

赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業

(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 石川 徹・田島健司・田井野清也
 宿毛漁業指導所 青野怜史

1 目的

高知県浦ノ内湾では、シャトネラ属やカレニア・ミキモトイ等有害プランクトンによる養殖漁業被害やアサリ漁業被害が多発している。近年、土佐湾の冬季の表面水温は高い状態にあり、気候変化の影響を受けやすい閉鎖性の強い浦ノ内湾の環境に何らかの影響をおよぼしている可能性がある。気象変動の影響を含めて水温・塩分等の環境要因が有害プランクトンの出現動向に与える影響を明らかにし、赤潮発生予察技術の開発に努める。また、豊後水道に面した宿毛湾でも、しばしば赤潮が発生しているため、赤潮の監視を行う。

2 試験等の方法

(1) 調査海域及び定点

調査海域及び定点を図1に示した。

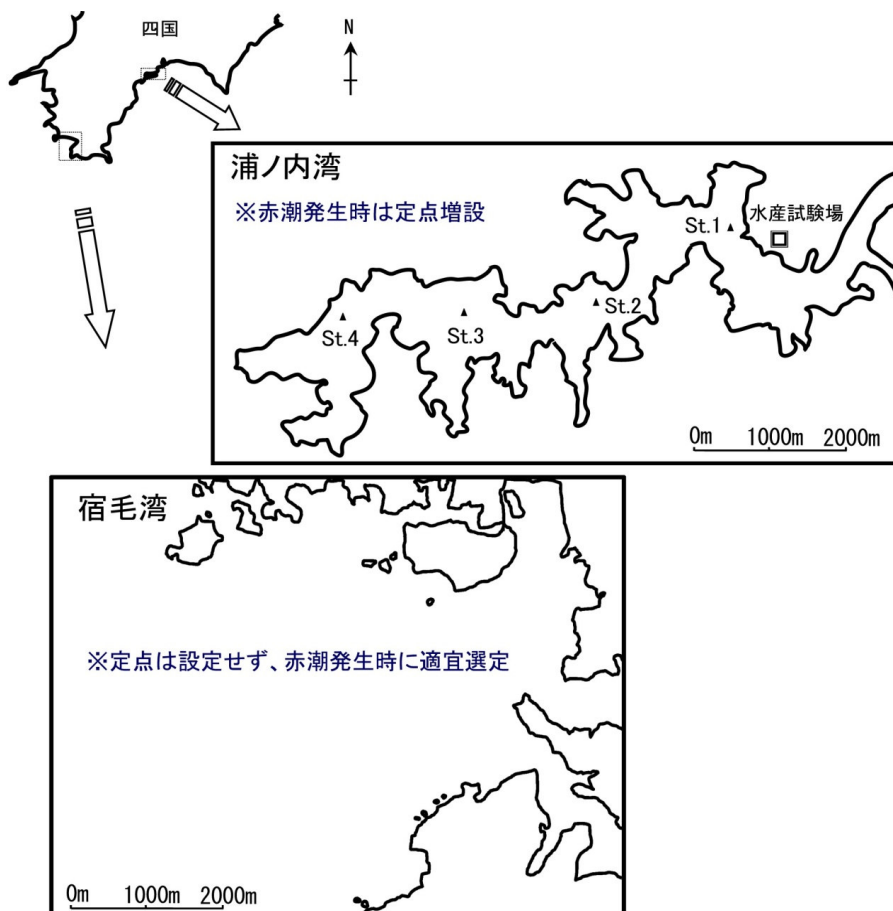


図1 調査海域及び調査定点

有害赤潮等分布拡大防止

高知県中央部に位置する、高知県須崎市浦ノ内湾地先と高知県南西部に位置する高知県宿毛市宿毛湾地先を調査海域とした。

浦ノ内湾では St.1～St.4 の 4 定点を設定したが、赤潮発生時には状況に応じて調査点を増やして調査した。宿毛湾では、赤潮発生時のみの調査となるため、定点は特に設定せず、状況に応じて調査を行った。

(2) 調査日

浦ノ内湾では平成 21 年 4 月～平成 22 年 3 月の間に月 1 回の定期調査を実施し、赤潮発生時には随時調査を行った（表 1）。

宿毛湾では、赤潮発生時のみの調査となるため、定期調査は行わず、状況に応じて調査を行った。

表 1 調査日

	浦ノ内湾	宿毛湾
4月	2,13,28	
5月	13,27	
6月	9,16,23,30	5,8,9,10,11,12,13,15,16,18,2
7月	6,10,14,17,19,22,24,27,31	
8月	3,5,6,7,10,12,14,17,24	
9月	8,15,25	
10月	6,13,27	5,6,8
11月	24,27	7,9
12月	15	
1月	19	
2月	22	
3月	17 (予定)	

※日は定期調査（栄養塩等の採水含む）

(3) 調査項目

浦ノ内湾では、環境項目として、0,2,5,10,海底直上 1m（以下「B-1m」）層において水温、塩分、DO、透明度について測定した（表 2）。

プランクトンに関する項目として、0,2,5m 層の採水 1ml サンプルの検鏡による有害プランクトン細胞数及び、状況に応じて海水 1,000ml を濃縮して検鏡し、低密度時の有害プランクトン細胞数を把握した。

栄養塩等に関する項目として、St.2 及び St.4 の 0,5,10,B-1m 層において NH₄-N,NO₂-N,NO₃-N,TN,PO₄-P,TP,SiO₂ 及びクロロフィル a の測定を行った。

宿毛湾では、環境項目として 0,3,5,10m 層において水温、塩分の測定を行った。

プランクトンに関する項目として 0,3,5,10m 層において採水 1ml サンプルの検鏡により赤潮構成プランクトン細胞数を把握した。

表 2 調査項目

	海域	項目	観測層	備考
環境	浦ノ内湾	水温、塩分、DO、透明度	0,2,5,10,B-1m	
	宿毛湾	水温、DO	0,3,5,10m	赤潮発生時のみ
プランクトン	浦ノ内湾	1ml 検鏡、 1000ml 濃縮検鏡	0,2,5m	有害種のみ 濃縮は適宜選択
	宿毛湾	1ml 検鏡	0,3,5,10m	赤潮発生時 赤潮構成種のみ
栄養塩等	浦ノ内湾 (宿毛湾除く)	NH ₄ -N,NO ₂ -N,NO ₃ -N,TN PO ₄ -P,TP,SiO ₂ クロロフィル a	0,5,10,B-1m	採水点は St.2 で、 回数は月 1 回

3 結果及び考察

(1) 浦ノ内湾

1) 気象等の条件

浦ノ内湾に近い気象庁アメダス観測点（須崎）の月別平均気温、月別降水量、月別日照時間の推移を図 2 に示した。

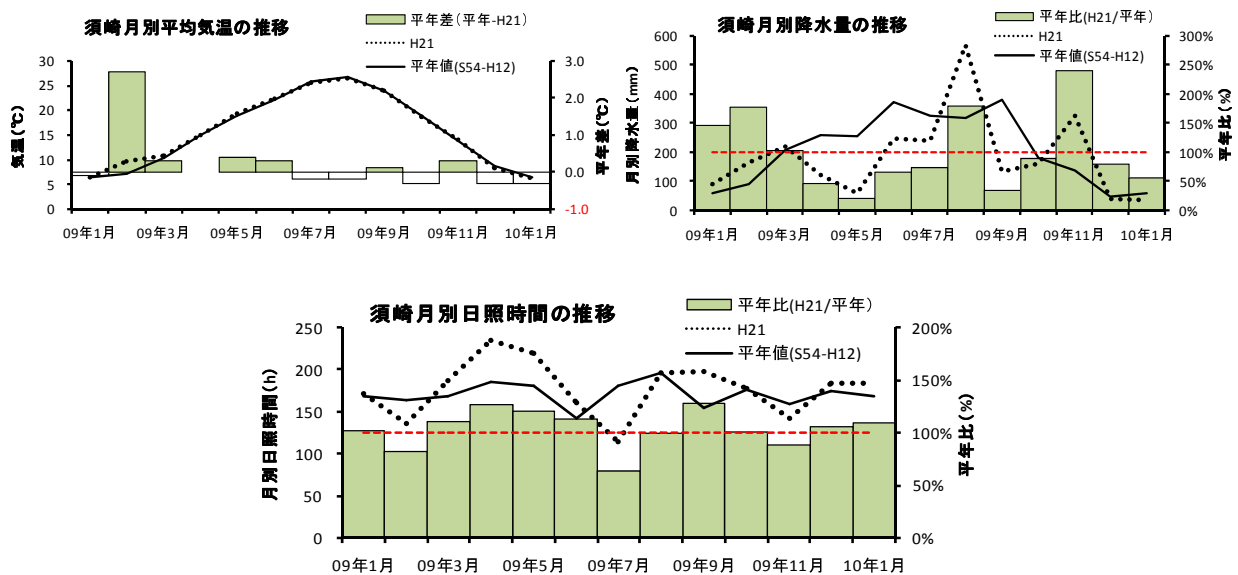


図 2 須崎の気象（平年値は S54～H12 年の平均） ※気象庁アメダスのデータより

月別平均気温は、H21 年 1 月から 6 月にかけて、平年値（S54～H12 年の平均：気象データの平年値については以下同じ）より高めに推移し、特に 2 月は平年値より 2.7℃も高かった。H21 年 7 月以降は平年値より 0.2～0.3℃高めに推移することが多かった。

月別降水量は、1,2,8,11 月に平年値より高く、4,5,6,9 月に平年値より低かった。特に 8 月の降水量は 570mm で平年比の 180%、11 月は 328mm で平年比の 241%と短期間に集中的な降水があった。一方、年間の降水量は 2,370mm で平年値の 90%程度であった。梅雨時の 6～7 月や台風な

