

地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究（Ⅱ型）

「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究」

報告書

平成 29（2017）～令和元（2019）年度

目 次

1. 研究背景と概要	1
2. 宮城県海域公共用水域環境基準点（松島湾）における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について	4
3. 茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する 有機物項目（第3報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較	12
4. 東京湾内湾の千葉県沿岸域における溶存酸素濃度の状況（2003～2017 年度）	17
5. 東京湾における底層 DO の長期変化について	19
6. 山形県沿岸海域における鉛直水質及び COD 関連項目測定結果について	23
7. 新潟東港における水質及び有機態窒素分解試験の結果について	30
8. 新潟県内沿岸海域公共用水域常時監視点における有機物指標項目 及び関連する栄養塩類について	36
9. 富山湾沿岸海域における COD と関連する有機物項目について	45
10. 石川県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について（第3報）	51
11. 浜名湖における水質管理に係わる項目の状況把握	56
12. 阿蘇海における水質管理に関わる底層溶存酸素と栄養塩等について	60
13. 大阪湾における栄養塩類、COD 及び有機物項目との関連について	70
14. 大阪湾と播磨灘における窒素、りんと一次生産の関係（2017～2019 年度）	76
15. 徳島県沿岸海域における COD 関連項目の現状と傾向	78
16. 高知県浦ノ内湾における水質鉛直分布と関連する有機物項目 及び栄養塩類等について	86
17. 広島湾の公共用水域常時監視地点における COD 関連項目の季節変動について	103
18. 博多湾海域における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について	112
19. 長崎県大村湾湾奥部における海況及び栄養塩類、COD 関連項目について	120
20. 宮崎県延岡湾沿岸海域における COD、栄養塩類等について	126
21. 鹿児島湾湾奥部における COD 関連項目、栄養塩類、下層 DO について	134
22. 資料（研究実施組織、成果発表一覧、全体会合記録）	141

研究背景と概要

1. はじめに

この報告書は平成 29（2017）年度から令和元（2019）年度に渡って実施してきた地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究（Ⅱ型）「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究」で得られた成果を取りまとめたものである。

全国の沿岸海域の公共用水域水質測定において必ずしも測定されていない底層溶存酸素量（DO）とその消費原因に関連する水質項目について情報を得て、貧酸素水塊軽減や適正な栄養塩状態を維持すべく、沿岸海域水環境管理上有益な知見を提供することを本報告書の課題では目的としてきた。

地方環境研究機関から研究課題として依然として要望が多かった、海域における COD 等の有機物指標や貧酸素水塊、栄養塩の状態把握に関する現場調査・水質分析、新たな測定法の検討と、既存の公共用水域常時監視等の水質データの活用・解析等の実施項目を選択肢として並列的に行ってきた。

具体的には、平成 23～25 年度に実施してきたⅡ型共同研究の前々課題の「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」、および平成 26～28 年度に実施してきた前課題の「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」において対象にしてきた溶存性・懸濁性有機炭素（DOC・POC）やクロロフィル a（Chl a）貧酸素水塊形成に寄与する水柱中の易分解性有機物を評価するための海域版 BOD 等の有機物指標に関連する項目の測定を引き続き行うことに加えて、本課題報告書では、その有機物の一部を占める溶存性有機態窒素（DON）の分解に伴う溶存性無機態窒素（DIN）、すなわち栄養塩への変換性の評価について新たに検討を行った。

また、過去 40 年近くの間公共用水域水質測定（常時監視）で蓄積されてきた上記に関連する項目の内、とりわけ底層 DO について、その長期変動トレンドを季節調整という時系列解析手法によって、今回幾つかの海域について新たに抽出を試みた。

貧酸素水塊については、現在、水質環境基準生活環境項目として類型当てはめが総量規制対象閉鎖性海域で検討されていることから、前々課題、前課題から引き続き多項目水質計を用いた現場測定を全国の沿岸海域において実施し、実態把握を継続して行ってきた。

沿岸海域環境における栄養塩の状態の評価のために、公共用水域常時監視で測定されている水質環境基準項目である全窒素・全リン（TN・TP）に加えて、硝酸・亜硝酸態、アンモニア態窒素（NO₃・NO₂-N, NH₄-N）、リン酸態リン（PO₄-P）等の栄養塩を未測定海域において測定を行い、栄養塩が TN・TP に占める割合の評価を行った。

以上、全国の沿岸海域に共通し、水生生物生息場や水産資源にも大きな影響をおよぼす貧酸素水塊の発生原因に関連する未測定・未解析の水質項目について情報を得て、全国の沿岸海域における物質循環の状況を評価するための知見を前々課題と前課題から引き続き得てきた。

2. 研究成果概要

2.1 有機態窒素の分解に伴う無機態窒素への変換性評価

前述のように本共同研究課題の新規検討課題の一つとして、一般的に海水中に含まれる溶存性の各態窒素の中で最も多くを占める DON の分解に伴って DIN に変換される割合について、様々な海域の海水試料を用いて室内試験を行って評価を行った。

夏季の東京湾奥部や京都府の阿蘇海、茨城県沿岸海域の大洗港等で Chl *a* が 10~100 µg/L 以上にも達するような植物プランクトン現存量が多く、DIN、すなわち栄養塩が植物プランクトンにより消費され枯渇している海水中の DON の分解に伴い、DIN が溶存性の TN (DTN) に占める割合として 20~50% 程度生成されたのに対して、山形県沿岸海域（外海域）や播磨灘、茨城県北部の沿岸海域の大津漁港等で Chl *a* が一桁以下の海水の場合、DON 分解による DIN 生成は、DTN に対して数%~20% 程度にとどまった。

また広島湾では、沖合、湾央、湾奥の三地点で夏季に表層採取した海水中の DON の分解による DIN の生成具合を評価したところ、Chl *a* が高い湾奥の方が Chl *a* が低い沖合よりも多くの DIN が生成されていることが分かった。

富山湾では、同一地点で Chl *a* が高い表層と Chl *a* の低い下層それぞれで採水したものの DON 分解による DIN 生成程度を比較したところ、高 Chl *a* の表層海水の方が高いことが示された。

以上から、Chl *a* の高い、すなわち植物プランクトンの現存量の高い海水では内部生産による新生有機物が多く含まれて、比較的易分解性の DON から多くの DIN が生成されるのに対し、Chl *a* の低い、植物プランクトンの現存量が低い海水では新生有機物が余り多く含まれておらず、DON は難分解性のものが多く占めているために、DIN の生成割合が低いと考えられた。

2.2 季節調整による底層 DO 等の長期トレンドの解析

前課題では、公共用水域水質測定（常時監視）で過去数十年間に渡って蓄積されてきた窒素・りん等の測定値の時系列評価を幾つかの海域について行ってきたが、物質循環に係わるこれらの項目の多くのものは季節性を示すために、数十年単位の期間にわたっての長期トレンドを適切な統計的手法で抽出する必要があると考えられる。このために、これらの観測値から、観測月毎に大きく変化する季節成分と、年単位で長期に渡って変動するトレンド成分、それとノイズ成分に分けて時系列解析を行う季節調整を、各沿岸海域における公共用水域水質測定（常時監視）で取得されてきた測定値に適応することが適切であると考えられる。

東京湾を対象にした先行研究事例では、2000 年代前半までに湾南西部の神奈川県沿岸側まで低底層 DO 域（貧酸素水塊）が拡大傾向を示していたのが最近は大きく縮小し、同じ低底層 DO 域の縮小傾向は湾北東部の千葉県沿岸でも示されていた。同様の傾向は今回、新たに検討対象にした浜名湖や阿蘇海でも見られ、前者では多層で測定されている DO の内、下層から中層では緩やかな上昇傾向を示し、後者では上昇下降を繰り返しつつも全体

的に長期的に上昇傾向を示していた。また浜名湖では、 $\text{NO}_3 \cdot \text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 等の栄養塩が2000年代前半を境に減少傾向に入っていることが示された。

3. 今後の課題

以上、今回新たに検討したDON分解に伴うDIN変換能評価試験や、公共用水域水質測定（常時監視）で蓄積されてきた長期の水質データの季節調整によるトレンド解析共に、限られた海域を対象にして行ったのに過ぎない。従って引き続きこれらの検討を今回本報告書でなされなかった他海域にも拡大適用しつつ、前々課題・前課題から行っている底層DOの現場観測を含めた水塊構造の立体把握、DOC・POC、Chl *a*や海域版BOD、栄養塩類の測定を併せて継続し、各対象海域における底層DO低下等につながる物質循環の状態把握を行っていくことが肝要であると考えられる。

本課題の全体会合でご講演頂きました外部招聘者の皆様、ならびに本課題にご協力と参加頂きました地方環境研究機関の皆様方全員に対しまして、厚く御礼申し上げます。

2020年 国立研究開発法人 国立環境研究所
地域環境研究センター 牧 秀明

宮城県海域公共用水域環境基準点（松島湾）における栄養塩類と

COD に関連する有機物項目について

宮城県保健環境センター 水環境部 下道翔平 加藤景輔 牧秀明^{※1} 松本啓

※1 国立環境研究所

1. はじめに

前Ⅱ型共同研究「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」に引き続き、「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究」（平成29～令和元年度）に宮城県保健環境センターも参画し、全国的に見られる沿岸海域におけるCOD漸増傾向を解明すべく、県中央部松島湾の2地点において、夏季と冬季の年2回、採水を実施し、COD構成要素の測定を行うことで季節変化と項目間の関係について検討した。

2. 調査方法

2. 1 調査地点及び時期

図1に示すとおり、松島湾において環境基準点である桂島（A類型）及び西浜（B類型）の2地点で、前課題報告書で述べた平成23年8月～平成28年12月の間に夏季と冬季の年2回、計12回に加え、平成29～令和元年度までの3年間にわたり、水温躍層が形成される8月と循環期に入る12月に計6回採水を行った。



図1 松島湾採水地点図

2. 2 測定項目及び分析方法

COD関連項目については、採取した海水をろ過・分注し、試料水及びフィルター類は冷凍処理し国立環境研究所に送付した。

測定項目は、COD、DCOD（溶存性COD）、DOC（溶存性有機炭素）、POC（懸濁性有機炭素）、COD－DCOD（懸濁性COD）、DOC＋POC（有機炭素）クロロフィルa（Chl-a）、各態NP（NO₃－N、NO₂－N、NH₄－N、PO₄－P）、T-NP（DIN、DTN、DTP）である。

分析は、Ⅱ型共同研究報告書「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類とCODに関連する有機物項目（第3報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」（国立環境研究所）に記載された方法により、国立環境研究所が実施した。

3. 調査結果

3. 1 COD 環境基準値適合状況

図2及び図3に桂島及び西浜における平成13～29年度までのCOD 75%値を示すが、桂島はA類型の環境基準値2 mg/Lを経年的に超過しており、西浜は東日本大震災の影響による測定頻度低下により、計算上平成23年度に基準超過を示したが、概ねB類型の環境基準値3 mg/Lを達成している。

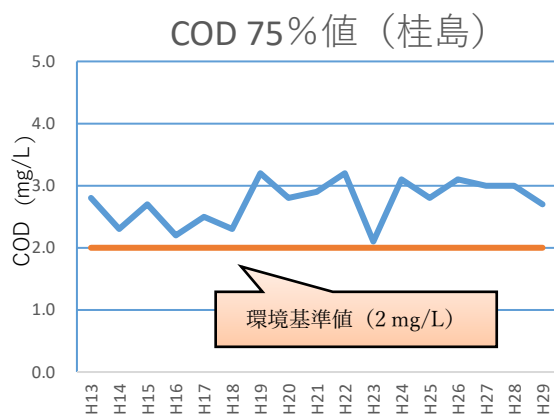


図2 桂島のCOD 75%値

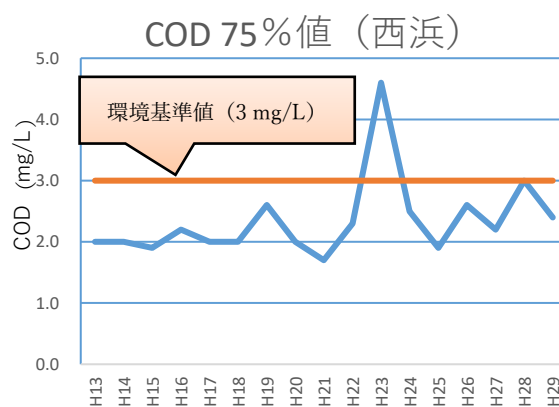


図3 西浜のCOD 75%値

3. 2 COD 構成要素調査結果

図4にCOD構成要素の調査結果を示す。桂島と西浜共に、夏季に高く冬季は低い傾向となっており、Chl-aの季節変動は西浜のほうがより顕著となっている。東日本大震災のあった平成23年8月は懸濁性CODが高くなっていたが、その後減少傾向を示している。

それ以外のデータはCODとDCODがほぼ同程度の値となっていることや、POCに比べDOCが高いことから、CODと有機炭素の成分は溶存性物質が大部分を占めているものと考えられる。

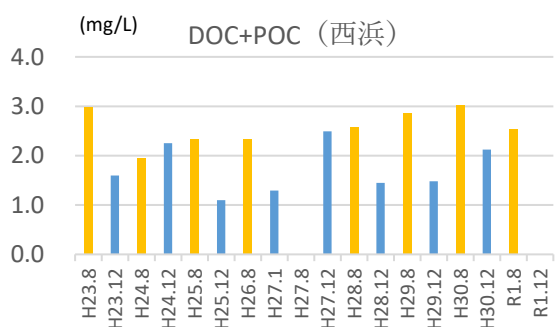
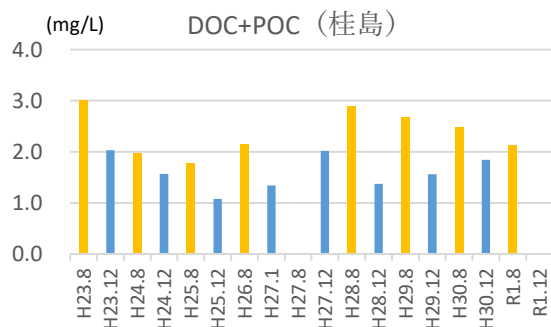
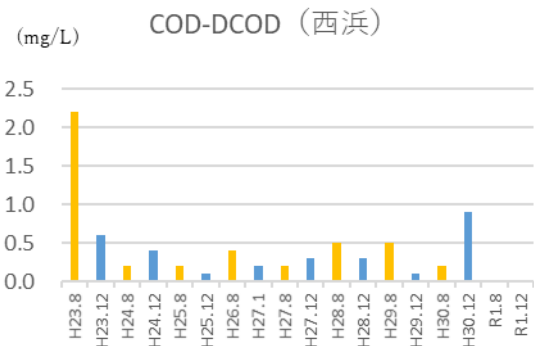
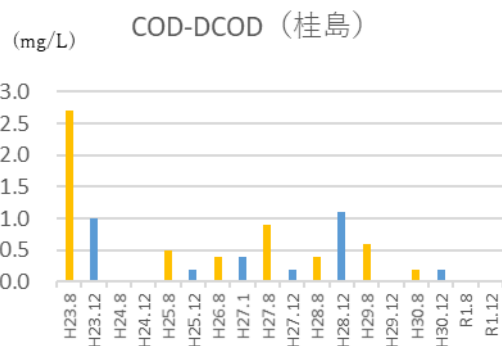
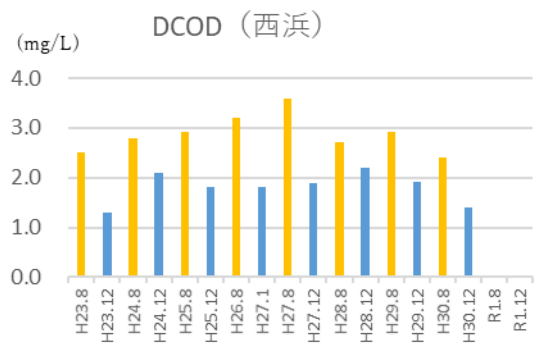
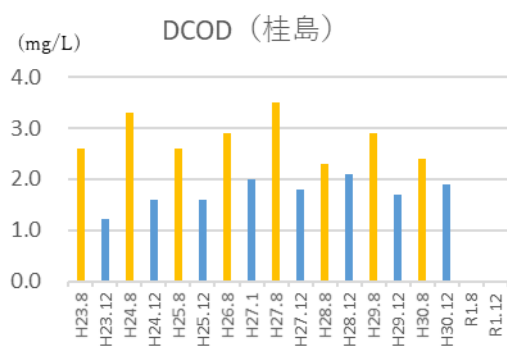
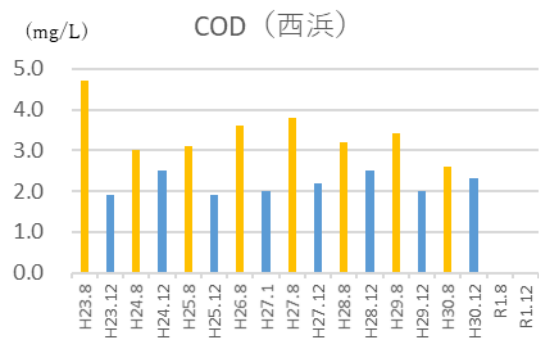
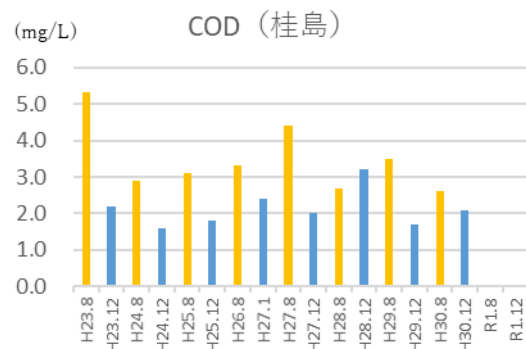


図4 COD構成要素調査結果



図4 (続き) COD 構成要素調査結果

図5に桂島と西浜におけるCOD関連項目間の関係を示す。POCとChl-aは正相関を示しているが、懸濁性CODとChl-aの相関はそれほど強固なものではなく、Chl-aは有機炭素に関与しているものと考えられる。懸濁性CODとPOCは正相関を示し、懸濁性CODはPOCつまり植物プランクトンの存在量が関与しているものと考えられる。CODと有機炭素は高い正相関を示し、有機炭素がCODを支配しているものと考えられる。なお、桂島と西浜における差異は見られなかった。

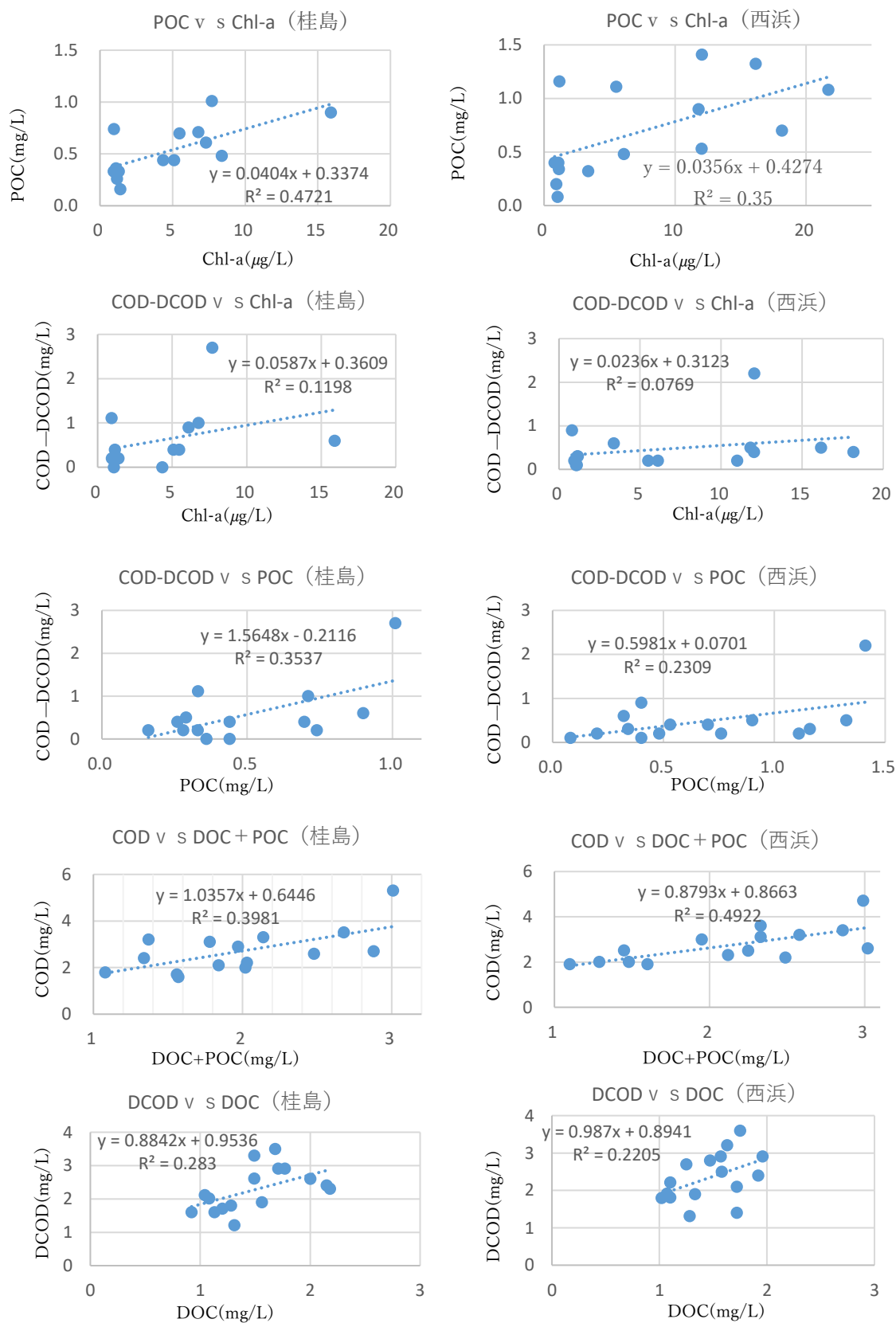


図5 桂島と西浜における COD 関連項目の関係

図 6 に栄養塩類調査結果を示す。桂島は季節による変動は見られないが、西浜は冬季に比較し夏季の栄養塩濃度 ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 等) が低い傾向にある。図 4 から夏季に Chl-a が増加していることとあわせると、夏季には植物プランクトンの生産活動により栄養塩類が取り込まれているものと考えられる。

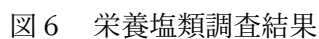




図 6 (続き) 栄養塩類調査結果

4 まとめ

- ①松島湾桂島及び西浜における COD 75%値は、桂島は A 類型の環境基準値 2 mg/L を経年的に超過しており、西浜は B 類型の環境基準値 3 mg/L を東日本大震災のあった平成 23 年度を除き達成している。
- ②COD 構成要素の調査結果では、Chl-a を除き桂島と西浜に際だった差異は見られず、いずれの項目も夏季に高く冬季は低い傾向となっている。
東日本大震災のあった平成 23 年 8 月は懸濁性 COD が高くなっていたが、その後減少傾向を示している。

それ以外のデータは COD と DCOD がほぼ同程度の値となっていることや、POC に比べ DOC が高いことから、COD と有機炭素の成分は溶存性物質が大部分を占めているものと考えられる。

③COD 関連項目間の関係では、POC と Chl-a は正相関を示しているが、懸濁性 COD と Chl-a の関係はそれほど強固なものではなく、Chl-a は有機炭素に関与しているものと考えられる。懸濁性 COD と POC は正相関を示し、懸濁性 COD は POC つまり植物プランクトンの存在量に関与しているものと考えられる。COD と有機炭素は高い正相関を示し、有機炭素が COD を支配しているものと考えられる。DCOD と DOC は弱い正相関を示している。

④栄養塩類調査結果では、桂島は季節による変動は見られないが、西浜は冬季に比較し夏季の栄養塩濃度 ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 等) が低い傾向にあり、夏季に Chl-a が増加していることとあわせると、夏季には植物プランクトンの生産活動により栄養塩類が取り込まれているものと考えられる。

本報告書は、宮城県のデータをまとめたものであるが、II 型共同研究参加機関が各々のデータをまとめ、国立環境研究所が全体的にとりまとめ、報告書として完成することから、全国的な傾向が把握できるものと期待される。

5. 参考文献

1) 国立環境研究所 牧秀明

II 型共同研究報告書「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目（第 3 報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」

2) 宮城県公共用水域及び地下水水質測定結果報告書

【平成 13～平成 30 年度】

茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目（第 3 報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較

国立研究開発法人 国立環境研究所 牧 秀明

1. はじめに

2011 年から 2013 年度実施の前々 II 型共同研究課題「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」、および 2014 年から 2017 年度実施の前課題「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」に引き続き、茨城県沿岸海域で公共用水域水質測定地点であり、岸壁からの調査・採水が可能である県最北部の北茨城市の大津漁港と県中央部の大洗港の 2 地点において、夏季と冬季の年 2 回、現場測定と採水を行って BOD・COD と関連する有機炭素物指標と栄養塩類の測定を行って季節変化と地点間の関係について検討した。

2. 現場調査、測定・分析方法

2.1 調査・採水時期

2017 年 8 月、2018 年 2 月と 9 月、2019 年 2 月と 9 月、2020 年 2 月、前々課題と前課題と同様に夏季と冬季の年 2 回ずつ、計 6 回現場観測と採水・測定を行った。また、後述の溶存性有機態窒素 (DON) の分解と溶存性無機態窒素 (DIN) 生成試験の比較対象として、2017 年 8 月に以下に述べる東京湾奥部にて調査船より表層海水を採取した。

2.2 調査採水地点

前々課題と前課題と同様に、図 1 に示す県北部の北茨城市・大津漁港（水深～6 m）と県央東部の大洗港（水深～4 m）の 2 地点で岸壁から調査・採水を行った。これら 2 地点には近傍に公共用水域常時監視（環境基準）点があり、水質環境基準生活環境項目の類型は両方とも B（COD 3 mg/L）である。また前述のように溶存性有機態窒素 (DON) の分解と溶存性無機態窒素 (DIN) 生成試験の比較対象として、2017 年 8 月に東京湾奥部の St-1（北緯 35° 37' 02"、東経 139° 58' 00"、水深 10.5 m）にて調査船より表層海水を採取した。



2.3 現場測定・採水・分析

塩分、水温、溶存酸素 (DO) は多項目水質計 Hydrolab MiniSonde 5（米国 HACH）を岸壁から海中に垂下して表層から海底まで水深約 5 cm 毎に測定を行った（※ただし 2018 年 2 月は塩分以外は 2 地点共に欠測となっている）。透明度は透明度板を用いて測定した。採水はバンドーン採水器を用いて行い、表層から 1 m 下部の海水を採取した。

採取した海水は保冷下で実験室に持ち運び、採水した日の内に分注、ろ過を行った。

COD と BOD は JIS 法に従って未ろ過海水を用いて測定を行った。ただし BOD に関して

は試水の曝気は行わず、フラン瓶の放置は5日間ではなく3日間経過した時点でDOをDO計を用いて測定し、消費されたDOをBOD3として求めた。

クロロフィル *a* (Chl *a*) の分析には450℃で4時間焼成処理した47 mm 径のガラス繊維フィルターGFCを用いて1000 ml 程度吸引ろ過したものを一晩冷蔵庫内でアセトン抽出を行い、ろ過後にフォトダイオードアレイ検出器 (SPD-M20A、島津製作所) 付き高速液体クロマトグラフィー (送液ポンプ LC-6A、制御部 SCL-6B、島津製作所) にて分析を行った¹⁾。カラムにはODS 逆相カラム (Unison UK-C18、カラム長 150 mm×3 mm 径、粒子径 3 μm、Imtakt) を用いた。

得られたろ液は溶存性のCOD (D-COD) と有機炭素 (DOC) と全窒素 (DTN)・全リン (DTP)、それに硝酸態・亜硝酸態窒素 (NO₃-N・NO₂-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N)、リン酸態リン (PO₄-P)、珪酸塩 (シリカ: SiO₂) の分析に用いた。DOCは6規定の塩酸を体積比 1%添加し窒素で曝気して無機溶存性炭素を除去した後にTOC計 (燃焼管にST触媒顆粒を充填したものを装着したTOC-L、島津製作所) を用いて測定した。窒素・リン類・珪酸はオートアナライザー (QuAAtro、ビーエルテック) を用いて測定を行い、DTNとDTPについては、ろ過海水にペルオキシ二硫酸カリウム液を添加後、オートクレーブ処理したものを測定機器に供した。

懸濁性有機炭素 (POC) は海水を450℃で4時間焼成処理した25 mm 径のガラス繊維フィルターGFFを用いて1000 ml 程度吸引ろ過したものを70℃で一晩乾燥後、デシケータ内で塩酸原液から生じる雰囲気に一晩暴露して溶存性無機炭素を除去した後に、元素分析計 (FLASH 2000、サーモフィッシャーサイエンティフィック) を用いて測定を行った。

2.4 溶存性有機態窒素 (DON) の分解と溶存性無機態窒素 (DIN) 生成試験

1 N の塩酸に浸け置き洗浄を行った500 mL 容の三角フラスコに、450℃で4時間焼成処理した47 mm 径のガラス繊維フィルターGFCでろ過した海水を200 mL 分注した後に三角フラスコの口をアルミ箔で蓋をし、暗所で20℃、110 rpm で往復振とうし、試験開始後8、15、29、43、57 日目にそれぞれ採水を行い、孔径0.8 μm の酢酸セルロース製のメンブレンフィルターが組み込まれた25 mm 径シリンジフィルターカートリッジ (DISMUC 25CS080AN、ADVANTEC) を1 N の塩酸に浸け置き洗浄を行った20 mL 容プラスチック注射筒に装着し、予め超純水で通水洗浄した後に海水試料をろ過し、2.3 で述べたのと同様に、NO₃-N・NO₂-N、NH₄-N、DTN を測定した。なお対照 (コントロール) として大気 (雰囲気) からのNH₄-N等の混入を評価するために、人工海水 (NaCl: 32.125 g、MgSO₄·7H₂O: 7.125 g、NaHCO₃: 0.168 g を1 L の純水で溶かしたもの) で上記海水試料と同様の措置を行った。

3. 結果

3.1 塩分、水温、DO、透明度

採水を行った水深1 m 層の各項目の値の範囲は、大津漁港の夏季は水温24.2℃、塩分32.9～33.5、冬季は水温11.2～12.8℃、塩分33.6～34.8、大洗港の夏季は水温24.9～25.9℃、塩分31.1～33.4、冬季は水温9.8～12.5℃、塩分33.9～34.5であった。夏季は大津漁港の方が

大洗港より海水温が低く、冬季はその逆であり、前課題実施時（2014～2016 年度）と同様の結果だった。底層 DO は冬季は大津漁港で 8.2～8.5 mg/L、大洗港で 8.5～9.2 mg/L、夏季は大津漁港で 6.0～7.8 mg/L、大洗港で 5.6～8.2 mg/L と 2 地点とも冬季よりも夏季に低下していたが、いわゆる貧酸素状態（底層 DO 4.0 mg/L 以下）は見られなかった。

透明度は大津漁港で夏季に 4.5～5.5 m、冬季に 2.75～6.0 m、大洗港で夏季に 2.0～3.3 m、冬季は 3.0～3.3 m となり、本課題実施期間中は 2 地点とも夏季と冬季との明確な差は見られなかった。また過年度と同様に冬季には海底が見える時もあった。

3.2 栄養塩類

栄養塩類の濃度範囲を表 2 に示す。

表 2 2017 年 8 月～2020 年 2 月の夏季と冬季の大津漁港と大洗港における栄養塩類
(単位は全て mg/L. カッコ内の数字は標準偏差)

地点	時季	DIN (NO ₃ -N+NO ₂ -N+NH ₄ -N)	DTN	DIP (PO ₄ -P)	DTP	SiO ₂
大津漁港	夏季	0.056 (0.071)	0.37 (0.18)	0.008 (0.008)	0.029 (0.018)	0.87 (0.57)
	冬季	0.099 (0.062)	0.44 (0.17)	0.016 (0.009)	0.032 (0.009)	0.81 (0.18)
大洗港	夏季	0.095 (0.084)	0.51 (0.19)	0.014 (0.011)	0.043 (0.022)	1.53 (0.56)
	冬季	0.106 (0.068)	0.41 (0.14)	0.020 (0.010)	0.039 (0.013)	0.83 (0.59)

地点間の比較では DIN や DIP は大洗港の方が大津漁港より高く、季節間の比較では冬季の方が夏季より高い傾向にあり、前々課題、前課題実施時と同様であった。これは夏季に表層が高水温になり植物プランクトンが活発に増殖し、成層した状態で表層中の栄養塩（DIN、DIP）を取り込んでいること、逆に冬季には低水温になるために植物プランクトンの増殖とそれに伴う栄養塩の取り込みが低下する上に、水柱は混合して下層の栄養塩が表層にも供給されているためだと考えられた。

また DIN が DTN に対して占める割合は、夏季の大津漁港で 5～26%、大洗港で 4～32% だったのに対し、冬季の大津漁港で 8～61%、大洗港 7～63% と夏季より冬季が高く、大洗港の方が大津漁港より高い傾向に有った。DIP が DTP に対して占める割合は、夏季の大津漁港で 17～37%、大洗港で 8～63%、冬季の大津漁港で 26～100%、大洗港で 24～100% と窒素と同様に夏季より冬季が高く、大洗港の方が大津漁港より高かった。これは窒素と同様に夏季の植物プランクトンの増殖に伴う栄養塩（DIP）の取り込みの活性化と成層状態にある表層中の栄養塩の低下、冬季はその逆の現象が生じていることの反映と考えられた。

3.3 BOD・COD 等有機炭素関連項目

各項目とも大洗港の方が大津漁港より高い傾向を示し、前々課題、前課題実施時と同様であった。季節間の比較では大津漁港と大洗港共に夏季の方が冬季より高い傾向にあり、前述のように、水温の高い夏季の植物プランクトンの増殖による内部生産が反映しているためだと考えられた。COD と有機態炭素共に大部分が溶存性のもの（D-COD、DOC）が占め、その割合は地点、季節に関係なく平均で 80% 近くに及んでいた。

本調査で採水した試料の COD 関連項目の測定結果を表 3 に示す。

表 3 2017 年 8 月～2020 年 2 月の夏季と冬季の大津漁港と大洗港における BOD・COD 関連項目（単位は Chl a は $\mu\text{g/L}$ 、他は全て mg/L 。カッコ内の数字は標準偏差）

地点	時季	BOD	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC	POC*	DOC+POC*	Chl a
大津漁港	夏季	0.86 (0.23)	2.30 (0.17)	2.17 (0.11)	0.13 (0.15)	1.46 (0.25)	0.44 (0.12)	1.90 (0.19)	4.04 (2.52)
	冬季	0.83 (0.49)	1.70 (0.20)	1.63 (0.32)	0.07 (0.21)	1.40 (0.46)	0.36 (0.04)	1.98 (0.44)	2.62 (2.13)
大洗港	夏季	1.72 (1.66)	2.87 (0.82)	2.30 (0.66)	0.57 (0.42)	1.68 (0.28)	0.93 (0.77)	2.62 (1.03)	6.93 (7.05)
	冬季	1.06 (0.54)	2.17 (0.82)	1.87 (1.00)	0.30 (0.20)	1.52 (0.62)	0.53 (0.10)	2.35 (0.34)	4.09 (1.87)

*2020 年 2 月は未測定

3.4 溶存性有機態窒素（DON）の分解と溶存性無機態窒素（DIN）生成試験

試験に供試した大洗港と比較対象としての東京湾奥部でそれぞれ 2017 年夏季に採取した海水試料の栄養塩類とクロロフィルの濃度範囲を表 4 に示す。各態窒素の濃度の比率は大洗港と東京湾奥部ともに相似しているが、クロロフィルが 8 倍近く東京湾奥部の方が高かった。

表 4 溶存性有機態窒素（DON）の分解と溶存性無機態窒素（DIN）生成試験に供試した大洗港と東京湾奥部で採取した海水試料の栄養塩とクロロフィル濃度（2017 年夏季に採取。単位は Chl a は $\mu\text{g/L}$ 、他は全て mg/L ）

地点	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	DTN	DON	DIP ($\text{PO}_4\text{-P}$)	DTP	Chl a
大洗港	0.010	0.002	0.015	0.651	0.624	0.004	0.044	14.6
東京湾 St-1	0.016	0.009	0.017	0.850	0.808	0.024	0.064	111.9

振とう試験開始後の各態窒素組成の経時的変化を図 2 に示す。大洗港では 15 日目、東京湾奥部では 8 日目から 29 日目にかけて $\text{NH}_4\text{-N}$ が生成され DIN の中では優占していた。その後、大洗港、東京湾奥部ともに 43 日目以降 $\text{NH}_4\text{-N}$ に取って代わって $\text{NO}_2\text{-N}$ が卓越し、明らかに $\text{NO}_3\text{-N}$ よりも多くなっていた。これは DON の分解に伴いまず $\text{NH}_4\text{-N}$ が生成し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の不完全な酸化（消化）反応で止まっているため $\text{NO}_3\text{-N}$ に変換し切れていないことの表れだと考えられた。振とう試験 57 日目の最終的な各態窒素の組成では、大洗港では DIN の占める割合が 15%であった（試験 0 日目は 9%）のに対し、東京湾では 45%にも及んでいた（試験 0 日目は 4%）。これは東京湾では大洗港よりも 8 倍高いクロロフィルが示すように、有機態窒素を含む大量の植物プランクトンに由来する新生有機物が供給され、必然的に溶存性の新生有機物も多くなり、これが比較的易分解性のために DON の分解に伴い DIN が比較的多く生成されたためだと考えられた。逆に大洗港では、易分解性の DON が相対的に少なく、その分解に伴う DIN 生成量が少なかったと考えられた。

なお対照である人工海水中の各態窒素の濃度範囲は $\text{NH}_4\text{-N}$ が 0.01～0.06 mg/L 、 $\text{NO}_2\text{-N}$

が 0.001～0.005 mg/L、NO₃-N が 0.001～0.05 mg/L、DON が 0.22～0.38 mg/L であった。

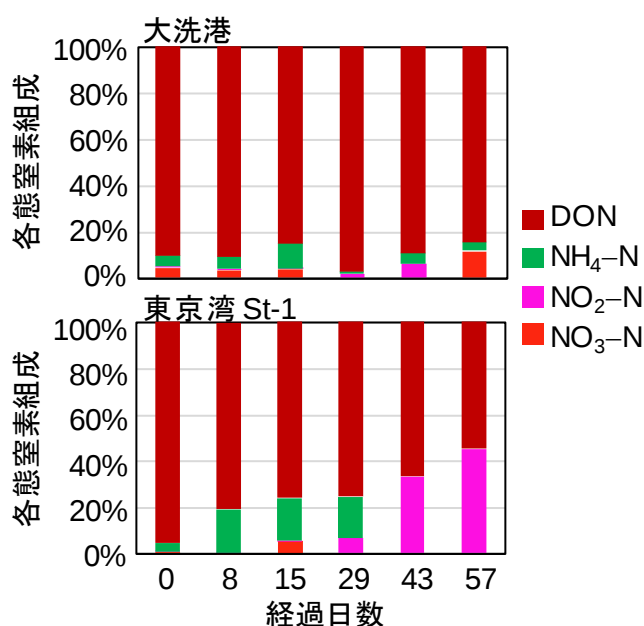


図2 振とう試験開始後の各態窒素組成の経時的変化（上：大洗港，下：東京湾奥部 St-1）
各経過日数毎に対照である人工海水中の各態窒素の濃度を差し引いたものを百分率で表している。

4. まとめ

2017 年夏季～2020 年冬季の間 6 回、大津漁港と大洗港の 2 地点、溶存性有機態窒素（DON）の分解と溶存性無機態窒素（DIN）生成試験の比較対象として東京湾奥部で現場観測、採水を行い一連の測定を行ったところ、以下のことが示された。

- ・ 塩分や透明度、栄養塩類、BOD・COD 等有機炭素関連項目の季節間変動と地点間変動は前々課題と前課題実施時の結果と同様であった。
- ・ 溶存性有機態窒素（DON）の分解と溶存性無機態窒素（DIN）生成試験では、大洗港では DIN の占める割合が試験前に 9%だったのが 15%になったのに対し、東京湾奥部では試験前に 4%だったのが 45%にも上昇した。これは植物プランクトンに由来する新生有機物中の易分解性の DON が東京湾では多かったためであると考えられた。

5. 参考資料

- 1) Kohata K., Watanabe M., Yamanaka K. (1991) Highly sensitive determination of photosynthetic pigments in marine in situ samples by high-performance liquid chromatography. J. Chromatogr. A. 558, 131–140.
- 2) 茨城県公共用水域水質測定結果
<http://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/kantai/suishitsu/water/kokyoyosuiiki.html>

東京湾内湾の千葉県沿岸域における溶存酸素濃度の状況 (2003～2017年度)

千葉県環境研究センター水質環境研究室 横山智子

1 はじめに

千葉県では多項目水質計を用いて東京湾の鉛直方向の水質を測定し、0.1 mごとに水質データを記録している。今回、東京湾の中でも特に千葉県沿岸域における2003年から2017年度の多項目水質計による観測データを取りまとめたので報告する。

2 測定位置

東京湾内湾の千葉県沿岸域の東京湾7（以下、St. 7）と東京湾9（以下、St. 9）を対象とした。対象地点の名称と位置情報（緯度経度）、全水深と年当たりの観測回数を表1に、図1に対象地点のおよその位置を示した。測定頻度は年24回だが、2011年度は年度末の震災の影響等により17回の観測である。

多項目水質計を用いて測定した鉛直方向の水質は、0.1 mごとにパソコンに数値データとして蓄積される。このデータを調査地点及び年度別に集約し、溶存酸素濃度（以下、D0）の変動図を作成した。作成したD0の変動図を図2に示す。

表1 対象地点

地点名	緯度 経度	全水深	観測頻度 ※2011年度は17回
東京湾7 (St. 7)	35° 33' 52" 140° 04' 34"	9～10 m	17～34回/年 (平均24.5回)
東京湾9 (St. 9)	35° 32' 13" 140° 01' 12"	15～16 m	17～33回/年 (平均24.2回)

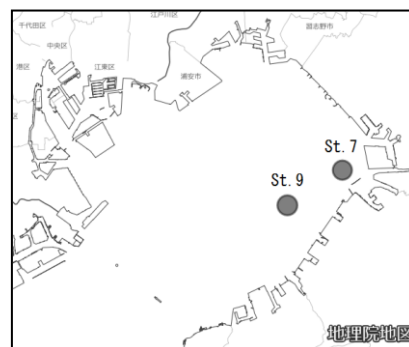


図1 対象地点の位置

出典：地理院タイル¹⁾一部加工

3 結果

本調査において、図2のD0=3 mg/L以下の青色で示された部分を貧酸素水塊とした。St. 7及びSt. 9の2003～2017年のすべての年度において、貧酸素水塊は、夏季に生成し秋から冬にかけて解消していた。表1に示したようにSt. 7とSt. 9では全水深が異なるが、貧酸素水塊の生成の時期は似ていた。また、貧酸素水塊の生成割合は、年によって異なるものの、2003～2017年を通してみると増減傾向は確認できず、毎年一定の割合で貧酸素水塊が発生していると思われた。

今後は、測定している他地点との比較や他項目（水温、塩分、クロロフィルaなど）との比較、また風向風速や降雨などの気象条件とあわせて考察していく必要がある。

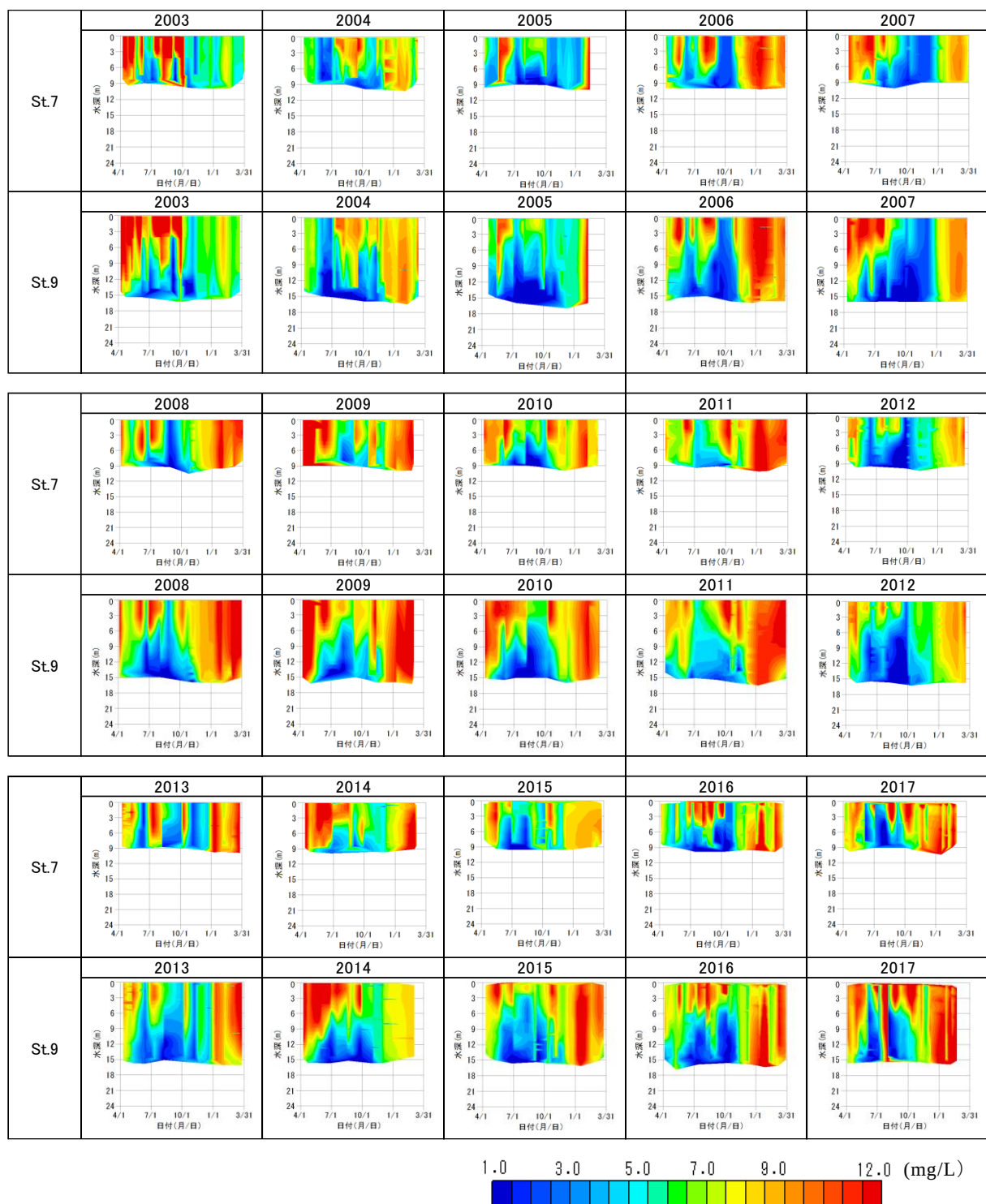


図2 St. 7及びSt. 9におけるD0の年間変動図（2003～2017年度）

参考資料

1) 地理院タイル一覧ページ.

URL. <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html> (2020年3月時点) .

東京湾における底層DOの長期変化について

公益財団法人東京都環境公社 東京都環境科学研究所

安藤 晴夫・石井 裕一・橋本 旬也・増田 龍彦

[目 的]

東京湾では水質汚濁物質の総量規制制度に基づき発生源対策が進められ、現在までの約 40 年間で流入汚濁負荷は大幅に削減されたと見積もられている。しかし今日でも湾奥部の底層では夏季に貧酸素水塊が頻発し、底生生物の生息が困難な状況が続いている。さらに貧酸素水塊は、青潮となって沿岸部に生息するアサリ等の水生生物に深刻な被害を及ぼす原因にもなっている。全国的にも閉鎖性水域では同様な問題が発生していることから、平成 28 年 3 月には底層 DO が生活環境項目環境基準に追加され、各自治体は早急な対応を求められている。

東京湾のこうした状況を改善するためには、底層DOの現状や長期的な推移、地域的な特徴等を的確に把握することが必要であることから、東京都環境科学研究所では、公共用水域の水質データを活用して統計的な解析を行ってきた。ここではその結果について報告する。なお本報告の内容は、日本海洋学会で発表した¹⁾。

[方 法]

東京湾の公共用水域水質測定データ（1984～2016 年度，測定頻度は月 1 回，下層は海底上 1 m）を用いて解析を行った。解析対象地点は、図 1 に示す 42 地点である。下層の水質測定データを底層データとした。地点別の時系列データに、季節調整法を適用して各観測値をトレンド成分、季節成分、不規則成分に分解し、調査時の気象や潮時等のランダムな影響を示すと考えられる不規則成分を除去して、トレンド成分と季節成分の和で各調査年月の平均的な水質を推定した。更に東京湾全域を $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ の格子に分割し、離散薄板モデルに基づく平面補間法により 42 地点の値から東京湾全域の水質を推定した。なお、湾全域は 981 格子に、観音崎～富津以北の東京内湾は 876 格子に分割された。

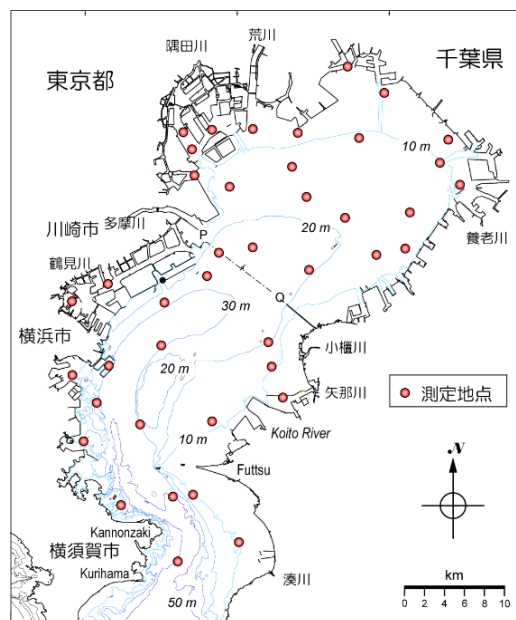


図1 解析対象地点の分布

[結 果]

図2は、1985年から5年毎の底層DOの季節変化で、DOが2mg/L以下の貧酸素化した水域は、赤色で表示した。

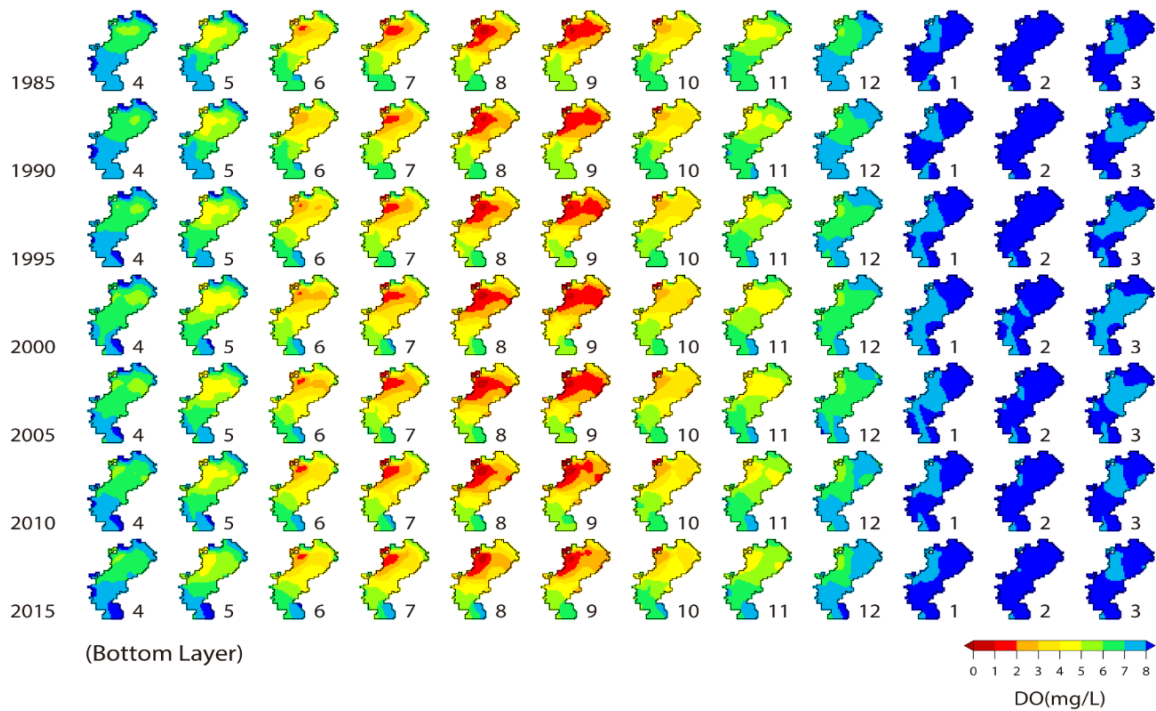


図2 底層 DO の季節変化 (1985-2015 年度)

図2によれば、貧酸素水塊は6月に東京港付近（湾奥部西側）に出現し、次第に東岸に向けて拡大して9月に最大化した後、10月には急速に消失するという季節変化が長期間続いている。

図3は、毎年、貧酸素水塊が最大化する9月の底層DOの経年的な推移を示したものである。

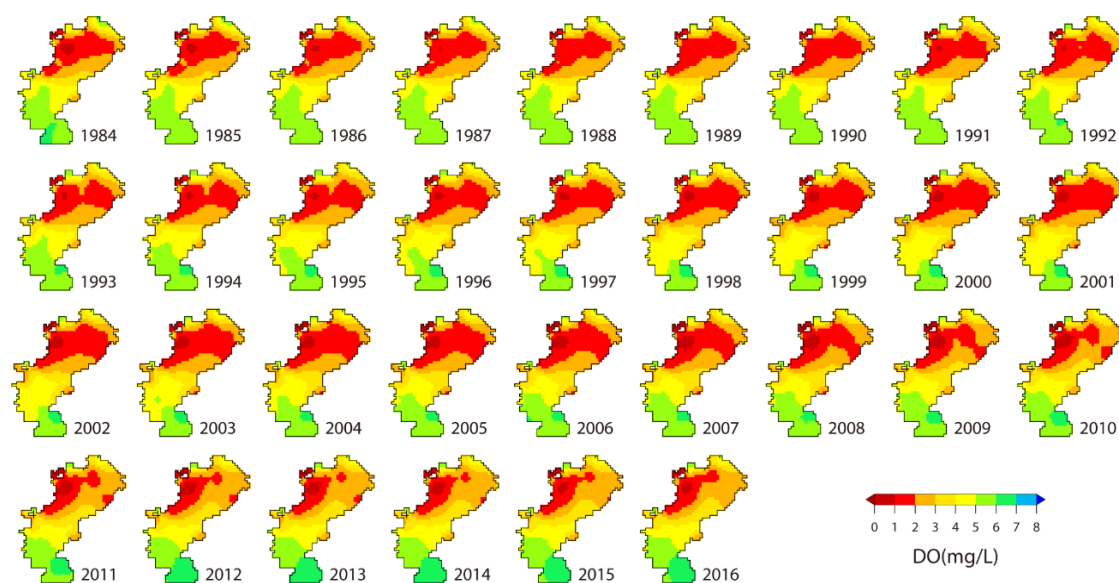


図3 9月の底層DOの長期変化（1984-2016年度）

図3によれば、一般に水生生物の生息が困難であると言われていたDOが2 mg/L以下の水域は、2005年頃から湾奥部東側では次第に縮小する傾向が認められ、2015年には、一部を除きほとんど消滅している。すなわち千葉県寄りの水域では近年、底層DOが改善傾向を示している。それに対して湾奥部西側の東京港周辺の水塊では、DOが1 mg/L以下の水塊も出現し、東京湾内で最も底層水の貧酸素化が著しいことを示している。

図4は、図3の平面分布から東京内湾の総面積（876格子）に占める各DOレベルの水域面積の割合を経年的に示したものである。DOが1 mg/L以下の面積は、2010年に約5%で最も拡大し、その後は次第に縮小している。DOが2 mg/L以下の水域は、2006年頃に約35%でピークに達し、その後は、縮小傾向を示し、2013年以降は20%以下になっている。こうした近年の底層DOの改善傾向は、前述の千葉県側の水域の改善傾向が反映されたものと考えられる。

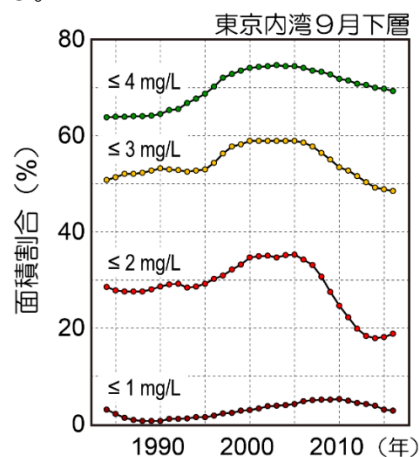


図4 DOレベル別面積割合の変化

[考察]

東京湾の湾奥部において底層DOの改善状況が東西で異なる原因について検討した。

東京湾では、荒川、隅田川等の主要河川や大規模下水処理場が湾奥部西岸に集中しており、東京湾への淡水負荷量の65%以上は、最奥部の東京港周辺の海域に流入していると推定され

ている²⁾。そのためこの海域の栄養塩濃度は、千葉県寄りの東岸部に比べて 2～3 倍高いレベルの値を示している。長期的には、これまでの対策により栄養塩の流入負荷量も大幅に削減され、東京港周辺の濃度レベルも低下しているが、赤潮発生が抑制されるまでには至っていない。一方、東岸部の栄養塩は主に西岸部から移流、拡散を経て到達するため、赤潮発生が制限されるレベルにまで濃度が低下してきたと考えられる。実際、近年、東岸部では赤潮発生頻度が減少する傾向を示している。海水中での酸素消費には赤潮プランクトン由来の有機物の寄与が大きいことが報告されており³⁾、赤潮発生状況の違いが、こうした東西での底層 DO の改善の有無の要因のひとつであると考えられる。また東京港の周辺海域では、それ以外に貧酸素水塊が発生しやすい要因として、雨天時に河川から多量の有機懸濁物が流入・堆積することや、水域の多くを航路が占めているため、陸岸近くでも水深が大きいことなども関係していると推察される。

【参考文献】

- 1) 安藤晴夫、橋本旬也、石井裕一、牧秀明（2018）東京湾における底層DOの近年の変化について、海洋学会 2018 年度秋季大会講演要旨集，p43.
- 2) 高尾敏幸・岡田知也・中山恵介・古川恵太（2004）2002 年東京湾広域環境調査に基づく東京湾の滞留時間の季節変化．国土技術政策総合研究所資料，Vol. 169, 78 pp,
- 3) 橋本旬也・石井裕一・安藤晴夫（2019）赤潮由来有機物による底層溶存酸素消費量の推計．東京都環境科学研究所年報 2019，54–55.

