

漁海況予報事業 —浅海定線調査—

江藤 拓也・神菌 真人・荒田 敏生

目 的

周防灘西部海域の海況及び水質の調査を行い、漁場環境の変動を把握し、富栄養化対策、赤潮対策及び水産資源の長期予報に資することを目的とする。

方 法

調査は、毎月上旬に図1に示す12定点の0, 5, 10, B-1m層で観測、採水を行った。

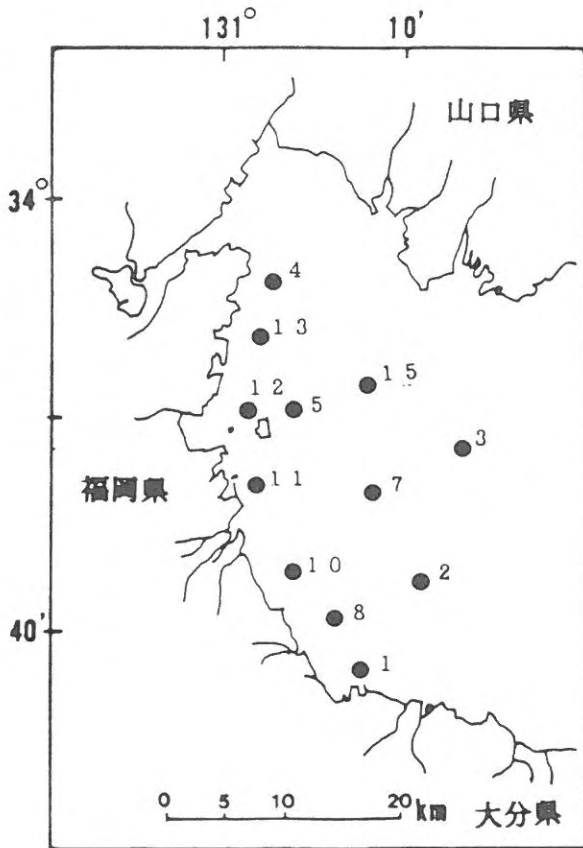


図1 海洋調査点

調査項目

1. 一般項目

気象：天候，雲量，雲形，風向，風速，気温，気圧
海象：水温，塩分，透明度，水色，波浪

2. 特殊項目

DO, SS, COD, DIN (NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N), PO₄-P

結果および考察

1. 気象の変化を図2～4に示す。

1) 気温は、平年に比べ4月から6月にかけてやや高めであったが、7, 8月は2～3℃低めであった。また、11月以降は1～3℃高めで推移していた。

2) 降水量は、6月から8月にかけて、平年値の約2倍、1140mmの降水量を記録した。

3) 日照時間は、平年に比べ全体的に短めであり、とくに6月から8月にかけて顕著であった。

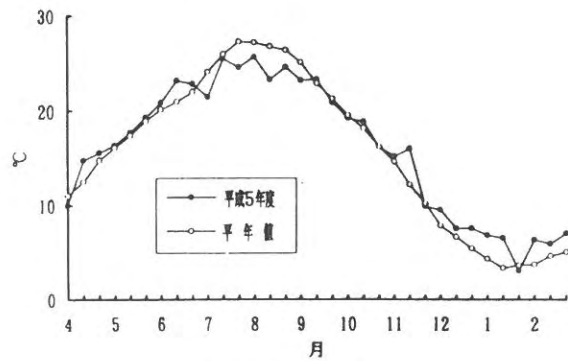


図2 気温の変化

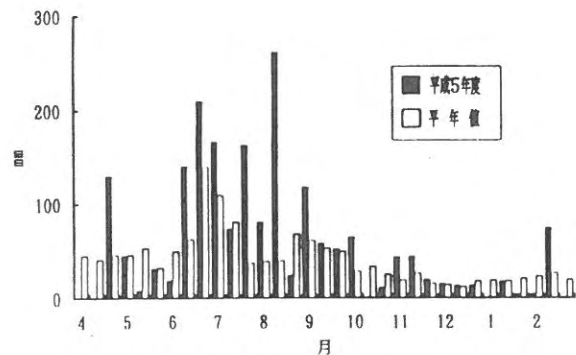


図3 降水量の変化

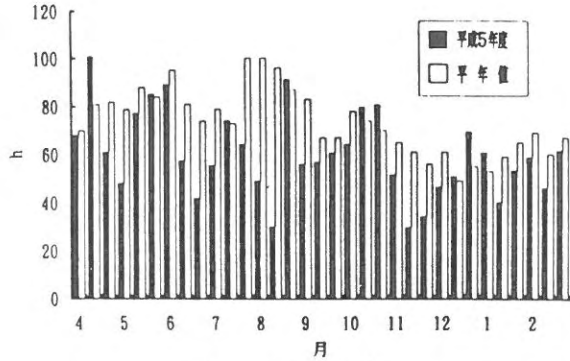


図4 日照時間の変化

2. 海象の変化を図5～12に示す。

1) 透明度は、平年と比べると4～8月が低め、9、11月が高めであった。

2) 水温は、平年に比べ全体的に低めであり、特に8月の表層は3℃、9月の底層は4℃低かった。

3) 塩分は、平年より4月から7月はやや高め推移していたが、8月以降は低めに転じ、特に8、9月の表層は3程低かった。

4) 溶存酸素は、平年に比べ7月から9月の底層で20%低かった以外は平年並みで推移していた。

5) CODは、周年を通して平年より低めで推移していた。

6) DINは、平年値より全体的に低めで推移していた。特に10月から1月にかけて、表、底層で2～4 $\mu\text{g-at/l}$ 低かった。

7) $\text{PO}_4\text{-P}$ は、平年に比べ表、底層ともにやや低めで推移していた。その中でも特に8月から11月までの底層で1～2 $\mu\text{g-at/l}$ 低かった。

8) クロロフィルaは、平年より6月の表、底層で高い値をしめした以外は平年並みで推移していた。

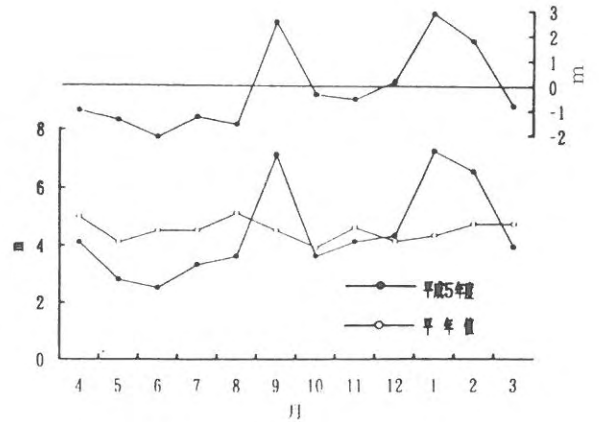


図5 透明度の変化

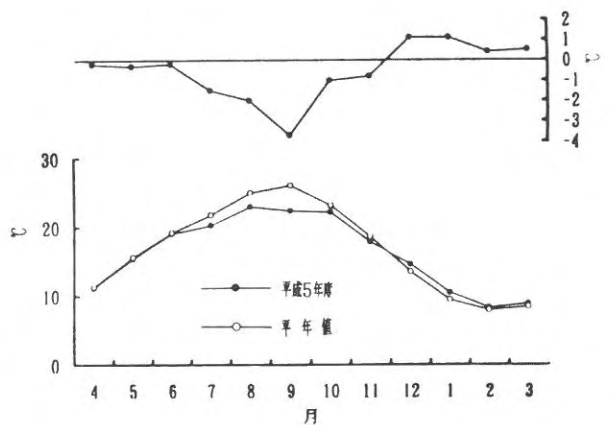
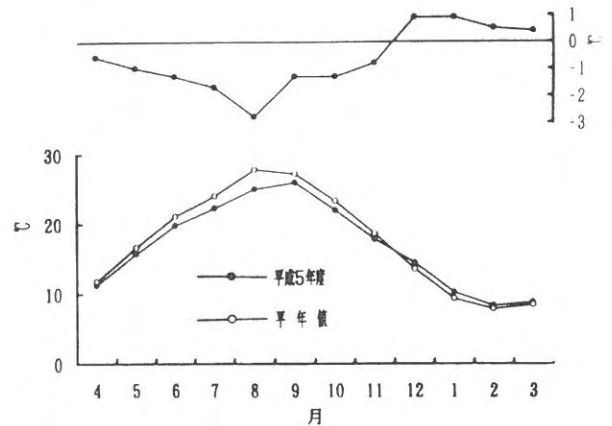


図6 水温の変化
(上図：表層, 下図：底層)

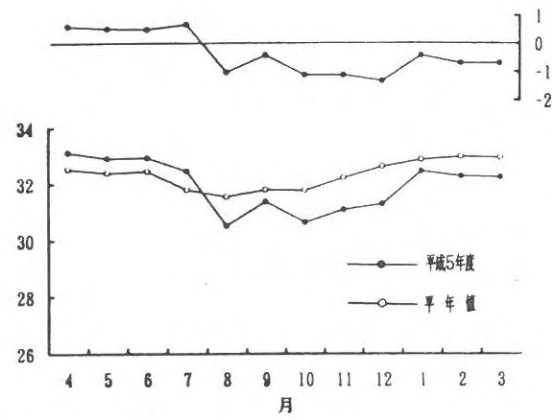
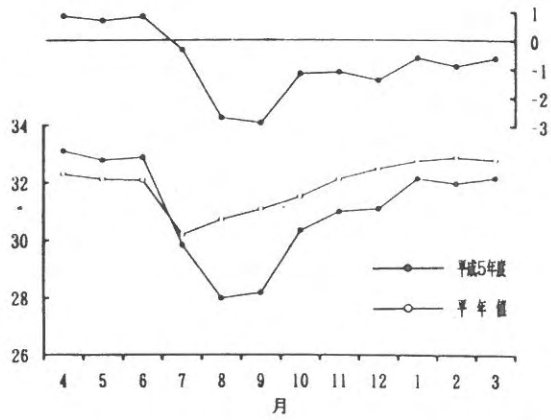


図7 塩分の変化
(右図：表層，左図底層)

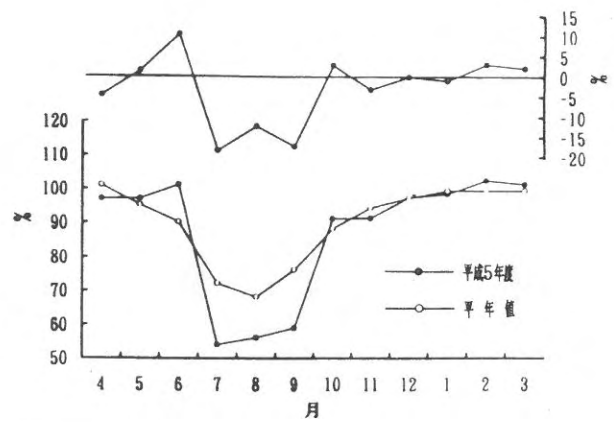
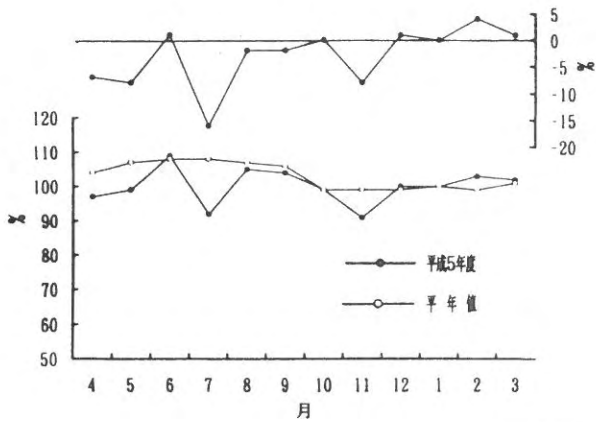


図8 酸素飽和度の変化
(右図：表層，左図：底層)

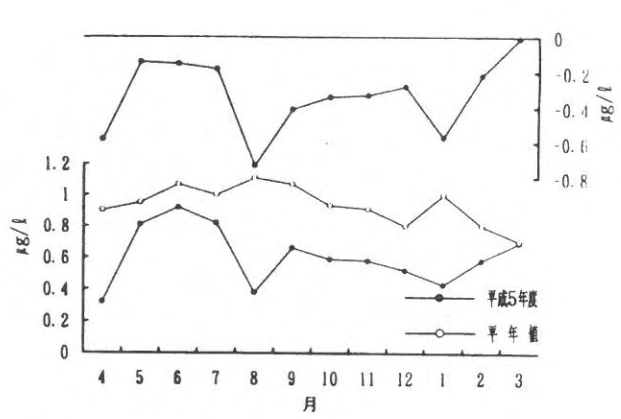
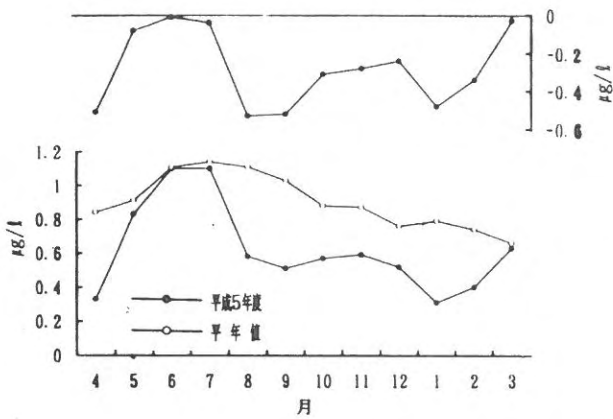


図9 CODの変化
(右図：表層，左図：底層)

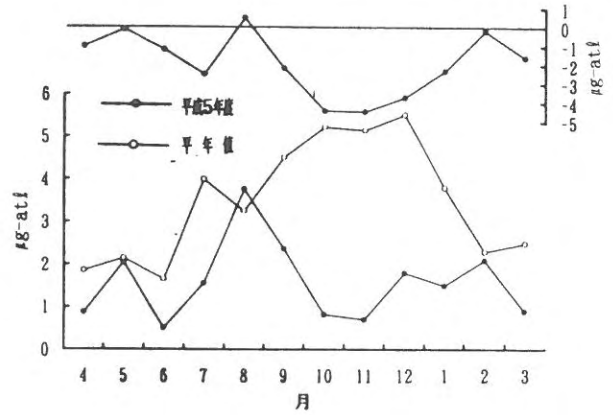
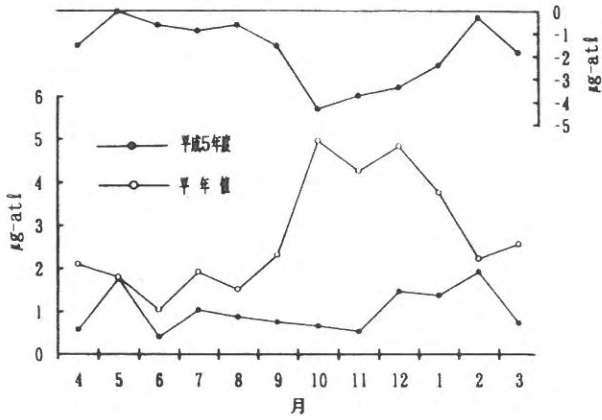


図10 DINの変化
(右図：表層，左図：底層)

