

## 福岡湾における植物プランクトンの変遷について

里道 菜穂子・恵崎 撰・杉野 浩二郎  
(研究部)

福岡湾における水質（栄養塩レベル）と植物プランクトンの長期的な変動から、水質の変化が植物プランクトン群集に与える影響について検討した。栄養塩レベルの経年変化を見ると、DIN 濃度は経年的に上昇傾向が見られたが、DIP 濃度は低下傾向を示し、特に1990年代以降は顕著な低下傾向が見られた。このことを受け、DIN/P 比は、経年的に増加し、特に1990年代以降は著しく増加した。植物プランクトン現存量の指標である Chl-a 濃度は、1980年代は特に大きな変化は見られなかったが、1990年代以降は著しい低下が見られた。植物プランクトンの細胞数についても、1990年代以降は減少傾向が顕著であった。また、湾内の植物プランクトン群集の中で優先しやすい珪藻類の種構成では、1990年代以降、*Skeletonema* spp. の占める割合が大きく減少し、*Chaetoceros* spp. 等の他の種の割合が増加した。本研究の結果から、福岡湾では、リン流入負荷量の経年的な減少による DIP 濃度の低下が制限要因となり、植物プランクトンの現存量を減少させ、その種構成にも影響を与えていると推察された。

キーワード：福岡湾、植物プランクトン、栄養塩、DIP

福岡湾は、半閉鎖的な構造をしているため、夏季は富栄養化<sup>1)</sup>や貧酸素水塊<sup>2, 3)</sup>等が発生しやすい海域である。また、沿岸部の都市化に伴う人口増加により、流域の栄養塩の流入負荷量は経年的に増加している。<sup>1)</sup>このため、福岡市は1993年から1999年にかけて、下水の高度処理施設を導入し、水質環境の保全を目的とするリンの除去を積極的に進めてきた。高度処理施設の導入が進むにつれ、処理水中のリンは著しく減少した。<sup>1)</sup>

しかし、近年ではこうした流入負荷量の削減が水質環

境に変化をもたらし、秋季から冬季にかけて行われる藻類養殖ではノリの色落ち<sup>4, 5)</sup>やワカメの不作<sup>6)</sup>等の問題が高頻度で発生しており、漁場環境の悪化が懸念されている。

そこで、本研究では福岡湾における水質（栄養塩レベル）と植物プランクトンの長期的な変動から、水質の変化が植物プランクトン群集に与える影響について検討した。

### 方 法

#### 1. 福岡湾の水質環境の変化

##### (1) 水質環境の経年変化

水質の解析には、福岡市環境局が報告している「福岡市水質測定結果報告」<sup>7)</sup>（1981～2010年）の水温、栄養塩類濃度、Chl-a 濃度のデータを用いた。栄養塩類については、無機態窒素（以下 DIN）および無機態リン（以下 DIP）の濃度を用いた（PO<sub>4</sub>-P 濃度を DIP 濃度として用いた）。

水質測定が実施された地点を図1に示した。水質測定は各地点で毎月1回実施され、水温、DIN 及び DIP、Chl-a 濃度については、表層・中層（2.5m）・底層を平均した値を用いた。栄養塩類については、DIN/P 比を算出した。

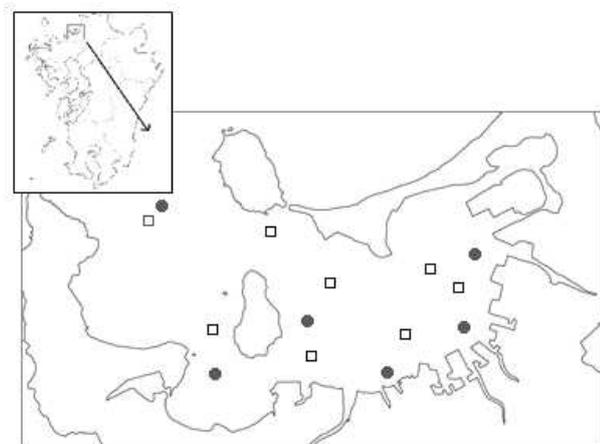


図1 調査地点図

次に毎月の観測データの長期変動を整理し、水質の経年変化を検討した。それぞれのパラメータの経年変化及び長期トレンドを明らかにするため、前後6ヶ月ずつ合計13データの移動平均と回帰直線を示した。