山形県沿岸海域における鉛直水質及び COD 関連項目測定結果について

山形県環境科学研究センター 水環境部 小林幹彦

1 はじめに

山形県の北西部は日本海に面し、ほぼ南北に直線状に延びる海岸線の延長距離は約 135 km である。沿岸海域には南から北方向に対馬海流が流れており、海岸線はその形状から、北の秋田県境から吹浦漁港までの北部岩礁海岸、吹浦漁港から湯野浜海岸に至る砂浜海岸、湯野浜海岸から新潟県境の鼠ヶ関付近までの南部岩礁海岸の 3 地域に区分される。砂浜海岸のほぼ中央には流域面積 7,040 km² の最上川が流入し、その北側に隣接して水質悪化が懸念される酒田港がある。

山形県沿岸海域における水質の状況把握、及び酒田港内の水質悪化原因を究明するため、国立環境研究所とのⅡ型共同研究「海域における水質管理に関わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究（平成 29～31 年度）」に前課題から引き続き参加し、現地調査と採水を行うとともに、詳細な水質分析を行った結果について解析した。

2 調査方法

2.1 調査地点と調査時期

日本海沿岸の鼠ヶ関沖と吹浦沖及び酒田港内の No.1、No.5、No.7、No.9、No.11 地点（図 1）について、平成 29～30 年度の夏と冬の計 4 回、県の漁業監視船「月峯」に乗船し、多項目水質計による水質鉛直分布の測定を行うとともに、採水したサンプルについて COD 関連項目の測定及び有機態窒素の分解試験を行った（平成 30 年度の冬は酒田港内のみ）。平成 31 年度は、県の公共用水域水質測定業務の委託業者に追加の採水を依頼し、同様に水質分析を行った。



2.2 調査内容

(1) 現地での水質鉛直分布の測定

各地点の水温、塩分、DO について、多項目水質計（HACH 社製 Hydrolab DataSonde 4a）を船上から海中に垂下して鉛直分布の測定を行った。

(2) COD 関連項目の測定

各地点について水深約 0.5 m の海水を採水した後、試料を保冷下で実験室に搬入し、ふらん瓶で 3 日間及び 5 日間培養し、BOD 分析を行った。また、試料を直ちに Whatman GF/F ガラス繊維フィルターを用いてろ過した。ろ液、フィルター及び未ろ過試料を冷凍して国立環境研究所に送付し、牧の方法¹⁾で COD、溶存態 COD（D-COD）、溶存態有機炭素（DOC）、懸濁態有機炭素（POC）、クロロフィル a（Chl-a）の分析を国立環境研究所が行った。また、COD から D-COD を差し引いたものを懸濁態 COD（P-COD）とした。

(3) 有機態窒素の分解試験

海域における栄養塩の動態を把握するために、(2)で採取した試料の一部について溶存有機態窒素（DON）の分解試験を行った。試料を Whatman GF/C ガラス繊維フィルターでろ過して得られたろ液を、三角フラスコに移して口をラップで覆い、遮光した恒温槽中で 20℃に保ちながらマグネチックスターラーを用いて攪拌した。

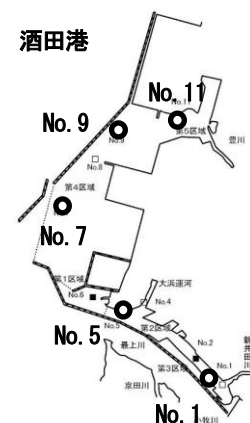


図 1 沿岸海域と酒田港内の調査地点

攪拌開始後 0, 1, 2, 4, 6, 8 週目の試料を採取して冷凍し、国立環境研究所に送付して(2)と同様の方法で各態窒素 (DON 、 NO_2^- -N、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N) の分析を行った。各年度において試験に用いた試料は下記のとおりである。また、空気中からの溶存無機態窒素 (DIN) 混入の影響を評価するため、これらに加えて人工海水についても同様の試験を行った。

- ・試験に用いた試料

- 平成 29 年度：鼠ヶ関沖、吹浦沖（冬）

- 平成 30 年度：酒田港 No.1、No.7、No.11（冬）

- 平成 31 年度：酒田港 No.5、No.7、No.11（夏）（公共用水域水質測定で採水した試料を使用）

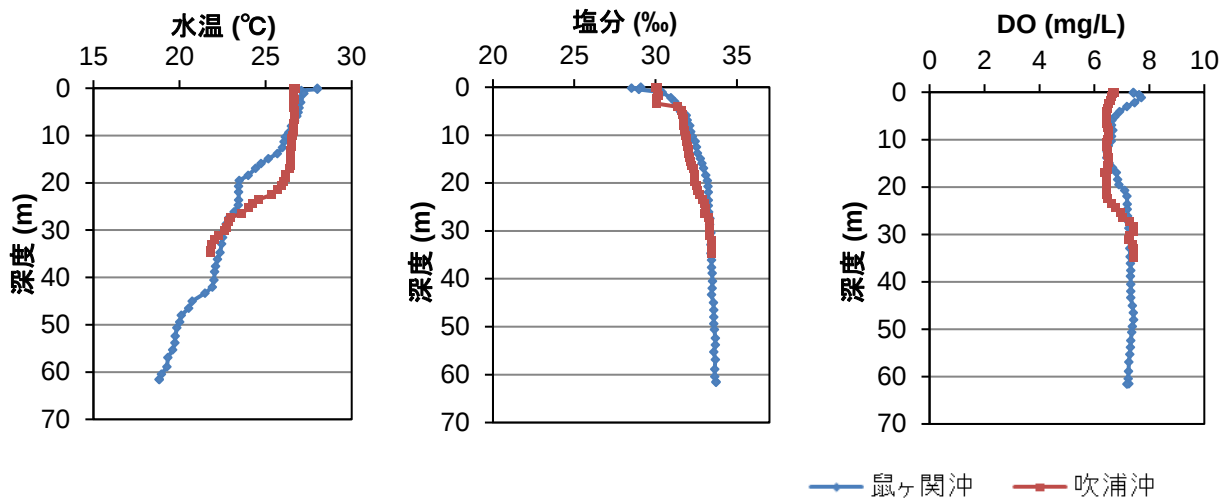
3 結果と考察

(1) 水温、塩分、DO の鉛直分布

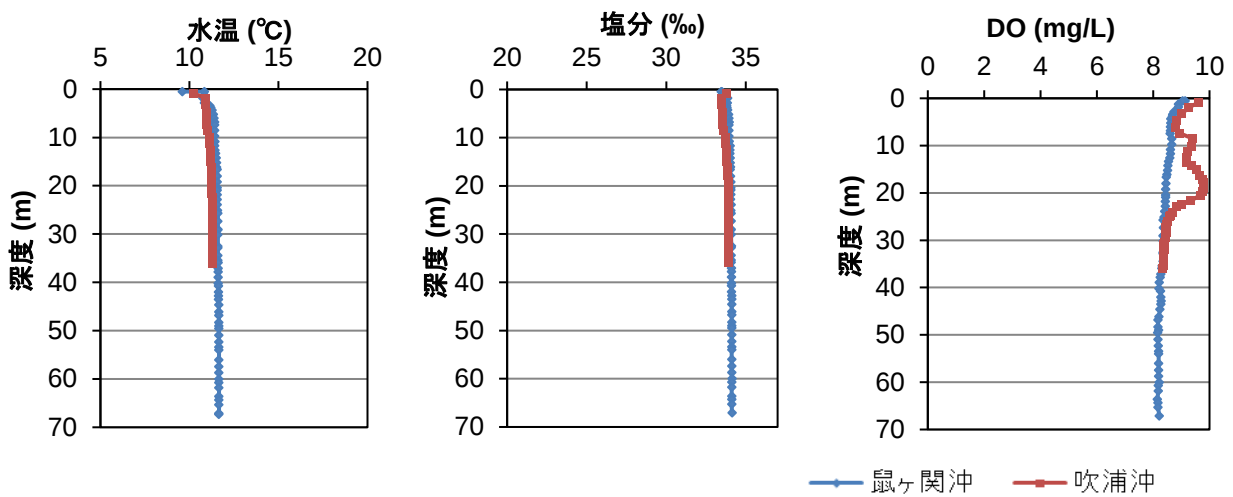
鼠ヶ関沖（水深 70 m）と吹浦沖（水深 40 m）における水質鉛直分布の測定結果を図 2 に示す。これらの地点では、夏は底層に行くほど水温が低下する傾向があったが、いずれの調査日においても底層 DO は 4 mg/L 以上であり、貧酸素水塊は確認されなかった。

酒田港内の各地点における水質鉛直分布の測定結果を図 3 に示す。No.1, No.5, No.11 地点では、流入河川の影響により表層付近の塩分が低い傾向にあった。DO については、ほとんどの地点、調査日において 4 mg/L 以上であり、明確な貧酸素水塊は確認されなかった。しかし、港の奥側である No.1 地点において平成 30 年 8 月に底層の DO が約 4 mg/L まで低下するなど、いずれの地点、調査日においても表層より底層の方が低い傾向にあった。

調査月：平成 29 年 8 月（夏）



調査月：平成 30 年 1 月（冬）



調査月：平成 30 年 8 月（夏）

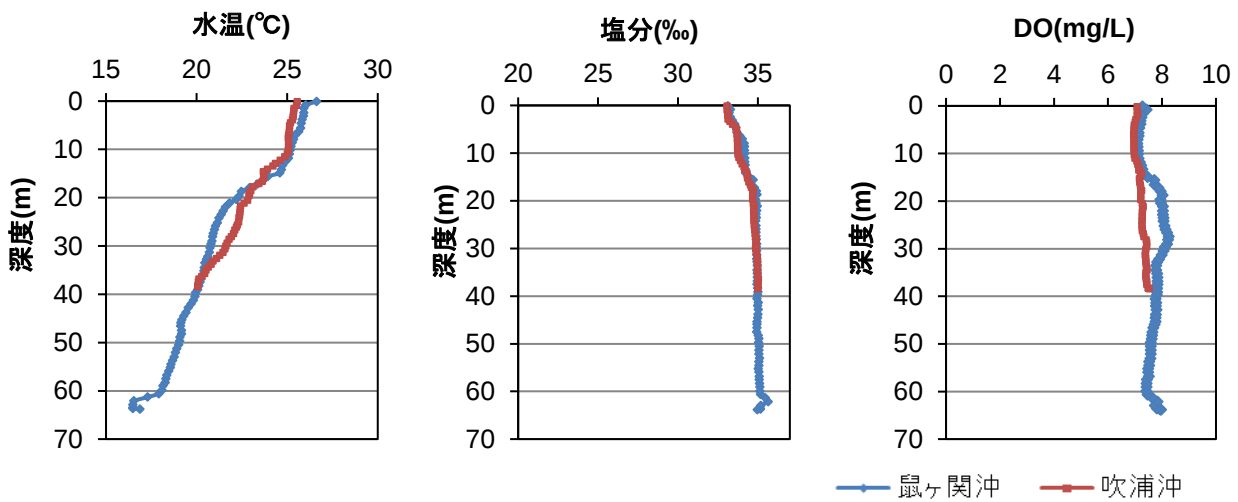
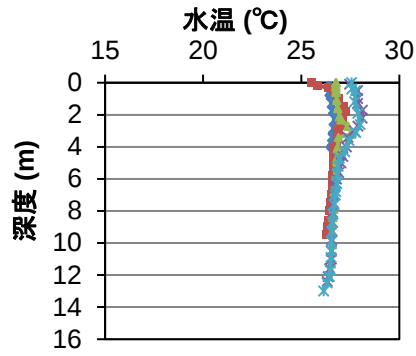
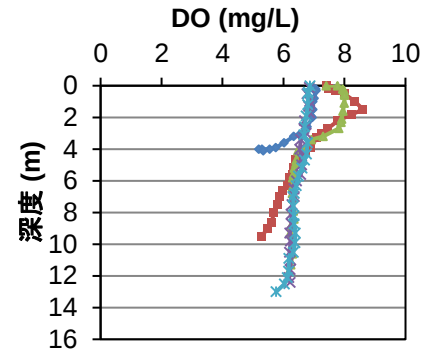
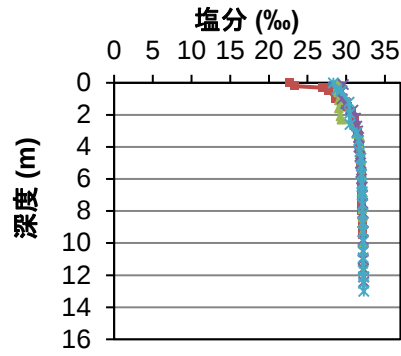


図 2 鼠ヶ関沖と吹浦沖における水温、塩分、DO の鉛直分布

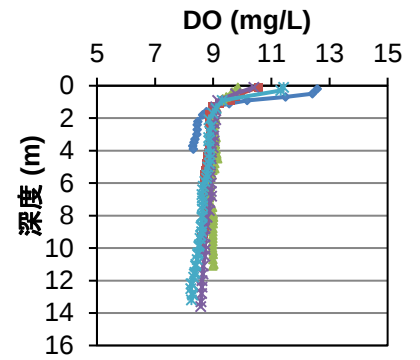
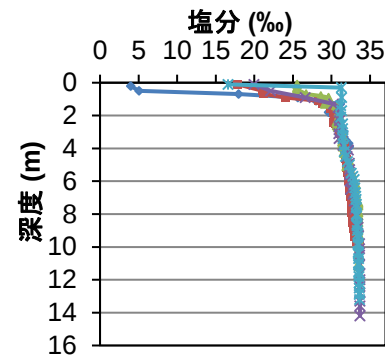
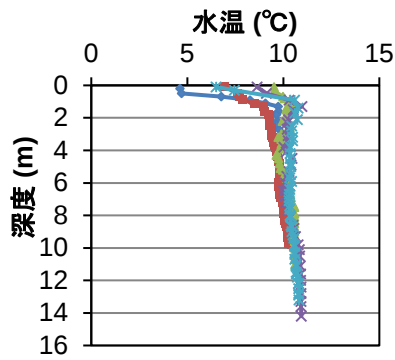
調査月：平成 29 年 8 月（夏）



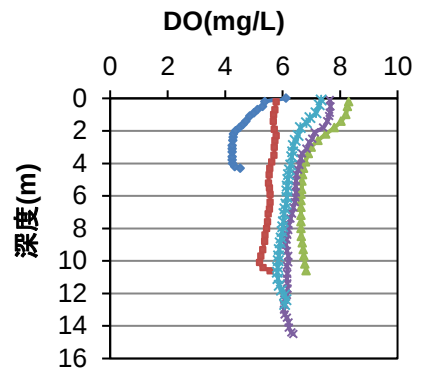
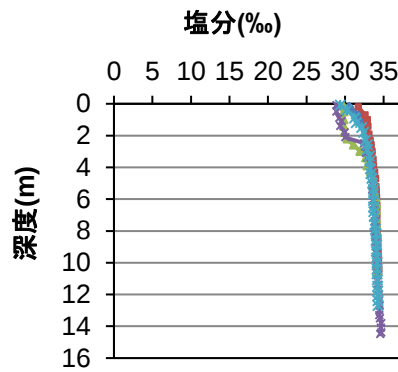
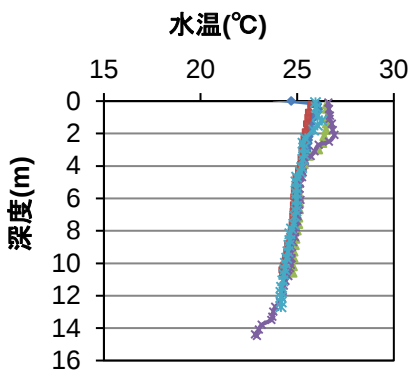
—●— No.1 —●— No.5 —●— No.7 —●— No.9 —●— No.11



調査月：平成 30 年 1 月（冬）



調査月：平成 30 年 8 月（夏）



調査月：平成 30 年 12 月（冬）

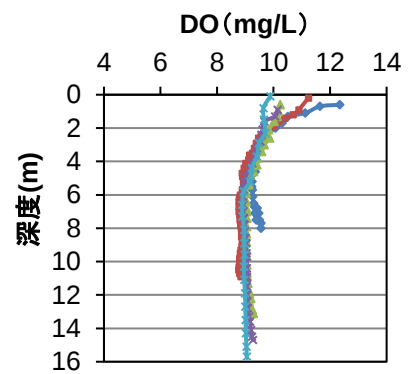
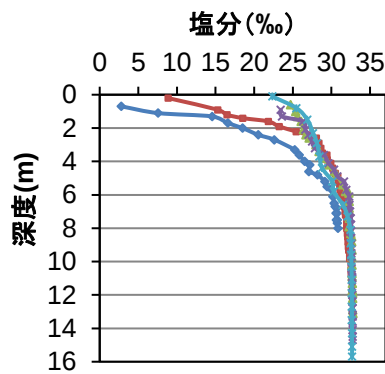
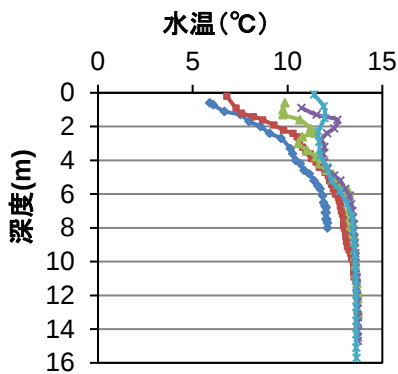


図 3 酒田港内の水温、塩分、DO の鉛直分布

(2) COD 関連項目の測定

図 4 に、酒田港 No.1, No.7 及び鼠ヶ関沖における COD 及び D-COD と P-COD の分画を示す。酒田港内外の COD は河川が流入する港の奥側から外側にかけて減少する傾向にあり、いずれの地点でも COD に占める D-COD の割合が高かった。

図 5~7 に、各 COD 関連項目間の相関について、全ての測定地点における結果をまとめたグラフを示す。Chl-a と P-COD について夏と冬に分けて解析すると、夏に弱い正の相関が見られ、冬は Chl-a が低くても P-COD が高い場合があった（図 5）。このことから、夏は主に植物プランクトンの増殖により COD が増加する傾向にあるが、冬はこれ以外の要因が COD の変化に寄与していると考えられる。

TOC（POC+DOC）と COD については正の相関があるようであったが、相関係数は 0.365 と小さかった。また、懸濁態と溶存態及び夏と冬それぞれについて分けて解析した結果も同様であり、明確な相関関係は見られなかった（図 6）。

BOD について、BOD3 と BOD5 には正の相関があり、5 日目までは微生物による分解に伴う酸素消費が一定の速度で進んでいると考えられる（図 7, 左）。しかし、BOD と COD の間には明確な相関関係は見られず、夏と冬に分けて解析した結果も同様であった（図 7, 右）。

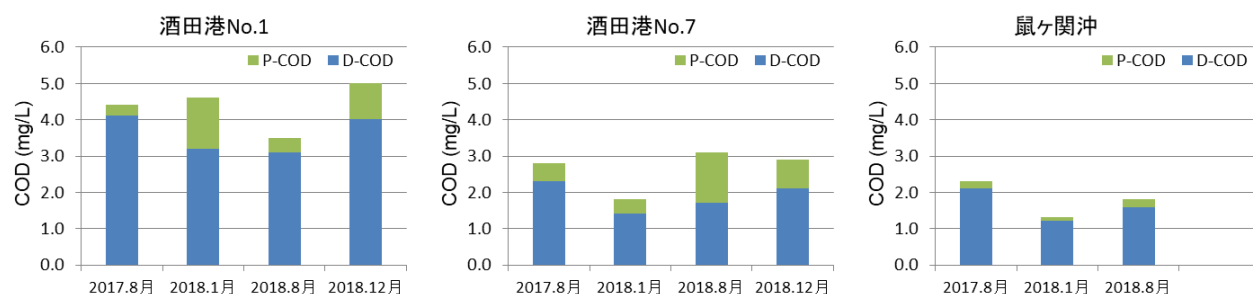


図 4 各地点における COD に占める D-COD の割合

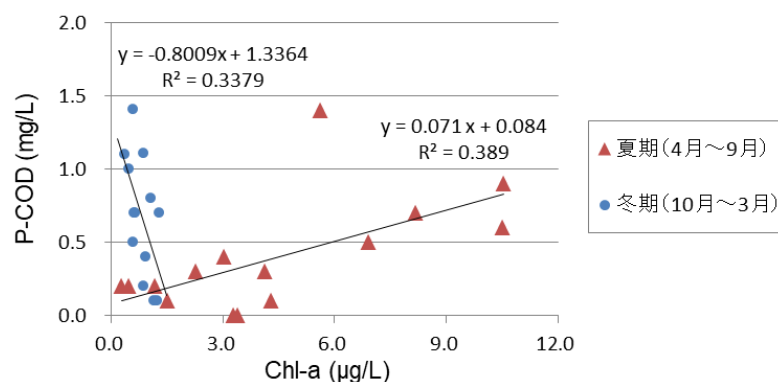


図 5 Chl-a と P-COD の相関

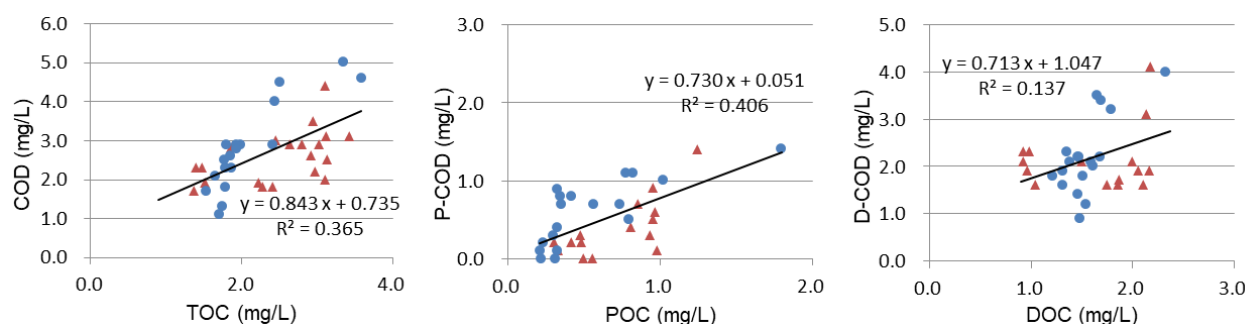


図 6 TOC と COD の相関 ▲ 夏期(4月～9月) ● 冬期(10月～3月)

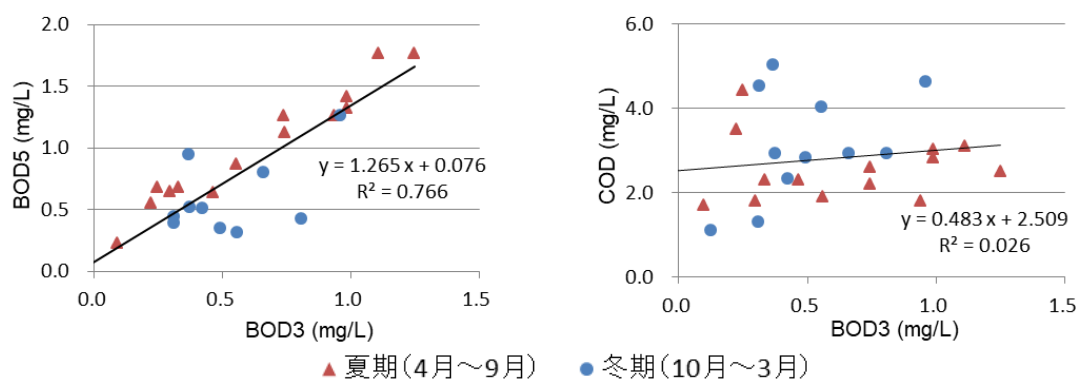
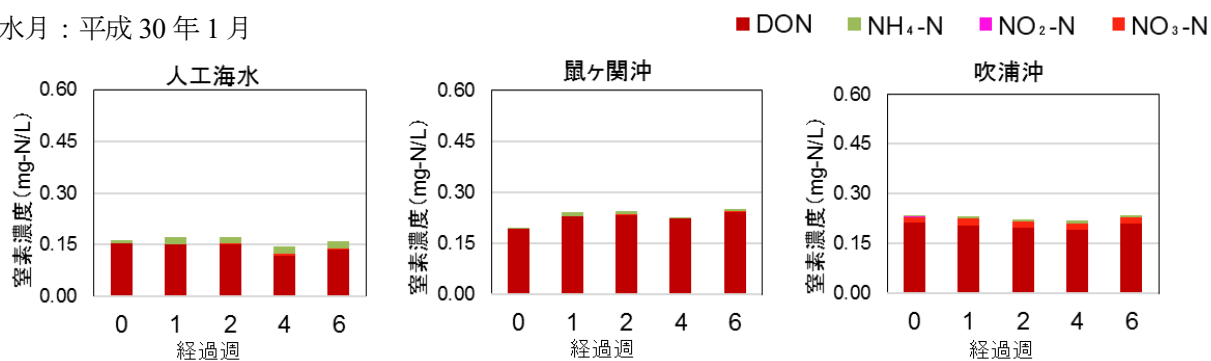


図7 BOD と COD の相関

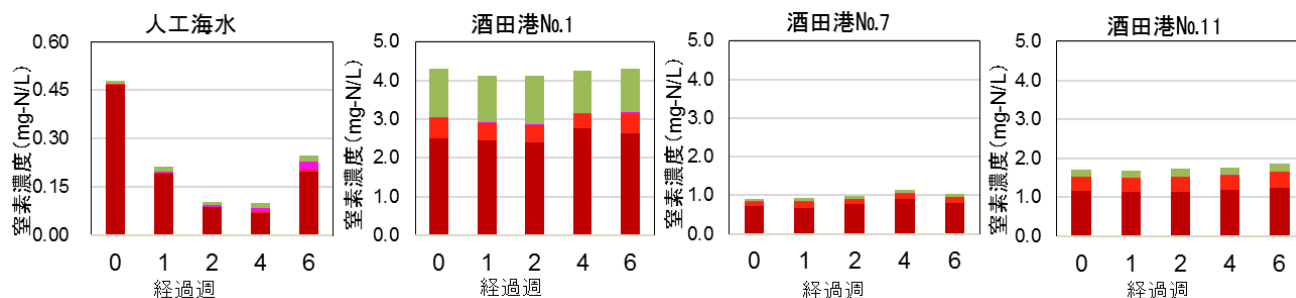
(3) 有機態窒素の分解試験

攪拌の経過週に対する各態窒素の濃度推移を図8に示す。いずれの地点においてもDONの濃度は6～8週間攪拌後もほぼ変化がなかった。このことから、本県の沿岸海域のDONは難分解性のものの割合が大きいと考えられる。

採水月：平成30年1月



採水月：平成30年12月



採水月：平成31年7月

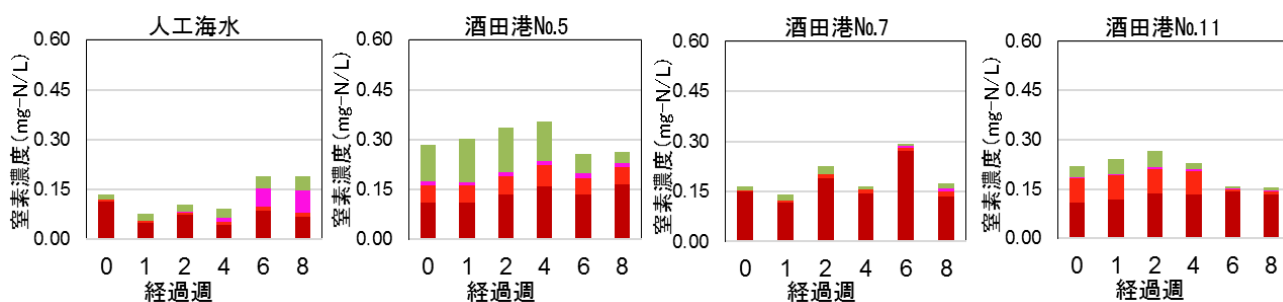


図8 有機態窒素の分解試験の結果

4 まとめ

日本海沿岸の鼠ヶ関沖と吹浦沖及び酒田港内の各地点において、多項目水質計による水質鉛直分布の測定と、COD 関連項目の測定及び有機態窒素の分解試験を行った。

多項目水質計による水質鉛直分布の測定では、全ての地点で明確な貧酸素水塊は確認されなかったものの、酒田港内の各地点において底層側で DO が低下する傾向が見られた。

COD 関連項目の測定では、本県の海域における COD は D-COD の割合が高いことを確認した。また、Chl-a と P-COD の相関から、夏は主に植物プランクトンの増殖により COD が増加するのに対し、冬は別の要因が COD 変化に寄与すると推測された。TOC 及び BOD と COD の間には明確な相関関係は見られなかった。

有機態窒素の分解試験では、いずれの地点・季節においても DON は 6~8 週間の攪拌後も変化がなかったことから、本県の海域における DON は難分解性のものの割合が大きいことがわかった。

今後は、本調査で得られた水質データ等を活用しながら、水質シミュレーションを用いた酒田港の水質将来予測を行い、港内における水質改善に効果的な施策を模索していく。

5 参考文献

- 1) 牧秀明(2014)：茨城県沿岸海域公共用水域常時監視点における COD と関連する有機物項目について。地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究（Ⅱ型）「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」報告書, 11-15

新潟東港における水質及び有機態窒素分解試験の結果について

新潟県保健環境科学研究所

調査研究室 水質科学科

松崎 彩実

1. はじめに

新潟市の北端に位置する新潟東港は工業地帯に面し、福島潟放水路と新発田川放水路が接続している。港の海側は防波堤で囲まれているため県内他海域と比べて閉鎖的な環境であり、化学的酸素要求量（COD）も高く、近年は環境基準値を超過する状況が続いている。一般に、CODが高くなる要因としては富栄養化による植物プランクトンの増加などが考えられる¹⁾。また、東京湾などのCODの高い閉鎖性の海域では、夏季の高水温期に底層の貧酸素化が進むことが知られており²⁾、これらが塊となった貧酸素水塊が発生すると沿岸海域環境への悪影響が懸念される。

当研究所では、平成26年度から28年度まで実施された国立環境研究所とのⅡ型共同研究「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」において、新潟東港の水質及び溶存酸素量（DO）の鉛直分布を調査した。平成26年度から28年度に計4回実施した調査では、貧酸素耐性の低い水生生物が生息、再生産できるとされている底層DOの基準である4 mg/Lを下回ることにはなかった。また、同じくⅡ型共同研究に参加している新潟市衛生環境研究所により、当該海域では、他のクロロフィルa（Chl.a）濃度の低い海域と比べて栄養塩となる溶存性無機態窒素（DIN）が高いことが報告されている³⁾。今回、平成29年度から令和元年度（平成31年度）の調査期間において、当該海域における水質調査及び鉛直分布調査を実施し、加えて当該海域におけるDINの由来を考察するために有機態窒素分解試験を行ったので報告する。

2. 方法

2. 1 調査地点及び測定日

新潟東港の位置を図1に、調査地点を図2に示す。測定は、公共用水域常時監視（環境基準）点である新潟海域（新潟東港）No.15において実施した。本海域は、生活環境の保全に関する環境基準の海域B類型に指定されており、CODの環境基準値は3 mg/Lである。新潟県が実施する公共用水域常時監視に併せて、平成29年度から令和元年度（平成31年度）までにChl.aを計7回測定した。また、鉛直分布調査は計9回実施した。有機態窒素分解試験については、平成30

年 8 月 7 日に採水した試料を使用して行った。



図 1 新潟東港の位置



図 2 調査地点

2. 2 水質調査

公共用水域常時監視において、水温、全水深、透明度及び表層・中層（水深 3 m）混合試料液の COD は新潟県新発田環境センターが、混合試料液の全窒素（T-N）及び全燐（T-P）は当所が測定した⁴⁾。また、混合試料液の Chl.a については国立環境研究所が分析した。

2. 3 鉛直分布調査

平成 29 年度は国立環境研究所より借用した多項目水質計（Hydrolab 製, DATA SONDE4a）を使用し、平成 30 年度から令和元年度（平成 31 年度）は当研究所で購入した多項目水質計（ワイエスナノテック製, EXO2）を使用して調査地点（No.15）の海面から海底付近まで鉛直方向に徐々に沈めながら、DO、塩分、水温及び Chl.a を測定した。

2. 4 有機態窒素分解試験

有機態窒素の分解による DIN の供給を考察するため、室内での溶存性有機態窒素（DON）の分解試験を行った。

ガラス繊維フィルター GF/C（平均孔径 1 μm ）でろ過した表層・中層混合海水を 500 mL 三角フラスコに 300 mL 分取し、藻類培養試験器（伊藤製作所製）を用いて暗所、約 20 $^{\circ}\text{C}$ で振とうを行った。一定期間ごとに孔径 0.80 μm シリンジフィルターカートリッジ（ADVANTEC 製）を用いて試料を約 30 mL ろ過し、計 7 回のサンプリングを行った。また、人工海水（NaCl : 32.125 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 7.125 g, NaHCO_3 : 0.168 g を 1 L の純水で溶かしたもの）を対照として、同様の操作を行い、実験室雰囲気からの汚染の有無を確認した。サンプリングした試料については、全窒素(T-N)、アンモニア性窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)及

び亜硝酸性窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)を測定した。DON は T-N から DIN ($\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{NO}_2\text{-N}$ の合算値) を差し引いて求めた。

3. 結果及び考察

3. 1 水質調査

No.15 での調査日における現地概況、T-N、T-P、COD⁴⁾ 及び Chl.a 濃度の分析結果を表 1 に示す。分析結果を比較すると、調査期間の中で平成 29 年 9 月及び 10 月に COD が高い値となっていたが、Chl.a 濃度は 10 月が 9 月に比べて約 10 倍高く、大きく異なっていた。10 月は植物プランクトンの増加により COD が高くなったと考えられるが、水温や T-N 濃度、T-P 濃度などが他年度の 10 月と比べて同程度であることから、植物プランクトンの増加の原因は不明である。また、9 月は植物プランクトンの増加以外の要因により COD が高くなったと考えられ、その要因としては河川水や工場排水などの流入による有機物流入の影響や枯死した植物プランクトン細胞の蓄積などが可能性として考えられる。これらのことから、No.15 において COD が高くなる要因としては、植物プランクトンの増加が影響する場合と、植物プランクトンの増加以外の有機物が影響する場合があることが考えられた。

表 1 現地概況及び分析結果

調査日	天候	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	全水深 (m)	透明度 (m)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (mg/L)	Chl.a ($\mu\text{g/L}$)
平成 29 年 8 月 7 日	快晴	29.0	14	2.5	0.25	0.023	3.6	3.9
平成 29 年 9 月 5 日	快晴	26.5	14	3.0	-	-	4.5	4.0
平成 29 年 10 月 10 日	曇り	22.5	14	1.9	0.45	0.033	4.6	39.5
平成 30 年 4 月 10 日	晴れ	11.0	14	5.0	-	-	1.8	-
平成 30 年 5 月 8 日	曇り	15.0	14	3.0	0.49	0.034	2.6	-
平成 30 年 6 月 12 日	晴れ	19.5	14	4.0	0.28	0.023	2.2	-
平成 30 年 8 月 7 日	曇り	27.5	14	3.0	0.41	0.023	3.5	2.7
平成 30 年 9 月 4 日	曇り	27.2	14	2.5	-	-	4.0	-
平成 30 年 10 月 9 日	晴れ	26.5	14	3.0	0.46	0.032	2.8	9.9
令和元年 8 月 6 日	快晴	32.0	14	2.0	0.38	0.028	4.1	13.1
令和元年 10 月 8 日	曇り	23.0	13	3.0	0.41	0.047	1.9	3.4

3. 2 鉛直分布調査

No.15 の各年度における水深 1 m ごとの DO、水温、塩分及び Chl.a 濃度の鉛直分布を図 3～5 に示す。いずれの調査日においても、全水深(表 1)と多項目水

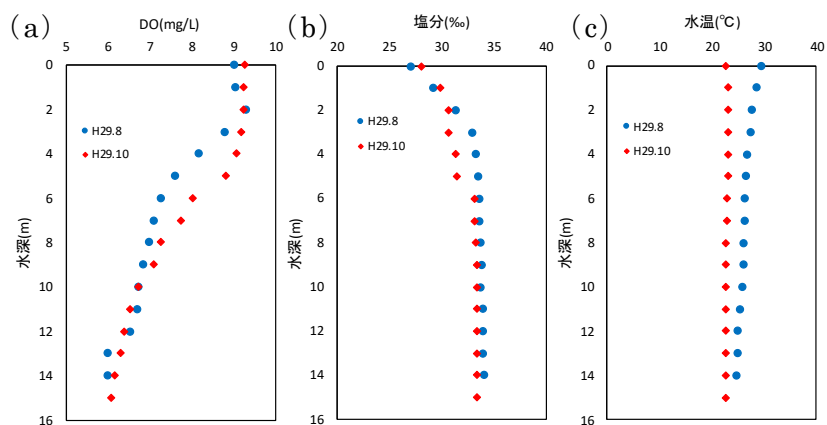


図3 平成29年度における (a) DO、(b) 塩分、(c) 水温

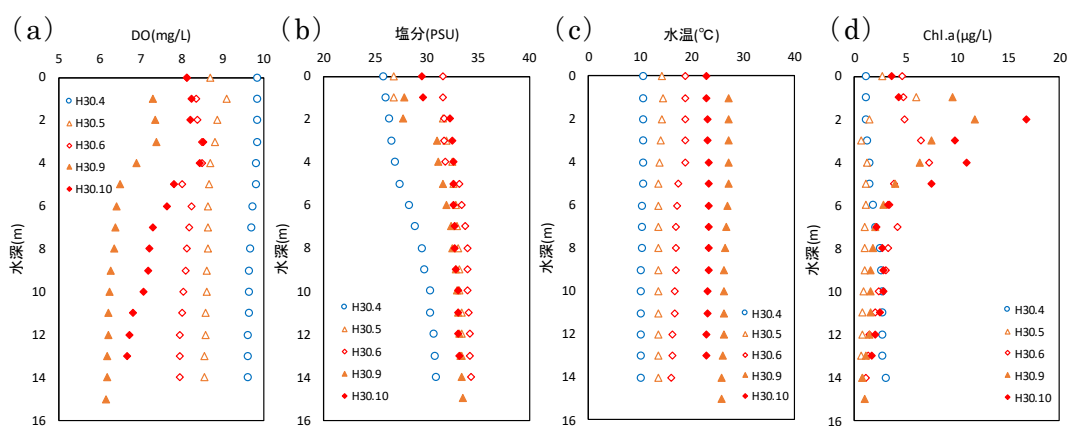


図4 平成30年度における (a) DO、(b) 塩分、(c) 水温、(d) Chl.a

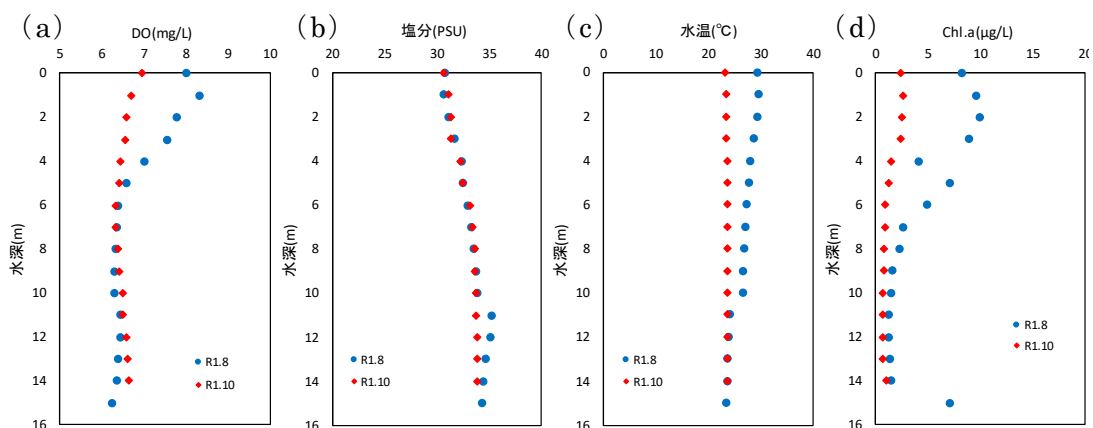


図5 平成31年度（令和元年度）における
(a) DO、(b) 塩分、(c) 水温、(d) Chl.a

質計による測定の最大深度がほぼ同じであることから、測定地点の海底付近まで測定できていたと考えられた。

平成 29 年 8 月及び 10 月には、DO が底層部に向けて大きく減少する変動が見られた。また、両調査日において表層付近での塩分低下が観測され、淡水流入の影響と考えられた。

平成 30 年 9 月、10 月及び令和元年 8 月には、表層から中層の水深約 2～4 m 付近において DO が上昇した後、水深 5 m 付近まで DO が大きく減少し、以降は底層まで緩やかな変動となっていた。表層から水深 5 m 付近における DO については、表層における塩分低下が認められたことから、淡水流入の影響が考えられた。また、中層における DO の上昇については、Chl.a 濃度の変動に平成 30 年 9 月は 12 µg/L、同年 10 月は 17 µg/L、令和元年 8 月は 10 µg/L を最大とした濃度の上昇が水深約 2～4 m 付近で観測されたことから、植物プランクトンの光合成による酸素供給との関連が示唆された。表層（0 m）より海中で DO が高くなっていることは、平成 29 年 8 月及び平成 30 年 6 月にも観測された。

調査期間中の塩分については、すべて表層付近での塩分低下による濃度勾配が確認された。また、水温については、季節ごとの水温変動は見られたが、鉛直方向での大きな変動は確認されなかった。

すべての調査日で底層部における DO が表層と比べて減少する傾向が見られたが、DO の最低値は平成 29 年 8 月の水深約 13 m における 6.0 mg/L であり、4 mg/L を下回ることとはなく、いずれの調査日においても底層の貧酸素化は確認されなかった。夏季でも表層と底層間での水温差が僅かであり、明確な温度成層が見られなかったことから、底層の DO が低下しなかったと考えられた。

3. 3 有機態窒素分解試験

平成 30 年度に実施した対照及び No.15 試験液における有機態窒素分解試験の結果について、各態窒素濃度の濃度変動を図 6 に示す。

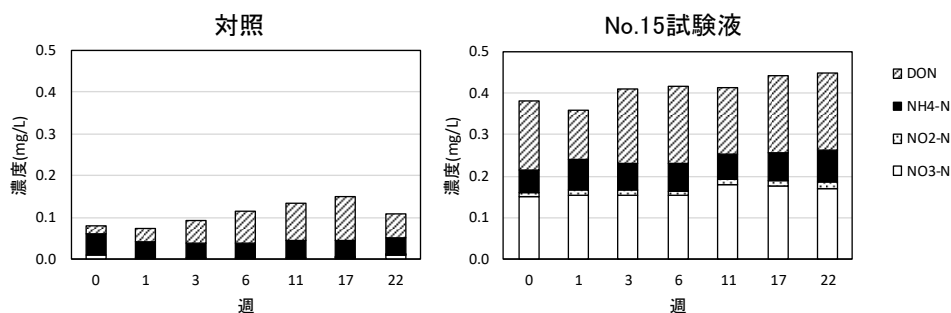


図 6 対照及び No.15 試験液における各態窒素濃度の濃度変動

No.15 試験液における各態窒素の濃度変動には、多少の変動はあるが、DON の減少及び DIN の大幅な増加は認められなかった。対照においても DIN の増加は認められず、全体の値としても低い値であることから、試験結果において実験室雰囲気からの汚染の影響は少ないと考えられた。

4. まとめ

- ・新潟海域（新潟東港）No.15 において COD が高くなる要因としては、植物プランクトンの増加が影響する場合と、植物プランクトンの増加以外の有機物が影響する場合があることが考えられた。
- ・平成 26 年度から 28 年度に引き続き、No.15 での貧酸素化は見られなかった。
- ・有機態窒素分解試験において、No.15 試験液での DON の分解による DIN の大幅な増加は認められなかった。

参考資料

- 1) 星加ら：大阪湾における富栄養化と内部生産有機物、水環境学会誌、21、756～771（1998）
- 2) 二宮ら：東京湾における COD と DO の空間濃度分布の季節別特徴、水環境学会誌、19、741～748（1996）
- 3) 新潟市衛生環境研究所：新潟県内沿岸海域公共用水域常時監視点における COD と関連する有機物項目について、「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」報告書、53～62（2017）
- 4) 新潟県：
（平成 29 年度、30 年度）公共用水域及び地下水の水質測定結果（2018-2019）
（平成 31 年度）公共用水域の水質測定結果（速報）
<https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/kankyotaisaku/1356919236531.html>

新潟県内沿岸海域公共用水域常時監視点における
有機物指標項目及び関連する栄養塩類について

新潟市衛生環境研究所 藤田裕美 松田哲明

1 はじめに

新潟県及び新潟市では、新潟県内の海域 48 地点で水質汚濁防止法に基づき環境基準監視を実施している。

近年、全国的に海域の化学的酸素要求量（COD）上昇や、閉鎖性海域等での底層の溶存酸素量（DO）の低下などが懸念されている。新潟県内でも、閉鎖性海域ではないものの、COD の 75%値が環境基準を超過する状況が続いている。そこで、基準超過の原因を探るため、新潟県及び新潟市が国立環境研究所と共同で実施した COD 及び栄養塩類の調査結果と、新潟市が実施した海域の階層別の調査について報告する。

2 調査地点

(1) 新潟県の調査地点¹⁾

新潟県が今回調査対象とした海域 2 地点を図 1 に示す。

新潟海域 No.15（以下「東港海域」）は、工業港である新潟東港からわずかに沖で、防波堤より陸側の地点である。県北海域 No.4（以下「県北海域」）は、国の名勝、天然記念物である「笹川流れ」にあり、様々な岩の連なる景勝地となっている。

COD 75%値の経年推移を図 2 に示す。なお、2019 年度は速報値である。ここで、水質汚濁防止法における COD の環境基準は、東港海域では類型 B で 3 mg/L、県北海域では類型 A で 2 mg/L である。また、採水地点の水深は、県北海域で約 22 m、東港海域で約 14 m

であった。図 2 より、過去 10 年間（2010 年～2019 年）の COD 75%値は、東港海域では全ての年で環境基準を超過し、県北海域では 6 回超過している。

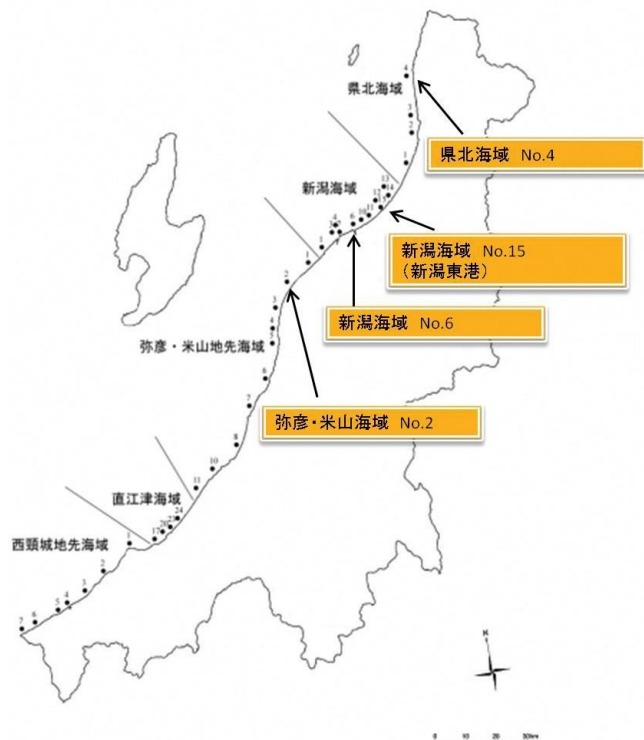


図 1 調査地点

(2) 新潟市の調査地点¹⁾

新潟市が今回調査対象とした海域 2 地点を新潟県の調査地点とあわせて図 1 に示す。

新潟海域 No.6（以下「新潟海域」）は阿賀野川河口沖に位置しており、海流により信濃川

流入水の影響も受ける可能性がある。弥彦・米山地先海域 No.2（以下「弥彦海域」）は一部で海岸に山が迫った地形となっており、流れ込んでいる大きな河川はない。いずれも水質汚濁防止法での類型は A であり、COD の環境基準は 2 mg/L である。また採水地点の水深は、新潟海域で約 19 m、弥彦海域で約 13 m であった。

図 2 より、過去 10 年間（2010 年～2019 年）の COD 75%値は、新潟海域では 9 回、弥彦海域では 2 回、各々環境基準を超過している。

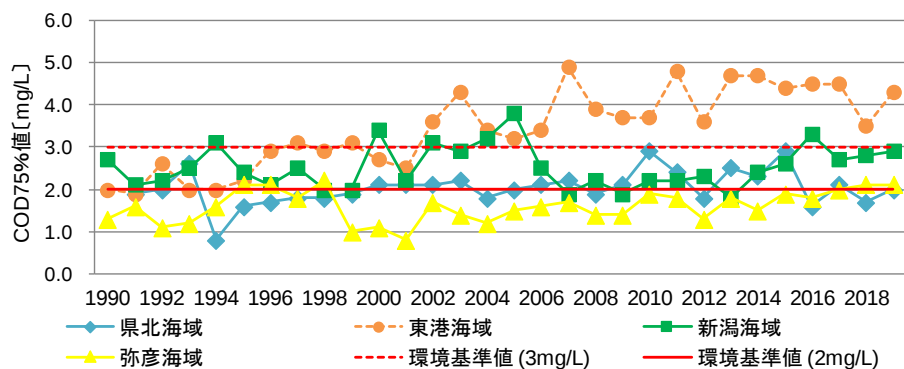


図 2 新潟県内沿岸海域の COD 75%値の経年推移¹⁾（2019 年度は速報値）

3 調査方法

(1) 階層別調査

新潟市は、表層、中層（水深 3 m）、下層（海底より 1 m 直上）の階層別に採水し、COD 等の調査を実施した。ただし、項目によっては表層と中層の混合試料（以下「表層+中層」）も調査対象とし、一部は現場測定 of データを用いた。今回は、2016 年～2019 年の 4 月～10 月（概ね各月 1 回、年 6 回実施、調査回数 23 回。一部欠測あり。）の結果を使用した。

また、新潟海域への河川水の影響を検討するため、阿賀野川（大阿賀橋）及び信濃川（本川大橋）の河川水も同日調査した（塩化物イオン 2～22 mg/L の範囲内）。

(2) 有機物指標項目及び栄養塩類の調査

新潟県と新潟市では、国立環境研究所とのⅡ型共同研究として、有機物指標項目及び栄養塩類の調査を行った。調査は、基本的に水温が上昇する夏期と低下する秋期に実施した（2012 年～2019 年、新潟県は計 19 回、新潟市は計 14 回）。検体はいずれも表層+中層とし、分析は国立環境研究所が行った。また、分析方法はⅡ型共同研究報告書「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目（第 3 報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」（国立環境研究所）に記載された通りとした。

4 結果および考察

(1) 各種有機物指標及び各地点の特徴について

表層+中層の有機物指標の分析結果は、生物化学的酸素要求量（BOD）は新潟県及び新潟市で、残りの項目は国立環境研究所で測定したものをを使用した。

図 3 に、新潟県内沿岸海域における Chl a と各種有機物指標との関係を示す。図 3 より、県内 4 地点では Chl a は BOD と正の相関があったが、COD、非溶存性 COD (PCOD)、TOC 及び非溶存性 TOC (POC) とは相関が低かった。よって、植物プランクトンとの関連を見る上では、難分解性の有機物等の影響が小さい BOD が指標として優れていると考えられる。

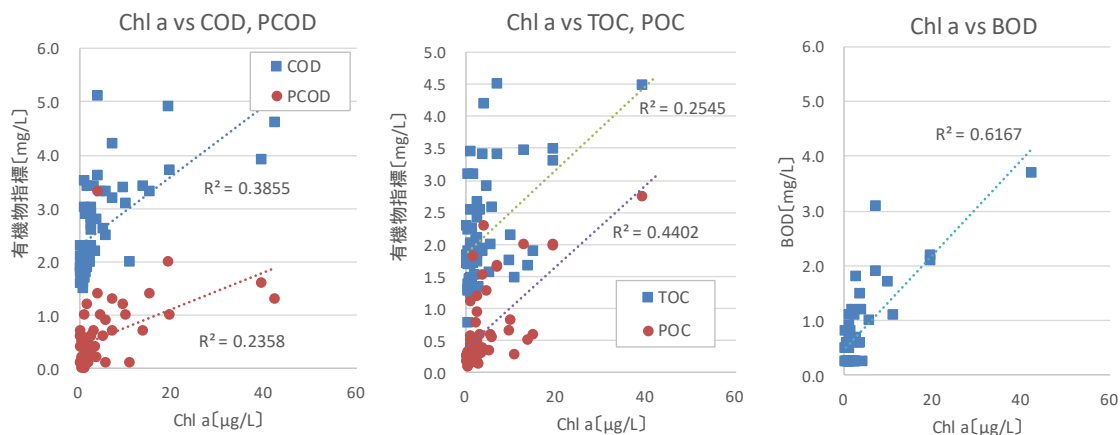


図 3 新潟県内沿岸海域における表層+中層試水中の Chl a と各種有機物指標との関係

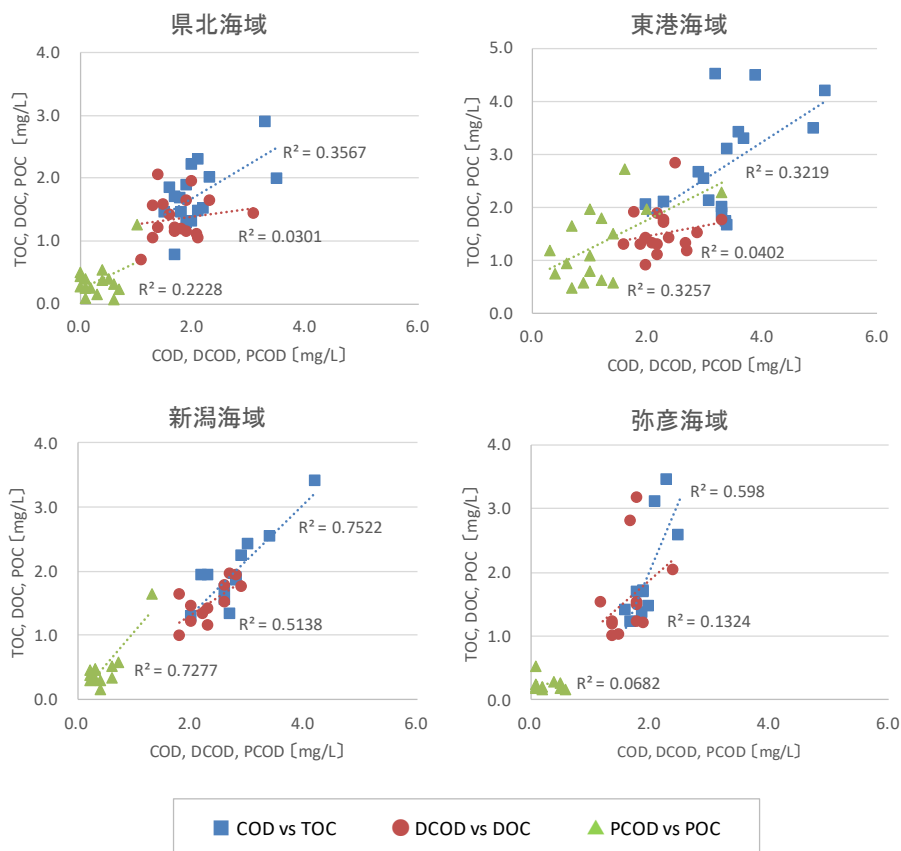


図 4 表層+中層試水中における有機物の溶溶性成分及び非溶溶性成分の特徴

図 4 に、有機物の溶存性成分及び非溶存性成分の特徴を示す。まず、新潟海域において、図 4 より、PCOD は POC と、溶存性 COD (DCOD) は溶存性 TOC (DOC) と、各々正の相関があった。県北海域及び東港海域においても新潟海域と類似の傾向がみられるが、ばらつきがあり、これらの地点には COD に反映されない難分解性の成分や、COD に影響する有機物以外の成分が含まれることなどが考えられた。

また、弥彦海域は DOC が増加しても DCOD は 2 mg/L 前後を推移していること、及び PCOD が低いことが、他の地点と比べて COD が低い要因になっていると考えられた。

図 5 に、BOD と溶存性成分及び非溶存成分の関係を示す。図 5 より、新潟海域においては、BOD とともに POC が増加しており、BOD の増分には非溶存性成分が寄与していることがうかがえる。東港海域においては BOD と TOC、POC 及び DOC については明確な関連が見られなかった。図 4 において、この 2 地点の POC と PCOD は正の相関があることを考え合わせると、新潟海域の POC 及び PCOD は主として植物プランクトン等の生物易分解性の成分であるが、東港海域ではそれ以外の要因を含む可能性が考えられた。

県北海域及び弥彦海域では BOD が低く明確な相関はなかったが、BOD に値として現れない DOC が一定量存在していた。

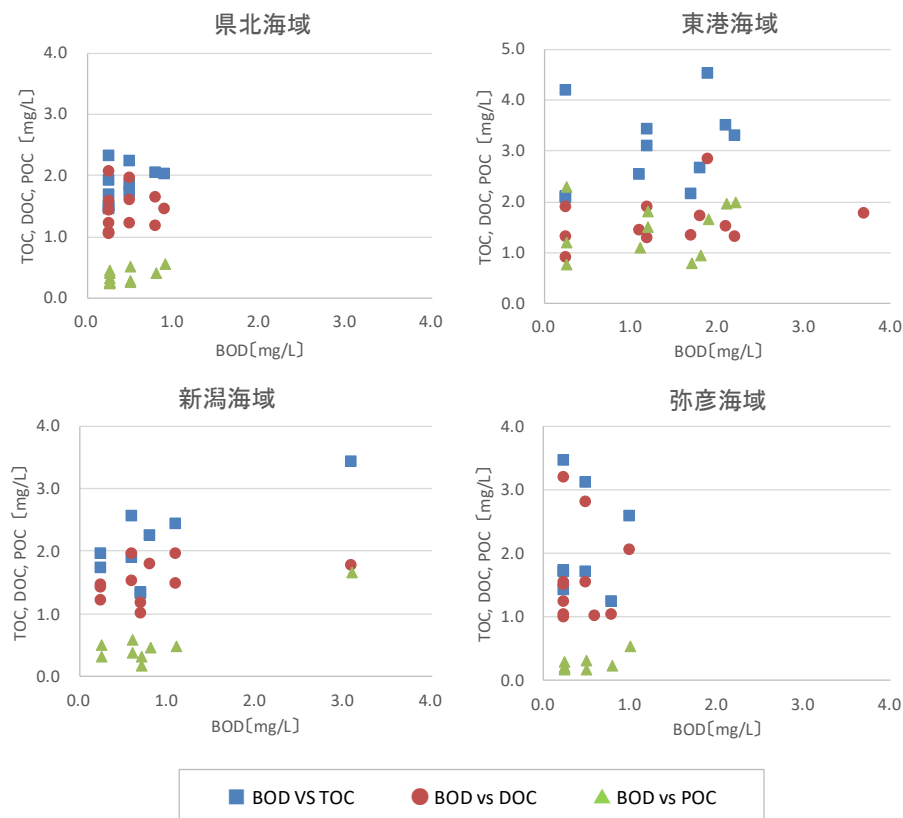


図 5 表層+中層試水中における BOD と溶存性成分及び非溶存成分の関係

(2) 新潟海域の COD に対する河川水及び内部生産の寄与について

新潟海域は、阿賀野川及び信濃川 2 河川の影響を強く受けている地点である。そこで、

表層+中層、表層及び中層における COD に対する河川水及び内部生産の寄与について、新潟市で実施している階層別のデータを用いて推計を試みた²⁾。ここで、下層の水質を新潟海域での「海水本来の水質」と見なした。なお、垂直方向の物質移動は考慮していない。

推計方法は以下の通りである。

- ① 対象とする検体と下層の塩化物イオン (Cl^-) の比率より、検体中の海水と河川水の混合比率を算出
- ② 対象とする検体と下層、阿賀野川及び信濃川の全窒素 (TN) の比率より、検体に混合している河川水のうち、各河川の流入比率を算出
- ③ 上記①②及び下層と各河川の COD の比率計算から、海水と河川水 (阿賀野川及び信濃川) 各々に由来する COD を推計
- ④ COD 実測値と、③の合計値との差を内部生産による COD と仮定

ここで、①で Cl^- の代わりに電気伝導度 (EC) を、②で TN の代わりに全リン (TP) を指標として算出した場合も、④の内部生産推計値に差はあるものの、傾向には大きな違いは見られなかった。また、特に中層において、①の河川水の混合比率が低いことなどから、計算値が負値となる場合があった。

図 6 に、Chl a と COD の内部生産推計値との関係を示す。図 6 より、新潟海域においては、表層、中層ともに、Chl a が増加するにつれて、内部生産として推計される COD は大きくなった。また、若干ではあるが、中層における Chl a 濃度当たりの内部生産推計値が表層を上回る傾向となった。

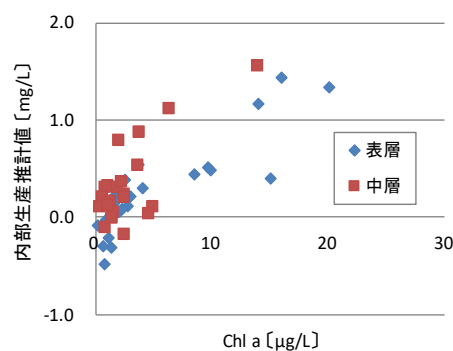


図 6 Chl a と COD の内部生産推計値との関係 (新潟海域、2016 年～2019 年)

図 7 に、COD の構成要素と実測値との関係を示す。図 7 より、表層では河川水由来の COD の比率が高く、中層では海水由来の COD の比率が高いことがわかる。また、表層においては実測値の増加とともに河川水由来及び内部生産推計分の COD が大きくなっていることから、COD 増加の要因としては、河川水と内部生産が同程度関わっていると推定された。一方、中層においては主として海域での内部生産が COD の増加要因と考えられた。

図 8 に、新潟海域における 2016 年～2019 年の COD の構成要素と、層別の Chl a を示す。ただし、2019 年 7 月の表層+中層試料において、河川水入り込みの割合が高いにも関

わらず、河川流入比率が負値となったため、参考値とする。

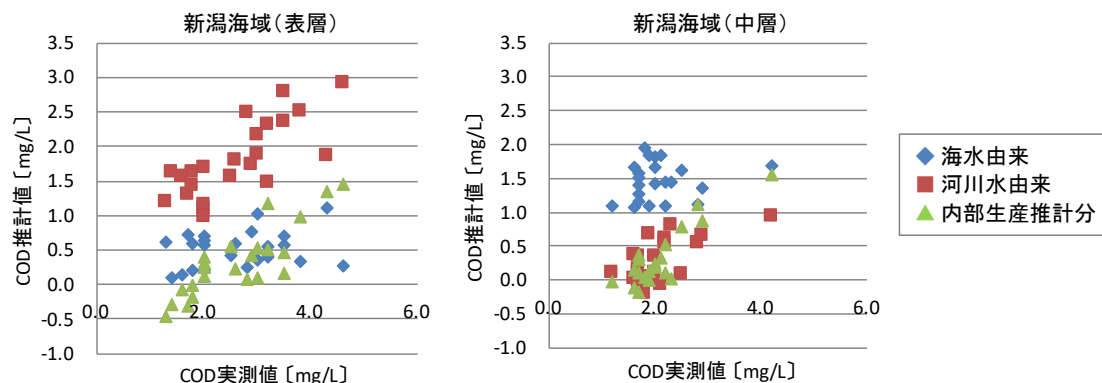
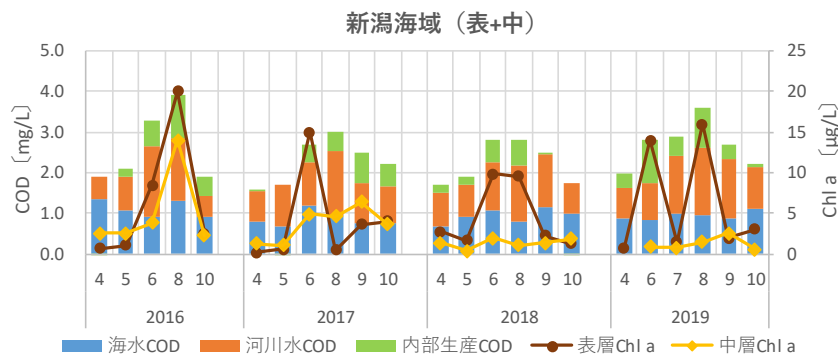