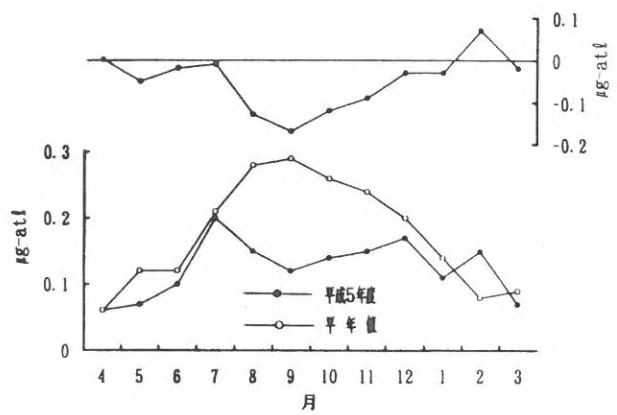
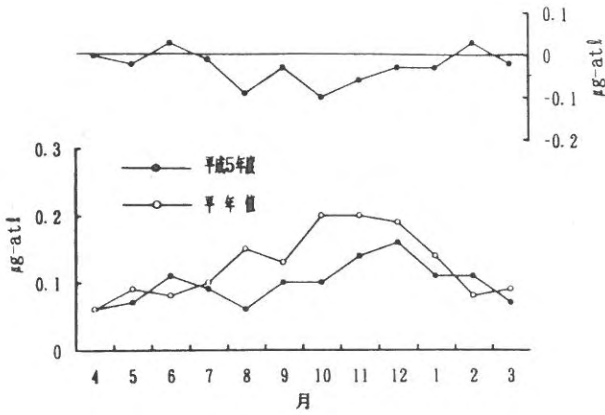


図11 DIPの変化
(右図：表層，左図：底層)

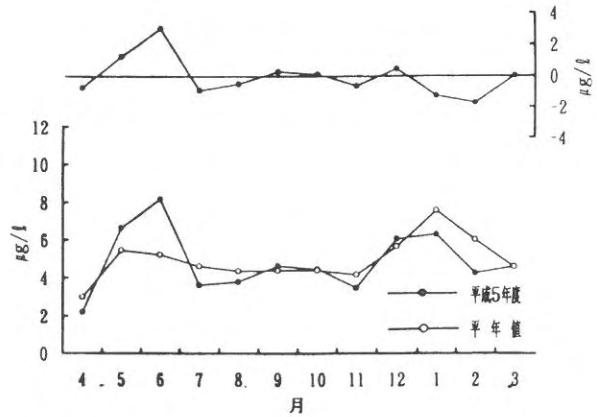
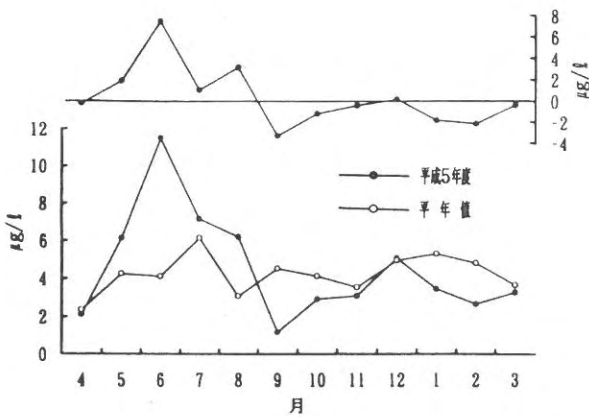


図12 Chl-aの変化
(右図：表層，左図：底層)

漁場保全総合対策事業

江藤 拓也・神菌 真人・荒田 敏生・桑村 勝士・上妻 智行・石田 雅俊

1. 漁業公害調査

目 的

漁場環境の監視、漁業公害に関する情報の収集及び指導を行うことにより、沿岸における漁場の保全及び漁業被害の防止、軽減を図ることを目的とする。

方 法

4月から3月までの毎月1回（合計12回）、6調査点での観測を行った。調査点は図1に示す恒見、荻田、蓑島、椎田、八屋及び宇島の各漁港である。観測内容は、目視による海水の異常の有無及び下記の項目の測定である。

測定項目…水温、pH、溶存酸素量、比重及び透視度

結果および考察

各調査点毎の測定結果は下記に示すとおりである。

1) 恒 見

水温は8.6~28.0℃、pHは8.06~8.34、溶存酸素は5.99~9.57mg/lの範囲にある。比重は平均値15.47で、11.53~18.73の範囲にある。透視度は平均値36であった。

2) 荻 田

水温は8.2~28.0℃、pHは8.00~8.34、溶存酸素は4.89~8.99mg/lの範囲にある。比重は平均値16.14で、11.17~18.38の範囲にある。透視度の平均値は37であった。

3) 蓑 島

水温は7.6~28.5℃、pHは7.74~8.39、溶存酸素は4.46~9.01mg/lの範囲にある。比重は平均値14.72で、3.43~19.09の範囲にあり、調査点中最も低い値を示し、全調査点の中で最も陸水の影響を受けている。透視度の平均値は38であった。

4) 椎 田

水温は6.8~27.8℃、pHは8.10~8.42、溶存酸素は5.57~10.52mg/lの範囲にある。比重は平均値15.75で、10.79~19.45の範囲にある。透視度の平均値は36であった。

目視による観察の結果、7月中旬後半の調査時に沿岸域で*Heterosigma akashiwo*による赤潮が観測されたが、漁業被害は発生しなかった。

5) 八 屋

水温は7.8~28.3℃、pHは8.06~8.38、溶存酸素は6.13~9.27mg/lの範囲にある。比重は平均値15.37で、3.80~18.66の範囲にある。透視度の平均値は35であった。

6) 宇 島

水温は8.5~28.5℃、pHは8.02~8.34、溶存酸素は5.30~8.39mg/lの範囲にある。比重は平均値16.20で、8.75~18.66の範囲にある。透視度の平均値は41で、調査点中最も高い値を示した。

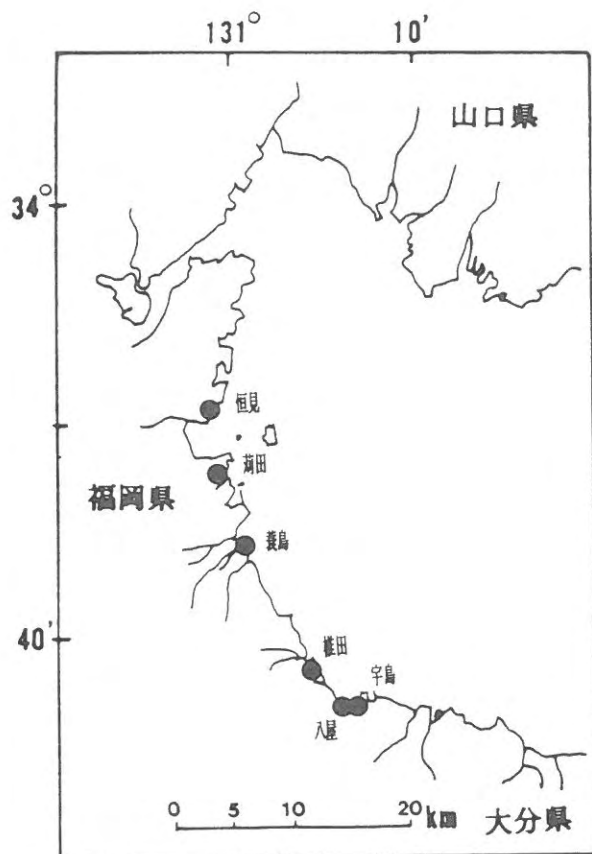


図1 調査定点

2. 生物モニタリング調査

目 的

福岡県豊前海における特定水生生物の現存量，生息密度，生物類型相を指標として，水域の富栄養化等による長期的な漁場環境の変化を監視することを目的とする。

方 法

1) 調査日及び調査回数

平成5年5月27日，8月27日，11月12日，平成6年2月22日の計4回行った。

2) 調査方法

調査は図2に示す3定点で行った。

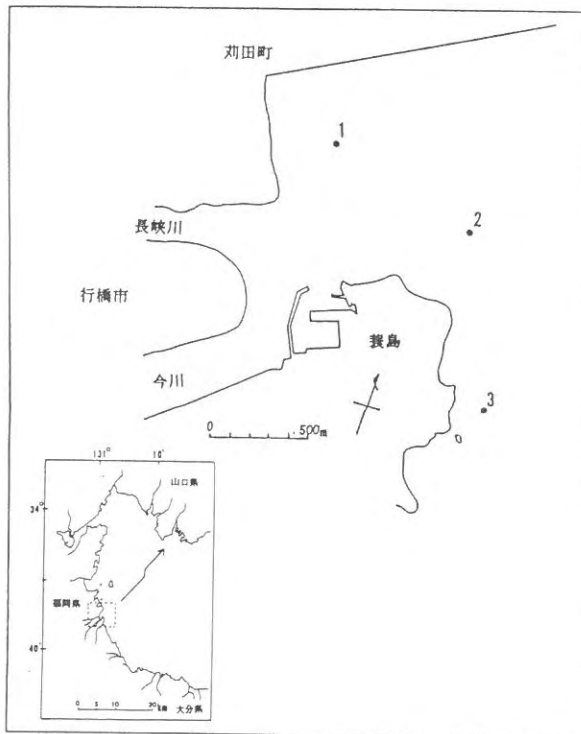


図2 調査定点

スミスマッキンタイヤー型採泥器(22cm×22cm)を用いて採泥を行い，1mmメッシュのネットでふるいにかかけ，残留物を10%ホルマリンで固定し，実験室に持ち帰り，種の同定と個体数の計数，及び湿重量を測定した。

結 果

1) 海域環境

表層水温は2月の定点1で7.4℃と最も低く，8月の定点1で23.7℃と最も高かった。

泥温は最低が2月の定点1で7.2℃，一方，最高は8月の定点3で25.0℃であった。

底質は5月の定点2が泥であったが，それ以外は砂質で，悪臭等はなかった。

2) 底生生物の出現状況

底生生物の出現種を表1に示す。

表1 底生生物調査結果

腔腸動物門	花虫網	イソギンチャクの1種																	
環形動物門	多毛網	遊在目	ゴカイ科の1種	オトヒメゴカイ科の1種	カザリゴカイ科の1種	チロリ科の1種	イソメ科の1種	ギボイシイソメ科の1種											
	定在目	スピオ科の1種	イトゴカイ科の1種	ミズヒキゴカイ科の1種	オフエリアゴカイ科の1種														
節足動物門	甲殻網	クマ目の1種	タナイス目の1種	端脚目の1種	ヨコエビ亜目の1種	十脚目	長尾類の1種	短尾類	ヒメムツアシガニ	マメツブガニ	異尾類	ヤドカリの1種							
星口動物門		ホシムシの1種																	
棘皮動物門		クモヒトデの1種																	
軟体動物門	腹足網	ニシキウスガイ科	イボキサゴ	オリレヨフバイ科	アラムシロガイ	キセワタガイ科	キセワタガイ	イガイ科	ホトトギスガイ	マルスダレガイ科	アサリ	マテガイ科	マテガイ	バカガイ科	シオフキガイ	ナミノコガイ科	オチバガイ	フネガイ科	サルボウ
	斧足網																		

軟体動物は9種類出現しており，中でもアサリはほぼ全調査点で見られ，軟体動物の個体数の94%，また総個体数の47%を占めていた。

環形動物は10種類見られ，ゴカイ科，チロリ科，オフエリアゴカイ科の一種が優先していた。

節足動物は7種類見られ，クマ目，タナイス目，ヨコエビ亜目の一種，ヒメムツアシガニが優先しており，ヤドカリの一種もわずかに見られた。

そのほか，星口動物ホシムシの一種，棘皮動物クモヒトデの一種，腔腸動物イソギンチャクの一種も数個体出現していた。

3) 調査時期別，調査点別の種類数の比率

底生生物の調査時期別，調査点別の種類数の比率を図3～6に示す。

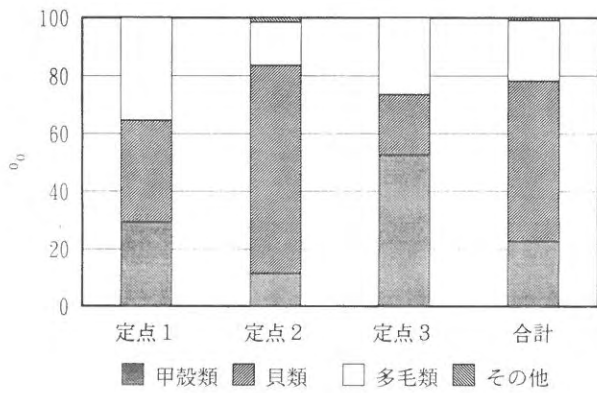


図3 5月の底生生物の比率

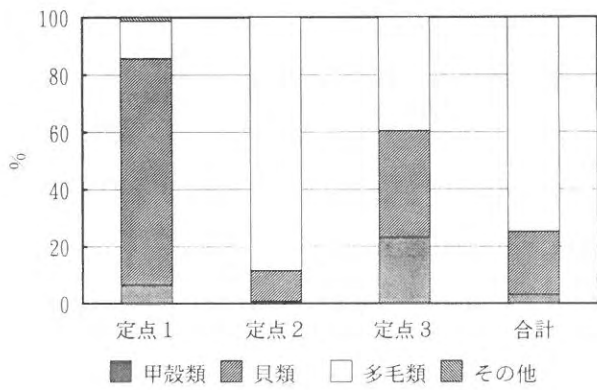


図4 8月の底生生物の比率

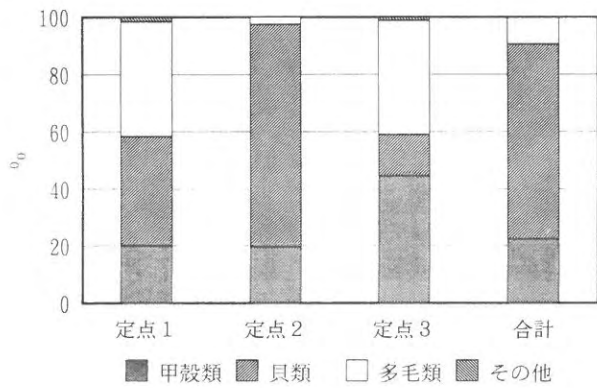


図5 11月の底生生物の比率

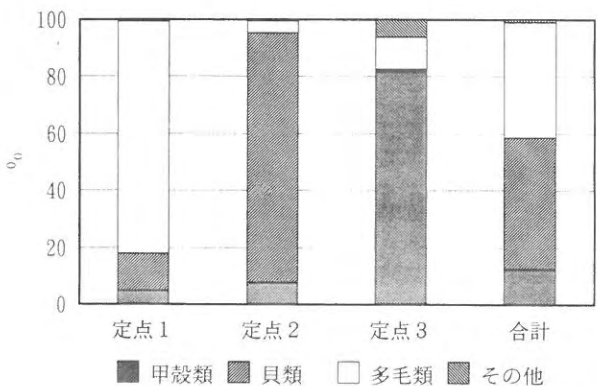


図6 2月の底生生物の比率

調査点別にみると、定点1では、8月に貝類が80%、2月に多毛類が82%と優先していた。

定点2では8月に多毛類が88%を占めた以外は、いずれの調査時期も、貝類が優先しており70%以上を占めていた。

定点3では、全体的に甲殻類が優先しており、特に2月には83%を占めていた。

4) 汚染指標種

汚染指標種の出現は見られなかった。

5) 底生生物の出現状況

平成2年度から平成5年度まで、年度ごとに全調査月、全調査点を平均化した1m²当たりの底生生物の個体数を図7に、湿重量を図8に示した。

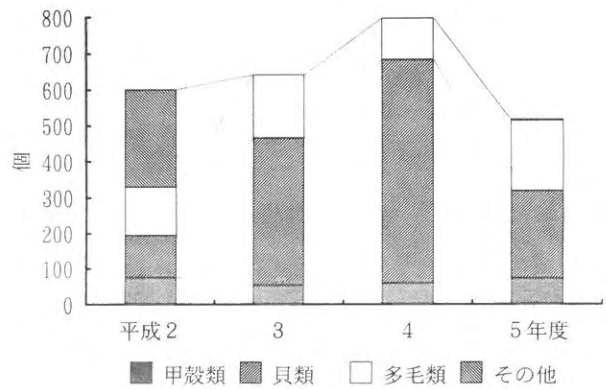


図7 底生生物の個体数 (1m²当たり)

