

赤潮総合対策調査事業－Ⅲ (赤潮被害防止緊急対策事業)

矢野浩一，西広海，保科圭佑

【目 的】

赤潮発生前から終息後までの連続調査や発生時の集中調査を実施するとともに、シャットネラ属の分布状況や養殖魚に対する影響を調査することにより、赤潮の予察につながるデータを蓄積し、漁業者に的確な予察を提供する体制を構築する。

【方 法】

1 シスト休眠解除に関する調査

(1)底層水温モニタリング

長島周辺の養殖漁場4点（図1，★印）でデータロガー式水温計（Onset社Tidbit）を0 m，10 m層及び海底上1 m層（以下「B-1m」という。）に位置するよう養殖生簀鋼管枠に垂下し，1時間ごとに周年測定した。

(2)シスト発芽能確認調査

2014年4月15日に長島周辺4海域（図1，★印）周辺の約50m×50mの範囲内3カ所からエクマンバージ採泥器で海底泥を採取し，その表面から1cm程度をサジですくい取りサンプルとした。すくい取ったサンプルは，広口密閉容器に収容後アルミホイルで遮光するとともに，保冷剤を入れたクーラーボックスに入れ持ち帰った。

持ち帰ったサンプルは10℃の冷蔵庫内に10日間保管した後，MPN法¹⁾を一部改変した方法により，確認された栄養細胞から発芽したシストの数を推定した。これは，近年の研究でシャットネラ属シスト発芽時の光は，その発芽を阻害するとの知見²⁾が得られたため，規定の温度で培養する際，最初の5日間はアルミホイルで包んで遮光する処理を従来のMPN法に追加したもので，アルミホイルを外してからは，14L:10Dの明暗周期，光強度約35μmol/m²/secの光環境下でさらに9日間培養した。なお，培養温度は17,18,19,20,22℃とした。

(3)シスト発芽細胞の早期確認

0 m及びB-1 mからバケツ又は採水器（(株)離合社製リゴーB号採水器）で採水した海水1 Lを目合15 μmのプランクトンネットで5 mL程度に濃縮した後，その中のシャットネラ属及び*Cochlodinium polykrikoides*遊泳細胞を検鏡した。4月15日からは当所赤潮調査定点の内，5定点及び薄井の計6定点（図1，●印）で，5月1日からは東町漁協の定期調査で，5月14日からは鹿児島大学委託調査の3定点（図1，■印）で，それぞれ濃縮検鏡を実施した。なお，必要に応じて，0～10 m柱状採水のサンプルも用いた。

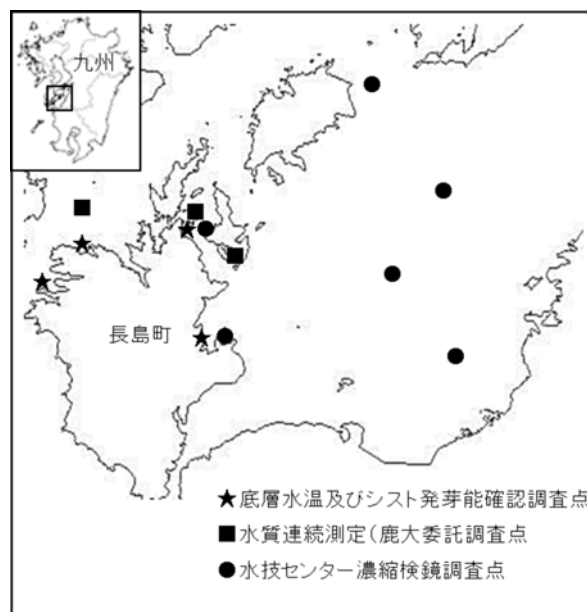


図1 調査定点

2 赤潮予察につながる水質連続測定

長島周辺の養殖漁場等3定点（図1，■印）で5月14日から9月30日まで週1回，合計21回の調査を実施した（表1）。

各調査定点の0 m, 5 m, 10 m, 20 m, B-1 mで採水器（（株）離合社製リゴーB号採水器）を用いて採水するとともに，多項目水質計（Hydrolabo社，DS5）を用いて水温，塩分，pH，溶存酸素量（DO(%)，DO(mg/L)），Chl-*a*濃度(μg/L)を測定した。

採水したサンプルは海水1mL中のプランクトンを計数するとともに，栄養塩類分析に供した。

なお，これらの現場調査は，鹿児島大学水産学部へ委託し，栄養塩類は採水されたサンプルを当所がオートアナライザ（BLTEC社製，AACS4）を用いてNO₃-N，NO₂-N，NH₄-N，PO₄-Pを分析した。

なお，当初，本事業に計画されていたブリ曝露試験，赤潮広域集中調査及び日周鉛直分布調査は，今年度は赤潮が発生しなかったため実施しなかった。

【結果及び考察】

1 シスト休眠解除に関する調査

(1)底層水温モニタリング

長島周辺4カ所に設置されたデータロガーで得られた水温データのうち，2013年12月12日から2014年5月26日までの10 m及びB-1 m水温の1時間毎の推移を図2に示す。なお，脇崎のB-1 mはロガー交換時にデータロガーの回収不能によりデータを収集できなかった。

2014年の八代海における冬期水温は2月14～19日に脇崎で12.1℃，薄井で12.3℃，茅屋13.2℃，浜瀬13.8℃で最低になり，その後，5月にかけて概ね時間の経過とともに上昇した。この間のデータロガーを設置した海域での底層水温の累積低温期間(時間)を表2に示す。B-1mのデータが欠測した脇崎は10mのデータを用いた。

