

赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業（概要）

（豊後水道・土佐湾における有害赤潮等分布拡大防止）

増養殖環境課 鈴木 怜・渡辺 貢
宿毛漁業指導所 大山 隼人・占部 敦史

1 はじめに

（1）土佐湾

浦ノ内湾は、奥行き約 9km、幅約 500m と細長く、また、湾口部に洲を有することから海水交換が悪い。そのため、夏季には降雨によって湾外との密度差が増大し、湾外水が湾底層に入り込む密度流が発生する¹⁾。その密度流によって、湾奥部では底層の栄養塩や底質の有害藻類シストが巻き上げられて局所的な赤潮が発生することがあり、その赤潮が表層移流に乗って湾全体へと拡散して大規模な赤潮に発達すると考えられている（図 1）^{2,3)}。また、これまでの水産試験場の調査や養殖業者からの聞き取りでも同様の傾向が確認されている。

そこで、本事業では湾内のプランクトンの消長及び密度流についてデータの蓄積及び解析を行うと共に、湾奥部でプランクトンの増殖動態を監視し、赤潮の短期予察について検討する。

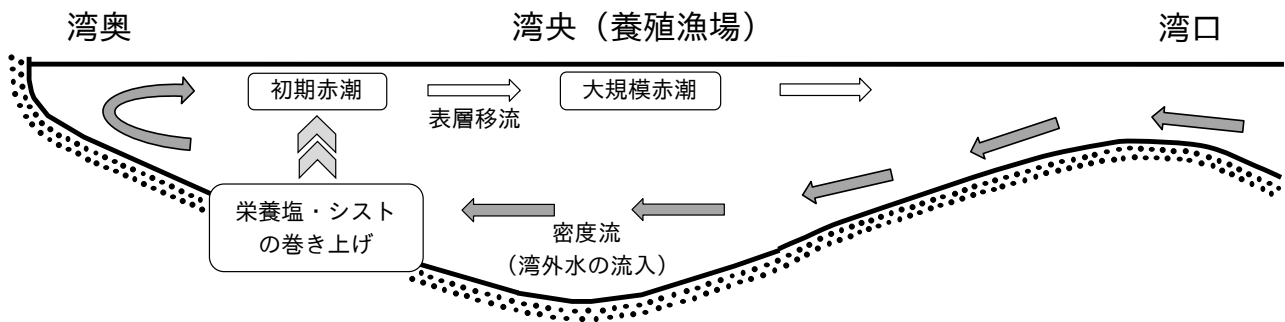


図 1 浦ノ内湾における赤潮発生メカニズム

（2）豊後水道

高知県西部に位置する宿毛湾では、平成 21 年に *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮が発生して以降、本種赤潮とそれに伴う漁業被害が続いている。そこで、当該海域における赤潮発生監視及びデータの蓄積を行う。

2 方法

浦ノ内湾では St.1~5 の 5 定点を設定し、赤潮発生時には状況に応じて調査点を増設した（図 2）。宿毛湾では、赤潮の発生状況に応じて調査点を設定した（図 2）。各調査点では、表 1 に示した項目について調査を行った。

3 結果と考察

（1）浦ノ内湾

1) 海象

① 水温、塩分、DO

湾中央部 St.3 における水温、塩分及び DO の推移を図 3 に示した。

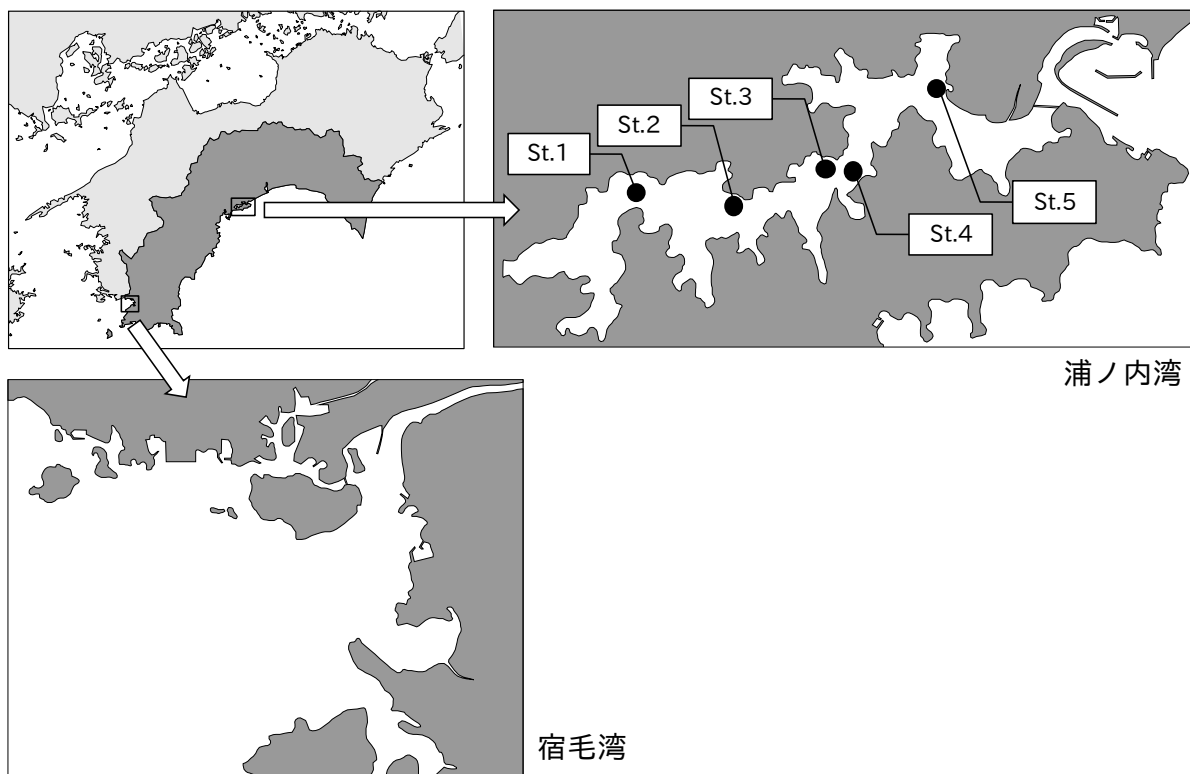


図 2 調査海域及び調査定点

表 1 調査項目

海域	項目	観測層	備考
浦ノ内湾	水温、塩分、DO	0, 2, 5, 10, B-1m	St.1～5
	連続水温	0, 5, 10, B-1m	St.1, 4 (6～8月)
	栄養塩 (N、P、Si)	0, 5, 10, B-1m	St.1, 3 (月 1 回以上)
	クロロフィル a	0, 5m	
	検鏡 (1mℓ)	0, 2, 5m	St.1～5
濃縮検鏡 (500-1000mℓ)	0, 2, 5m	St.1 (6～8月)	
宿毛湾	水温、塩分、DO	0, 5, 10m	月 1 回 + 赤潮発生時
	検鏡 (1mℓ)	0, 5, 10m	月 1 回 + 赤潮発生時
	栄養塩 (N、P、Si)	2, 10m	月 1 回

