

# 大阪湾における水質の長期変動—定線観測 50 年の記録—<sup>1</sup>

秋山 諭<sup>2</sup>

## Long-Term Variability in Water Quality in Osaka Bay: A 50-Year Record from Fixed-Station Monitoring<sup>1</sup>

Satoshi AKIYAMA<sup>2</sup>

### Summary

This study quantitatively evaluates long-term environmental changes in Osaka Bay, using a 50-year dataset (1973–2022) derived from a fixed-station monitoring program. Osaka Bay is a semi-enclosed coastal system characterized by pronounced spatial gradients, comprising a well-mixed western region and a stratified eastern region influenced by substantial riverine inputs. Trend analyses revealed a significant increase in seawater temperature throughout the water column, with an overall rise of approximately 1.1–1.2°C over the study period. In contrast, dissolved inorganic nutrients, including nitrogen and phosphorus, exhibited marked decreasing trends, particularly since the late 1990s. These declines are closely associated with reductions in anthropogenic nutrient loading driven by environmental regulations. Concomitantly, water transparency increased, whereas chlorophyll-*a* concentrations and chemical oxygen demand decreased, indicating a decline in phytoplankton biomass and organic matter levels. Dissolved oxygen conditions in bottom waters showed partial improvement in offshore areas, although hypoxic conditions persist in the inner bay. Change-point analyses detected regime shifts during the 1990s, likely reflecting the combined effects of climate variability and anthropogenic influences. These results indicate that Osaka Bay has transitioned from a eutrophic to a more oligotrophic state, raising concerns regarding nutrient limitation in certain regions. Continuous long-term monitoring is essential for understanding such complex environmental changes and for developing adaptive management strategies in coastal ecosystems.

**キーワード:** 水温上昇, 栄養塩減少, トレンド検出, 変化点検出, 大阪湾

**keywords:** water temperature increase, nutrient reduction, trend detection, change-point detection, Osaka Bay

### 1. はじめに

大阪湾は瀬戸内海の東端に位置し、北東–南西方向に約 60 km の長軸と北西–南東方向に約 32 km の短軸を持つ楕円形の陥没湾で、明石海峡で播磨灘と、紀淡海峡で紀伊水道と繋がる半閉鎖的な海域である<sup>1)</sup>。その環境は、湾内の中央部を南北に走る水深 20 m の等深線を境として東側と西側に二分され、西部海域は海底地形が複雑で水深も大きく、2 つの海峡を通しての潮流による海水交換が大きい。そのため年間を通して強混合状態にあり、海水密度の季節変化は水温の季節変化に依存している<sup>2)</sup>。この海域は浸食環境にあるが、明石海峡の東西潮流の流路の違いによって生じる沖ノ瀬環流の中心には沖ノ瀬ができていて<sup>3)</sup>。これに対して東部海域は水深が 10~20 m と浅く平坦で、潮流が弱く、淡水流入による密度流が卓越した海域である。この海域は堆積環境にあり、最終氷期以降の堆積物が厚く積もっている<sup>3)</sup>。特に湾奥部では水深 5 m で密度が大きく異なる弱混合状態にあり、密度差が小さくなる冬季にも成層は弱いながらも維持さ

受付 2026.05.14 受理 2026.06.11

<sup>1</sup> 本稿は、2024 年 3 月発行の「瀬戸内海ブロック浅海定線調査 観測 50 年成果集」の一部\*を基に、題名・内容を再構成の上で転載したものである。

\* 秋山諭 (2024). 3. 大阪府海域 (大阪湾) (国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所編, 瀬戸内海ブロック浅海定線調査 観測 50 年成果集), 広島, pp. 44–74.

<sup>2</sup> Corresponding E-mail: AkiyamaS@knsk-osaka.jp

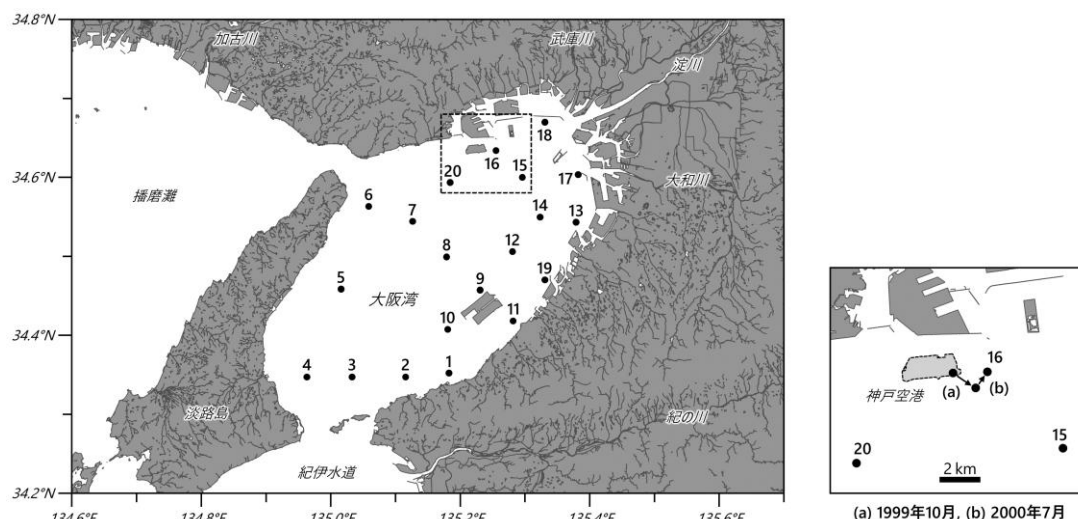
れる<sup>2)</sup>。後背地には大都市と臨海工業地帯が密集し、淀川、大和川をはじめとして湾全域淡水流入量の 90% を占める河川が湾奥部に集中する<sup>4)</sup>。大都市を通ることによって陸域から栄養塩の排出を受けた河川水が連続的に流入し、湾の富栄養化が進んだ結果、東部海域では赤潮が頻発し、夏季には底層水が貧酸素化することが大阪湾の特徴である<sup>5,6)</sup>。

ここでは、過去 50 年以上にわたり継続実施されている浅海定線調査結果に基づき、大阪湾における水質環境の長期変化についてとりまとめた。

## II. 材料および方法

### 1. 調査定点

調査定点は第 1 図に示す 20 定点である。Sts. 1~19 では調査開始当初である 1972 年 1 月から、St. 20 では 1975 年 4 月から調査が行われている。また、St. 16 については、神戸空港建設工事のため 1999 年 10 月から St. 15 寄りに移動したが、往来する船舶の増加などにより観測作業の安全性に問題が生じたことから 2000 年 7 月から新たな St. 16 を St. 18 寄りに移動した（第 1 図）<sup>7)</sup>。



第 1 図 調査定点図

### 2. 調査方法・項目

#### 1) 調査船

1998 年 3 月以前は「はやて」(40 トン [旧測度])、1998 年 4 月~2013 年 3 月は初代「おおさか」(28 トン [新測度])、2013 年 4 月以降は 2 代目「おおさか」(19 トン [新測度]) による。

#### 2) 採水層・採水方法

- (1) 表層：北原採水器または採水バケツによる。
- (2) 中層 (5, 10, 20 m 層)：北原式採水器による (1991 年 4 月の CTD 導入以前。CTD 導入後は採水なし)。
- (3) 中層 (30 m 層)：転倒採水器による (同上)。
- (4) 底層：Sts. 1, 9~20 (海底上 1 m) は北原式採水器, Sts. 2~7 (海底上 5 m), St. 8 (海底上 2 m) では 2013 年 2 月以前は転倒採水器, 2013 年 3 月以降はニスキン採水器による。

#### 3) 一般項目 (基本的には毎月上旬に実施)

- (1) 水温：1991 年 3 月以前は棒状温度計 (転倒採水器を用いた場合は転倒温度計)、1991 年 4 月以降は、表層は棒状温度計、それ以外は CTD による。
- (2) 塩分：1991 年 3 月以前はサリノメーター、1991 年 4 月以降は、表層はサリノメーター、それ以外は CTD による。
- (3) 透明度：セッキ板による。

#### 4) 特殊項目 (2, 5, 8, 11 月に一般項目と同時に実施)

- (1) 栄養塩 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ) : 1976 年 2 月以前は分光光度計による比色分析<sup>8)</sup>, 1976 年 5 月以降はオートアナライザーによる. なお, オートアナライザーは 1991 年 2 月以前にはテクニコン社製 AA2, 1991 年 5 月~2001 年 2 月はブラン・ルーベ社製 TRAACS 800, 2001 年 5 月~2006 年 2 月はブラン・ルーベ社製 TRAACS 2000, 2006 年 5 月以降はビーエルテック社製 swAAt による. 本稿では,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  の合計値を溶存態無機窒素 (DIN),  $\text{PO}_4\text{-P}$  を溶存態無機リン (DIP) としている.
- (2) 溶存酸素濃度 (DO) : 2010 年 11 月以前はウィンクラーアジ化ナトリウム変法<sup>9)</sup>, 2011 年 2 月以降は DO センサー搭載 CTD による.
- (3) クロロフィル *a* : 1977 年に追加された. アセトン溶液による抽出液を蛍光測定もしくは吸光度測定により定量<sup>8)</sup>. 1988 年 2 月以前はターナーデザイン社製蛍光光度計 Turner 111, 1988 年 5 月~2007 年 2 月は日立製作所製分光光度計 F-1200, 2007 年 5 月~2019 年 2 月はターナーデザイン社製蛍光光度計 TD-700, 2019 年 5 月以降はターナーデザイン社製蛍光光度計 Trilogy による.
- (4) 化学的酸素要求量 (COD) : アルカリ性過マンガン酸カリウム法<sup>9)</sup>による. 2020 年 2 月以降, 分析項目から除外.

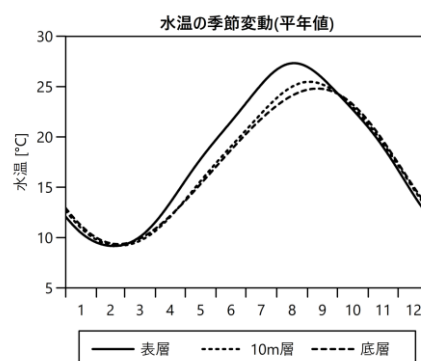
### 3. データ解析

各観測項目について, まず, 1973 年 1 月から 2022 年 12 月までの観測年月ごとに調査地点全点のデータを算術平均した後, 平年値を算出した. このうち, 水温については, 秋山・中嶋<sup>10)</sup>にならい周期関数を用いて, 各年の調査日の違いを考慮した平年値を求めた. 水温以外の項目については, 調査期間中の各月データの単純平均によって平年値を求めた. 次に, 観測値と平年値の差である平年偏差の時系列データを用いて, 秋山・中嶋<sup>10)</sup>と同様にトレンドの有無と大きさ, ジャンプ検出についての長期変動解析を行った. ここで, ノンパラメトリック検定である Mann-Kendall 検定でトレンドの有無を, Sen's Slope でトレンドの大きさを調べた. また, ジャンプについてはノンパラメトリックの時系列の均質性検定である Pettitt 検定により変化点を求めた. 長期変動解析は全ての月のデータを用いた解析と 2, 5, 8, 11 月の季節ごとのデータを用いた解析を行った. なお, 周期関数を用いた水温の平年値推定と長期変動解析には R version 4.3.1<sup>11)</sup>を使用した.

