

資源・環境に関するデータの収集・情報の提供－3

浅海定線調査等

(国庫交付金)

野田誠・宮村和良

事業の目的

本調査は、別府湾・伊予灘海域における漁場環境の実態把握及び内海漁業資源の動向予測に必要な基礎データ収集を目的とする。

事業の方法

1. 浅海定線調査

毎月上旬に漁業調査船「豊洋」を使用して行った。水温と塩分はCTDで観測し、採水試料の栄養塩はオートアナライザー(SWAAT BLTEC社)を用いて分析した。

1) 調査月日

2013年 4月 2日～ 5日	10月 1日～ 4日
5月 7日～ 9日	11月 5日～ 7日
6月 3日～ 6日	12月 9日～ 12日
7月 1日～ 4日	2014年 1月 7日～ 9日
8月 欠 測	2月 3日～ 6日
9月 欠 測	3月 4日～ 6日

2) 調査項目

気象、海象、水温、塩分、透明度、DO、COD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$
(ただし、DO、COD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ については、定点7、9、17、21、22、26、27、31のみ測定した。)

3) 調査定線

調査定線（ナーセー9線）を図1に示す。

2. 水温の定点調査

1) 調査体制

佐伯湾内に位置する水産研究部前（図2）の棧橋付近における表層海水（0m）を、午前8時30分に採水し、棒状水温計で水温を測定した。平

年値は、1990年～2010年の20年間の平均値を用いた。

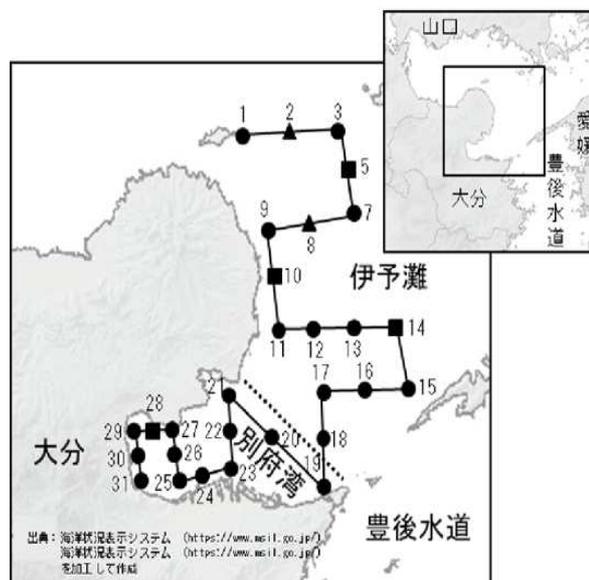


図1 浅海定線調査定線図。

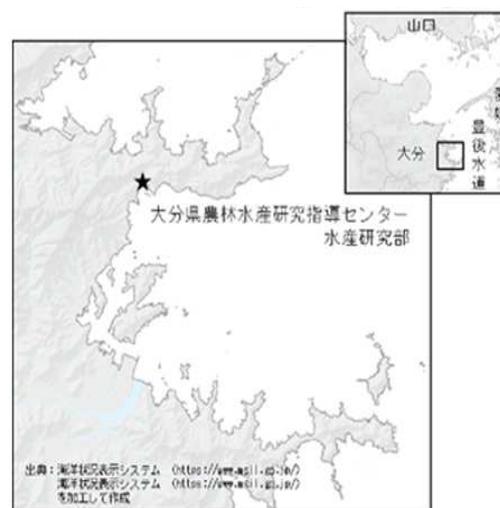


図2 水温定点観測調査点。

事業の結果

1. 浅海定線調査等

1) 気象

図3は大分市における2013年度の気象の推移（大分気象台）である。

気温：7月上旬～8月下旬、9月中旬～11月上旬は概ね高め傾向であった。

降水量：7月上旬～8月中旬にかけては平年より少ない降水であった。九州北部地方の梅雨入りは5月27日で、7月8日に梅雨明けした。

日照時間：7月上旬～8月中旬までは概ね多め傾向であった。

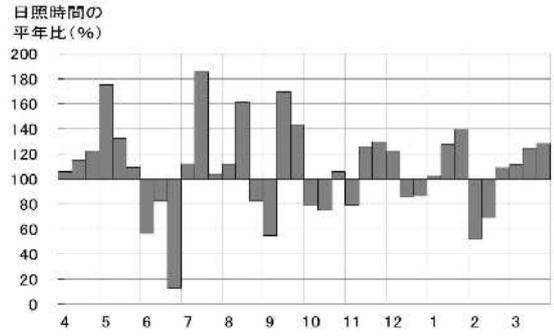
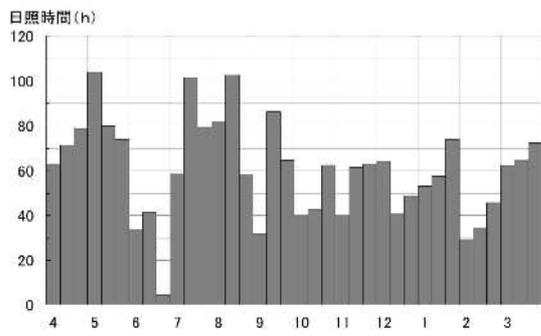
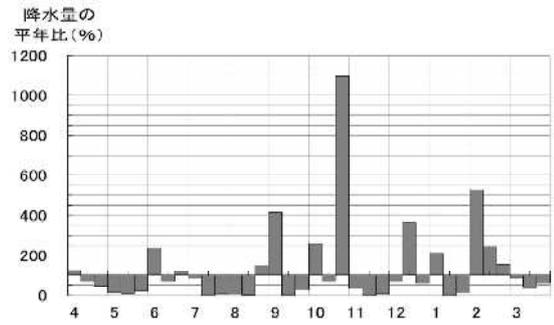
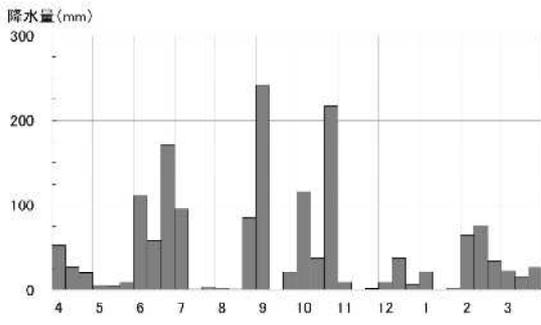
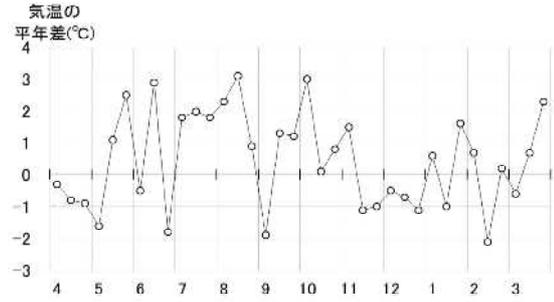
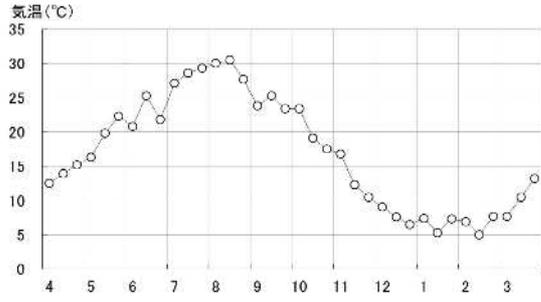


図3 2013年度大分市における気象（気象庁気象統計情報）.

2) 海象

水温

水温の観測結果を示したものが図4である。今年度は8月と例年最高水温となる9月が欠測であった。

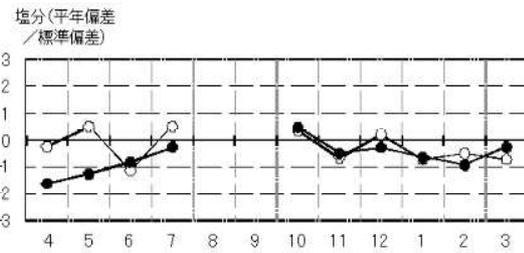
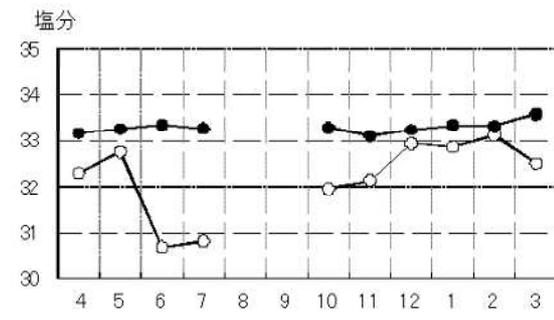
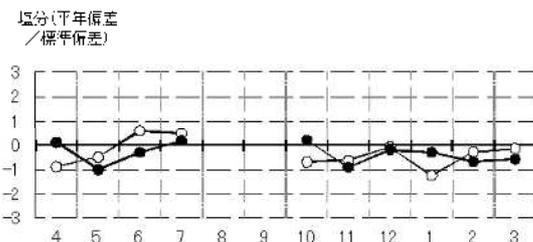
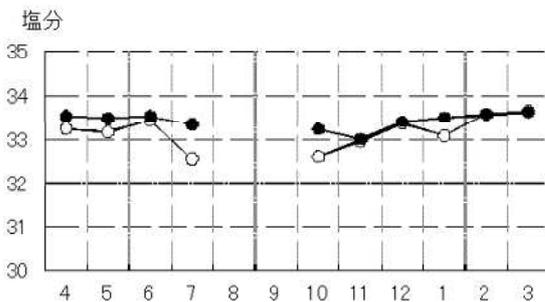
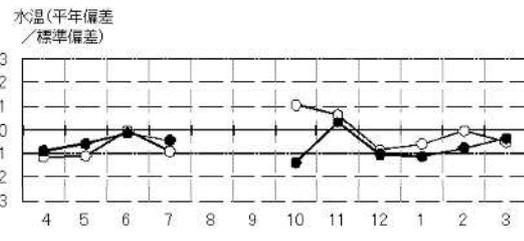
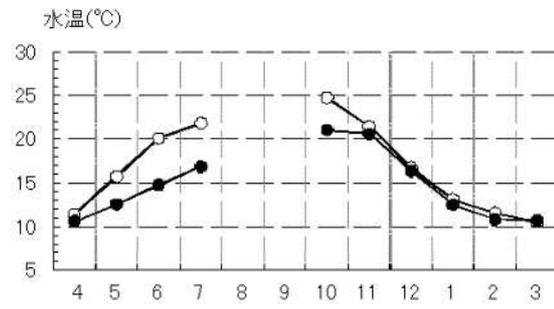
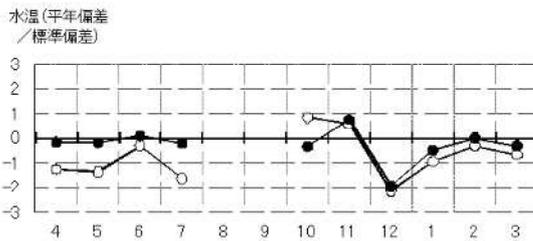
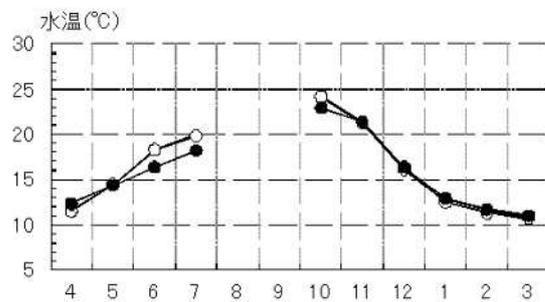
伊予灘の表層は10.8~24.2℃で、底層は11.0~22.9℃で推移した。表層は10月が「平年並み」であった以外は「平年並み」~「甚だ低め」で推移した。底層は11月が「やや高め」、12月が「かなり低め」であった以外は「平年並み」で推移した。

別府湾の表層は10.6~24.7℃で、底層は10.7~21.0℃で推移した。表層は10月、11月が「やや高め」であった以外は「平年並み」~「やや低め」で推移した。底層は年間を通して平年より低く推移した。

塩分

塩分の観測結果は図4に示したとおりである。

伊予灘の表層は32.10~33.69PSUで、底層は33.00~33.64PSUで推移した。表層、底層とも「やや低め」~「平年並み」で推移した。別府湾の表層は29.10~33.37 PSUで、底層は33.11~33.59PSUで推移した。表層、底層とも「かなり低め」~「平年並み」で推移した。



○：表層 ●：底層

図4 2013年度 水温、塩分の推移 (左：伊予灘 右：別府湾).

透明度

図5は透明度の観測結果である。

伊予灘は7.22~12.1mで推移した。6月が「やや高め」であった以外は「平年並み」~「やや低め」で推移した。

別府湾は、5.25~12.3mで推移した。10月は「甚だ高め」であった。

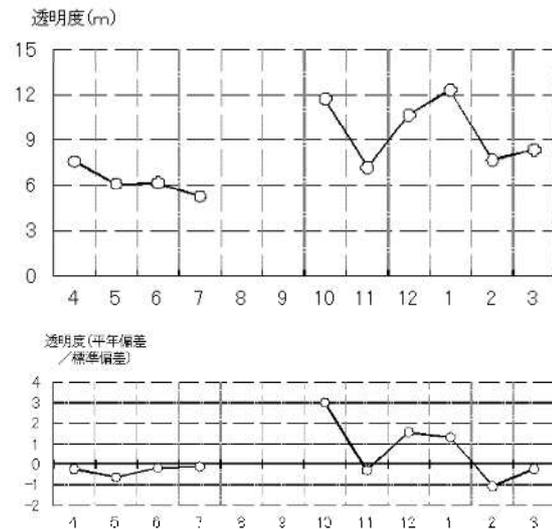
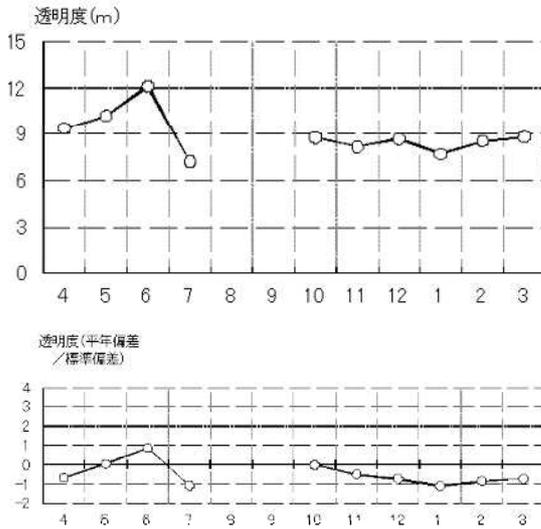


図5 2013年度 透明度の推移 (左:伊予灘 右:別府湾).

