体対比を x 軸に δ¹³C 値を、y 軸に δ¹⁵N 値を配した座標(δ¹³C-δ¹⁵N マップ)にプロットした。これを解析することにより、一次生産者から高次生産者への光合成産物輸送経路の解明(Wada et al.,1987)に努めた。

結果と考察

1. 安定同位体の変動

1-1. イワフジツボ

越喜来湾

イワフジツボに関して、 $\delta^{13}\text{C}$ は 5 月で -19.24 ‰、7 月で -18.186 ‰、9 月～1 月にかけては -17.36 ‰～-17.66 ‰の間の変動があった。 $\delta^{15}\text{N}$ は 5 月で 8.49 ‰、7 月～1 月で 9.06 ‰～11.54 ‰の変動であった。

1-2. チシマフジツボ

越喜来湾

チシマフジツボに関して、 $\delta^{13}\text{C}$ は 5 月のみ -19.20 ‰と低い値を示したが、7 月～1 月にかけては -17.73 ‰～-17.36 ‰の間での変化であった。 $\delta^{15}\text{N}$ は 7.75 ‰～8.6 ‰の間での変化であった。

1-3. シロスジフジツボ

越喜来湾

この湾のシロスジフジツボは、7 月のみの測定であるが、 $\delta^{13}\text{C}$ が -17.652 ‰
 $\delta^{15}\text{N}$ が 9.84 ‰であった。

大船渡湾

大船渡湾のシロスジフジツボの $\delta^{13}\text{C}$ は 5 月～7 月で -16.30 ‰程度、9 月～1 月で -15.22 ‰～-15.68 ‰程度、 $\delta^{15}\text{N}$ は 9.28 ‰～11.55 ‰の変動であった。

1-4. キタアメリカフジツボ

越喜来湾

この湾のシロスジフジツボは、7 月のみの測定であるが、 $\delta^{13}\text{C}$ が -17.098 ‰
 $\delta^{15}\text{N}$ は 9.55 ‰であった。

大船渡湾

キタアメリカフジツボに関して、 $\delta^{13}\text{C}$ は 5 月で -16.024 ‰、7 月で -17.30 ‰、9 月～1 月で -15.67 ‰～-15.92 ‰の変動、 $\delta^{15}\text{N}$ は 5 月～1 月で 9.11 ‰～11.23 ‰であった。

1-5 カメノテ

吉浜湾

吉浜湾のカメノテに関して、 $\delta^{13}\text{C}$ は 5 月で -18.77 ‰、7 月で -18.932 ‰、 $\delta^{15}\text{N}$ は 5 月で 8.488 ‰、7 月で 11.45 ‰であった。

越喜来湾のイワフジツボと同湾のチシマフジツボについて両種の安定同位体の最高値を比

較してみると、 $\delta^{15}\text{N}$ は 8.49 ‰、片や 11.54 ‰となり約 3 ‰ほどイワフジツボの方が高い。通年このように大きな差があるわけではないが、イワフジツボの方が常に高い値を示していた。 $\delta^{15}\text{N}$ は脊椎動物、無脊椎動物を問わず 1 つ栄養段階が上がると 3~4 ‰の濃縮が起こることが報告されている(DeNiro and Epstein, 1981; Minagawa and Wada, 1984)ことを考えると、イワフジツボの方が完全に動物プランクトンを摂餌しているというよりは、チシマフジツボよりも動物プランクトンへの依存性が高いと考える方が妥当であると思われる。また、イワフジツボより $\delta^{15}\text{N}$ が低かったチシマフジツボと大船渡湾のキタアメリカフジツボおよびシロスジフジツボの $\delta^{15}\text{N}$ を比較してみると、越喜来湾のチシマフジツボの最大値が 8.49 ‰であったのに対し、キタアメリカフジツボは 11.23 ‰、シロスジフジツボは 11.54 ‰であり、大船渡湾の 2 種の蔓脚類は最大値で約 3 ‰程度チシマフジツボより高い値を示した。このことは、大船渡湾の 2 種の蔓脚類に関してもチシマフジツボより動物プランクトン摂餌の依存性が高いか、あるいは、両湾の基礎生産者の同位対比自体に元々違いがある、のいずれかが考えられる。本実験では消化管の内容物を観察していないため、このふたつの推定の確からしさを明らかにするには蔓脚類の消化管を検鏡してみる必要がある。

2. 種の違いと安定同位体比の変化の関係

越喜来湾のチシマフジツボに関して上記で示した結果から 5 月以外(7 月~1 月)の間では、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ とともに大きな変動が表れなかった。越喜来湾のイワフジツボは、5 月では $\delta^{13}\text{C}$ が他の月より低い値を示した。また、 $\delta^{15}\text{N}$ は 7 月に最も高くなり、9 月、11 月とだんだん下がっていく傾向があった。大船渡湾のキタアメリカフジツボは 7 月の $\delta^{13}\text{C}$ は他の月より低い値を示した。 $\delta^{15}\text{N}$ は 9 月に高い値を示し、他の月は同じぐらいの値であった。大船渡湾のシロスジフジツボの $\delta^{13}\text{C}$ は通年-16~-15 ‰の間であったが、 $\delta^{15}\text{N}$ は 9 月に高い値を示した。

この結果を見ると、越喜来湾のイワフジツボが 7 月に $\delta^{15}\text{N}$ が高く、大船渡湾の 2 種のフジツボが 9 月に $\delta^{15}\text{N}$ がおおむね高い値を示していた。一般的に、植物プランクトンの増殖は春と秋に多くなる。越喜来湾でもそれに似た傾向がある。夏はむしろ植物プランクトンが乏しく、動物性のプランクトンがむしろ多くなる。このことが夏の $\delta^{15}\text{N}$ が高い理由と考えられる。しかしこの推定を裏付けるには季節のクロロフィル濃度を測定する必要がある。

3. 生息場所の違いと安定同位対比の変動

$\delta^{13}\text{C}$ に関して、越喜来湾の蔓脚類はチシマフジツボ、イワフジツボとも 7 月～1 月は $-18.19\text{‰} \sim -17.36\text{‰}$ の間の変動であった。一方、大船渡湾のシロスジフジツボ、キタアメリカフジツボは 9 月～1 月の間で $-15.79\text{‰} \sim -15.22\text{‰}$ の間の変動であった。このように、狭い範囲では 1.57‰ 、広い範囲では 2.97‰ の違いである。

食物連鎖の過程における $\delta^{13}\text{C}$ の濃縮は栄養段階が 1 上がっても 1‰ 以下であるという報告 (DeNiro and Epstein, 1978; Fry, 1988) があることから、両湾の栄養塩の違いに関係していると考えることができる。これは、植物が代謝を行う過程で、栄養塩が多く、回転率の高い環境水中では重い ^{13}C も多く取り込んだ結果として、蓄積される割合が高くなるため、高い安定同位体比の値を示すと考えられることに由来している。富栄養化で知られる大船渡湾の環境水は越喜来湾に比べると若干栄養塩濃度が高いのではないかと考えられる。しかし、この推定に信憑性をもたせるには、両湾の植物プランクトンの安定同位体比を測定することが必要である。

