

播磨灘南部シャットネラ赤潮発生情報と

その増殖環境について

湯浅明彦・吉田正雄・酒井基介

シャットネラ赤潮発生の予察は、昭和 59 年度から水産庁の委託を受け 4 年間実施した「赤潮予察実用化技術開発試験」の中で開発された手法を用いて昭和 63 年度より実施している。また、その手法については、毎年の予察結果を検証する中で改良が加えられている。

情報の発行および配布先は、前年通りとした。

1 中期予察情報

予察手法は前年と同様である。

1) 前半（4 月 16 日～5 月 15 日）の予察結果

図 1 に示したように判別関数は $Z = 2.23 + 2.94Y - 0.243X$ 、期間中の平均水温の平年偏差（ X ）は -0.277 、平均比重の平年偏差（ Y ）は 0.141 。判別関数を計算すると Z の値が -0.444 となり、非発生年と判別された（ Z の値が正であれば発生年、負であれば非発生年）。

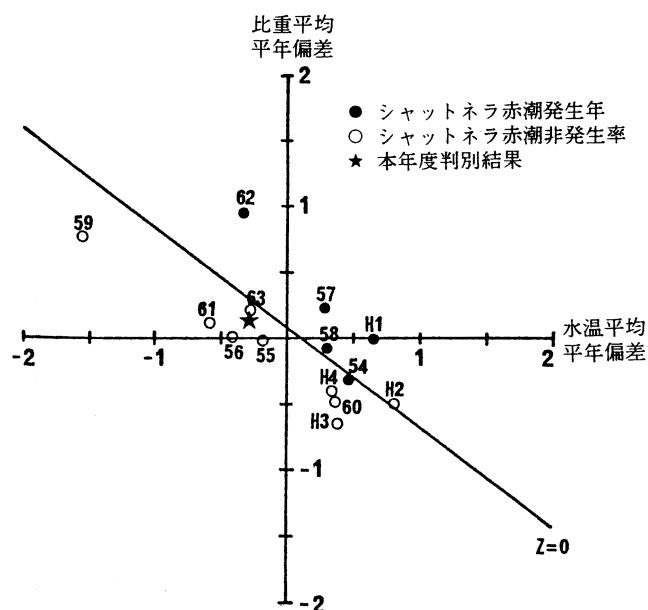


図 1 平成 6 年度中期予察前半（4/16～5/15 のデータ使用）の判別結果

2) 後半(5月1日～31日)の予察結果

図2に示したように判別関数は $Z = 1.77X + 2.12Y - 0.212$, 期間中の平均水温の平年偏差()は -0.251, 平均比重の平年偏差(Y)は 0.183。判別関数を計算するとZの値が -0.271 となり, 非発生年と判別された。しかし, 前半の結果に較べZの値が0に近づき発生年に近くなった。

以上の予察結果から, 「気象条件によっては局所的な赤潮発生の可能性がありうる。」という含みを残しながら赤潮非発生年と判定した。判定どおり, 播磨灘南部海域で検出されたシャットネラは最高 4.04cells / mlにとどまり, 中期予察は的中した。

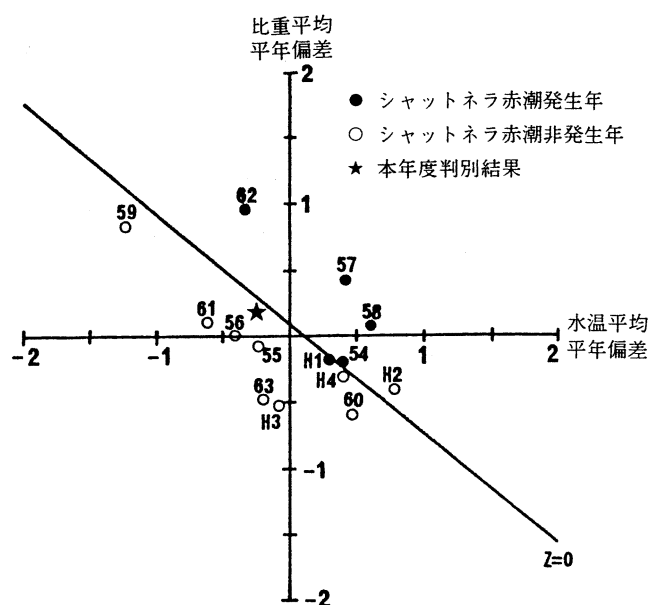


図2 平成5年度中期予察後半(5/1～5/31のデータ使用)の判別結果

2 短期予察情報とシャットネラの増殖環境について

予察指標に鉛直安定度を加え, 上層と下層の水温差と併用して鉛直混合の指標とした。また, 水中照度を層別(水深 1m, 10m, 20m, 30m)に連続測定した。その他の予察手法は, 前年通りである。

