

赤潮・貧酸素水塊対策推進事業（概要）

増養殖環境課 鈴木 怜・渡辺 貢
宿毛漁業指導所 占部 敦史

1 はじめに

（1）浦ノ内湾

本県中央部に位置する浦ノ内湾は海水交換が非常に悪いため、降雨の多い夏季には湾内外の密度差が増大し、大潮時には密度流が発生する¹⁾。その密度流によって、湾奥部で底層の豊富な栄養塩類や底質中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し、その赤潮が表層移流に乗って移動・拡散して、大規模赤潮に発達するのが浦ノ内湾における主な赤潮発生メカニズムと考えられている¹⁻³⁾。そこで、湾奥部で有害藻類及びケイ藻類の増殖動態を監視し、赤潮発生の短期予察を試みたところ、*Karenia mikimotoi*及び*Chattonella* spp.に関して予察の可能性が示された⁴⁾。また、*K. mikimotoi*赤潮の発生と気象・海象との関係を解析したところ、4～6月の降水量に関して、赤潮発生年の方が非発生年と比べて多いことが示され、これを利用した中長期予察の可能性が示された⁵⁾。

本事業では、上述の赤潮予察手法の検証を行うとともに、有害種及び海洋環境を監視し、既存データも含めたデータ解析によって予察精度の向上及び予察手法の改良を図ることを目的とした。

（2）宿毛湾

本県西部に位置する宿毛湾では、平成 21 年から *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮による漁業被害が続いている。しかし、本種は近年赤潮を形成し始めた種であるため、データの蓄積が少ない。

本事業では、宿毛湾における有害赤潮プランクトンの発生状況及び海洋環境を監視するとともに、既存データも含めたデータ解析によって赤潮発生シナリオを構築し、赤潮発生予察の可能性について検討することを目的とした。

なお、詳細に関しては本事業の平成 25 年度報告書⁶⁾に記載しているので、ここでは概要を報告する。

2 方法

浦ノ内湾では 5 定点を設定し（図 1）、赤潮発生時には状況に応じて調査点を増設した。宿毛湾では 6 定点を設定し（図 1）、赤潮発生時には状況に応じて調査点を変更・増設した。各調査点では、表 1、2 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（湾奥部 St.3）

①水温、塩分、DO（図 2）

水温は、0m 層は 13.0～31.4℃、5m 層は 13.0～29.3℃、B-1m 層は 13.1～28.8℃の範囲で変動し、8 月に最高、1 月に最低を記録した。塩分は、0m 層は 20.4～32.4、5m 層は 29.5

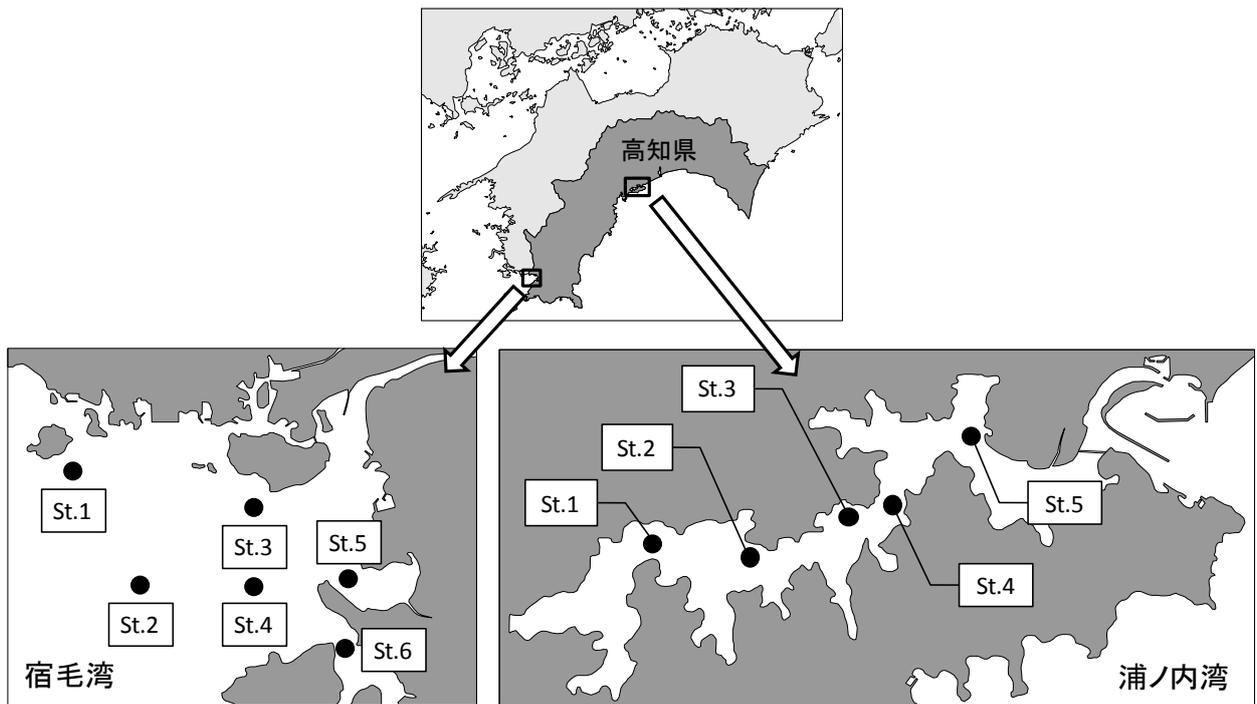


図1 調査海域及び調査定点

表1 調査項目（浦ノ内湾）

		定期調査		赤潮調査
調査期間		5月, 9~1月	6~8月	適宜
調査点数		5	←	適宜
調査回数		1回/月	4回/月	適宜
項目・観測層	透明度	○	←	適宜
	水温・塩分・DO	0, 2, 5, 10, B-1m	←	適宜
	栄養塩 (St.1, 3)	0, 5, 10, B-1m	←	×
	Chl.a (St.1, 3)	0, 5m	←	×
	有害種	0, 2, 5m	←	←