*各項目の評価基準

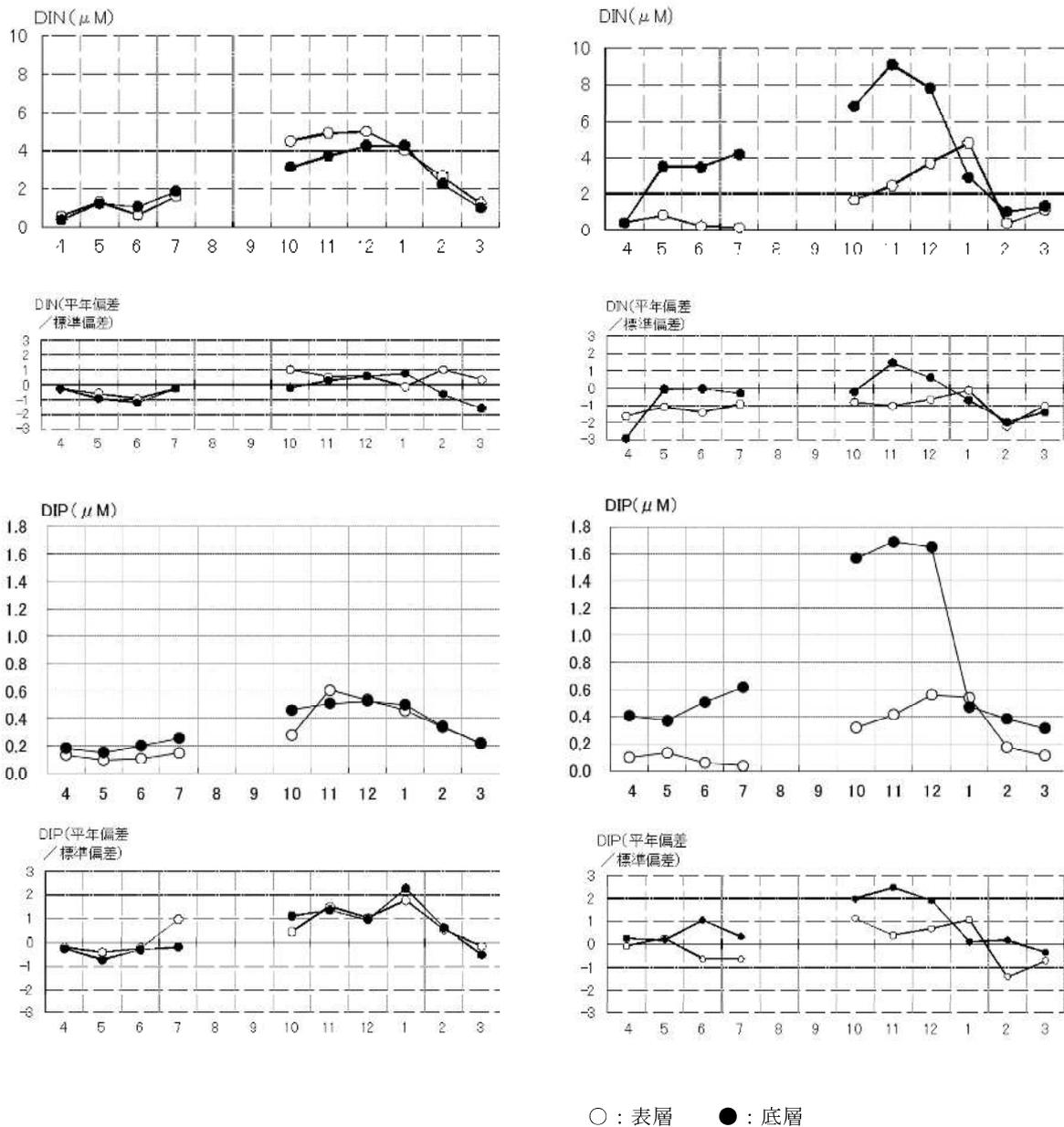
評価基準 (平年偏差/標準偏差)

平年並 : -0.6~0.6

やや高め (低め) : 0.6~1.3 (-1.3~-0.6)

かなり高め (低め) : 1.3~2.0 (-2.0~-1.3)

甚だ高め (低め) : 2.0~ (~-2.0)



○：表層 ●：底層

3) 栄養塩等

DIN

DINの測定結果は図6に示したとおりである。

伊予灘のDINは、表層が0.55~5.02 μMで、底層が0.36~4.28 μMで推移した。3月の底層は「かなり低め」であった。

別府湾のDINは、表層が0.11~4.82 μMで、底層が0.39~9.09 μMで推移した。表層は年間を通して平年より低く推移した。底層は4月が「甚だ低め」であった。

PO₄-P

PO₄-Pの測定結果を示したものが図6である。

伊予灘は、表層が0.10~0.61 μMで、底層が0.15~0.53 μMで推移した。表層は「平年並み」~「かなり高め」で推移した。底層は1月が「甚だ低め」であった。

別府湾は、表層が0.04~0.56 μMで、底層が0.32~1.69 μMで推移し、表層は2月が「かなり低め」、底層は11月が「甚だ高め」であった。

図6 2013年度 DIN、PO₄-Pの推移 (左：伊予灘 右：別府湾)。

DO

DOおよびCODの測定結果は図7に示したとおりである。

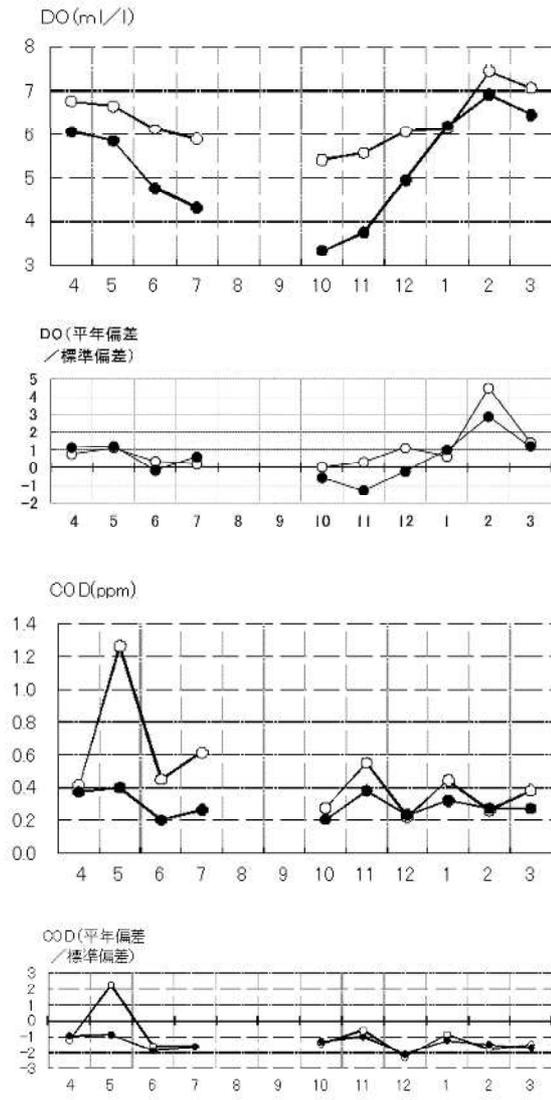
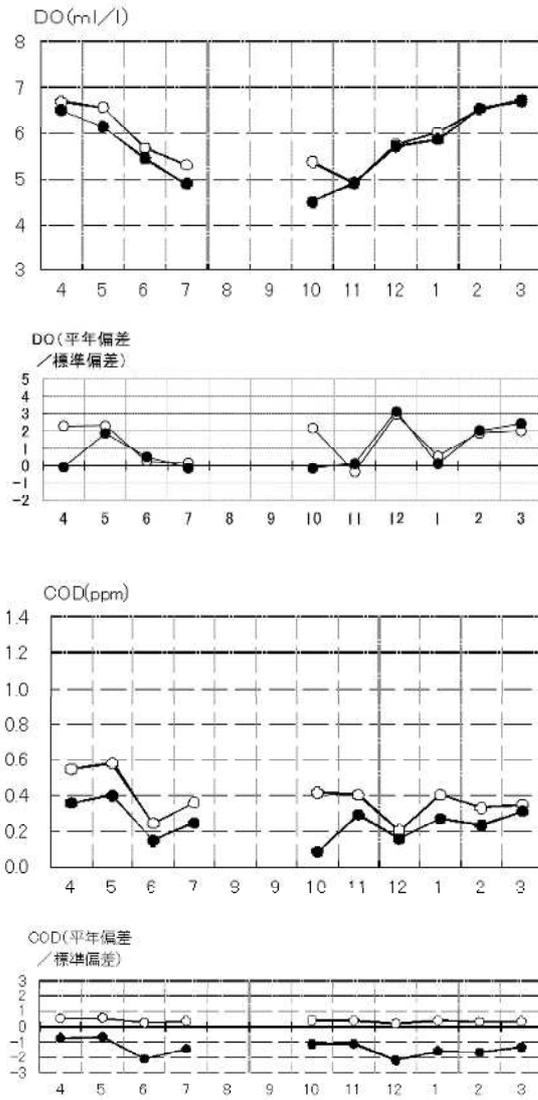
伊予灘の表層は、4.94~6.74ml/Lで、底層は4.51~6.70ml/Lで推移し、表層・底層ともに「平年並み」~「甚だ高め」であった。

別府湾の表層は、5.42~7.45ml/Lで、底層は3.33~6.92ml/Lで推移し、表層・底層ともに2月が「甚だ高め」であった。

COD

伊予灘の表層は、0.21~0.58ppmで、底層は0.15~0.40ppmで推移した。表層、底層ともに平年より低く推移した。

別府湾の表層は、0.22~1.26ppmで、底層は0.20~0.40ppmで推移した。5月の表層が「甚だ高め」であった以外は、表層、底層ともに平年より低く推移した。



○：表層 ●：底層

図7 2013年度 DO、CODの推移 (左：伊予灘 右：別府湾).

2. 水温の定点調査

佐伯湾内（上浦地先）の水温（0 m）の定点調査結果を示したものが図8である。

2013年度は、8月上旬の26.7℃が最高値で、2月中旬の11.5℃が最低値であった。+1℃以上の水温偏差が見られた期間は、5月上旬（-1.2℃）、6月中旬（+1.9℃）、6月下旬（-1.2℃）、7月中旬（+

1.6℃）、7月下旬（+1.2℃）、8月上旬（1.4℃）、9月上旬（-1.7℃）、11月下旬（-1.3℃）、12月上旬（-1.4℃）、12月中旬（-2.2℃）12月下旬（-1.9℃）、1月中旬（-1.6℃）1月下旬（-1.0℃）、2月中旬（-2.5℃）、2月下旬（-1.1℃）、3月上旬（-1.3℃）であった。

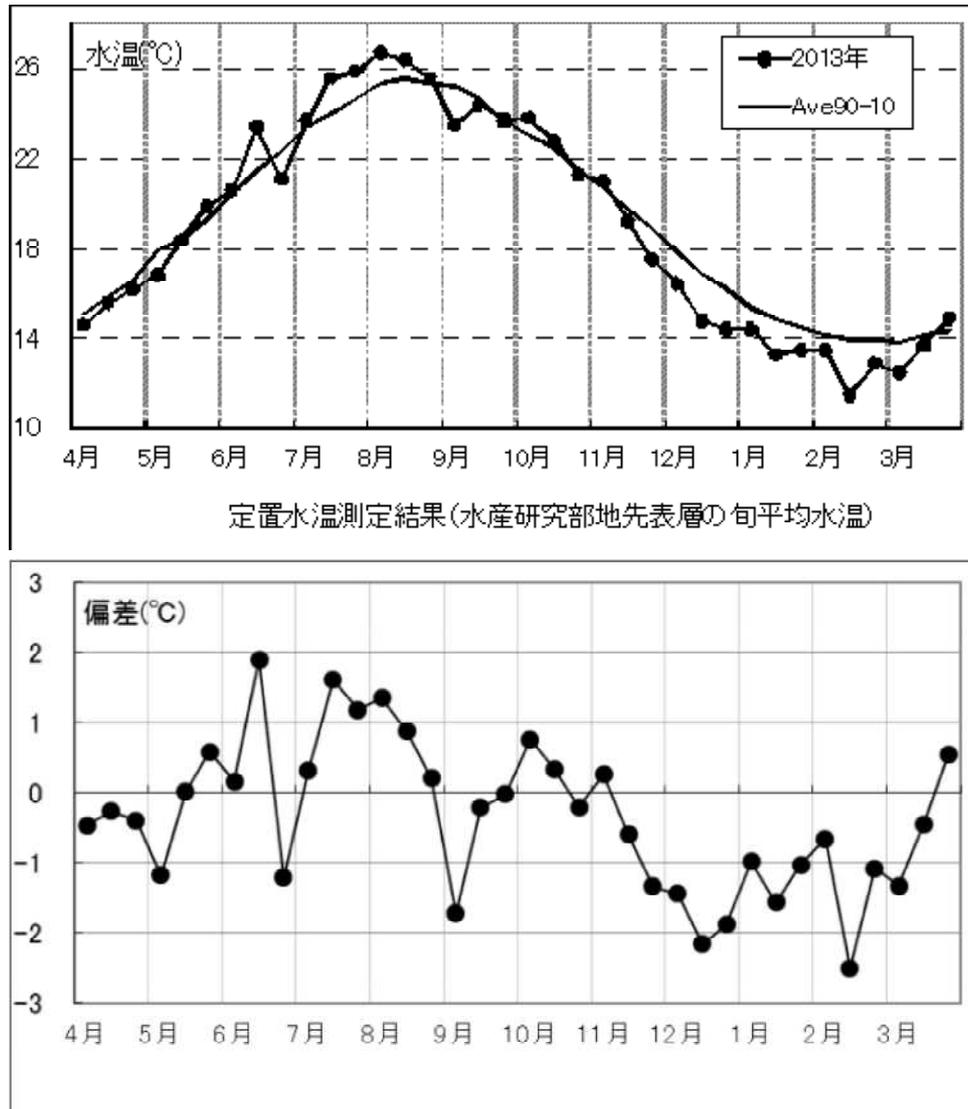


図8 2013年度 佐伯湾定点表層水温(旬平均値)の推移.