1) 気 象

本年夏期の気象の特徴は異常な冷夏であった。6月下旬から梅雨前線の活発化が見られ, 8月中旬になっても前線が停滞するなど太平洋高気圧の勢力は弱く, 8月下旬になってやっと夏空が広がった。また, 五つの台風の通過に伴う影響があり, それは7月下旬の4号(7/24～7/25)・5号(7/27)・6号(7/30), 8月の7号(8/10), 9月の13号(9/3)によるものであった。

香川県引田気象観測所の観測結果から, 6月から9月の旬別の降水量と日照時間を図3に示した。昭和56年から平成5年までの平均値(13年間平均値)を同時に示した。日照時間は期間を通じて平均値を大幅に下回り, 7・8月の二ヶ月間の平均値比は59%であった。一方, 降水量は7月下旬・8月上旬・9月上旬が特に多く, 6月から9月までの4ヶ月間で1,116mmの降雨があり, これは平均値比177%に相当する。

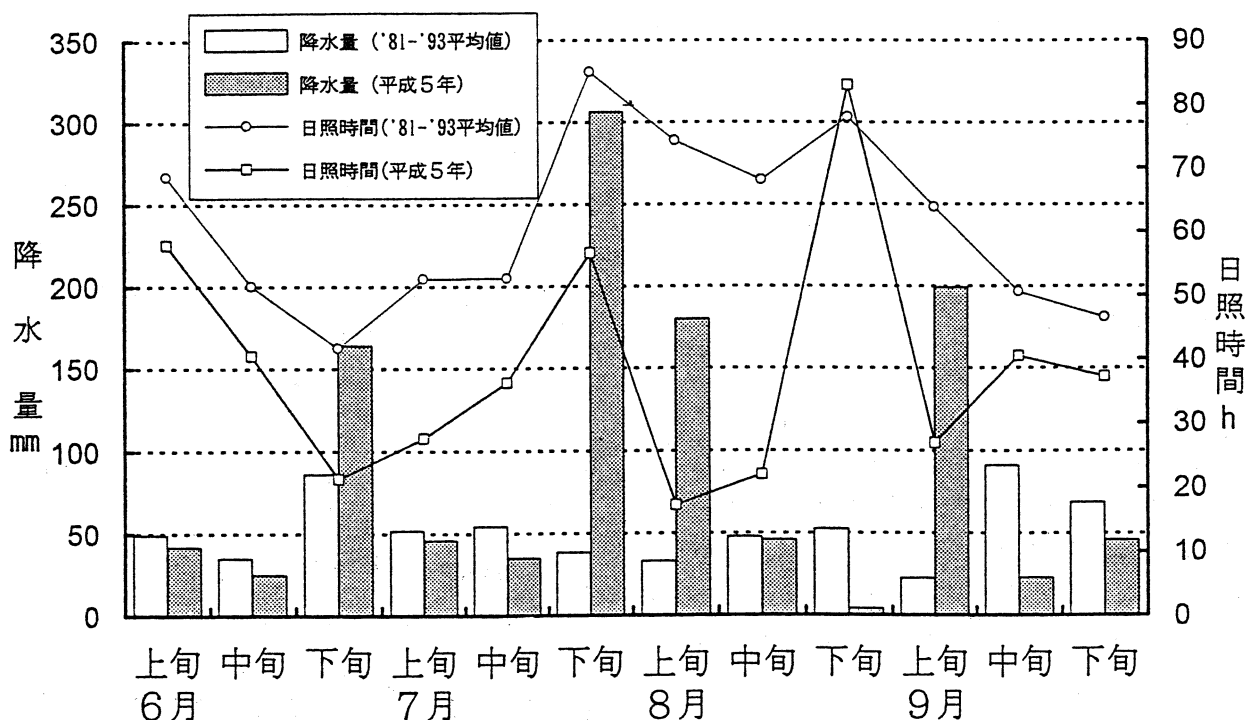


図3 降水量と日照時間の推移（香川県引田気象観測所観測結果による）

2) 水温の連続観測結果と鉛直安定度

鳴門市北灘町大浦地先（位置を図4に示した、以下 St.4 とする）に水温と塩分の連続観測装置を水深別（1m, 10m, 20m, 30m）に設置した。図5に1m層と30m層の水温の日変化と、1m層は昭和49年から平成4年までの19年間の平均値、30m層は昭和62年から平成4年までの6年間の平均値を同時に示した。1m層水温は、過去19年間平均よりも2～3℃、30m層水温は過去6年間平均よりも1℃前後低く推移した。海水温は海面の熱収支によってほぼ決まるので、低水温は冷夏の影響によるものと考えられる。また、台風の通過に伴って鉛直混合が起こり、7/27（台風5号）、8/10（同7号）、9/4（同13号）に1m層と30m層の水温差が小さくなっている。図6に1m層と30m層の水温差と、鉛直安定度の推移を示した。鉛直安定度（E）の計算式は次式で示される。