水温は、0m層は11.2～30.1℃、5m層は11.8～28.5℃、B-1m層は11.6～28.5℃の範囲で変動し、8～9月にかけて最高、1～2月にかけて最低を記録した。平年値（昭和59年度～平成23年度の平均）と比較して、8～11月は高め、それ以外の期間は低めで推移することが多かった。

塩分は、0m層は13.8～33.9、5m層は28.1～33.9、B-1m層は30.0～33.9の範囲で変動した。平年値と比較して、11～1月は高め、それ以外の期間は低めで推移することが多かった。

DOは、0m層は7.6～14.5mg/ℓ、5m層は2.5～8.7mg/ℓ、B-1m層は0.4～8.0mg/ℓの範囲で変動した。平年値と比較して、夏季は低め、それ以外の期間は高めで推移することが多かった。また、底層の貧酸素状態（4.3mg/ℓ未満）は5～8月に確認された。

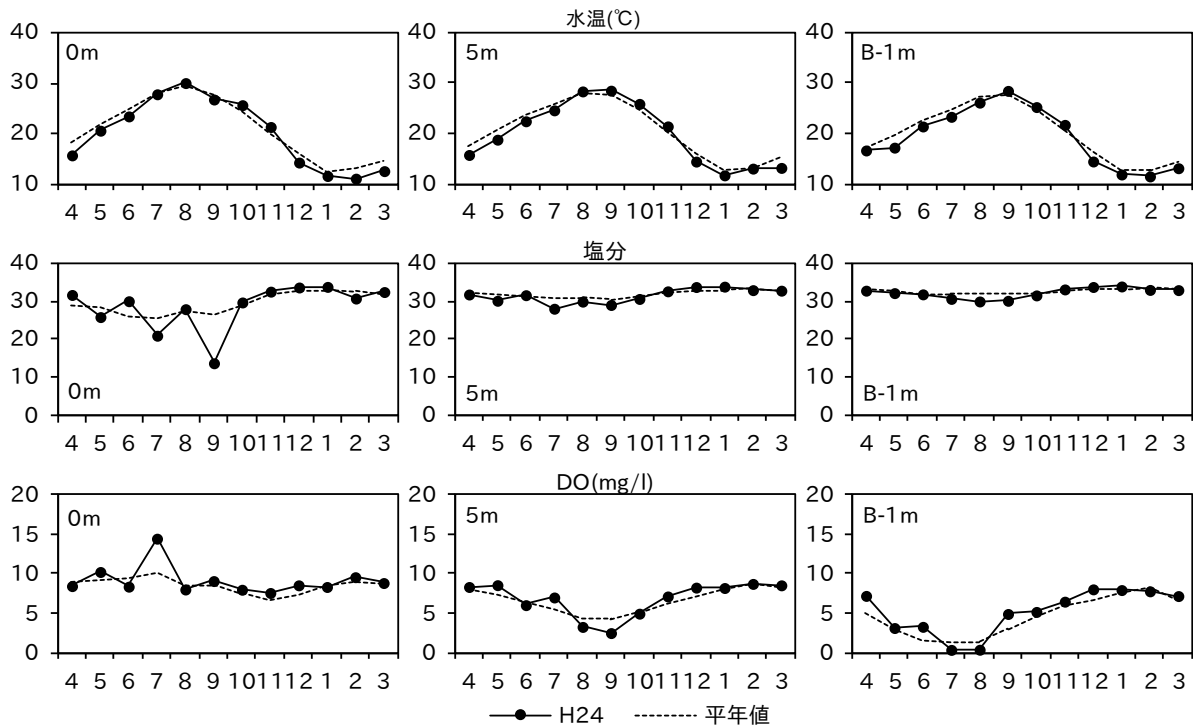


図3 湾中央部 St.3 における水温、塩分及び DO の推移（平年値は S59～H23 の平均）

② 栄養塩濃度・クロロフィル a 量

湾奥部 St.1 及び湾中央部 St.3 における栄養塩及びクロロフィル a 量の推移を図 4 に示した。

DIN 濃度は、0m 層は $0.17\sim 3.40\mu\text{M}$ 、5m 層は $0.18\sim 9.26\mu\text{M}$ 、B-1m 層は $1.00\sim 24.10\mu\text{M}$ の範囲で変動し、平年値（昭和 59 年度～平成 23 年度の平均）と比較して、低めで推移することが多かった。

$\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、0m 層は $0.02\sim 0.18\mu\text{M}$ 、5m 層は $0.02\sim 0.69\mu\text{M}$ 、B-1m 層は $0.04\sim 3.47\mu\text{M}$ の範囲で変動し、平年値と比較して、低めで推移することが多かった。

$\text{SiO}_2\text{-Si}$ 濃度は、0m 層は $0.68\sim 45.64\mu\text{M}$ 、5m 層は $0.44\sim 21.27\mu\text{M}$ 、B-1m 層は $2.35\sim 55.64\mu\text{M}$ の範囲で変動した。

クロロフィル a 量は、0m 層は $1.33\sim 16.15\mu\text{g/l}$ 、5m 層は $1.65\sim 10.55\mu\text{g/l}$ の範囲で変動し、平年値（平成 7～23 年度の平均）と比較して、秋季は高め、その他の期間は低めで推移することが多かった。

