

資源・環境に関するデータの収集・情報の提供事業－2

浅海定線調査等

(国庫交付金)

大竹周作・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

2016年 4月4日～ 8日	10月11日～13日
5月9日～ 11日	11月 7日～ 9日
6月 7日～ 9日	12月 5日～ 8日
7月 4日～ 7日	2017年 1月 4日～ 6日
8月 1日～ 4日	2月 6日～ 8日
9月 6日～ 9日	3月 6日～ 8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、1990～2010年の20年間の平均値を用いた。

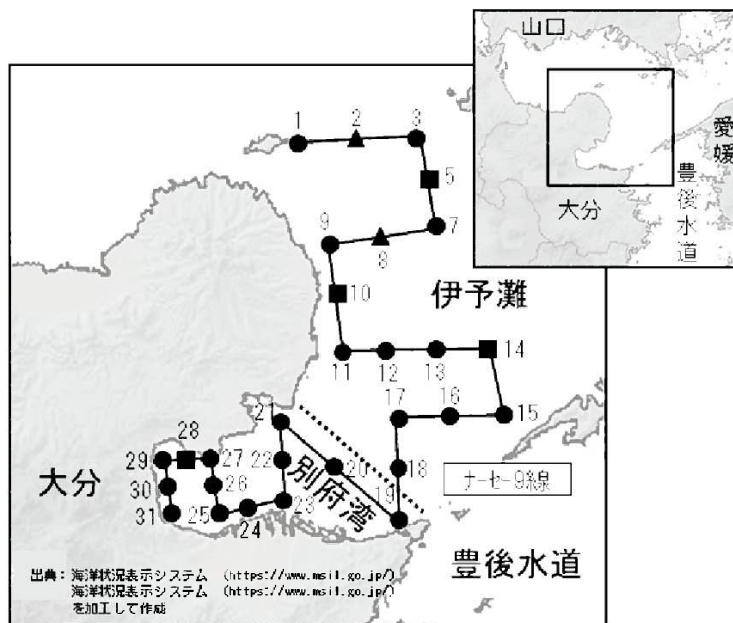


図1. 浅海定線調査定線図.

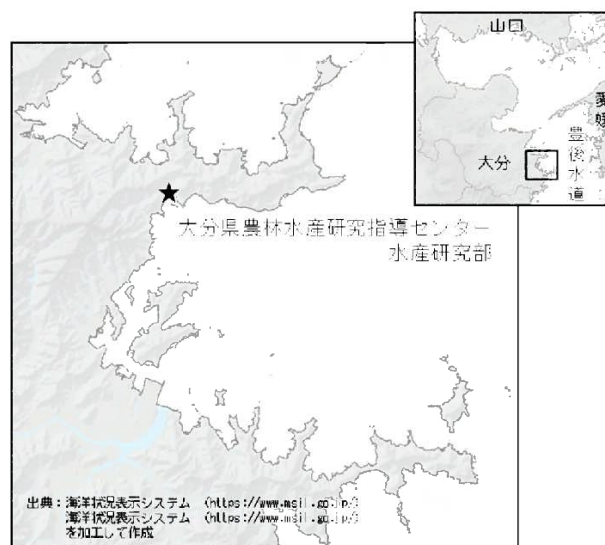


図2. 水温定点観測調査点.

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2016年度の気象の推移（大分気象台）である。

気温：6月上旬と下旬、11月上旬は平年より低めであったが、1年を通して概ね高め傾向で推移した。

降水量：6月は各地で大雨となり、降水量に関して6月の極値を更新した観測所があった。7月下旬から8月下旬は少雨傾向であった。9月には台風の影響によって、中旬に平年の5倍を超える降水があった。10月下旬には前線や低気圧、気圧の谷等の影響によって、平年の4倍を超える降水があった。また、1月上旬にも平年の5倍を超える降水があった。

日照時間：7月上旬から8月下旬まで多照傾向であった。9月上旬から10月下旬は寡照傾向であった。

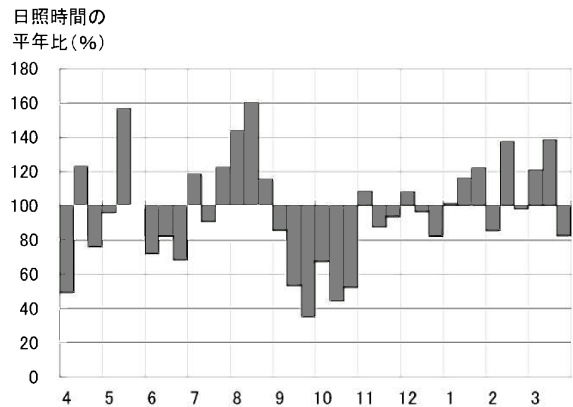
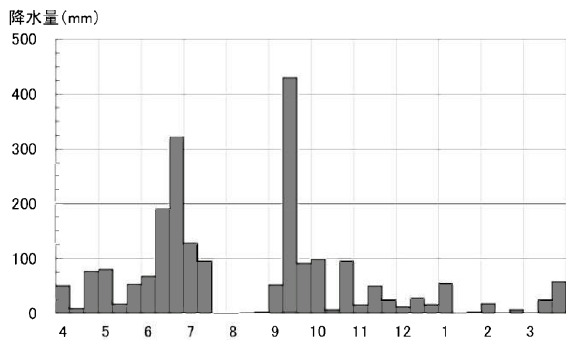
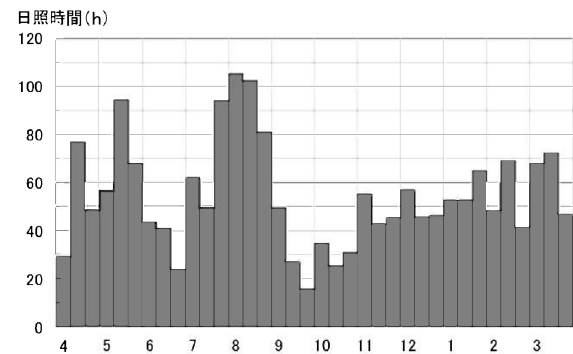
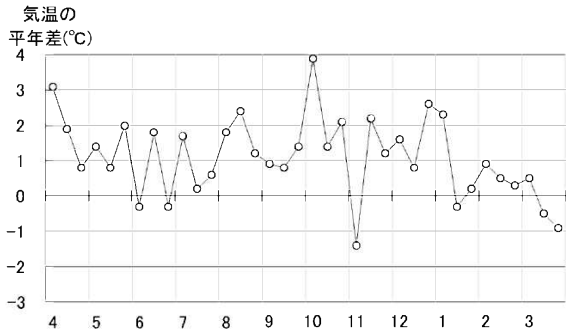
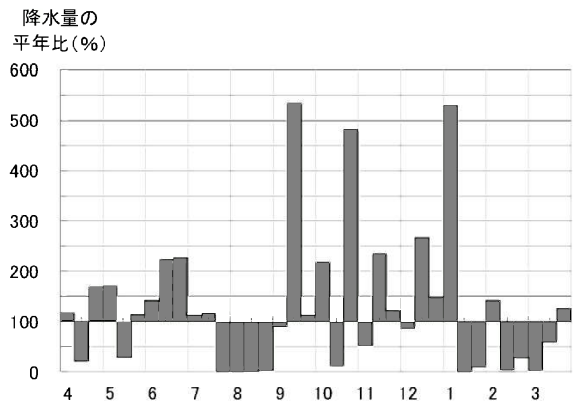
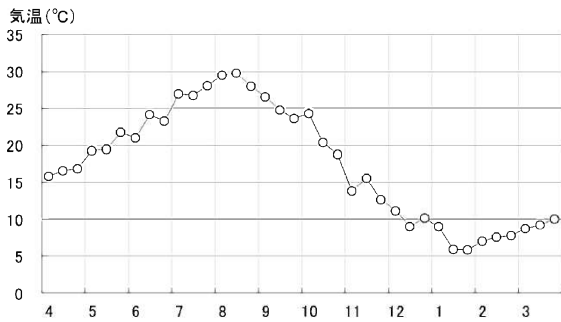


図3. 2016年度大分市における気象（気象庁気象統計情報）。

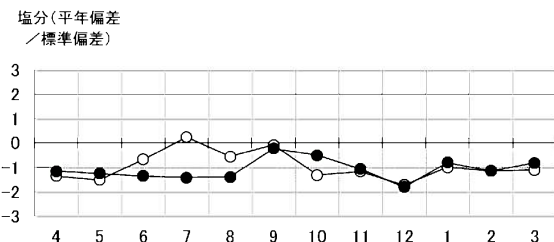
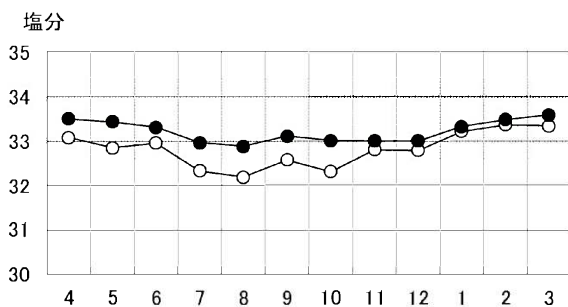
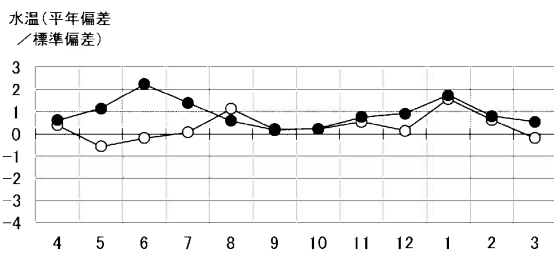
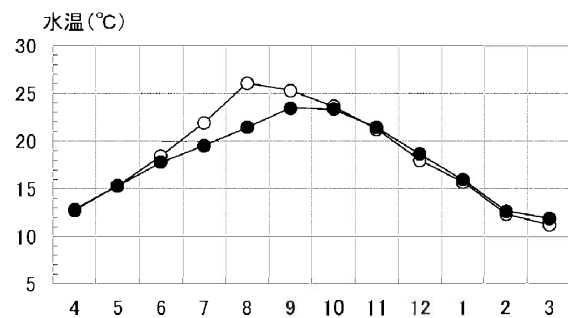
2) 海象

水温

水温の観測結果を示したものが図4である。

伊予灘の表層は11.2~26.1℃、底層は11.9~23.5℃で推移した。表層は8月、2月が「やや高め」、1月が「かなり高め」であった以外は「平年並み」であった。一方底層は6月が「甚だ高め」、7月、1月が「かなり高め」であった以外は、「平年並」~「やや高め」であった。

別府湾の表層は11.0~27.1℃、底層は11.3~22.9℃で推移した。表層は5月が「やや低め」、7月が「かなり高め」であった以外は「平年並み」~「やや高め」であった。一方底層は6月が「かなり高め」であった以外は「平年並」~「やや高め」であった。

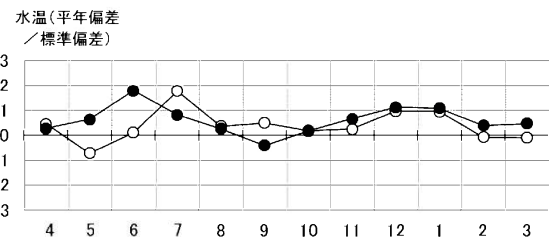
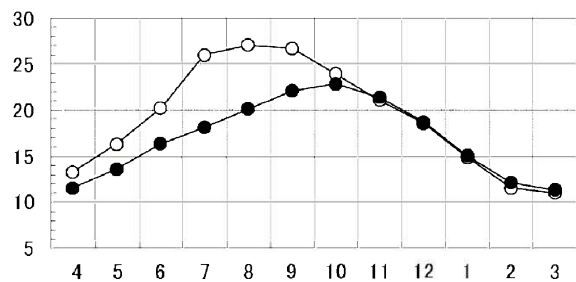


塩分

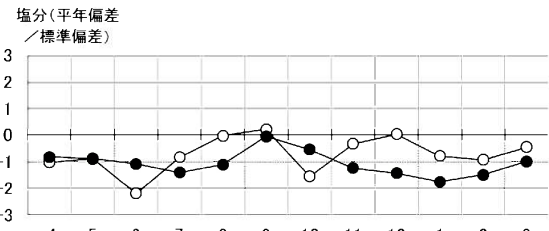
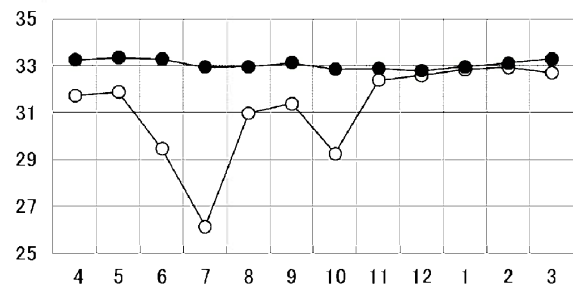
塩分の観測結果は図4に示したとおりである。

伊予灘の表層は32.19~33.37PSUで、底層は32.88~33.59PSUで推移した。表層は7月、8月、9月が「平年並み」であった以外は「かなり低め」~「やや低め」であった。底層は9月、10月が「平年並み」であった以外は「かなり低め」~「やや低め」で推移した。別府湾の表層は26.13~32.92 PSUで、底層は32.78~33.34PSUで推移した。表層の6月で「甚だ低め」であった以外は、表層、底層とも「かなり低め」~「平年並み」で推移し、低め傾向であった。

水温(℃)



塩分



○：表層 ●：底層

図4. 2016年度の水温および塩分の推移 (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8.3～12.6mで推移した。11月が「かなり高め」であった以外は「平年並み」～「やや高め」であった。

別府湾は、4.5～9.9mで推移した。10月が「かなり低め」、11月が「やや低め」であった以外は「平年並み」～「やや高め」であった。

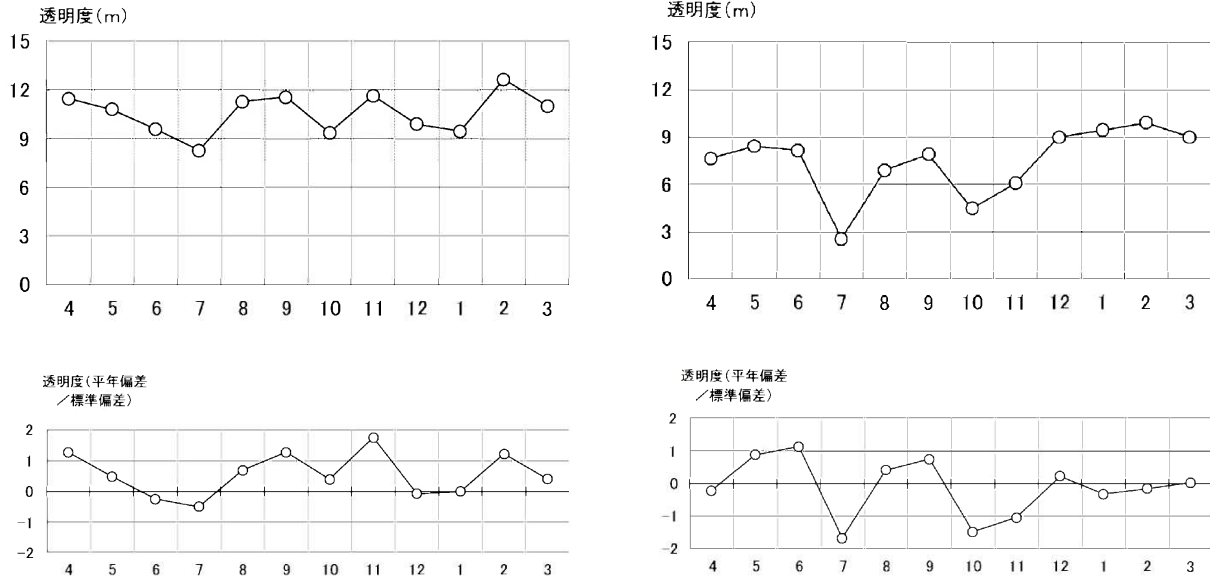


図5. 2016年度の透明度の推移 (左: 伊予灘、右: 別府湾).