表2 調査項目（宿毛湾）

		定期調査	赤潮調査
調査期間		5~11月	適宜
調査点数		6	適宜
調査回数		1回/月	適宜
項目・観測層	透明度	○	適宜
	水温・塩分・DO	0, 2, 5, 10, 15, 20m	適宜
	栄養塩	2, 10m	×
	Chl.a	2, 10m	×
	有害種	0, 5, 10m	適宜

~32.4、B-1m層は31.0~32.7の範囲で変動した。DOは、0m層は6.6~12.8mg/L、5m層は4.6~8.5mg/L、B-1m層は0.3~7.9mg/Lの範囲で変動し、底層の貧酸素状態は6~7月及び9~10月に確認された。

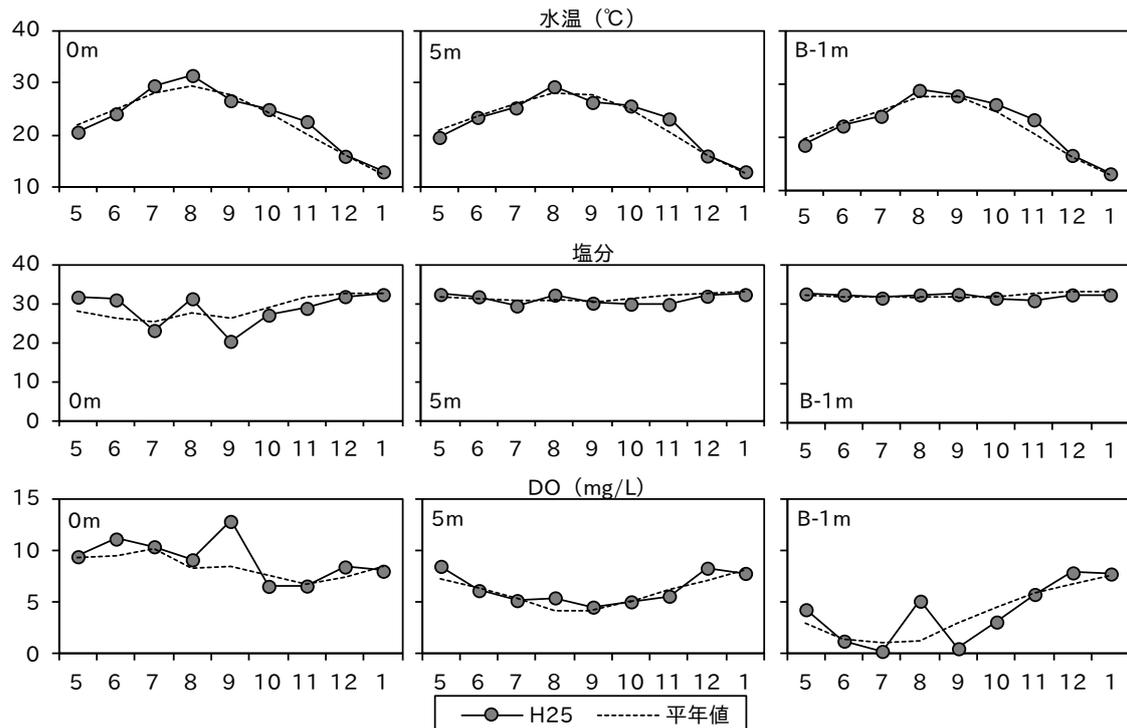


図2 湾中部 St.3 における水温、塩分及び DO の推移（平年値は S59～H24 の平均）

②栄養塩濃度・クロロフィル a 量（図 3）

溶存態無機窒素（DIN）濃度は、0m 層は $0.32\sim 6.48\mu\text{M}$ 、5m 層は $0.46\sim 6.71\mu\text{M}$ 、10m 層は $0.30\sim 11.97\mu\text{M}$ 、B-1m 層は $1.08\sim 23.27\mu\text{M}$ の範囲で変動した。溶存態無機リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）濃度は、0m 層は $0.00\sim 0.41\mu\text{M}$ 、5m 層は $0.02\sim 0.57\mu\text{M}$ 、10m 層は $0.12\sim 1.18\mu\text{M}$ 、B-1m 層は $0.15\sim 3.80\mu\text{M}$ の範囲で変動した。ケイ酸態ケイ素（ $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ）濃度は、0m 層は $1.70\sim 27.25\mu\text{M}$ 、5m 層は $1.71\sim 16.31\mu\text{M}$ 、10m 層は $1.73\sim 20.82\mu\text{M}$ 、B-1m 層は $2.43\sim 40.78\mu\text{M}$ の範囲で変動した。クロロフィル a 量は、0m 層は $1.26\sim 25.65\mu\text{g/L}$ 、5m 層は $1.46\sim 10.30\mu\text{g/L}$ の範囲で変動した。

2) 有害プランクトン

① *Karenia mikimotoi*

平成 24 年 12 月 14 日から平成 25 年 8 月 26 日にかけて確認された。赤潮は 5 月 24 日に湾奥部から始まり、その後、6 月 3 日に湾中部、6 月 19 日には湾口部へと拡大した。今年度も、湾奥部で初期赤潮が発生し、その後、湾中部、湾口部へと移動・拡大する、浦ノ内湾における典型的な赤潮発生パターンであった。最高細胞数は 6 月 26 日に St.3 で観測された $23,700\text{cells/mL}$ であった。

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

5 月 2 日から 9 月 2 日にかけて確認された。赤潮は 7 月 4 日に湾奥部から始まり、その後、7 月 8 日に湾中部、7 月 19 日には湾口部へと拡大した。今年度も *K. mikimotoi* 赤潮と同様、浦ノ内湾における典型的な赤潮発生パターンであった。最高細胞数は 7 月 16 日に St.4 で観測された $8,700\text{cells/mL}$ であった。