2) 有害プランクトン

① *Karenia mikimotoi*

5 月 21 日～8 月 24 日にかけて出現し、2 回赤潮を形成した。6 月下旬に発生した赤潮では、湾奥部で初期赤潮が発生し、その後、湾中央部、湾口部へと拡大する浦ノ内湾における典型的な発生パターンが見られた。最高細胞数は 6 月 22 日に観測された $3,120\text{cells/ml}$ であった。7～8 月に発生した赤潮は通常の発生パターンとは異なり、湾全体でほぼ同時に増殖を始め、赤潮を形成した。最高細胞数は 8 月 6 日に観測された $27,300\text{cells/ml}$ であった。

② *Chattonella* spp. (*C. antiqua* + *C. marina*)

6 月 1 日～8 月 17 日にかけて出現し、赤潮を形成した。湾奥部から増殖を始める浦ノ内湾での典型的な赤潮発生パターンが見られ、最高細胞数は 7 月 17 日に観測された $5,230\text{cells/ml}$ であった。

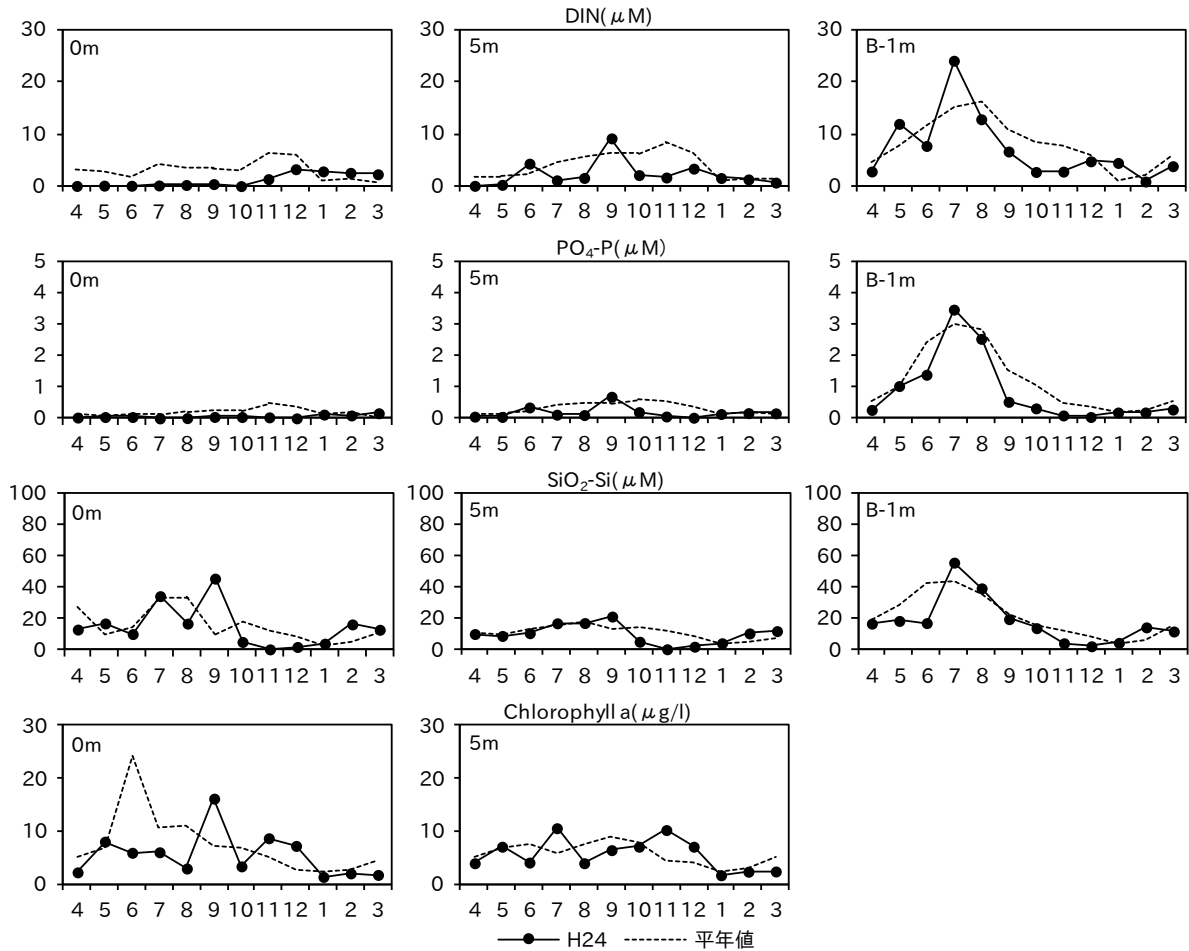


図4 湾中央部 St.3 における栄養塩濃度及びクロロフィル a 量の推移
 (栄養塩の平年値は S59~H23、クロロフィル a の平年値は H7~H23 の平均)

3) 浦ノ内湾における夏季のプランクトンの消長と海象・気象との関係

浦ノ内湾における 5~8 月の *Karenia mikimotoi*、*Chattonella* spp. 及びケイ藻類の消長と海象・気象との関係を図 5 に示した。

5 月は降雨が非常に少なく、表層の栄養塩は低濃度で推移した。そのため、5 月当初に多く確認されていたケイ藻類は徐々に衰退していった。

K. mikimotoi は、全ての水深の水温が 20℃ を上回った 5 月 21 日に初めて確認され、その後、6 月 1 日までは数 cells/ml レベルで推移した。これは、表層付近の栄養塩が枯渇していたためと考えられた。6 月 7 日以降、降雨による塩分低下、表層への栄養塩の供給、低日照と *K. mikimotoi* が増殖しやすい環境になり、また、競合種のケイ藻類もほとんど存在していなかったことから、*K. mikimotoi* が急激に増加して赤潮を形成した。6 月 22 日に最高細胞数 3,120 cells/ml を記録した *K. mikimotoi* は、6 日後の 28 日にはほぼ消失した。この要因としては、競合種のケイ藻類の増加による影響のほかに、密度流の表層移流によって表層付近で増殖していた *K. mikimotoi* が湾外へ排出された可能性も考えられた。

