

原 著

伊勢湾の水質と植物プランクトンの年代推移の解析

渡邊卓弥, 石田健太, 国分秀樹*, 岩出将英**, 辻将治***, 大八木真希****, 千葉賢****

Analysis of Chronological Transitions of Water Quality and Phytoplankton in Ise Bay

Takuya WATANABE, Kenta ISHIDA, Hideki KOKUBU*, Shoen IWADA**, Masaharu TSUJI***, Maki OYAGI**** and Satoshi CHIBA****

伊勢湾の水質と植物プランクトンの年代推移について、広域総合水質調査の表層水の分析データを用いて解析を行った。

CODは湾奥では増加傾向にあるが、湾央及び湾口では横ばいであった。TOCは湾奥で2000年代をピークに2010年代にかけて減少しており、湾央及び湾口では1990年代をピークにその後減少していた。また、いずれの区域でも2010年代のCOD/TOCが最も高いことから、CODとして評価される分解性の有機物の割合が2010年代は1980年代以降で最も多い状態であると考えられた。全窒素(TN)、溶存態窒素(DIN)、全リン(TP)及び溶存態リン(DIP)は1980年代以降減少傾向にあり、特に2000年代から2010年代で減少していた。

クロロフィルaは湾奥で1980年代から1990年代にかけて増加し、2000年代まで横ばいであったが、2010年代に入り減少した。また、湾央及び湾口では1980年代から2010年代まで単調減少していた。植物プランクトンの総細胞数は全湾的に1980年代から2010年代まで単調増加していた。植物プランクトンの優占種の上位6種は上位から順に*Skeletonema* sp., *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira* sp., *Cerataulina* sp., *Prorocentrum* sp., *Nitzschia* sp.であった。このなかで*Skeletonema* sp.及び*Chaetoceros* sp.は1980年代から2010年代まで全湾的に単調増加しており、伊勢湾における植物プランクトンの総細胞数の増加に大きく関わっていることが推測された。

キーワード: 伊勢湾, 水質, 植物プランクトン

はじめに

伊勢湾の水環境は、高度経済成長期に悪化が進行したが、1980年から実施している水質総量削減等の取り組みの結果、陸域からの汚濁負荷量の減少により、TN及びTPは減少し、改善傾向にあるものの¹⁾、CODは減少せず、環境基準達成率は高くない状態である¹⁾。

近年、全国的に海域の貧栄養化が進み、その結果水産資源が減少したとする意見もある²⁾が、埋立てや臨海部開発によって干潟やアマモ場といった

生物生産場や物質循環を担う場所が減少してきたことや海水温上昇なども水産資源減少に影響していると考えられる。

現在伊勢湾では、「きれいで豊かな海」をキーワードに、水質的な「きれいさ」と生物的な「豊かさ」の両立を目指す視点で総合的な取り組みを進めることが重要であると考えられている。そのなかで、「きれいさ」とは、環境基準として定められているCOD、TN、TP及び底層溶存酸素量(2021年現在、伊勢湾では類型指定なし)を指し、また、

*三重県環境生活部 大気・水環境課

**三重県水産研究所 鈴鹿水産研究室

***三重県農林水産部 水産振興課

****四日市大学 環境情報学部

環境基準には含まれないものの、生物の生育に必要な栄養源である DIN 及び DIP も重要なファクターであると筆者らは考える。

そして「豊かさ」とは、生物量や生物多様性のことを指すと考えるが、この中には我々が食物として恩恵を受ける水産資源だけではなく、海洋生態系内のすべての生物が含まれることから、高次生物の餌となる植物プランクトンや動物プランクトンも含まれる。植物プランクトンや動物プランクトンは、生態系ピラミッドの根幹を担う生物であることから、豊かさを評価する上では重要な位置付けにあると考えられる。

伊勢湾の「きれいさ」と「豊かさ」を評価するためには、まずは水質と生態系ピラミッドの基盤である植物プランクトンの変遷を明らかにすることが重要であると考え、本報ではこれらを解析した。