12℃以下となった期間(時間)は，2014年はいずれの定点でも観測されず，脇崎では2012年に60時間あった³⁾ことから，2014年の八代海の冬季水温は，2012年に比べて高めに推移したことがわかった。

表2 底層水温の低温時間等(B-1m又は10m)	(時間)			
水温区分	脇崎	薄井	茅屋	浜瀬
15℃以下	2,217	2,091	1,214	572
14℃以下	1,449	1,442	286	58
13℃以下	436	449	0	0
12℃以下	0	0	0	0
最低水温(℃)	12.1	12.3	13.2	13.8
(最低日)	(2月19日)	(2月15日)	(2月15日)	(2月14,15日)

※ 脇崎は10mデータを使用

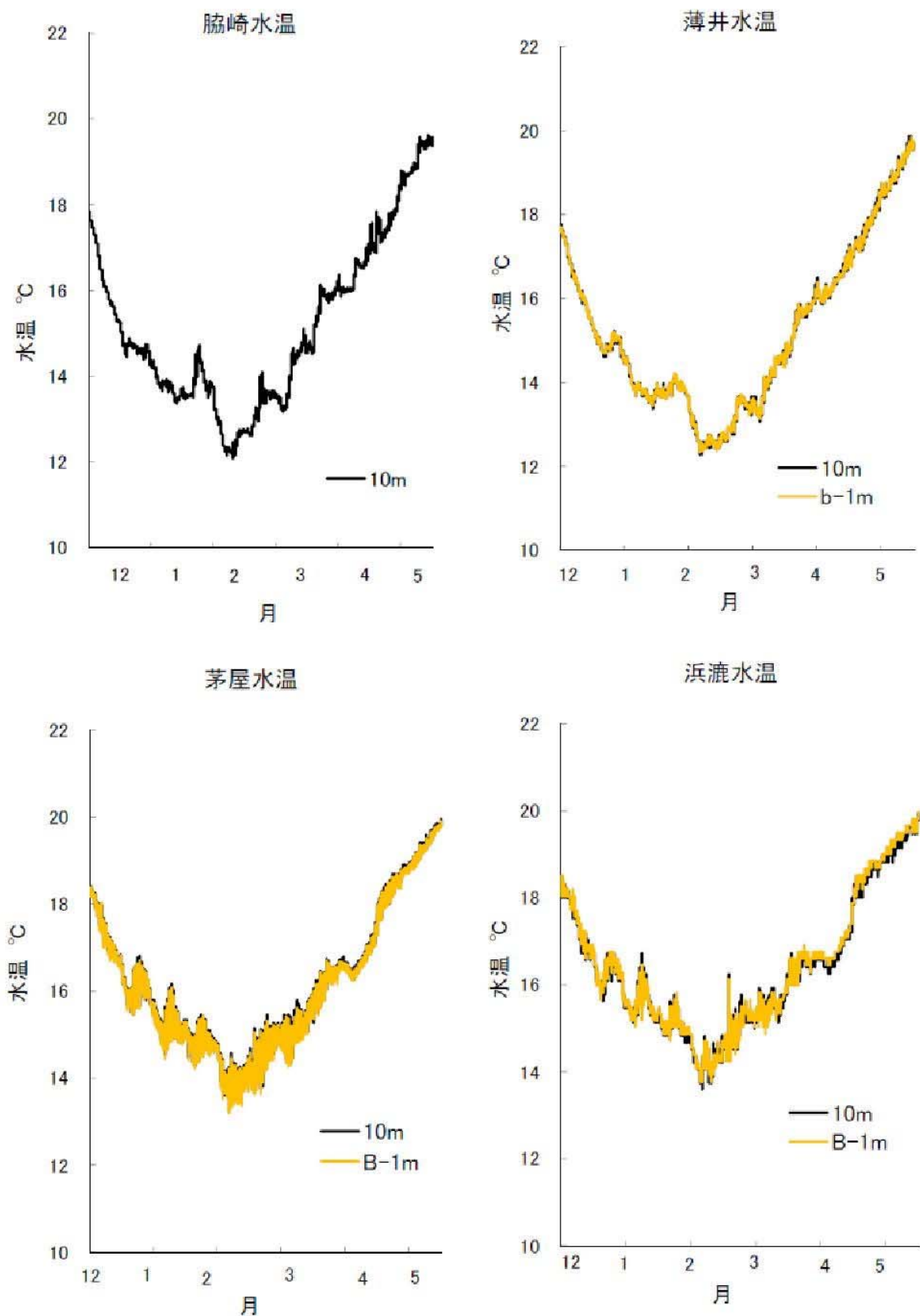


図2 長島周辺養殖漁場の冬期水温の推移

(2)シスト発芽能確認調査

各培養温度で確認できた栄養細胞の数を図3に示す。長島周辺4カ所のうち、脇崎、薄井、茅屋で採取されたサンプルからシャットネラ属の栄養細胞が確認され、茅屋のサンプルからはどの温度帯も栄養細胞は確認されなかった。

栄養細胞は、脇崎が20及び22℃の2温度帯で、薄井が20℃、茅屋が19及び22℃の2温度帯で確認された。確認できた栄養細胞から推定される発芽したシストの数は2～11MPN/g湿泥と低密度だった。

なお、発芽したシャットネラ属は、その形態からほとんどが*Chattonella antiqua*と推定された(図4)が、脇崎の一部は*C. marina*と推定された。