## 2. 福岡湾の植物プランクトンの出現傾向の変遷

### (1) 植物プランクトン細胞数の変化

植物プランクトンの解析には、福岡湾において毎月行われている定期調査の1981年1月から2010年12月までの30年間のデータを用いた。調査では、図1に示した調査地点において海水を採取し、0.2～1 ml を分取して検鏡した。海水1 ml あたりの植物プランクトン細胞数を種毎に計数し、湾全体の平均細胞数を算出した。

### (2) 植物プランクトン分類群の構成の経年変化

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、その構成割合の変化を整理した。

### (3) 主な植物プランクトンの出現傾向の変化

珪藻類、渦鞭毛藻類、ラフィド藻類それぞれに細胞数の推移を整理し、細胞数が多い代表種の構成割合の変化を解析した。

## 結 果

### 1. 福岡湾の水質環境の変化

#### (1) 水質環境の経年変化

水温の経年変化を図2に示した。水温は5.6～29.2℃(平均17.8℃)の範囲で変動し、長期的には横ばいで推移した。

次に DIN 及び DIP 濃度の経年変化を図3、図4にそれぞれ示した。

DIN 濃度については0.49～38.1μM(平均9.63μM)の間で変動し、経年的に上昇傾向を示した。

DIP 濃度については0～1.37μM(平均0.25μM)の範囲で変動し、経年的に低下傾向を示した。さらに1996年以降は0 μM(測定下限値0.02μM以下)を示す月が見られるようになった。

Chl-a 濃度の経年変化を図5に示した。Chl-a の濃度は0.72～66.7μg/l(平均10.9μg/l)で変動し、経年的には低下傾向を示した。

DIN/P 比の経年変化を図6に示した(DIN/P 比が200を超えた年については、200とした)。DIN/P 比は2.2～200(平均61.8)で変動し、経年的には増加傾向を示した。さらに1980年代は緩やかな増加傾向であったが、1990年代以降は著しく増加した。