どで降水量の多い9月の降水量が平年より少なかったことによる。

月別日照時間は、2,7,11月に平年より低く、その他の月では平年並みか平年をやや上回ったが、特異的な偏差はなかった。年間日照時間は2,123時間で平年比の103%であった。

今年の須崎地方の気象の特徴は、2月の高温、梅雨時の少雨と8月の大雨、9月の少雨と11月の大雨であった。

2) プランクトン

①プランクトン全体の消長

平成21年(2009年)の浦ノ内湾におけるプランクトン消長のイメージを図3に示した。

4月から6月下旬にかけての優占種は、キートセラス属やシュードニッチア属を中心とする珪藻類で、多い時には 1×10^4 cells/mlを超えるブルームが認められた。5月下旬からはセラティウム属やディクチオカ属が小幅に増殖し、6月上旬から7月上旬にかけてはセラティウム属で210cells/ml(6月9日)、ディクチオカ属で1,560cells/ml(7月6日)まで増殖して、珪藻類の次に多くなった。この期間では、ココロディニウム・ポリクリコイデスは6月9日に最高細胞数9cells/mlが出現したものの、その後すぐに観測されなくなった。7月6日~14日にかけて優占種が珪藻類とディクチオカ属からシャトネラ属とフィブロカプサ属に交代し、その後増殖して赤潮に発展した。シャトネラ属とフィブロカプサ属の赤潮は周期的に増減を繰り返しながら、8月中旬まで持続した。シャトネラ属の細胞数は7月19日には最高細胞数10,860cells/ml、8月5日には同13,320cells/mlまで増殖し、養殖ブリ類に漁業被害が発生した。更に時期を同じくして8月上旬にはカレニア属も増殖し始め、8月7日には1,960cells/mlまで増殖したが、8月中旬になると急激に減少した。シャトネラ属、フィブロカプサ属及びカレニア属は、8月14~17日の間にほぼ消滅し、遊泳細胞はほとんど観測されなくなった。8月下旬以降は、レプトシリンダラス、スケルトネーマ、キートセラスを中心とする珪藻類が再び増殖し、10月下旬まで断続的にブルームが確認された。11月下旬には湾奥部で局所的にヘテロシグマ・アカシオが、最高細胞数12,400cells/ml(11月24日)まで増殖し、1週間後に終息した。この赤潮で養殖シマアジ等に漁業被害が発生した。

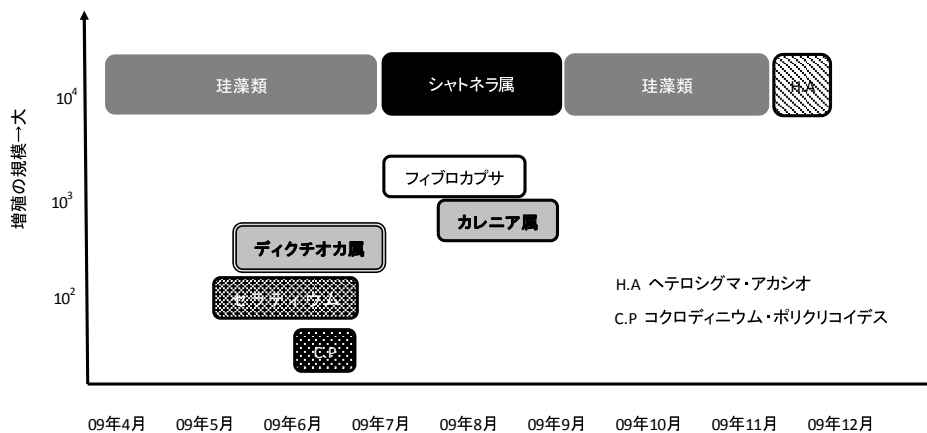


図3 浦ノ内湾におけるプランクトンの消長のイメージ (平成21年度)

②シャトネラ属の推移

浦ノ内湾各定点におけるシャトネラ属プランクトンの最高細胞数の推移を図4に示した。

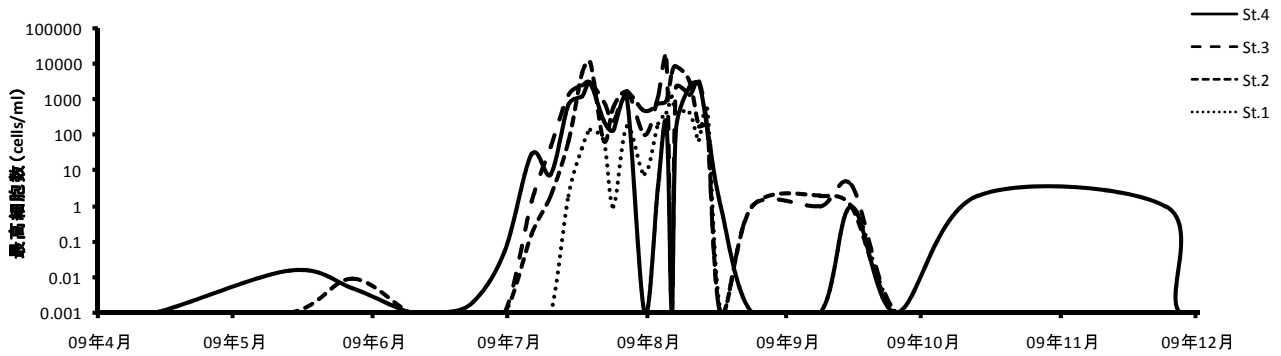


図4 浦ノ内湾におけるシャトネラ属プランクトン最高細胞数の推移（平成21年度）

シャトネラ属プランクトン(シャトネラ・マリナ及びシャトネラ・アンティカ)は5月13日～11月24日の期間に観測された。

今年度、当該種が浦ノ内湾で最初に確認されたのは5月13日で、湾奥部 St.4(浦ノ内中学校前)であった。この時点での細胞数は 0.015cells/ml で、その後も湾奥部を中心に $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$ cells/ml レベルの出現が6月30日まで続いた。7月に入ると細胞数が急増し、7月6日に湾奥部で最高細胞数 30cells/ml、その他の定点でも $1 \times 10^{-2} \sim 1$ cells/ml 程度の出現が観測された。6月30日～7月6日の6日間で約 1,000 倍の増殖があったことになる。

7月14日には更に増殖し、湾奥部を中心に最高細胞数 2,111cells/ml となって、濃い着色の赤潮状態となった。その後、増殖の中心を湾中央部に移しながら、7月19日には最高細胞数 10,860cells/ml (St.2-0m 層) まで増殖し、養殖ブリ類に被害が発生した。7月22日には増殖の中心は更に湾口部側に移動したが、その後、細胞数は横ばいから減少傾向となった。

7月27日には再び湾奥部で増殖が始まり、最高細胞数 1,733cells/ml (St.3-0m 層) が観測された。8月5日には最高細胞数 13,320cells/ml (St.3-2m 層) まで増殖し、その後、増殖の中心は湾口側に移動するとともに細胞数は徐々に減衰し、8月17日には最高細胞数 1cells/ml (St.4-5m 層) となって、赤潮状態は終息した。その後、散発的に数 cells/ml が観測されたが大規模な増殖には至らなかった。

上記期間中の湾内各点のシャトネラ属プランクトン細胞数の変化を図5に示した。

7月上旬から8月中旬の増殖期間中、シャトネラ属プランクトンは湾奥部で約2週間ごとに 10^3 cells/ml レベルの細胞密度で出現し、この群が増殖しながら湾口部に向かうというパターンを繰り返した。発生・増殖しながらの移動拡散、湾口付近での停滞と終息というパターンのくりかえしが、湾内で赤潮が長期化して見えた原因の一つとして考えられた。

