

[資 料]

広域総合水質調査観測データによる 播磨灘の植物プランクトンの表層分布の経年変化

鈴木 元治¹ 古賀 佑太郎¹ 前川 鈴世¹ 宮崎 一¹ 藤森 一男¹

¹ 兵庫県環境研究センター 水環境科 (〒654-0037 神戸市須磨区行平町 3-1-18)

Long-Term Fluctuation in Phytoplankton Distribution in Surface Water of Harima-nada by Using Data of the Wide-Area Comprehensive Water Quality Study.

Motoharu SUZUKI¹, Yutaro KOGA¹, Suzuyo MAEKAWA¹,
Hajime MIYAZAKI¹ and Kazuo FUJIMORI¹

¹ Water Environment Division, Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences,
3-1-18, Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0037, Japan

環境省による広域総合水質調査の観測データを用いて、播磨灘における6地点の植物プランクトンの表層分布の2002年度から2015年度の経年変化を解析した。その結果、植物プランクトン細胞密度の経年変化は水質の変化とは異なり、南部沿岸域に上昇傾向がみられた。沿岸域では珪藻類が優占的であったが、北西部沿岸域では2009年頃からクリプト藻類等の割合が増加し、南部沿岸域では2012年頃からラフィド藻類及び渦鞭毛藻類の割合が増加する傾向がみられた。灘中央部では植物プランクトン種別の経年変化は特にみられず、珪藻類、有色鞭毛類及びクリプト藻類の割合が高かった。珪藻類の中で、*Skeletonema* 属の割合が高かったのは北部沿岸域のみであった。また、北西部沿岸域以外では *Chaetoceros* 属の割合が2010年頃から増加する傾向がみられた。

I はじめに

兵庫県では、「豊かで美しい瀬戸内海の再生」のために、貧栄養化した瀬戸内海播磨灘への栄養塩供給を下水処理場の栄養塩管理運転¹⁾等により実施している。また、2019年10月25日には、瀬戸内海の望ましい栄養塩濃度として、全窒素(TN) 0.2 mg L⁻¹以上、全りん(TP) 0.02 mg L⁻¹以上という全国初の水質目標値(下限値)が定められた。現在の播磨灘では、TN濃度がこの下限値を満たしていない状況にあることから、今後、より一層の栄養塩供給対策の実施が見込まれる。対策の実施に際しては、播磨灘の水質はもとより、生態系にどのような変化が生じるかを観測することが肝要で

ある。また、対策の効果を数値モデルによって予測するためには、生態系の情報が必要であり、特に栄養塩を生態系に繋げる役割を担う植物プランクトンの情報は必要不可欠である。

播磨灘の植物プランクトンの観測は、水産試験研究機関による浅海定線調査や、環境省による広域総合水質調査によって実施されている。広域総合水質調査は、東京湾、伊勢湾及び瀬戸内海の3つの閉鎖性海域について、水質及び底質の汚濁状況とプランクトンの生息状況を把握するための調査であり、瀬戸内海では、1972年度から兵庫県を含めた11府県が環境省からの委託を受け、調査を実施している。調査結果は、環境省の水環境総合情報サイト²⁾にて公開されており、エクセル形式

等でのダウンロードが可能となっている。

本報では、この広域総合水質調査による植物プランクトンと水質の観測データを活用し、播磨灘の植物プランクトンの表層分布の経年変化について水質変化と共に解析した。

II 方法

広域総合水質調査のプランクトン調査における水深1 mの植物プランクトンの種別毎の細胞数（以下、細胞密度 (cell mL⁻¹) とする) を環境省の水環境総合情報サイトより入手した。また、水質調査から水温、塩分、透明度、COD、全窒素(TN)、アンモニア態窒素 (NH₄-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、硝酸態窒素 (NO₃-N)、全りん (TP)、りん酸態りん (PO₄-P) 及びクロロフィルa (Chl.-a) の各濃度を入手した。

植物プランクトンの調査方法は、海洋観測指針³⁾に準じている。すなわち、海水はポリ容器に採水された後、直ちにルゴール液により固定され、採水・沈殿法により日本海洋データセンター(JODC)が定める海洋生物コード⁴⁾の種別毎に細胞数が計数される。