方法

1. 使用データ

環境省がホームページに公開している広域総合水質調査の伊勢湾の結果（1978年-2019年）³⁾を用いた。当該調査は伊勢湾の水質及び底質の汚濁の実態を統一的な手法で調査することにより、総合的な水質汚濁防止対策の効果を把握し、また、水質汚濁機構の検討に必要な基礎的資料を得ることを目的とした調査である。一部の項目を除き基本的に5月、7月、10月、1月の年間4回実施されている。

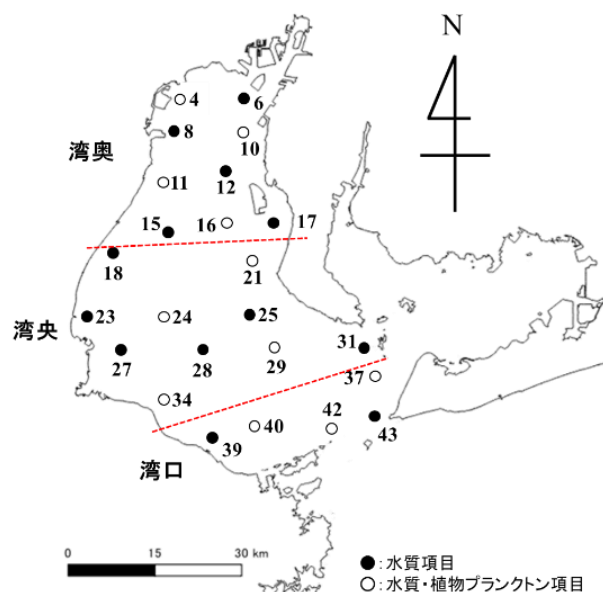
調査内容はCODやTN等の水質項目、植物プランクトンの同定及び計数等の植物プランクトン項目、粒度や硫化物等の底質項目、底生生物の同定及び計測の底生生物項目の合計4項目である。

本報では水質項目としてCOD、TOC、DOC、TN、TP、硝酸態窒素(NO₃-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)及びクロロフィルaのデータを、植物プランクトン項目として総細胞数及び優占種の計数及び同定のデータを解析に用いた。使用データのなかには、底層データが無い項目も含まれていたことから、本報では表層データのみを使用した。また、底層溶存酸素濃度については貧酸素化が進行し、深刻な状態となる夏季のデータが年間1回しか取得できないため扱わないこととした。

2. 解析地点

広域総合水質調査の伊勢湾の調査地点と解析

海域の概要を図1に示した。本報では三河湾を除く狭義の伊勢湾内を解析対象とし、水質項目は図1に示した黒丸及び白丸の合計24地点、植物プランクトン項目は調査地点が限られていたため、白丸の11地点を選定した。また、伊勢湾を、木曾三川から大量に流入する淡水の影響を大きく受ける湾奥、すり鉢状の地形により中底層で海水停滞が起こりやすい湾中央、外海との海水交換がある湾口という特徴のある3区域に区分した。



原地図: 国土地理院ウェブサイト
(地理院白地図を加工して作成)

図1 伊勢湾の調査地点と解析海域の概要

3. 解析方法

取得したデータから各調査地点における解析対象項目の年間平均値を算出し、その年間平均値を用いて区域（湾奥、湾中央、湾口）ごとの年間平均値を算出した。次に区域ごとの年間平均値を用いて年代（1980年代、1990年代、2000年代、2010年代）平均値を算出することで10年ごとの推移を図に示した。各年代について、1980年代は1980年から1989年、1990年代は1990年から1999年、2000年代は2000年から2009年、2010年代は2010年から2019年とした。ただし、植物プランクトンの総細胞数、優占種の同定及び計数結果は1982年からデータの記載が開始していたことから、当該項目の1980年代については1982年から1989年の平均値を用いた。また、解析対象として選定したクロロフィルaは水質項目として調査されてい