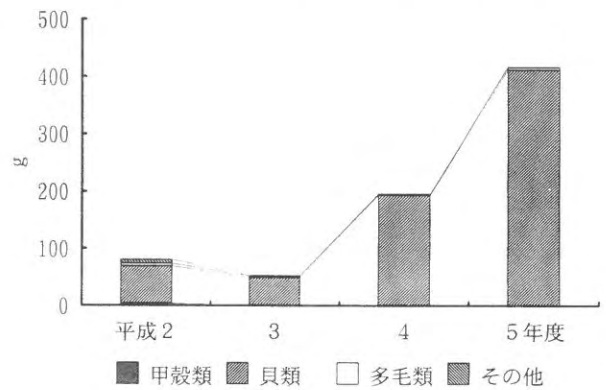


図8 底生生物の湿重量 (1m²当たり)

底生生物の個体数は、平成2年度から増加し、平成4年度に797個体と最も多く出現しているが、平成5年度には517個体(前年比65%)と減少した。

種類別にみると、甲殻類は50~75個体、多毛類は110~195個体で推移しているのに対して、貝類は平成2年度に120個体であったのが年々増加し、平成4年度には623個体と最高となったが、平成5年度では246個体(前年比40%)と減少した。

湿重量で見ると、平成4年度に196gと過去3年間で最も大きな値を示しめしたが、平成5年度は415g（前年比213%）とさらに大きな値を示していた。いずれの年も85%以上は貝類が占めている。

考 察

平成5年度は、昨年に続いて汚染指標種の出現は見られなかったが、平成3年度には、ヨツバネスピオが定点1で出現しており、今後も継続してモニタリングを行う必要がある。

本年度は、4年間の調査の中で個体数は最も少なく、湿重量は最も大きな値を示した。これは貝類のアサリが個体数は少ないが、大型貝が多かったことが原因である。

4年間の調査結果から、蓑島干潟では貝類、特にアサリの増減が、生物組成の変動に大きく関与していると考えられる。

要 約

1) アサリはほぼ全調査点で出現しており、総個体数の47%以上を占めていた。

2) 定点別にみると、定点1では多毛類、貝類、甲殻類、定点2では貝類、定点3では甲殻類がそれぞれ優先していた。

3) 汚染指標種の出現は見られなかった。

4) 平成5年度は4年間の調査の中で個体数は最も少なく、湿重量は最も大きな値を示した。

5) 蓑島干潟では、貝類、特にアサリの変動に生物組成が大きく左右される傾向がみられた。

今後の課題

4年間の調査で蓑島干潟の干潟環境は、年によって、また季節によって大きく変化するために、それに伴う生物の生息状況も異なってくる。よって、干潟に状況を的確に把握するために、今後も継続した調査が必要である。

広域総合水質調査

江藤 拓也・神菌 真人・荒田 敏生

本調査は、境庁が瀬戸内海の水質汚濁の実態を把握し、総合的な水質汚濁防止対策をはかるため、福岡県（環境保全課）に委託して行ったものであり、当研究所でその一部を担当したので、その結果について報告する。

方法

調査定点を図1に示した。調査は、5月、7月、10月及び1月に実施した。

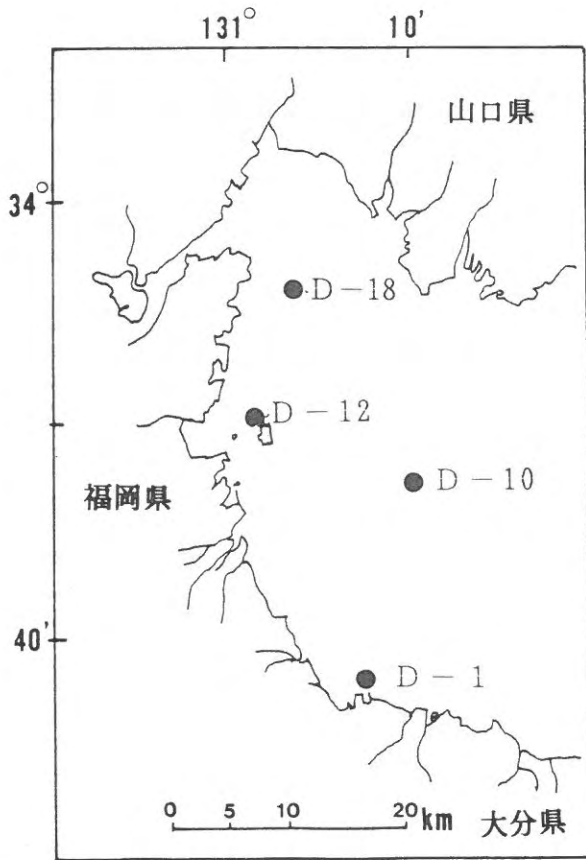


図1 調査定点

試料の採取は、各調査点とも0m, B-2m層について行った。

調査項目は、一般気象、海象、一般項目（水温、塩分、色、透明度、DO、クロロフィルa、COD）、栄養塩類（T-P、T-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P）及びプランクトン調査である。

結果および考察

詳細な結果は、環境庁発行の瀬戸内海広域総合水質調査結果で報告されているので、当研究所で担当した水質測定結果を表1に示した。

表1 水質測定結果

		平均値	最大値	最小値
水温	℃	17.6	25.1	9.4
塩分		31.42	32.90	28.74
pH		8.30	8.48	8.15
DO	mg/l	7.65	9.33	4.67
COD	mg/l	1.43	1.89	1.17
DIN	mg/l	0.022	0.069	0.004
T-N	mg/l	0.203	0.394	0.104
PO ₄ -P	mg/l	0.004	0.009	0.001
T-P	mg/l	0.025	0.038	0.015
クロロフィルa	mg/m ³	4.17	16.46	1.06

DOは、7月に調査点D-1の底層で4.67mg/lの低い値を示したが、そのほかは5.52~9.33mg/lの範囲で推移していた。CODは、いずれの調査点とも1.17~1.89mg/lの範囲内であり、2mg/lを越えることはなかった。

DINは、0.038~0.069mg/l、PO₄-Pは、0.012~0.087mg/lで推移した。

クロロフィルaは、1.06~16.46mg/m³の範囲で、平均は4.17mg/m³であった。

水質監視測定調査

江藤 拓也・神薊 真人・荒田 敏生

公共用水域の水質汚濁防止を目的として、福岡県が行う豊前海の水質監視測定調査の一部を分担し調査を実施した。なお、この調査は福岡県環境整備局の委託によって行ったものであり、その結果を報告する。

方 法

調査は、図1に示す3定点で、5月7月11月及び2

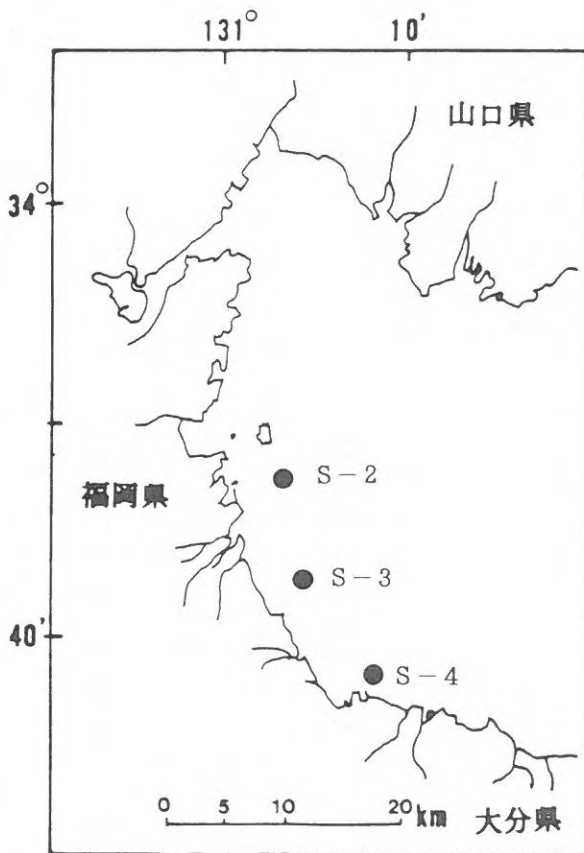


図1 調査定点

月に実施した。

試料の採取は、満潮・干潮の2回に各調査点の0m、5m層で行った。

当研究所担当の調査項目は、一般気象、海象、生活環境項目(pH、DO、COD、全リン、全窒素)、その他の項目(塩素イオン、窒素化合物、リン化合物)である。

なお、大腸菌、N-ヘキサン、MBA S及び健康項目については、公害センターが分析を担当した。

結果および考察

詳細な結果は、環境白書で報告されているので、当研究所で担当した水質測定結果の概要を表1に示した。

表1 水質測定結果

	(最小)	(25%)	(50%)	(75%)	(最大)
S-2					
pH	8.09	8.20	8.24	8.31	8.41
DO mg/l	6.28	7.56	7.80	8.70	10.09
COD mg/l	1.22	1.36	1.44	1.76	2.00
SS mg/l	6	10	11	12	14
S-3					
pH	8.11	8.16	8.26	8.31	8.39
DO mg/l	7.00	7.59	7.72	8.44	10.19
COD mg/l	1.08	1.32	1.35	1.62	1.84
SS mg/l	5	11	12	13	16
S-4					
pH	8.12	8.13	8.25	8.38	8.43
DO mg/l	6.87	7.57	8.15	9.21	9.84
COD mg/l	1.17	1.40	1.48	1.77	2.05
SS mg/l	5	9	12	14	16

pHは、8.09~8.43の範囲で平年並み、DOは各調査点とも7月と11月にやや低い値を示したが、75%値では、いずれもA類型の7.5mg/lの基準を満たしていた。

CODは、5月にS-4で2.05mg/lの値があった以外は、1.08~2.00mg/lの範囲で推移し、A類型の基準値2mg/lを越えることはなかった。

赤潮貝毒監視事業 —赤潮調査，貝毒調査—

江藤 拓也・神菌 真人・荒田 敏生

1. 赤潮調査

目 的

赤潮に関する調査並びに情報の収集，交換を行うことにより，沿岸における漁場の保全及び漁業被害の防止・軽減を図る。

方 法

調査は，図1に示す6点で行った。

赤潮の発生状況は，関係漁協からの通報，赤潮発見者

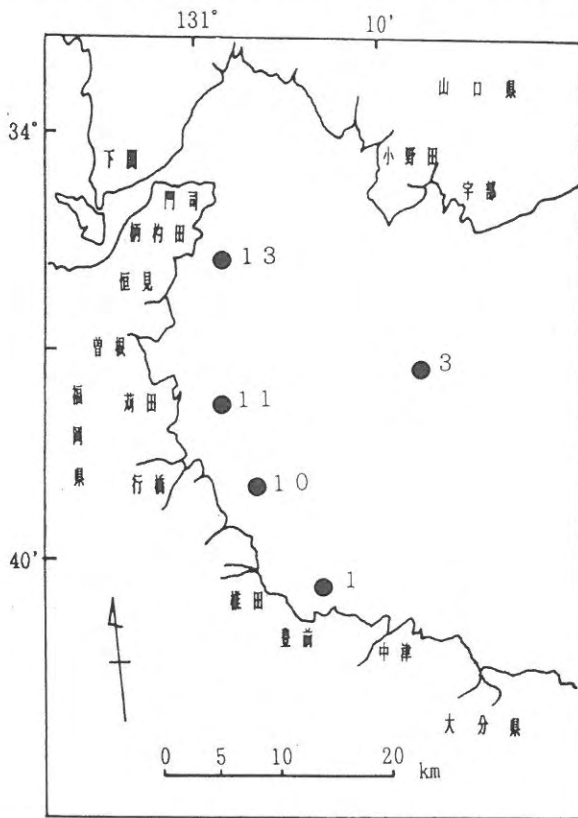


図1 調査定点図

からの情報に基づいてその都度確認するとともに，浅海定線調査，赤潮調査事業等による調査時，及び漁業取締船による情報をもとに発生状況の把握に努めた。また，赤潮に関する調査としては赤潮の多発期（5～9月）に，月に1～2回，海象，水質，プランクトン調査を実施した。

結果および考察

1) 赤潮発生状況

赤潮の発生状況を表1および図2に示した。発生件数

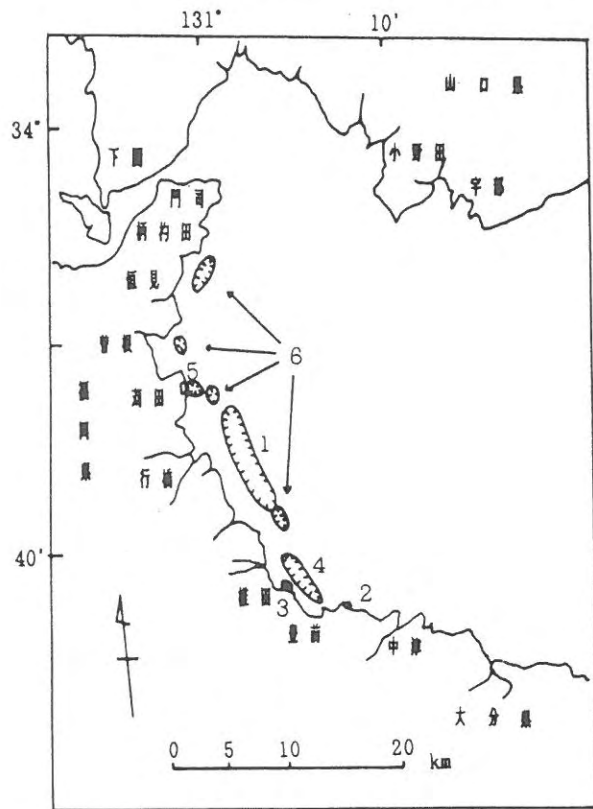


図2 赤潮発生海域（数字：表1と対応）

表1 赤潮発生状況

No.	発生時期	発生海域	赤潮構成種	漁業被害
1	H 5. 5. 27～6. 6	行橋市養島沿岸域～築上郡椎田町沿岸域	<i>Dictyocha sp.</i>	なし
2	6. 11	豊前市宇島港内	<i>Heterosigma akashiwo</i>	なし
3	7. 5～7. 6	築上郡築城町沿岸域	<i>Prorocentrum compressum P. dentatum</i>	なし
4	7. 11～7. 14	築上郡築上町沿岸域～豊前市沿岸域	<i>Heterosigma akashiwo</i>	なし
5	7. 19～7. 21	京都郡苅田町沿岸域	<i>Heterosigma akashiwo</i>	なし
6	8. 17～8. 18	北九州市柄杓田沖～築上郡椎田町沖	<i>Gymnodinium mikimotoi</i>	なし

は6件で前年より3件少なかった。漁業被害を伴うものはなかった。その内容は、行橋市蓑島沿岸域から築上郡築城町沿岸域にかけて *Dictyocha sp.* による赤潮（5月27～6月6日）、豊前市宇島港内、築上郡築城町沿岸域、京都郡苅田町沿岸域で3件 *Heterosigma akashiwo* による赤潮（6月11日、7月11～7月14日、7月19～7月21日）、築上郡築城町沿岸域で *Prorocentrum compressum* と *Prorocentrum dentatum* による混合赤潮（7月5～6日）、北九州市柄杓田沖から築上郡椎田町沖にかけてパッチ状に分布していた *Gymnodinium mikimotoi* による赤潮（8月17～18日）であった。