$$E = (\sigma_{t,30} - \sigma_{t,1}) / Z$$

$\sigma_{t,30}$: 30m層の σ_t

$\sigma_{t,1}$: 1m層の σ_t

Z : 水深差（29m）

鉛直安定度と水温差の変動にずれが見られるが、これは塩分差によるもので、降水量が多い場合はそのずれが大きい。1m層と30m層の塩分差は水温差よりも遅れて大きくなるので、鉛直安定度は水温差の変動よりも遅れた動きをしている。St.4で表層の水温上昇の後に表層の塩分低下が起こるのは、播磨灘南東部沿岸には流量の小さな河川しかなく、北部及び西部沿岸部の塩分低下の影響を受けて南東部の塩分低下が起こるためと考えられる。また、水温成層期がシャットネラの増殖に適した環境であ

ることを考えると、6/26～6/30、7/12～7/19 及び 7/29～8/2 の各期間が増殖に適した期間と考えられる。

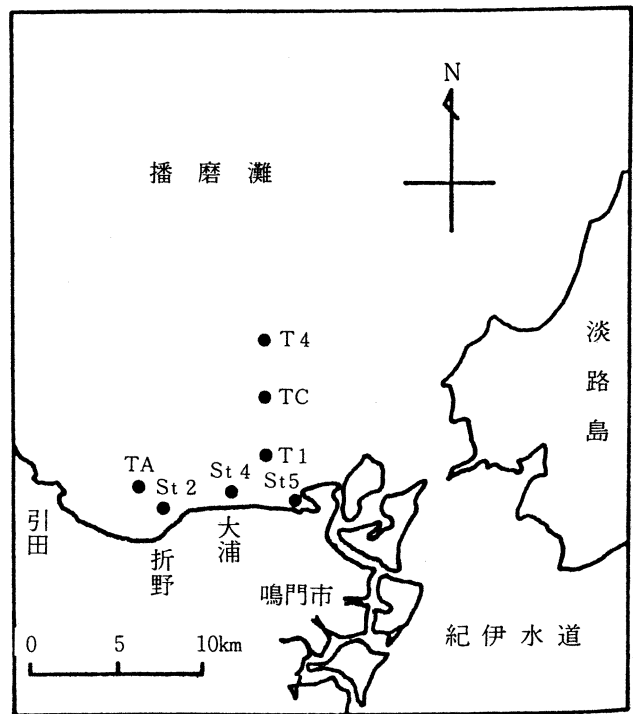


図4 播磨灘及び北灘沿岸調査点

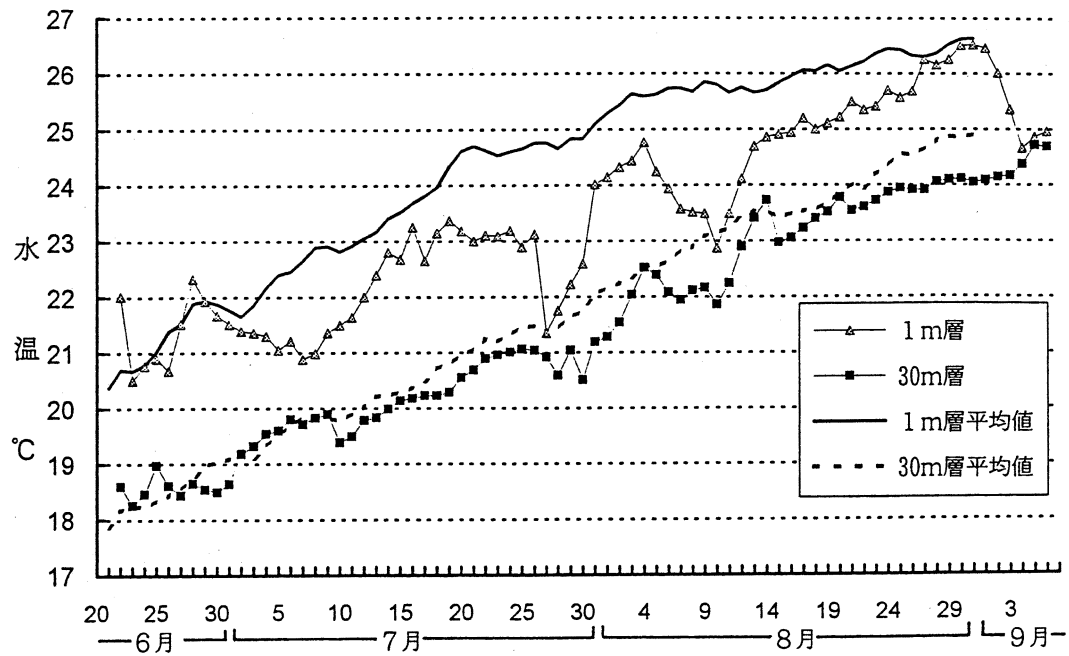


図5 St. 4 における 1m 層と 30m 層の水温の推移

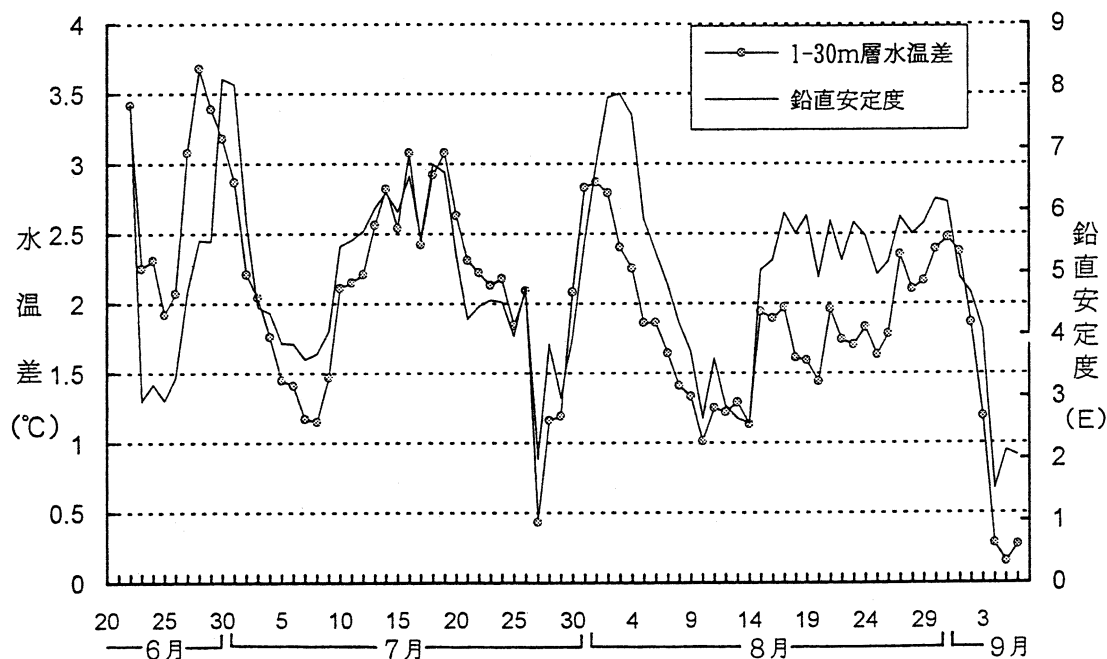


図6 St.4の1m層と30m層の水温差と鉛直安定度の推移

3) 栄養塩 ($\text{PO}_4 - \text{P}$, DIN) の湧昇と水中照度連続観測結果