図7 CODの構成要素と実測値との関係(新潟海域、2016年～2019年)



※ 2019年7月の表層+中層は河川流入比率が負値となったため、参考値とする。

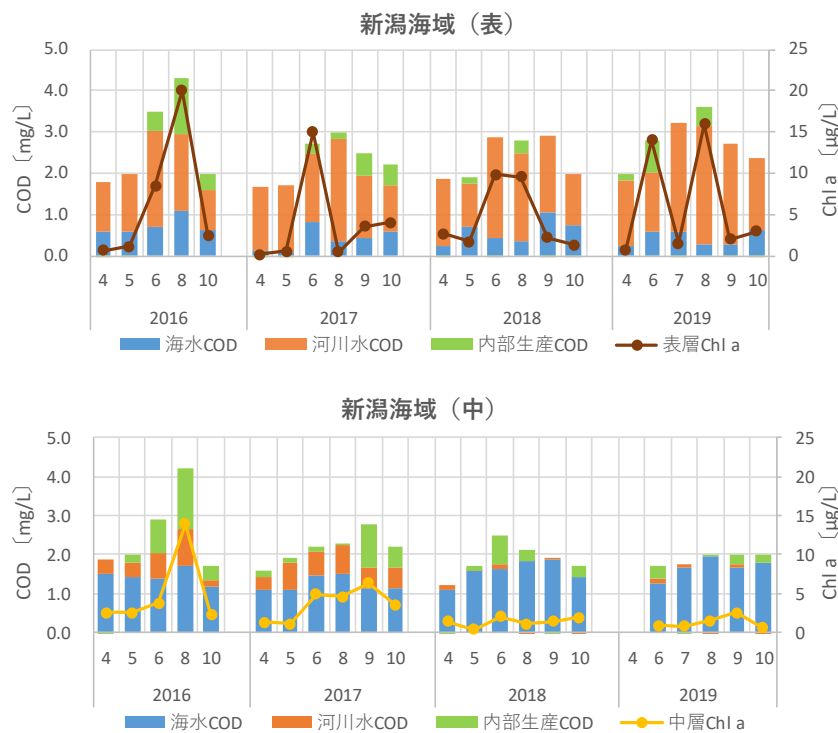


図 8 新潟海域における COD の構成要素

ここで、新潟海域における COD75%値に該当する月は、6 月～8 月のいずれかであった。図 8 の表層+中層において、これらの月の COD の組成を見てみると、2019 年 6 月を除き、海水由来及び河川水由来の推計値の合計のみで、環境基準の 2 mg/L を超過していた。

また、表層の河川流入率は 40%～90%程度であり、月によって変動はあるものの、特に傾向は見られなかった。また、2017 年 8 月、2018 年 9 月、2019 年 7 月など、夏期にも関わらず Chl a が減少した月は、採水前 14 日以内に 30 mm～100 mm 程度の降水量が断続的に観測されており³⁾、底質の巻き上げや、植物プランクトンが流されたことなどが原因と推測される。

一方、中層の河川流入率は、2016 年及び 2017 年では年平均 20%程度だったのに対し、2018 年及び 2019 年では 1%～3%と低かった。結果として、図 8 より、中層においては、2018 年以降は河川水由来に加えて内部生産分の COD も減少したと考えられる。このことは、Chl a の増減からも見て取れる。

これらの要因が表層+中層の COD の増減に関与し、COD75%値の変動に影響したと思われる。

(3) 栄養塩について

表層+中層の試料において、海水温の高い 7 月～9 月を夏期、低い 10 月を秋期とし、項目ごとに季節平均を算出した結果を表 1 に示す。ただし、2014 年 10 月は天候不順により採水できなかったため、翌年 2015 年 4 月のデータを用いた。ここで、ケイ酸 (SiO₂) は国立環境研究所で、その他の項目は新潟県及び新潟市で測定した。また、平均するにあたっては、国立環境研究所への試料送付月のデータのみ抽出した。

表 1 表層+中層における各項目の季節平均
(2012 年～2019 年、夏期：7 月～9 月、秋期：10 月※)

地点	季節	水温 [℃]	透明度 [m]	Cl ⁻ [mg/L]	TN [mg/L]	TP [mg/L]	SiO ₂
県北 海域	夏期	26.0	11	18700	0.11	0.013	0.30
	秋期	20.3	7	18000	0.12	0.012	0.46
東港 海域	夏期	26.5	3	16300	0.42	0.038	0.66
	秋期	21.2	3	16200	0.39	0.035	1.4
新潟 海域	夏期	25.4	4	9350	0.35	0.025	5.2
	秋期	18.2	4	10500	0.32	0.023	5.0
弥彦 海域	夏期	25.0	10	18200	0.12	0.012	0.56
	秋期	19.4	10	17900	0.12	0.011	0.30

※ 2014 年 10 月は天候不順で欠測となったため、翌 2015 年 4 月のデータを用いた。

表 1 より、抽出した月の平均では、県北海域及び東港海域は、新潟海域及び弥彦海域よりも水温が若干高い傾向となった。透明度は東港海域が 3 m と最も低く、次いで新潟海域の 4 m、県北海域及び弥彦海域は 7 m～11 m と高かった。よって、光合成の観点から、東

港海域及び新潟海域では、植物プランクトンが増殖しやすい水深は中層付近までと考えられた。

また Cl^- より、表層から水深 3 m までの範囲において、新潟海域では海水の半分程度、東港海域では 1 割程度の陸水が流入していることがわかる。一方、県北海域及び弥彦海域では上記地点ほど影響はみられなかった。

TN、TP については夏期と秋期で明確な差は見られず、地点別には東港海域が最も高く、次いで新潟海域となり、県北海域及び弥彦海域は低い値であった。 SiO_2 については新潟海域で最も高かった。

図 9 に、国立環境研究所で測定した栄養塩及び Chl a の季節平均を示す。図 9 より、各地点において、夏期の Chl a の増加に伴い、植物プランクトンに取り込まれやすい形態の溶解性無機窒素（DIN： $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計）及びリン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）が低くなっているが、秋期には値が回復している。ここで、季節によって増減があるのは主として溶解性無機成分であり、溶解性有機成分についてはさほど差がなかった。ただし、弥彦海域の窒素成分は、秋期に溶解性有機窒素（DTN-DIN）が 2 倍程度となっていた。

また、東港海域と新潟海域では栄養塩の平均値は同程度であるが、東港海域の Chl a は、夏期では新潟海域の約 3 倍、秋期は約 5 倍の値となった。この 2 地点では、夏期でも溶解性無機成分が枯渇しておらず、栄養塩としての窒素成分及びリン成分に関しては、河川等から十分な供給があると考えられた。

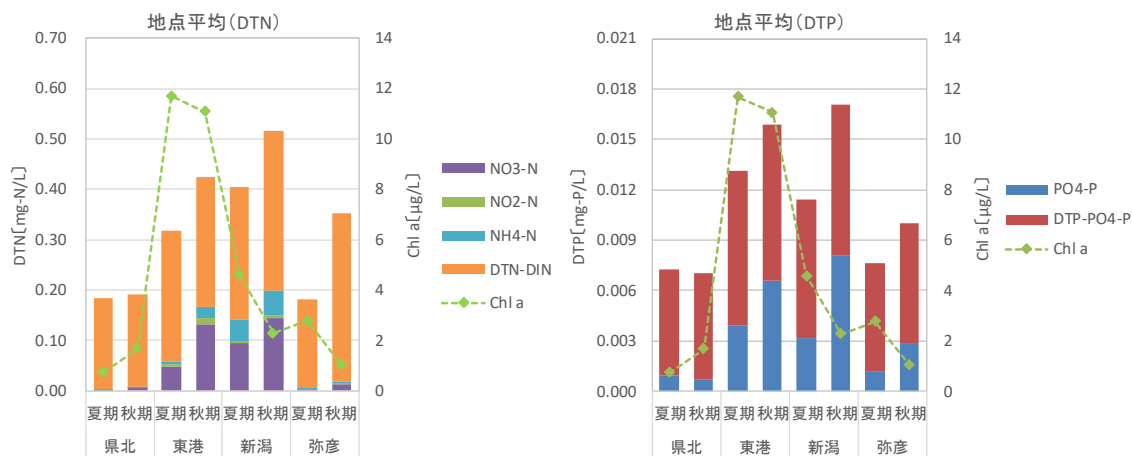


図 9 栄養塩及び Chl a の季節平均

（表層+中層、夏期：7 月～9 月、秋期：4 月、10 月）

5 まとめ

国立環境研究所、新潟県及び新潟市では、新潟県沿岸海域の 4 地点の表層+中層試料において、有機物指標及び関連する栄養塩類の調査を実施した。結果、以下のことがわかった。

各地点での各種有機物指標の比較から、新潟海域の POC 及び PCOD は、主として植物プランクトン等をはじめとする生物易分解性の成分であるが、東港海域はそれ以外の要因

を含むと考えられた。また、弥彦海域及び県北海域ではどちらも BOD は低いものの、他の海域と同様に BOD の値に現れない溶存性の有機炭素が一定量存在していた。この溶存性成分は弥彦海域では DCOD にもさほど反映されず、弥彦海域で COD が比較的低い要因と考えられた。

栄養塩について、夏期と秋期で平均値を比較したところ、TN 及び TP は夏期と秋期で差はなかったが、溶存性成分は夏期より秋期で高かった。ここで、例外はあるものの、季節により増減があるのは主として植物プランクトンに取り込まれやすい形態の溶存性無機成分であり、それ以外の溶存性の成分についてはさほど差がなかった。

新潟市では、新潟海域への河川の影響を調べるため、海域の層別調査を実施した。結果、以下のことが分かった。

新潟海域の下層の水質をその地点での海域本来の値と仮定し、Cl⁻ 及び TN を指標として、海域 COD に対する河川水及び内部生産の寄与について推計した。推計値より、COD の上昇要因は、表層では河川水由来と内部生産由来の COD が同程度、中層では主に内部生産由来の COD が寄与していると考えられた。ただし、構成比としては、表層では河川水由来、中層では海水由来の COD が高い割合を占めていた。また、Chl a 当たりの内部生産量は、表層より中層で若干上回った。

新潟海域の COD75%値に該当する月において、河川水由来及び海水由来の COD 推計値のみで環境基準を上回ったが、値の増減については内部生産等の要因が関与していると考えられた。

6 参考資料

- 1) 新潟県：暮らし・環境、自然・環境、水環境、「公共用水域の水質測定結果データ一覧」（2020 年 3 月 5 日アクセス）、<http://www.pref.niigata.lg.jp>
- 2) 新潟市衛生環境研究所：平成 30 年度新潟市衛生環境研究所年報（調査研究編）、43、57-72、2019
- 3) 気象庁：各種データ・資料、気象観測データ、「過去のデータ検索」（2020 年 3 月 17 日アクセス）、<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 4) 「茨城県沿岸海域公共用水域常時監視点における COD と関連する有機物項目について」独立行政法人 国立環境研究所 牧 秀明，平成 26 年度～平成 28 年度，Ⅱ型共同研究報告書

富山県沿岸海域におけるCODと関連する有機物項目について

富山県環境科学センター 中易 佑平

1. はじめに

富山県の年平均降水量は約2,500 mmと豊富で、富山湾に大小様々な河川を通じて有機物や栄養塩類を供給している。富山湾の環境基準点におけるCODは年間評価で環境基準を100%達成しているが、夏季を中心に内部生産によるCODの環境基準超過が度々確認されている。¹⁾ 本調査では、前Ⅱ型共同研究「沿岸海域環境調査の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」に引き続き、現地調査と採水、CODと有機物指標及び栄養塩類を測定し、項目間の関係について検討した。

2. 調査地点及び測定方法

2. 1 調査地点

富山湾の環境基準点である神通5「J-5」(図1)を調査地点とした。本地点は神通川河口海域中央に位置し水深約200 mである。

調査は2017年8月から2020年1月にかけて夏季3回、冬季3回の計6回、公共用水域の常時監視調査と同時に行った。

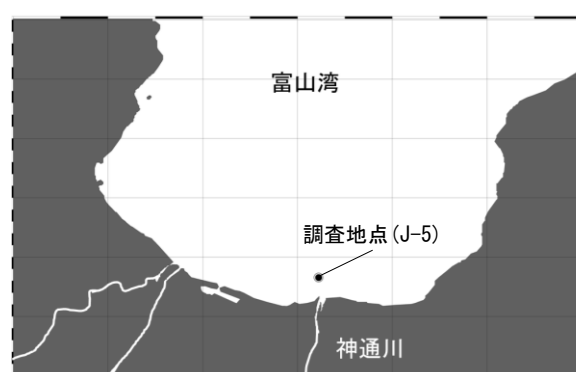


図1 調査地点

2. 2 観測及び測定方法

2. 2. 1 直読式総合水質計による観測

直読式総合水質計による水温、塩分、溶存酸素量(DO)の鉛直分布の観測を、船上から海中に垂下して表層から水深100 m付近まで行った。

2. 2. 2 採水、DOの消費速度の測定及びCODと関連する有機物項目の測定

試料は表中層(水深0.5 m層及び水深2 m層の海水を等量混合)及び10 m層を採取した。採水した海水はその日のうちに分注、ろ過を行った。BODは未ろ過とろ過した海水をそれぞれ曝気したのちDOを滴定で測定し、さらに20℃で暗所にそれぞれ3日、5日、7日及び10日間放置したものをそれぞれBOD3、BOD5、BOD7及びBOD10、並びにD-BOD3、D-BOD5、D-BOD7及びD-BOD10として求めた。

CODと溶存性COD(D-COD)は測定し、懸濁性COD(P-COD)はCODとD-CODの差から求めた。栄養塩類は、硝酸性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)、亜硝酸性窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニア性窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)、溶存性全窒素(DTN)、りん酸性りん($\text{PO}_4\text{-P}$)、溶存性全りん(DTP)及びケイ酸(SiO_2)を、ろ過、分注した海水とろ紙を冷凍して国立環境研究所に送付し、「茨城県沿岸海域公共用水域常時監視点におけるCODと関連する有機物項目について」に記載されている方法により国立環境研究所が実施した。

2. 2. 3 沿岸環境における栄養塩の変遷状況把握

2018年9月と2019年9月の試料を用いて溶存性有機態窒素(DON)の分解・溶存性無機態

窒素（DIN）への変換評価試験を実施した。方法は、海水をガラス繊維フィルターGF/Cでろ過したものを三角フラスコに入れてアルミ箔で遮光して約20℃で0、1、2、4、6及び8週間放置し、各態窒素の測定を行った。なお、2017年は6週目まで、2018、2019年は8週目まで試験を行った。

3. 結果

3. 1 直読式総合水質計による水温、塩分及びDOの鉛直分布の観測結果

直読式総合水質計による水温、塩分及びDOの鉛直分布を図2に示す。水温は夏季に表層で最も高く、水深が深くなるにつれて低くなる傾向が毎年見られた。また、急激に水温が低下する躍層が2018年9月は水深70 m付近に、2019年9月は40 m付近に見られた。冬季の水深10 m以深の水温は一定で、2018年2月は11.3℃、2019年2月は12.0℃、2020年1月は14.4℃であった。

塩分は夏季の表層が最も低く、水温躍層以深では34.4～34.6と一定で経年変化は見られなかった。冬季の水深10 m以深では34.0と一定で夏季よりも低い値であった。

DOは2019年9月に水深35 m付近（5.7 mg/L）で最も低くなり、この他に6.0 mg/Lを下回ったのは2017年8月の水深10 m付近（5.9 mg/L）であった。本調査で貧酸素状態（DO：4.0 mg/L以下）は確認されなかった。また、夏季の水温躍層以深でDOは上昇傾向であった。

これらの結果より、夏季に水温躍層が形成され、冬季には表層から水深80 m以深まで鉛直混合が起き、酸素が供給されていると考えられる。また、冬季に供給された酸素が消費されずに夏季においても水温躍層以深に存在していると考えられる。

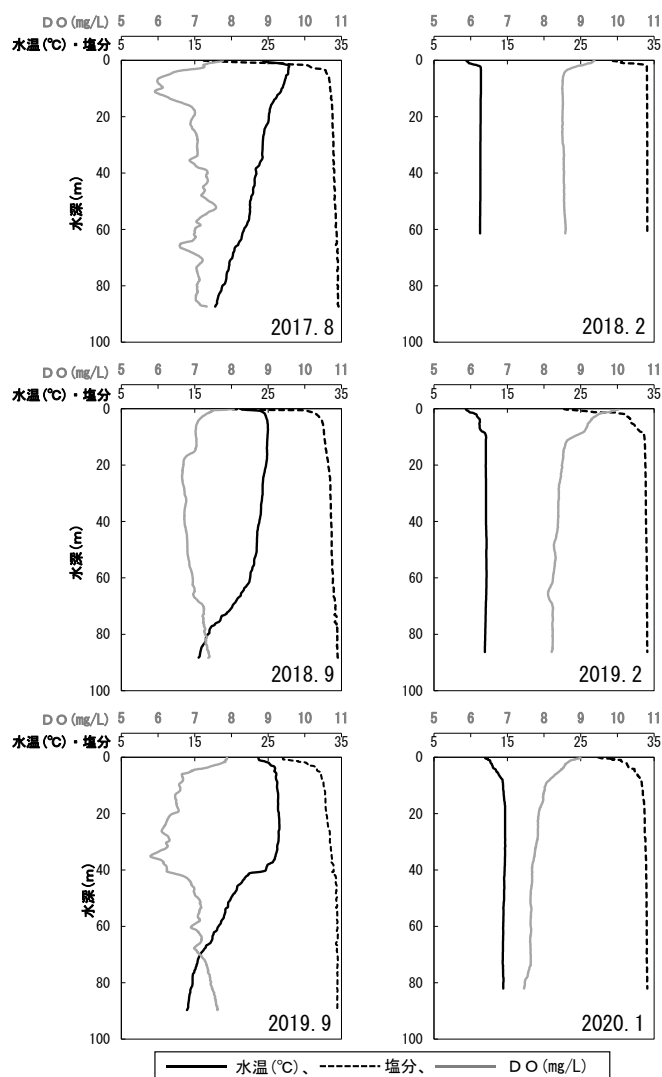


図2 神通川河口海域（J-5）における水温、塩分及びDOの鉛直分布

3. 2 有機物関連項目

3. 2. 1 有機物関連項目

気温、水温、透明度及び塩化物イオン濃度を表1、COD関連項目を表2に示す。塩化物イオン濃度から表中層は季節に関係なく河川水の影響を受けていることが示されている。そし

て、塩化物イオン濃度に比例して透明度も高くなる傾向が見られた。また、表中層ではChl-aが特に高い値を示しており、表中層の方が10 m層よりも植物プランクトン現存量が多いと考えられる。

CODは夏季に高く冬季に低くなる傾向が見られた。CODとクロロフィルa (Chl-a) には正の相関 (図3) があり、塩化物イオン濃度とChl-aには負の相関があることから、河川水の影響が大きいほどChl-aが高くなりCODが増加し、透明度が低下すると考えられる。しかし、Chl-aとP-CODの相関は見られないことから、P-CODの値には植物プランクトン以外の成分が関係していると考えられる。

表1 気温・水温・透明度・塩化物イオン濃度の測定結果

地点	時季	採水層	採水年月	気温 ℃	水温 ℃	透明度 m	塩化物イオン濃度 mg/L
神通5 J-5	夏季	表中層	2017/08/24	26.8	26.5	2.0	14,100
			2018/09/20	18.6	24.5	8.0	17,400
			2019/09/20	19.0	23.5	5.0	16,500
		10m層	2017/08/24	-	22.3	-	19,000
			2018/09/20	-	22.4	-	18,600
			2019/09/20	-	21.2	-	19,200
	冬季	表中層	2018/02/09	1.2	10.5	8.5	18,100
			2019/02/21	6.1	10.6	5.0	15,200
			2020/01/14	7.0	11.6	4.0	15,500
		10m層	2018/02/09	-	11.2	-	19,100
			2019/02/21	-	11.9	-	19,000
			2020/01/14	-	14.3	-	19,100

表2 COD関連項目の測定結果

(単位:mg/L)

地点	時季	採水層	採水年月	COD	D-COD	P-COD (COD-DCOD)	TOC (DOC+POC)	DOC	POC	Chl-a μg/L
神通5 J-5	夏季	表中層	2017/08/24	1.8	1.7	0.1	1.78	1.15	0.63	4.92
			2018/09/20	1.3	1.0	0.3	1.43	1.42	0.01	1.83
			2019/09/20	2.0	1.5	0.5	4.56	1.27	0.00	3.45
		10m層	2017/08/24	1.3	1.0	0.3	2.02	1.03	0.99	1.52
			2018/09/20	1.1	1.0	0.1	1.63	1.53	0.10	0.30
			2019/09/20	1.4	1.2	0.2	2.53	1.06	0.00	0.26
	冬季	表中層	2018/02/09	0.9	0.7	0.2	2.01	1.78	0.23	0.98
			2019/02/21	1.4	0.9	0.5	1.91	1.58	0.33	2.03
			2020/01/14	1.5	1.0	0.5	1.02	0.89	0.00	1.72
		10m層	2018/02/09	0.9	0.7	0.2	2.06	1.89	0.17	0.67
			2019/02/21	1.0	0.7	0.3	2.08	1.91	0.17	1.14
			2020/01/14	1.4	1.1	0.3	2.12	1.01	0.00	1.02

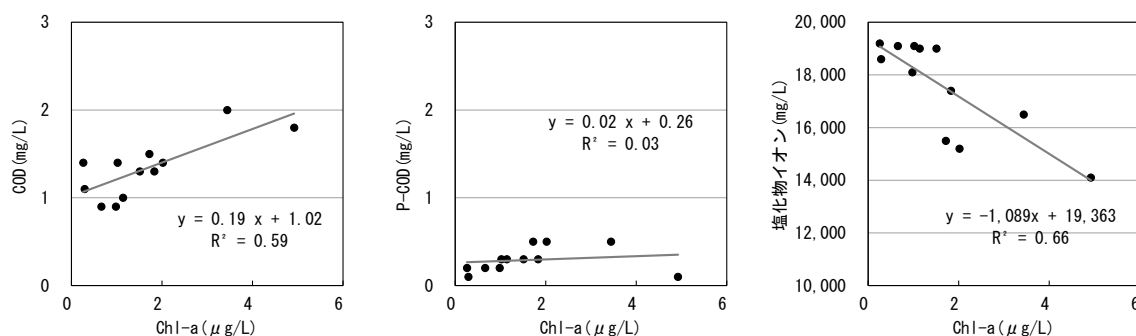


図3 Chl-aと各項目の関係

3. 2. 2 栄養塩類

栄養塩類濃度を表3に示す。栄養塩類濃度はSiO₂を除き、冬季の方が夏季より高くなる傾向が見られた。特に冬季のPO₄-Pは夏季に比べて表中層と10 m層の両方で顕著に高くなっていた。これは、冬季に植物プランクトンによるPO₄-Pの消費が減ったことで海水中のPO₄-Pが増加したためと考えられる。PO₄-Pの供給源としては、鉛直混合による下層からの供給や河川からの供給が考えられる。

表3 栄養塩類の測定結果

(単位: mg/L)

地点	時季	採水層	採水年月	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	DIN	DTN	PO ₄ -P	DTP	SiO ₂
神通5 J-5	夏季	表中層	2017/08/24	0.083	0.008	0.041	0.13	0.63	0.001	0.011	2.5
			2018/09/20	0.011	0.005	0.030	0.047	0.30	<0.001	0.014	0.84
			2019/09/20	0.039	0.004	0.025	0.069	0.18	0.001	0.005	0.84
		10m層	2017/08/24	0.003	0.009	0.008	0.021	0.41	<0.001	0.012	0.31
			2018/09/20	<0.001	0.004	0.019	0.023	0.25	<0.001	0.012	0.19
			2019/09/20	0.003	<0.001	0.011	0.016	0.11	<0.001	0.005	0.18
	冬季	表中層	2018/02/09	0.065	0.001	0.002	0.070	0.49	0.009	0.032	0.70
			2019/02/21	0.12	0.004	0.060	0.19	0.75	0.006	0.027	3.5
			2020/01/14	0.13	0.005	0.067	0.20	0.32	0.008	0.011	2.5
		10m層	2018/02/09	0.087	0.002	0.030	0.11	0.59	0.008	0.029	1.5
			2019/02/21	0.050	0.004	0.002	0.057	0.46	0.007	0.028	0.77
			2020/01/14	0.045	0.002	0.006	0.055	0.15	0.006	0.009	0.49

3. 2. 3 BOD関連項目

BODの測定結果を表4に示す。BODの値はすべての条件で2.0 mg/Lを上回ることがなかった。BOD測定までの日数の比較では3日間と10日間で最大2.8倍の差があった。また、CODとBOD10には相関があり(図4)、酸素消費量として適当な値を示していると考えられた。

未ろ過海水(BOD)と、ろ過海水(D-BOD)には差が見られ、D-BODはBOD測定までの日数に関わらず定量下限値0.5 mg/Lを超えることはなかった。これはCOD関連項目の測定結果でD-CODが有機汚濁の大半を占めていた結果とは異なる。このことから、CODには微生物に分解されにくい有機物を含んでおり、自然環境下における海域の酸素消費に関する評価方法についてはBOD測定の方が自然環境下での有機物分解の実態をより反映していると考えられる。

表4 BODの測定結果

(単位: mg/L)

地点	時季	採水層	採水年月	BOD3	BOD5	BOD7	BOD10	D-BOD3	D-BOD5	D-BOD7	D-BOD10
神通5 J-5	夏季	表中層	2017/08/24	0.6	0.9	1.1	1.3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
			2018/09/20	<0.5	0.6	0.7	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
			2019/09/20	0.5	1.0	1.4	1.4	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		10m層	2017/08/24	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
			2018/09/20	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
			2019/09/20	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	冬季	表中層	2018/02/09	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
			2019/02/21	<0.5	0.5	0.5	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
			2020/01/14	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		10m層	2018/02/09	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
			2019/02/21	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
			2020/01/14	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

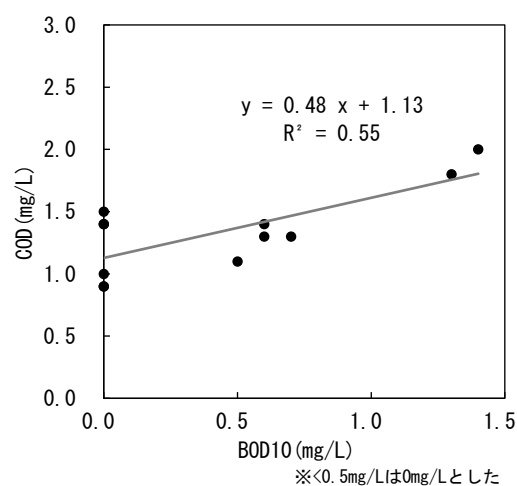


図4 BOD10とCODの関係

3. 2. 4 沿岸環境における栄養塩の変遷状況把握

各態窒素の分解試験結果を図5に示す。ただし、2017年8月4週目の $\text{NO}_2\text{-N}$ と、2019年9月のDONは変動が大きく、器具の汚染等が考えられるため考察から除外した。

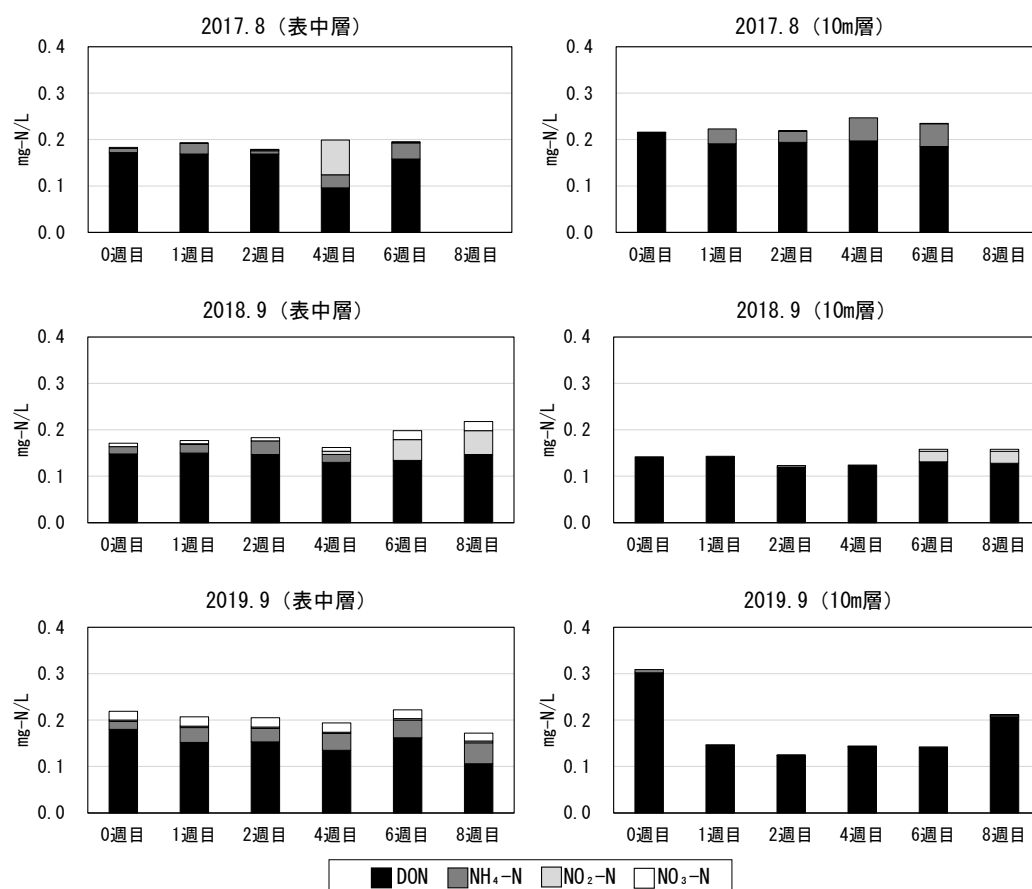


図5 各態窒素の分解試験結果

2017年8月と2018年9月は表中層と10 m層の両方で、2019年9月は表中層でDONのDINへの変換が確認できた。DONのDINへの変換は表中層が顕著であることから、植物プランクトンの現存量がDONのDINへの変換量に関係していることが推察される。

しかし、採水年によってDONのDINへの変換比率が異なることから、DONには難分解性と易分解性のものが存在し、河川水や外洋からの流入及び内部生産などの条件によって変化している可能性も示唆された。

4. まとめ

富山湾沿岸海域において一連の調査・採水を行ったところ、次のことが分かった。

- ・ 冬季に鉛直混合で供給された酸素が、夏季の水温躍層以深に消費されずに存在している可能性がある。
- ・ 塩化物イオン濃度とChl-aの関係から、河川水の影響が強いほど植物プランクトンが多くCODが高くなると考えられる。一方、P-CODと植物プランクトンの相関は見られないことから、P-CODには植物プランクトン以外の成分が関係していると考えられる。
- ・ 冬季の $\text{PO}_4\text{-P}$ 上昇の要因としては植物プランクトンによる消費が減ったことや、鉛直混合による下層からの供給や河川からの供給が考えられる。
- ・ BODは生物による有機物分解の酸素消費量の評価であり、海域における有機物の分解による酸素消費の評価方法としては、BOD測定の方が自然環境下での有機物分解の実態をより反映していると考えられる。
- ・ DONのDINへの変換は表中層が顕著であり、植物プランクトンの存在量が関係していると考えられる。

5. 参考資料

- 1) 藤島ら「富山湾沿岸部の水質環境について (Ⅱ) ー富山湾沿岸部でのCTD 観測結果と表層の水質ー」富山県環境科学センター 年報 第44号 87～94頁

石川県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について（第 3 報）

石川県保健環境センター 環境科学部 前田空人・中山哲彦・原田由美子・堅田勉

1. はじめに

本研究は、前Ⅱ型共同研究「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」(H23-25) 及び「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変換解析に関する研究」(H26-28) の 2 課題に引き続き、「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素量状況把握に関する研究」(H29-R1) として、地方環境研究所と国立環境研究所が共同で実施しているものである。

石川県では閉鎖性海域の七尾湾と、日本海に面している加賀沿岸海域の白山市笠間沖の 2 地点で夏季と冬季の年 2 回採水し、栄養塩類と COD に関連する有機物項目について H23 年より調査を行っている。本報では、H29 年からの測定データを追加した 9 年分のデータを用いて、項目毎の関係や季節変化の検討を行ったので報告する。

2. 調査地点、測定・分析方法

2. 1 調査・採水時期

H23 年 8 月～R1 年 11 月の間に夏季と冬季の年 2 回、計 18 回行った。

2. 2 調査地点

図 1 に示す県北東部に位置する七尾南湾中央部と県南西部の加賀沿岸海域の白山市笠間沖の 2 地点の表層で採水を行った。これら 2 地点は公共用水域の水質環境基準点であり、その生活環境項目の類型は共に A (COD 2 mg/L) である。なお、本調査の採水は公共用水域の常時監視の採水と同時にを行った。

2. 3 分析方法

採取した海水は、その一部を、450℃で 4 時間焼成処理したガラス繊維フィルターを用いて、その日の内にろ過・分注した。クロロフィル a (Chl a) の分析用には 47 mm 径のガラス繊維フィルター GF/C を用い、そのろ液は溶溶性成分の分析用とした。懸濁性有機炭素 (POC) の分析用には 25 mm 径のガラス繊維フィルター GF/C を用いてろ過した。これらの試水・フィルター類は冷凍後に国立環境研究所へ送付した。BOD を除く項目の分析はⅡ型共同研究報告書「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄

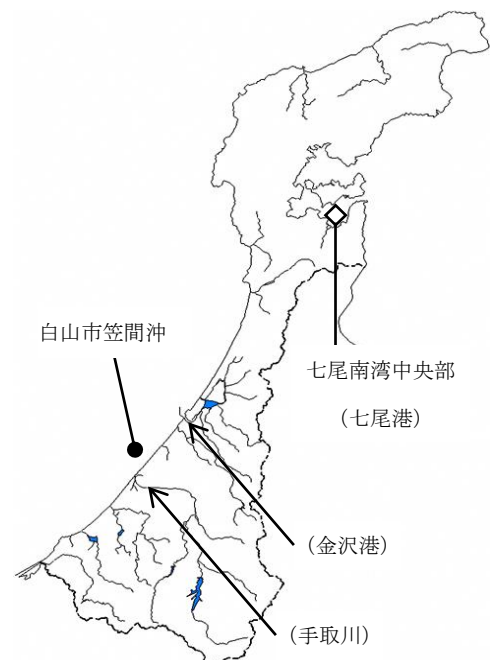


図 1 調査地点位置図

養塩類と COD に関連する有機物項目（第 3 報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」（国立環境研究所）に記載された方法で分析した。BOD は当センターにおいて、JIS 法に従って未ろ過海水を用いて測定を行った。ただし、フラン瓶による培養は 5 日間ではなく 3 日間、7 日間及び 14 日間経過した時点で DO を滴定して求め、消費された DO を BOD3, BOD7, BOD14 として求めた（H30, R1 は BOD3 のみ）。

3. 結果

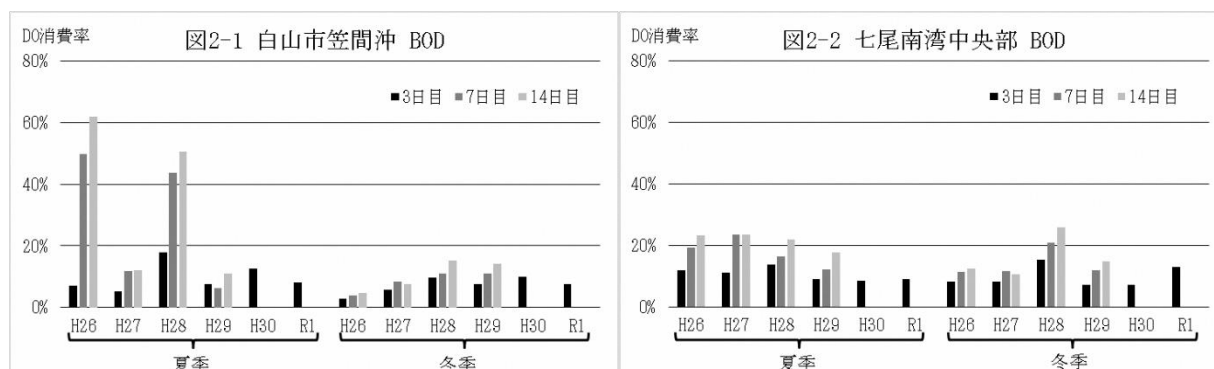
3. 1 栄養塩類

本調査で採水した試料の栄養塩類の溶溶性無機窒素（DIN, 硝酸態・亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ・ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）及びアンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）の和）、溶溶性全窒素（DTN）、溶溶性無機態リン（DIP, リン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ））、溶溶性全リン（DTP）及び珪酸塩（シリカ： SiO_2 ）の H23 年夏季から R1 年冬季までの測定結果の平均値と標準偏差を表 1 に示す。地点間の比較ではいずれの項目も白山市笠間沖の方が七尾南湾中央部より高い傾向が見られた。また、季節間の比較では 2 地点とも冬季がやや高い傾向が見られた。

表 1 H23 年 8 月～R1 年 11 月の夏季と冬季の白山市笠間沖と七尾南湾中央部における栄養塩類（単位は全て mg/L. 括弧内の数字は標準偏差）

地点	時季	DIN ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$)	DTN	DIP ($\text{PO}_4\text{-P}$)	DTP	SiO_2
白山市 笠間沖	夏季	0.053	0.248	0.007	0.016	1.69
		(0.042)	(0.099)	(0.006)	(0.008)	(0.76)
	冬季	0.133	0.386	0.014	0.025	1.95
		(0.120)	(0.179)	(0.011)	(0.018)	(1.64)
七尾南湾 中央部	夏季	0.008	0.214	0.002	0.013	0.69
		(0.013)	(0.087)	(0.002)	(0.007)	(0.79)
	冬季	0.008	0.228	0.003	0.011	0.88
		(0.013)	(0.098)	(0.002)	(0.005)	(0.70)

3. 2 BOD



本調査研究で H26 年夏季から R1 年冬季まで行った BOD 試験について、0 日目の DO に対する 3 日目、7 日目、14 日目の DO 消費率を図 2 に示す。地点間で比較すると、白山市笠間沖と比べ七尾南湾中央部の DO 消費率がやや高い傾向にあった。また、季節間で比較すると、H26 年 8 月と H28

年 8 月の白山市笠間沖を除き 2 地点ともに DO 消費率の変動がほとんど見られなかった。なお、H30 年以降は培養期間を 3 日間のみとし、以降の解析には BOD3 を用いた。

3. 3 BOD・COD 関連項目

本調査で採水した試料の BOD 及び COD 並びに関連項目の溶存性 COD (D-COD)，懸濁性 COD (P-COD (COD-DCOD))，溶存性有機炭素 (DOC)，POC，DOC+POC 及び Chl a の H23 年夏季から R1 年冬季までの測定結果の平均値と標準偏差を表 2 に示す。

表 2 H23 年 8 月～R1 年 11 月の夏季と冬季の白山市笠間沖と七尾南湾中央部における BOD・COD 関連項目 (単位は Chl a は $\mu\text{g/L}$ ，他は全て mg/L ，括弧内の数字は標準偏差)

地点	時季	BOD3*	COD**	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC**	POC**	DOC+POC**	Chl a
白山市 笠間沖	夏季	0.65	2.62	1.90	0.71	1.28	0.45	1.75	1.68
		(0.31)	(0.46)	(0.28)	(0.43)	(0.19)	(0.11)	(0.29)	(0.93)
	冬季	0.60	2.21	1.87	0.34	1.01	0.39	1.38	1.98
		(0.24)	(0.27)	(0.39)	(0.28)	(0.25)	(0.12)	(0.28)	(0.81)
七尾南湾 中央部	夏季	0.73	2.74	2.24	0.51	1.46	0.26	1.74	2.04
		(0.15)	(0.54)	(0.43)	(0.36)	(0.16)	(0.14)	(0.19)	(1.59)
	冬季	0.74	2.08	1.83	0.26	1.09	0.26	1.35	2.67
		(0.25)	(0.25)	(0.24)	(0.27)	(0.31)	(0.11)	(0.41)	(1.40)

* H26 年 8 月以降測定

**R1 年 8 月分と 11 月分は 2 地点共に未測定，H27 年 8 月分の POC は測定失敗

2 地点間について比較すると，BOD3 は夏季，冬季ともに七尾南湾中央部がやや高い傾向にあった。その他の項目については，溶存性成分である D-COD，DOC は七尾南湾中央部の方が白山市笠間沖より高く，懸濁性成分の P-COD，POC で白山市笠間沖の方が七尾南湾中央部より高い傾向が見られた。COD と DOC+POC は 2 地点ともにほぼ同じであった。

季節間について比較すると、BOD3 は 2 地点ともに夏季と冬季でほとんど変化がなかった。その他の項目については、POC と Chl a を除いて夏季に高い傾向であった。また、水中の有機物に対する溶存性有機物の割合である COD に対する D-COD 及び DOC+POC に対する DOC の比率は 2 地点共に季節ごとの平均で 72%~89%と高く、懸濁性有機物の割合が低かった。

COD と DOC+POC との関係及び D-COD と DOC との関係について図 3 に示した。COD と DOC+POC との関係では白山市笠間沖で R^2 が 0.33、七尾南湾中央部で R^2 が 0.35 と、2 地点ともに相関を示した。D-COD と DOC との関係では、白山市笠間沖で R^2 が 0.15、七尾南湾中央部で R^2 が 0.17 と、2 地点ともに低い相関を示した。

懸濁性有機物関連項目間における関係を図 4 に示した。七尾南湾中央部の POC と Chl a を除く項目間でほとんど相関は見られなかった。これは 2 地点ともに溶存性有機物の割合が多く、懸濁性有機物が比較的少ないことから、明確な関係性が見られなかったためと考えられた。また、七尾南湾中央部の POC と Chl a の R^2 が 0.63 と明確な相関を示したことから、POC に占める植物プランクトン量は七尾南湾中央部では比較的多く、白山市笠間沖ではあまり多くないと考えられた。このことは七尾南湾が閉鎖性水域であるため、日本海に面する白山市笠間沖よりも内部生産による影響が比較的大きいことを示唆している。

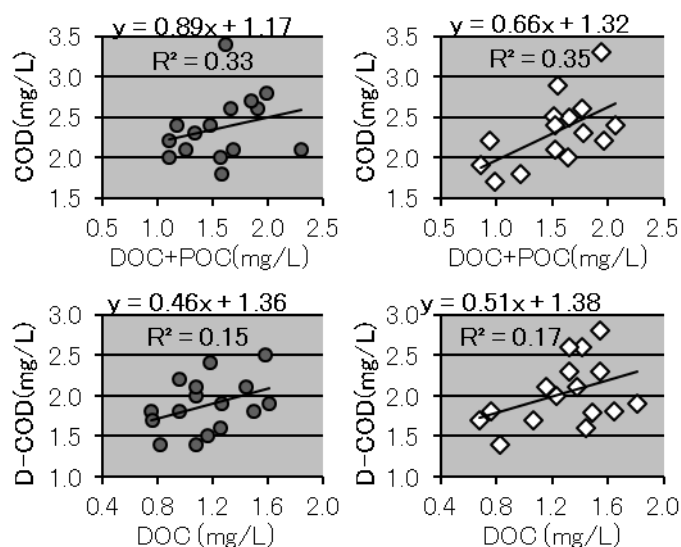


図3 白山市笠間沖（左、凡例●）と七尾南湾中央部（右、凡例◇）におけるCODとDOC+POCとの関係並びにD-CODとDOC+POC、DOCとの関係

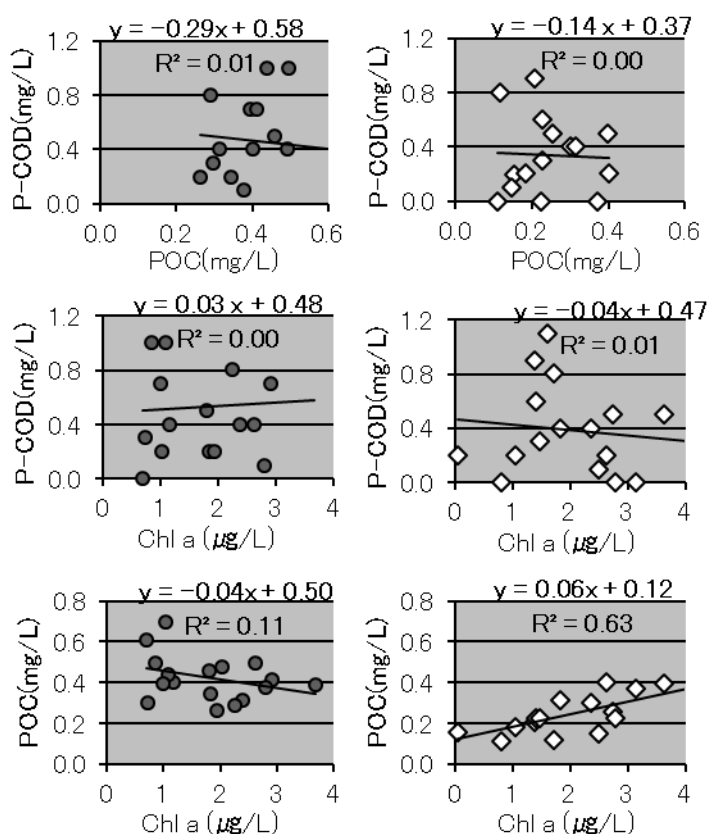


図4 白山市笠間沖（左、凡例●）と七尾南湾中央部（右、凡例◇）における懸濁態有機炭素関連項目（P-COD, POC, Chl a）間における関係

BOD3 と COD, Chl a の関係を図 5 に示した。2 地点ともに各項目間でほとんど相関が見られなかった。これは前述のとおり 2 地点ともに懸濁性有機物が比較的少なく、易分解性の有機物も少ないために明確な関連性が見えなかったと考えられた。

最後に、2 地点の H23 年～R1 年の平均水温を見ると、白山市笠間沖は夏季 26.8℃、冬季 16.2℃であったのに対し、七尾南湾中央部は夏季 28.4℃、冬季 13.9℃と年較差が大きかった。水温と各項目の相関関係について見ると、COD とは比較的高い相関を示した（白山市笠間沖： $R^2=0.33$ 、七尾南湾中央部： $R^2=0.44$ ）が、水温と Chl a 及び POC との相関はほぼ見られなかった（白山市笠間沖： $R^2=0.11$ 及び 0.01、七尾南湾中央部： $R^2=0.10$ 及び 0.16）。このことから、2 地点ともに季節間の植物プランクトン量の変動は少なく、夏季の COD 上昇には別の要因が寄与していると考えられる。今後、水温と COD 等の公共用水域データを活用した解析を実施していく予定である。

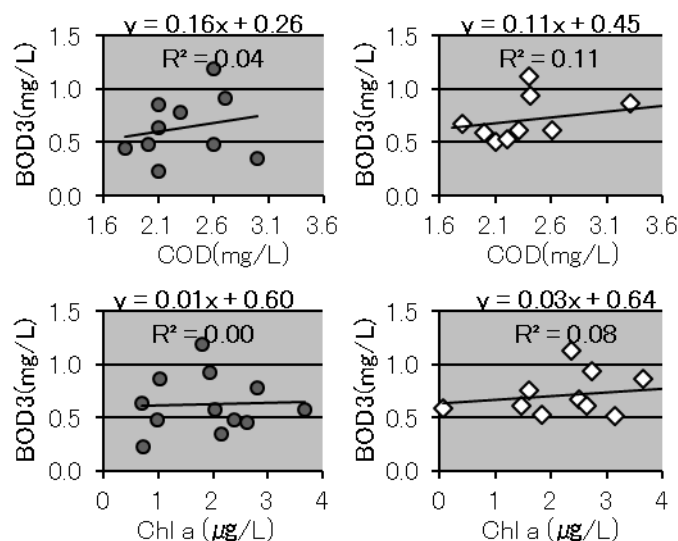


図5 白山市笠間沖（左、凡例●）と七尾南湾中央部（右、凡例◇）におけるBODとCOD, Chl aとの関係

4. まとめ

H23 年夏季～R1 年冬季の間、七尾南湾中央部と白山市笠間沖の 2 地点で採水を行い一連の測定を行ったところ、以下のことがわかった。

- ・栄養塩類については地点間の比較で、いずれの項目も白山市笠間沖の方が七尾南湾中央部より高い傾向が見られた。また、季節間の比較では 2 地点とも冬季がやや高い傾向が見られた。
- ・BOD については白山市笠間沖と比べ七尾湾中央部の D0 消費率がやや高い傾向にあった。季節間で比較すると、H26 年 8 月と H28 年 8 月の白山市笠間沖を除き 2 地点ともに D0 消費率の変動はほとんど見られなかった。
- ・BOD3 については季節間の比較では 2 地点ともにほとんど変わらなかった。2 地点間の比較では夏季、冬季ともに七尾南湾中央部がやや高い傾向にあった。
- ・BOD・COD 関連項目については水中の有機物に対する溶存性有機物の割合は 72%～89%を占めていた。
- ・各項目の関係については 2 地点ともに COD と DOC+POC で相関を示し、D-COD と DOC で低い相関を示した。また、七尾南湾中央部の POC と Chl a が明確な相関を示し、BOD3 と COD との間にわずかに相関が見られた。白山市笠間沖では、これらの項目間ではほとんど相関が見られなかった。特に POC と Chl a の関係から、POC に占める植物プランクトン量は七尾南湾中央部では比較的多いものの、白山市笠間沖ではあまり多くないと考えられた。

浜名湖における水質管理に係わる項目の状況把握

静岡県環境衛生科学研究所大気水質部 山本佳奈恵

はじめに

静岡県西部に位置する浜名湖は、南端が遠州灘に通じる平均水深約 5 m の比較的浅い汽水湖で「湖口」を通じて大量の外海水が流出し、閉鎖性内湾の環境を呈している。水深約 11 m の「湖心」を中心とした水域は、夏季に DO が低くなり易く、貧酸素水塊を形成するとされている¹⁾。近年では、沿岸の浄化施設設置等により水質改善の取り組みがなされているが、COD の環境基準値超過は依然として頻発している²⁾³⁾。

本県では、浜名湖においても毎月 1 回の水質常時監視を行っており、今回は、この常時監視の採水日に併せて夏季に多項目水質計での調査を行い、浜名湖の水質分布図を作成し、貧酸素水塊の発生状況等を可視化した。加えて、過去の常時監視データから水質の経年変化の検討を行うとともに、浜名湖の栄養塩の変遷状況を把握するため、溶存性有機態窒素(以下、DON)から溶存性無機態窒素(以下、DIN)への変換について評価した。

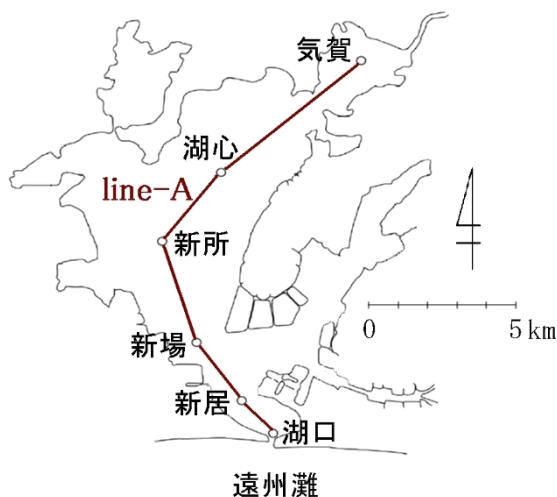


図 1 浜名湖の調査地点

調査・実験方法

1 水質の断面分布の可視化

2018 年 9 月 11 日(午前 8 時から 12 時)に常時監視地点において、常時監視項目の採水と併せて多項目水質計での調査を行った。天候は、前日が大雨(日降水量 77 mm(三ヶ日)), 当日が曇り、当日の浜名湖南端付近(舞阪)の潮汐

は、午前 6 時 30 分に満潮、午後 1 時 3 分に干潮で、各調査地点では下げ潮もしくは潮流停止状態であった。

浜名湖を南北方向に縦断した断面(図 1 の line-A)における分布図は Graph-R ver. 2.43 で作成した。DO、水温、塩分については、多項目水質計のデータを用い、COD、リン酸性リン (PO4-P)、アンモニア性窒素 (NH4-N)、硝酸性窒素 (NO3-N)、及び亜硝酸性窒素 (NO2-N)については、常時監視データを用いた。

2 水質の経年推移の解析

データは、1981 年度から 2018 年度の静岡県公共用水域水質測定結果(月 1 回測定)を用いた。地点、採取水深及び項目については下記に示すとおりである。

長期変動の把握は、統計数理研究所で開発提供された TIMSAC for R package ver. 1.3.6 に含まれるプログラムの decomp を用いて行った⁴⁾。報告下限値未満のデータがある場合は、報告下限値を 5 で除した数値と代替して解析を行った。

なお、DO は、月 1 回測定の場合では、年度内の最低値により評価するため、上記で得られたトレンド成分に季節成分を足した値(季節調整値)の年度毎の最低値の推移により評価した。

<地点(図 1)と採取水深>

「湖口」「新居」「新場」…0.5, 2.0 m
「新所」…0.5, 2.0, 4.0 m
「湖心」…0.5, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 m
「気賀」…0.5, 2.0, 4.0, 6.0 m

<項目>

DO、水温、塩素イオン、COD、PO4-P、NH4-N、NO3-N、NO2-N

3 栄養塩の変遷状況の把握

夏季に植物プランクトンの増殖により DIN が消費された海水を用いて、ガラス繊維フィルター-GFC (平均孔径 1 µm)でろ過したものを 500 mL の三角フラスコに 200 mL 入れてアルミ箔で蓋をして約 20℃の遮光条件で振とうを開始し、0~8 週間目までの間に 6 回サンプリングを行い、孔径 0.80 µm の酢酸セルロース性のシリンジフィルターカートリッジを用いてろ過し、各態窒素の測定⁵⁾を行った。

海水は、2017 年から 2019 年の晴天が続いた 8 月ないし 9 月の浜名湖「湖心」の 0.5 m の表層水を用いた。

結果および考察

1 水質の断面分布の可視化

水質の断面分布図を図 2 に示す。項目によってデータを採取した水深が異なるため、分布図の全形に相違はあるが、およその傾向を掴むことは可能であるため、欠測部分のデータ補完はせずに図示している。

DO は、遠州灘側は表層から底層まで 6.0 mg/L 程度と均一で湖水の上下混合が十分なされている一方で、湖奥側に向かう程、表層と底層の DO の差が大きくなり、「湖心」から奥側の底層付近においては 0.5 mg/L 程度の水域が広がっており、貧酸素水塊が発生している様子が確認された。

また、水温や塩分の分布図においても、同様の傾向が見られ、遠州灘側は表層から底層まで均一の数値を示す一方で、湖奥側ほど上層と下層の差が生じていた。このことから、湖奥側ほど底層の水が滞留していると考えられた。

水温、塩分、PO₄-P、NO₃-N、NO₂-N は、各図の右上に河川からの流れ込みの様子が可視化され、河川の淡水が湖水の表層に広がって湖心以南にまで大きな影響を及ぼしていることが推察された。

COD の図において「湖心」表層の値が高い部分は植物プランクトン色素蛍光強度の高かった地点であったため、内部生産由来と考えられる。当日は、「湖心」の西側に位置する「松見ヶ浦」「鷺津」でも表層の植物プランクトン色素蛍光強度が高かったため、湖西側の湖水の影響を受けていると考えられる。

PO₄-P、NH₄-N の図からは、貧酸素状況での底質からの栄養塩類の溶出の様子が明らかとなった。

また、NH₄-N の図では「新所」表層が高濃度となっており、このことは内山らによる報告²⁾にあるように「湖心」底質から溶出した栄養塩類が「新所」方向に湧昇したものと推察された。

2 水質の経年推移

6 地点について、それぞれ 7 項目の経年推移を図 3 に示す。

DO は、1990 年代以降、全地点の全層で上昇傾向にあり、湖奥側の中層ほど上昇幅が大きくなっている。このことから、湖心付近で夏季に例年発生している貧酸素水塊の規模は縮小傾向にあると考えられる。

水温は、38 年間を通して全地点の全層で上昇傾向にあり、湖奥側ほど上昇幅が大きく、湖奥側の水温は、「湖水」

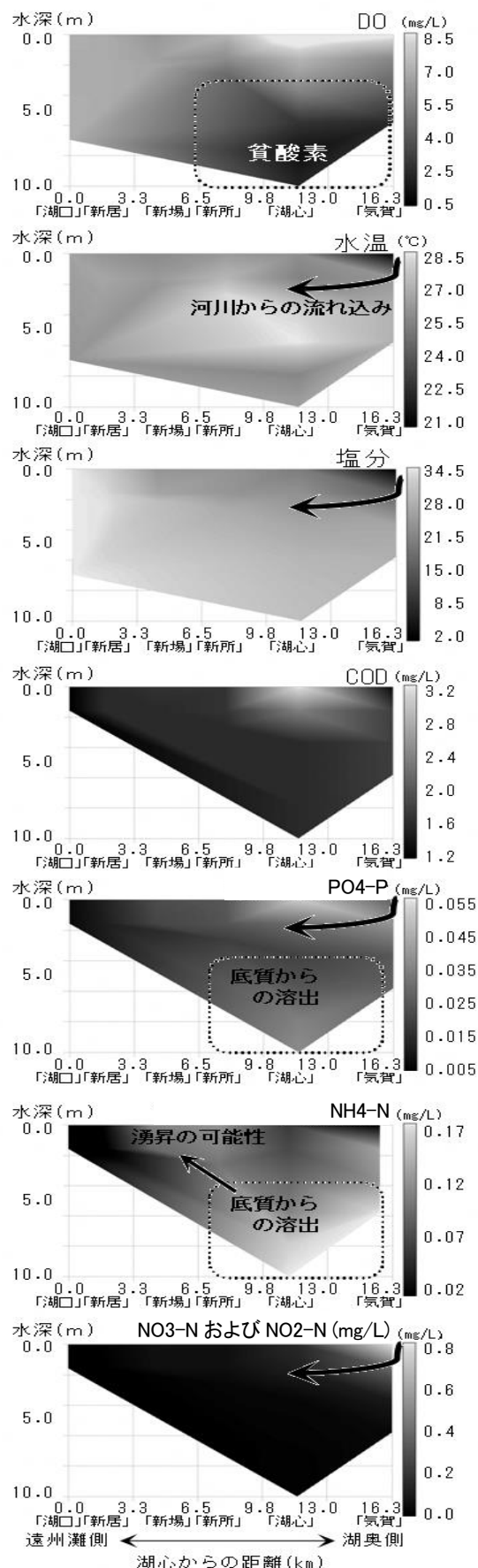


図 2 浜名湖の水質の断面分布図

よりも水温の高い‘外海’の水温の値に近づいてきている。
塩素イオンについても同様に、全地点の表層で緩やかに上昇傾向にあり、‘湖水’よりも塩素イオン濃度の高い‘外海’の塩素イオン濃度に近づいてきている。

DO、水温、塩素イオンの傾向は、外海水と湖水の交換量増大の影響を受けているものとみられる。

COD は、いずれの地点の変動傾向も 2000 年頃に最低値を示す V 字型で、遠州灘側ほど、明瞭な変動傾向を示していた。ここには示していないが、この V 字型の変動傾向は、遠州灘の常時監視データの COD の推移と同様の傾向にあり、外海水の影響が示唆される。浜名湖の夏季の COD 値上昇原因のひとつに、栄養塩を多く含む海水による内部生産の助長が挙げられる⁶⁾ので、COD と栄養塩類の増減傾向は関連する挙動を示すと想定していたが、本データからは、両項目に関連する挙動は確認できなかった。

PO₄-P、NH₄-N は、夏季に貧酸素水塊が発生しやすい「湖心」「気賀」の底層が減少傾向を示しているが、これは底泥の沈積量低減による溶出量減少と考えられる。「気賀」の表層の挙動については、河川からの淡水の影響を受けて他の層とは異なっていると推察される。

NO₃-N、NO₂-N は、表層では全地点において 1980 年代より増加傾向、2003 年頃から「気賀」を除いて減少傾向にあった。「気賀」の状況は、「湖心」「新所」に影響を及ぼしているとみられ、これは、湖奥側の農地からの肥料流亡の可能性が考えられる。