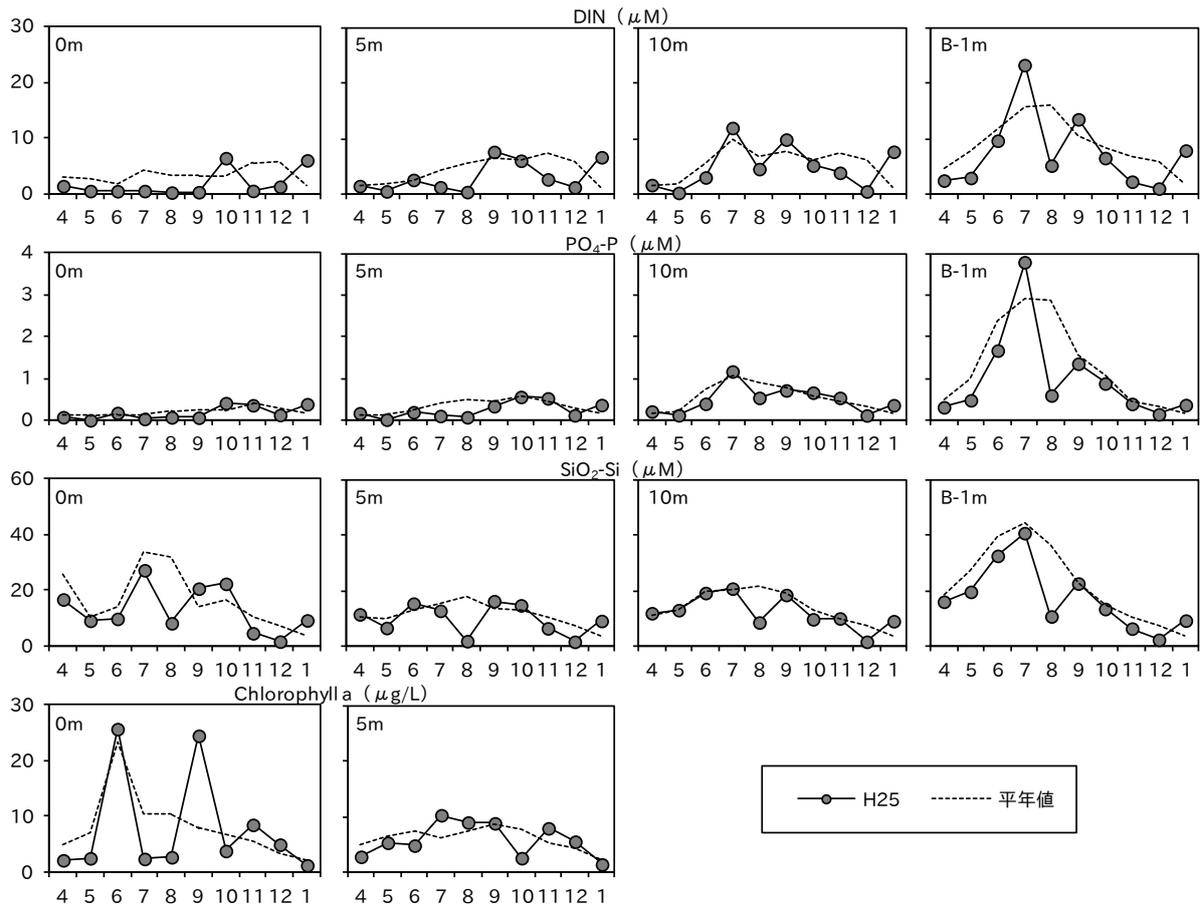


図3 湾中央部 St.3 における栄養塩濃度及びクロロフィル a 量の推移
 (栄養塩の平年値は S59～H24、クロロフィル a の平年値は H7～H24 の平均)

3) *Karenia mikimotoi* 赤潮中長期予察について

須崎市の 4 月の降水量は、*K. mikimotoi* 赤潮発生年の降水量と同程度であったが、5～6 月の降水量は少なく、非発生年の降水量と同程度であった（図 4）。

5～6 月の降水量が少なくても、上述のように *K. mikimotoi* 赤潮が発生したことから、赤潮発生と降水量との関係についてさらに詳細な解析を行った。その結果、降水量が 4 月から平年値を上回ると 6 月に赤潮が発生しやすく、4 月の降水量が平年値を下回っていたとしても、5 月以降の降水量が平年値を上回ると 8 月に赤潮が発生しやすいという傾向が示された（図 5）。