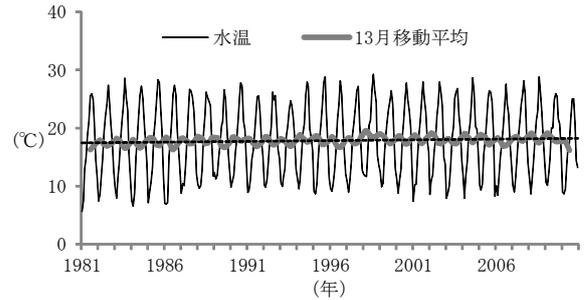


図2 水温の経年変化

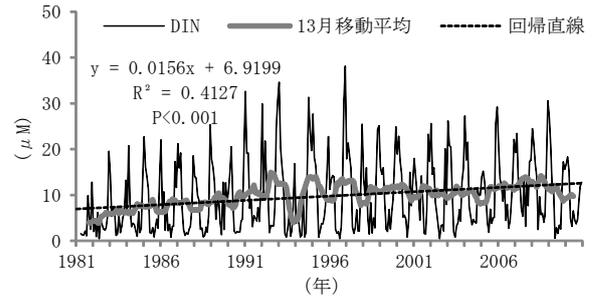


図3 DIN濃度の経年変化

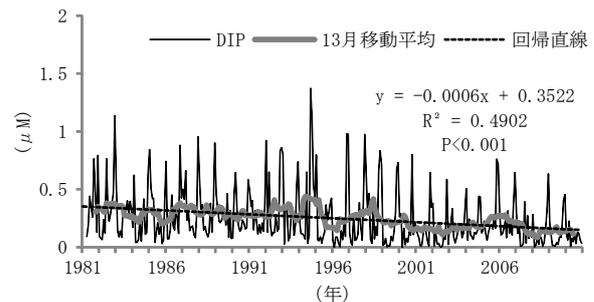


図4 DIP濃度の経年変化

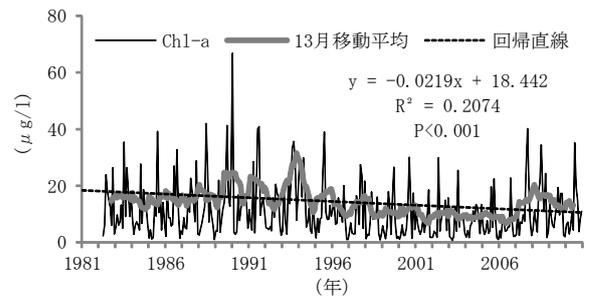


図5 Chl-a濃度の経年変化

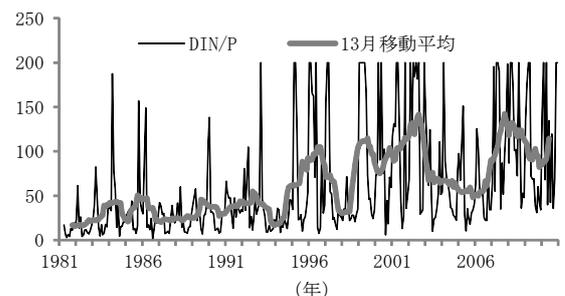


図6 NP比の経年変化

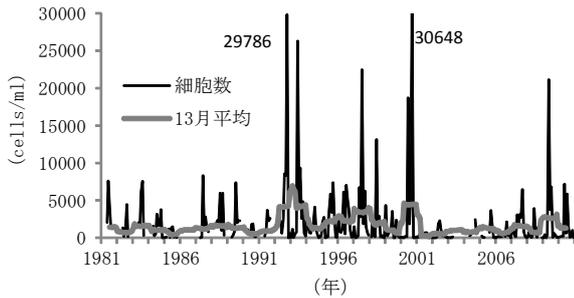


図7 植物プランクトン細胞数の経年変化

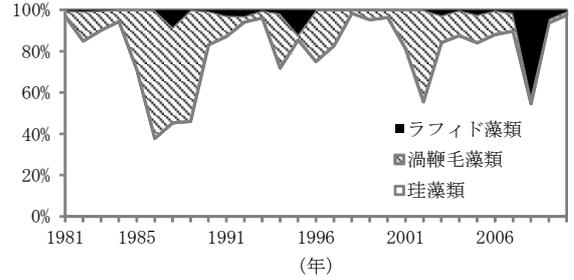


図8 植物プランクトン分類群の構成割合の変化

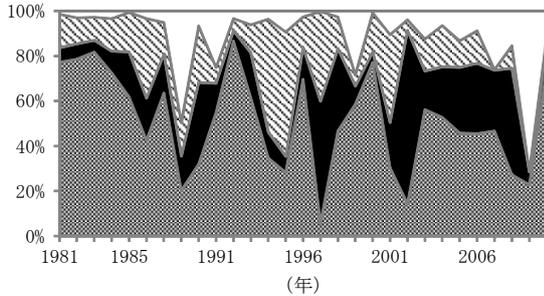
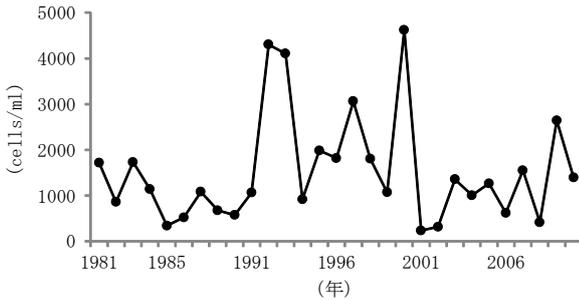


図9 珪藻類の細胞数と種構成割合の経年変化

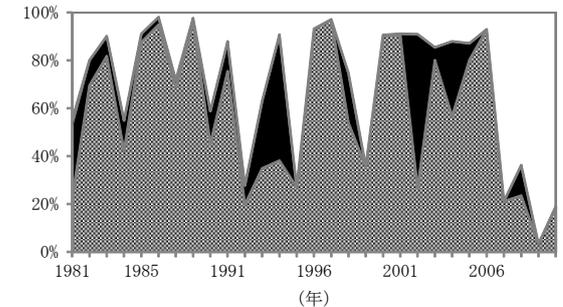
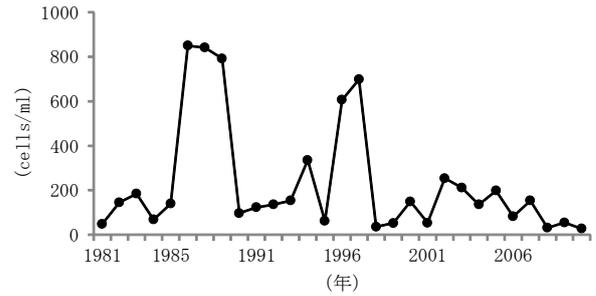