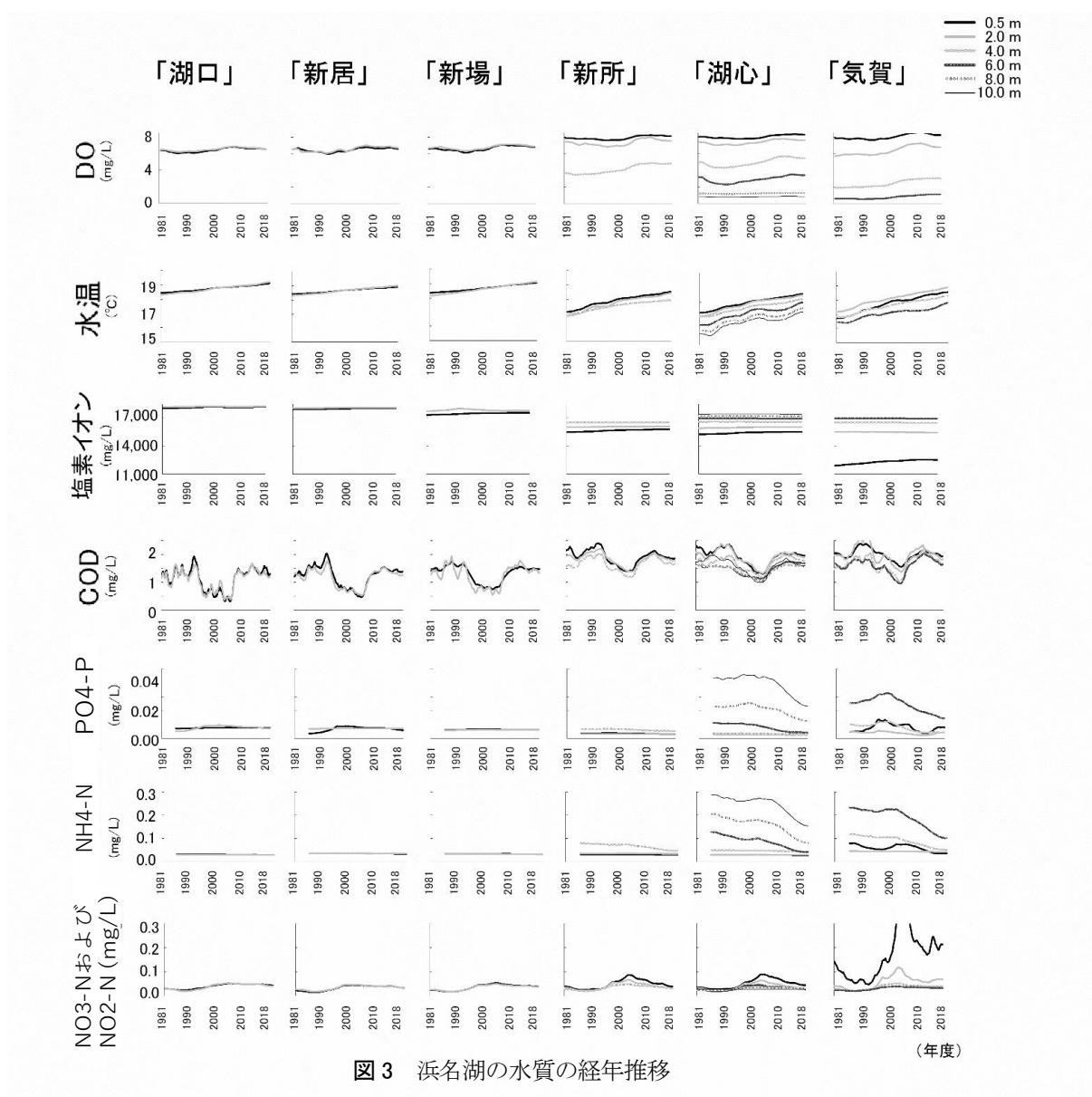


図3 浜名湖の水質の経年推移

3 栄養塩の変遷状況の把握

各態窒素の変遷を図4に示す。

DON から DIN (NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N) への変換量は、採水年によって差があるものの、いずれの年も変換量が少なく、振とう開始日の DON を 100 とした際の 2 カ月後の DIN の増加量は 2 から 27 程度に留まった。このことから、浜名湖の DON の多くは長期に渡って分解されず、栄養塩の源とはなり難いと推察される。

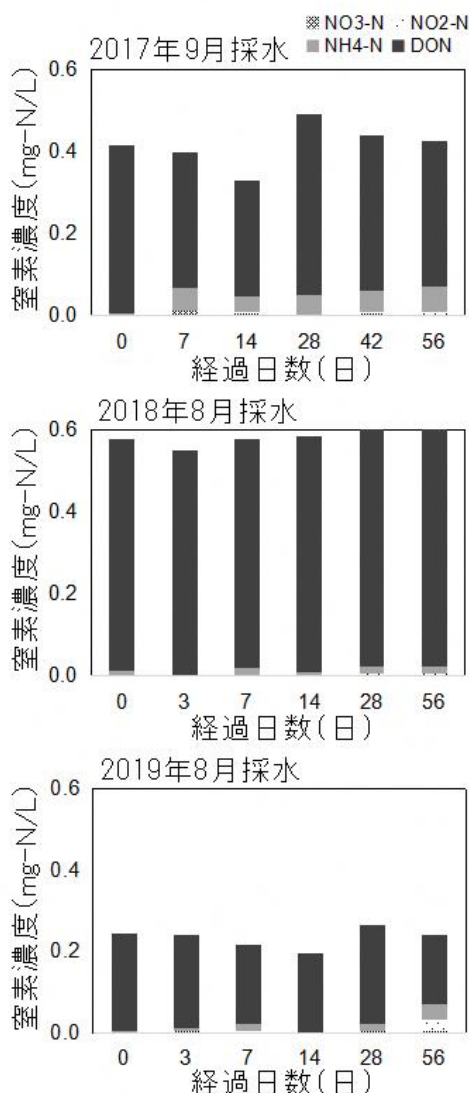


図4 夏季の浜名湖「湖心」の各態窒素組成の変遷

まとめ

浜名湖の水質の断面分布の可視化、水質の経年推移の解析及び栄養塩の変遷状況の把握を行い、得られた知見は以下のとおりであった。

- ・夏季の浜名湖奥側の底層では、湖水が滞留し、貧酸素水塊が形成され、これに関連して底質から栄養塩類の溶出が認められる。また、その栄養塩が「新所」方面

に湧昇している可能性が示唆された。

- ・近年、浜名湖の夏季の貧酸素水塊は縮小傾向にあり、底質からの栄養塩類の溶出量も減少傾向にあったが、COD は栄養塩類の減少傾向と対応する傾向変動は示さず、外海水の影響を受けていると考えられた。
- ・浜名湖「湖心」表層の DON は分解され難く、栄養塩の源になり難いと考えられた。

文献

- 1) 静岡県環境部浜名湖保全室：平成 10 年度浜名湖富栄養化防止対策調査報告書，I-9 (1999)
- 2) 内山道春他：浜名湖における湖水流動の変化に伴う水質の悪化，静岡県環境衛生科学研究所報告，55，85-94 (2012)
- 3) 静岡県環境衛生科学研究所：静岡県公共用水域および地下水水質測定結果，(1981-2018)
- 4) 統計数理研究所 TIMSAC for R package
<http://jasp.ism.ac.jp/ism/timsac/>
- 5) 牧秀明：茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目（第3報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較，Ⅱ型共同研究「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究」報告書，(2020)
- 6) 内山道春他：浜名湖の流動と水質環境に関する研究-第2報 深層海水による水質への影響-，静岡県環境衛生科学研究所報告，58，9-13 (2015)

阿蘇海における水質管理に関わる底層溶存酸素と栄養塩等について

京都府保健環境研究所水質・環境課

野口 裕子 中居 千和(*) 大脇 成義 坂 雅宏 鳥居南 豊 宮尻 久美
武田 真由美 金附 宏明 多田 哲子 (*) 現在、理化学課在籍

1. はじめに

阿蘇海は、京都府北部に位置する、天橋立砂州により宮津湾から隔絶された約 5 km^2 の潟湖である¹⁾。海水交換が狭い水路に限定されることから、閉鎖性が極めて高く、長期的な水質汚濁を招きやすい環境にある。京都府は、平成 5 年から実施している覆砂（シーブルー）事業に加えて、平成 19 年 5 月に「阿蘇海環境づくり協同会議」を設置し、地域住民・関係団体・行政による環境改善のための様々な取組を行っている²⁾。先行研究であるⅡ型共同研究「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」（平成 23～25 年度）³⁾ においては、冬季においても貧酸素水塊が形成されることがあることが報告された。さらに、Ⅱ型共同研究「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」（平成 26～28 年度）⁴⁾ において、夏季と冬季の底層の還元状態の程度に差があることが報告された。

本研究であるⅡ型共同研究「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究」（平成 29 年度～令和元年度）においては、阿蘇海の 4 地点において、DO 等の鉛直分布に焦点を当てた調査を夏季と冬季に行った。同時に、栄養塩類、COD、BOD、クロロフィル a、プランクトン相に関する測定・調査も加えた。これらの測定値のほか、公共用水域水質常時監視事業測定データ等も含めて、阿蘇海における貧酸素水塊の生成状況や季節変動、その成因等について解析を行ったので報告する。

2. 調査材料と方法

2.1. 調査地点と採水日

調査は、図 1 に示す阿蘇海の公共用水域常時監視(環境基準)点である野田川流入点(平均水深 6.3 m)、中央部(平均水深 12.6 m)、溝尻地先(平均水深 8.0 m)及び公共用水域常時監視(定常)点である文殊地先(平均水深 9.3 m) に対して行った。また、一般的に、貧酸素水塊は夏季に発生し、冬季に解消することが多いため、採水及び現場測定は以下のとおり、年 2 回行った(2017 年 9 月 5 日、2018 年 1 月 9 日、2018 年 9 月 19 日、2019 年 1 月 15 日、2019 年 9 月 3 日、2020 年 1 月 14 日)。

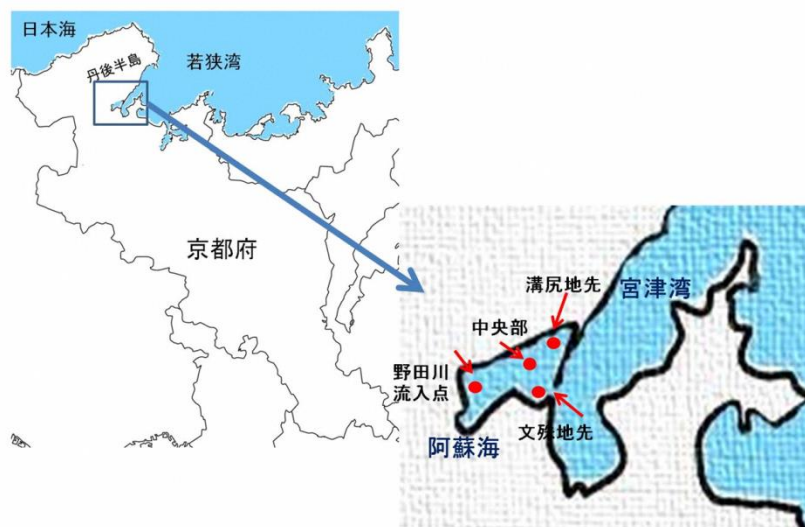


図 1 調査地点図

2.2. 方法

2.2.1. 採水方法と多項目水質計による鉛直分布調査

表層水はステンレスバケツを用いて採水、底層水はバンドーン採水器を用いて海底から約1 m上で採水し、それぞれポリプロピレン製の容器に移したものを分析に使用した。また、平成30年度及び平成31年度（令和元年度）は、中央部及び溝尻地先において、多項目水質計による観測でクロロフィルaが最大値を示した水深においてバンドーン採水器を用いて採水し、ポリプロピレン製の容器に移したものをプランクトン層水として分析に使用した。DO等の鉛直分布は、国立環境研究所から借用した多項目水質計HYDROLAB DS5を船から海中に垂下し、表層から海底までを水深約20 cm間隔で測定した。

2.2.2. 試料の作製

採水当日、試料作製のため次の作業を行った。①溶溶性成分の測定用に、海水の一部をガラス繊維フィルター(47 mm GF/C)でろ過した。②クロロフィルaの測定用に、表層水及び底層水500 mlをガラス繊維フィルター(47 mm GF/C)で吸引ろ過した。③懸濁性有機炭素(POC)の測定用に、表層水及び底層水100 mlを450℃で4時間焼成処理したガラス繊維フィルター(25 mm GF/F)で吸引ろ過した。④プランクトンの同定及び計測用に、プランクトン層水を4～5%程度のグルタルアルデヒドで固定した。

2.2.3. 測定方法

原水（未ろ過水）及び2.2.2.の①で作製したろ過水並びに2.2.2.の②及び③で作製したフィルターを冷凍して国立環境研究所に送付し、Ⅱ型共同研究報告書「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類とCODに関連する有機物項目（第3報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」⁵⁾で述べられた方法で、COD、溶溶性COD（以下、D-COD）、溶溶性有機炭素（以下、DOC）、懸濁性有機炭素（以下、POC）、クロロフィルaの測定を行った。

また、表層と底層の原水及びろ過水について、全窒素(T-N)、全燐(T-P)、硝酸性窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)、亜硝酸性窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニア性窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)、リン酸性リン($\text{PO}_4\text{-P}$)の測定をオートアナライザー(QuAAtro2-HR及びSwAAt28、(株)ビーエルテック製)を用い、JIS K0170-1～4に準じて当研究所で測定した。

同じく、表層と底層の原水及びろ過水について、CODをJISK0102-17、BODをJIS K0102-21に準じて当研究所で測定した。なお、BODについては植種を行わず、20℃での培養期間を5日間から6日間に延長し、6日間で消費されたDOをBOD6として求めた。

更に、2.2.2.の④で固定した中央部と溝尻地先のプランクトン層水は、国立環境研究所を通じて、常温で新日本環境調査(株)へ送付し、海洋観測指針に準じてプランクトンの同定及び計測を行った。

2.2.4. 公共用水域水質常時監視事業に係る測定データの活用

本研究において得た測定データに加え、1980年5月から2020年1月までの公共用水域水質常時監視事業測定データ、2014年4月から2020年1月までの京都府丹後保健所が同事業に合わせて測定した塩分データ及び前Ⅱ型共同研究⁴⁾で測定した栄養塩類のデータを活用した。

3. 結果と考察

3.1. 公共用水域水質常時監視データから見た成層と鉛直混合の状況

中・高緯度の沿岸海域では冬季の海面冷却に起因する活発な鉛直混合により多量の酸素が底層に供給されるので、貧酸素水塊は夏季に成層が発達して、冬季に供給された溶存酸素が消費しつくされ、表層からの酸素供給速度が小さくなった時にしか発生しない⁶⁾とされており、冬季には貧酸素水塊が発生しにくい。しかし、阿蘇海では冬季にも貧酸素水塊とその発生要因の1つである塩分成層⁷⁾が繰り返し見られている。そこで、貧酸素水塊を解消する鉛直混合の発生時期と発生状況について、上層と下層の海水密度差とDOの変化から推測した。

公共用水域常時監視時に得られた水温と塩分のデータを使用し、海水の状態方程式(UNESCO (1981))で求めた上層と下層間の密度差とDOの推移を図2に示す。上層と下層間の密度差を面グラフで示し、そこに上層及び下層のDOを折れ線グラフで重ねたものである。鉛直混合が発生した場合、その直近の海水密度差が低下し、上層及び下層のDOを示す2本の折れ線グラフが近づく。ただし、このような条件が揃う場合、気象条件や海流の影響等、鉛直混合以外の要因も考えられるため、当該時期に前後するデータも併せて考察する必要がある。また、全層の鉛直混合を確認するためには、底層（海底から1m以内）データの使用が必要であるがデータが無いため、下層（海面下10m又は水深10m未満の場合は底から1～2m上部）データを使用したことにより、

水深が 11m 以上の場合は全層の鉛直混合について述べることはできないことにも留意し、以下、調査地点ごとに鉛直混合の状況について述べる。

野田川流入点は、比較的大きな川からの河川水流入がある測定地点である。全ての採水日において全水深が 11 m 未満であったため、下層データは全て底層データを表している。

2016 年 5 月頃の上層の特異的な塩分の上昇と DO の低下が見られ、測定日前に鉛直混合が起きていた可能性がある。

なお、2018 年 3 月頃にも密度差が小さくなり下層の DO の大幅な上昇があったが、上層と下層の塩分が異常に低かったこと、また、雪の多い年であったことから、大量の雪解け水が流れ込んだことによるものと見られる。また、2019 年 3 月から 6 月頃にも密度差の減少と下層 DO の上昇があったが、上層の塩分が下がっていたことから鉛直混合によるものではない。

中央部は、阿蘇海の中央に位置し、水深が大きいことから、他の測定地点よりも河川流入や海水交換による影響を受けにくいと考えられる。そのため、上層と下層の塩分の差は年間を通じて比較的に大きく、下層の DO は低めの値で推移している。下層データは、ほとんどの採水日において底層より 1～3 m 程度浅い水深でのデータを表している。

2015 年 5 月頃に鉛直混合が起きた可能性がある。すなわち、密度差の減少とともに、下層では DO の急激な上昇と塩分の低下、水温の上昇が見られたことから、鉛直混合が示唆された。なお、当該採水日においては、底層が下層より 2.5 m 下にあり、底層までの全層混合の有無を確認したものではない。

溝尻地先は、密度差及び DO のデータを見る限りでは、距離的に最も近い中央部よりも文殊地先に似た推移をしている。採水日の 8 割程度において、下層データが底層データを表している。

2018 年 3 月頃に、密度差の減少とともに下層の DO の上昇が見られたが、上層及び下層の塩分が異常に低かった。当該採水日は野田川流入点より少し水深が浅く、雪解け水流入の影響を受けたと考えられる。

文殊地先は、狭い開口部ではあるが、宮津湾との海水交換が行われる測定地点である。近辺では、牡蠣殻の除去等の環境改善活動が行われている。採水日の 7 割程度において、下層データが底層データを表している。

2015 年 10 月頃に鉛直混合が起きた可能性がある。密度差の減少とともに、下層の DO の上昇と塩分の低下が見られたことから、鉛直混合が示唆された。当該採水日においては、下層データが底層データを表している。

なお、2017 年 5 月頃にも下層 DO の急激な上昇が見られたが、下層の塩分が異常に高くなっていたことから、宮津湾からの海水流入によるものと見られる。2018 年 3 月頃にも密度差の減少とともに下層 DO の上昇が見られたが、上層と下層の塩分が異常に低くなっていた。当該採水日においては溝尻地先と同様に水深が浅めで、雪解け水流入の影響を受けたと考えられる。

以上のとおり、2014 年 4 月から 2020 年 1 月までの 6 年弱の期間において、各地点の鉛直混合の発生は 1 回あるか無いかであり、鉛直混合後の下層あるいは底層の DO の回復に持続性が見られなかった。また、夏季に発達した貧酸素水塊が、秋季に解消することなく冬季の貧酸素水塊の形成に繋がっていく様子が見られた。



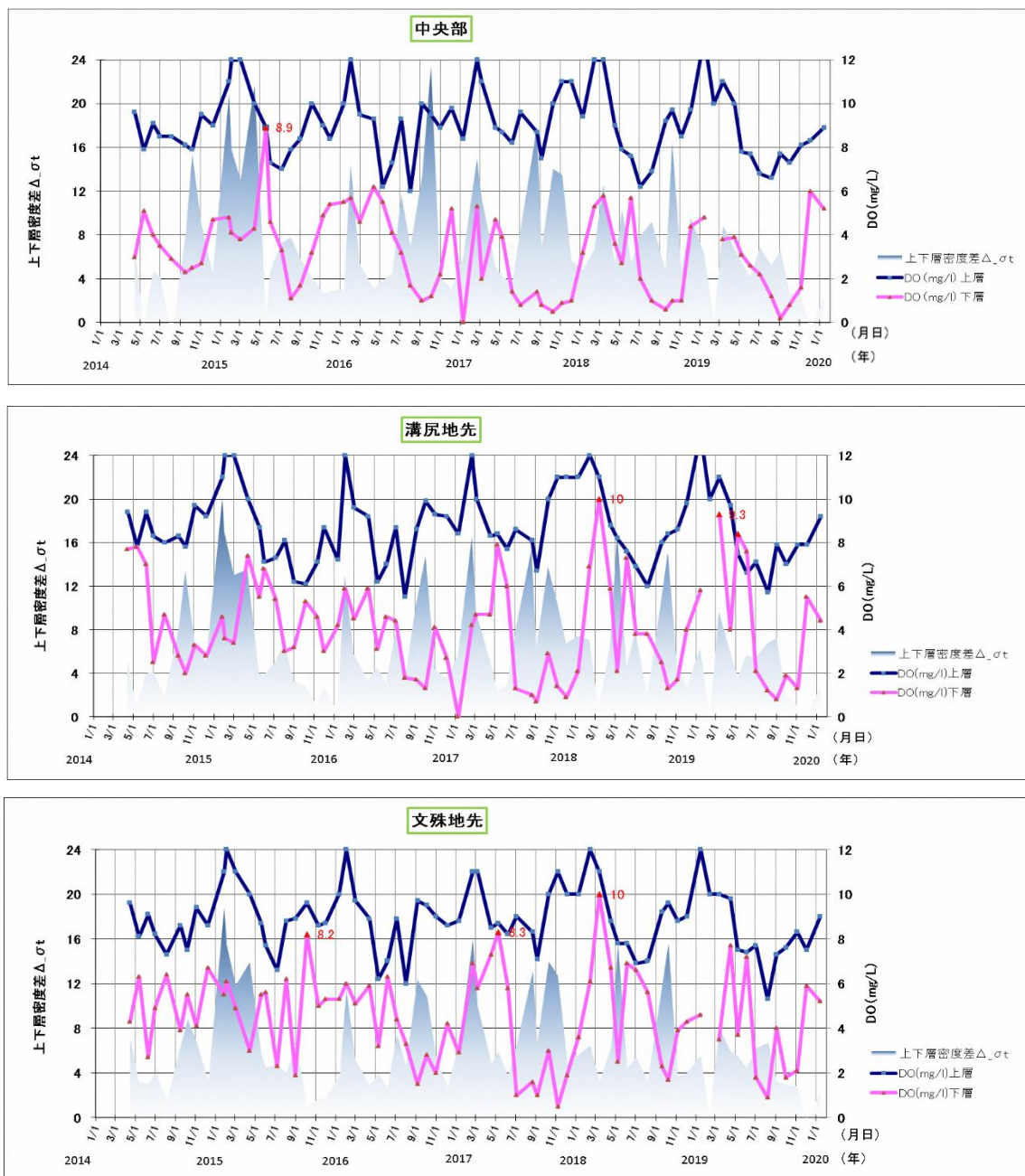


図2 上層と下層の密度差とDOの推移

(2019年2月は、採水器の故障により中央部・溝尻地先・文殊地先の下層データ無し)

3.2. DO、水温、塩分、クロロフィルaの鉛直分布

鉛直方向のDO、水温、塩分、クロロフィルaの測定結果を図3に示す。

3.2.1. 夏季(2017年9月、2018年9月、2019年9月)

全ての年で、下層に向かって塩分が上昇する塩分成層が形成されており、DOが3.0 mg/L以下となる貧酸素水塊が観測された。また、中央部は無酸素状態に至っていた。

クロロフィルaの値は冬季ほど高くならず、水深2mの中層から水深6～8m程度まで広く検出された。これは、植物プランクトンが、栄養塩類が枯渇状態にある表層よりも中層で増殖したためであると考えられる。

2018年9月は、暴風による甚大な被害をもたらした台風21号が通過した2週間後に調査したが、多項目水質計で測定した項目に特段の影響が見られず、塩分成層による貧酸素水塊を観測した。また、2019年9月は、クロロフィルaが例年の半分程度までしか観測されなかったが、塩分成層による貧酸素水塊は他の年と同様に観測された。これらのことは、年中持続的に発生している当該海域の貧酸素水塊は容易に解消されないことを示唆している。

3.2.2. 冬季（2018年1月、2019年1月、2020年1月）

冬季でも水温は全層とも10℃を下回ることが少なく、下層の水温は15℃前後であった。

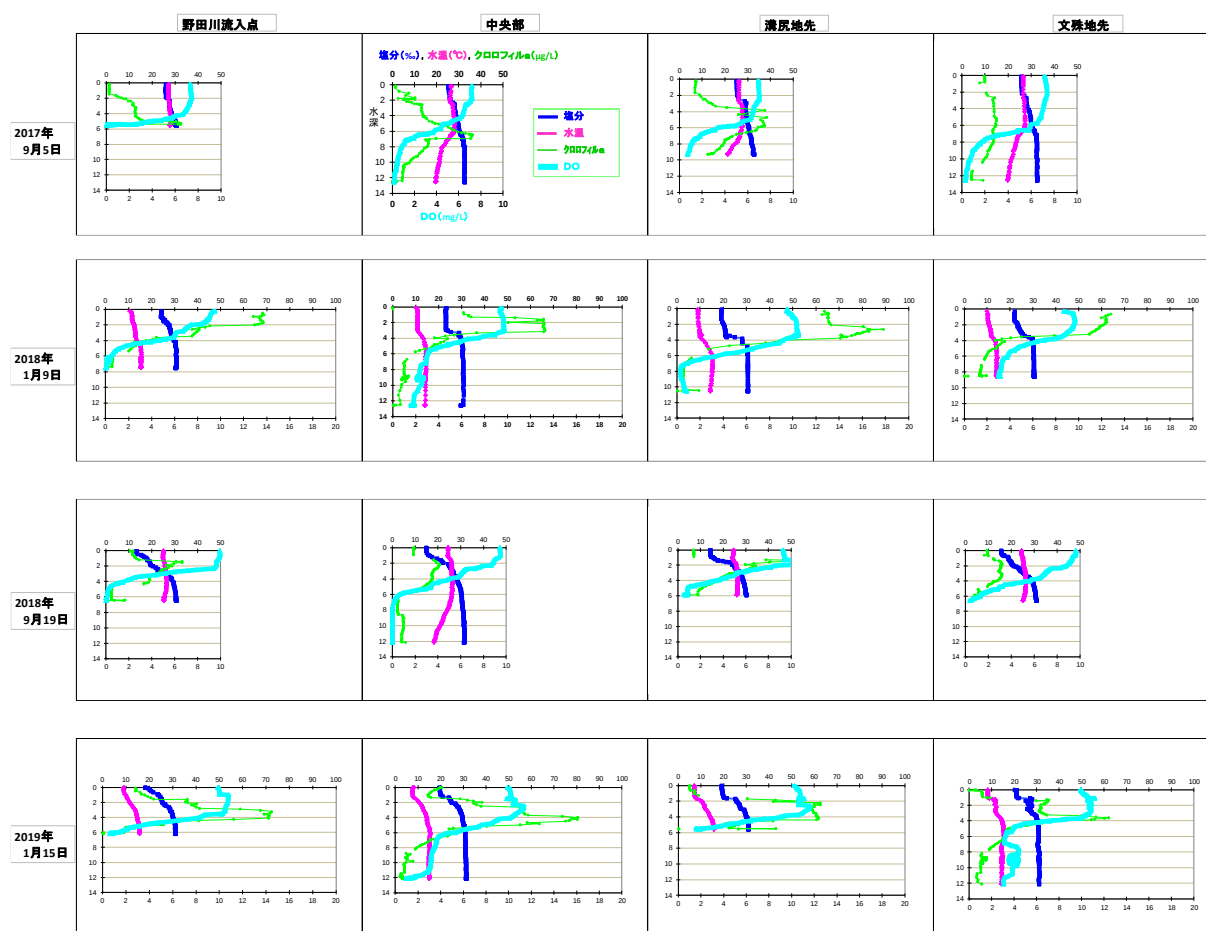
全ての年で、下層に向かって塩分が上昇する塩分成層が形成されており、2018年1月及び2019年1月はDOが3.0 mg/L以下となる貧酸素水塊が全ての地点において観測されたが、2020年1月は塩分成層が緩く、貧酸素水塊が観測されなかった。

クロロフィルaは、全ての地点において夏季よりも高く、冬季の方が植物プランクトンの増殖が活発であるという特徴も見られた。水深2～5 m程度の狭い範囲で検出され、植物プランクトンが、栄養塩類が枯渇状態にある表層と、底層からの栄養塩類の供給と日差しが十分でない深層を避けて分布したためであると考えられる。

貧酸素水塊が発生した年に着目すると、水深約4 m付近で塩分と水温の躍層より下層で安定し、塩分成層が明確に見えるとともに、躍層位置を起点としたDO低下とクロロフィルa低下が連動しているのが特徴的である。

貧酸素水塊が発生しなかった2020年1月に着目すると、他の時期と比べて塩分成層が緩やかで、植物プランクトンが少ないという違いがあった。気象条件からは、夏季は猛暑で冬季は暖冬で他の年との大きな違いは見つからなかったが、現場測定時における海流の違いがあった。海流の強い文殊地先において、貧酸素水塊が発生していた年は多項目水質計が大きく流されることがよくあったが、貧酸素水塊が発生しなかった2020年1月には多項目水質計が流されることはなかった。

外海である宮津湾は、閉鎖性海域に分類されるものの、水温が低く、塩分が高く、深層まで一律にDOが低下しないことを毎回調査時に確認していることから、阿蘇海に流れ込んで多量のDOを供給すると考えられる。文殊地先のみならず全地点において2019年の10月頃から継続して下層の塩分が29～33と異常に高くなっているとともに、上層のDOが低めの値で推移していたことから、文殊地先からの宮津湾の海水の流入により全域で底層の貧酸素水塊と上層の混合が生じていたのではないかと考えられる。



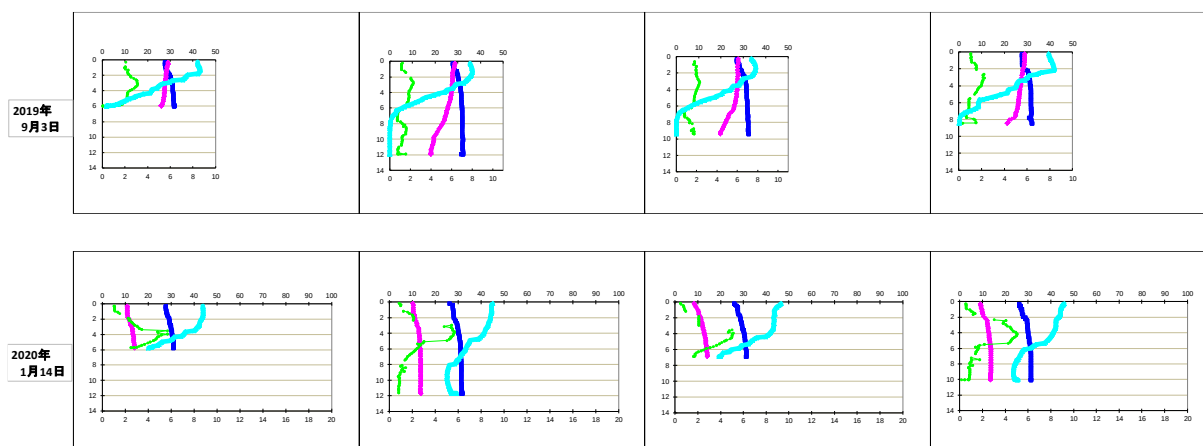


図3 溶存酸素・塩分・水温・クロロフィルaの鉛直分布

* 縦軸、横軸及びグラフ凡例については、中央部の2017年9月5日参照

3.3. 夏季と冬季の植物プランクトン相

閉鎖性海域では、夏季の成層期に海底から溶出した栄養塩類が底層水中に蓄積し、気象等の変化にともなう一時的な水塊混合によって有光層に供給されると、植物プランクトン組成の変化や出現密度の増加を引き起こすとされている⁸⁾。そこで、2018年9月、2019年1月、2019年9月及び2020年1月に、中央部及び溝尻地先において高クロロフィル層水を採取し、植物プランクトン相を確認した結果を表1に示す。

2018年9月の夏季においては、中央部は、鞭毛虫43%、珪藻33%、渦鞭毛藻10%、クリプト藻9%、ミドリムシ2%、ラフィド藻及び繊毛虫が各々1%であった。溝尻地先は、鞭毛虫56%、ラフィド藻13%、珪藻12%、渦鞭毛藻及びクリプト藻が各々9%、ミドリムシ1%であり、中央部と相が異なるものの、いずれも鞭毛虫が優占していた。

2019年1月の冬季においては、中央部は、珪藻94%、鞭毛虫、渦鞭毛藻及びクリプト藻が各々2%であった。溝尻地先は、珪藻94%、クリプト藻3%、渦鞭毛藻及び鞭毛虫が各々1%であり、中央部とほぼ同じで珪藻が9割強を占めていた。

2019年9月の夏季においても、中央部は珪藻96%、渦鞭毛藻1%であり、溝尻地先は珪藻90%、渦鞭毛藻5%、クリプト藻4%、鞭毛虫1%と、珪藻が9割を占める同様の相を成していた。前期調査時の2019年1月の冬季と比率はよく似ているが、2019年1月の冬季はタラシオシラ属が大半だったところ、2019年9月の夏季はメロシラ属が大半を占め、相は変化していた。

2020年1月の冬季においては、中央部は、珪藻68%、鞭毛虫17%、クリプト藻9%、渦鞭毛藻5%、黄金色藻1%であった。溝尻地先は、珪藻81%、鞭毛虫11%、クリプト藻6%、渦鞭毛藻1%であった。夏季より珪藻の比率が若干下がり、鞭毛虫とクリプト藻が増えている。珪藻はタラシオシラ属とメロシラ属で大半を占めていた。

連続する夏季及び冬季におけるプランクトン相を2年間観察したが、季節や調査地点ごとに一貫性のある傾向を認めるには至らなかった。また、各年には貧酸素水塊発生の有無という大きな環境要因の違いがあったにもかかわらず、これに関連したプランクトン相の明確な変化も見出すことができなかった。多くの因子が優占種を左右するプランクトン相の変化については、更なるデータ収集を要するものと考えられる。

中央部

(計数単位: cell/L)

網 名	2018年9月(夏季)		2019年1月(冬季)		2019年9月(夏季)		2020年1月(冬季)	
	計数	%	計数	%	計数	%	計数	%
クリプト藻	186,000	9	101,000	2	6,000	0	180,000	9
渦鞭毛藻合計	202,000	10	92,000	2	70,000	3	90,000	5
珪藻合計	676,000	33	4,518,000	94	2,073,000	96	1,350,000	68
ラフィド藻	27,000	1	0	0	0	0	0	0
黄金色藻	2,000	0	6,000	0	0	0	16,000	1
ミドリムシ	41,000	2	0	0	0	0	0	0
ブラシノ藻	8,000	0	2,000	0	0	0	0	0
緑藻合計	8,000	0	0	0	0	0	4,000	0
繊毛虫	15,000	1	0	0	0	0	0	0
鞭毛虫	888,000	43	78,000	2	10,000	0	342,000	17
合計	2,053,000	100	4,797,000	100	2,159,000	100	1,982,000	100

溝尻地先

(計数単位: cell/L)

網 名	2018年9月(夏季)		2019年1月(冬季)		2019年9月(夏季)		2020年1月(冬季)	
	計数	%	計数	%	計数	%	計数	%
クリプト藻	285,000	9	199,000	3	30,000	4	60,000	6
渦鞭毛藻合計	294,000	9	60,000	1	32,000	5	12,000	1
珪藻合計	377,000	12	5,404,000	94	638,000	90	818,000	81
ラフィド藻	426,000	13	0	0	1,000	0	1,000	0
黄金色藻	2,000	0	15,000	0	0	0	3,000	0
ミドリムシ	22,000	1	0	0	0	0	0	0
ブラシノ藻	11,000	0	6,000	0	1,000	0	1,000	0
緑藻合計	4,000	0	0	0	0	0	0	0
繊毛虫	5,000	0	0	0	0	0	0	0
鞭毛虫	1,785,000	56	86,000	1	7,000	1	114,000	11
合計	3,211,000	100	5,770,000	100	709,000	100	1,009,000	100

表 1 中央部及び溝尻地先の植物プランクトン相

3.4. 栄養塩類の夏季と冬季における変動

2015年9月から2020年1月にかけて、夏季(9月)と冬季(1月)の上層と底層を分析し、変動が大きく見られた底層の結果を図4に示す。なお、ろ過水と未ろ過水の値に差がほとんど無かったことから、ろ過水のみの結果を図示している。

野田川流入点は、3.1.で述べたとおり、他の調査地点とは異なり底層 DO 等の変動も大きく、傾向が捉えられなかったため、以下、野田川流入点以外の3調査地点について述べる。

窒素については、夏季の T-N はほとんどが $\text{NH}_4\text{-N}$ で占められている。

中央部では、毎年変わらず夏季に底質からの溶出と考えられる $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加が見られた。溝尻地先では、2016年に夏季の $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加が見られたが、以降は増加幅が小さく落ち着いてきている。文殊地先では、2017年の夏季までは中央部より高い値まで $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加が見られたが、以降は他の調査地点よりも低い状態で推移し、大幅な減少が継続している。

リンについては、ほとんどが $\text{PO}_4\text{-P}$ で、増減の傾向は $\text{NH}_4\text{-N}$ とほぼ同じである。

中央部では、毎年変わらず夏季に底質からの溶出と考えられる $\text{PO}_4\text{-P}$ の増加が見られた。溝尻地先では、平成28年に夏季の $\text{PO}_4\text{-P}$ の増加が見られたが、以降は増加幅が小さく落ち着いてきている。文殊地先では、平成29年の夏季の増加を最後に低い値に落ち着いている。

夏季の $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出が高かった時は採水水深が10m以上あり、水深が深い時に値が大きくなる傾向が見られた。しかし、冬季は水深が深くとも値が上がっていない。そのため、夏季と冬季では還元状態の違いや温度による溶出量への影響があるものと考えられる。

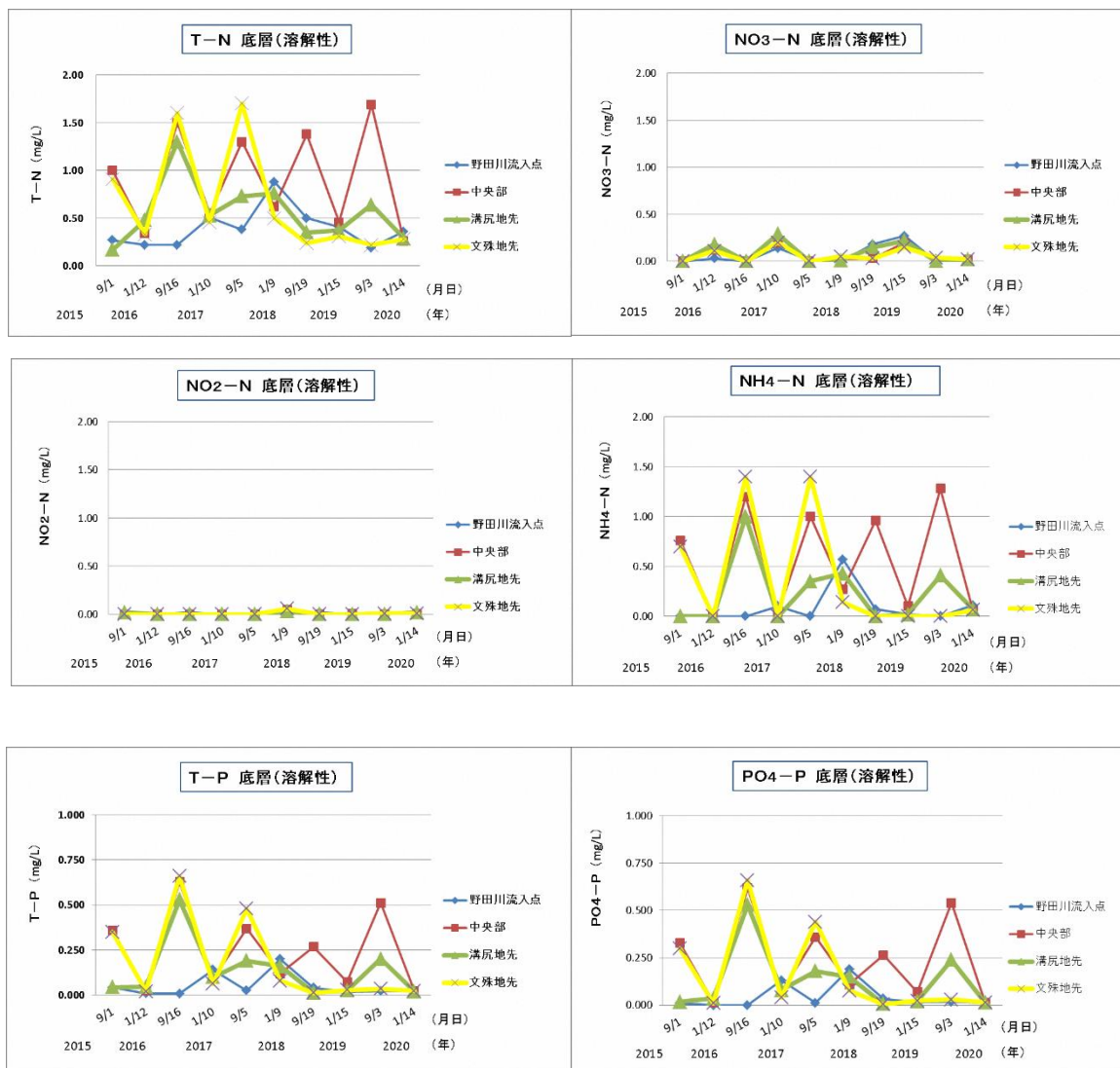


図4 栄養塩類の夏季と冬季における変動

3.5. COD 関連項目、BOD、クロロフィル a

表層と底層の原水における BOD と COD の関係を図5に示す。

Ⅱ型共同研究「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」(平成 26～28 年度)の結果と同様に、BOD は COD と $r^2=0.74$ で相関があり、COD 値には微生物による酸素消費に関わらない難分解性有機物によるとみられる値が含まれることから、微生物による酸素消費に関わる汚濁物質の評価方法としては BOD の方が適当であるとの推察を裏付けるものだった。なお、懸濁性 COD とクロロフィル a の関連性及び BOD と栄養塩類の関連性については推察を裏付ける結果にはならなかった。貧酸素水塊が発生した場合の各測定値の関係については、更なるデータ収集を要するものと考えられる。

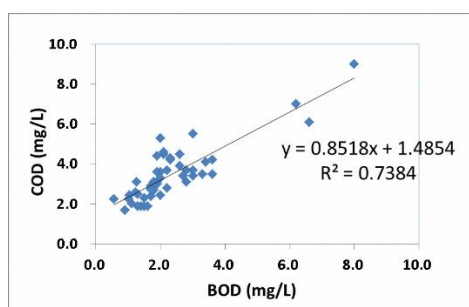


図5 夏季と冬季のBODとCODの相関関係

3.6. 公共用水域常時監視データから見た下層 DO の経年変化

1980年5月から2019年2月までの38年9箇月間における公共用水域常時監視で得られた下層 DO データを使用して、経年変化のトレンド解析を行った結果を図6に示す。なお、季節調整には、統計数理研究所で開発提供された TIMSAC for R package ver.1.3.6 に含まれるプログラムの `decomp`⁹⁾ を用いた。

阿蘇海においては、全窒素の環境基準超過が続き、COD を指標とする有機物質も増加傾向にあるが、文殊地先と中央部の2地点において、下層 DO の年間最低値が徐々に上昇し、回復傾向にあることがわかった。近年見られる猛暑と暖冬の異常気象についての評価はできていないが、環境改善への取組による効果もあるのではないかと考える。

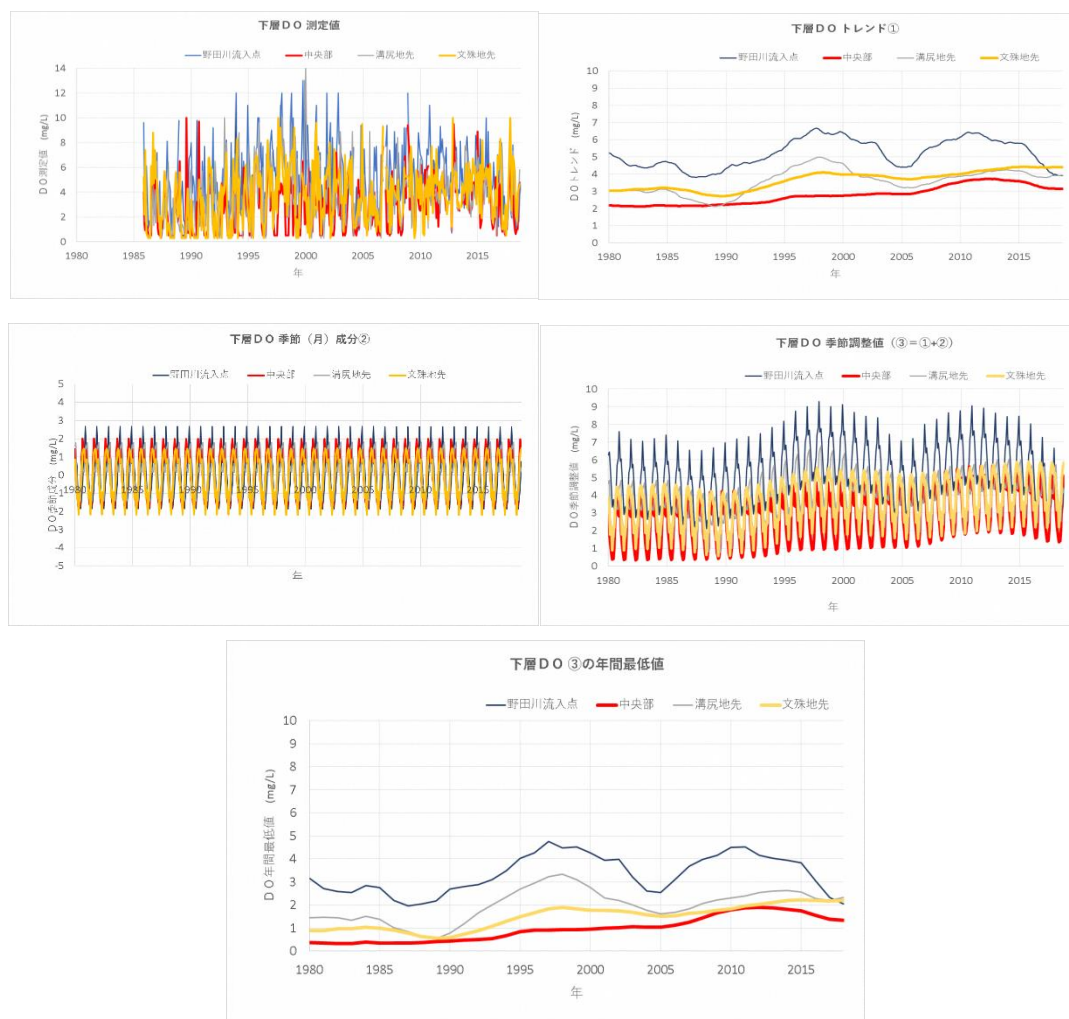


図6 トrend解析による下層DOの年間最低値の推移

まとめ

阿蘇海では、鉛直混合が減多に起こらず、起きてても底層 DO の継続的な回復にはつながらないことがわかった。

しかし、水深が大きい中央部を除けば、河川流入や海水流入による DO の増加が全域で起こりえることに加え、下層 DO の年間最低値が文殊地先と中央部で回復傾向にあること、夏季の底層からの栄養塩溶出量が下がってきていることといった水質改善の兆しも見られた。

今後は、異常気象による影響も考慮した更なる解析により、総合的な環境改善に資するデータを得られればと考える。

謝辞

本研究において御教示いただいた国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センター牧秀明氏、現地調査及びデータ提供に御協力いただいた丹後保健所の皆様に深謝いたします。

引用文献・資料

- 1) 有井広幸, 2010. 天橋立の形成過程について. 京都府埋蔵文化財論集第6集.
- 2) 環境省水・大気環境局水環境課閉鎖性海域対策室. 2018. 阿蘇海におけるケーススタディ. 地域が主体となる閉鎖性海域の環境改善の手引き.
- 3) 蒲敏幸, 田中豊稔, 宮尻久美, 田邊義浩. 2014. 京都府の閉鎖性海域における底層 DO の状況及び COD 等の調査結果について. 沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱, 68-73. II型研究共同研究報告書
- 4) 中居千和, 多田哲子, 牧秀明, 一二三純子, 北野隆一, 武田真由美, 田中豊稔, 木南敏之. 2017. 阿蘇海における酸素消費と貧酸素水塊の形成について. 京都府保環研年報第 62 号
- 5) 牧秀明, 2020. 茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目(第3報)と有機態窒素の分解性の東京湾との比較. II型研究共同研究報告書例 (国立環境研究所)
- 6) 柳哲雄. 2004. 貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響. 海の研究 13(5)
- 7) 石谷哲寛, 瀬口昌洋, 郡山益実, 加藤治. 2007. 有明海奥部西岸域における貧酸素水塊の発生と密度成層. 農業土木学会論文集 Trans.of JSIDRE No.247
- 8) 神山孝史, 玉井恭一, 辻野睦. 1997. 海底堆積物からの栄養塩再精算過程に及ぼす底質・溶存酸素条件. 南西水研研報, No.30
- 9) 統計数理研究所 TIMSAC for R package <http://jasp.ism.ac.jp/ism/timsac>

大阪湾における栄養塩類、COD 及び有機物項目との関連について

地方独立行政法人 大阪府立環境農林水産総合研究所
環境研究部環境調査グループ 近藤 健、河田 育子

1. はじめに

大阪湾の集水域は2府5県にわたり、集水面積は約 11,200 km² である。周辺地形は、北は六甲山地、東は生駒山地、金剛山地、笠置山地、南は和泉山脈などの 500～1,000 m の山地・森林が連なっており、平地は大阪平野、京都盆地などに限られる。大阪湾に流入する主要な河川は、淀川、神崎川、武庫川、大和川などがあるが、これらの多くは北東の湾奥部に集中している。湾奥部には淀川などから多量の河川水が流入することで、海水の塩分による成層化が見られ、現在でもなお年間 10～20 件（昭和 54 年から平成元年にかけて 20～30 件台）の赤潮が発生し、湾奥海域では初夏から初秋の間に貧酸素水塊が発生し続ける状態にある¹⁾。

本研究では、大阪湾において貧酸素水塊の発生頻度が高い地点を選定し、COD とそれに関連する項目、海域版 BOD 及び溶存性有機態窒素の溶存性無機態窒素への分解試験を実施したので、その調査結果について報告する。

2. 調査方法

2-1. 観測地点

大阪湾の環境基準点のうち湾奥と湾口の代表的な2地点、C-3 と A-11 を選定した（図 1）。

2-2. 栄養塩類、COD 関連項目の測定

C-3（C 類型・水深 13 m）・A-11（A 類型・水深 44 m）において 2011～2019 年の 9 月（夏季）、2012～2020 年の 1 月（冬季）にバンドーン採水器を用いて採水を行った。表層水は海面下 1m から、底層水は C-3 では海底面上 2 m、A-11 では同 5 m から採水した。当日中にろ過・分注を行った試水・フィルター類は冷凍して国立環境研究所に送付し、「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目（第 3 報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」で述べられた方法で一連の分析が行われ、そのデータを用いて解析を行った²⁾。

2-3. 海域版 BOD の測定

BOD は試水を 20℃で曝気し、溶存酸素計（Multilab 4010-1、YSI）で初期 DO を測定した。それぞれフラン瓶に入れて密栓をした後、20℃で 3 日間培養し、培養期間終了後、直ちに培養温度で DO を測定した。なお、試水をガラス繊維フィルター（GF/C、Whatman）でろ過し、上述の手順により測定した BOD を、溶存性 BOD（DBOD）とした。

2-4. 溶存性有機態窒素の無機態窒素への分解試験

2018 年および 2019 年 9 月の C-3(表層)の試水をガラス繊維フィルター(GF/C、Whatman)でろ過し、500 mL の三角フラスコに 200 mL 入れてアルミ箔で蓋をし、20℃暗所で振とう

した。振とう開始から 0、1、2、4、6、8、12 週目に試水をクリーンベンチ内で採水、孔径 0.80 μm 酢酸セルロースフィルターを含むシリンジフィルターカートリッジ (DISMIC 25CS080AN、ADVANTEC) でろ過した。得られたろ液は溶存性の全窒素 (DTN)、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) 及びアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) について、フローインジェクションシステム (FIA-300、三菱ケミカルアナリテック) で測定した。

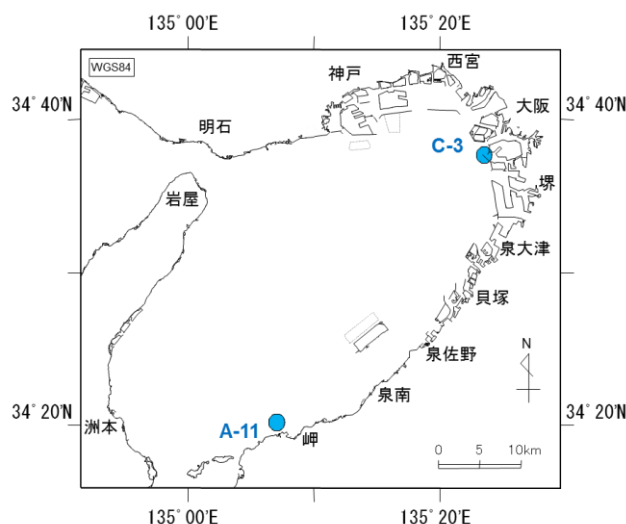


図 1 大阪湾の採水地点

3. 結果及び考察

3-1. 栄養塩類の測定

栄養塩類の平均濃度を表 1 に示す。地点別にみると全ての項目で A-11 と比較して C-3 の値が高かった。季節別にみると溶存性無機態窒素 ($\text{DIN} = \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) は C-3 の底層を除いて夏季と比較して冬季の方が高い値を示した。

C-3 表層クロロフィル a (Chl a) と DIN の測定値の推移を図 2 に示す。9 月には Chl a 濃度が増加し、DIN が減少するが、1 月には Chl a 濃度が減少し、DIN が増加する季節変動が見られた。これは、9 月には表層で DIN が消費され、植物プランクトンが増加し、1 月は植物プランクトンが繁殖せず、それらに消費されなかった DIN が増加したと考えられる。

また、C-3 表層 Chl a と底層 DO の測定値の推移を図 3 に示す。9 月には Chl a 濃度が増加し、底層 DO が低下するが、1 月には Chl a 濃度が減少し、底層 DO が増加する季節変動が見られた。また表層 Chl a と底層 DO には負の相関が見られた (図 4)。9 月は海水が成層状態になり、垂直混合が起こりにくいため、底層の DO はもともと低いと考えられるが、さらに、表層で増加した植物プランクトンが底層に沈降し、底層の DO 消費に寄与していると考えられる。これらのことから、表層の DIN が植物プランクトンに影響し、植物プランクトンは底層 DO に影響していることが推察される。

表 1. 調査期間（2011 年 9 月～2020 年 1 月）の栄養塩類の平均濃度 (mg/L)

地点	時季	層	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	DIN	DTN	PO ₄ -P	DTP
C-3	9 月	表層	0.320	0.031	0.096	0.44	0.87	0.037	0.074
		底層	0.083	0.028	0.110	0.22	0.49	0.047	0.062
	1 月	表層	0.490	0.047	0.062	0.62	1.10	0.029	0.045
		底層	0.089	0.015	0.037	0.14	0.36	0.016	0.025
A-11	9 月	表層	0.015	0.008	0.017	0.034	0.29	0.0098	0.024
		底層	0.039	0.015	0.009	0.063	0.29	0.0140	0.026
	1 月	表層	0.042	0.009	0.008	0.058	0.26	0.0094	0.020
		底層	0.061	0.014	0.007	0.081	0.26	0.0140	0.023

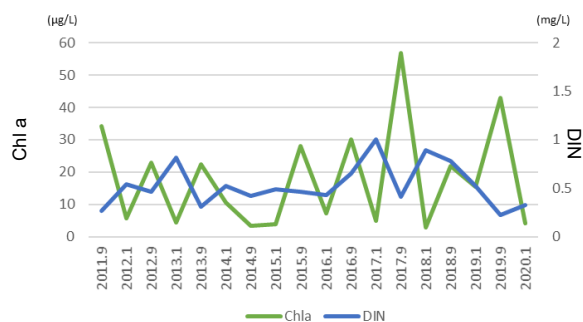


図 2. C-3 における表層 Chl a と表層 DIN の濃度推移

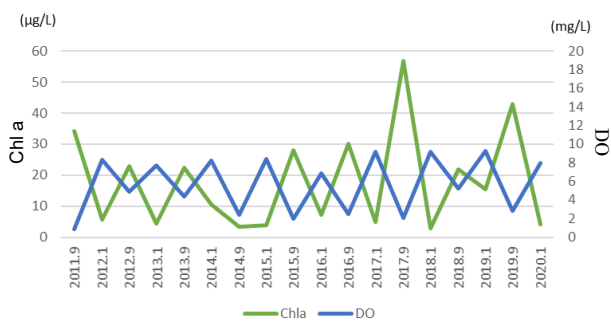


図 3. C-3 における表層 Chl a と底層 DO の濃度推移

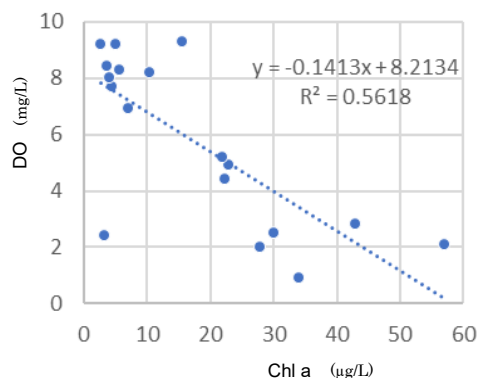


図 4. C-3 における表層 Chl a と底層 DO の相関

3-2. COD、COD に関連する有機物項目の測定

COD 関連項目の調査結果から、C-3（表層、底層）、A-11（表層、底層）の懸濁性有機炭素（POC）及び懸濁性 COD（PCOD = COD — DCOD）と Chl a の関係を図 5 に示す。POC と Chl a は正相関を示していることから、POC の多くは Chl a すなわち植物プランクトンに由来することが示唆された。一方、PCOD と Chl a はそれほど強い相関は示さなかった。POC と PCOD は同じ懸濁性有機物の関連指標でありながら、Chl a との相関が異なった原因として、COD の酸化方法では、酸化しきれない有機成分があることが推察された。

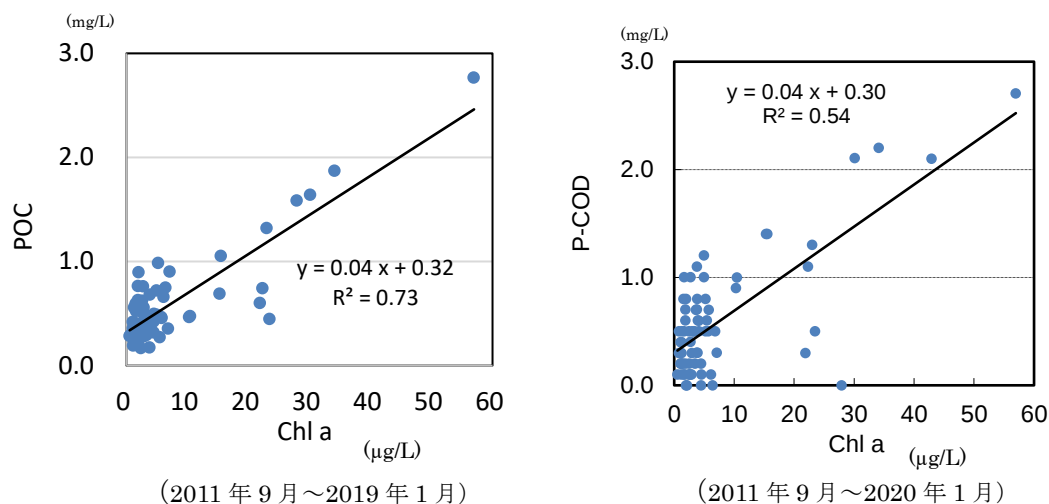


図5 POCおよびP-CODとChl aの関係

3-3. 海域版BODの測定

C-3（表層、底層）、A-11（表層、底層）のCOD及び海域版BODとChl aの関係を図6に示す。いずれも正の相関が見られたが、海域版BODとChl aはより高い相関を示した。CODとChl aの回帰式において、海域版BODとChl aのそれに比べ、高い切片が生じた。この切片に差異が生じた原因として、CODの測定では酸素消費に影響の少ない難分解性有機物を含めて測定値に反映されていることが考えられた。COD、海域版BODともにChl aと相関がみられることから、酸素消費の要因として植物プランクトンが寄与していることが推察された。

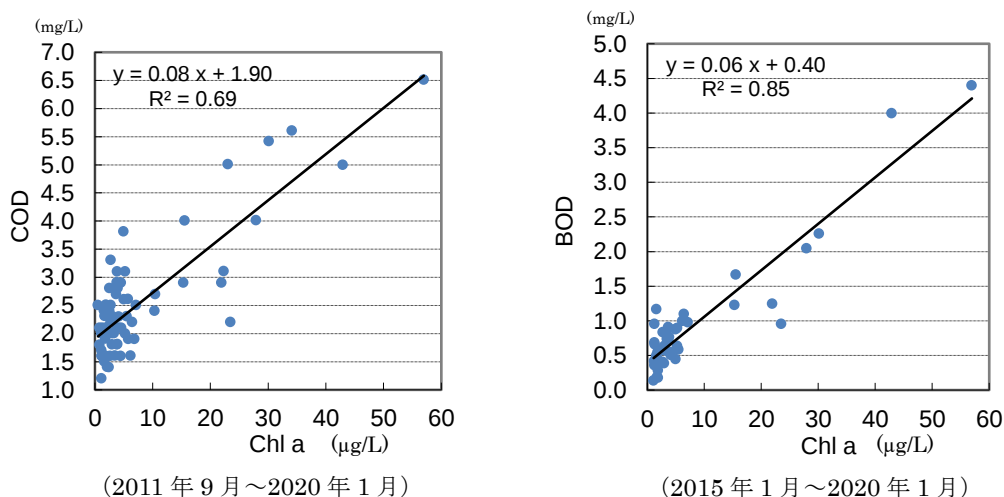


図6 酸素消費量関連項目とクロロフィル a の関係

3-4. 溶存性有機態窒素の無機態窒素への分解試験

溶存性有機態窒素の溶存性無機態窒素（ $\text{DIN} = \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ ）への分解試験の測定結果から、2018年および2019年のC-3（表層）の各態窒素濃度と振とう時間の関係を図7に示す。2018年C-3の0週目では、窒素成分の多くが $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を主成分とするDINとして存在し、その濃度は0.66 mg/Lであった。溶存性有機態窒素（ $\text{DON} = \text{DTN} - \text{DIN}$ ）の濃度は0.07 mg/Lであった。2週目まではほとんど成分の変化は認められなかったが、4週目では $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が減少し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が増加した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、