*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)

3) 栄養塩等

＝ DINおよびPO4-P

DINおよびPO4-P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0.67~4.01 μ Mで、底層は1.37~3.92 μ Mで推移した。表層は「やや低め」~「平年並み」で低め傾向で推移した。底層は5月が「やや低め」であった以外は「平年並み」であった。

別府湾のDINは、表層は0.13~4.52 μ Mで、底層は1.36~4.76 μ Mで推移した。表層・底層ともに年間を通して「かなり低め」~「平年並み」と低め傾向で推移した。

伊予灘のPO4-Pは、表層が0.03~0.52 μ Mで、底層が0.11~0.51 μ Mで推移した。表層は4月が「やや低め」であった以外は「平年並み」~「甚だ高め」であった。底層は4月が「かなり低め」であった以外は「平年並み」~「かなり高め」で推移した。

別府湾のPO4-Pは、表層が0.00~0.74 μ Mで、底層が0.23~0.68 μ Mで推移した。表層は4月が「かなり低め」であった以外は「平年並み」~「かなり高め」であった。底層は4月が「やや低め」であった以外は「平年並み」~「かなり高め」であった。

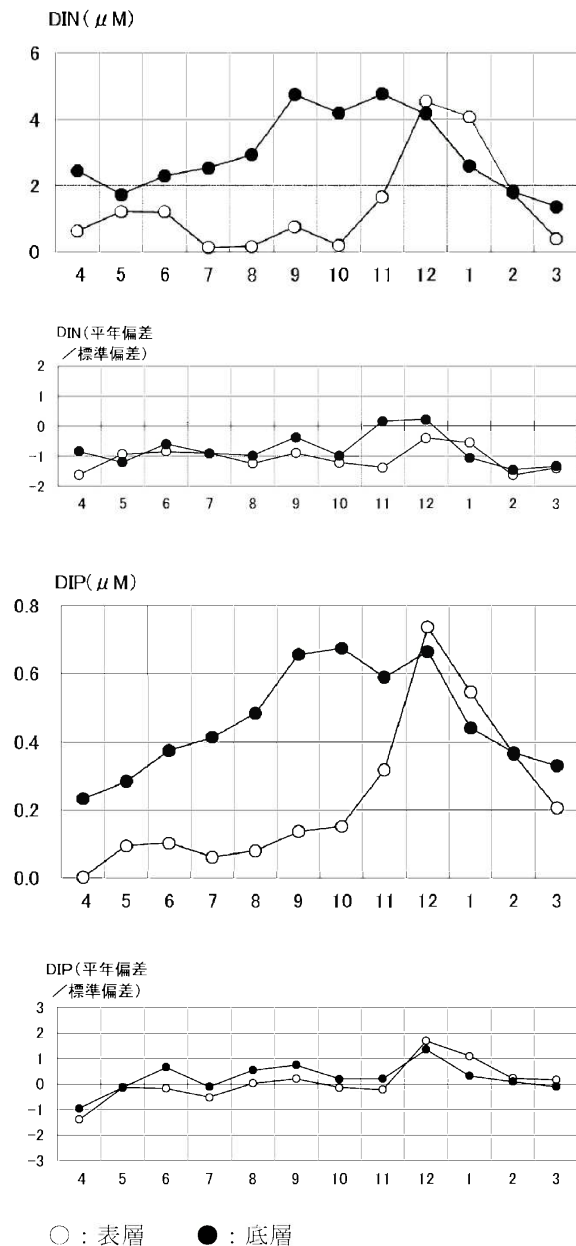
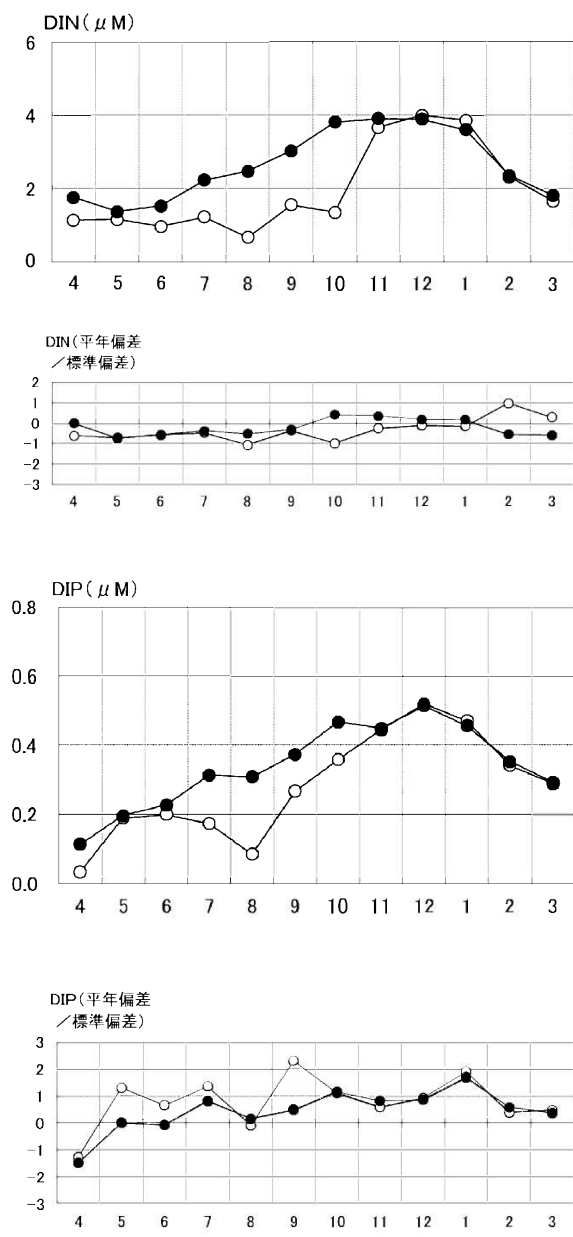


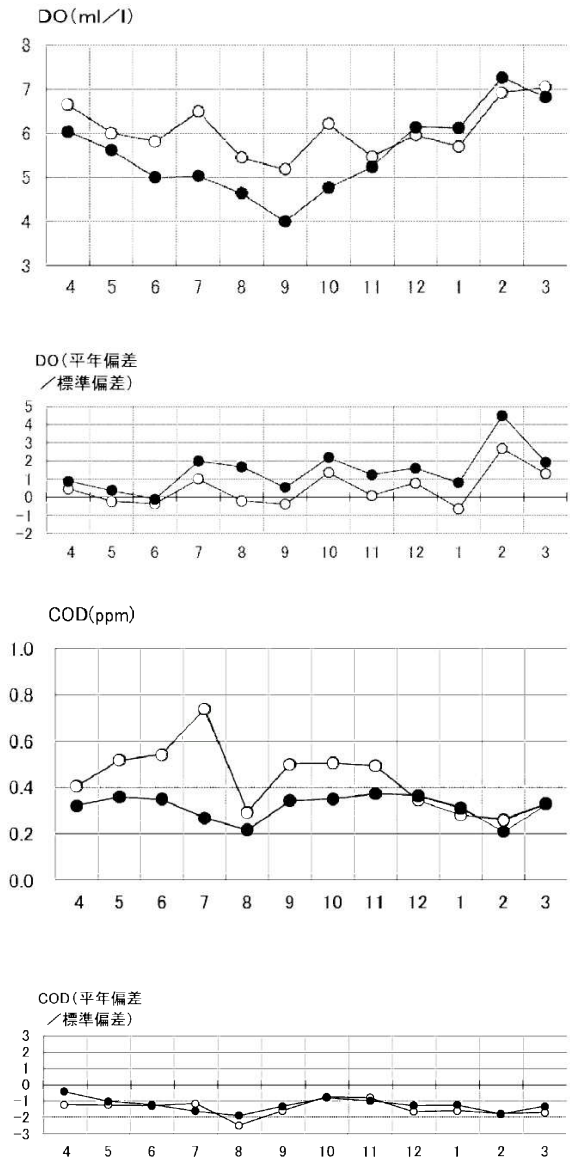
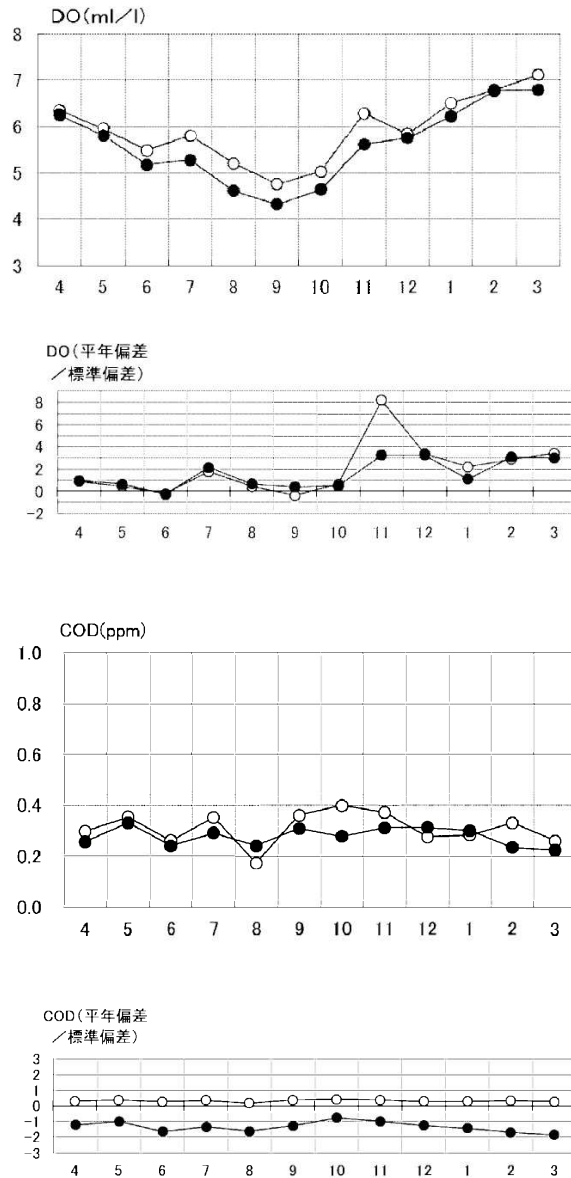
図6. 2016年度のDINおよびPO4-Pの推移 (左: 伊予灘、右: 別府湾).

DOおよびCOD

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DOは、表層が4.76~7.12 ml/Lで、底層が4.32~6.79 ml/Lで推移し、表層は11~3月が「甚だ高め」で、その他の月は「平年並み」~「かなり高め」で推移した。底層も「平年並み」~「甚だ高め」と高め傾向で推移した。

別府湾のDOは、表層が5.18~7.05 ml/Lで、底層が4.00~7.27 ml/Lで推移し、表層は2月が「甚だ高め」、10月と3月が「かなり高め」で、その他の月は「やや低め」~「やや高め」であった。底層はすべての月で「平年並み」~「甚だ高め」で、高め傾向で推移した。



○：表層 ●：底層

図7. 2016年度のDOおよび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（0m）の定点調査結果を示したものが図8である。

2016年度は、8月中旬の27.0℃が最高値で、2月下旬の13.3℃が最低値であった。年間を通じて平年値

との偏差が大きかったのは、5月下旬（+1.4℃）、6月中旬（+1.1℃）、7月上旬（-1.6℃）、7月下旬（+1.2℃）、8月中旬（+1.5℃）、10月上旬（+1.8℃）、1月下旬（-0.9℃）であった。

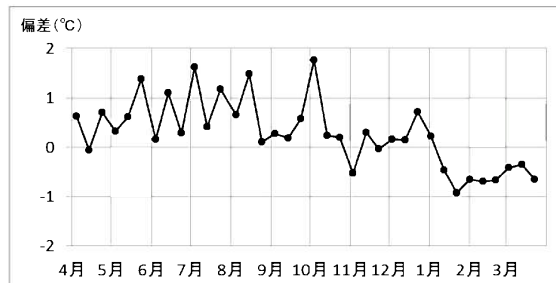
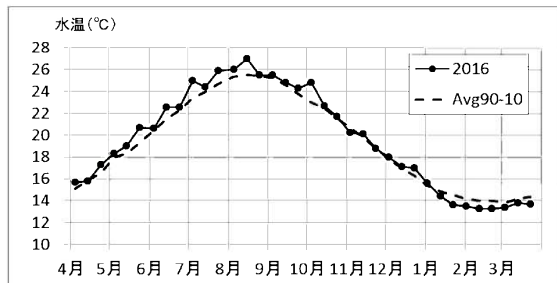


図8. 2016年度の佐伯湾定点表層水温(旬平均値)の推移.

漁場環境保全事業（貝毒）

大竹周作・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

佐伯市蒲江南部海域沿岸の蒲江湾、小蒲江湾、猪串湾、名護屋湾に調査点8点を設け、(図1)、2016年4月から2017年3月の期間に貝毒プランクトンの出現状況に応じて毎月1回から4回の頻度で調査を実施した。調査は小蒲江湾、猪串湾では採水、環境測定、二枚貝の採取を、蒲江湾、名護屋湾では採水のみを行った。各調査点の採水層は表層および3m層とし、貝毒原因プランクトンが例年高密度に検出される猪串湾の森崎では、表層、2m層、5m層、10m層、底上1m層とした。環境測定は多項目水質計(CTD JFEアドバンテック社製)を使用して0.5m層～海底まで0.1m毎に水温、塩分の測定を行った。二枚貝は猪串湾では森崎の天然ムラサキガイを、小蒲江湾では小蒲江および赤バエの養殖ヒオウギガイを採取した。貝毒プランクトンの増加が確認された際には、二枚貝の種類および採取点を増やして対応した。採水した海水は、実験室に持ち帰った後、直ちに孔径10 μ mのプランクトンネットを用いて1Lを10mlに100倍に濃縮し、貝毒原因プランクトン用の試料とした。貝毒原因プランクトンは固定を行わずに光学顕微鏡を用いて種の同定、計数を行った。採取した二枚貝は調査当日に公定法に従い貝毒成分を抽出し冷凍保存した後、ELISA法またはマウスアッセイ法を用いて毒力を測定した。ELISA法に用いる毒力(MU/g)に変換計数は、*Alexandrium catenella*が1000 cells/L以上検出された期間は0.9を、その他は0.3を用いた。マウスアッセイ法は県衛生環境研究センターで実施した。

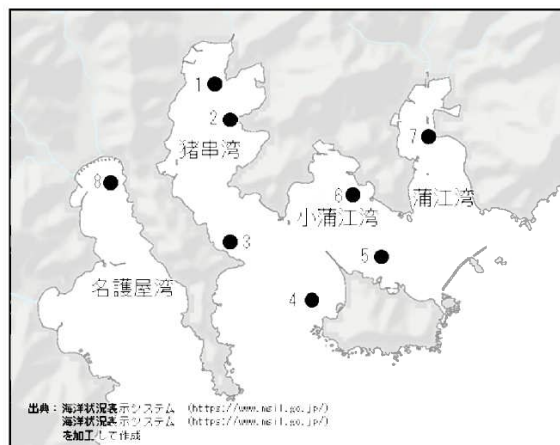


図1 調査点

(1 森崎、2 猪串、3 鶉の糞、4 赤バエ、5 屋形島、6 小蒲江、7 蒲江、8 名護屋)

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.(4cells/ml未満)～200,788 cells/L、猪串はN.D.(10cells/L以下)～112,000 cells/L、鶉の糞はN.D.(10cells/L未満)～28,000 cells/L、赤バエはN.D.(10cells/L未満)～815 cells/L、屋形島はN.D.(10 cells/L未満)～1,005 cells/L、小蒲江はN.D.(10 cells/L未満)～18,850 cells/Lで推移した。猪串湾内では、6月上旬～7月上旬、10月中旬～11月中旬および1月下旬以降の間に細胞密度の高い期間が認められた。本種の出現時期を例年(2010～2015年)と比較すると(図3)、今年度は7月及び3月の細胞密度が高い傾向が確認された。

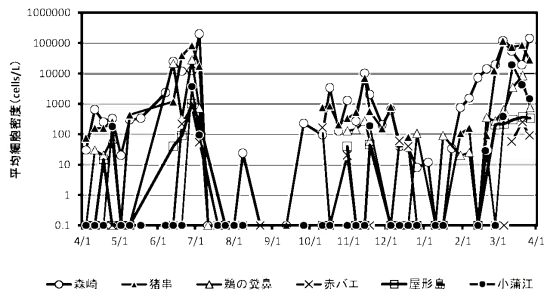


図2 猪串湾、小蒲江湾における各調査点の *G. catenatum* 細胞密度の推移

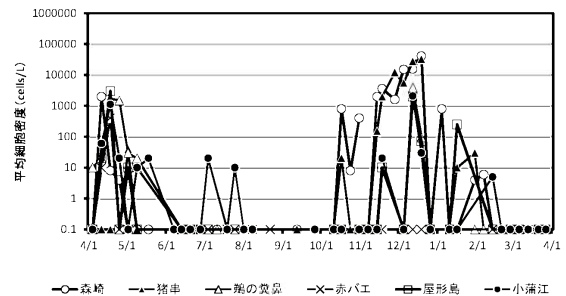


図4 猪串湾、小蒲江湾における各調査点の *A. catenella* 細胞密度の推移

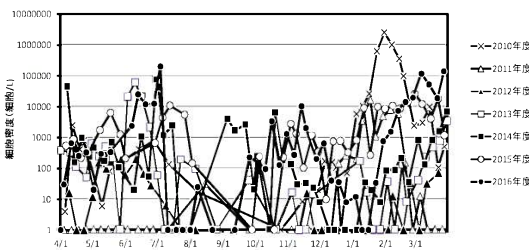


図3 2010年～2016年の猪串湾森崎地区における *G. catenatum* 細胞密度(5層平均)の推移

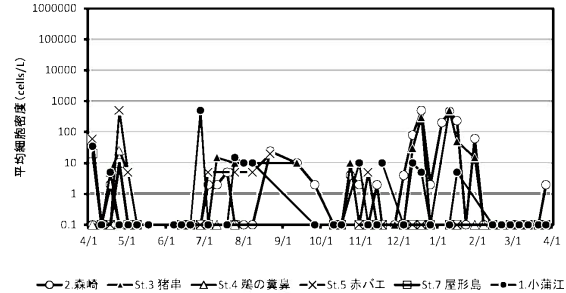


図5 猪串湾、小蒲江湾における各調査点の *Dinophysis spp.* 細胞密度の推移

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未満)～41,200 cells/L、猪串はN.D.(10 cells/L未満)～32,500 cells/L、鵜の糞はN.D.(10 cells/L未満)～4,000 cells/L、赤バエはN.D.(10 cells/L未満)～403 cells/L、屋形島はN.D.(10 cells/L未満)～3,000 cells/L、小蒲江はN.D.(10 cells/L未満)～21,000 cells/Lで推移した。4月中旬、11月中旬～12月中旬の計2回の細胞密度のピークが確認された。

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.(2 cells/L未満)～500 cells/L、猪串はN.D.(5 cells/L未満)～500 cells/L、鵜の糞はN.D.(5 cells/L未満)～25 cells/L、赤バエはN.D.(5 cells/L未満)～500 cells/L、屋形島はN.D.(10 cells/L未満)～20 cells/L、小蒲江はN.D.(10 cells/L未満)～500 cells/Lで推移した。

2. 蒲江湾、名護屋湾

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未満)～4,000 cells/Lで推移した。蒲江湾ではN.D.(10 cells/L未満)～2,000 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未満)～57,500 cells/Lで推移し、4月の期間に10,000 cells/L以上のピークが確認された。蒲江湾ではN.D.(10 cells/L未満)～3,000 cells/Lで推移した。

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.(5 cells/L未満)～10 cells/Lで推移した。蒲江湾はN.D.(5 cells/L未満)～500 cells/Lで推移した。