植物プランクトンの増殖に必須の栄養塩は、播磨灘南東部では主に底層から供給される。それは前述のように沿岸に大きな河川がないために、陸からの供給が少ないためである。水温成層が形成される夏季、水温の上昇により底層で栄養塩が豊富に生産されても、鉛直混合が起これなければ上層に栄養塩が供給されることはない。一方鉛直混合は、南東方向の風によって効率よく生じる吹送流（離岸流）による底層からの湧昇によって起こる。前節で述べた鉛直安定度の低下の度合いは、鉛直混合の強さを示す指標になるものと考えられる。図7によると、鉛直安定度の低下とともに5m層、10m層のリン酸態リン濃度の上昇が見られるからである。

図7には、光半飽和深度の推移を同時に示した。光半飽和深度とは、水中の光の強さがシャットネラの光半飽和定数（光量子数で $42.35 \mu\text{mol} / \text{sec} \cdot \text{m}^2$ ）の強さになる水深のことである。簡単に言えば、シャットネラにとってこの水深より上層では増殖が促進され、下層では増殖が抑制されることになる。光半飽和深度は平成5年度東部瀬戸内海シャットネラ赤潮広域共同調査報告書を参考にして、St.4の1m層・10m層・20m層で20分間隔で測定した照度の連続観測結果より計算した。

計算方法の手順は以下のとおりである。

- 1 3層の日平均照度（6:00～18:00の平均照度）を計算する。
- 2 光半飽和定数を光量子数（ $\mu\text{mol} / \text{sec} \cdot \text{m}^2$ ）から照度（Lux）に換算した値の直近の日平均照度を示す2層を決める。
- 3 2層間の消散係数（ $K: \text{m}^{-1}$ ）を計算する
- 4 光強度が光半飽和定数になる水深を、消散係数を用いて2層間の照度の減衰曲線から計算する。