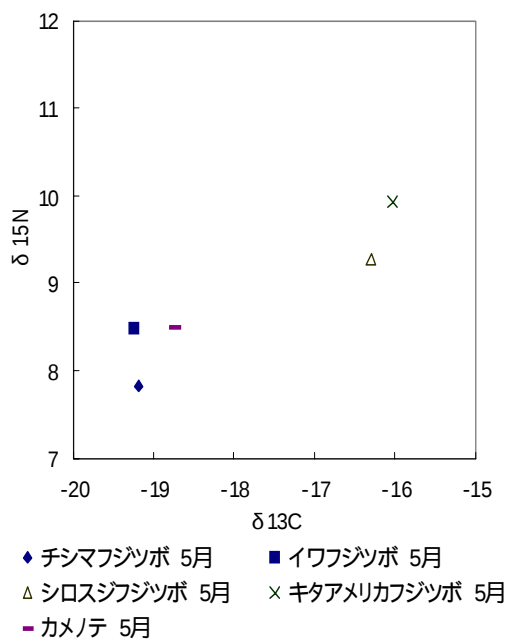


図1. 5月の各湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ

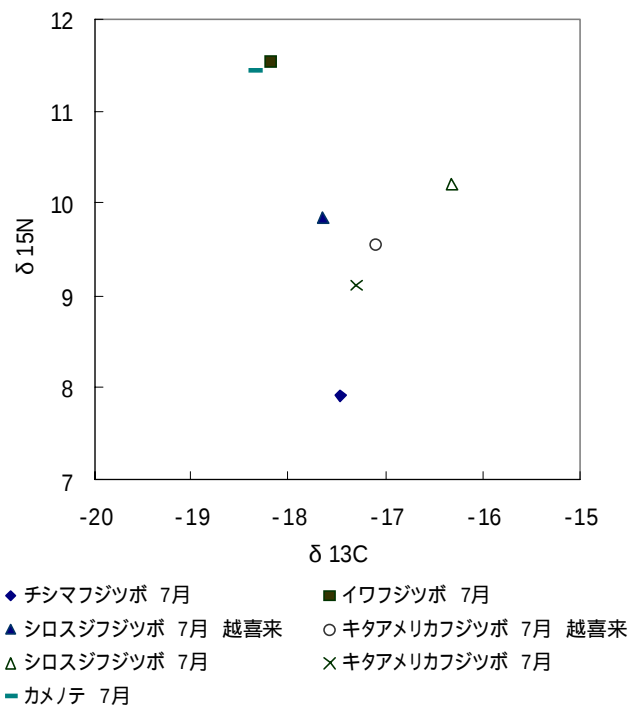


図2. 7月の各湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ

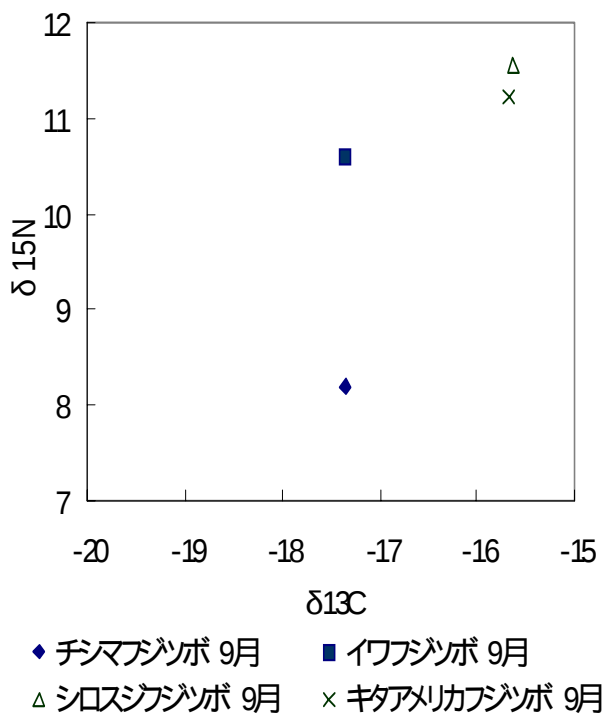


図3. 9月の各湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ

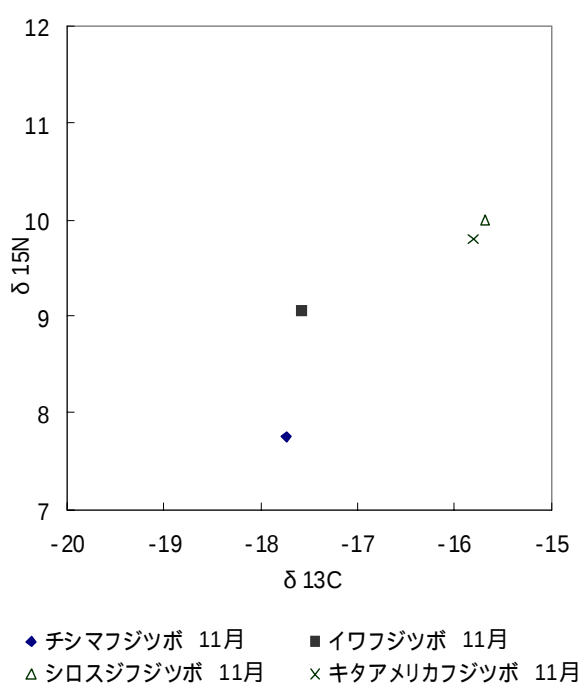


図4. 11月の各湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ

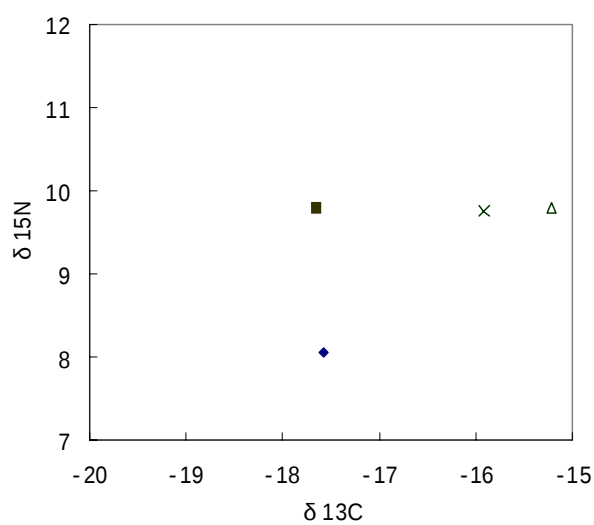
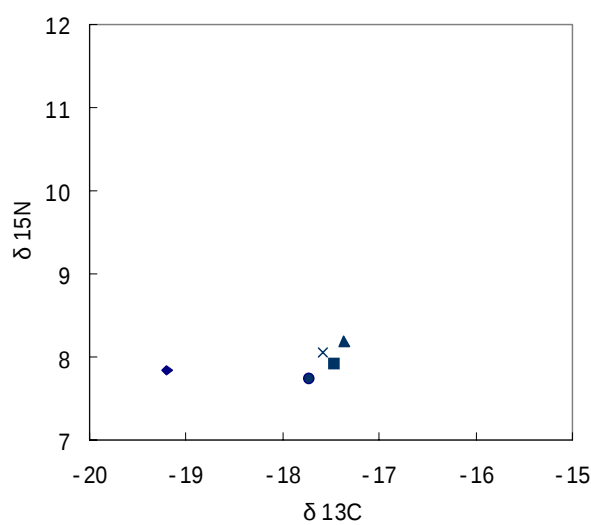
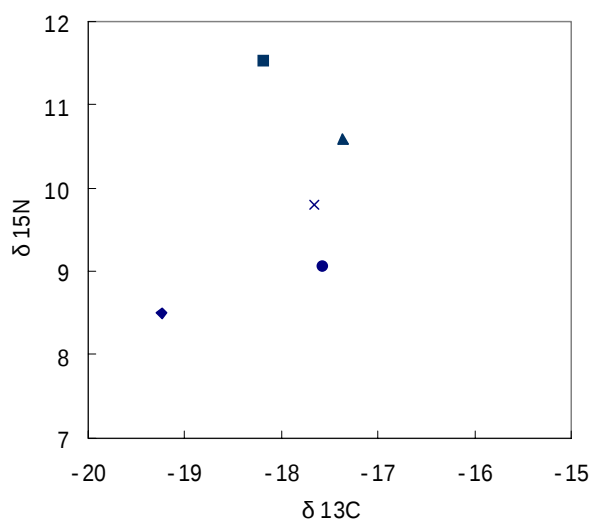