漁場環境保全推進事業（赤潮）

野田誠・宮村和良

事業の目的

近年、西日本では従来種に加え新奇有害プランクトンの蔓延等による甚大な被害【*Cochlodinium polykrikoides* 赤潮（被害額：1999年長崎県7.6億円、2000年熊本県35億円）、*Heterocapsa circularisquama* 赤潮（1998年広島県38億円）、*Chattonella spp.* (*Ch. antiqua*及び*Ch. marina*) 赤潮（2003年徳島県6.6億円、香川県4.9億円、熊本県3.3億円、鹿児島県1.6億円、2009年鹿児島県20億円、熊本県8.7億円、長崎県4.3億円、2010年鹿児島県36.8億円、熊本県16億円、長崎県1.6億円）】が報告されている。大分県内においても毎年、有害赤潮による漁業被害が報告され、今後被害の拡大が危惧されるとともに、監視強化の必要な有害プランクトン種が増大する傾向にある。漁業被害を防止するためには、プランクトンの生理生態研究で予察技術を確立し、定期的なモニタリング調査で赤潮発生を早期に予知して、適切な被害防止策を講じることが、現状における最善策である。しかし、漁業協同組合職員や漁業者による初期のモニタリングは技術面において困難であることから、業界からは有害プランクトンの監視について一層の強化が望まれている。

本事業の目的は、魚介類を致死させる有害プランクトンの発生および養殖被害を伴う環境悪化等を予察することによって漁業被害を軽減することである。

事業の方法

I. 漁場監視モニタリング調査

豊後水道に接する佐賀関以南の各湾（図1）に調査点4～7点（精密調査点1～2点を含む）を設定し、5～9月に調査を行った。各調査点ではCTD（JFEアドバンテック社製AAQ-RINKO）による水温、塩分、

クロロフィル蛍光値の測定および、採水器（リゴーB号）による表層、5m層の採水を行った（大分市沿岸は表層、2m層の採水のみ）。得られた試料海水は有害プランクトンの同定・計数に用いた。精密調査点では上記の採水層、調査項目に加え、10m層、底上1m層の採水も行い、各層の溶存酸素（ウインクラー法）、栄養塩（DIN、PO₄-P）の測定を行った。また、鉛直クロロフィル蛍光値の測定で極大値が確認された際には、採水器を用いて極大層を採水し、試水中の有害プランクトンの同定及び計数を行った。定期調査および海水持ち込み時の際の有害プランクトンが確認された湾及び赤潮多発期の7～8月には、調査回数、調査点を増やした。

II. 広域赤潮監視調査

周防灘、伊予灘、別府湾に調査点44点（図2参照）を設け、2013年6月と7月に各1回、計2回の調査を行った。各調査点ではC-CTD（JFEアドバンテック社製）による鉛直水温、塩分、クロロフィル蛍光値の測定および表層の採水を行った。観測時に鉛直クロロフィル蛍光値で極大値（極大層）が観測された際には、採水器を用いて極大層の採水を行った。採水した海水は翌日に光学顕微鏡を用いて、濃縮せずに有害プランクトンの同定・計数を行った。

III. 指導事業

赤潮シーズン前に、佐賀関以南の振興局、市町村、漁協、養殖業者を対象に赤潮担当者会議を開催し、最近の赤潮発生状況や被害についての説明を行った。また、漁業者から赤潮講習会の要望があった場合には現場に赴き講師を務めた。

赤潮発生時や有害プランクトン発生時及び赤潮になる危険がある場合には、緊急赤潮情報、赤潮情報を発行し、周知徹底を図った。

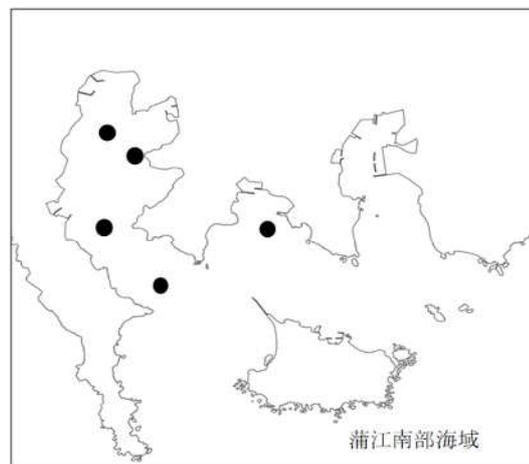
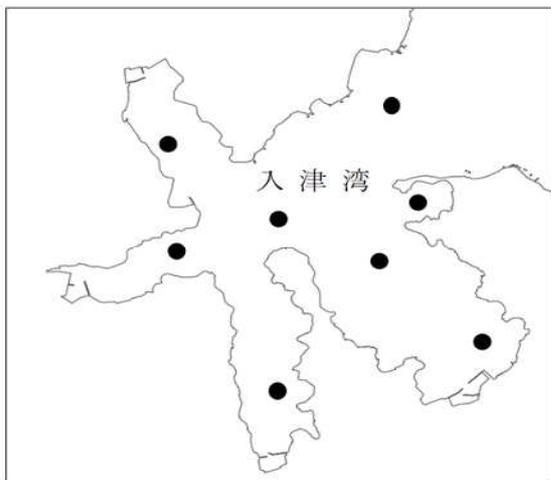
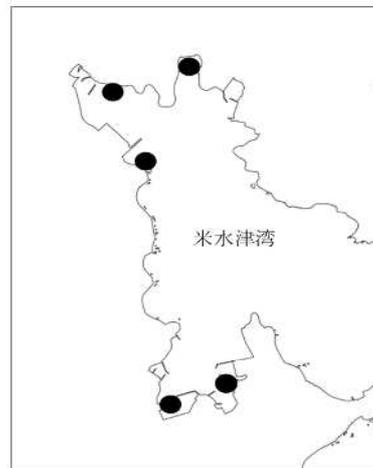
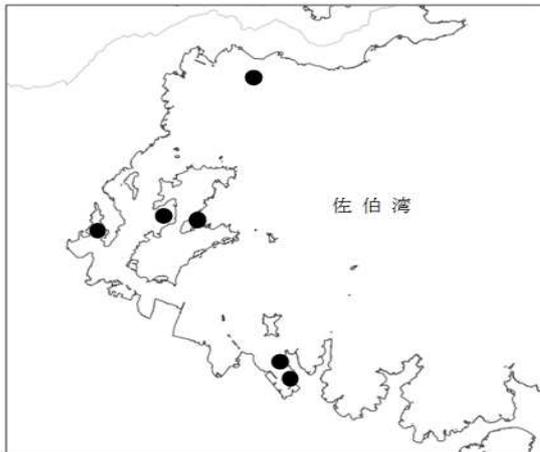
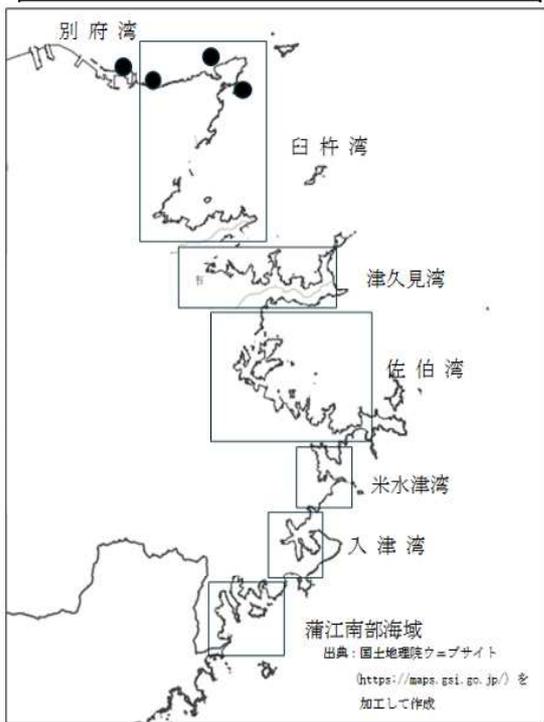


図1 赤潮調査定点

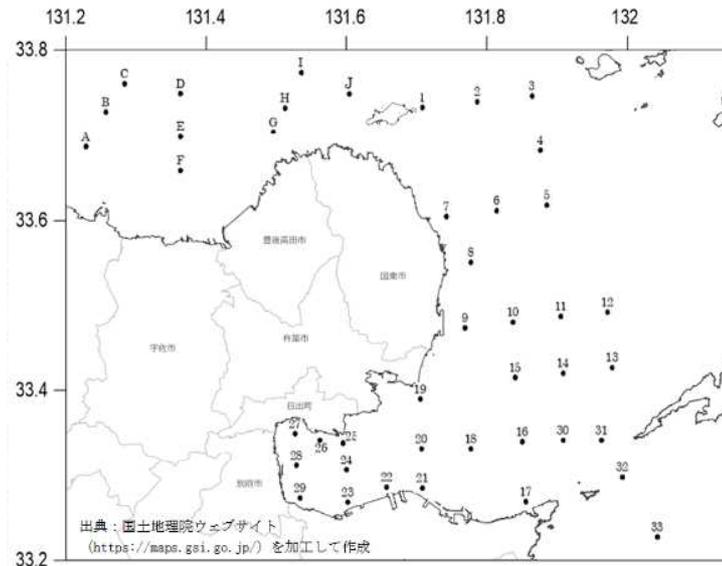


図2 広域赤潮監視調査定点

事業の結果

I. 現場監視モニタリング調査

1) 気象

概要（気象月報抜粋）

6月は曇りや雨の日が多く日照時間が少なかった。平均気温は中旬に高くその他は平年並か低めに経過した。県内アメダスの月降水量は平年比76%~160%で平年並みか多かった。月平均気温は平年差-0.1~+1.1°Cで竹田で平年より低い他は平年並か高かった。月刊日照時間は平年比41%~79%で平年よりかなり少なかった。7月は8日の梅雨明け以降晴れで高温の日が多く大分で37.8°Cの最高気温を観測し1887年の観測開始以来最高となった。県内アメダスの月降水量は平年比15~65%で国見で平年並の他は少なかった。月平均気温は平年差+0.8°C~+2.0°Cで平年並より高く、月間日照時間は平年比119~136%で平年より多かった。8月は中旬を中心に高温の日が続き、大分で最高気温35°C以上の猛暑日を19日観測するなど記録的な暑さとなった。県内アメダスの月降水量は平年比28%~178%で南部中心と大分で少なく、北部・西部を中心に多く、その他は平年並だった。月平均気温は平年差+0.4°C~+2.0°Cで平年よりかなり高い所が多く、月刊日照時間は平年比108~140%で国見で平年並の他は高かった。

気温・降水量

4~9月の佐伯市アメダスの月平均気温の推移は図3に、月降水量は図4に示したとおりである。平均気温は、4月に平年より-1.0°C低めであった以外は、平年より高めで推移した。降水量は4月、6月、9月は平年より多く、5月、7月、8月は平年より少なかった。

2) 海象

各海域5m層の水温、塩分、DIN、PO4-Pの推移は図5~7に示したとおりである。津久見湾は8月27日の一回のみである。

水温は白杵湾 19.1~23.1°C、佐伯湾 17.5~23.4°C、米水津湾 20.4~23.1°C、入津湾 18.8~23.9°C、猪串湾 19.1~23.7°Cで推移した。塩分は白杵湾 33.54~33.99、佐伯湾 33.45~34.18、米水津湾 33.87~34.10、入津湾 33.46~34.35、猪串湾 33.62~34.49で推移した。DINは白杵湾 0.01~1.05 μ M、佐伯湾 0.02~4.72 μ M、米水津湾 0.13~1.64 μ M、入津湾 0.01~3.83 μ M、猪串湾 0.01~0.87 μ Mで推移した。PO4-Pは白杵湾 0.05~0.24 μ M、佐伯湾 0.09~0.48 μ M、米水津湾 0.15~0.18 μ M、入津湾 0.11~0.65 μ M、猪串湾 0.03~0.23 μ Mで推移した。

