

福岡湾における赤潮発生の動向について

片山 幸恵・江藤 拓也・江崎 恭志
(研究部)

福岡湾における水質と赤潮発生実態の長期的な変動を明らかにし、水質と赤潮発生動向の関係について検討した。

水質環境は水温、塩分には一定の傾向がみられなかった。DIN では経年的に上昇傾向、DIP では経年的に下降傾向がみられ、季節毎にも同様の傾向がみられた。

赤潮発生件数では1970年代から増減を繰り返しながら2000年代は減少傾向にあった。赤潮積算日数及び最大継続日数ともに2000年代には長期化する傾向がみられた。次に赤潮継続発生日数から2000年代には短期赤潮が減少し、30日以上 of 赤潮の発生頻度が多くなり、赤潮の長期化の傾向が伺われた。赤潮原因プランクトンは *Skeletonema* sp. が発生総数の35%を占め優占していた。発生種については、2000年代になり冬季の珪藻類の赤潮がなくなり、*Akashiwo sanguinea* や *Gephyrocapsa oceanica* が新たに発生するようになるなど発生種に変化がみられた。赤潮発生傾向や発生種の変化は、福岡湾の水質環境の変化からその環境にあったプランクトンが優先する傾向がみられた。

キーワード：福岡湾、赤潮、栄養塩、DIP

福岡湾は、閉鎖的な構造をしており、夏季には湾奥部を中心に赤潮が発生¹⁾し、底層では貧酸素水塊^{2), 3)}が形成される海域である。福岡湾において高度経済成長期には、多量の栄養塩が負荷されていたが、福岡湾の漁場環境保全を図るため、福岡市では環境基準を設定し、下水からリンの除去を重点的に進めてきた。このリンの流入負荷量の削減については法的規制により全国で進められ、赤潮発生件数の多かった瀬戸内海においても近年赤潮発生件数が約1/3に減少するなど⁴⁾効果が上がっているようにみえる。しかし、流入負荷量の削減等による変化が水質環境の変化をもたらし、これまでに出現しなかった新しい有害、有毒種の発生についても危惧されているところ

である。^{5), 6)}福岡湾においても、2000年に初めて発生した有害種である *Heterocapsa circularisquama* (以下 *H. circularisquama*) は、低リン環境に適応した種として知られており⁷⁾、福岡湾においても水質の変化による赤潮発生種の遷移は注視すべき点である。

そこで、本研究では福岡湾の水質と赤潮発生の長期的な変動を明らかにした。

方 法

1. 福岡湾の水質環境の推移

(1) 水質環境の経年変化

図1に海域と調査定点を示した。調査定点は水温、塩分は1点、栄養塩類は8点であり、それぞれ表層、底層についてのデータを用いた。水温及び塩分については当センターで実施した定期観測結果(1975~2010)を、栄養塩類については福岡市水質測定結果報告書⁸⁾(1981~2009)の無機態窒素(以下 DIN)、無機態リン(以下 DIP)を用いた。福岡湾における水質の経年変動と季節変動を検討した。解析方法は、毎月のデータの各調査点の表層、底層を平均し、全調査点を平均し、その月のデータとして取り扱った。それぞれのパラメータの経年変動及び長