2) 海象, 水質

海象及び水質の変化を図3に示す。

水温は、平年に比べ全体的に低めであり、特に8月以降は表、底層ともに2℃低かった。

塩分は、平年より5月と6月はやや高めであったが、7月以降低めに転じ、特に8月の表層では3.5低かった。

酸素飽和度は、平年に比べ表層は5月から9月まで5～15%低めであった。一方、底層は5、6月は平年並み、7月は10%高め、8、9月は5～15%低めであった。

クロロフィル a は、平年に比べ8月の表層は高めであり、7月の表層、8月の底層は低めであった。

栄養塩類について、DINは、表、底層ともに平年値より全体的に低めであり、特に7、9月の底層は5 $\mu\text{g-at/l}$ 低かった。DIPは低め基調の平年並みで推移し

ていた。

3) プランクトン

出現したプランクトンの類別の割合は、5～8月は渦鞭毛藻類の占める割合が高く、9月は珪藻類の占める割合が高かった。珪藻類の主な出現種は、*Leptocylindrus danicus*, *Guinardia flaccida*, *Coscinodiscus sp.*, *Nitzschia pungens*, *Chaetoceros spp.*, *Thalassiosira spp.*, 渦鞭毛藻類では、*Dictyocha fibula*, *Prorocentrum triestinum*, *Prorocentrum dentatum*, *Gymnodinium sp.*, 繊毛虫類では、*Tintinnopsis sp.* であった。

2. 貝毒調査

目 的

福岡県豊前海における貝類の特殊プランクトンによる毒化を監視するとともに、毒化原因プランクトンの出現動向の把握を行い、漁業被害の軽減と消費者の不安を未然に防止する。

方 法

1) 調査期間及び調査回数

平成5年5、6、7、12月および、平成6年2月の5回

2) 調査対象貝類

アサリ、カキ

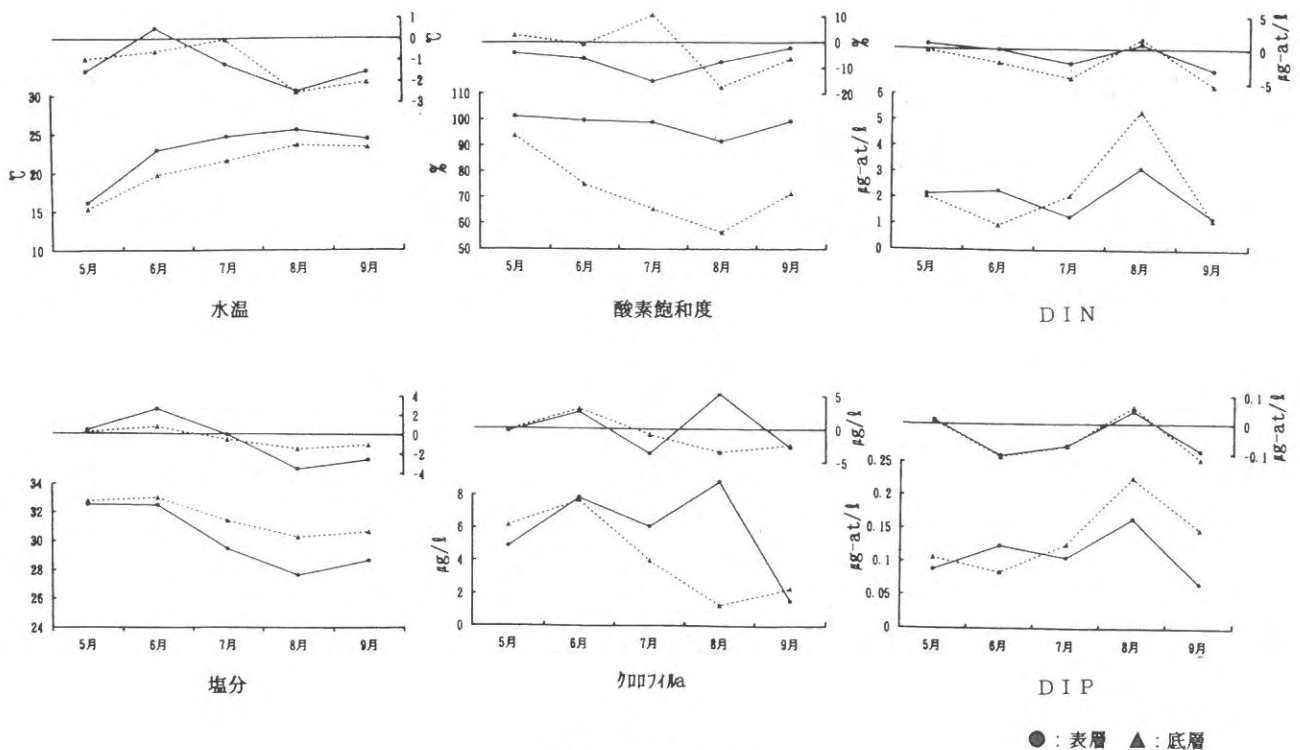


図3 海象の月別変化

3) 調査点

図4に示す2点で行った。

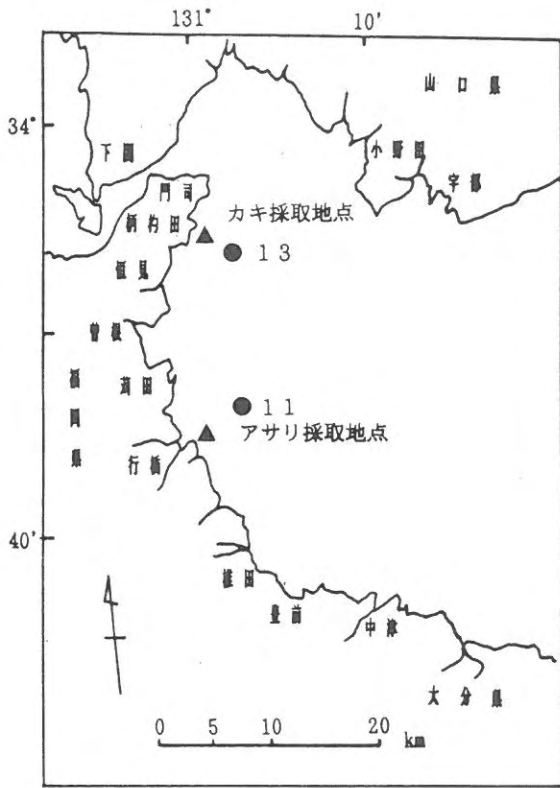


図4 調査水域及びプランクトン調査点

4) 調査項目及び方法

(1) 麻痺性及び下痢性毒の監視

アサリ、カキの麻痺性及び下痢性毒の検査については、(財)日本冷凍食品検査協会福岡営業所に委託した。

(2) 原因プランクトンの出現状況

Alexandrium属, Dinophysis属を対象として、海水500mlをホルマリンで固定後濃縮し、その全量を検鏡した。

結 果

1) 毒化状況

本年度は、アサリ、カキともに麻痺性および下痢性の毒化は認められなかった。(表2)

2) 原因プランクトンの出現状況

(1) Alexandrium属

麻痺性貝毒の原因プランクトンであるAlexandrium属の出現は、調査期間を通じて認められなかった。

(2) Dinophysis属

Dinophysis属の出現状況を図5に示した。

Dinophysis fortii

D. fortiiは5, 7, 2月に出現が認められたが、その他の月は認められなかった。出現細胞数は5月と7月の表層で最も多く20cells/l, また、2月の底層で8 cells/l出現していた。

表2 アサリ、カキの毒化モニタリング結果

貝の種類	採取月日	検査月日	麻痺性毒力MU/g 可食部	下痢性毒力MU/g 可食部
アサリ				
殻長平均	34.9mm	平成5年	平成5年	ND
殻高平均	25.4mm	4月23日	5月7日-14日	ND
重量平均	10.0g			
アサリ				
殻長平均	34.0mm	平成5年	平成5年	ND
殻高平均	24.5mm	6月7日	6月11日-15日	ND
重量平均	8.9g			
アサリ				
殻長平均	32.3mm	平成5年	平成5年	ND
殻高平均	23.0mm	7月6日	7月13日-16日	ND
重量平均	7.6g			
カキ				
殻長平均	111.3mm	平成5年	平成5年 平成6年	ND
殻高平均	54.6mm	12月14日	12月27日-1月12日	ND
重量平均	74.4g			
カキ				
殻長平均	106.6mm	平成6年	平成6年	ND
殻高平均	53.9mm	2月15日	2月17日-22日	ND
重量平均	79.3g			

ND : 検出限界値以下

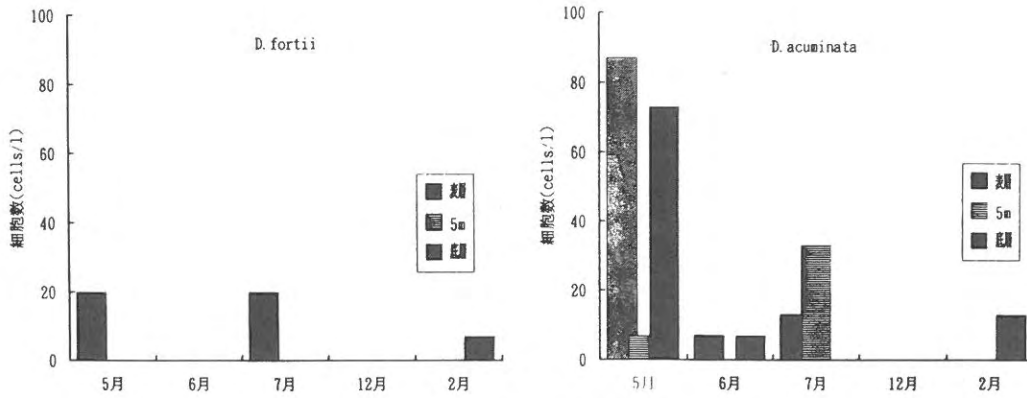


図5 *Dinophysis*属の出現状況

Dinophysis acuminata

*D. acuminata*は12月を除いてすべての月で出現が認められた。出現細胞数は5月の表層で最も多く87cells/l、次いで5月の底層で73cells/l出現していた。

2) 海況

アサリ採取点に最も近い定点 (St.11) における5~7月、カキ採取点に最も近い定点 (St.13) における12, 2月の表層, 5m層, 底層それぞれの水温, 塩分, 酸素飽和度の調査結果を図6に示した。

水温は, 5月から7月までのアサリ検体採取期間の水温は16~25℃台であり, 5~7月は平年より1℃低めであった。12, 2月のカキ検体採取期間の水温は8~14℃台であり, 12, 2月とも平年並であった。

塩分は, 5月から7月までの塩分は29~33の範囲であり, 5, 7月は各層とも平年並であったが, 6月は1~2高めであった。12, 2月は31.5~32.5の範囲であり, 各層とも1低めであった。

酸素飽和度は, 5月から7月にかけては, 表層と5m層で平年より5~10%低めであった。底層は5, 6月は平年並, 7月は10%高めであった。12, 2月は各層とも平年並であった。

考 察

*Alexandrium*属については過去10年間の調査においても出現していないことから, 当海域では本種による貝類の毒化は少ないものと考えられる。

アサリの毒化は現在まで認められないが, アサリの漁期となる5~7月と毒化原因プランクトンである*Dinophysis*属の出現時期が同じ頃であるので, この時期に重

点においてモニタリングを行うことが必要であると考えられる。

要 約

1) アサリ, カキの麻痺性, 下痢性毒化モニタリング調査を5~7月および12, 2月に実施した。

2) 5~7月および12, 2月の調査期間, アサリ, カキに麻痺性, 下痢性の毒化は見られなかった。

3) 麻痺性原因プランクトンである*Alexandrium*属の出現は認められなかった。

*Dinophysis*属では, *D. fortii*が5, 7, 2月に, *D. acuminata*が5~7月及び2月に出現していた。

4) アサリ検体採取期間の水温は, 16~25℃台の範囲であり, 平年に比べ低めであった。カキ検体採取期間の水温は8~14℃台であり, 平年並であった。

5) 塩分は29~33の範囲であり, 5, 7月は平年並であったが, 6月は高めであった。12, 2月は31.5~32.5の範囲であり, 1低めであった。

今後の課題

平成5年度は, アサリおよびカキに毒化はみられなかったが, 他県では近年, *Alexandrium*属のプランクトンによってアサリ, カキ等が毒化し, 多大な漁業被害を引き起こしている。当海域では*Alexandrium*属の出現は現在のところ見られてないが, 今後もモニタリングを継続することが重要である。また, 下痢性貝毒の原因プランクトンである*Dinophysis*属は, アサリの漁期と同じ5~7月に多く出現する傾向が認められた。今後も5~7月の昇温期に重点を置いて毒化の監視を続ける必要がある。

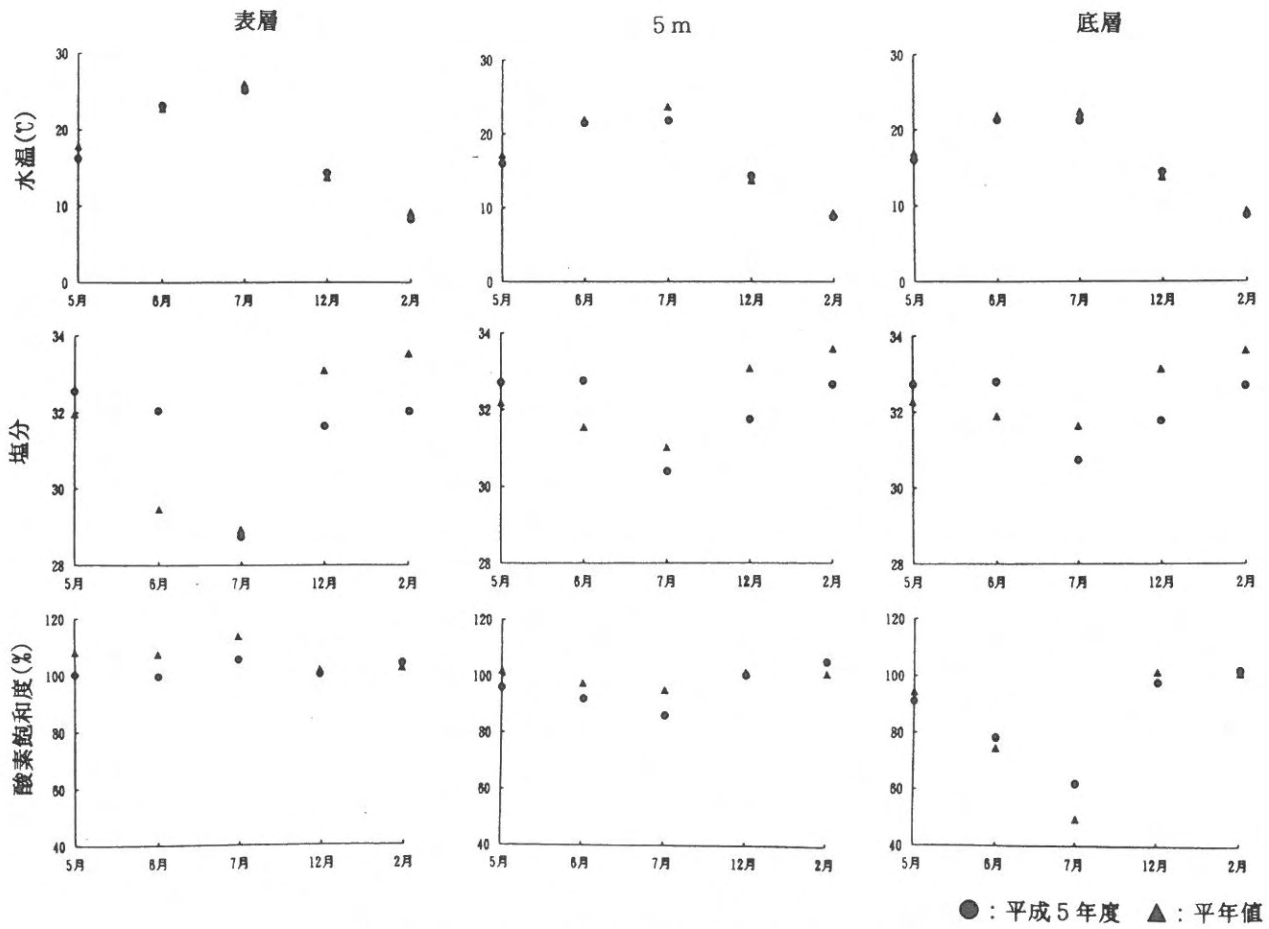


図6 St.11, 13における水温, 塩分, 酸素飽和度の月別変化
(5~7月はSt.11, 12, 2月はSt.13)