光半飽和深度は、0～12mの範囲で変動している（図7）。6月30日から7月13日の間は、照度センサ

ーの汚れのために正常なデータが得られなかった。光半飽和深度は、海表面での光強度と消散係数（透明度を指標にすることができる）によって決まる。海表面の光強度は天候に左右されるから、光半飽和深度は主に天候の影響を受ける。光半飽和深度が増加した後、暫時鉛直安定度の増加が見られる。

これは、強い日射と上層水温の上昇の結果、鉛直安定度が大きくなることを示している。図 8 には、St.4 における溶存態窒素（DIN）の 3 層（水深 5m 層、10m 層、20m 層）の濃度分布と光半飽和深度の推移を示した。図 7 に示したリン酸態リンとよく似た変動を示している。

シャットネラの各栄養塩に対する半飽和定数が明らかにされていて、溶存態窒素（ $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ）は $1.0 \mu\text{g-at}/\ell$ 、リン酸態リン（ PO_4 ）では $0.11 \mu\text{g-at}/\ell$ である。図 8 に示した溶存態窒素濃度（DIN）には $\text{NO}_2 - \text{N}$ も含まれている。 $\text{NO}_2 - \text{N}$ の DIN に占める比率は多くて 3 割程度、しかも上層ほど少ない傾向にある。栄養塩の半飽和値を基準に考えるならば、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ を差し引いて考えても、シャットネラの増殖にとって窒素よりもリンの方が制限要因として働いたことが考えられる。