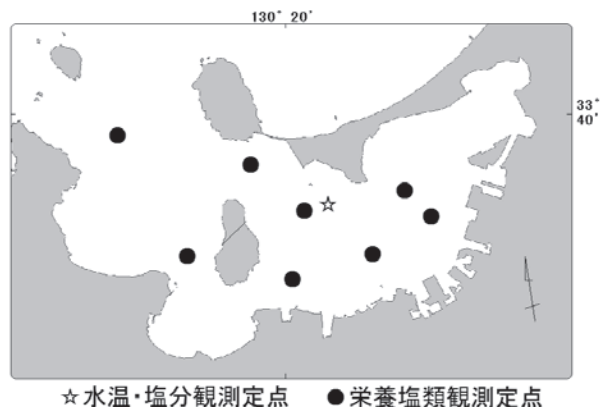


図1 海域及び調査定点図

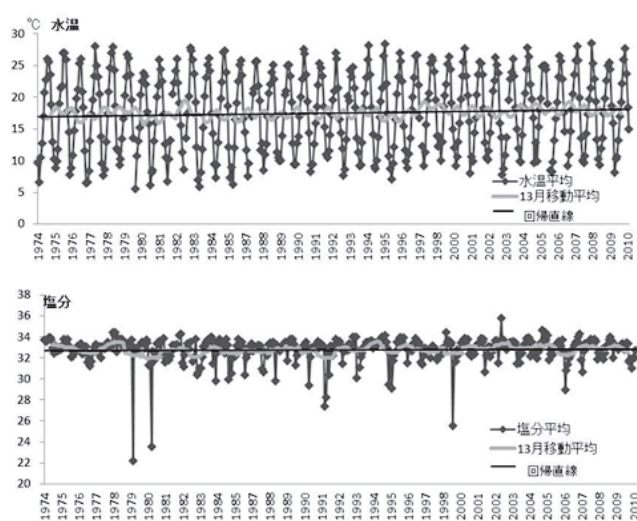


図2 水温及び塩分の経年変化

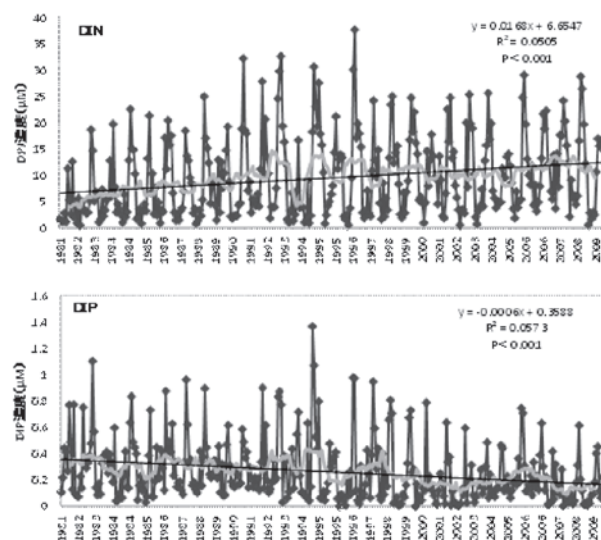


図3 DIN及びDIPの経年変化

表1 水質環境の年代別季節変化

項目	年代	冬季(1~3月)	春季(4~6月)	夏季(7~9月)	秋季(10~12月)
水温	1970	8.89 ± 1.62	16.93 ± 3.12	24.98 ± 2.01	18.53 ± 4.24
	1980	9.08 ± 1.84	16.74 ± 3.01	24.74 ± 1.98	18.21 ± 4.25
	1990	10.05 ± 1.51	16.97 ± 2.88	25.05 ± 1.96	18.40 ± 3.88
	2000	9.99 ± 1.20	17.14 ± 2.53	25.06 ± 1.74	19.05 ± 3.89
塩分	1970	33.23 ± 0.31	33.45 ± 0.56	31.71 ± 2.95	32.67 ± 0.61
	1980	33.18 ± 0.38	33.16 ± 0.86	31.79 ± 1.27	32.62 ± 0.55
	1990	33.36 ± 0.49	33.45 ± 0.36	31.49 ± 1.86	32.63 ± 0.58
	2000	33.37 ± 0.37	33.50 ± 0.60	32.16 ± 1.19	32.68 ± 0.46
DIN	1980	12.54 ± 5.89	4.13 ± 2.80	3.45 ± 2.78	8.51 ± 6.17
	1990	16.64 ± 7.03	5.86 ± 4.61	4.49 ± 3.13	16.33 ± 9.24
	2000	17.43 ± 4.73	6.55 ± 3.79	5.13 ± 3.19	14.07 ± 7.13
DIP	1980	0.35 ± 0.23	0.23 ± 0.14	0.29 ± 0.14	0.38 ± 0.29
	1990	0.26 ± 0.26	0.14 ± 0.14	0.24 ± 0.24	0.52 ± 0.30
	2000	0.17 ± 0.11	0.07 ± 0.06	0.16 ± 0.11	0.32 ± 0.22

期トレンドをみるために、前後6ヶ月づつ合計13データの移動平均を計算し、最小二乗法により直線回帰式を求めた。

(2) 水質環境の年代別季節変化

季節及び年代の平均像を把握するため、(1) で求めた月毎のデータについて年代毎季節別にそれぞれの平均値と標準偏差を求めた。

2. 福岡湾の赤潮発生の動向

(1) 赤潮発生件数および日数の経年変化

赤潮発生データは当センターで1975年より行っている赤潮調査結果(1975~2010)を用いた。今回使用する項目は発生種類と発生日及び発生期間とした。福岡湾における赤潮の発生傾向を把握するため、発生件数、発生月、年間の赤潮積算日数及び年間の一件あたりの発生日数が最大の日数の経年変化を整理した。

(2) 長期化の解析

赤潮の長期化の度合いを把握するため、既存の方法⁹⁾を参考に1~5, 6~10, 11~30, 30日以上の4段階に発生件数の経年変化を整理した。また、1件あたりの赤潮継続日数が50日を超える特に長期間発生した赤潮について

も発生期間、日数、種類を整理した。さらに詳しく年代別に季節別に長期化の度合いを確認するため、網単位の分類によって珪藻類、渦鞭毛藻類、ラフィド藻類に仕分けし季節別発生割合を整理した。

(3) 主な赤潮原因プランクトン

福岡湾における赤潮原因プランクトンの構成をみるため、珪藻類、渦鞭毛藻類、ラフィド藻類、それらに該当しないものをその他として分類した。また、赤潮発生件数の中から種類、属別に発生件数10件以上あった上位9種について発生件数を整理した。

(4) 赤潮原因プランクトンの変化

発生種の変化を把握するため、珪藻類、渦鞭毛藻類、ラフィド藻類とそれらに該当しないものをその他と分類しそれぞれ年代別に整理、また、種類の変化をみるため、分類毎の種類別に年代別の発生割合についても整理した。さらに季節毎の変化を確認するため、年代別分類別の発生割合の変化を確認した。

なお、解析の際、年代については1970, 1980, 1990, 2000年代の4年代に、季節については1~3月, 4~6月, 7~9月, 10~12月をそれぞれ冬, 春, 夏, 秋季にデータを区分して行った。