Chattonella spp. は底層水温が 20℃ を上回ってから約 10 日後の 6 月 1 日に初めて確認され、その後、6 月 28 日までは *K. mikimotoi* が赤潮を引き起こしていたこともあって低密度で推移した。7 月 2 日以降、*K. mikimotoi* 赤潮の消失、水温・塩分の上昇、豊富な栄養塩、高日照によって *Chattonella* spp. は急激に増殖し、赤潮を形成した。最高細胞数は 7 月 17 日に記録された 5,230 cells/ml であった。その後、*Chattonella* spp. は表層の栄養塩の枯渇等によって衰

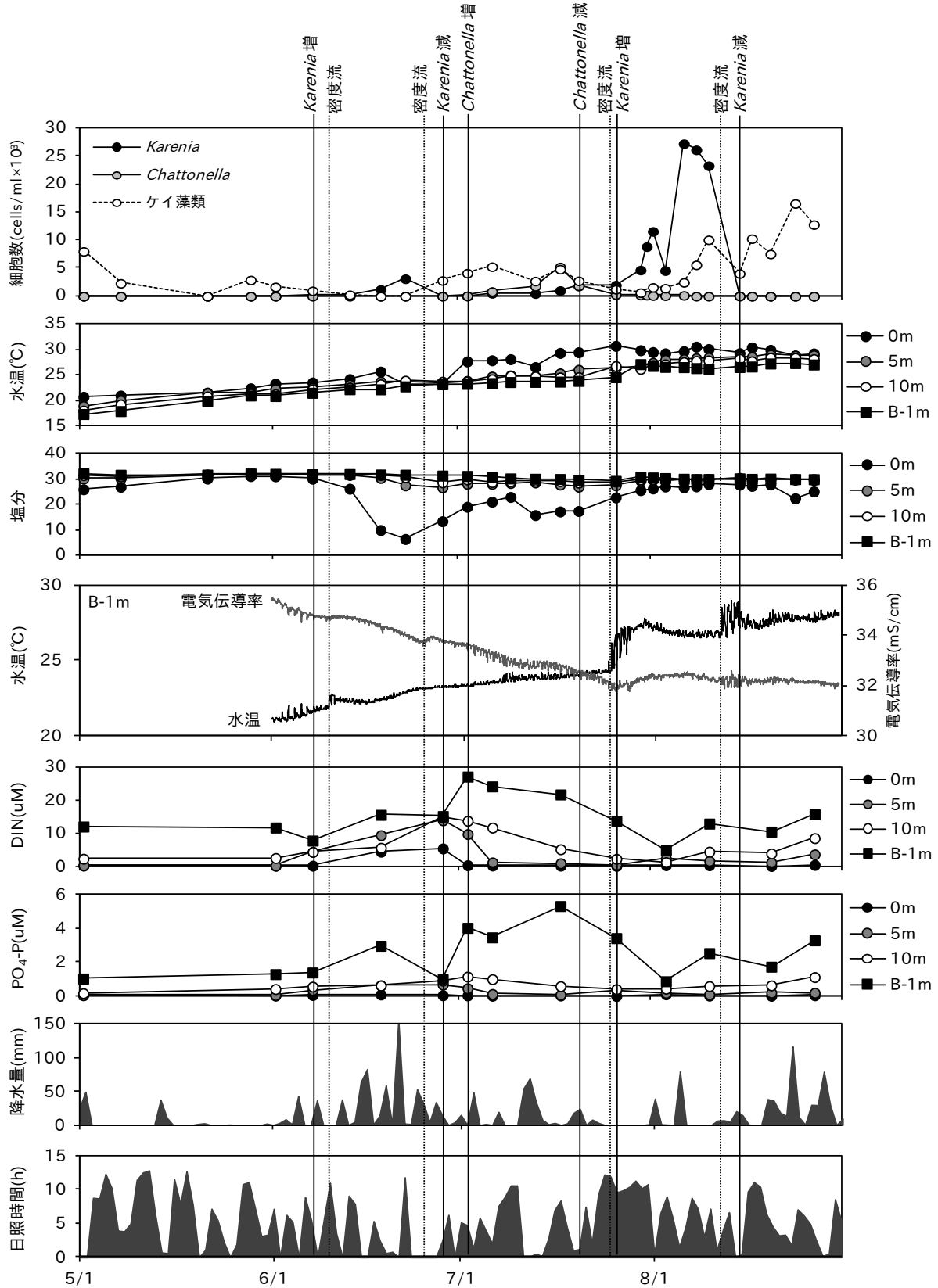


図5 夏季のプランクトンの消長と海象・気象との関係

退を始め、8月8日には数 cells/ml にまで減少した。

6月22日に一旦消失した *K. mikimotoi* は、7月6日から再び増殖を始めたが、その時発生

していた *Chattonella* spp.赤潮の影響で、しばらくは低密度で推移した。その後、*Chattonella* spp.が減少すると、*K. mikimotoi*が徐々に増殖を始め、7月25日の大規模な密度流によって栄養塩が表層へ供給されると急激な増殖を示し、赤潮を形成した。8月6日に最高細胞数27,300cells/mlを記録した *K. mikimotoi*は、5日後の15日にはほぼ消失した。この要因としては、初めの *K. mikimotoi*赤潮と同様、8月12日頃に発生した密度流の表層移流によって湾外へ排出された可能性が考えられた。8月15日以降はケイ藻類が優占し、今年度の有害赤潮は終了した。

4) 短期予察について

浦ノ内湾で頻発している *K. mikimotoi*赤潮及び *Chattonella* spp.赤潮について、競合種であるケイ藻類とともに湾奥部 St.1 で増殖動態を監視し、赤潮発生の短期予察を試みた。

浦ノ内湾では、*K. mikimotoi*と *Chattonella* spp.が同時に出現することが多く、どちらが赤潮を形成するか判断が困難である。そこで、予察を試みるにあたり、それぞれの種が赤潮になる条件を分析したところ、赤潮発生前1週間程度の2、5m層の水温は、*K. mikimotoi*は22.5~29.8℃、*Chattonella* spp.は23.3~29.9℃、2、5m層の塩分は、*K. mikimotoi*は25.6~32.4、*Chattonella* spp.は28.7~32.7であることが分かった⁴⁾。また、それぞれの種の赤潮発生前1週間程度の表層と底層の密度差（底層 σ_T -表層 σ_T ）を分析したところ、*K. mikimotoi*赤潮は密度差が小さい時に発生しやすく、*Chattonella* spp.赤潮は密度差が大きい時に発生しやすいという傾向が見られた。予察はこれら分析結果を踏まえて実施した。