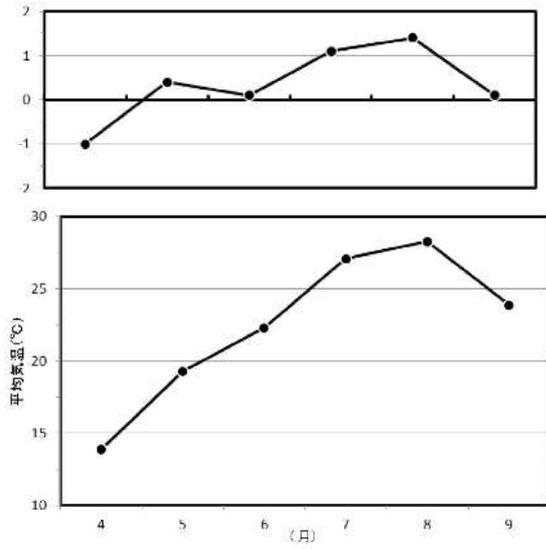


図3 月平均気温の推移と年平均偏差（上段：年平均偏差、下段：月平均気温 アメダス 佐伯）

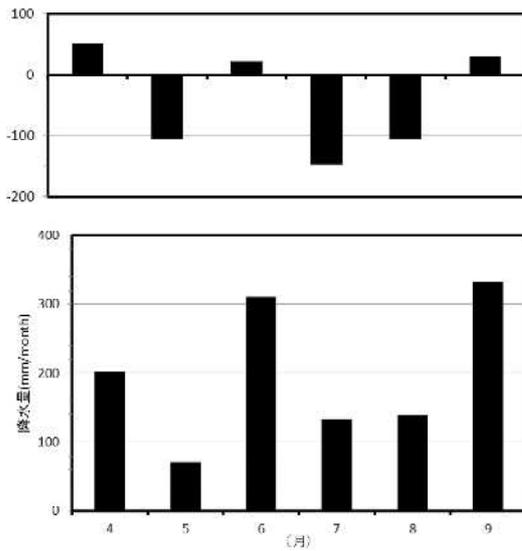


図4 月降水量の推移と年平均偏差（上段：年平均偏差、下段：月降水量 アメダス 佐伯）

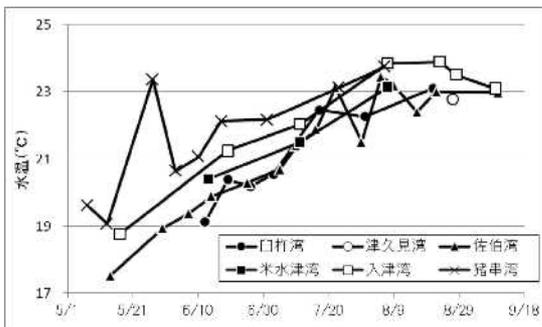


図5 豊後水道各湾の5m層水温の推移

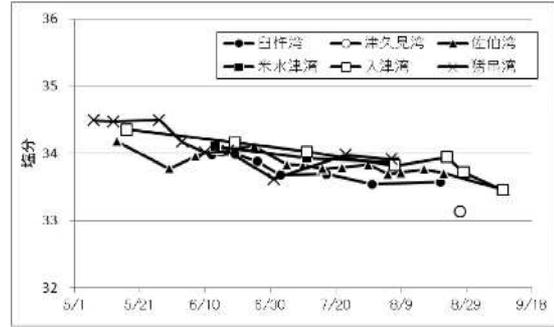


図6 豊後水道各湾の5m層塩分の推移

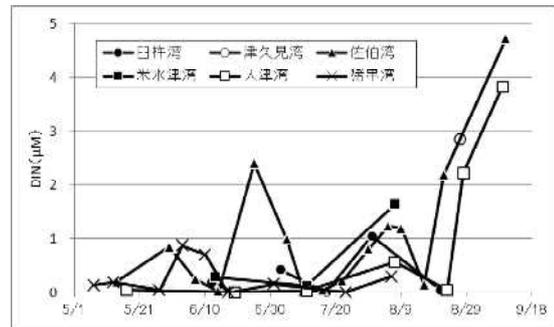


図7 豊後水道各湾の5m層DINの推移

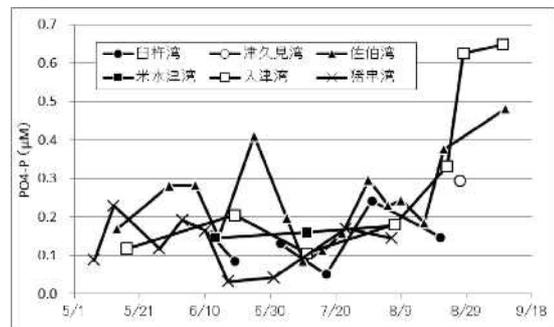


図8 豊後水道各湾の5m層PO4-Pの推移

表1 2013年度豊後水道西岸域および別府湾における赤潮発生状況

整理番号	発生期間			発生海域	赤潮構成プランクトン		漁業被害の有無	最高細胞数 (cells/ml)
	発生日	～	終息日		日数	属		
1	2月4日	～	5月13日	99日間	猪串湾	<i>Cochlodinium polykrioides</i>	無	1,980
2	4月26日	～	5月20日	25日間	名瀬屋湾	<i>Cochlodinium polykrioides</i>	有	1,580
3	5月2日	～	5月20日	19日間	清江湾	<i>Cochlodinium polykrioides</i>	無	410
4	5月14日	～	6月18日	36日間	別府湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	無	288,000
5	5月20日	～	9月27日	131日間	入津湾	<i>Ceratium furca</i>	無	845
6	5月31日	～	6月25日	26日間	佐伯湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	無	128,000
7	6月4日	～	6月19日	16日間	別府湾南部	<i>Heterosigma akashiwo</i>	無	7,000
8	6月10日	～	7月1日	22日間	猪串湾	<i>Cochlodinium polykrioides</i>	無	142
9	6月18日	～	7月11日	24日間	入津湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	無	7,000
10	6月18日	～	7月23日	36日間	猪串湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	無	9,800
11	7月1日	～	7月11日	11日間	周防灘	<i>Chattonella antiqua-marina ovata</i>	無	29
12	7月16日	～	8月22日	38日間	佐伯湾	<i>Karenia mikimotoi</i>	有	20,400
13	8月2日	～	8月26日	25日間	猪串湾、名瀬屋湾	<i>Myrionecta rubra</i>	無	6,000
14	8月2日	～	8月28日	27日間	米水津湾	<i>Myrionecta rubra</i>	無	3,200
15	8月16日	～	8月28日	13日間	佐伯湾	<i>Noctiluca scintillans</i>	無	1,000
16	8月19日	～	8月28日	10日間	津久見湾	<i>Myrionecta rubra</i>	無	2,000
17	8月19日	～	8月28日	10日間	佐伯湾	<i>Myrionecta rubra</i>	無	20,000
18	8月21日	～	9月27日	38日間	入津湾	<i>Gonyaulax polygramma</i>	無	3,000
19	8月21日	～	9月5日	15日間	別府湾	<i>Cheatoeros spp.</i>	無	38,560
20	8月26日	～	8月28日	3日間	猪串湾	<i>Gonyaulax polygramma</i>	無	2,300
21	12月2日	～	12月6日	5日間	佐伯湾	<i>Akashiwo sanguinea</i>	無	560
22	1月8日	～		継続中	猪串湾	<i>Cochlodinium polykrioides</i>	無	2,150
23	2月26日	～	2月28日	3日間	佐伯湾	<i>Myrionecta rubra</i>	無	42,400
24	3月13日	～	3月17日	5日間	米水津湾	<i>Myrionecta rubra</i>	無	1,400

有害種は注意密度を超えた場合に赤潮として記載した。

3) 赤潮発生状況

表1は赤潮発生状況の一覧を示したものである。赤潮発生件数は23件で内2件で漁業被害が発生した。赤潮構成プランクトンは*Myrionecta rubra* 6件、*Heterosigma akashiwo* 5件、*Cochlodinium polykrioides* 5件、*Gonyaulax polygramma* 2件、*Karenia mikimotoi*、*Noctiluca scintillans*、*Ceratium furca*、*Cheatoeros spp.*、*Akashiwo sanguinea* 各1件であった。

4) 特記事項

C.polykrioides (整理番号1) は冬季の低水温時から遊泳細胞が認められ、1月下旬～4月上旬まで、やや増加で推移した。その後4月中旬に一時的な水温低下と、降雨による塩分の低下が認められた際に、急激に個体群密度が増加し赤潮形成および分布域の拡大が観測された。

C.polykrioides (整理番号21) は11月下旬から遊泳細胞が認められ、冬季の低水温時に細胞密度の増加が観察され、2月2日に最高細胞密度 (2,600 cells/ml) が観測された。

K. mikimotoi は佐伯湾のみで赤潮が確認された。初認は6月下旬であり、例年よりやや遅かった(図9)。初認後、7月中旬に南部沿岸域の中層で本種の濃密度層が認められ、7月29日、30日には南部から西部沿岸の広範囲に濃密度層が中層で観測され、一部は表層に上昇し着色が海面から確認された。8月上旬には西部沿岸でさらに増殖し、今季の最高細胞密度 (20,400 cells/ml) が認められた。その後8月中旬には終息した。

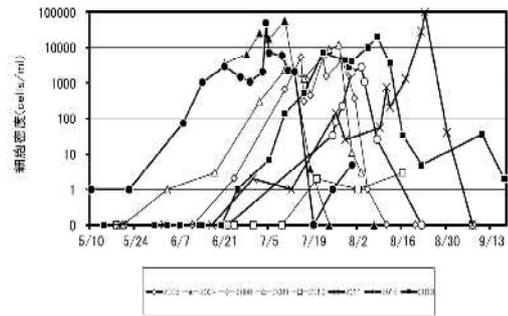


図9 佐伯湾の2006年～2013年夏季における *K. mikimotoi* の最高細胞密度の推移

5) 各湾における有害プランクトン発生状況

各湾の有害赤潮プランクトンの出現の概況については、図10にまとめたとおりである。なお、細胞密度は調査期間中の最高細胞密度である。

別府湾：*K. mikimotoi*は1 cells/ml（6月19日）、*H. akashiwo*は2,525 cells/ml（6月6日）、*Ch.spp*と*C.polykrikoides*は未確認であった。

臼杵湾：*K. mikimotoi*は1 cells/ml（7月10日）、*H. akashiwo*は5 cells/ml（6月12日）、*C.polykrikoides*は2 cells/ml（7月17日）、*Ch.spp*は未確認であった。

津久見湾：有害赤潮プランクトンは確認されなかった。

佐伯湾：*K. mikimotoi*は20,400 cells/ml（8月8日）、*H. akashiwo*は57,200 cells/ml（6月4日）、*C.polykrikoides*は8 cells/ml（6月14日）、*Ch.spp*は1 cells/ml（8月9日）であった。

米水津湾：*K. mikimotoi*は3 cells/ml（8月7日）、*H. akashiwo*は60 cells/ml（6月13日）、*Ch.spp*と*C.polykrikoides*は未確認であった。

入津湾：*K. mikimotoi*は6 cells/ml（8月7日）、*H. akashiwo*は6,250 cells/ml（6月18日）、*Ch.spp*と*C.polykrikoides*は未確認であった。

蒲江南部海域：*K. mikimotoi*は2 cells/ml（8月26日）、*H. akashiwo*は9,800 cells/ml（7月9日）、*C.polykrikoides*は1,580 cells/ml（5月2日）、*Ch.spp*は未確認であった。

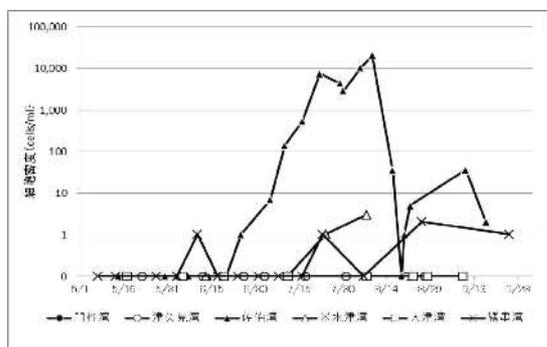


図10 豊後水道各湾の*K. mikimotoi*の最高細胞密度の推移

II. 広域赤潮監視調査

2013年6月と7月に行った有害プランクトンの調査結果は以下に示したとおりである。

6月（6月3～6日）：*Ch.spp*、*K. mikimotoi*は未検出であった。*H. akashiwo*は未検出～3,650 cells/mlの範囲で分布し、周防灘（St. K）、伊予灘（St. 1, 7, 8, 12）、別府湾（St. 16～18, 20～29、ア、イ）で確認された。
7月（7月1～4日）：*Ch.spp*は未検出～14 cells/mlの範囲で分布し、周防灘（St.E, G, H, K）、伊予灘（未検出）、別府湾（St. 25）で確認された。*K. mikimotoi*、*H. akashiwo*は未検出であった。

III. 指導事業

1) 赤潮担当者会議

開催日：2013年5月22日

開催場所：水産研究部大会議室

出席者：28人（佐賀関以南の漁協各支店、市役所、振興局、県庁）

2) 講師派遣

平成25年度赤潮講習会（JF大分佐伯支店）

開催日：2013年6月7日

出席者：10名 漁業者、市役所

講師：宮村和良

豊後水道北部海域赤潮研究会

開催日：2013年6月21日

出席者：17名 漁業者、管内漁協各支店
市役所

講師：宮村和良

3) 赤潮情報・緊急赤潮情報の発行回数

・赤潮情報：13回

・緊急赤潮情報：20回

漁場環境保全推進事業（貝毒）

野田誠・宮村和良

事業の目的

近年、貝毒原因プランクトンの発生や、それに伴う二枚貝の毒化がしばしば報告されている。本県佐伯市南部沿岸域においてもヒオウギガイ、アサリ、ムラサキイガイで麻痺性貝毒プランクトンによる毒化が問題となった経緯がある。本事業の目的は、貝毒原因プランクトンをモニタリングすることで二枚貝の毒化を監視し、食品としての安全性を確保することである。

事業の方法

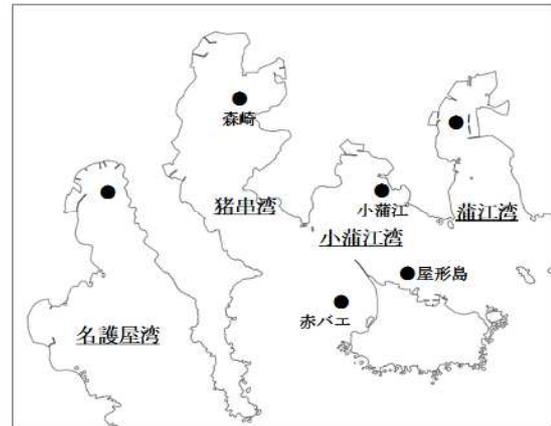
1) 猪串湾、小蒲江湾

佐伯市蒲江にある猪串湾、小蒲江湾において調査点5点を設置し（図1）、2013年4月から2014年3月の間に毎月1回～4回の採水および環境調査、さらに二枚貝の採取を行った。森崎では表層、2m層、5m層、10m層および海底上1m層を採水し、その他の点では表層および3m層を採水した。水温、塩分の測定は猪串湾0.5m層から海底まで0.1m毎にCTD（JFEアドバンテックAAQ-125）を用いて行った。二枚貝は小蒲江および赤バエ（避難漁場）では養殖ヒオウギガイを、森崎では野生ムラサキイガイを採取した。採水した海水は直ちに実験室に持ち帰り、孔径10 μ mのプランクトンネットを用いて100倍に濃縮後、固定せずに光学顕微鏡を用いて貝毒原因プランクトンの同定、計数を行った。採取した二枚貝は、既報に従い貝毒成分を抽出後、ELISA法で分析を行った。また、ELISA法で得られる毒量(nmol/g)をマウスアッセイ法で得られる毒力(MU/g)と比較するために用いる計数は、既報に基づき*Alexandrium catenella*が確認された期間(2013年11月5日～2014年2月10日)は0.9、それ以外の期間は0.3を用いた。