結 果

1. 福岡湾の水質環境の推移

(1) 水質環境の経年変化

水温及び塩分の経年変化を図2に示す。両図には月平均値, 13月移動平均値の推移および近似直線を記載した。水温は5.6~28.5℃の範囲で変動し、長期的には横ばい

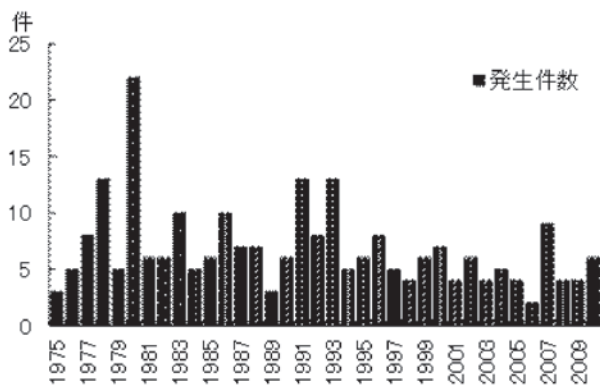


図4 赤潮発生件数の推移

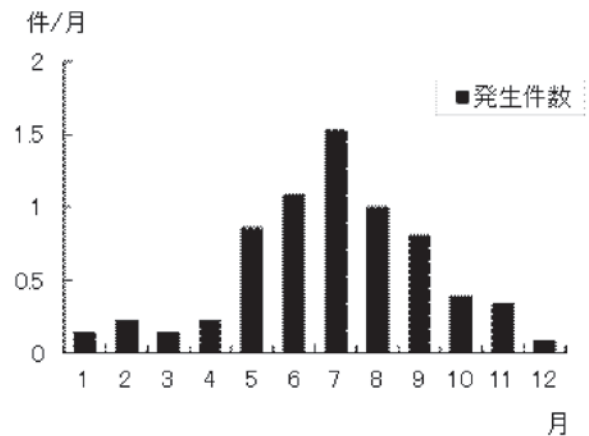


図5 月別平均赤潮発生件数

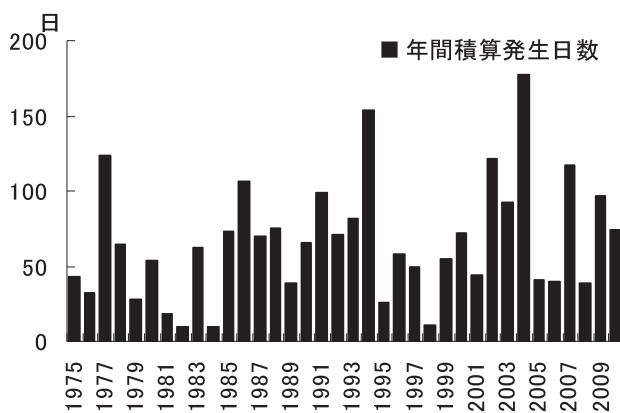


図6 年間積算赤潮発生日数の推移

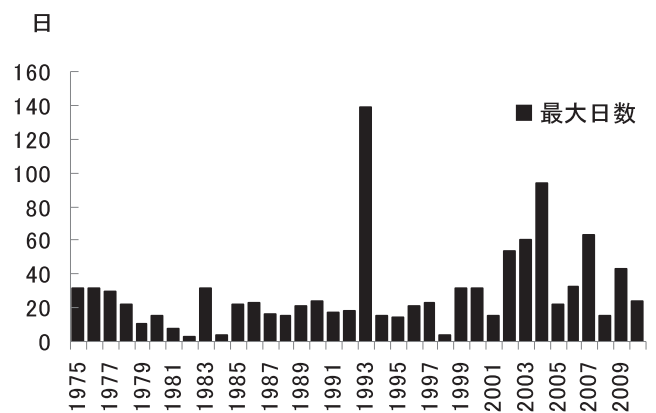


図7 最大赤潮発生日数の推移

で推移し一定の傾向は見られなかった。しかし、年間の最低水温を見ると、1996年以降 7°C 下回らなくなった。

塩分については $22.2\sim 35.7$ の範囲で変動し、横ばいで推移しており、一定の傾向は見られなかった。

次に DIN 及び DIP の濃度の経年変化を図3に示す。表示方法は図2と同じである。DIN については $0.53\sim 37.70\mu\text{M}$ の間で変化し、有意な上昇傾向を示した。また、DIP については $0\sim 1.37\mu\text{M}$ の範囲で変動し、有意な下降傾向を示した。特に DIP では1996年以降、0を示す月がみられた。

(2) 水質環境の年代別季節変化

表1に水質環境の年代別季節変化を示した。水温では、水温上昇期の春季と下降期にあたる秋季のばらつきが大きく、季節間では冬、春、秋、夏の順で水温が高くなった。冬季の平均水温を見ると2000年代の水温は1970年代と比較して 1°C 以上上昇しており、経年変化からみられた最低水温の上昇が確認され、その上昇幅は他の季節より大きかった。塩分は夏季のばらつきが大きかった。DIN は年代毎季節毎の平均値でも上昇しており、これは経年変化の傾向と一致した。1970年代と2000年代を比較して

最も上昇幅の大きかったのは冬季で $12.54\mu\text{M}$ から $17.43\mu\text{M}$ と約 $5\mu\text{M}$ 上昇した。季節間を比較すると夏季が最も低く、1980年代平均値が $3.45\mu\text{M}$ 、2000年代で $5.13\mu\text{M}$ 、次いで春季で同様に 4.13 から 6.55 であった。秋季と冬季は高く、2000年代でどちらも $14\mu\text{M}$ 以上と高い値となった。次に DIP では経年変化と同様に、季節毎でも下降傾向がみられた。下降幅が大きかったのは冬季で $0.35\mu\text{M}$ から $0.17\mu\text{M}$ と約 $0.2\mu\text{M}$ 減少していた。季節間を比較すると春季が最も低く2000年代平均値で $0.07\mu\text{M}$ であり、次いで夏季、冬季が2000年代でそれぞれ 0.16 、 0.17 と続いた。どの年代も秋季が最も高い値を示した。