図5. 1月の各湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ



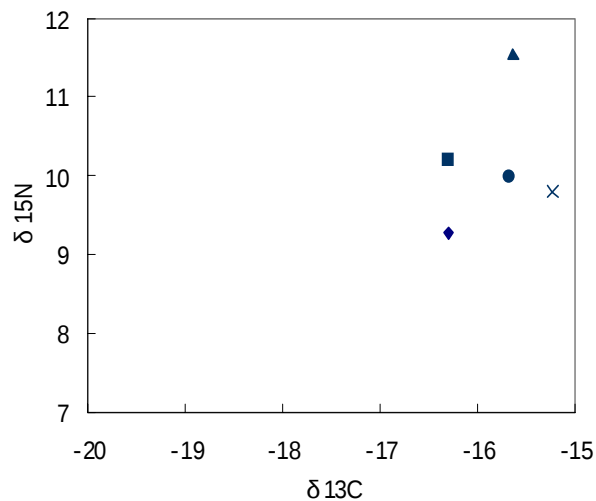
◆ チシマフジツボ 5月 ■ チシマフジツボ 7月
▲ チシマフジツボ 9月 ● チシマフジツボ 11月
× チシマフジツボ 1月

図6. チシマフジツボの季節変動 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ



◆ イワフジツボ 5月 ■ イワフジツボ 7月
▲ イワフジツボ 9月 ● イワフジツボ 11月
× イワフジツボ 1月

図7. イワフジツボの季節変動 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ



◆ シロスジフジツボ 5月 ■ シロスジフジツボ 7月
▲ シロスジフジツボ 9月 ● シロスジフジツボ 11月
× シロスジフジツボ 1月