解析の対象年度は、海洋生物コード改訂後の2002年度から2015年度までとした。各年度の調査頻度は、5月、7月、10月及び1月の計4回である。解析の対象地点は、Fig. 1に示す播磨灘の全6地点 (Stn.132, Stn.143, Stn.153, Stn.164, Stn.179 及びStn.182) とした。なお、Stn.132, Stn.143 及びStn.153の3地点は、2009年度以前の位置が現在と数百メートルほど異なっていたが、同地点として扱った。

なお、水温及び塩分を除く観測値の解析には、3データ移動平均値を用いた。これは、連続する3

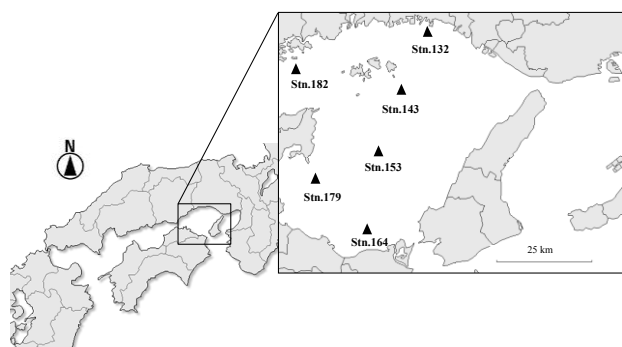


Fig. 1 Location of sampling stations.

回の観測値（例えば5月、7月及び10月）の平均をとっているため、季節変化は解析対象とはしない。季節変化は、細胞密度のみ別途解析した。

III 結果

3.1 水質の変化

各地点の2002年度から2015年度までの水温、塩分及び透明度をFig. 2に示す。なお、透明度は3データ移動平均値とした。水温は、サンプリング時期の違いによって7.3~29 °Cの範囲で周期的に変動したが、地点間の違いはほとんどみられず、経年変化も特にみられなかった (Fig. 2a)。塩分は、Stn.132及びStn.182に一時的に減少する時がみられた (Fig. 2b)。この2地点は沿岸域であり、塩分が減少した日若しくはその前日には降雨があっ

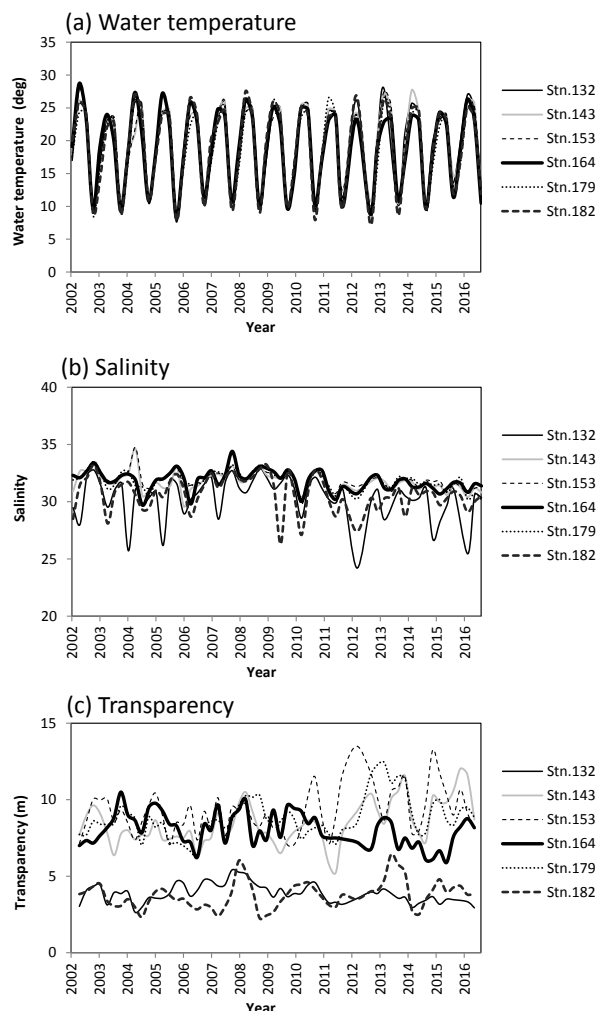


Fig. 2 Long-term fluctuations in (a) water temperature, (b) salinity and (c) transparency at each station. Transparency is 3-value moving average.