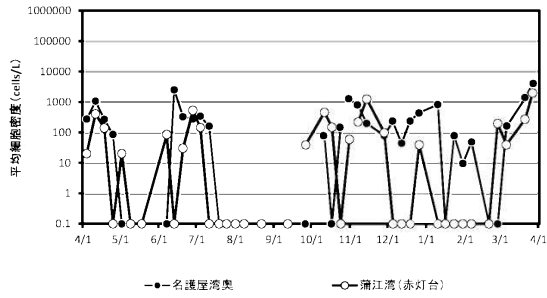


図6 名護屋湾、蒲江湾における*G. catenatum* 細胞密度の推移

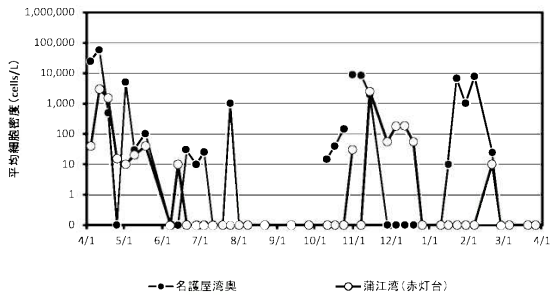


図7 名護屋湾、蒲江湾における*A. catenella* 細胞密度の推移

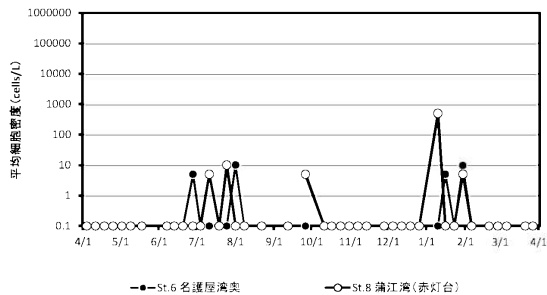


図8 名護屋湾、蒲江湾における*Dinophysis s pp*細胞密度の推移

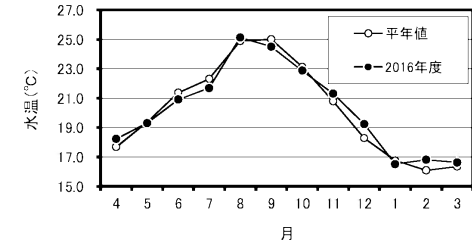
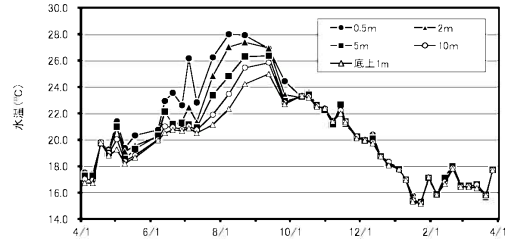


図9 2015年度猪串湾における各層水温の推移（上段）と平年値との比較（下段）。平年比較には2m、5m、底上1mの各層の鉛直平均値を月平均して用いた。平年値は2000年1月～2015年3月の期間の値を使用した。

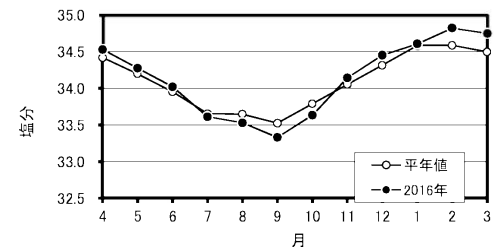
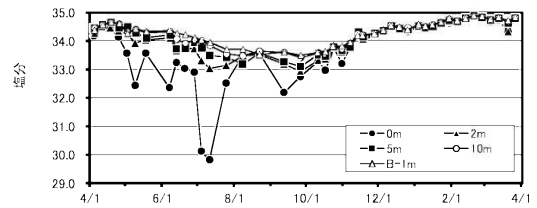


図10 2015年度猪串湾における各層塩分の推移（上段）と平年値との比較（下段）。平年比較には2m、5m、底上1mの各層の鉛直平均値を月平均して用いた。平年値は2000年1月～2015年3月の期間の値を使用した。

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15.3℃～28.0℃、2m層が15.3℃～27.4℃、5m層が15.3℃～26.4℃、10m層が15.3℃～25.8℃、底上-1m層が15.2℃～25.0℃で推移した。最高水温は0.5m層、2m層は8月に、その他の層は9月に、最低水温は全層で1月に観測された。成層は5月から9月まで認められた。月平均水温は6月、7月、9月の期間は平年より低めで推移し、4月、11月、12月、2月の期間は平年より高めで推移した。

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29.83～34.90、2m層が32.93～34.89、5m層が33.10～34.90、10m層が33.42～34.90、底上-1m層が33.51～34.91で推移した。最低塩分は0.5m層で7月中旬、その他の層は9月下旬に観測された。最高塩分は全層で2月下旬に観測された。月平均塩分は4～6月、10～12月、2～3月は平年より高め、8～10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

ムラサキイ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未満)～87.4 MU/gで推移した。4月、6月、12月、2～3月に毒力の増加がみられた。特に12月、2～3月の各毒力の最高値は87.4MU/g、77.9MU/gと高い値が検出された。毒力の増加時には、*A.catenella* (4月、12月) および*G.catenatum* (6月、3月) が増殖、優占していたことから、各毒力の増加は各時期に増殖した優占種が主要因と考えられた。また*G.catenatum* が3月に増殖した際には、森崎で採取された天然アサリから規制値(可食部4MU/g)を超える毒力が検出され、猪串湾および周辺海域の天然二枚貝(タイラギを除く)の採捕禁止の措置を行った(採捕禁止期間 2017年3月16日～6月1日)。

2. 小蒲江湾

小蒲江および赤バエの各漁場の養殖ヒオウギガイ可食部の毒力の推移は図12に示した通りである。小蒲江は*A.catenella*および*G.catenatum*が増殖した際に3回の毒力の増加が認められ、毒力は0.9～19.4 MU/gで推移した。一方、赤バエは比較的毒力の増加が緩慢であり、規制値以下の0.2～3.7 MU/gで推移した。なお*A.catenella*および*G.catenatum*が増加し、養殖ヒオウギガイの毒力が増加した期間(4月～8月中旬、12月中旬以降)は、赤バエから出荷した。

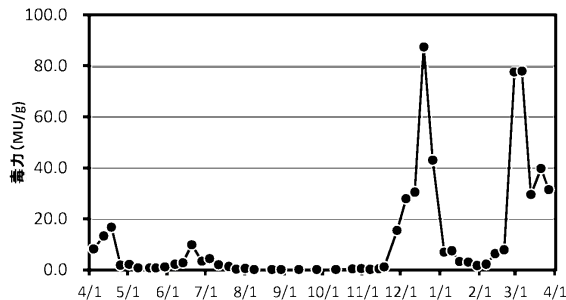


図11 猪串湾森崎の天然ムラサキイガイの毒力の推移 (ELISA測定結果は11月28日～1月23日の期間は係数0.9を、その他の期間は係数0.3を測定値に乗じて算出した。)

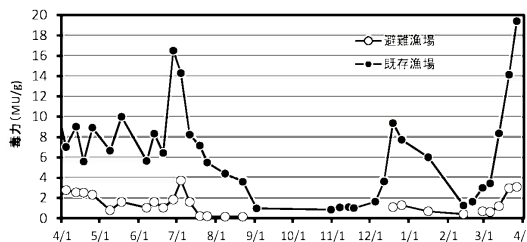


図12 小蒲江および赤バエの養殖ヒオウギガイの毒力の推移 (ELISA測定結果は測定値に係数0.3を乗じて算出した。ただし既存漁場の12月5日～1月16日の期間は測定値に係数0.9を乗じて算出した。)

赤潮早期予測早期対策実証事業

宮村和良・大竹周作

本事業の一部は水産庁委託事業平成28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」(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)ー③ーイ 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(以後、マイクロゾム)および(2)ー④ーイ 有害赤潮鞭毛藻の遊泳特性を利用した新規赤潮防除技術の開発(以後、赤潮防除)で実施した。各研究の詳細は平成28年度「赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業」(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)報告書に記載した。

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。両問題とも、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、より中長期の発生予測体制構築や赤潮プランクトン増殖抑制装置の開発・導入が現場生産者から望まれている。このような要望に対応する為、これまで定量PCR法を用いた赤潮高感度監視技術の実用化および赤潮増殖抑制装置の開発が行われてきた。本課題では、これまで検討、開発された技術を利用し、赤潮中長期予測および赤潮抑制の現場導入を図ることが目的である。さらに赤潮の発生を防止するため、カレニア赤潮の発生を軽減する技術の開発および生理生態研究も継続した。

事業の方法

I. 中長期カレニア赤潮予察

(カレニア赤潮発生前の環境特性)

佐伯湾における*K. mikimotoi*赤潮の主な発生時期は6月中旬から8月下旬であるため、赤潮発生より以前に入手可能である1月から8月までの48変量データ(2000~2015年の気象(気象庁アメダス佐伯)・海象データ)のうち、発生・非発生の類型別に有意な差が認められた環境条件{1月降水量、3月降水量、1

月日照時間、3月日照時間、2月平均気温、1月平均水温(表層)、1月平均塩分(表層)、2月平均塩分(表層)}を解析に使用した。なお、類型化は、1,000 cells/mLを目安に最高細胞密度によって行い、統計処理は、赤潮の発生と非発生の各要素の差を、Welchのt検定($p<0.05$)およびMann-WhiteyのU検定($p<0.05$)によって行った。

(赤潮発生前後の遊泳細胞の動態)

赤潮の初期発生海域である佐伯湾松浦漁港(図1 Sta.3)においてカレニア赤潮が発生する前後の2016年4月、5月および同年10月~2017年3月の期間に調査を行った。採水は表層、2m層、5m層、底上1m層の各層採水を行い、得られた海水はガラスフィルター(47mm GF-F)で濾過後、濾紙を冷凍保存しPCR用の試料とした。試料は既報¹⁾に従いDNAを抽出した後、Real-time PCRを用いて*K. mikimotoi*遺伝子を定量した。なおDNAの抽出、定量は4月、5月は愛媛大学に委託し、その他は水産研究部で実施した。

II 赤潮増殖抑制装置を用いた効率的な赤潮抑制技術の開発(委託事業 赤潮防除)

2016年6月3日~8月4日の期間に佐伯湾松浦漁港奥(図1 Sta.A)に赤潮浮上装置(図2)を設置し水深5mの中層海水を期間中連続(推定250トン/時間)して揚水した。中層海水揚水による*K. mikimotoi*個体群への影響を調査するため、装置設置場所およびその周辺3点の計4調査点を設定し、各調査点の表層、クロロフィル極大層(極大層が未確認時は水深5m層)および揚水直後の海水の採水およびCTDによる0.5m層~海底まで水温、塩分、クロロフィルの各測定を毎週おこなった。採水した海水は濃縮処理を行わずに有害プランクトン検鏡計数に供した。

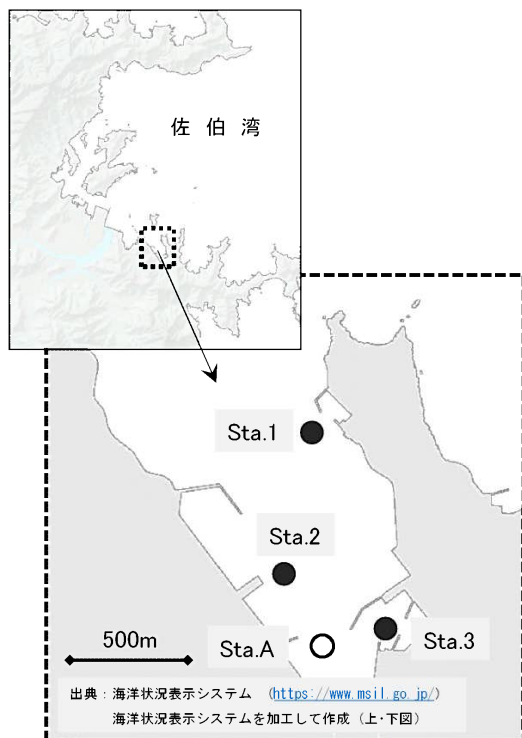


図1 赤潮浮上装置設置場所と調査点の位置
(Sta.Aに赤潮浮上装置を設置)

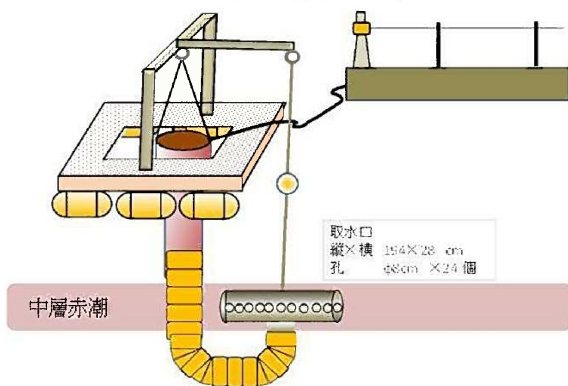


図2 赤潮浮上装置

Ⅲ. カレニア赤潮発生防止技術の開発 (栄養塩吸収メカニズム調査) (委託事業 ミクロコズム)

夜間の*K. mikimotoi*遊泳細胞の栄養塩取り込みを観察するために、佐伯湾松浦漁港(図1 Sta.2)においてミクロコズム実験を実施した。本種の濃密度層が形成される時期の21:30に海底直上の海水を採水して、1L容のポリカーネート製透明ボトル(ミクロコズム装置)8本に海水を封入し、それらのうち、4本に硝酸ナトリウム溶液を添加し栄養塩添加区とした。ミクロコズム装置は同日22:00～翌日7:15に海底に係留し1時間半～2時間おきに各区の装置からそれぞれ30mL採水した後、海水を補充して再び海底に戻した。海水試料は栄養塩分析と細胞密度の計数に供した。栄養塩分析用の試料は0.45 μm目合いのフィルターでろ過後、分析まで冷凍保存した。

結果

Ⅰ. 中長期カレニア赤潮予察

1) カレニア赤潮発生前の環境特性

使用したデータのうち、要素間の多重共線性を考慮し、相互の相関関係を検討したところ、24通りの組合せで相関関係が認められなかったことから、これらを各要素の分布形状(正規性)や等分散に考慮し「線形判別」または、「マハラノビス」のいずれかの方法を用いて解析を行った(表1)。代表的な解析例として、3月日照時間と1月平均塩分(表層)を用いた解析結果を図3に示した。これによる赤潮発生予測的中率は100.0%であった。また、その他の23通りの組み合わせによる的中率は66.7～100.0%であり、特に3月降水量、3月日照時間を含む組み合わせでは的中率が96.2%以上と高く、赤潮の発生環境として3月の日照時間が多く、降水量が少ない条件、すなわち3月の晴天が続く条件が赤潮の発生に深く関与していることが考えられた。本海域において*K. mikimotoi*遊泳細胞が早期に観測される年は、赤潮が発生する確率が高いことから、3月に晴天が続く条件は、シストを形成しない本種にとって赤潮のシードポピュレーションとなる遊泳細胞が維持されやすい環境となっている可能性がある。なお本年度(発生年)の判別をしたところ、いずれの組み合わせでも発生年となり、的中した。

2) 赤潮発生前後の遊泳細胞の動態

Real-time PCR(機器分析)および顕微鏡観察(検鏡)による*K. mikimotoi*の細胞密度は表2に示した通りである。本種が赤潮を形成する前の5月は両方法で遊泳細胞が観察されたが、その後は10月～翌年1月までは機器分析のみで本種の遊泳細胞が検出された。*K. mikimotoi*は越冬した遊泳細胞が、翌年の赤潮形成に大きく寄与することが知られている。したがって今回の機器分析による冬季の遊泳細胞の検出は、本種の赤潮をより早期に予測する為には必要不可欠な情報であり、今後、幅広く利用することによって赤潮発生予測の高精度化が期待できる。

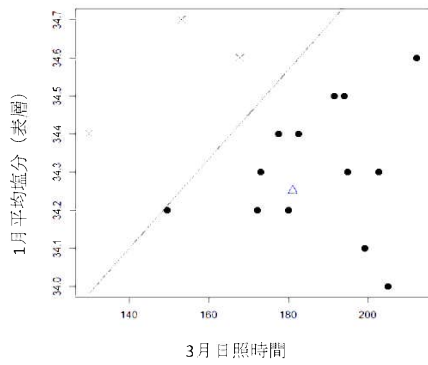


図 3

佐伯湾におけるカレンア赤潮発生判別（線形判別）結果例。使用データは、3月日照時間と1月平均塩分（表層）。●発生年、○非発生年をそれぞれ示す。△は2016年の観測結果を示す。

表1 佐伯湾における各説明変数で解析した赤潮発生の的中率と各解析方法による2016年の赤潮発生予測結果

解析手法	説明変数	説明変数の数	的中率(%)	2016年予測	2016年結果
線形判別	1月雨量と1月塩分	2	88.5%	発生	◎
マハラノビス	1月雨量と1月水温	2	83.3%	発生	◎
マハラノビス	1月雨量と2月塩分	2	83.3%	発生	◎
線形判別	1月雨量と2月気温	2	88.5%	発生	◎
線形判別	1月雨量と3月雨量	2	96.2%	発生	◎
線形判別	1月雨量と3月日照	2	92.3%	発生	◎
線形判別	3月雨量と1月塩分	2	96.2%	発生	◎
線形判別	2月気温と1月塩分	2	92.3%	発生	◎
マハラノビス	1月水温と1月塩分	2	100.0%	発生	◎
マハラノビス	1月水温と3月日照	2	96.2%	発生	◎
マハラノビス	1月水温と3月雨量	2	96.2%	発生	◎
マハラノビス	1月水温と1月日照	2	96.4%	発生	◎
マハラノビス	1月水温と2月気温	2	66.7%	発生	◎
線形判別	1月日照と2月気温	2	80.8%	発生	◎
線形判別	1月日照と3月日照	2	96.2%	発生	◎
マハラノビス	2月塩分と1月水温	2	83.3%	発生	◎
マハラノビス	2月塩分と1月日照	2	79.5%	発生	◎
マハラノビス	2月塩分と2月気温	2	96.2%	発生	◎
マハラノビス	2月塩分と3月雨量	2	100.0%	発生	◎
マハラノビス	2月塩分と3月日照	2	100.0%	発生	◎
線形判別	3月雨量と1月日照	2	100.0%	発生	◎
線形判別	3月雨量と2月気温	2	96.2%	発生	◎
線形判別	3月日照と1月塩分	2	100.0%	発生	◎
線形判別	3月日照と2月気温	2	96.2%	発生	◎

表2 沖松浦地区におけるReal-time PCRおよび顕微鏡観察による各層細胞密度

採水日	Real-time PCR				顕微鏡観察			
	表層	2m層	5m層	底上1m	表層	2m層	5m層	底上1m
2016/4/20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2016/5/25	0.893	2.561	41.566	42.534	4	22	84	127
2016/10/30	N.D.	0.182	0.190	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2016/11/28	1.185	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2016/12/15	0.046	0.2	0.190	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2017/1/18	1.170	0.003	N.D.	0.048	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2017/2/15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2017/3/16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D. 検出限界以下(0.001未満を示す)
単位: cells/ml

未検出はReal-time PCRは0.001cells/ml 未満、顕微鏡観察は1cells/ml未満を示す。

II 赤潮増殖抑制装置を用いた効率的な赤潮抑制技術の開発（委託事業 赤潮防除）

赤潮浮上装置は調査期間、6月30日の調査に落雷の影響による停止が確認され、6月21日～30日の期間以外は正常に運転していた。また、赤潮浮上装置の排水口付近（表層）の海水中の*K. mikimotoi* 細胞