図8. シロスジフジツボの季節変動 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ

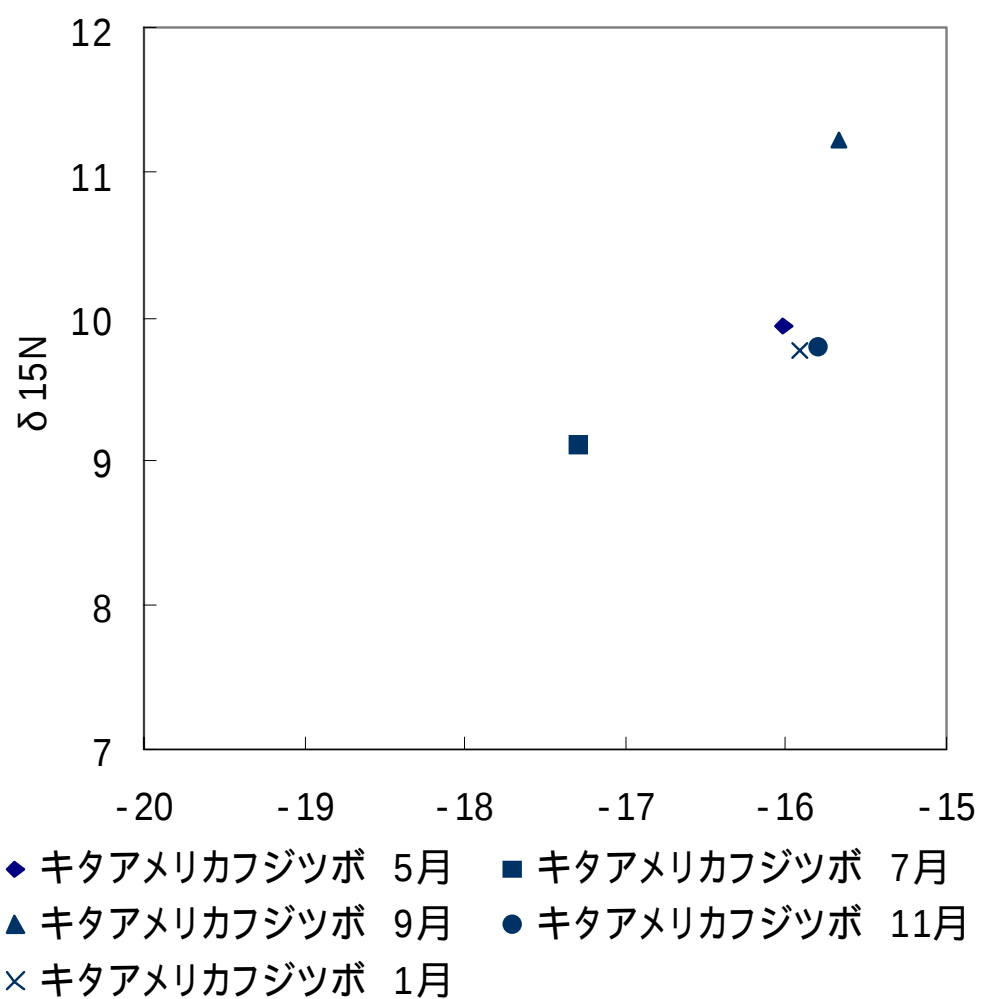


図9. キタアメリカフジツボの季節変動 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ

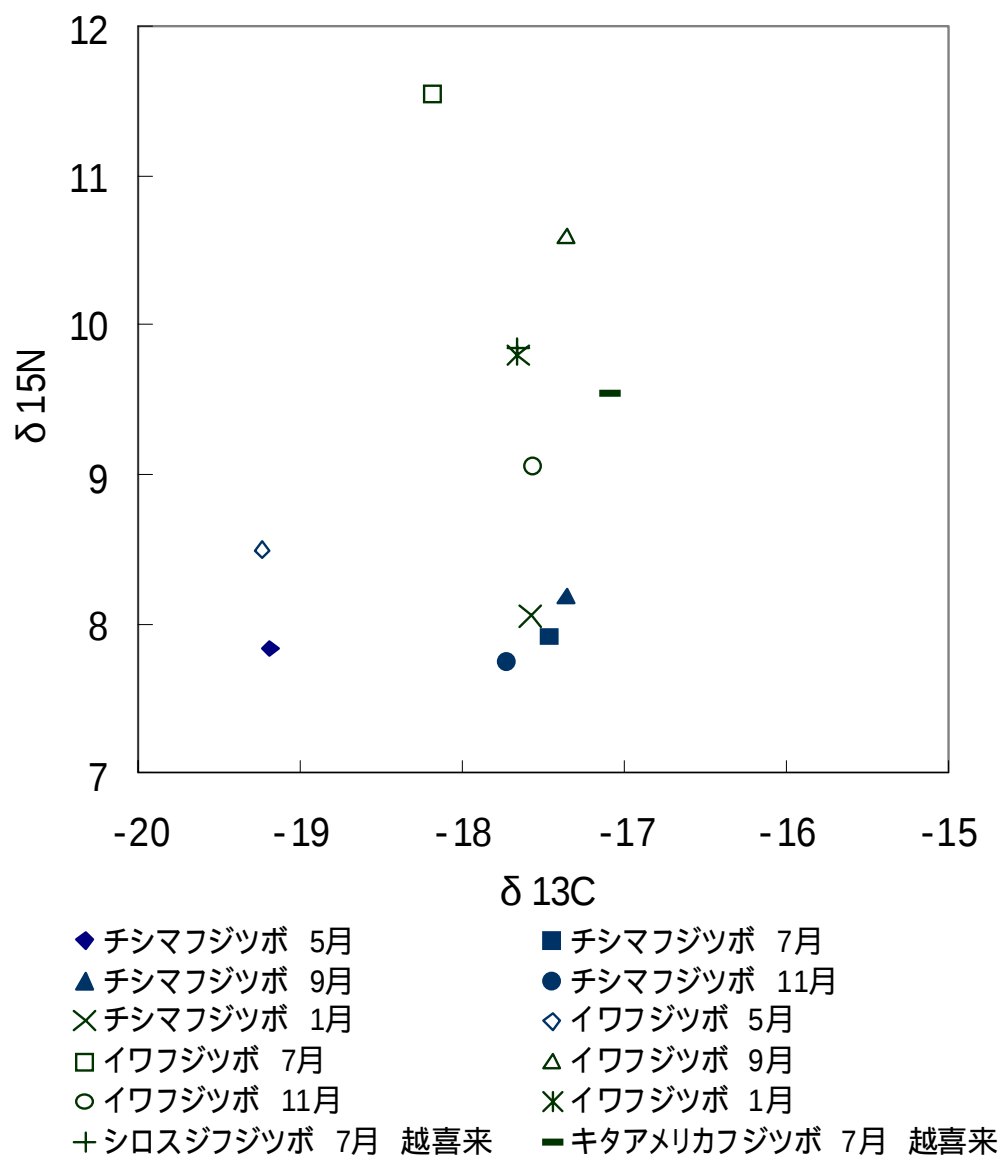


図10. 越喜来湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ

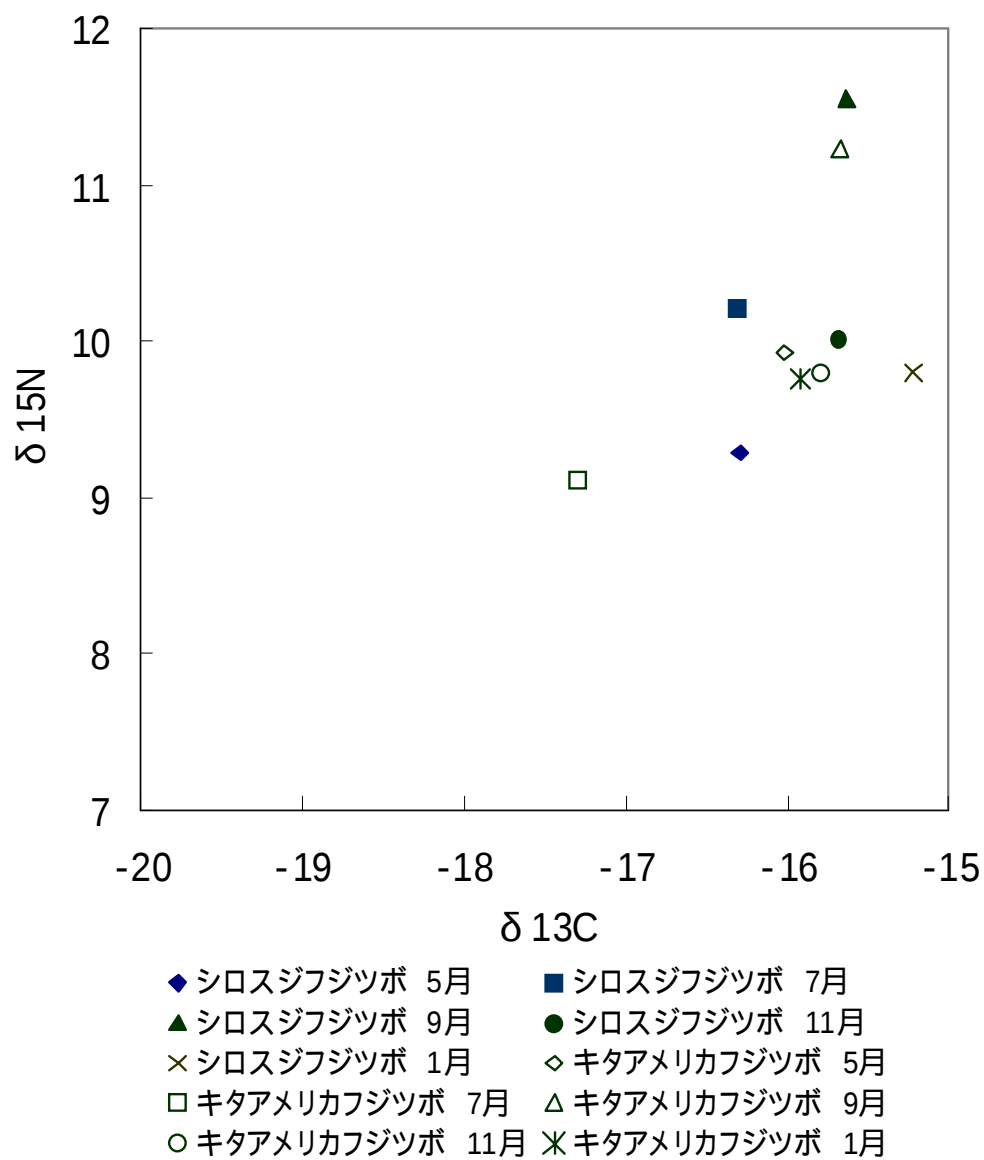


図11. 大船渡湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ

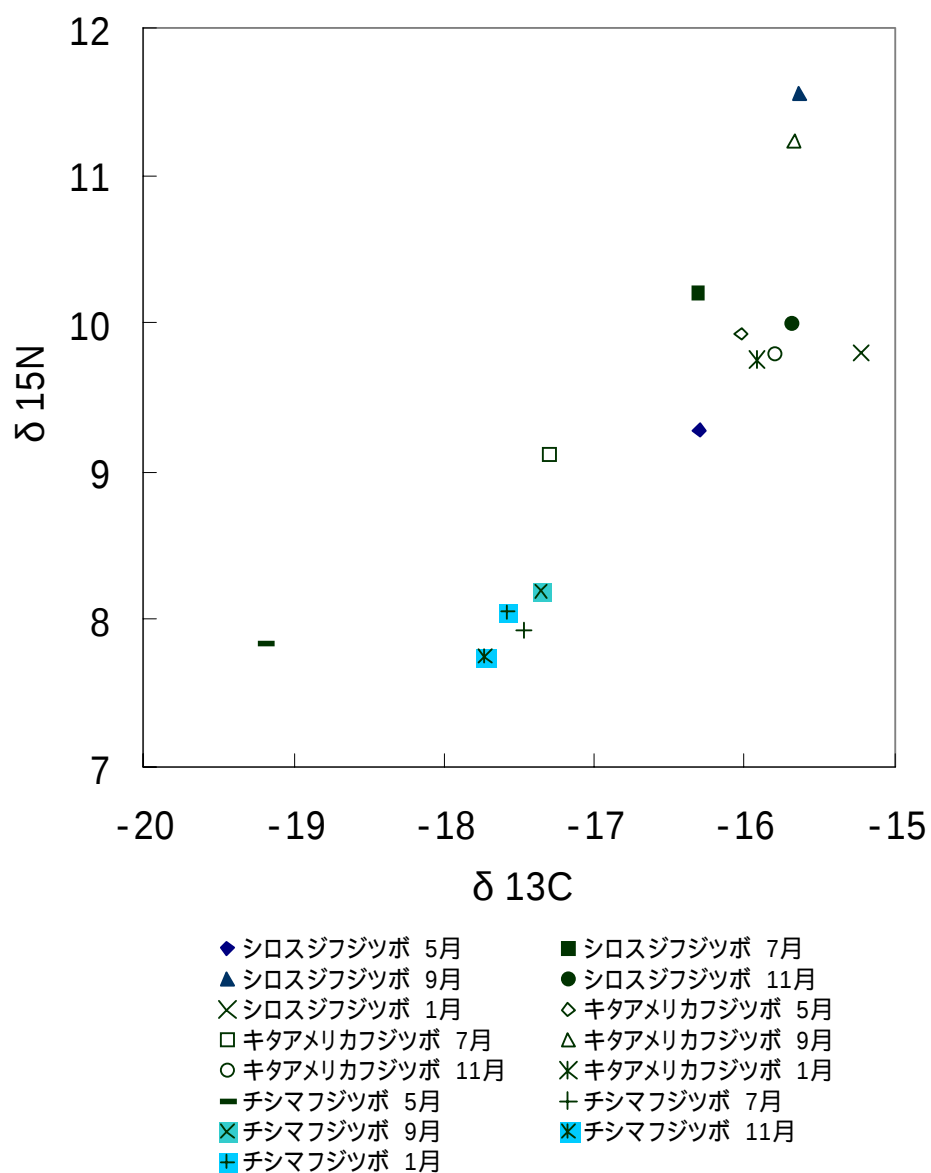


図12. チシマフジツボと大船渡湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ

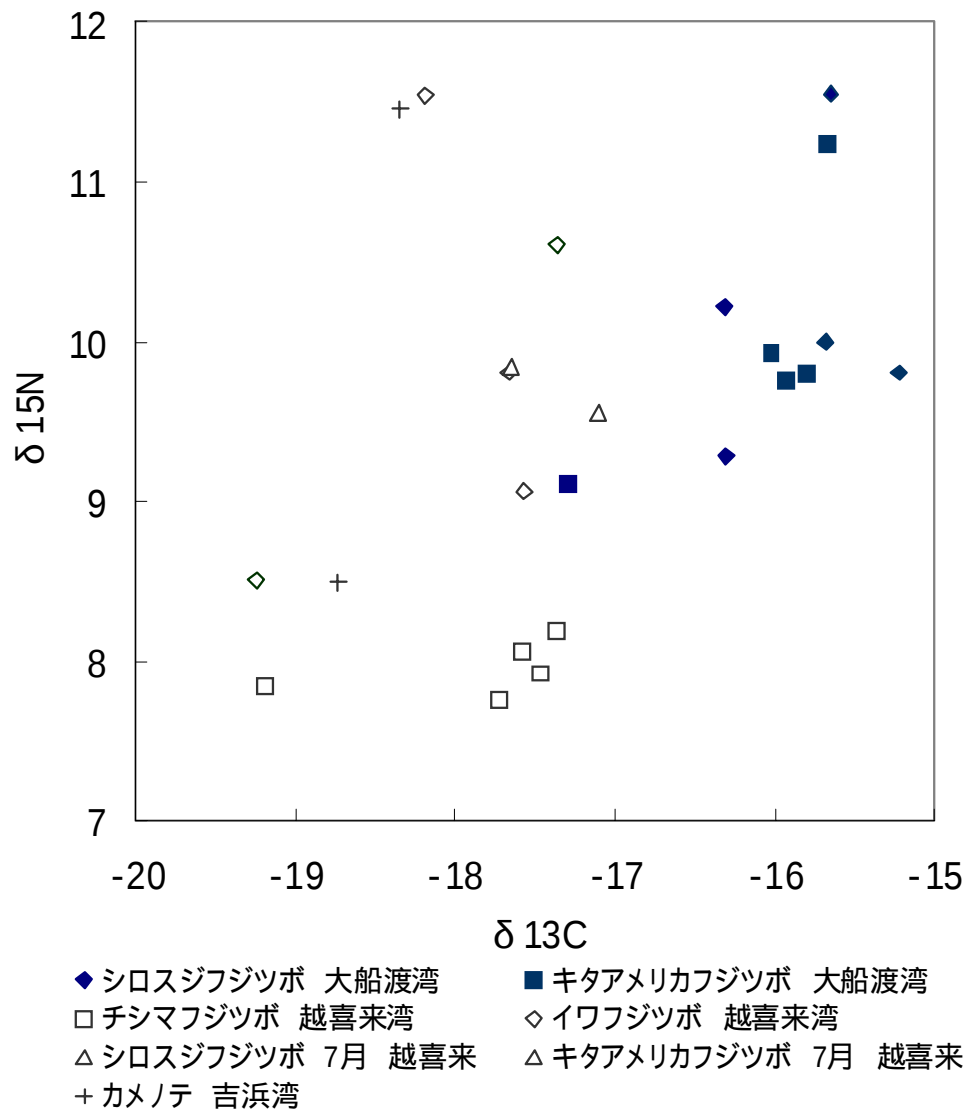


図13. 各湾の各蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ

表1. 5月の各湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$

種小名	生息場所	季節	n	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
チシマフジツボ	越喜来湾	5月	1	-19.195	7.844
イワフジツボ	越喜来湾	5月	1	-19.244	8.488
シロスジフジツボ	大船渡湾	5月	1	-16.302	9.725
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	5月	1	-17.304	9.932
カメノテ	吉浜湾	5月	1	-18.774	8.488

