

平成１７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

助成開発項目：（３）品質確保、環境保全、労働安全衛生に関するもの
（９）その他、当センターの目的に合致するもの

港湾環境のアメニティー評価と創生に関する研究

平成１９年４月

北里大学水産学部教授

小河 久郎

北里大学水産学部講師

林崎 健一

目次

1 . はじめに -----	1
2 . 大船渡湾 -----	4
3 . 予備解析 -----	5
4 . 現地調査と分析 -----	7
5 . 分析結果 -----	11
6 . アンケート調査 -----	38
7 . 聞き取り調査 -----	42
8 . 今後の展開 -----	43
添付資料 1 . -----	44

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。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。現在は、ボックスモデルのように、港湾全体を平均化した評価方法でしかないため、本研究は、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ことをめざすものである。

岩手県大船渡湾は外内航船用の港湾施設があり、湾周辺域には住宅・工場があり、そこから生活・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養殖が行われており、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。湾口部には防波堤が建設されており閉鎖性が強い。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。

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比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。この後に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。

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 . 予備解析

現場調査を行う前に、過去に蓄積された底泥調査データを解析した。従来の調査項目はそのほとんどが有機物量の指標である。それゆえ変数間には相関があるものと予測される。関係性の高いものを複数計測しても手間の割に情報量は増加しない。そこで、相関係数からクラスタリングを行うことにより変数間の関係を整理した。また、調査対象である大船渡湾と近隣の閉鎖性が高い湾とを相互に比較することにより、大船渡湾の特性を事前に把握することを目的とした。

解析に用いたデータは、1981 年に水産庁が発行した資料によった。データは 1980 年に収集されたものである。測定項目は、COD、強熱減量 (IL)、全窒素(TN)、全炭素(TC)、全硫黄(TS)、全リン(TP)、泥分率 (MC) であった。

図 5 に結果を示した。全炭素と強熱減量が、また全窒素と COD が高い相関を持っていた。一方、全硫黄は他の変数とはまったく異なる傾向を示した。このことは、硫黄は有機物量の指標であると同時に、硫酸還元菌が海中から硫酸を還元し硫化水素などを底泥土中に蓄積した結果であると解釈される。一方、他の元素は上方からの沈み込みがないなら容易に分解、無機化され有機物量は減っていく。しかし、全硫化物量はこのような変化を示さない。この結果から (IL、TC) (COD、TN) の各組はどちらか 1 つのデータを選択すれば十分であろう。また、TS の測定値が外れることが常である。それは貧酸素化の程度によると考えられるので、硫黄の量を測定することは重要であるといえる。

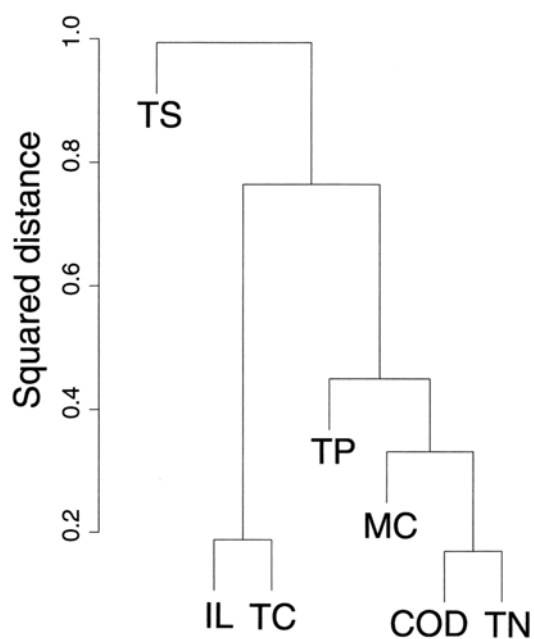


図5．富栄養化モニタリングに使われる変数間の関係

さらに、大船渡湾および近隣の山田湾、宮古湾も含めて炭素・窒素比（CN 比）と COD との関係を示したのが下の図である。COD が高いと CN 比は低い、すなわち窒素含有量が

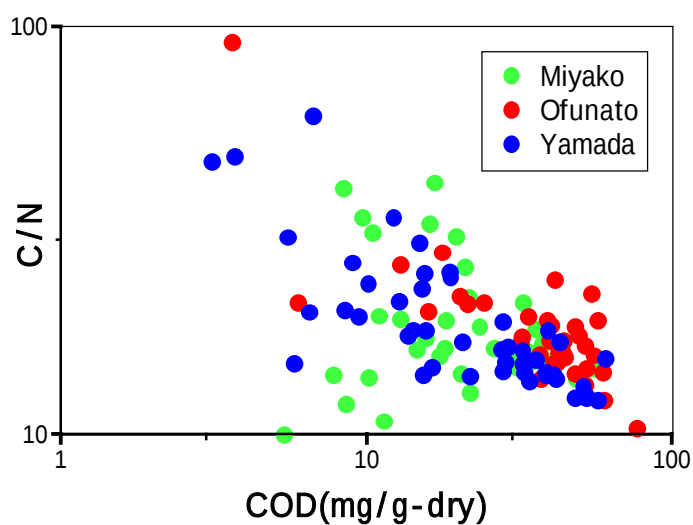


図6．炭素窒素比と COD の関係

多い

という関係がある。この関係から、同程度の COD であっても、その有機物としての質は湾ごとに異なることがうかがえる。さらに同じ湾のなかでも場所によって有機物の質が異なり、炭素含有量の多い難分解性有機物と窒素含有量の多い易分解性の有機物が多い場所が存在する。

4．現地調査と分析

2007 年 9 月 13、14 日、11 月 1、2 日、および 1 月 11、12 日に大船渡湾の現場調査を行った。調査地点を下図に示した。なお、9 月の調査は岩手県水産技術センターと共同で行った。

9 月には大船渡湾 13 地点、11 月、1 月には 34 地点から採取した。海水はバンドン採水器により層別に採取した。底泥はコア - サンプラーとエクマンバージ採泥器により採取した。

研究室にサンプルを持ち帰った後、COD、強熱減量、AVS など従来からある測定項目、硫黄安定同位体比の測定を行った。

COD、強熱減量、AVS など従来からある測定項目

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。その後次の式で計算し、COD を求めた。

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

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 のオープンで乾燥させ、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、コアサンプラーで採取したサンプルは 2cm ごとに切り分けて、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。



元素分析計 FlashEA

連続ガス導入装置 ConfloIII

質量分析計 Delta plus XP

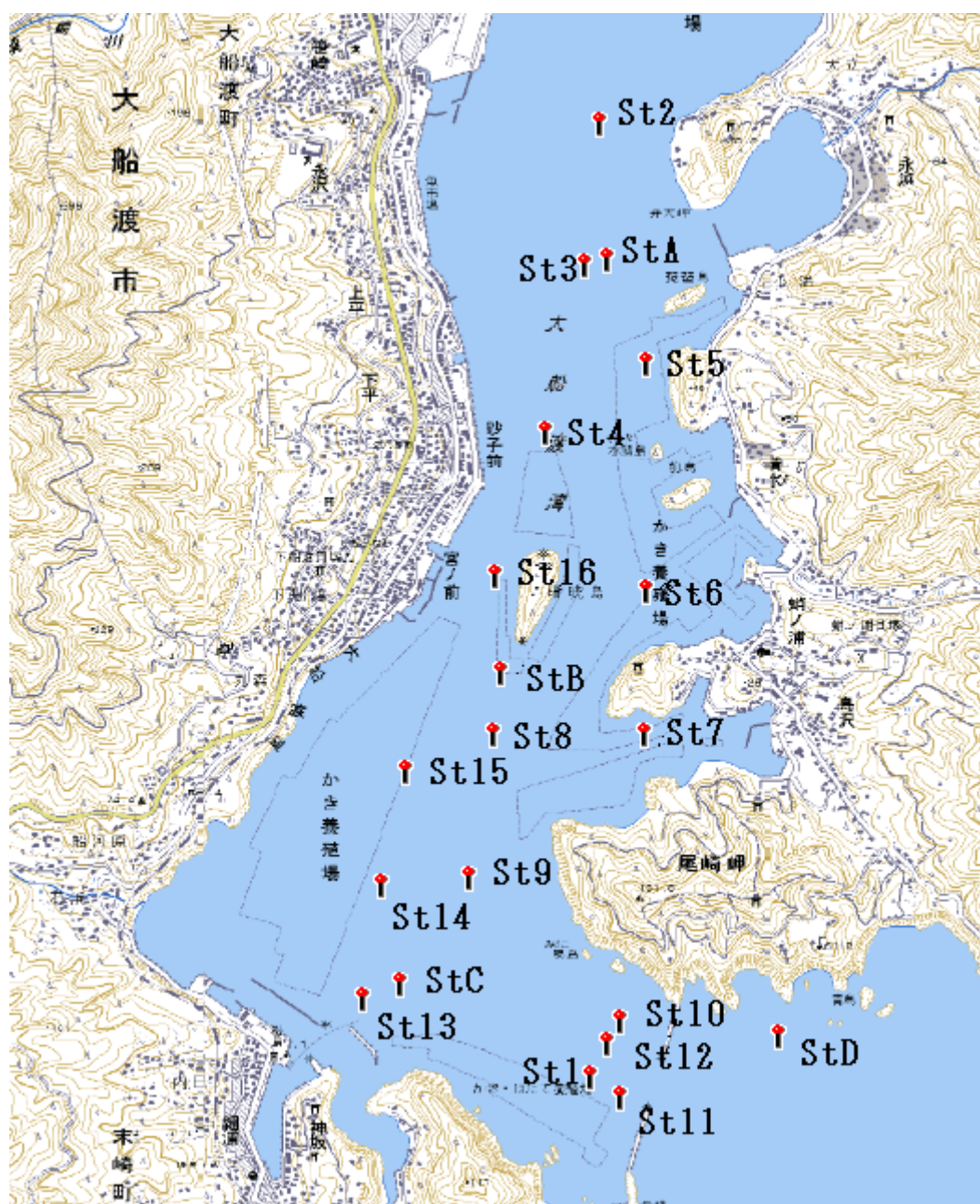


図7．9月サンプリング地点（n = 20）

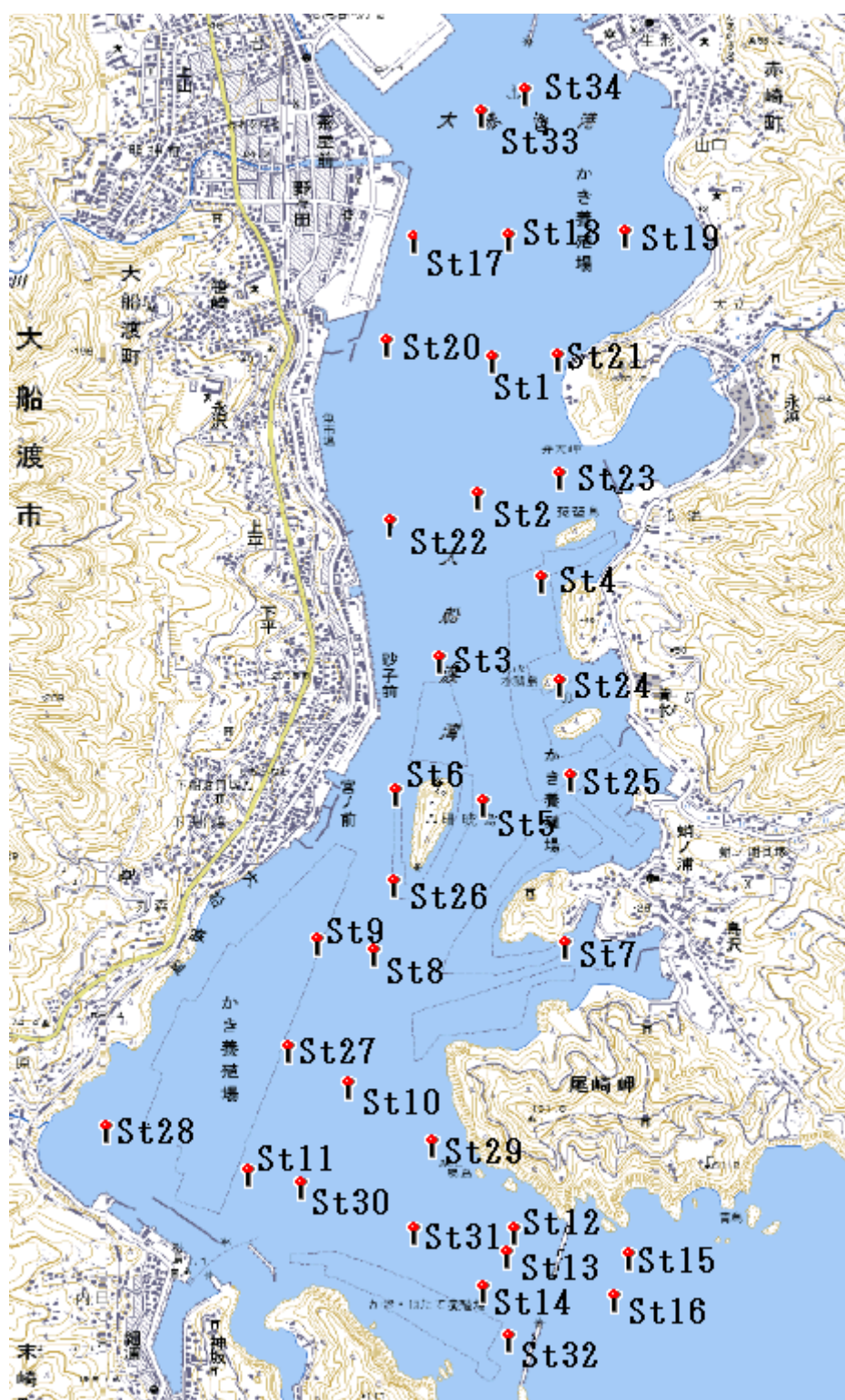


図8．11および1月のサンプリング地点 (n = 34)

5 . 分析結果

9月のCODの湾内での分布

9月には湾内の底泥のCODは、17.1 から 47.0mg/g-dry の範囲にあった。一方、強熱減量は 0.091 から 0.188 g の範囲にある。これら有機物量の指標は高めの値を示し、この時期の湾内の一次生産が活発であったことを示している。9月のCODの平均値は36.23mg/g-dry であった。

9月の強熱減量の湾内での分布

9月の湾内での底泥の強熱減量はCODと同様やや高めの値を示した。後述のようにCODと強熱減量は正の相関があった。平均値は16%であった。

9月の全硫黄量の湾内での分布

硫黄安定同位体比はCOD、強熱減量の分布パターンとは大きく異なった。特に、湾中央部のStn 4.3-1 から Stn 4.3-3 までは、COD および強熱減量では大差ないが、全硫黄量では0.04 から 0.16mg/g-dry と大きな差があった。平均値は0.12mg/g-dry であった。

9月の硫黄安定同位体比の湾内での分布

図中の棒が長い方が安定同位体比は低いことに注意されたい。全硫黄量と硫黄安定同位体比には負の相関が見られた。

11月のCODの湾内での分布

11月の平均値は26.54mg/g-dry であり、9月より減少していた。Stn 3, 4, 24のようにカキ筏が濃密である場所や、湾口近くで値の高い定点が目立つ。それらを除けば、湾奥の海域はおしなべて中程度に高い。これらは、陸水の影響が考えられる。水深の深い湾の中ほどで高いという傾向は見られなかった。