## III. 結果および考察

### 1. 水温

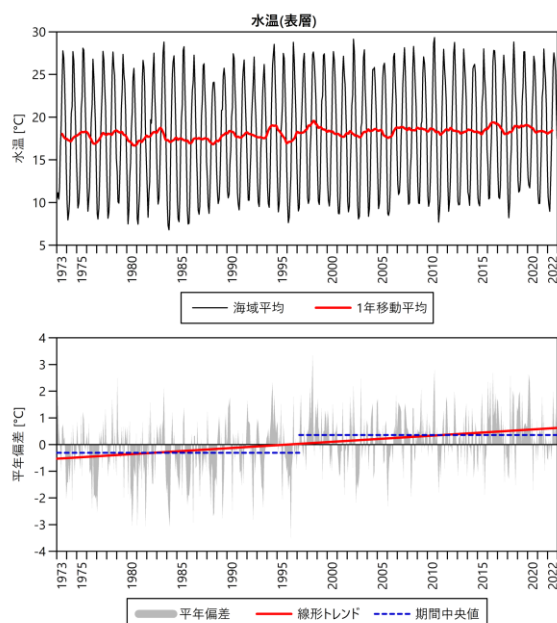
水温の平年値の季節変動を第 2 図に示した. 表層は, 2 月 18 日頃に極小 ( $9.2^{\circ}\text{C}$ ), 8 月 18 日頃に極大 ( $27.3^{\circ}\text{C}$ ), 年間平均値が  $18.1^{\circ}\text{C}$  となるような周期関数で表現された. 10 m 層は, 2 月 23 日頃に極小 ( $9.2^{\circ}\text{C}$ ), 9 月 3 日頃に極大 ( $25.5^{\circ}\text{C}$ ), 年間平均値が  $17.2^{\circ}\text{C}$  であった. 底層は, 2 月 23 日頃に極小 ( $9.4^{\circ}\text{C}$ ), 9 月 11 日頃に極大 ( $24.8^{\circ}\text{C}$ ), 年間平均値は  $17.2^{\circ}\text{C}$  であった. 極小期は表層-底層間で日付の幅が 5 日, 水温の幅が  $0.2^{\circ}\text{C}$ , 極大期は日付が 24 日, 水温が  $2.5^{\circ}\text{C}$  の幅であった. これは, 水塊の成層構造の影響で, 成層期である夏季には, 太陽放射により海面に到達した熱エネルギー



第 2 図 水温の平年値の季節変動

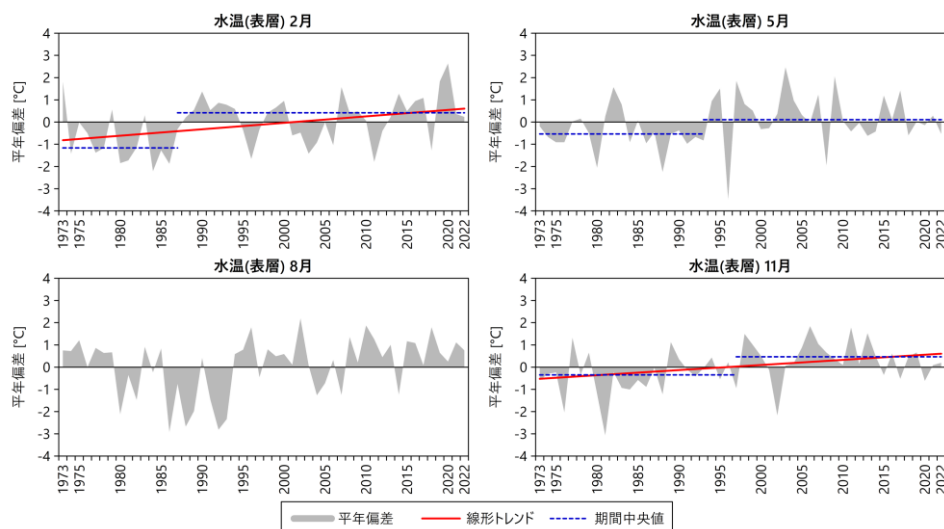
一が表層、中層、底層と順次伝播していくため、表層と比べて底層で遅れが生じるためだと考えられる。一方で、混合期である冬季には、海水は鉛直混合しているため、熱の伝播が速く、表層から底層まではほぼ同時に同程度の水温で変動する。なお、周期関数による平年値モデルでは、3月7日頃から10月2日頃までが水温の表底差が正であり、おおよそこの間が水温成層期であると考えられる。

表層水温の長期変動は以下のようになった。1973年から2022年の50年間で、年間最低水温を記録するのは2月または3月（それぞれ32回、18回）で、年間最低水温の最低値は1984年3月の6.8℃、最高値は2020年3月の11.7℃であった（第3図）。なお、1984年前半は、1983年12月から1984年3月にかけて日本列島を襲った「五九豪雪」の影響で気温、海水温ともに低温傾向が継続した<sup>12)</sup>。大阪管区气象台による大阪市での観測でも、「降雪の深さ日合計」、「降雪の深さ月合計」、「降雪の深さ寒候年合計」、「さくらの開花日の最晩値」の観測史上1位は1984年に記録されている（それぞれ18 cm, 1月31日；24 cm, 1月；33 cm；4月10日）。また、年間最高水温は8月または9月（それぞれ26回、24回）に記録され、年間最高水温の最低値は1988年9月の24.1℃、最高値は2010年9月の29.3℃であった。1988



第3図 水温（表層）の実測値および平年偏差の経年変動

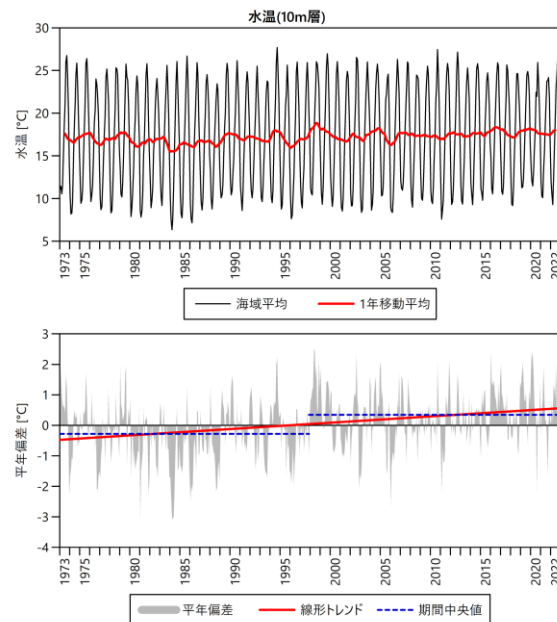
線形トレンドと期間中央値はトレンドとジャンプが有意な場合 ( $p < 0.05$ ) のみ描画（以後の図も同様）



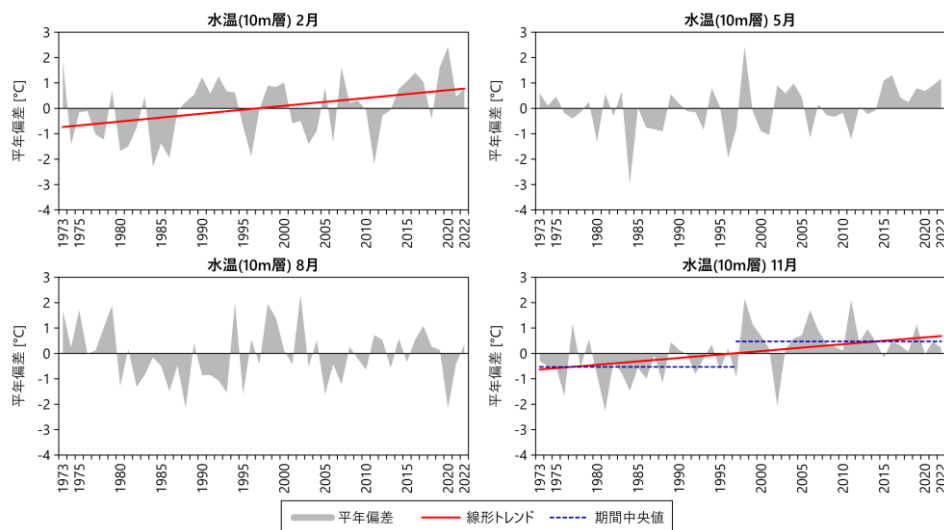
第4図 水温（表層）の平年偏差の経年変動（季節ごと）

年は冷夏で、全国的に低温・寡照により農作物で冷害が発生した<sup>13)</sup>。また、2010 年夏季は「2010 年の猛暑」により、全国的に記録的な高気温が継続し、8 月の大阪市でも当時としては観測史上 1 位の月平均気温 (30.5℃; その後 2020 年 8 月に 30.7℃を記録) を記録している。全月データでは、有意なトレンドが検出され (Mann-Kendall 検定,  $p<0.05$ )、その大きさは+0.023℃/年 (+1.15℃/50 年) と上昇傾向にあった (第 3 図, 第 1 表)。また、季節ごとのデータでは、2 月と 11 月に有意なトレンドが検出され、それぞれ+0.029℃/年 (+1.45℃/50 年), +0.023℃/年 (+1.15℃/50 年) の上昇傾向であった (第 4 図, 第 1 表)。一方で、5 月と 8 月にはトレンドが有意とは言えなかった。ジャンプは全月データ, 2 月, 5 月, 11 月で検出され (Pettitt 検定,  $p<0.05$ )、それぞれ 1997 年, 1987 年, 1993 年, 1997 年であった (第 3 図, 第 4 図, 第 1 表)。

10 m 層では、年間最低水温は 2 月または 3 月 (それぞれ 19 回, 31 回) に記録され、年間最低水温の最低値は 1984 年 3 月の 6.3℃, 最高値は 2020 年 3 月の 11.5℃であった (第 5 図)。また、年間最高水温は 8~10 月に記録され、8 月が 7 回, 9 月が 41 回, 10 月が 2 回であった。年間最高水温の最低値は 1988 年 9 月の 23.4℃, 最高値は 1994 年 9 月の



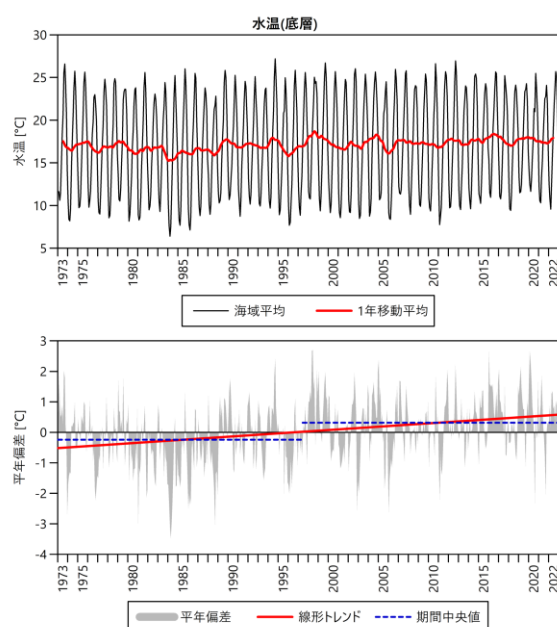
第 5 図 水温 (10 m 層) の実測値および平年偏差の経年変動



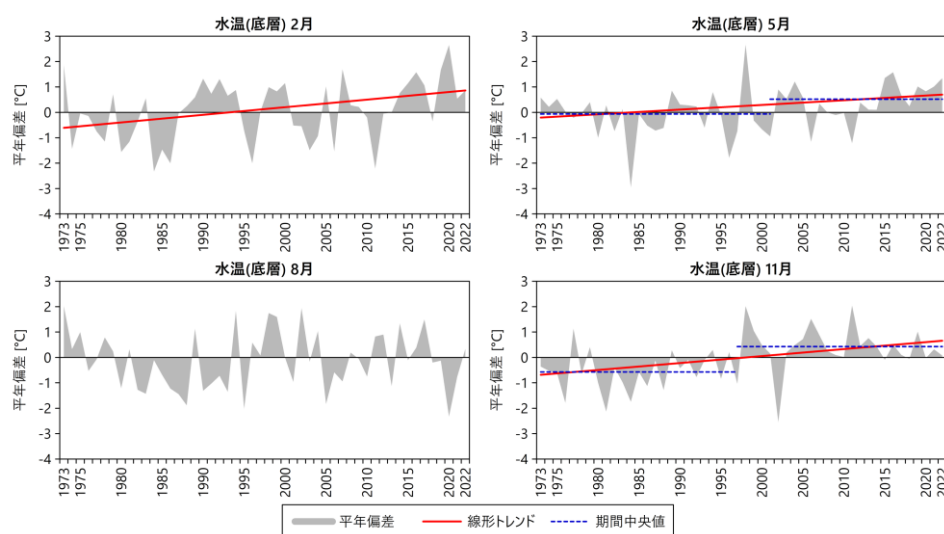
第 6 図 水温 (10 m 層) の平年偏差の経年変動 (季節ごと)

27.7°Cであった。トレンドは、全月データ、2月、11月に検出され、それぞれ+0.021°C/年 (+1.04°C/50年)、+0.031°C/年 (+1.55°C/50年)、+0.027°C/年 (+1.35°C/50年) の上昇傾向であった(第5図、第6図、第1表)。ジャンプは全月データ、11月で検出され、いずれも1997年であった(第5図、第6図、第1表)。

底層では、年間最低水温は2月または3月(それぞれ16回、34回)に記録され、年間最低水温の最低値は1984年3月の6.4°C、最高値は2020年3月の11.7°Cであった(第7図)。また、年間最高水温は8~10月に記録され、8月が2回、9月が41回、10月が7回であった。年間最高水温の最低値は1988年10月の22.8°C、最高値は1994年9月の27.2°Cであった。トレンドは、全月データ、2月、5月、11月に検出され、それぞれ+0.022°C/年 (+1.10°C/50年)、+0.030°C/年 (+1.50°C/50年)、+0.019°C/年 (+0.93°C/50年)、+0.027°C/年 (+1.37°C/50年) の上昇傾向であった(第7図、第8図、第1表)。ジャンプは全月データ、5月、11月で検出され、それぞれ1997年、2001年、1997年であった(第7図、第8図、第1表)。