2) 名護屋湾、蒲江湾

各湾の調査点（図1）で、養殖イワガキの出荷時期に表層および3m層の採水を行った（水深の浅い海域では表層のみ）。採水した海水は、1)と同様な方法で、貝毒原因プランクトンの同定、計数を行った。

採水は水産改良普及指導員が行った。



出典：国土地理院ウェブサイト（<https://maps.gsi.go.jp/>）を加工して作成

図1 調査点

事業の結果

I. 貝毒原因プランクトン出現状況

1. 猪串湾、小蒲江湾

1) *Gymnodinium catenatum*

各調査点の*G. catenatum*の鉛直平均細胞密度の推移は図2に示した通りである。森崎はN.D.(4 cells/ml以下)～58,814 cells/L、鵜の糞はN.D.(10 cells/L以下)～3,280 cells/L、赤バエはN.D.(10 cells/L以下)～50 cells/L、屋形島はN.D.(10 cells/L)～80 cells/L、小蒲江はN.D.(10 cells/L以下)～80 cells/Lで推移した。猪串湾の森崎、鵜の糞では、4月～6月にかけてと3月に細胞密度の高い期間が認められた。本種の出現時期は例年3～5月にピークを迎えるが、今年度は例年に比べ出現が遅かった（図3）。

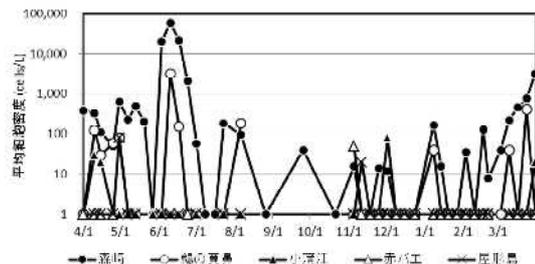


図2 猪串湾、小蒲江湾における各調査点の *G. catenatum* 細胞密度の推移

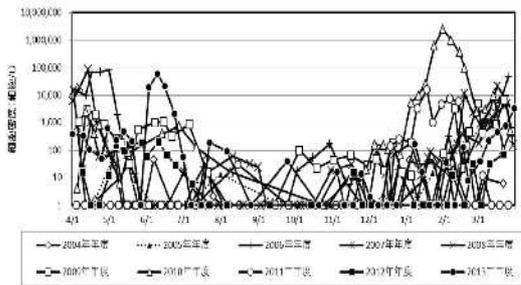


図3 2004年～2013年の猪串湾森崎地区における *G. catenatum* 細胞密度 (5層平均) の推移

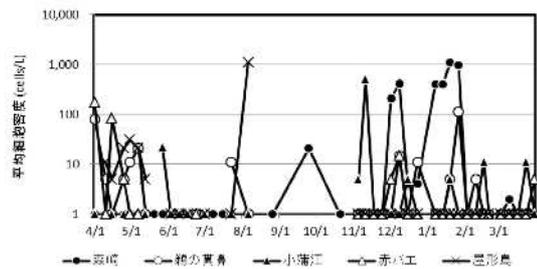


図5 猪串湾、小蒲江湾における各調査点の *Dinophysis spp.* 細胞密度の推移

2) *Alexandrium catenella*

各調査点の *A. catenella* の鉛直平均細胞密度の推移は図4に示した通りである。森崎はN.D.(4 cells/L以下)～111,211 cells/L、鵜の糞はN.D.(10 cells/L以下)～2,141 cells/L、赤バエはN.D.(10 cells/L以下)～151 cells/L、屋形島はN.D.(10 cells/L以下)～611 cells/L、小蒲江はN.D.(10 cells/L以下)～1,133 cells/Lで推移した。11月上旬～12月中旬の各期間にピークが確認された。今年度は例年に比べ早期に本種の増殖が確認された。

3) *Dinophysis spp.*

各調査点の *Dinophysis spp.* の鉛直平均細胞密度の推移は図5に示した通りである。森崎はN.D.(4 cells/L以下)～1,112 cells/L、鵜の糞はN.D.(10 cells/L以下)～115 cells/L、赤バエはN.D.(10 cells/L以下)～175 cells/L、屋形島はN.D.(10 cells/L以下)～1,115 cells/L、小蒲江はN.D.(10 cells/L以下)～511 cells/Lで推移した。100 cells/Lを超えた期間は12月上旬、1月上旬～下旬であった。

2.その他の海域

1) *Gymnodinium catenatum*

G. catenatum の鉛直平均細胞密度の推移は図6に示した通りである。名護屋湾ではN.D.(10 cells/L以下)～5,251 cells/Lで推移した。蒲江湾ではN.D.(10 cells/L以下)～155 cells/Lで推移した。

2) *Alexandrium catenella*

A. catenella の鉛直平均細胞密度の推移は図7に示した通りである。名護屋湾ではN.D.(10 cells/L以下)～6,111 cells/Lで推移し、11月上旬から急増した後、2月中旬まで1,000 cells/Lを超える期間が多く確認された。蒲江湾ではN.D.(10 cells/L以下)～6,111 cells/Lで推移し、11月下旬、12月上旬に1,000 cells/Lを超えた。

3) *Dinophysis spp.*

Dinophysis spp. の鉛直平均細胞密度の推移は図8に示した通りである。名護屋湾ではN.D.(10 cells/L以下)～371 cells/Lで推移し、蒲江湾はN.D.(10 cells/L以下)であった。

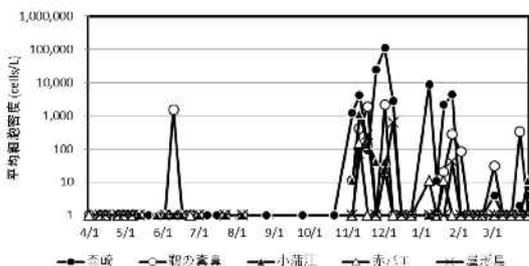


図4 猪串湾、小蒲江湾における各調査点の *A. catenella* 細胞密度の推移

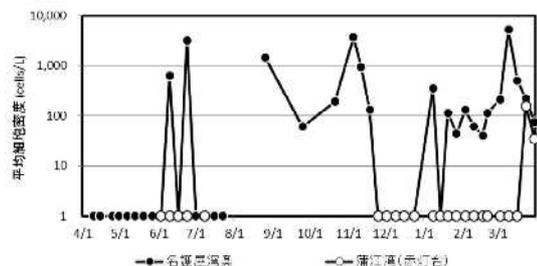


図6 名護屋湾、蒲江湾における *G. catenatum* 細胞密度の推移

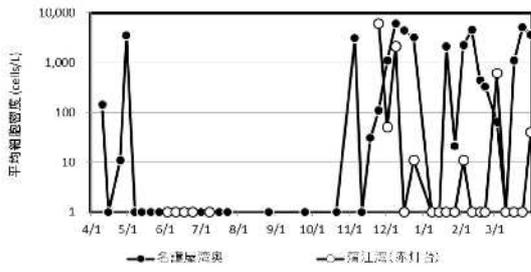


図7 名護屋湾、蒲江湾における*A. catenella*細胞密度の推移

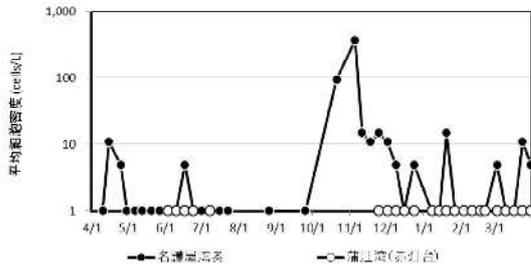


図8 名護屋湾、蒲江湾における*Dinophysis spp.*細胞密度の推移

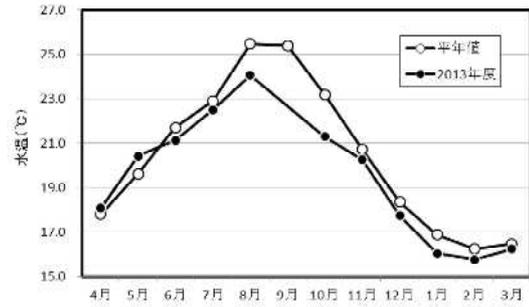
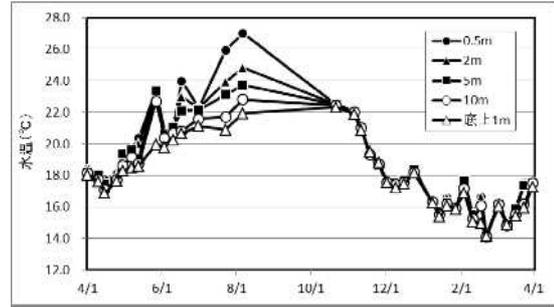


図9 2013年度猪串湾における各層水温の推移（上段）と平年値との比較（下段）。平年値は2000年1月～2012年12月の期間の0.5m、2m、5m、底上1mの各層の値を平均した。

II. 環境

1) 水温

各層水温の推移および平年値との比較は図9に示した通りである。各層水温は、0.5m層が14.1℃～27.0℃、2m層が14.2℃～24.8℃、5m層が14.1℃～23.7℃、10m層が14.1℃～22.8℃、底上-1m層が14.1℃～22.3℃で推移した。最高水温は8月に、最低水温は2月下旬に観測された。成層は4月中旬から8月まで認められた（9月は欠測）。月平均水温は4月、5月が平年より高めで推移した以外は、平年より低めで推移した。

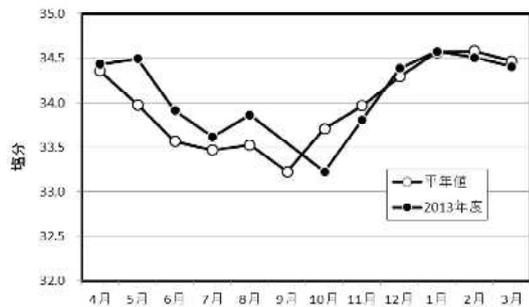
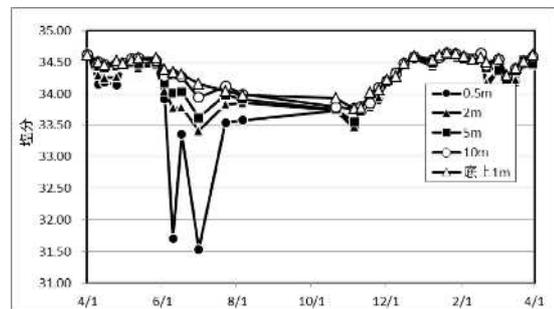


図10 2013年度猪串湾における各層塩分の推移（上段）と平年値との比較（下段）。平年値は2000年1月～2012年12月の期間の0.5m、2m、5m、底上1mの各層の値を平均した。

2) 塩分

各層塩分の推移および平年値との比較は図10に示した通りである。各層塩分は、0.5m層が31.53～34.65、2m層が33.41～34.65、5m層が33.55～34.63、10m層が33.76～34.64、底上-1m層が33.76～34.65で推移した。最低塩分は0.5m層、2m層で7月上旬、5m層、10m層、底上-1m層で11月上旬に観測された。最高塩分は0.5m層、2m層で2月中旬、5m層、10m層、底上-1m層で1月中旬に観測された。月平均塩分は4月～8月、12月、1月は平年より高め、それ以外の月は平年より低めで推移した。

Ⅲ. 二枚貝毒化状況

1. 猪串湾

ムラサキガイの麻痺性貝毒毒力の推移は図11に示した通りである。毒力はN.D. (0.1 MU/g以下)～261.3 MU/gで推移した。11月下旬から毒力が急増し12月上旬にピークを迎えたがその後減少し、1月中旬まで低い毒力で推移したが、1月下旬に再び増加し112.9 MU/gに達した。毒力の増減と*A.catenella*の増減が類似することから、本種が毒力増加の原因と考えられた。

2. 小蒲江湾、赤バエ

小蒲江および赤バエの各漁場の養殖ヒオウギガイの毒力の推移は図12に示した通りである。各漁場のヒオウギガイの毒力は、小蒲江は0.7～14.5 MU/g、赤バエは0.3～5.2 MU/gで推移した。なお*A.catenella*の出現に伴い、貝の毒力が増加した11月～3月の期間は、養殖ヒオウギガイは避難漁場の赤バエから出荷された。

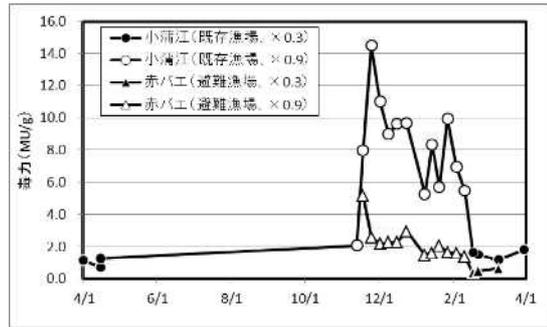


図12 小蒲江および赤バエの養殖ヒオウギガイの毒力の推移（11月5日～2月10日の期間は係数0.9

図中：○、その他の期間は係数0.3 図中：●）

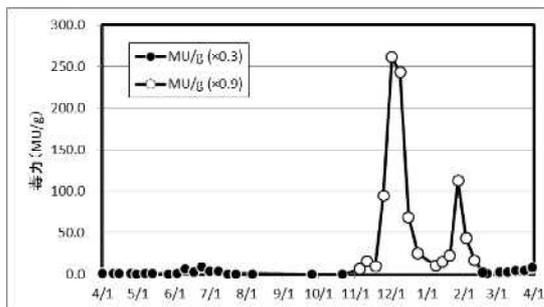


図11 猪串湾森崎の天然ムラサキガイの毒力の推移（11月5日～2月10日の期間は係数0.9 図中：○、その他の期間は係数0.3 図中：●）

赤潮に強い養殖生産に向けた支援技術開発

宮村和良・野田誠

事業の目的

大分県沿岸では有害プランクトンが原因とされる赤潮や二枚貝の毒化（貝毒）が度々発生し、水産業に与える被害が問題となっている。赤潮・貝毒ともに、有害プランクトンの現場監視による発生予報、現地指導によって、迅速な対応（給餌制限や避難など）が可能になっている。しかしながら、近年の環境変化によって、発生件数、出現密度とも増加傾向にあり、従来の対策だけで被害を完全に防止することは困難になっており、生産現場から新たな技術開発が望まれている。そこで本研究では、有害プランクトンによる被害を最小限に抑えるため、環境に優しく、効果的な有害プランクトンの増殖抑制技術、および貝毒軽減のための養殖手法について検討した。なお貝毒毒化軽減技術手法の開発試験結果は赤潮・貝毒に負けない養殖業支援事業（ヒオウギガイ毒化軽減対策）に記載した。