図10 渦鞭毛藻類の細胞数と種構成の経年変化

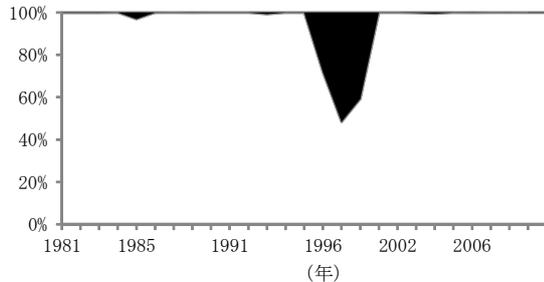
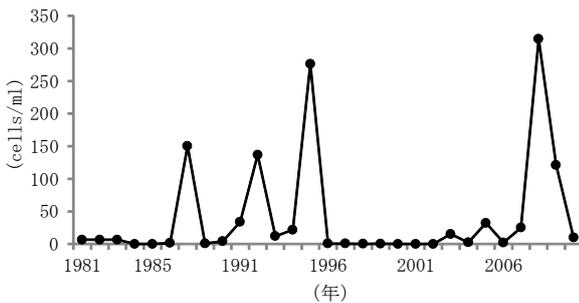


図11 ラフィド藻類の細胞数と種構成の経年変化

## 2. 福岡湾の植物プランクトンの出現傾向の変遷

### (1) 植物プランクトン細胞数の変化

植物プランクトン細胞数の長期的な変化を図7に示した。植物プランクトン細胞数は0~30,648cells/ml (平均2,030cells/ml) の範囲で推移した。1980年代は増減を繰り返しながら比較的安定的に推移した。1990年代は1992, 1993, 1997, 2000年に20,000cells/ml 以上を示し、細胞数が極端に増加する年が多く見られたが、全体的には減少傾向を示した。2000年代は、前半に細胞数が極端に減少した後、緩やかな増加傾向を示し、2009年には20,000 cells/ml 以上を示したが、全体的には低位で推移した。

### (2) 植物プランクトン分類群の構成の経年変化

植物プランクトンの分類群の構成割合変化を図8に示した。構成割合が最も高いのは珪藻類で、年によって若干の変動はあるものの、渦鞭毛藻類、ラフィド藻の順で続いた。1980年代前半は珪藻類がおおよそ9割を占めたが、1980年代後半は渦鞭毛藻類の割合が大きく増加し、珪藻

類より優先する年（1987, 1988, 1989年）が見られた。1990年代は全ての年で珪藻類が7～9割を占め、比較的安定的に推移した。2000年代は全ての年で珪藻が優先したものの、1990年代に比べると5割程度まで減少する年があるなど変動が大きかった。

### （3）主な植物プランクトンの出現傾向の変化

珪藻類の細胞数と種の構成割合を図9に示した（1986年は欠測のため省略）。細胞数は234～4,620cells/ml（平均1,524cells/ml）の範囲で推移した。経年変化では、1980年代初めから緩やかに減少し、1990年代に入ると1992, 1993年に大きく増加し、1994年にいったん減少した後比較的高めで推移した。2000年代には、2001年に急激に減少し、その後は増加傾向が見られるものの、全体に低めで推移した。

珪藻類の種構成では、30年の間に *Skeletonema* spp. が増減を繰り返しながら徐々に減少し、*Chaetoceros* spp. やその他の珪藻類の割合が増加した。さらに *Skeletonema* spp. の割合が特に大きく減少した1997年及び2002年は *Chaetoceros* spp. の割合が大きく増加した。