湾外の2定点は9月には高い値を示したが、11月には極めて低い値を示した。これは9月には湾内外とも秋季ブルーミングにより生物生産が活発であったが、11月には低下したことを示している。

11月の強熱減量の湾内での分布

11月の平均値は12%で、9月よりも減少した。強熱減量はCODと同様な分布傾向を示した。後述のようにこの月ではCODと強熱減量は正の相関があった。しかし、CODで特に高かったStn 3, 24においても、強熱減量は目だって高い値を示すことはなかった。相対的に湾奥での高い値が目立つ。

11月の全硫黄量の湾内での分布

11月の平均値は0.22mg/g-dry で9月の平均値よりも大幅に増加した。地理的には湾奥の中央で高く、沿岸で低い傾向がある。また湾の中央部では、Stn 3, 4, 24のようにカキ筏が濃密であるか、沈降物が集積するような場所で目立って高い。前述の湾

奥の中央部もやや深くなっているため、海水流動の低さとも関連していると判断される。

1 月の COD の湾内での分布

1 月の湾内での底泥の COD は 8.71 から 51.84mg/g-dry の範囲にあった。湾内の分布は湾奥部、湾中央部、防波堤付近で高い。11 月で目立って高い値となっていた Stn24 は 1 月では特に高いわけではなかった（図 11）。1 月の平均値は 30.33mg/g-dry であった。

1 月の強熱減量の湾内の分布

1 月の湾内での底泥の強熱減量は 3.4% から 14.4% の範囲にあった。強熱減量に関しても、COD と同じ分布傾向が見られた（図 12）。1 月の平均値は 10.8% であり、11 月よりさらに減少した。

1 月の全硫黄量の湾内での分布

1 月の湾内での底泥の全硫黄量は 0.01 から 0.19mg/g-dry の範囲にあった。全硫黄量に関しても COD、強熱減量と同じ傾向が見られるが、特に湾中央部が高いように見えた（図 13）。1 月の平均値は 0.098mg/g-dry であった。

1 月の硫黄安定同位体比の湾内での分布

1 月の湾内での底泥の硫黄安定同位体比は -24.12 から 3.10‰ の範囲にあった。分布は 11 月と同じで、1 月でも Stn3 と Stn24 は高いわけではなかった（図 14）。1 月の平均値は -12.75‰ であり、11 月よりさらに増加していた。

硫黄安定同位体比と全硫黄量の比較

すべての調査時期で負の相関が見られた（図 15, 16, 17）。これは硫酸還元菌の働きにより、硫化物が底泥中に蓄積されると同時に、軽い ^{32}S が底泥中に蓄積した結果からだといえる。硫黄安定同位体比と全硫黄量には負の相関が見られたが Stn3 と Stn24 はこの関係から外れていた。

COD と強熱減量との関係

COD と強熱減量の間には 9 月、11 月、1 月ともに正の相関が見られたが 11 月、1 月に比べて 9 月はばらつきがあった（図 18, 19, 20）。これは 9 月には湾内の 1 次生産が活発であり、多くの有機物が底に堆積する。そのため、場所によって有機物の程度が異なるためだと考えられる。すなわち難分解性のもの、易分解性のものの割合が場所によって大きく異なったことが示唆される。11 月、1 月には有機物の分解が進み、難分解性のものと易分解性のものの割合の乖離が小さくなったのではないかと考えられる。

乾物重量割合（DW）と COD、強熱減量との関係

$(100 - \text{DW}) (\%)$ は含水率である。11 月、1 月ともに DW と COD、強熱減量の間には負の相関が見られた（図 21, 22, 23, 24）。

海水に含まれる硫黄による全硫黄量の変化についての検討

洗浄前と洗浄後の全硫黄量を比較すると高い正の相関が見られた(図 25)。このことより、底泥の間隙水に含まれる硫黄(硫酸塩)による全硫黄量に大きな変化はないものと考えられる。

底泥の洗浄による硫黄安定同位体の変化

底泥の洗浄前後の硫黄安定同位体比を比較した(図 28)。ある程度のばらつきは見られたが、両者には正の相関が見られた。また、硫黄安定同位体比は洗浄後に若干の減少がみられた。これは、洗浄による硫黄量自体の減少は小さいものの、硫黄安定同位体比が高い海水中の硫酸塩(間隙水に含まれる)が除去されるためであると考えられた。

全硫黄量と全硫化物(AVS)との関係

1 月に得られたサンプルを用いて全硫黄量と AVS との関係を調べた(図 27)。その結果両者には正の相関が見られた。しかし、この傾向から外れた Stn も散見された。硫黄は有機物中に含まれるとともに、貧酸素状態で硫黄還元菌の働きにより海水中に存在する硫酸塩の還元によって生成される。生成された硫化水素は不安定で、海水中に溶出したり、金属や有機物と化合したりする。採泥時に硫化水素ガスとして空気中に放出され得る。また、泥中の分布も不均一であると言われている。AVS は底泥の還元状態を知るのに、たとえば酸化還元電位にくらべて安定な値を得ることができる。しかし、AVS の値は底泥の状態によっては大きなバラつきを与える可能性があるといえる。

一方、全硫黄量と AVS の関係を見ると分布の上限はほぼ直線的で一定の関係にある。このことは、硫黄量が多くとも AVS が低いことはあり得るが、泥中の硫黄量に対して AVS の最大値はほぼ定まっているといえる。

ベントスの分布

9 月の底泥中のベントスが水産技術センターによって調べられた。センターが調査内容の詳細を公表していないため、ここでは詳細を述べない。従前の結果と同様に多毛類が多くをしめていた。このように、9 月中旬には多毛類を多くの含む無脊椎動物が湾奥から湾口まで分布していた。しかし、11 月に全硫化物量が多い Stn 3 で同じ調査を行ったが、無脊椎動物はまったく発見できなかった。9 月下旬から 10 月にかけて底層の酸素が枯渇するため、この影響を受けたためと考えられる。

安定同位体比とベントスの種多様性指数の間で相関は調べたところ、両者に相関は見られなかった。

大船渡湾の底泥中の主要なベントスである多毛類は移動することが可能である。また高濃度の硫化物中では大方の生物の生存は困難なので、移動性の低い二枚貝類は死滅する可能性が高い。9 月から 10 月に底泥は貧酸素・無酸素状態におかれ、この後、これら場所はマクロベントスがまったく見られない状態となるものと思われる。それゆえ、大船渡湾のように有機負荷が高く、閉鎖性の極めて高い海域ではマクロベントスは通年を通した生物

指標とはなりえないものと考えられる。

硫黄安定同位体比の底泥中の深度プロファイル

硫黄安定同位体比と全硫黄量を比較したものでは Stn3 と Stn24 の値だけが他とは外れていた。全硫黄量は高いにもかかわらず、硫黄安定同位体比はあまり低くない。

一方、Stn3 と Stn24 は養殖棚の真下に位置していることから上からの有機物の落ち込みが非常に多く、表層では次々と堆積が進んでいると考えられる。時間経過とともに堆積した有機物の分解が進み硫酸還元菌が働く。その前に表層を新しい有機物が覆ってしまえば表層の硫黄安定同位体比は高いままで保たれることになる。底泥中の硫黄安定同位体比の底泥中の深度による変化を検討することにより、このような可能性を検証した。

方法

Stn3 と Stn24 においてコアサンプラーで採取したサンプルを 2 cm ごとに切り、深さごとに硫黄安定同位体比を測定した。比較対象として硫黄安定同位体比と全硫黄量との間に相関がみられた Stn10 を用いた。

結果

Stn10 は 2 cm の深さで硫黄安定同位体比が大きく低下した。Stn3 と Stn24 については 2 cm の深さでの硫黄安定同位体比の変化は小さかった。そして、Stn3 についてはコアサンプラーで 6cm までしか採取できなかったことからわからないが、Stn24 では 6 cm の深さより深い層で硫黄安定同位体比が大きく低下していた（図 26）。このことは Stn3 と Stn24 が Stn10 に比べて上からの有機物の落ち込みが多く、それゆえ底泥表層の硫黄安定同位体比が高いままで保たれている可能性があることを示していると考えられる。

まとめ

本年度の研究では、硫黄安定同位体比が環境指標として利用可能であることを検討した。貧酸素の底泥では硫酸還元菌が海水中の硫化物を還元し、その産物として硫化水素を底泥中に蓄積する。海水中の硫化物は一様に 20‰ と高い値を示す。このことは、20 億年前に地球上に出現した硫酸還元菌の働きが大きいことが知られている。硫酸還元菌は硫黄の軽い同位体³²Sの含まれた硫酸イオンを好んで利用する。そのため、産生される硫化物は³²Sに偏ることとなる。それゆえ、海洋の底泥を測定したときにはその硫黄安定同位体比は低い値を示すこととなる。さらに、硫黄安定同位体比を硫酸還元菌ほどに大きく変化させることのできる無機的あるいは有機的過程は知られていない。

この事実からわれわれは硫黄安定同位体比が貧酸素化が起こったか否かの環境指標として優れているものと予想した。

水域の貧酸素水の発生をモニタリングするために、溶存酸素量を直接測定することも行われる。特定の場所、時期に貧酸素が起こっているかの検討には酸素量を直接測定するのがよい。しかしこれはある 1 時点のスナップショットである。海中の海水流動は、たとえば潮汐、吹送、内部波など多様な物理現象に左右さる。それゆえ溶存酸素量もこれらの多様な海水流動に左右されよう。環境指標としては必ずしも満足できるものではない。短期間に変化する可能性のある水柱よりも、ある程度の期間の積分された状態を示す底泥の方が環境指標としては優れているといえる。

従来から用いられてきた COD、IL、全窒素量、全炭素量などの環境指標はすべて程度の差こそあれ有機物量の指標である。底に多量の有機物が沈殿したとしても、水の通りがよく海水流動がある場合には底に貧酸素水が発生することはない。よって有機物量の指標のみに依存した環境指標では判断を誤る場合がある。

本研究でも COD、IL といった従来の環境指標の測定も同時に行った。たとえば、経時的な変化を 9 月と 11 月で比較したところ、有機物の指標である COD、強熱減量は全般に減少した。特に湾外の定点で減少幅が大きかった。これは一次生産の減少により、湾外での生物生産の減少が著しかったことによると考えられる。他方、11 月になっても湾内ではある程度の一次生産が継続している可能性が高い。このように、湾内の生物生産のパターンに依存し、有機物量の指標は調査時期によって大きな差がある可能性がある。この点には特に留意する必要がある。

これまでの研究から全硫化物量 (AVS) は泥の還元度を示し貧酸素化とも関連するので、環境指標として優れている可能性が指摘されている。しかし、底泥中の分布に近場でも大きな変動があるとか、採集して空気中に触れた後は短時間に変化するという不安定さが

あることもまた事実である。他の分析項目でサンプルとして用いられる乾泥の状態では AVS はほとんど検出されない。この点は再現性の点から環境指標として不利である。

全硫黄量は硫黄安定同位体比とにすべての時期で負の相関があった。乾燥状態で測定した全硫黄量は、揮発性の硫化物は残っていないであろう。しかし、硫化水素は金属や有機物とも結合して土中に蓄積されることが知られている。このことから全硫黄量も有機物量の指標であるのみならず硫化物量と似た指標性があるものと期待される。全硫黄量と硫黄安定同位体比とに負の相関があることから、両者は貧酸素の指標として適切なものであると判断された。さらに、両者を同時に見ることは意義深いものと考えられた。

測定結果より全硫黄量と硫黄安定同位体比には負の相関が見られたが、Stn3 と Stn24 のように両者の関係から離れる調査地点も見られた。これらの地点では有機物量の沈降と蓄積が極めて大きく、表層に位置するのは必ずしも還元状態に達していない有機物が多いのかもしれない。

このように、全硫黄量と硫黄安定同位体比によってその地点ごとの特徴なども知ることができるのではなかろうか。よって、硫黄安定同位体を用いた評価方法は測定項目が従来の評価法より少ないにもかかわらず、測定地点の細かな特徴を知ることができるという有用性が認められる。

また、海水に含まれる硫黄の影響により全硫黄量が変化するのではないかとということが心配されたが、洗浄したものと洗浄した後の全硫黄量を比較した結果、相関が見られた。また安定同位体比でも相関がみられた。このことより海水に含まれる硫黄の影響は深刻ではないということが言える。底泥を採取後にそのまま乾燥させて測定に用いたとしても、環境指標という観点からは問題がないといえる。

本研究の結果、従来指標として重きをおかれなかった項目にも指標としての新たな可能性が見出された。DW と COD および強熱減量との間に負の相関が見られたことである。乾物割合 (DW) と COD および強熱減量の関係については次のことが言えるよう。

($100 - DW$) % は含水率である。これは、底泥の粒度組成が細かいものほど含水率が高いということと、海水流動の小さいところほど微細粒子が沈殿しやすいということと関連があると考えられる。よって含水率は簡易な有機物量の指標になるのではないかと考えられる。

有機物量の指標を見ると、COD は易分解性、強熱減量が難分解性の有機物量を指標することと、COD と強熱減量の地理的パターンが似てはいるものの異なること、などから大船渡湾は 3 つに大別されよう。(1) 養殖の影響はほとんどなく陸水の影響が強い湾奥域、

(2) 養殖の影響が大きく、海水流動も妨げられている可能性のある湾央部、(3) 湾口防波堤のそばで海水流動が少なく、有機物量の多い湾口部の 3 つである。

陸水や汚水処理水の影響の大きい湾奥部と、湾外からの沖合水の影響が大きい湾口部に
関しては栄養の起源が陸であるか、外海であるかの違いがあるかもしれない。本湾は閉鎖
性が高いために、あるいは底に蓄積されたものが上層に回帰することが主要因である可能
性もある。湾内の環境を浄化するには湾内の栄養の起源を検討することが極めて重要とな
る。基礎生産者から消費者にかけての一連の食物連鎖において、炭素・窒素安定同位体比
を測定することによって陸水起源か海起源かを判別することが可能であることが知られて
いる。炭素・窒素安定同位体比測定とともに元素分析を行うことで、炭素、窒素の量的・
質的特性を同時に測定することが可能である。今後は湾内の基礎生産からろ過食者までの
食物連鎖を意識してサンプリングを行い、物質循環を明らかにしていく必要がある。