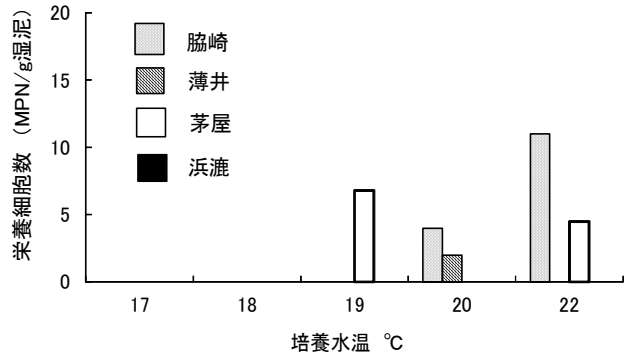


図3 シストが発芽したと推定される栄養細胞数
(培養温度別)

*C. antiqua*は2009年、2010年に大規模赤潮を形成したが、2011～2013年には赤潮を形成せず、いずれの年も数十cells/L程度の低密度で推移したため、2011年以降に形成されたシストは極めて少なかったと推測される。したがって、今回発芽したシストは、2009年、2010年にシャットネラ赤潮が大規模発生した直後に形成されたものが多く、シスト数は大きく減少したものの発芽能が残っていたと推測される。

2011から2014年の4カ年、同じMPN法により発芽したシストの数を推定してきた^{4), 5)}。調査した4カ所のうち2013年まで、茅屋だけは発芽が確認されていなかったが、4年目の今回茅屋でも発芽が確認され、4カ所全ての漁場で発芽が確認された。一方、浜渡漁場は2013年までは毎年発芽が確認されていたが今回は確認されなかった。今後、5ヶ年の結果がそろった時点で、シャットネラ発生密度とシスト発芽の関連性について検討する必要がある。

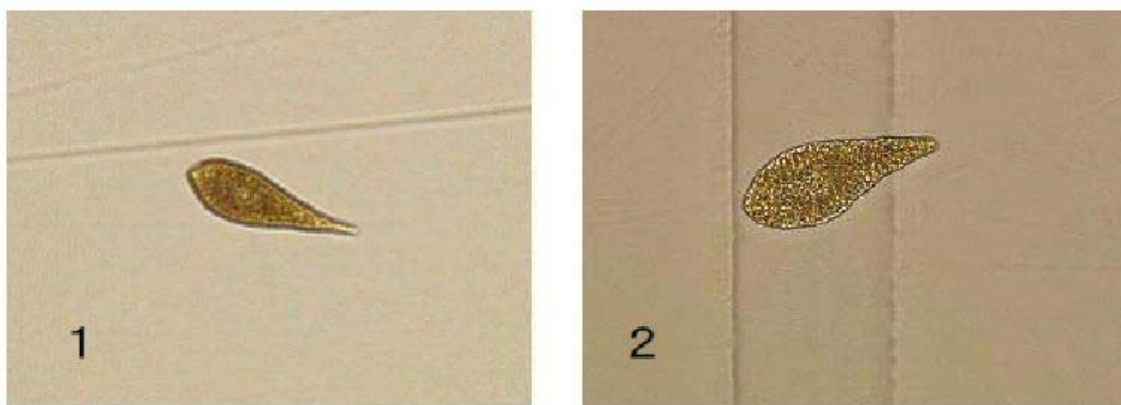


図4 発芽したシャットネラ属細胞

1 茅屋22℃ 2 茅屋19℃

(3)シスト発芽細胞の早期確認

5月21日、東町漁協調査で田浦(0, 5, 10 m)及び獅子島西(10 m)からシャットネラ属栄養細胞が

確認された。当所赤潮調査では6月24日に脇崎(表層)及び幣串(5m)からシャットネラ属 栄養細胞が確認された。なお、鹿大委託定点からは、シャットネラ属栄養細胞は確認されなかった。

2 赤潮予察につながる水質連続測定

2014年5月14日から9月24日までのプランクトンの推移(表層)を図5に示す。3定点でシャットネラ属は確認されず、珪藻の細胞密度は伊唐では7月下旬、薄井及び茅屋では8月下旬にピークを示した。

伊唐及び茅屋では昨年度より約1ヶ月ピーク時期が早かったが、珪藻の細胞密度は薄井及び茅屋でかなり低く、薄井ではここ3ヶ年で最も低く推移した。

2014年5月14日からの水温の推移を図6に示す。伊唐では7月上旬から8月中旬にかけて水温成層が発達する期間があった。薄井、茅屋では7月中旬から8月上旬にかけて若干成層化したものの全ての観測層で水温差はほとんどなかった。期間中の0 m水温は伊唐が大部分の期間で最も高く、薄井、茅屋の順で高い傾向にあった。

塩分の推移を図7に示す。伊唐では6月上旬頃から8月にかけてやや低く、特に0 mが6月上旬～下旬に他の層より低い傾向が見られたが、概ね32以上で推移した。薄井では同様に6月下旬頃から8月にかけてやや低い観測層による差は少なく、32以上で推移した。伊唐は7月に低下したが8月にかけて再び上昇傾向を示し観測層による差も少なく、3ヶ所中最も高い概ね33以上で推移した。期間中の0m塩分は茅屋、薄井、伊唐の順で高かった。

D0(mg/L)の推移を図8に示す。伊唐では全般的には5月から漸減傾向を示したが、水深0mと5m層では6月下旬と7月中、下旬にかけて5月と同程度まで増加した。薄井、茅屋沖も漸減傾向を示したが、全ての観測層で数値の差はほとんどなかった。期間中の0 m溶存酸素量は、伊唐が高く次に薄井と茅屋が時期により順位が入れ替わるものの、5 mg/Lを下回ることにはなかった。