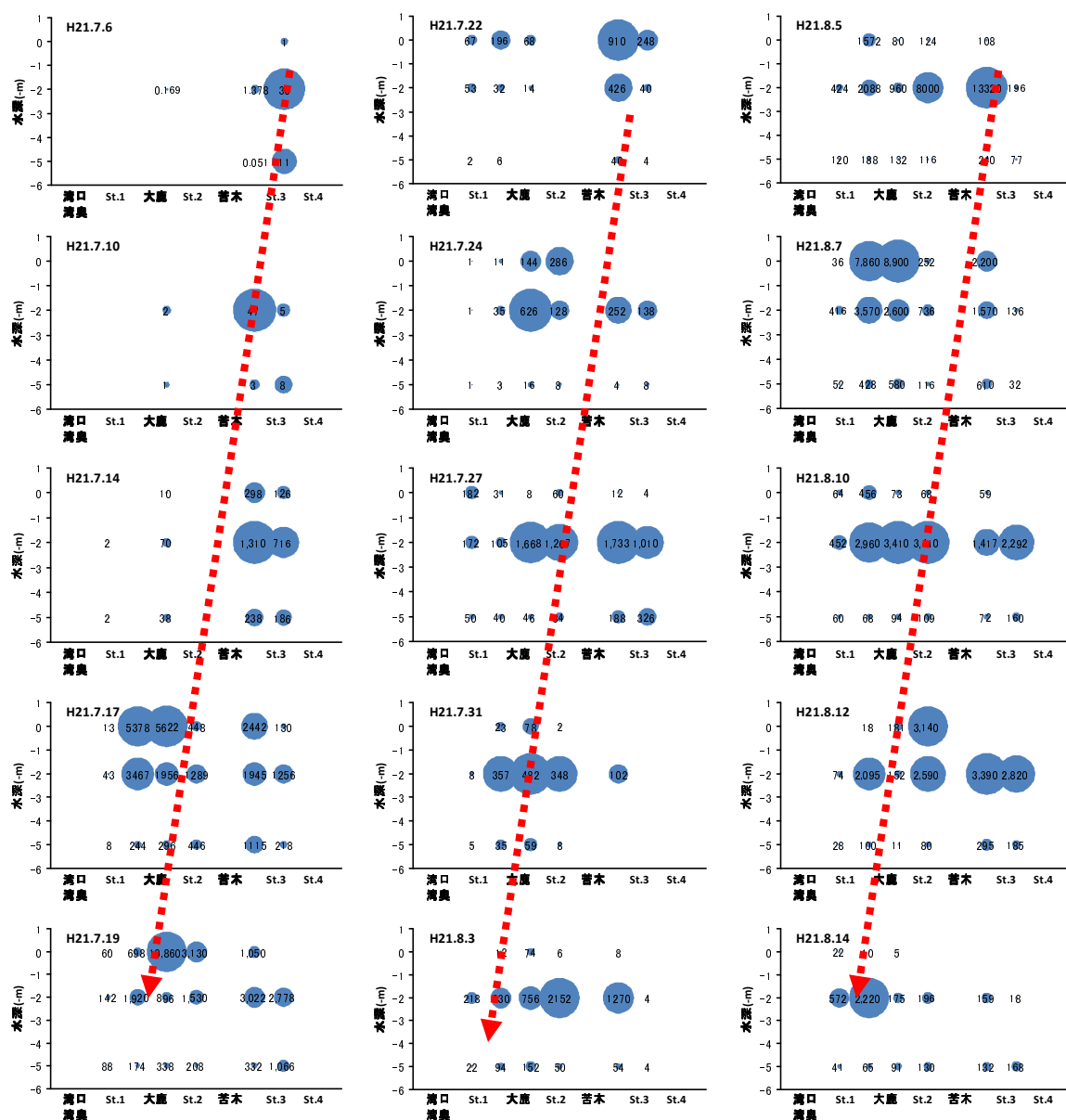


図5 シャトネラ属プランクトンの細胞数の分布
(図中の矢印は、細胞密度が高い箇所をつないだ傾向線)

③カレニア属の推移

浦ノ内湾各定点におけるカレニア属プランクトンの最高細胞数の推移を図6に示した。

カレニア属(カレニア・ミキモトイ及びカレニア・パピリオナセア)は5月27日～11月27日まで、散発的に各定点で観測された。5～7月の期間中は 1×10^2 cells/ml 以下の細胞密度で推移したが、8月3～7日にかけては最高細胞数 1,960 cells/ml (St.2, 0m 層) まで増殖したあと、8月10日には再び 1×10^2 cells/ml 以下まで減少し、その後は時折数 cells/ml 程度が出現しただけであった。

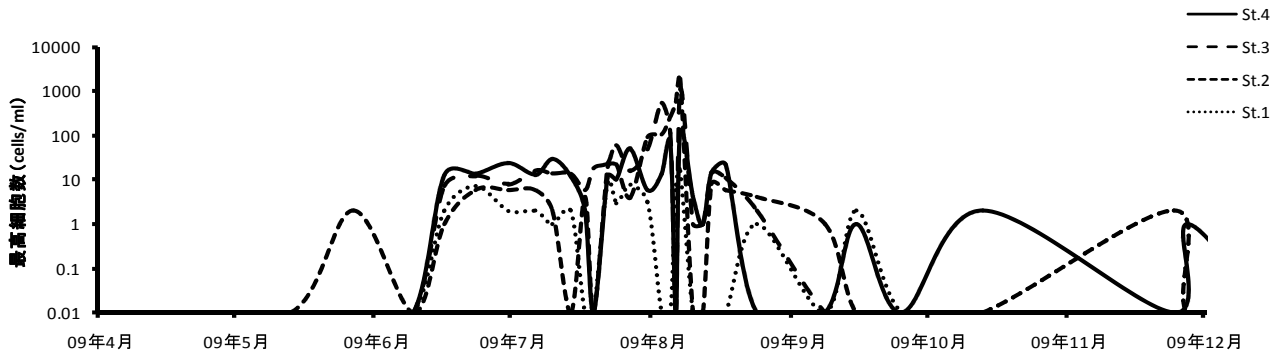


図 6 浦ノ内湾におけるカレニア属プランクトン最高細胞数の推移（平成 21 年度）

④コクロディニウム・ポリクリコイデスの推移

浦ノ内湾各定点におけるコクロディニウム・ポリクリコイデスの最高細胞数の推移を図 7 に示した。コクロディニウム・ポリクリコイデスは、6 月 9 日に湾内各定点で観測（最高細胞数 9cells/ml）されたが、6 月 16 日以降は全く観測されなかった。

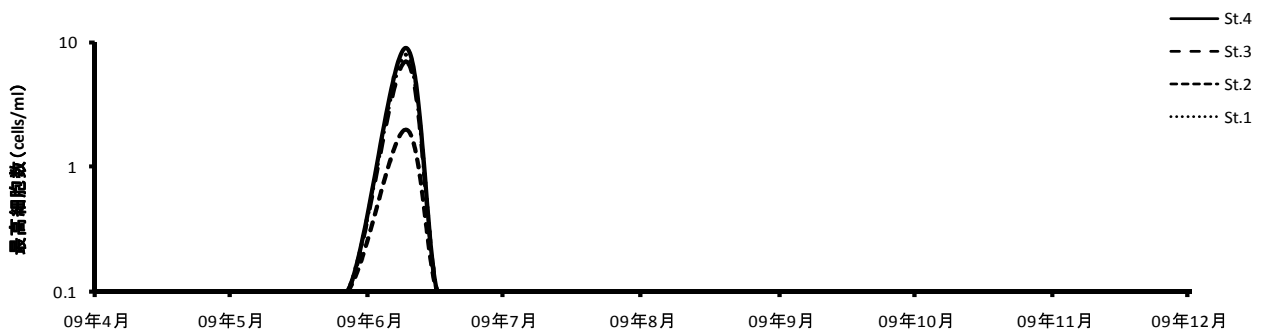


図 7 浦ノ内湾におけるコクロディニウム・ポリクリコイデス最高細胞数の推移（平成 21 年度）

⑤ヘテロシグマ・アカシオの推移

浦ノ内湾内各定点におけるヘテロシグマ・アカシオの最高細胞数の推移を図 8 に示した。浦ノ内湾では、ヘテロシグマ・アカシオは年間を通じて数 cells/ml レベルで確認されるが、11 月 24 日に湾奥部を中心に最高細胞数 12,400cells/ml まで増殖し、濃い着色域のある赤潮状態となり、養殖マダイの稚魚やシマアジに漁業被害が発生した。しかし、11 月 27 日には 1cells/ml まで急減し、その後、本種は観測されなくなった。

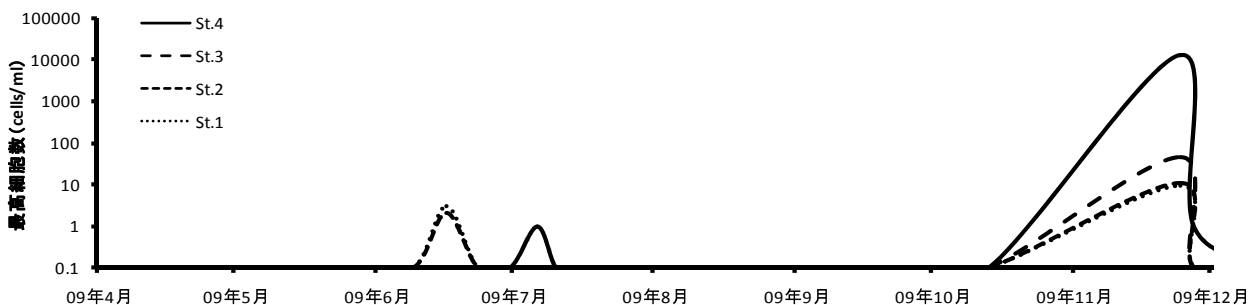


図 8 浦ノ内湾各定点におけるヘテロシグマ・アカシオ最高細胞数の推移（平成 21 年度）

3) 環境

①水温

浦ノ内湾中央部 St.2 (光松) の各層 (0,2,5,10,B-1m) の水温、塩分、溶存酸素量の年間推移を図 9 に、浦ノ内湾奥部 St.4 (浦ノ内中学校前) の各層 (0,2,5,10,B-1m) の水温、塩分、溶存酸素量の推移を図 10 に示した。

また、湾中央部の St.2 (光松) の底層溶存酸素量の 5~11 月の推移を図 11 に示した。

水温は気象データが示すとおり、降雨の少なかった 5、9 月に平年値より高く、大雨のあった 8 月及び 11 月に平年値より低くなった。特に、11 月は鉛直混合により水温低下が全層に波及した。定点間では水温変化に大きな差異は認められなかった。

②塩分

湾内の塩分は、4~7 月及び 9~10 月にかけては平年値より高く、8 月は降水の影響で大きく低下した。8 月には、表層の塩分は 10.4 まで低下し、鉛直間に強い密度成層が形成された。

塩分の湾内分布については、鉛直方向の較差は大きかったが、水平的には同程度で大きな違いは認められなかった。

③溶存酸素量

溶存酸素量は、表層では 4~6 月及び 12 月に平年値より低く、9 月に高かった。7 月の 2m 層では 10mg/l を超える高い値が観測されたが、同時期にブルーム状態であった珪藻類とディクチオカ属プランクトンによる光合成の結果であると考えられた。

湾内底層の溶存酸素量は、6~8 月の期間は低位で、例年同様に貧酸素水塊が形成された。

定点間では、9 月の底層溶存酸素量は湾奥部で 1 mg/l 以下であったのに対し湾中央部では 5 mg/l で両者に相当の差があった。9 月上旬に湾外水が浦ノ内湾中央部底層付近に流入し、酸素が補給された結果、同所周辺の酸素条件が改善されたと考えられた。