渦鞭毛藻類の細胞数と種の構成割合を図10に示した（1986年は欠測のため省略）。細胞数は27～849cells/ml（平均232cells/ml）の範囲で推移した。経年変化では、1980年代後半と1990年代後半に細胞数が大きく増加し、2000年代に入ると、細胞数は緩やかに減少した。

渦鞭毛藻類の種構成では、*Prorocentrum* sp. が優先する年が多いが、1990年代前半及び2002年は *Akashiwo sanguinea* が優占した。また、2000年代の後半からは *Prorocentrum* sp. の割合が急激に減少し、その他の渦鞭毛藻類の割合が増加した。

ラフィド藻類の細胞数と種の構成割合を図11に示した（1986年は欠測のため省略。種構成では0細胞であった1984, 2000, 2001年についても省略）。細胞数は0～315 cells/ml（平均41cells/ml）の範囲で推移した。1988年, 1995年, 2008年, 2009年に細胞数の増加が見られたが、それ以外の年は、100cells/ml未満で推移した。

## 考 察

今回の調査では、水温は経年的な変化があまり見られず、植物プランクトンに与える影響はほとんど無かったと考えられる。植物プランクトンの増加要因となる全日射量はこの30年間で横ばい、若しくは上昇傾向であり、植物プランクトンの増殖にやや有利な状況となっている。<sup>8)</sup>

栄養塩類について見ると、DIN濃度は経年的に上昇、

DIP濃度は経年的に低下し、特にDIP濃度については、1996年以降は測定下限値を下回るなど、極端な低下傾向を示している。これらの変化を受け、DIN/P比は極端に増加した。一般的に、DIN/P比が大きいとリンが植物プランクトン増殖の制限要因になる可能性が高くなる。<sup>9)</sup>

そこで、リン流入負荷量の変化について、福岡湾の年代別季節別の栄養塩収支モデル（図12）<sup>10)</sup>を参照して考察する。栄養塩収支モデルによると、どの季節においても年代が新しくなるにつれ、湾奥の流入負荷量は減少しており、それに伴い海水中のDIP現存量は全ての季節・海域において減少している。

さらに、植物プランクトンのDIP現存量と取り込み量の変化に着目すると、1980年代から1990年代にかけては、季節や海域によって増減の傾向が異なるが、1990年代から2000年代にかけては、全ての季節・海域において減少している。この減少傾向は、福岡湾での植物プランクトン現存量の指標となるChl-a濃度の変化と一致している。細胞数についても、1990年代以降は同様に減少傾向が見られている。これらのことから、1980年代は、海水中のDIP濃度は低下したものの、植物プランクトンの増殖に影響を与えるレベルまで達していなかったことが推察される。しかし、1990年代以降の更なるリン流入負荷量の減少によって、海水中のDIP濃度は著しく低下し、プランクトン現存量が減少したと考えられる。

一般的に、長期的なリン流入負荷量の減少要因については、家庭食生活、畜産業、農地からの河川へのリン減少等が報告されている。<sup>11)</sup>福岡湾における1990年代以降の更なるリン流入負荷量の減少については、1993年から1999年にかけて順次導入された高度処理施設による脱リンが大きな要因の1つであると指摘されている。<sup>10)</sup>

経年的なDIP濃度の低下が植物プランクトン群集に影響を与える可能性については、赤潮発生件数等の変化から、これまでも指摘されている。<sup>12)</sup>福岡湾における年間の赤潮発生件数は、1990年代初めは10件前後で推移していたが、2000年代以降は5件以下の年が多くなるなど、減少傾向を示した。さらに、季節別に見ると、海水中のDIP濃度が特に低下する冬季については、1970年代から1990年代にかけて発生していた珪藻類の赤潮が、2000年代には0件となるなど、減少傾向が顕著であった。

植物プランクトンと同様に栄養塩類を直接吸収する藻類にDIP濃度の低下が与える影響についても報告されている。<sup>46)</sup>福岡湾のノリ養殖においては、2006年以降毎年のようにノリの色落ちが見られ、<sup>4, 5)</sup>ワカメ養殖では2000年代に入り、不作年が増加している<sup>9)</sup>。ノリの色落ちやワカメ葉体の流出が起きるのは、DIP濃度が大きく減