2. 福岡湾の赤潮発生動向

(1) 赤潮発生件数および日数の経年変化

図4に赤潮発生件数の推移を示した。年間発生件数は2～22件の範囲で変動し、10件以上の赤潮多発年は、1978、1980、1983、1986、1991、1993年で、増減を繰り返しながら1990年代より横ばいになり、2000年代には5件以下の年が多くなった。図5に月別平均発生件数を示す。赤

表2 長期継続赤潮の詳細

発生期間	発生日数	種類
1993/12/16~1994/05/03	139	<i>Akashiwo sanguinea</i>
2002/11/14~2003/01/06	54	<i>Akashiwo sanguinea</i>
2003/07/25~2003/09/22	60	<i>Skeletonema sp.</i> , <i>Chaetoceros sp.</i>
2004/11/29~2005/03/02	94	<i>Akashiwo sanguinea</i>
2007/03/08~2007/05/09	63	<i>Gephyrocapsa oceanica</i>

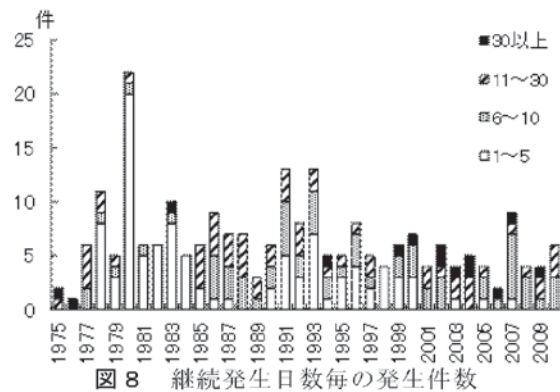


図8 継続発生日数毎の発生件数

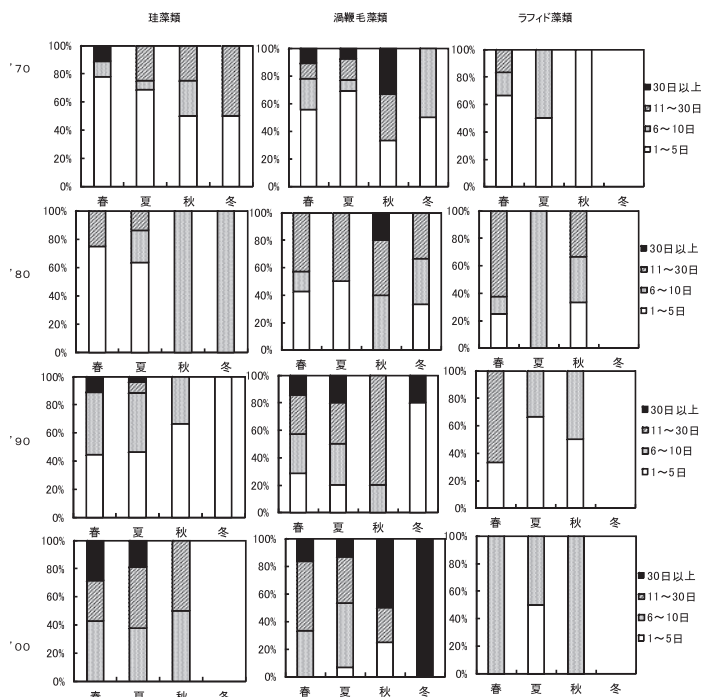


図9 年代別季節別、継続発生日数毎の発生割合（左：珪藻類、中：渦鞭毛藻類、右：ラフィド藻類）

潮の発生は5~9月に集中しており、1月あたり1件前後発生がみられ、福岡湾の赤潮盛期は春~夏季であった。次に年間の赤潮積算日数の推移を図6に示した。2000年代になって赤潮積算日数が100日を超える年が増え、また、20日を下回るような極端に積算日数の少ない年がなくなった。次に、年間で赤潮1件あたりの発生期間が最長のものについてその継続した日数の経年変化を図7に示した。最大継続日数は1990年代までは1993年を除き40日以下であったが、2000年代には40日を超える赤潮が増加していることがわかった。