① 予察1回目

5月上旬から6月上旬にかけてケイ藻類が減少するとともに、*K. mikimotoi*が増殖を始めた（図6）。同時に *Chattonella* spp.も少数確認されていたが、5月下旬から6月上旬にかけての水温・塩分分布を見ると、水温20.7~23.5℃、塩分30.7~32.1と浦ノ内湾で *K. mikimotoi*赤潮が発生しやすい状況であった。加えて、密度差は0.6~2.6と小さく、こちらも *K. mikimotoi*赤潮が発生しやすい状況であったことから、近日中に *K. mikimotoi*が赤潮を形成する可能性が高いと判断し、6月7日に注意喚起を行った。11日後の6月18日に湾奥部で *K. mikimotoi*赤潮が発生し、その赤潮は湾中央部へと拡大した（図7）。

② 予察2回目

6月下旬から7月上旬にかけて、それまで赤潮を引き起こしていた *K. mikimotoi*が減少するとともに、*Chattonella* spp.が増殖を始めた（図8）。6月下旬から7月上旬にかけての湾内の水温和塩分分布を見ると、水温22.9~24.5℃、塩分24.0~28.4と *Chattonella* spp.赤潮が発生しやすい状況であった。加えて、表層底層間の密度差は9.1~19.2と大きく、こちらも *Chattonella* spp.赤潮が発生しやすい状況であったことから、近日中に *Chattonella* spp.が赤潮を形成する可能性が高いと判断し、7月2日に注意喚起を行った。11日後の7月13日、*Chattonella* spp.赤潮が発生した（図9）。

5) 中長期予察に向けて

*Karenia mikimotoi*赤潮の発生には、冬季水温（越冬細胞の生存）や降水量（塩分）との関連が知られている。そこで、浦ノ内湾の水温（St.5）及び浦ノ内湾が位置する須崎市の降水量・日照時間（気象庁アメダスデータ）に関して、*K. mikimotoi*赤潮発生年と非発生年を比較し、関連を分析した（図10）。