また、平成 21 年度の浦ノ内湾中央部底層の溶存酸素量は平年値より相対的に低かった。例年だと 6 月中旬~8 月中旬の大潮時にある湾外水の差し込みが弱く、湾中央部底層に湾外水由来の酸素補給がなかったためと考えられた (図 11)。

この期間に底層への湾外水の差し込みが起らなかったのは、同時期の県中央部では 1~2 週間おきに 70~100mm 程度のまとまった雨が降り、特に、8 月上旬には 380mm を超える降水があったことが影響していると考えられた。即ち、雨による仁淀川の増水で浦ノ内湾湾口付近の塩分 (= 密度) が低下したため、湾外水よりも高密度の湾内底層への差し込みに必要な密度差が発生しなかったためと考えられた。

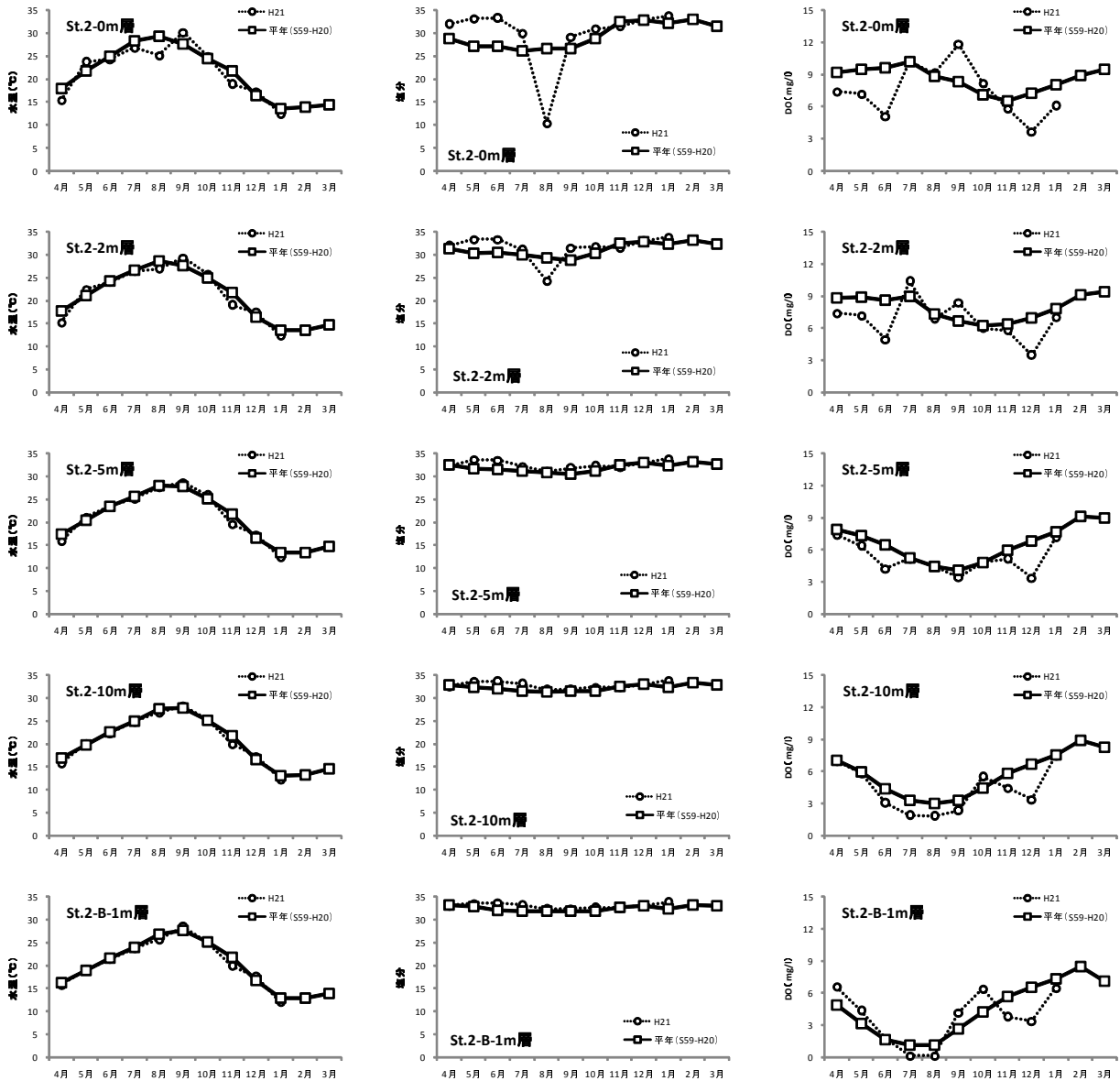


図9 浦ノ内湾中央部 St.2 (光松) における水温、塩分、溶存酸素量の推移
(平年値は S59～H20 年の平均) ※ 図は左から水温、塩分、溶存酸素量 上から 0,2,5,10,B-1m)

有害赤潮等分布拡大防止

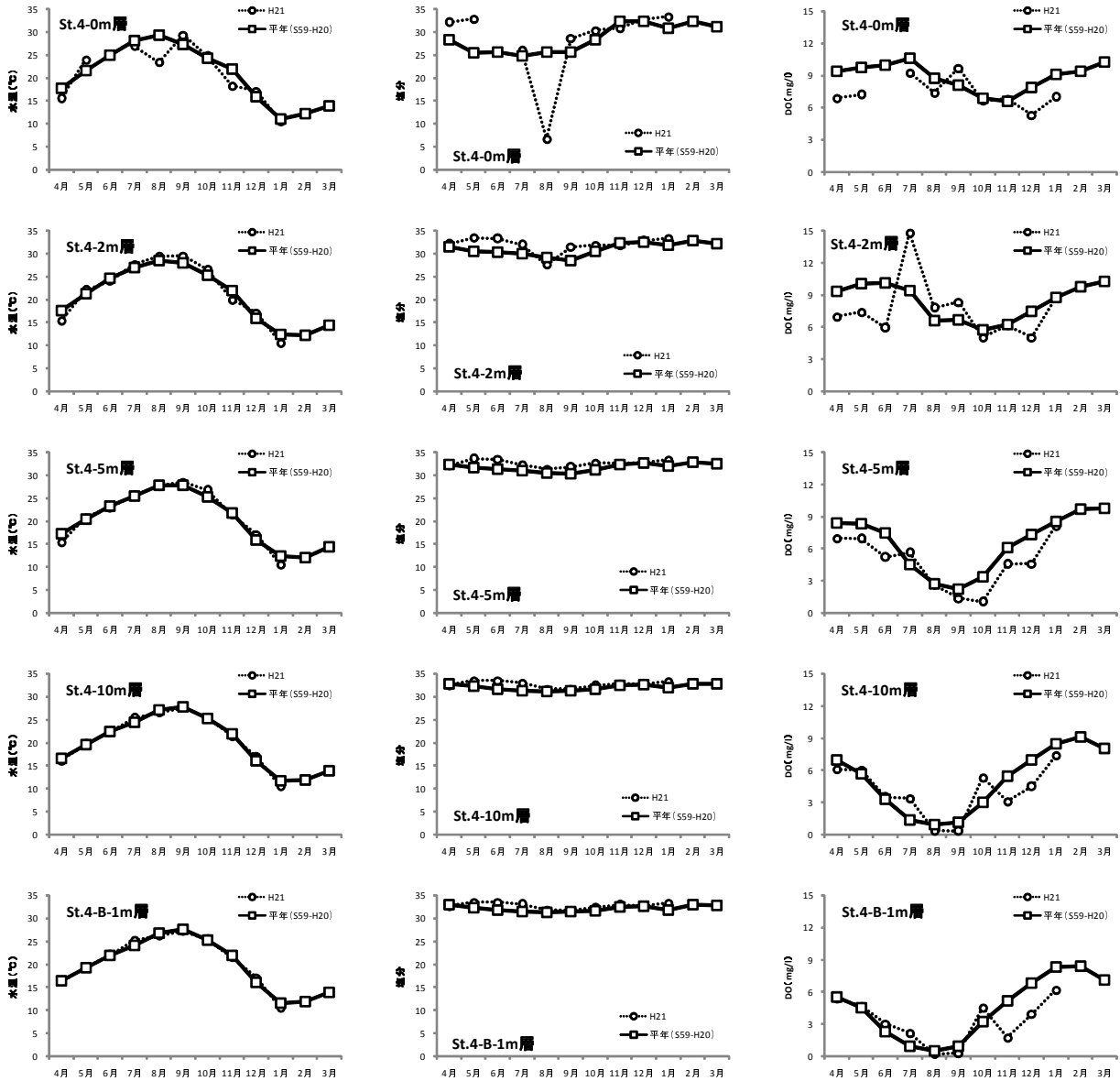


図 10 浦ノ内湾中央部 St.4 (浦ノ内中学校前) における水温、塩分、溶存酸素量の推移 (平年値は S59~H20 年の平均) ※図は左から水温、塩分、溶存酸素量 上から 0,2,5,10,B-1m