造成漁場環境調査

神菌 真人・江藤 拓也・荒田 敏生

豊前海では数年前から泥線周辺において覆砂による底質改善が試みられているがその効果については未解明な点が多い。そこで、平成元年7月に覆砂工事が行われた行橋市蓑島地先を調査海域に選定し、栄養塩の溶出試験、底質環境及び生物について行った調査結果をもとに覆砂による底質の改善効果について検討した。

調査方法

覆砂場所は図1に示す福岡県行橋市蓑島地先の0m線より沖合約500mの地点で、工事は平成元年7月に行われた(覆砂面積200×200m, 覆砂厚0.6m)。工事に用いた砂は、行橋市内を流れ、蓑島干潟に流入している今川および長峽川河口の濁を浚渫したものである。

覆砂場所から南へ500mの地点を対照区(覆砂をしない海域)として選定し、覆砂区と対照区で主に平成4年から5年にかけて調査した。

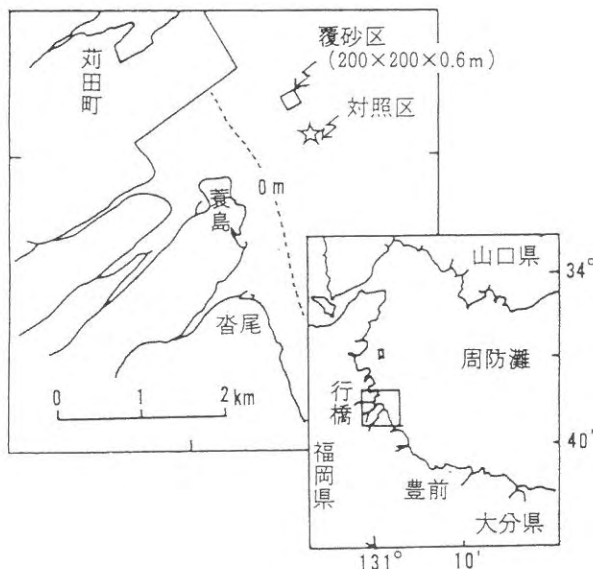


図1 調査海域と調査点
覆砂場所を四角で、対照とした場所を星印で示す。

(調査項目)

1) 底質調査: 粒度組成, 硫化物, 強熱減量, 有機炭素

2) 現場コア法による酸素消費速度および栄養塩溶出速度試験

3) 生物調査: 底生動物(マクロベントス), 底生大型動物

結果および考察

1) 覆砂後の形状変化

覆砂直後の平成元年10月と覆砂後4年経過した平成5年7月に採泥した覆砂区の底質の粒度分布を図2に示し

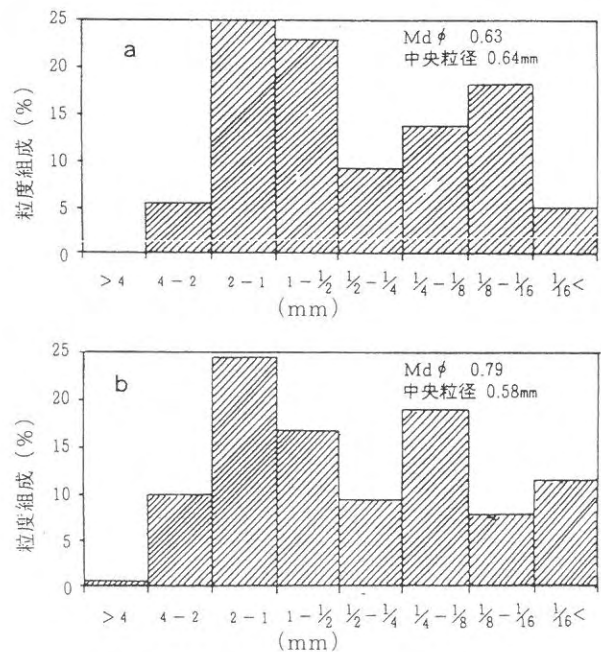


図2 覆砂直後と覆砂後4年経過した底質の粒度分布の比較, 無作為に5カ所で採泥を行い, 粒度組成を測定しその平均で示す

a: 平成元年10月6日採泥
b: 平成5年7月22日採泥

た。両方とも二峰型の粒度組成を示し, 粒径1-2mmの砂の占める割合が大きい。粒度分布から求めた中央粒径値(Md φ)は平成元年10月では0.63, 平成5年7月では0.78であった。

平成5年11月に覆砂区において無作為に11カ所でコアを使用して覆砂厚を測定した。それによると最小12cm,

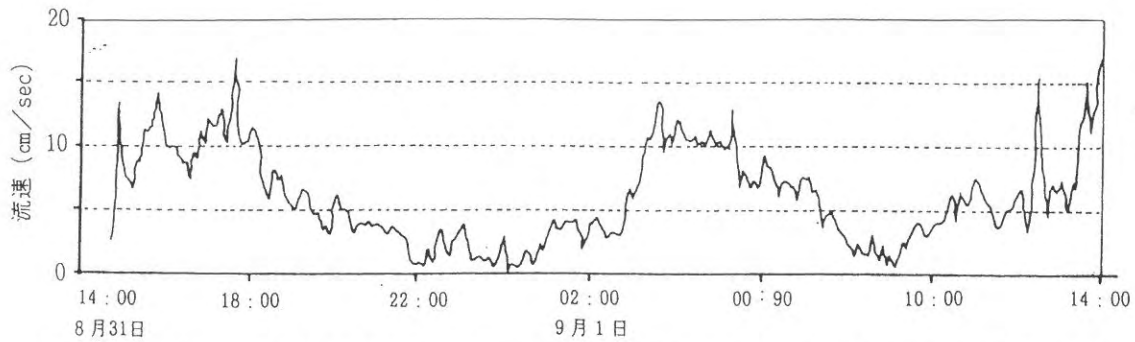


図3 覆砂区で測定した大潮時の底層近傍の流れの実測値、平成5年8月31日から9月1日にかけて10分間隔で測定

最大66cmで平均すると41cmであった。大潮時の平成5年8月31日から9月1日にかけて覆砂区でアレック電子社製電磁流速計を用いて測定した底層近傍の実測流を図3に示した。最小で約1cm/s, 最大で約17cm/sの流れが観測された。

覆砂直後の覆砂厚を測定した資料がないため覆砂厚の変化については比較できないが、覆砂直後と覆砂後4年経過した底質の粒度組成に大きな違いが見られないこと、また、秋本ら(1993)による回流水槽を使用してMdφ0.4から1.45の砂の掃流限界流速を測定した結果では、流砂量に急激な増加がみられる真の掃流限界流速は40cm/s以上であることから、現場海域においてはそれほど大きな流砂もなく、覆砂後の形状はほぼ維持されているものと推察される。

2) 現場コア法による酸素消費速度と栄養塩溶出速度

平成5年5月から9月にかけて延べ5回行った試験結果を表1に示した。

酸素消費速度は、覆砂区で69-494mg/m²/dayの範囲を示し、平均311mg/m²/day, 対照区で117-385mg/m²/dayの範囲を示し、平均283mg/m²/dayであった。5月27-28日と8月26-27日の試験では覆砂区より対照区の酸素消費速度が大きく、7月8-9日、9月9-10日および9月20-21日の試験では対照区より覆砂区の酸素消費速度が大きかった。

窒素溶出速度は、覆砂区で5.7-33.7mg/m²/dayの範囲を示し、平均15.8mg/m²/day, 対照区で18.7-54.6mg/m²/dayの範囲を示し、平均28.1mg/m²/dayの値であった。いずれの試験日においても覆砂区より対照区の窒素溶出速度が大きく、平均値で12.3mg/m²/dayの差がみられた。

覆砂区と対照区で測定された酸素消費速度の平均値の差を検定したところ有意差は認められなかった。しかし、窒素溶出速度の平均値の差には1%の水準で有意差が認

められ、覆砂区と比べて明らかに対照区での窒素溶出量は多いと判定された。

本試験から、有機物を大量に含む底泥上に覆砂を行っても底泥からの酸素消費を抑えることはできないが、覆砂を行うことによって夏季において底泥からの窒素溶出を約12mg/m²/day削減できることがわかった。

表1 コアを用いた現場での底泥による酸素(DO)消費速度と窒素(N)溶出速度の試験結果。各試験区において1回の試験につきコアを3-5本使用して測定しており、示した値はその平均である。

試験日	DO消費速度 (mg/m ² /day)		N溶出速度 (mg/m ² /day)		試験日の 底層水温
	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	
5月27-28日	147	312	12.5	19.0	20.2℃
7月8-9日	491	385	33.7	54.6	22.9
8月26-27日	69	117	5.7	29.1	27.1
9月9-10日	352	234	9.4	18.7	24.0
9月20-21日	494	365	17.5	19.2	24.2
平均	311	283	15.8	28.1	

3) 底質環境

覆砂区と対照区の硫化物濃度、強熱減量およびTOC値の範囲と平均値を表2に示した。

硫化物濃度は、覆砂区では平均で0.01mg/乾泥gと低く、対照区では0.76mg/乾泥gと高い値を示した。対照区での値は、水産用水基準値0.2mg/乾泥gの約4倍で、底生動物の生息に影響するとされている値0.5mg/乾泥g(荒川, 1955)を上回っていた。

強熱減量は、覆砂区の平均で0.85%, 対照区の平均で8.87%を示し、対照区での値が覆砂区での値の約10倍の値を示した。TOC値は覆砂区の平均で0.85mg/乾泥g, 対照区の平均で18.01mg/乾泥gを示し、対照区での値が覆砂区での値の約20倍の値を示した。この結果は、対照

区の底泥中に多量の有機物が存在していることを示している。

畑 (1965) は底土堆積物中における硫化物生成におよぼす有機物濃度の影響を検討した結果、硫酸還元菌の増殖と硫化物生産活性は有機物濃度に対応していることを明かにしている。対照区での多量の有機物が硫酸還元菌の増殖と硫化物生産活性を高め、その結果、対照区での底泥の硫化物濃度が高くなったものと考えられる。覆砂区での底質中の硫化物濃度が低かった原因として、底質が砂質の場合、シルト質や粘土質と比べて空隙率が大きく、そのため海底面を通しての海水交換が良く好気的な環境が維持されたことや、底質中の有機物が少なかったことから硫酸還元菌の増殖と硫化物生産活性が低かったこと、が考えられる。

表2 底質環境の比較
平成5年9月10日採泥

	覆砂区		対照区	
	範囲	平均	範囲	平均
硫化物 (mg/乾泥g)	0.00-0.03	0.01	0.70-0.81	0.76
強熱減量 (%)	0.65-1.12	0.85	8.10-9.19	8.87
有機炭素 (mg/乾泥g)	0.30-1.51	0.85	17.32-18.92	18.01

4) 底生動物 (マクロベントス)

比較的良好な底質環境が維持されている5月と成層が発達して、底質環境を悪化する8月の調査結果を図4に示した。

覆砂区では、5月の調査で約2,300個体/m²生息していたが、8月の調査では多毛類が増加し、約5,900個体/m²と5月の生息量と比較して約2.5倍に増加していた。アサリが、5月の調査で130個体/m²、8月の調査で40個体/m²生息していた。対照区では、5月の調査で約3,600個体/m²生息しており、その約80%は汚染指標種であるシズクガイによって占められていた。8月の調査では5月に優占していたシズクガイの生息がみられず、約290個体/m²と著しく減少していた。

5月から9月の各調査時に周辺の底層水酸素濃度は6.2-7.5mg/lの範囲で変動しており、底層水の貧酸素化は認められなかった。玉井 (1993) はシズクガイの貧酸素耐性に関する実験を行い、酸素濃度2.2-2.4mg/l以上では活発な摂餌活動を行い、永続的な生存が可能であると指摘している。今回、対照区において5月の調査時に優

占していたシズクガイが8月の調査時に生息が認められなかった原因として貧酸素の影響は考えられない。8月における対照区での底泥中の硫化物濃度が高かったことから、この硫化物が毒効果を発揮して、シズクガイを死滅させたものと考えられる。覆砂区においては底層水の貧酸素化が進行しなかったこととあわせて底泥中の硫化物濃度が低かったため、底生動物の生息量が高く維持されたものと考えられる。

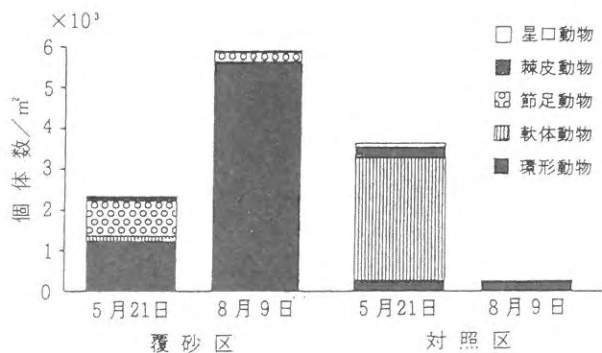


図4 底生動物生息量の比較

5) 底生大型動物

建て網により漁獲された主な有用種のうち、底生動物を捕食すると考えられるクルマエビ、ガザミ、キス、マコガレイおよびイシガレイについてその全漁獲尾数を反当たりの尾数に換算し表3に示した。

クルマエビの漁獲量は、覆砂区の16.8尾/反に対し対照区では2尾/反であり、覆砂区では対照区の約8倍の漁獲量がみられた。魚類では覆砂区の12.4尾/反に対し対照区では5尾/反であり、覆砂区で2.5倍の漁獲量がみられた。漁獲量から判断すると明らかに覆砂区において有用魚種の生息量は多かった。この結果は上記の底生動物 (マクロベントス) 生息量のためと推測される。

表3 建網による主な漁獲物 (尾数) の比較
平成4年6月から10月にかけて毎月1回延べ5回行いその平均値を反当たりの値で示す。

	覆砂区 (a)	対照区 (b)	a/b
甲殻類			
クルマエビ	16.8	2.0	8.4
ガザミ	8.0	11.0	0.7
計	24.8	13.0	1.9
魚類			
キス	3.8	2.0	1.9
マコガレイ	6.2	3.0	2.1
イシガレイ	2.4	0.0	—
計	12.4	5.0	2.5
総計	37.2	18.0	2.1