表2. 7月の各湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$

種小名	生息場所	季節	n	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
チシマフジツボ	越喜来湾	7月	3	-17.468	7.918
イワフジツボ	越喜来湾	7月	1	-18.186	11.539
シロスジフジツボ	越喜来湾	7月	1	-16.309	10.21
キタアメリカフジツボ	越喜来湾	7月	1	-17.098	9.547
シロスジフジツボ	大船渡湾	7月	1	-17.652	9.844
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	7月	1	-17.304	9.109
カメノテ	吉浜湾	7月	3	-18.932	11.445

表3. 9月の各湾の蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$

種小名	生息場所	季節	n	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
チシマフジツボ	越喜来湾	9月	3	-17.468	7.918
イワフジツボ	越喜来湾	9月	1	-17.36	11.539
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	9月	1	-15.673	11.228
シロスジフジツボ	大船渡湾	9月	1	-15.64	11.547

表4. 11月の各湾の蔓脚類 δ 13C- δ 15N

種小名	生息場所	季節	n	δ 13C	δ 15N
チシマフジツボ	越喜来湾	11月	3	-17.729	7.755
イワフジツボ	越喜来湾	11月	3	-17.571	9.062
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	11月	3	-15.787	9.798
シロスジフジツボ	大船渡湾	11月	3	-15.683	9.999

表5. 1月の各湾の蔓脚類 δ 13C- δ 15N

種小名	生息場所	季節	n	δ 13C	δ 15N
チシマフジツボ	越喜来湾	1月	3	-17.583	8.047
イワフジツボ	越喜来湾	1月	3	-17.656	8.943
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	1月	3	-15.922	9.83
シロスジフジツボ	大船渡湾	1月	3	-15.218	9.758

表6. チシマフジツボの季節変動 δ 13C- δ 15N

種小名	生息場所	季節	n	δ 13C	δ 15N
チシマフジツボ	越喜来湾	5月	1	-19.195	7.844
チシマフジツボ	越喜来湾	7月	3	-17.468	7.918
チシマフジツボ	越喜来湾	9月	3	-17.362	8.193
チシマフジツボ	越喜来湾	11月	3	-17.729	7.75
チシマフジツボ	越喜来湾	1月	3	-17.583	8.047

表7. イワフジツボの季節変動 δ 13C- δ 15N

種小名	生息場所	季節	n	δ 13C	δ 15N
イワフジツボ	越喜来湾	5月	1	-19.244	8.488
イワフジツボ	越喜来湾	7月	1	-18.186	11.539
イワフジツボ	越喜来湾	9月	1	-17.36	10.6
イワフジツボ	越喜来湾	11月	3	-17.571	9.06
イワフジツボ	越喜来湾	1月	3	-17.66	9.83

表8. キタアメリカフジツボの季節変動 δ 13C- δ 15N

種小名	生息場所	季節	n	δ 13C	δ 15N
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	5月	1	-16.024	9.932
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	7月	1	-17.304	9.11
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	9月	1	-15.673	11.228
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	11月	3	-15.79	9.8
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	1月	3	-15.92	9.76

表9. シロスジフジツボの季節変動 $\delta 13C$ - $\delta 15N$

種小名	生息場所	季節	n	$\delta 13C$	$\delta 15N$
シロスジフジツボ	大船渡湾	5月	1	-16.302	9.275
シロスジフジツボ	大船渡湾	7月	1	-16.309	10.21
シロスジフジツボ	大船渡湾	9月	1	-15.64	11.547
シロスジフジツボ	大船渡湾	11月	3	-15.68	10
シロスジフジツボ	大船渡湾	1月	3	-15.22	9.83

表10. 越喜来湾の蔓脚類 $\delta 13C$ - $\delta 15N$

種小名	生息場所	季節	n	$\delta 13C$	$\delta 15N$
チシマフジツボ	越喜来湾	5月	1	-19.195	7.844
チシマフジツボ	越喜来湾	7月	3	-17.468	7.918
チシマフジツボ	越喜来湾	9月	3	-17.362	8.193
チシマフジツボ	越喜来湾	11月	3	-17.729	7.75
チシマフジツボ	越喜来湾	1月	3	-17.583	8.047
イワフジツボ	越喜来湾	5月	1	-19.244	8.488
イワフジツボ	越喜来湾	7月	1	-18.186	11.539
イワフジツボ	越喜来湾	9月	1	-17.36	10.6
イワフジツボ	越喜来湾	11月	3	-17.571	9.06
イワフジツボ	越喜来湾	1月	3	-17.66	9.83
キタアメリカフジツボ	越喜来湾	7月	1	-17.098	9.547
シロスジフジツボ	越喜来湾	7月	1	-17.652	9.844

表11. 大船渡湾の蔓脚類 δ 13C- δ 15N

種小名	生息場所	季節	n	δ 13C	δ 15N
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	5月	1	-16.024	9.932
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	7月	1	-17.304	9.11
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	9月	1	-15.673	11.228
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	11月	3	-15.79	9.8
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	1月	3	-15.92	9.76
シロスジフジツボ	大船渡湾	5月	1	-16.302	9.275
シロスジフジツボ	大船渡湾	7月	1	-16.309	10.21
シロスジフジツボ	大船渡湾	9月	1	-15.64	11.547
シロスジフジツボ	大船渡湾	11月	3	-15.68	10
シロスジフジツボ	大船渡湾	1月	3	-15.22	9.83

表12. チシマフジツボと大船渡湾蔓脚類 δ 13C- δ 15N

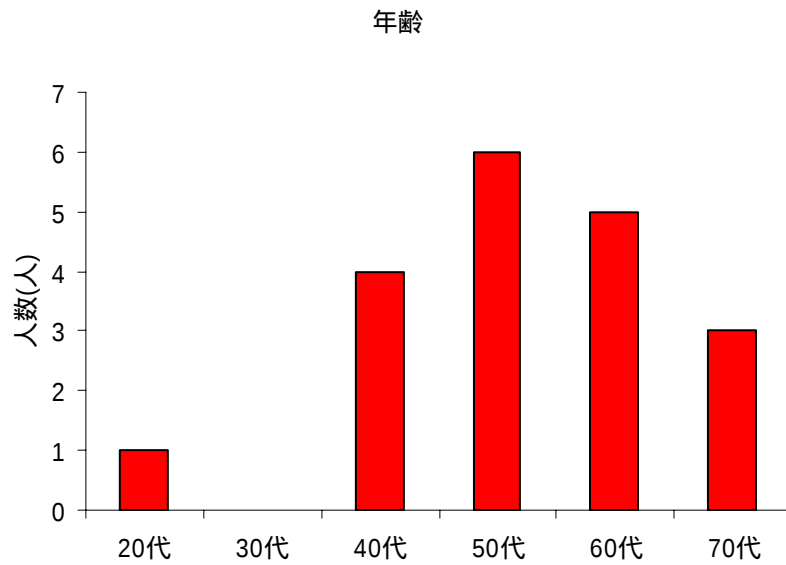
種小名	生息場所	季節	n	δ 13C	δ 15N
チシマフジツボ	越喜来湾	5月	1	-19.195	7.844
チシマフジツボ	越喜来湾	7月	3	-17.468	7.918
チシマフジツボ	越喜来湾	9月	3	-17.362	8.193
チシマフジツボ	越喜来湾	11月	3	-17.729	7.75
チシマフジツボ	越喜来湾	1月	3	-17.583	8.047
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	5月	1	-16.024	9.932
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	7月	1	-17.304	9.11
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	9月	1	-15.673	11.228
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	11月	3	-15.79	9.8
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	1月	3	-15.92	9.76
シロスジフジツボ	大船渡湾	5月	1	-16.302	9.275
シロスジフジツボ	大船渡湾	7月	1	-16.309	10.21
シロスジフジツボ	大船渡湾	9月	1	-15.64	11.547
シロスジフジツボ	大船渡湾	11月	3	-15.68	10
シロスジフジツボ	大船渡湾	1月	3	-15.22	9.83