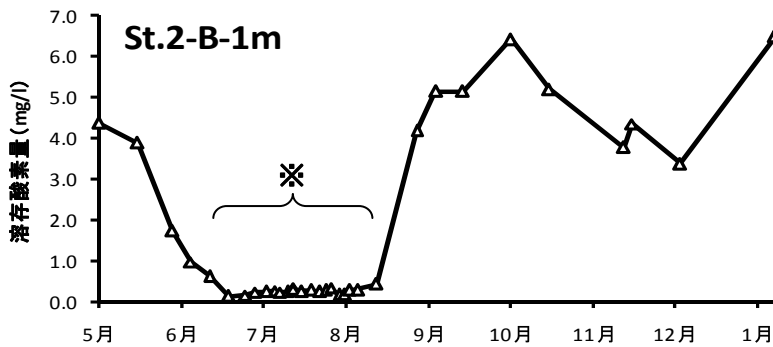


図 11 浦ノ内湾中央部 St.2 (光松) の B-1m 層における溶存酸素量の推移

※シャトネラ属赤潮が発生していた 7 月上旬~8 月中旬は底層溶存酸素量に変化はなく、貧酸素状態が持続した。この期間は湾外水が底層に差し込まなかったと考えられる。

④浦ノ内湾定地水温データの推移

水温の細かい動向は定期調査だけでは捕捉できないこともあるので、年間の水温変化の傾向を把握するために、高知県水産試験場が、昭和 50 年から浦ノ内湾湾口部 2m 層で平日の午前 10 時に観測している水温（「定地水温データ」という）について検討した（図 12）。

定地水温データによる今年の水温動向は、全般的には平年値（S50～H17 年の平均値）より高めの期間がほとんどで、平成 21 年度の年平均値は平年値より 0.4℃高かった。時期的には、降雨量の多かった 8 月と 11 月の水温は平年より 1℃近く低く、逆に気温が高目で推移した 2 月中下旬と 4 月中旬の水温は 1℃以上高かった。

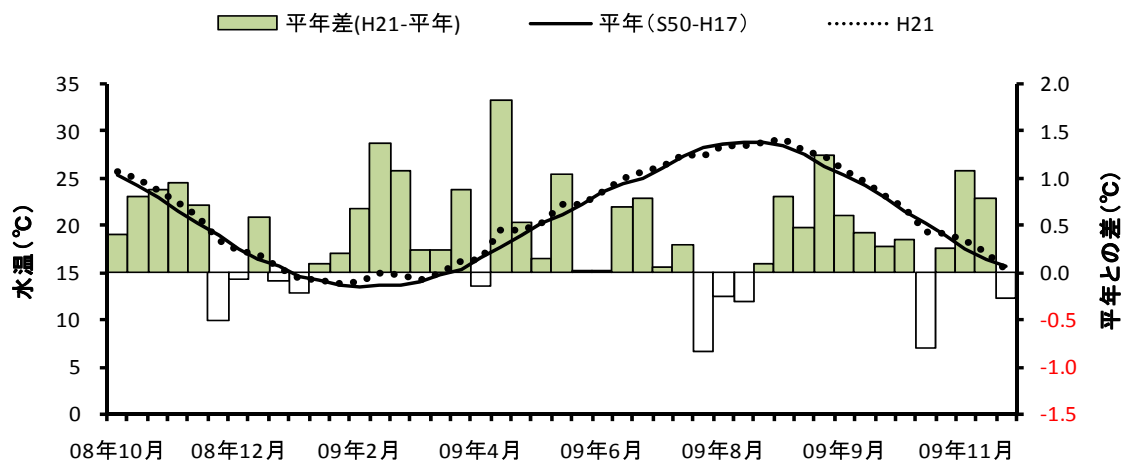


図 12 浦ノ内湾定地水温旬別平均の推移（平成 21 年度・平年値は S50～H17 年の平均）

4) 栄養塩等

①窒素

浦ノ内湾中央部 St.2（光松）の 0,5,10,B-1m 層での栄養塩濃度の推移を図 13 に、浦ノ内湾奥部 St.4（浦ノ内中学校前）の 0,5,10,B-1m 層での栄養塩濃度の推移を図 14 に示した。

浦ノ内湾中央部 St.2（光松）の TN は、8 月の表層及び 7～8 月の底層で平年値（S59～H17 年の平均値、以下同じ）より高く、その他の期間では、概ね平年並みかやや高い程度で変化した。前者については 8 月の大雨で大量の $\text{NO}_3\text{-N}$ が表層に供給されたこと、後者については底層への湾外水の差し込みが弱く、中～表層への底層の富栄養水の移動がなかったことによると考えられる。また、3～7 月及び 9～11 月の間の表層での DIN は相対的に低水準であった。

浦ノ内湾奥部 St.4（浦ノ内中学校前）の TN は、8 月の表層及び 9,11 月の底層で平年値より高く、その他の期間では概ね平年並みかやや低い程度で推移した。8 月の栄養塩の増加は前述のとおり降雨によるものと考えられ、9,11 月については、湾内海水の鉛直混合が弱く、底泥からの溶出が底層付近に滞留したためではないかと考えられた。また、8 月を除く、4～11 月の間の表層及び 5～7 月においては全層とも、DIN は相対的にかなり低かった。

②リン

リンについても、窒素と類似した変化が見られた。即ち、8 月の表層で TP が突出して高く、3～11 月の表層では、8 月を除いて両定点とも $\text{PO}_4\text{-P}$ は低かった。一方、6～8 月の湾内底層の TP は

湾奥の St.4 を除いて平年より高目で推移した。

③ケイ酸

ケイ酸の平年値（H11～H17年の平均値）は7月の表層部が最も高いが、本年度は8月が最も高く、その他の期間はほぼ平年並みの変化が見られた。ケイ酸はシャトネラの競合種である珪藻類増殖の制限要因となりうるので、6～7月にケイ酸濃度が低かったことが7月上旬からのシャトネラ属プランクトンの増殖に有利に働いた可能性が考えられる。また、8月中旬以降に優占種がシャトネラ属プランクトンから珪藻類に交代したことについても、8月の大雨で湾内に大量のケイ酸塩が供給されたことの影響があると考えられた。