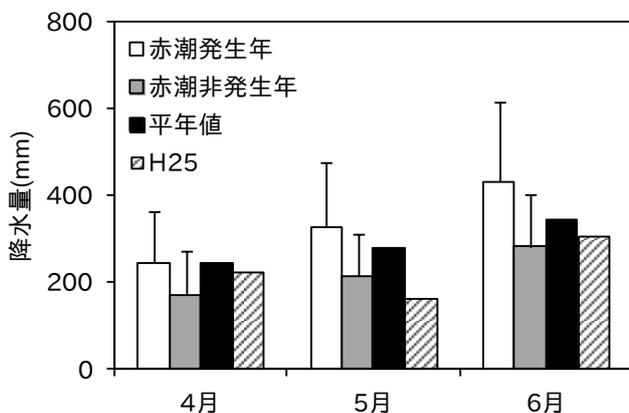


図4 平成 25 年 4～6 月の降水量（斜線部）
 【アメダス（観測所：須崎）のデータより】

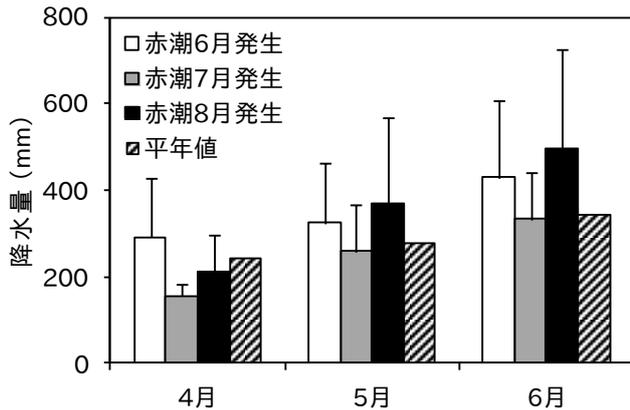


図5 *Karenia mikimotoi* 赤潮の発生時期と降水量の関係

4) 赤潮短期予察について

①ケイ藻類と *Karenia mikimotoi* 及び *Chattonella* spp.の関係

本年度の浦ノ内湾におけるケイ藻類と有害種 *K. mikimotoi* 及び *Chattonella* spp.の関係について解析を行った。その結果、ケイ藻類はおおよそ 20 日前後の周期で増減を繰り返し、ケイ藻類が減少した時に有害種が増殖し、赤潮を形成していた（図 6）。ケイ藻類が消失した要因としては、表層 DIN の枯渇が考えられた。そのため、鉛直移動できないケイ藻類は表層の DIN の枯渇によって消失し、鉛直移動によって 5m 以深の比較的高濃度の DIN を利用できた *K. mikimotoi* 及び *Chattonella* spp.がケイ藻類消失の間隙をぬって増殖したと考えられた。

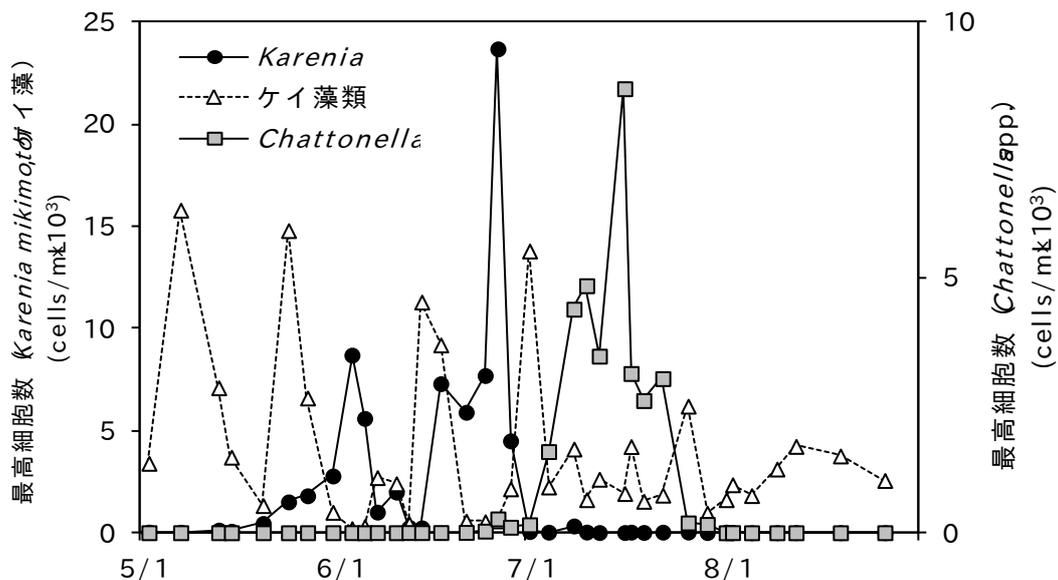


図6 ケイ藻類、*Karenia mikimotoi* 及び *Chattonella* spp.の湾内最高細胞数の変動（5～8月）

②赤潮短期予察結果

a 1回目（図7）

3月から4月下旬にかけて *K. mikimotoi*が徐々に増殖を示した（図7①）。この期間、競合種であるケイ藻類は非常に少なく、また、同じく競合種の *Chattonella* spp.も出現していなかったことから、さらに *K. mikimotoi*が増殖する可能性が考えられた。しかし、水温が低く、*K. mikimotoi*が赤潮を形成する条件に達していなかったことから、すぐに赤潮を形成することはないと判断した。

5月に入るとケイ藻類が増殖し、*K. mikimotoi*の増殖はいったん抑制された。その後、ケイ

藻類が減少し始めると、*K. mikimotoi* は急激な増殖を示した（図 7②）。しかし、高密度ではないものの依然としてケイ藻類が確認されていたこと、*K. mikimotoi* が赤潮を形成するにはまだ水温が低かったことなどから、赤潮を形成する可能性は高いが喫緊ではないと判断した。

5月中旬以降、ケイ藻類は減少を続け、*K. mikimotoi* はさらに増殖した。水温も徐々に上昇し、*K. mikimotoi* が赤潮を形成する条件に達したことから、*K. mikimotoi* が赤潮になると判断し、5月20日（図 7③）に注意喚起を行った。

注意喚起を行ってから4日後の5月24日に、*K. mikimotoi* は湾奥部で赤潮を形成し、その10日後の6月3日には、養殖漁場のある湾中部へと拡大した。1回目の予察では、養殖漁場で赤潮が発生する14日前に注意喚起を行うことができた。