たことから、河川水等からの流入量の増加の影響が現れたものと考えられる。その他の地点については、塩分32程度ではほぼ一定であった。透明度は、北部沿岸域の Stn.132 及び北西部沿岸域の Stn.182 の2地点が 4 m 程度であり、他の地点よりも低かった (Fig. 2c)。また、Stn.132, Stn.143 及び Stn.153 の透明度は、2011 年頃からやや上昇する傾向がみられた。

各地点の COD, TN, TP 及び Chl.-a 濃度の 3 データ移動平均値を Fig. 3 に示す。いずれの濃度も Stn.132 が高く、Stn.164 が低いといった傾向がみられた。TN 及び TP は、比較的高濃度の地点において経年的な減少傾向が顕著にみられた (Fig. 3b,c)。

次に、溶存無機態の窒素 (DIN; $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ の合計) とりん (DIP; $\text{PO}_4\text{-P}$) のモル比 (DIN/DIP 比) の 3 データ移動平均値を Fig. 4 に示す。1990 年代以降の播磨灘では、DIN/DIP 比が海水中の植物プランクトンの構成比として知られるレッドフィールド比 (RF 比)⁵⁾ の値 ($\text{N/P}=16$) を下回っており、植物プランクトンのバイオマス生産が窒素制限の状態にあることが示唆されている⁶⁾。各地点の DIN/DIP 比は、2002 年から 2007 年までは RF 比より高い状況も多くみられたが、2007 年以降は RF 比前後で推移していた。なお、

Stn.182 の DIN/DIP 比は、RF 比を上回ることがほとんどなく、他の地点と比べて変化が少なかった。

3.2 植物プランクトン細胞密度の変化

2002 年度から 2015 年度までの各地点の植物プランクトン細胞密度の 3 データ移動平均値を Fig. 5 に示す。植物プランクトン細胞密度の地点間の差異は、Stn.132 が高く、Stn.164 に低い傾向がみられ、COD 等の水質と同じであった。一方で、細胞密度の経年変化は水質の変化とは異なり、Stn.164 に上昇傾向がみられ、他の地点には顕著な変化がみられなかった。このため、Stn.164 の細胞密度の経年的な上昇には、水質以外の要因があるものと考えられる。なお、帰山ら⁷⁾は、Stn.164 と同海域における 1987 年から 2017 年までの植物プランクトンの観測結果から、鉛直 8 層の平均細胞密度の年平均値に明瞭な経年変化は認められないと報告している。本結果との違いは、採水深度が関係している可能性がある。

西川⁸⁾は、播磨灘の北部及び中部の海域を対象とした表層海水中の植物プランクトン細胞密度を 1973 年から 2008 年まで調査し、1980 年代以降は比較的一定であると報告している。このことから、北部及び中部の植物プランクトン細胞密度は、1980 年代から 2015 年度まで変わらない状況が続