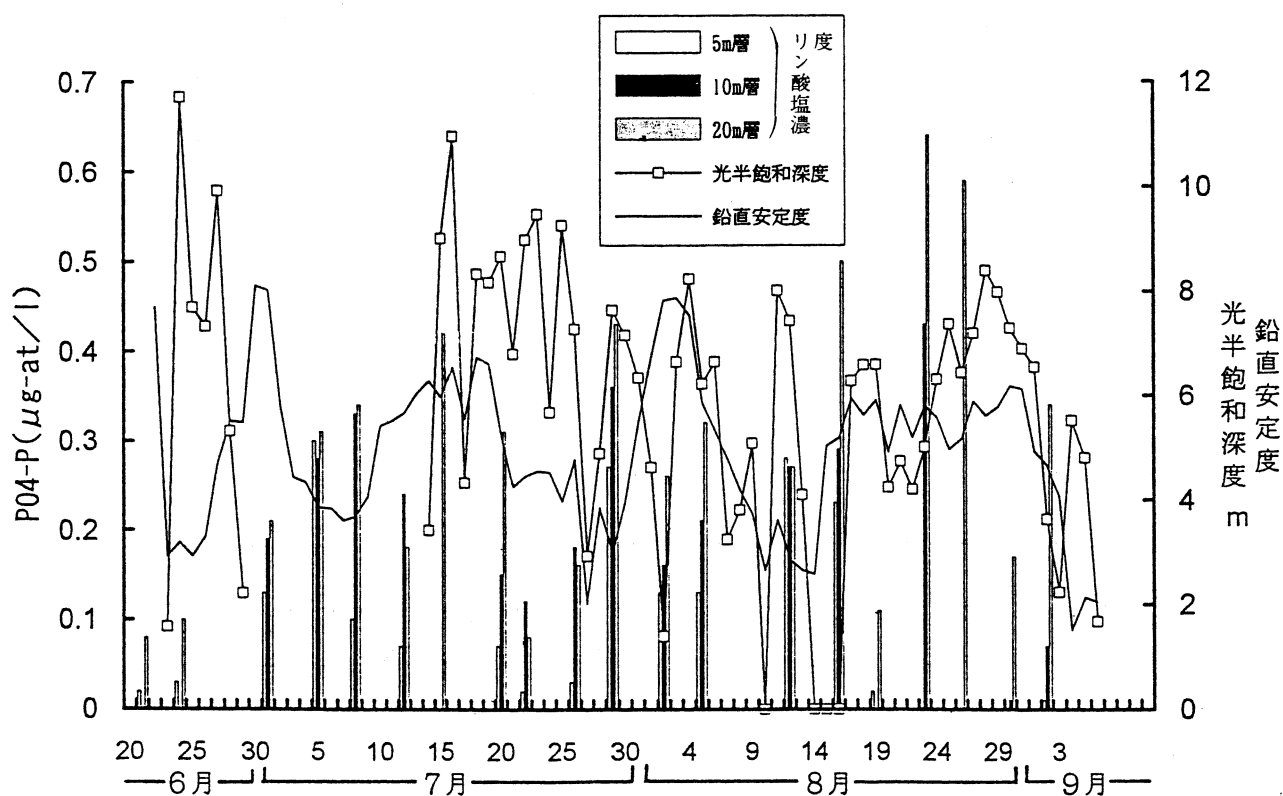


図 7 St.4 における鉛直安定度と 3 層（水深 5m, 10m, 20m）のリン酸態リンの分布及び光半飽和深度の推移

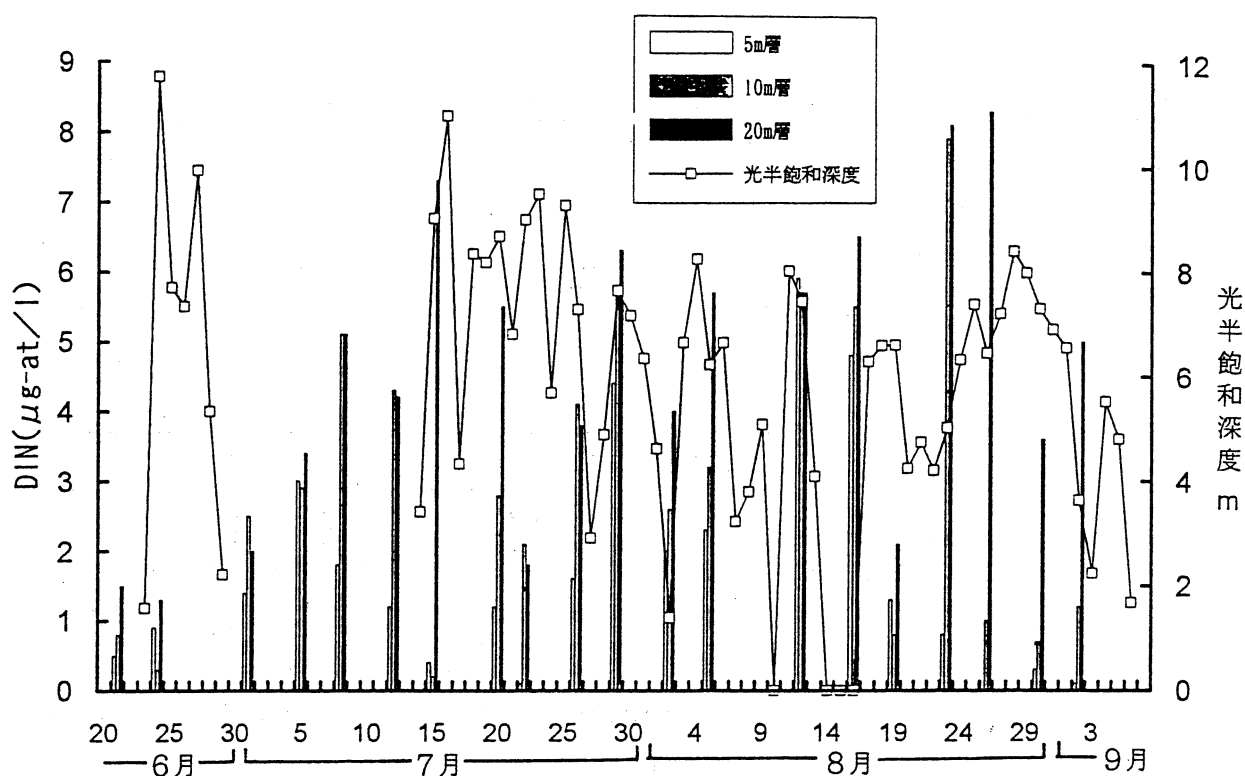


図8 St.4における3層(水深5m,10m,20m)の溶存態窒素の分布と光飽和深度の推移

4) シャットネラの増殖と環境要因との関連

図9には、北灘沿岸の調査点(図4参照)で検出されたシャットネラ(マリーナとアンティーカの合計)と球形シャットネラの最大数を示した。両者はほぼ同じような増殖傾向を示した。シャットネラは3つの増殖のピークを示し、それぞれ7月13日に0.1cells/ml, 8月6日に4.04cells/ml, 9月2日に0.39cells/ml検出された。シャットネラの増殖と、図7に示した各環境要因との間には次のような関係が見られる。鉛直混合により上層に栄養塩が供給され、天候の回復とともに光半飽和深度が増加し、日射により水温成層が発達するときにシャットネラが増殖していることである。