6) 結 び

覆砂区と対照区での底質環境，底生動物および底生大型動物の調査結果から以下のような一連の過程が考えられる。

- ① 覆砂を行うことによって底泥表面の好気的な状態が維持され，硫酸還元菌の活性が抑制される。
- ② 底質の環境が悪化する成層期においても覆砂区では良好な環境が維持され，底生動物の生息量も高く維持される。
- ③ 結果として，底生動物を餌料とするクルマエビ，キス，カレイ類が集まり，漁場が形成される。

豊前海泥線周辺における覆砂は，泥からの栄養塩溶出を抑制し，底質からの二次汚染を軽減すると同時に底生動物を餌料とする魚介類の漁場となる可能性が強く示唆された。

覆砂後数年経過しても底質の改善効果は維持されており，覆砂は豊前海浅海部での底質改善手法として有効な手法であると考えられる。

文 献

- 秋本恒基・山下輝昌：回流水槽による造州漁場の耐久性の検討，福岡県水技研報，第1号，211-215（1993）
- 荒川清：泥質中の有機物の発酵とベントスの生息との関係，内水研報告，第7号，12-15（1955）
- 畑幸彦：沿岸海域の底土堆積物中における硫化物の生成，水産大学校研究業績，第457号，63-65（1965）
- 玉井恭一：シズクガイの貧酸素耐性，日水誌，59，615-620（1993）

赤潮対策技術開発試験 —西部瀬戸内海シャットネラ赤潮広域共同調査—

神菌 真人・江藤 拓也・荒田 敏生

西部瀬戸内海におけるシャットネラ属 (*Chattonella marina* & *C. antiqua*)の初期発生域の解明とその環境特性、水塊構造の変動とシャットネラの増殖から赤潮形成・消滅に至る過程について全体像を把握し、シャットネラ赤潮発生予察技術の確立に資する。

調査等の方法

- 1) 調査水域：周防灘及び伊予灘 (35定点) (図1)
- 2) 調査期間：平成5年5月25日～8月30日
- 3) 調査回数：毎週1回、計15回
- 4) 調査項目：水温・塩分、溶存酸素濃度、シャットネラ (*Chattonella marina* & *C. antiqua*) 栄養細胞、栄養塩類、シャットネラ以外のプランクトン、AGP試験、流れ。

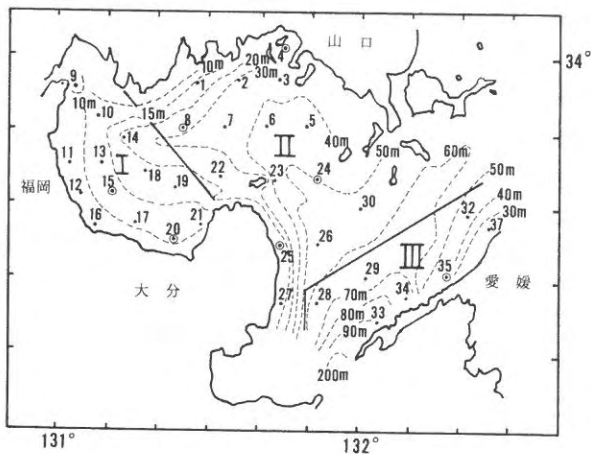


図1 調査点の位置および水塊区分
◎は代表調査点、等深線を点線で示す。

結果および考察

1) 水塊構造及びその流動

西部瀬戸内海は水温、塩分等の物理・化学的環境特性により、概ね、福岡県及び大分県沿いの浅海域 (水塊I)、海域中央部 (水塊II)、愛媛県沿岸部 (水塊III) に区分される (図1)。

水塊Iに属する調査点15における潮流観測結果からみ

た流況については次の通りである。

潮流成分の最大値は上層で約40cm/s、下層で約30cm/sであった。残差流成分の最大値は上層で約20cm/s、下層で約14cm/sであった。水温は上層で最高約26℃、下層で最高約25℃で、上層と下層の水温差は6月中旬に最も大きく、約7℃であった。

2) シャットネラの初期出現域とその環境特性

本年シャットネラの出現が最初に認められた海域は、周防灘の西部及び南部海域 (水塊I) 及び中央海域 (水塊II) であった。水塊別にみた水温・塩分の観測値の範囲は水塊Iで水温18.0～24.0℃、塩分28.0～33.0、水塊IIで水温16.0～23.0℃、塩分30.5～33.0、水塊IIIで水温15.5～22.0℃、塩分32.0～34.0で、水塊Iにおいて成層が6月下旬～7月中旬及び8月下旬に強く発達して、下層の貧酸素化が進行した。

水塊Iは、他の水塊と比べて高水温、低塩分傾向を示し、成層が発達し易く、下層が貧酸素化するという特徴を持つ。

3) シャットネラの初期出現と下層の水温の関係

平成元年～4年の調査結果と同様に、水塊I及びIIにおいて下層水温がほぼ15℃に達した地点で、出現が認められた。

4) シャットネラの分布、増殖

シャットネラは、主に水塊IおよびIIで分布、増殖が認められた。密度は6月8日に水塊II、7月20日に水塊Iでともに約10細胞/mlとなり、ピークに達した。種別にみると、密度は*C.marina*が*C.antiqua*より高い傾向にあった。

層別の密度は、上層と中層ではほぼ同レベルであり、下層より幾分高い値で推移する傾向がみられた。

5) ギムノディニウムの出現・分布状況

ギムノディニウム (*Gymnodinium mikimotoi*) は、5月25日に水塊IIで出現が認められた後、6月29日まで調査海域全域で出現が認められなかった。その後はほぼ指数関数的に増殖し、8月24日にピークに達した後、8月31日には急激に減少した。なお、密度は水塊IとIIに

において、調査期間を通じてほぼ同レベルで推移した。また、水塊Ⅲでの出現については、密度レベル及び変化のパターンから水塊Ⅰ及びⅡから移送されたものと推定された。

6) 珪藻の密度変化とシャットネラ及びギムノディニウムの密度変化との関係

全珪藻の密度は、ほぼ10~100細胞/mlの範囲で増減を繰り返しながら推移した。

シャットネラの密度変化は、全珪藻の密度変化の減少時に増加する傾向が認められたが、ギムノディニウムの場合はこの様な関係は認められなかった。

7) AGP試験

調査点11において行ったAGP試験の結果をみると、昨年度と同様、表層水と底層水との間にはAGP値の鉛直差は殆ど認められなかった。

6月15日から8月3日まで、AGP値は低く推移し、8月11日に急激な上昇が認められた。このAGP値の推移は、海水中におけるアンモニア態窒素濃度の推移と対応していた。AGP値の上昇直後に現場でのギムノディニウム細胞数の急激な増加が認められ、両者の間に密接な関係のあることが示唆された(図2)。

なお、8月11日の海水中のAGP値及びアンモニア態窒素の急激な増加については、調査直前(8月10日)に通過した大型の台風による底層水の攪乱が影響している可能性がある。

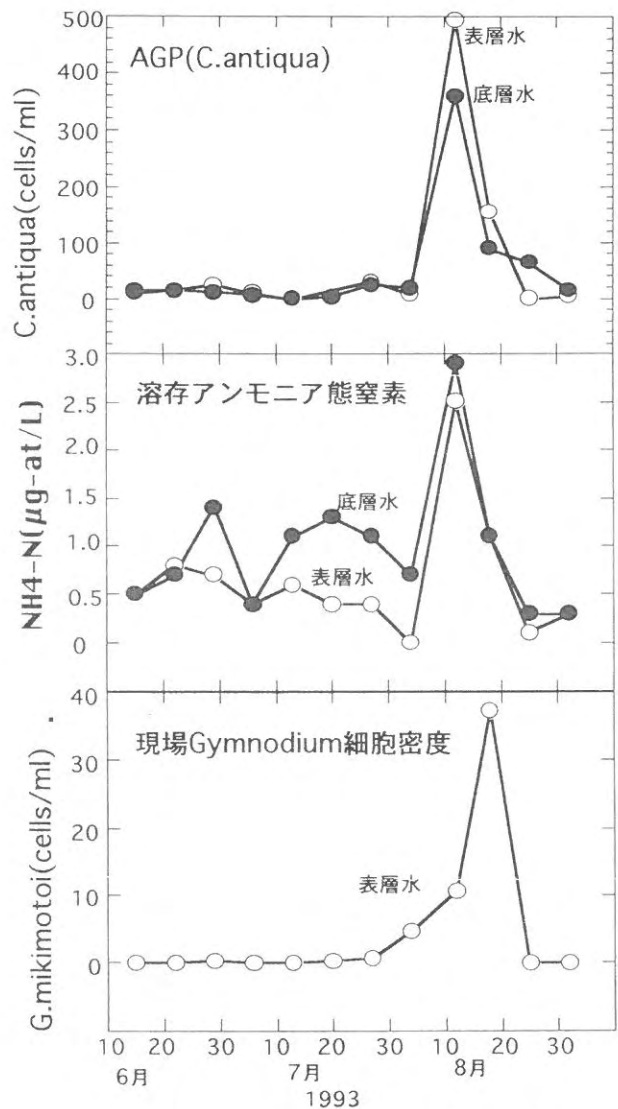


図2 1993年夏季周防灘沿岸域(調査点11)におけるAGP値(*Chattonella antiqua*)、溶存アンモニア態窒素及び現場*Gymnodinium mikimotoi*細胞密度の経日変化

貧酸素水塊被害防止対策事業 — 貧酸素水塊予察モデルと漁業被害防止技術の開発研究 —

神菌 真人・江藤 拓也・荒田 敏生

周防灘西部海域（豊前海）を対象として、貧酸素水塊の形成される夏季に水質、流況、気象等の調査を行う。この調査により、当該海域における貧酸素水塊の形成機構および要因を明らかにし、貧酸素水塊モデルを作成し、貧酸素水塊形成予察技術の開発を行う。さらに、底質改善（覆砂）による貧酸素水塊形成の抑制効果の検討を行う。

調査方法

1) 調査海域は周防灘西部（豊前海）（図1）

2) 定線調査：

調査期間と回数：5月～8月、毎週1回（14回）

調査項目：水温、塩分、DO、DIN、PO₄-P、Chl.a、フェオ色素、POC、PON、TPP、濁度、光量子、セジメントトラップによる沈降粒子の捕集とその成分分析（C、N、Chl.a、フェオ色素）

3) 覆砂試験：覆砂区と非覆砂区とにおいて酸素消費速度、栄養塩溶出速度についての比較試験。

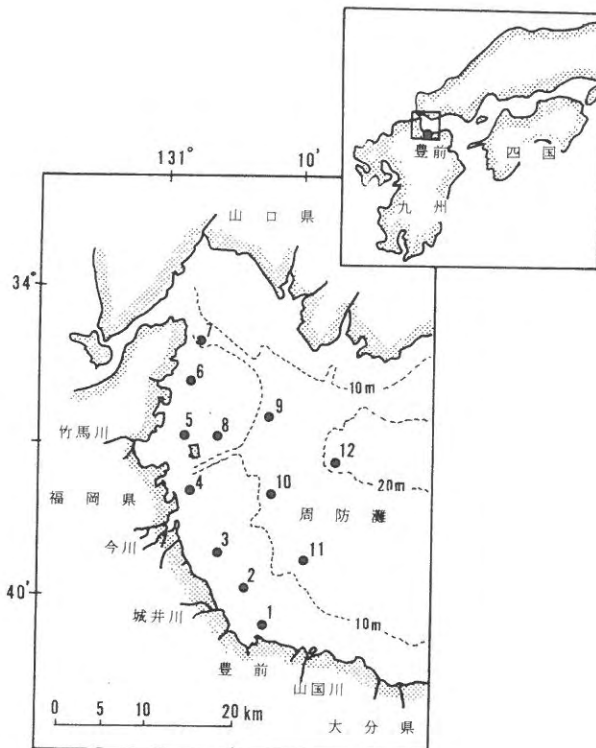


図1 調査海域と調査点

結果

1) 平成5年の貧酸素水塊形成状況

各観測日での底層水DO濃度の水平分布を図2に示す。貧酸素水塊は7月6～20日にかけてと8月24～31日にかけて10m以浅の浅海部を中心に形成されており、特に7月20日と8月24日には顕著な貧酸素水塊が形成されていた。例年貧酸素水塊は6月中旬から8月の中旬にかけて10m以浅の浅海部に形成され、8月後半以降は沖合いで形成がみられるが、今年は8月下旬に浅海部で形成がみられており、特徴的である。

2) 貧酸素水塊形成と夏季の降水量との関係

昨年度までの調査結果から、豊前海での貧酸素水塊形成と夏季の降水量とに関係のあることが明らかにされ、豊前海で貧酸素水塊が形成される目安として6、7月の積算降水量が500mm以上であると推察された。本年の6、7月の積算降水量は770mmであり、DOの値（図1に示す12測点で毎月上旬に行っている観測での底層水DO測定値で、7月に最も低い値を示した測点での値と8月に最も低い値を示した測点での値の平均値）は2.6 mg/lを示し、本年の結果からも、豊前海の貧酸素水塊形成と降水量とに関係があることがわかった（図3）。

3) 覆砂試験

覆砂場所は福岡県行橋市蓑島地先の0m線より沖合約500mの地点で、工事は平成元年7月に行われた（覆砂面積200×200m、覆砂厚0.6m）。覆砂場所から南へ500mの地点を対照区（覆砂をしない海域）とし現場コア法による酸素消費速度および栄養塩溶出速度の測定を行った。

平成5年5月から9月にかけて延べ5回行った試験結果を表1に示した。酸素消費速度は、覆砂区で69～494 mg/m²/dayの範囲を示し、平均311 mg/m²/day、対照区で117～385 mg/m²/dayの範囲を示し、平均283 mg/m²/dayであった。5月27～28日と8月26～27日の試験では覆砂区より対照区の酸素消費速度が大きく、7月8～9日、9月9～10日および9月20～21日の試験では対照区より覆砂区の酸素消費速度が大きかった。