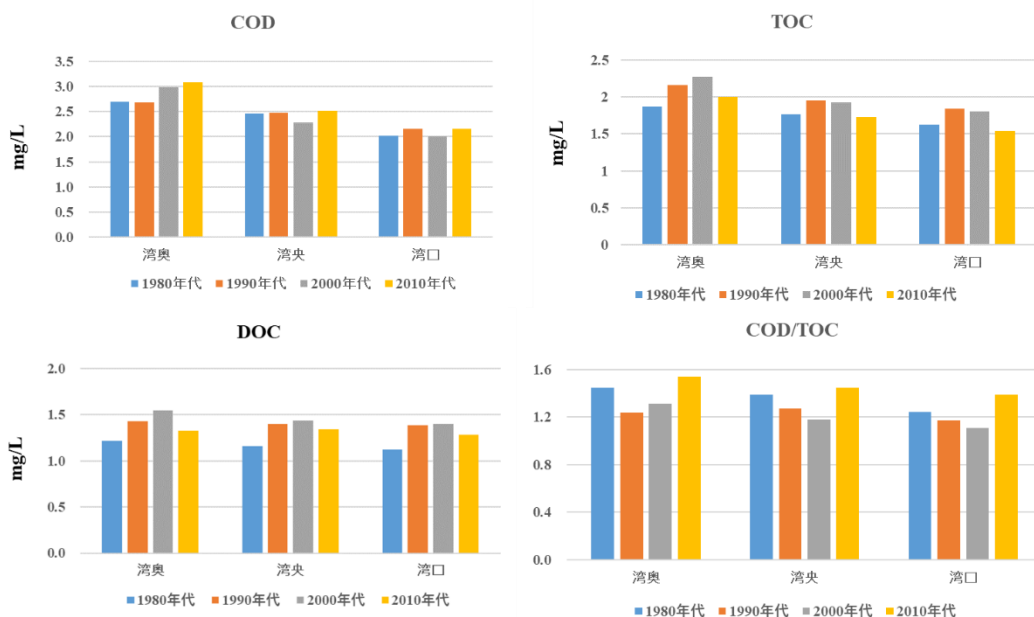


図2 伊勢湾のCOD、TOC、DOC及びCOD/TOCの年代推移（表層）

るが、本報では植物プランクトンの結果及び考察に結果をまとめた。

なお、報告下限値未満の数値は報告下限値として数値処理を行った。

結果及び考察

1. 水質

COD、TOC、DOC及びCOD/TOCの結果を図2に示した。有機物指標であるCODは1980年代から2010年代まで湾中央及び湾口ではほぼ横ばいであったが、湾奥では1990年代から2000年代に増加し、その後2010年代にかけて微増した。同じく有機物指標であるTOCは湾中央及び湾口では1980年代から1990年代まで増加し、1990年代から2000年代まで横ばい、2000年代から2010年代に減少していた。湾奥は1980年代から2000年代まで増加し、2000年代から2010年代にかけて減少していた。DOCはTOCと同様の増減傾向を示した。CODとTOCの傾向の違いとして、2000年代から2010年代まで、いずれの区域においてもCODは増加している一方でTOCは減少していた点が挙げられる。CODは酸化剤消費量を酸素消費量に換算した有機物の指標であり、物質の種類により酸化剤の消費量が変わる。つまり、酸化分解されやすい物質が多いとCODも増加するため、同量の炭素量であっても種類や質によって値が変化するという特徴がある。対してTOCは有機物を高温下で加熱分解し、発生した二酸化炭素を測定す

るという原理であることから、ほぼ全量の有機物を炭素量として正確にとらえることができる。

ここで、COD/TOCはTOCに対するCODとして評価される有機物量の比を表していることから、この比の変化は、海水中の分解性有機物の割合の変化と考えることもできる。よって、湾奥では1980年代から1990年代にかけて分解性有機物の割合が減少したが、その後2010年代にかけて増加し、湾中央及び湾口では1980年代から2000年代まで分解性有機物の割合は減少していたが、2010年代にかけて増加したと推測された。また、いずれの区域でも2010年代のCOD/TOCが最も高いことから、CODとして評価される分解性の有機物の割合が2010年代は1980年代以降で最も多い状態であると考えられた。このことが、CODの減少に結び付かず、環境基準の達成率が40～70%¹⁾を推移し続ける原因となっている可能性が考えられた。