上層への栄養塩の供給、一定の光強度及び水温成層の発達が、シャットネラの増殖には欠かせない条件であることが確認された。

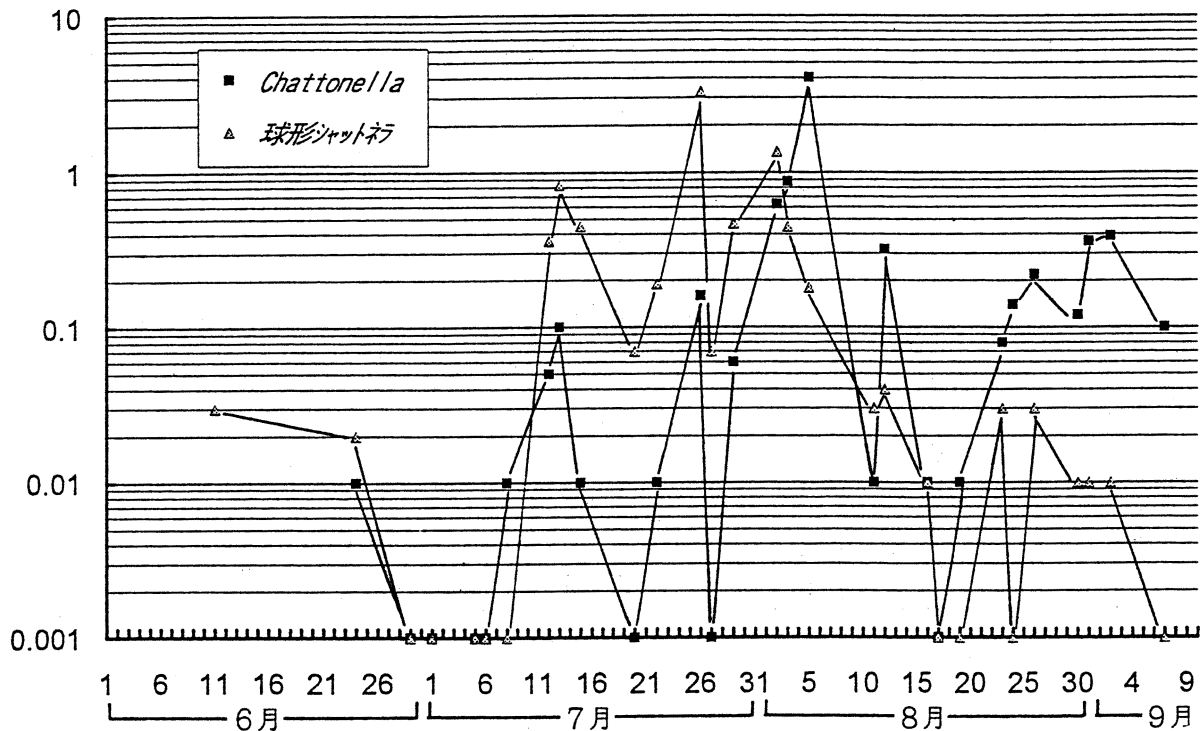


図9 北灘沿岸におけるシャットネラと球形シャットネラの出現数の推移

5) シャットネラと珪藻の競合

図10にSt.4での珪藻と鞭毛藻の出現数を示した。珪藻の増殖のピークは、7月13日と8月26日にあり優占種の属名は7月13日がChaetoceros, Eucampia, 8月26日がNitzschia(小型種)であった。また鞭毛藻は、7月6日と7月22日にピークがあり、優占種の属名は7月6日がDistephanus, 7月22日がGymnodiniumであった。珪藻の2つの増殖ピークにおける環境の特徴は、上層へ栄養塩の供給があり、光強度が増加し、鉛直安定度の増加がピークに達する前の時点であった。これはシャットネラの増殖のピークが、鉛直安定度のピークと同じか少し遅れることから考えると、両種の増殖速度の違いによるものと考えられる。また、珪藻の出現数がピークに達した時点では、上層(10m以浅)の栄養塩は枯渇していた(図7, 図8)。

7月上旬には、珪藻とシャットネラがほぼ同時に増殖したが、珪藻が速く増殖して栄養塩を消費し、シャットネラの増殖を阻害したことが考えられる。同じ事が8月26日の珪藻の増殖についても言える。しかし、8月上旬に増殖に適した条件にありながら増殖が見られなかった理由は、珪藻の増殖メカニズムを解明する上での課題である。