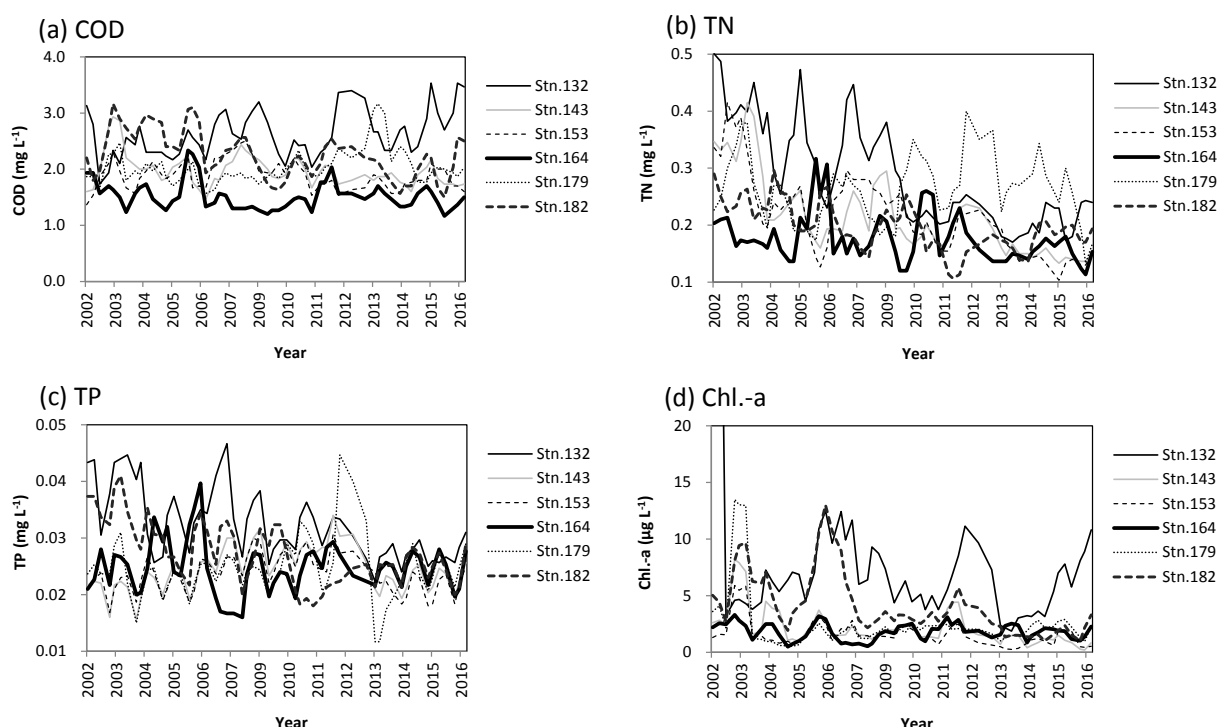


Fig. 3 Long-term fluctuations in (a) COD, (b) TN, (c) TP and (d) Chl.-a concentrations (3-value moving average) at each station.

いているといえる。

サンプリング月別に各地点の植物プランクトン細胞密度をみると、各月の中央値は**Fig. 6**のとおりであり、全地点で5月及び7月に増加する傾向がみられた。

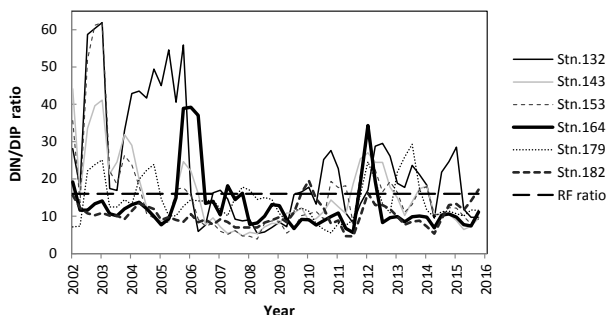


Fig. 4 Long-term fluctuations in DIN/DIP ratios (3-value moving average) at each station. The Redfield(RF) ratio is 16.

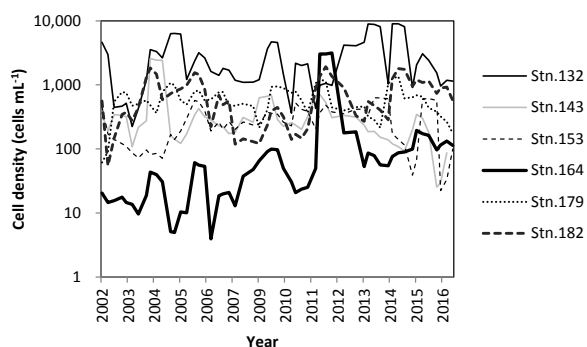


Fig. 5 Long-term fluctuations in total cell densities of phytoplankton (3-value moving average) at each station.

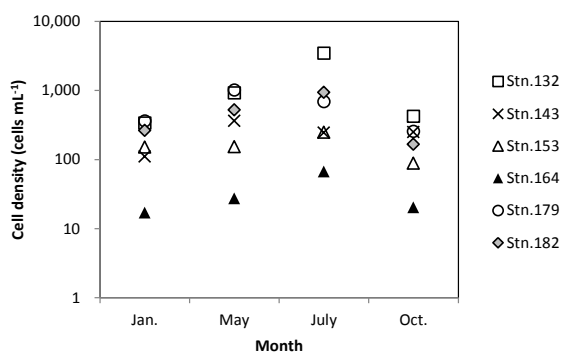


Fig. 6 Seasonal fluctuations in total cell densities of phytoplankton (median) at each station.