(2) 長期化の解析

経年的に赤潮積算発生日数や最大発生日数が増加していることから、それらの変化を詳細に検討するため、継続発生日数毎の発生件数を図8に示す。1975年から1980

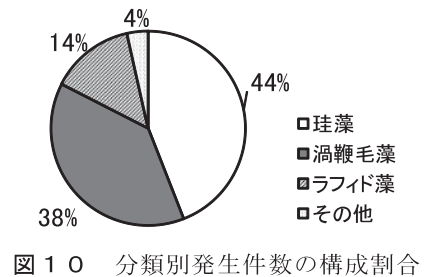


図10 分類別発生件数の構成割合

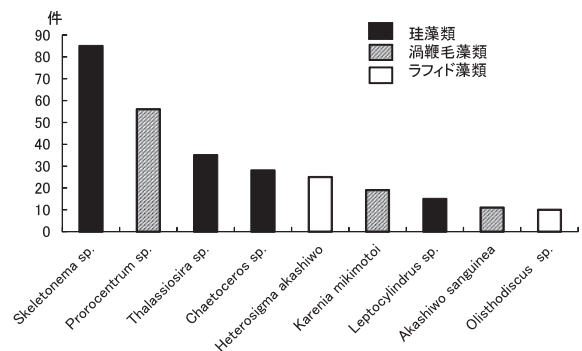


図11 赤潮発生件数上位9種

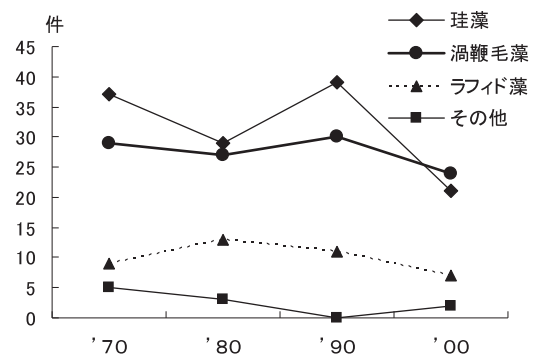


図12 年代別分類別の発生件数

年代前半までは5日以下の短期赤潮の発生が多くを占めていたが、1980年代後半から1990年代になると6~10日の赤潮の発生が多く見られるようになり、特に2000年代には30日以上赤潮の発生が多くなり、赤潮の長期化の傾向が伺われた。そこで、全赤潮の中から1件あたりの継続日数が50日を超える特に長期間発生した赤潮について表2に整理した。全部で5件の発生があり、1993年以降

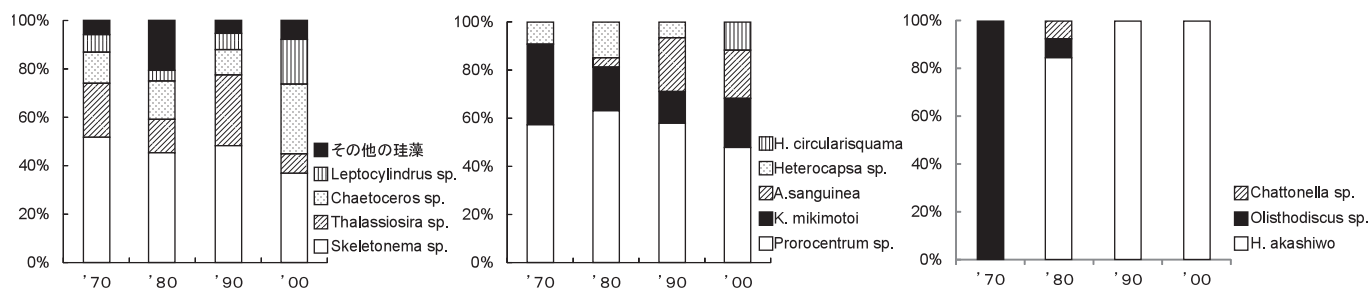


図 1 3 赤潮原因プランクトン種の発生割合の変化 (左:珪藻類、中:渦鞭毛藻類、右:ラフィド藻類)

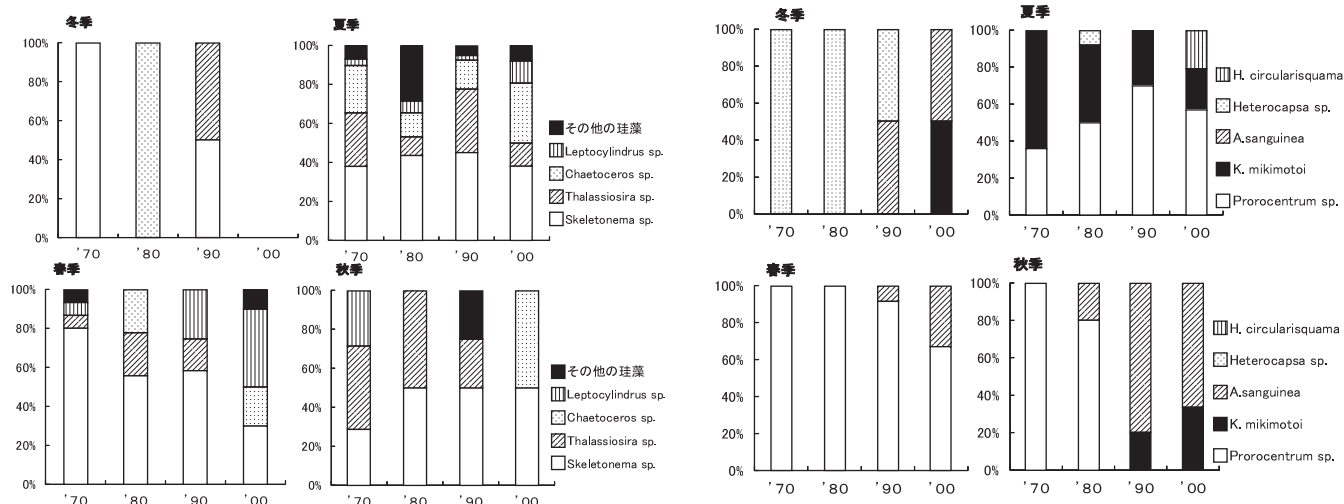


図 1 4 年代別の季節毎の原因プランクトン種の発生割合 (珪藻類)

図 1 5 年代別の季節毎の原因プランクトン種の発生割合 (渦鞭毛藻類)

の発生であった。5件中3件が *Akashiwo sanguinea* (以下 *A. sanguinea*) の赤潮であり、いずれも秋季から冬季にかけて発生していた。また、2007年3月から発生した円石藻類の *Gephyrocapsa oceanica* (以下 *G. oceanica*) は、2000年代に初めて赤潮が確認された種類である。なお、夏季に発生した長期赤潮は1件であり、原因種は *Skeletonema sp.*、*Chaetoceros sp.* と珪藻類の赤潮であった。