Chl-*a* 濃度の推移を図9に示す。伊唐は6月下旬にかけて徐々に増加し、その後水深により上下はあるもののほぼ横ばいで推移し8月下旬に急増した。薄井では7月中旬までは1 µg-at/L前後を横ばいで推移し、7月下旬と8月下旬に2～3 µg-at/Lに達する小さなピークがあった。茅屋沖は調査期間中を通して全般的に1～1.5 µg-at/L前後をほぼ横ばいで推移した。期間中の0 m Chl-*a* は、伊唐が高く、薄井と茅屋沖はほぼ同じ程度だった。

DINの推移を図10に示す。伊唐は7月中旬にかけて次第に増加した後、8月上・中旬にいったん減少したが、8月下旬に再度増加した。薄井は7月中旬にかけ増加した後8月中旬に減少し、再度8月下旬にかけ増加した。茅屋沖は7月中旬にかけて漸増し、その後横ばいか微増で推移した。期間中の0 mのDINは3ヶ所とも概ね1～5 µg-at/Lで推移し順位が入れ替わる状況であった。

DIPの推移を図11に示す。伊唐は深い層で7月に増加後8月上～中旬にかけて減少した。その後8月下旬にやや増加した。薄井及び茅屋沖は6、7月がやや高く、8月上～中旬に減少後再度8月下旬にかけて増加したが、水深による差はほとんどなかった。期間中の0 mのDIPは概ね0.1～0.4 µg-at/Lで推移し、薄井、茅屋沖、伊唐の順で高かった。

以上のように、調査定点で地理的特徴の違いが確認された。

成層は水温や塩分(海水密度)差で生じるとされる。そこで昨年度と同様に水温、塩分、圧力から求められる海水密度を元に鉛直安定度を以下の式より求めた。

$$\text{鉛直安定度} = (10\text{m海水密度} - 0\text{m海水密度}) / \text{水深} \times 10^{-3}$$

鉛直安定度の推移を図12に示す。鉛直安定度は、数値が高いほど安定しており成層を形成しやすい。

2014年は、3定点の中では伊唐が最も鉛直安定度は高く、薄井、茅屋沖はほとんど0に近いが、こ

の傾向は前年度と同様であり、地理的な特徴が確認された。すなわち、前述したように、内湾性の特徴を持つ伊唐は鉛直安定度が高く、成層が発達しやすいのに対し、薄井や茅屋沖では海域外からの海水流入が比較的多いため、鉛直安定度が低く鉛直混合が容易に起こる環境にあったと推測される。また、2011年及び2012年は、2013年及び2014年と比較した場合（定点が薄井以外は異なるが、）、2011年及び2012年は薄井においても6～7月において鉛直安定度が50を超える日があったのに対し、2013年及び2014年は3定点とも概ね20を下回り、薄井においては10を超える日がなく、2011年と2012年に比べ鉛直安定度は低かったことから、鉛直混合が起こり易い環境にあったと推測される。八代海の本県海域における2011年～2014年までの有害赤潮の形成について見てみると、*C. antiqua*はこの4年間は赤潮を形成していないが、2013年には*Karenia mikimotoi*、2014年には*Cochlodinium polykrikoides*の赤潮、また、2012～2014年に*heterosigma akashiwo*の赤潮が形成されており、2013及び2014年の方が2011年及び2012年に比べ有害赤潮の形成が多く見られた(表3)。これまでの結果から、鉛直安定度の低下が赤潮形成に寄与していることが十分考えられ、今後この点についてさらに検証していく必要がある。

表3 八代海(鹿児島県海域)における近年の有害赤潮の発生

年	発生日 (月/日)	終息日 (月/日)	期間 (日)	赤潮生物種名	場所	細胞数 (cells/ml)
2011	有害赤潮の発生なし					
2012	5/19	5/27	9	<i>Heterosigma akashiwo</i>	長島町浦底湾	45,000
2013	5/17	5/23	7	<i>Heterosigma akashiwo</i>	長島町浦底湾	30,000
2013	6/1	6/1	1	<i>Karenia mikimotoi</i>	長島町弊串地先	2,000
2013	8/26	8/26	1	<i>Heterosigma akashiwo</i>	長島町浦底湾	1,000
2014	5/14	5/18	5	<i>Heterosigma akashiwo</i>	長島町浦底湾	40,000
2014	7/28	8/1	5	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	八代海中央部	9,075