事業の方法

1. 競合プランクトン（珪藻）密度分布の把握、発芽条件の検討、および現場珪藻発芽実験

1) 珪藻シスト密度調査

佐伯湾沖松浦漁港内（図1）において2013年6月24,25日に柱状採泥器を用いて海底泥を採取した。表層から1cm深までを採取した泥は、現地でプラスチック容器に収容した後、遮光して実験室に持ち帰った。試料泥は冷暗所（7℃）で1-3ヶ月間保管した後、珪藻シスト計数実験に供した。珪藻シストの計数はMPN法を用い、SWM-3改変培地に泥を添加し、培養庫（温度20℃ 明暗周期14hL:10hD）で培養を行った。

2) 珪藻発芽条件の検討

水産研究部の筏において2013年5月～8月の期間に3回（5月20日～30日、6月24日～7月4日、7月29日～8月8日）珪藻発芽試験を行った。実験試料は実験当日に沖松浦漁港でコア採泥器（内径36mm）を用いて採取した海底泥および海底直上海水（直上30cm層）である。また、ポリ塩化ビニール製ホース（内径38mm）を用いて表層から海底直上1m深までの

柱状海水を採水した。柱状海水はホースを海面から垂直に静かに懸垂させ海底上1mに到達させた後、その上端をゴム栓で密栓して、ゆっくり引き上げ、下端を海面下でゴム栓を密栓し採水した。海底泥は表層から1cm層を葉サジで採取し、現地で軟膏瓶に遮光密閉封入し、海底直上海水および柱状海水は各ポリ容器に収容し持ち帰った。柱状海水はガラスファイバーフィルター（GF-F）でろ過し、海底泥および海底直上水の懸濁用海水として用いた。

2Lペットボトルを実験容器として用い4実験区を設定し、水産研究部筏直下の9m層に垂下し、10日間の培養試験を行った。各実験区の内訳は①泥添加区（海底泥2g+ろ過海水2L）、②泥+栄養塩添加区（海底泥2g+ろ過海水1.9L+SWM-3培地0.1L）、③海水添加区（海底直上海水0.02L+ろ過海水1.98L）、④海水+栄養塩添加区（海底直上海水0.02L+ろ過海水1.88L+SWM-3培地0.1L）である。実験開始から1, 2, 4, 7, 10日目に各容器から副試料200mlを採集して固定を行い、植物プランクトン組成、栄養塩濃度（NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P、SiO₂-Si）、Chl.aの各測定に供した。また同時にデータロガーを用いて1分間隔の水温（9m深）、空中光量子束密度を測定した。

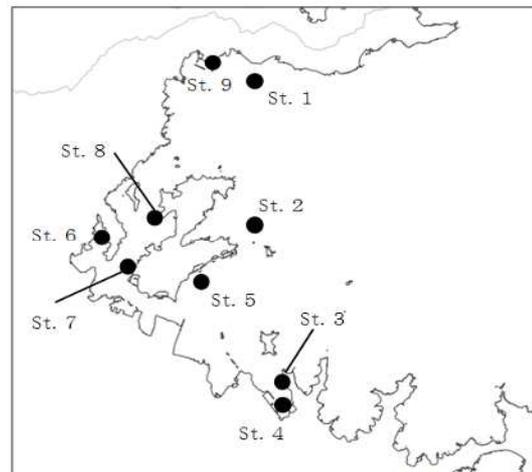


図1 調査点（St.1長田沖、St.2片白島沖、St.3小田代、St.4沖松浦漁港、St.5石間、St.6霞ヶ浦、St.7守後、St.8片神、St.9水研部筏）

実験水深の光量子束密度は9:00～17:00の平均空中光量子束密度から減光率（0.09）を掛けて求めた。

3) 現場珪藻発芽実験

2013年5月21日の9:50 a.m.～11:30 a.m.（100分間）に佐伯湾沖松浦漁港内においてサンドポンプ（鶴見製作所HSD2.55S）を用いて、海底泥の珪藻を発芽増殖させる目的で海底泥の散布試験を行った。泥散布作業に移動した距離はGPSによる軌跡から求め、海底泥の散布推定量は、排出される海水の比重から海底泥を算出し、ポンプ駆動時間を掛けることによって求めた。また泥散布効果を調査するため散布前日から定期的に表層、2m層、5m層、10m層の採水および多項目水質計による環境調査を行った。採水した海水は植物プランクトンの同定、計数およびChl.a、栄養塩の分析に供した。

II. 高感度検出による*K. mikimotoi*の検出

2012年11月～2013年3月の毎月、佐伯湾の沖松浦漁港および水産研究部役において、海底直上水（直上1cm層）と海面～海底直上1m（水深 約10m）の柱状海水の採水を行った。海底直上水はナイロンチューブ（外径1cm 内径0.8 cm）を海底に降ろし他端を引圧ポンプによって減圧し採取した。柱状海水の採水はI. 2)と同方法で行った。各方法で採水した海水は一部を有害プランクトンの検鏡用海水とし、残りの海水をメンブランフィルター（OMNIPORE MEMBRANE FILTERS 孔径5μm）で濾過後、濾紙を-40℃で冷凍保存し高感度検出用試料とした。有害プランクトンの検鏡は濃縮を行わず、光学顕微鏡下で行った。*K. mikimotoi*の高感度検出はリアルタイムPCR法を用いて行い、愛媛大学南予水産研究センターに委託した。

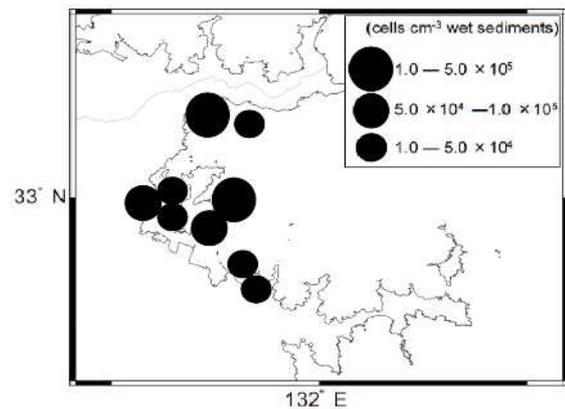
事業の結果

I. 競合プランクトン（珪藻）密度分布の把握、発芽条件の検討、および現場珪藻発芽実験

1) 珪藻シスト密度分布

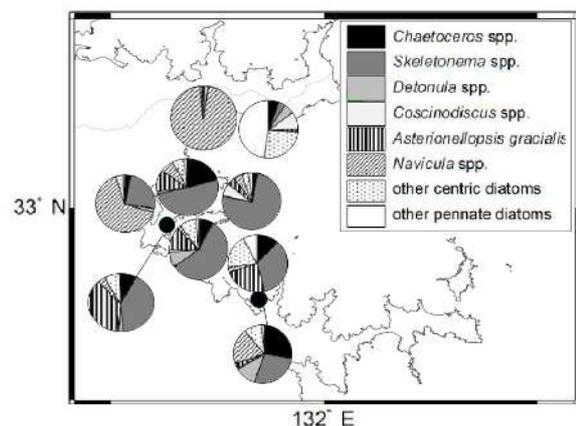
佐伯湾9地点の海底堆積物における珪藻類休眠期細胞の密度は図2に示した通りである。MPN法で推定された佐伯湾の海底堆積物における珪藻類の全体休眠期細胞数は、湿泥1cm³当り、Stn. 1で4.3 × 10⁴ cells, Stn. 2で2.1 × 10⁵ cells, Stn. 3で3.3 × 10⁴ cells, Stn. 4で2.9 × 10⁴ cells, Stn. 5で6.1 × 10⁴ cells, Stn. 6で5.4 × 10⁴ cells, Stn. 7で2.9 × 10⁴ cells, Stn. 8で2.7 × 10⁴ cells, Stn. 9で9.6 × 10⁴ cellsであった。全体休眠期細胞数はStns. 6と9を除いて、湾中心部の水深の深い地点で多い傾向が見られた。採取した堆積物に

おける主要な珪藻類休眠期細胞の構成比は図3に示した通りである。Stn. 1で中心目珪藻類の*Coscinodiscus*が32%, *Chaetoceros*が18%, *Detonula*が18%, *Skeletonema*が11%であった。Stn. 2で中心目珪藻類の*Skeletonema*が75%, *Coscinodiscus*が7%であった。Stn. 3で中心目珪藻類の*Skeletonema*が34%, *Chaetoceros*が12%, 羽状目珪藻類の*Asterionellopsis*が24%であった。Stn. 4で*Chaetoceros*が27%, *Skeletonema*が27%, *Navicula*が19%, *Detonula*が11%であった。Stn. 5で*Skeletonema*が58%, *Asterionellopsis*が13%であった。Stn. 6で*Navicula*が65%, *Skeletonema*が24%であった。Stn. 7で*Skeletonema*が41%, *Asterionellopsis*が37%であった。Stn. 8で*Skeletonema*が51%, *Chaetoceros*が20%, *Asterionellopsis*が12%であった。Stn. 9では羽状目珪藻類の*Navicula*が96%を占めた。全ての地点において中心目珪藻類の*Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Detonula*, 及び*Coscinodiscus*と羽状目珪藻類の*Asterionellopsis*と*Navicula*の出現が顕著であった。



出典：国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/>) を加工して作成

図2 海底堆積物における珪藻類の全体休眠期細胞数



出典：国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/>) を加工して作成

図3 珪藻類休眠期細胞の構成比

2) 珪藻発芽条件

平均水温は第1回は17.64～20.07℃、第2回は20.05～20.58℃、第3回は20.98～23.15℃で推移した。光量子束密度は第1回は26～177 $\mu\text{M}/\text{m}^2/\text{s}$ 、第2回は38～107 $\mu\text{M}/\text{m}^2/\text{s}$ 、第3回は82～190 $\mu\text{M}/\text{m}^2/\text{s}$ で推移した。第1回～3回のChl.a濃度の推移は図4に示したとおりである。泥添加区は第2回で4日目に10.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ を超えるChl.a濃度の上昇が確認されたが、他の回では、7日目以降に僅かな増加が確認された。泥+栄養塩添加区では全て一回でChl.a濃度が10.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ 以上に上昇した。海水添加区ではChl.a濃度の増加は確認されなかった。海水+栄養塩添加区では第1回は7日目以降に、第2、3回は10日目にChl.a濃度の増加が確認された。なおChl.a濃度の増加した区ではすべて珪藻類が増殖、優占していた。以上の結果から、水深9mの光条件下でも海底泥および海底直上海水に栄養塩を添加することによって珪藻類の発芽増殖は可能であると考えられる。

泥添加区のDIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ の各栄養塩濃度は図5に示したように、発芽増殖が確認された第2回の実験開始時の各栄養塩濃度が最も高く、その後のDINと $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度は経過日数に伴い減少したことから、DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ が珪藻の発芽、増殖に利用されたと考えられる。さらに珪藻類が減少した4日目以降のDIN/ $\text{PO}_4\text{-P}$ 比は急減したことから、珪藻類の減少はDINの枯渇が原因で、DINが律速要因と考えられる。以上のことから本海域の海底泥を使用して珪藻を発芽増殖するには、窒素比率を上げる栄養塩の添加が有効と考えられる。

3) 海底泥散布による珪藻発芽

本実験で散布した海底の推定泥量は166.5kg、航路距離は1.1kmであった。2013年5月20日から5月28日の沖松浦の各層における水温、塩分及び光量子束密度の推移は図6に示した通りである。調査期間中、沖松浦の各層における水温は、表層で17.8～20.7℃、2 m層で17.7～19.5℃、5 m層で17.6～18.8℃、10 m層で17.5～17.9℃の範囲で推移した。水温は表層で変動が大きく、水深が深くなるにつれて低くなる傾向を示し、試験開始から5日目まではやや成層化していたが、6日目と7日目には表層から10 m層までの水温がほぼ同じになった。塩分は、表層で33.6～64.2、2 m層で33.6～34.6、5 m層で34.0～34.2、10 m層で33.2～34.2の範囲で推移し、実験開始から-1日目と0日目には表層から10 m層までほぼ同じ値を示していたが、1～5日目までは水深が深くなるほど高塩分となる弱い成層がみられた。6日目と7日目に表層から10 m層までほぼ均一であった。光量子束密度は、表層で23.7～905.7 $\mu\text{M}/\text{m}^2/\text{s}$ 、2 m層で10.5～275.9 $\mu\text{M}/\text{m}^2/\text{s}$ 、5 m層で2.9～146.2 $\mu\text{M}/\text{m}^2/\text{s}$ 、10 m層で0.6～2

2.3 $\mu\text{M}/\text{m}^2/\text{s}$ の範囲で推移し、実験開始後4日目に最高値が観測され、8日目には値が急激に低くなる傾向が認められた。水温、塩分の推移から実験開始の6日目以降の5月27日に気象が荒天となり、攪拌が生じたと推測される。