NO₂-N は経時的な硝化作用により、NO₃-N に変化したと考えられた。6 週目以降は NH₄-N、NO₂-N は検出されず、DIN は NO₃-N のみであった。DON は 1 週目に増加し、6 週目まで横ばいで推移し、8~12 週目にわずかに減少した。これは DIN を試水中の微生物が利用して DON に変換し、その後それらを含む DON の一部が DIN に分解されたことが推察された。8 週目までの間ほとんど DIN への分解は認められず、DON の濃度も DIN に比べて低いことから、DON が栄養塩の供給源として寄与している割合は低いと考えられた。

2019 年の測定結果では、全窒素濃度は 2018 年のものと比べると低いものの、DON を多く含んでいた。0 週目の DON は 0.16 mg/L であったが、12 週目には 0.07 mg/L まで減少した。一方、0 週目の DIN は 0.18 mg/L で、12 週目には 0.27 mg/L まで増加し、試験開始時から 1.5 倍程度の DIN の増加が見られた。これは DON が経時分解し、一定程度の DIN を供給していると考えられる。

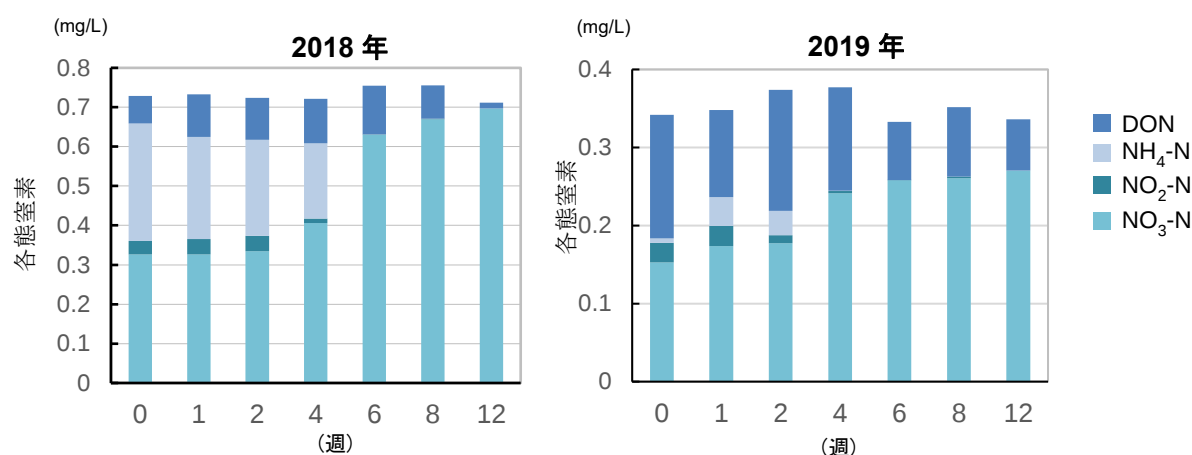


図7 C-3 表層水中の溶存性各態窒素の濃度変化

2018 年 C-3 の試水は、調査を開始した 2011 年以降の 9 月に採水したものの中で NH₄-N 濃度が最も高く、また 9 月の降水量の合計も高かった³⁾。C-3 表層水中の溶存性各態窒素と大阪市で観測された降水量の関係を図 8 に示す。台風 21 号（2018 年 9 月 4 日に神戸市上陸）による降雨が、陸域から NH₄-N を伴った出水を増やし、海域の NH₄-N 濃度を高め、試水（2018 年 9 月 12 日採水）に影響を及ぼしたと推察される。平年に比べ特異的な試水であったといえる。

2019 年 C-3 の試水の採取日前日は、台風のような大規模な出水はなかったものの、降雨は観測されており、やはり降雨の影響を受けていると考えられる。

2018 年と 2019 年の溶存性各態窒素の測定結果が異なり、また採水日以前の降雨状況も異なることから、陸域からの出水の規模により海水中の溶存性各態窒素の濃度やそれらの組成比率が変化することが考えられた。また、2018 年の DON より、2019 年の DON において分解がより進んだことから、DON の分解性にも変化を与えることが考えられた。

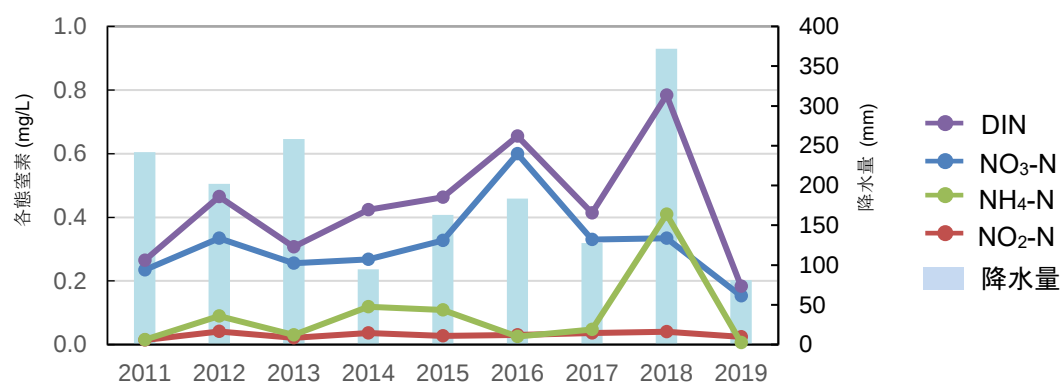


図8 9月 C-3 表層水中の溶存性各態窒素の濃度と降水量

4. まとめ

2011年9月から2020年1月の間、C-3、A-11の二地点で採水し、一連の測定を実施した結果、以下のことが明らかになった。

- ・C-3では、気温の高い夏季に植物プランクトンが栄養塩を摂取し増殖していると考えられた。
- ・POCの多くは植物プランクトンに由来することが推察された。
- ・酸素消費に関わる主な要因は植物プランクトン由来のものであることが推察された。
- ・表層で増加した植物プランクトンが、底層のDO消費に寄与していることが推察された。
- ・陸域からの出水の規模により海水中の溶存性各態窒素の濃度、それらの組成比率およびDONの分解性が変化した。
- ・DONが栄養塩の供給源として寄与している可能性が示唆された。

5. 参考資料

- 1) 平成26年5月大阪湾再生推進会議 大阪湾再生行動計画（第二期）より抜粋、一部改編
- 2) 国立研究開発法人国立環境研究所 牧秀明 「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類とCODに関連する有機物項目（第3報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」
- 3) 気象庁 <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

大阪湾と播磨灘における窒素、りんと一次生産の関係（2017～2019年度）

（公財）ひょうご環境創造協会 兵庫県環境研究センター 宮崎 一

1 目的

兵庫県は栄養塩濃度が異なる閉鎖性海域である、大阪湾と播磨灘に面している。近年では、富栄養化が継続する大阪湾奥と栄養塩濃度の低下が懸念される播磨灘に対して、環境保全に関する異なる対処が求められている。

本稿においては栄養塩の構成要素である窒素とりんについて、海域での有力な循環の場である干潟における一次生産との関係を検討し、各海域における環境保全策に資することを目的とした。



図 調査地点 ▲: 尼崎港人工干潟, ◆: 高砂海浜公園

2 調査方法

大阪湾奥と播磨灘に位置する干潟を各1地点（尼崎（尼崎港人工干潟）および高砂（高砂海浜公園） 図参照）を選定し、表層水をバケツにより採水した。調査は一次生産が増加する夏季と減少する冬季に実施した。分析については表1に示す項目に関して、II型共同研究報告書「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類とCODに関連する有機物項目（第3報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」（国立環境研究所）に記載された方法で実施した。

3 調査結果と考察

調査結果を表1及び表2に示す。

栄養塩を構成する窒素とりんについては尼崎が高砂を平均値において上回った。特に $\text{NO}_3\text{-N}$ （硝酸性窒素）、 $\text{NO}_2\text{-N}$ （亜硝酸性窒素）、 $\text{NH}_4\text{-N}$ （アンモニア性窒素）、DIN（溶溶性無機窒素）に関しては2倍以上となった。海域の一次生産の指標であるChl a（クロロフィル a）については栄養塩濃度の高さを反映して、尼崎が高砂の14倍となった。このことに支持されて、粒状性有機物質の評価を含むCOD（化学的酸素要求量）のみならず、溶溶性有機物質の指標であるD-COD（溶溶性COD）、DOC（溶溶性有機炭素）についても尼崎が高砂を上回った。 $\delta^{13}\text{C}$ は尼崎において高砂より高めに推移し、海域での内部生産は尼崎の方が活発であることが示唆された。尼崎においてはChl a濃度が冬季に $159\mu\text{g/L}$ 、夏季に $35.1\mu\text{g/L}$ に達した。当海域では冬季の 10°C から夏季には 28°C まで水温の上昇が認められることから、栄養塩濃度と日照量のような環境条件が合えば幅広い水温で一次生産が増加することが考えられた。対して高砂では加古川河口という立地条件、干潟の栄養塩供給という特性からDIN 0.28mg/L 、DTN（溶溶性全窒素） 0.79mg/L と比較的高い栄養塩濃度（平均値）であったが、Chl a濃度は全測定回を通じて $5\mu\text{g/L}$ 未満に留まり、一次生産の低さが懸念されることとなった。

表 1 水質調査結果 POC（粒状性有機炭素）， $\delta^{13}\text{C}$ （炭素の安定同位体比）， $\text{PO}_4\text{-P}$ （りん酸性りん），DTP（溶存性全りん）， SiO_2 （珪酸性珪素） 定量下限値を除き、有効数字は 3 桁まで、小数点以下第 2 位までとした。）

単位：Chl a($\mu\text{g/L}$)， $\delta^{13}\text{C}$ (‰)，他は(mg/L)

採水年月	採水点名	COD	D-COD	COD-DCOD	DOC+POC	DOC	POC	Chl a	$\delta^{13}\text{C}$
2017/9/15	尼崎港 人工干潟	4.51	3.81	0.70		2.00		5.41	
2018/2/26		8.79	3.10	5.69		2.09		159	
2018/8/13		4.30	3.20	1.10	3.34	2.66	0.68	4.18	-23.0
2019/2/20		3.50	3.00	0.50	3.05	2.38	0.66	6.89	-21.1
2019/9/3		—*	—	—	4.49	1.95	2.54	35.1	-22.4
2020/1/21		—	—	—		2.00		13.0	
2017/9/20	高砂海浜 公園	4.01	2.81	1.20		1.45		1.91	
2018/2/26		2.70	2.50	0.20		1.99		1.78	
2018/8/14		3.50	2.90	0.60	3.03	2.29	0.74	4.87	-25.4
2019/2/20		3.40	3.00	0.40	2.56	2.22	0.34	2.04	-25.7
2019/9/3		—	—	—	1.97	1.56	0.41	3.62	-30.1
2020/1/21		—	—	—		1.52		1.27	

採水年月	採水点名	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	DIN	DTN	$\text{PO}_4\text{-P}$	DTP	SiO_2
2017/9/15	尼崎港 人工干潟	0.53	0.05	0.47	1.04	2.71	0.17	0.36	5.38
2018/2/26		0.07	0.02	<0.01	0.08	0.89	<0.01	0.04	0.44
2018/8/13		0.26	0.02	0.30	0.58	1.46	0.08	0.21	2.98
2019/2/20		0.22	0.01	0.12	0.35	1.31	0.05	0.12	2.09
2019/9/3		0.46	0.03	0.01	0.50	0.73	<0.01	0.02	4.11
2020/1/21		1.22	0.04	0.11	1.37	1.59	0.03	0.04	2.16
2017/9/20	高砂海浜 公園	0.37	0.01	0.06	0.44	1.34	0.07	0.15	8.76
2018/2/26		0.12	<0.005	0.04	0.15	0.75	0.02	0.06	1.55
2018/8/14		0.01	<0.005	0.02	0.02	0.41	0.02	0.07	3.09
2019/2/20		0.37	0.01	0.04	0.42	1.28	0.04	0.08	3.58
2019/9/3		0.50	<0.005	0.02	0.52	0.70	0.06	0.07	10.7
2020/1/21		0.03	<0.005	0.05	0.09	0.26	0.02	0.03	0.46

* 令和元年度より測定取り止め

表 2 水質調査結果の平均値、最大値、最小値 単位は表 1 と同様

	COD	D-COD	COD-DCOD	DOC+POC	DOC	POC	Chl a	$\delta^{13}\text{C}$
尼崎平均	5.28	3.28	2.00	3.62	2.18	1.29	37.2	-22.2
高砂平均	3.40	2.80	0.60	2.52	1.84	0.50	2.58	-27.1
尼崎最大	8.79	3.81	5.69	4.49	2.66	2.54	159	-21.1
高砂最大	4.01	3.00	1.20	3.03	2.29	0.74	4.87	-25.4
尼崎最小	3.50	3.00	0.50	3.05	1.95	0.66	4.18	-23.0
高砂最小	2.70	2.50	0.20	1.97	1.45	0.34	1.27	-30.1
	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	DIN	DTN	$\text{PO}_4\text{-P}$	DTP	SiO_2
尼崎平均	0.46	0.03	0.17	0.65	1.45	0.06	0.13	2.86
高砂平均	0.23	0.01	0.04	0.28	0.79	0.04	0.08	4.70
尼崎最大	1.22	0.05	0.47	1.37	2.71	0.17	0.36	5.38
高砂最大	0.50	0.01	0.06	0.53	1.34	0.07	0.15	10.7
尼崎最小	0.07	0.01	<0.01	0.08	0.73	<0.01	0.02	0.44
高砂最小	0.01	<0.005	0.02	0.02	0.26	0.02	0.03	0.46

徳島県沿岸海域における COD 関連項目の現状と傾向

徳島県立保健製薬環境センター 酒池 遼

1 緒言

徳島県は、播磨灘（瀬戸内海）、紀伊水道、太平洋と三つの性質の異なる海域に囲まれ、豊かな水産資源に恵まれている。特に播磨灘と紀伊水道は閉鎖性のある地形や黒潮の影響で内外交流種が多く生息し漁業生産性が高く、漁船漁業と藻類養殖業が主に営まれている。また、水質汚濁については、県内海域の環境基準点における COD について、環境基準をほぼ 100% 達成している。

今回、上記の 3 海域について、公共用水域の常時監視点から各 1 地点を選び、夏季と冬季の年 2 回、COD と関連する有機物指標の測定を行って季節変化と項目間の関係について検討した。

2 方法

2.1 調査・採水時季

2017 年 8 月、2018 年 2 月と 8 月、2019 年の 2 月と 8 月、2020 年の 2 月の計 6 回行った。

2.2 調査地点

徳島県沿岸域の公共用水域常時監視点のうち、図 1 及び表 1 に示す県北沿岸海域、紀伊水道海域、県南沿岸海域の 3 地点で調査・採水を行った。測定水深は表層（海面下 0.5 m 位置）で、この 3 地点の水質環境基準生活環境項目の類型はいずれも A（COD 2 mg/L 以下）である。



提供元：徳島県総合地図提供システム

図 1 調査地点

表 1 各調査地点の特徴

地点	県北沿岸海域 608-1 (Ha-1)	紀伊水道海域 609-2 (Ki-2)	県南沿岸海域 607-3 (Ka-3)
水域	瀬戸内海（播磨灘）	瀬戸内海（紀伊水道）	太平洋
類型	AⅡ	AⅡ	A
水深	約 35 m	約 31 m	約 86 m
地点の特徴	播磨灘南部に位置し、閉鎖性海域に属している	吉野川の沖合いに位置し、陸水からの影響を受ける恐れがある	太平洋に面し、黒潮の影響を受けやすい

2.3 分析方法

海水試料は、採水当日に分注・ろ過を行った。

試料をそのまま分注したものは、COD の分析に用いた。

クロロフィル a (Chl-a) の分析には、450℃で 4 時間焼成処理した 47 mm 径のガラス繊維フィルターGF/C を用いて、試料を 1000 mL 吸引ろ過したろ紙を用いた。得られたろ液は、溶存性の COD (D-COD) と BOD_{3,7} (D-BOD_{3,7}) と有機炭素 (DOC) と全窒素 (DTN)・全リン (DTP)、それに硝酸態・亜硝酸態窒素 (NO₃-N・NO₂-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N)、リン酸態リン (PO₄-P)、珪酸塩 (シリカ: SiO₂) の分析に用いた。ただし、2019 年夏季より、COD (D-COD) は測定していない。BOD に関しては、得られたろ液 500 mL と未ろ過試料 500 mL を使用し、JIS K0102 21 に従って測定した。ただし、ふらん瓶に分取後の放置期間を 3 日間と 7 日間とし、消費された溶存酸素の量を、それぞれ BOD₃ (D-BOD₃)、BOD₇ (D-BOD₇) として求めた。

懸濁性有機炭素 (POC) の分析には、450℃で 4 時間焼成処理した 25 mm 径のガラス繊維フィルターGF/F を用いて、試料を 500 mL 吸引ろ過したろ紙を用いた。

ろ過・分注した試水・フィルター類は冷凍して国立環境研究所に送付し、Ⅱ 型共同研究報告書「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目（第 3 報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」（国立環境研究所）に記載された方法で、一連の分析を行った。¹⁾BOD のみ当センターで測定した。

3 結果と考察

3.1 栄養塩類

栄養塩類の測定結果を表 2 に示す。これまでの研究（2014～2017 年）²⁾と同様、珪酸塩以外の項目については、夏季より冬季で値が大きくなる傾向が認められた。これは夏季にプランクトンが増殖し、栄養塩を多く取り込んでいることの影響の可能性もあると考えられる。夏季の DIN, DIP に関しては、そのほとんどが枯渇している。

3.2 COD

今回調査・採水を行った3地点における水質の変遷を把握するために、2002～2020年（冬…2月，夏…8月）の15年間のCOD値を図2に示した。^{3),4)}

県南沿岸海域の水質は安定しており、いずれの期間においても環境基準（2 mg/L 以下）を達成した。その他の2地点についても、環境基準超過は1割未満となっている。紀伊水道では夏季・冬季に限らず高い値となることが稀にある。

表2 2017年8月～2020年2月の夏季及び冬季の栄養塩類
(単位はすべて mg/L, かつこの数字は標準偏差)

地点	時季	DIN (NO ₃ -N+NO ₂ -N +NH ₄ -N)	DTN	DIP (PO ₄ -P)	DTP	SiO ₂
県北沿岸 (Ha-1)	夏季	0.010 (0.011)	0.29 (0.114)	0.007 (0.002)	0.026 (0.010)	0.52 (0.18)
	冬季	0.030 (0.009)	0.40 (0.148)	0.014 (0.002)	0.036 (0.011)	0.45 (0.04)
紀伊水道 (Ki-2)	夏季	0.008 (0.006)	0.27 (0.112)	0.003 (0.001)	0.019 (0.005)	0.50 (0.22)
	冬季	0.028 (0.019)	0.40 (0.085)	0.010 (0.005)	0.030 (0.005)	0.28 (0.06)
県南沿岸 (Ka-3)	夏季	0.006 (0.005)	0.21 (0.075)	0.001 (<0.001)	0.011 (0.003)	0.49 (0.27)
	冬季	0.038 (0.003)	0.33 (0.094)	0.007 (0.001)	0.023 (0.008)	0.33 (0.04)

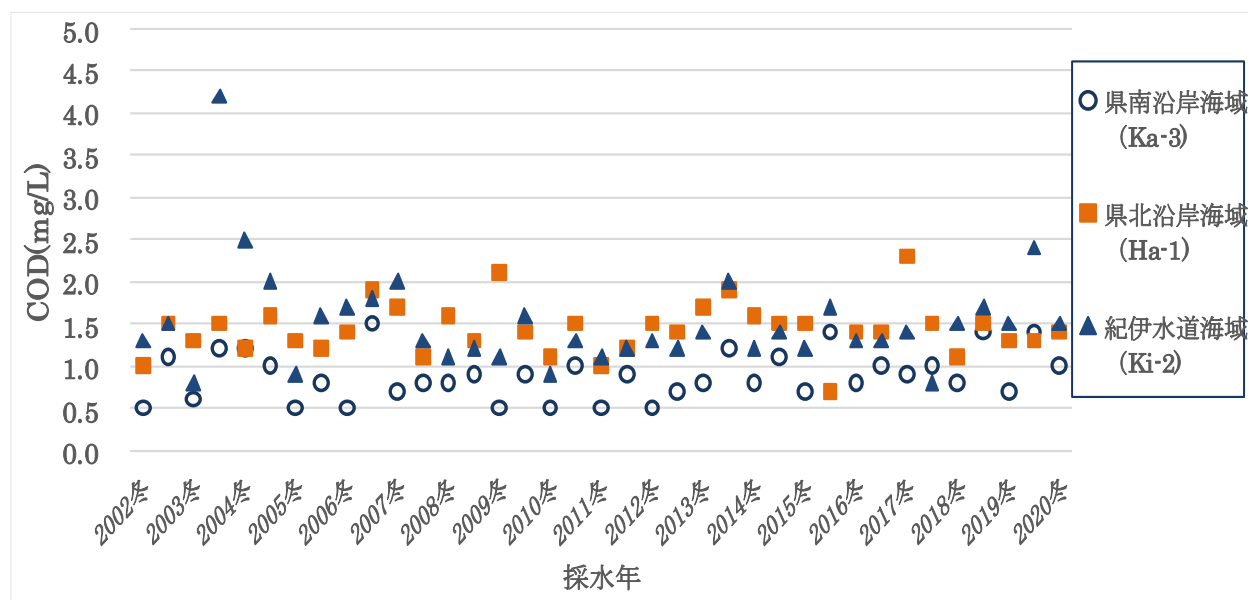


図2 2002～2020年におけるCOD

3.3 COD 関連項目の測定結果

今回調査した試料の COD 関連項目の測定結果を表 3 に示す。

懸濁性の COD (P-COD) は、COD と D-COD の差から求めた。全有機炭素 (TOC) については、DOC と POC の和から求めた。

その結果、COD, D-COD, P-COD のほとんどで、冬季より夏季の値が高い傾向が見られた。

表 3 2017 年 8 月～2020 年 2 月の夏季及び冬季の COD 関連項目
(単位は Chl-a は $\mu\text{g/L}$, 他はすべて mg/L , かつこ内の数字は標準偏差)

地点	時季	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC	POC	TOC (DOC+POC)	Chl-a
県北沿岸 (Ha-1)	夏季	2.23 (0.668)	1.86 (0.454)	0.36 (0.214)	1.63 (0.414)	0.37 (0.099)	2.00 (0.511)	0.83 (0.129)
	冬季	1.67 (0.192)	1.55 (0.308)	0.13 (0.116)	1.72 (0.320)	0.20 (0.021)	2.09 (0.255)	0.75 (0.047)
紀伊水道 (Ki-2)	夏季	2.29 (0.155)	1.71 (0.278)	0.58 (0.396)	1.42 (0.306)	0.44 (0.096)	1.85 (0.231)	1.00 (0.152)
	冬季	1.80 (0.28)	1.34 (0.121)	0.46 (0.172)	1.49 (0.337)	0.32 (0.057)	1.97 (0.252)	1.13 (0.391)
県南沿岸 (Ka-3)	夏季	1.76 (0.260)	1.56 (0.140)	0.20 (0.216)	1.44 (0.402)	0.29 (0.078)	1.73 (0.358)	1.53 (1.095)
	冬季	1.83 (0.570)	1.19 (0.165)	0.64 (0.553)	1.42 (0.325)	0.22 (0.085)	1.87 (0.076)	0.50 (0.048)

*TOC, POC に関しては 2020 年冬季のデータを含めていない。

3.3.1 COD 関連項目の比較

測定した COD 関連項目の結果(2011～2020 年)を比較したものを図 3 に示す。COD, D-COD, P-COD に関しては 2011 年から 2019 年冬季まで、POC に関しては未測定である 2015 年を除いたデータを用いた。

まず、(a)に示すように COD と TOC (DOC+POC) について比較を行った。決定係数は 0.19 と、弱い正の相関が見られた。

次に(b), (c)に示すように、COD と有機炭素 (OC) について、溶存性成分同士の値と懸濁性成分同士の値を比較した。溶存性成分同士 (D-COD vs DOC) は決定係数が 0.21, 懸濁性成分同士 (P-COD vs POC) は決定係数 0.32 と、弱い正の相関が見られた。以上のことから、有機炭素が COD に与える影響は認められるが限定的であると言える。

次に(d), (e)に示すように、P-COD 及び POC と Chl-a の値についても検討を行った。決定係数はそれぞれ、P-COD と Chl-a は 0.37, POC と Chl-a は 0.49 と中程度の正の相関が認められた。植物プランクトンの細胞数増加は、POC 濃度増加を反映し、P-COD 増加に影響を与えていることが分かる。

一方、図 4 に示す、COD, D-COD, P-COD の時系列変動についての比較によると、COD と D-COD は同程度の値を示しており、P-COD は概ね低い値が続いている。つまり、本県の COD は D-COD に依るところが大きい。また、これまでの研究 (2011～2014 年) ⁵⁾で得られた、(f)に示すグラフによると、塩分濃度と D-COD が強い逆相関を示し、D-COD が陸水の流入によって増

加している可能性が示唆されている。したがって、本県の COD は、陸水に影響されることが多いと考えられる。しかし、高 Chl-a であった 2011 年や 2019 年など、D-COD は増加せず、P-COD の増加に伴って COD が増加した年も見られた。

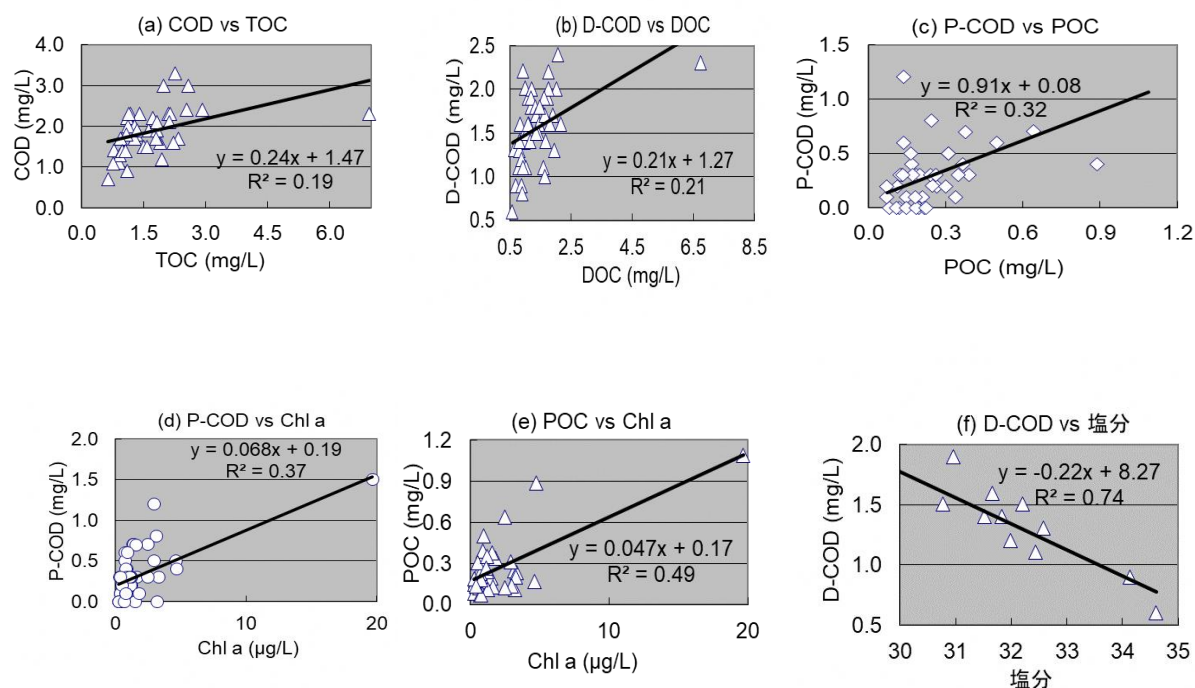


図 3 COD 関連項目の比較

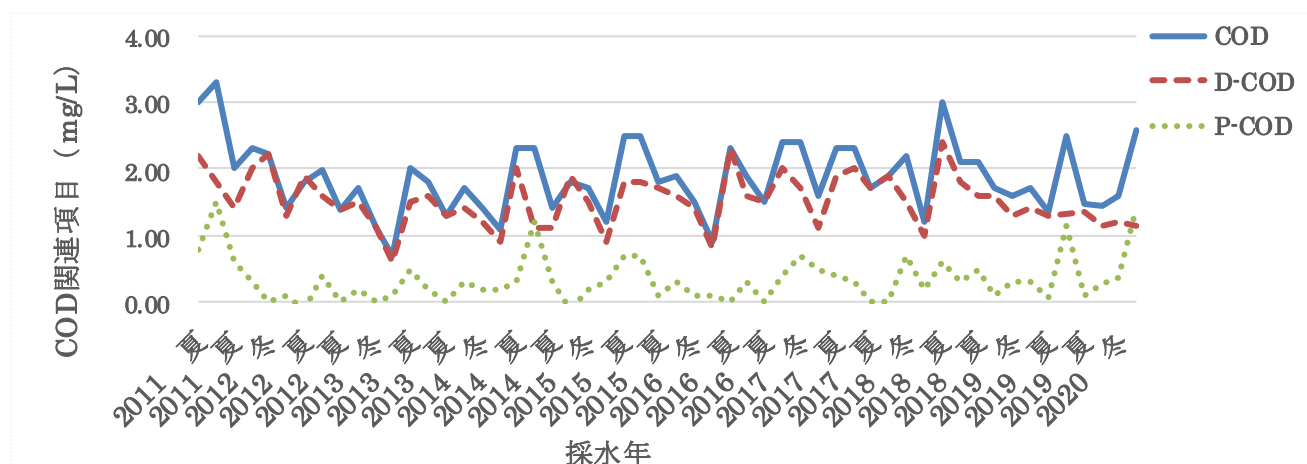


図 4 COD, D-COD, P-COD の時系列変動の比較

3.3.3 BOD の比較

2014～2020 年における BOD_3 ・ BOD_7 (3 日間, 7 日間の BOD 値) の未ろ過検体とろ過検体の比較を図 5 に示す。また、 BOD_3 ($D\text{-}BOD_3$) に対して BOD_7 ($D\text{-}BOD_7$) をプロットしたものを図 6 に示す。算出の結果 BOD がマイナスとなったものは、誤差の範囲内とみなし 0 として扱った。夏季冬季ともに複数の点で BOD_3 と BOD_7 に大きな差が見られたことと、 BOD_3 と BOD_7 の

間には中程度の正の相関があるが、傾きが 1.5 であるため、 BOD_3 が高くなるほど両者の乖離が大きくなる傾向にあることから、海域における BOD 測定では、3 日間の放置期間が十分であるとは言えない結果となった。また、全体的に低い値で推移しているということもあり、 BOD_3 が D- BOD_3 を下回った地点が散見された。

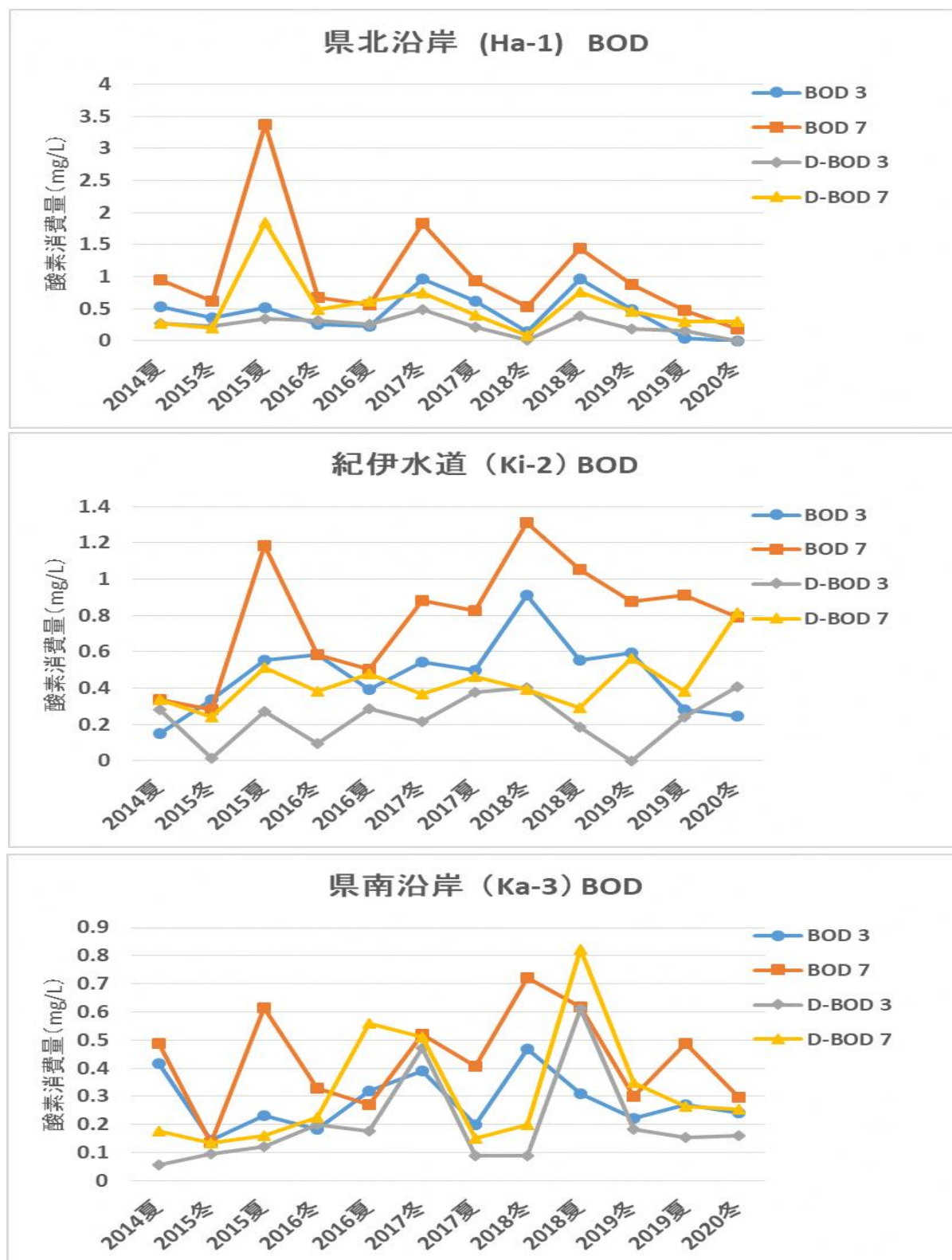


図 5 BOD の比較

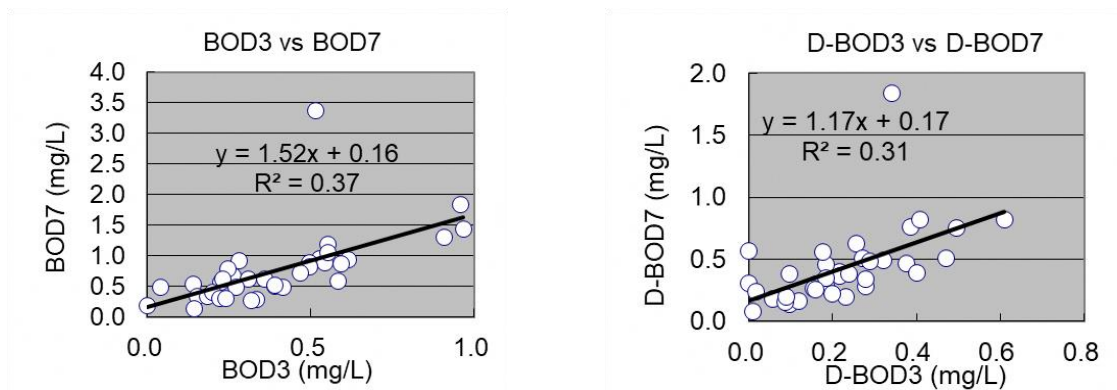


図 6 BOD₃ (D-BOD₃) と BOD₇ (D-BOD₇) との比較

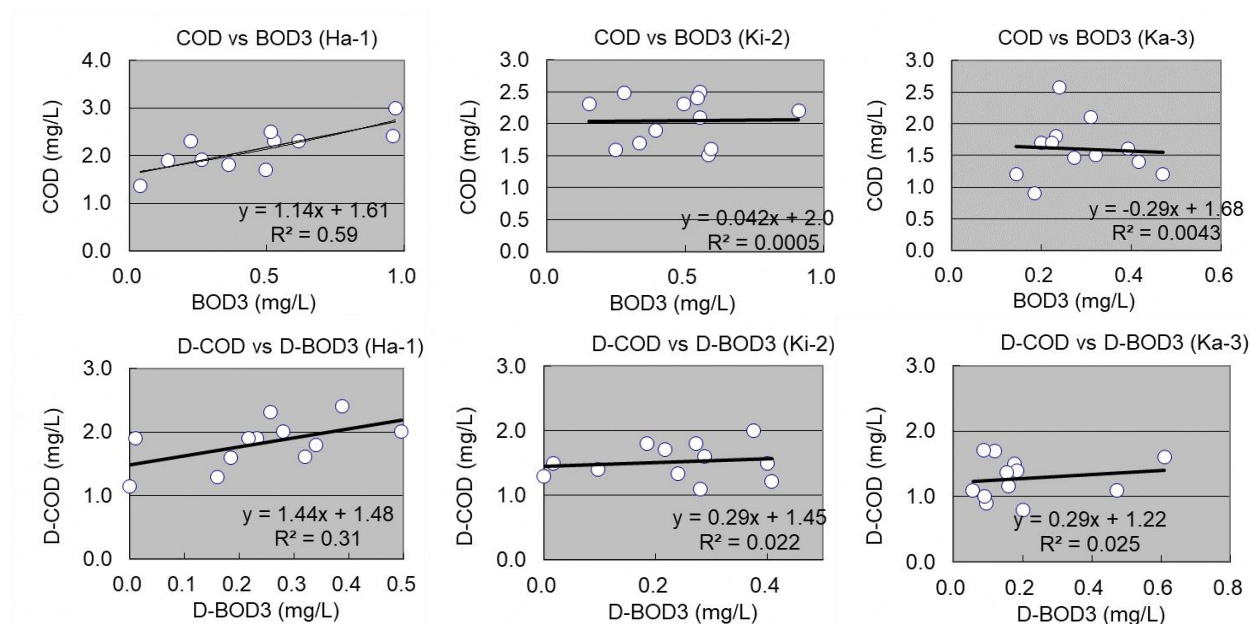


図 7 BOD₃ (D-BOD₃) と COD (D-COD) の比較

ただし、図 7 に示すとおり、Ha-1 における BOD₃ と COD の間には、強い正の相関があることから、BOD₃ は、海域の有機物の指標として有用となる可能性があり、引き続き検討が必要である。

4 まとめ

徳島県沿岸域 3 地点において 2017 年 8 月～2020 年 2 月に一連の調査・採水を行ったところ、次のことがわかった。

- (1) 当県の COD は近年安定化してきているが、紀伊水道、瀬戸内海側ではまだ基準の超過が見られる。
- (2) 当県の COD は D-COD の影響が大きい、D-COD に依らず P-COD の増加に伴って COD

が増加する年もある。これには植物プランクトンの細胞数増加が少なからず影響していると考えられる。

- (3) BOD_3 及び BOD_7 の比較を行ったところ、3 日間の放置期間では不十分であると考えられるが、引き続きデータを蓄積し検討を進めたい。

5 文献

- (1) II 型共同研究, 「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目 (第 3 報) と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」
- (2) II 型共同研究, 2014-2017, 「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」, 98-99
- (3) 公共用水域及び地下水の水質測定結果 (平成 14~23 年度), 徳島県
- (4) 公共用水域及び地下水の水質測定結果 (平成 24~29 年度), 徳島県
- (5) II 型共同研究, 2011-2014. 「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」報告書, 87-92.

高知県浦ノ内湾における水質鉛直分布と関連する有機物項目及び栄養塩類等について

高知県 衛生環境研究所

笹岡 尚矢・古田 和美・藤原 若菜*

丁野 可愛**・細井 健太郎***・刈谷 玲菜****

*高知県幡多福祉保健所, **高知県中央東福祉保健所

高知県環境対策課, *高知県安芸福祉保健所

1. はじめに

高知県中央部に位置する浦ノ内湾は、高知県土佐市竜岬と宇佐漁港荻岬を入り口として、面積 12.37 km²、奥行き 8.8 km¹⁾で須崎市浦ノ内に向かって、西に広がっている湾である。また、湾口部から少し入った宇佐大橋付近で湾幅が 350 m、水深 3~5 m と最も狭く²⁾、波が穏やかで非常に閉鎖性が高いことが知られている。この特性を利用して湾中央部では、マダイを中心とした魚類養殖業が盛んに行われており、近年では、マリンスポーツ等の観光面でも注目を浴びている。一方、浦ノ内湾は外海である土佐湾との海水の交換が乏しいため、閉鎖性が高く、とくに夏季の湾内底層部において貧酸素水塊の形成²⁻⁴⁾と有害プランクトンによる赤潮形成⁵⁾が報告されている。

当所では、浦ノ内湾の水質の状況把握のため、国立研究開発法人国立環境研究所（以下、「国立環境研究所」という。）との共同研究「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」（平成 26~28 年度）に続く、「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究」（平成 29~令和元年度）に継続参加し、浦ノ内湾の水質鉛直分布測定、COD に関連する有機物項目及び栄養塩類等の水質調査を行ったので、その結果を報告する。

2. 調査概要

2. 1 調査地点

図 1 に調査地点を示す。全ての地点が水質汚濁防止法に基づく公共用水域常時監視地点であり、環境基準の類型指定は仁淀川河口沖の st-4 が生活環境項目に関して A 類型（COD: 2 mg/l 以下）、浦ノ内湾の st-9~15 は生活環境項目に関して A 類型（COD: 2 mg/l 以下）、全窒素及び全リンに関して II 類型（全窒素: 0.3 mg/l 以下、全リン: 0.03 mg/l 以下）である。なお、st-4 が環境基準地点、st-10, st-11, st-13 が窒素・リン環境基準地点である。

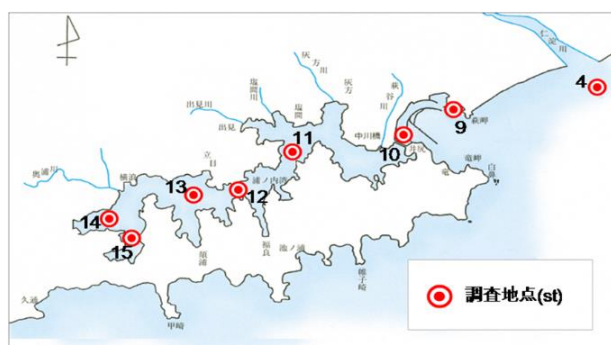


図 1 浦ノ内湾の調査地点図

2. 2 調査時期

2017年度は5, 7, 9, 1, 3月の計5回, 2018年度は5, 7, 9, 11, 1月の計5回, 2019年度は5, 6, 7, 9, 11, 1月の計6回の現場調査を行った。そのうち, 2018年度5月のst-4を除き, 2017年度の7, 9, 1月, 2018年度の5, 9月, 2019年度の6, 9月の調査では, st-4, st-10, st-12, st-15において試料採取を行った。また, 追加で2018年度9月及び2019年度9月のst-12において水深4mでの試料採取も行った。

2. 3 調査・分析方法

2. 3. 1 水温, 塩分, 溶存酸素量 (DO), クロロフィル a (Chl a) の鉛直分布の測定

水温, 塩分, DO の鉛直分布測定は, 多項目水質計 (Hydrolab DataSonde5, 環境システム株式会社) (以下, 「水質計」という.) を用いた。船上から海中に向けて約10~30 cm/s の速度で水質計を垂下させ, 表層から海底付近まで測定を行った。

また, 2017年度3月からはChl a 濃度の鉛直分布測定も追加で行った。

なお, 2017年度の塩分については, 全体を通して一般的な黒潮本流の塩分より値が高く, 多項目水質計の校正が正確に行えていなかった可能性があったため, 高知県水産試験場による浦ノ内湾の環境調査結果⁶⁾をもとに補正を行った。具体的には, 調査年月日及び調査地点に近いst-11の最下層と大鹿 (高知県水産試験場調査地点) の最下層の塩分の比及びst-13の最下層と目ノクソ (高知県水産試験場調査地点) の最下層の塩分の比の平均値を2017年度の調査結果に乗じて値の補正を行った。

2. 3. 2 COD 及び関連する有機物項目の測定

試料採取はst-4, st-10, st-12, st-15において, 船上からリゴー採水器を用いて, 表層, 水深2m, 水深5mで行い, st-12は水深10mまで採取した。ただし, 2019年度6月の調査では調査時に干潮を迎えて, 水深が浅くなっていたため, st-10の水深5mでは試料採取ができなかった。

採取した試料は, 保冷下で持ち帰り, 採取当日に試料の一部を450℃で4時間焼成処理したガラス繊維フィルター (47mm 径 GF/C, Whatman) を用いて, 吸引ろ過を行った。

COD 及び BOD は JIS K 0102 に基づき, 未ろ過試料, ろ過試料ともに測定した。ただし, BOD に関しては, 既報⁴⁾と同様に培養期間を5日間ではなく, 3日間とした。

全有機炭素 (TOC) は未ろ過試料, ろ過試料ともに試料を希釈後, TOC 計 (TOC-V CPH, 株式会社島津製作所) を用いて, NPOC (不揮発性有機炭素) を測定した。

未ろ過試料の COD, BOD 及び TOC をそれぞれ T-COD, T-BOD 及び TOC とし, ろ過試料の COD, BOD 及び TOC をそれぞれ溶存態 COD (D-COD), 溶存態 BOD (D-BOD) 及び溶存態有機炭素 (DOC) として, T-COD から D-COD を差し引いたものを懸濁態 COD (P-COD), T-BOD から D-BOD を差し引いたものを懸濁態 BOD (P-BOD),

TOC から DOC を差し引いたものを懸濁態有機炭素 (POC) として算出した。

2. 3. 3 栄養塩類の測定

2. 3. 2 で採取した試料を採取当日に 450 °C で 4 時間焼成処理したガラス繊維フィルター (47 mm 径 GF/C, Whatman) を用いて、吸引ろ過した。ろ液を冷凍後、国立環境研究所に送付し、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$)、珪酸塩 (SiO_2)、溶存態全窒素 (DTN)、溶存態全リン (DTP) を測定 7) していただいた。

2. 3. 4 Chl a の測定

Chl a 濃度について、水質計を用いた鉛直分布測定とは別に、2. 3. 2 で採取した試料を採取当日に 450 °C で 4 時間焼成処理したガラス繊維フィルター (47 mm 径 GF/C, Whatman) を用いて、1000 ml 程度吸引ろ過し、ろ過後のフィルターを冷凍後、国立環境研究所に送付し、測定 7) していただいた。

2. 3. 5 溶存態有機窒素 (DON) から溶存態無機窒素 (DIN) への変遷試験

DON から DIN への変遷を調査するために、2. 3. 1 で測定した Chl a 濃度の鉛直分布を踏まえて、夏季に植物プランクトンの増殖によって DIN が消費されていると考えられる試料、すなわち Chl a 濃度が高い試料を用いて、変遷試験を行った。

2018年度及び2019年度9月のst-12の水深4mで採取した試料を採取当日に450 °Cで4時間焼成処理したガラス繊維フィルター(47 mm 径 GF/C, Whatman)を用いて、吸引ろ過した後、三角フラスコに分注し、アルミホイルで遮光した後、恒温振とう機 (BT100, ヤマト科学株式会社) を用いて、約 20 °C で振とうした。振とう開始後 0, 7, 14, 21, 28, 42, 56 日目において、試料を適量サンプリングし、酢酸セルロース性シリンジフィルターカートリッジ (孔径 0.80 μm , 25CS080AN, アドバンテック東洋株式会社) を用いてろ過を行った。なお、対照試験として、塩化ナトリウム 32.125 g, 硫酸マグネシウム・7水和物 7.125 g, 炭酸水素ナトリウム 0.168 g を 1000 ml の水で溶解した人工海水で同様の操作を行った。

各ろ液は冷凍後、国立環境研究所に送付し、 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, DTN, DTP の各項目について、2.3.3 で述べた方法で分析していただいた。

DIN は $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ を加算して算出し、DON は DTN から DIN を差し引きして算出した。また、溶存態有機リン (DOP) は DTP から $\text{PO}_4\text{-P}$ を差し引きして算出した。

3. 結果

3. 1 水温、塩分、DO、Chl a の鉛直分布の測定結果

水質計での鉛直分布測定結果について、仁淀川河口沖である st-4、浦ノ内湾湾口部である st-10、湾中央部である st-12、湾奥部である st-15 の結果を図 2~17 に示す(末尾)。

なお、st-9、st-11 及び st-13、st-14 はそれぞれ st-10、st-12、st-15 とほぼ同様の鉛直分布であったため図からは省略する。また、2017 年度 5、3 月は 7、1 月と、2018 年度 7、1 月は 9、11 月と、2019 年度 5、7、11 月は 6、9、1 月とほぼ同様の鉛直分布であったため図からは省略する。

水温について、仁淀川河口沖の st-4 ではほぼ全ての調査において、季節に拘らず、下層より表層の方が低い状態が見られた。一方で、浦ノ内湾中央部から湾奥部である st-12 と st-15 では春季及び夏季(5~9 月)のほとんどの調査において、下層より表層の方が高くなっており、温度成層が見られた。

塩分について、仁淀川河口沖の st-4 では水温と同様にほぼ全ての調査において、下層より表層の方が低い状態が見られた。また、浦ノ内湾中央部から湾奥部である st-12 と st-15 では春季及び夏季(5~9 月)のほとんどの調査において、水深 2 m 付近を境として下層より表層の方が低かった。

DO については、本報では、水域の底層を生息域とするほとんどの水生生物が生息及び再生産できる場を保全・再生することを目的として、環境基本法で定められた生活環境項目環境基準の生物 1 類型の基準値に基づいて、4.0 mg/l 未満を貧酸素状態とした。

仁淀川河口沖の st-4 では、ほぼ一様な鉛直分布であり、全ての調査で貧酸素状態は確認されなかった。浦ノ内湾湾口部である st-10 では、夏季(7~9 月)に表層付近で過飽和状態が見られ、そこから底層にかけて緩やかに低下していく現象は見られたものの全ての調査において、貧酸素状態は確認されなかった。一方で、湾中央部から湾奥部である st-12 と st-15 では春季及び夏季(5~9 月)のほとんどの調査において、表層から水深 2~3 m 付近で極大値をとった後、底層にかけて急激に低下していく傾向が確認された。DO は全体を通して 0.6~16.0 mg/l を示し、底層では貧酸素状態、極大付近では過飽和状態が確認された。また、2018 年度や 2019 年度には、貧酸素状態は確認されなかったものの、秋季(11 月)にも表層から底層にかけて DO が低下していく現象が見られた地点もあった。

Chl a 濃度については、仁淀川河口沖の st-4、浦ノ内湾湾口部である st-10 では 0.3~25.0 µg/l を示し、全ての調査において、ほぼ一様な鉛直分布であった。一方で、湾中央部から湾奥部である st-12 及び st-15 では 2.4~183.2 µg/l と湾口部よりも全体的に高い値を示し、かつ、春季及び夏季(5 月~9 月)のほとんどの調査において、水深 2~6 m 付近の中層で極大を示す特徴が見られた。

3. 2 COD 及び関連する有機物項目の測定結果

採取した試料の COD 等の有機物関連項目の測定結果を表 1 に示す。5~6 月の結果を春季，7~9 月の結果を夏季，1 月の結果を冬季として扱った。なお，懸濁態有機物項目（P-COD, P-BOD, POC）のように，直接測定せずに差し引きして間接的に算出して，マイナスの値をとったものについては誤差の範囲とみなし，懸濁態成分ゼロとして評価した。

各地点間の比較では，ほとんどの有機物項目において，st-4 より st-10 が高く，さらに st-12 及び st-15 で高い値を示した。また，季節間での比較では，st-4 ではあまり差は見られなかったが，st-10，st-12 及び st-15 では気温，水温が高くなる春季及び夏季で高い値を示す傾向が見られた。

各有機物項目を形態別に見ると，全ての地点で BOD は大半を P-BOD が占めていた。一方，COD 及び TOC は大半を溶存態（D-COD, DOC）が占めていた。

3. 3 栄養塩類の測定結果

採取した試料の栄養塩類の測定結果を表 2 に示す。5~6 月の結果を春季，7~9 月の結果を夏季，1 月の結果を冬季として扱った。なお，DIN は $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ を加算して算出した。

各地点間の比較では， $\text{NH}_4\text{-N}$ は st-4 よりも st-10，st-12 及び st-15 が高い傾向があり，DTN 及び DTP にも同様の傾向が見られた。一方， $\text{NO}_3\text{-N}$ は st-12 及び st-15 よりも st-10 が高く，st-4 はさらに高い傾向があるとともに，st-12 及び st-15 の表層及び水深 2m では夏季よりも春季及び冬季のほうが高い傾向があった。また， $\text{PO}_4\text{-P}$ については，st-12 及び st-15 の最下層において，春季及び夏季で高かった。

DIN に対して各態窒素が占める割合について，冬季のほぼ全ての地点及び水深で $\text{NO}_3\text{-N}$ の占める割合（ $\text{NO}_3\text{-N}/\text{DIN}$ ）は 80 %以上と高かった。春季及び夏季の st-4 及び st-10 では $\text{NO}_3\text{-N}/\text{DIN}$ は 33~96 %，st-12 及び st-15 では 4~54 %と湾奥部において低い傾向が見られた。一方， $\text{NH}_4\text{-N}$ の占める割合（ $\text{NH}_4\text{-N}/\text{DIN}$ ）は st-4 及び st-10 で 2~73 %，st-12 及び st-15 で 13~94 %と湾奥部で高い傾向が見られた。

また，DIN が DTN に対して占める割合（ DIN/DTN ）は st-4 及び st-10 で 4~85 %，st-12 及び st-15 で 1~51 %と仁淀川河口沖及び湾口部において高い傾向があった。水深毎でみると，春季及び夏季において，st-4 及び st-10 は表層が高く，水深が深くなるにつれ低い値を示したが，st-12 及び st-15 では表層が低く，水深が深くなるにつれ高い値を示した。

また， $\text{PO}_4\text{-P}$ が DTP に対して占める割合（ $\text{PO}_4\text{-P}/\text{DTP}$ ）も同様の傾向が見られた。

表1 st-4, st-10, st-12, st-15の各有機物項目の平均濃度(2017～2019年度)

(mg/l)

地点	採水時期	採水層	T-COD	D-COD	P-COD	TOC	DOC	POC	T-BOD	D-BOD	P-BOD
仁淀川 河口沖	春季	表層	1.7	1.5	0.2	1.1	1.1	< 0.1	0.6	0.6	< 0.1
		2m	1.9	1.4	0.5	1.6	1.7	< 0.1	0.3	0.3	< 0.1
		5m	1.9	1.6	0.3	1.5	1.4	< 0.1	0.3	0.2	< 0.1
	夏季	表層	1.8	1.0	0.8	1.6	1.0	0.5	0.4	0.2	0.2
		2m	1.9	1.3	0.7	1.5	1.3	0.1	0.4	0.1	0.3
		5m	2.0	1.4	0.5	1.4	1.3	0.2	0.3	0.1	0.2
	冬季	表層	1.5	1.0	0.5	0.9	0.5	0.3	0.3	0.1	0.2
		2m	2.1	1.4	0.7	1.0	0.8	0.2	0.6	0.2	0.3
		5m	2.2	1.6	0.6	1.3	1.0	0.2	0.3	< 0.1	0.2
浦ノ内湾 湾口部	春季	表層	1.8	1.2	0.7	2.2	1.5	0.7	1.1	0.3	0.7
		2m	2.3	1.5	0.9	2.6	1.5	1.0	1.1	0.4	0.7
		5m	1.4	2.3	0.9	1.6	1.5	< 0.1	0.6	0.2	0.3
	夏季	表層	3.1	1.7	1.4	1.9	1.5	0.4	0.9	0.2	0.7
		2m	2.4	1.8	0.6	1.9	1.4	0.5	0.8	0.3	0.5
		5m	2.2	1.3	0.9	1.8	1.4	0.4	0.7	0.2	0.4
	冬季	表層	2.2	1.6	0.6	1.1	0.9	0.2	0.4	0.2	0.2
		2m	2.6	1.4	1.2	1.1	0.9	0.2	0.3	0.1	0.2
		5m	2.0	1.0	1.0	0.9	0.8	< 0.1	0.4	0.1	0.2
浦ノ内湾 中央部	春季	表層	2.8	1.5	1.3	2.5	1.9	0.6	1.2	0.3	0.8
		2m	5.4	2.7	2.8	3.9	2.3	1.5	4.9	0.1	4.8
		5m	3.2	2.0	1.3	2.6	1.6	1.0	1.7	0.3	1.4
		10m	2.7	1.9	0.8	1.9	1.6	0.2	0.4	0.3	0.1
	夏季	表層	3.3	2.5	0.8	2.5	2.1	0.5	1.4	0.3	1.0
		2m	3.8	2.5	1.2	3.0	2.2	0.8	2.5	0.5	1.9
		5m	2.4	1.8	0.6	2.0	2.2	0.3	1.0	0.3	0.6
		10m	1.6	1.5	0.2	1.7	1.6	0.2	0.6	0.2	0.3
	冬季	表層	2.6	1.7	0.9	1.6	1.0	0.6	0.6	0.2	0.3
		2m	1.9	1.6	0.3	1.7	1.0	0.6	0.4	0.2	0.2
		5m	2.2	1.2	1.0	1.2	1.1	< 0.1	0.6	0.2	0.4
		10m	2.2	1.4	0.8	1.5	1.1	0.3	0.5	0.2	0.3
浦ノ内湾 湾奥部	春季	表層	3.3	2.6	0.7	2.8	1.8	0.9	1.3	0.4	0.9
		2m	3.0	2.6	0.4	2.5	2.0	0.5	1.1	0.4	0.7
		5m	3.4	2.4	1.0	2.6	1.9	0.7	1.6	0.4	1.1
	夏季	表層	2.9	2.4	0.5	2.3	1.9	0.5	1.4	0.3	1.0
		2m	3.1	2.2	0.9	2.4	1.8	0.6	1.8	0.4	1.3
		5m	2.5	2.0	0.6	2.3	1.6	0.7	1.1	0.2	0.9
	冬季	表層	2.3	1.8	0.5	1.8	1.0	0.7	0.5	0.2	0.2
		2m	3.0	2.6	0.4	1.5	1.1	0.3	0.4	0.2	0.2
		5m	2.5	1.6	0.9	1.8	1.2	0.6	0.6	0.2	0.3

表2 st-4, st-10, st-12, st-15の栄養塩類の平均濃度(2017~2019年度)

(mg/l)

地点	採水時期	採水層	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	DIN	PO ₄ -P	SiO ₂	DTN	DTP
仁淀川 河口沖	春季	表層	0.321	0.003	0.016	0.339	0.011	7.720	0.396	0.015
		2m	0.009	0.001	0.017	0.027	0.001	0.359	0.155	0.008
		5m	0.004	0.001	0.014	0.019	0.001	0.315	0.147	0.008
	夏季	表層	0.167	0.002	0.004	0.173	0.007	4.717	0.300	0.014
		2m	0.018	0.001	0.003	0.022	0.001	0.836	0.163	0.009
		5m	0.005	0.001	0.002	0.007	0.001	0.443	0.163	0.009
	冬季	表層	0.117	0.002	< 0.001	0.119	0.004	3.580	0.172	0.008
		2m	0.027	0.003	< 0.001	0.030	0.005	0.540	0.108	0.010
		5m	0.015	0.003	< 0.001	0.018	0.004	0.290	0.085	0.009
浦ノ内湾 湾口部	春季	表層	0.011	0.001	0.009	0.021	0.004	1.095	0.253	0.018
		2m	0.014	0.001	0.022	0.038	0.004	1.003	0.296	0.018
		5m	0.032	0.002	0.018	0.052	0.005	0.765	0.458	0.022
	夏季	表層	0.007	0.004	0.008	0.020	0.004	1.174	0.190	0.014
		2m	0.009	0.004	0.014	0.027	0.004	0.900	0.216	0.013
		5m	0.008	0.004	0.010	0.022	0.004	0.869	0.191	0.014
	冬季	表層	0.015	0.002	< 0.001	0.017	0.004	0.420	0.082	0.007
		2m	0.015	0.002	< 0.001	0.017	0.004	0.420	0.086	0.017
		5m	0.015	0.002	< 0.001	0.017	0.004	0.410	0.082	0.009
浦ノ内湾 中央部	春季	表層	0.006	0.001	0.009	0.016	0.001	1.674	0.317	0.018
		2m	0.005	0.001	0.046	0.051	0.016	0.995	0.558	0.036
		5m	0.004	0.001	0.018	0.022	0.005	0.974	0.253	0.020
		10m	0.011	0.001	0.019	0.032	0.011	1.189	0.333	0.030
	夏季	表層	0.004	0.001	0.010	0.014	0.005	1.736	0.230	0.021
		2m	0.002	0.001	0.037	0.040	0.020	1.077	0.281	0.036
		5m	0.004	0.011	0.013	0.028	0.006	0.799	0.214	0.017
		10m	0.010	0.069	0.012	0.091	0.021	1.233	0.272	0.033
	冬季	表層	0.013	0.001	< 0.001	0.014	0.002	0.150	0.103	0.009
		2m	0.010	0.001	< 0.001	0.011	0.002	0.150	0.089	0.010
		5m	< 0.001	0.001	< 0.001	0.001	0.001	0.070	0.081	0.009
		10m	< 0.001	0.001	< 0.001	0.001	0.002	0.030	0.080	0.011
浦ノ内湾 湾奥部	春季	表層	0.009	0.001	0.007	0.017	0.002	1.672	0.299	0.019
		2m	0.005	0.001	0.018	0.024	0.005	1.131	0.306	0.023
		5m	0.004	< 0.001	0.020	0.023	0.010	1.020	0.278	0.027
	夏季	表層	0.002	0.001	0.009	0.012	0.005	2.572	0.210	0.021
		2m	0.005	0.001	0.006	0.012	0.006	1.241	0.231	0.026
		5m	0.003	0.001	0.003	0.007	0.007	1.192	0.208	0.021
	冬季	表層	0.097	0.001	< 0.001	0.098	0.015	0.490	0.189	0.022
		2m	0.014	0.001	< 0.001	0.015	0.004	0.100	0.103	0.013
		5m	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.002	0.030	0.089	0.010

3. 4 Chl a の測定結果

採取した試料の Chl a 濃度の測定結果を表 3 に示す. 5~6 月の結果を春季, 7~9 月の結果を夏季, 1 月の結果を冬季として扱った.