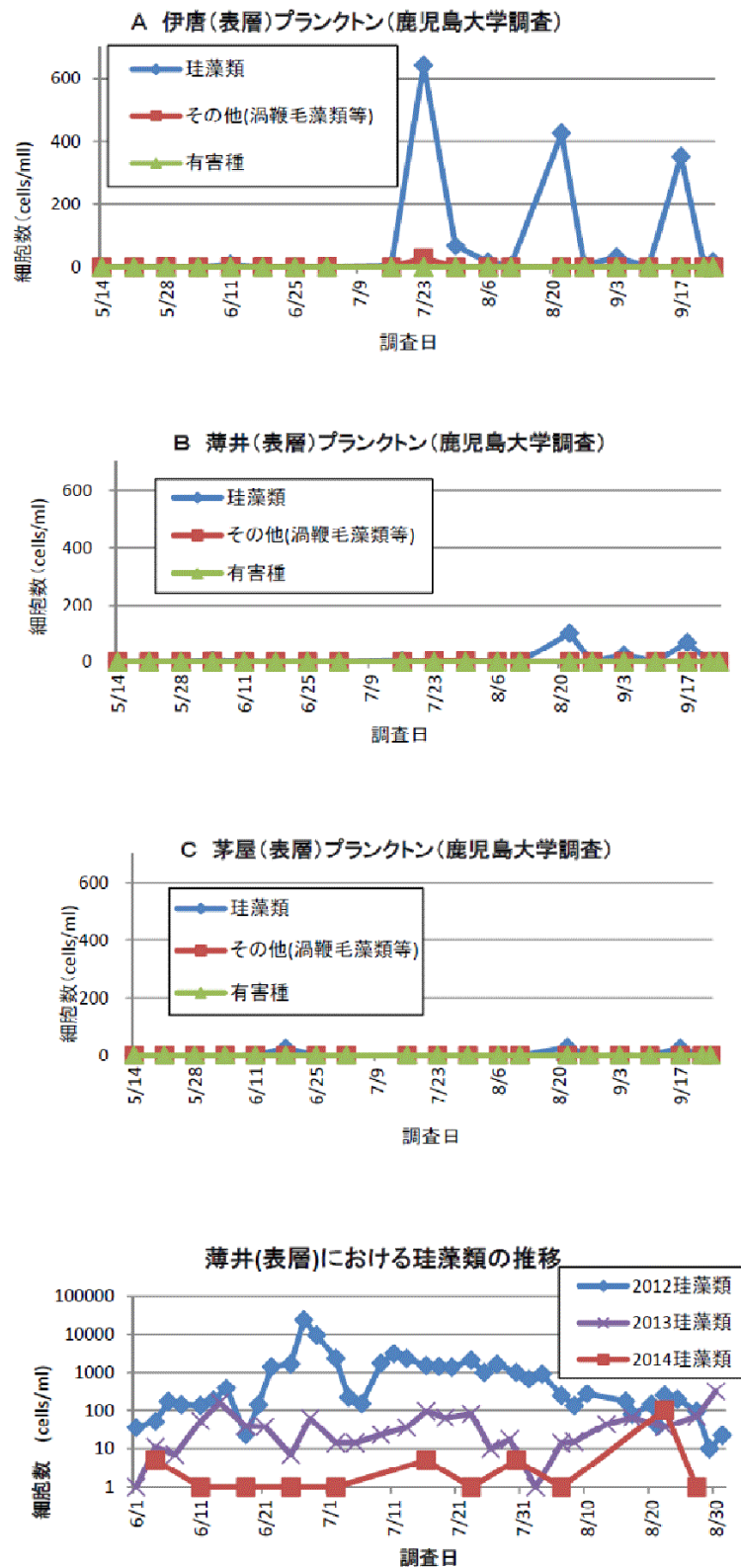


図5 プランクトンの推移

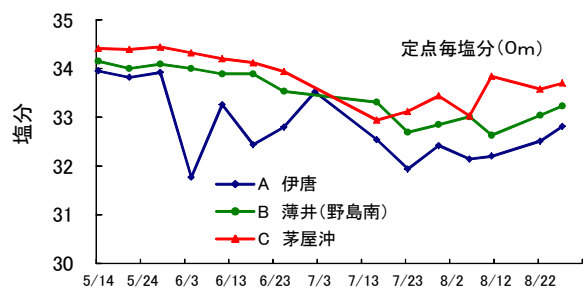
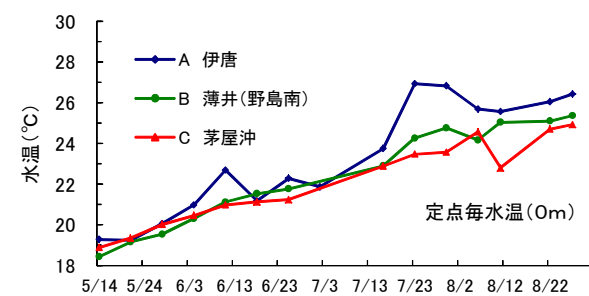
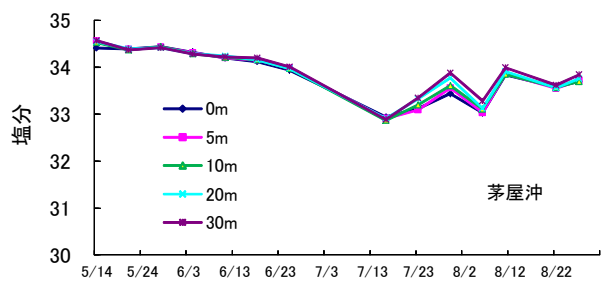
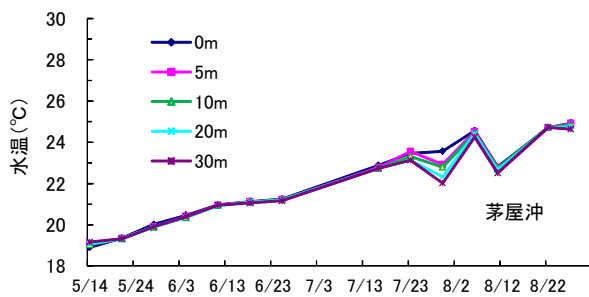
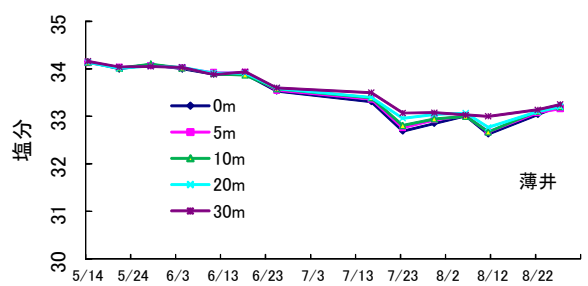
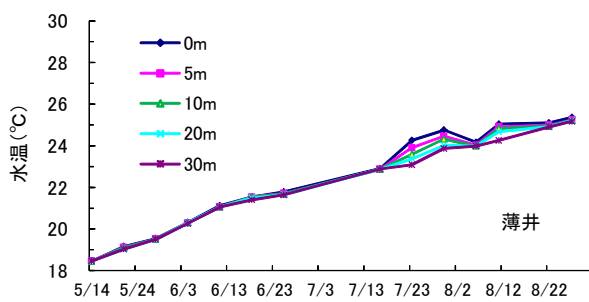
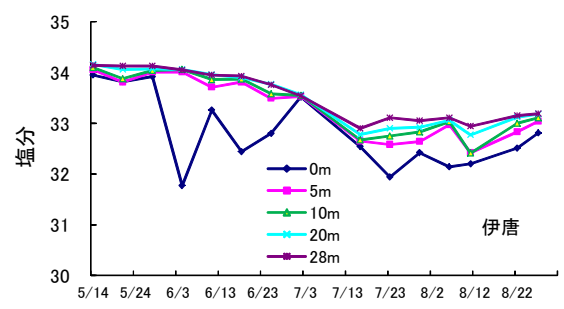
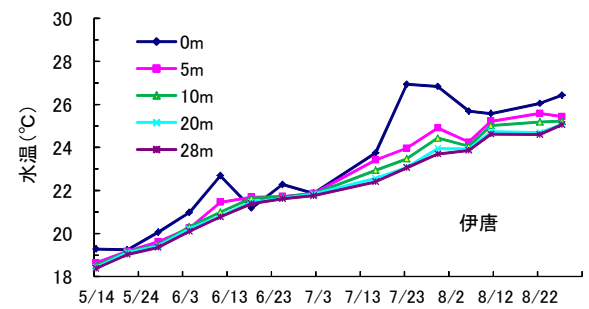