次に図9に年代別に分類別に継続発生日数毎の発生割合を季節別に整理し、季節毎の傾向をみた。珪藻類では春、夏季に5日以下の短期赤潮の発生割合が年代を追う毎に減少し、2000年代になると5日以下の赤潮は無くなり、代わって30日以上長期赤潮の発生割合が増加した。また、2000年代には冬季の赤潮が全く発生していない事も大きな変化である。渦鞭毛藻類では、珪藻類と同様に5日以下の短期赤潮が年代を追う毎に減少し、2000年代にはどの季節においても30日以上赤潮が発生していた。また、秋季においては半数近くを、冬季においては全てが30以上の発生期間となるなど長期化への変化がみられた。ラフィド藻類では、冬季の赤潮の発生は調査期間全て無かった。年代別には5日以下の短期赤潮の発生割合の変動が激しく傾向は見られなかった。

(3) 主な赤潮原因プランクトン

図10に分類別の発生件数の構成割合を示した。珪藻類が最も多く、44%、次いで渦鞭毛藻類が38%となり、この2種類で発生件数の約8割を占めていた。また、その中で10件以上発生が確認された上位の種類を図11に示した。*Skeletonema sp.* の発生が多く85件となり、これは総発生件数の35%を占めていた。同じ珪藻類でみると次いで *Thalassiosira sp.*、*Chaetoceros sp.* の発生が多く、渦鞭毛藻類では *Prorocentrum sp.* が56件と *Skeletonema sp.* について多く、他に *Karenia mikimotoi* (以下 *K. mikimotoi*)、*A. sanguinea*、ラフィド藻類では *H. akashiwo*、*Olisthodiscus sp.* が上位に入った。

(4) 赤潮原因プランクトン種の変化

赤潮原因プランクトンの変化をみるため、年代別に分類別の発生件数を図12に示す。1970～1990年代までは珪藻類の発生件数が最も多く、30～40件前後、次いで渦鞭毛藻類で30件前後、2000年代になると珪藻類と渦鞭毛藻類の発生件数が逆転し、渦鞭毛藻類が24件、珪藻類が21件となり、珪藻類の減少が顕著である。ラフィド藻類は年代にかかわらず10件程度で推移した。また、赤潮原因プランクトン種の変化を詳細に把握するため、分類毎に原

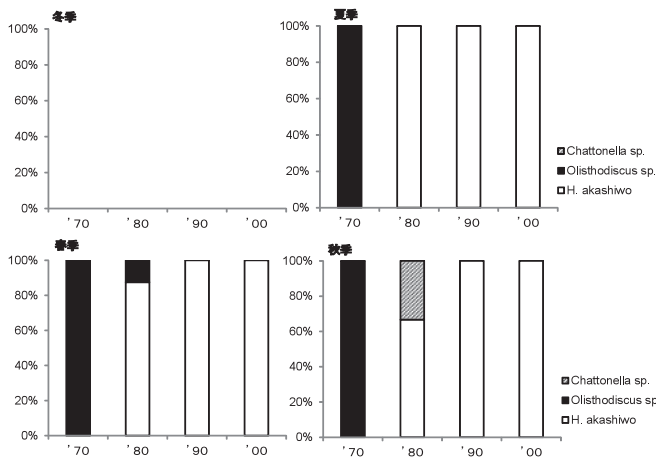


図16 年代別の季節毎の原因プランクトン種の発生割合（ラフィド藻類）

因プランクトンの発生割合を図13に整理した。珪藻類では1970～1990年代までは *Skeletonema* sp. 及び *Thalassiosira* sp. が優占種となり両者で60～80%を占めていたが、2000年代には50%以下に急激に減少した。代わって *Chaetoceros* sp. 及び *Leptocylinndrus* sp. の発生が増加し、1970～1990年代は両者で20%であった発生割合が2000年代には50%となり、*Skeletonema* sp. , *Thalassiosira* sp. と同程度になっていた。その他の珪藻類については1980年代に発生割合が増加しているが、その他の年代では割合は小さい。渦鞭毛藻類では *Prorocentrum* sp. が優占しており、50%以上を占めていた。有害種である *K. mikimotoi* の発生割合1970年代には30%以上あったが、1980年代以降10～20%で推移している。また、*Heterocapsa* sp. が1970年代から1990年代まで発生していたが、2000年代には発生がみられなくなった。一方、*A. sanguinum* は1980年代から発生した種類であり、1990年代には2000年代20%程度の発生割合を占めていた。さらに、2000年代に新しく発生した種類として *H. circularisquama* による赤潮がみられたことも特徴的な現象であった。ラフィド藻類では1970年代は *Olisthodiscus* sp. のみの発生であったが、1990年代以降は *H. akashiwo* のみの発生となっている。

これらの発生種の変化が季節別にどのように現れているかを確認するため、図14～16に分類別に年代別の季節毎の原因プランクトン種の発生割合を整理した。珪藻類では、冬季は1970年代から1990年代まで *Skeletonema* sp. *Chaetoceros* sp. , *Thalassiosira* sp. の3種で構成されているが、2000年代にこれらの種類の発生がなくなっている。春季では *Skeletonema* sp. の発生割合が徐々に減少し1970年代には約80%あった発生割合が、2000年代には30%まで減少していた。代わって1980年代では *Thalassiosira* sp. , *Chaetoceros* sp. が約40%を占め、