次に、TN、TP、DIN及びDIPの年代推移を図3に示した。なお、DINはNO₃-N、NO₂-N及びNH₄-Nの合計値として算出し、DIPはリン酸態リン濃度を表した。

TNはいずれの区域でも1980年代から1990年代にかけて減少し、1990年代から2000年代まで横ばい、その後2010年代にかけて減少した。一方でTPはいずれの区域でも1980年代から2000年代まで横ばいであり、その後2010年代にかけて減少した。伊勢湾における総量削減計画として、

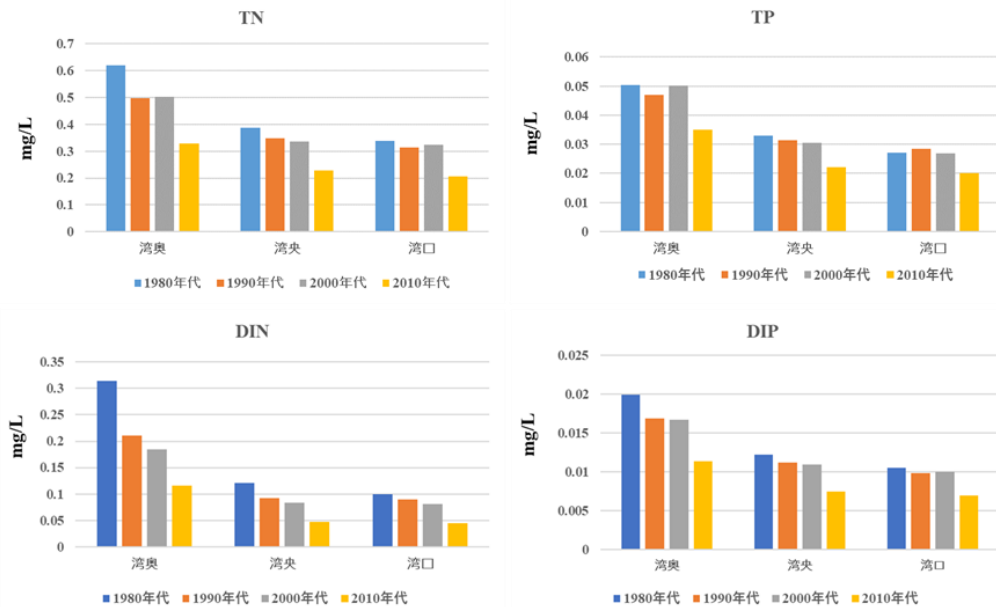


図3 伊勢湾のTN, TP, DIN及びDIPの年代推移(表層)

CODは開始当初の1980年から規制がされているものの、TN及びTPは第5次総量削減計画から追加された項目であり、第5次が適用されたのは2002年度であることから、2000年代から2010年代にかけての大きな減少は、第5次以降の総量規制による効果であると考えられた。また、DINはTNと同様の年代推移の挙動を示しており、DIPもTPと同様の挙動を示した。

2. 植物プランクトン

クロロフィルa及び植物プランクトンの総細胞数の年代推移を水質と同様に図4に示した。なお、植物プランクトンの総細胞数の1997年度のデータが前後数年の値と比較して、数値が2桁高かったため、異常値として1990年代の平均データから除外した。それに伴い、クロロフィルaの結果についても1997年度のデータを1990年代の平均データから除外した。

クロロフィルaは湾奥では1980年代から1990年代にかけて増加し、2000年代まで横ばいであったが、2010年代に入り減少した。また、湾央及び湾口は1980年代から2010年代まで単調減少していた。