密度とStn. A（赤潮浮上装置から数m離れた地点）における*K. mikimotoi* の定位深度の細胞密度は揚水開始直後を除いて同調的に変動したことから、赤潮浮上装置直下の中層に存在した*K. mikimotoi* のパッチは確かに揚水されていたと推察された（図3）。調査期間中の*K. mikimotoi*遊泳細胞は6月3日の揚水開始直後に赤潮浮上装置設置箇所であるSta.Aの水深8.7m層で最も細胞密度が高く570cells/mlが検出された。揚水開始の翌週にはSta.Aでは細胞密度は減少し、その後も断続的に細胞密度の低下が確認された。一方、その他の点では揚水後も1～2週間の期間は細胞密度の増加または横ばいで推移する傾向が確認された。以上の結果、本装置によって中層で形成されている*K. mikimotoi*濃密度層を連続して表層付近に浮上させることによって、昨年に引き続き*K. mikimotoi*赤潮の発達を抑制する効果があった可能性が考えられた。

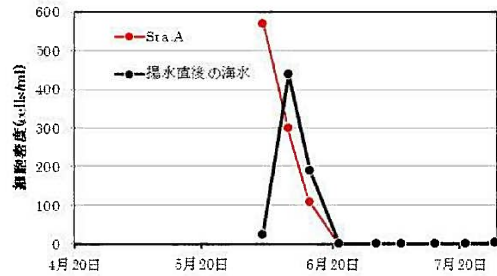
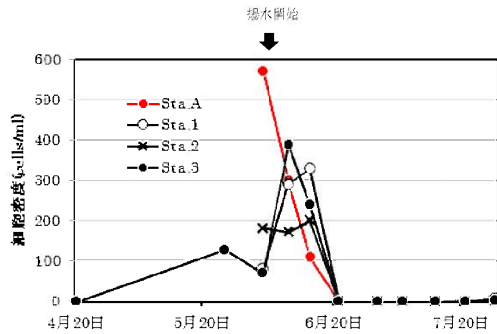


図5 揚水直後の海水中の*K. mikimotoi*細胞密度とSta. Aの最高*K. mikimotoi*細胞密度の推移



揚水開始

図6 佐伯湾松浦漁港周辺の各調査点の*K. mikimotoi*最高細胞密度推移

Ⅲ. カレニア赤潮発生防止技術の開発（栄養塩吸収メカニズム調査）（委託事業 ミクロコズム）

今年度は、*K. mikimotoi*による長期的な濃密度層の形成がなく、実験が行うことができなかった。そこで、例年*K. mikimotoi*が中層で濃密度層を形成する5月下旬～8月上旬の沖松浦漁港（図1 Sta.3）における栄養塩（DIN、 $PO_4\text{-P}$ ）の各層の推移について検討した（図7）。その結果、DIN濃度は表層は0.6～36.9 μM 、2m層は0.1～3.6 μM 、5m層は0.1～1.9 μM 、底上1m層は0.0～3.6 μM であり、 $PO_4\text{-P}$ は0.02～0.66 μM 、2m層は0.03～0.2 μM 、5m層は0.10～0.55 μM 、底上1m層は0.15～0.69 μM であった。本種の濃密度層が日中に形成される5m層の栄養塩濃度はDIN、 $PO_4\text{-P}$ 共に低く推移していた。本種は夜間に底層付近の栄養塩を取り込むことが知られていることから、今後、従来の採水層に加え、海底直上の栄養塩の分布状況についても把握する必要がある。

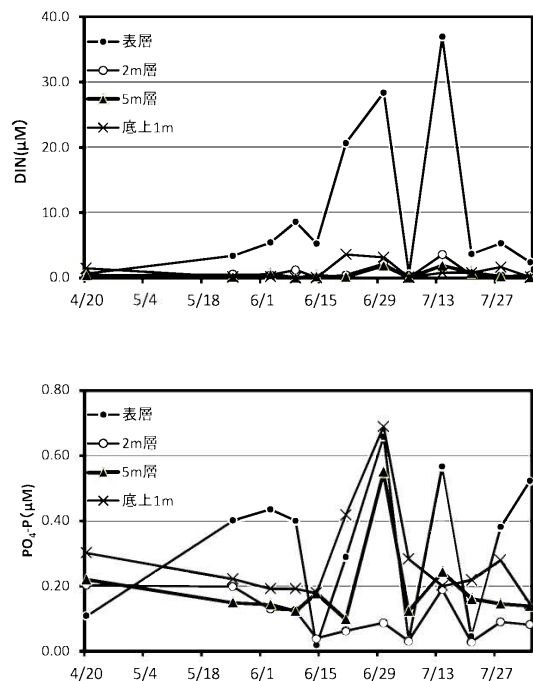


図7 沖松浦漁港における栄養塩の推移
（上段:DIN、下段: $PO_4\text{-P}$ ）

赤潮早期予測・早期対策実証事業－2
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)

大竹周作・宮村和良

本事業の詳細は、平成28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」－4－2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域において、有害ラフィド藻 *Chattonella* 属や渦鞭毛藻 *Karenia* 属による大規模な赤潮が頻発し、二枚貝養殖業や干潟域、磯根に生息する貝類に対して甚大な被害をもたらしている。こうした *Chattonella* 属や *Karenia* 属赤潮による貝類の致死機構は不明な点が多く、養殖魚類で行われている餌止めなどの有効な対策がないことが現状である。有害プランクトンが貝類に与える影響は複雑で多岐に亘ることが推定されるため、集約的な調査研究により影響解明を進める必要がある。そこで、貝類に最も悪影響を与えることが知られている *Karenia* 属を中心とした有害プランクトンが、有用貝類に与える影響を特定し、死亡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

実験に用いた供試海水は、水産研究・教育機構西海区水産研究所より提供された *Karenia mikimotoi* 強毒株の NGU04 株を大量培養して用い、曝露実験に供したアワビは(社)大分県漁業公社で飼育されたクロアワビ(殻長19.1 mm~23.8 mm)を用いた。

(酸素供給試験)：通常のエアレーションを施したものを対照区とし、高圧酸素のエアレーションを施したものを試験区とした。容量13 Lのポリ塩化ビニール製容器を使用し、両区ともに培養後の供試 *K. mikimotoi* を清浄海水で同程度の密度に調整したものを各8 L入れ、水温変化を極力抑えるため、室内の温度を一定にした。供試アワビは1個体ずつ孔径5 mmのメッシュ袋(28cm×22cm)に収容したものを容器内に浸漬し赤潮に曝露した(n=10)。曝露後1、4、6、8、24時間経過した後、アワビの状態を目視で確認し、清浄海水の水槽に移動させた。(エアレーション等は?)移動24時間後、アワビの状態を確認し、生残率を算出するとともに、すべての固体をDavidson液(エタノール:330 mL、ホルマリン:220 mL、酢酸:115 mL、蒸留水:335 mL)で固定した。アワビの状態の評価は、ひっくり返すと速やかに起き上がる個体を「正常」、固着せずひっくり返しても起き上がらない個体を「マヒ」、ピンセットによる触診で反応が認められない個体を「死亡」とした。また、アワビの状態の確認時、溶存酸素(DO)を測定するとともに、曝露海水中の *K. mikimotoi* の状態を光学顕微鏡で観察、3回計数の平均から細胞密度を算出した。

(生理コントロール試験)：予め試験に用いるアワビの昼夜生理リズムを制御するため6日以上の馴致飼育を行った。馴致飼育は、2台のグロースチャンバー(MLR-352-PJ、Panasonic製)内で行った。グロースチャンバーは明期6:00~20:00、暗期20:00~6:00の通常区と明暗周期を逆転させた昼夜逆転区(以下、逆転区とする)を設定し、2 Lの清浄海水を入れたビーカーにアワビを10個体ずつ収容し通気を施しながら飼育した。試験に供する前日まで餌

として褐藻類を与え、飼育水は適宜交換した。馴致飼育および試験時の水温は両区ともに20°Cに設定し、試験は2回実施した。培養後の*K. mikimotoi*を清浄海水で設定密度に調整し、ビーカーに300mLずつ分注した (n=6)。アワビは両区ともに10個体から無作為に6個体を選び、試験に供した。供試アワビは1個体ずつ孔径5 mmのメッシュ袋 (28cm×22cm) に収容したものを各ビーカーに浸漬し、通気をしながら赤潮に暴露させた状態で8時間後まで、1時間おきにアワビの状態を観察した。その後、清浄海水にアワビを戻し、24時間後にアワビの状態を再度確認し、全個体をDavidson液で固定した。アワビの状態は酸素供給試験と同様に判定した。また、赤潮曝露の開始時と終了時には海水を一部採水し、光学顕微鏡を用いて*K. mikimotoi*の状態を観察後、3回計数し細胞密度を算出した。

事業の結果および考察

(酸素供給試験)

各区の*K. mikimotoi*の細胞密度は、試験開始時に対照区で4,103 mg/L、試験区では4,458 mg/Lであり、両区ともに試験開始後は減少し、8時間経過時には半数以下の1,250 cells/mLとなった (図1)。試験区の*K. mikimotoi*は4時間経過時には異常遊泳個体が多数確認され、24時間経過時に水槽底面で蛸集が確認された。試験区の培養*K. mikimotoi*の状態の変化は、昨年度の自然発生赤潮由来の*K. mikimotoi*で行った試験と同様な結果であった。溶存酸素は対照区で7.33~7.76 mg/L、試験区では7.75~40.61 mg/Lで推移し、試験区では開始後すぐに

上昇した後は高い値で推移した (図2)。

赤潮曝露による各区のアワビへの影響については、対照区で赤潮曝露1時間と24時間の時点でそれぞれ1個体が死亡し、清浄海水に移動して24時間後にさらに1個体の死亡が確認された。一方、試験区ではマヒも死亡も確認されなかった (図3)。昨年度の結果と同様に、高濃度の酸素供給が培養*K. mikimotoi*に対しても細胞密度の低下、蛸集および遊泳異常を及ぼすことが確認され、アワビの*K. mikimotoi*赤潮への対策に効果的であることが示唆された。高濃度の酸素供給は*K. mikimotoi*細胞の活性を低下させるとともに、アワビの生命維持に必要な酸素摂取にも有利であり、これらの相乗効果でアワビの生残率が向上すると考えられる。

今後、アワビの生残率向上に効果的な酸素濃度の検討が必要である。

(生理コントロール試験) : *K. mikimotoi*の細胞密度は1回目 (通常区241~387 cells/ml、逆転区241~355 cells/ml)、2回目 (通常区7,033~6,667 cells/ml、逆転区7,033~6,267 cells/ml) で推移した。1回目、2回目ともに赤潮曝露中および清浄海水に移動して24時間後までに死亡個体はなかった (図4)。1回目、2回目ともに赤潮曝露中のアワビに昼夜逆転による影響の差は現れなかったが、清浄海水に移動して24時間後には、逆転区で1個体マヒ状態となった。アワビに死亡がなかったため、昼夜逆転による生理コントロールの影響は確認できなかった。今後、培養および試験への使用方法を再度検討して試験を行う予定である。

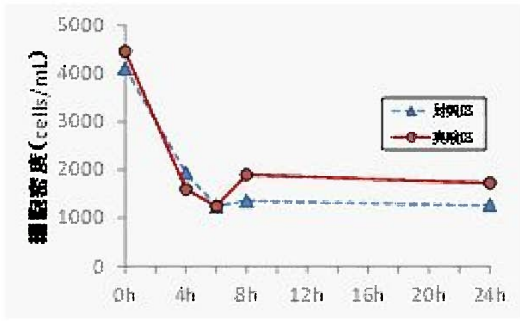


図1. 酸素供給試験中のK. mikimotoi細胞密度の推移

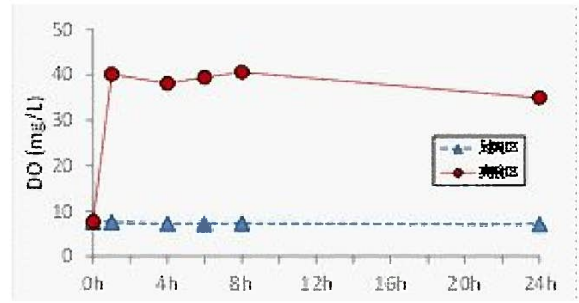


図2. 酸素供給試験中のDOの推移

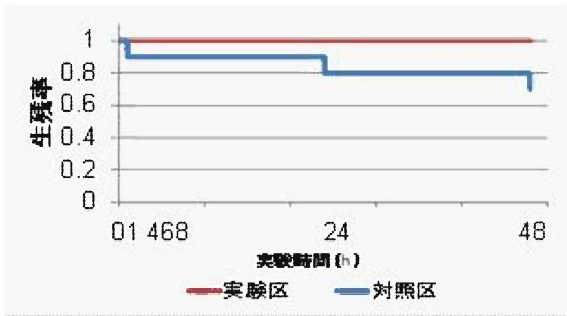


図3. 酸素供給試験中のアワビの生存率

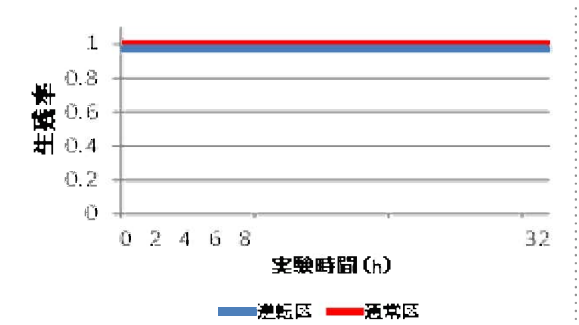


図4. 生理コントロール試験中のアワビの生存率

赤潮に強い養殖生産に向けた支援技術開発－2（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・大竹周作

本事業の詳細は、平成28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)－③－イ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。なお本事業は独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所との共同調査として実施した。

事業の目的

近年、西日本の沿岸域において、カレニアやシャットネラ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カレニア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瞭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、既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。

事業の方法

I. 法花津湾における*K. mikimotoi*赤潮衰退期の鉛直移動、環境条件、捕食圧の昼夜連続観測

*K. mikimotoi*赤潮の衰退時における細胞の鉛直分布、光合成活性および環境条件や捕食圧（渦鞭毛藻*Noctiluca scintillans*による捕食圧）の日変化について特徴を見出すことを目的とし、法花津湾（愛媛県、宇和海）において昼夜連続観測を行っ

た。法花津湾の定点YOS16（水深25m）において、2016年7月10日8:00～11日8:00に調査を実施した。調査当日はカレニア赤潮の衰退期にあった。2時間おきに採水（2 m深間隔とクロロフィル極大層）および多項目水質計（AAQ-RINKO, JFE Advantech Co., Ltd., Hyogo, Japan）や日射計（LI190S, LI-COR, Inc., Lincoln, Nebraska, USA）による環境計測を行い、調査項目は*K. mikimotoi*細胞密度および諸環境条件（水温、塩分、光量子束密度、栄養塩濃度等）とした。また、*K. mikimotoi*細胞極大層の海水試料については光合成活性を測定した。採取した海水を直ちにクーラーボックスに入れて遮光し、10～20分後にWater-PAM（Waltz社製）を用いて、Fv/Fmを計測した。得られた*K. mikimotoi*細胞密度の鉛直プロファイルから分布の中心を調べるために、細胞極大層深度（細胞密度が最も高かった深度）と以下の式を用いて平均深度（ D_{mean} ）を算出した（Shikata et al. 2017）。

$$D_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

D_i は深度（m）、 C_i は D_i における細胞密度（cells/mL）である。

さらに、*K. mikimotoi*を摂食する渦鞭毛藻*N. scintillans*の鉛直分布および摂食動態についても調べた。1 Lの海水試料を100 μm目合いのふるいで濃縮し、99.5%エタノールで固定した（最終濃度80%）。実体顕微鏡下で固定試料から*N. scintillans*を5 cells ずつ単離し、PBS バッファーによる煮沸抽出でDNAを抽出した後にLAMP法を用いて*K. mikimotoi*の有無を調べた。*N. scintillans*の食胞に摂餌物が認められる細胞の割合にLAMP 検出率を乗じて、*K. mikimotoi*を摂食した*N. scintillans*の割合を算出した。

II. *K. mikimotoi*の生残に及ぼす強光および貧栄養の影響試験

*K. mikimotoi*の光合成および生存に対する強光・貧栄養の影響を明らかにすることを目的として室内実験を行った。実験には、佐伯湾より分離した*K. mikimotoi*の無菌クローン株を用い、通常培養条件（12hL:12hD, 明期6:00～18:00, 100 μmol/m²/s, 白色光）で継代培養した。培地として、完全

培地（改変SWM-3培地）、N欠培地（改変SWM-3培地から窒素源を除いたもの）、P欠培地（改変SWM-3培地からリン源を除いたもの）、およびトリス海水（ろ過海水にトリスを添加してpH7.8としたもの）を用いた。これらの培地に、対数増殖期にある*K. mikimotoi*を細胞密度が 10^4 cells/mLとなるように接種した。その後、温度条件と明暗周期は継代培養と同じとし、通常光（ $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）あるいは強光（10:00～14:00に強光 $1,000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を照射、それ以外の明期は $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）下で培養し、毎日、光学顕微鏡下で細胞を計数して細胞密度を追跡した。また、9:30～10:00の時間帯にクロロフィル蛍光測定装置PAM-2500（Waltz社製）を用いて光合成活性Fv/Fm（光化学系II最大量子収率）を測定した。次に、栄養状態の異なる細胞の強光感受性を調べるために、4種の培地で7日間培養した*K. mikimotoi*について、細胞密度を 2×10^4 cells/mLに調整した後、強光（ $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）を照射して光合成活性を3分おきに120分間追跡した。