3.3 植物プランクトンの種別組成の変化

各地点の植物プランクトン細胞密度について、珪藻類、クリプト藻類、ラフィド藻類、渦鞭毛藻類、その他の有色鞭毛類及びその他の6つに分類した種別組成の経年変化(3データ移動平均値)を**Fig. 7**に示す。沿岸域のStn.132, Stn.164及びStn.182では珪藻類が優占的であったが、北西部沿岸域のStn.182では2009年頃からクリプト藻類等の割合が増加し、また、南部沿岸域のStn.164では2012年頃からラフィド藻類及び渦鞭毛藻類の割合が増加する傾向がみられた。Stn.164では、2012年にDIN/DIP比(**Fig. 4**)と細胞密度(**Fig. 5**)が一時的に上昇していたことから、何らかの環境変化があったものと推察される。灘中央部のStn.143, Stn.153及びStn.179には、経年変化はみられず、珪藻類、有色鞭毛類及びクリプト藻類の割合が高かった。

3.4 珪藻類の属組成の変化

各地点の珪藻類の属組成の経年変化(3データ移動平均値)を**Fig. 8**に示す。栄養塩濃度が高い海域で高密度⁹⁾となる*Skeletonema*属の割合が高かったのはStn.132のみであり、その他の地点では*Skeletonema*属の他に*Chaetoceros*属、*Eucampia*属、*Nitzschia*属、*Leptocylinndrus*属及びその他の珪藻類が混在していた。また、Stn.182を除いた地点において、2010年頃から*Chaetoceros*属の割合が増加する傾向がみられた。

堀ら¹⁰⁾によると、大阪湾と播磨灘のDIN:DIP比(DIN/DIP比)が100以上の非常に高い海域では、*Skeletonema*属、*Pseudonitzschia*属(本報では*Nitzschia*属に分類)及び*Eucampia*属が高密度で出現し、同比が中程度では*Leptocylinndrus*属が高密度となり、同比が10以下の非常に低い海域では*Chaetoceros*属が高密度となる。本観測データでは、*Chaetoceros*属の割合が増加した地点のDIN/DIP比は、*Chaetoceros*属が高密度となる領域(10以下)近くまで低下している(**Fig. 4**)。一方で、属組成に経年的な変化がみられなかったStn.182のDIN/DIP比は、他の地点よりも変化が穏やかであった。これらのことから、DIN/DIP比の変化が珪藻類の属組成に影響を与えた可能性が示唆される。