一方で、植物プランクトンの総細胞数は全湾において1980年から2010年代まで単調増加していた。クロロフィルaが減少しているにも関わらず総細胞数が増加しているこの現象は、1細胞あたりの体積が縮小したことによるもの(=植物プランクトンの小型化)であると考えられている⁴⁾。

次に、植物プランクトンの優占種上位6種について図5に示した。ただし、ここでの優占種とは分類学における「種」ではなく、「属」として優占状態であることとする。上位6種の決定方法は、解析データとして扱った1982年から2019年までの平均細胞数を上位から数えて決定した。植物プランクトンの種ごとの細胞数データについては、2001年までと2002年以降でコード及び集計方法が異なっていたため、連続したデータとして扱うために次のとおり処理を行った。2001年までは属中の種名まで同定していたのに対し、2002年以降は属名までの同定であったことから、2002年以降の属名同定に合わせるために、2001年までのデータは、同属の種を全て合計した。なお、各種植物プランクトンの細胞数も図4の総細胞数と同様に1997年のデータを除外して解析を行った。

結果は上位から順に、*Skeletonema* sp., *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira* sp., *Cerataulina* sp., *Prorocentrum* sp., *Nitzschia* sp.であった。この中では*Prorocentrum* sp.のみが渦鞭毛藻類であり、その他は珪藻類である。*Skeletonema* sp.及び*Chaetoceros* sp.は、全湾において1980年代から2010年代にかけて単調増加しており、特に*Chaetoceros* sp.の2010年代、湾奥での増加は顕著であった。伊勢湾における植物プランクトンの総細胞数の増加は、これら2種が大きく関わっていることが推察された。*Thalassiosira* sp.及び*Nitzschia* sp.は2000年代にピークとなったものの、