地点間でみると, st-4 及び st-10 と比較して, 湾の奥部である st-12 及び st-15 のほうが全体的に高く, 季節毎では冬季よりも春季及び夏季のほうが高い値を示した. また, st-12 及び st-15 では春季及び夏季にかけて, 水深 2 m 及び 5 m でとくに高い値を示した.

表3 st-4, st-10, st-12, st-15のクロロフィルa (Chl a) の
平均濃度(2017~2019年度) (µg/l)

採水時期	採水層	仁淀川河口域 st-4	浦ノ内湾湾口部 st-10	浦ノ内湾中央部 st-12	浦ノ内湾湾奥部 st-15
春季	表層	0.7	4.5	2.2	2.4
	2m	0.6	6.0	45.3	3.2
	5m	1.0	1.4	24.1	15.3
	10m	—	—	2.9	—
夏季	表層	1.4	4.9	8.6	3.8
	2m	1.6	4.7	29.7	10.4
	5m	1.0	3.9	8.7	6.9
	10m	—	—	2.1	—
冬季	表層	1.6	1.3	2.2	1.9
	2m	1.6	1.2	2.2	1.8
	5m	1.3	1.3	3.3	1.6
	10m	—	—	3.8	—

「—」:st-4,st-10,st-15は水深5m層までの測定

3. 5 DON から DIN への変遷試験

DON から DIN への変遷試験の結果について, 対照試験である人工海水中の各態窒素の濃度を差し引きして, 百分率で表したものを図 18 に示す. なお, 対照である人工海水中の各態窒素の濃度範囲は $\text{NH}_4\text{-N}$ が 0.005~0.04 mg/l, $\text{NO}_2\text{-N}$ が 0.0002~0.008 mg/l, $\text{NO}_3\text{-N}$ が 0.002~0.009 mg/l, DON が 0.001~0.3 mg/l であった.

2018 年度 9 月では, 0~7 日目にかけて $\text{NH}_4\text{-N}$ が生成され, 28 日目にかけて $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が約 15 %まで増加していた. その後, 28~42 日目に $\text{NO}_2\text{-N}$ の生成が確認された. $\text{NO}_3\text{-N}$ は試験期間を通して大きな変化は見られなかった.

2019 年度 9 月では, 試験期間を通して際だった増減は見られなかった.

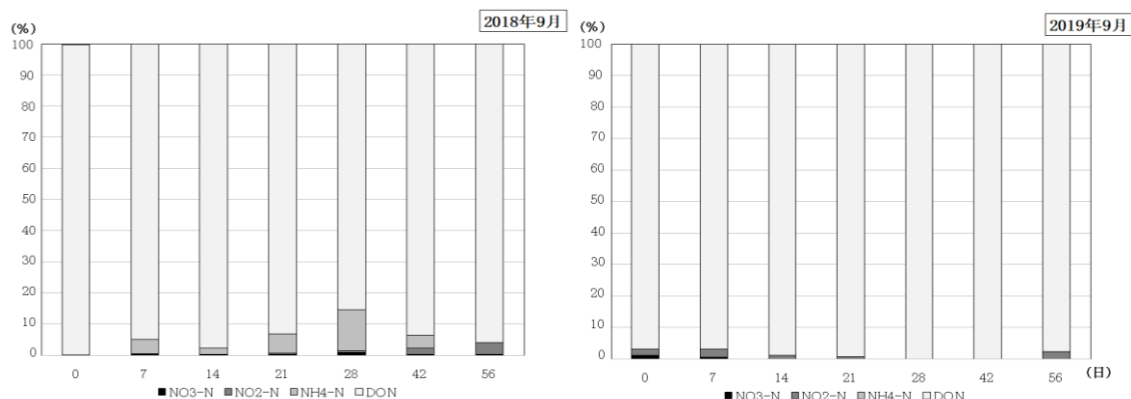


図 18 各態窒素組成の経時的変化（2018 年度 9 月及び 2019 年度 9 月）

4. 考察

4. 1 仁淀川河口沖及び浦ノ内湾の水質の鉛直分布と貧酸素状態について

仁淀川河口沖である st-4 では、全ての調査において貧酸素状態は確認されなかった。調査期間のほとんどで季節に拘わらず、水温及び塩分が下層より表層の方で低い状態が見られたが、これは主に仁淀川からの流入水の影響によるものが大きいと考えられる。このように河川水の流入もあり、また、外海で海水の交換も十分にあるため、貧酸素状態が確認される状況ではないことが推察できる。

浦ノ内湾湾口部である st-10 でも、同様に全ての調査において貧酸素状態は確認されなかった。また、鉛直方向の水質において、突出した傾向も見られず、この調査地点も鉛直方向及び外海との海水交換が十分にあると考えられる。

浦ノ内湾中央部から湾奥部である st-12 と st-15 では、主に春季及び夏季の調査において、底層付近で貧酸素水塊が発生し、秋季から冬季において解消されていることが確認された。同様に、貧酸素状態が確認された際は水深 2 m 付近を境に水温及び塩分の大きな差が確認された。これは日射による表層水温の上昇や雨水等の流入による表層塩分の低下が考えられるが、このことによって、水深 2 m 付近を境目として水温躍層や塩分躍層が形成されていることがうかがえる。この水温躍層や塩分躍層により、鉛直方向の海水交換が阻害され、底層域への酸素供給が乏しくなっていることが考えられる。

また、貧酸素状態が確認された春季や夏季は Chl a 濃度が水深 2~6 m 付近で約 30~180 $\mu\text{g/l}$ と高く、中層での植物プランクトンの増殖が示唆された。さらに、表層から水深 2 m 付近を中心として DO の過飽和状態が起こっていることから、水深 2 m 付近を境目とした水温躍層または塩分躍層の上層で植物プランクトンの内部生産が活発になっていることが推察される。一方で、水温躍層または塩分躍層より下層では植物プランクトンの内部生産により生成され、沈降した有機物の分解等に伴う酸素消費が優先して起こっていることが考えられる。

このように、浦ノ内湾の中央部から湾奥部での貧酸素水塊の発生には、水温躍層また

は塩分躍層による鉛直方向の海水交換の阻害及び植物プランクトンの内部生産により生成され、沈降した有機物の分解等に伴う酸素消費が要因として考えられる。また、st-12 の 2017 年度 9 月の調査では、湾外からの海水が中層から底層に浸入し、貧酸素水塊を持ち上げている^{4,9)}と思われる状態も確認された。貧酸素水塊の発生サイクルとしては、4~5 月頃から始まり、10~11 月頃に鉛直方向の海水交換等により解消されることが推察された。これは既報⁴⁾や過去の観測結果⁸⁾で報告されている時期ともおおむね一致していた。

4. 2 仁淀川河口沖及び浦ノ内湾の有機物項目等について

貧酸素状態が確認された春季及び夏季において、ほとんどの有機物項目は仁淀川河口沖の st-4 や浦ノ内湾湾口部の st-10 と比べて、湾中央部の st-12 及び湾奥部の st-15 のほうが高い値を示した。4. 1 で述べたように st-12 及び st-15 では植物プランクトンの内部生産が活発であることから、それに伴う有機物の発生も多くなっていることが考えられる。実際、植物プランクトンの内部生産が活発であると想定される春季及び夏季の表層及び水深 2 m における COD, BOD, TOC の値は他の水深と比較しても高い値を示す傾向があった。

COD 及び TOC は D-COD 及び DOC が占める割合が多く、その主成分は溶存態であることが考えられるが、BOD は P-BOD の占める割合が多く、そのほとんどが懸濁態であることが考えられる。

また、P-BOD は Chl a 濃度と非常に強い正の相関関係が見られた(図 19)ことから、P-BOD は植物プランクトンに関連した有機物成分であり、BOD は植物プランクトンに関連した有機物成分が主を占めていると考えられる。

また、COD と BOD, COD と Chl a の間に強い正の相関関係が見られた(図 20, 図 21)は植物プランクトンに関連した有機物成分が影響していることが考えられる。

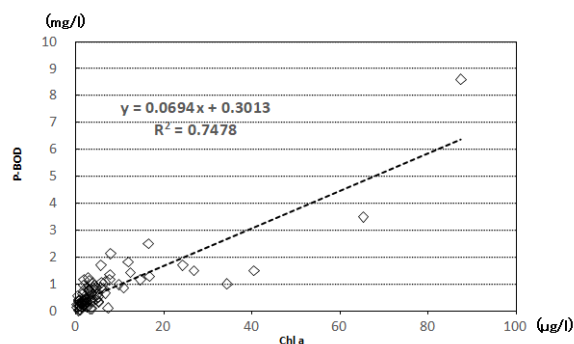


図 19 P-BOD と Chl a の関係

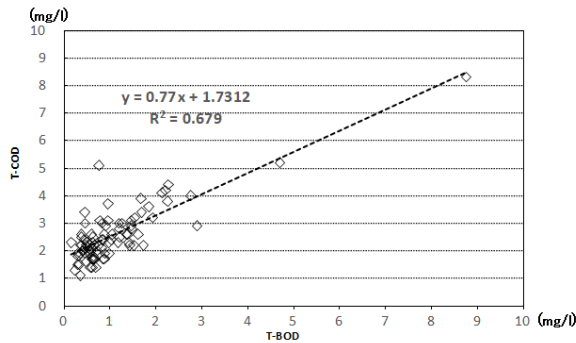


図 20 COD と BOD の関係

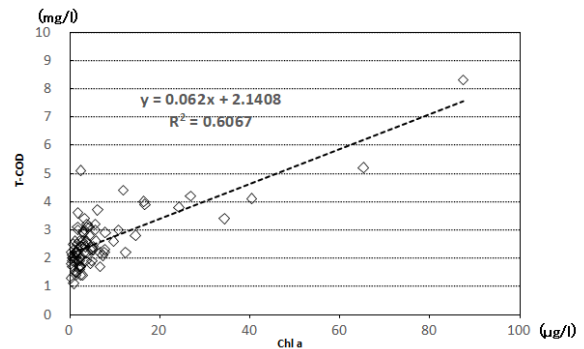


図 21 COD と Chl a の関係

同様に、TOC と BOD, TOC と Chl a の間にも強い正の相関関係が見られたこと（図 22, 図 23）から、TOC も植物プランクトンに関連した有機物成分が影響していることが考えられた。

ただし、今回の調査期間に限っては、冬季のデータ数が少ないため、今後さらにデータを蓄積していく必要がある。

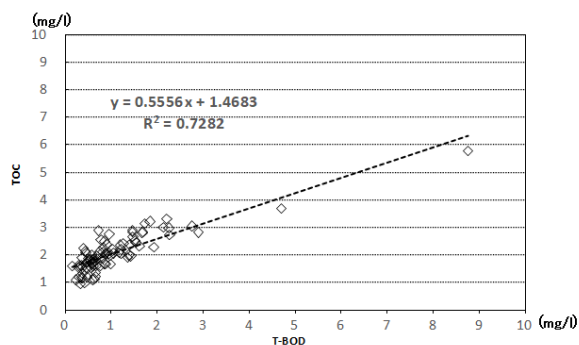


図 22 TOC と BOD の関係

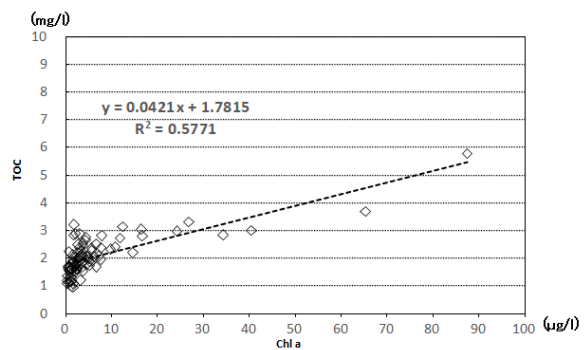


図 23 TOC と Chl a の関係

4. 3 仁淀川河口沖及び浦ノ内湾の栄養塩類等について

浦ノ内湾中央部から湾奥部において、冬季より夏季のほうが $\text{NO}_3\text{-N}$ が低くなっていること及び Chl a 濃度が高くなっていることから湾中央部から湾奥部では、春季及び夏季に植物プランクトンの増殖による $\text{NO}_3\text{-N}$ の消費が進んでいることが考えられる。

DIN/DTN 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ /DTP は、とくに仁淀川河口沖である st-4 の表層で高かったが、これは仁淀川からの流入水に由来するものと考えられる。その一方で湾中央部や湾奥部である st-12, st-15 では夏季の表層において、いずれとも低かった。これは植物プランクトンの活動に伴う栄養塩類の消費が湾中央部から湾奥部の夏季の表層付近において、とくに活発になっていることを反映したものと考えられる。

$\text{NH}_4\text{-N}$ については、湾口部よりも湾中央部から湾奥部で高い傾向が見られた。これは湾中央部から湾奥部の底層で貧酸素水塊の形成に伴う底質からの溶出が推察される他、マダイ魚体から排出される溶解成分のうち DIN の大部分は $\text{NH}_4\text{-N}$ の形態である

という報告¹⁰⁾もあり、湾中央部で盛んに行われているマダイの養殖も影響していることが考えられた。また、2018年9月のDONからDINへの変遷試験において、わずかなではあるがDONからの変遷が確認され、湾中央部では生物分解に伴うDONからNH₄-Nへの変遷が起こっていることも考えられた。しかし、全体的に変換率は低く、DONは分解し難い物質であると考えられる。有機物項目と同様に栄養塩類等についても、今後さらにデータを蓄積して、検討していく必要がある。

5. まとめ

2017~2019年度にかけて、仁淀川河口沖及び浦ノ内湾の水質鉛直分布測定、CODに関連する有機物項目及び栄養塩類等の水質調査を行ったところ、以下のことが示唆された。

- ・ 浦ノ内湾中央部から湾奥部では、既報^{4,8)}と同様に春季及び夏季にかけて、水深2 m付近を境目とした水温躍層や塩分躍層が形成され、それらの成層以深で貧酸素状態が確認された。発生要因としては、成層形成に伴う鉛直方向の海水交換の阻害及び植物プランクトンの内部生産により生成され、沈降した有機物の分解等に伴う酸素消費が考えられる。
- ・ 仁淀川河口沖及び浦ノ内湾湾口部よりも湾中央部から湾奥部において、有機物項目が高い値を示し、とくに表層から水深2 mで高くなっていた。
- ・ COD及びTOCは大半を溶存態が占めており、植物プランクトンに関連した有機物成分が影響していることが考えられた。また、BODは大半を懸濁態が占めており、植物プランクトンに関連した有機物成分が主を占めていると考えられた。
- ・ 浦ノ内湾中央部から湾奥部では、春季及び夏季において、DIN/DTN及びPO₄-P/DTPが低い値を示し、植物プランクトンの活動に伴う栄養塩類の消費が活発に進んでいると考えられた。また、仁淀川河口沖では河川流入水に由来してDIN/DTN及びPO₄-P/DTPが高い値を示した。
- ・ 浦ノ内湾中央部では生物分解に伴うものと考えられるDONからNH₄-Nへの変遷は見られたものの、変換率は低く、DONは難分解性のものと考えられた。

謝辞

本調査にあたり、国立環境研究所地域環境研究センターの牧秀明氏には栄養塩類等の分析とともに、多くのご助言もいただきました。ここに深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：閉鎖性海域ネット,浦ノ内湾, https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/waters/uranoutiwan.html (アクセス日 2020年3月18日)
- 2) 白木恭一ら：浦ノ内湾の水質調査(窒素, リンを中心にして), 高知県環境研究セン

- ター所報, 13, 51-57, 1996
- 3) 田嶋誠, 西山泰彦: 高知県沿岸の閉鎖性水域における多項目水質計を用いた鉛直分布測定結果と COD 等の関連項目について, 高知県環境研究センター所報, 30, 39-50, 2013
 - 4) 刈谷玲菜, 田嶋誠: 浦ノ内湾における底層 DO の測定結果と COD に関連する有機物指標について, 高知県環境研究センター所報, 33, 89-99, 2016
 - 5) 谷口越則ら: 赤潮等発生監視調査事業, 平成 30 年度高知県水産試験場事業報告書, 116, 89-93, 2020
 - 6) 高知県水産試験場: 環境調査結果 (赤潮情報), <https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/040409/akashiojoho.html> (アクセス日 2020 年 5 月 7 日)
 - 7) 牧秀明: 茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について, 地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究 (Ⅱ型)「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」報告書, 21-25, 2016
 - 8) 宗景志浩ら: 浦の内湾の DO 収支と貧酸素水塊の形成および消滅機構, 海岸工学論文集, 36, 864-868, 1989
 - 9) 宗景志浩ら: 成層の発達した場合の浦の内湾の海水流動機構について, 海岸工学講演会論文集, 29, 560-564, 1982
 - 10) 奥山芳生ら: マダイの給餌に伴う窒素・リンの排泄, 和歌山県水産試験場研究報告書, 2, 1-7, 2010

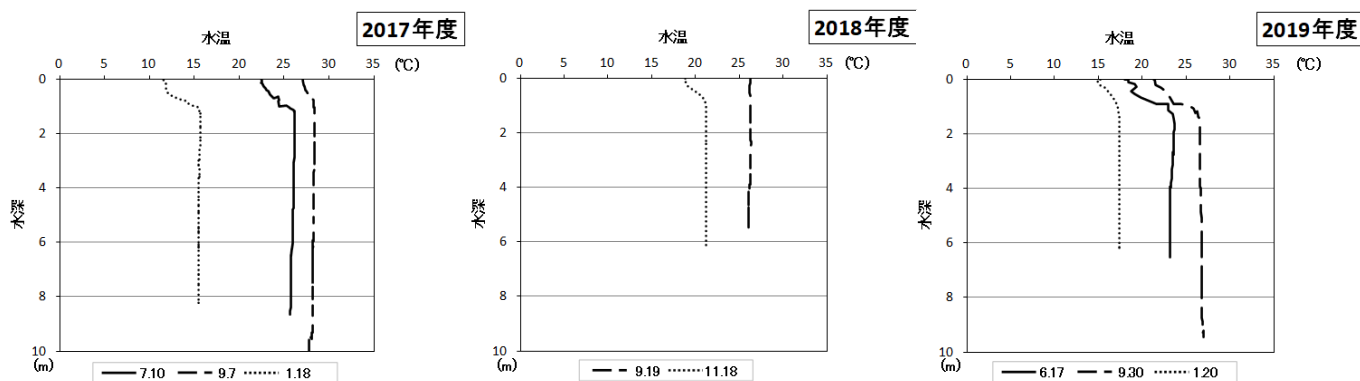


図2 st-4 の水温鉛直分布 (2017~2019 年度)

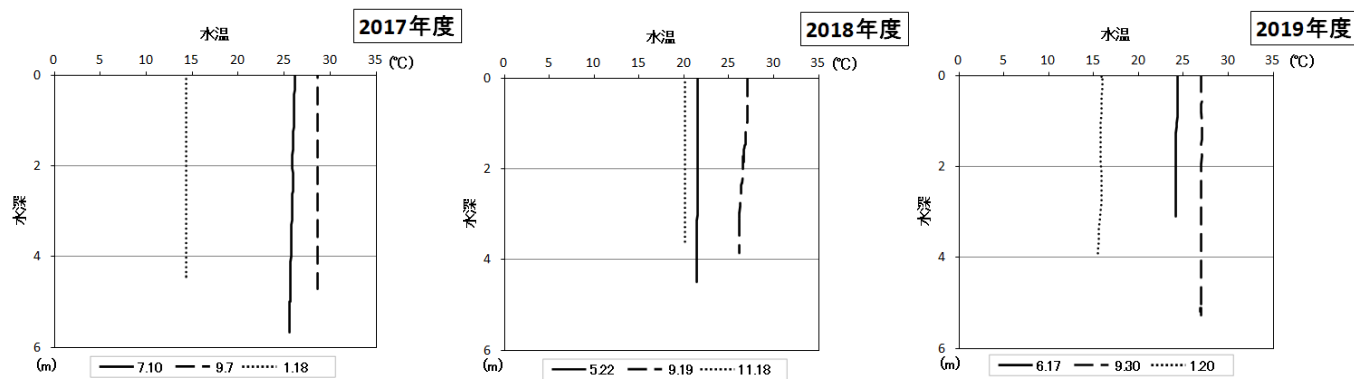


図3 st-10 の水温鉛直分布 (2017~2019 年度)

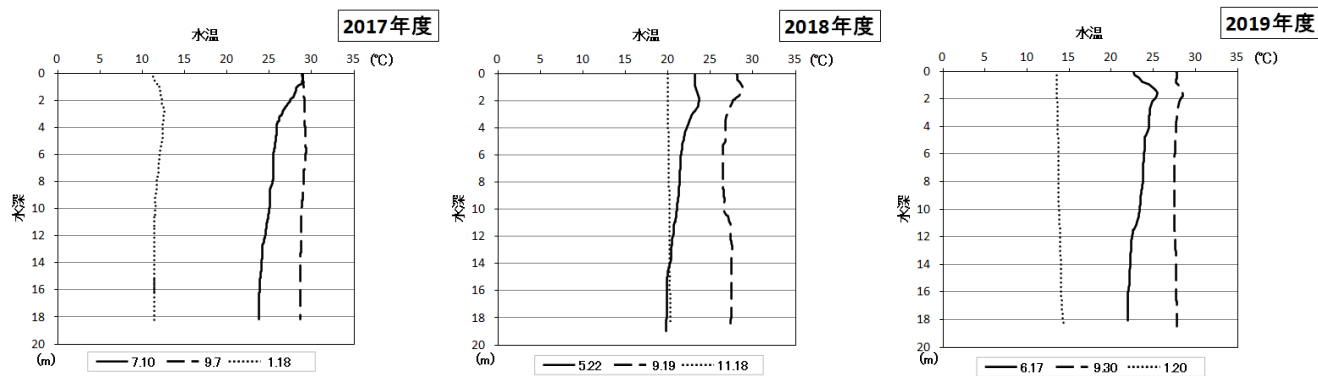


図4 st-12 の水温鉛直分布 (2017~2019 年度)

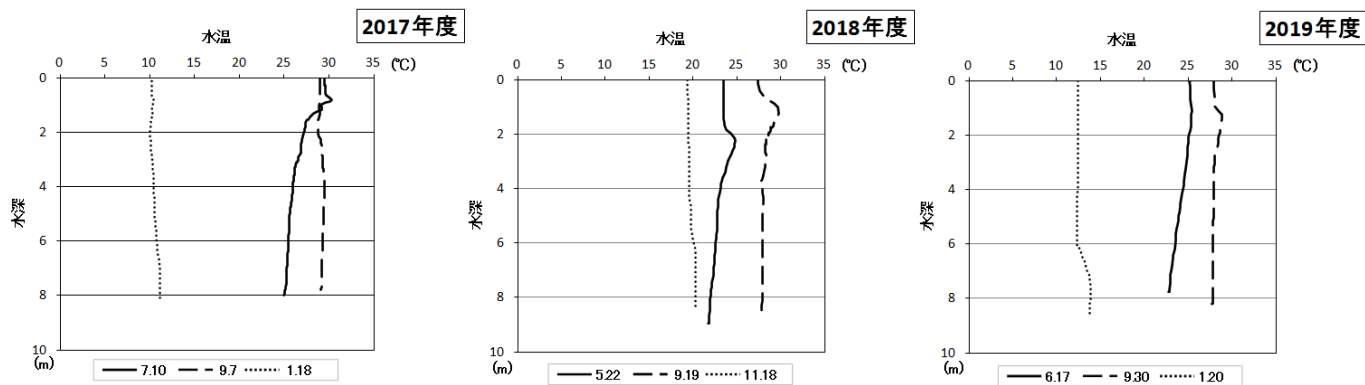


図5 st-15 の水温鉛直分布 (2017~2019 年度)

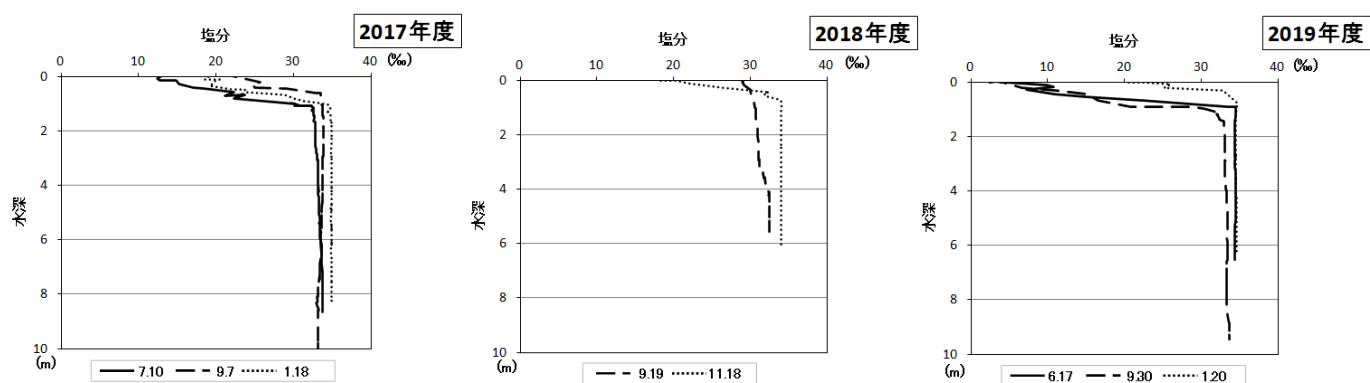


図6 st-4の塩分鉛直分布(2017~2019年度)

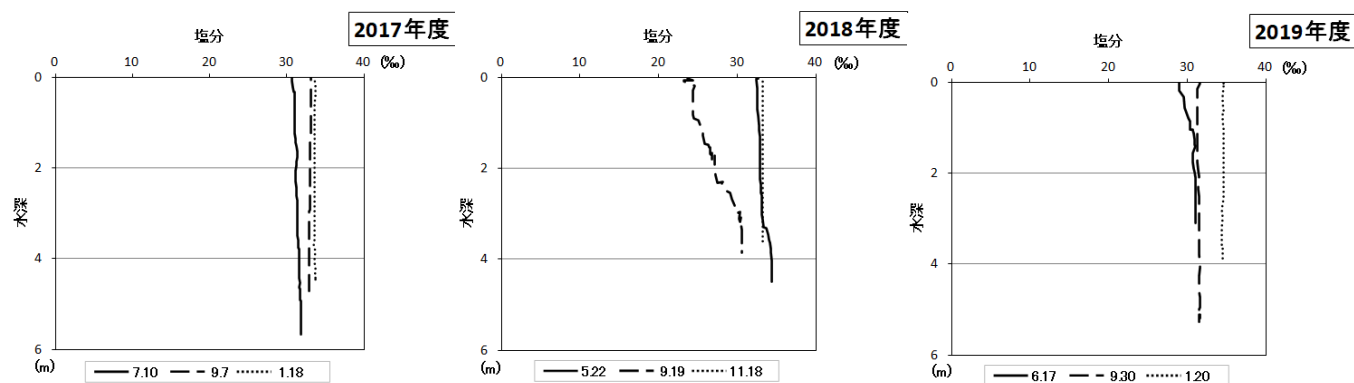


図7 st-10の塩分鉛直分布(2017~2019年度)

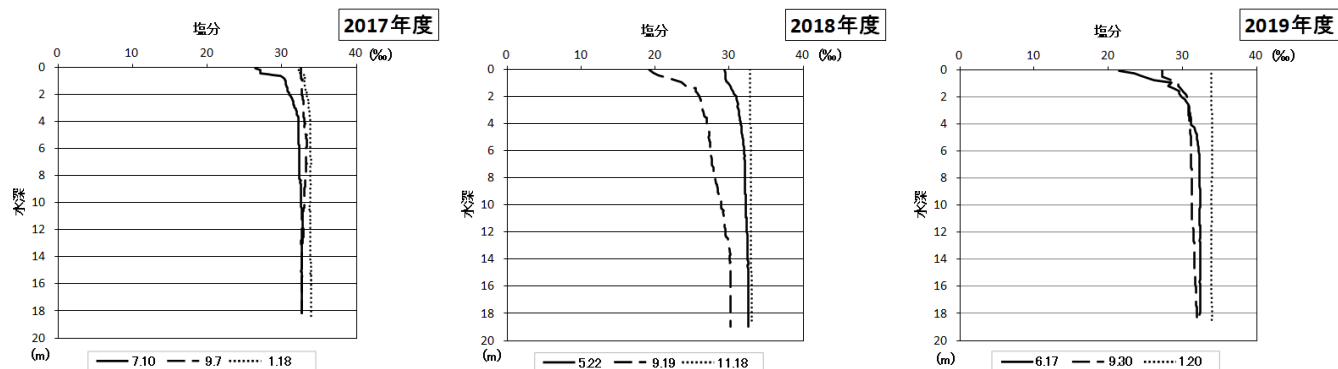


図8 st-12の塩分鉛直分布(2017~2019年度)

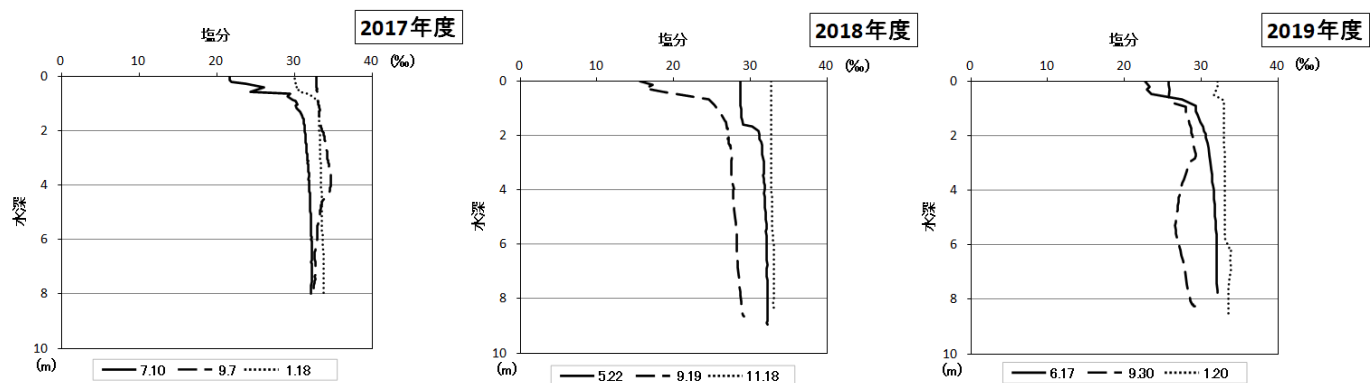


図9 st-15の塩分鉛直分布(2017~2019年度)

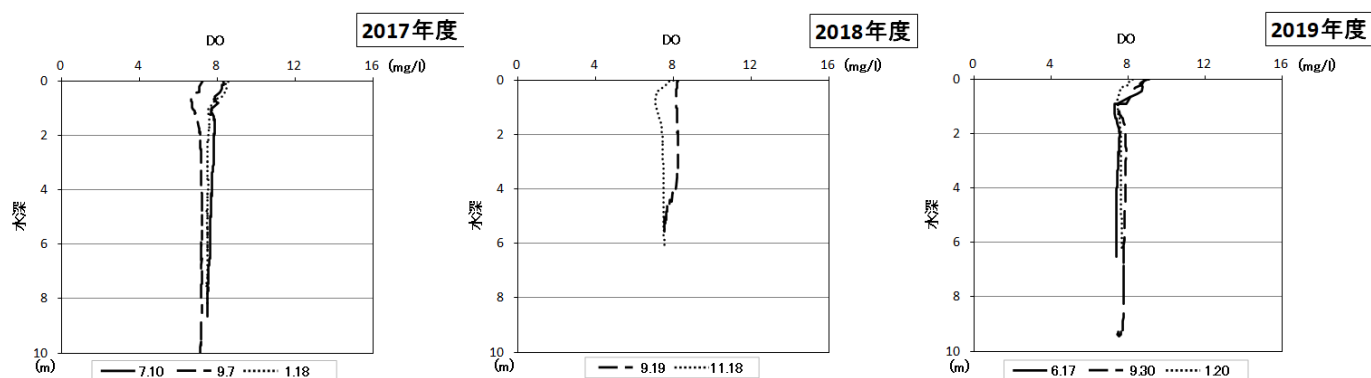


図 10 st-4 の DO 鉛直分布 (2017~2019 年度)

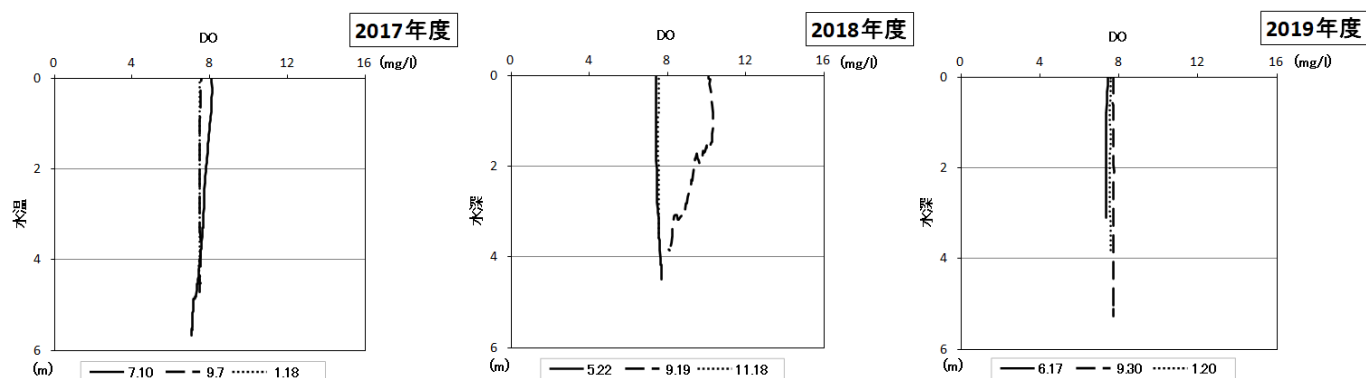


図 11 st-10 の DO 鉛直分布 (2017~2019 年度)

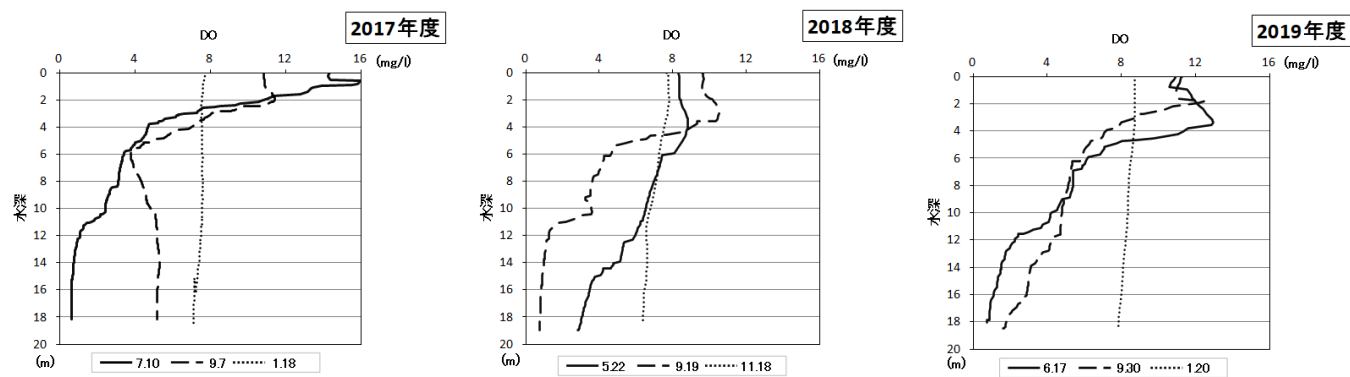


図 12 st-12 の DO 鉛直分布 (2017~2019 年度)

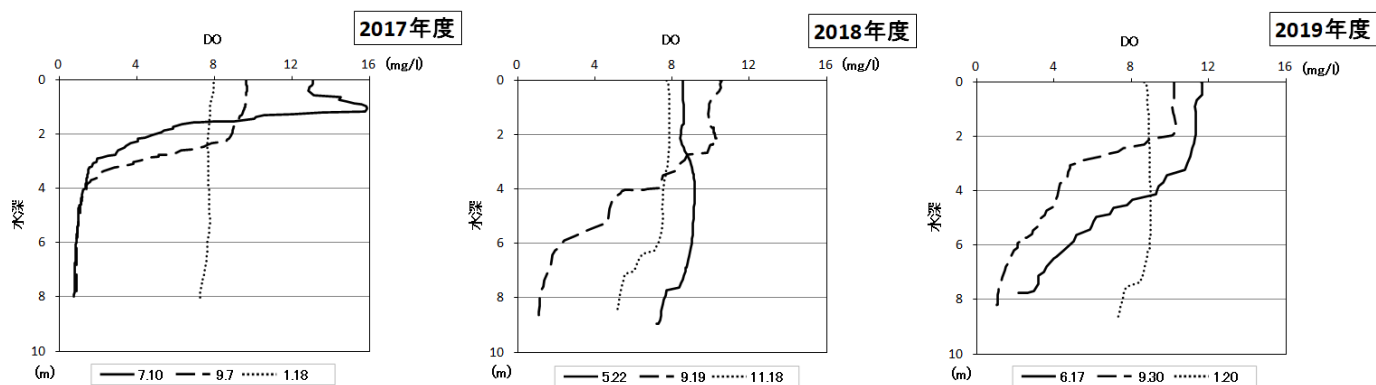


図 13 st-15 の DO 鉛直分布 (2017~2019 年度)

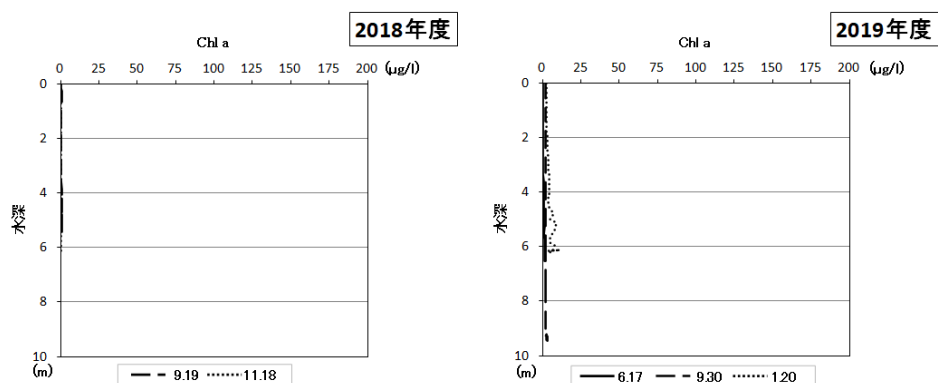


図 14 st-4 の Chl a 鉛直分布 (2018~2019 年度)

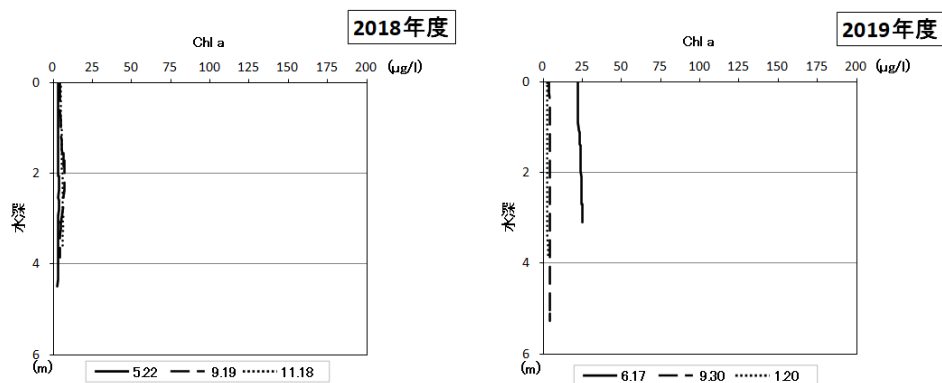


図 15 st-10 の Chl a 鉛直分布 (2018~2019 年度)

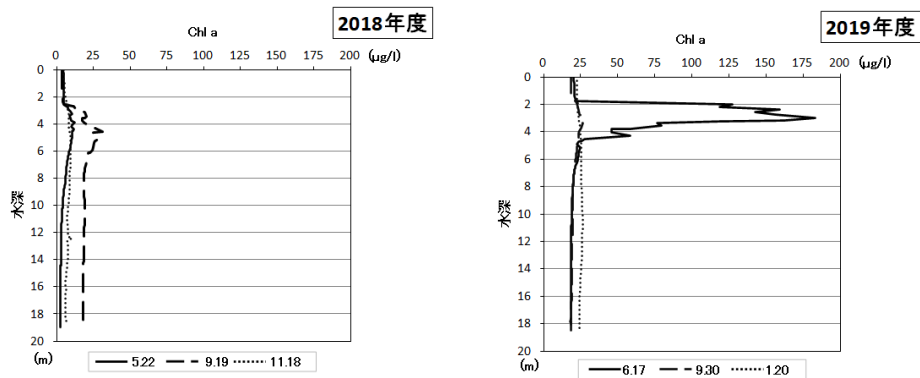


図 16 st-12 の Chl a 鉛直分布 (2018~2019 年度)

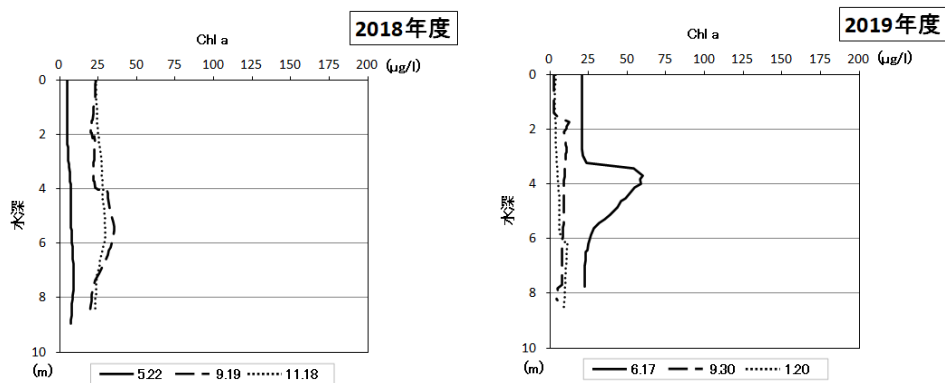


図 17 st-15 の Chl a 鉛直分布 (2018~2019 年度)

広島湾の公共用水域常時監視地点における COD 関連項目の季節変動について

広島県立総合技術研究所保健環境センター環境研究部

小田新一郎，後田 俊直，瀧脇 亮次

1. はじめに

広島湾は厳島と西能美島の間的那沙美瀬戸を境に北と南で大きく海峡が異なり¹⁾，特に北部海域は島嶼部に囲まれた閉鎖性が高い湾であるとともに，一級河川である太田川の流入により，エスチュアリー循環²⁾の影響を強く受けている。1990～2001 年度の調査³⁾では，夏期の沿岸部底層で貧酸素水塊が毎年発生，年度によっては DO が 1 mg/L を下回っている。一方，近年の栄養塩については瀬戸内海の他の海域と同様，減少傾向にあると考えられる。これらを踏まえ，広島湾の湾奥から沖合における COD 関連項目の季節変動を検討した。また，長期分解試験により夏期の有機態窒素（Org-N）から無機態窒素（DIN）への変換の評価を行った。

2. 現場調査，測定・分析方法

2.1 調査・採水時期

採水は 2017 年 5 月 16 日，8 月 2 日，11 月 8 日，2018 年 2 月 14 日，2018 年 5 月 24 日，8 月 7 日，11 月 13 日，2019 年 2 月 6 日，2019 年 5 月 14 日，8 月 8 日，11 月 13 日，2020 年 2 月 6 日の計 12 回（春～冬期）行った。

2.2 調査地点

広島湾の公共用水域調査環境基準点のうち，広島湾北部海域 1 地点（32-12，環境基準類型指定 A/Ⅲ（COD/全窒素及び全リン）：湾奥），南部海域 1 地点（32-14，A/Ⅱ：湾央）及び西部海域 1 地点（31-21，A/Ⅱ：沖合）の計 3 地点（図 1）について，基本項目，栄養塩及び COD 関連項目を調査した。各地点の平均水深はそれぞれ 15，21，32m であった。



図 1 広島湾内の調査地点

2.3 採水・分析

採水は表層（0.5m）及び底層（B-1m）の2層について、バンドーン採水器等を用いた。持ち帰った海水は、事前に 450℃ 1h 焼成処理したワットマン GF/C 47mm によりろ過した検体及び未ろ過の検体をそれぞれの分析に供した。測定項目及び測定方法は表 1 のとおりである。海域版 BOD（BOD3）については JIS K0102, 21 BOD に準じて行った。培養期間は3日間、植種は使用しなかった。なお、冬期は現場水温と培養温度の差が大きいため、適量を 20℃恒温槽で 15 分、振とう後さらに 15 分、同槽内で安定させてから BOD 瓶に分取し、試験に供した（n=2）。また、この試験前後の溶存酸素量を光学式センサー（HACH 製 HQ30 d）で測定し、塩分補正を行った（JIS K0102:2016 32.4）。

表 1 測定方法一覧

測定項目	測定方法
水温	棒状温度計による
塩分	電気伝導度法（「海洋観測指針」5.3）
DO	JIS K0102, 32.1
透明度	透明度板による
栄養塩類	流れ分析法（BLTEC AACS）
クロロフィル a	吸光光度法（アセトン抽出法）
COD	JIS K0102, 17
TOC	JIS K0102, 22.1

長期分解試験では夏期の表層水を用いて、ガラス繊維フィルターGFC（平均孔径 1 μm）でろ過後、500 mL 容三角フラスコに 200 mL 入れ、アルミ箔で蓋をして約 20℃で振とう（約 60rpm）を行い、0, 1, 2, 4, 6, 8 週間目に採取した。採取検体は酢酸セルロース性のシリンジフィルターカートリッジ（孔径 0.80 μm）を用いてろ過し、上記の方法で各態窒素の測定を行った。なお、対照（コントロール）として、人工海水（NaCl：32.125 g, MgSO₄・7H₂O：7.125 g, NaHCO₃：0.168 g を 1 L の純水で溶かす）を用いて同様の措置を行い、測定結果の補正を行った。その後、試験系列毎（n=2）の平均値を算出した。

3. 結果

3.1 水温、塩分、DO、透明度（図 2～4）

水温及び塩分は湾奥に向かうにつれ、表層と底層の差が大きくなり、流入河川の影響が強くなっていた。秋期から冬期にかけて鉛直混合により表底層の差は少なくなる傾向にあるが、2018・2019 年度冬期では水温が 10℃を下回らず、表層で低水温・低塩分となり、表底層の間で水温の逆転が生じていた。DO は夏期に表底層で低下、冬期に上昇する傾向にあり、2018 年度夏期の湾央底層で最も低下（4.0 mg/L）した。また、透明度は湾奥 2.0～11.0 m、湾央 3.2～7.5m、沖合 5.0～11.0m の範囲にあり、夏期の湾奥で低い傾向にあった。

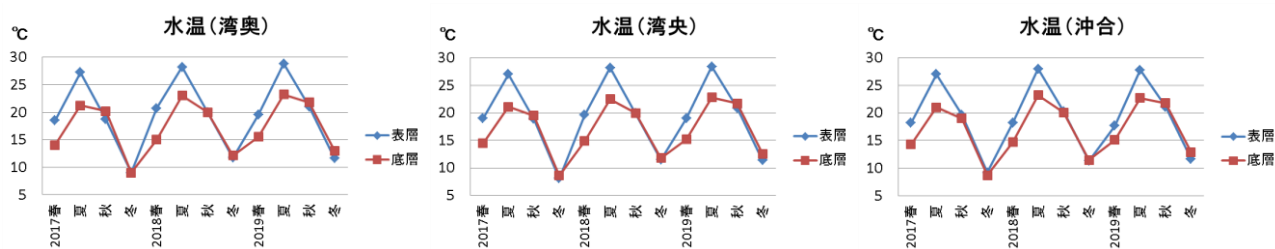


図2 表層・底層の水温変動（左：湾奥，中：湾央，右：沖合）

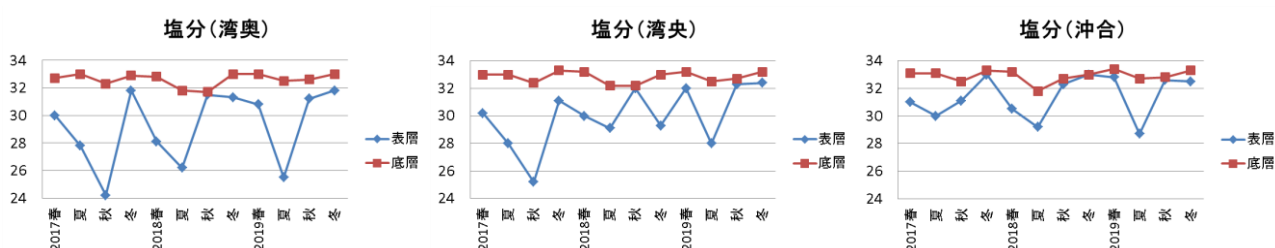


図3 表層・底層の塩分変動（左：湾奥，中：湾央，右：沖合）

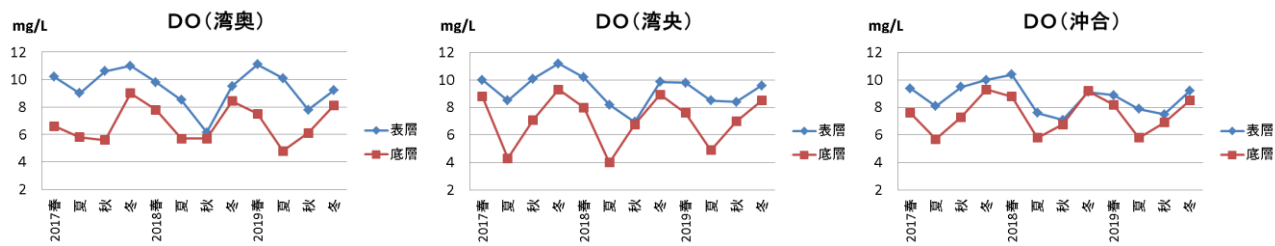


図4 表層・底層のDO変動（左：湾奥，中：湾央，右：沖合）

3.2 栄養塩類・クロロフィル a (表 2)

栄養塩類のうち、DIN は湾奥で高い傾向にあったが、春期及び夏期における DIN 及び DIP について、表層では 3 地点ともにほぼ枯渇状態であった。秋期には全地点で回復が見られるものの、冬期の底層では DIN の低下が見られた。一方、同時期のクロロフィル a (Chl. a) は 3 地点の底層で表層よりも高い値を示しているとともに、透明度平均値は湾奥 8.0m, 湾央 6.0m, 沖合 8.5m であった。広島湾の透明度に対する有光層深度の比は 2.8⁵⁾であり、冬期における湾奥では底層、その他の地点ではかなりの深度まで植物プランクトンに必要な光量が到達していると考えられた。SiO₂ は夏期を中心に増加し、冬期に低下する傾向が見られたが、他の栄養塩のような低下は認められなかった。

表 2 2017 年 5 月～2020 年 2 月の時期別栄養塩類・クロロフィル a の平均値

地点	時期	採水層	DIN	DIP	SiO ₂	Chl. a
32-12 (湾奥)	春期	表層	0.009	0.001	0.53	6.93
		底層	0.005	0.009	0.74	3.58
	夏期	表層	0.018	0.001	1.03	14.59
		底層	0.049	0.017	1.04	2.86
	秋期	表層	0.125	0.018	1.00	8.01
		底層	0.118	0.026	0.77	3.26
	冬期	表層	0.059	0.009	0.24	2.31
		底層	0.025	0.009	0.20	4.60
32-14 (湾央)	春期	表層	0.002	0.000	0.33	3.20
		底層	0.007	0.009	0.39	2.46
	夏期	表層	0.008	0.001	0.74	5.47
		底層	0.104	0.030	1.45	1.71
	秋期	表層	0.060	0.010	0.69	5.85
		底層	0.067	0.017	0.37	3.02
	冬期	表層	0.048	0.007	0.33	3.93
		底層	0.036	0.009	0.09	4.57
31-21 (沖合)	春期	表層	0.005	0.001	0.28	2.69
		底層	0.008	0.009	0.39	1.08
	夏期	表層	0.012	0.002	0.59	3.62
		底層	0.069	0.019	0.86	1.40
	秋期	表層	0.046	0.012	0.26	3.83
		底層	0.060	0.016	0.33	2.82
	冬期	表層	0.029	0.007	0.10	2.51
		底層	0.029	0.009	0.11	5.75

※ 単位: 栄養塩類は mg/L, Chl. a は μ g/L

3.3 COD 関連項目（表 3）

調査期間中の BOD3 についてはこれまでの報告⁶⁾と同様，夏期が冬期よりも高く，湾奥の方が沖合よりも高い傾向にあった。また，他の COD 関連項目では全量に対して溶存態が占める割合の平均値が BOD3：27.3%（0.0～75.3%）に対し，COD：74.7%（50.1～100%），TOC：79.8%（55.9～99.0%）となり，BOD3の方が少なかった。なお，懸濁態平均値は P-BOD3：0.58mg/L（0.07～2.08 mg/L），P-COD：0.64 mg/L（0.00～2.20 mg/L），POC：0.37 mg/L（0.01～1.42mg/L），溶存態平均値は D-BOD3：0.16mg/L（0.00～0.60 mg/L），D-COD：1.78 mg/L（0.80～3.20 mg/L），DOC：1.31mg/L（0.95～1.77 mg/L）であった。

表 3 2017 年 5 月～2020 年 2 月の時期別 COD 関連項目の平均値（単位：mg/L）

地点	時期	採水層	BOD3	COD	D-BOD3	²⁾ D-COD	P-BOD3	²⁾ P-COD	²⁾ TOC	²⁾ DOC	²⁾ POC	※Chl. a
32-12 (湾奥)	春期	表層	1.96	3.55	0.24	2.50	1.72	1.05	2.46	1.53	0.92	6.93
		底層	0.58	2.12	¹⁾ 0.05	1.62	¹⁾ 0.56	0.36	1.55	1.29	0.44	3.58
	夏期	表層	1.76	4.12	0.22	2.53	1.54	1.59	2.42	1.64	0.78	14.59
		底層	0.50	2.02	0.16	1.39	0.32	0.57	1.55	1.30	0.40	2.86
	秋期	表層	0.72	2.34	0.13	1.69	0.58	0.65	1.54	1.24	0.30	8.01
		底層	0.31	1.85	0.09	1.34	0.22	0.48	1.30	1.18	0.21	3.26
	冬期	表層	0.62	2.00	0.22	1.68	0.40	0.31	1.41	1.19	0.23	2.31
		底層	0.72	2.06	0.22	1.62	0.49	0.44	1.37	1.31	0.09	4.60
32-14 (湾央)	春期	表層	1.15	3.30	0.06	2.33	1.09	0.97	2.01	1.49	0.52	3.20
		底層	0.31	1.77	¹⁾ 0.02	1.26	¹⁾ 0.22	0.40	1.36	1.27	0.28	2.46
	夏期	表層	0.93	3.58	0.15	2.93	0.78	0.65	2.16	1.58	0.57	5.47
		底層	0.37	2.28	0.14	1.64	0.25	0.71	1.45	1.19	0.35	1.71
	秋期	表層	0.62	2.16	0.11	1.55	0.51	0.60	1.43	1.13	0.29	5.85
		底層	0.25	1.73	0.08	1.07	0.17	0.67	1.17	1.10	0.09	3.02
	冬期	表層	0.74	2.30	0.27	1.84	0.47	0.46	1.50	1.22	0.28	3.93
		底層	0.70	2.20	0.22	1.48	0.48	0.72	1.36	1.13	0.34	4.57
31-21 (沖合)	春期	表層	0.80	3.11	¹⁾ 0.06	2.09	¹⁾ 0.74	1.03	1.77	1.41	0.36	2.69
		底層	0.33	1.33	¹⁾ 0.02	1.10	¹⁾ 0.39	0.20	1.25	1.06	0.26	1.08
	夏期	表層	0.88	3.11	0.26	2.35	0.62	0.77	2.08	1.68	0.40	3.62
		底層	0.49	1.99	0.24	1.52	0.31	0.65	1.40	1.31	0.26	1.40
	秋期	表層	0.44	2.00	0.14	1.54	0.30	0.46	1.39	1.14	0.25	3.83
		底層	0.38	1.72	0.09	1.29	0.27	0.41	1.27	1.15	0.16	2.82
	冬期	表層	0.65	1.86	0.35	1.47	0.29	0.39	1.48	1.12	0.35	2.51
		底層	0.68	1.98	0.33	1.55	0.35	0.42	1.51	1.33	0.32	5.75

※再掲（単位：μg/L）

注 1) D-BOD3 のうち，2017 年 5 月 31-21 表底層，32-14 底層，32-12 底層，2018 年 5 月 31-21 底層，2019 年 5 月

32-14 底層は<0mg/L となったため、D-BOD3=0mg/L としてデータ処理した。

注 2) 底層 D-COD (P-COD) 及び底層 TOC・DOC (POC) は 2018 年 2 月から分析開始したため、それ以前のデータを含んでいない。

ここで項目間の相関関係のうち、懸濁態・溶存態を除く各項目と Chl.a との時期別の相関係数を比較した (図 5)。なお、底層 COD・D-COD 及び TOC・DOC は 2018 年 2 月から分析開始したことから、解析には 2018 年 5 月以降の 2 年分の表層・底層データを使用した。その結果、夏期及び秋期では全項目で相関が高く、BOD3 及び P-BOD3 で高い相関 ($R>0.90$, $p<0.01$) を示した。一方、その他の時期では低い傾向にあり、冬期では有意な相関関係が認められなかった ($p>0.05$)。

同様に溶存態である D-BOD3, D-COD 及び DOC の相関係数を比較したところ、全量及び懸濁態と比較すると低い数値であったが、D-COD と DOC に比較的高い相関 ($R=0.69$) が得られ、これまでの報告⁶⁾と同様の結果となった。さらに詳細に解析すると表層 ($R=0.71$) 及び夏期 ($R=0.75$) の数値が突出しており、夏期の内部生産に密接に関連していると考えられたが、一方でこれらの項目と Chl.a との相関はあまり高くなかった。

海域版 BOD は公定法がなく⁷⁾、植物プランクトンの呼吸や硝化による酸素消費などの有機物分解以外の影響⁸⁾、深層部や冬期で DO 消費が少ない⁹⁾など、試験方法や精度にまだ改善の余地があると思われるが、データの蓄積が進みつつあり、COD と比較して酸素消費に関連した有機物指標としての有効性が確認されている^{10)~14)}。今後の更なるデータ蓄積と効果的な活用が望まれる。

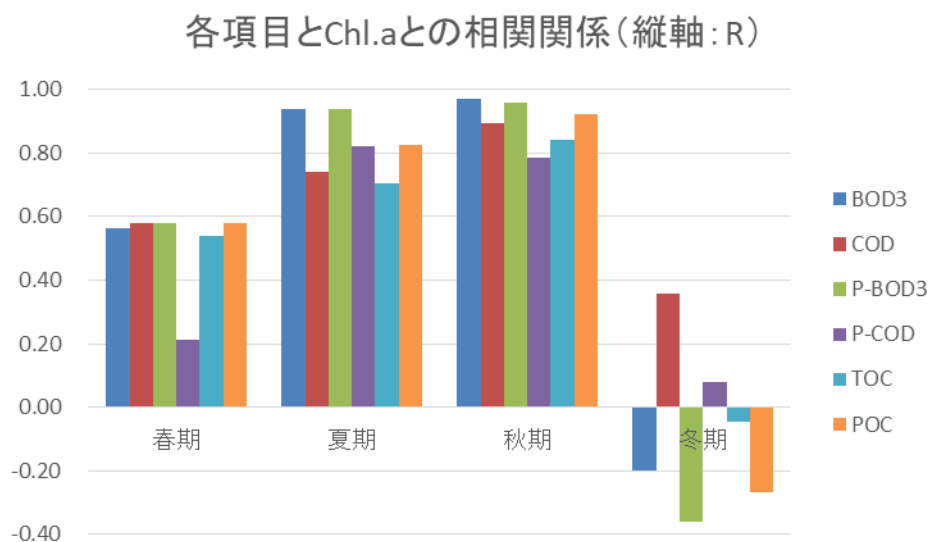


図 5 COD 関連項目 (懸濁態・溶存態を除く) と Chl.a との時期別の相関関係

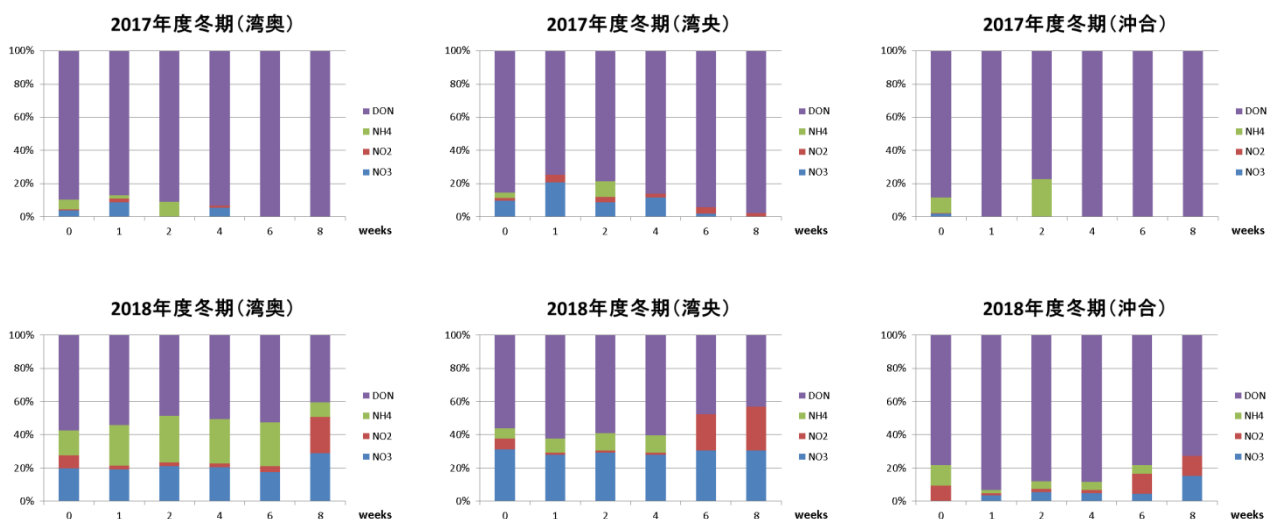
3.4 長期分解試験

夏期の長期分解試験における有機態窒素 (DON) から無機態窒素 (DIN) への変換を図 6 に示した。年度によって DIN の組成割合や増加速度が異なるが、DON 初期値に対する 8 週目の DIN 値 (初期値を減ずる) の割合を変換率として求めたところ、沖合が-0.5~22.9%,

湾央が-1.4~38.2%, 湾奥が 0.0~46.2% となり, 概ね湾奥の変換率が高い傾向にあった。また, 変換率が大きい時は6週目以降に DIN の組成割合や量の変動する傾向が見られた。



図 6 年度別夏期の長期分解試験における窒素変動 (左: 湾奥, 中: 湾央, 右: 沖合)



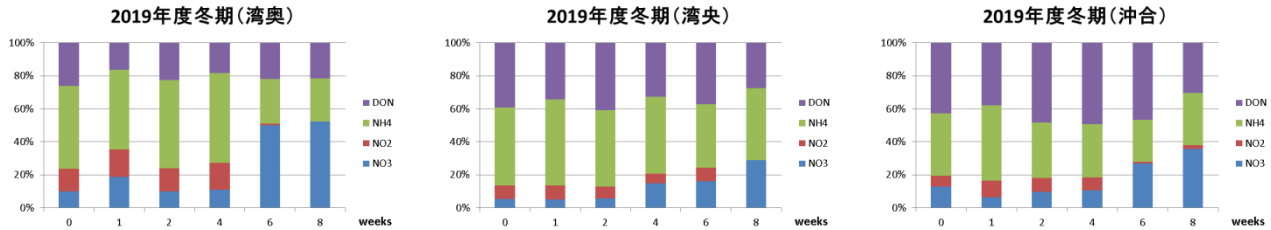


図 7 年度別冬期の長期分解試験における窒素変動（左：湾奥，中：湾央，右：沖合）

冬期の長期分解試験における DON から DIN への変換を図 7 に示した。2017 年度は DIN の割合があまり増加せず，8 週目では 3 地点ともに DIN がほとんど認められなかった。2018・2019 年度は開始時点で DIN の割合が比較的高い状態にあるとともに，夏期と同様に 6 週目以降で DIN の組成割合や量の変動する傾向が見られた。また，8 週目の DIN への変換率を求めたところ，沖合が-13.2～48.3%，湾央が-16.1～77.1%，湾奥が-11.7～60.9% となり，湾央が高く，沖合が低い傾向にあった。

4. まとめ

2017 年春期～2020 年冬期の間 12 回，広島湾内の公共用水域調査環境基準点 3 地点で海況・水質を測定したところ，以下のことが示された。

- ・水温及び塩分は湾奥ほど，流入河川の影響により表層と底層の差が大きいが，秋期以降の循環期には表底層の差は少なくなった。2018・2019 年度冬期では水温が 10℃を下回らず，表底層の間で水温の逆転が生じていた。DO は湾奥・湾央の底層で夏期に低下，冬期にかけて上昇していた。透明度は湾奥・夏期で低い傾向にあった。
- ・DIN は湾奥で高い傾向にあったが，3 地点ともに春・夏期に表層ではほぼ枯渇状態となり，秋期には回復が見られた。冬期の底層では DIN の低下，表層より高い Chl. a 及び高い透明度が確認されたことから，底層での植物プランクトンの活動が推察された。SiO₂ は夏期を中心に増加し，冬期に低下する傾向が見られたが，他の栄養塩のような低下は認められなかった。
- ・調査期間中の BOD3 については，夏期が冬期よりも高く，湾奥の方が沖合よりも高い傾向にあった。また，COD 関連項目では全量に対して溶存態が占める割合の平均値が BOD3 : 27.3% に対し，COD : 74.7%，TOC : 79.8% となり，BOD3 の方が少なかった。溶存態を除く各項目と Chl. a との相関係数を比較したところ，夏期及び秋期で特に BOD3 及び P-BOD3 で高い相関を示した。また，溶存態である D-BOD3，D-COD 及び DOC の相関係数を比較すると，特に夏期の表層において D-COD と DOC に比較的高い相関が得られたが，これらの項目と Chl. a との相関はあまり高くなかった。
- ・長期分解試験における DON から DIN への変換について，年度によって DIN の組成割合や増加速度が異なるが，DIN への変換率を求めたところ，夏期では概ね湾奥が高く，冬期は湾央が高い傾向にあった。また，変換率が大きい時は 6 週目以降に DIN の組成割合や量

が変動する傾向が見られた。

5. 参考資料

- 1) 橋本 俊也，松田 治，山本 民次，米井 好美：広島湾の海況特性－1989～1993 年の変動と平均像－，広島大学生物生産学部紀要，33，9-19，1994
- 2) 山本 民次，芳川 忍，橋本 俊也，高杉 由夫，松田 治：広島湾北部海域におけるエスチュアリー循環過程，沿岸海洋研究，37 (2)，111-118，2000
- 3) 伊達 悦二，清木 徹：広島湾の貧酸素水塊の分布とその形成機構，広島県保健環境センター研究報告，14，1-11，2006
- 4) 国土交通省国土政策局国土情報課，“国土数値情報ダウンロードサービス”，
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>，(参照 2015-9-25)
- 5) 橋本 俊也，多田 邦尚：広島湾における海水の光学的特性，海の研究，6，151-155，1997
- 6) 牧 秀明：環境部局による海域の調査研究の在り方について，全国環境研会誌，41 (1)，9-11，2016
- 7) 橋本 旬也・石井 裕一・安藤晴夫・櫛島 智恵子・田部 一憲・木瀬 晴美：東京都内湾における底層水の酸素消費について，東京都環境科学研究所年報 2018，52-53，2018
- 8) 新田 千穂・谷口 勝彦・上尾 一之：博多湾における貧酸素水塊及び栄養塩類等に関する実態調査，平成 28 年度福岡市保健環境研究所報，42，70-82，2016
- 9) 右田 裕二，榎 憲弘，宮元 誠，牛垣 里奈，大庭 大輔：鹿児島湾奥部における水質調査結果について，鹿児島県環境保健センター所報，18，91-95，2017
- 10) 中居 千和，多田 哲子，牧 秀明，一二三 純子，北野 隆一，武田 真由美，田中 豊稔，木南 敬之：阿蘇海における酸素消費と貧酸素水塊の形成について，京都府保健環境研究所年報，62，42-47，2017
- 11) 菅生 伸矢，山本 昇司，岩佐 博司：徳島県沿岸海域における COD 関連項目の現状と傾向，徳島県立保健製薬環境センター年報，7，32-36，2017
- 12) 刈谷 玲菜，田嶋 誠：浦ノ内湾における底層 DO の測定結果と COD に関連する有機物指標について，高知県環境研究センター所報，33，89-99，2016
- 13) 中村 公生，赤崎 いずみ，島田 玲子，三角 敏明：宮崎県沿岸海域における COD に関連する有機物指標と栄養塩類等について，宮崎県衛生環境研究所年報，28 号，77-83，2017
- 14) 右田 裕二，米澤 里奈，山道 哲洋，前畑 健太，桑原 庸輔：鹿児島湾湾奥部における海域版 BOD について，鹿児島県環境保健センター所報，20，71-74，2019

博多湾海域における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について

福岡市環境局保健環境研究所環境科学課
生物担当 山崎亜弓, 小林斎哉, 益尾実希

1. はじめに

閉鎖性の高い博多湾においては, 例年, 夏季に湾奥部や沿岸域などで貧酸素水塊 (溶存酸素量(DO)=3.6 mg/L 以下の「貧酸素状態」にある水塊) が発生し, 生物の生息・生育に影響を及ぼしている. さらに, 夏季の降雨による栄養塩類供給量の増加に伴う赤潮発生などで有機物汚濁が助長され, T-N 及び T-P は環境基準をほぼ達成しているものの, COD の環境基準 は一部の海域で達成していない¹⁾.