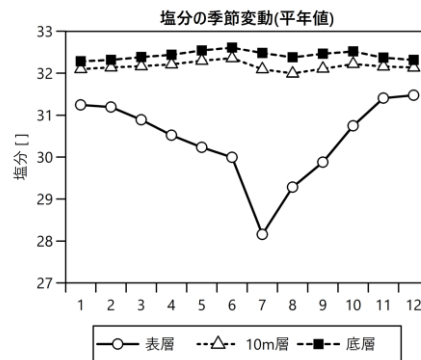
第7図 水温(底層)の実測値および年平均偏差の経年変動



第8図 水温(底層)の年平均偏差の経年変動(季節ごと)

## 2. 塩分

塩分の年平均値の季節変動を第 9 図に示した。表層は、1 月から低下を続け、梅雨期である 7 月に最低値 28.2 となった。一方で、10m 層や底層では 1 月から 6 月までは上昇傾向にあった。これは、水温上昇に伴う成層化の影響で、表層と中底層の海水が混合しにくくなっていることが原因であると考えられる。10 m 層、底層でも梅雨期である 7 月と続く 8 月には塩分が低下するが 9 月以降再び上昇した。なお、水温による成層が崩れ始める 10 月以降は、海水の鉛直混合により中底層の塩分が下がり始め、表層の塩分に近づいた。



第 9 図 塩分の年平均値の季節変動

表層塩分は、調査直前の気象の影響を受けやすく、年や月によって値が大きくばらついた。例えば、2014 年 8 月には 50 年間で最低の 21.7 を記録している（第 10 図）が、調査直前の 8 月 10 日に播磨灘を通過した台風 1411 号の影響で大雨が降り、8 月 8~10 日の大阪市の合計降水量は 222.5 mm となっている（調査は 8 月 11, 12 日に実施）。一方、1994 年 12 月（調査は 12 月 8, 10 日に実施）には期間最高塩分である 33.0 を記録している。この時は、調査前の 14 日間（11 月 24 日~12 月 7 日）に降雨は確認されず、また水温および塩分の表底差がそれぞれ  $-0.06^{\circ}\text{C}$ 、 $-0.05$  と小さく、海水が鉛直的に十分混合していたと考えられる。長期変動としては、トレンドは全月データと 8 月に検出された（それぞれ  $-0.009/\text{年}$ 、 $-0.035/\text{年}$ ）（第 10 図、第 11 図、第 1 表）。ジャンプも同じく全月データと 8 月に検出され、それぞれ 1997 年、2005 年であった（第 10 図、第 11 図、第 1 表）。

10m 層では、表層と比べると塩分の変動は小さく、おおよそ 31~33 の間で推移していた。トレンド、ジャンプともに全月データや、季節ごとのデータではいずれも検出されず（第 12 図、第 13 図、第 1 表）、50 年間で横ばい傾向であった。

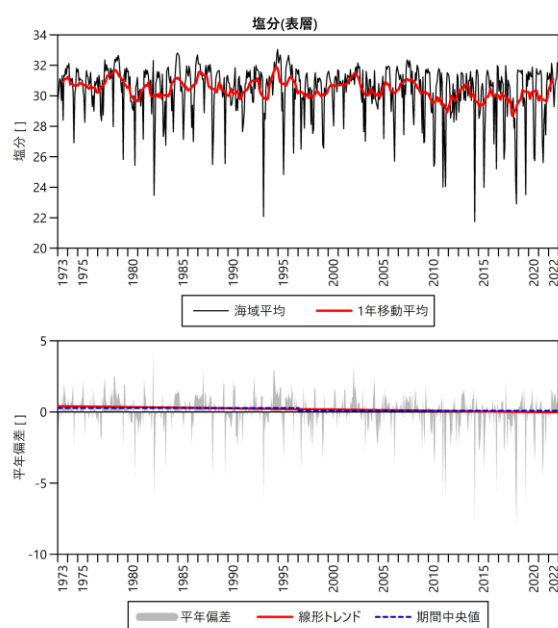
底層も 10m 層と同様に塩分の変動は小さく、おおよそ 31.5~33.5 の間で推移しており、トレンド、ジャンプともに検出されなかった（第 14 図、第 15 図、第 1 表）。2017 年 9 月には、50 年間の最高値 33.5 を記録しており、この時には湾南西部に位置する St. 2~6 では 34 を超える高塩分が記録されている。前後の週に実施した別調査や水産技術センターの定置観測の結果から、8 月下旬から紀淡海峡を経由して大阪湾の底層に低温・高塩分の海水が進入していることが確認された<sup>14)</sup>。この年の 8 月中旬には黒潮が離岸傾向に転じ、2025 年 4 月まで継続した「黒潮大蛇行」が始まっている。黒潮が潮岬沖で離岸すると夏季の紀伊水道には底層冷水が発生しやすいこと<sup>15)</sup>、また数値モデルによる外洋系水の紀伊水道・大阪湾への進入挙動の推定<sup>16)</sup>から、9 月に観測された大阪湾底層の高塩分は黒潮の離岸に伴う外洋系水の進入の可能性が高い<sup>14)</sup>。

## 3. 透明度

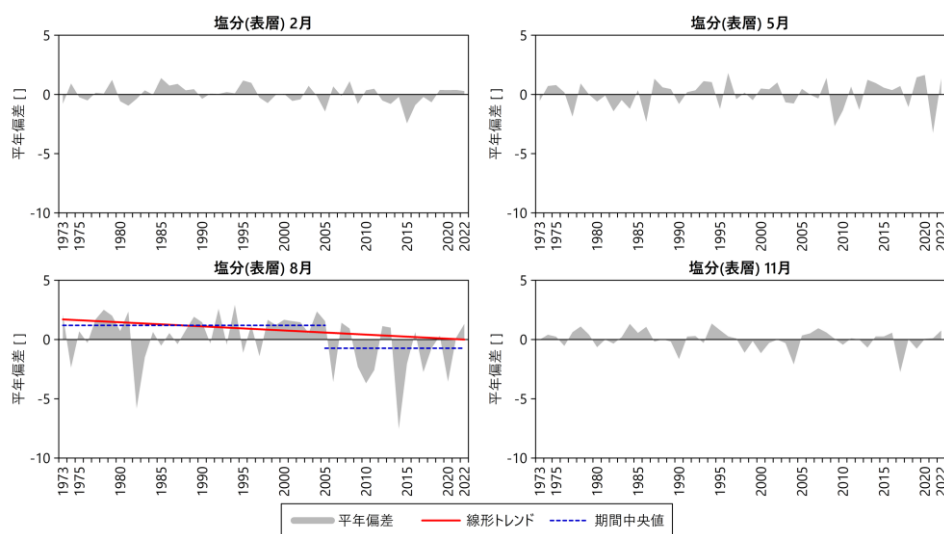
透明度の年平均値の季節変動を第 16 図に示した。透明度は冬季に高く、生物生産が活発な夏季に低くなる傾向となっていた。

透明度は、発生しているプランクトンの現存量や陸域からの濁水の流入の影響を受けるためおおよそ 2~10 m と大きく変動した。1980 年代までは 2~8 m で変動することが多かったが、1992 年以降はそれ以前にほとんど観測されなかつ

秋山：大阪湾における水質の長期変動一定線観測 50 年の記録



第10図 塩分（表層）の実測値および年平均偏差の経年変動

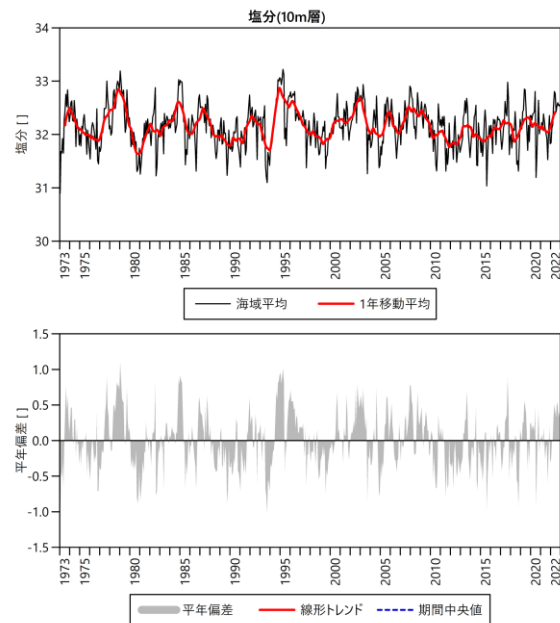


第11図 塩分（表層）の年平均偏差の経年変動（季節ごと）

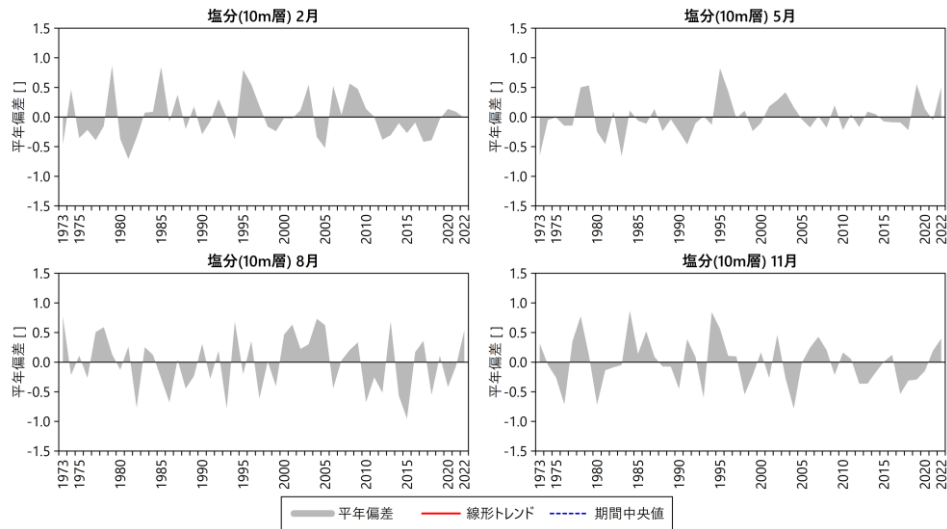
た湾全域平均で 8 m 以上という高い透明度がたびたび記録されている（第 17 図）。1973 年から 2022 年の 50 年間の最高の透明度は、1999 年 5 月の 11.0 m であり、半分以上の 11 定点で 11 m 以上の透明度が記録されている。この時には、大阪湾全域で *Noctiluca scintillans* による赤潮が発生しており<sup>17)</sup>、本種による植物プランクトンの捕食<sup>18)</sup>や本種が分泌する粘液による懸濁物の凝集の結果、高い透明度となったと考えられる。なお、本稿の対象ではない 2023 年 3 月の浅海定線調査では、透明度が 11.1 m となり、過去最高値を更新している。長期変動としては、トレンドは全月データ、5 月、8 月に検出された（それぞれ +0.027 m/年、+0.042 m/年、+0.038 m/年）（第 17 図、第 18 図、第 1 表）。また、ジャンプも同じく全月データ、5 月、8 月に検出され、それぞれ 1998 年、1997 年、1997 年であった（第 17 図、第 18 図、第 1 表）。

#### 4. DIN

DIN の年平均値の季節変動を第 19 図に示した。表層は、鉛直混合が起きやすく、生物生産が低調な 2 月、11 月に高く、一方で強固な成層により表層で植物プランクトンに消費されやすい 8 月に低くなった。底層では、海底からの溶出と成



第 12 図 塩分 (10 m 層) の実測値および年平均偏差の経年変動



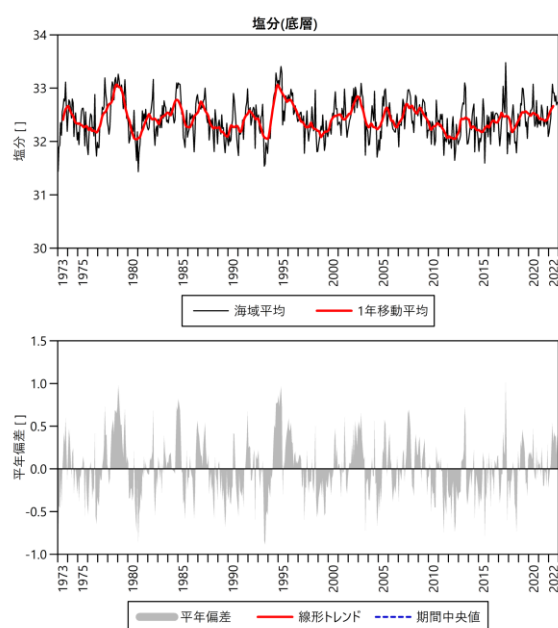
第 13 図 塩分 (10 m 層) の年平均偏差の経年変動 (季節ごと)