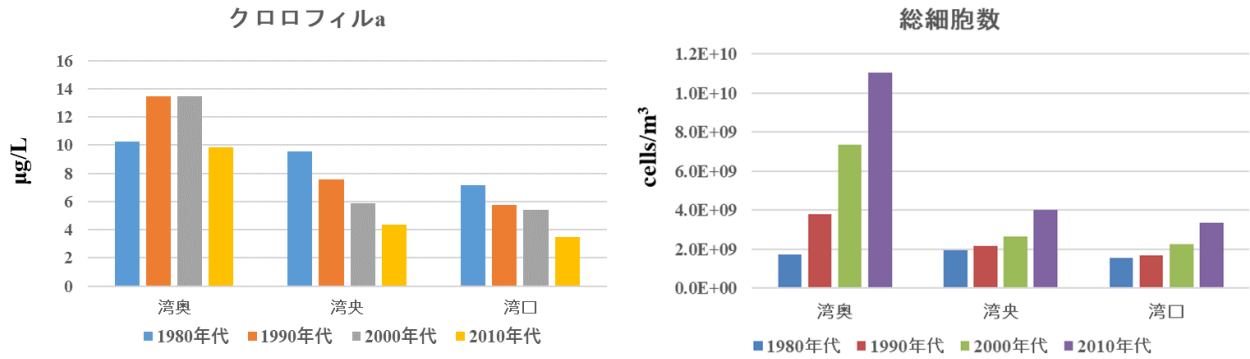


図4 伊勢湾のクロロフィルa及び植物プランクトンの総細胞数の年代推移（表層）

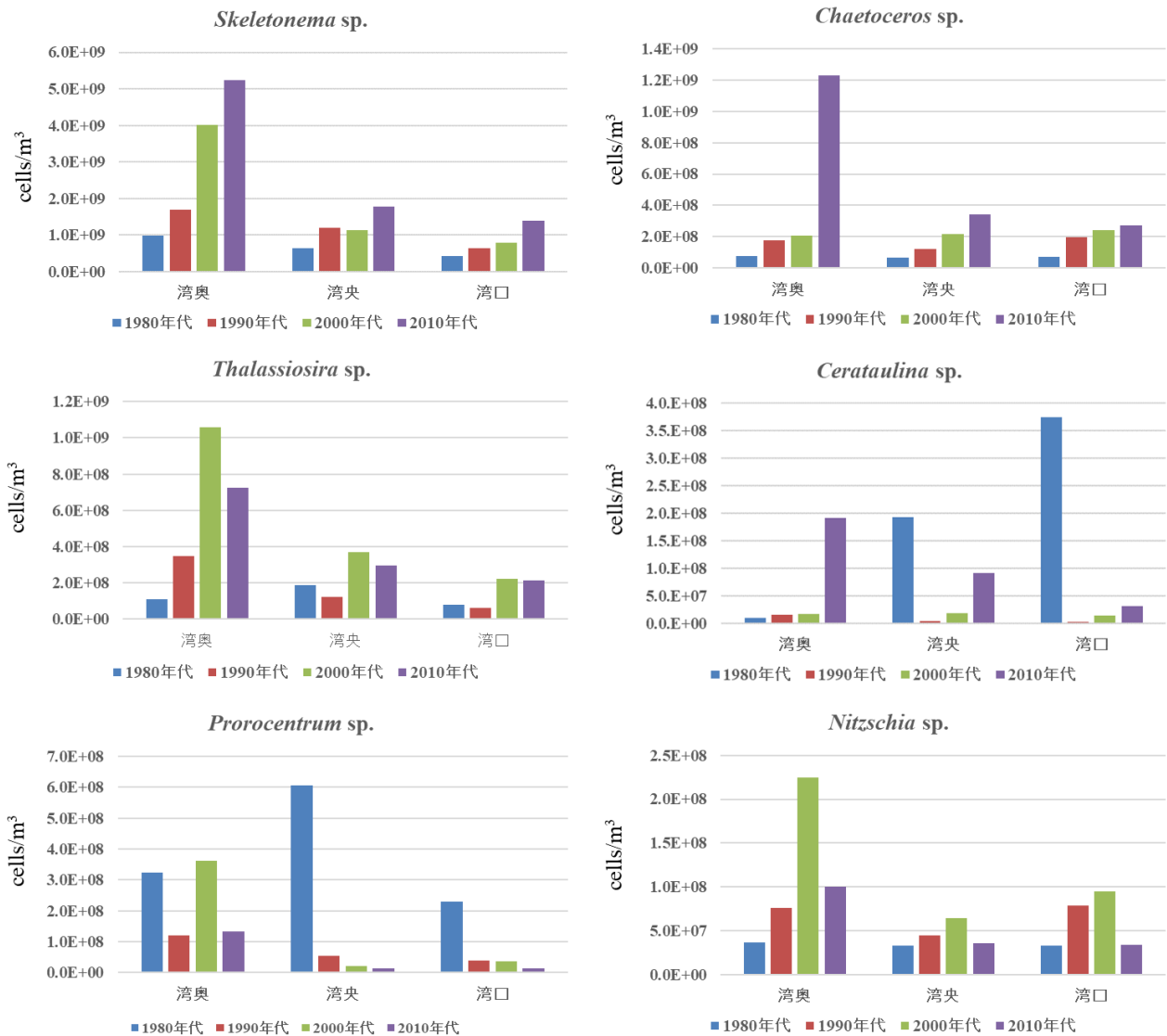


図5 伊勢湾の植物プランクトンの優占種上位6種と年代推移（表層）

2010年代にかけては減少していた。また、*Prorocentrum* sp.は2010年代には過去と比較して細胞数が減少していることがわかった。

結語

CODは湾奥で増加傾向、湾央及び湾口で横ばいであるが、TN及びTPが2000年代から2010年代にかけて全湾的に大きく減少したのは水質総量規制

の効果であると考えられた。また、いずれの区域でも 2010 年代の COD/TOC が最も高いことから、COD として評価される分解性の有機物の割合が 2010 年代は 1980 年代以降で最も多い状態であると考えられた。このことが、COD の減少に結び付かず、環境基準の達成率が向上しない原因となっている可能性が考えられた。