これらの現状を踏まえ, 福岡市保健環境研究所では栄養塩状態の把握, 貧酸素水塊生成要因に関する知見を得るため, 地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所の共同研究 (II 型共同研究)「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究 (平成 29~31 年)」に参加し調査を行っており, その一環として, 平成 29 年度から平成 31 年度にかけて, 貧酸素水塊の発生頻度が高い博多湾海域 (中部海域及び東部海域) において栄養塩類や有機物関連項目の測定をおこない, 水質の状況について調査を行った.

2. 調査方法

2.1 調査地点及び調査日

例年, 貧酸素水塊の発生が確認されている, 博多湾の中部海域 C-10 及び東部海域 E-X1 の 2 地点を選定し調査を行った. なお, 海域版 BOD については, この 2 地点に中部海域 C-1 を加え, 3 地点について測定をおこなった (図 1). 中部海域の平均水面下における平均水深は 8.5 m, 東部海域の平均水深は 6.6 m となっている¹⁾. C-10 及び C-1 は公共用水域常時監視点 (環境基準点) で, E-X1 は補助地点である. 水質環境基準生活環境項目の類型は, 中部海域が A 類型 (COD 2 mg/L 以下), 東部海域が B 類型 (COD 3 mg/L 以下) である. 流域人口は東部海域が 138 万人, 中部海域が 54 万人となっており¹⁾, 湾奥部に位置する東部海域の方が中部海域よりも流入負荷は高いといえる. また, 博多湾は水処理センターがリンを除去する処理を行っていることなどから, リン濃度が低い (T-N/T-P 比が 20 程度と高い) 特徴がある. 調査は, 前課題を含め 2011~2019 年度の夏季及び冬季に行った. 調査は, 栄養塩類と COD 関連項目については 2011~2019 年度の夏季及び冬季に行い, 海域版 BOD については 2017~2019 年度の夏季及び冬季に行った.



図 1 調査位置図

2.2 栄養塩類と COD 関連項目

各調査地点の表層（海面下 0.5 m）と底層（海底上 1.0 m）について、バンドーン採水器を用いて採水を行った。採取した海水はその日のうちに分注・ろ過をおこなった。ろ紙は、事前に 450 °C で 1 時間焼成処理したガラス繊維フィルターを使用した。ろ過、分注した試料・フィルター類は冷凍して国立環境研究所に送付し、「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目（第 3 報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」で述べられた方法で一連の分析を行った。試料を分注したものは COD の分析に、ろ液は溶存性の COD (D-COD) と有機炭素 (DOC), 全窒素 (DTN), 全リン (DTP), 硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$), 亜硝酸性窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$), アンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$), リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$), ケイ酸塩（シリカ： SiO_2 ）の分析に用いた。ろ紙は懸濁性有機炭素 (POC), クロロフィル a (Chl-a) の分析に用いた。Chl-a 分析用には 47 mm GF/C, POC 分析用には 25 mm GF/C を使用した。懸濁性 COD (P-COD) は COD と D-COD の差から求めた。

2.3 海域版 BOD

各調査地点の表層（海面下 0.5 m）と底層（海底上 1.0 m）から採取した海水について、原液及びろ液（ガラス繊維フィルター(47 mm GF/C)でろ過したもの）を曝気したのち、JIS K 0102 32.1 よう素滴定法で DO を測定し、さらに 20°C で暗所に 3 日間静置した後の DO も同様に測定し、3 日間で消費された DO を BOD3 として求めた。また、酸素消費の要因の一つとして、硝化細菌による硝化作用に伴う酸素消費量 (N-BOD) についても検討を行うため、海水原液及びろ液に ATU 溶液を添加したものについても前述と同様の操作を行い、硝化作用を抑えた酸素消費量 (C-BOD 及び C-D-BOD) を求めた。懸濁性 BOD (P-BOD) は BOD と溶存性 BOD (D-BOD) の差から求め、N-BOD は BOD と C-BOD の差から求めた。

3. 結果及び考察

3.1 栄養塩類と COD 関連項目

各調査地点の表層及び底層における 2017～2019 年度の各地点の水温、塩化物イオン、DO は表 1 のとおりである。冬季には表層と底層の差はほとんどないが、夏季には水温及び塩化物イオンについては表層と底層に差が生じており、底層 DO が低下する傾向が認められる。

前課題を含めた 2011～2019 年度の季節別の栄養塩類の平均濃度を表 2 に示す。地点別にみると、溶存性無機態窒素 (DIN) は E-X1 の方が高かった。一方で溶存性無機態リン (DIP: ここでは $\text{PO}_4\text{-P}$ とする) は、夏季は地点間の差は小さいが、冬季は E-X1 の方が高かった。これは、湾奥部に位置する E-X1 は、海水交換が行われにくく、流域からの栄養塩類の供給の影響を受けやすいことが要因として考えられた。

季節別にみると、DIN はいずれも冬季の方が高く、DIP は C-10 底層を除くといずれも夏季の方が低い結果となった。特に表層において季節間の差は大きい結果となった。これは、

夏季には表層付近で植物プランクトンが増殖し栄養塩類が消費される一方で、冬季には植物プランクトンが少なく栄養塩類が消費されないため、冬季の方が高値を示したものと考えられた。

表 1 各地点における 2017～2019 年度の夏季及び冬季の水温・塩化物イオン・DO

		年度	水温 (°C)		塩化物イオン (mg/L)		DO (mg/L)	
			夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季
C-10	表層	2017	27.0	9.2	14800	18600	9.1	8.9
		2018	29.2	10.0	13300	18100	11	9.9
		2019	23.8	11.3	16300	17300	8.8	8.2
	底層	2017	25.2	9.4	18100	18500	3.6	8.9
		2018	23.2	11.5	17700	18600	2.9	9.1
		2019	22.7	12.2	17200	17600	4.0	8.3
E-X1	表層	2017	27.2	8.4	16000	17100	8.3	9.2
		2018	28.9	9.9	14000	17800	11	10
		2019	24.1	10.9	15400	16800	10	8.1
	底層	2017	26.4	8.4	16800	17600	4.9	9.1
		2018	23.4	9.8	17000	18000	5.5	10
		2019	23.1	11.2	16800	17100	3.2	8.2

表 2 栄養塩類測定結果 2011～2019 年度の平均値 (mg/L)

表層						
地点	時季	DIN (NO ₃ -N+NO ₂ -N+NH ₄ -N)	DTN	DIP (PO ₄ -P)	DTP	SiO ₂
C-10	夏季	0.070	0.347	0.005	0.018	0.97
	冬季	0.347	0.648	0.011	0.022	1.17
E-X1	夏季	0.119	0.395	0.003	0.017	0.95
	冬季	0.544	0.909	0.021	0.036	1.57
底層						
地点	時季	DIN (NO ₃ -N+NO ₂ -N+NH ₄ -N)	DTN	DIP (PO ₄ -P)	DTP	SiO ₂
C-10	夏季	0.124	0.361	0.011	0.023	1.43
	冬季	0.239	0.488	0.010	0.019	0.90
E-X1	夏季	0.164	0.415	0.009	0.022	1.22
	冬季	0.461	0.793	0.017	0.031	1.38

COD 関連項目の測定結果を表 3、COD 及び有機炭素の内訳を図 2 に示す。季節間の比較では概ね夏季が冬季よりも高くなる傾向がみられた。それぞれの溶存態 (D-COD, DOC) が占める割合は、夏季冬季いずれも 50%以上を占めていた。C-10 の表層及び E-X1 の表層・底層においては、夏季に懸濁性の COD 及び有機炭素の割合がやや高くなっ

た。これは、Chl-a が 16~28 µg/L とやや高いことから、夏季の植物プランクトンの増殖によるものであると考えられた。E-X1 底層においては水深が浅いため、底層においても植物プランクトンの増殖の影響があったものと考えられた。図 3 に、C-10、E-X1 における COD 及び有機炭素と Chl-a の関係を示す。通年ではいずれも正の相関が見られ、特に COD と Chl-a には強い相関が見られた。季節別にみると、冬季よりも夏季の方が相関はやや強く、COD 及び有機炭素は夏季の方が植物プランクトンの増殖の影響を受けていると考えられた。

表 3 COD 関連項目測定結果 (2011~2019 年度の平均値) (mg/L, Chl-a は µg/L)

表層									
地点	時季	BOD	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC+POC	DOC	POC	Chl a
C-10	夏季	1.9	4.4	2.8	1.6	3.6	1.9	1.6	23
	冬季	0.6	2.3	1.7	0.5	1.9	1.3	0.5	4.8
E-X1	夏季	2.1	4.9	3.3	1.5	3.8	1.9	1.9	28
	冬季	<0.5	2.2	1.9	0.4	1.7	1.3	0.4	2.9
底層									
地点	時季	BOD	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC+POC	DOC	POC	Chl a
C-10	夏季	1.2	2.6	2.1	0.5	2.1	1.5	0.7	6.4
	冬季	<0.5	2.2	1.8	0.5	1.7	1.2	0.6	4.2
E-X1	夏季	1.3	3.6	2.5	1.1	2.7	1.6	1.1	16
	冬季	<0.5	2.2	1.9	0.3	1.8	1.3	0.5	3.8

※BOD は 2014~2019 年度の平均

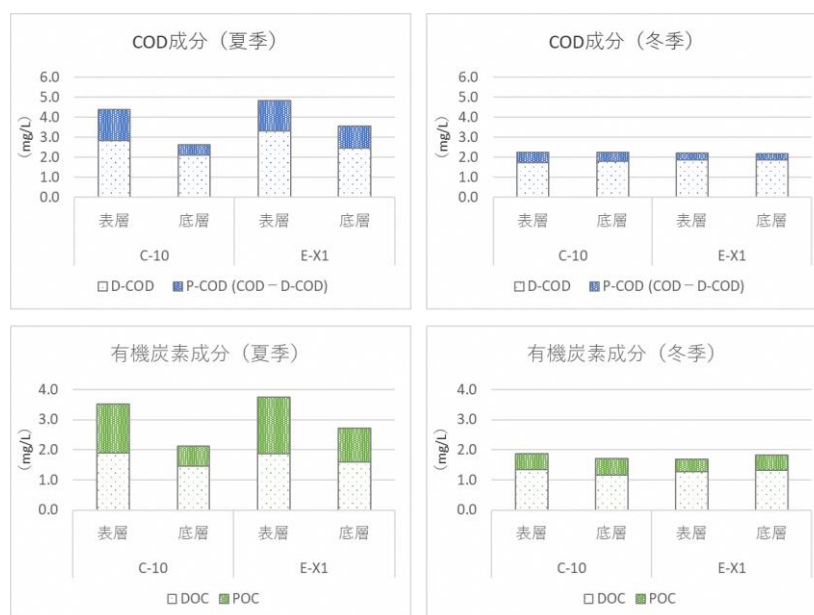


図 2 COD 及び有機炭素の内訳

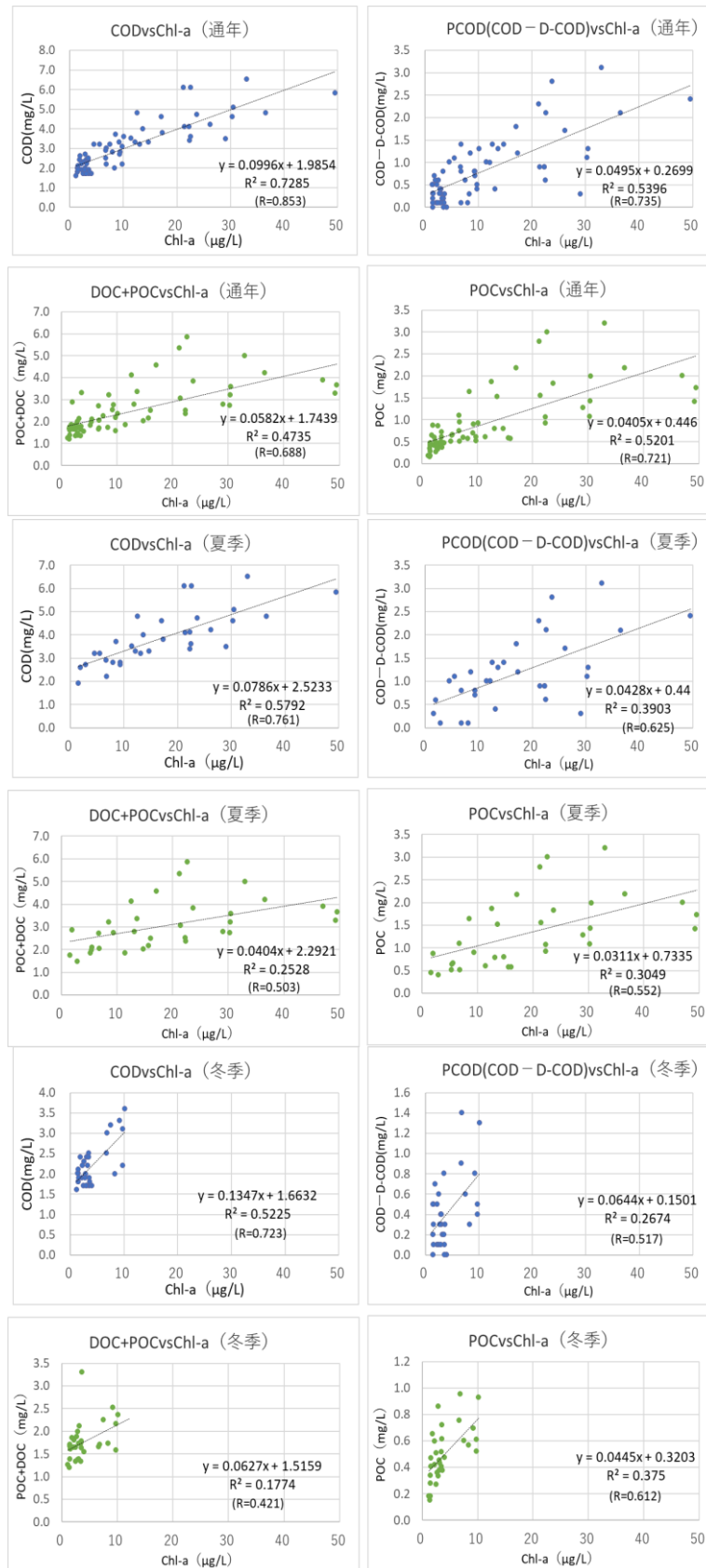


図3 C-10, E-X1におけるCOD及び有機炭素とChl-aの関係

3.2 海域版 BOD

海域版 BOD の測定結果を表 4 に示す。BOD は冬季よりも夏季の方が高く、底層よりも表層の方が高い結果となった。BOD 成分をみると、D-BOD は夏季の E-X1 表層を除いて全地点で定量下限値 0.5 mg/L 未満となったことから、酸素消費に係る有機物は大半が懸濁態として存在していると考えられた。一方で、前述したとおり、COD 及び有機炭素成分では溶存態が大半であったことから、D-COD 及び DOC 成分は、微生物分解されにくい難分解性のものが多く含まれている可能性が考えられた。N-BOD については全地点で定量下限値 0.5 mg/L 未満となり、酸素消費に係る要因としては非常に小さいと考えられた。図 4 に BOD と Chl-a の関係を示す。通年では Chl-a と正の相関がみられた。季節別にみると夏季は強い相関が見られる一方、冬季はほとんど相関が見られなかった。したがって、特に夏季において植物プランクトンの増殖に伴う酸素消費の影響が大きいことが考えられた。

表 4 海域版 BOD 測定結果 (2017~2019 年度の平均値) (mg/L)
夏季

測定地点	採水位置	BOD	D-BOD	P-BOD	C-BOD	N-BOD	C-D-BOD
C-1	表層	1.6	<0.5	1.1	1.3	<0.5	<0.5
	底層	0.7	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5
C-10	表層	2.2	<0.5	1.8	1.7	<0.5	<0.5
	底層	0.8	<0.5	0.6	0.7	<0.5	<0.5
E-X1	表層	1.8	0.9	1.0	2.5	<0.5	0.8
	底層	0.9	<0.5	0.6	1.1	<0.5	<0.5

冬季

測定地点	採水位置	BOD	D-BOD	P-BOD	C-BOD	N-BOD	C-D-BOD
C-1	表層	1.0	<0.5	0.8	0.8	<0.5	<0.5
	底層	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5
C-10	表層	0.8	<0.5	<0.5	0.9	<0.5	<0.5
	底層	0.7	<0.5	0.6	0.6	<0.5	0.5
E-X1	表層	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5
	底層	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7

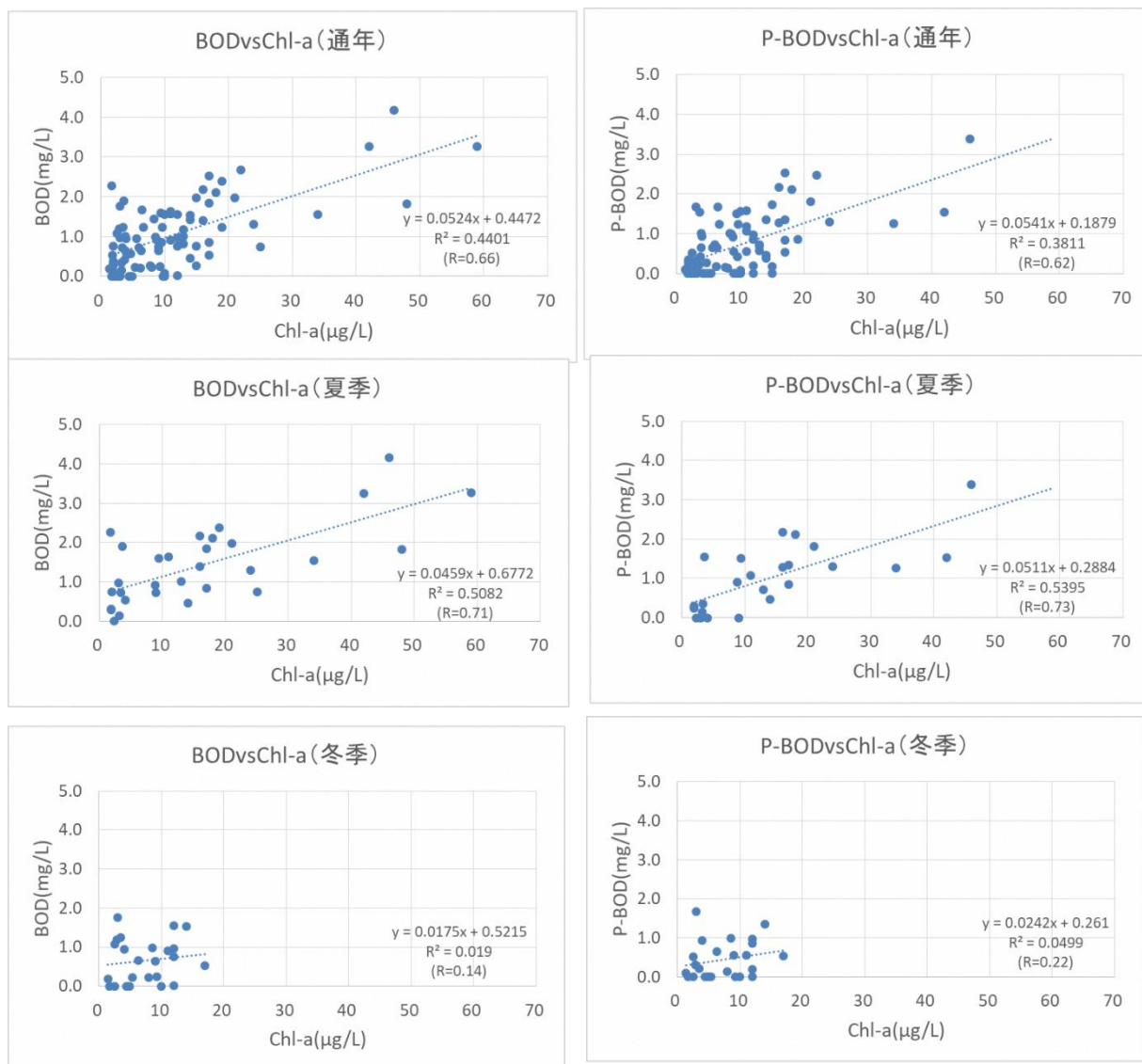


図4 BOD 及び P-BOD と Chl-a の関係

4. まとめ

(栄養塩類)

- ・地点別にみると、DIN 及び DIP は E-X1 で高い傾向がみられた。これは、湾奥部に位置しており海水交換が行われにくく、流域からの栄養塩類の供給の影響を受けやすいことが要因として考えられた。
- ・季節別にみると、DIN 及び DIP は概ね夏季に低くなる傾向がみられ、特に表層において季節間の差は大きい結果となった。これは、夏季には植物プランクトンの増殖により栄養塩類が消費されていることが要因として考えられた。

(COD 関連項目)

- ・季節別でみると概ね夏季が冬季よりも高くなる傾向がみられた。
- ・溶存態 (D-COD, DOC) が占める割合は、夏季冬季いずれも 50%以上を占めていた
- ・C-10 の表層及び E-X1 の表層・底層においては、懸濁態 (P-COD, POC) の占める割合がやや高くなっており、植物プランクトンの増殖が要因として考えられた。

(海域版 BOD)

- ・BOD は冬季よりも夏季の方が高く、底層よりも表層の方が高い結果となった。
- ・D-BOD は夏季の E-X1 表層を除いて全地点で定量下限値 0.5 mg/L 未満となったことから、酸素消費に係る有機物は大半が懸濁態として存在していると考えられた。また、D-COD 及び DOC 成分は、微生物分解されにくい難分解性のものが多く含まれている可能性が考えられた。
- ・N-BOD については全地点で定量下限値 0.5 mg/L 未満となり、酸素消費に係る要因としては非常に小さいと考えられた。
- ・季節別にみると、夏季に Chl-a と BOD の強い正の相関があったことから、特に夏季において植物プランクトン増殖の影響が大きいと考えられた。

5. 参考資料

- 1) 福岡市：博多湾環境保全計画（第二次）資料編 平成 28 年 9 月

1. はじめに

長崎県本土のほぼ中央に位置する大村湾は、南北約 26 km、東西約 11 km、面積約 320 km² の海域であり、佐世保湾を介して狭い針尾瀬戸と早岐瀬戸だけで外海と通じている閉鎖性の強い湾である。大村湾は海域 A 類型に指定されており、化学的酸素要求量(COD)の基準値は 2.0 mg/L で、17 環境基準地点における平均値は基準値を超過した状態が続いていたが、近年は下降傾向を維持しており、水質の改善が進んでいる。本調査では、前 II 型共同研究「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」に引き続き、大村湾湾奥部の 2 地点(久山港沖と祝崎沖)において、現場測定と採水を行って COD 関連項目と栄養塩類を測定し、項目間の関係について検討した。

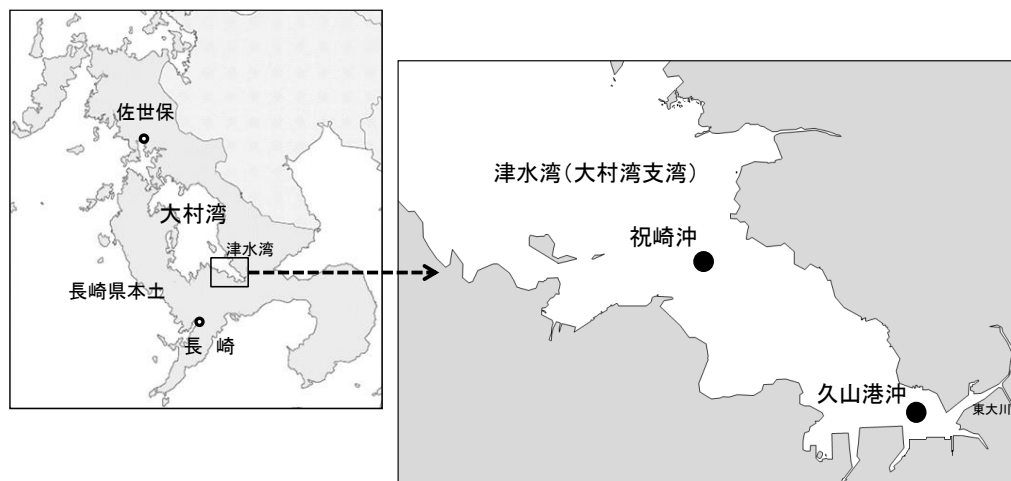


図 1 調査点位置

2. 現場調査、測定・分析方法

2.1 調査点とその環境概要

調査点は大村湾の環境基準点である久山港沖と祝崎沖である(図 1)。両調査点は大村湾湾奥部の支湾である津水湾内にあり、それぞれの水深は、久山港沖で 6 m、祝崎沖で 15 m である。

両調査点における 2006 年 1 月から 2019 年 3 月までの透明度、COD(水深 0.5 m で採水)、及び地点別の表層と底層における溶存酸素濃度(DO)の推移を図 2 に示す。ここで、底層とは海底から 1 m の深度である。

透明度は年間で変動が大きいものの、両地点とも夏季に低く、冬季に高い傾向が見られた。2006 年 1 月から 2019 年 3 月までの平均値は久山港沖では 3.0 m(範囲:1.4~6.3 m)、祝崎沖では 4.4 m(範囲:2.2~11 m)であり、沿岸に近い久山港沖でより低い。COD も年間で大きく変動するものの、夏季に高く、冬季に低い傾向が見られた。2006 年 1 月から 2019 年 3 月までの平均値は久山港沖では 2.6 mg/L(範囲:1.5~7.0 mg/L)、祝崎沖では 2.3 mg/L(範囲:1.4~4.2 mg/L)であり、沖合にある祝崎沖でより低い。

DO も夏季に低く、冬季に高い傾向が見られたが、夏季における表層と底層の濃度差は、久

山港沖よりも祝崎沖において大きな差が見られた。平均値は久山港沖で表層が 8.7 mg/L(範囲:3.0~12 mg/L)、底層が 8.0 mg/L(範囲:2.0~10 mg/L)、祝崎沖で表層が 8.7 mg/L(範囲:5.9~12 mg/L)、底層が 7.2 mg/L(範囲:1.1~10 mg/L)であった。

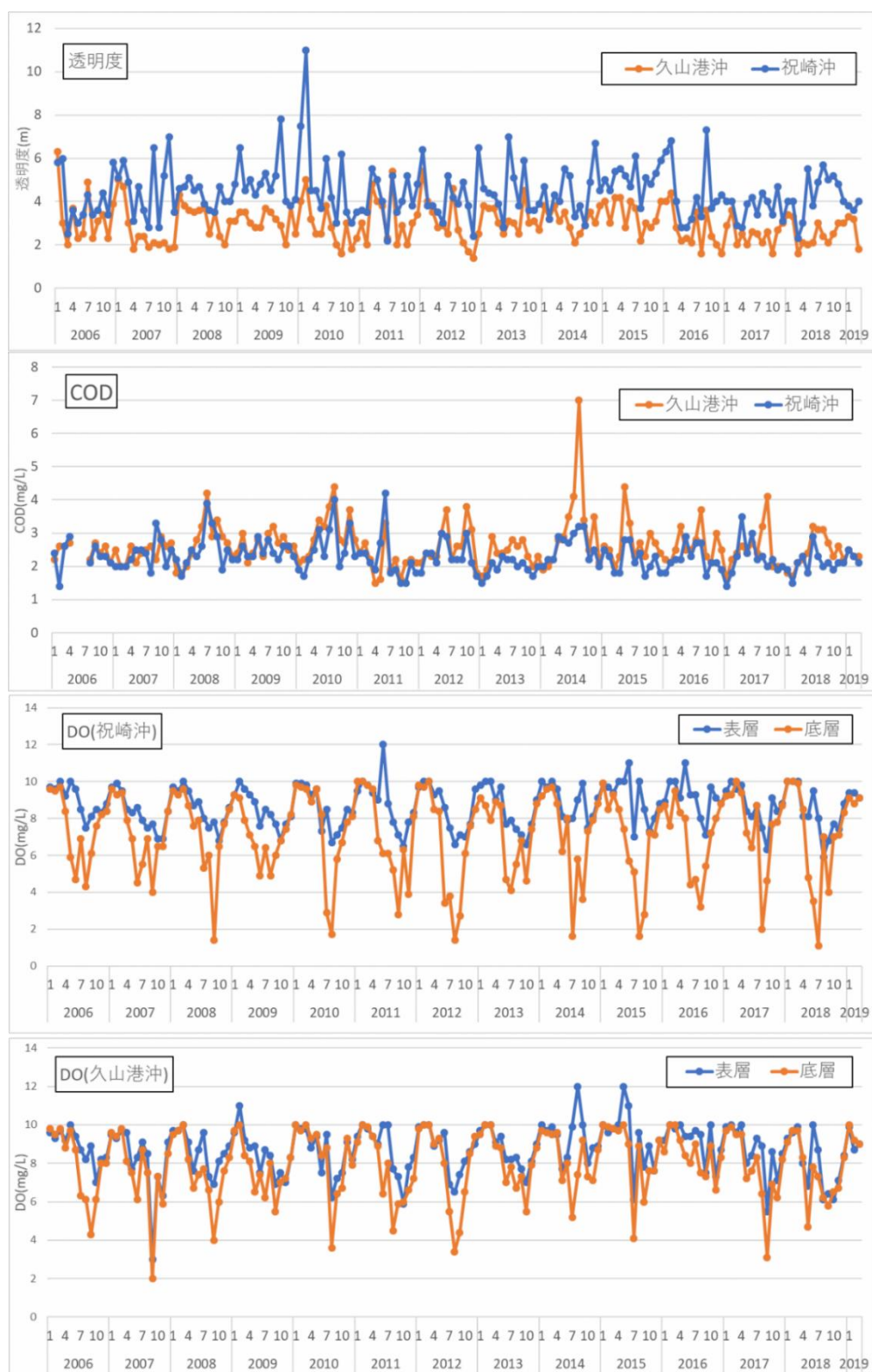


図 2 久山港沖と祝崎沖における 2006 年 1 月から 2019 年 3 月までの各種水質
※データは長崎県公共用水域測定結果から引用。

2.2 現場測定・採水・分析

調査は2017年9月から2020年1月の間に、夏季と冬季の年2回、合計6回実施した。各測点では多項目水質計(JFE アレック電子製 AAQ-RINKO)を用いて水温、塩分およびDOを鉛直的に連続に記録した。さらに、採水バケツおよびバンドン採水器を用いて、久山港沖では表層と底層、祝崎沖では表層、中層、底層から採水した。ここで、中層とは水深の1/2の深度、底層とは海底から1mの深度である。

採取した海水は氷冷して持ち帰り、焼成処理をしたガラス繊維ろ紙を用いてろ過を行い、ろ過・分注した試水・フィルター類は冷凍して国立環境研究所に送付して一連の分析を行った。なお、分析はII型共同研究報告書「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類とCODに関連する有機物項目(第3報)と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」(国立環境研究所)に記載された方法で実施した。

3. 結果と考察

3.1 海況

夏季(2019年9月)および冬季(2020年1月)における祝崎沖及び久山港沖の水温、塩分およびDOの鉛直分布を図3～図5に示す。

水温は、夏季において祝崎沖では27.1～29.2℃、久山港沖では27.7～29.5℃であり、久山港沖でやや高い傾向が見られた。一方、冬季においては祝崎沖で11.4℃～11.8℃、久山港沖で11.2℃～11.9℃と、差はほとんど確認されなかった。また、各地点において、冬季の水温は鉛直的に一様であった。

塩分は、夏季において祝崎沖では30.5～31.5、久山港沖では30.7～31.4でほぼ同程度であった。一方、冬季においては祝崎沖では32.1～32.2とほぼ振幅がなかったのに対し、久山港沖では31.1～32.0であり、最高値は祝崎沖と同程度だったが最低値が低い結果となった。

DOは、夏季において祝崎沖では水深7m付近及び10m付近で急激に減少しており、海底直上では3.8 mg/Lまで減少していた。久山港沖では、水深3m付近から急激に減少したものの、海底直上では5.4 mg/Lと祝崎沖よりも高い濃度であった。一方、冬季においては祝崎沖、久山港沖共に水深が深くなるにつれて濃度の減少傾向は確認されたものの、上層と下層で1 mg/L以上の差はなく、鉛直的にほぼ一様であった。

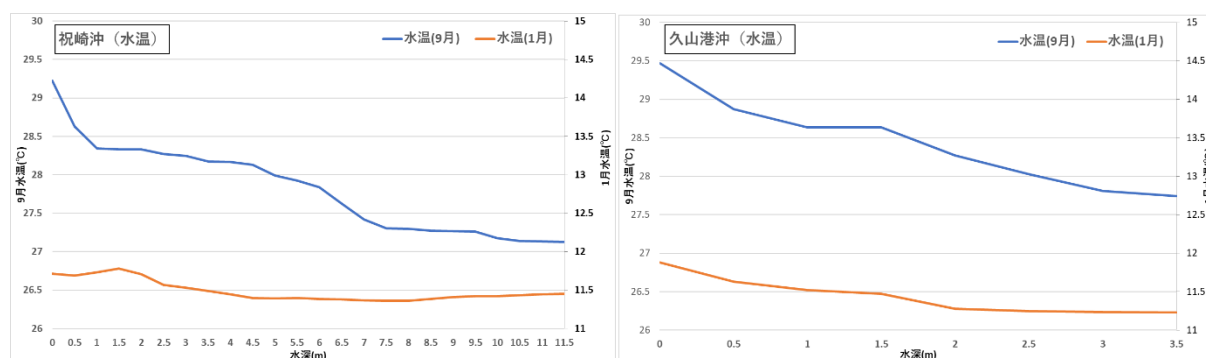


図3 水温の鉛直分布

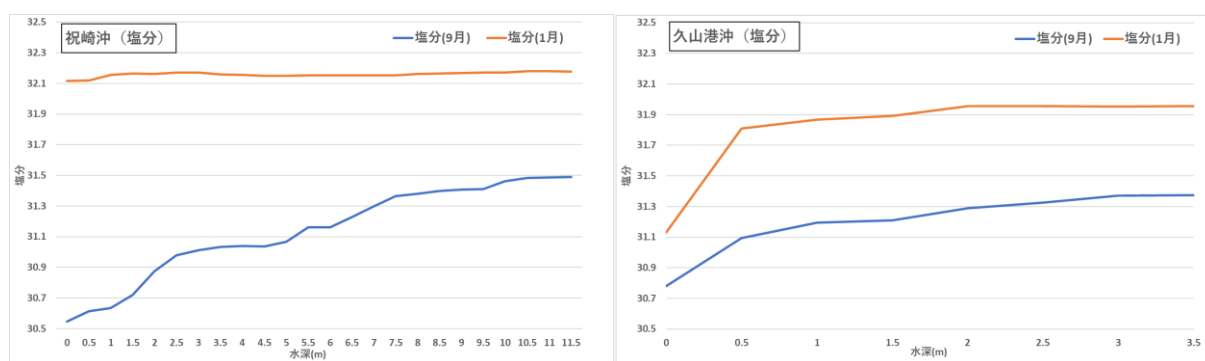


図 4 塩分の鉛直分布

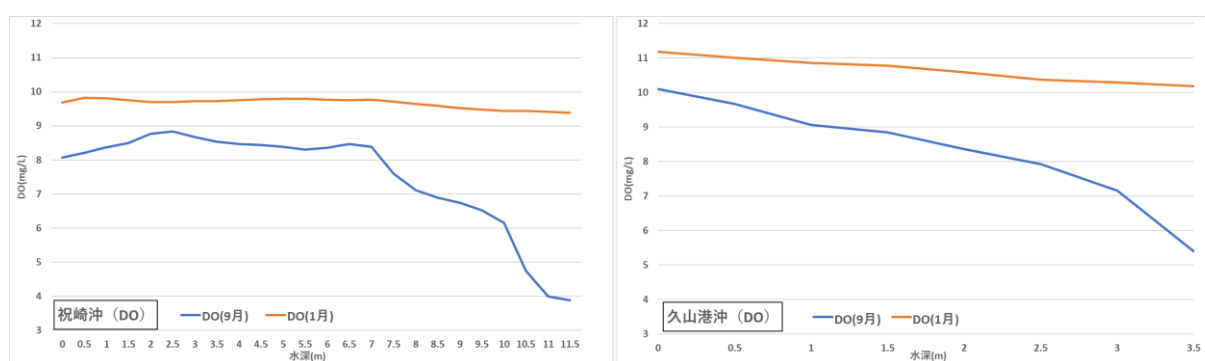


図 5 DO の鉛直分布

※祝崎沖、久山港沖において、2.1 で示した水深(祝崎沖:15 m、久山港沖:6 m)ではなく、水深 11.5 m、3.5 m までの測定となっているのは、水深センサーが不調であった可能性がある。

3.2 栄養塩類

栄養塩類の測定結果を表 1 に示す(DIN:溶存態無機窒素(硝酸態と亜硝酸態窒素、そしてアンモニア態窒素の総和)、DTN:溶存態全窒素、 $\text{PO}_4\text{-P}$:溶存態無機リン(リン酸態リン)、DTP:溶存態全リン、 SiO_2 :珪酸塩)。数値は 2017~2019 年度の 3 年間に夏季と冬季それぞれ年 1 回ずつ測定したものの平均値である。

水深ごとの結果を地点別・季節別で比較すると、祝崎沖の夏季は全ての項目で表層よりも底層で高い結果となった(1.1~3.8 倍)。特に DIN と $\text{PO}_4\text{-P}$ はそれぞれ 3.8 倍と 3.5 倍という顕著な差が見られた。同じく夏季の久山港沖では DTN 以外は表層よりも底層が高く(1.3~2.2 倍)、特に $\text{PO}_4\text{-P}$ にはその傾向が顕著だったが、祝崎沖と比較して表層と底層の差は小さかった。一方、祝崎沖の冬季は $\text{PO}_4\text{-P}$ で表層より底層が 1.8 倍高い結果だったものの、その他の項目は 0.8~1.1 倍と差はほとんど無かった。久山港沖の冬季でも祝崎沖の冬季と同様に差がほとんどない項目が多かったが、唯一 DIN のみ夏季とは逆に底層よりも表層で 11 倍と顕著に高い値だった。両地点とも夏季は表層よりも底層で濃度が高い傾向を示したが、これは夏季において底層が貧酸素状態となりやすく、底層が貧酸素化すると底泥から DIN(特にアンモニア態窒素)と $\text{PO}_4\text{-P}$ が溶出しやすくなることが要因だと考えられる。一方、冬季は海面表層が冷却されることにより海水が鉛直的に混合するため水深間の濃度差は小さいが、久山港沖は陸域からの流入河川(東大

川)が近くに存在するため、DIN が表層で顕著に高い結果となったと考えられる。

DIN が DTN に占める割合 (DIN/DTN)と PO₄-P が DTP に占める割合 (PO₄-P/DTP)を表 2 に示す。

夏季においては、DIN/DTN と PO₄-P/DTP は共に表層よりも底層で高い割合となった。特に祝崎沖の DIN/DTN では表層 3.3%に対して底層 12.1%と約 4 倍の差が確認された。一方、冬季は祝崎沖と久山港沖の PO₄-P/DTP では表層と底層で 2 倍以上の差はなかったが、久山港沖の DIN/DTN は表層が 26.4%に対して底層が 3.5%と表層で顕著に高い割合となった。この結果から、祝崎沖における夏季の底層貧酸素化に伴う底泥からの栄養塩類の溶出と、久山港沖における冬季の陸域からの流れ込みは、どちらも溶存態無機窒素への影響が大きいと考えられる。

表 1: 栄養塩類の測定結果

単位 : mg/L		DIN		DTN		PO ₄ -P		DTP		SiO ₂	
		夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季
祝崎沖	表層	0.012	0.004	0.350	0.253	0.0037	0.0005	0.0239	0.0133	0.321	0.367
	中層	0.010	0.004	0.304	0.262	0.0042	0.0007	0.0234	0.0136	0.306	0.354
	底層	0.046	0.003	0.384	0.262	0.0130	0.0009	0.0388	0.0149	0.817	0.340
久山港沖	表層	0.024	0.098	0.408	0.371	0.0056	0.0019	0.0277	0.0161	0.683	0.790
	底層	0.032	0.009	0.383	0.258	0.0125	0.0013	0.0407	0.0141	0.883	0.504

表 2: 窒素・リンにおける溶存態無機窒素・りんと全量の割合

単位 : %		DIN/DTN		PO ₄ -P/DTP	
		夏季	冬季	夏季	冬季
祝崎沖	表層	3.3	1.6	15.4	3.8
	中層	3.2	1.5	18.1	4.9
	底層	12.1	1.2	33.4	6.0
久山港沖	表層	5.9	26.4	20.3	11.7
	底層	8.4	3.5	30.8	9.2

3.3 COD 関連項目

COD 関連項目の測定結果を表 3 に示す(COD、溶存態 COD (D-COD)、懸濁態 COD (P-COD)、全有機炭素 (TOC)、溶存態有機炭素 (DOC)、懸濁態有機炭素 (POC) およびクロロフィル *a* (Chl.*a*))。数値は 2017~2019 年度の 3 年間に夏季と冬季それぞれ年 1 回ずつ測定したものの平均値である。

COD において、夏季では祝崎沖で 0.6 mg/L、久山港沖で 1.3 mg/L 程度、表層が底層よりも高い濃度だったが、冬季では水深間の差が最大で 0.2 mg/L と大きな差はなかった。D-COD と P-COD を見ると、D-COD は P-COD よりも濃度が高く COD の主成分だと考えられるが、両季節ともに大きな差は見受けられなかった。一方、夏季の表層における P-COD を底層の P-COD と比較すると祝崎沖で 3.8 倍、久山港沖では 9.7 倍もの差があったため、COD の夏季における濃度差は P-COD によるものだと考えられる。

TOC、DOC、POC において、夏季の久山港沖における TOC、POC は底層よりも表層が高い濃度だった。特に POC では 2.2 倍の差が確認された。また、夏季の祝崎沖における TOC、DOC、POC は表層と底層よりも中層で高い濃度が確認された。

Chl.a は冬季の祝崎沖のみ表層・中層よりも底層で高濃度だったが、その他は全て底層よりも表層・中層で高い傾向だった。特に夏季の久山港沖では 3.8 µg/L 程度、底層よりも表層で高い濃度だった。一方、夏季の祝崎沖では、表層と底層よりも中層で高いという TOC と同様の傾向が得られたため、この中層における TOC は植物プランクトンの増殖などの内部生産によるものだと考えられる。また、地点別で夏季と冬季を比較すると、祝崎沖では水深に関わらず夏季よりも冬季で 2~4 µg/L 程度高濃度となっているのに対し、久山港沖では底層で 2.5 µg/L の差はあるものの、表層での差は 1 µg/L 以下だった。

表 3:COD 関連項目の測定結果

単位 : mg/L		COD		D-COD		P-COD			
		夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季		
祝崎沖	表層	3.10	2.61	2.15	2.06	0.95	0.55		
	中層	2.85	2.41	2.00	2.26	0.85	0.15		
	底層	2.50	2.56	2.25	2.46	0.25	0.10		
久山港沖	表層	4.11	2.56	2.65	1.91	1.45	0.65		
	底層	2.80	2.66	2.65	1.80	0.15	0.85		
単位 : mg/L (Chl.a: µg/L)		TOC		DOC		POC		Chl.a	
		夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季
祝崎沖	表層	1.90	1.93	1.42	1.41	0.49	0.47	4.08	6.10
	中層	2.34	1.94	1.58	1.44	0.67	0.43	4.66	6.10
	底層	1.95	1.96	1.41	1.51	0.47	0.44	3.56	7.92
久山港沖	表層	2.88	1.99	1.44	1.67	1.46	0.38	9.98	9.04
	底層	2.08	1.94	1.41	1.59	0.66	0.40	6.14	8.64

4. まとめ

大村湾の支湾である津水湾内の 2 調査点(久山港沖と祝崎沖)において、2017 年 9 月から 2020 年 1 月の間に、夏季と冬季の年 2 回、合計 6 回、海洋観測を行うとともに、現場海水の栄養塩類および COD 関連項目の分析を行い、以下の知見を得た。

- ・祝崎沖では夏季に底層で高い濃度の栄養塩類が確認されたことから、底泥からの栄養塩類が溶出していることが示唆された。一方、久山港沖では冬季に表層で高い栄養塩類が確認されたことから陸域からの流れ込み(東大川)の影響が示唆された。これら両者とも、溶存態無機窒素(DIN)において顕著だった。
- ・COD は夏季に底層よりも表層で高濃度だった。また、COD の主成分は D-COD だと考えられるが、夏季における水深別の濃度差の要因は P-COD であると推測される。
- ・TOC と Chl.a は、夏季の祝崎沖の水深別での両者の挙動が類似している(中層で最も高濃度)ことから、当該 TOC は植物プランクトンの増殖などの内部生産によるものだと推測される。

参考文献

- 1) 地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究(II 型) 平成 23~25 年度「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」報告書
- 2) 地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究(II 型) 平成 26~28 年度「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」報告書
- 3) 長崎県環境部地域環境課 公共用水域及び地下水の水質測定結果

宮崎県延岡湾沿岸海域における COD、栄養塩類等について

宮崎県衛生環境研究所 環境科学部 寺崎三季 中村公生¹⁾ 赤崎いずみ²⁾
島田玲子³⁾ 有簾真奈美⁴⁾ 十川隆博

1. はじめに

平成 20 年度から実施されている沿岸海域環境に係る II 型共同研究の一環である課題「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究（研究期間平成 29 年度～令和元年度）」に参加し、宮崎県延岡湾沿岸の 2 地点で、夏季と冬季に採水を行い、COD と関連する有機物指標と栄養塩類の季節変化と項目間の関係等について検討した。夏季採水については、海域中の溶存性有機態窒素や無機態窒素の含量および、どの程度の期間で分解されるのかを調べるため、分解試験を行った。また、同じ 2 地点において、これまでの II 型共同研究で行った経年変化解析に準じて本県常時監視結果データを用いた解析を行ったので、これらについて報告する。

2. 方法

2.1 調査方法の概要

2.2 により採水及び分析を行った。また、2.3 により底層 DO、COD 経年変化等のデータ解析を行った。

2.2 採水・分析

2.2.1 調査地点及び採水・分析調査の時期

調査地点を図 1 に示す。前課題報告書（平成 29 年 3 月）⁵⁾で報告対象とした地点と同様、環境基準点である以下 2 地点を調査地点とした。

①五ヶ瀬川導流堤東 750m

②沖田川河口東 750m

どちらも環境基準生活環境項目 A 類型（COD 環境基準値 2 mg/L）である。

各地点で、H29 年度から R 元年度に夏季と冬季の年 2 回、計 6 回採水・分析を行った。

2.2.2 調査項目

①気温、②水温、③pH、④塩化物イオン、⑤EC、⑥BOD、⑦COD、⑧溶存性 COD (D-COD、試料をガラス繊維フィルター GFF (25 mm 径、孔径 0.7 μm) でろ過したろ液の COD のこと)、⑨懸濁性 COD (P-COD、COD から D-COD を差し引いたもの)、⑩溶存性有機炭素 (DOC、試料をガラス繊維フィルター GFF でろ過したろ液の有機炭素)、⑪懸濁性有機炭素 (POC、試料をガラス繊維フィルター GFF でろ過したフィルター中の有機



図 1 調査地点

¹⁾元 宮崎県衛生環境研究所 ²⁾現 宮崎県工業技術センター ³⁾現 宮崎県立日南病院 ⁴⁾現 宮崎県食品開発センター

炭素)、⑫DOC+POC、⑬クロロフィル a (Chl a 試料を 47 mm 径、孔径 1.2 μm のガラス繊維フィルター-GFC でろ過フィルター中のクロロフィル a)、⑭溶存性無機態窒素 (DIN ($\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N}$))、⑮溶存性全窒素 (DTN)、⑯溶存性無機態りん (DIP ($\text{PO}_4\text{-P}$))、⑰溶存性全りん (DTP)、⑱ SiO_2 、⑲溶存性有機態窒素 (DON) 分解-DIN 生成試験

(夏季検水のみ、検水をガラス繊維フィルター-GFC でろ過したろ液を振とうし、経時的にサンプリングして各態窒素の濃度を調べる試験)

2.2.3 分析方法等

2.2.3.1 項目①及び②

項目①及び②については、採水実施機関(公益財団法人 宮崎県環境科学協会)が測定した。

2.2.3.2 項目③～⑥

項目③～⑥については、当研究所でそれぞれ以下の方法で分析した。

③pH：ガラス電極法

④塩化物イオン：イオンクロマトグラフ法

⑤EC：電気伝導度計による測定

⑥BOD：JIS 法 (K0102:2016)

なお、BOD は 3 日後の溶存酸素量から求めた。^{1), 3)}

2.2.3.3 項目⑦～⑱

項目⑦～⑱については、国立研究開発法人 国立環境研究所へ冷凍した試料を送り、同研究所において分析した。分析法は同研究所資料¹⁾に記載のとおり。ただし、令和元年度のみ⑦、⑧については当研究所で分析した。

2.2.3.4 項目⑲

項目⑲については、平成 30 年度は当研究所で分析し、令和元年度は国立環境研究所へ冷凍した試料を送り、同研究所において分析した。分析法は同研究所資料¹⁾に記載のとおり。

2.3 底層 DO、COD 経年変化、COD 等季節変動に係るデータ解析

2.2.1 に記載の 2 地点について、以下の解析を行った。

2.3.1 過去 6 年間の底層 DO

宮崎県環境白書²⁾から、H25～H30 年度の四半期毎の底層 DO のデータを集計した。

2.3.2 COD の経年変化

沿岸海域環境に係る II 型共同研究前課題報告書(平成 29 年 3 月)⁵⁾での COD 経年変化報告に、宮崎県環境白書²⁾からデータを追加し、S56～H30 年度の推移を確認した。

2.3.3 COD、全窒素及び全りんの季節変動

宮崎県環境白書²⁾から、H25～H30 年度の四半期毎(COD については、毎月)のデータを集計し、季節変動の有無を確認した。

3. 結果

3.1 採水・分析調査結果

3.1.1 気温、水温、pH 等

本調査で採水した試料の気温、水温、pH 等の分析結果を図 2 に示す。

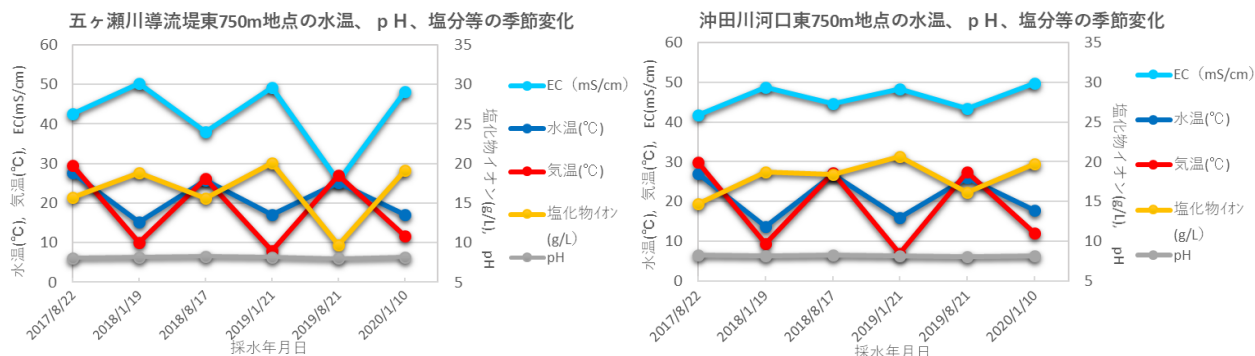


図2 H29年8月～R2年1月の夏季、冬季の気温、水温、pH等の結果

これらの結果のうち塩化物イオン濃度が夏季に低めになる傾向があるが、これは各流入河川の影響によるものと考えられた。

3.1.2 COD 等関連項目

本調査で採水した試料の COD 等関連項目の分析結果を図3に示す。

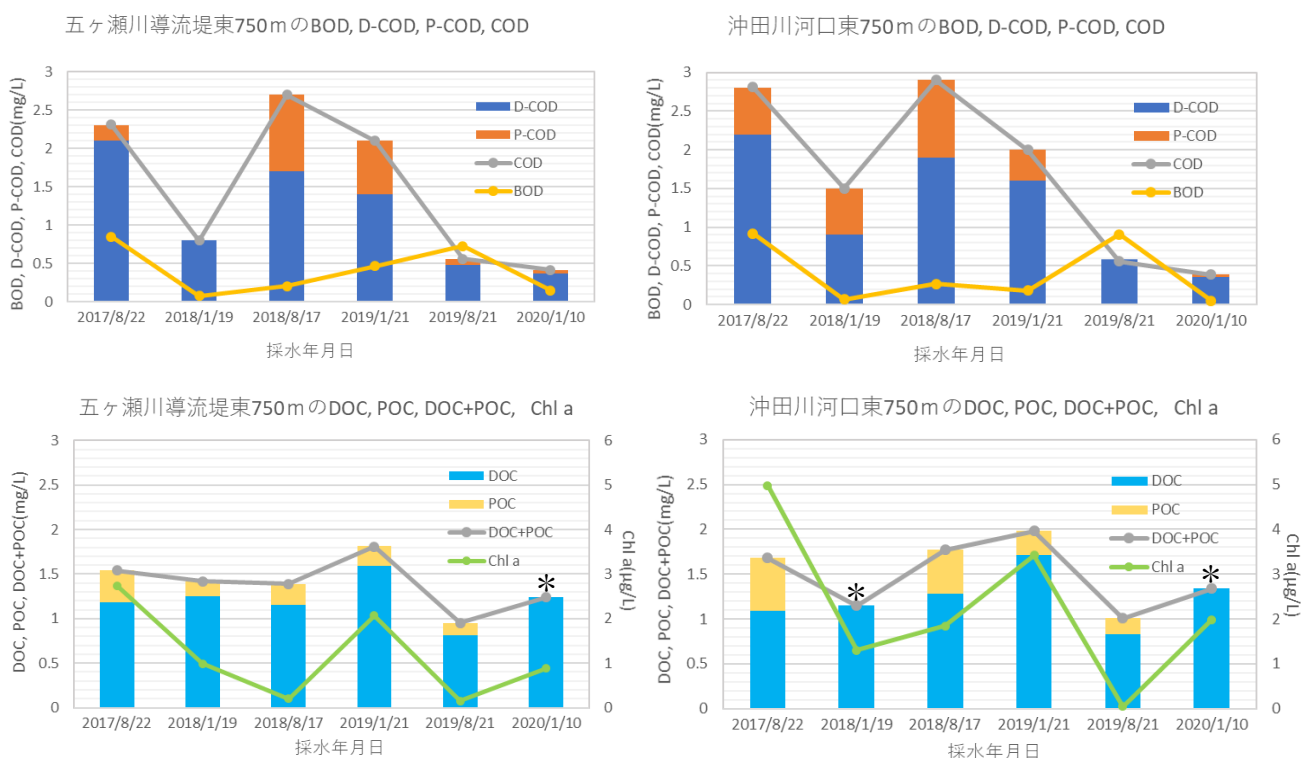


図3 H29年8月～R2年1月の夏季と冬季のBOD・COD関連項目
(*印の測定点についてはPOCの測定データなし)