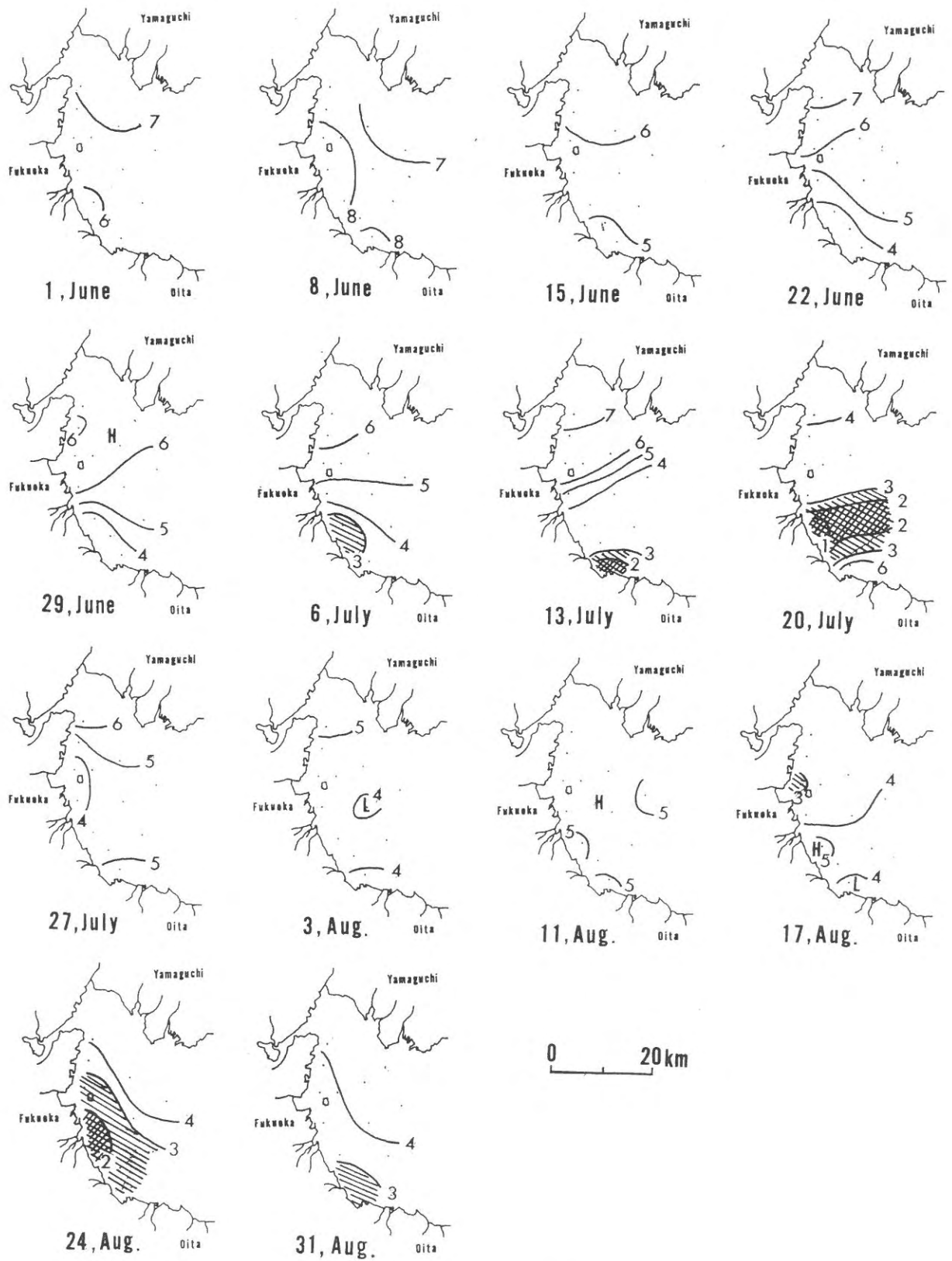


図2 各調査日での底層DOの水平分布 (mg/l)

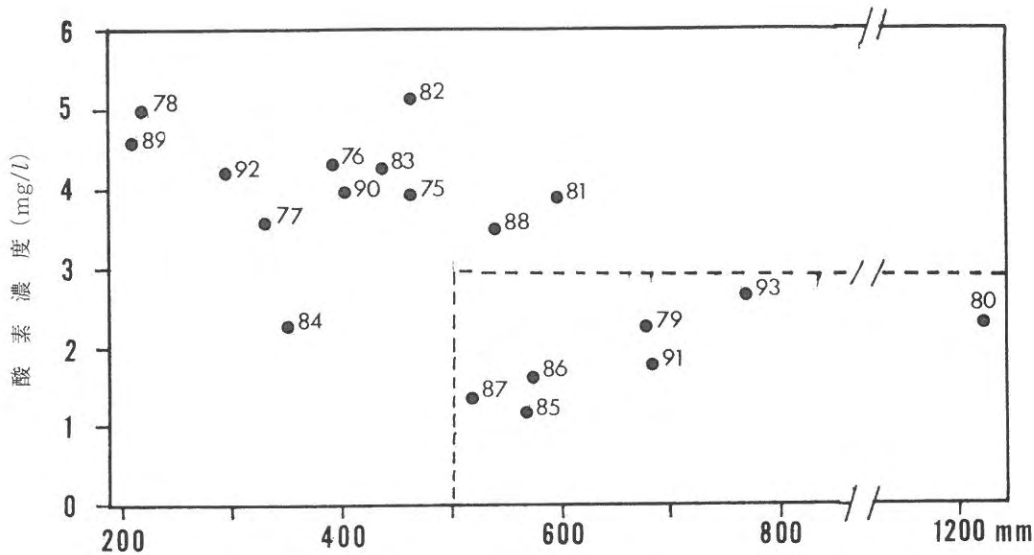
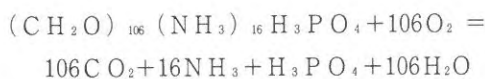


図3 豊前海における夏季底層DO濃度と降水量（6～7月積算）との関係

窒素溶出速度は、覆砂区で5.7–33.7mg/m²/dayの範囲を示し、平均15.8mg/m²/day、対照区で18.7–54.6 mg/m²/dayの範囲を示し、平均28.1mg/m²/dayの値であった。いずれの試験日においても覆砂区より対照区の窒素溶出速度が大きく、平均値で12.3mg/m²/dayの差がみられた。

覆砂区と対照区で測定された酸素消費速度の平均値の差を検定したところ有意差は認められなかった。しかし、窒素溶出速度の平均値の差には1%の水準で有意差が認められ、覆砂区と比べて明らかに対照区での窒素溶出量は多いと判定された。

分解の式をRedfield比から以下に示す通りとした。但し、窒素については測定の結果、アンモニア態窒素が大部分を占めていたので窒素の分解はNH₃までとした。



この式から窒素1に対する酸素消費量は106/16・32/14=15.14であるということがわかる。この値を用いて、現場測定された覆砂区の窒素溶出を全て有機物の分解によるものと仮定して、覆砂区での酸素消費速度を算出すると237mg/m²/dayとなる。この値は現場で測定された酸素消費速度の平均値より低く、覆砂区では有機物の分解による酸素消費と他の要因、例えば底生動物や付着珪藻の呼吸による酸素消費がおこなわれていたことが推測される。

一方、現場測定された対照区での窒素溶出を全て有機物の分解によるものと仮定して、対照区での酸素消費速

度を算出すると422mg/m²/dayとなる。この値は現場で測定された酸素消費速度より高く、対照区で測定された窒素溶出を全て有機物の分解によるものと仮定することに矛盾が生じる。対照区では有機物の分解による窒素溶出と他の要因、例えば底泥からの物理化学的な要因（海底泥からの拡散）による窒素溶出がおこなっていたことが推察される。

以上のことから、有機物を大量に含む底泥上に覆砂を行っても酸素消費を抑えることはできない。しかし、Nの溶出速度には明らかに差がみられ、覆砂を行うことによって夏期において底泥からNの溶出量を約12mg/m²/day削減できることがわかった。これは分解を含めた底泥からのNの溶出量の約40%に相当する。

表1 コアを用いた現場での底泥による酸素（DO）消費速度と窒素（N）溶出速度の測定結果。各試験区において1回の試験につきコアを3～5本使用して測定しており、示した値はその平均である。

Redfield比から定めた分解の式から窒素1に対するDO消費量を15.14ととして、N溶出速度の平均値からDO消費速度を求めた

試験日	DO消費速度 (mg/m ² /day)		N溶出速度 (mg/m ² /day)		試験日の底層水温
	覆砂区	対照区	覆砂区	対照区	
5月27–28日	147	312	12.5	19.0	20.2℃
7月8–9日	491	385	33.7	54.6	22.9
8月26–27日	69	117	5.7	29.1	27.1
9月9–10日	352	234	9.4	18.7	24.0
9月20–21日	494	365	17.5	19.2	24.2
平均	311	283	15.8	28.1	
N溶出速度から求めたDO消費速度	237	422			

4) 貧酸素水塊形成と懸濁物質, 沈降物質

昨年の結果から豊前海での下層での酸素消費速度は水中に存在する有機物量に関係しており, その有機物は再懸濁した底層堆積物であり, また植物プランクトンに由来するデトリタスであると推察された。そこで, 本年は1992年と1993年の観測結果から懸濁粒子や沈降粒子の起源を特定するとともに, それらの動態について調査を行い貧酸素化との関係について検討を行った。

浅海部での観測点である S tn. 4 で得られた底層 A O Uの変動 (図 4 a) について大まかな傾向をみると, 平成 5 年の方が A O Uは高い傾向がみられる。鉛直安定度 (図 4 b) は平成 5 年の 8 月後半を除くと, 両年の間にそれほど大きな差はみられない。また, 底層水中の P O C濃度にも大きな差はみられない (図 4 c)。同時に測定された C h l aと P h e o色素から P O C / C h l a + P h e o色素の比の変動をみる (図 4 d)。平成 4 年の場合が高く, 平成 5 年の方が低い傾向がみられる。このことは, 平成 4 年の底層水中の有機物の起源としては再懸濁した底層堆積物が主体であり, 平成 5 年の懸濁物は植物プランクトンによるものであることを示している。表層の C h l a量 (図 4 e) は平成 5 年の方がかなり多い。平成 4 年と平成 5 年を比較した場合, 成層の発達という貧酸素化のための物理的条件には大きな差はみられず, また底層水中の有機物量にも差はみられなかった。しかし, A O Uには明らかに差がみられ, 平成 5 年の方が高かったといえる。底層水中の P O C / C h l a + P h e o色素の比に差がみられたことから, 底層水中に現存する有機物の質が酸素消費速度に影響を及ぼしたことが示唆される。

図 5 にはセジメントトラップによって得られた, C h l a + P h e o色素沈降量の変動を示す。8 月 23 - 24 日に大量の植物色素の沈降がみられる。1 週間前の 8 月 17 日の観測時に浅海部で渦鞭網藻 (*Gymnodinium mikimotoi*, *Ceratium furuca*) による赤潮が形成されていた。この時増殖したプランクトンが枯死, 沈降したものと考えられる。13 回目 (8 月 24 日) の観測時の A O Uは高く, この時沈降したプランクトンが分解し, 酸素消費速度を高め, A O Uの増加につながったことが考えられる。豊前海での下層での酸素消費速度に増殖した植物プランクトンがきわめて重要な役割を果たしていることが示唆された。

5) 簡単な貧酸素化のシミュレーション

1992 年夏季の調査から豊前海の貧酸素水塊形成に底泥の再懸濁, 分解, 酸素消費といった過程が関与していることが示唆された。今回, 底泥の再懸濁, 分解, 酸素消費

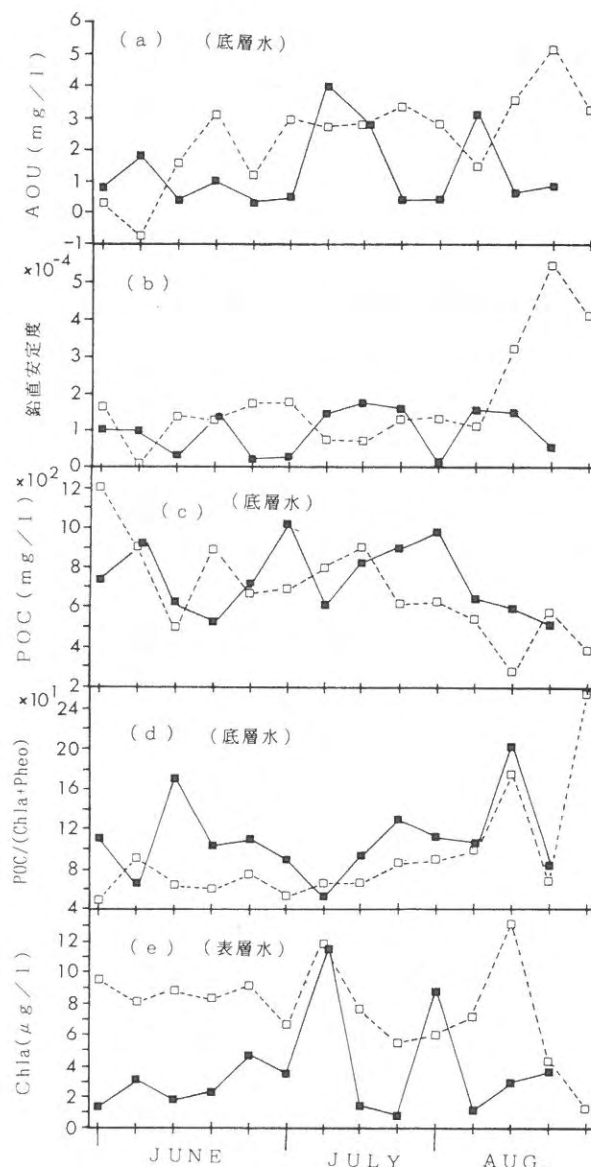


図 4 平成 4 年と平成 5 年の S tn. 4 での各測定項目の変動
■ : 平成 4 年, □ : 平成 5 年

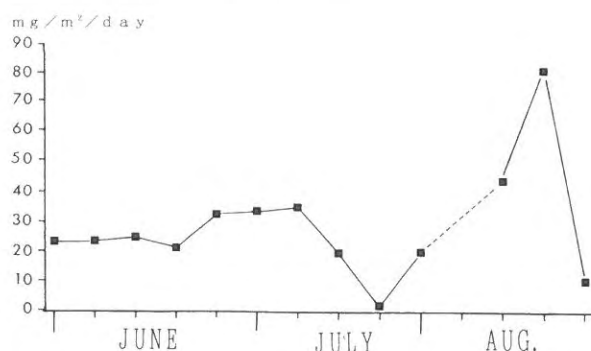


図 5 トラップにより捕集された C h l a + P h e o色素沈降量の変動

といった一連の過程が表現できる簡単なモデルを構築することを考える。

平成 4 年 6 / 2 ~ 8 / 25 の観測結果 (図 4 a) から, A

O₂は7/14～7/21および、8/11に一時的に増加し、貧酸素化の様相を呈している。その1週間前に底層P_OCが増加しており(図4c)、また、同時に鉛直安定度も減少して(図4b)、この時期の当海域における擾乱が大きかったことを示唆していることから、先述したように、底泥の再懸濁、分解、酸素消費といった過程が、貧酸素水塊の形成に重要であると考えた。このとき、鉛直安定度を低下させた擾乱が何に起因するのか考える。平成4年6～7月の2ヶ月間、Stn. 4の下層(B+2m)の流速データが取得されている。図6a、bに、貧酸素水塊が出現した7月の流速生データ、及び25時間移動平均データを示す。図6bおよび、表2に示した潮流調和定数より、この時期の残差流はきわめて弱く、当海域に卓越していた流動は主に半日周潮流成分であったこと

がわかる。さらに、図4bに示したように、鉛直安定度の低下した6/16、6/30、7/4前後は大潮期と一致していたことを考えても、この時期の底泥の再懸濁は潮流によってなされたものと考えられる。

表2 潮流調和定数 Stn.4 底層

分潮	北方成分		東方成分	
	振幅	遅角	振幅	遅角
M ₂	6.4	150.4	1.8	129.4
S ₂	3.0	184.0	1.4	163.8
K ₂	0.8	184.0	0.4	163.8
N ₂	0.9	163.0	0.7	120.0
K ₁	0.6	190.3	1.0	59.1
O ₁	0.4	107.9	0.9	156.7
P ₁	0.2	190.3	0.3	59.1
Q ₁	0.1	171.3	1.0	43.8
M ₁	0.8	226.1	0.5	268.5
MS ₄	0.3	221.6	0.2	192.3
MEAN	2.0	0.0	0.9	0.0