図6 水温の推移

図7 塩分の推移

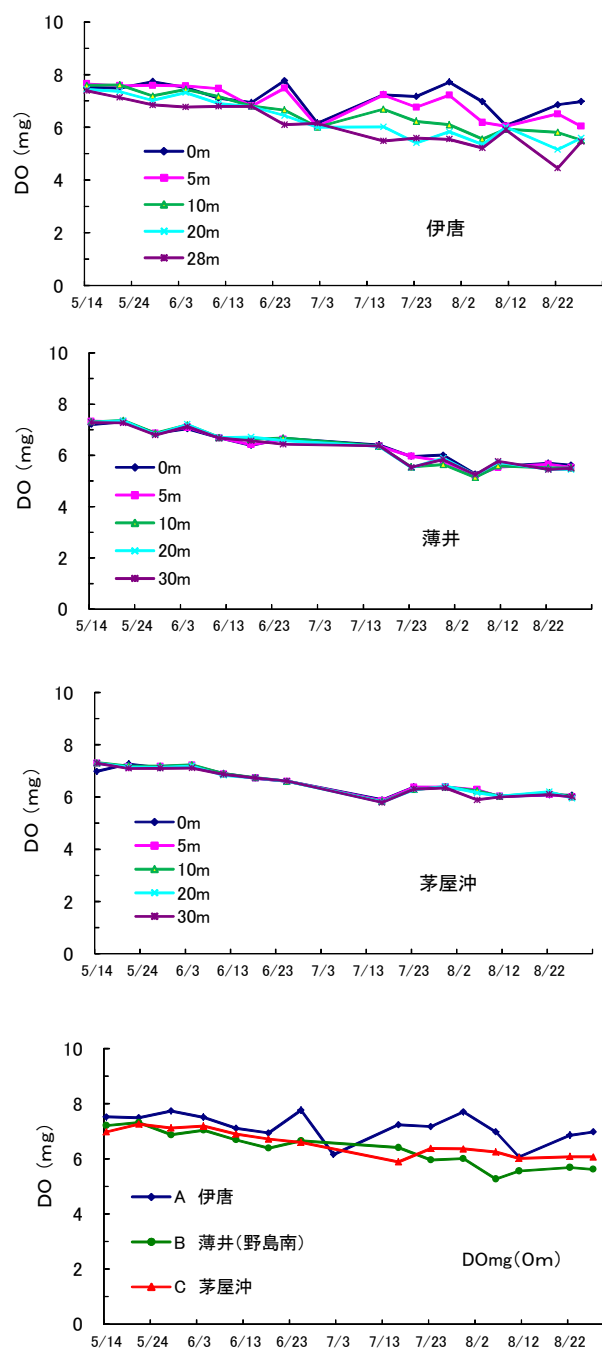


図8 溶存酸素量の推移

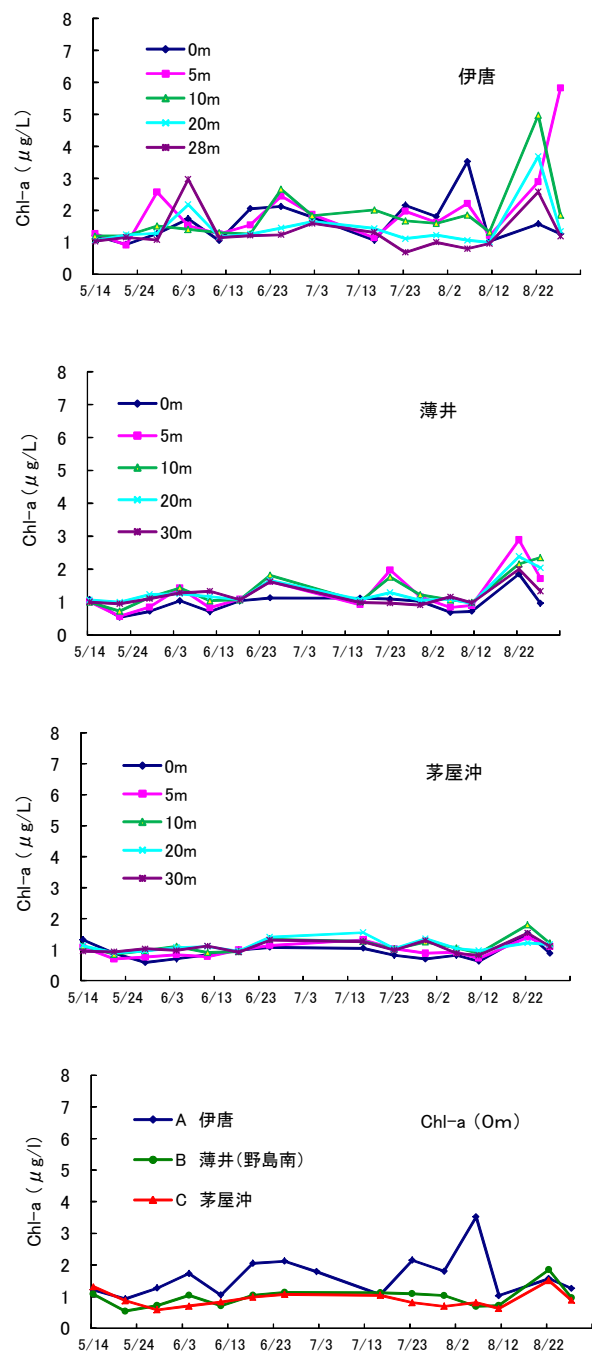


図9 chl-a濃度の推移

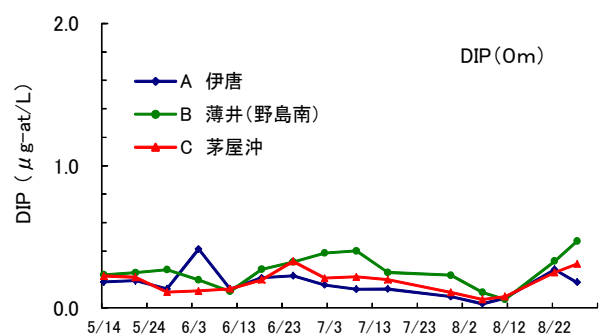
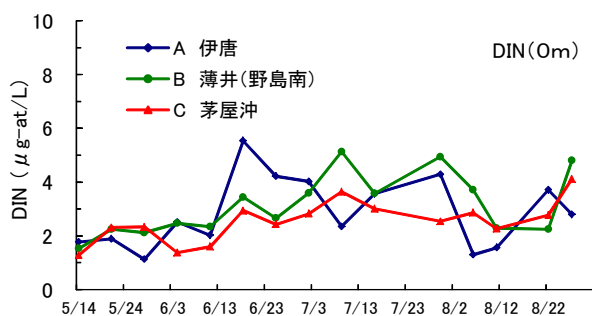