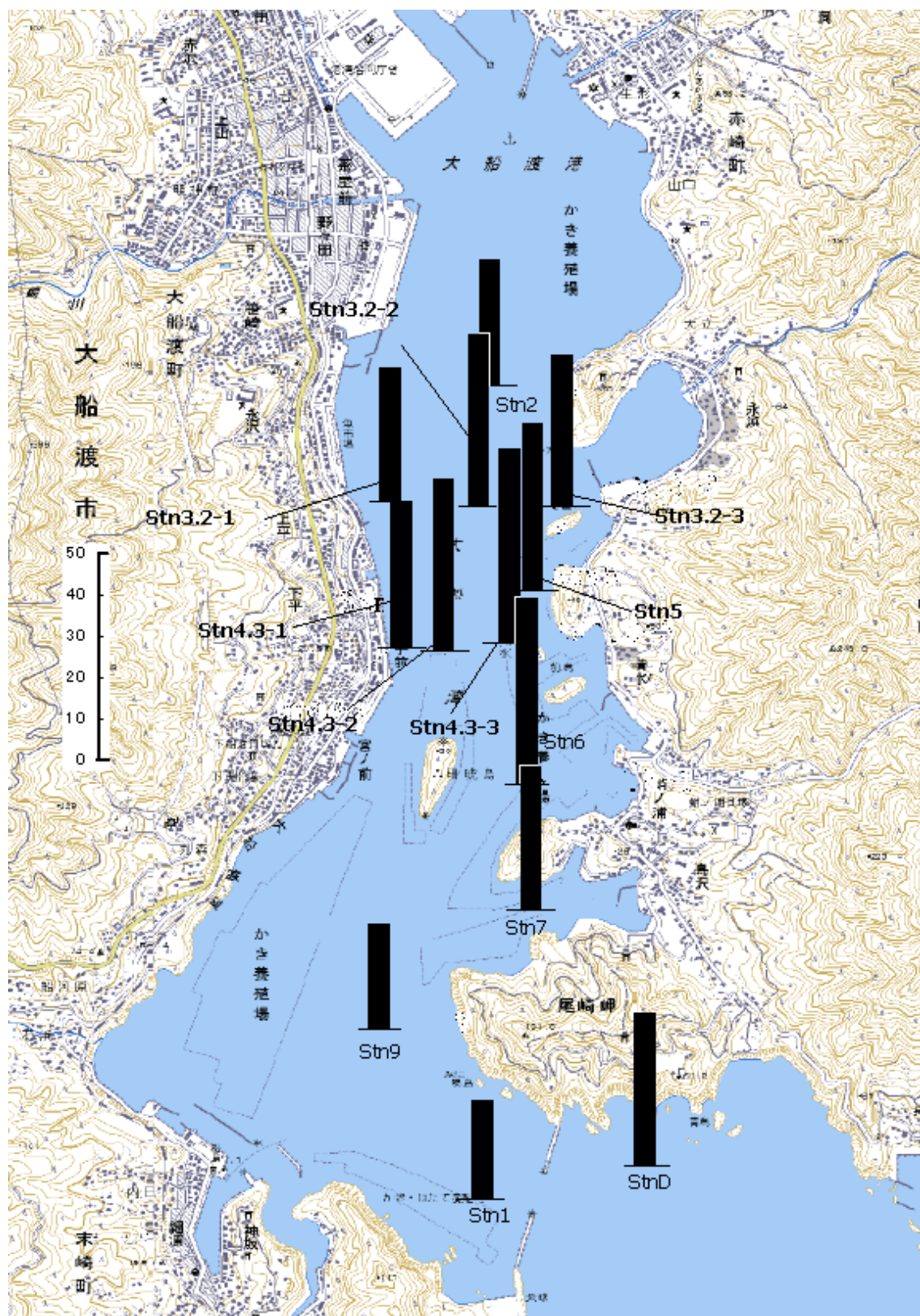


図9．9月のCODの湾内での分布

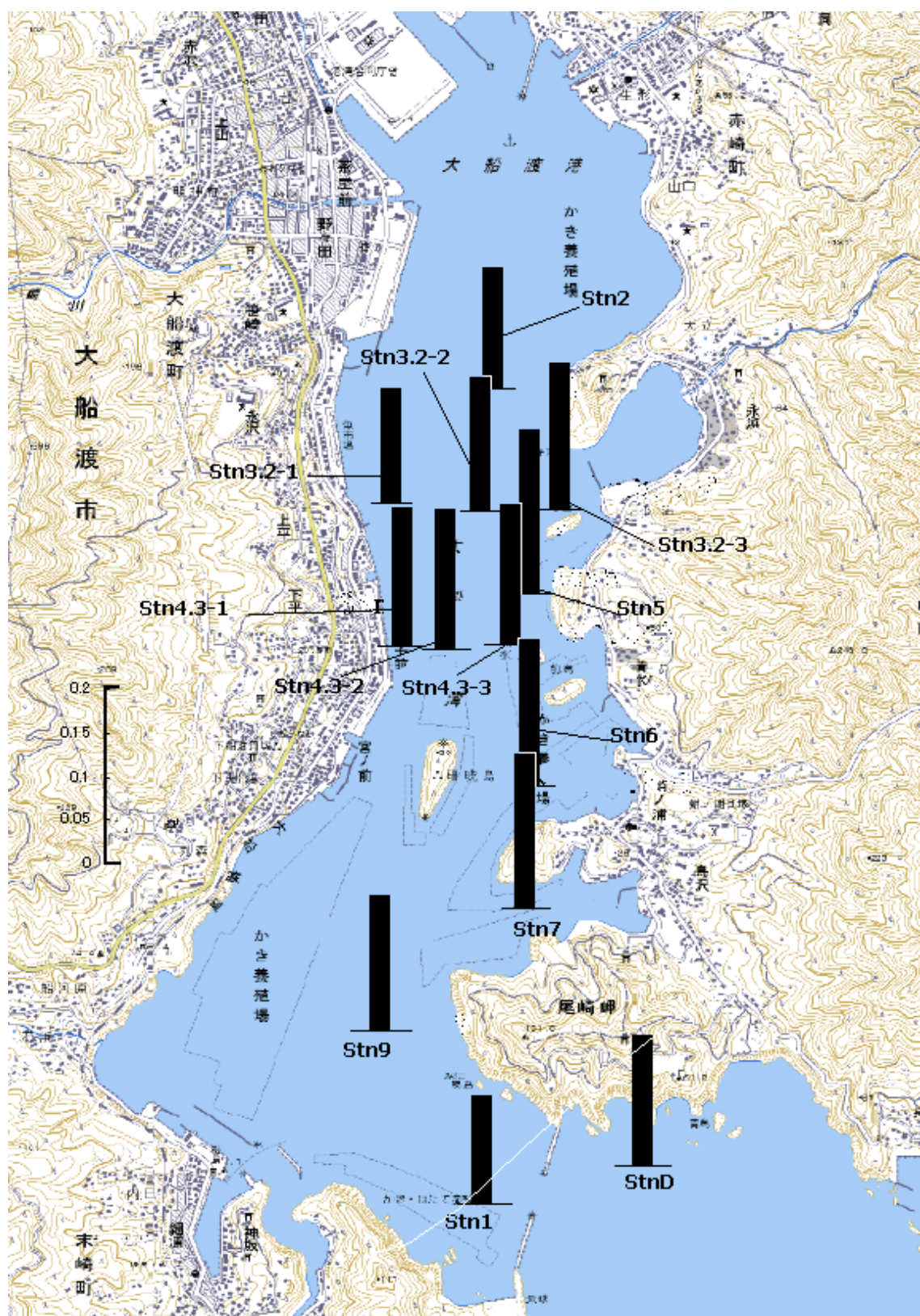


図10．9月の強熱減量の湾内での分布

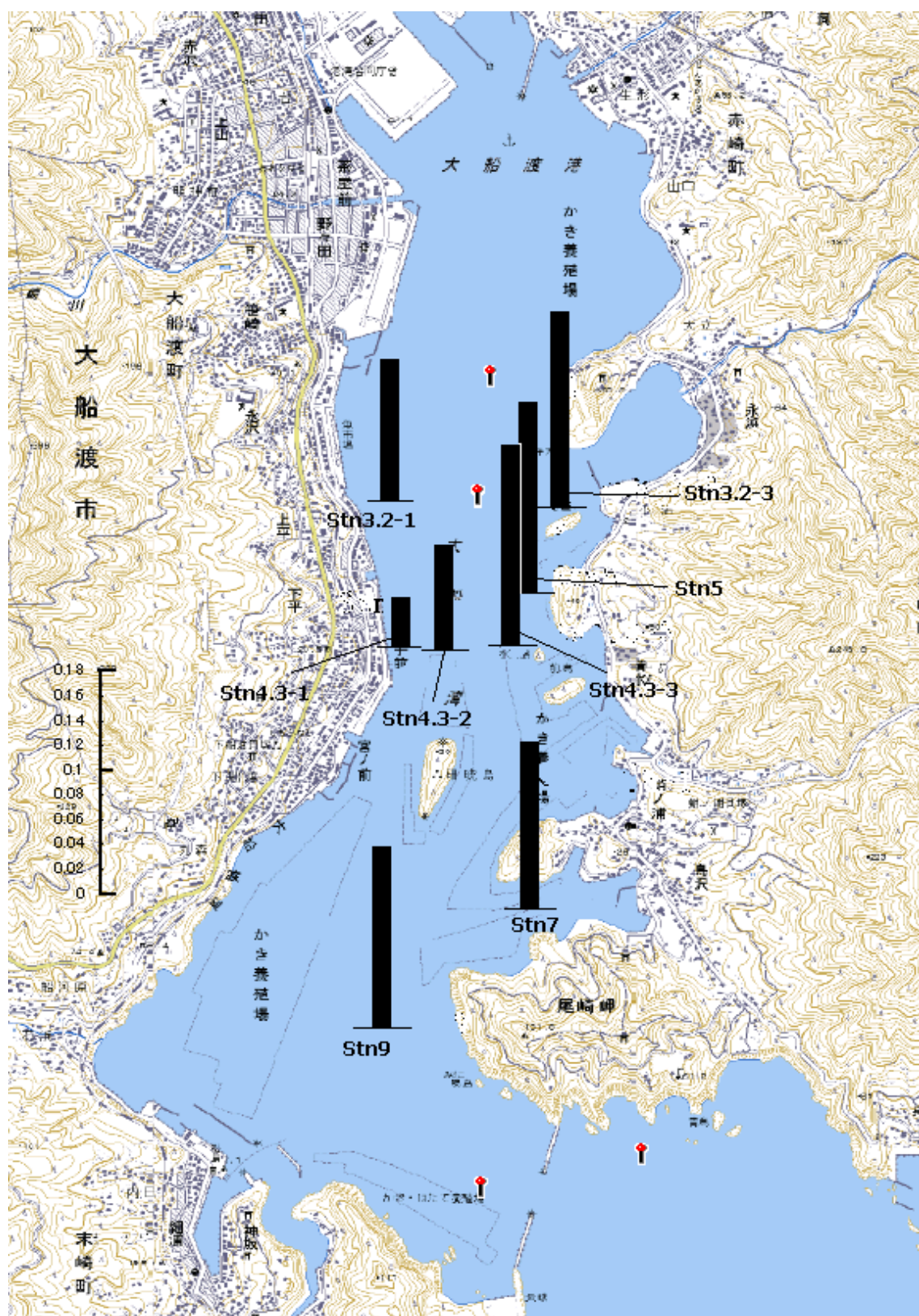


図 1 1 . 9 月 の 全 硫 黄 量 の 湾 内 で の 分 布

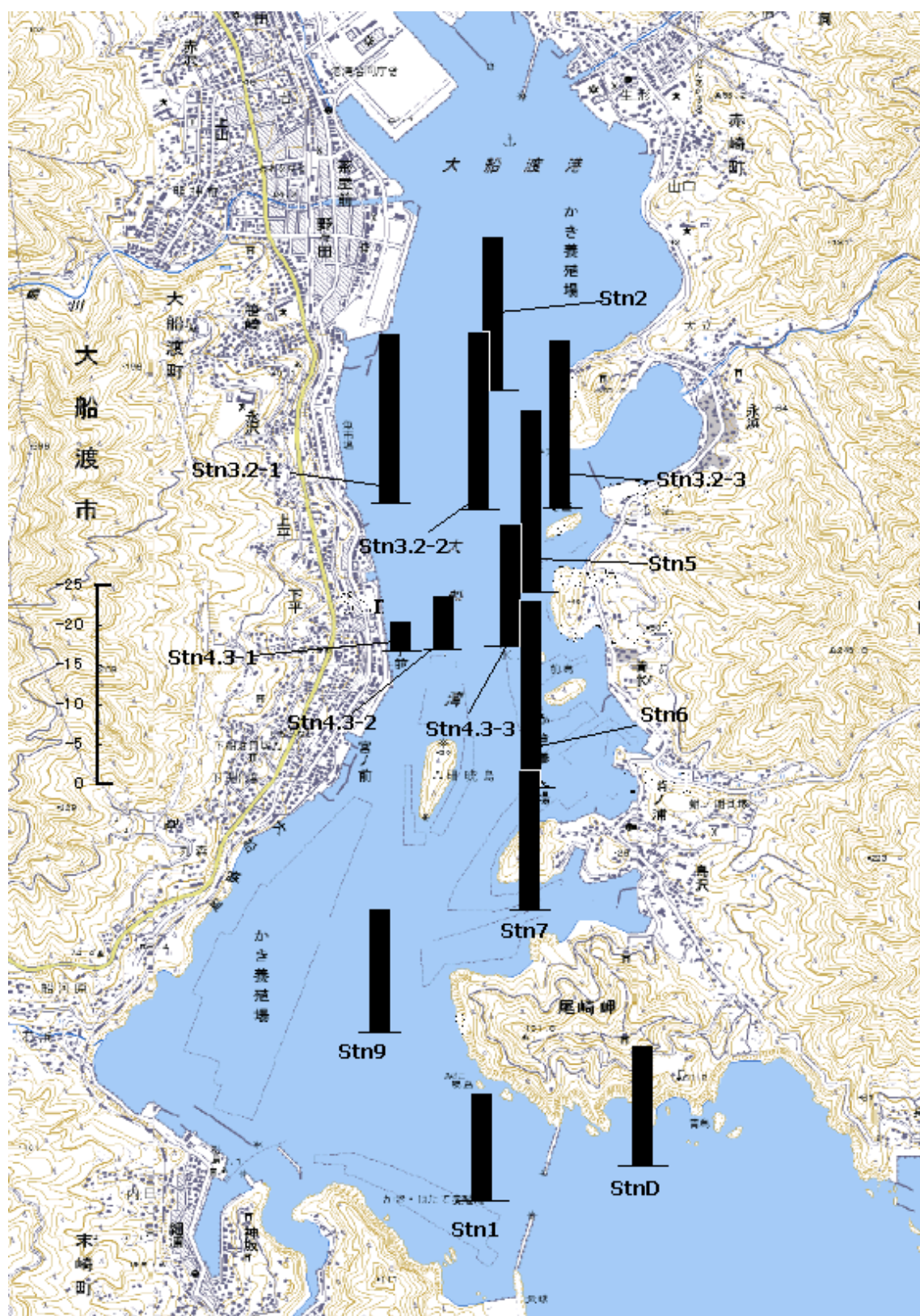


図 1 2 . 9 月 の 硫 黄 安 定 同 位 体 比 の 湾 内 で の 分 布

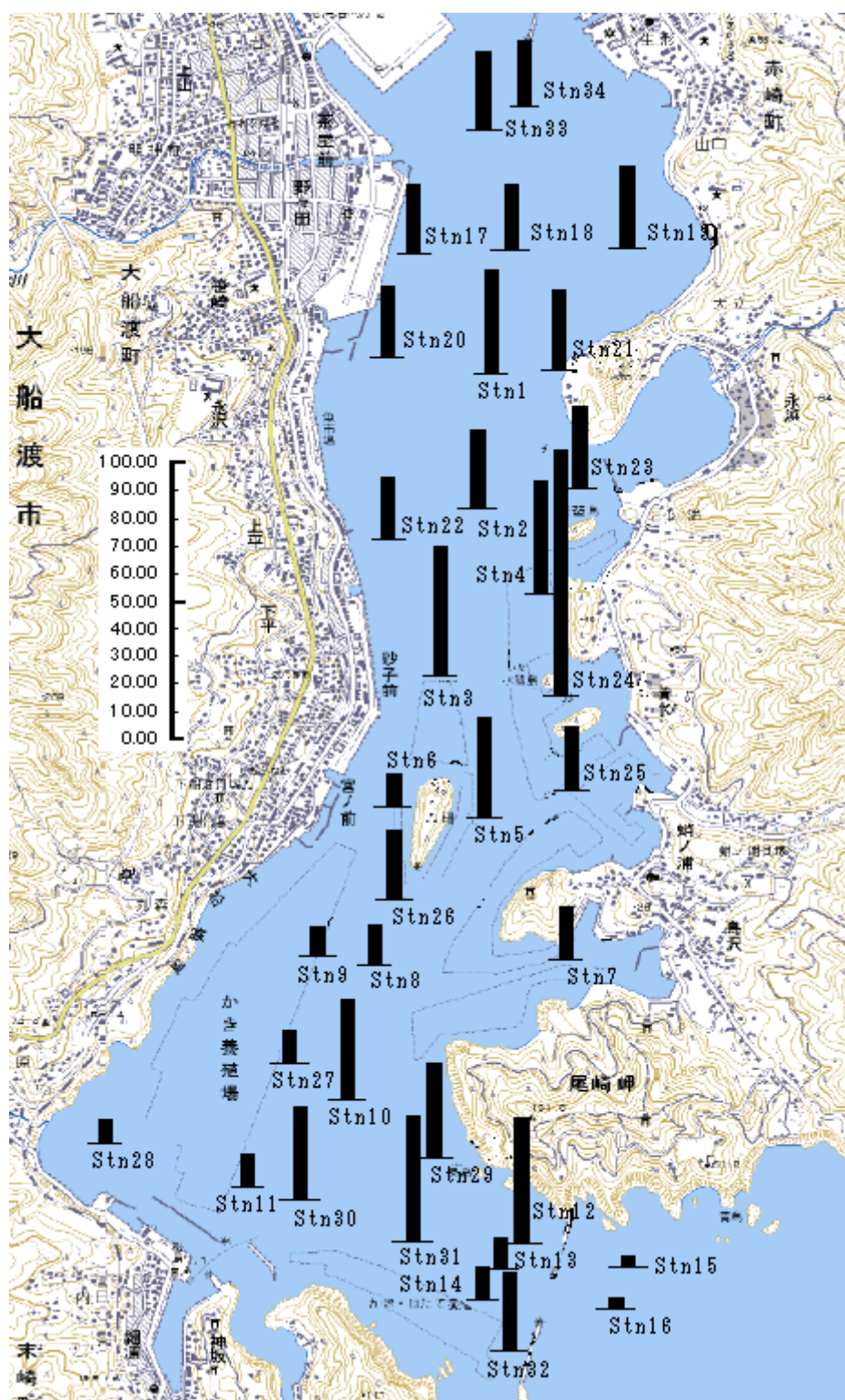


図13．11月のCODの湾内での分布

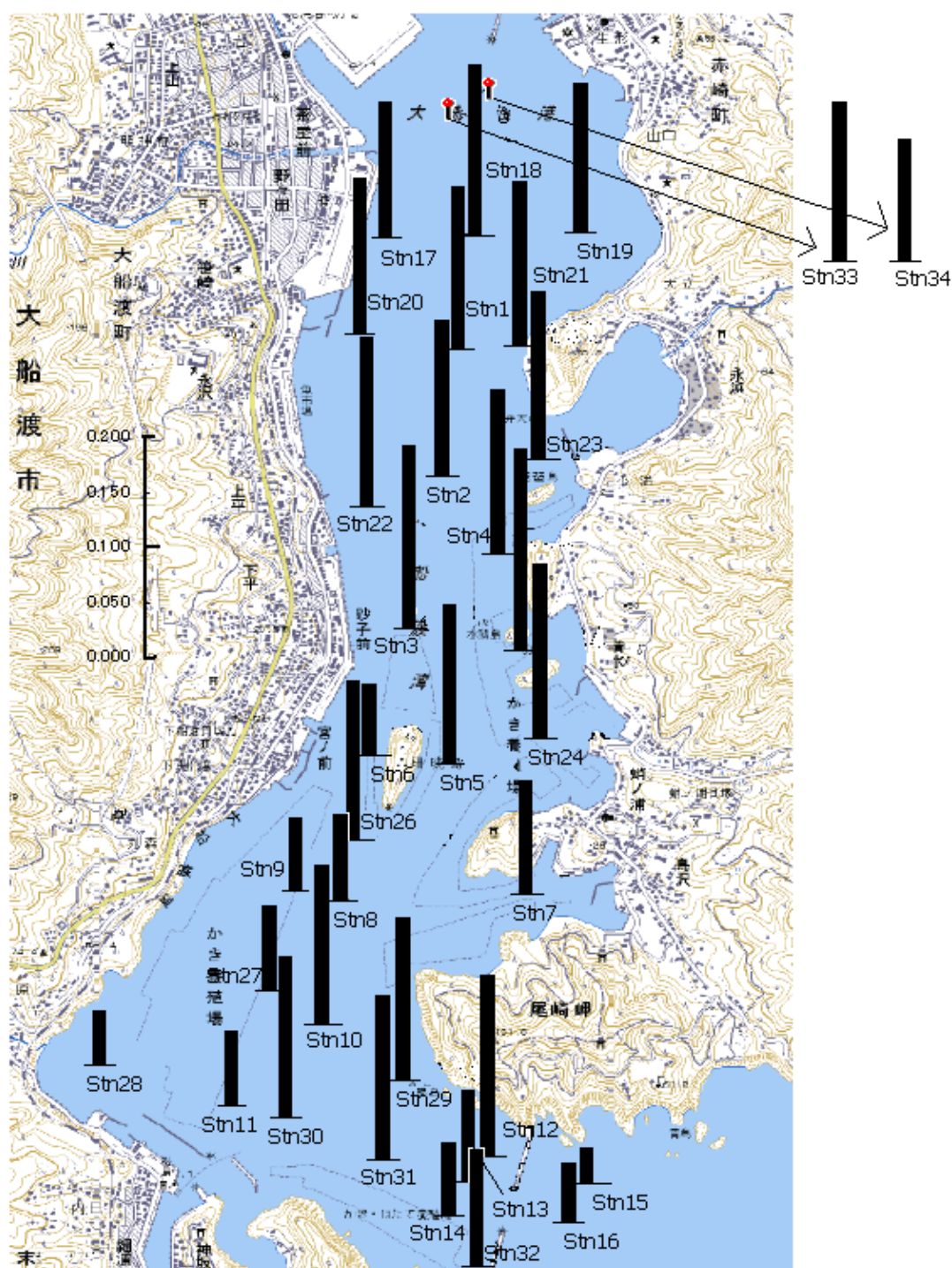


図14．11月の強熱減量の湾内での分布