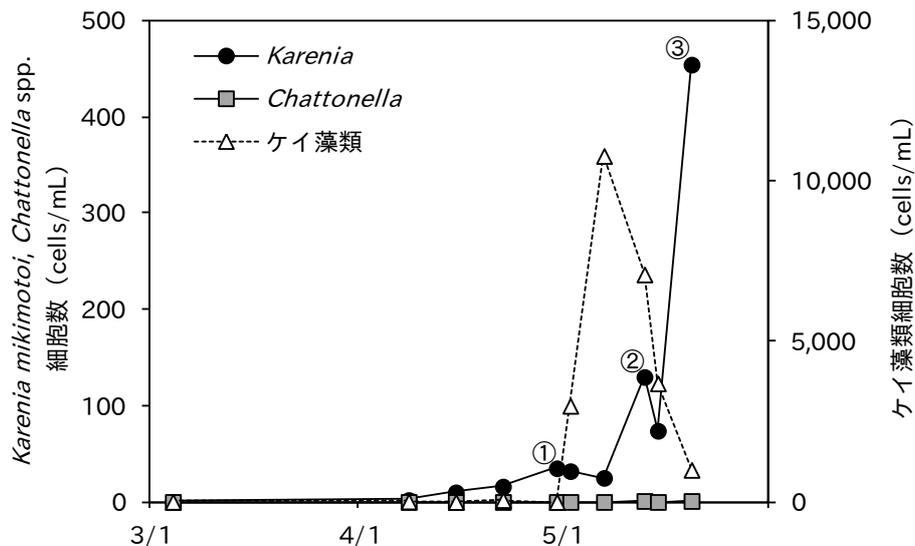


図 7 湾奥部 St.1 におけるプランクトン細胞数の推移（3～5月）

b 2回目（図 8）

6月上旬から *Chattonella* spp. が徐々に増殖し、その後、ケイ藻類が減少すると、更なる増殖を示した。水温及び塩分は、*Chattonella* spp. が赤潮を形成しやすい条件であったものの、湾内は競合種である *K. mikimotoi* が赤潮を形成しており、また、表層と底層の密度差も *K. mikimotoi* が赤潮を形成しやすい条件であったことから、6月24日時点（図 8①）では、「湾奥部で *Chattonella* spp. が増殖を始めているので注意」との注意喚起にとどめた。

6月26日になると、*K. mikimotoi* は減少し、換わって *Chattonella* spp. が急激に増加した（図 8②）。水温及び塩分は、*Chattonella* spp. が単独で赤潮を形成しやすい条件になり、表層と底層の密度差も *Chattonella* spp. が赤潮を形成しやすい条件になったことから、*Chattonella* spp. が赤潮になると判断し、注意喚起を行った。

注意喚起を行ってから8日後の7月4日に、*Chattonella* spp. が湾奥部で赤潮を形成し、その4日後の7月8日には、養殖漁場のある湾中部へと拡大した。2回目の予察では、養殖漁場で赤潮が発生する12日前に注意喚起を行うことができた。

5) *Chattonella* spp. 赤潮終息予察について（図 9）

シスト形成小型細胞と栄養細胞との関係を解析し、*Chattonella* spp. 赤潮終息予察の可否について検討を行った。採水は湾中部 St.3 の B-1m 層で実施した。

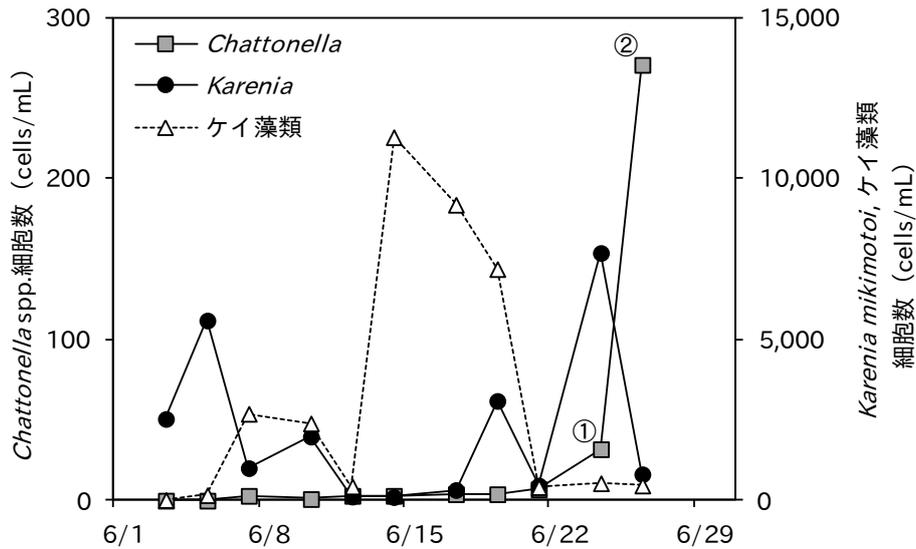


図8 湾奥部 St.1 におけるプランクトン細胞数の推移（6月）

シスト形成小型細胞は、調査を始めた7月17日は5cells/mLであったが、7月22日には51cells/mLまで増加した。その間、0~5m層の栄養細胞数は減少を示した。7月22日以降は、栄養細胞数が減ったことによってシスト形成小型細胞数も減少し、7月29日には両者ともほぼ0となった。シスト形成小型細胞数と栄養細胞数との間には相関が見られたことから、本手法により、*Chattonella* spp.赤潮の終息予察ができる可能性が示唆された。