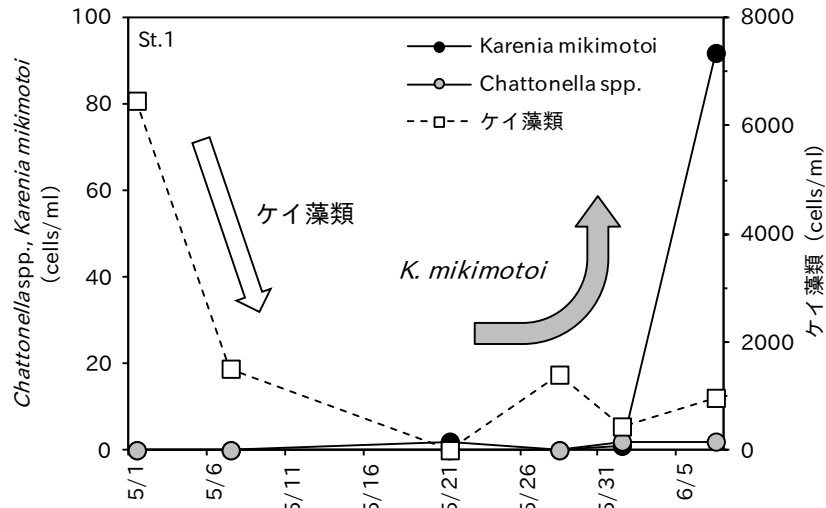


図 6 湾奥部 St.1 におけるプランクトン細胞数の推移（5月1日～6月7日）

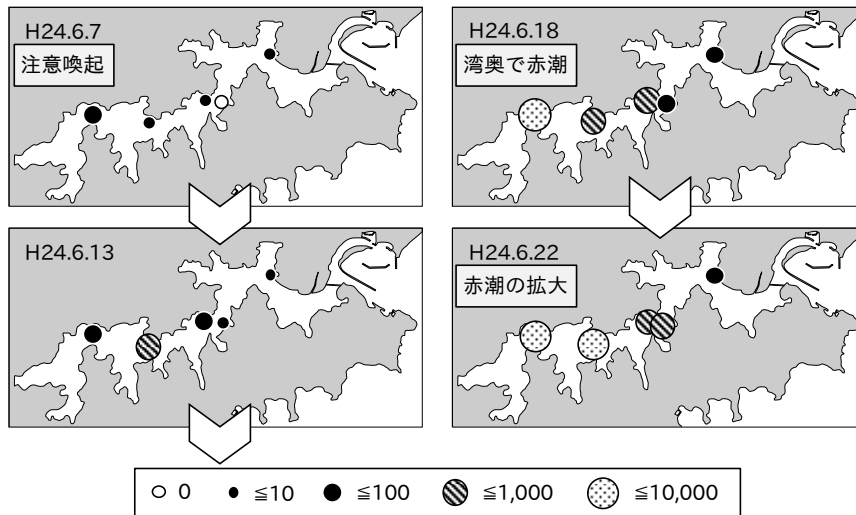


図 7 *Karenia mikimotoi* 細胞数の推移（6月7日～22日）

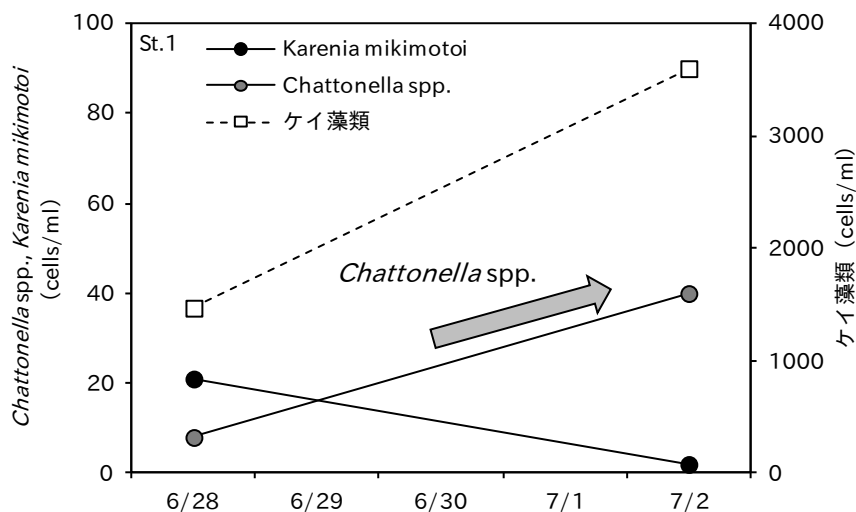


図 8 湾奥部 St.1 におけるプランクトン細胞数の推移（6月28日～7月2日）

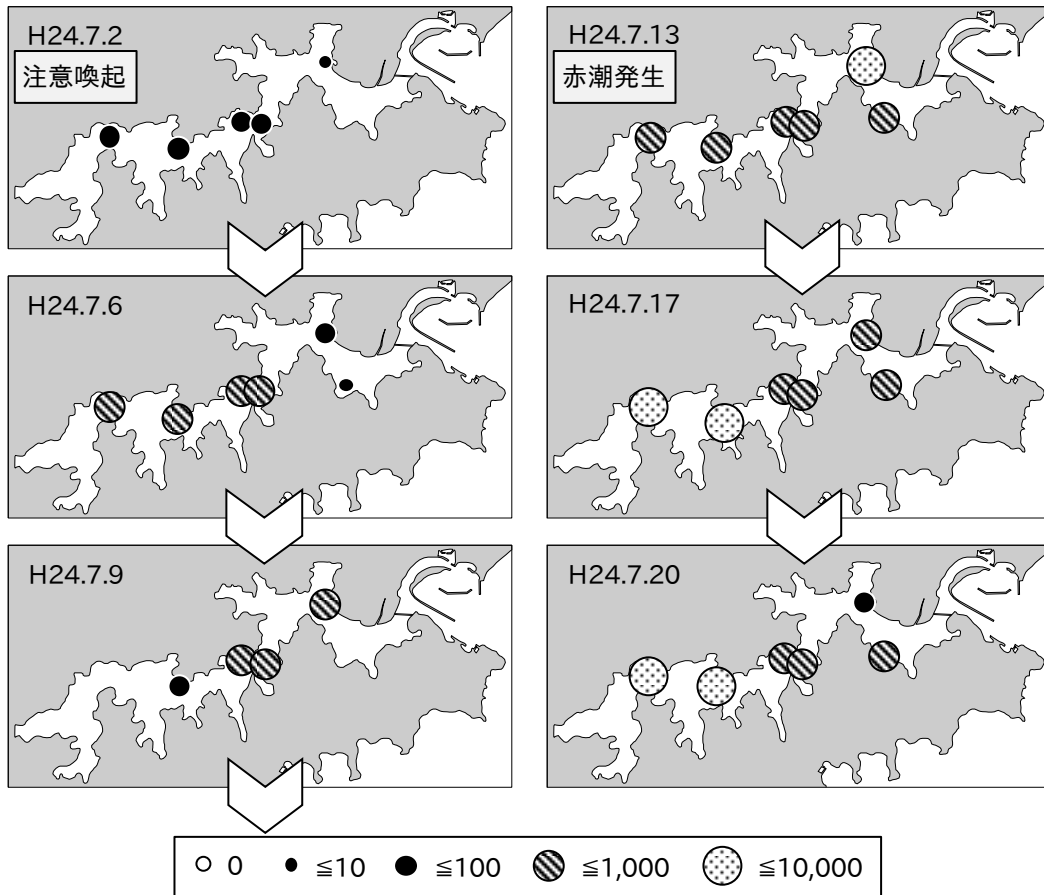


図9 *Chattonella* spp.細胞数の推移（7月2日～20日）

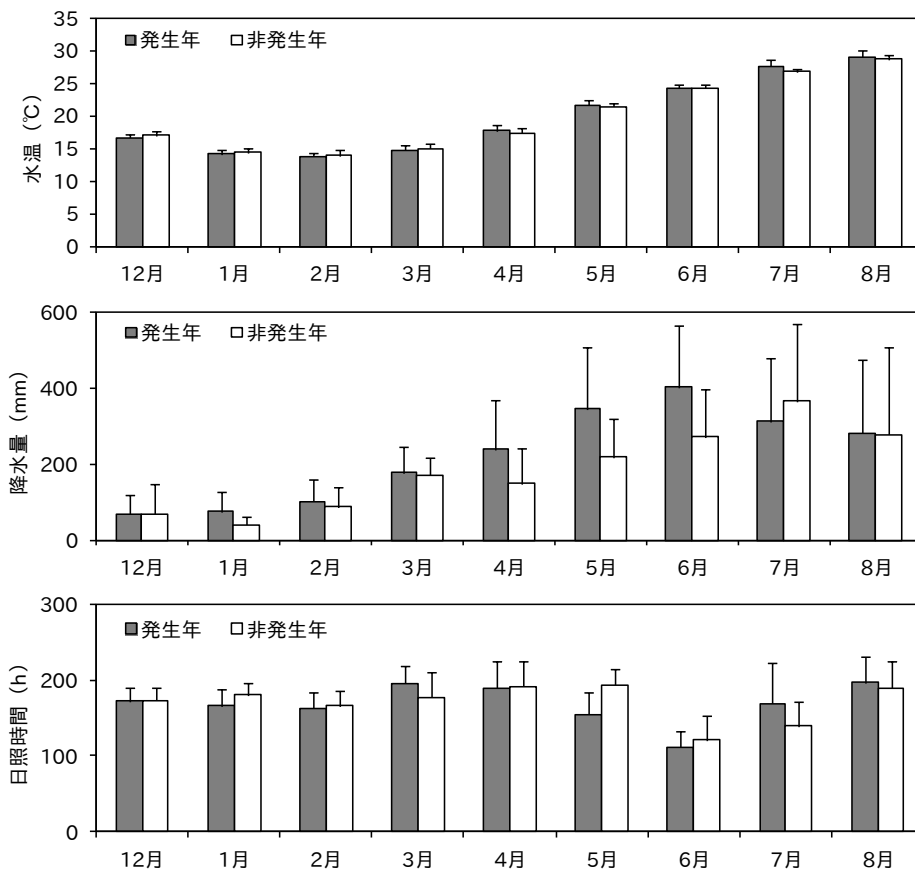


図10 *Karenia mikimotoi* 赤潮発生/非発生年における水温・降水量・日照時間の比較

分析は 1993～2012 年の 20 年分を行った。この 20 年間で、*K. mikimotoi* 赤潮発生年は 13 回、非発生年は 7 回であった。分析の結果、冬季水温に関しては、発生年と非発生年の間でほとんど差は見られなかった。しかし、4～6 月の降水量に関しては、発生年の方が非発生年と比べてかなり多くなっていた。このことより、浦ノ内湾でも降水量と *K. mikimotoi* 赤潮の発生との間には関連性があることが示唆され、中長期的な予察につながる可能性が示された。