1990年代では *Thalassiosira* sp. , *Leptocylinndrus* sp. が発生するようになった。その後2000年代になると *Leptocylinndrus* sp. が40%程度まで発生割合が大きくなった。夏季では *Skeletonema* sp. の発生が35～50%を占めており、1970年代から2000年代まであまり変化がみられない。1980年代は *Asterionella japonica* や、*Neodelphineis pelagica* をはじめとするその他の珪藻類による赤潮が他の年代に比べ30%程度と大きく占めており、逆に *Thalassiosira* sp. の発生割合が小さい。また、2000年代には、*Chaetoceros* sp. の発生割合が大きくなっていた。秋季では *Skeletonema* sp. の発生が30～50%程度を占めていた。*Thalassiosira* sp. は1980年代まで40%程度を占めていたが、1990年代には20%程度まで発生割合が減少し、2000年代には発生がなくなった。代わって1990年代はその他の珪藻、2000年代には *Chaetoceros* sp. が発生していた。

渦鞭毛藻類では、冬季は *Heterocapsa* sp. が1970年代から1990年代まで発生していたが、1990年代には発生割合が減少し、2000年代には発生がみられていない。代わって1990年代からは *A. sanguinum* が発生するようになり、2000年まで冬季赤潮の半数を占めている。また、2000年代になると有害種である *K. mikimotoi* の発生がみられるようになった。春季では、1970年代より *Prorocentrum* sp. が優占していたが、1990年代よりここでも *A. sanguinum* が発生するようになって以降、2000年代には *A. sanguinum* の発生割合が30%まで大きくなっていた。夏季には有害種である *K. mikimotoi* の発生が1970年代には60%と優占していたが、1980年代以降減少し、2000年代には20%まで減少した。また、2000年代には二枚貝をへい死させる有害種である *H. circularisquama* の赤潮が福岡湾で初めて発生した。秋季では1980年代まで優占していた *Prorocentrum* sp. が1980年代を最後に1990年代以降は発生せず、代わって1980年代から *A. sanguinum* が出現し、1990年代になると *A. sanguinum* が80%も優占するようになり、併せて *K. mikimotoi* の発生がみられるようになり、2000年代にかけては発生割合が大きくなった。*K. mikimotoi* と *A. sanguinum* についてまとめるとどちらも1980年代以降に発生パターンに変化が見られるようになり、*K. mikimotoi* は夏季の発生割合が減少した一方で、秋、冬季に発生し、*A. sanguinum* は、夏季を除く季節で発生がみられるようになった。

ラフィド藻でみると春、夏、秋季を通して1970年代には *Olisthodiscus* sp. の発生しかなかったものが、1980年代以降 *H. akashiwo* に発生種が変化していた。

考 察

今回の解析から変化がみられた発生期間の長期化と発生件数の減少、発生種類の変化の要因について考察したい。

まず、発生時期については50日以上長期赤潮は2003年7月発生の珪藻類による赤潮1件を除き冬季を含んだ発生であるが、年代についても1993年を除いて2000年代の発生となっている。このように長期赤潮は2000年代以降、冬季を中心に発生していることが明らかとなった。これを水質環境と併せてみると表1からも2000年代にかけて冬季の水温が上昇していることが確認できており、赤潮の原因となるプランクトン種の適水温は本来冬季水温より高いことから、2000年代はプランクトンの増殖にとって有利な環境になったといえる。一方、栄養塩という面からみると窒素は年々増加し、十分量あると考えられるが、リンが年々減少し、植物プランクトンの増殖には不利な条件になりつつあり、水温とリンの条件に相違がある。そこで変化のあった種類について増殖特性をみると円石藻類の *G. oceanica* は加賀¹⁰⁾によると培養実験から低リン濃度の条件下でもよく増殖し、窒素とリンが偏った条件や貧栄養条件に強いということを確認している。また、渦鞭毛藻類は呉ら¹¹⁾、山本ら¹²⁾によると海域が DIP 制限にあっても渦鞭毛藻類が赤潮を形成できる理由として①鞭毛による遊泳能力があるため DIP の高い底層等への移動が可能であること、②獲得した DIP を細胞の中に蓄積するなど細胞内リン含有量が高い、③渦鞭毛藻類の多くの種類が DOP（溶存有機態リン）を利用可能であることとしている。この変化のみられた赤潮原因プランクトンはどれもリン制限傾向にある福岡湾に適応可能な特性をもっていると考えられた。また、長期赤潮の発生は、赤潮の発生件数の減少にもつながったものと考えられる。

また、*A. sanguinea* が1980年代から新たな赤潮発生種となったが、*A. sanguinea* は珪藻類により増殖が抑制されることが知られており、¹³⁾ *A. sanguinea* が赤潮として発生する時期は珪藻類が非常に少なくなっている可能性がある。そこで珪藻類の増殖特性を確認すると福岡湾で最も赤潮件数の多い *Skeletonema* 属のうち *Skeletonema costatum*（以下 *S. costatum*）では DIP とアデノシンリン酸しか利用できない¹⁴⁾といわれており、この種にとってリンが年々減少している福岡湾の水質環境は不利な条件へと変化しつつある。大阪湾においてはリン濃度が減少すると、比例して植物プランクトン組成中の *S. costatum* の組成比が小さくなることが確認

されており、それは NP 比より栄養塩濃度の影響が強いとされている¹⁵⁾ことから、福岡湾の水質環境を勘案すると *Skeletonema* 属の発生量が年々減少している可能性も考えられる。