表13. 各湾の各蔓脚類 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$

種小名	生息場所	季節	n	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
チシマフジツボ	越喜来湾	5月	1	-19.195	7.844
チシマフジツボ	越喜来湾	7月	3	-17.468	7.918
チシマフジツボ	越喜来湾	9月	3	-17.362	8.193
チシマフジツボ	越喜来湾	11月	3	-17.729	7.75
チシマフジツボ	越喜来湾	1月	3	-17.583	8.047
イワフジツボ	越喜来湾	5月	1	-19.244	8.488
イワフジツボ	越喜来湾	7月	1	-18.186	11.539
イワフジツボ	越喜来湾	9月	1	-17.36	10.6
イワフジツボ	越喜来湾	11月	3	-17.571	9.06
イワフジツボ	越喜来湾	1月	3	-17.66	9.83
キタアメリカフジツボ	越喜来湾	7月	1	-17.098	9.547
シロスジフジツボ	越喜来湾	7月	1	-17.652	9.844
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	5月	1	-16.024	9.932
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	7月	1	-17.304	9.11
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	9月	1	-15.673	11.228
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	11月	3	-15.79	9.8
キタアメリカフジツボ	大船渡湾	1月	3	-15.92	9.76
シロスジフジツボ	大船渡湾	5月	1	-16.302	9.275
シロスジフジツボ	大船渡湾	7月	1	-16.309	10.21
シロスジフジツボ	大船渡湾	9月	1	-15.64	11.547
シロスジフジツボ	大船渡湾	11月	3	-15.68	10
シロスジフジツボ	大船渡湾	1月	3	-15.22	9.83
カメノテ	吉浜湾	5月	1	-18.774	8.488
カメノテ	吉浜湾	7月	3	-18.432	9.446

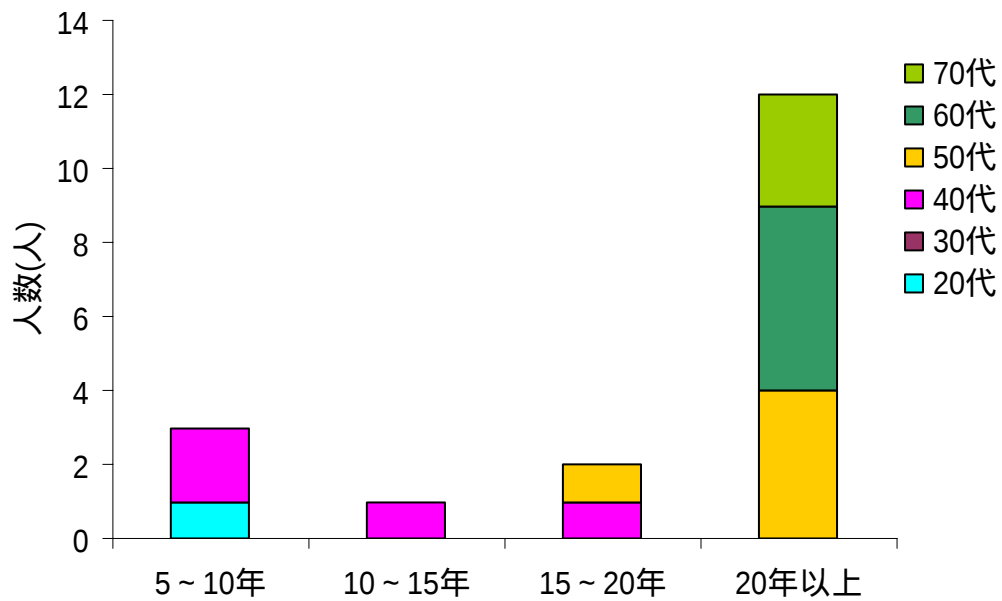
10. アンケート調査

問 1. 年齢を教えてください。

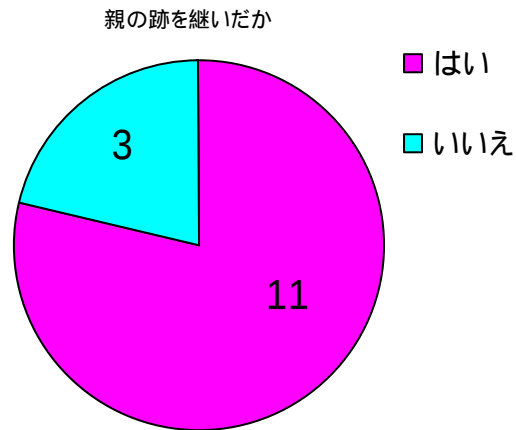


問 2. あなたはどのくらいの期間、漁業に携っていますか。

☐ 5 年未満 ☐ 5 ～ 10 年 ☐ 10 ～ 15 年 ☐ 15 ～ 20 年 ☐ 20 年以上



問 4. 親の仕事を継がれて漁師になったのですか。



(1) 「はい」と答えた方に質問です。その理由をお答えください。

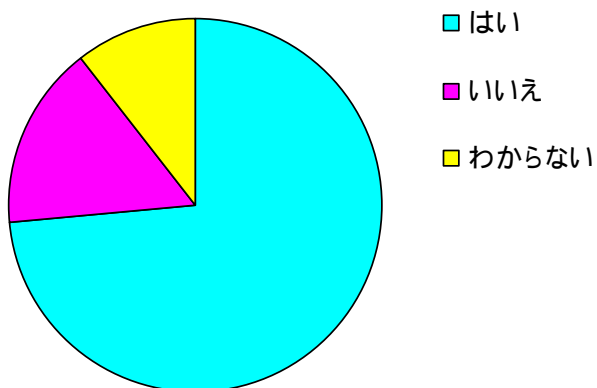
- ・ 長男だから。
- ・ 家業だから。
- ・ 始めたころは今より安定していたから。
- ・ 親が漁に出れなくなったから。