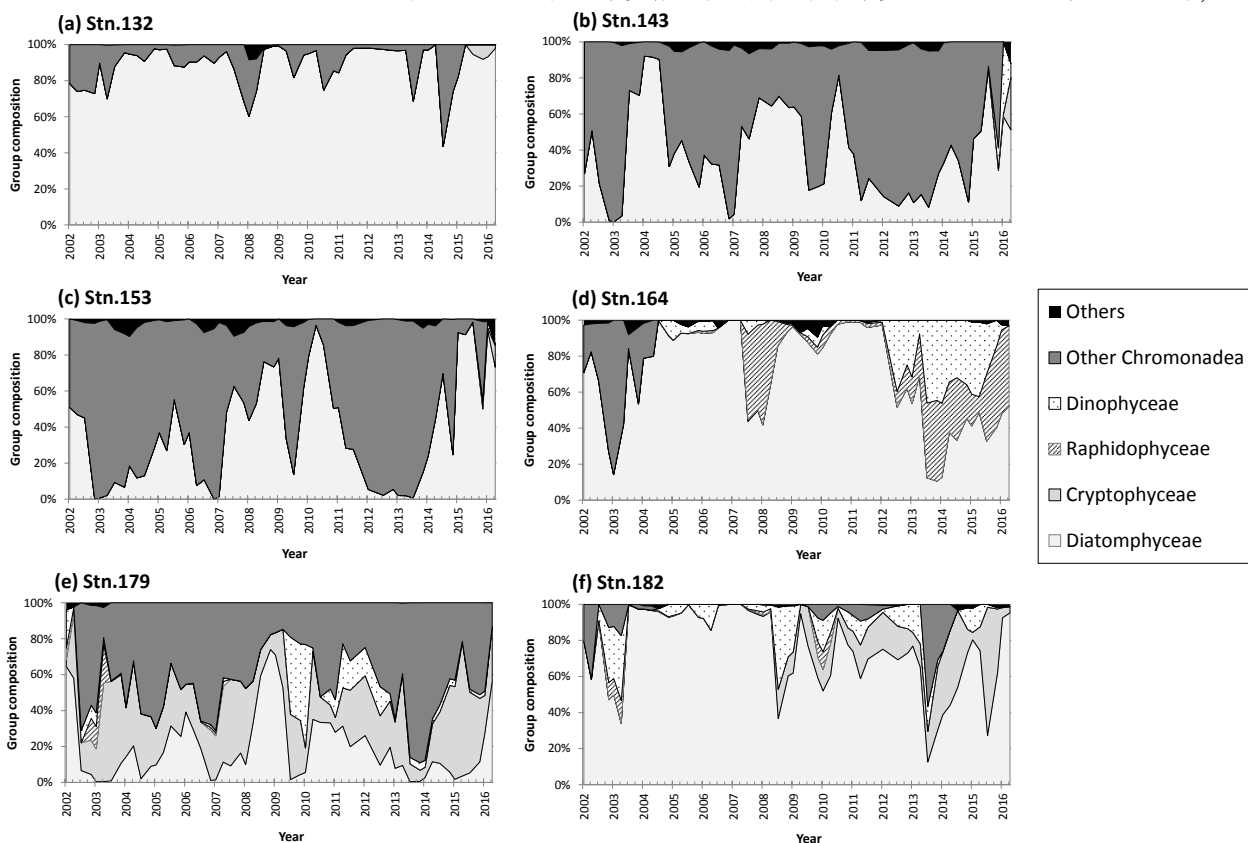


Fig. 7 Long-term variations in class composition of total phytoplankton cells densities (3-value moving average) at each station.