Ⅲ. *K. mikimotoi*における昼間の表層集積に及ぼす強光の影響

栄養状態の異なる*K. mikimotoi*細胞について、昼間強光に晒された際に表層集積がどのように変化するかを室内で調べた。実験には、 25°C 、12hL:12hD（明期6:00～18:00、 $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、白色蛍光灯）で継代培養した*K. mikimotoi*を用いた。対数増殖期にある*K. mikimotoi*をろ過海水で洗浄後、完全培地、N欠培地、P欠培地で7日間培養した。各培地で培養した3 mLの*K. mikimotoi*を分光光度計用のプラスチック製セルに入れ（水深3 cm）、観察光として近赤外光LED（中心波長850 nm; HL 01 IR850, Pi Photonics Inc., Shizuoka, Japan）で照明した。試料に100あるいは $1,000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の白色光を上方から照射し、レンズの先端に800 nm以上の光をカットするロングパスフィルター（cut off wavelength of <800 nm, LX-903, Mitsubishi Layon Co. Ltd, Tokyo, Japan）を装着したCCDカメラ（Pixelfly, PCO AG, Kelheim, Germany）で細胞の鉛直分布を2分間おきに30分間撮影した。白色光照射のための光源として、キセノンランプ（xenon lamp, LC-8, Hamamatsu Photonics K. K., Hamamatsu, Japan）を用い、昇温を防ぐために、光源から試料の光路に熱線カットフィルター2枚（Hot mirror, Edmund Optics Inc., Barrington, USA）を設置した。なお、撮影は*K. mikimotoi*が表層に集積する時間帯（9:00～13:00）に行った。得られた画像はImage Jによって処理し、表層付近（0～0.375 cm深）のGray valueの平均値（表層集積度）を算出した。

Ⅳ. *K. mikimotoi*へのウイルス感染に及ぼす光照射の影響

ウイルスの中にはUV照射によって感染が促進されるものがある。そのため、*K. mikimotoi*が表層に集積した場合、UV照射によってウイルス感染が誘発され、赤潮の終息に寄与する可能性がある。そこで、*K. mikimotoi* KmH6株とそれに感染するウイルス（KmDNAV5）を用いて、光照射がウイルス感染に及ぼす影響について検討した。*K. mikimotoi*を24穴プレートに各800 μL 入れた後、ウイルスあるいは完全培地を100 μL を加えた。その後、波長の異なる単色光を*K. mikimotoi*に鉛直上方向から6:00～18:00に3時間、照射した。単色光は大型スペクトログラフを光源とし、光量子束密度を $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、波長をUV～可視域（320, 360, 400, 440, 600, 680 nm）に設定した。また、6:00～18:00の時間帯は $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の白色光（蛍光灯）をすべてのサンプルに背景光として照射し、それ以外の時間帯は暗条件とした。なお、温度条件は 25°C とした。試験開始2～4日後に、*K. mikimotoi*細胞を光学顕微鏡下で計数した。

結果・考察

I. 法花津湾における*K. mikimotoi*赤潮衰退期の鉛直移動、環境条件、捕食圧の日変化

調査期間中、*K. mikimotoi*の細胞極大層深度および平均深度はそれぞれ4.6～16 m深および4.9～14.4 m深の範囲で変化した。すなわち本種は中層で鉛直移動したが、同湾における過去の日周鉛直移動観測結果や赤潮発達期における観測結果（Koizumi et al. 1996, Shikata et al. 2017; 約20 m）に比べると、移動距離は半分程度であった。また、極大層深度や平均深度の上限は水温や塩分の躍層、および密度躍層の直下にあった。一方で、ほとんどの時間帯で、栄養塩濃度は表層や海底で比較的高かったが、カレニアの集積深度では増殖に必要な濃度（半飽和定数、DIN: $0.78 \mu\text{M}$, DIP: $0.14 \mu\text{M}$, 山口1994）より低かった。さらに、昼間（12:00～16:00）は海面に $500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上の強光が入射していたが、平均深度における光量子束密度は低く、*K. mikimotoi*の1日の総受光量（平均深度における光量子束密度の積算値）は $0.45 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ で、カレニアの生残に必要な光量（ $0.5 \text{ mol}/\text{m}^2/\text{d}$ ）を下回っていた。細胞極大層における光合成活性（Fv/Fm）は0.56～0.68の範囲で変動し、昼間低く、夜間高い傾向にあった。以上の結果は強い成層や貧栄養などの悪環境下でカレニアは十分に鉛直移動できなくなり、栄養塩や光をうまく獲得できず、衰退を余儀なくされる場合がある可能

性を示唆する。また、赤潮の衰退時までカレニアの光合成活性は高く維持されるが、昼間に受光すれば一時的に低下することもあることが明らかとなった。

*N. scintillans*は一貫して表層に多く分布（表層平均：61 cells/L）し、*K. mikimotoi*の摂食率は低かった（0～20%）。*K. mikimotoi*は調査期間中、表層にはほとんど分布せず、*N. scintillans*とはほとんど遭遇しなかったと考えられた。今回の結果より、*K. mikimotoi*に対する捕食圧は本種および捕食者の鉛直分布および鉛直移動パターンに大きく影響されることが示された。

II. *K. mikimotoi*の生残に及ぼす強光および貧栄養の影響

完全培地およびP欠培地の培地においては、通常光と強光間で生育に大きな差は認められなかった。それに対し、N欠培地およびトリス海水では、通常光下では培養期間中、細胞密度がほとんど変化しなかったのに対し、強光下では明確に減少した。また、強光下において、N欠培地よりもトリス海水で細胞密度の減少は速かった。一方で、培養開始時点（前培養7日間後）の光合成活性（Fv/Fm）は完全培地で高く、N欠培地およびトリス海水で低かった。完全培地では、通常光および強光いずれの条件においても、Fv/Fmは細胞が増殖した培養開始5日目までは横ばいだったが、その後低下していった。P欠培地においては、Fv/Fmは通常光下で培養開始1日後、強光下で5日後から少しずつ低下していった。N欠培地およびトリス海水において、Fv/Fmは通常光下では培養期間中ほとんど変化しなかったが、強光下では少しずつ減少していき、10日後には0.2を切った。

次に、各培地で前培養した細胞に強光を照射し、光合成活性を計測した。その結果、N欠培地およびトリス海水では光合成活性が急速に減少し、強光耐性が低下していることが分かった。

以上の結果より、窒素欠乏状態にある*K. mikimotoi*細胞は強光耐性が低下して細胞死が起こりやすくなることが示唆された。また、トリス海水ではNの他に強化されていない微量金属等の濃度が強光耐性の低下に関与する可能性も考えられた。

III. *K. mikimotoi*における昼間の表層集積に及ぼす強光の影響

異なる培地で前培養した*K. mikimotoi*に強光を照射し、表層集積度の変化を観察した。100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を照射した場合、表層集積度は、完全培地やP欠培地では照射直後に上昇してその後一定となり、N欠培地ではほとんど観察時間中に変化しなかった。一方で、1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を照射した場合、表層集積度は、N欠培地やP欠培地では照射直後に一時的に上昇してその後元に戻ったのに対し、完全培地培地では一貫して減少した。以上の結果より、栄養状態が良好な細胞は強光から逃避するが、栄養欠乏状態にある細胞は明確な逃避行動を示さない可能性が示唆された。

IV. *K. mikimotoi*へのウイルス感染に及ぼす光照射の影響

異なる光条件下において、*K. mikimotoi*（約1,100 cells/mL）を単独あるいはウイルスを加えた状態で培養した。その結果、UV領域である320 nmを照射した場合、*K. mikimotoi*の細胞密度は、*K. mikimotoi*単独培養区ではわずかに増加したのに対し、ウイルス接種区では試験開始3日後から急激に細胞密度が減少し、4日後には35 cells/mLに達した。一方で、その他の実験区では、試験期間中に細胞密度の大きな変化は認められなかった。この結果から、紫外線が*K. mikimotoi*へのウイルス感染を促進する可能性が示唆された。今後、その可能性を検証するために、同様の試験に加え、力価（感染力）を計測する予定である。

参考文献

- Koizumi, Y., T. Uchida & T. Honjo. 1996. Diurnal vertical migration of *Gymnodinium mikimotoi* during a red tide in Hoketsu Bay, Japan. *Journal of Plankton Research*, 18, 2, 289-294.
- 山口峰生 1994. *Gymnodinium nagasakiense* の赤潮発生機構と発生予知に関する生理生態学的研究. 南西水研報, 27, 251-394.
- Shikata, T., Onitsuka, G., Abe, K., Kitatsuji, S., Yufu, K., Yoshikawa, Y., ... & Miyamura, K. (2017) Relationships between light environment and subsurface accumulation during the daytime in the red-tide dinoflagellate *Karenia mikimotoi*. *Mar Biol* 164: 18.

赤潮で魚の養殖生産に向けた支援技術開発-2 (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・大竹周作

本事業の詳細は、平成27年度魚場環境・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防・被害防止等技術開発」(2)④-1 有害赤潮鞭毛藻の遊泳特性を利用した新規赤潮防除技術の開発」に記載し、本報告はその概要である。なお本事業は独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所、水産工学研究所、独立行政法人水産大学校との共同調査として実施した。以下に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カレンア等鞭毛藻による有害赤潮が頻発しており、その発生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鞭毛運動を行って遊泳し、生残や増殖に好適な環境条件の存在する深度層に定位することで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遊泳特性に着目し、赤潮初期段階で高密度化を防ぐあるいは赤潮発生時に養殖魚介類との接触を軽減する新規の赤潮防除技術を提案することを目的とする。アイデアは二つあり、①赤潮鞭毛藻類の走光性を利用して赤潮を分散させるあるいは養殖魚介類にいない層へ集積させる技術開発、②大型パイプやポンプ等を用いて、亜表層や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である。本研究では有害赤潮鞭毛藻類の遊泳特性に着目し、赤潮初期段階で高密度化を防ぐあるいは赤潮発生時に養殖魚介類との接触を軽減する新規の赤潮防除技術の提案を目指す。

事業の方法

【サブテーマ①】

I. 赤潮フィルターの試作・試用

平成 28 年 8 月、瀬戸内海区水産研究所前の筏（1 区画：3.7 m × 3.7 m）において、試作した赤潮フィルター（浜松ホトニクスと共同制作）を被せ、フィルターの使いやすさや耐久性、フィルター被覆による環境への影響を調べた。

II. 赤潮防除幕の試用

1). ビニールシートによる生簀包囲試験

赤潮の水平移入を防ぐ方法論を確立するために、まずはビニールシートで完全に生簀側面を遮断し、その場合に生じる問題点を調査した。調査は佐伯湾に面する大分県農林水産研究指導センター水産研究部の養殖生簀で実施した。平成 28 年 8 月 26 日、灰色のビニールシート（3 m 深）で生簀（3 m × 3 m × 2.4 m）の側面を包囲した。8 月 29 日には生簀内の環境を計測するために各種データロガー（水温、塩分、クロロフィル、流速、DO）を生簀中央部の表層（0.4 ~ 0.6 m 深）と生簀底層（1.7 ~ 1.8 m 深）に設置し（DO は生簀底層のみ）、ブリ（平成 27 年産、1 歳）20 尾をビニールシート包囲区と非包囲区に投入した。ブリの生残確認は 9 月 13 日まで、データロガーによる計測は 9 月 8 日まで行った。

2) 赤潮の生簀内への流入量を抑制するための網地の設置方法の検討

生簀網内への赤潮の流入を防ぐ方法として、生簀網の回りを微細な目合の網地で囲い、設置する方法が想定される。しかし、海中に微細な目合の網地を設置した場合、潮汐によって大きな抵抗が生じるので、網地の形状を保持するためには膨大な固定力を要することになる。よって、網内への赤潮流入量を抑える方法として、目合を細かくするよりも網地を複数枚重ねることが現実的かもしれない。本年度は、網地を重ねて現場に設置する上で生じ得る問題点を抽出するために、水槽実験を実施した。実験は 2016 年 12 月 12 日から 17 日まで水産大学校の大型回流水槽で実施した。水槽は全長 13.6 m、全幅 5.1 m、全高 1.87 m、観測部は長さ 6.0 m、幅 2.2 m、深さ 1.2 m で水量は約 50 m³の水平循環型である。本水槽は最高流速 1.2 m s⁻¹の定常流を発生させるリモートコントロール方式の起流装置を備えている。本実験で使用した網地は、1 辺が 62 cm の正方形の金属製の枠に P.E.製の網地（目合：34 mm、網糸太さ：2.2 mm）を縮結 30% で取り付けたものとした。この網地を 2 枚用意し、網地 1 枚の場合、網目を塞ぐように網地 2 枚を重ねた場合、網地 2 枚の間隔を 20 cm、30 cm、40 cm にそれぞれ設置した場合における海水流入量の変化および網地抵抗の計測を行った。網地抵抗は、張力計に動歪計を接続して得られた電気信号を A/D 変換機にて電圧をデジタルで表示させて計測した。また、ここでは設置した網地の 10 cm 後方

に設置したプロペラ流速計にて流速を計測し、設定流速と比較することで網地の設置による流入量を評価した。本実験において、流速はリモートコントロールによって $10 \sim 70 \text{ cm s}^{-1}$ まで 10 cm s^{-1} ずつ増速させることで7段階に設定した。

Ⅲ簡易な赤潮藻類曝露試験系の確立

トラフグ稚魚を用いた赤潮アッセイ系をセットアップし、試用した。2016年6月に体長約4.5 cm、体重約2.9 g、7月には体長約6.5 cm、体重約9.3 gのトラフグ稚魚に室内で培養した *Chattonella antiqua* を曝露した。実験水槽として10 L円形水槽を用い、止水でエアレーションを施し、水温を約25℃に設定した。*C. antiqua* の細胞密度は、6月は0 (コントロール)、1,200、2,000、2,500、3,000 cells mL⁻¹ の5段階、7月は0、1,200、2,400、4,000 cells mL⁻¹ の4段階に設定し、ビデオカメラによりトラフグの行動を24時間連続撮影した。行動解析はそれぞれの録画記録から5分間隔で、正常遊泳(動き大、小)、異常遊泳、着底・横臥、へい死の5種類に分類して行った。

【サブテーマ②】

I. 佐伯湾における中層赤潮浮上技術の開発 2016年6月3日～8月4日の期間に佐伯湾松浦漁港奥に赤潮浮上装置を設置し、深度5 mの中層海水をおよそ 250 t h^{-1} で揚水した。また、揚水による *K. mikimotoi* 個体群への影響を調査するため、赤潮浮上装置設置箇所およびその周辺3点の計4定点において、毎週、表層、クロロフィル極大層(極大層が未確認時は5 m深)および出水口付近の海水を採取して *K. mikimotoi* を計数するとともに、CTDによる水温、塩分、クロロフィルの鉛直プロファイルを測定した。

結果・考察

【サブテーマ①】

I. 赤潮フィルターの試作・試用

フィルター設置数日後から、連結部の破損が頻発した。また、分光光度計を用いてフィルター断片の透過スペクトルを計測したところ、*C. antiqua* の負の走光性を阻害する波長帯(520～630 nm)の透過率が設置8日後から急激に上昇していた。

水温はフィルター被覆の有無で明確な差は認められなかった。調査期間中、好天が続く、昼間の海面における水中光量子束密度(PAR, 空中)は毎日 $1,500 \mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ を越えた。フィルター被覆区の水光量子束密度は、3 m深まではほとんどの調査日でフィルター非被覆区約30%であったが、それよりも深くなると上昇した。

II. 赤潮防除幕の試用

1). ビニールシートによる生簀包囲試験

生簀を囲ったビニールシートは試験開始から9月4日までは異常なかったが、9月5日にビニールシートの収縮が起こり、翌日にやや回復した。非包囲区において、ブリは9月4日に1尾へい死したが、それ以外の個体については13日まで生残した。一方で、包囲区では9月7日に7尾、12日に10尾のブリがへい死し、13日に全滅した。ブリの体重は、試験開始時には平均で899 g、試験終了時の生残個体の平均値で905 gであった。包囲区のブリの斃死は①9月4～5日の降雨によって河川からの出水および塩分低下、②ビニールシート内の密度差によりビニールシートの形状が変化し、生簀内の容積低下と下層との海水交換の減少の発生、同時に成層化で海面におけるガス交換が低下、③ビニールシート内の溶存酸素濃度が低下の①～③の各過程を経て発生したと推察された。

2) 赤潮の生簀内への流入量を抑制するための網地の設置方法の検討

設定流速に対する網地後方の流速の関係は、いずれの網地の設定方法においても相関係数 $R = 0.999$ 以上の直線関係が認められ、設定流速の高低に関係なく、一定の割合で網地後方の流速が減速した。一方網地に係る抵抗は流速の増大に対して、おおよそ流速の1.71～1.86乗に比例して増大した。網地1枚の場合、設定流速 $10 \sim 70 \text{ cm/s}$ に対して生じた抵抗は114～3,360 gfであったのに対して、網地2枚を重ねた場合に生じた抵抗は173～5,665 gfとなり、網地1枚の場合に比べて、2枚を重ねた場合の抵抗は約1.7～1.8倍となった。一方、網地2枚を20 cm間隔で設置した場合に生じた抵抗は、144～5,728 gf、網地2枚を30 cm間隔で設置した場合、158～5,970 g、網地2枚を40 cm間隔で設置した場合、156～5,777 gfとなり、網地を重ねた場合とほぼ同じ値を示した。以上の結果から、2枚の網地の間隔を空けて設置した場合、1枚の網地の抵抗の2倍より小さかった要因は、1枚目の網地によって流入量が阻害されることによって、2枚目の網地の抵抗が低減したためと推察される。

Ⅲ簡易な赤潮藻類曝露試験系の確立

C. antiqua の細胞密度2,400 cells/mL以上ではへい死がみられ、4,000 cells/mLでは約4時間で75%が、3,000 cells/mLでは約10時間で80%がへい死した。2,000 cells/mL以下の試験区ではへい死個体はみられなかったことから、*C. antiqua* の細胞密度が高くなるに生残に影響があり、トラフグは2,000 cells/mL以下では少なくとも24時間は生存可能と思われた。また、細胞密度別にトラフグの行動を比較すると、*C. antiqua* の細胞密度が高くなるほど正常遊泳が減少し、着底頻度が増えた後、へい死に至る個体が多か

った。過去のブリやマダイ稚魚における同様の実験結果と比較すると、トラフグ稚魚はへい死に至るまでの時間が長く、へい死が起こる細胞密度も高いことから、*C. antiqua* に対する耐性は高いと考えられ、また、曝露中の行動も魚種によって異なることが分かった。