少する時期であることから、DIP 不足がこれらの要因と考えられている。

また、栄養塩レベルの低下が植物プランクトン群集に与える影響として、種構成の変化が報告されている。<sup>13)</sup>

福岡湾における植物プランクトン群集の中で主要なグループである珪藻類の年代別の種構成を図13に示す。なお、他海域との比較のため、*Skeletonema* spp. , *Chaetoceros* spp. , その他の珪藻類と分類する。

1990年代から2000年代にかけて、*Skeletonema* spp. が占める割合が大きく減少し、*Chaetoceros* spp. 等の他の種の割合が増加している。

このような種構成の変化は、大阪湾や播磨灘、洞海湾においても確認され、栄養塩レベルの低下に起因するとされている。<sup>13-15)</sup> これらの海域の栄養塩濃度を見てみると、大阪湾及び洞海湾では、DIN 濃度・DIP 濃度ともに経年的な低下が確認されている。更に詳細に見ると、大阪湾では、DIP 濃度の低下が顕著に見られ、洞海湾では、DIN 濃度の低下が顕著である。<sup>16, 17)</sup> 一方、播磨灘では、DIP 濃度の経年変化に一定の傾向は見られず、DIN 濃度が経年的に低下している。<sup>14)</sup> つまり、これらの海域では、同様に植物プランクトンの種構成の変化が起きているが、栄養塩レベルの低下のパターンが種類や濃度において異なる。更に、福岡湾では、DIN 濃度が経年的に上昇し、DIP 濃度が減少していることから、上述の3海域とはまた異なるパターンで栄養塩レベルの低下が起きていると思われる。

DIN/P 比について見ると、大阪湾では、1973年頃からDIN/P 比の増加が顕著に見られ、1990年代以降は100を超える年が著しく増加した。<sup>16)</sup> 一方、播磨灘ではDIN 濃度の低下を受け、DIN/P 比は1970年代後半から徐々に減少し、現在はレッドフィールド比である16を下回り、10以下となっている。<sup>14)</sup> 福岡湾では、DIN/P 比は1990年代以降著しく増加し、現在は100を超えている。

これらのことから、福岡湾では、DIP 濃度の低下やDIN/P 比の変化によって、*Skeletonema* spp. が占める割合が減少し、*Chaetoceros* spp. 等の他の種の割合が増加するという他海域と同様の変化が起きたと推察される。

また、大阪湾および播磨灘、洞海湾の3海域については、多田ら<sup>13)</sup>により10年スケールのタイムラグを持って、下記の5つの段階に区分されている。①生物の生息できない環境② *Skeletonema* が単独で優先し、大規模で濃密な赤潮を形成③構成種の大部分を *Skeletonema* が占めているが、しばしば有害渦鞭毛藻が大規模な赤潮を形成④ *Skeletonema* の占める割合が低下し、他の珪藻種の割合

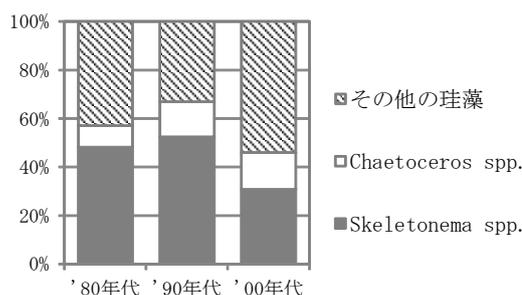


図13 珪藻類の年代別種構成割合変化

が増大⑤海域の生産力の低下、養殖ノリの色落ちが発生。これらの段階の進行には、海域の栄養塩の減少を伴うとされている。

福岡湾において、②は1980年代、③は1990年代、④は2000年代前半、⑤は2000年代後半～現在とおおまかに当てはめることができる。大阪湾は、福岡湾と同様にDIN/P 比の経年的な増加が見られる海域であるが、<sup>16)</sup> 現在は④に該当している。これら2つの海域の2010年の栄養塩濃度を比較すると、DIN 濃度は福岡湾が大阪湾の1.6倍程度、DIP 濃度は0.3倍程度<sup>18)</sup>となっており、DIP 濃度の低下による海域への影響は、福岡湾の方が深刻であると考えられる。