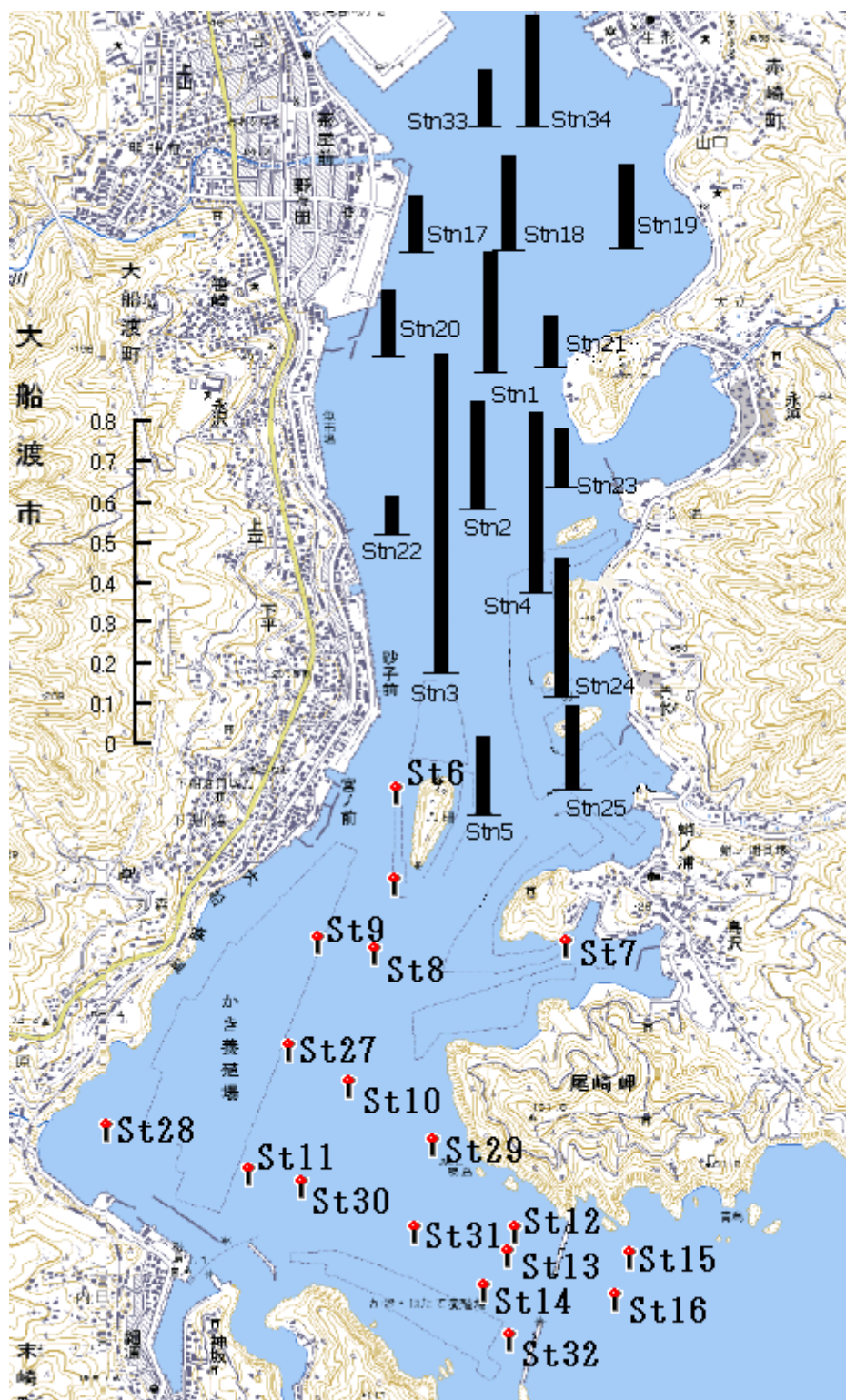


図15．11月の全硫黄量（AVS）の湾内での分布

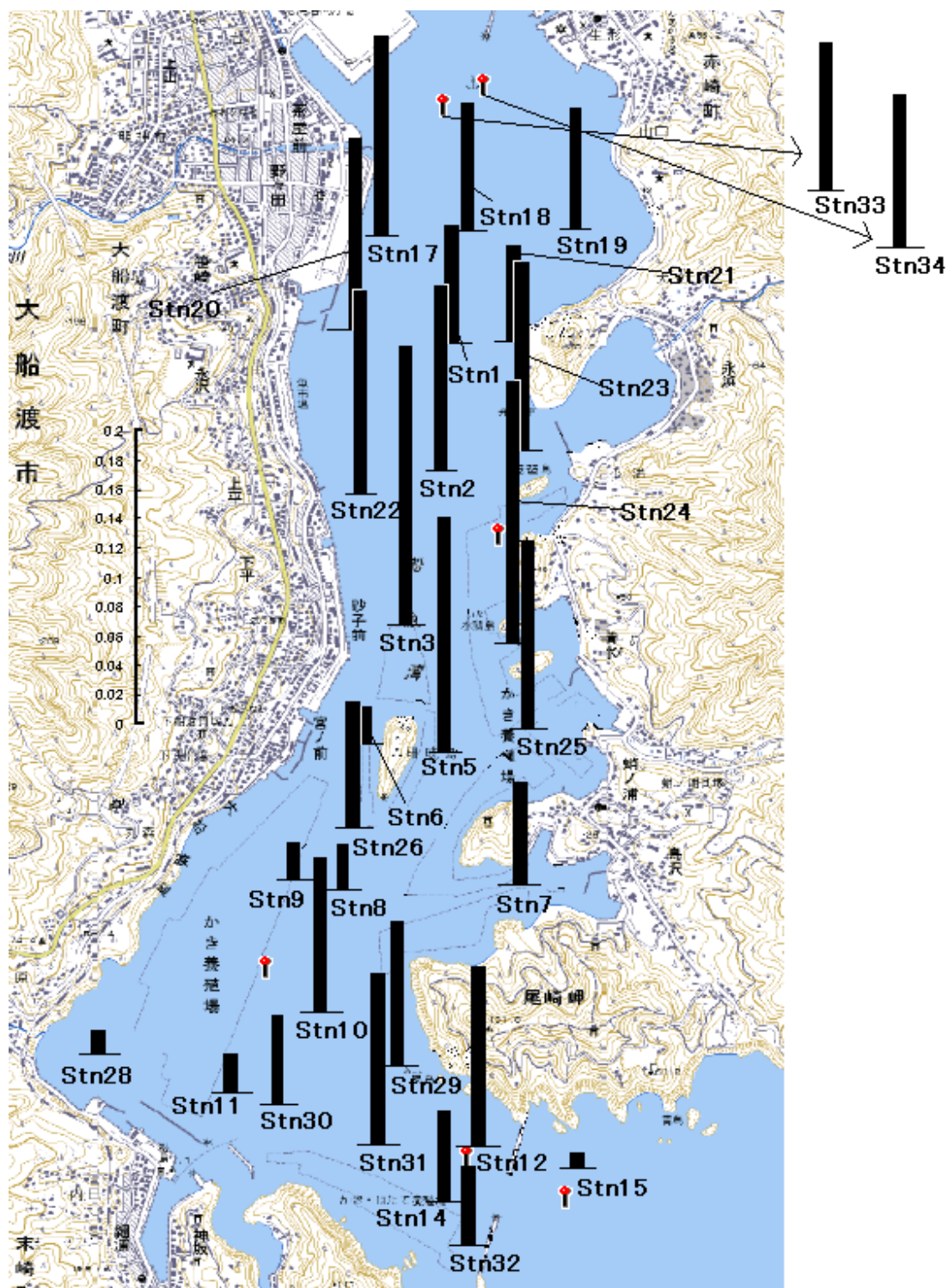


図9．11月の全硫黄量の分布

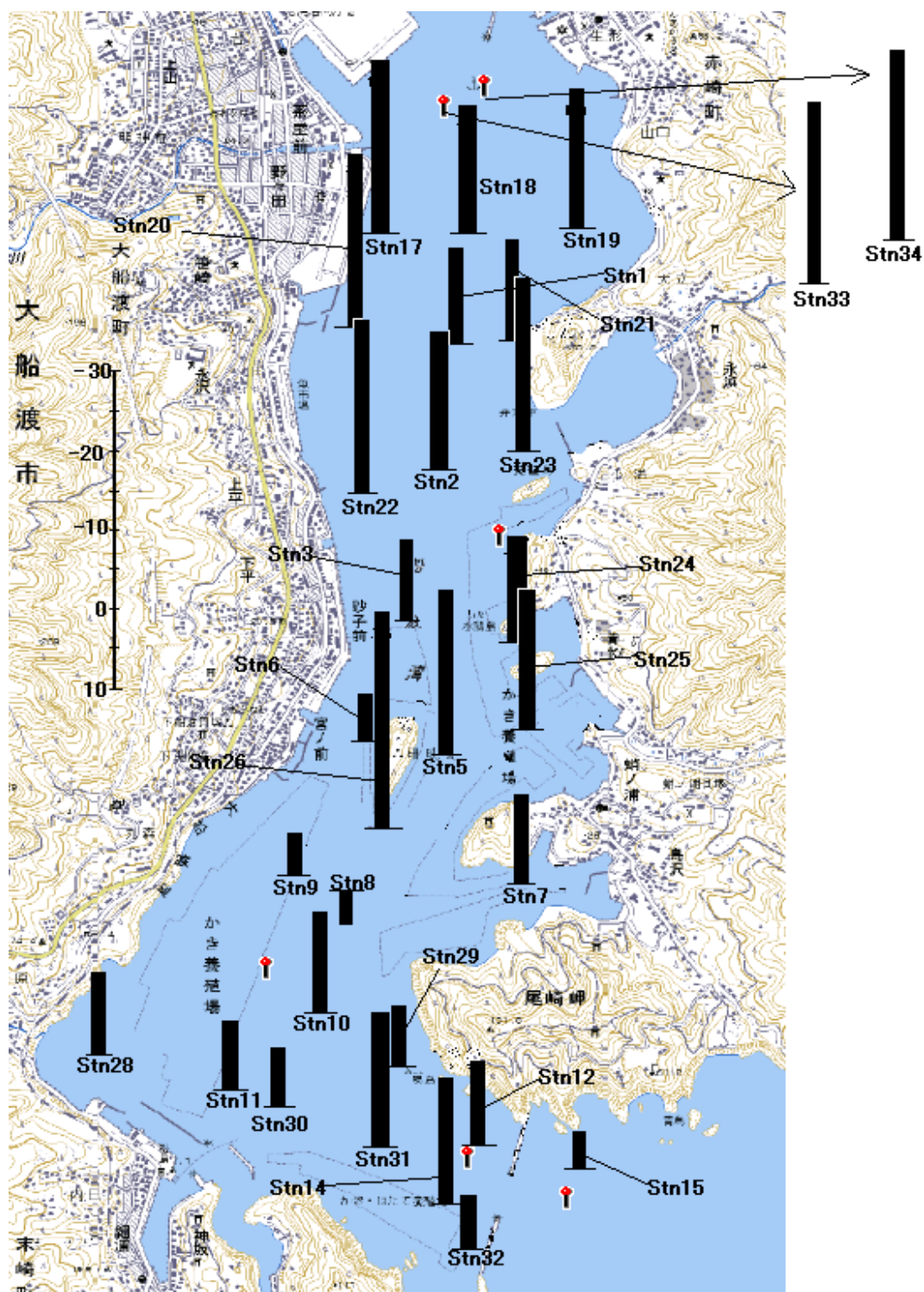


図 10 . 11 月の硫黄安定同位体比の分布

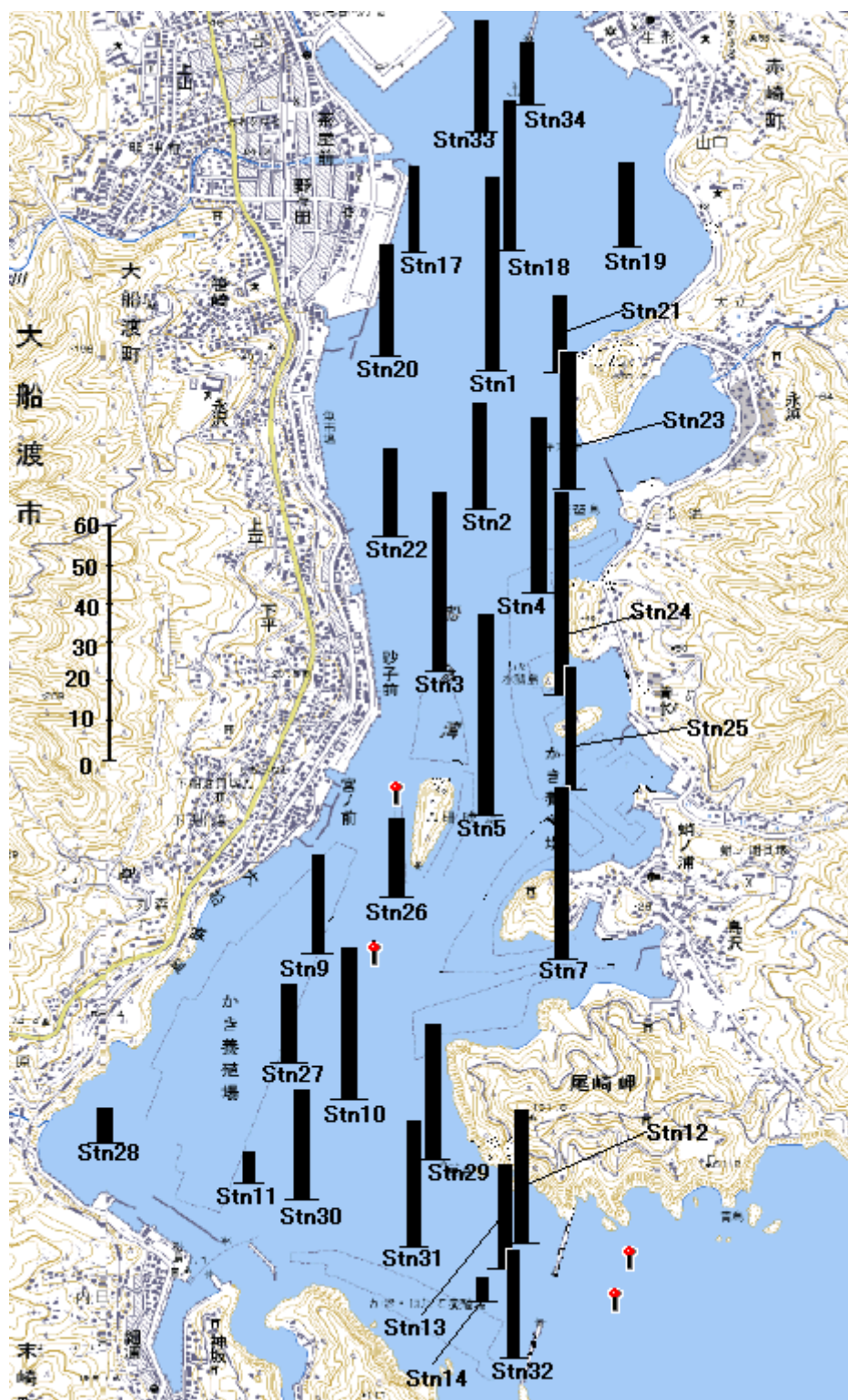


図 11 . 1 月の COD の分布

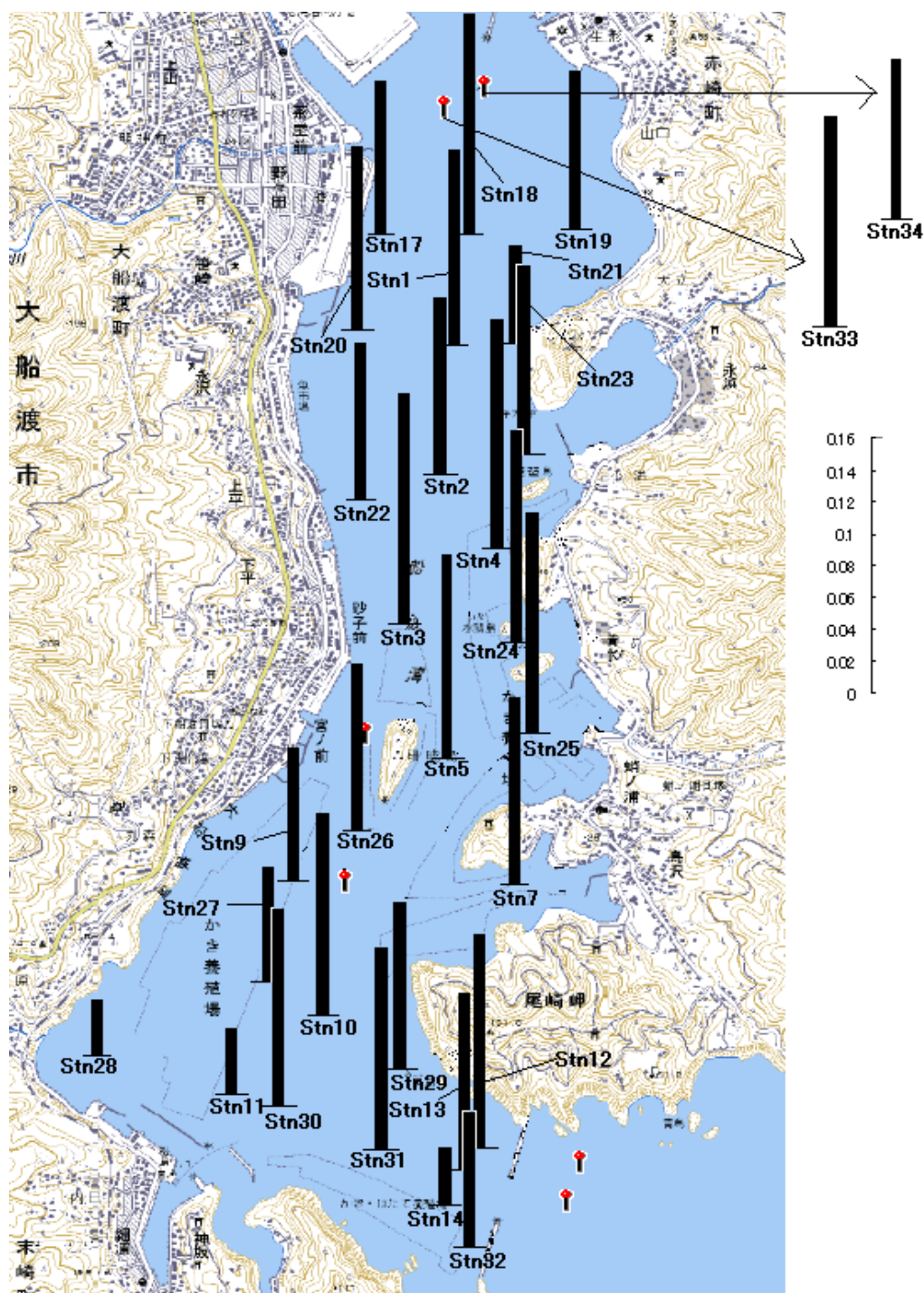


図 12 . 1 月の強熱減量の分布

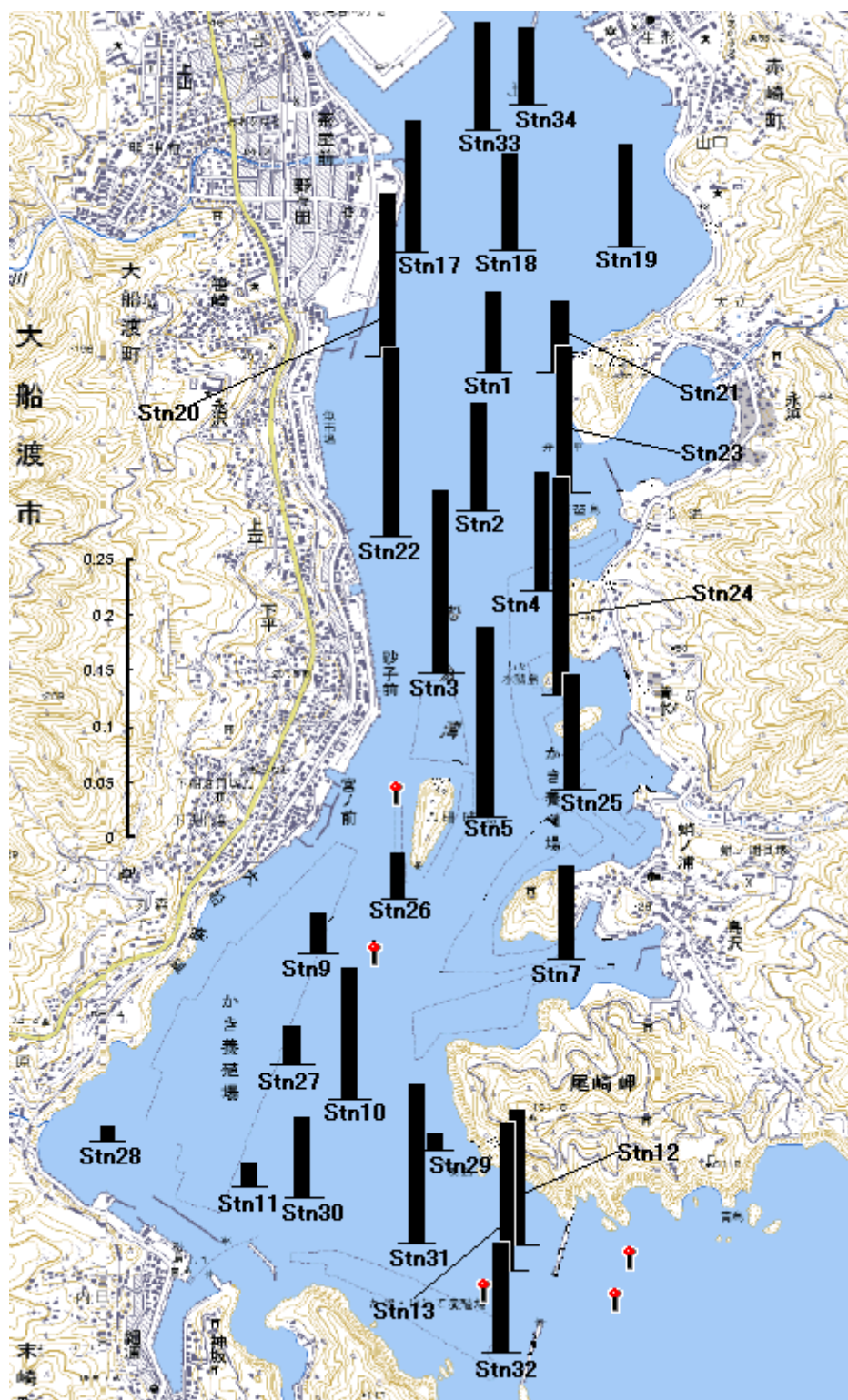


図 13 . 1 月の全硫黄量の分布

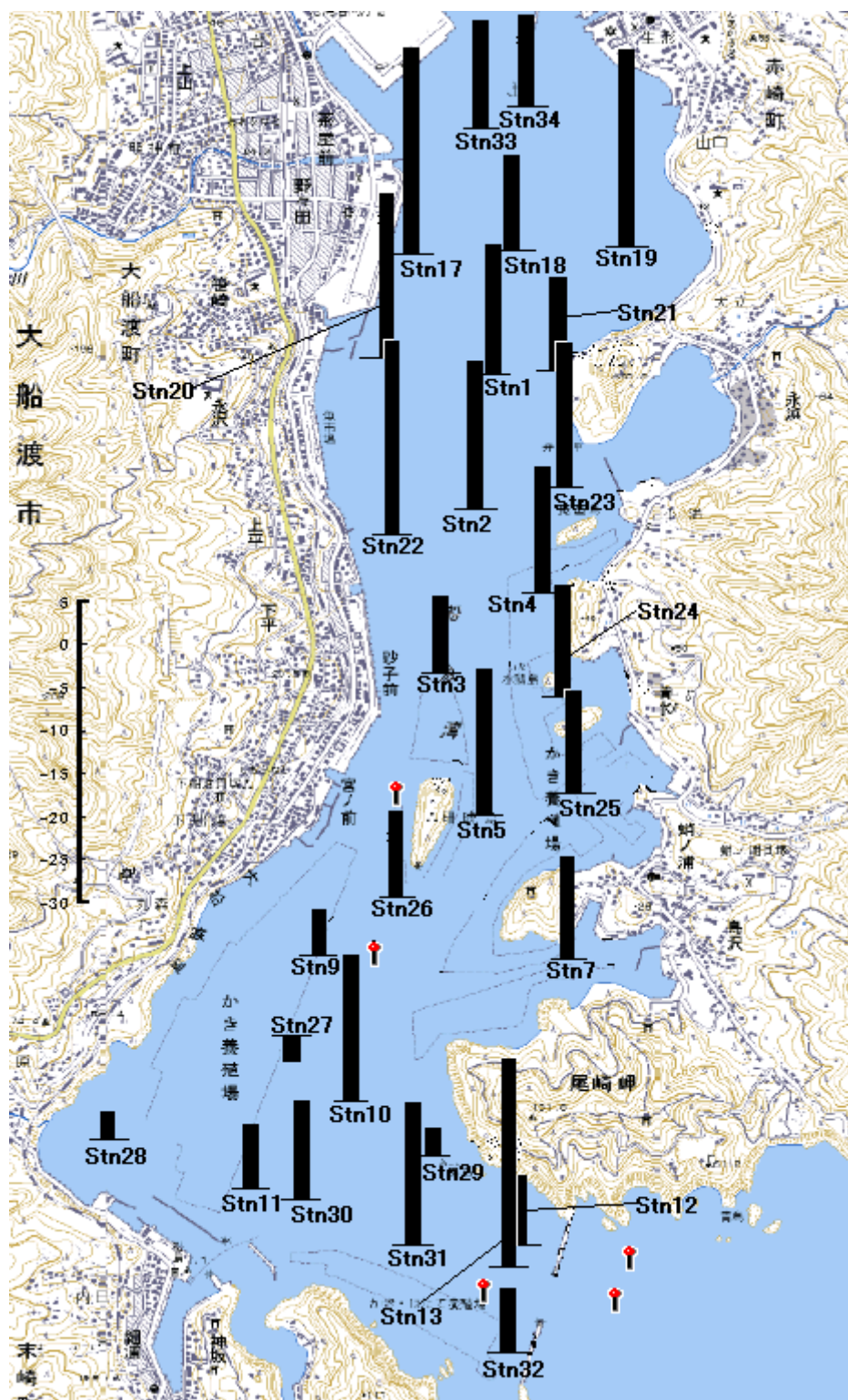


図 14 . 1 月の硫黄安定同位体比の分布