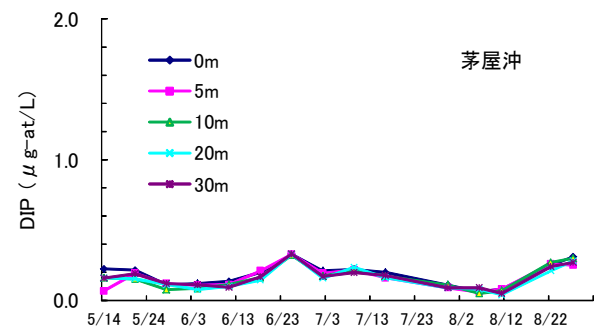
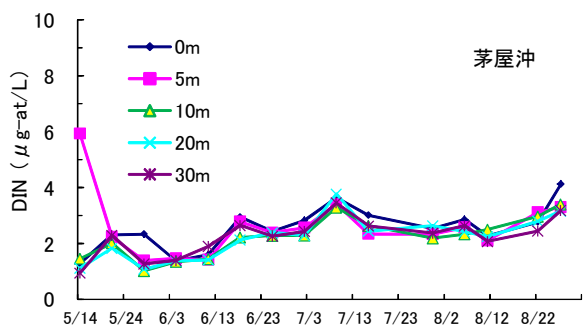
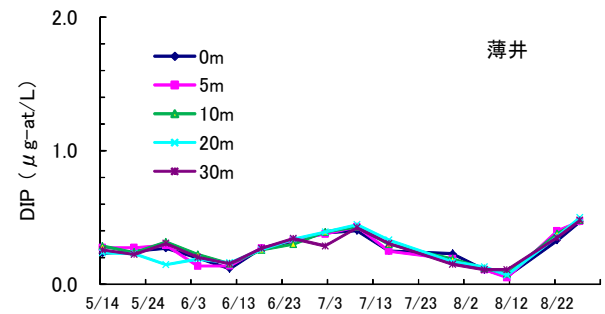
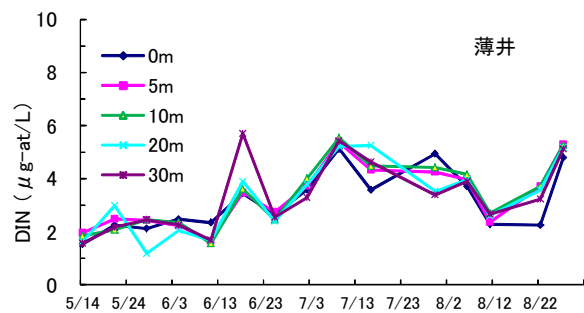
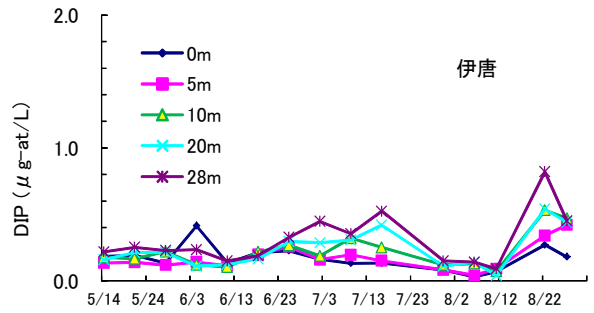
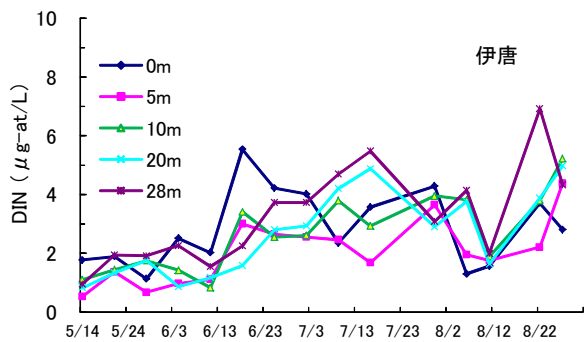