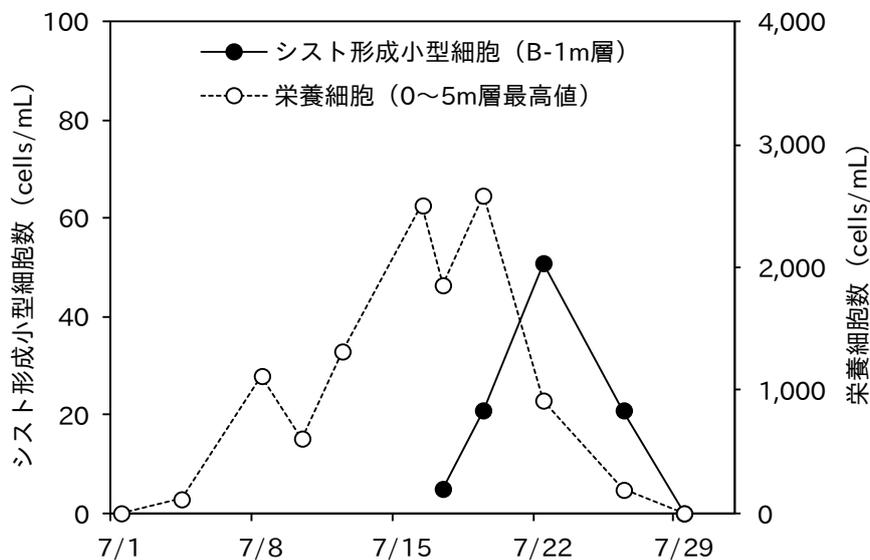


図9 湾中部 St.3 における *Chattonella* spp.シスト形成小型細胞数と栄養細胞数の推移

(2) 宿毛湾

1) 海象

①水温、塩分、DO（全定点の平均値、図10）

水温は、0m層は19.2~29.2℃、5m層は19.7~27.5℃、20m層は19.6~26.5℃の範囲で変動し、8月又は9月に最高、11月に最低を記録した。20m層では、8月に低温水塊が確認された。塩分は、0m層は31.8~33.1、5m層は32.5~33.7、20m層は33.0~33.8の範囲で変動した。DOは、0m層は6.6~7.3mg/L、5m層は6.0~7.2mg/L、20m層は5.4~

6.7mg/Lの範囲で変動した。

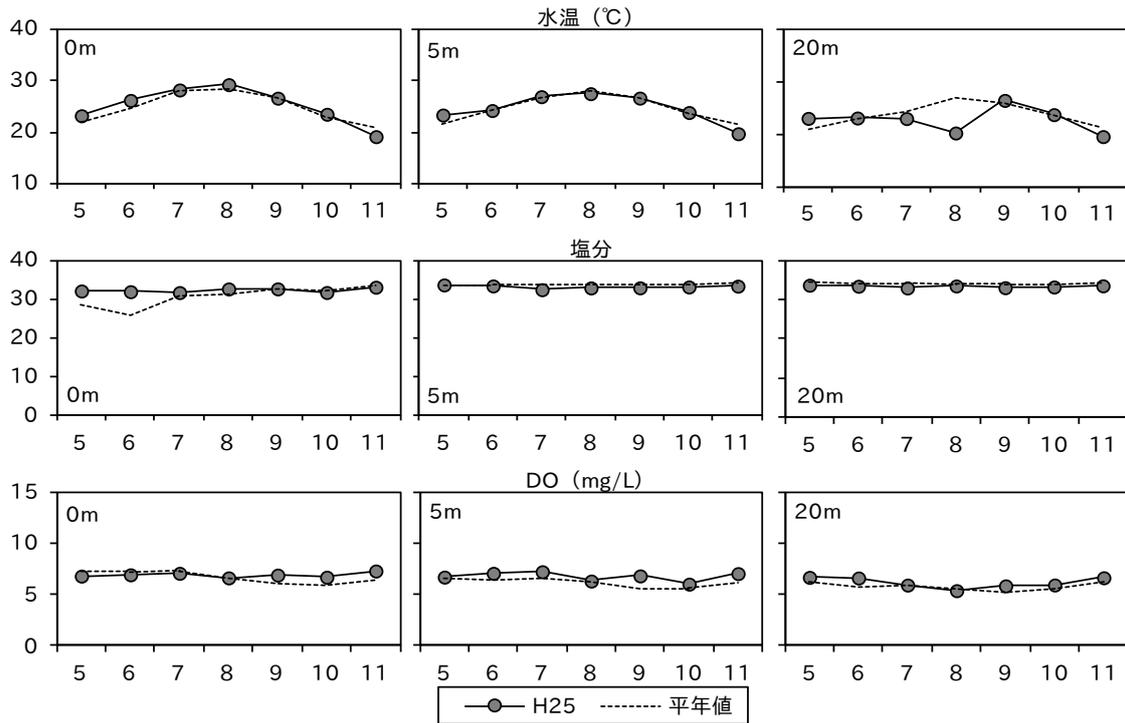


図 10 水温、塩分及び DO の推移（平年値は H10～H24 の平均）

②栄養塩濃度・クロロフィル a 量（全定点の平均値、図 11）

DIN 濃度は、2m 層は 0.13～3.82 μM 、10m 層は 0.32～3.76 μM の範囲で変動した。PO₄-P 濃度は、2m 層は 0.01～0.30 μM 、10m 層は 0.02～0.38 μM の範囲で変動した。SiO₂-Si 濃度は、2m 層は 0.81～5.20 μM 、10m 層は 0.37～4.66 μM の範囲で変動した。クロロフィル a 量は、2m 層は 3.08～4.39 $\mu\text{g/L}$ 、10m 層は 3.07～5.12 $\mu\text{g/L}$ の範囲で変動した。