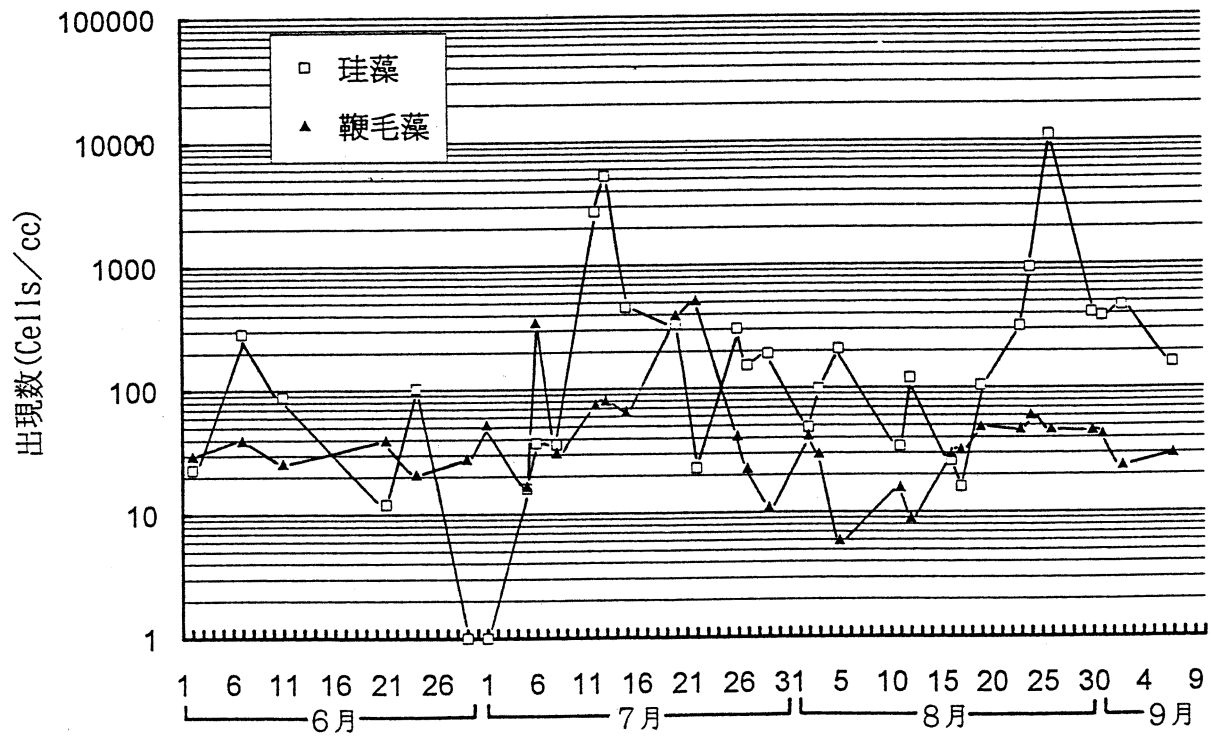


図 10 St.4 における珪藻と鞭毛藻の出現数の推移

6) 短期予察結果について

平成5年度に発行した第1報～10報までの短期予察の判定結果およびその判定の適否について、表1に一括して示した。

表 1 平成 5 年度播磨灘南部赤潮情報（週間予報）判定結果一覧

発行月日	情報 番号	予報 期間	判 定 結 果	判定の適否と誤判定の背景
6月29日	1	6/30 ～7/6	シアトルは生海水から検出されることはないだろうが、濃縮試料（100倍）から少数検出されるかもしれない。	シアトルは濃縮試料からも検出されなかった。（表層の水温が低下し、成層が発達しなかった。）
7月 6日	2	7/7 ～7/13	シアトルは生海水から検出されることはないだろうが、濃縮試料から少数検出されるかもしれない。	7月13日に0.10cells/ml検出された。（的中）
7月13日	3	7/14 ～7/20	シアトルは生海水から検出される可能性があるが、出現数は5 cells/ml以下であろう。	濃縮試料からも検出されなかった。（7/12～13に珪藻が増殖し栄養塩の減少がみられる）
7月20日	4	7/21 ～7/27	シアトルが生海水から検出されるとしても、その数は少ないだろう。	濃縮試料からは検出されたが、生海水から検出されることはなかった。（前半は栄養塩のレベルが低く、後半は台風通過による混合がおこった）
7月27日	5	7/28 ～8/3	天候の回復とともにシアトルが検出されるようになるだろうが、生海水から検出されることはないだろう。	8月3日に最高0.88cells/ml検出されたが、生海水から検出されることはなかった。（的中）
8月 3日	6	8/4 ～8/9	シアトルはしばらくの間増加するだろうが、生海水から検出される数は10cells/mlを越えることはないだろう。	8月6日に最高4.04cells/ml検出されるにとどまり、その後台風7号の影響で混合。（的中）
8月11日	7	8/12 ～8/17	シアトルは台風通過後再び増加するだろうが、生海水から検出される数は10cells/ml以下であろう。	生海水から検出されることはなかった。（前線の影響で気温が低く日照量が少ないことが影響）
8月17日	8	8/18 ～8/24	シアトルは再び濃縮試料から検出されるようになるだろうが、生海水からは検出されることがないだろう。	8月23日に最高0.08cells/ml検出されるにとどまった。（的中）
8月24日	9	8/25 ～8/31	珪藻が増加傾向にあるため、シアトルが急激に増加することはない、濃縮試料から検出されても生海水から検出されることはないだろう。	珪藻が増殖したために、シアトルは8月26日に濃縮試料から最高0.22cells/ml検出されるにとどまり、生海水からは検出されなかった。（的中）
8月31日	10	9/1 ～9/7	珪藻が優占してくるため、今後シアトルが急な増加を示すことはなく、濃縮試料から少量検出される程度であろう。	栄養塩レベルが低く、珪藻も含め顕著な増殖を示すことはなかった。9月3日に台風が通過し混合（ほぼ的中）