【サブテーマ②】

I. 佐伯湾における中層赤潮浮上技術の開発

赤潮浮上装置は 6 月 21 ～ 30 日に落雷の影響によって停止したが、それ以外の期間は正常に稼動した。また、赤潮浮上装置の出水口付近（表層）と赤潮浮上装置から数 m 離れた地点における *K. mikimotoi* の定位深度の細胞密度は稼動開始日（6 月 3 日）を除いて概ね同調的に変動したことから、赤潮浮上装置直下の中層に存在していれば、*K.*

mikimotoi のパッチは揚水されていたと推察された。また、赤潮浮上装置を設置した地点および周辺 3 定点において、*K. mikimotoi* の細胞密度をモニターした結果、赤潮浮上装置を設置した地点では、稼動開始日に高い細胞密度（570 cells/mL）を記録したが、以降急激に減少し、6 月下旬にはほとんど検出されなくなった。一方、その他の調査定点では、稼動開始 1 ～ 2 週間後までは細胞密度は増加または停滞し、その後ほとんど検出されなくなった。以上の結果より、本装置によって中層で形成されている *K. mikimotoi* 濃密度層を連続して表層付近に浮上させることによって、昨年引き続き *K. mikimotoi* 赤潮の発達を抑制する効果があった可能性がある。

低水温期発生型赤潮対策強化事業

宮村和良・大竹周作

事業の目的

猪串湾ではこれまで有害プランクトンの発生が度々確認されてきたが、最近冬季に出現する *Cochlodinium polykrikoides* (以後 *C. polykrikoides*) が赤潮を形成する事例が頻発されるようになった。2015年の冬季には高密度化した本種の赤潮が形成され、湾内の赤潮水塊の一部が湾外に流出し、沖合養殖場のブリ類に甚大な被害が発生した。そこで、猪串湾で発生する *C. polykrikoides* の赤潮発生メカニズムを解明および効率的な赤潮対策を構築する為、本種の生理生態的特性について調査、研究を行った。

事業の方法

1. 遊泳細胞の出現および分布調査

猪串湾の内外に調査点を5点(図1 Sta.A-E)設置し、2016年4月~2017年3月にかけて毎月1~4回の調査を実施した。調査は採水器(RIGO-B号 離合社製)による表層および3m層または5m層の採水、CTD(AAQ-RINKO JFEアドバンテック社製)による0.5m~海底まで0.1m毎の水温、塩分および酸素濃度の測定を行った。湾奥のSta.Aでは精密調査点とし、さらに2m層、10m層、底上1m層の採水も行った。採水した海水は直ちに研究室に持ち帰り、濃縮処理等を行わずに、光学顕微鏡を用いて有害プランクトンの同定・計数を行った。

2. *C. polykrikoides* シストの分布と発芽

1) *C. polykrikoides* シストの分布

C. polykrikoides シスト(シスト)の分布状況を調査する為、2016年4月6日、10月7日の計2回、湾内から湾外に調査点29点を設け、エクマンバージ採泥器(15cm×15cm)を用いて採泥を行った。採取した海底泥は船上で、バット上に展開した後、表層泥を葉サジで回収し、ポリエチレン製容器に封入、遮光後、クーラーボックスに収容して持ち帰った。持ち帰った海底泥は実験室で分取し、一部を底質環境の分析試料として保存し、残りをシスト検出用の試料として冷暗所(5℃)で保存した。その後、愛媛大学にクール便(冷蔵)で送付し、Real time PCRを用いてシストの検出を行った。なおシストの検出作業は愛媛大学に委託した。

2) *C. polykrikoides* 発芽試験

発芽試験は2016年12月5日、2017年1月16日、2月13日、3月6日に調査点3点(図1 Sta.1,15,28)回収した海底泥および海底直上海水を用いて実施した。採泥方法は既述した同様な方法で実施し、海底直上海水は採水器をを静かに着底させ採水した。発芽試験は以下の通りである。

①各調査点毎の海底直上海水をGF-Fガラスフィルターでろ過後、最終濃度が0.1%になるように二酸化ゲルマニウムを添加。

②ポリスチレン製培養フラスコに①の海水を500ml入れた後、各調査点の海底泥を0.5gづつ添加し、転倒混合で懸濁させる。

③現場の海水温に設定した培養庫内(明暗周期12時間)で一週間静置。

④各フラスコ内の海水を全て回収し、孔径5μmのプランクトンネットで100倍に濃縮後、全海水を光学顕微鏡で検鏡し *C. polykrikoides* の遊泳細胞を計数し、湿泥1g当たりの発芽細胞として換算する。

3. 底質環境調査

2. 1)の *C. polykrikoides* シストの分布調査時に得られた底泥試料を用いて、各調査点の泥中の酸揮発性硫化物量(AVS)を検知管(ガステック社製)を用いて検出を行った。検出は調査当日に実施した。

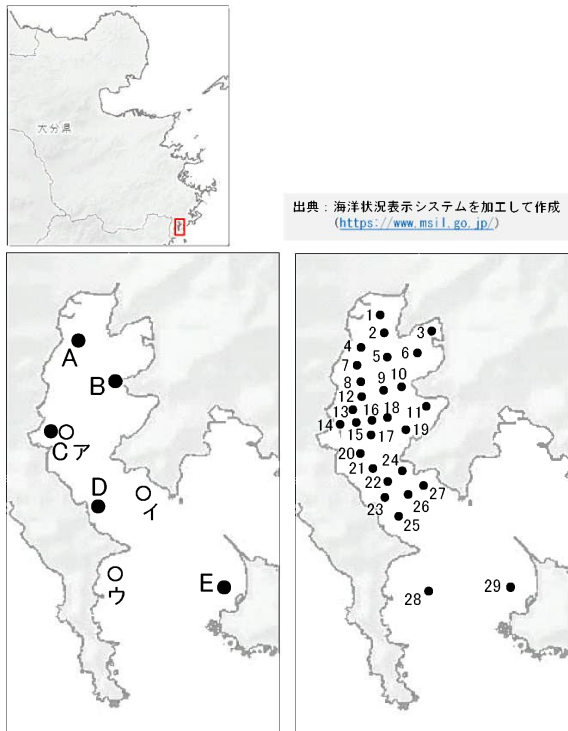


図1 調査点(下段左：遊泳細胞分布調査、観測機器設置箇所、野々河内川採取地点、下段右：シスト調査、底質調査点)

4. 赤潮水塊の流出要因調査

本種の赤潮水塊の流出を検討する為、2015年1月～6月の期間に自動昇降式多項目水質計（環境システム社製）、電磁流速計（INFINITY-EM JFEアドバンテック社製）、クロロフィル濁度計（INFINITY-CLW JFEアドバンテック社製）を設置した。各機器の設置場所および測定に関する詳細は以下のとおりである。

自動昇降式多項目水質計：湾奥のSta.Bに設置し40分毎に風速・風向並びに表層から海底までの水温、塩分、蛍光クロロフィルの測定を行った。

電磁流速計：湾口のSta.イの水深2mおよび14m層に設置し、30分毎に流向・流速の測定を行った。

クロロフィル濁度計：湾中央のSta.ア、湾外のSta.ウの水深3mに設置し10分毎に蛍光クロロフィルの測定を行った。

5. 猪串湾流入河川からの銅、亜鉛の流出の影響

猪串湾に注ぐ野々河内川の上流には養豚場があり、そこから猪串湾に銅、亜鉛が流入することが懸念されたので、野々河内川河口付近に調査点1点(図1×)を設け、2016年6月～2017年3月に毎月1回、河川底の採泥を行った。得られた泥は実験室に持ち帰った後、冷暗所(5℃)で保存した。重金属の抽出および分析は底質調査方法(環境省 水・大気環境局 平成24年8月)に従い、ICP-MSを用いて亜

鉛と銅の検出を行った。

6. アオサの農業利用への検討

栄養塩を回収する目的としてアオサの農業利用を検討する為、安全性について検討した。2016年12月2日に猪串湾越田尾沿岸に打ちあがったアオサを回収し、汚泥肥料中の重金属管理手引書(農林水産省2015年3月)に従い、アオサの重金属含有量について測定した。分析は株式会社環境研究センター(つくば市)に委託した。またアオサの農業利用への有効性について検討する為、各種イベントやワークショップを開催して、アオサの堆肥化を検討した。

結果

1. 遊泳細胞の出現および分布推移

調査期間中の*C.polykrikoides*遊泳細胞の最高細胞密度の推移、湾奥の各層水温、塩分は図2に示したとおりである。*C.polykrikoides*遊泳細胞は未検出～2500 cells/mlで推移し8月、9月を除き、概ね周年認められた。最高密度は2016年4月下旬に確認されたが、2017年1月中旬以降は断続的に遊泳細胞の増加が認められ、3月以降は高密度で推移した。遊泳細胞が高密度で検出された際の水温、塩分の特徴として、最高密度が検出された2016年4月下旬の時には、水温の急激な上昇および塩分の低下が確認された。一方、1月中旬～3月の期間は水温が低水温で横ばいに、塩分が高塩分で横ばいに推移する期間であり、本湾における冬季の海洋環境が形成された時期と一致した。

*C.polykrikoides*遊泳細胞が断続的に増殖した1月下旬～3月の分布推移は図3に示したとおりである。遊泳細胞は湾奥で確認された後、湾奥を中心に細胞密度の増加が確認され、その後湾中央付近でも増殖する傾向が確認された。

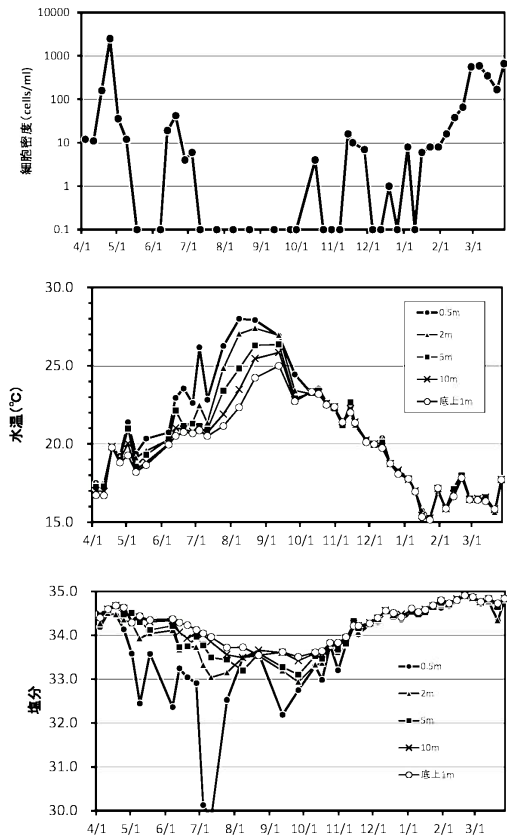


図2 全調査点の*C. polykrikoides*最高細胞密度推移及び猪串湾奥の各層水温、塩分の推移（上段：*C. polykrikoides*最高細胞密度、中段：水温、下段：塩分）

1) *C. polykrikoides*シストの分布

2016年4月6日の調査では全域でシストが検出され、その密度は0.4~1,046.8 cysts/g（湿泥）であった。湾奥のSta.1で密度が最も高く、湾中央付近でも密度が高い傾向が確認された。10月7日の調査では未検出~6.6 cysts/g（湿泥）で分布し、1.0 cysts/g（湿泥）以上が検出された点は湾中央よりやや湾奥で比較的多く確認された。両期間を比較すると4月にシスト密度が高い傾向が確認された。その要因としては前半の調査前の3月に本種遊泳細胞が本海域で高密度に出現しており、それらがシスト密度増加に寄与していることが考えられる。

2) *C. polykrikoides*発芽試験

シストの発芽結果について表1に示した。Sta.1では2月に4細胞/g（湿泥）、Sta15では1月、2月に各2細胞/g（湿泥）確認され、猪串湾内で低密度のシストの発芽が確認された。

3. 底質環境調査

AVS-S濃度を基に養殖環境基準¹⁾に従い評価した、結果は図5に示した通りである。各AVS-S濃度は2016年4月6日は0.00~0.80 mg/g乾泥、10月7日は0.00~1.04mg/g乾泥で分布していた。4月の調査では要注意漁場は9点、要改善漁場は1点であった。10月の調査では要注意漁場が10点、要改善漁場が2点、危機的漁場が1点であり、10月に汚染が進行していることが確認された。また両期間を通して、湾内で養殖漁場が存在している湾中央西側で汚染が進んでいることが確認された。

2. *C. polykrikoides*シストの分布と発芽試験

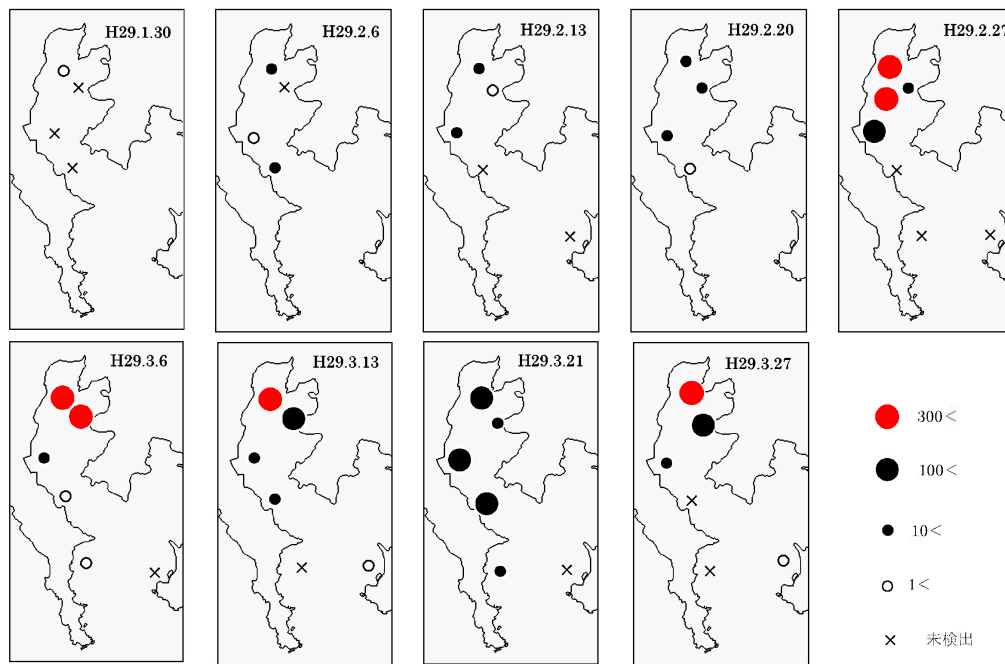


図3 *C. polykrikoides*遊泳細胞密度の分布推移

4. 赤潮水塊の流出要因調査

本種の発生は年度をまたいで発生するため、観測データの解析はH29年度の結果と合わせて解析を行う。

5. 猪串湾に流入する河川からの銅、亜鉛の流出影響調査

銅 (Cu)および亜鉛 (Zn)の底泥中の濃度は表2に示した通りであった。Cuは0.28~0.32mg/kg、Znは0.70~0.83mg/kgであり、土壤環境基準 (Cu:125mg/kg、Zn: 20mg/kg) を超える値は検出されなかった。

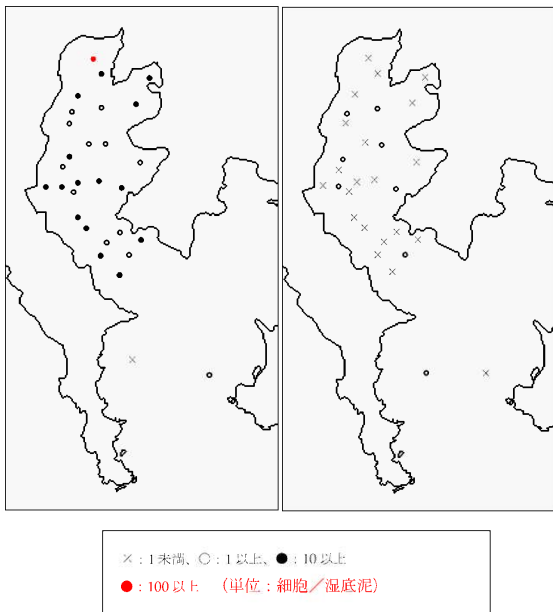


図4 *C. polykrikoides* シスト密度の分布 (左: 2016. 4. 6日、右: 2016. 10. 7)

表1 *C. polykrikoides*発芽個体数 (cells/g 湿泥)

DATE	調査点		
	Sta.1	Sta.15	Sta.29
2016/2/5	未検出	未検出	未検出
2017/1/16	未検出	2	未検出
2017/2/13	4	2	未検出
2017/3/6	未検出	未検出	未検出

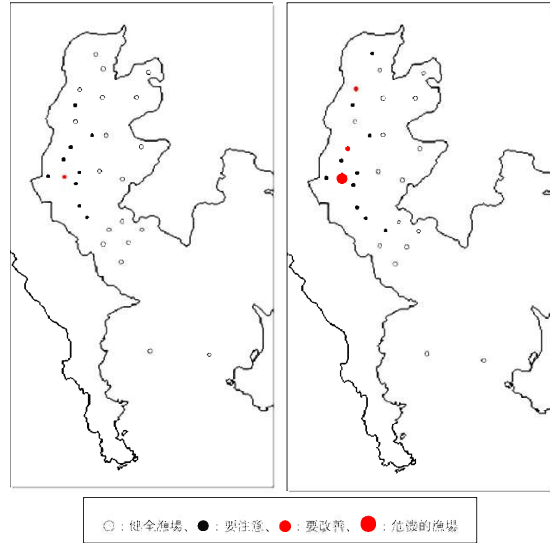


図5 酸揮発性硫化物濃度 (AVS-S) の分布 (左: 2016. 4. 6日、右: 2016. 10. 7)

表2 野々川河内河口付近における河川底泥中における銅、亜鉛の値

採集月	金属濃度(mg/kg)	
	Cu	Zn
H28.6.13	0.32	0.83
H28.7.11	0.30	0.73
H28.8.22	0.32	0.73
H28.9.12	0.31	0.76
H28.10.11	0.28	0.70
H28.11.14	0.32	0.74
H28.12.19	0.31	0.76
H29.1.10	0.31	0.78
H29.2.6	0.32	0.81
H29.3.1	0.32	0.80

6. アオサの農業利用への検討

アオサの重金属含有量を測定した結果、環境基準を超える重金属は検出されなかった。

アオサの農業への有効利用を検討する為、NPO法人おおいた有機農業研究会が主催する2016おおいたオーガニックフェスタ (開催日2106年12月10日) に参加した。また猪串湾におけるアオサの回収作業を検討するため、2017年2月10日に有機農家の協力を得て回収作業を実施した。

アオサの堆肥化について発酵によるアオサの堆肥化を試みた結果、生アオサ、もみ殻、米ぬかを2:2:1の割合で混合し、ミキサーより粉砕、常温で保管することによって、アオサ堆肥を作成することができた。