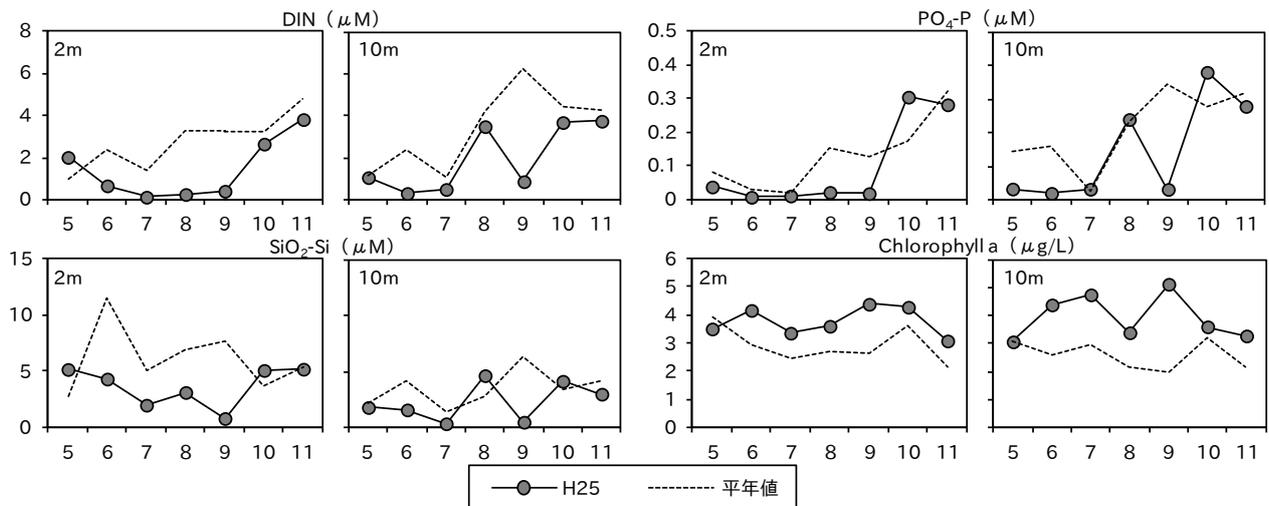


図 11 栄養塩濃度及びクロロフィル a 量の推移

2) *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮発生状況

C. polykrikoides は 3 月 12 日から 6 月 18 日にかけて確認された。赤潮は 5 月 9 日に調査

海域南東部から始まり、その後、全体に拡大した。最高細胞数は 5 月 9 日に観測された 5,000cells/mL であった。

3) *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮発生シナリオについて

今年度、*C. polykrikoides* の増殖は調査海域南東部（弘浦、栄喜周辺）から始まり、その後、全体へと拡大した（図 12）。平成 22～24 年度も同様の傾向が見られたことから、宿毛湾における *C. polykrikoides* 赤潮の発生源は調査海域南東部で、そこから拡大していると推測された。

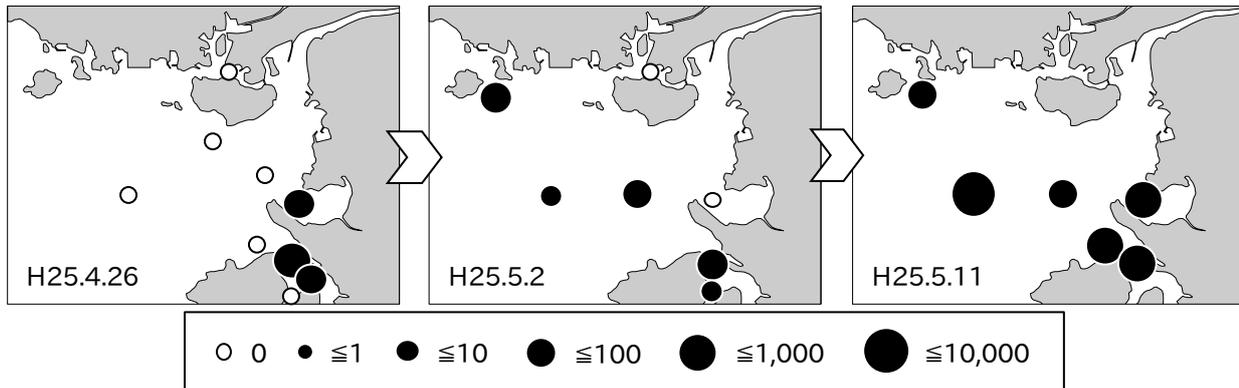


図 12 平成 25 年度における *Cochlodinium polykrikoides* の増殖

4) 調査海域南東部が *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮の発生源となっている要因

調査海域南東部が *C. polykrikoides* 赤潮の発生源となっている要因を解明するために、調査海域南東部（定点 St.5 及び St.6）の環境を、その他の定点の平均と比較した。その結果、塩分は発生源と推測される海域、特に St.5 は低くなっていた（図 13）。このことは、本地点が近くに流入する河川水の影響を受けていることを示唆している。また、透明度も発生源と推測される海域の方が常に低く推移していた（図 14）。これは、本地点の海水交換が悪いことを示唆するものであり、同地点が閉鎖的な形状をしていることが要因と考えられる。栄養塩濃度に関しては大きな差は見られなかったが、降雨時には河川流量が増加し、流入する栄養塩も増加している可能性が考えられる。以上より、調査海域南東部が赤潮の発生源となっている要因の一つとしては、河川から表層へ栄養塩が供給されている可能性があること、閉鎖的な形状で成層が発達しやすいことなどが考えられた。