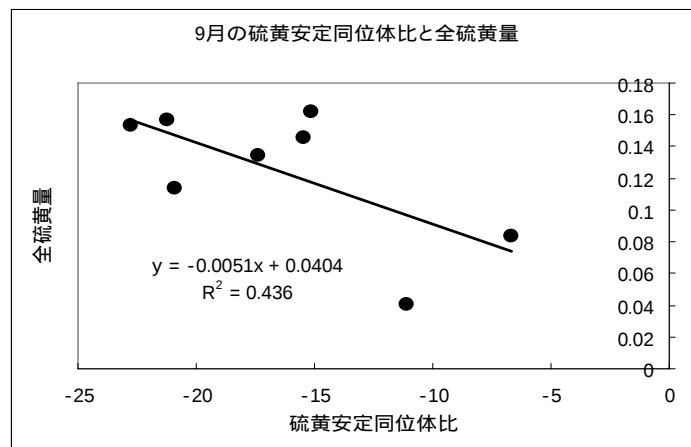


図 15 . 9 月の硫黄安定同位体比と全硫黄量の関係

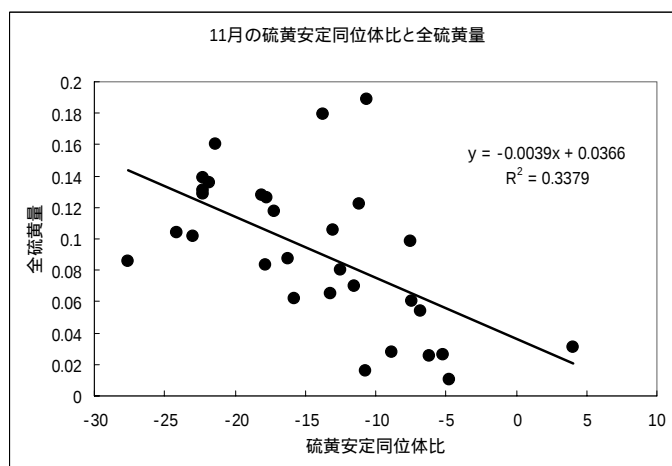


図 16 . 11 月の硫黄安定同位体比と全硫黄量の関係

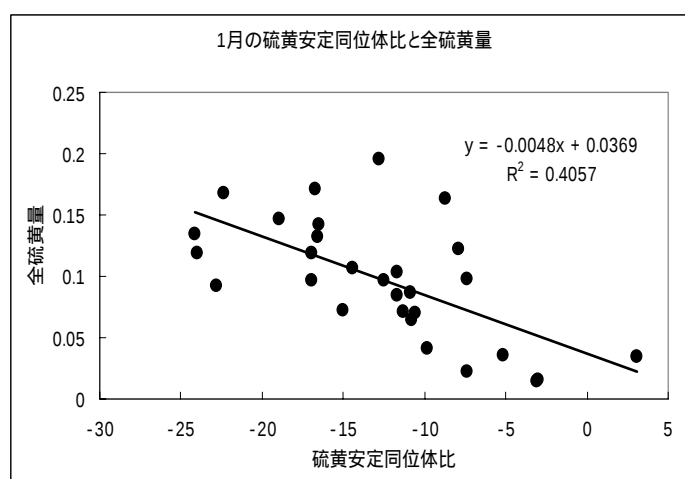


図 17 . 1 月の硫黄安定同位体比と全硫黄量の関係

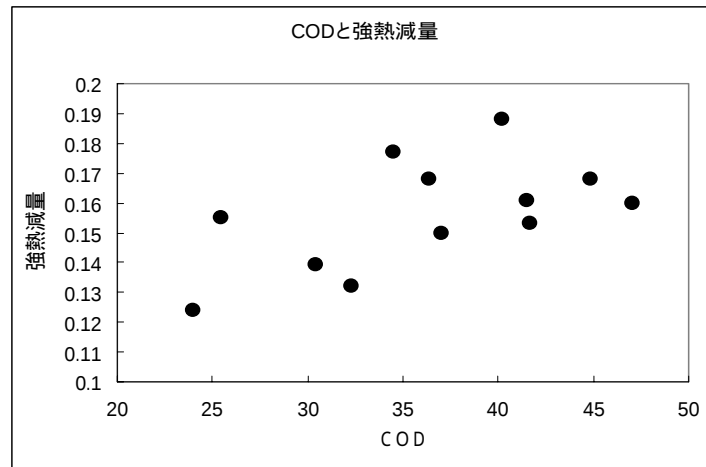


図 18 . 9 月の C O D と強熱減量の関係

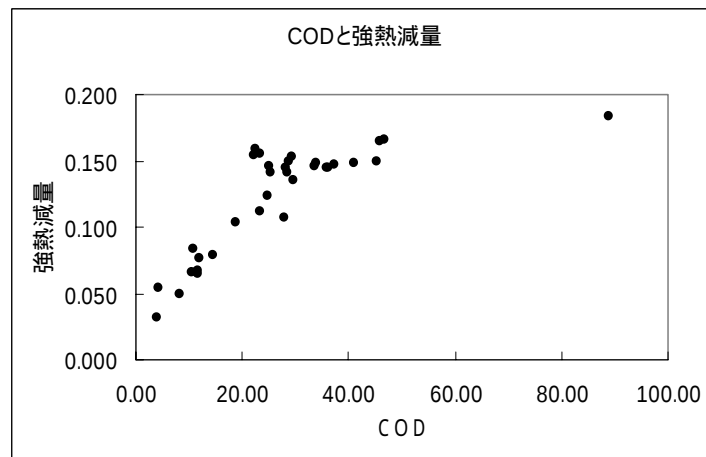


図 19 . 11 月の C O D と強熱減量の関係

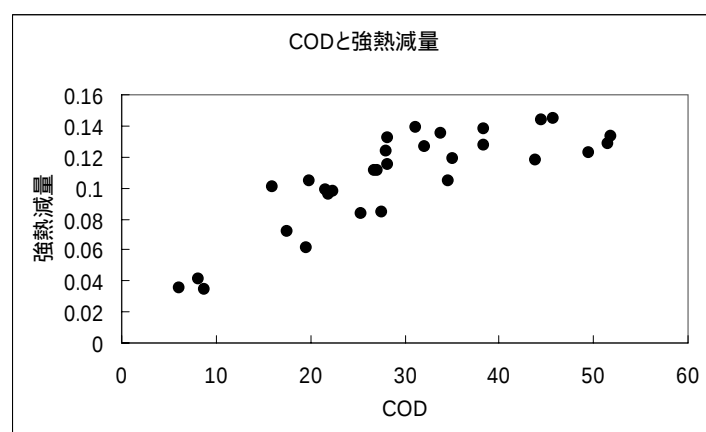


図 20 . 1 月の C O D と強熱減量の関係