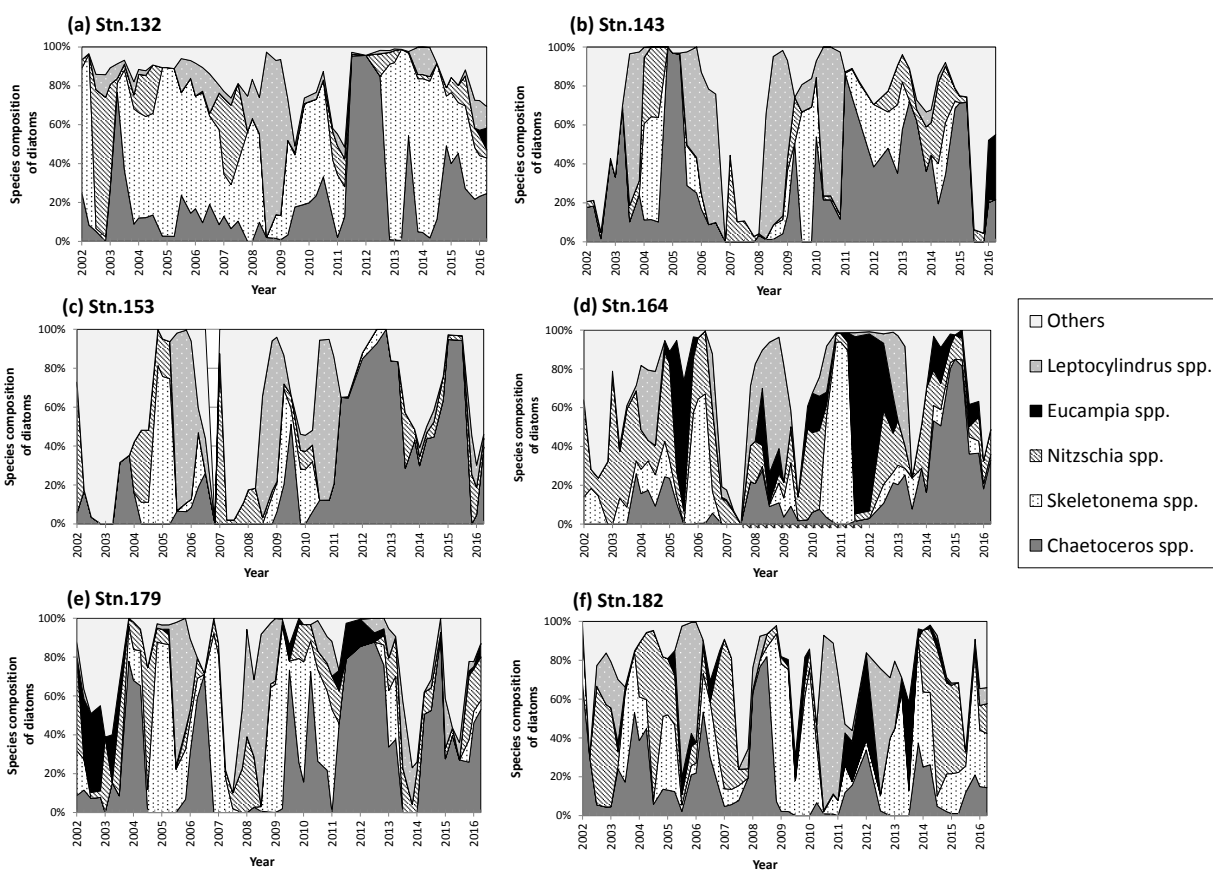


Fig. 8 Long-term variations in species composition of diatoms (3-value moving average) at each station.

IV 結 論

環境省による広域総合水質調査の2002年度から2015年度の観測データを用いて、播磨灘の植物プランクトンの表層分布の経年変化を解析した結果、次の知見が得られた。

- 1) 植物プランクトン細胞密度の地点間の違いは、COD, TN, TP及びChl.-aの濃度差と類似しており、COD等の濃度の高い北部沿岸域のStn.132の細胞密度が最も高く、COD等の濃度の低い南部沿岸域のStn.164が最も低かった。しかしながら、他の地点にはみられない上昇傾向がStn.164にみられたことは、COD等の経年変化とは異なっていた。
- 2) 沿岸域のStn.132, Stn.182及びStn.164では珪藻類が優占的であったが、北西部沿岸域のStn.182では2009年頃からクリプト藻類等の割合が増加し、南部沿岸域のStn.164では2012年頃からラフィド藻類及び渦鞭毛藻類の割合が増加する傾向がみられた。灘中央部のStn.143, Stn.153及びStn.179には経年変化はみられず、珪藻類、有色鞭毛類及びクリプト藻類の割合が高かった。
- 3) 珪藻類の中で、高栄養塩濃度下で高密度となる*Skeletonema*属の割合が高かったのは、北部沿岸域のStn.132のみであった。また、*Chaetoceros*属は、北西部沿岸域のStn.182以外の地点において、2010年頃から割合が増加する傾向がみられた。

文 献

- 1) 兵庫県：播磨灘流域別下水道整備総合計画補足説明資料（平成 30 年 9 月）

- 2) 環境省：水環境総合情報サイト, <https://water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/>（参照2019.7.23）
- 3) 気象庁：海洋観測指針（第1部），p114（1999）
- 4) 日本海洋データセンター（海上保安庁水路部）：海洋生物コード（プランクトン）2001年版（2002）
- 5) Redfield, A. C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.*, 46, 205-222.
- 6) Nishikawa, T., Y. Hori, S. Nagai, K. Miyahara, Y. Nakamura, K. Harada, M. Tanda, T. Manabe and K. Tada : Nutrient and Phytoplankton Dynamics in Harima-Nada, Eastern Seto Inland Sea, Japan During a 35-Year Period from 1973 to 2007. *Estuaries and Coasts*, 33, 417-427(2010)
- 7) 帰山秀樹, 本田恵二, 長谷川尋士, 宮川昌志, 吉松定昭, 多田邦尚：播磨灘南部における植物プランクトン群集構造の長期変動と増殖特性の関係（*Skeletonema* 属を例に）。沿岸海洋研究, 56(2), 79-85（2019）
- 8) 西川哲也：播磨灘における海洋環境と植物プランクトンの長期変動解析。沿岸海洋研究, 56(2), 73-78（2019）
- 9) 山田真知子, 鶴田新生, 吉田陽一：植物プランクトンの富栄養階級表, 日本水産学会誌, 46(12), 1435-1438（1980）
- 10) 堀豊, 宮原一隆, 長井敏, 辻野耕実, 中嶋昌紀, 山本圭吾, 吉田陽一, 荒木伸生, 酒井康彦：大阪湾および播磨灘における主要植物プランクトンとDIN:DIP比等との相互関係。日本水産学会誌, 64(2), 243-248（1998）