また、山田¹⁶⁾が過栄養海域、富栄養海域、貧栄養海域海域それぞれを指標する植物プランクトンを検討している。その中で *Skeletonema sp.* は過栄養海域から富栄養海域、*Chaetoceros sp.* はそれよりやや栄養塩濃度が低い富栄養海域から貧栄養海域の指標種となっている。今回の解析では *Skeletonema sp.* の赤潮発生件数が減少し、*Chaetoceros sp.* が増加傾向にあった。また、ラフィド藻類の *Olisthodiscus sp.* が過栄養海域の指標種となっているが、福岡湾においては1978年から1981年に発生期間が限られていた。発生時の栄養塩測定データがないため、栄養塩濃度は不明であるが、この年代は水質に関する法的規制も現在ほどでなく、全国的に栄養塩濃度が高かったと思われ、その後 *Olisthodiscus sp.* の発生がみられないということは福岡湾は1970年代は1980年代より栄養塩濃度が高かったと推察される。この判定法から、福岡湾の栄養塩レベルは1970年代から低下してきていることになるが、実際水質環境をみると窒素は増加、リンは減少という偏った栄養塩環境となっており、栄養塩の中でもリンの動向が効いている可能性が示唆される。

本報では水質環境の変化と赤潮という植物プランクトン群集の発生傾向の変化をみた。水質環境の変化は植物プランクトンの発生、増殖に影響を与える可能性が示唆され、その中でもプランクトンフィーダーにとって好適な餌となる珪藻類の現存量の減少の可能性については、福岡湾における餌料環境の悪化、言い換えると基礎生産の質の低下につながる可能性がある。近年では湾内の漁獲量は減少傾向にある¹⁷⁾ことから、水質環境の変化が赤潮まで高密度に増殖しない常在する植物プランクトンの種組成に影響を与えている可能性も考えられる。栄養塩の特にリンについては、これまでの研究^{18, 19, 20)}から河川及び下水からの流入負荷量の減少は明らかであり、今後も福岡湾のリンの濃度は現状維持もしくは減少していくことも想定される。今後福岡湾を生産性の高い海域へ回復を目指すには、栄養塩負荷量の変動が植物プランクトンのみならず生態系全体へ及ぼす影響についても早期に検討を進める必要がある。

文 献

- 1) 篠原満寿美, 杉野浩二郎, 佐藤利幸, 池内仁, 吉田幹英, 本田清一郎, 神薮真人. 福岡湾における植物

- プランクトン群集の季節変動. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 1999 ; 9 : 33-38.
- 2) 篠原満寿美. 福岡湾における貧酸素水塊の発生状況. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2002 ; 12 : 81-87.
- 3) 吉岡直樹. 福岡湾における貧酸素水塊. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2003 ; 13 : 93-101.
- 4) 平成20年度瀬戸内海の環境保全資料集, (社) 瀬戸内海環境保全協会, 神戸. 1999.
- 5) 山本民次, 石田愛美, 清水徹. 太田川河川水中のリンおよび窒素濃度の長期変動—植物プランクトン種の変化を引き起こす主要因として. 水産海洋研究 2002 ; 66 (2) : 102-109.
- 6) Yamamoto T, and G. Hatta. Pulsed nutrient supply as a factor inducing phytoplankton diversity. . Ecological Modelling 2004 ; 171 : 247-270.
- 7) 松山幸彦. 有害渦鞭毛藻 *Heterocapsa circularisquama* に関する生理生態学的研究-I. 水産総合研究センター研究報告 2003 ; 第7号 : 24-105.
- 8) 1980～2009年福岡市水質測定結果報告, 福岡市環境局, 福岡. 1980～2009.
- 9) 平成21年九州海域の赤潮, 水産庁九州漁業調整事務所, 福岡. 2010.
- 10) 加賀敏樹. 円積藻の増殖特性. 「海洋プランクトン生態学」(谷口旭教授退官記念事業会編) (株) 成山堂書店, 東京. 2009 ; 59-82.
- 11) 呉碩津, 松山幸彦, 山本民次, 中嶋昌紀, 高辻英之, 藤沢邦康. 近年の瀬戸内海における有害, 有毒渦鞭毛藻の分布拡大とその原因—溶存態有機リンの生態学的重要性—. 沿岸海洋研究 2008 ; 第43巻第1号 : 85-95.
- 12) 山本民次, 石田愛美, 清水徹. 太田川河川水中のリン及び窒素濃度の長期変動—植物プランクトン種の変化を引き起こす主要因として. 水産海洋研究 2002 ; 第66巻第2号 : 102-109.
- 13) 松原賢, 長副聡, 山崎康裕, 紫加田知幸, 島崎洋平, 大嶋雄治, 本城凡夫. 渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* に対する中心目珪藻類による増殖抑制作用. 日本水産学会誌 74 (4), 598-606, (2008)
- 14) 山口峰生, 松山幸彦. 有害赤潮の生態学的制御による被害防除技術の開発に関する研究3, 珪藻類における栄養塩の利用特性及び *Chattonella* との栄養塩競合. 南西海区水産研究所5ヶ年の研究報告書 1994 ; : 77-91.
- 15) 矢持進. 水域別の水産生物に及ぼす N : P 比の影響 8. 大阪湾. 「水域の窒素 : リン比と水産生物」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京. 1993 ; 84-95.
- 16) 山田真智子. 富栄養化と植物プランクトンの指標性. 「沿岸海域の富栄養化と生物指標」(日本水産学会編) 恒星社厚生閣, 東京. 1982 ; 27-58.
- 17) 1980～2009年福岡市農林統計, 福岡市水産振興課, 福岡. 1980～2009.
- 18) 江藤拓也, 片山幸恵, 江崎恭志. 福岡湾への窒素, リン負荷量の長期変動について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009 ; 19 : 35-40.
- 19) 片山幸恵, 江藤拓也, 江崎恭志. 福岡湾の水質環境の長期変動について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009 ; 19 : 51-59.
- 20) 江藤拓也, 片山幸恵, 江崎恭志. 福岡湾における栄養塩収支について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009 ; 21 : 47-58.