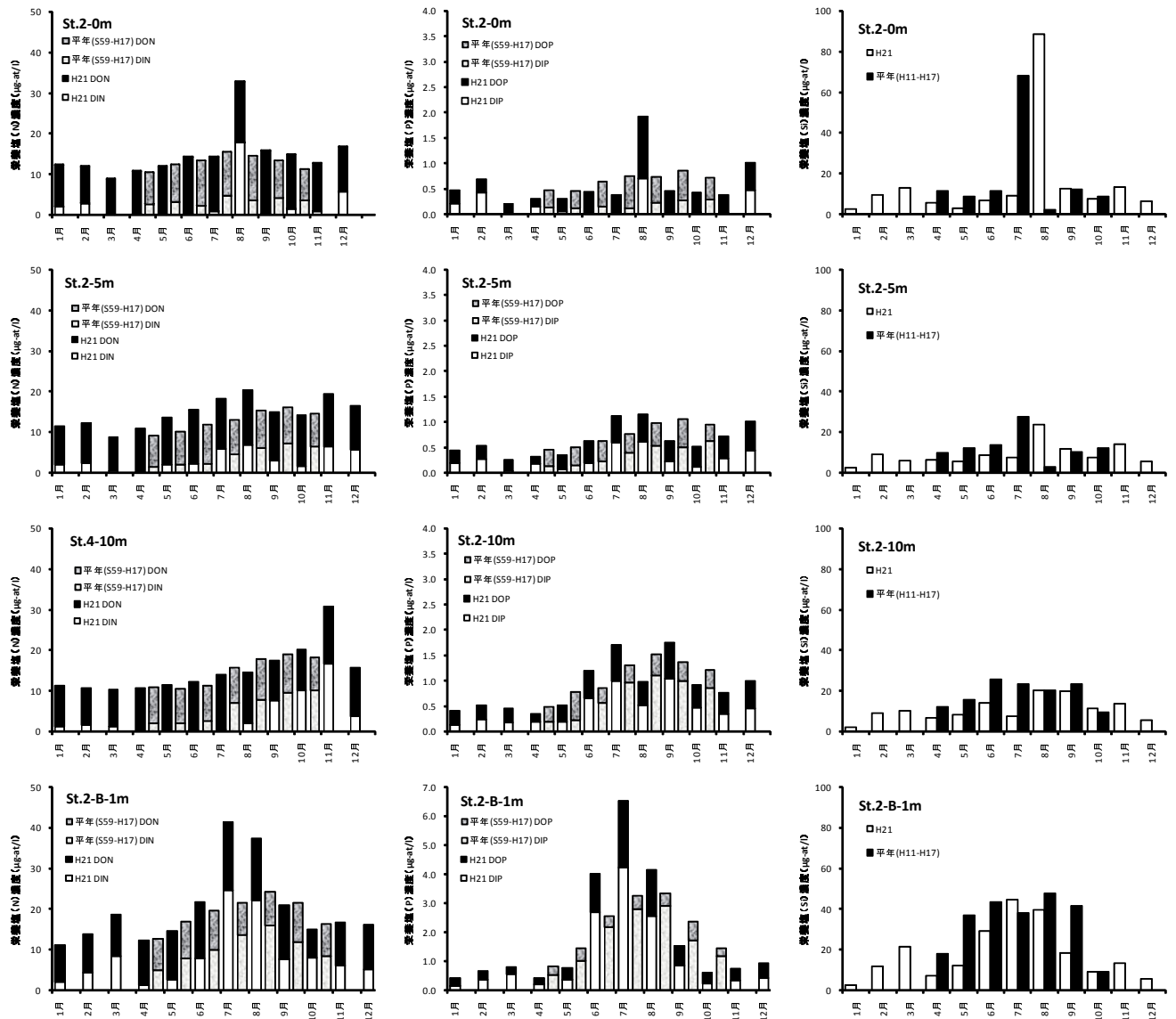


図 13 浦ノ内湾中央部 St.2（光松）の栄養塩濃度の推移

（平年値は窒素、リン酸については S59～H17 年の平均、ケイ酸塩については H11～H17 年の平均）

※図は左から窒素、リン、ケイ酸塩 上から 0,5,10,B-1m

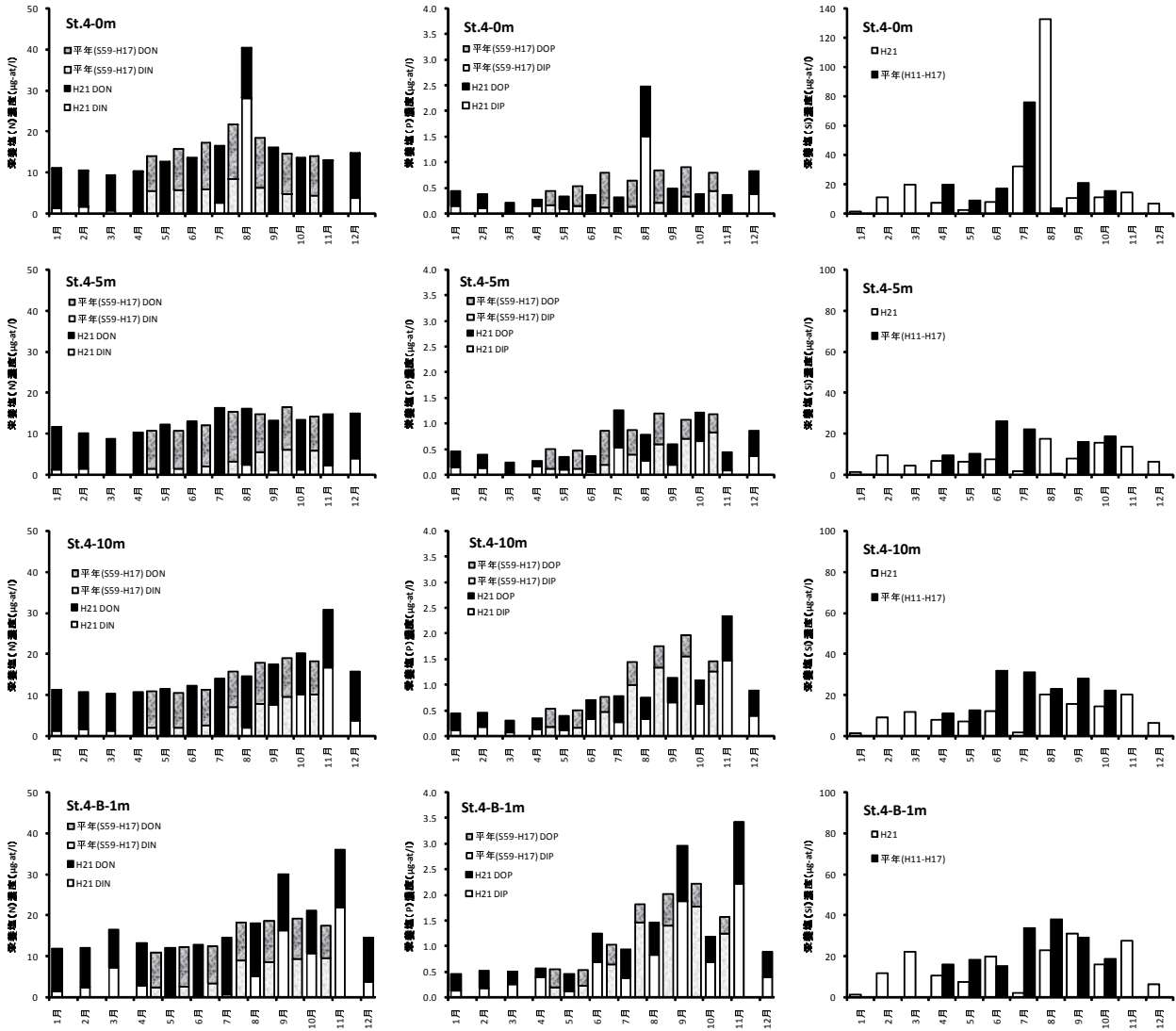


図 14 浦ノ内湾奥部 St.4 (浦ノ内中学校前) の栄養塩濃度の推移

(平年値は窒素、リン酸については S59～H17 年の平均、ケイ酸塩については H11～H17 年の平均)

※図は左から窒素、リン、ケイ酸塩 上から 0,5,10,B-1m

(2) 宿毛湾の動向

1) 気象等の条件

宿毛湾に近い、気象庁アメダス観測点(宿毛)の月別平均気温、月別降水量、月別日照時間の推移を図 15 に示した。

月別平均気温は、H21 年を通して、平年(S54～H12 年の平均：気象データの平年値については以下同じ)より高めに推移した。特に 2 月は平年より 3.1℃も高く、年間平均でも 0.7℃高かった。

月別降水量は、1～3,8,10～11 月は平年より多く、4～7 月及び 9 月は平年より少なかった。年間総降水量は 1,821mm で、平年値の 90%程度であった。9 月は平年と異なり、月間降水量は平年比の 19%の小雨であった。

月別日照時間は、4～6 月及び 9 月に平年より多く(平年比 120～130%)、7 月に少なかった(平

年比 68%)。その他の月では概ね平年並みであった。年間総日照時間は 2,092 時間で平年比の 104% であった。

今年の気象の特徴は 2 月の高温と年間を通しての高温傾向及び 9 月の少雨であった。

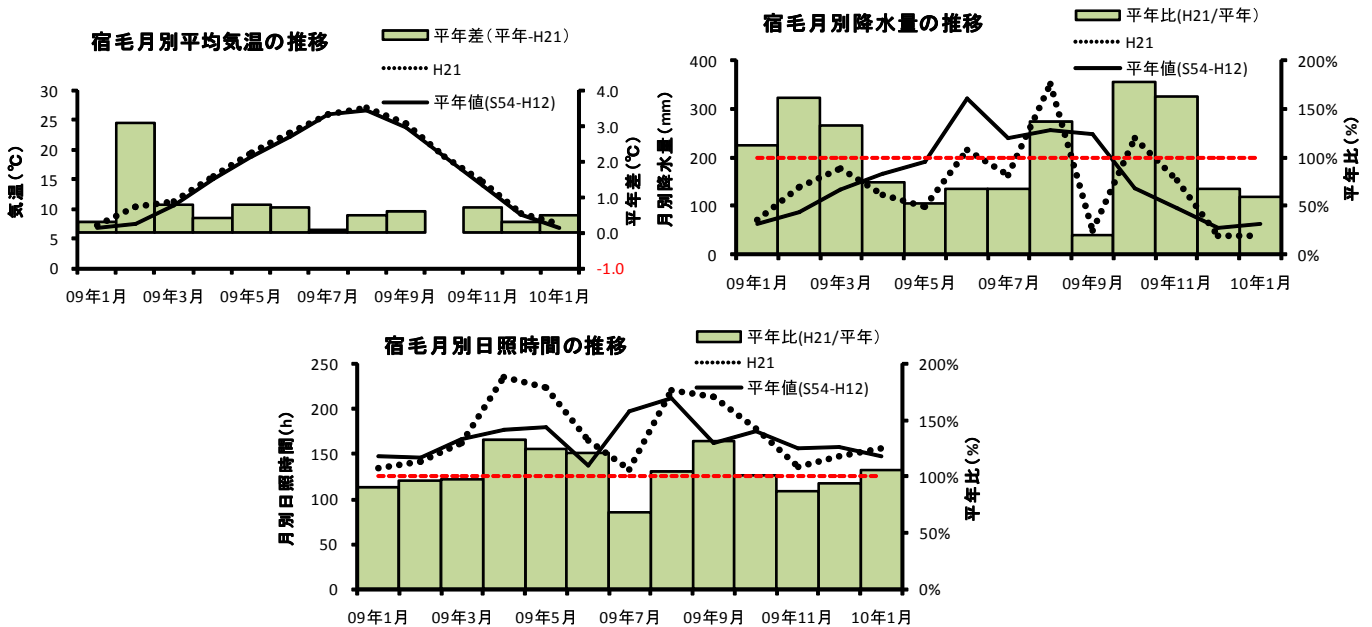


図 15 宿毛の気象 (平年値は S54~H12 年の平均) ※気象庁アメダスのデータより

2) プランクトン

宿毛湾におけるコクロディニウム・ポリクリコイデス、ヘテロシグマ・アカシオ及びメソディニウム・ルブラムの最高細胞数及び表層水温の推移を図 16 に示した。

コクロディニウム・ポリクリコイデスは 6 月 5 日に 10cells/ml が出現した後、6 月 8 日には今回赤潮での最高値となる 367cells/ml となり、6 月 11 日に 143cells/ml まで減少した。その後は徐々に減衰し、6 月 25 日に遊泳細胞は観測されなくなった。この期間の表層水温は 20.0~25.3°C の間で推移した。この赤潮により、養殖カンパチに漁業被害が発生した。

ヘテロシグマ・アカシオは比較的岸寄りの海域に着色域が発生し、10 月 5 日に 5,035cells/ml、翌 10 月 6 日には 2,090cells/ml が観測されたものの、10 月 8 日には着色域は消失し、遊泳細胞も確認できなくなった。赤潮発生期間の表層水温は 20.3~24°C であったが、赤潮終息前後で急激な温度低下が観測された。

メソディニウム・ルブラムは 11 月 7 日に漁港内で 650cells/ml が観測されたものの、11 月 9 日には着色域は消滅し、遊泳細胞数は 26cells/ml となった。この期間の表層水温は 22.2~22.5°C であった。