層により 8 月にやや高くなっていた。

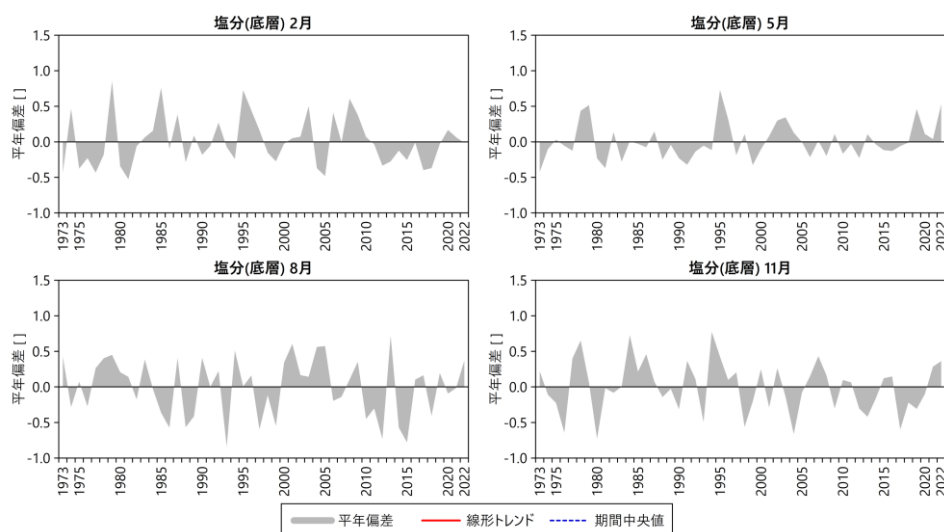
表層の DIN は、季節変動はあるものの、1970 年代以降減少し続けている。減少は特に 1990 年代後半以降に顕著で、それまで横ばい傾向もしくは漸減傾向であったのが、1990 年代後半から急激に減少していた。トレンドは全月データ、2 月、5 月、8 月、11 月のいずれでも検出され、その大きさはそれぞれ  $-0.334 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.580 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.316 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.072 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.359 \mu\text{M}/\text{年}$  であり、季節間のトレンドの大きさの違いは季節間の濃度の違いにおおよそ依存していた (第 20 図、第 21 図、第 1 表)。また、ジャンプも同じく全月データ、2 月、5 月、8 月、11 月のいずれでも検出され、5 月には 2 回検出された。それぞれ 2002 年、2002 年、1999 年または 2001 年 (統計量が同値であったため、どちらか判断できず)、1993 年、2002 年であった (第 20 図、第 21 図、第 1 表)。

底層も 1970 年代以降減少を継続しており、トレンドは全月データ、2 月、5 月、8 月、11 月のいずれでも検出され、その大きさはそれぞれ  $-0.198 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.292 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.186 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.102 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.184 \mu\text{M}/\text{年}$  であった (第 22 図、第 23 図、第 1 表)。ジャンプもいずれのデータセットでも検出され、それぞれ 1998 年、2001 年、1998 年、1998 年、2002 年

秋山：大阪湾における水質の長期変動一定線観測 50 年の記録



第 14 図 塩分（底層）の実測値および平年偏差の経年変動



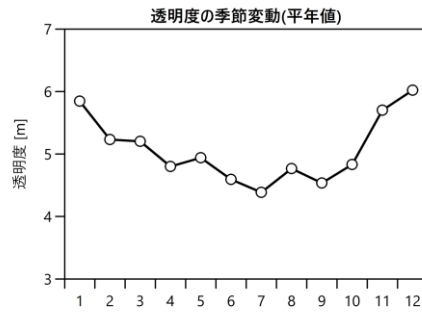
第 15 図 塩分（底層）の平年偏差の経年変動（季節ごと）

と、表層と同じく 2000 年前後に検出された（第 22 図，第 23 図，第 1 表）。

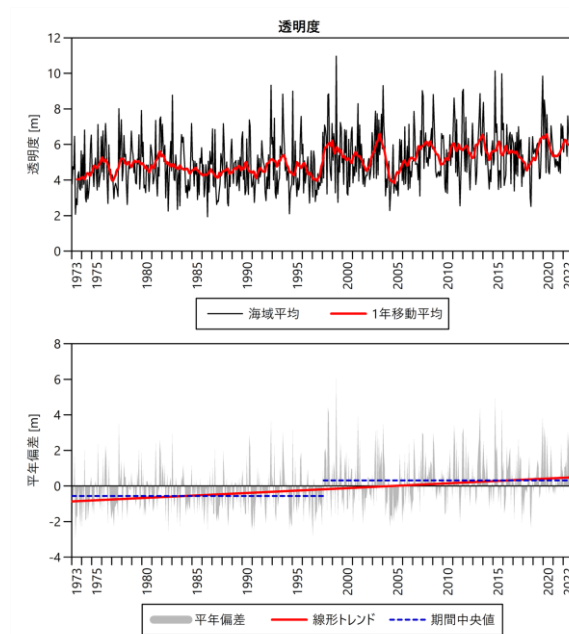
大阪湾をはじめとした日本国内の内湾域は、高度経済成長期に水質汚濁が進行し、富栄養化とそれに伴う有害赤潮による漁業被害が問題となった。1971 年に施行された水質汚濁防止法，1973 年の瀬戸内海環境保全特別措置法（瀬戸内法）により，環境規制へと舵が切られ，1979 年以降 5 年ごとに目標値を設定して水質総量規制が実施されてきた。1980 年以降 COD が，2002 年以降窒素とリンが総量規制の対象となっている。これらの規制により，大阪府域からの窒素の負荷量は 2019 年末時点で，1999 年比で 51% にまで減少している<sup>19)</sup>。本稿における DIN のジャンプは，表層，底層ともに 2000 年ごろに集中しており，2002 年に開始された窒素の総量規制がジャンプ検出の要因となっていると考えられる。

## 5. DIP

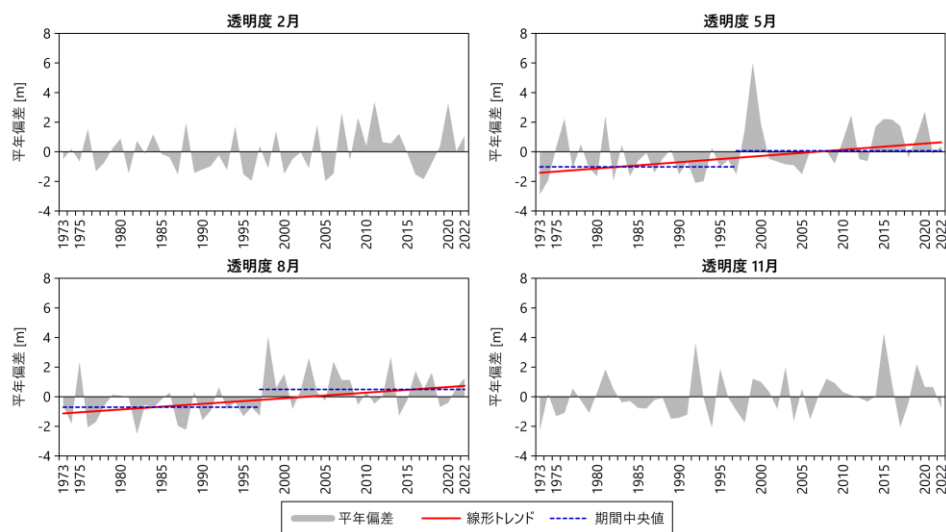
DIP の平年値の季節変動を第 24 図に示した。DIN と同じく，表層では 2 月，11 月に高く，5 月，8 月に低くなった。底層は，DIN よりも顕著に溶出の影響が表れており，8 月に最も高くなった。



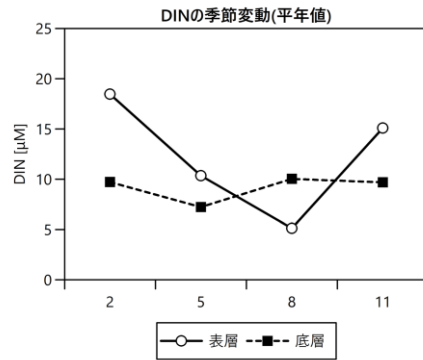
第 16 図 透明度の平年値の季節変動



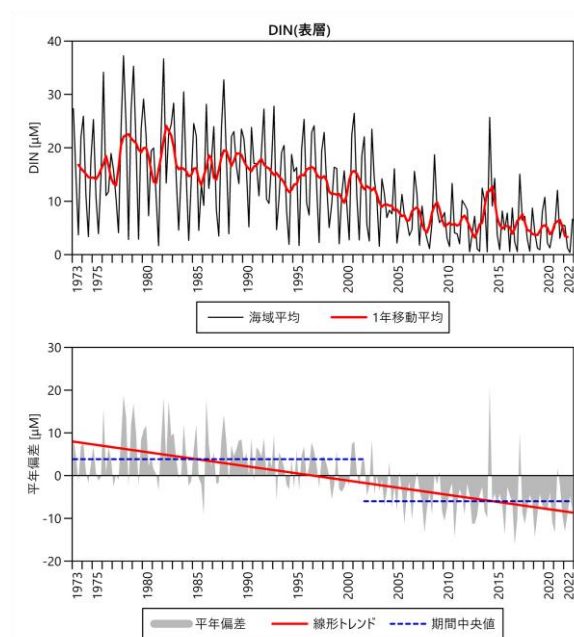
第 17 図 透明度の実測値および平年偏差の経年変動



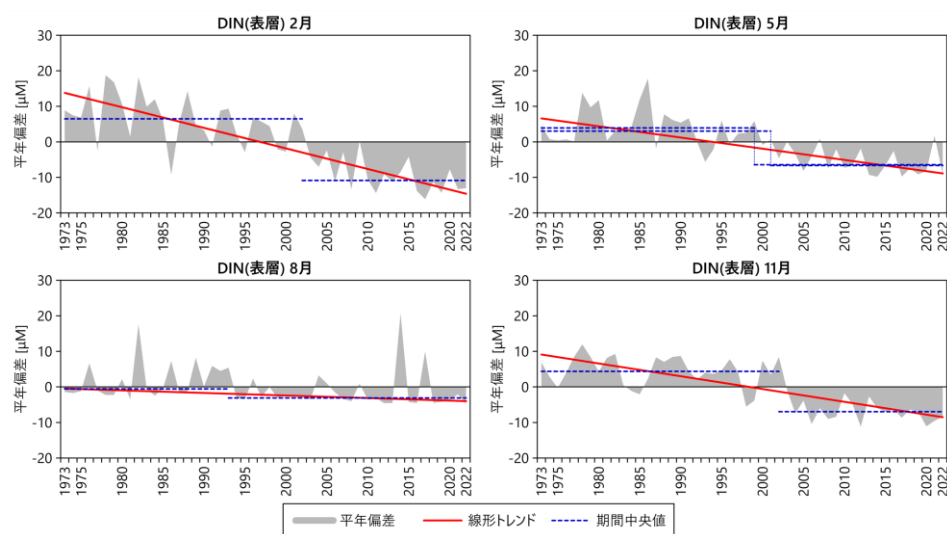
第 18 図 透明度の平年偏差の経年変動 (季節ごと)