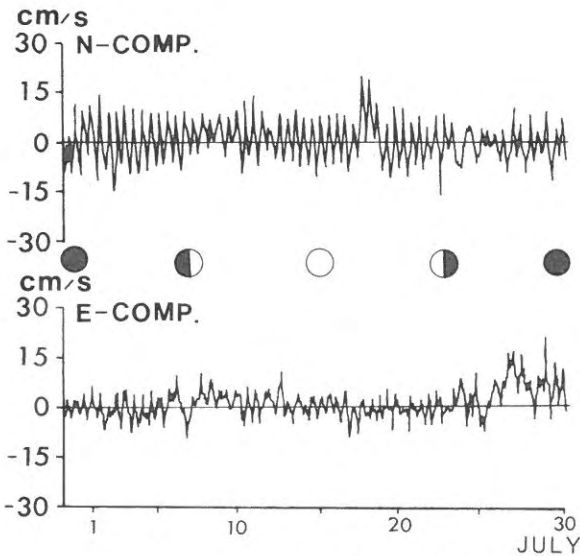


図6a Stn.4で測定された底層流速生データ

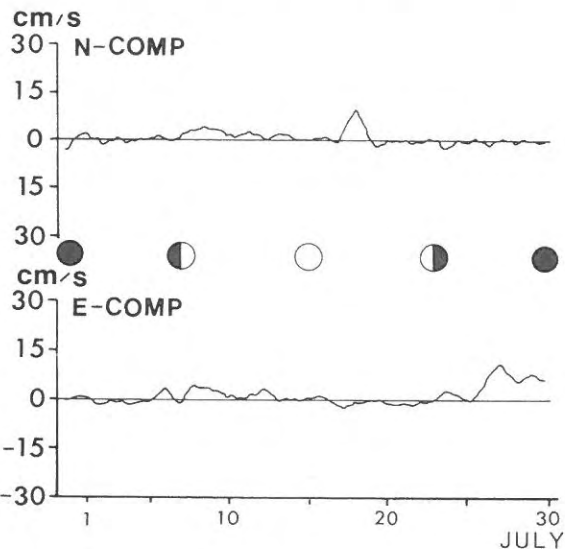


図6b Stn.4で測定された底層流速の25時間移動平均データ

5) - 1. モデルの定式化

以上を踏まえて、潮流による擾乱、再懸濁、酸素消費、貧酸素化といった一連の過程を表現するモデルを構築する。今回のモデルはDOの混合の80%が鉛直混合で、残りが水平混合によるという当海域の特性(磯辺ら,1993)を考慮して、Stn. 4周辺の水深や躍層の位置を考慮した鉛直一次元の2層モデルとする(図7)。上層DOがC_u、下層がCである2層の海域にΔρの密度差を与える。Uの潮流振幅により上下層は混合し、また、底泥が巻上がることで、下層のDO(c)が消費される。このような過程に伴う下層のDOの時間変化を以下のように表現する。

$$h \frac{dc}{dt} = \frac{8 k_b \rho_0 \epsilon}{3 \pi g \Delta \rho} \frac{U^3}{H} (C_u - C) - A \quad (1)$$

$$A = r_0 \{ \alpha + (1 - \alpha) e^{-u/B} \} Ch$$

ここで、右辺第1項は潮流による鉛直混合を示し、Simpson and Hunter (1974) の考えにしたがっている。K_bは底面摩擦係数(=2.5×10⁻³)、ρ₀は上下層の平均密度、gは重力加速度(=980cm/sec²)、Hは水深(=7m)、hは下層厚(=1m)、εは潮流の持つ運動エネルギーが混合に使われる効率で、前回調査と同じ0.29とおいた。また、右辺第2項は酸素消費項で、r₀は静穏時(非攪はん時)の酸素消費速度、αは攪はん時の増加倍率(この場合、簡単な室内実験から11.7とした)である。U=0で、酸素消費速度はr₀となり、Uが増加す

るにしたがって、その値は αr_0 に近づいていくが、 $U = \beta$ で αr_0 と r_0 の差が初期状態の $1/e$ になるように設定している。ここでは、攪はん時の室内実験で得られた酸素消費速度が、増加する場合の限界値であると考えている。さらに、潮流振幅が 10cm/sec 程度で、図 4 c に示したような底層 POC の増加、DO の減少が起こっているわけだから、 β は $0 < \beta < 10$ とおく。図 8 に U に依存して変化する酸素消費速度を模式的に示す。上述の外部パラメータ ($U, \Delta\rho, \alpha, \beta, H, h, \rho_0, \epsilon, r_0, K_b, g, C_u$) を (1) に与え、下層の $D(C)$ の時間変化を計算する。

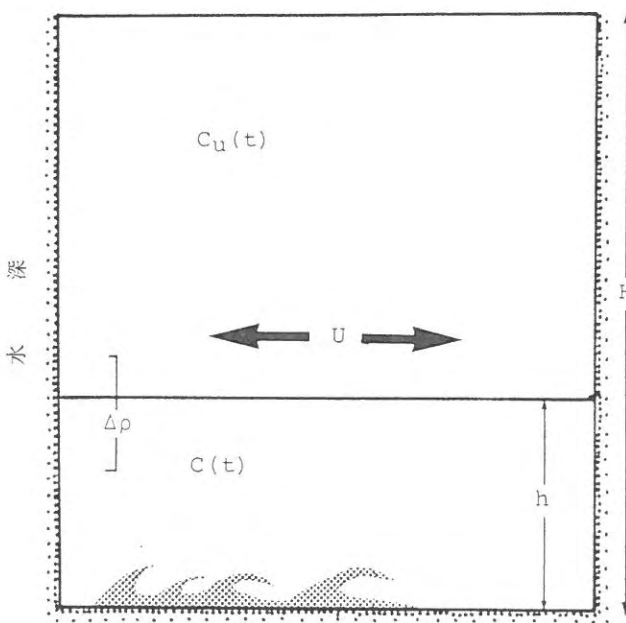


図 7 鉛直一次元2層モデル

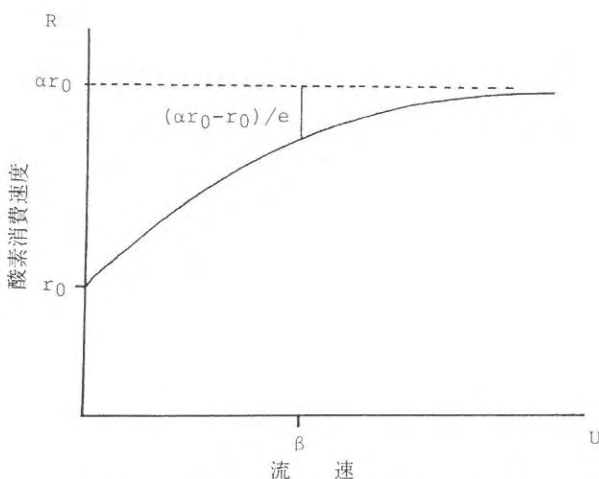


図 8 流速 (u) に依存して変化する酸素消費速度の模式図

5) - 2. 一定流速での解

まず、解の特性を知るために、 $U = \text{一定}$ とおき、時間 t が ∞ になったときの定常解 C_∞ と Takeoka et al. (1986) の定義にしたがった貧酸素時間 t^* を求める。解は、

$$C_\infty = \frac{\delta C_u U^3}{\delta U^3 + r_0 \Delta \rho H h \{ \alpha + (1 - \alpha) e^{-u/\beta} \}}$$

$$t^* = \frac{\Delta \rho H h}{\delta U^3 + r_0 \Delta \rho H h \{ \alpha + (1 - \alpha) e^{-u/\beta} \}}$$

$$\delta = 8 K_b \rho_0 \epsilon / 3 \pi g$$

U と $\Delta\rho$ の値に応じた C_∞, t^* の値を図 9 に示す。ここで、 $\beta = 5\text{cm/sec}$ としている。図はいずれも横軸が U 、縦軸が $\Delta\rho$ を示す。

C_∞, t^* のいずれも、 $\Delta\rho$ が小さい (よく混合されている、 $10^{-5} < \Delta\rho < 10^{-4}$) ときは $\Delta\rho$ に対する依存性より、 U に対する依存性の方が大きい。つまり、鉛直成層の強度が変化しても、底層 DO の値はあまり変化しないが、流速 U の強弱には敏感に反応して、貧酸素水塊が発生したり消滅したりする。これに対し、成層が強化すると ($10^{-4} < \Delta\rho$)、 U の変動に対し DO の応答が鈍くなることがわかる。平成 4 年の Stn. 4 における密度のイソプレットダイアグラムを図 10 に示す。成層が強化されている 7 月 14~21 日には大潮-小潮という流速の変動にも関わらず、図 4 a に示すように、底層 AOU は大きくなってしまっている。しかし、混合が促進されている他の期間では、AOU は急激に増減しており、これは図 9 に示した解の特性と一致する。また、 t^* は U が小さくなると急に大きくなり、貧酸素化が進行しにくいことを示している。これは、 U が小さくなることにより、酸素消費速度も小さくなるためである。図 4 a の底層 AOU は、鉛直混合が抑制されるはずの小潮時には増加していない。これは、 t^* の解の特性による。

5) - 3. U が時間的に変動する場合の解

平成 4 年 6/2 からの潮流を、表 2 に示した 4 大分潮の調和定数を用いて算出した。流速の絶対値を図 11 a に示す。横軸は 6/2 よりの経過時間を示す。(1) 式の U にこの値を代入し、また $\Delta\rho, C_u$ は平成 4 年の観測結果より求め、やはり (1) 式に代入する。数値的に (1) 式を解いた結果得られた底層 DO の変動を図 11 b に実線で示す。また、平成 4 年の 6/2 から 1 週間に一度測定して得られた Stn. 4 の底層 DO の時系列を破線で示す。

計算された DO 変動は、6/9, 7/14, 8/11 の 3 度の実際の DO 減少時に、同じように減少しており、また、

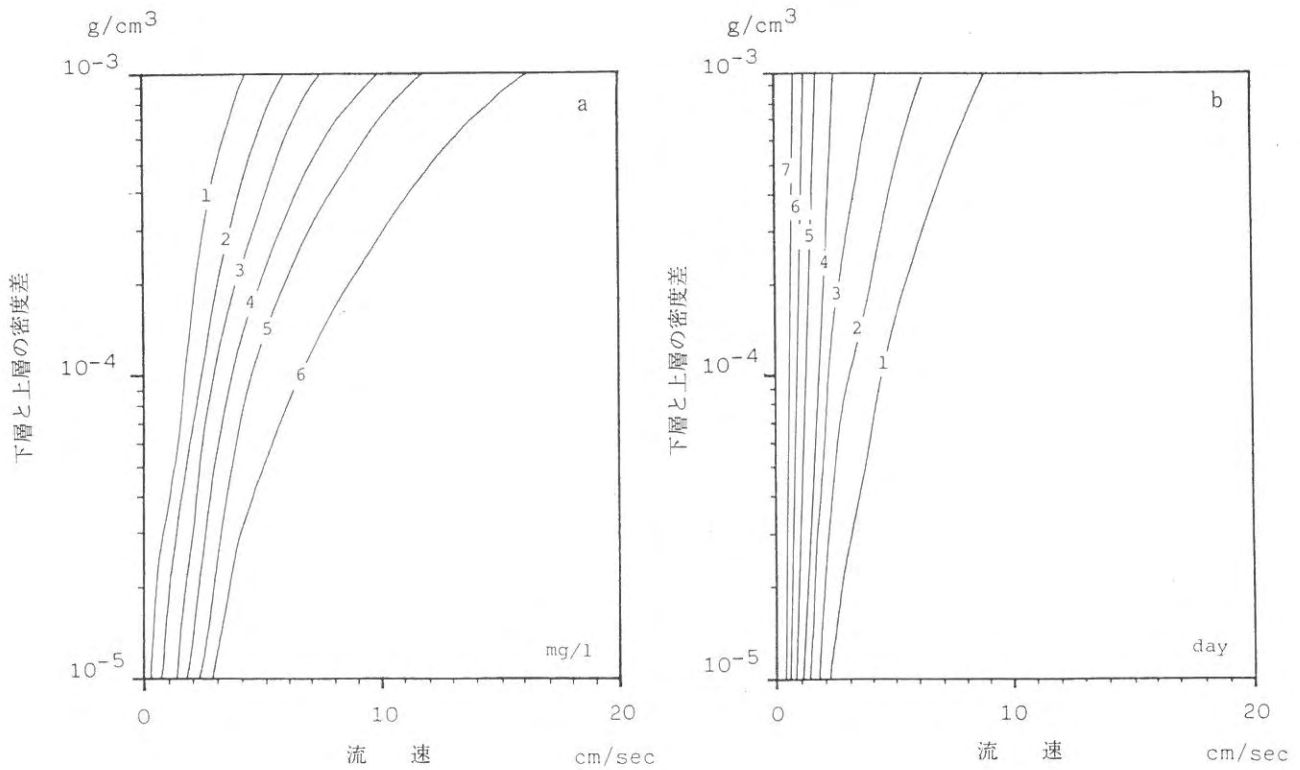


図9 一定流速での解

(a) 定常解 (C_{∞}) の変化, (b) 貧酸素時間 t の変化

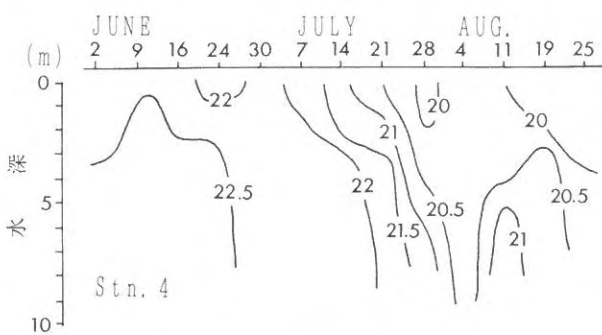


図10 Stn. 4における密度の鉛直分布

7/14~21にみられた2週間に及ぶ貧酸素化があった時期には、計算値も減少したままとなっている。これは、5) - 2節で示したように、成層が強化され鉛直混合が抑制されていたこの時(図10参照)には、潮流振幅の変動に対するDOの応答が鈍くなっていたためである。

本調査で計算したDOは、図11bに示した斜線部についてかなりの過小評価になっている。潮流以外の要因、例えば植物プランクトンの光合成による酸素供給、移流などによる影響が考えられる。

おわりに

今回の調査では、酸素消費過程の適当な定式化に眼目をおいた。このモデルに、前回調査に示したような成層のシミュレーションモデルを組み合わせることで、当海

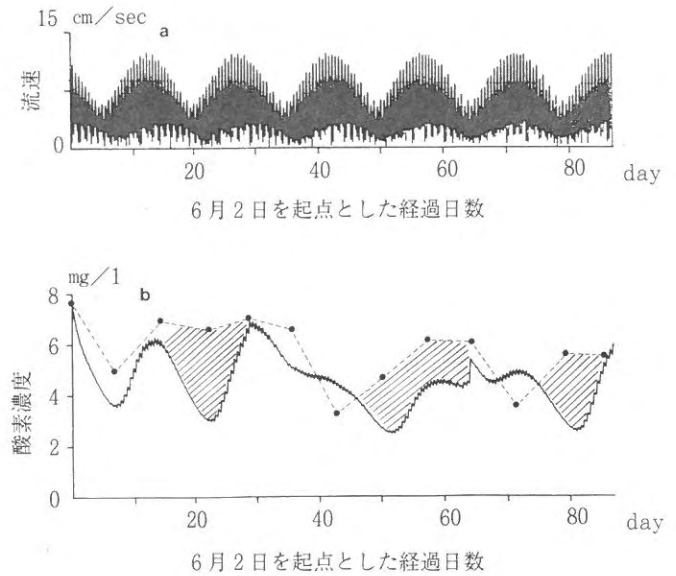


図11 4大分潮の調和定数を用いて算出した流速の絶対値 (a) (1)式を解いた結果から得られた底層DOの変動 (b) 底層DOの実測値を点線で示す斜線部は実測値より低く評価された部分を示す

域における貧酸素水塊のシミュレーションモデルを構築していきたい。