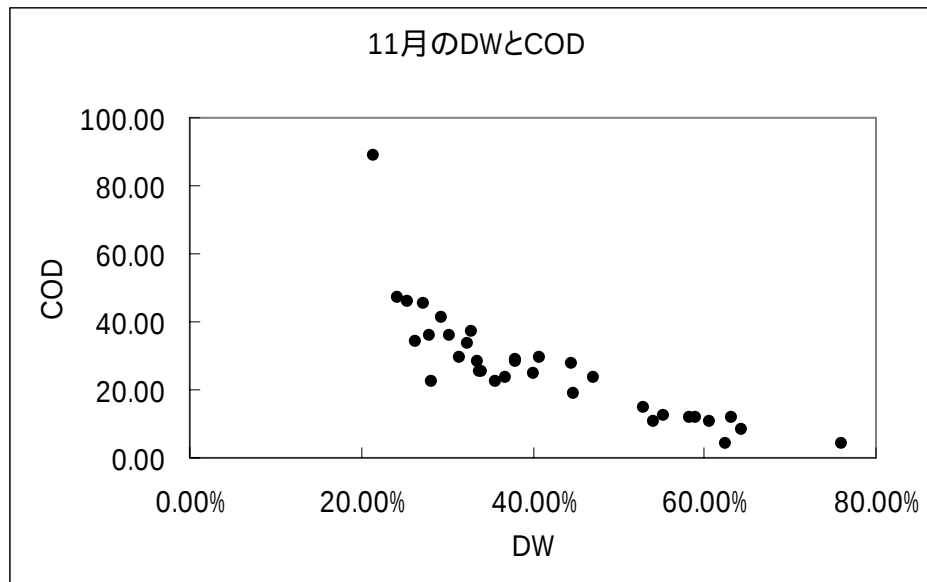


図 21 . 11 月の乾重量割合 (DW) と C O D の関係

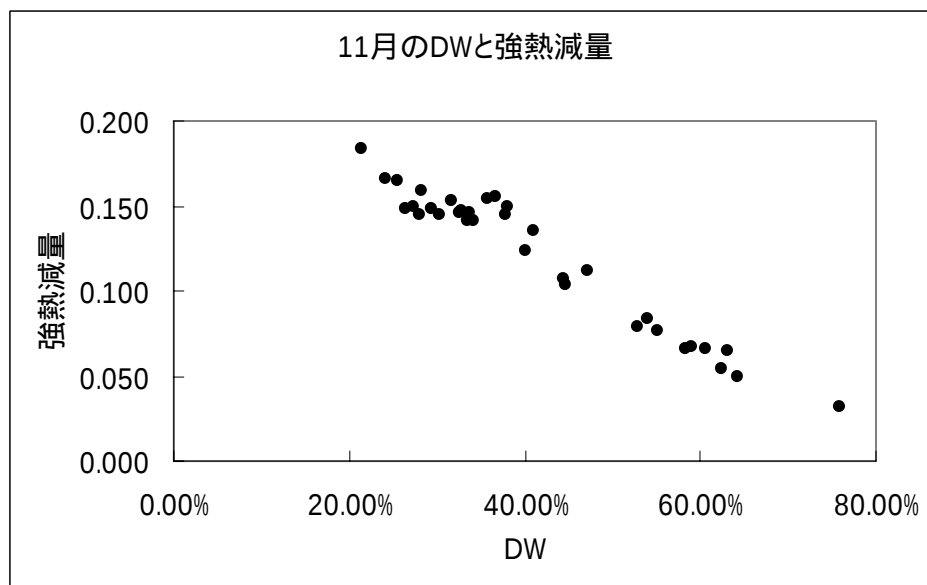


図 22 . 11 月の乾重量割合 (DW) と強熱減量の関係

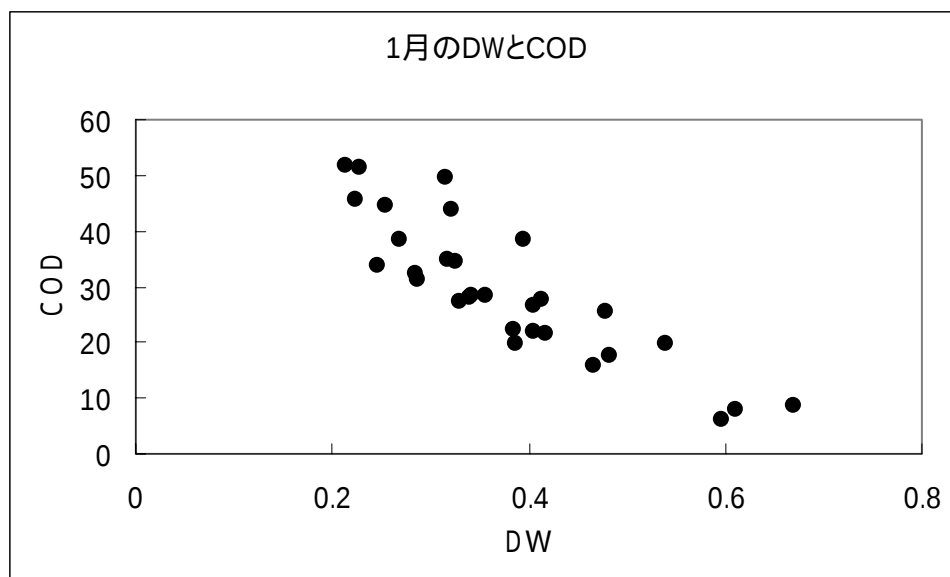


図 23 . 1 月の乾重量割合 (DW) と C O D の関係

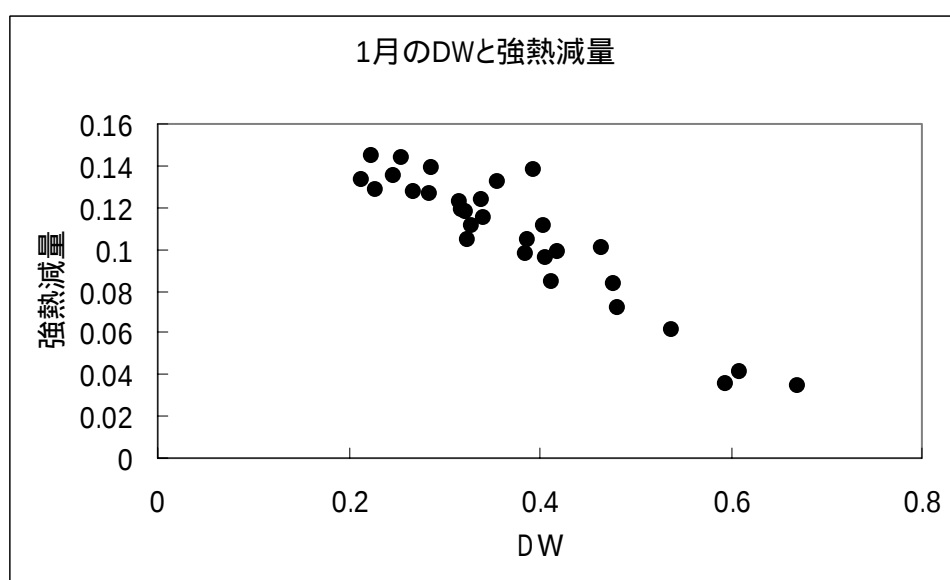


図 24 . 1 月の乾重量割合 (DW) と強熱減量の関係

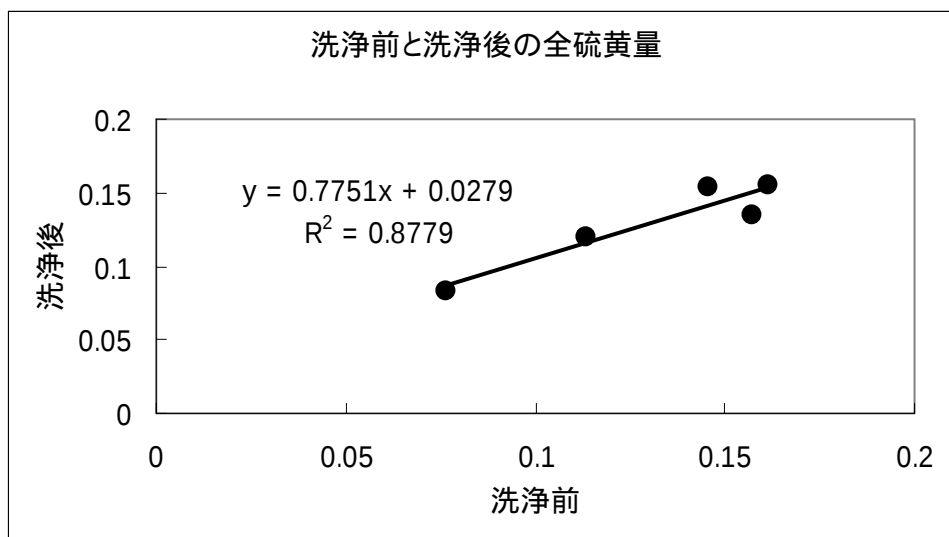


図 25 . 洗浄前と洗浄後の全硫黄量

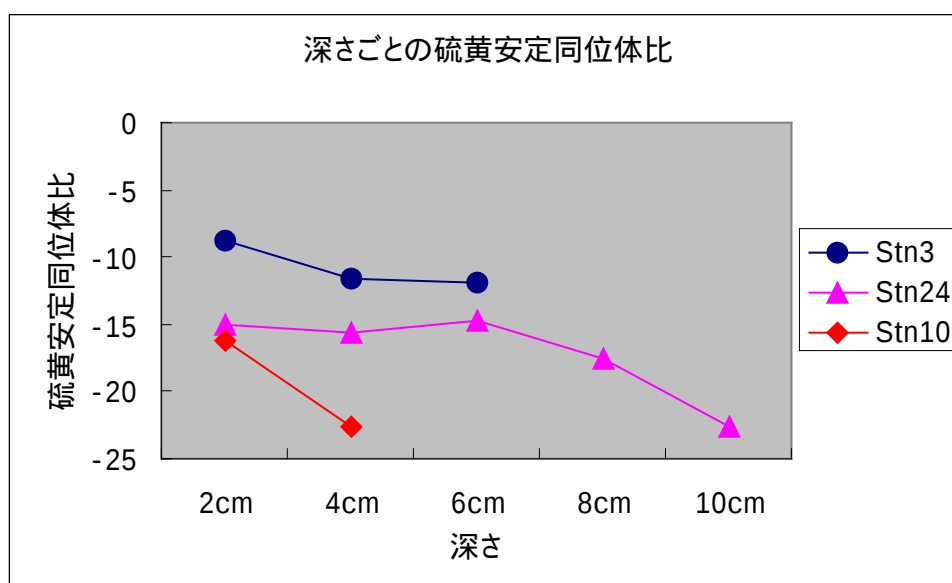