クロロフィル a は湾奥では 2000 年代から 2010 年代に減少しており、湾央及び湾口では 1980 年代から 2010 年代にかけて単調減少していた。一方で植物プランクトンの総細胞数は 1980 年代から 2010 年代にかけて全湾的に単調増加していた。

植物プランクトンの優占種について解析を行ったところ、伊勢湾の植物プランクトンの優占種の上位 6 種は上位から順に、*Skeletonema* sp., *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira* sp., *Cerataulina* sp., *Prorocentrum* sp., *Nitzschia* sp. であった。特に *Skeletonema* sp. 及び *Chaetoceros* sp. は 1980 年代から 2010 年代まで全湾で単調増加しており、伊勢湾における植物プランクトンの総細胞数の増加には、これら 2 種が大きく関わっていることが推測された。

クロロフィル a の減少に反して植物プランクトンの総細胞数が増加している現象については、栄養塩濃度の変化等による細胞の小型化が原因と考えられているが⁴⁾、動物プランクトンについては小型種である *Oithona* 属が 2010 年代に著しく

増加していることも明らかになっている⁵⁾。生態系ピラミッドの基礎部分にあたる植物プランクトンや動物プランクトンが変化してくることで、捕食者である底生生物や魚類への影響も考えられることから、今後は高次生物の生物量や種類の変遷の整理とそれらの因果関係の解明が求められる。

文 献

- 1) 環境省:令和 3 年度環境白書. 第 2 部, 第 4 章, 第 2 節, 水環境の保全 (2021) .
- 2) 兵庫県農政環境部環境管理局水大気課:工場・事業場における栄養塩類供給に係るガイドライン (ナレッジ集) (令和 2 年 3 月)
<https://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/application/files/8615/8995/1796/2020.3.30.pdf> (2021 年 11 月 25 日アクセス) .
- 3) 環境省:水環境総合情報サイト
<https://water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/mizu/download/download.asp> (2021 年 11 月 25 日アクセス) .
- 4) 千葉賢:伊勢湾の植物プランクトンの小型化と水質の長期変化の関係について. 四日市大学論集, **32** (1), 139-155 (2019-2020) .
- 5) 千葉賢:伊勢湾の動物プランクトン群集の経年変化に関する研究. 四日市大学論集, **34** (1), 151-167 (2001) .

Analysis of Chronological Transitions of Water Quality and Phytoplankton in Ise Bay

Takuya WATANABE, Kenta ISHIDA, Hideki KOKUBU, Shoei IWANE
Masaharu TSUJI, Maki OYAGI and Satoshi CHIBA

Key words : Ise bay, water quality, phytoplankton

We analyzed chronological transitions of water quality and phytoplankton in Ise Bay with analytical data of surface water of the wide area comprehensive water quality survey.

COD tended to increase in the inner part of the bay, but remained flat in the central part and the mouth of the bay. TOC peaked in the 2000s and decreased toward the 2010s in the inner part of the bay, and it peaked in the 1990s and then decreased in the central part and the mouth of the bay. In addition, based on that COD/TOC was the highest in the 2010s in any area, it was considered that the proportion of degradable organic matter evaluated as COD was the highest since the 1980s. TN, DIN, TP and DIP were on a downward trend, especially from the 2000s to the 2010s.

Chlorophyll a increased in the inner part of the bay from the 1980s to the 1990s and remained flat until the 2000s, but decreased in the 2010s. In addition, it decreased monotonically in the central part and the mouth of the bay from the 1980s to the 2010s. The total number of phytoplankton cells increased monotonically in all areas of the bay from the 1980s to the 2010s. The top 6 dominant species of phytoplankton were *Skeletonema* sp., *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira* sp., *Cerataulina* sp., *Prorocentrum* sp. and *Nitzschia* sp. in order from the top. Among them, *Skeletonema* sp. and *Chaetoceros* sp. increased monotonically in all areas of the bay from the 1980s to the 2010s, and it was speculated that they were greatly involved in the increase in the total number of phytoplankton cells in Ise Bay.