図10 DINの推移

図11 DIPの推移

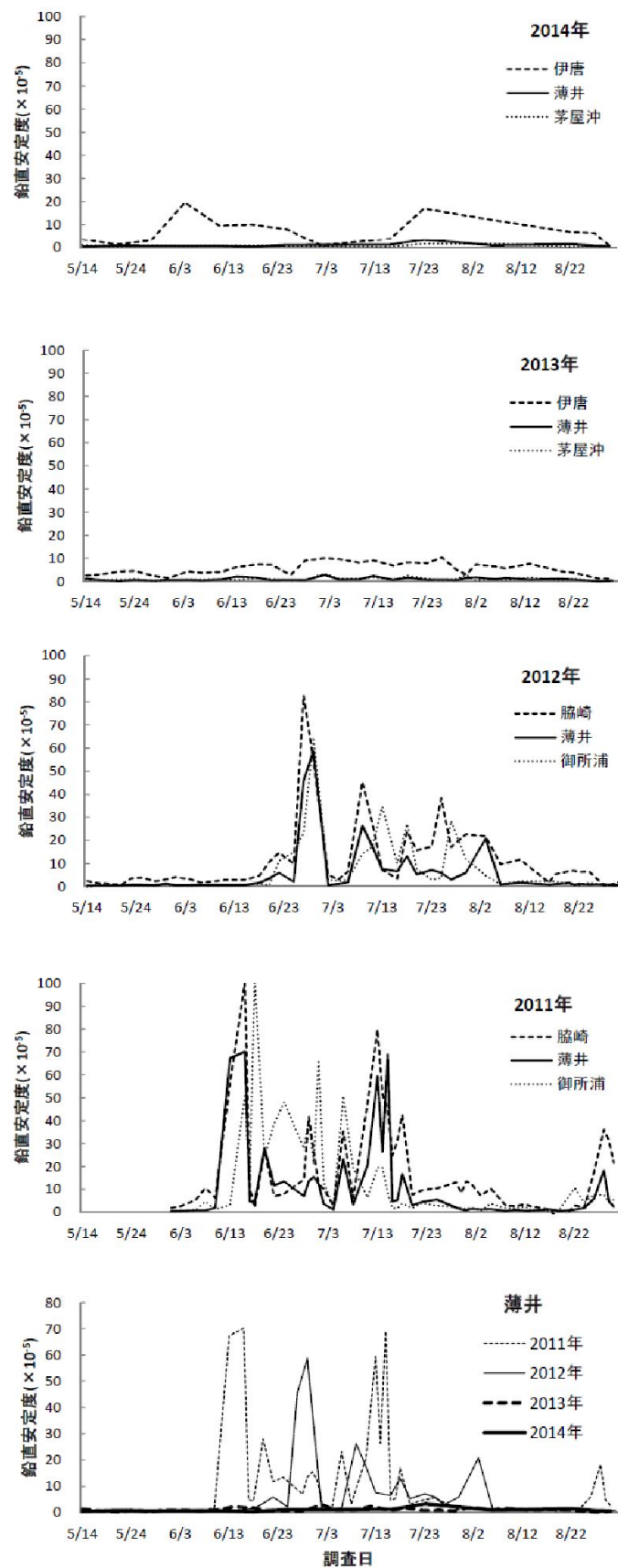


図12 鉛直安定度の推移

文献

- 1) 伊藤克彦, 今井一郎(1987): 第6章 ラフィド藻, 赤潮生物研究指針, 日本水産資源保護協会, 122-130.
- 2) 紫加田知幸, 山口峰生, 坂本節子. 有害赤潮鞭毛藻*Chattonella*のシスト発芽に及ぼす光の影響. 平成24年日本水産学会春季大会(2012年3月28日, 東京海洋大学(品川))講演要旨集
- 3) 折田和三, 西広海, 田原義雄(2013), 赤潮総合対策調査事業－Ⅴ(赤潮被害防止緊急対策事業), 平成24年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書
- 4) 折田和三, 西広海, 田原義雄, 中村彰彦(2012), 赤潮総合対策調査事業－Ⅳ(赤潮被害防止緊急対策事業), 平成23年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書
- 5) 折田和三, 西広海, 保科圭祐(2015), 赤潮総合対策調査事業－Ⅲ(赤潮被害防止緊急対策事業), 平成25年度鹿児島県水産技術開発センター事業報告書