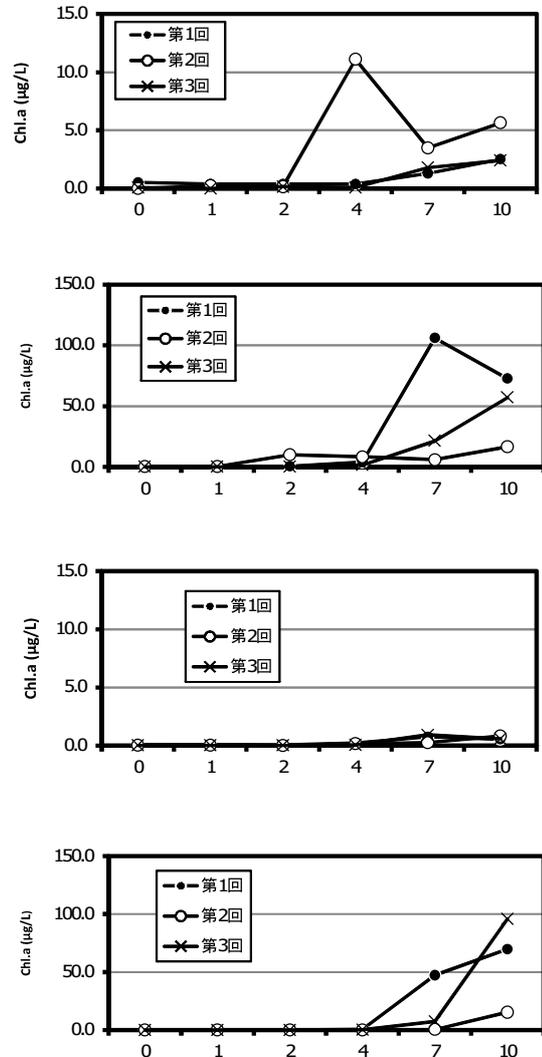


図4 水産研究部筏の水深9mに設置したペットボトル内のChl.a濃度 ($\mu\text{g}/\text{L}$) の推移 (一段目 泥添加区、二段目 泥+栄養塩添加区、三段目 海水添加区、四段目 海水+栄養塩添加区)

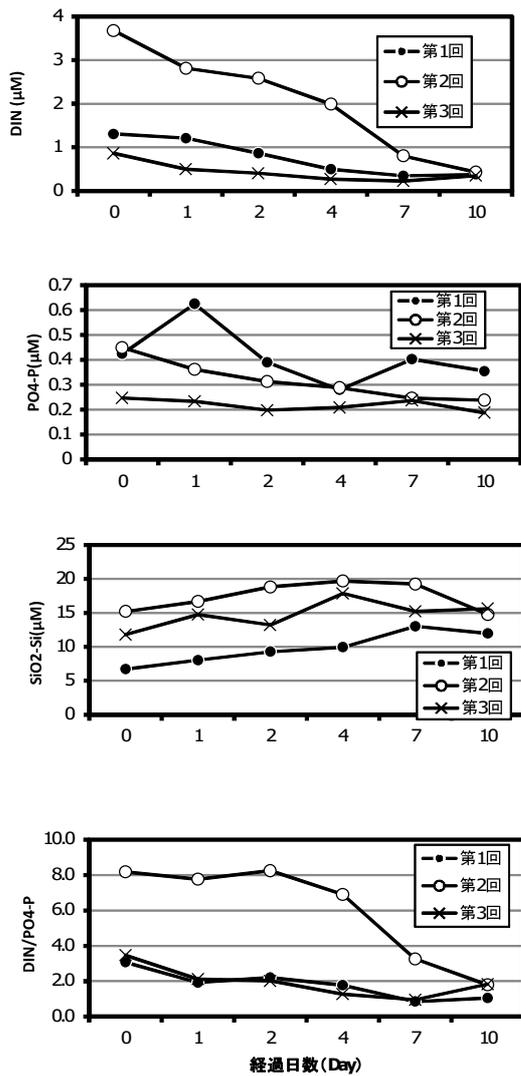


図5 泥添加区の各種栄養塩の推移とDINとPO₄-Pの比率の推移 (一段目 DIN、二段目 PO₄-P、三段目 SiO₂-Si、四段目 DIN/PO₄-P)

水質のDIN、PO₄-P、及びSiO₂-Siの各層における推移を示したものが図7である。DINは、表層で0.62–3.01 μM、2 m層で0.08–0.51 μM、5 m層で0.14–0.35 μM、10 m層で0.09–1.25 μMの範囲で推移し、表層と10 m層において高くなっていた。PO₄-Pは、表層で0.10–0.32 μM、2 m層で0.15–0.32 μM、5 m層で0.14–0.35 μM、10 m層で0.10–1.25 μMの範囲で変化し、表層と10 m層で高かった。SiO₂-Siは、表層で1.52–7.34 μM、2 m層で1.03–7.06 μM、5 m層で1.83–6.66 μM、10 m層で4.40–8.64 μMの範囲で推移し、0–5日目まで底層で高く、6日目以降は表層から10 m層まで値がほぼ等しくなっていた。Chl. a濃度は、表層で0.56–1.74 μg/L、2 m層で0.63–2.15 μg/L、5 m層で0.65–1.35 μg/L、10 m層で0.57–1.15 μg/Lの範囲で推移し、表層で高く、水深が深くなるにつれて

低かった。海底泥捲き上げ後5日目にかけてChl. a濃度は徐々に減少し、6日目以降は表層から10 m層までの値がほぼ等しくなった。2013年5月21日から5月28日の実験区の水柱における植物プランクトンの変動は図8に示した通りである。珪藻類栄養細胞密度は、表層で0–226 cells/mL、2 m層で0–324 cells/mL、5 m層で0–168 cells/mL、10 m層で4–92 cells/mLの範囲で推移した。栄養細胞密度の最大は2 m層で記録された。主要な珪藻類栄養細胞の構成比は0–4日目まで*Chaetoceros* spp. が45–78%を占め、次いで*Leptocylindrus danicus*が3–83%、*Pseudo-nitzschia* spp. が0–35%を占めていた。5日目以降は珪藻類がほとんど検出されず、7日目に*Chaetoceros* spp. が44%を占めただけであった。海底泥の捲き上げによる珪藻類休眠期細胞の顕著な増殖は観測されなかった。これは、2) 珪藻発芽条件の検討での結果から、実験海域の栄養塩の欠乏により、珪藻類の増殖が制限されたことが原因として考えられる。

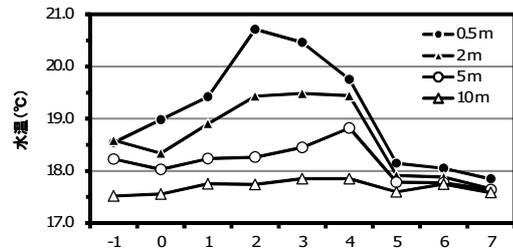
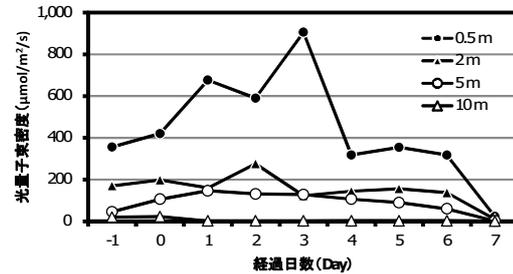
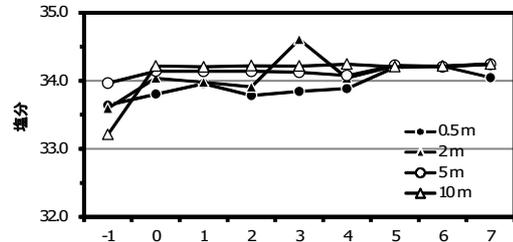


図6 沖松浦漁港内の水深別水温、塩分、光子量



束密度の推移 (上段 水温、中段 塩分、下段 光子束密度)

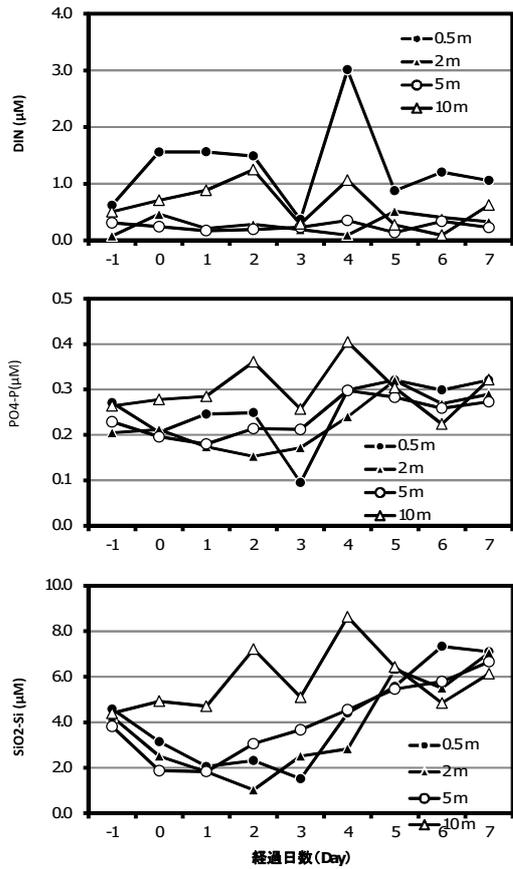


図7 沖松浦漁港内の水深別栄養塩濃度の推移 (上段 DIN、中段 PO4-P、下段 SiO2-Si)

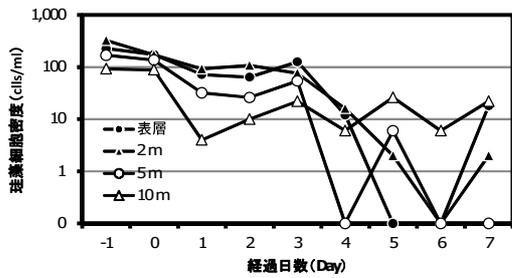


図8 沖松浦漁港内の各層珪藻細胞密度の推移

II. 高感度検出による*K. mikimotoi*の検出

リアルタイムPCR法による検査の結果を示したものが図9である。顕微鏡観察で有害プランクトンは観測されなかったが、リアルタイムPCR法では2月27日の沖松浦の柱状採水で1.7cells/L (0.0017cells/ml) の*K. mikimotoi*が検出された。

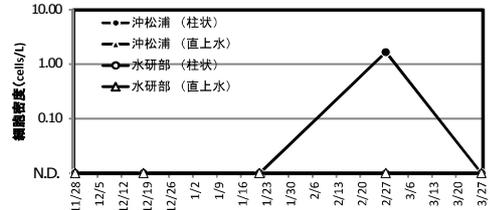


図9 リアルタイムPCR法で検出した沖松浦漁港および水研部筏の海底直上水 (直上1cm層) と柱状海水 (海面～海底直上) 中における*K. mikimotoi*細胞密度の推移。

カレニア等有害赤潮の発生機構解明、被害防止対策一1

赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業 (国庫委託)

宮村和良・野田 誠

本事業の詳細は、平成25年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業報告書の「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」2)一③ーウ 現場マイクロゾムを用いたカレニア等有害赤潮鞭毛藻の動態と環境条件との関係の解明に記載した。本報告はその概要である。

事業の目的

近年、西日本の沿岸域において、*Karenia mikimotoi*や*Chattonella* spp.等鞭毛藻による有害赤潮が頻発しており、甚大な被害が報告されている。これまで直接赤潮を駆除する技術が実用化された例はほとんどなく、現在のところ、発生状況を見ながら、筏の移動、餌止め、出荷等を計画的に実施する「事前対策」が最も有効な被害軽減策である。しかしながら、効率よく事前対策を実施するためには、各海域において赤潮の発達あるいは衰退が起こる際にキーとなる環境条件を事前に特定しておく必要がある。そこで本課題では、近年甚大な被害が発生している豊後水道および八代海において、現場垂下式のマイクロゾムを用いて*Karenia*等有害赤潮鞭毛藻の現場個体群の増殖、他生物群との共存・競合、捕食-被捕食関係とそれらに及ぼす諸環境条件との関係を定量的に明らかにする。これにより、当該海域における赤潮発生機構がより明らかになることはもちろん、複数の環境条件の相乗効果や捕食圧など室内実験では取得困難なパラメータを取得できるので、現存の赤潮シミュレーションモデルを大幅に補強することにもつながる。なお、本課題では有害赤潮鞭毛藻およびそれらの競合種(優占珪藻種)を研究対象とする。大分県豊後水道域では、佐伯湾における*Karenia mikimotoi*に絞って調査を実施した。

事業の方法

佐伯湾松浦漁港において、*K. mikimotoi*の増殖初期～赤潮発生までの12日間(2013年7月12日～24日)、現場海水の垂下式マイクロゾム実験を行った。毎日9:00頃に本種の細胞密度極大層(5.75 m～10 m)から採水し、5 L容のペットボトルに封入してマイクロゾムを作成した。それらを表層と5 m層に垂下し、翌日同時刻に回収した。マイクロゾム内の1日間の細胞密度の変化から見かけの増殖速度を算出した。また、昼間(12:00～13:00)と夜間(21:00～22:00)に、表層から海底まで原則1 m間隔で採水し、調査定点における本種細胞密度の鉛直分布を調べた。同時に、各種データロガーや多項目水質計等を用いて、諸環境条件(水温、塩分、無機態栄養塩濃度、水中光量子量)も計測した。また、朝は*K. mikimotoi*の細胞密度極大層、昼は表層、極大層および海底直上から採取した海水試料について各種従属栄養性プランクトンの定量を行った。海水試料150～250 mlを5%酸性ルゴール液で固定後、3～5 mlまで濃縮し、後日光学顕微鏡下で各種従属栄養性プランクトンを計数した。

事業の結果および考察

松浦漁港における*K. mikimotoi*細胞密度の水柱平均値は21～602 cells/mLの範囲で増減を繰り返しながら、平均すると0.25 div/dayの速度で増加した。また、昼間、細胞密度の極大は期間中平均で5.8 m層に存在し、夜間は多くの場合、海底直上付近に認められ、本種が期間中毎日、日周鉛直移動を行っていたことが示唆された。一方で、マイクロゾム内における本種の見かけの増殖速度は表層では-6.8～0.