(2) 宿毛湾

1) 海象

① 水温、塩分、DO

調査海域中央部における水温、塩分及び DO の推移を図 11 に示した。

水温は、0m 層は 15.7～27.9℃、5m 層は 16.8～28.2℃、20m 層は 16.6～27.8℃ の範囲で変動し、8 月に最高、2 月に最低を記録した。平年値（平成 10～23 年度の平均）と比較して、表層は低め、5m 層は同程度で推移することが多かった。

塩分は、0m 層は 20.8～35.0、5m 層は 32.6～35.0、20m 層は 33.0～35.0 の範囲で変動し、平年値と同程度で推移することが多かった。

DO は、0m 層は 6.2～8.1mg/l、5m 層は 5.6～7.6mg/l、20m 層は 5.6～7.4mg/l の範囲で変動し、平年値より高めで推移することが多かった。

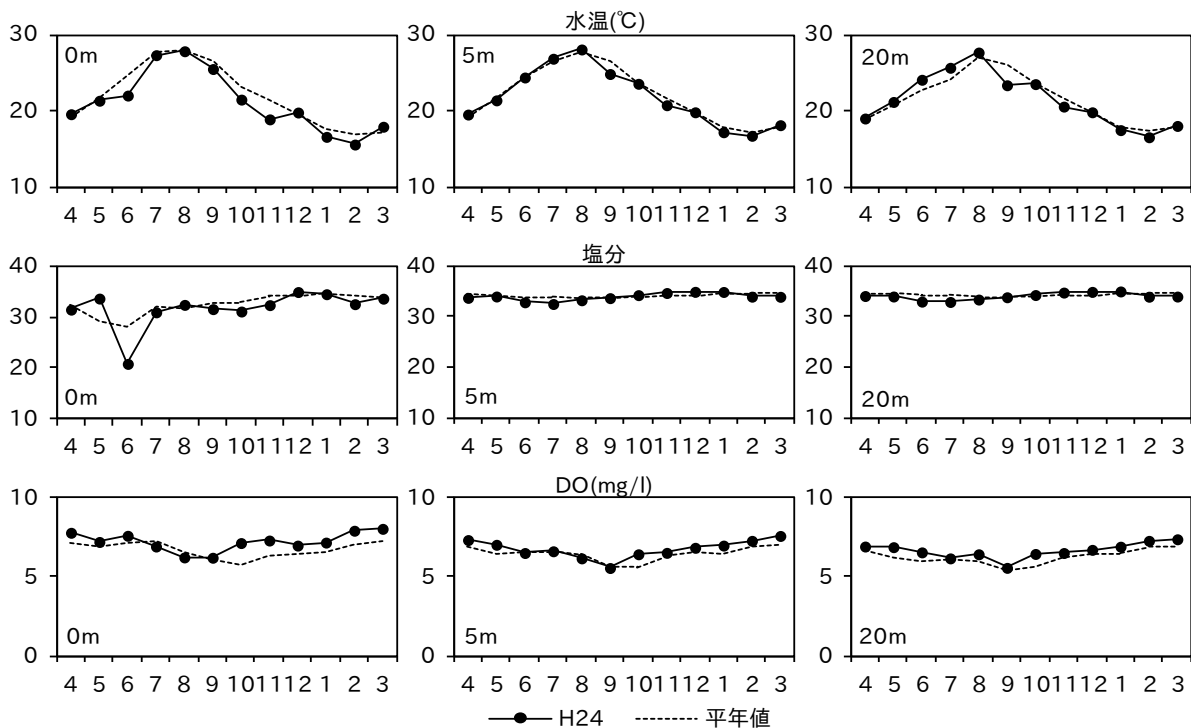


図 11 宿毛湾調査海域中央部における水温、塩分及び DO の推移
(平年値は H10～H23 の平均)

② 栄養塩濃度

調査海域中央部における栄養塩及びクロロフィル a 濃度の推移を図 12 に示した。

DIN 濃度は、2m 層は 0.82～7.23 μ M、10m 層は 1.00～7.27 μ M の範囲で変動した。前年度と比較して、2m 層は高め、10m 層は同程度で推移することが多かった。

PO₄-P 濃度は、2m 層は 0.04～0.45 μ M、10m 層は 0.00～0.45 μ M の範囲で変動し、前年度と同程度で推移することが多かった。

SiO₂-Si 濃度は、2m 層は 2.60~17.30 μM、10m 層は 1.45~5.20 μM の範囲で変動し、前年度と同程度で推移することが多かった。

クロロフィル a 量は、2m 層は 1.69~2.97 μg/l、10m 層は 1.62~3.35 μg/l の範囲で変動し、前年度と比較して高めで推移することが多かった。なお、宿毛湾のクロロフィル a 量の値に関しては、多項目水質モニター（YSI 社製 6600V2）による測定値を浦ノ内湾等の調査結果より作成した検量線に変換して用いた。