豊後水道沿岸における海底地下水湧出調査

宮村和良・大竹周作

本事業の詳細は、報告書「大分県猪串湾における海底湧水の空間分布と湧出量の評価」に記載したので、本報告はその概要である。なお本事業は福井県立大学との共同調査として実施した。

事業の目的

豊後水道沿岸の各湾は河川が少ないにもかかわらず、沿岸漁業が盛んな海域である。しかしその基礎生産を左右する栄養塩の供給については不明な点が多く、基礎生産力を解明する上で、その栄養供給源の存在を考える必要がある。近年、沿岸域への栄養塩の供給経路として、海底湧水の存在が注目されるようになり、周囲を急峻な山地に囲まれたリアス式海岸は地下水が湧出しやすい地形的特性を有していることを考慮すると、海底湧水が栄養塩の供給源として重要な役割を果たしている可能性がある。そこでモデル海域として猪串湾を選定し海底湧水の存在と湧出量を明らかにすると同時に、栄養塩供給源としてのポテンシャルを推察した。なお事業開始前に行った調査結果についても本報告書に記載した。

事業の方法

1. 海底湧水の空間分布および季節推移

海底湧水の季節推移を検討する為、冬季(2015年12月9日)、春季(2016年5月12日)、夏季(2016年8月24日)、秋季(2016年10月19日)に調査を実施した。空間分布把握する為、小型船を用いて低速(およそ時速4km)で猪串湾の海岸線を曳航し、水面下1m付近の水を連続的に汲み上げ、各調査項目(222Rn, 226Ra, 水温, 塩分, 栄養塩, クロロフィルa)を連続測定した。曳航中の位置情報はGPS(Garmin社)を用い、水深は魚群探知機(Elite-5, Lowrance社)によって把握した。222Rnは、ラドン測定器(RAD7, Durrige社)を用いて分析を行った。

2. 地下水湧出量の推定

猪串湾の奥部に観測点(N32° 8038, E131° 8893)を設置し、2016年8月25~26日の間(およそ25時間)に調査項目(水中の222Rn濃度, 水温, 塩分, 水深)の連続測定を行った。222Rn分析システムはDurrige社の基本設定に従って、水中ポンプで海水を汲み上げ15分間隔で測定した。また、水温塩分計および

深度計(DEFI-DHF, JFEアドバンテック社)は潮に流されないように重りを取り付け海底に沈め、測定を行った。海底湧水の湧出量は、Burnett&Dulaiova(2003)の222Rn収支計算手法に従い、実測データ(222Rn濃度, 水温, 水位)を使用し、また、気象庁(蒲江)のデータベースから観測期間中の60分毎の平均風速データを使用し、計算した。

結果

1. 海底湧水の空間分布および季節推移

1).222Rn, 塩分, NO₃, NH₄, PO₄について以下に示す。
222Rn: 海岸線の222Rn濃度は、季節によって変化した。冬季は、湾北西部でわずかに高い濃度が観測された。春季は、湾の北西部で高い濃度であり、南東部付近で一部高い濃度が観測された。夏季は湾内全域でやや低い傾向にあるものの、他の季節と類似した222Rn濃度の空間分布であった。秋季は、湾の北西部で最高濃度(241.1 Bq/m³)を示し、湾の北西部から湾の西部にかけて広い範囲で高い濃度を観測した。いずれの季節においても湾北西部は高い222Rn濃度を示し、湾の東岸広域で低い傾向を示した。季節ごとに海岸線の222Rn濃度を平均化すると、秋季が最大値(118.1±66.3 Bq/m³)であり、春季(88.0±43.2 Bq/m³)、夏季(56.3±35.6 Bq/m³)、冬季(13.4±17.9 Bq/m³)の順であった。

塩分: 冬季は34.7~35.3で推移し、湾北西部はわずかに低塩分であった。春季は33.3~34.0で推移し、同じく湾の北西部で低塩分となった。夏季は33.3~33.6で推移し、湾奥から西部にかけて広い範囲で低塩分域を示した。秋季は32.9~33.5で推移し、湾の北西部で低塩分を示した。すべての季節でわずかな塩分の変化が確認されたが、湾の北西部で最も低塩分の傾向が認められた。また、冬季の塩分は湾内全域で比較的高塩分であった。

NO₃: 冬季は1.0~3.67 μmol/L (2.35±0.79 μmol/L)であった。春季は0~1.75 μmol/L (0.60±0.52 μmol/L)であり、湾の北西部で高濃度域が存在した。夏季は0.09~1.10 mol/L (0.36±0.24 μmol/L)であり、湾内全域で低濃度であった。秋季は0.10~3.04 μmol/L (1.09±0.99 μmol/L)であり、湾の北西部と南西部に高濃度域が存在した。

NH₄: 冬季は0.70~1.93 μmol/L (1.09±0.34 μmol/L)であり、湾内全域で比較的高い濃度を示した。

春季は $0.01\sim 0.35 \mu\text{mol/L}$ ($0.56\pm 0.35 \mu\text{mol/L}$)であった。夏季は $0\sim 4.75 \mu\text{mol/L}$ ($0.34\pm 0.98 \mu\text{mol/L}$)であり、多くの測点で未検出であったが、局所的に高濃度となる地点が存在した。秋季は $0.10\sim 0.71 \mu\text{mol/L}$ ($0.24\pm 0.2 \mu\text{mol/L}$)であった。

PO4：冬季は $0.18\sim 0.53 \mu\text{mol/L}$ ($0.33\pm 0.11 \mu\text{mol/L}$)であり、湾内全域で高い濃度であった。一方、春季は $0.01\sim 0.35 \mu\text{mol/L}$ ($0.10\pm 0.08 \mu\text{mol/L}$)、夏季は $0\sim 0.28 \mu\text{mol/L}$ ($0.07\pm 0.07 \mu\text{mol/L}$)、秋季は $0.01\sim 0.37 \mu\text{mol/L}$ ($0.14\pm 0.09 \mu\text{mol/L}$)であり、数地点で局所的に高濃度となる地点が見られるものの、湾内全域で低濃度であった。

2).222Rn と塩分, NO₃, PO₄ の関係

いずれの季節においても222Rn 濃度と塩分に有意な負の相関関係(冬季・夏季・秋季： $P<0.01$,春季： $P<0.02$)が認められた。また、春季と秋季は、22Rn 濃度とNO₃-に有意な正の相関関係(春： $P<0.01$,秋： $P<0.02$)が認められた。その他については、222Rn との明瞭な関係性は認められなかった。

2. 地下水湧出量の推定

定点(猪串湾北西部)における222Rn 濃度は時間的に変化し、最大 124.4 Bq/m^3 、最低 59.2 Bq/m^3 であった。222Rn 濃度は、前日に行った曳航観測(湾北西部)で観測された濃度($41.3\sim 137.1 \text{ Bq/m}^3$)と概ね一致していた。観測点の水位は、およそ $1.4 \text{ m}\sim 2.4 \text{ m}$ の間で推移した。算出された海底湧水量は $4.3\pm 2.2 \text{ L/m}^2/\text{h}$ 程度であった。また、海底湧水量の時間変化と潮位変化には、明瞭な関係性が認められなかった。

考察

1.海底湧水の存在と湧出域の探索

すべての季節で222Rn 濃度と塩分に有意な負の相関関係が認められたことから、湾内に淡水性地下水の湧出があると考えられる。また、湾内には大きな河川は存在していないことから、222Rn 濃度の地域的な変化は湧出量の違いを反映していると考えられた。いずれの季節においても湾の北西部の低塩分の海域は最も高濃度の222Rn が観測され、河川流入域

よりも低塩分であったことから、湾奥に河川とは別の淡水供給源としての湧出域があると推測された。また季節によって222Rn 濃度に変化していたことから、季節的な湧出量の変化があることが示唆された。

2.海岸線の湧出量評価

222Rn の収支計算により定点観測地点の湧出量(絶対値)と曳航観測で得られた222Rn 濃度から得られた空間的な湧出量の違い(相対値)を元に、海岸線を5つのエリア(A,B,C,D,E)に区分し、それぞれのエリアにおける湧出量の算出を試みた。各エリアの湧出量を推定した結果、いずれの季節においてもエリアA(湾北西部)が最大の湧出量であり、エリアD、E(東岸)の湧出量は少なかった。このことから、猪串湾の西岸は比較的湧出量が多く、その中でも特にエリアA(北西部)が主要な湧出域であると考えられる。また、主要な湧出域としてエリアAの湧出量を季節ごとに比較すると、秋季が最大($22.6 \text{ L/m}^2/\text{h}$)であり、春季($17.0 \text{ L/m}^2/\text{h}$)、夏季($12.9 \text{ L/m}^2/\text{h}$)、冬季($2.9 \text{ L/m}^2/\text{h}$)の順であった。

3.海底湧水と河川による栄養塩供給量の比較

エリアAを主要な湧出域とし、夏季の栄養塩供給量を河川と比較した。海底湧水と河川水による流量および栄養塩供給量を比較した結果、流量は海底湧水が河川を上回り、海底湧水による栄養塩供給量は、溶存無機態の窒素($\text{DIN}=\text{NO}_3+\text{NO}_2+\text{NH}_4$)で3倍、リン($\text{DIP}=\text{PO}_4$)で6倍ほどであり、河川からの供給量より多かった。このことから、海底湧水が供給する栄養塩は、猪串湾の生物生産において重要な役割を果たしているものと考えられた。

参考文献

Burnett, w.c., Dulaiova, H.(2003): Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. Journal of Environmental oactivity 69(2003) 21-35.

水産物輸出拡大対策

木藪 仁和・川上 恵

事業の目的

近年の日本食ブームで、養殖ブリの輸出、とりわけ保存性、コストに優れた冷凍フィレーが伸張している。しかしながら、冷凍フィレは生鮮フィレーに比べ、血合の変色が進みやすく、品質が低下するという欠点がある。

本事業では、海外輸出に向けた養殖ブリの冷凍フィレーにおける血合筋の変色防止技術の開発を行った。

事業の方法

実験は2016年10月27日、12月5日及び1月26日に行った。体重4～5kgの養殖ブリから血合筋を2.5cm×2.5cm、厚さ5mmに切り出して試験に供した。窒素ナノバブル（以下NB）を発生させた2%塩水の試験水に浸漬したものを実験区とし、塩水に浸漬せず5℃の冷蔵庫に保管したものを無処理対照区とした。10月27日は2%塩水にのみ浸漬した塩水対照区を設けた。NB水は実験前日に福岡県で製造され、ナノバブル密度、DOを測定した後、宅配便で当部に発送された。（表1）

供試筋は30分間、-30℃のアルコールブライン冷凍機で凍結後、-20℃および-50℃の冷蔵庫に保管した。保管後は氷水中に15分浸漬して解凍し、その後3℃の冷蔵庫内に保管し、色彩色差計を用いて褐変状況を経時的に測定した。

表1 試験設定

試験日	試験区	NB水浸漬	処理温度(℃)	処理時間(分)	NB密度(億個/ml)	DO(mg/ml)
2017/10/27	無処理対照	×	5	10	—	—
	塩水対照	○	8	10	—	7.20
	NB	○	8	10	4.60	0.42
2017/12/5	無処理対照	×	5	10	—	—
	NB	○	8	10	2.46	0.38
	無処理対照	×	5	10	—	—
2018/1/26	L短区	○	0	10	3.57	0.52
	H短区	○	8	10		
	H長区	○	8	60		

※NB密度、DOIはNB水製造時計測

事業の結果及び考察

1) 2016年10月27日実験

-50℃保存26日後の解凍結果は図1に示したと

おりである。刺身の限界とされる血合筋褐変の指標 b^*/a^* 値0.8に達する時間は、無処理対照区と比較して、実験区で7時間、2倍の延長が見られた。塩水対照区では延長が見られなかった。-20℃保存13日後は、全ての試験区で解凍直後に b^*/a^* 値0.8を超え褐変していた。

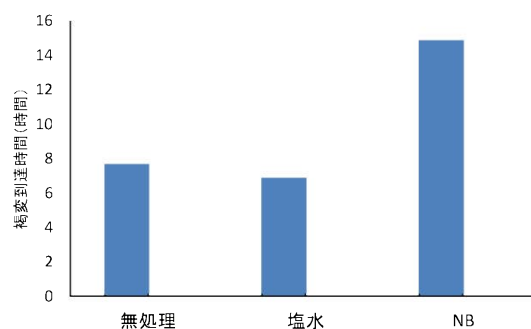


図1 褐変到達時間（2016.10.27試験）

2) 2016年12月5日実験

10月27日の実験では、NB水の到着が遅れ、十分に水温を下げられず、8℃での試験となった。前年の試験から、生鮮のブリでは水温5℃以下のNB水浸漬で褐変をより防止できることが示されていることから、水温5℃での実験を行った。-50℃保存30日後の解凍結果は図2に示したとおりである。 b^*/a^* 値0.8に達する時間は、無処理対照区よりも短くなり、変色防止の改善及び再現性は示されなかった。-20℃保存15日後は、全ての試験区で解凍直後に b^*/a^* 値0.8を超え褐変していた。

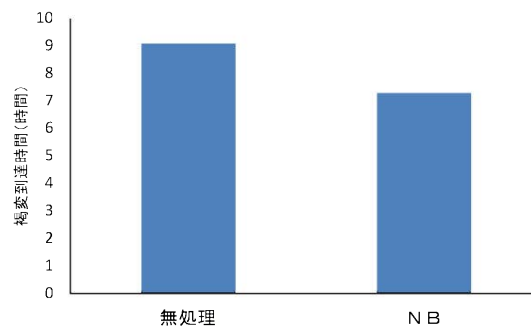


図2 褐変到達時間（2016.12.5試験）

3) 2017年1月26日実験

-50℃保存30日後の解冻結果は図3、図4に示したとおりである。b*/a*値0.8に達する時間は、L短区(0℃10分浸漬)で最も長く、無処理対照区(0℃10分浸漬)で最も長く、無処理対照区(0℃10分浸漬)の約2倍の延長が見られた。次いで延長が見られたのはH短区(8℃10分浸漬)で、H長区(8℃60分浸漬)では延長が見られなかった。赤みを示すa*値は、解冻直後、無処理対照区が最も高かったが、その後はL短区が最も高くなった。

以上、NB水への0℃、10分の浸漬でプリ血合筋冷凍後の変色防止効果が高かったが、再現性が見られない事例もあり、効果の発現条件の解明が必要である。また、-20℃の保存ではいずれも効果が見られていないことから、実用レベルにはさらに検討が必要である。

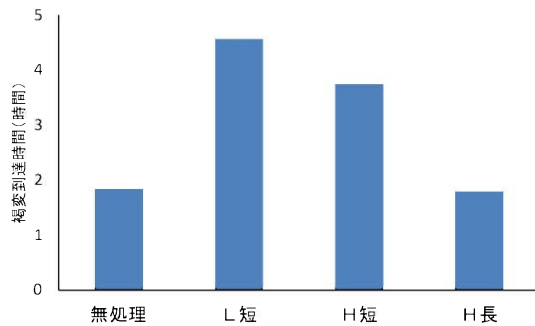


図3 褐変到達時間 (2017.1.26試験)

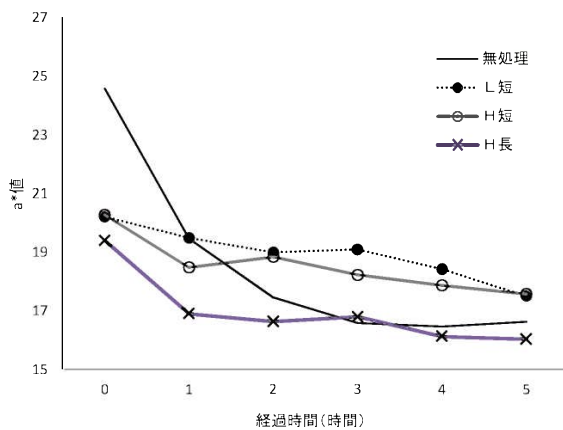


図4 解冻後のa*値 (2017.1.26試験)

種苗生産施設整備事業

大竹周作・宮村和良

事業の目的

クルマエビやガザミの種苗生産において、特に飼育初期は餌料として珪藻培養水（ブラウンウォーター）が必要であり、漁業公社国東事業場では粗放的な管理で珪藻培養が行われている。本事業では、海域の異なる漁業公社上浦事業場での同様な珪藻培養の可能性について検証を行った。

試験は4回行い、1回目：珪藻発芽および増殖を維持する諸要因について抽出する、2回目：栄養塩の追加と海水の交換による珪藻維持効果を検証する、3回目：注水によって海水を正常に保ち浮遊珪藻を維持する、4回目：付着珪藻の除去によって浮遊珪藻の増殖を維持することをそれぞれ目的とした。

事業の方法

a) 共通

実験は3t水槽を使用した。珪藻類の種は佐伯市上浦の水産研究部前の海底から2018年7月7日に採集した泥を使用した。使用時までには100gずつフリーザーパックに分けて冷暗所で保存した。使用海水は水産研究部前から採水している濾過海水を使用した。

栄養塩の添加量は直接添加、滴下添加ともに漁業公社国東事業場で使用している分量に準じた。滴下添加は一日で100Lパンライトに作成した栄養塩がすべて落ちるように設定した。

a) 観察項目：水温(°C)、塩分、クロロフィルa ($\mu\text{g/L}$)、透視度 (cm)、栄養塩 ($\mu\text{mol/L}$)、出現プランクトン

各試験の方法は以下のとおりである。

1回目

期間：2016年7月7日～7月21日

水槽：1つ

海水：砂ろ過海水（止水）

栄養塩：直接添加

2回目

期間：2016年7月29日～8月9日

水槽：3つ（A、B、C）

海水：砂ろ過海水（止水）

A ピーク時だけ3/4換水

B ピーク時に操作なし

C ピーク時に操作なし

栄養塩：直接添加

A ピーク時に栄養塩追加

B ピーク時に操作なし

C ピーク時に栄養塩追加

3回目

期間：2016年10月14日～10月28日

水槽：2つ（A、B）

海水：砂ろ過海水（プランクトン増殖のピーク時までは止水）

A ピーク時から注水（1回転/日）

B ピーク以降も止水、換水なし

栄養塩：滴下添加

A ピーク時から滴下により栄養塩を毎日添加

B ピーク時から滴下により栄養塩を毎日添加

4回目

期間：2016年11月17日～12月9日

水槽：2つを交互に使用

海水を全量移動させ付着珪藻の影響を排除

海水：砂ろ過海水（プランクトン増殖のピーク時までは止水）

ピーク時から注水（1回転/日）

栄養塩：滴下添加

ピーク時から滴下により栄養塩を毎日添加

事業の結果および考察

1回目

観察項目と栄養塩の測定結果は表1、表2に示したとおりである。（以下の表も同様に記載のこと）有

用な浮遊性珪藻と考えられる種として *Skeletonema* sp が発生した。実験開始から4日目に植物プランクトンが発生し始め、5日目に増殖のピークを迎えた。その後は6日目から *Skeletonema* sp は減少し、*Nitzschia* sp.、*Pseudo-nitzschia* sp. 等の付着珪藻の細胞数が多くなった。12日目からは微細藻類が優占し、グリーンウォーターとなり、再び浮遊珪藻が増殖することにはなかった。栄養塩は、ピーク時に SiO_2 が枯渇し、 $\text{PO}_4\text{-P}$ も8日目から枯渇状態になった。植物プランクトンの発生後からピークを迎えるまでに急速に栄養塩が消費されるため、ピーク後に栄養塩を追加する必要があると考えられた。