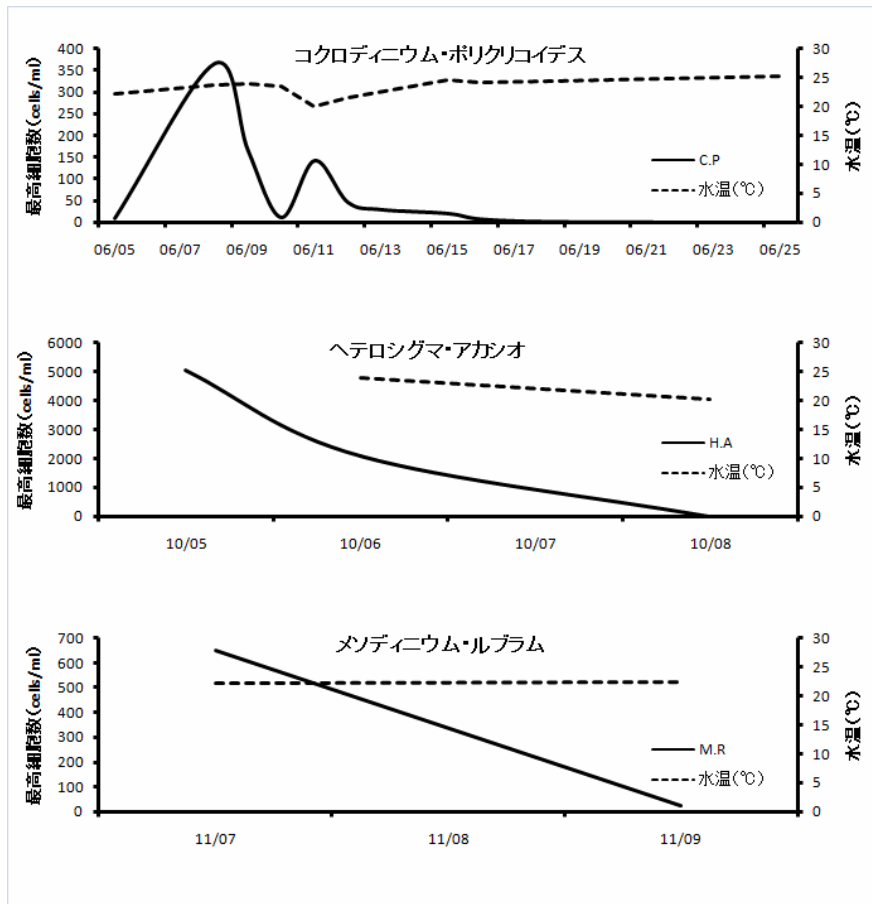


図 16 宿毛湾におけるココロディニウム・ポリクリコイデス、ヘテロシグマ・アカシオ及びメソディニウム・ルブラムの最高細胞数及び表層水温の推移

宿毛湾では、本調査が始まってから初めてココロディニウム・ポリクリコイデスの赤潮が発生し、漁業被害も発生した。本種赤潮の発生した6月の近隣県の状態は、愛媛県宇和海では本種の赤潮報告はなく、大分県猪串湾では6月8日～7月23日に本種の赤潮が形成されている。発生時期は宿毛湾の方がより早かったし、豊後水道をはさんで伝播したとは考えにくいので、宿毛湾にはすでに本種が低密度で存在していた可能性が高いと考えられる。その根拠として、近隣の土佐清水漁港内で過去に5回本種による赤潮が発生し、うち3回で漁業被害が発生していることがあげられる。細胞数の詳細な記録はないものの、本種による漁業被害が同じ場所で複数回発生していることが本種の定着を示していると考えられる。今年度の本種による赤潮発生により、本海域では一定規模のシードポピュレーションが形成されたと考えられる。今後は継続的な赤潮監視とともに地元関係者への情報提供による漁業被害の防止が必要である。

4 考察

(1) 湾外水の差し込みの発生（海水密度からの推測）とシャトネラ赤潮の持続要因

浦ノ内湾は東西に細長く、入り組んだ支湾が多い（図1）。湾の奥行きは約9km、湾口部の幅は500mと細長いうえ、湾口部の水深は5m前後と浅く、しかも天皇洲、高洲という砂州が潮汐流の

抵抗となっていて海水交換は良くない。このため、6～9月中旬にかけては表層の水温上昇や陸水の流入により、強い密度成層が形成されて底層から中層にかけて規模の大きな貧酸素水塊が形成される。しかし、貧酸素水塊が形成される夏季の大潮時には湾外の高密度水が湾内底層に流入する、いわゆる「差し込み」が発生することがある。差し込みの発生により貧酸素水塊が底層から中表層に浮上したり、湾外水との混合が起こる。また、湾外水が底層に差し込むことによって底層水が湾奥方向に押し込まれると、湾奥底層の富栄養な貧酸素水が湾奥表層に移動し、更には湾奥の表層水は湾口部側へ押し出されるように移動する。このような玉突き式の湾内環境の変動は、時にプランクトン優占種の交代や爆発的な増殖を招くことがある。

湾外水の差し込みが浦ノ内湾におけるプランクトン相のレジームシフトに関係するとの上記仮説を検証するため、今年度の湾外水の差し込みの状況について検討した。

湾外水の差し込みは、湾内外の密度差によって発生するため、まず海洋観測指針（気象庁編）に従って海水密度を算出し、その密度分布を整理した（図 17）。

図 17 では、縦軸が水深、横軸が湾口からの湾中心線上の距離である。湾外水の密度を求めるための定点を湾外に設定し、通常定点と同様の方法で水温・塩分の観測を行った。

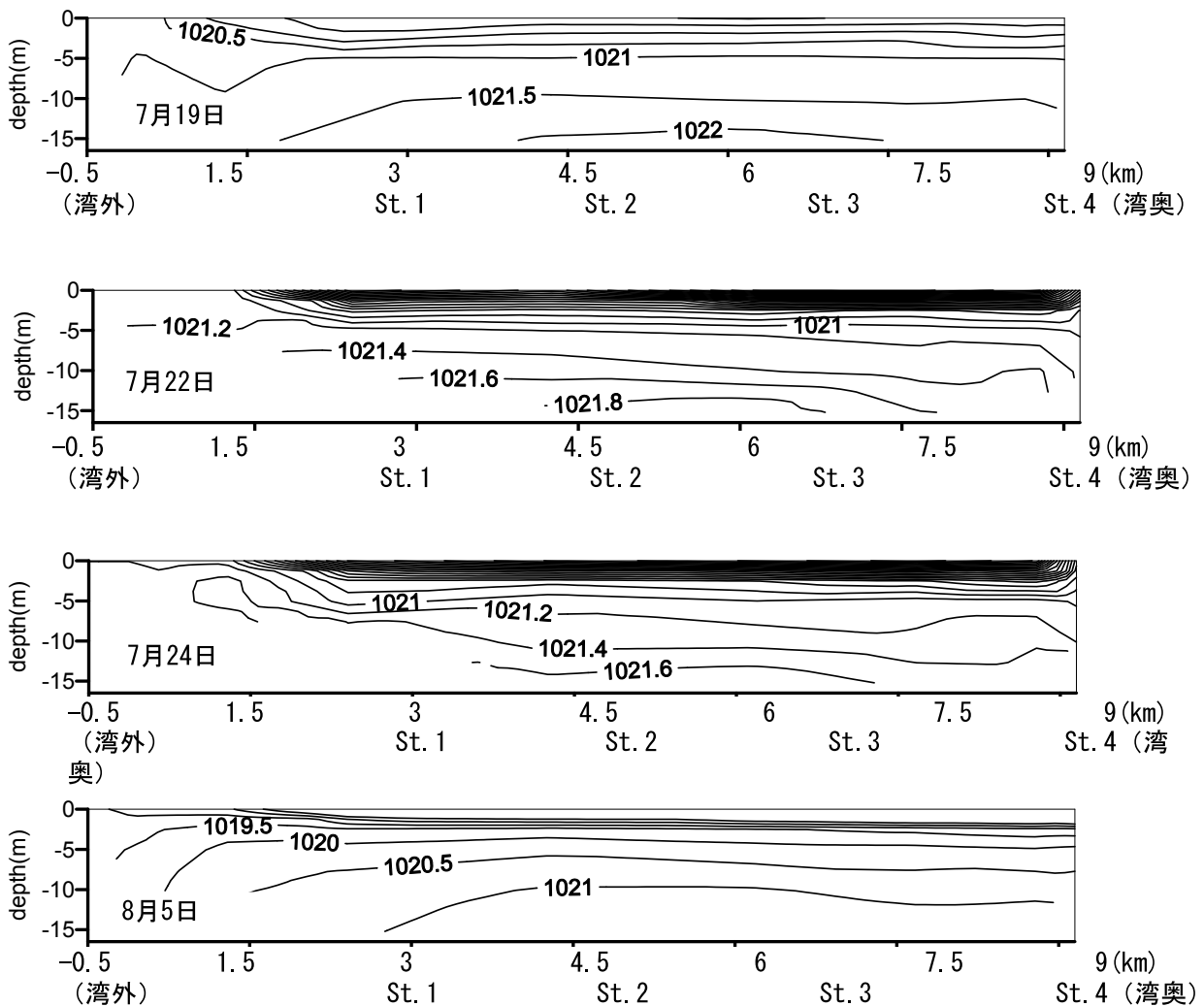


図 17 浦ノ内湾の海水密度分布（横軸の下段は定点位置を示した）

いずれの調査日でも、湾外の 5m 以浅の海水密度よりも、湾中央から湾奥部の 10m 以深の海水密度が高く、低密度の湾外水は湾内底層に流入できなかつたことが明らかである。その結果、湾内の密度成層は破壊されることなく停滞し、湾外水の差し込みによって誘発される環境及びプランクトン相のドラスティックな変化が起こらなかつたと考えられる。このことが結果的にシャトネラ赤潮が長期化する要因となつたと推測される。