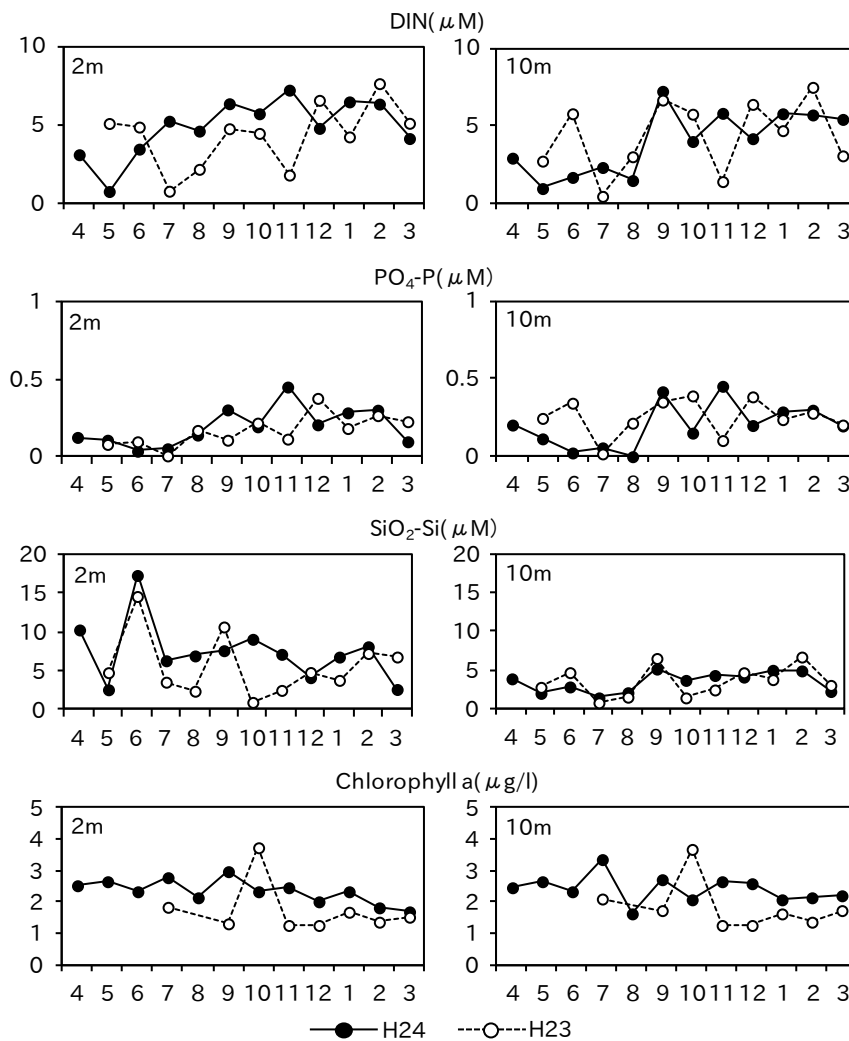


図 12 宿毛湾調査海域中央部における栄養塩濃度及びクロロフィル a 量の推移

2) 有害プランクトン

① *Cochlodinium polykrikoides*

7月10日~8月3日にかけて増殖し、赤潮を形成した。増殖は調査海域の南東部から始まり、その後、調査海域全体に拡大した。最高細胞数は7月23日に観測された3,150cells/mlであった。

② *Karenia mikimotoi*

7月10日~8月9日にかけて確認され、7月20日には383cells/mlまで増殖したが、赤潮にはならなかった。増殖は調査海域各所でほぼ同時に発生した。

③ *Heterosigma akashiwo*

5月17日～19日及び8月31日～9月4日にかけて増殖し、赤潮を形成した。増殖は調査海域の北部から始まり、その後、拡大した。最高細胞数はそれぞれ5,400cells/mℓ（5月18日）及び4,015cells/mℓ（8月31日）であった。

3) *Cochlodinium polykrikoides* の短期予察について

今年度、*Cochlodinium polykrikoides* の増殖は7月上旬に調査海域南東部から始まり、その後、調査海域全体へと拡大した。平成22及び23年度も同様の傾向がみられたことから、宿毛湾における*C. polykrikoides* 赤潮の発生源は調査海域南東部で、そこから湾全体へと拡大していると推測された（図13）。

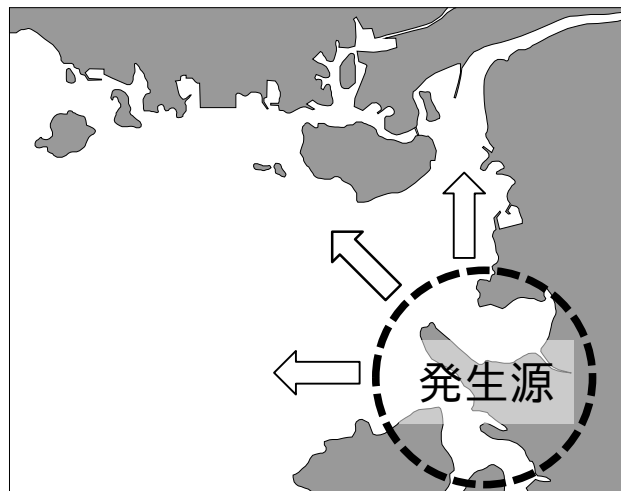


図13 宿毛湾における *Cochlodinium polykrikoides* の発生源

4 本事業5ヶ年のまとめ

(1) 土佐湾（浦ノ内湾）

○ 浦ノ内湾における夏季の有害赤潮（*Chattonella* spp.及び*Karenia mikimotoi*）の消長は、全てではないが、湾内が低塩分になることで発生する密度流の影響を受けていることが明らかとなった。

○ 赤潮初期発生地点である湾奥部においてプランクトンの増殖動態を監視することで、赤潮の短期予察が可能であることが示された。しかし、より精度の高い予察を行うには今後も調査を継続し、データを蓄積していく必要がある。

(2) 豊後水道（宿毛湾）

○ 宿毛湾における *Cochlodinium polykrikoides* の発生源は調査海域南東部で、そこから湾全体へと拡大していると推測された。

○ 調査海域南東部において *C. polykrikoides* の増殖動態を監視することで、本種赤潮の短期予察ができる可能性が示唆された。

5 謝辞

宿毛湾における調査に関しまして、すくも湾漁業協同組合に協力して頂いた。厚く御礼申し上げます。

6 引用文献

- 1)宗景志浩，中川倫寿，長谷川浩，井関徹也．浦の内湾における差し込み直後の水質悪化と物質輸送について．海岸工学論文集 1996; 43: 1106-1110.
- 2)宗景志浩，岩崎 望，秋沢歌織，長谷川浩，大原 聡．浦ノ内湾における植物プランクトンの分布構造と短期変動について．海岸工学論文集 1998; 45: 1136-1140.
- 3)宗景志浩，田村圭一，中川倫寿．ADCP 観測による浦の内湾の差し込みの流れ構造と浮遊物質分布．海岸工学論文集 1995; 42: 1091-1095.
- 4)高知県．平成 23 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 事業成果報告書．2011.