本研究の結果から、福岡湾では、リン流入負荷量の経年的な減少によるDIP 濃度の経年的な低下が制限要因となり、植物プランクトンの現存量を減少させ、その種構成に影響を与えている可能性が示唆された。これらの変化は、1990年代以降顕著に見られるようになった。植物プランクトンの現存量の減少や種構成の変化は、基礎生産量の減少や質の低下につながり、餌料環境の悪化を招いている恐れがある。近年、湾内の漁獲量が減少していることから、<sup>19)</sup>植物プランクトン等基礎生産レベルの変化が、生態系全体へ与える影響について明らかにすることが急務である。そして、福岡湾の基礎生産力の回復を目指すため、より最適な水質環境を明らかにし、その実現に向けて必要な栄養塩類の流入負荷量等の検討を行う必要がある。

## 文 献

- 1) 福岡市環境局. 博多湾環境保全計画 2008.
- 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) 淵上 哲. 2006年度漁期に福岡湾でみられたノリ葉体の生育異常, 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2008 ; 18 : 161-164.
- 5) 小池美紀, 江崎恭志. 藻類養殖技術研究(1)ノリ養殖. 福岡県水産海洋技術センター事業報告 2010 ; 61-63.
- 6) 江藤拓也, 片山幸恵, 江崎恭志. 2008年から2010年における福岡湾でのノリ, ワカメ養殖の不作要因について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告2012 ; 22 : 33-40.
- 7) 福岡市環境局 : 福岡市水質測定結果報告 1981-2010.
- 8) 横山佳裕, 吉次祥子, 中嶋雅孝, 内田唯史, 中西弘. 博多湾における栄養塩濃度の変化に伴う植物プランクトンの種の変化の解析. 土木学会論文集 B3 (海洋開発) 2011 ; 67-2 : I\_340-I\_345 橋淳治.
- 9) 環境安全に配慮した栄養塩類の分析—窒素・リンの分析と廃液処理—. 大阪府教育センター.
- 10) 江藤拓也, 片山幸恵, 江崎恭志. 福岡湾における年代別・季節別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 2011 ; 21 : 47-58.
- 11) 岡市友利, 小森星児, 中西弘. 瀬戸内海の生物資源と環境. 恒星社厚生閣, 東京. 1996.
- 12) 片山幸恵, 江藤拓也, 江崎恭志. 福岡湾における赤潮発生の動向について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2012 ; 22 : 25-32.
- 13) 多田邦尚, 西川哲也, 樽谷賢治, 山本圭吾, 一見和彦, 山口一岩, 本城凡夫. 瀬戸内海東部海域の栄養塩低下とその低次生物生産過程への影響. 沿岸海洋研究 2014 ; 52-1 : 39-47.
- 14) Nishikawa T, Hori Y, Nagai S, Miyahara K, Nakamura Y, Harada K, Tanda M, Manabe T, Tada K. Nutrient and Phytoplankton Dynamics in Harima-Nada, Eastern Seto Inland Sea, Japan During a 35-Year Period from 1973 to 2007. *Estuaries and Coasts* 2010 ; 33:417-427.
- 15) 山田真知子, 上田直子, 濱田建一郎. 過栄養海域である洞海湾における栄養度の低下とそれに伴う赤潮発生状況の変化. 日本水産学会 2011 ; 77 : 647-655.
- 16) 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渦鞭毛藻の分布拡大とその要因. 沿岸海洋研究 2005 ; 43-1 : 85-95.
- 17) 濱田建一郎, 上田直子, 山田真知子, 多田邦尚, 門谷茂. 栄養塩濃度が大幅に減少した洞海湾の貧酸素水塊と低次生産過程について. 沿岸海洋研究 2010 ; 48-1 : 29-36.
- 18) 反田實, 赤繁悟, 有山啓之, 山野井英夫, 木村博, 團照紀, 坂本久, 佐伯康明, 石田祐幸, 壽久文, 山田卓郎. 瀬戸内海の栄養塩環境と漁業. 水産技術 2014 ; 7-1 : 37-46.
- 19) 福岡市水産振興課 : 福岡市農林統計 1981-2010.