図 26 . 1 月の Stn3、Stn24、Stn10 の深さごとの硫黄安定同位体比の変化

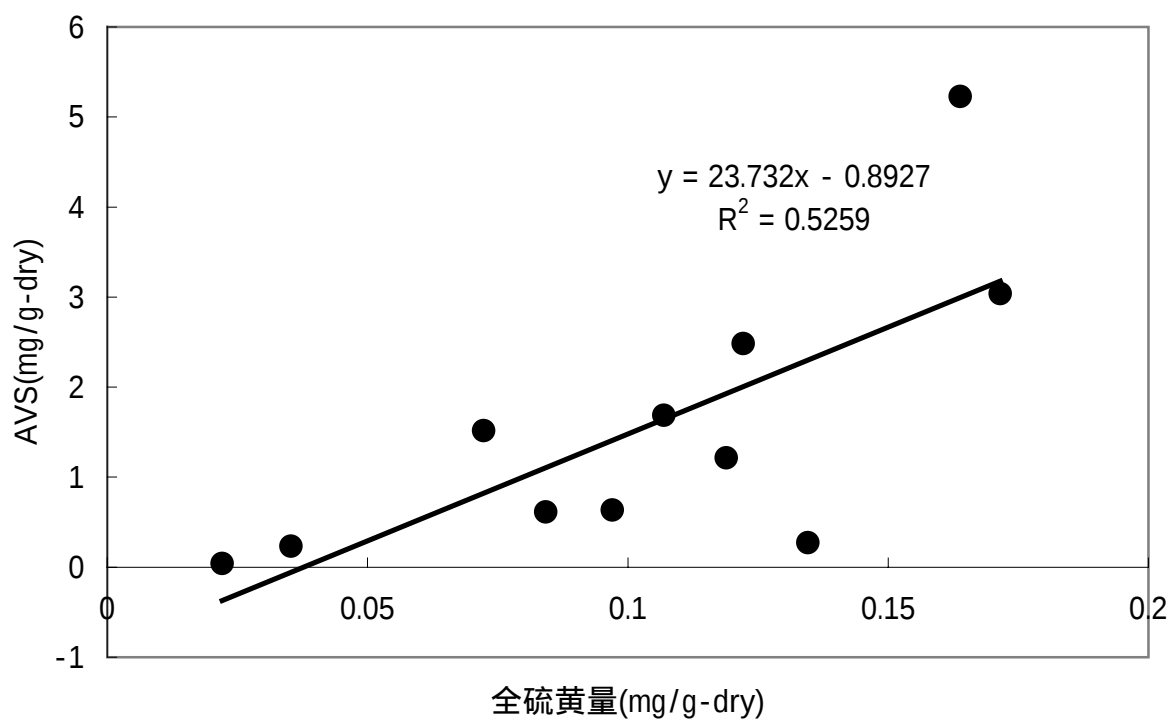


図 2 7 . 全硫黄量と全硫化物 (AVS) との関係 (1 月)

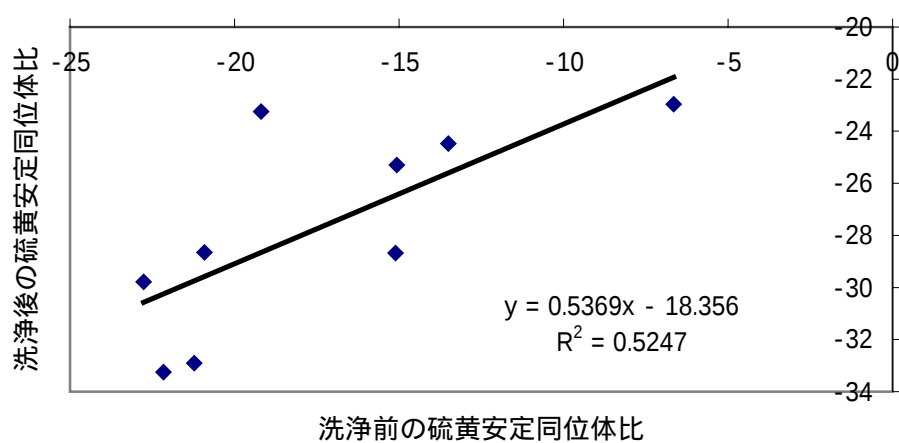


図 2 8 . 底泥の洗浄による硫黄安定同位体の变化

6 . アンケート調査

目的

漁師・一般市民の大船渡湾に対する考え方の違いを検討するとともに、年代・性別ごとの大船渡湾に対するイメージの違いを明らかにすることを目的に調査を行った。

調査

調査は7月20日の海の記念日の講演会に参加した大船渡市民(約300名)に、大船渡湾の環境についてアンケート調査を実施した。アンケートの主な質問項目は、1)性別について、2)年齢について、3)環境に対する関心について、4)水環境の印象のついて、5)今後の大船渡湾の環境についてであった。