2回目

有用な浮遊性珪藻と考えられる種として *Skeletonema* sp が発生した。実験開始から3日目に植物プランクトンが発生し始め、4日目に増殖のピークを迎えた。3/4換水および栄養塩の添加を行った水槽Aでは6日目、栄養塩の添加のみを行った水槽Cでは4日目までブラウンウォーターを維持できた。その後はどちらの水槽も付着珪藻である *Nitzschia* sp.、*Pseudo-nitzschia* sp. および微細藻類が増殖し、再び浮遊珪藻が増殖することにはなかった。栄養塩は、ピークを迎える時点で急激に消費され、 $\text{PO}_4\text{-P}$ や SiO_2 についてはすぐに枯渇状態になり、栄養塩を追加してもすぐに消費され、枯渇状態は解消されなかった。どの水槽でも7日目頃からプランクトンの死滅により $\text{NH}_4\text{-N}$ が急増し、水槽は泡立ち、状態が非常に悪くなっていた。

ピーク後には栄養塩をさらに追加する必要があるが、栄養塩の添加のみでは珪藻以外のプランクトンの増殖や水質の悪化が起り、浮遊珪藻の維持には効果が薄いと考えられる。ブラウンウォーターの維持には栄養塩の添加だけでなく換水により海水を正常に保つ必要があることが示唆された。

3回目

有用な浮遊性珪藻と考えられる種として *Leptocyli* *ndrus* sp.、*Thalassiosira* sp. が発生した。実験開始から3日目に植物プランクトンの増殖のピークを迎えた。ピーク時から注水（1回転/日）および栄養塩の滴下を行った水槽Aは、ピーク後、ブラウンウォーターが徐々に薄くなり、実験終了時である14日目まで浮遊珪藻は存在したものの状態が悪く、壁面の付着珪藻が目立つようになっていった。ピーク時から栄養塩の滴下のみを行った水槽Bでは、7日目頃から浮遊珪藻は見られなくなり、微細藻類が増殖し

た。

栄養塩は、ピーク時には急激に減少したが、両区とも滴下を行うと、枯渇することなく推移した。

栄養塩を供給しながら注水を行うことで、微細藻類の発生を抑えることができ、ピーク後の浮遊珪藻の維持が2週目まで可能であることが示された。しかし、付着珪藻が壁面に増殖し、浮遊珪藻に必要な栄養塩を奪ってしまうために、長期の浮遊珪藻の増が抑制されている可能性が示唆された。

4回目

有用な浮遊性珪藻と考えられる種として *Rhizosolenia* sp.、*Thalassiosira* sp. が発生した。実験開始から5日目に植物プランクトンが発生し始めたが、急激な着色はなかったため、8日目に栄養塩の滴下のみ開始した。11日目にはブラウンウォーターとなり、注水（1回転/日）を開始した。その後も実験終了時である22日目までブラウンウォーターは維持され、細胞の状態も良好であった。栄養塩は、ピーク時と14日日以降で SiO_2 の消費量が多く、枯渇した日も在った。

実験後半では SiO_2 の消費量が多かったため、 SiO_2 の供給量を増やすことで、珪藻がより増殖しやすくなる可能性が示唆された。

【今後の課題】

本結果から、栄養塩の供給、海水の交換、付着珪藻の排除等を常時行う労力をかければ、上浦においても珪藻を培養することは可能だと考えられる。今回は水槽を交換することで付着珪藻の除去を行ったが、労力を抑えるためには壁面に日光が当たらないように深さのある水槽や壁への日光の照射を妨げるような覆いのついた水槽を作成するなどの工夫が必要である。

浮遊珪藻の粗放的な常時培養は、県南海域に比べ県北海域の方が容易に行うことが出来ると考えられる。県南海域では浮遊珪藻の培養・維持が難しい一方、付着珪藻が容易に増殖するため、付着珪藻を餌とする生物の養殖には適した環境にあると考えられる。

表1. 実験1回目観察項目

日付	経過日数	水温	塩分	クロロフィル	透視度
7月7日	0	27.42	33.69	0.01	40
7月8日	1	23.93	31.63	0.05	40
7月9日	2	—	—	—	—
7月10日	3	—	—	—	—
7月11日	4	25.75	24.16	7.35	40
7月12日	5	25.74	22.92	110.56	25
7月13日	6	26.28	22.26	120.58	25
7月14日	7	25.22	20.75	102.77	20
7月15日	8	25.05	20.97	98.32	20
7月16日	9	—	—	—	—
7月17日	10	—	—	—	—
7月18日	11	—	—	—	—
7月19日	12	26.94	21.84	43.41	25
7月20日	13	26.79	22.13	29.31	25
7月21日	14	26.93	22.37	25.97	25

表2. 実験1回目栄養塩測定結果

実験1回目	NH4-N	NO2	NO3	DIN	PO4-P	SiO2
	μ mol/L	μ mol/L	μ mol/L	μ mol/L	μ mol/L	μ mol/L
H28. 7. 7	5.796	0.727	544.8	551.323	16.53	33.52
H28. 7. 8	4.838	0.773	505.2	510.811	15.41	29.03
H28. 7. 11	0.361	1.821	389	391.182	10.67	20.4
H28. 7. 12	0.928	2.21	307.9	311.038	3.44	0
H28. 7. 13	5.425	4.04	233.5	242.965	0.715	0
H28. 7. 14	6.922	3.57	213.3	223.792	0.853	0
H28. 7. 15	1.553	4.51	171.9	177.963	0.029	0
H28. 7. 19	0.537	5.4	113.79	119.727	0.057	0
H28. 7. 20	3.465	5.56	103.24	112.265	0.03	0
H28. 7. 21	0.956	5.7	90.34	96.996	0.059	0

表3. 実験2回目観察項目

水槽	日付	経過日数	水温	塩分	DO	クロロフィル	透視度	
A	7月29日	0	24.5	33.42	7.02	0.04	40	
	7月31日	2	28.6	34.01	6.37	0.37	40	
	8月1日	3	27.7	34.38	6.5	20.41	40	
	8月2日	4	28.1	34.93	6.48	50.83	30	
	8月3日	5	27.8	34.57	6.65	104.99	25	
	8月4日	6	27.9	34.88	6.62	233.73	20	
	8月5日	7	28.2	34.84	6.29	49.34	18	
	8月8日	10	28.4	36.49	6.26	6.49	30	
	8月9日	11	28.1	37.03	6.31	11.32	30	
	B	7月29日	0	25.9	33.46	6.68	0.019	40
		7月31日	2	28	34.03	6.41	1.035	40
8月1日		3	27.3	34.34	6.52	22.668	40	
8月3日		5	27.4	35.3	6.49	58.989	40	
8月4日		6	27.4	35.68	6.65	97.573	20	
8月5日		7	27.8	36.07	6.43	155.820	20	
8月8日		10	28.1	37.21	6.27	66.780	20	
8月9日		11	27.8	37.75	6.22	73.087	22	
C		7月29日	0	24.5	33.44	7.07	0.02	40
		7月31日	2	28	33.97	6.43	0.17	40
		8月1日	3	27.2	34.2	6.48	4.75	40
	8月2日	4	27.6	34.74	6.55	43.04	35	
	8月3日	5	27.4	35.23	6.6	143.95	25	
	8月4日	6	27.4	35.65	6.57	252.28	22	
	8月5日	7	27.9	36.05	6.47	188.10	20	
	8月8日	10	28.1	37.17	6.25	122.80	30	
	8月9日	11	27.6	37.69	6.29	123.17	33	

表4. 実験2回目栄養塩測定結果

実験2回目	水槽	NH4-N	NO2	NO3	DIN	PO4-P	SiO2	
		μ mol/L	μ mol/L	μ mol/L	μ mol/L	μ mol/L	μ mol/L	
H28. 7. 29	A	0.733	0.213	427	427.946	11.54	31.42	
H28. 7. 31		0.584	2.069	441.3	443.953	12.07	33.11	
H28. 8. 1		0.492	3.12	420.7	424.312	9.93	30.38	
H28. 8. 2		0.558	4.2	382.7	387.458	4.3	6.446	
H28. 8. 2		0.4	7.07	308.1	315.57	0.119	0	
H28. 8. 3		0.415	6.45	625.9	632.765	0.047	0	
H28. 8. 4		0.367	5.17	566.9	572.437	0.055	0	
H28. 8. 5		0.906	6.54	511.5	518.946	0.194	0	
H28. 8. 8		37.38	6.81	552.6	596.79	0.079	0	
H28. 8. 9		36.23	7.11	562.5	605.84	0.054	0	
H28. 7. 29		B	0.774	0.221	444.7	445.695	12.24	30.92
H28. 7. 31	0.153		2.206	454.8	457.159	12.15	31.63	
H28. 8. 1	0.174		3.18	442.6	445.954	9.68	12.14	
H28. 8. 2	0.293		4.69	404.6	409.583	4.84	0	
H28. 8. 3	0.196		6.14	362.9	369.236	1.233	0	
H28. 8. 4	0.251		7.67	258.3	266.221	0.018	0	
H28. 8. 5	4.401		7.94	205	217.341	0.064	0	
H28. 8. 8	9.977		10.49	158.7	179.167	0.369	0	
H28. 8. 9	14.79		10.72	152.3	177.81	0.285	0	
H28. 7. 29	C		0.764	0.215	437.4	438.379	11.9	31.42
H28. 7. 31			0.464	2.095	452.4	454.959	12.13	33.11
H28. 8. 1		0.196	2.94	448.9	452.036	12.03	30.38	
H28. 8. 2		0.196	4.28	403.7	408.176	6.48	6.446	
H28. 8. 2		0.254	13.71	338.1	352.064	0.36	0	
H28. 8. 3		0.067	6.7	826.2	832.967	0.053	0	
H28. 8. 4		0	9.75	754.6	764.35	0.041	0	
H28. 8. 5		4.419	14.54	730	748.959	0.204	0	
H28. 8. 8		29.06	20.05	712.8	761.91	0.096	0	
H28. 8. 9		22.79	21.73	729.9	774.42	0.043	0	

表5. 実験3回目観察項目

水槽	日付	経過日数	水温	塩分	DO	クロロフィル	透視度
A	10月14日	0	21.7	33.54	7.18	0.18	45-46
	10月17日	3	21.6	32.61	7.64	16.92	43
	10月18日	4	22.6	33.03	8.20	65.30	46
	10月19日	5	22.4	33.29	8.55	82.73	35
	10月20日	6	21.0	33.42	8.02	67.89	46
	10月21日	7	20.2	33.56	7.91	50.09	45
	10月22日	8	20.2	32.39	7.34	29.31	45
	10月23日	9	-	-	-	47.49	-
	10月24日	10	18.0	33.27	8.68	-	45
	10月25日	11	18.5	33.55	8.97	75.31	47
	10月26日	12	20.8	33.59	8.37	84.22	45
	10月27日	13	19.9	33.43	8.72	82.73	46
	10月28日	14	19.8	32.79	7.38	40.44	45
	B	10月14日	0	21.7	33.56	7.13	0.19
10月17日		3	21.8	32.60	7.62	18.48	44
10月18日		4	23.0	32.70	8.49	102.03	35
10月19日		5	23.0	32.87	7.69	74.94	30
10月20日		6	21.4	33.10	7.43	48.23	45
10月21日		7	20.1	33.29	7.61	27.08	45
10月22日		8	19.6	32.02	7.43	12.61	45
10月23日		9	-	-	-	26.71	-
10月24日		10	17.1	31.80	8.30	-	45
10月25日		11	17.4	32.05	8.52	40.07	35
10月26日		12	20.3	32.17	8.00	69.75	35
10月27日		13	19.7	31.91	8.26	67.52	32
10月28日		14	19.5	31.45	7.37	65.30	35

表6. 実験3回目栄養塩測定結果

実験3回目	水槽	NH4-N	NO2	NO3	DIN	PO4-P	sO2
		μmol/L	μmol/L	μmol/L	μmol/L	μmol/L	μmol/L
H28. 10. 14	A	0.997	0.158	449.5	450.655	11.81	30.88
H28. 10. 17		0.028	1.057	328.9	329.985	10.16	25.82
H28. 10. 17 夕方		0.089	2.137	291.4	293.626	8.35	9.794
H28. 10. 18		0.218	1.829	282.2	284.247	8.29	11.975
H28. 10. 19		0.816	2.387	285.8	289.003	5.73	1.092
H28. 10. 20		1.554	2.546	253.8	257.9	5.76	2.498
H28. 10. 21		1.534	3.23	458.7	463.464	12.99	13.045
H28. 10. 22		3.315	2.54	214.7	220.555	6.09	9.941
H28. 10. 24		0.803	1.999	460.1	462.302	13.75	21.75
H28. 10. 25		1.577	1.557	454.7	457.834	12.32	12.523
H28. 10. 26		1.205	1.556	523.1	525.861	12.58	10.715
H28. 10. 27		1.454	1.923	522.1	525.477	10.52	9.239
H28. 10. 28		2.699	3.23	566.5	572.429	11.47	12.688
H28. 10. 14		B	0.613	0.101	362.7	363.414	10.49
H28. 10. 17	0		1.054	312.4	313.454	9.65	22.95
H28. 10. 17 夕方	0		2.12	295.8	297.92	7.57	8.368
H28. 10. 18	0.651		3.03	574.8	578.481	15.61	14.44
H28. 10. 19	4.173		6.12	663.7	673.993	15.41	44.36
H28. 10. 20	8.332		18.46	1018.8	1045.592	27.4	22.61
H28. 10. 21	3.607		24.31	1274	1301.917	35.1	37.37
H28. 10. 22	13.244		28.1	1347	1388.344	39.2	51.27
H28. 10. 24	1.977		19.7	2001	2022.677	61.5	89.67
H28. 10. 25	2.268		27.2	2168	2197.468	64.6	92.6
H28. 10. 26	1.564		29.1	2209	2239.664	59	72.24
H28. 10. 27	2.423		32.2	2721	2755.623	50.8	63.88
H28. 10. 28	2.415		33.5	2927	2962.915	46.9	55.8

表7. 実験4回目観察項目

水槽	日付	経過日数	水温	塩分	DO	クロロフィル	透視度
B	11月17日	0	18.9	33.71	7.49	0.10	46
	11月18日	1	15.4	33.75	8.04	0.11	46
	11月19日	2	-	-	-	-	-
	11月20日	3	-	-	-	-	-
	11月21日	4	17.1	31.51	7.9	2.00	46
	11月22日	5	16.4	31.59	8.13	6.12	46
	11月23日	6	15.4	31.64	8.95	27.83	46
	11月24日	7	13.9	31.73	8.57	57.13	46
	11月25日	8	9.1	31.92	9.81	43.04	46
	11月26日	9	11.4	31.95	9.63	54.17	40
A	11月27日	10	13	31.06	9.9	81.99	35
	11月28日	11	10.9	31.26	9.89	89.78	35
	11月29日	12	10.9	32.05	9.82	89.04	40
	11月30日	13	12.6	32.91	9.42	92.75	35
	12月1日	14	15.1	33.54	8.98	82.73	40
	12月2日	15	13.3	33.77	9.29	93.86	48
	12月3日	16	15.9	34.02	10.05	122.43	45
	12月4日	17	15.4	33.44	10.49	119.09	45
	12月5日	18	14.4	33.78	9.37	90.90	48
	12月6日	19	14.4	33.81	8.39	100.54	48
B	12月7日	20	11.4	34.16	9.37	100.17	48
	12月8日	21	12	34.12	9.46	97.20	48
	12月9日	22	12.2	34.13	9.35	84.96	48

表8. 実験4回目栄養塩測定結果

実験4回目	NH4-N	NO2	NO3	DIN	PO4-P	SiO2
	μmol/L	μmol/L	μmol/L	μmol/L	μmol/L	μmol/L
H28. 11. 17	0.407	0.235	20.51	21.152	0.079	8.102
H28. 11. 18	1.317	0.207	383.1	384.624	0.429	34.49
H28. 11. 21	0.619	0.73	357.2	358.549	10.49	28.02
H28. 11. 22	0.499	1.078	347.8	349.377	10.14	21.45
H28. 11. 23	0.625	1.983	332.1	334.708	8.55	7.056
H28. 11. 24	0.258	2.89	312.2	315.348	6.32	0.538
H28. 11. 25	0.5	3.98	294.8	299.28	5.01	0.373
H28. 11. 26	4.691	4.43	450.6	459.721	7.87	1.942
H28. 11. 27	4.728	4.38	850.4	859.508	18.55	17.97
H28. 11. 28	3.685	4.47	1302.4	1310.555	29.5	36.9
H28. 11. 29	0.811	4.4	1016.5	1021.711	21.94	22.76
H28. 11. 30	1.054	3.83	819.5	824.384	15.83	10.448
H28. 12. 1	0.551	3.5	531.3	535.351	7.16	1.446
H28. 12. 2	0.64	3.25	350.4	354.29	3.41	0.955
H28. 12. 3	1.532	4.77	351.5	357.802	3.42	0.852
H28. 12. 4	0.646	3.37	229.9	233.916	1.573	0.564
H28. 12. 5	0.551	1.769	484.7	487.02	7.13	2.09
H28. 12. 6	0.939	1.96	397.9	400.799	5.39	1.65
H28. 12. 7	0.511	2.76	295.1	298.371	3.52	1.172
H28. 12. 8	0.579	2.89	507	510.469	7.07	1.822
H28. 12. 9	0.509	2.72	433.9	437.129	6.38	1.714