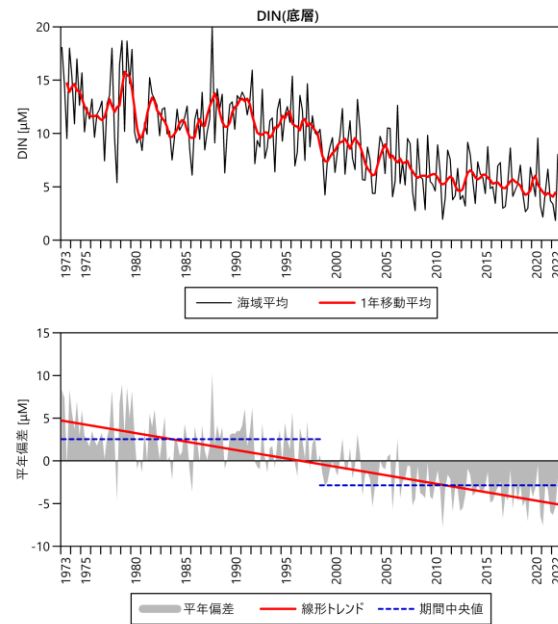
第 19 図 DIN の平年値の季節変動



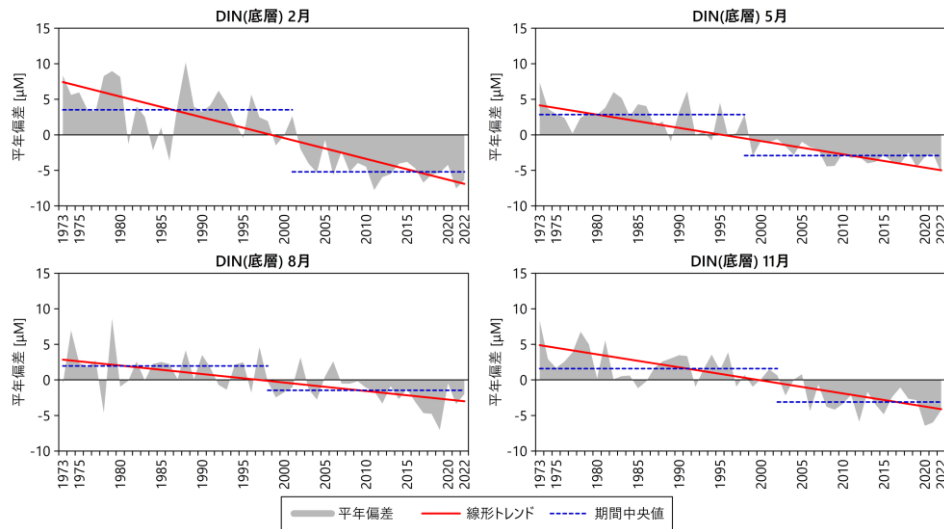
第 20 図 DIN (表層) の実測値および平年偏差の経年変動



第 21 図 DIN (表層) の平年偏差の経年変動 (季節ごと)



第 22 図 DIN (底層) の実測値および年平均偏差の経年変動

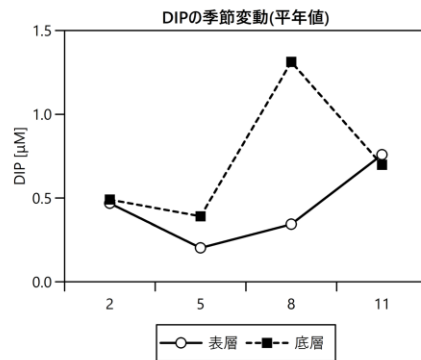


第 23 図 DIN (底層) の年平均偏差の経年変動 (季節ごと)

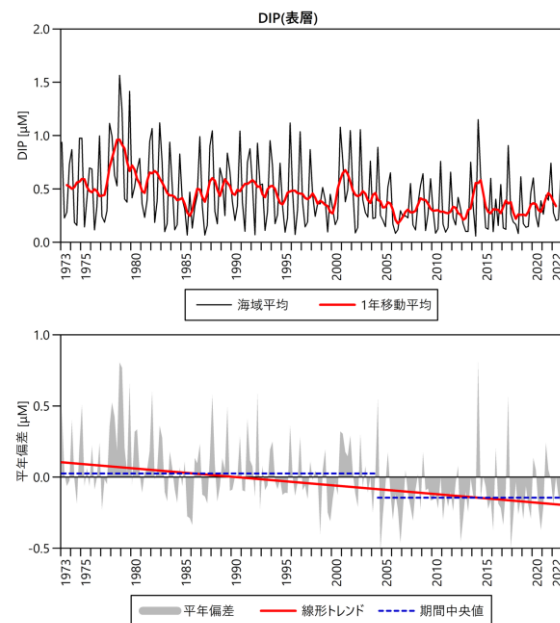
表層の DIP は、DIN と比べると長期変化に対して季節変動が大きかった。1970 年代後半にピークを迎えた後、現在まで漸減していた。トレンドは全月データ、2 月、11 月に検出され、それぞれ  $-0.006 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.011 \mu\text{M}/\text{年}$  であった (第 25 図、第 26 図、第 1 表)。ジャンプも同様に全月データ、2 月、11 月に検出され、それぞれ 2004 年、2003 年、2003 年であった。トレンド、ジャンプともに、年間で濃度の高い 2 月、11 月に低下傾向であった (第 25 図、第 26 図、第 1 表)。

底層も長期変化に対して季節変動が大きかった。1979 年までは 8 月に  $2.0 \mu\text{M}$  を超えることがあったが、1980 年以降は  $2.0 \mu\text{M}$  を超えることはなくなった。1980 年ごろに大きく減少した後、漸減傾向となっていた。トレンドは全月データ、2 月、5 月、8 月、11 月のいずれでも検出され、その大きさはそれぞれ  $-0.006 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.008 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.003 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.010 \mu\text{M}/\text{年}$ 、 $-0.006 \mu\text{M}/\text{年}$  であった (第 27 図、第 28 図、第 1 表)。ジャンプは 8 月を除くデータセットで確認され、全月データでは 2002 年に、2 月、5 月、11 月にはそれぞれ 2001 年、1986 年、2002 年に検出された (第 27 図、第 28 図、第 1 表)。

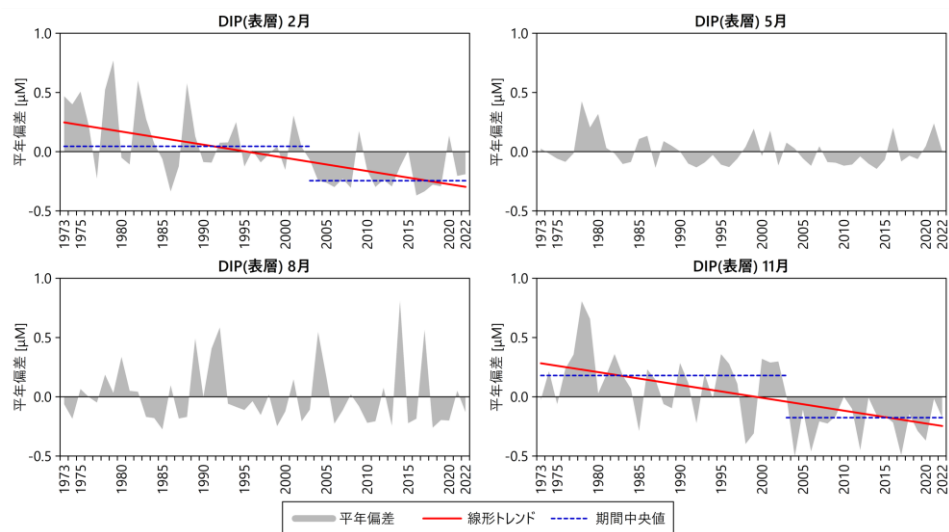
秋山：大阪湾における水質の長期変動一定線観測 50 年の記録



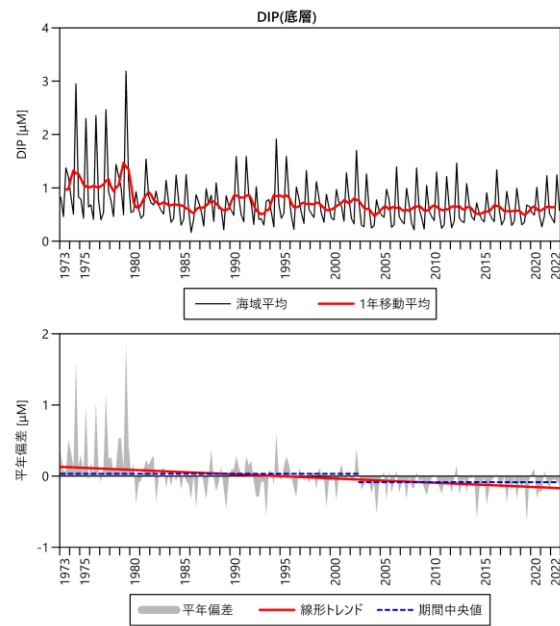
第 24 図 DIP の平年値の季節変動



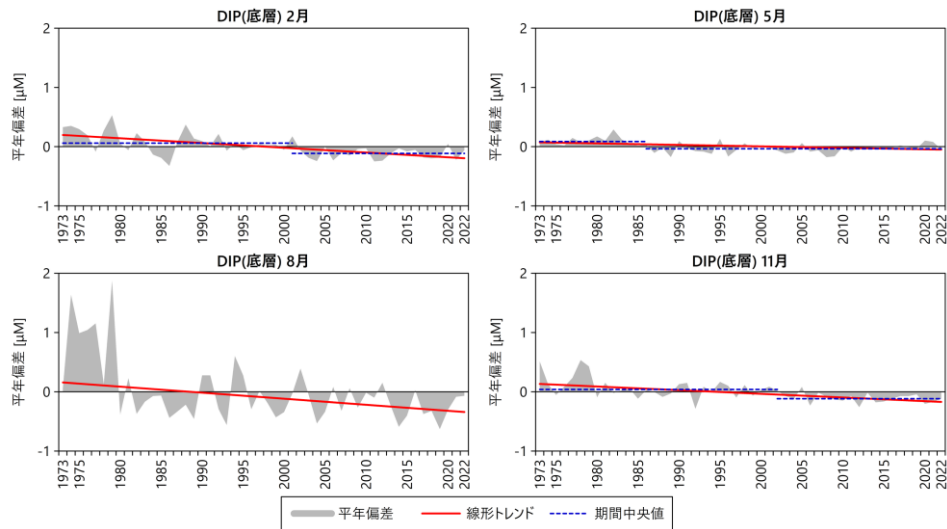
第 25 図 DIP (表層) の実測値および平年偏差の経年変動



第 26 図 DIP (表層) の平年偏差の経年変動 (季節ごと)



第 27 図 DIP (底層) の実測値および年平均偏差の経年変動

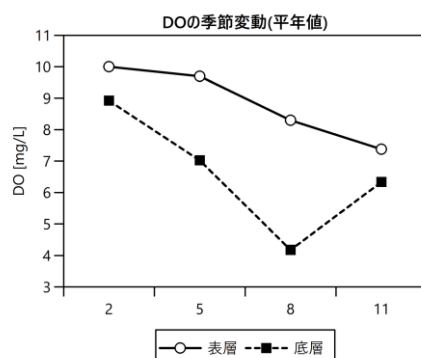


第 28 図 DIP (底層) の年平均偏差の経年変動 (季節ごと)

DIP も DIN と同様にジャンプが 2000 年ごろに集まっており、水質総量規制の影響が窺われる。一方で、減少のタイミングは DIP と DIN で異なった。DIN が総量規制開始とともに大きく減少を開始したのに対し、DIP は 1980 年ごろに大きく減少し、その後漸減となっている。DIP の減少が総量規制以前になっているのは、淀川の上流域にあたる琵琶湖で発生した赤潮が起因となり 1978 年以降に巻き起こった「石けん運動」や 1980 年に施行された「滋賀県琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例（琵琶湖条例）」によって促進されたリン含有合成洗剤の使用禁止と瀬戸内法による削減指導の影響であると考えられる<sup>20)</sup>。

## 6. DO

DO の年平値の季節変動を第 29 図に示した。表層では、2 月が最も高く、以後 11 月まで低下を続けた。DO は水温と生物活動の影響を強く受ける。2 月が最も高くなるのは、低水温により海水中での酸素の溶解度が高くなっているためである。一方で、水温が最も高い 8 月よりも 11 月が低くなっているのは、生物生産の影響で、8 月には植物プランクト



第29図 DOの平年値の季節変動

の活発な光合成により過飽和状態になることがしばしば確認されている。同程度の水温である5月と11月を比べた場合に、5月が高くなるのも同様の理由である。底層は、表層と比べると水温への依存度が高く、2月に最も高く、8月に最も低くなった。特に、好気性微生物による生物学的酸素消費や、貧酸素化した海底付近で生成される還元物質の酸化に伴う化学的酸素消費が小さい湾南西部ではその傾向が顕著であった。一方で、湾奥部の底層では溶存酸素飽和度も水温依存적であり、水温で駆動される別の要素（生物学的酸素消費や還元物質の生成・酸化に伴う化学的酸素消費）もDOの変動要因となっていることが示唆された。

表層のDOは季節変動、年変動が大きいがおおむね横ばい傾向であり、トレンドは2月にのみ検出され、その大きさは $+0.025 \text{ mg/L/年}$ であった（第30図、第31図、第1表）。ジャンプも同じく2月データの1994年に検出されているのみであった（第30図、第31図、第1表）。