結果

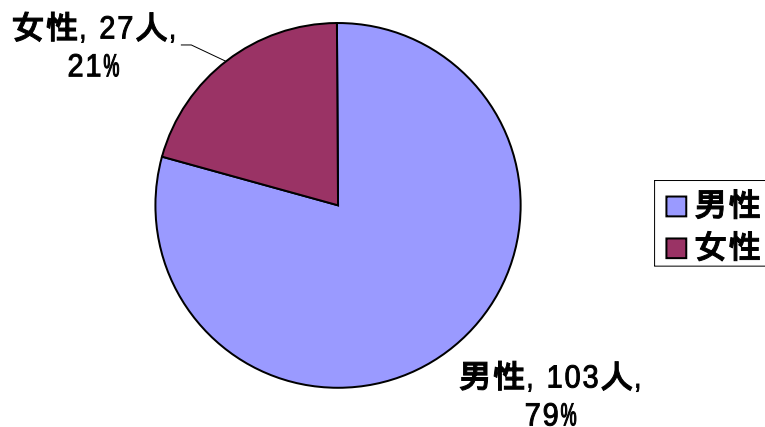


図29 . アンケート対象者

式典参加者約300名中 回答者は130名で、回収率 43%であった。そのうち男性が79%を占めた。

回答者の年齢は、高齢にシフトしている。男性ではこの傾向が顕著である。

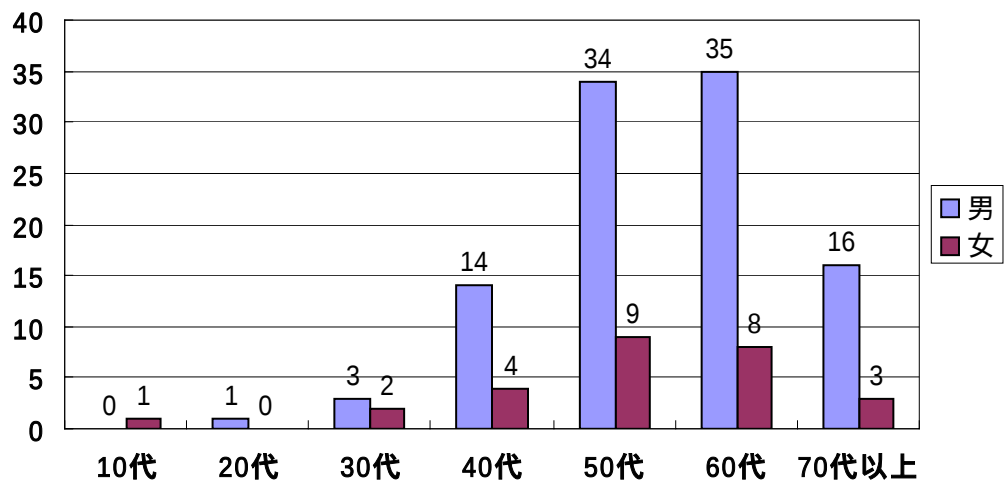


図 3 0 . 回答者の年齢分布

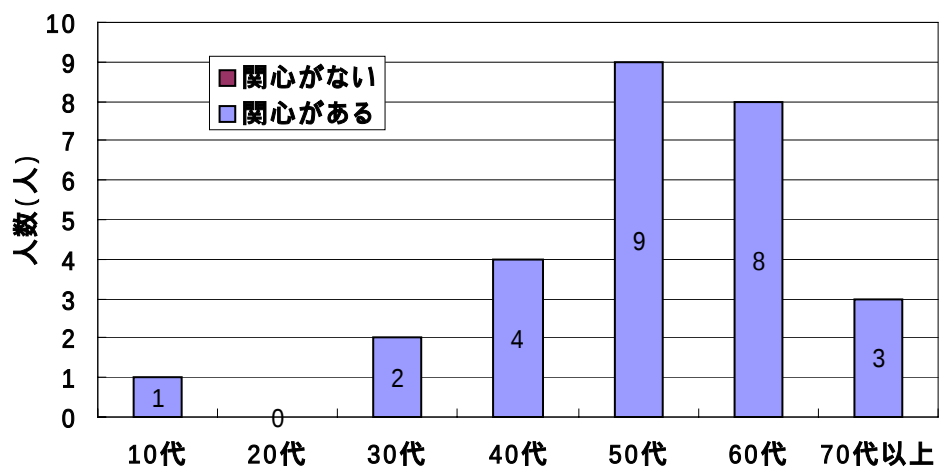


図 3 1 . 女性の環境問題への関心度

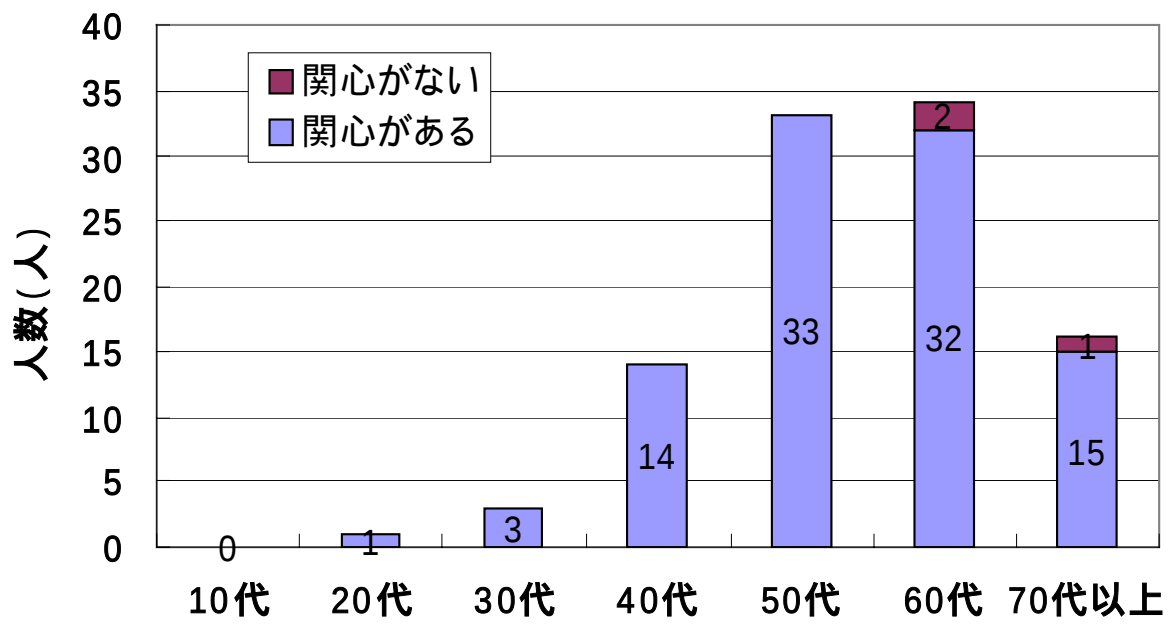


図 3 2 . 男性の環境問題への関心

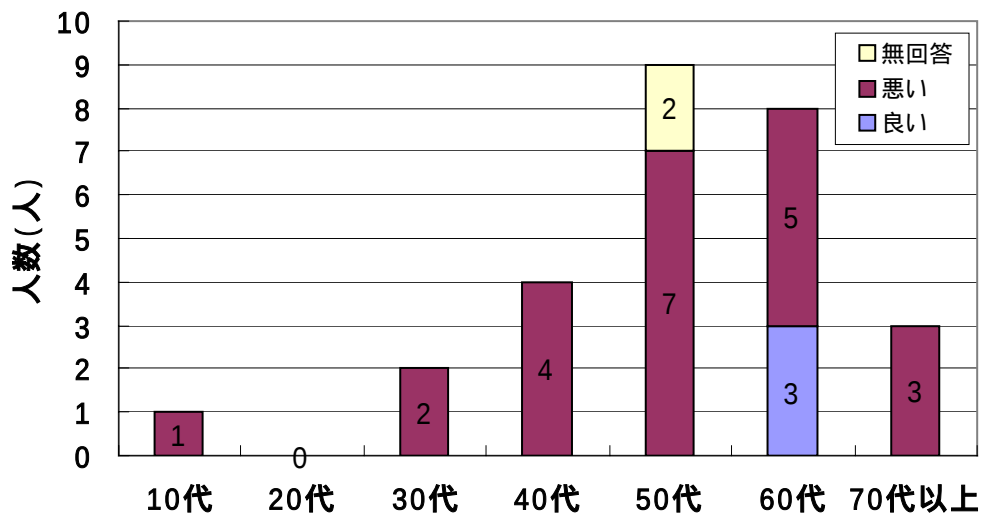


図 3 3 . 女性の水環境の印象

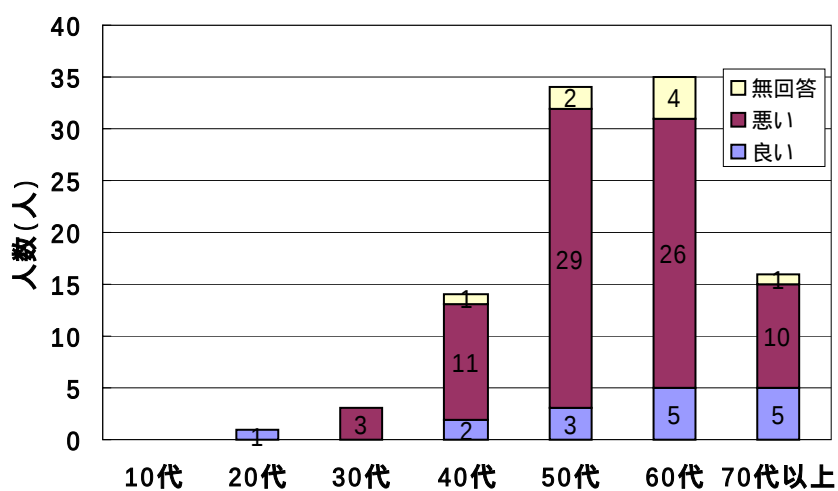


図 3 4 . 男性の水環境の印象

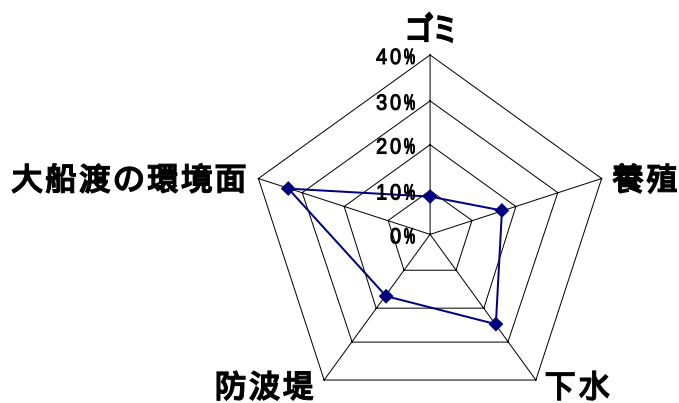


図 3 5 . 水環境がよいと答えた人の理由

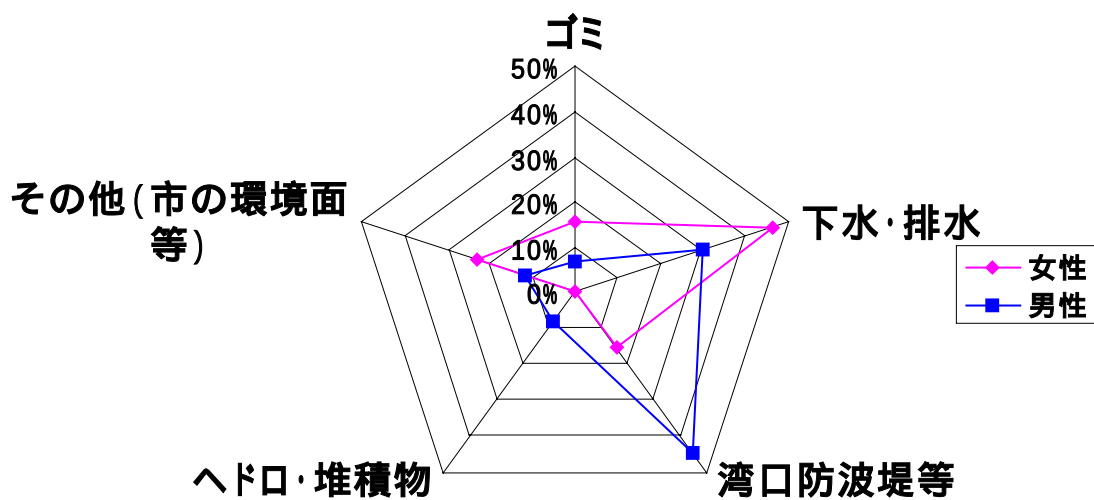


図 3 6 . 水環境が悪いと答えた人の理由

その他の意見

- ・ダムや道路の建設等のために森林伐採が多く行われている。
- ・赤崎等で、大船渡湾の埋め立てが多いから。
- ・大船渡湾周辺に住んでいる住民の水環境への意識がまだ低いように思えるから。
- ・アイナメ等の体内に寄生虫が見られるようになった。

7月20日の海の記念日講演会に参加した人は男性が多く、その大部分は漁師ではないかと考えられる。水環境の印象については、男女共に印象が悪いと思っている人が多数を占めている。これは回答者の多くが普段から海を利用し、生活の糧を得る漁業者が多くを占めているためではないかと思われる。

7. 聞き取り調査

目的

大船渡湾内の水質変化とカキ養殖との関係について、湾口防波堤建設前とその後の経過、および現状についてカキ養殖業者から直接、聞き取りを行なうことによって、養殖業者の湾内環境に対する意識の把握を目的に聞き取り調査を行った。

調査

聞き取り調査は平成19年1月12日に、大船渡市漁業協同組合員でカキ養殖専門のTS氏にお願いして行なった。聞き取りの主な質問項目は、1)湾口防波堤建設前の湾内の水環境とカキ養殖棚の深さと主漁場について、2)湾口防波堤建設後の湾内の水環境とカキ養殖棚の深さと主漁場について、3)カキ養殖業者からみた湾内環境に対する関心について、4)カキ養殖以外の漁業活動への影響についてである。

結果

1) 湾口防波堤建設前の湾内の水環境とカキ養殖棚の深さと主漁場について

湾口防波堤建設前は大雨が降っても2~3日で湾内の海水が澄み、透明度は高かった。カキ棚の深さは30~40尺だった。海面から30尺以深でも、カキの身入りは良かった。湾の中央部から奥部でもカキ養殖が出来た。

2) 湾口防波堤建設後の湾内の水環境とカキ養殖棚の深さと主漁場について

湾口防波堤建設前に学者が来て、湾口防波堤が出来ても水環境はわるくならないと言った。しかし、建設後は次第に湾愛の水環境は悪くなり、建設前にカキ養殖漁場であった所が、奥の方から段々と養殖できなくなってなってきた。特に透明度の低下と、大雨後の透明度の回復に時間が長くなっている。最近では5~7日くらいが普通である。カキ棚の深さは併記して20尺で、15尺以深ではカキの身入りが悪い。

3) カキ養殖業者からみた湾内環境に対する関心について

湾内の水環境はカキ養殖には最も重要なので、これ以上悪くなるのは困る。1万トン岸壁のコークスの積み下ろしの際に、風でもってコークスが飛び散っており、これが湾無いの水環境に影響していないかが心配だ。

4) カキ養殖以外の漁業活動への影響について

湾内で刺し網、胴長漁業をしている人たちは、湾内が浅くなっていると言う印象を持っている。湾口防波堤建設後、現在にかけて段々と漁獲量が少なくなっている。また透明度が悪いので、ウニ、アワビなどのノゾキ量が困難になっている。

これらの結果をまとめてみると、湾口防波堤建設前後でカキ養殖に現れた大きな影響は、1) 養殖漁場が減少した、2) カキ棚の深度が建設前に比べて建設後は1/2になっただけでなく、ある水深からはカキの成長が悪く、身入りが悪くなったこと、3) 透明度の低下によるノゾキ漁業が難しくなった、の3つになるだろう。この中でもカキ養殖業者にとって最も大きな関心は、如何にしてカキ棚の深さを深くし、カキの身入りを良くするかにある。

今回のアンケート調査と専門漁業者への聞き取り調査を行なった結果、漁業者と一般市民との間に大船渡湾の水環境に対する関心は大きな隔たりは無く、透明度の悪化など、むしろ共通している点が多かった。大船渡湾の環境改善は先ず、透明度の改善（大雨後の湾内に流入した淡水の滞留時間の短縮化）が最も大きな課題であり、これの実現が大船渡湾に求められている環境改善（創造）であると考えられる。

8. 今後の展開

- 1) 未計測の安定同位体比を炭素窒素安定同位体比を含め計測する。
- 2) ワカメの幼体を用いた AGP (Algal Growth Potential) 試験を実施し、海水の海藻養殖の適否を検討する。
- 3) 理論的には関連性が認められるものの、これまでのフィールド観察では貧酸素と硫黄安定同位体比の低下とを直接関連付ける証左は得られていない。これは、天然海域の底泥は少し場所が異なると、水柱からの沈降物の量や組成、こと海水の流動の程度、底の形状と質（砂か泥か、窪んでいるか否か）などが異なる、さらに溶存酸素量を測る場所が寸分たがわず底泥を採取することは困難であることなどによる。よって実験室内で条件をコントロールして貧酸素を人為的に生じさせての安定同位体比の変化をモニタリングすることが早道であると思われる。よって、SOD 試験 (Sediment Oxygen Demand) に準じてボトル中に泥と海水を入れて経時的に酸素濃度と安定同位体比をモニタリングする。
- 4) 全硫化物量は貧酸素のよい指標であると考えられるが、採取後急速に量の変化がおきる。それに対して、硫黄安定同位体比は硫黄部分的に保存されているだけでも計測可能であると考えられる。すなわち、採取から年月が経っても硫黄安定同位体比は保存されている可能性が高い。この点に関して、熱をかけての aging 試験を行うことによって硫黄の消失によっても硫黄安定同位体比が変化しないかを検討する。
- 5) 以上を総合して考察を行い、安定同位体比を用いた環境評価指標を確立する。

添付資料 1

大船渡湾の環境に関する意識調査

アンケートにご協力ください

北里大学水産学部 小河久朗

大船渡湾の環境について日頃どのように感じておられるのか、ご意見をお尋ねします。

1. 性別を教えてください。
・男性 ・女性
 2. 年齢を教えてください。
・20歳代 ・30歳代 ・40歳代 ・50歳代 ・60歳代 ・70歳代以上
 1. 大船渡湾の環境について。
・関心がある ・関心がない
 2. 大船渡湾の環境について関心がない、とされた方は、何故関心がないのか、その理由をお聞かせ下さい。
 5. 大船渡湾の水環境の印象について。
・よい ・そう思わない
 6. 良いと答えられた方は、何故そのように思われるのか、その理由をお聞かせ下さい。
 7. そう思わない、と答えられた方は、何故そのように思われるのか、その理由をお聞かせ下さい。
 8. 大船渡湾の現在または将来の環境について、ご意見があればお教え下さい。
- ご協力有難うございました。