(2) 「いいえ」と答えた方に質問です。なぜ、漁業に携ろうと思ったのですか。

- ・ 20歳でも60歳でも同じように金が貰えるし、手っ取り早く稼げる。
- ・ 働く場所が少なかった。

養殖作業について教えてください。

問 9. あなた自身が養殖をされ始めたときから比べ、水揚げ量、に変化はありますか。



「はい」と答えられた方は問 10 へ、「いいえ」と答えられた方は問 11 へ進んでください。

問 10. 問 9 で「はい」と答えた方に質問です。

(1) 変化の内容を簡単でもよいので教えてください。

- ・ いかだの数が増えたので、水揚げ量が増えた。
- ・ 単価が安いので数を増やさざるを得ない。
- ・ その年によってばらばら。
- ・ そのときの天候に左右される。
- ・ 機械化されて作業が楽になって余裕ができた分、個数を増やした。

漁獲統計の解析結果とあわせて考察を行った。アンケートを行った赤崎支所はカキ、ホタテ、ホヤの生産割合は7：2：1とカキの生産が多い。この理由は、大船渡湾は淡水の流入と湾内での滞留が長いと、低塩分を好むカキに好適で、低塩分を好まないホタテに適していないためである。また、富栄養化して周年にわたってクロロフィル量が多く餌条件に恵まれていることもカキの養殖に好都合である。また、カキの生産は計画的に行え、負担が少ない。さらに、魚価が安定しているため、収入も安定して得られる。このように、大船渡湾の環境にはカキ生産に適しているといえる。しかし、最近カキに関しても魚価が低迷している。このため、手間がかからない補完的な養殖種を開発することは、今後重要であると考えられる。

ホヤは濾水率が高い。また、養殖に手間がかからない。このため、有機物の回収を目的とした複合養殖には適しているといえる。しかし、ホヤは餌サイズがカキと同様に小さい。そのため、大型の餌を食べるホタテとは餌の競合が起こりにくいと考えられる。しかし、ホヤとカキは餌サイズが重複する可能性があり、濾水率の高さとあわせてホヤとカキの複合養殖を行うとカキの実入りが悪くなるという漁師もいる。

一方、フジツボ類は好適かもしれない。とくに大型のミネフジツボはデトライタスも摂食可能とされ、貧酸素にも強い。今後、実証試験を行う必要がある。

11. まとめ

本報告書の「はじめに」のところで述べたように、日本の港湾域が持つ自然・社会的特徴をコンパクトに備えている大船渡湾は、昭和42年の湾口防波堤建設後は閉鎖性が高まり、富栄養化による有機汚染の結果として場所によっては夏季に湾の底層では貧酸素層が出現するようになった。一方で湾内の浅場は平坦な土地が少ないために埋め立てが行なわれたことにより、浅場による環境浄化量が減少して湾内の有機汚染を一層押し進める結果となっている。このことをCODの値でみると、湾口防波堤建設前は1.5～1.6mg/Lだったものが、現在は2.2～2.6 mg/Lの値に増加して落ち着いている。これは行政当局の努力も大きいですが、湾内でのマガキ、ホタテガイ養殖による有機懸濁物除去効果も大きく、無視できないと考えられる。これら兩種によるN、Pの除去量を計算すると、マガキ1tの生産はNを10.6KgとPを1.0Kg、ホタテガイ1tの生産はPを2.1KgとNを21.6Kg、それぞれ除去することに相当する。ここ数年の大船渡湾内でのマガキとホタテガイの生産量をもとにN、Pの除去量を求めると、一年間でおおよそNは5,800Kg、Pは554Kgになる。しかし、一年間に同湾に陸上から流入するNの量は117.5t、Pの量は6.1tであり、マガキ、ホタテガイ養殖は前者で1/20、後者で1/10を除去したことになる。もし、湾内の浅場が埋め立てられずに残っていれば、浅場に生息するアサリ、ゴカイ類などによるN、P除去量はもっと大きくなり、湾愛での有機汚染を押さえることができたはずであり、少なくとも湾口防波堤建設前後の値が期待できたものと考えられる。

このような現状を踏まえて大船渡湾の水質の安定と改善を考えると、マガキ、ホタテガイ以外にN、P除去に効果がある水産養殖生物の導入が最も効果があると考えられる。その一つとしてムラサキイガイがあげられる。東北地方ではムラサキイガイが食用にされており、その需要も近年増加している。ムラサキイガイの濾水量は、アサリと同程度と考ええると、一時間当たり0.6～1.5Lになる。また、本種はかなり低いDO、高いCOD条件下でも十分に生息・生長が可能で、養殖法はカキ、ホタテガイに比べると簡便で施設費がかからない利点がある。このことは、マガキ・ホタテガイ等の養殖施設の下で、これらの排泄物を餌料として本種の養殖が可能であり、これまで以上に有機懸濁物除去と透明度改善が期待できよう。

東京湾は湾口の幅が狭く、水深も小さいなど大船渡湾に良く似た地形的な特徴を持っているが、違っているのは東京湾は湾の北・西方向に山がないこと、湾の東側には浅場があることである。これは、浅場での養殖に適していることを意味しており、実際に東京湾では年間を通してアサリ養殖が、冬季にはノリ養殖が盛んに行なわれている。また、北西方向からの風を妨げる障害物が無いために、風による湾内水の混合や吹送が発生しやすく、このことが東京湾の水環境の維持に貢献している。しかし、大船渡湾では、このような風による効果は期待できないことから、一層、浅場の保全が望まれるが、現在ではその様なことを期待するのは困難である。しかし、湾の東側、湾口部に残されている浅場を積極的に利用することで、少なくとも現在よりも水質への効果が期待できるだけでなく、一般市民に潮干狩りなどへ開放することで、大船渡湾の環境改善へのとに寄与するだろう。したがって、大船渡市民へのアンケートから指摘されている湾内水の透明度改善の必要性に対して十分に対応できるものと考えられる。

一方、アメニティーについて考えると、一般市民が考えているそれは湾内水の透明度と臭いであろう。透明度改善には、上で述べた水産養殖生物の組み合わせと浅場の利用を考えることにより改善が期待できるが、臭いに関しては対応が困難である。野村(1988)によれば、われわれが海浜で心地よい香りと認識するのは、海藻類からの揮発性成分であり、特にコンブ類の主要揮発成分であるセキステルペンアルコールが重要であると述べている。幸いにも大船渡湾沿岸にはコンブ類が生育しており、湾内ではワカメも養殖されていることから、これらの海藻の繁殖を積極的に図ることで、香り成分によるアメニティー効果が期待できよう。

港湾環境のアメニティー評価と創生には海洋生物の生態的機能、とくに水産活動をどのように活用するかが重要であることを示唆している。しかし一方で、湾内は物流の拠点として機能しており、これと水産活動との間には様々な問題があるのも事実である。このことに対してどのように調和を求めるのか、先住民とインディアンとの間に生じたような悲劇・不幸を起こさないためにも、もう一度、水産が持つ意義を認識した協調関係を築くことが今後、港湾環境を考えるとますます重要になるだろう。言い換えれば、港湾環境に責任を持つ者は、物流・水産に携わる関係者だけでなく一般市民も含まれており、これら三者の理解と協力なしには港湾環境の保全・改善が困難であるばかりか、湾内で生産された水産生物の食の安全性にも大きな影響が出てくることは自明のことだからである。これからはこの点を認識した港湾環境のあり方が検討されてしかるべきだと考える。