53 div./day, 5 m層では-3.0~1.2 div./dayの範囲で推移し、多くの場合、表層よりも5 m層で高かった。7月18日と19日は表層及び5 m層ともに、増殖速度が他の日と比べて明確に低かった。5 m層では、水温が表層と比して3~4°C低く、水温(22°C~24°C)および塩分(一貫して33.3)ともに変動が小さかった。光量子量の日中最高値は表層(0.3 m層)で1165~2116 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と極めて高かったのに対し、5 m層では317~479 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で推移した。調査期間中、松浦漁港における無機態窒素(DIN)およびリン(DIP)濃度はそれぞれ0.5~8.9 μM および0.02~0.5 μM の範囲で推移し、多くの場合、いずれの栄養塩濃度も表層および底層で高かった。係留前のマイクロゾム内のDINおよびDIP濃度はそれぞれ0.7~1.4 μM および0.1~0.2 μM と極めて低い濃度で推移し、1日後のDIN濃度は7月17日まで、DIP濃度は調査期間を通して、減少していた。以上の結果から、調査定点における*K. mikimotoi*個体群については、水温や塩分が安定していて強光阻害が起こらない中層に昼間定位したことで日周鉛直移動により海底付近の栄養塩を利用できたことでその増殖が助長されたと考えられる。しかしながら、マイクロゾム内に

おける見かけの増殖速度の増減、特に減少を明確に説明する物理化学的な環境条件は特定できなかった。

一方で、調査期間中、従属栄養性プランクトンについては、カイアシ類コペポタイドおよびノープリウス幼生、無殻繊毛虫および有殻繊毛虫、その他従属栄養性の渦鞭毛藻類が優占していた。有殻繊毛虫では調査開始時、*Dadayiella ganymedes*が優占していたが、日々増減を繰り返しながら減少していった。無殻繊毛虫では*Strombidium spp.*が多く観察され、19日には表層で9750 inds./Lまで急増したが、その後減少した。また、従属栄養性の渦鞭毛藻*Noctiluca scintillans*が18~23日に250 inds./L以上の高い個体密度で推移し、極大層に多く分布する傾向が認められた。マイクロゾム実験において*K. mikimotoi*の見かけの増殖速度が大きく減少した7月18~19日は、*Strombidium spp.*や*N. scintillans*の個体密度の上昇時期と一致していた。以上のことから、佐伯湾において従属栄養性プランクトンの動態が*K. mikimotoi*細胞密度の減少に密接に関与する可能性があることが示唆された。

カレニア等有害赤潮の発生機構解明、被害防止対策－2

赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業 (国庫委託)

宮村和良・野田 誠

本事業の詳細は、平成25年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業 報告書「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」2)－④－イ 中層定位時（初期発生時）における有害赤潮鞭毛藻の物理的駆除に記載したので、本報告はその概要のみを記載した。

事業の目的

近年、豊後水道など西日本の沿岸域において *Karenia mikimotoi* 等鞭毛藻による有害赤潮が頻発しており、その未然防止策の構築あるいは駆除技術の開発が急務である。多くの有害赤潮藻類は日周鉛直移動を行い、通常昼間表層に定位するが、*Karenia*等一部の有害種は赤潮発生初期～発達段階において増殖に好適な環境が存在する亜表層～中層に定位し、細胞密度を増大させることが知られている。そこで、本課題では、このような有害種の生理的特徴に着目し、赤潮初期段階で細胞を駆除する技術を確立することを目的とする。具体的には、まず、シーアンカー等を用いて、中層に定位している細胞を強光や低塩分等の増殖に不適な環境が存在する表層へ浮上させ、光合成・増殖の停止や死滅を誘導する技術開発を目指す。そのために、長年の精力的なモニタリングにより *Karenia* 赤潮等の初期発生海域および拡大パターンがある程度特定されている佐伯湾をモデルフィールドとし、シーアンカー等を改造して効率よく細胞を浮上させる装置の開発を行う。また、浮上した細胞の増殖停止・死滅が起こる環境条件（光環境や塩分など）等を把握し、本技術の効力が十分発揮される適用条件を特定する。

事業の方法

(1) 佐伯湾における中層赤潮の監視および表層・細胞定位層における環境条件の把握（大分水研、瀬

戸内水研）

佐伯湾の *Karenia* 赤潮等の初期発生海域において、CTDおよび採水を行い、*Karenia*等の中層増殖をモニタリングし、細胞が定位している水深層の諸環境条件（PAR強度、可視光波長別強度、UV-A、B強度、水温、塩分、DO）を調査する。

(2) 佐伯湾における中層赤潮浮上技術の開発（大分水研）

赤潮鞭毛藻類の濃密度層が確認された際に、試作した中層赤潮浮上装置を使用し、細胞およびクロロフィルの鉛直分布の変化を観測し、細胞の浮上状況を確認する。装置の構造や使用方法の改変と細胞浮上状況の確認作業を繰り返して浮上効率を上げていく。

(3) *Karenia*等赤潮鞭毛藻類の増殖停止・死滅が起こる光および塩分条件の特定（瀬戸内水研）

中層から表層へ移送された細胞は光環境（強度、波長構成）および塩分の急激の変化を経験する。室内において、異なる強度や波長の光条件あるいは塩分変化（塩分の急激な低下）を細胞に与え、生残率や増殖を計測する。なお、本年度の対象種は *K. mikimotoi* とし、詳細な実験条件の設定は(1)の調査結果を参考にする。

事業の結果・考察

(1) 佐伯湾における中層赤潮の監視および表層・細胞定位層における環境条件の把握

① *K. mikimotoi* 最高細胞密度の推移

本種は6月下旬に初認された後、徐々に増加して7月10日には中層で濃密度が確認された。細胞密度は変動しながらさらに増加し、7月22日には7,400 cells/mlに達した。その後、8月中旬に減衰した。

② *K. mikimotoi* 濃密度層の日周鉛直移動と光環境の関係

自動昇降式多項目水質計による観測の結果、クロロフィル蛍光値の極大層は日の出後～正午過ぎに上昇し、その後夜間まで下降した。7月26日～7月30日までの期間、極大層は表層に達したが、それ以外の期間は極大層の上昇が約5 m層付近にとどまった。定期的な採水検鏡の結果、調査期間を通してクロロフィル蛍光値の極大層には*K. mikimotoi*が優占していたので、極大層の移動は*K. mikimotoi*の日周鉛直移動を反映したものと推察される。クロロフィル極大層が表層付近まで達した時期は天候が悪く、昼間の光量子量が小さかったのに対し、それ以外の期間は晴天の日が多く、日中は $3,000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上の高い値が観測された。これらのことから、*K. mikimotoi*の日周鉛直移動による昼間の最浅到達深度は光環境の影響を受けると考えられる。

(2) 佐伯湾における中層赤潮揚水技術の開発

本年度は中空パイプを曳航して下層の海水を揚水する方法論の検討を試みた。水産大学の室内大型回流水槽において中空パイプの形状と揚水効率との関係を把握した後、揚水装置を作成して海上で揚水試験を行った。

① 室内大型回流水槽における揚水試験

各実験の揚水効率は基本型の相対値で求めた。その結果、揚水効率は塩ビ管の傾斜部の傾斜角度と接続部分の長さによって変化した。さらに塩ビ管の内径と揚水効率の影響を実験した結果、内径が小さくなると排出部の流速が減少し、揚水効率が減少した。各実験結果から円管内の摩擦によるエネルギー損失は、管が長くなるほど、内径が小さくなるほど大きくなり、理論値と整合していた。一方、傾斜がある

場合、理論的には角度が大きいほど管内のエネルギー損失は大きいですが、本実験において傾斜角度による流速変化に明確な違いは認められなかった。

② 海上における揚水試験

各実験の揚水効率は実験1に対する平均回転数の相対値で求めた。その結果、取水口を0.7 m層においた場合は、濾水回転率は取水口を下げない場合と差がなかった。しかしながら、取水口を1.4 m深まで下げて接続部を長くすると、濾水回転率は大きく減少した。今後、傾斜角度や内径等を変え、より深い層から効率よく揚水可能な装置に改良していく予定である。

(3) *Karenia* 等赤潮鞭毛藻類を増殖停止・死滅させる光および塩分条件の特定

異なる温度下における生残・増殖に及ぼす強光の影響を調べた結果、今回設定した光と温度の組合せ条件下では、*K. mikimotoi*の増殖抑制はほとんど観察されなかった。しかしながら、現場マイクロコズム実験の結果から、実環境中で中層個体群が強制的に表層に移動させられると、増殖阻害が起これ、その原因の一つとして強光阻害の可能性が示唆された。今回設定した培養条件のうち、栄養塩濃度は実環境中とかなり差があるので、今後は栄養塩濃度を下げた状態で実験する必要がある。次に、異なる温度下における生残・増殖に及ぼす急激な塩分低下の影響を調べた結果、 20°C 、 25°C および 30°C において、それぞれ塩分5、 ≤ 10 および ≤ 15 で蛍光値が数時間で急激に低下し、1日後以降上昇することはなかった。佐伯湾においても降雨直後に表層塩分が10付近まで低下することがある。これらのことから、表層塩分が低い期間に*K. mikimotoi*の中層個体群を表層へ移送すれば、本種の増殖は停止し、個体群が減少することが期待できる。

有害プランクトンによる貝類への影響評価

赤潮・貧酸素水塊対策推進事業
(国庫委託)

野田 誠・宮村和良

本事業の詳細は、平成25年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊対策推進事業報告書の「九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」のうち「シャットネラ等の魚介類への影響評価、毒性発現機構の解明」－5－2 有害プランクトンによる貝類への影響評価に記載した。本報告はその概要である。

事業の目的

近年、有明海、八代海などの九州西岸域、豊後水道など九州東岸において、有害ラフィド藻シャットネラ属やカレニア属による大規模な赤潮が頻発し、養殖魚を中心に甚大な被害をもたらしている。こうした喫緊の課題に対応するためには、従来型のコストのかかる赤潮生物の殺滅技術の開発にのみ頼るのではなく、魚介類へのへい死を効率的に抑制することにより、適切なかつ効率的な赤潮被害防除技術を確立する必要がある。しかし現状ではシャットネラ属やカレニア属赤潮による魚介類へのへい死機構は不明な点も多く、適切な被害軽減策が講じられていない。そこで、カレニア属有害プランクトンが水産生物に与える影響を特定し、へい死に至るメカニズムを解明することを目的とする。

事業の方法

佐伯湾の松浦漁港にて*K.mikimotoi*が中層および表層で濃密度水塊を形成した時期に2回の曝露試験を行った。

1回目：曝露に用いた海水は*K.mikimotoi*が赤潮形成前の平成25年7月16日に、佐伯湾松浦漁港の水深7mから水中ポンプを用いて採水して20Lポリタンクへ収容後、水温変化を極力避け実験室まで持ち運んだ。曝露試験は7月16日18:00から7月18日6:00まで行った。対照区にろ過海水を、実験区には供与海水を各80L入れ海水が循環する程度に微通気し、これ

らをウォーターバスに入れて水温変化を極力抑えて曝露試験を行った。供試アワビは目合い5mmのメッシュ袋(50×40cm)に40個ずつ入れたものを複数用意し、これを各区に浸漬し、4時間、12時間、24時間、36時間経過した後回収した。回収したアワビは無作為に20個を抽出し死亡率を求め、残りはアワビの状態によって正常、麻痺および無反応の3つの区に分けて、各5個ずつ固定した。ただし、サンプルが5個以下の場合は、得られたサンプルすべてを固定した。サンプルの固定には予め冷蔵しておいたD avidson液を用いた。アワビを回収した際には曝露海水を一部採水し、光学顕微鏡を用いて*K.mikimotoi*の状態を観測後、3回計数して平均細胞密度を算出した。

2回目：曝露試験に用いた海水は*K.mikimotoi*が赤潮形成時の平成25年7月30日に、佐伯湾霞ヶ浦地区地先の表層から採水し、水温変化を極力避け実験室まで持ち運んだ。曝露試験は7月30日18:00～8月1日6:00で行った。曝露時間および固定等は1回目と同様の方法で行った。

事業の結果および考察

1回目、2回目共に対照区の海水には*K.mikimotoi*は確認されなかった。1回目の*K.mikimotoi*細胞密度は、開始直後128 cells/mLであったが時間の経過と共に減少し36時間後には67 cells/mlとなった。また、時間の経過と共に遊泳も徐々に緩慢となり、細胞の形が変形しているものも多数観察された。2回目試験区の*K.mikimotoi*細胞密度は試験開始直後、457 cells/mLであったが、開始12時間後には755 cells/mLまで増加し、その後もほぼ横ばいで推移した。1回目に比べ、遊泳や細胞の形にそれほど変化は確認されなかった。また、夜間には分裂している細胞も多数見

受けられた。

1回目の曝露試験は、対照区では試験開始36時間で1個体死亡したのみであった。一方試験区では曝露開始後4時間から2時間までは曝露時間が長くなるにつれて死亡率が上昇し、24時間後には55%を超過半数の死亡が確認された。曝露開始後36時間では死亡率は25%であった。

2回目の曝露試験は、対照区では試験開始24時間で1個体死亡したのみであった。実験区は、1回目と同様に曝露開始後4時間から24時間までは曝露時間が長くなるにつれて死亡率が上昇し、24時間後には95%が死亡した。曝露開始後36時間では曝露開始後24時間より若干低下し85%であった。

曝露実験に用いた海水中の*K. mikimotoi*の細胞数は1回目では時間と共に低下していったが、2回目では実験開始12時間後に755 cells/mLにまで増加していた。これは1回目に用いた容器と2回目に用いた容器の形状に原因があると考えられる。1回目に用いた容器は深さが約40cmありエアレーションによる攪拌では、プランクトンが底層に滞留し遊泳を妨げることによってプランクトンが弱まり、細胞密度が低下したと考えられた。一方、2回目の実験では深さが約20cmの容器を用い、プランクトンが

上下にうまく攪拌されるようになったため、実験終了まで活力を保つことが出来、かつ容器内の*K. mikimotoi*も均一に分布していたと考えられた。

1回目、2回目のいずれの場合においても、実験区で明らかに死亡率の増加が確認された。1回目の実験では曝露区において、曝露開始後4時間から24時間までは曝露時間が長くなるにつれて死亡率が上昇していたが、曝露開始後36時間では死亡率が低下し、25%であった。これは深い容器を用いていたためにプランクトンが不均一に存在していたため、36時間曝露用に入れていたメッシュ袋付近の*K. mikimotoi*の細胞数が少なかった可能性が考えられる。2回目の実験では曝露区において、曝露開始後4時間から24時間までは曝露時間が長くなるにつれて死亡率が上昇していたが、曝露開始後36時間では曝露開始後24時間より若干低下し、85%であった。2回目の実験では、プランクトンも均一に存在していたと考えられることから、曝露開始24時間後で死亡が飽和する可能性が示唆される。これらの要因については、今後曝露時間が24時間と36時間でも生存していた個体の切片サンプルを観察すること等で、明らかにしていく予定である。