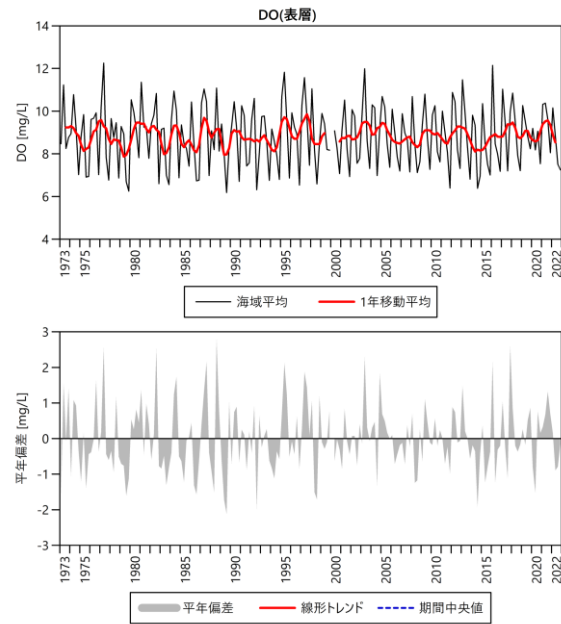
底層では、トレンドが全月データ、2月、8月に検出されており、それぞれ $+0.008 \text{ mg/L/年}$ 、 $+0.006 \text{ mg/L/年}$ 、 $+0.016 \text{ mg/L/年}$ であった（第32図、第33図、第1表）。一方で、ジャンプは全月データのみで確認され、1999年に検出された（第32図、第33図、第1表）。

年代別の8月の底層DOの水平分布を見ると、1970年代には $3.0 \text{ mg/L}$ 以下の貧酸素となる海域が湾の約1/3以上を占め、湾奥部には $1.0 \text{ mg/L}$ 以下の強い貧酸素域が見られていた<sup>21)</sup>。1980年代になると $3.0 \text{ mg/L}$ 以下の海域は湾奥部の沿岸部のみになり、1990年代にはさらに縮小した。湾南西部では $5.0 \text{ mg/L}$ 以上の海域が拡大しており、この海域ではDOが上昇傾向にあるものの、湾奥部の沿岸域では1980年代以降貧酸素水塊の発生範囲はほとんど変化していない。これらのことから、本稿で8月の底層で検出された正のトレンドは、湾南西部の上昇傾向の影響を受けていると考えられる。大阪湾の貧酸素水塊は、エスチュアリー循環に伴う沖合底層からの水平移流の強弱により消長が左右されることが知られており<sup>22)</sup>、降雨や風のような数日スケールのイベントで変動することから<sup>23,24)</sup>、貧酸素水塊の発生状況の長期的な把握には継続的なモニタリングが不可欠である。

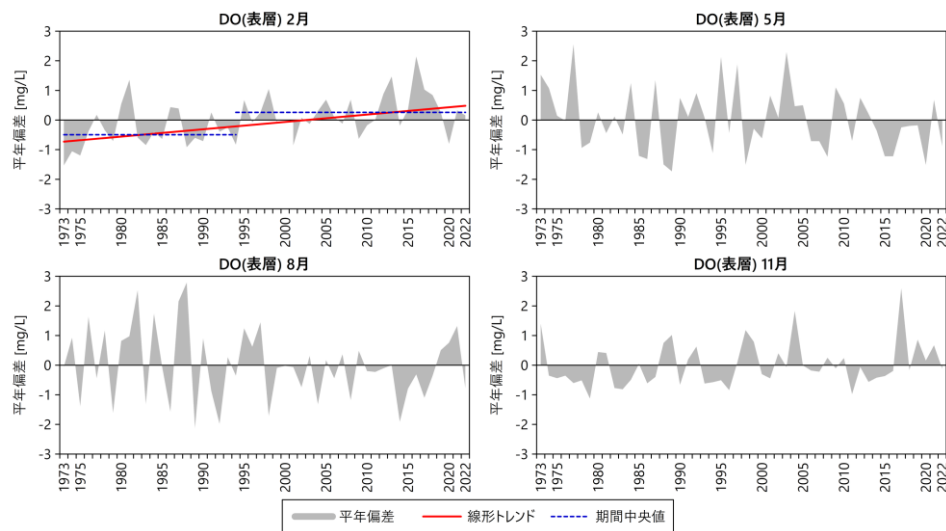
## 7. クロロフィル *a*

表層のクロロフィル *a* の平年値の季節変動を第34図に示した。クロロフィル *a* は植物プランクトンに含まれる光合成色素であり、生物生産が活発な8月に高くなった。

クロロフィル *a* は長期変化に対して季節変動が大きかった。2002年ごろまでは全地点平均で $30 \mu\text{g/L}$ を超える高濃度のクロロフィル *a* が数年に一度観測されていたが、2005年を最後に $20 \mu\text{g/L}$ を上回ることにはなくなった（第35図）。また、過去最高値である $79.7 \mu\text{g/L}$ を記録した1995年8月には、湾北東部では *Thalassiosira* spp. と *Skeletonema* spp. による赤潮が、湾南西部では *Karenia mikimotoi*（当時は *Gymnodinium mikimotoi*）による赤潮がそれぞれ広範囲で発生しており<sup>25)</sup>、St.5で $591.9 \mu\text{g/L}$ 、St.8で $223.0 \mu\text{g/L}$ を記録している。トレンドは全月データ、5月、8月に検出され、その大きさはそれぞれ $-0.145 \mu\text{g/L/年}$ 、 $-0.137 \mu\text{g/L/年}$ 、 $-0.421 \mu\text{g/L/年}$ と8月に顕著に低下していた（第35図、第36図、第1表）。ジャンプも同じく全月データ、5月、8月に検出され、それぞれ2006年、2005年、2007年であり（第35図、第36図、



第 30 図 DO (表層) の実測値および年偏差の経年変動



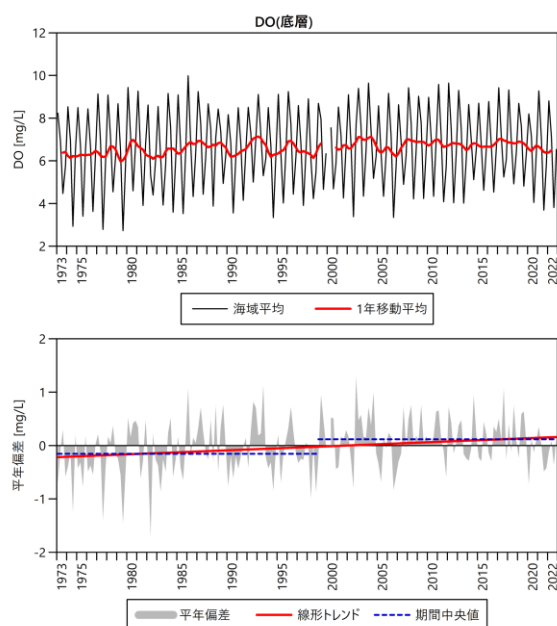
第 31 図 DO (表層) の年偏差の経年変動 (季節ごと)

第 1 表), ジャンプのタイミングは DIN や DIP からやや遅れていた. 透明度とクロロフィル *a* はともに 5 月および 8 月に有意なジャンプが検出され, クロロフィル *a* の低下と透明度の上昇は整合的な結果であった. 一方で, 透明度のジャンプはクロロフィル *a* よりも 5 年以上早い時期に検出された. 透明度は植物プランクトン現存量だけでなく, 河川由来の懸濁物質や底泥の再懸濁など複数の要因の影響を受けることから, 透明度の改善にはクロロフィル *a* の低下に先行する別の環境変化が寄与していた可能性がある. また, 本研究で用いた変化点解析では検出時期に数年程度の差が生じる可能性もあり, 両者の変化時期のずれについては慎重な解釈が必要である.

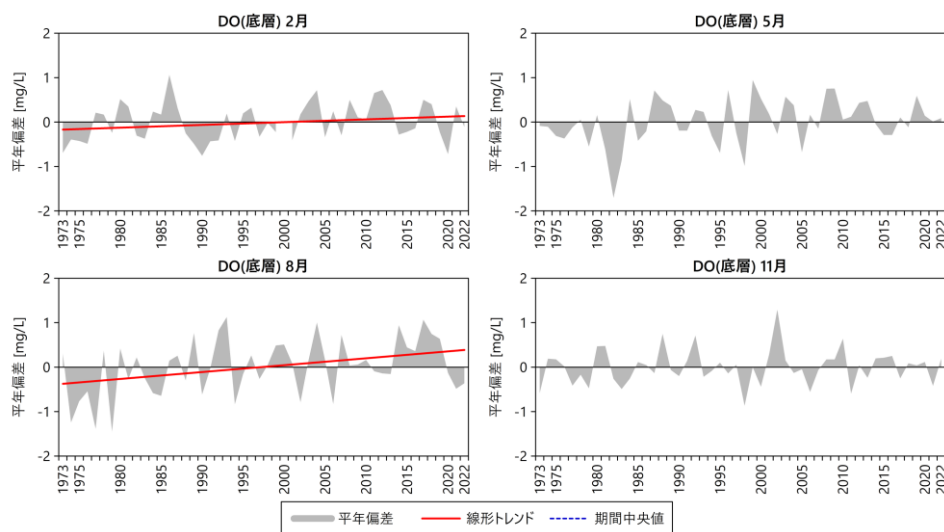
## 8. COD

表層の COD の年値の季節変動を第 37 図に示した. 有機物の指標である COD も, 生物生産が活発な 5 月と 8 月に高くなっていた.

秋山：大阪湾における水質の長期変動一定線観測 50 年の記録



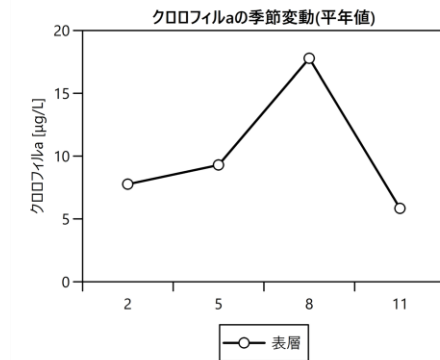
第 32 図 DO（底層）の実測値および年平均偏差の経年変動



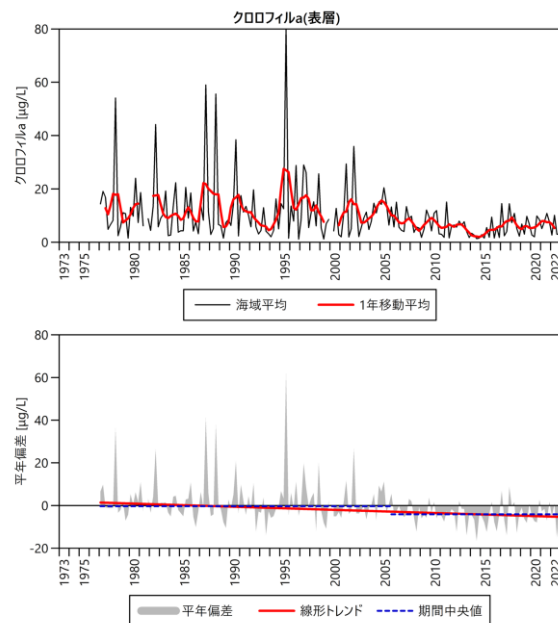
第 33 図 DO（底層）の年平均偏差の経年変動（季節ごと）

COD も長期変化に対して季節変動や年変動が大きかった。トレンドは全月データ、5 月に検出され、それぞれ  $-0.010$   $\text{mg/L/年}$ 、 $-0.022$   $\text{mg/L/年}$ であった（第 38 図、第 39 図、第 1 表）。ジャンプも同じく全月データ、5 月に検出され、それぞれ 2007 年、2007 年であり（第 38 図、第 39 図、第 1 表）、クロロフィル  $a$  と同程度のタイミングであった。