以上をもとに、平成 21 年夏季の浦ノ内湾におけるシャトネラ属赤潮の持続要因を模式的にまとめた（図 18）。

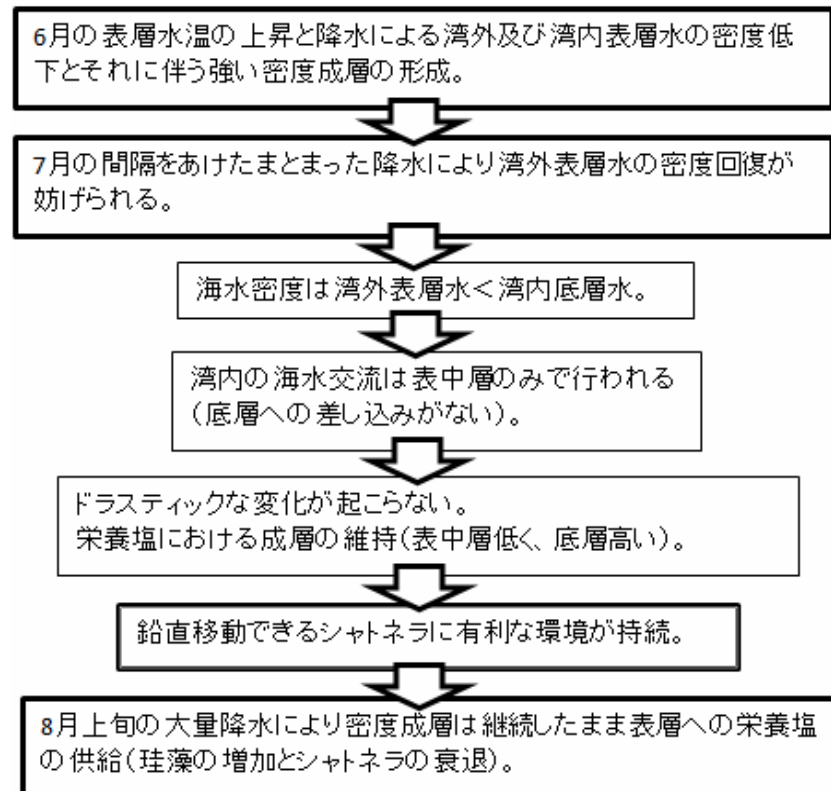


図 18 平成 21 年夏季の浦ノ内湾におけるシャトネラ属赤潮の持続要因

（2）短期予察の可能性

浦ノ内湾の湾奥部には、有害プランクトンの種場になっていると考えられる箇所があり、毎年その周辺では赤潮発生より前に局所的なブルームが発生する。浦ノ内湾表層では湾奥側から湾口側に向かう恒常的な流向成分が存在するため、湾奥部の局所的なブルームはこの流れに乗って移動拡散し、湾中央部付近で広範囲な赤潮に発達すると考えられる。このため、湾奥での有害プランクトンの動向（ここでは便宜的に期間細胞増加率を想定する）を赤潮発生短期予察に適用することについて検討した。

具体的には、通常の 1ml 採水プランクトンでは検出されないが、近々増殖が始まるであろうと推測できる 5～6 月に、浦ノ内湾奥部 St.4（浦ノ内中学校前）の海水 1000ml の濃縮プランクトンサンプルを鏡し、 10^3 cells/ml レベルでの有害プランクトンの細胞数の変化を追跡した。

浦ノ内湾奥部 St.4（浦ノ内中学校前）におけるシャトネラ属プランクトン及びカレニア属プラン

クトン細胞数の推移（0,2,5m 層）と 0～5m の水柱平均での 1 日当たりの細胞増加率の推移を図 19 に示した。

シャットネラ属プランクトンは 5 月 13 日に 5m 層で 0.015cells/ml が出現し、その後各層で 0.001～0.005cells/ml に増殖したあと、6 月 30 日には 0.001～0.053cells/ml、7 月 6 日には 1～30cells/ml に増加した。この間の水柱平均での 1 日当たりの細胞増加率は 6 月 30 日時点で 4.8、7 月 6 日時点では 144.8 であった。6 月 30 日以前の細胞増加率が 0.04 程度であったので、6 月 30 日から 7 月 6 日までの 6 日間で急激に増殖（細胞分裂以外の要因も含め）したことがわかる。

夏季の浦ノ内湾で湾奥側から増殖するパターンを示す有害プランクトンはシャットネラ属の他には、カレニア・ミキモトイやヘテロカプサ・サーキュラリスマがある。同時期に出現していたカレニア属プランクトンは現存細胞数 5～24cells/ml で、同一期間の細胞増加率は 0.1～0.3 であった。シャットネラ属とカレニア属では出現細胞数にはほとんど差がなかったが、細胞増加率は明らかにシャットネラ属プランクトンが高かった。このことから、その時点で増殖する可能性が高いのはカレニア属ではなく、シャットネラ属プランクトンと考えられた。その後、7 月 14 日にはシャットネラ属プランクトンは最高細胞数 2,111cells/ml に増殖して赤潮を形成し、更に 5 日後の 7 月 19 日には、湾中央部で最高細胞数 10,860cells/ml に達して養殖ブリ類等に漁業被害が発生した。

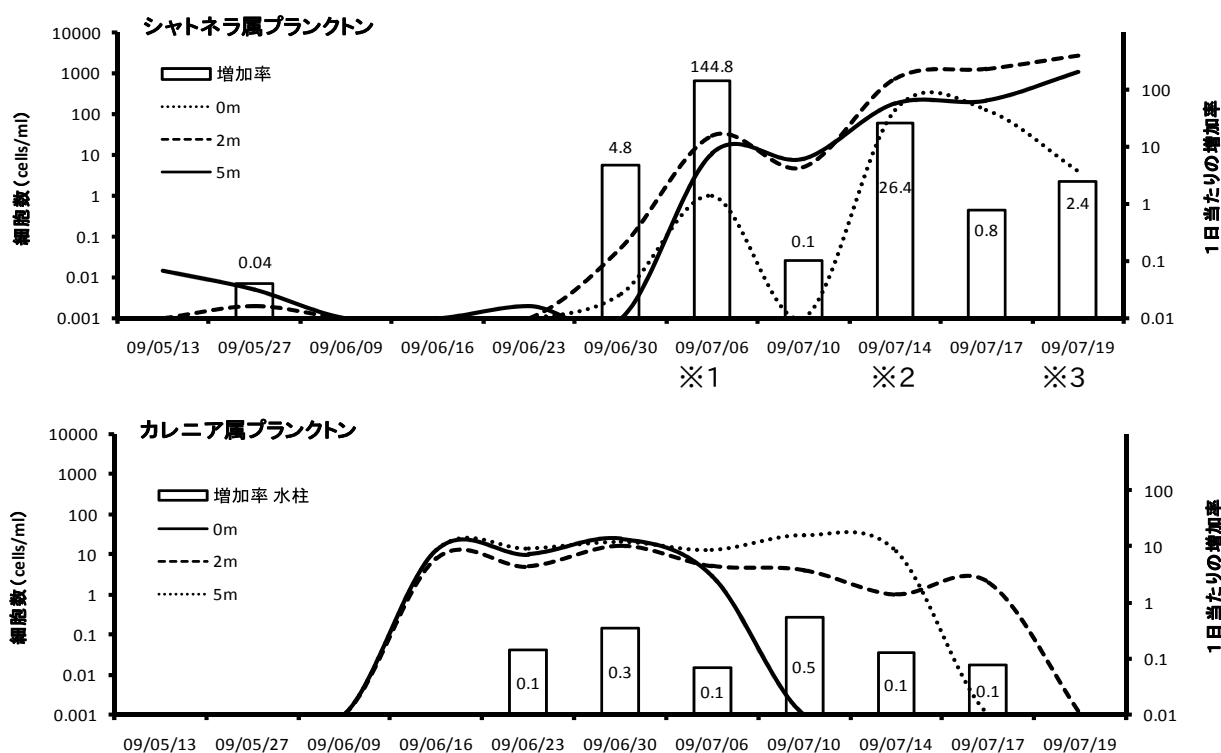


図 19 浦ノ内湾奥部 St.4（浦ノ内中学校前）におけるシャットネラ属プランクトン及びカレニア属プランクトン（下段）細胞数の推移と水柱での 1 日当たりの増加率の推移 ※1 細胞増加率が変化した日、※2 は着色域の生じた日、※3 は漁業被害の発生があった日であり、細胞増加率の変化から漁業被害の発生までは 2 週間かかった。

※細胞増加率は、同一採水箇所における時系列での変化で次式により求めた。

$$\text{調査日 a から調査日 b までの日間細胞増加率} = (\text{調査日 b の細胞数} / \text{調査日 a の細胞数}) / \text{日数 c}$$

浦ノ内湾の魚類養殖は過去にはブリ類養殖が主体であったが、近年は赤潮被害を受けにくいマダイ養殖への転換が進められている。今年度のシャットネラ赤潮では、プランクトン増殖による着色域が確認される以前の6月7日にシャットネラ属プランクトンが増殖する可能性が高い旨の情報提供を養殖現場に行った。養殖の現場では、その情報をもとに餌止等の対応が行われた結果、赤潮に弱いブリ類には被害が発生したものの、マダイ養殖での赤潮被害は少なく押さえることができた。

以上のことから、湾奥のプランクトン濃縮サンプルの観測と細胞増殖率の把握が、赤潮の短期予測に応用可能であることが示されたと考えられる。今後は、観測定点や観測頻度など、低密度時の細胞増殖率の把握方法の改良と分析精度の向上により、赤潮被害を出さないための餌止や出荷時期の調整あるいは赤潮回避など、実効性のある対応策の実現につなげていく必要があると考えられる。