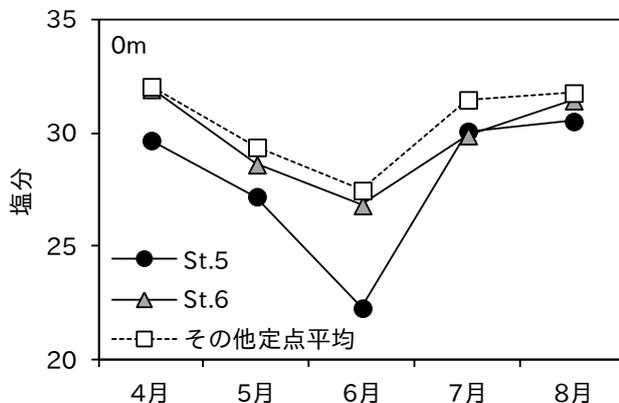


図 13 平成 10～25 年度における赤潮発生源 (St.5, 6) とその他定点平均の塩分の比較

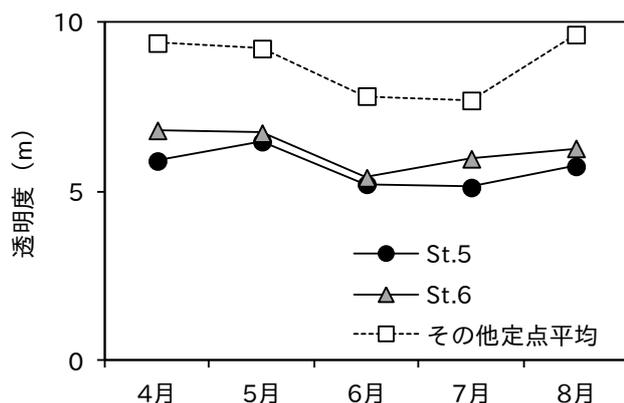


図 14 平成 10～25 年度における赤潮発生源 (St.5, 6) とその他定点平均の透明度の比較

5) *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮発生時期の予察

例年、宿毛湾では 6 月頃に *C. polykrikoides* 赤潮が発生するが、今年度は 5 月上旬と 1 ヶ月早い発生であった（表 3）。平成 20～25 年の宿毛湾の水温を比較したところ、今年度は、3 月中旬から 4 月中旬にかけての水温が例年より高めで推移していた（図 15）。また、平成 24 年度は赤潮の発生が例年より遅かったが（表 3）、同期間（3 月中旬～4 月中旬）の水温が例年より低めで推移していた（図 15）。以上のことから、水温が赤潮発生時期に影響を与えている可能性が考えられ、水温を監視することによって、*C. polykrikoides* 赤潮の発生時期を予察できる可能性が示唆された。

表 3 *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮発生期間

年度	赤潮発生期間
平成 21 年度	6 月 5 日～6 月 18 日
平成 22 年度	6 月 1 日～6 月 25 日、8 月 20 日～8 月 26 日
平成 23 年度	5 月 23 日～5 月 25 日、6 月 1 日～6 月 11 日
平成 24 年度	7 月 19 日～8 月 2 日
平成 25 年度	5 月 9 日～5 月 15 日

4 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。

5 参考文献

- 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) 平成 21 年度～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報告書. 高知県, 高知. 2010～2012.
- 5) 平成 24 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. 高知県, 高知. 2013.
- 6) 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．瀬戸内海赤潮共同研究機関．2014.

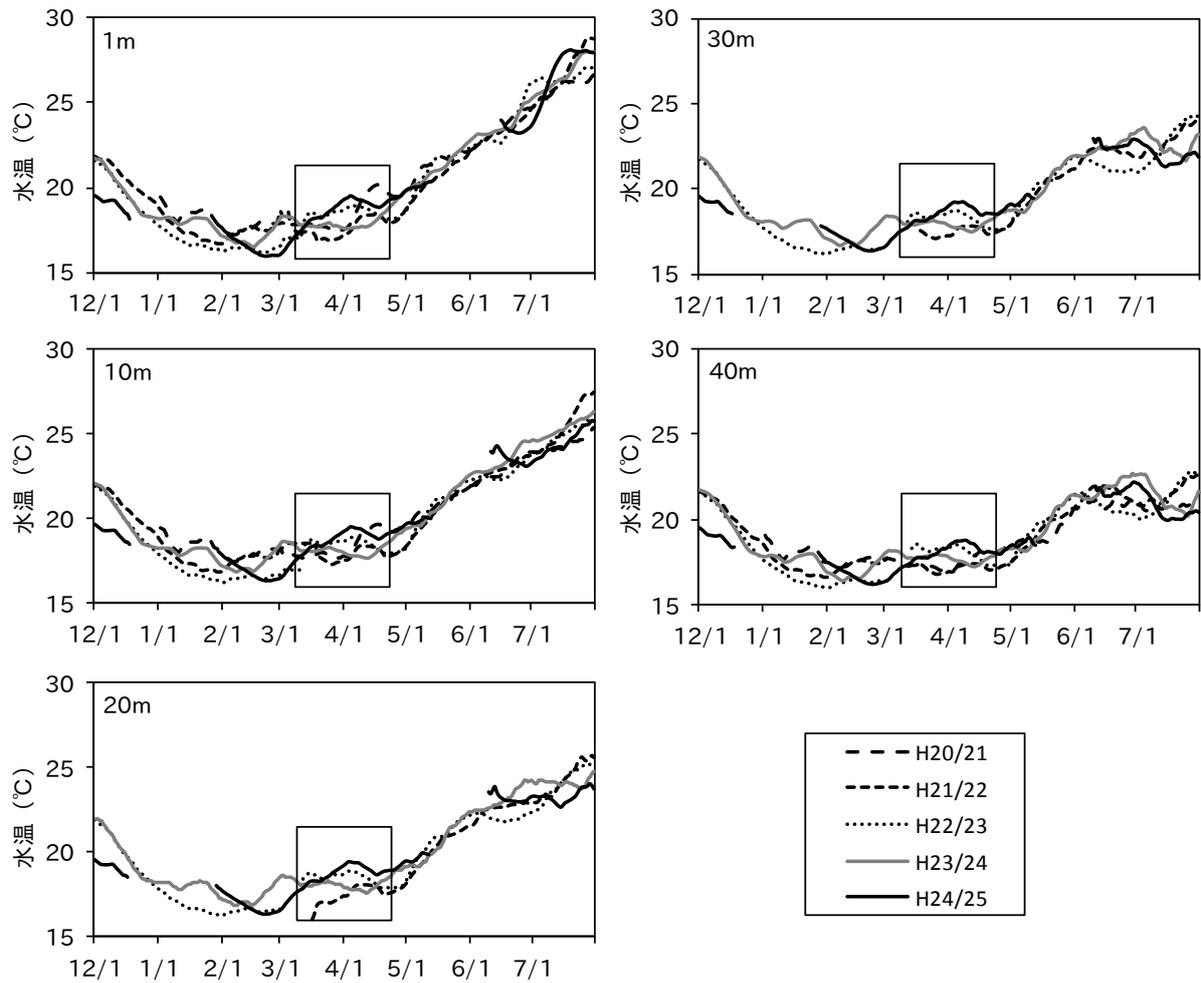


図 15 宿毛湾における各水深の水温変動