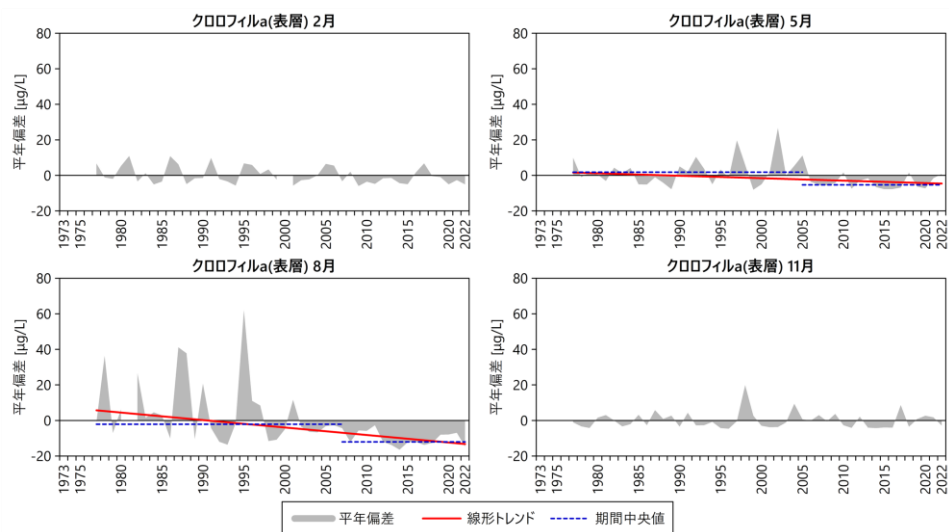
COD は分解に使用する酸化剤によって酸化力が異なることや、酸化される物質により酸化率が異なることといった指標としての問題を抱える。日本国内では酸化剤として過マンガン酸カリウムが使用されることが多い（ $\text{COD}_{\text{Mn}}$ と呼ばれる）のに対し、世界的には重クロム酸カリウム（ $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ）が一般的である。また、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ でも本稿ではアルカリ性過マンガン酸カリウム法を採用しているが、日本産業規格（JIS）は酸性過マンガン酸カリウム法である。水質汚濁防止法に基づいて実施されている公共用水域の水質常時監視調査では、JIS に則り酸性過マンガン酸カリウム法で分析が行われているため、大阪府海域においては浅海定線調査の結果と比較することはできない。また、COD はあくまで有機物を酸化する際に消費された酸化剤の酸素換算量を測定しているものであり、有機物を直接的に測定していない。これらの問



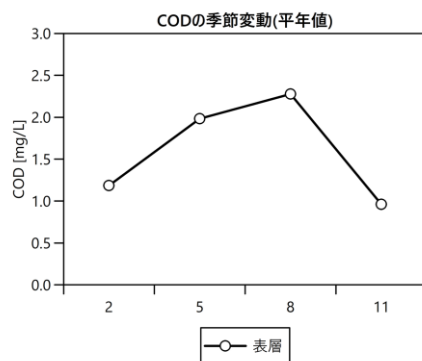
第 34 図 クロロフィル a の平年値の季節変動



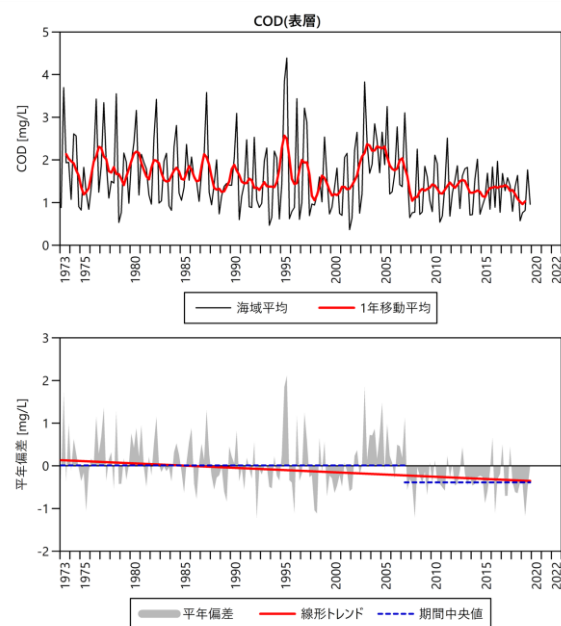
第 35 図 クロロフィル a (表層) の実測値および平年偏差の経年変動



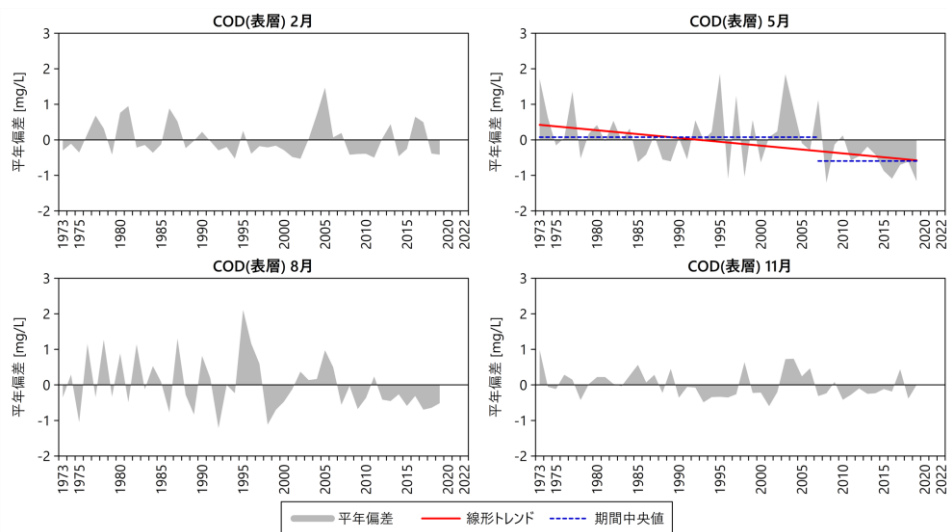
第 36 図 クロロフィル a (表層) の平年偏差の経年変動 (季節ごと)



第 37 図 COD の平年値の季節変動



第 38 図 COD (表層) の実測値および平年偏差の経年変動



第 39 図 COD (表層) の平年偏差の経年変動 (季節ごと)

題を踏まえて、2003 年には水道法における水質基準項目として COD に代えて全有機炭素 (TOC) が使用されるようになった<sup>26)</sup>。大阪府立環境農林水産総合研究所水産研究部でも省力化のために 2020 年以降観測項目から COD を除外し、独自の調査として TOC を測定している。

## 摘要

50 年にわたる観測結果から、大阪湾におけるこの半世紀の主要な海洋環境の変化として、水温上昇、栄養塩濃度の低下が挙げられる。気象庁が取りまとめる日本近海の海面水温の長期変化傾向 ([https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a\\_1/japan\\_warm/japan\\_warm.html](https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html)) によると、2022 年までのおよそ 100 年間にわたる海域平均海面水温 (年平均) の上昇率は +1.24°C/100 年であるとされる。1973 年以降の 50 年間のデータのみを抽出して再解析したところ、+1.06°C/50 年となった。本稿における大阪湾の表層水温の上昇は +1.15°C/50 年 (第 1 表) と、日本近海の平均値と比較して同等もしくはやや高くなった。また、水温のジャンプのタイミングは、他の項目と比較してやや早く、1990 年代中頃に集まる傾向となっていた。これらのジャンプは、インド洋ダイポールモード現象による 1994 年の猛暑や 1998~1999 年に見られたレジームシフトに相当する気候の変化の影響を受けていると考えられ、ジャンプの時期と特定の冷水性、暖水性魚類の漁獲量の変化のタイミングが一致することが指摘されている<sup>10)</sup>。今後も昇温傾向が続く可能性は高く、生物生産や生物相への影響は免れず、水産業もそれに適応していくことが必要になる。

栄養塩は、DIN、DIP ともに減少傾向が顕著で、特に DIN ではいずれのデータセットにおいても負のトレンドが検出された。栄養塩の減少は環境規制に伴う陸域からの負荷量の減少が主な原因と考えられ、リン含有合成洗剤の使用禁止や水質総量規制の開始と栄養塩の変化タイミングが一致していた。瀬戸内海の中では栄養塩濃度が高い大阪湾でも、近年は栄養塩等の低下に伴って一次生産量や各栄養段階の生物量が減少しており、生態系全体として富栄養状態から貧栄養状態への遷移が指摘されている<sup>27)</sup>。大阪湾は、大都市や主要河川の河口が湾奥部に集中しており、湾奥から湾口にかけての環境勾配が著しい。また、海面埋立て等により閉鎖的な環境が形成されたことで、栄養塩の分布に偏りが生じており、海域特性に応じた栄養塩管理が求められている。また、大阪湾は海域によって、水質だけではなく生物の生息環境、漁場としての利用状況、沿岸の陸域の利用状況等が大きく異なることから、2022 年にまとめられた『豊かな大阪湾』保全・再生・創出プラン<sup>28)</sup>の中では、大阪湾を 3 つのゾーンに区分し、それぞれの課題を整理することできめ細かく施策を推進するとされている。

以上のように、大阪湾は気候変動や環境規制の影響で環境が大きく変化している。また、1970 年代以降に実施された関西国際空港や神戸空港の建設といった大規模な海面埋立てにより、海水流動が変化しているとも言われ、底泥の粒度組成の調査から、関西国際空港の建設前後に底泥の輸送方向が変化したことが指摘されている<sup>29)</sup>。さらに近年では、海洋酸性化や海洋プラスチックといった新たな問題が進行しており、大阪湾でも海水の pH の低下<sup>30)</sup>や魚類の消化管内からのマイクロプラスチックの発見<sup>31)</sup>が報告されている。このように目まぐるしく変化する環境と新たな問題に対応するために、環境情報の蓄積は重要であり、今後精確で定期的なモニタリングがさらに重要になってくると考えられる。

## 謝辞

本稿の執筆・取りまとめならびに本研究報告への転載にあたり、水産研究・教育機構水産技術研究所の鬼塚剛氏には多大なるご配慮を賜った。また、当研究所の中嶋昌紀氏、山本圭吾氏には、過去の調査方法に関する貴重な情報をご提供いただいた。ここに記して深く感謝申し上げる。なお、本稿で使用したデータは、中嶋氏、山本氏両名をはじめとする歴代の調査担当者、分析担当者ならびに調査船乗組員各位の不断の尽力によって取得・蓄積されたものである。ここに併せて感謝申し上げる。

第1表 トレンドとジャンプ（一般項目）

| 項目         | 層    | 月   | 線形トレンド   |        |       | ジャンプ     |         |       |
|------------|------|-----|----------|--------|-------|----------|---------|-------|
|            |      |     | $p$ MK   | SS     | SS50  | $p$ PT   | CP      | VAR   |
| 水温<br>[°C] | 表層   | 全月  | 0.000*** | +0.023 | +1.15 | 0.000*** | 1997/3  | +0.67 |
|            |      | 2月  | 0.018*   | +0.029 | +1.45 | 0.041*   | 1987    | +1.59 |
|            |      | 5月  | 0.108    | -      | -     | 0.024*   | 1993    | +0.63 |
|            |      | 8月  | 0.116    | -      | -     | 0.077    | -       | -     |
|            |      | 11月 | 0.005**  | +0.023 | +1.15 | 0.007**  | 1997    | +0.82 |
|            | 10m層 | 全月  | 0.000*** | +0.021 | +1.04 | 0.000*** | 1997/11 | +0.62 |
|            |      | 2月  | 0.009**  | +0.031 | +1.55 | 0.057    | -       | -     |
|            |      | 5月  | 0.068    | -      | -     | 0.072    | -       | -     |
|            |      | 8月  | 0.907    | -      | -     | 0.505    | -       | -     |
|            |      | 11月 | 0.001**  | +0.027 | +1.35 | 0.000*** | 1997    | +1.00 |
|            | 底層   | 全月  | 0.000*** | +0.022 | +1.10 | 0.000*** | 1997/6  | +0.56 |
|            |      | 2月  | 0.020*   | +0.030 | +1.50 | 0.089    | -       | -     |
|            |      | 5月  | 0.031*   | +0.019 | +0.93 | 0.041*   | 2001    | +0.59 |
|            |      | 8月  | 0.973    | -      | -     | 0.555    | -       | -     |
|            |      | 11月 | 0.001**  | +0.027 | +1.37 | 0.000*** | 1997    | +1.00 |
| 塩分<br>[ ]  | 表層   | 全月  | 0.004**  | -0.009 | -0.43 | 0.005**  | 1997/1  | -0.19 |
|            |      | 2月  | 0.366    | -      | -     | 0.366    | -       | -     |
|            |      | 5月  | 0.228    | -      | -     | 0.530    | -       | -     |
|            |      | 8月  | 0.043*   | -0.035 | -1.73 | 0.028*   | 2005    | -1.93 |
|            |      | 11月 | 0.462    | -      | -     | 0.591    | -       | -     |
|            | 10m層 | 全月  | 0.885    | -      | -     | 0.069    | -       | -     |
|            |      | 2月  | 0.751    | -      | -     | 0.497    | -       | -     |
|            |      | 5月  | 0.132    | -      | -     | 0.166    | -       | -     |
|            |      | 8月  | 0.639    | -      | -     | 0.936    | -       | -     |
|            |      | 11月 | 0.432    | -      | -     | 0.827    | -       | -     |
|            | 底層   | 全月  | 0.605    | -      | -     | 0.148    | -       | -     |
|            |      | 2月  | 0.738    | -      | -     | 0.600    | -       | -     |
|            |      | 5月  | 0.146    | -      | -     | 0.328    | -       | -     |
|            |      | 8月  | 0.493    | -      | -     | 0.785    | -       | -     |
|            |      | 11月 | 0.452    | -      | -     | 0.704    | -       | -     |
| 透明度<br>[m] |      | 全月  | 0.000*** | +0.027 | +1.35 | 0.000*** | 1998/2  | +0.87 |
|            |      | 2月  | 0.427    | -      | -     | 0.277    | -       | -     |
|            |      | 5月  | 0.003**  | +0.042 | +2.10 | 0.013*   | 1997    | +1.08 |
|            |      | 8月  | 0.003**  | +0.038 | +1.89 | 0.001**  | 1997    | +1.20 |
|            |      | 11月 | 0.094    | -      | -     | 0.142    | -       | -     |

$p$  MK: Mann-Kendall検定の $p$  値 (\*\*\*:  $p < 0.001$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*:  $p < 0.05$ ), SS: 線形トレンドの大きさ Sen's slope (1/年), SS50: 線形トレンドの大きさ (1/50年),  $p$  PT: Pettitt検定の $p$  値 (\*\*\*:  $p < 0.001$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*:  $p < 0.05$ ), CP: 変化年 (全月データのみ月まで示した), VAR: ジャンプ前後の変化量 (中央値ベース)

第 1 表 (つづき) (特殊項目)

| 項目                      | 層  | 月   | 線形トレンド   |        |        | ジャンプ     |                 |                    |
|-------------------------|----|-----|----------|--------|--------|----------|-----------------|--------------------|
|                         |    |     | $p$ MK   | SS     | SS50   | $p$ PT   | CP              | VAR                |
| DIN<br>[μM]             | 表層 | 全月  | 0.000*** | -0.334 | -16.68 | 0.000*** | 2002/2          | -9.84              |
|                         |    | 2月  | 0.000*** | -0.580 | -28.98 | 0.000*** | 2002            | -17.34             |
|                         |    | 5月  | 0.000*** | -0.316 | -15.79 | 0.000*** | 1999<br>or 2001 | -10.36<br>or -9.68 |
|                         |    | 8月  | 0.001**  | -0.072 | -3.60  | 0.006**  | 1993            | -2.53              |
|                         |    | 11月 | 0.000*** | -0.359 | -17.96 | 0.000*** | 2002            | -11.31             |
|                         | 底層 | 全月  | 0.000*** | -0.198 | -9.89  | 0.000*** | 1998/11         | -5.41              |
|                         |    | 2月  | 0.000*** | -0.292 | -14.60 | 0.000*** | 2001            | -8.72              |
|                         |    | 5月  | 0.000*** | -0.186 | -9.32  | 0.000*** | 1998            | -5.76              |
|                         |    | 8月  | 0.000*** | -0.102 | -5.98  | 0.001**  | 1998            | -3.43              |
|                         |    | 11月 | 0.000*** | -0.184 | -9.18  | 0.000*** | 2002            | -4.69              |
| DIP<br>[μM]             | 表層 | 全月  | 0.000*** | -0.006 | -0.30  | 0.000*** | 2004/8          | -0.17              |
|                         |    | 2月  | 0.000*** | -0.011 | -0.56  | 0.000*** | 2003            | -0.29              |
|                         |    | 5月  | 0.277    | -      | -      | 0.251    | -               | -                  |
|                         |    | 8月  | 0.122    | -      | -      | 0.353    | -               | -                  |
|                         |    | 11月 | 0.000*** | -0.011 | -0.54  | 0.000*** | 2003            | -0.36              |
|                         | 底層 | 全月  | 0.000*** | -0.006 | -0.30  | 0.000*** | 2002/11         | -0.11              |
|                         |    | 2月  | 0.000*** | -0.008 | -0.40  | 0.000*** | 2001            | -0.17              |
|                         |    | 5月  | 0.011*   | -0.003 | -0.13  | 0.001**  | 1986            | -0.12              |
|                         |    | 8月  | 0.010*   | -0.010 | -0.51  | 0.063    | -               | -                  |
|                         |    | 11月 | 0.000*** | -0.006 | -0.31  | 0.000*** | 2002            | -0.16              |
| DO<br>[mg/L]            | 表層 | 全月  | 0.538    | -      | -      | 0.660    | -               | -                  |
|                         |    | 2月  | 0.001**  | +0.025 | +1.24  | 0.010*   | 1994            | +0.75              |
|                         |    | 5月  | 0.195    | -      | -      | 0.723    | -               | -                  |
|                         |    | 8月  | 0.255    | -      | -      | 0.435    | -               | -                  |
|                         |    | 11月 | 0.105    | -      | -      | 0.127    | -               | -                  |
|                         | 底層 | 全月  | 0.001**  | +0.008 | +0.38  | 0.004**  | 1999/2          | +0.27              |
|                         |    | 2月  | 0.049*   | +0.006 | +0.31  | 0.110    | -               | -                  |
|                         |    | 5月  | 0.083    | -      | -      | 0.075    | -               | -                  |
|                         |    | 8月  | 0.038*   | +0.016 | +0.78  | 0.152    | -               | -                  |
|                         |    | 11月 | 0.324    | -      | -      | 0.754    | -               | -                  |
| Chl. <i>a</i><br>[μg/L] | 表層 | 全月  | 0.000*** | -0.145 | -7.26  | 0.000*** | 2006/2          | -3.77              |
|                         |    | 2月  | 0.129    | -      | -      | 0.339    | -               | -                  |
|                         |    | 5月  | 0.016*   | -0.137 | -6.83  | 0.008**  | 2005            | -7.12              |
|                         |    | 8月  | 0.000*** | -0.421 | -21.05 | 0.002**  | 2007            | -9.96              |
|                         |    | 11月 | 1.000    | -      | -      | 0.951    | -               | -                  |
| COD<br>[mg/L]           | 表層 | 全月  | 0.000*** | -0.010 | -0.52  | 0.000*** | 2007/5          | -0.40              |
|                         |    | 2月  | 0.295    | -      | -      | 0.320    | -               | -                  |
|                         |    | 5月  | 0.002**  | -0.022 | -1.09  | 0.022*   | 2007            | -0.68              |
|                         |    | 8月  | 0.085    | -      | -      | 0.181    | -               | -                  |
|                         |    | 11月 | 0.124    | -      | -      | 0.065    | -               | -                  |

## 引用文献

- 1) 中辻啓二 (2009). 大阪湾の自然環境とその変遷 (生態系工学研究会編, 大阪湾—環境の変遷と創造). 恒星社厚生閣, 東京, pp. 26–33.
- 2) 山根伸之, 寺口貴康, 中辻啓二, 村岡浩爾 (1996). 浅海定線調査データに基づく大阪湾の水質・密度構造の季節変化. 海岸工学論文集, 43, 331–335. DOI: <https://doi.org/10.2208/proce1989.43.331>
- 3) 海洋気象学会編 (2013). 瀬戸内海の気象と海象. 海洋気象学会, 209 pp.
- 4) 城久 (1986). 大阪湾における富栄養化の構造と富栄養化が漁業生産におよぼす影響について. 大阪府水産試験場研究報告, 7, 1–174.
- 5) 森安茂雄 (1985). II 物理 A. 大阪湾 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編, 日本全国沿岸海洋誌). 東海大学出版会, 東京, pp. 625–629.
- 6) 城久 (1985). III 化学 A. 大阪湾 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編, 日本全国沿岸海洋誌). 東海大学出版会, 東京, pp. 642–655.
- 7) 中嶋昌紀, 山本圭吾, 辻野耕實 (2002). 1. 浅海定線調査. 平成 12 年度大阪府立水産試験場事業報告, 大阪府立水産試験場, 1–18.
- 8) 気象庁編 (1981). 海洋観測指針. 日本海洋学会, 東京, 429 pp.
- 9) 日本水産資源保護協会編 (1980). 新編 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, 552 pp.
- 10) 秋山諭, 中嶋昌紀 (2018). 不等間隔の月例観測データから見る大阪湾表層水温の経時的諸特性. 水環境学会誌, 41(4), 83–90. DOI: <https://doi.org/10.2965/jswe.41.83>
- 11) R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.R-project.org/>)
- 12) 北村尚治 (1984). 本年の冬から春の天候について. 天気, 31(7), 430–432.
- 13) 近藤純正 (1989). 中冷夏の 1988 年—過去 154 年間の冷夏 18 位, 微雨含む雨日数 1 位—. 天気, 36(8), 515–517.
- 14) 秋山諭, 田中咲絵 (2017). 2017 年夏季に大阪湾に進入した低温・高塩分水について. 平成 29 年度公益社団法人日本水産学会近畿支部後期例会 講演要旨集, 23.
- 15) 竹内淳一, 中地良樹, 小久保友義 (1997). 紀伊水道に進入する表層暖水と底層冷水. 海と空, 73(2), 81–92.
- 16) 中谷祐介, 西田修三 (2012). 大阪湾及び周辺海域の物質動態に及ぼす黒潮離接岸の影響解析. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 68(2), I\_976–I\_980. DOI: [https://doi.org/10.2208/kaigan.68.I\\_976](https://doi.org/10.2208/kaigan.68.I_976)
- 17) 山本圭吾 (2001). 4. 赤潮発生状況調査. 平成 11 年度大阪府立水産試験場事業報告, 大阪府立水産試験場, 24–31.
- 18) Kitatsuji, S., Yamaguchi, H., Asahi, T., Ichimi, K., Onitsuka, G., and Tada, K. (2019). Does *Noctiluca scintillans* end the diatom bloom in coastal water?. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 510, 10–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2018.09.006>
- 19) 大阪府環境審議会 (2022). 今後の大阪湾における環境の保全・再生・創出のあり方について (資料編). 大阪府環境審議会, 57 pp.
- 20) 中嶋昌紀 (2016). 大阪湾の水環境の変遷と生物生産動態に関する基礎的研究. 大阪市立大学学位論文, 97 pp.
- 21) 秋山諭, 中嶋昌紀 (2016). 底層 DO と透明度の変遷から見た大阪湾の水質評価. 水環境学会誌, 39(A), 174–177.
- 22) 山根伸之, 寺口貴康, 中辻啓二 (1998). 閉鎖性内湾の貧酸素水塊の形成機構に関する研究. 海岸工学論文集, 45, 961–965. DOI: <https://doi.org/10.2208/proce1989.45.961>
- 23) 城久 (1989). 大阪湾の貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, 26(2), 87–98. DOI: [https://doi.org/10.32142/engankaiyo.26.2\\_87](https://doi.org/10.32142/engankaiyo.26.2_87)
- 24) 藤原建紀, 岸本綾夫, 中嶋昌紀 (2004). 大阪湾の貧酸素水塊の短期的および長期的変動. 海岸工学論文集, 51, 931–935. DOI: <https://doi.org/10.2208/proce1989.51.931>
- 25) 山本圭吾 (1997). 4. 赤潮発生状況調査. 平成 7 年度大阪府立水産試験場事業報告, 大阪府立水産試験場, 24–29.
- 26) 柳橋泰生 (2004). 水道水質基準改定後の動向 水道水質基準の改定と新しい水道のあり方. 環境技術, 33(7), 531–535. DOI: <https://doi.org/10.5956/jriet.33.531>

- 27) 藤原建紀, 鈴木健太郎, 木村奈保子, 鈴木元治, 中嶋昌紀, 田所和明, 阿保勝之 (2022). 栄養塩類変動が内湾の生態系・生物生産に及ぼす影響: 大阪湾. 水環境学会誌, 45(3), 145–158. DOI: <https://doi.org/10.2965/jswe.45.145>
- 28) 大阪府 (2022). 「豊かな大阪湾」保全・再生・創出プラン. 大阪府, 27 pp.
- 29) 柳哲雄, 星加章, 辻裕 (2006). 1982 年と 2003 年の大阪湾における底質分布・底泥輸送方向の比較. 海の研究, 15(4), 335–341. DOI: [https://doi.org/10.5928/kaiyou.15.4\\_335](https://doi.org/10.5928/kaiyou.15.4_335)
- 30) Ishizu, M., Miyazawa, Y., Tsunoda, T., and Ono, T. (2019). Long-term trends in pH in Japanese coastal seawater. *Biogeosciences*, 16, 4747–4763. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-16-4747-2019>
- 31) 牛島大志, 田中周平, 鈴木裕識, 雪岡聖, 王夢澤, 鍋谷佳希, 藤井滋穂, 高田秀重 (2018). 日本内湾および琵琶湖における摂食方法別にみた魚類消化管中のマイクロプラスチックの存在実態. 水環境学会誌, 41(4), 107–113. DOI: <https://doi.org/10.2965/jswe.41.107>