BOD は全体的に低い値であったが、冬季は特に低くなる傾向がみられた。また、BOD 及び COD のどちらも2地点間で大差なかった。COD も夏季の方が冬季より高くなる傾向が見られた。Chl a については、平成29年度は夏季の方が冬季より高くなり、夏季の植物プランクトン増殖を示すものと考えられた。一方、平成30年度と令和元年度は冬季の方が

夏季より高かった。沖田川については平成 23、24、25 年の 2 月末から 3 月初旬の時期に赤潮が発生した。冬季に沖田川の水位が下がることにより河口部で合流する浜川から、窒素およびリン濃度の高い水が潮の流れに乗って流入し、クリプトモナスが増殖していたことが原因であった⁴⁾。冬季の沖田川河口東 750m 地点でも少なからずその影響を受けているのではないかと考えられた。今後、常時監視データ等を活用し、引き続き監視していく必要がある。

3.1.3 栄養塩類 (DIN、DTN、DIP、DTP、SiO₂)

本調査で採水した試料の栄養塩類の分析結果を図 4 に示す。

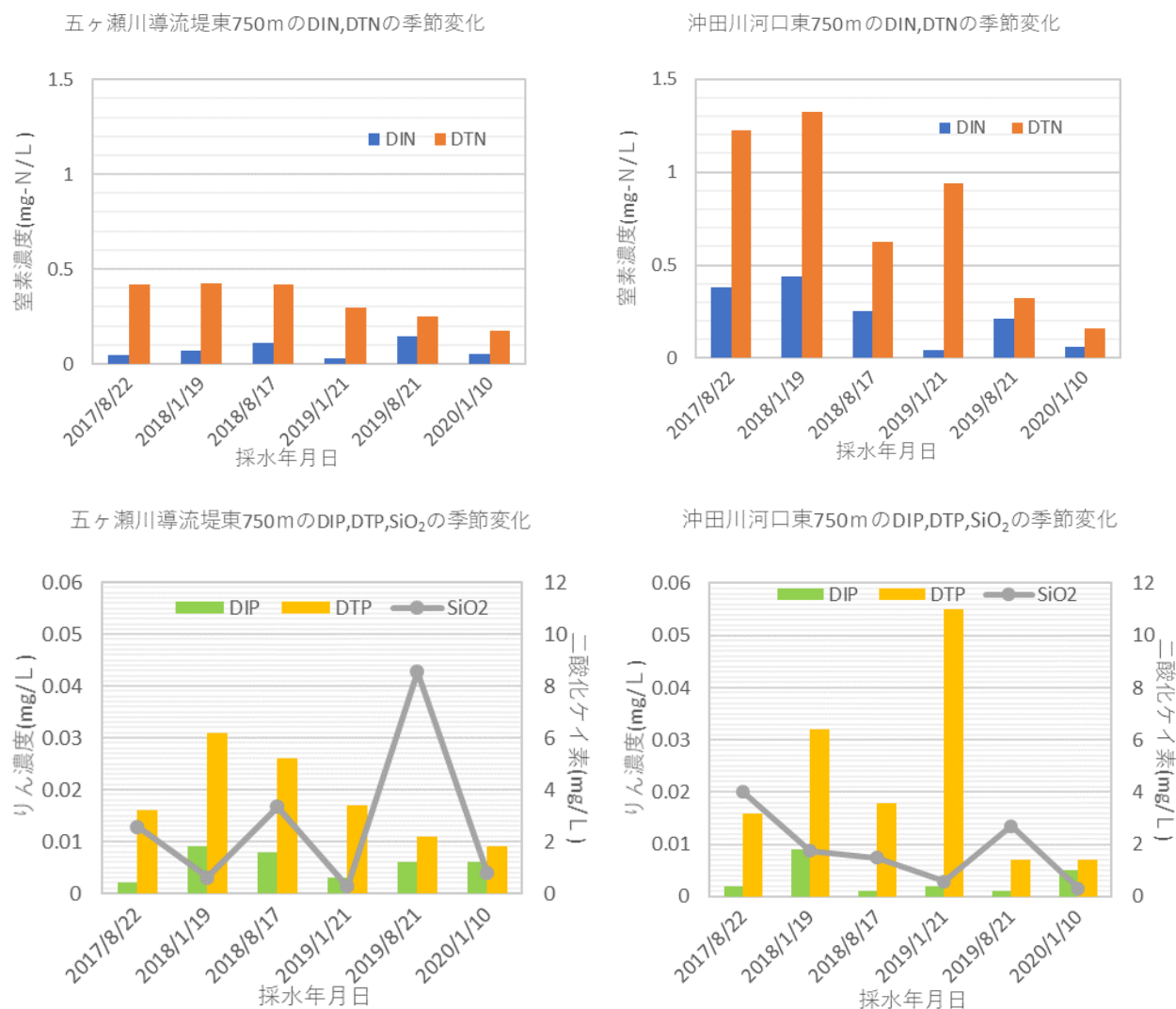


図 4 H29 年 8 月～R2 年 1 月の夏季と冬季の栄養塩類

栄養塩類濃度について、窒素濃度については沖田川河口東 750m の方が高い値となる傾向がみられた。調査時期による変動は大きい、季節による明確な違いは見られなかった。DTN 中の DIN の割合については前回⁵⁾の結果を含めた 5 年間の平均で五ヶ瀬川導流堤東 750m 地点が 35%、沖田川河口東 750m 地点が 43%と後者の方がより高めになっていた。

DTP 中の DIP の割合は五ヶ瀬川導流堤東 750m 地点が 5 年間の平均で 44%、沖田川河口東 750m 地点が 34%と前者の方が高かった。DTN 中の DIN の割合は総じて沖田川河口東 750m 地点の方が高い傾向にあった。

3.1.4 DON 分解・DIN 生成試験

本調査で経時的に採取した分解試験の結果を図 5 に示す。

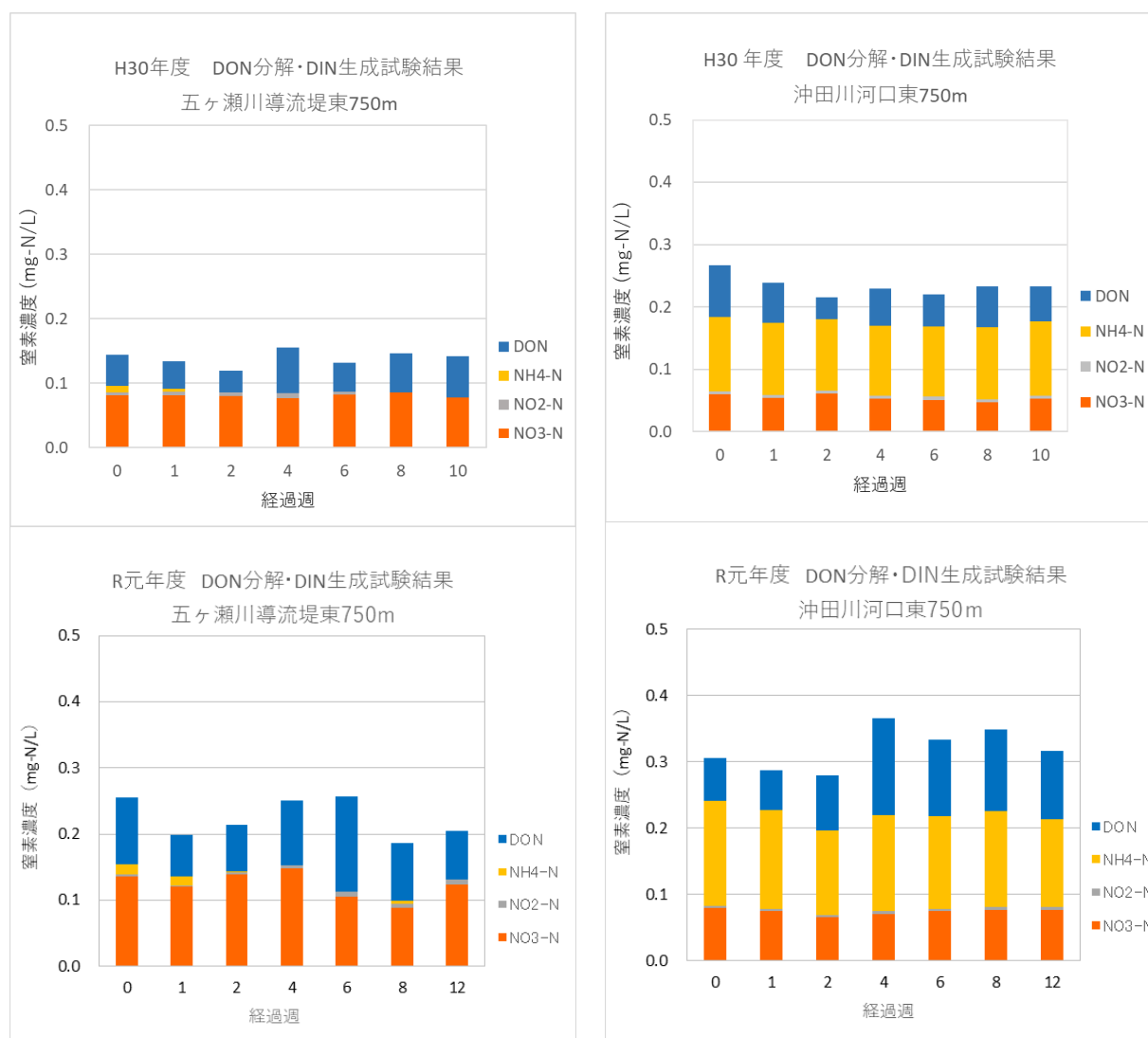


図 5 DON 分解・DIN 生成試験

(人工海水での分解試験において各経過週時点で生成した各態窒素を差し引いている)

平成 30 年度および令和元年度の夏季検水について試験を行ったが、2 地点とも DIN への分解は進まなかった。夏季の Chl a が最大で 4.98 $\mu\text{g/L}$ と少なく、DON も少なかったため、DIN に分解されにくかったと考えられる。

3.2 底層 DO、COD 経年変化、COD 等季節変動に係るデータ解析結果

3.2.1 過去 6 年間の底層 DO

五ヶ瀬川導流堤東 750m 地点の H25~30 年度の底層 DO を図 6 に示す。底層 DO は 6.1~8.4 (平均 7.2) mg/L であり、若干の変動は見られるものの貧酸素水塊の発生は認められ

なかった。

なお、沖田川河口東 750m においては、底層 DO の測定は行われていない。

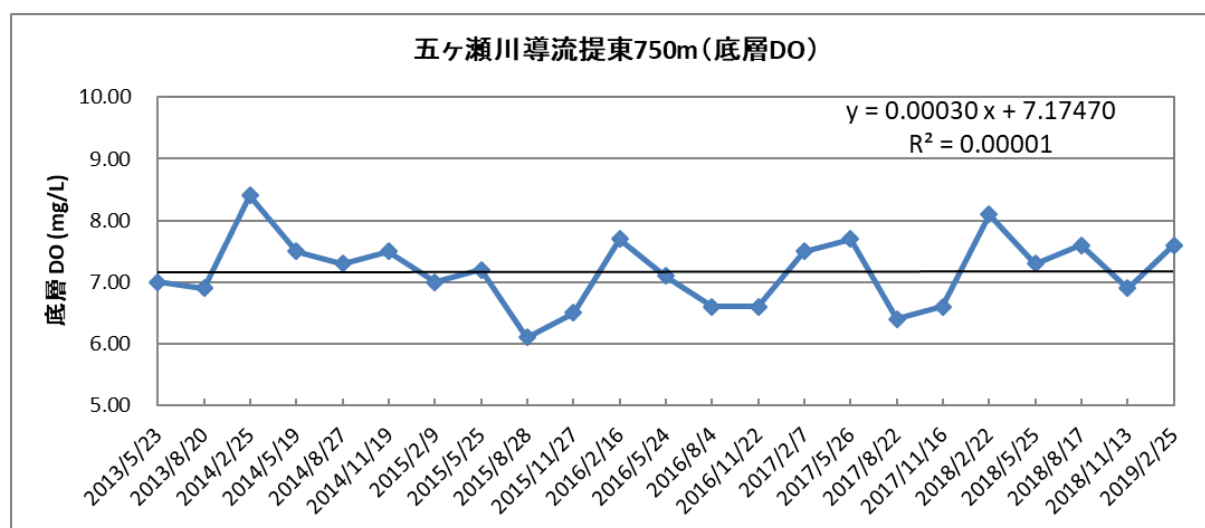


図 6 五ヶ瀬川導流堤東 750m の H25～H30 年度の底層 DO

3.2.2 COD の経年変化

調査対象 2 地点の S56～H30 年度の COD75%値の推移を図 7 に示す。

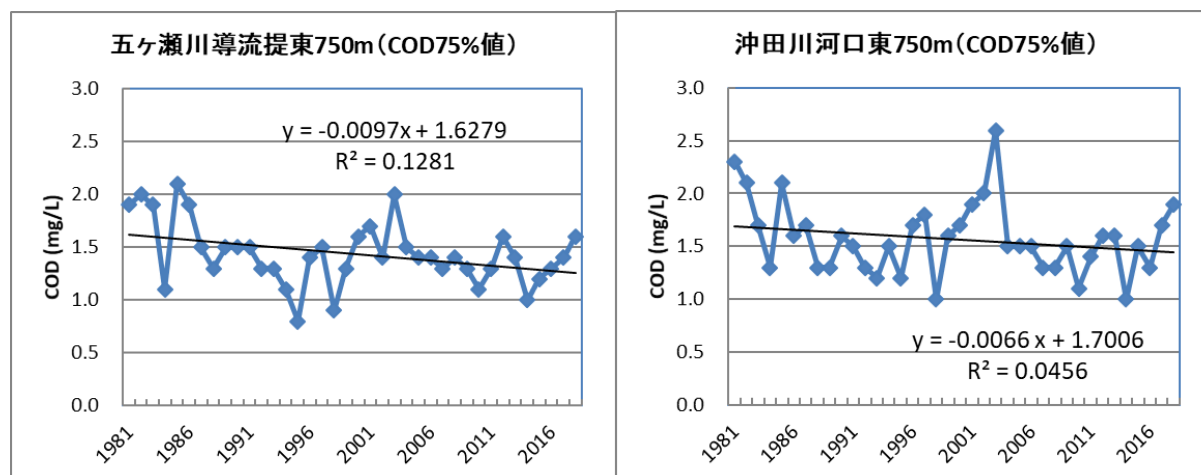


図 7 五ヶ瀬川導流堤東 750m, 沖田川河口東 750m の COD 経年変化

前回のⅡ型共同研究報告⁵⁾時点と比較すると、近似直線の傾きは依然負のままではあるが緩やかになってきており、全国の非汚濁海域の状況³⁾と同様に COD は漸増傾向にあると考えられる。

3.2.3 COD、全窒素及び全リンの季節変動

調査対象 2 地点の H25～H30 年度の COD、全窒素及び全リンを図 8～11 に示す。

COD については、2 地点とも夏季の方が冬季より高くなる傾向がみられた。また、前回のⅡ型共同研究報告⁵⁾時点と比較すると、近似直線の傾きが正に転じており、全国の非汚濁海域の状況³⁾と同様に、COD の漸増傾向が見られた。

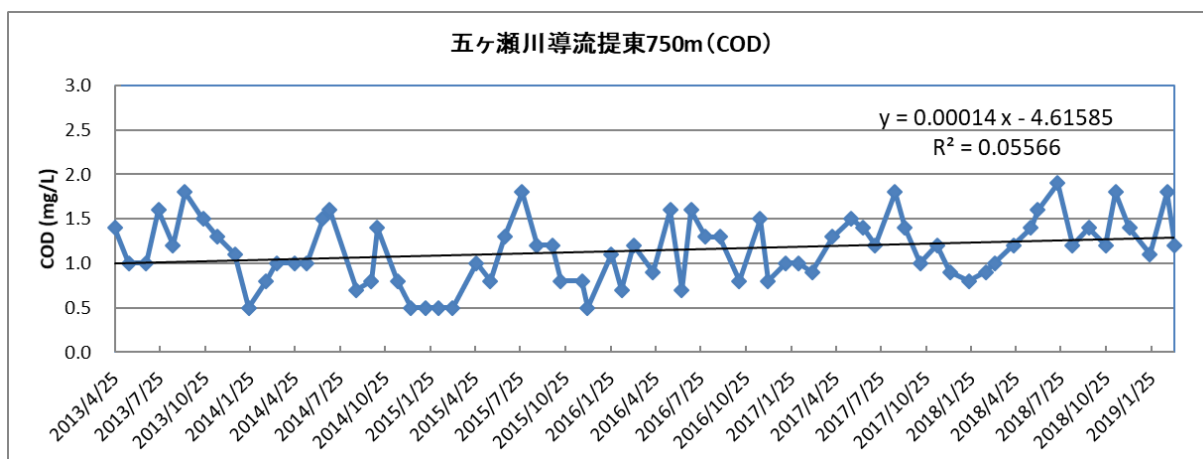


図 8 五ヶ瀬川導流堤東 750m の H25～H30 年度の COD

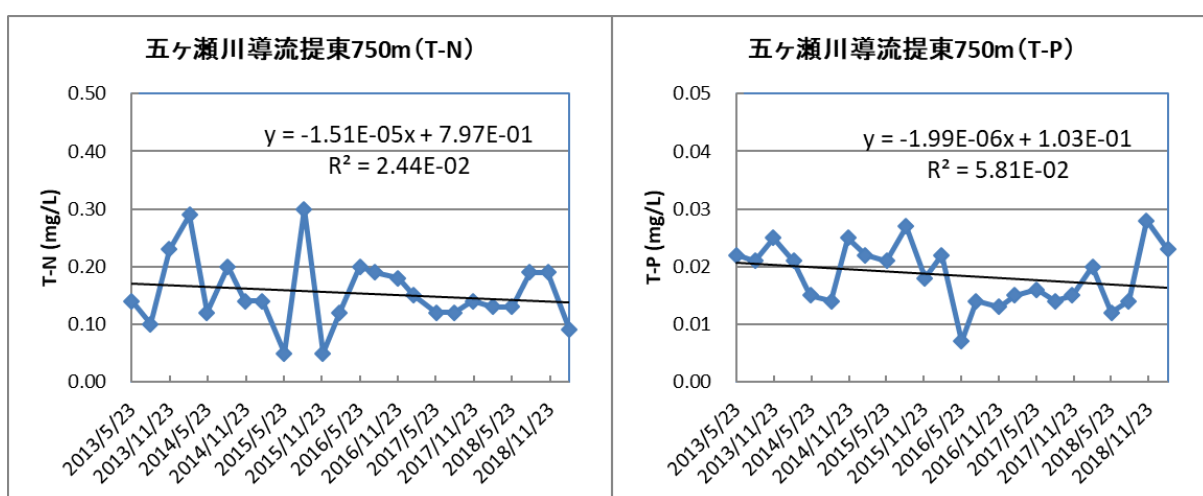


図 9 五ヶ瀬川導流堤東 750m の H25～H30 年度の全窒素及び全りん

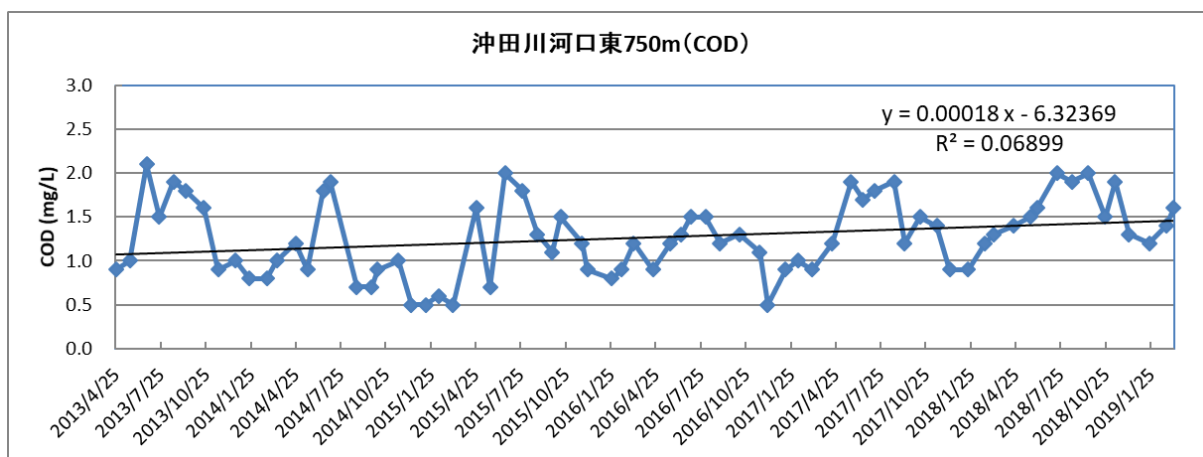


図 10 沖田川河口東 750m の H25～H30 年度の COD

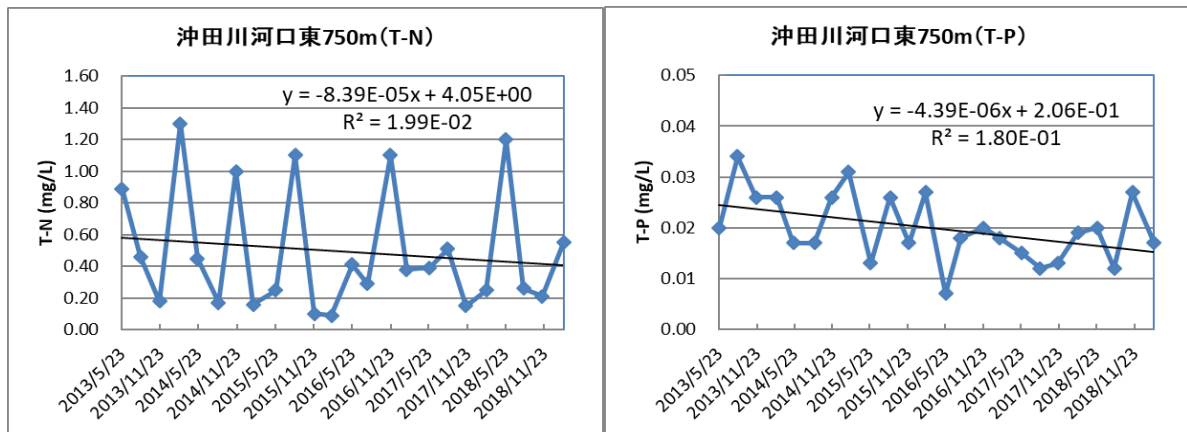


図 11 沖田川河口東 750m の H25～H30 年度の全窒素及び全りん

一方、栄養塩類の指標として解析した全窒素及び全りんについては、2 地点とも調査時期による変動は大きいですが、変動には季節による明確な違いはみられなかった。これは、2 地点ともに各流入河川による影響を強く受けているためではないかと考えられた。

4. まとめ

- ・五ヶ瀬川導流堤東 750m 及び沖田川河口東 750m の 2 地点において、平成 29 年度から令和元年度の夏季と冬季に採水・分析を行った。Chl a の分析値から、夏季に限らず冬季でも植物プランクトン増殖が認められた。栄養塩類濃度について、窒素濃度については沖田川河口東 750m の方が高い値となる傾向がみられた。栄養塩類に占める溶存性成分の割合については、変動が大きく一定の傾向の把握は困難であったが、DTN 中の DIN の割合は総じて沖田川河口東 750m 地点の方が高い傾向にあった。
- ・平成 30 年度および令和元年度の夏季検水について有機態窒素分解試験を行ったが、Chl a が少なく、DON も少なかったためか、2 地点とも DIN への分解は進まなかった。
- ・上記 2 地点について、過去の常時監視結果のデータを解析し、貧酸素水塊は発生していないことを確認した。また、COD に上昇の兆候がみられた。COD については、夏季の方が冬季より高くなる傾向がみられた。

5. 参考

- 1) II 型共同研究報告書（2020）「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目（第 3 報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」（国立環境研究所）
- 2) 宮崎県環境白書，平成 30 年（2018 年）版等
- 3) 牧秀明他：環境部局による海域の調査研究の在り方について，第 42 回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集，2015
- 4) 宮崎県衛生環境研究所年報 第 25 号(平成 25 年度)p65～p68「沖田川における河川環境調査“植物性プランクトンの分布と汚濁指標の関係”」
- 5) II 型共同研究報告書（平成 26～28 年度）「宮崎県沿岸海域における COD、栄養塩類等について」（宮崎県衛生環境研究所）

鹿児島湾湾奥部におけるCOD関連項目、栄養塩類、下層DOについて

鹿児島県環境保健センター

右田 裕二

米澤 里奈

山道 哲洋

前畑 健太

桑原 庸輔

1 はじめに

鹿児島県は昭和54年5月に鹿児島湾ブルー計画（鹿児島湾水質環境管理計画）を策定し、以来、各種の環境保全対策を講じている。しかし、特に湾奥部は閉鎖性が高いため夏季には環境基準値を上回るCODが測定されることが多く、また、赤潮や貧酸素水塊の発生も毎年報告されている¹⁾。

そこで、湾奥部の水質状況を把握することを目的として、国立環境研究所との共同研究（Ⅱ型）に参加している。前課題²⁾に引き続き、公共用水域常時監視地点においてCOD関連項目、栄養塩類の測定を行い、また、多項目水質計による現地測定を実施したので、これらの結果について報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点

調査地点を図1に示す。調査地点は湾奥沿岸部の基準点1（水深約107 m）、基準点2（水深約109 m）とした。基準点1は湾の最も奥であり垂水市牛根沖に位置し、基準点2は湾奥部で最も流量の多い天降川河口沖に位置する地点である。2地点ともA類型に指定され、COD環境基準 2.0 mg/L以下が設定されている。

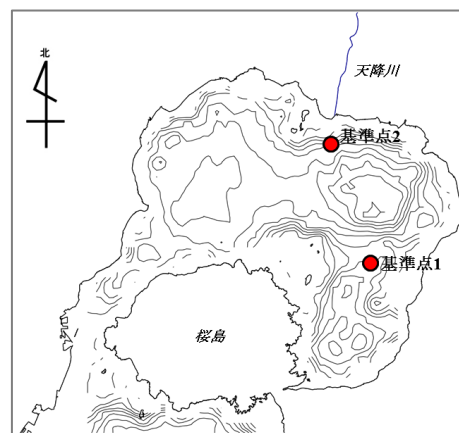


図1 調査地点

国土地理院「国土数値情報」、
日本海洋データセンター「500 m
メッシュ水深データ」より作成

2.2 調査項目

2.2.1 COD関連項目

海域版BOD、COD、溶存態COD（D-COD）、溶存態有機炭素（DOC）、懸濁態有機炭素（POC）、クロロフィルa（Chl-a）を測定した。

なお、CODからD-CODを差し引いたものを懸濁態COD（P-COD）とし、DOCとPOCの合計を全有機炭素（TOC）とした。

2.2.2 栄養塩類

硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）、亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、溶存態全窒素（DTN）、りん酸態りん（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）、溶存態全りん（DTP）を測定し、また、栄養塩類としてシリカ（ SiO_2 ）の測定も行った。

なお、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計を溶存態無機窒素（DIN）とし、りん酸態りん（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）を溶存態無機りん（DIP）とした。

2.2.3 多項目水質計

塩分、水温、溶存酸素（DO）、Chl-aの鉛直測定を行った。

2.3 調査時期、対象データ

COD関連項目、栄養塩類の測定期間は2011～2019年度である。採水層は、基準点1、2ともに表層（0.5 m）及び下層であり、2013年度までは下層を100 mとし、2014年度以降は下層を90 mとして調査を行っている。

調査は年2回行い、2011、2012年度は8月及び12月、2013年度は9月及び12月、2014年度は11月及び1月、2015～2019年度は9月及び1月に採水を行った。8月、9月を夏季データ、12月、1月を冬季データとし、項目毎に平均値を算出し、表1から4に示した。なお、2014年度11月のデータは、今回の報告から除外している。

なお、海域版BODについては2015年度から実施し、項目によっては欠測、未測定年度がある。

多項目水質計については、基準点2のデータを対象とした。2017年度から2ヶ月毎（奇数月）に測定しているが、2017年度9月、1月が欠測となったため、2018、2019年度のデータについて報告する。

2. 4 分析方法

COD関連項目（海域版BODを除く）、栄養塩類は、あらかじめ450℃で4時間焼成処理したガラス繊維フィルターGF/Cを用いて500 mL程度の採水試料をろ過し、得られたろ液をD-COD、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、PO₄-P、SiO₂測定用とした。同様に1L程度ろ過したフィルターをChl-a測定用とした。これらのろ過試料、フィルター試料と、未ろ過のCOD測定用試料は冷凍保管して国立環境研究所へ送付し、Ⅱ型共同研究報告書「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類とCODに関連する有機物項目（第3報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較」（国立環境研究所）に記載された方法で分析した。

海域版BODは当センターで分析を行った。海域版BODにおけるDOは、ヨウ素滴定法により測定した。まず、採水試料の水温を20℃に調整して1時間の曝気を行い、曝気後、5個の300 mLフラン瓶に分注したものを検体とした。その後、1検体は分注直後にDOの測定を行い、その他の4検体は20℃の恒温槽に静置（暗条件）し、それぞれ3、5、7、14日後に溶存酸素の固定を行った。なお、溶存酸素を固定した検体は水中に保管しておき、14日後以降にまとめてDOを測定した。本報告では3日後のBODを採用している。

多項目水質計（Hach Hydrolab, DS5）による塩分、水温、DO、Chl-aの測定は、船上から海中に垂下して表層から海底まで、5秒毎に1～2 m間隔で行った。

3 結果及び考察

3. 1 COD関連項目

COD関連項目について、表層（0.5 m）の測定結果を表1に示す。夏季、冬季を比較すると、Chl-aはばらつきが大きいものの、各項目のいずれも夏季の方が高い傾向があった。

夏季CODに対するD-CODの割合は、基準点1が82%、基準点2が77%であり、夏季TOCに対するDOCの割合は、基準点1が80%、基準点2が76%であり、溶存態が大部分を占めていた。

表1 COD関連項目の測定結果（表層）

		下段はn数、括弧は標準偏差 単位：mg/L（Chl-aはμg/L）							
地点名	時季	BOD	COD	D-COD	P-COD	TOC	DOC	POC	Chl-a
基準点1	夏季	0.78	2.64	2.17	0.47	1.86	1.49	0.34	1.96
		5,(0.17)	6,(0.53)	6,(0.39)	6,(0.29)	7,(0.47)	8,(0.33)	7,(0.18)	8,(1.40)
	冬季	0.27	1.52	1.15	0.37	1.16	0.97	0.18	1.66
		5,(0.08)	7,(0.65)	7,(0.19)	7,(0.56)	7,(0.26)	9,(0.19)	7,(0.09)	9,(1.44)
基準点2	夏季	0.66	2.51	1.95	0.56	1.58	1.21	0.39	1.67
		5,(0.25)	7,(0.76)	7,(0.52)	7,(0.47)	7,(0.49)	8,(0.38)	7,(0.24)	8,(1.23)
	冬季	0.29	1.33	1.18	0.15	1.02	0.82	0.19	1.21
		5,(0.11)	8,(0.18)	8,(0.17)	8,(0.14)	7,(0.23)	9,(0.18)	7,(0.06)	9,(0.98)

また、冬季CODに対するD-CODの割合は、基準点1が75%、基準点2が88%であり、冬季TOCに対するDOCの割合は、基準点1が83%、基準点2が80%であり、夏季同様、溶存態が大部分を占めていた。

図2にBOD、CODの夏季表層における比較を示す。BODは3日で分解される易分解性の有機物を反映していると考えられる。一方、CODは易分解性有機物に加え、難分解性有機物や還元性物質等を反映していると考えられ、BODよりも高い値となっていた。地点間を比較すると、基準点1と基準点2の各項目の値に大きな差はないものの、基準点2は低い傾向を示した。

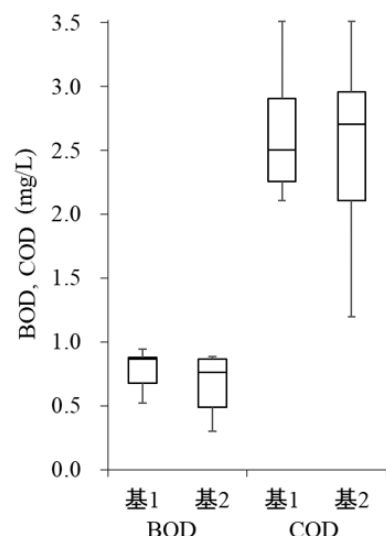


図2 BOD、COD 比較（夏季表層）

箱ひげ図の中央の線は中央値、箱の上端は第3四分位、下端は第1四分位を示す。ひげは最大値、最小値を示す。

図3-1、図3-2に両地点における各項目間の関係を示した。図3-1よりBOD、CODとTOCは正の相関が見られ、BODとTOC ($r=0.883$) は、CODとTOC ($r=0.776$) に比べ強い相関があった。また、いずれの項目においても夏季に高い値となった。

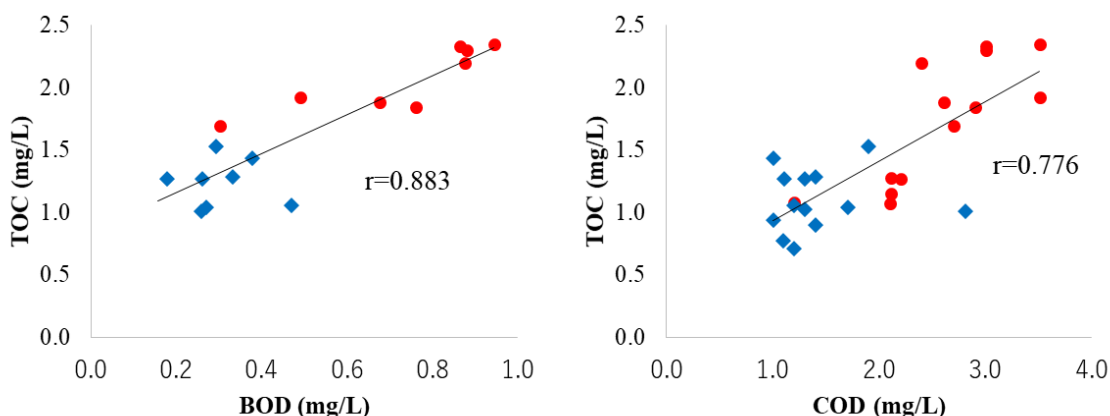


図3-1 BOD、CODとTOCの関係（凡例：○夏季、◇冬季）

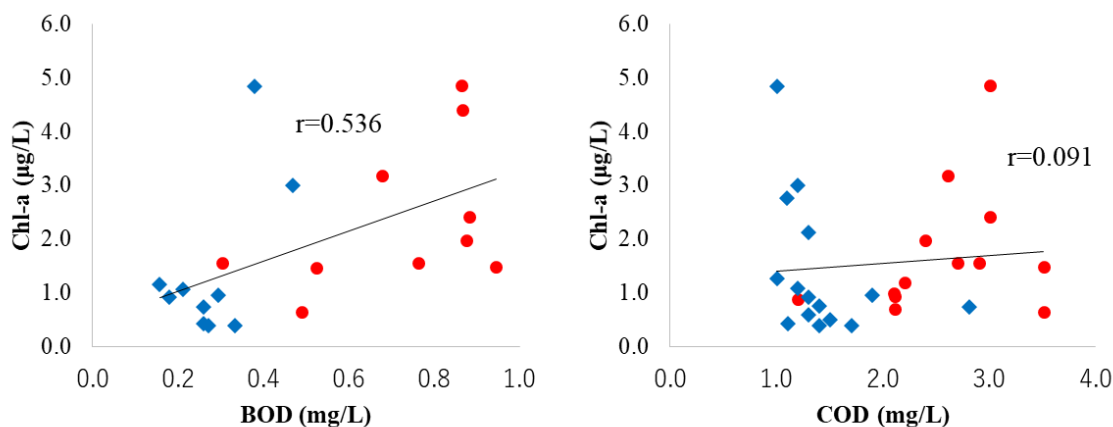


図3-2 BOD、CODとChl-aの関係（凡例：○夏季、◇冬季）

前課題²⁾において一部の海域ではBODとChl-aに正の相関が報告されており、鹿児島湾においても図3-2のとおり相関($r=0.536$)が見られた。CODとChl-aについては、CODの値が低い冬季においてもChl-aが高い値となることがあり、逆に、CODが高い夏季にChl-aが低い値となることがあり、相関は見られなかった。

下層（水深90 m層、100 m層）の測定結果を表2に示す。下層では地点間、季節間の差異はなく低い値となるが、COD、TOCは一定の値を示している。

夏季CODに対するD-CODの割合は、基準点1が79%、基準点2が90%であり、夏季TOCに対するDOCの割合は、基準点1が86%、基準点2が84%であった。また、冬季CODに対するD-CODの割合は、基準点1が81%、基準点2が85%であり、冬季TOCに対するDOCの割合は、基準点1が70%、基準点2が85%であり、表層と同様、季節を問わず溶存態が大部分を占めていた。

表2 COD関連項目の測定結果（下層）

		下段はn数、括弧は標準偏差 単位：mg/L（Chl-aはμg/L）							
地点名	時季	BOD	COD	D-COD	P-COD	TOC	DOC	POC	Chl-a
基準点1	夏季	0.25	1.44	1.15	0.28	1.15	0.99	0.15	0.14
		5,(0.06)	6,(0.32)	6,(0.30)	6,(0.25)	7,(0.30)	8,(0.27)	7,(0.08)	8,(0.08)
	冬季	0.28	1.53	1.25	0.28	1.34	0.95	0.39	0.35
		5,(0.12)	8,(0.46)	8,(0.45)	8,(0.33)	7,(0.63)	9,(0.16)	7,(0.57)	9,(0.15)
基準点2	夏季	0.29	1.49	1.35	0.14	1.19	1.00	0.15	0.14
		5,(0.08)	7,(0.27)	7,(0.30)	7,(0.14)	7,(0.28)	8,(0.24)	7,(0.07)	8,(0.08)
	冬季	0.17	1.20	1.03	0.18	1.14	0.98	0.13	0.24
		5,(0.11)	8,(0.21)	8,(0.32)	8,(0.17)	7,(0.45)	9,(0.36)	7,(0.05)	9,(0.15)

3. 2 栄養塩類

栄養塩類について、表層（0.5 m）の測定結果を表3に示す。夏季、冬季を比較すると、基準点2のSiO₂を除いて夏季の方が低い傾向であった。夏季は栄養塩類を取り込む内部生産が多くなるため、冬季と比べて低くなると考えられる。地点間を比較すると、天降川からの外部負荷により基準点2が高い値になったと考えられる。

表3 栄養塩類の測定結果（表層）

夏季はn=8、冬季はn=9、下段の括弧は標準偏差
単位：mg/L

地点名	時季	DIN	DTN	DIP	DTP	SiO ₂
基準点1	夏季	0.003	0.245	0.001	0.013	0.52
		(0.006)	(0.131)	(0.001)	(0.010)	(0.42)
	冬季	0.113	0.290	0.023	0.033	1.609
		(0.025)	(0.143)	(0.005)	(0.016)	(0.406)
基準点2	夏季	0.350	0.548	0.015	0.027	19.02
		(0.366)	(0.260)	(0.017)	(0.014)	(18.73)
	冬季	0.394	0.699	0.030	0.043	17.09
		(0.188)	(0.557)	(0.006)	(0.025)	(12.40)

夏季DTNに対するDINの割合は、基準点1が1.2%、基準点2が63%であり、冬季はそれぞれ38%、56%となった。夏季DTPに対するDIPの割合は、基準点1が7.6%、基準点2が55%であり、冬季はいずれの地点も69%となった。夏季の基準点1は、溶存態の有機態窒素、りんがほとんどであり、栄養塩類は低い値であった。

図4-1、4-2に基準点1、2それぞれの表層における栄養塩類等の関係を示した。DINとDIP、 SiO_2 の関係についてはそれぞれ正の相関 ($r=0.993$, 0.866) が見られ、3成分は同時に増減していることがわかる。また、DINとChl-a、BODの関係については、内部生産が活発な夏季に栄養塩類が減少することから、負の相関が見られると考えられる。特に基準点1については、DINとBODに負の相関 ($r=-0.882$) が見られた。BODが内部生産を反映しているためと思われるが、今後もデータの蓄積が必要である。

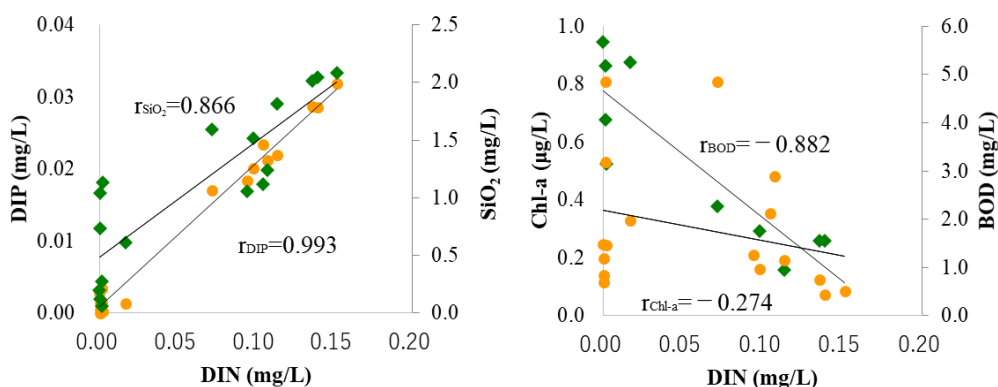


図4-1 DINとDIP、 SiO_2 、Chl-a、BODの関係（基準点1，表層）

凡例：（左）○DIP，◇ SiO_2 （右）○Chl-a，◇BOD

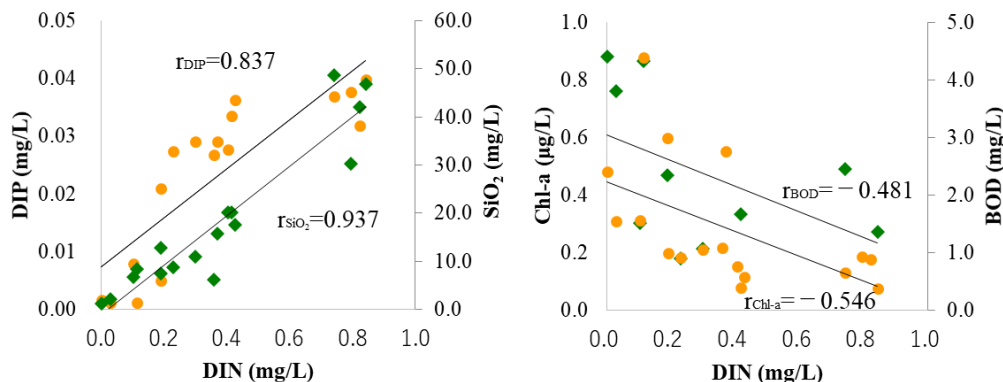


図4-2 DINとDIP、 SiO_2 、Chl-a、BODの関係（基準点2，表層）

凡例：（左）○DIP，◇ SiO_2 （右）○Chl-a，◇BOD

栄養塩類について、下層（水深90 m層，100 m層）の測定結果を表3に示す。下層では地点間の差異はなく栄養塩類は高い値となっており、年間を通して下層には豊富な栄養塩が存在していることがわかる。

夏季DTNに対するDINの割合は、基準点1が48%、基準点2が47%であり、冬季はいずれの地点も43%となった。夏季DTPに対するDIPの割合は、基準点1が77%、基準点2が76%であり、冬季はそれぞれ76%、75%となった。窒素については、いずれの季節も有機態窒素がやや多かった。一方りんについては、無機態りんが大部分を占めていた。

表4 栄養塩類の測定結果（下層）

夏季はn=8, 冬季はn=9, 下段の括弧は標準偏差

単位：mg/L

地点名	時季	DIN	DTN	DIP	DTP	SiO ₂
基準点1	夏季	0.191	0.391	0.042	0.054	2.88
		(0.010)	(0.153)	(0.003)	(0.019)	(0.27)
	冬季	0.171	0.395	0.040	0.052	2.61
		(0.025)	(0.210)	(0.009)	(0.016)	(0.45)
基準点2	夏季	0.193	0.405	0.040	0.052	2.74
		(0.018)	(0.142)	(0.004)	(0.020)	(0.34)
	冬季	0.180	0.417	0.041	0.054	2.72
		(0.018)	(0.245)	(0.007)	(0.021)	(0.36)

3. 3 水温、塩分、DO、Chl-a（多項目水質計）

基準点2における水温、塩分、DO、Chl-aの鉛直測定結果を図5に示す。夏季の水温は16.4～28.2℃、塩分は30.4～34.0、DOは3.17～7.12 mg/Lであった。水温は表層から下層まで緩やかに低下し、塩分は上昇していた。DOは、2018年9月に35 m層で3.5 mg/L、2019年9月に23 m層で4.1 mg/Lとなり、2018年は比較的浅い層でも4 mg/Lを下回る貧酸素水塊が確認された。Chl-aは、2018年、2019年いずれも10 m層が極大となり、光合成が活発に行われていると考えられる。DO及びChl-aの結果より、20～30 m層におけるDOの低下は、植物プランクトンの呼吸や微生物による有機物の呼吸分解によって酸素消費が卓越しているためと考えられる。

冬季は夏季の躍層が崩れ、鉛直循環が下層付近まで進む。水温及び塩分については、2019年1月に82 m層まで水温17.8℃、塩分33.5、2020年1月に63 m層まで水温18.6℃、塩分33.6の混合層（水塊）となっていた。Chl-aは、夏季に比較すると、混合層に一樣に分布していた。DOについては、混合層以深において貧酸素水塊が形成され、底層では2019年1月に1.9 mg/L、2020年1月に2.9 mg/Lまで低下していた。また、通年のDO状況を確認するため、図6に基準点2の20 m層、90 m層、100 m層におけるDOの経月変化を示す。例年3月までの全層循環により冬季の貧酸素水塊は解消されるが、春から秋にかけてDOが低下し、20 m層は9月頃に約4 mg/L、90 m層、100 m層は11月頃に約3 mg/Lまで低下していた。

4 まとめ

- COD関連項目は夏季の表層が高く、植物プランクトンによる内部生産の影響と考えられる。前課題²⁾において一部の海域ではBODとChl-aの相関が報告されており、鹿児島湾においても相関が見られた。BODについては、今後もデータの蓄積が必要である。
- 栄養塩類は、表層において、夏季に内部生産による枯渇、冬季に下層から豊富な栄養塩類の供給があると考えられる。基準点2においては、天降川からの河川水の影響により、夏季でも栄養塩が高い数値を示した。また、栄養塩であるDINと易分解性有機物を反映すると思われるBODの負の相関がみられた。
- 多項目水質計により、夏季と冬季の水塊構造を確認することが出来た。基準点2において、9月はChl-a極大層の下に、1月は鉛直循環による混合層以深に貧酸素水塊（4 mg/L以下）が生じていた。

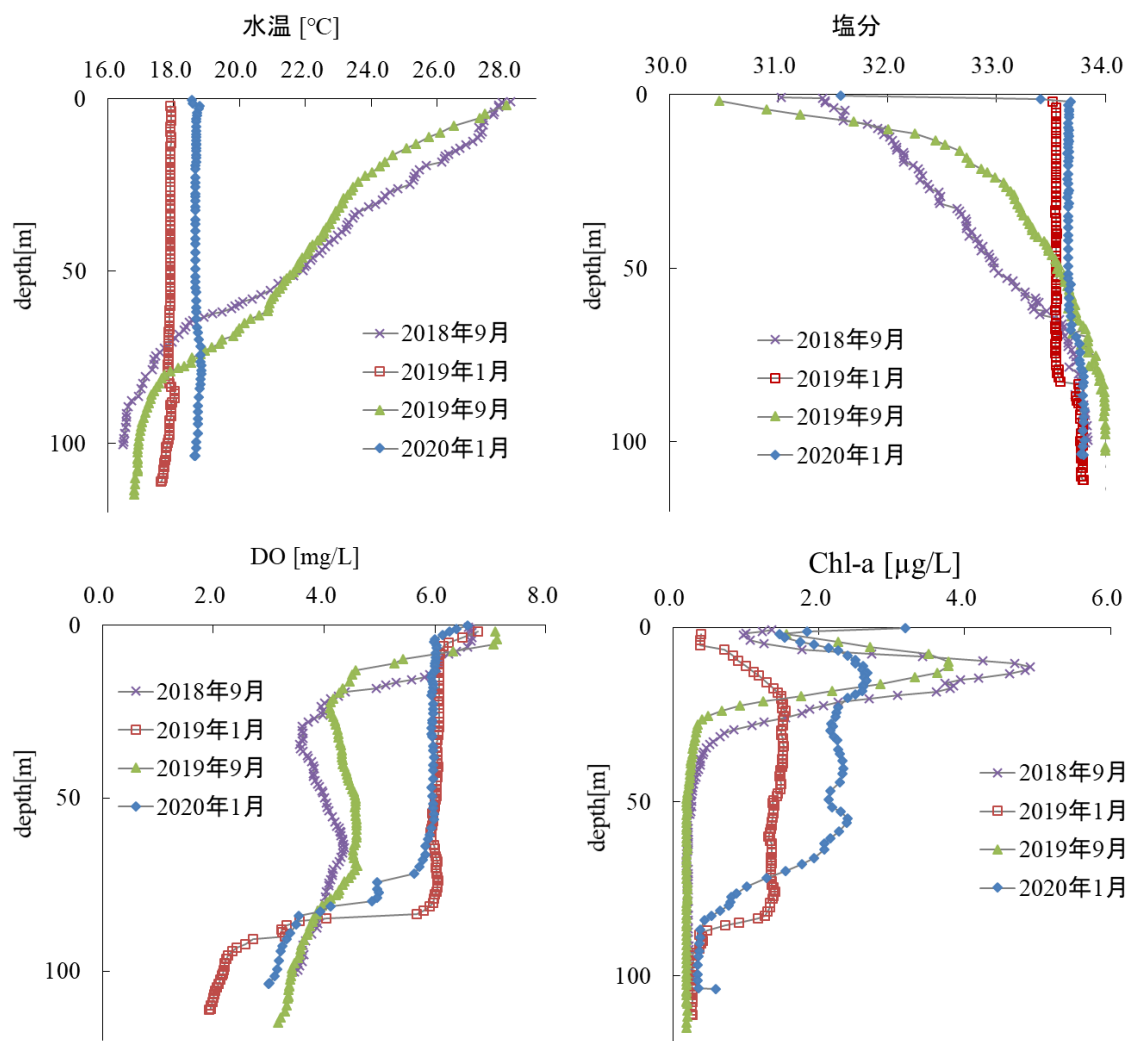


図5 水温，塩分，DO，Chl-aの鉛直測定結果（基準点2）

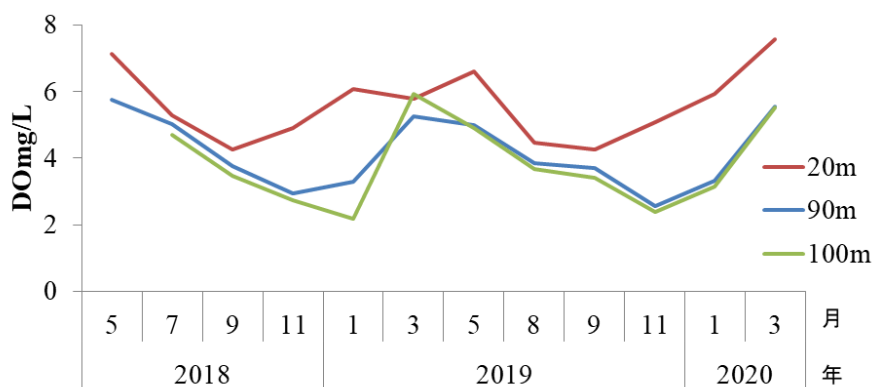


図6 20 m層，90 m層，100 m層のDO経月変化（基準点2）

※2019年は7月測定が8月に延期となった。2018年5月は100 m層データなし。

参考文献

- 1) 鹿児島県水産技術開発センター；赤潮情報，<http://suigi.jp/akashio/newHP/info.html>
- 2) II型共同研究報告書「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」（2017）

資 料

1. 研究実施組織

課題代表者

千葉県環境研究センター	飯村 晃 (※平成 30 年度まで)
広島県立総合技術研究所 保健環境センター	小田新一郎 (※令和元年度から)
国立研究開発法人 国立環境研究所	牧 秀明

参加機関および参加者

宮城県保健環境センター	下道翔平、藤原成明、佐藤優、福地信一
山形県環境科学研究所	小林幹彦、平塚達也
新潟県保健環境科学研究所	松崎彩実、齋藤辰善、昆信芳、棚橋成一、小林智裕
	室岡直弥、大野峻史、小川一郎、旗本尚樹
新潟市衛生環境研究所	藤田裕美、池乗敬昭、松田哲明
千葉県環境研究センター	横山智子、星野武司、丹澤貴大、横山新紀
	行方真優、半野勝正、飯村晃
財団法人 東京都環境整備公社 東京都環境科学研究所	安藤晴夫、増田龍彦、橋本旬也、石井裕一
静岡県環境衛生科学研究所	山本佳奈恵、山内悟
富山県環境科学センター	中易佑平、藤島裕典、齋藤悠悟
石川県保健環境センター	前田空人、堅田勉、原田由美子
	安田能生弘、秋澤久美子
京都府保健環境研究所	野口裕子、中居千和、田中豊稔、大脇成義、下村公隆
地方独立行政法人 大阪府環境農林水産総合研究所	近藤健、河田育子、栢原博幸、中村茂行、小野純子
公益財団法人 ひょうご環境創造協会 兵庫県環境研究センター	宮崎一、松林雅之
広島県立総合技術研究所 保健環境センター	小田新一郎、後田俊直、濱脇亮次
徳島県立保健製薬環境センター	酒池遼、浅川愛、小川恭右、管生伸矢
高知県衛生環境研究所	笹岡尚矢、藤原若菜、細井健太郎
	刈谷玲菜、古田和美、大森真貴子
福岡市保健環境研究所	山崎亜弓、益尾実希、小林斎哉、上尾一之
長崎県環境保健研究センター	本多洋幸、粕谷智之
宮崎県衛生環境研究所	寺崎三季、中村公生、有簾真奈美
	島田玲子、赤崎いづみ
鹿児島県環境保健センター	右田裕二

2. 成果発表

2.1 誌上発表

1. 谷玲菜、田嶋誠（2016）浦ノ内湾における底層 DO の測定結果と COD に関連する有機物指標について 高知県環境研究センター所報 第 33 号、p89-99.
2. 橋本旬也、石井裕一、安藤晴夫、木瀬晴美、櫛島智恵子（2017）東京都海域環境基準点 St.6 における底層の貧酸素化と水質鉛直分布について、東京都環境科学研究所年報、p60-61.
3. 安藤晴夫、櫛島智恵子、橋本旬也、石井裕一（2017）東京都内湾における赤潮プランクトン出現状況の推移、東京都環境科学研究所年報、p62-63.
4. 松田哲明、真田和衛、藤田裕美、立川正幸（2017）新潟市沿岸海域における水質の現状と汚濁調査について 平成 28 年度 新潟市衛生環境研究所年報（調査研究編）第 41 号、p65-75.
5. 管生伸矢・山本昇司・岩佐博司（2017）徳島沿岸海域における COD 関連項目の現状と傾向 徳島県立保健製薬環境センター年報 No.7、p32-36.
6. 右田裕二、靱憲弘、宮元誠、牛垣里奈、大庭大輔（2017）鹿児島湾湾奥部における水質調査結果について 鹿児島県環境保健センター所報 第 18 号、p91-95.
7. 新田千穂、谷口勝彦、上尾一之（2017）博多湾における貧酸素水塊及び栄養塩類等に関する実態調査 福岡市保健環境研究所報（第 42 号）p70-82.
8. 中居千和、多田哲子、牧秀明、一二三純子、北野隆一、武田真由美、田中豊稔、木南敬之（2017）阿蘇海における酸素消費と貧酸素水塊の形成について 京都府保健環境研究所年報第 62 号、p42-47.
9. 中村公正（2017）宮崎県沿岸海域における COD に関連する有機物指標と栄養塩類等について 宮崎県衛生環境研究所年報 No.28、p77-83.
10. 池乗敬昭、松田哲明、藤田裕美（2018）新潟市海域における水質汚濁要因調査 平成 29 年度新潟市衛生環境研究所年報（調査研究編）第 42 号、p72-87.
11. 山本佳奈恵（2019）浜名湖の溶存酸素量を調べています. 静岡県環境衛生科学研究所環衛レポート No.60、p10-12.
12. 濱脇亮次、小田新一郎、後田俊直（2019）ナフチルエチレンジアミン吸光光度法による海水試料の全窒素測定法：広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告 第 27 号（2019 年 12 月）p.29-34.
13. 山本佳奈恵（2019）溶存酸素量から探る浜名湖の水環境 環境保全協会会報誌 Vol.112、p35.
14. 藤田裕美、松田哲明、池乗敬昭（2019）新潟市沿岸海域における水質汚濁要因調査 平成 30 年新潟市衛生環境研究所年報（調査研究編）第 43 号 p57-72.
15. 横山智子、丹澤貴大、星野武司、飯村晃（2019）東京湾の青潮発生状況－2018 年度－千葉県環境研究センター年報第 18 号 p117-118.
16. 右田裕二、米澤里奈、山道哲洋、前畑健太、桑原庸輔（2019）鹿児島湾湾奥部における

- 海域版 BOD について 鹿児島県環境保健センター所報 第 20 号(通巻 55 号) p71-74.
17. 山崎亜弓、益尾実希、小林斎哉 (2019) 博多湾沿岸域における貧酸素水塊に関する調査
福岡市保健環境研究所報 (第 44 号) p77-83.

2.2 学会・集会等における口頭・ポスター発表

1. 刈谷玲菜 (2017) 浦ノ内湾における底層 DO の測定結果と COD に関連する有機物指標について 平成 29 年度高知県環境研究センター調査研究等発表会
2. 右田裕二 (2017) 鹿児島湾湾奥部における水質調査結果について 平成 29 年度鹿児島県環境・保健衛生研究発表会
3. 中居千和 (2017) 京都府の閉鎖性海域における水質調査 平成 29 年度保健環境研究所調査研究等発表会
4. 昆信芳 (2017) 新潟県北部沿岸海域における COD 漸増傾向の要因解明に向けた取組について 第 43 回全国環境研協議会北海道・東北支部研究連絡会議
5. 中村公正 (2018) 宮崎県沿岸海域における COD に関連する有機物指標と栄養塩類等について 平成 29 年度衛生環境研究所研究成果発表会 発表抄録集 : p13-14.
6. 濱脇亮次、小田新一郎、後田俊直 (2018) 広島湾沿岸海域における有機物指標の季節変動について、第 52 回日本水環境学会年会講演要旨集 p519.
7. 牧秀明、飯村晃 (2018) 沿岸海域水環境に関する地方環境研究所との共同研究、第 52 回日本水環境学会年会講演要旨集 p400.
8. 橋本旬也、石井裕一、櫛島智恵子、安藤晴夫、木瀬晴美、田部一憲 (2018) 東京港内における流況と貧酸素水塊との関係について、第 52 回日本水環境学会年会講演要旨集、p509.
9. 安藤晴夫、橋本旬也、石井裕一、櫛島智恵子 (2018) 東京湾海水中的の水質汚濁物質現存量の長期変化、第 52 回日本水環境学会年会講演要旨集、p511.
10. 石井裕一、橋本旬也、安藤晴夫、櫛島智恵子、田部一憲、木瀬晴美 (2018) 東京湾における水深別酸素消費速度の測定、第 52 回日本水環境学会年会講演要旨集、p524.
11. 近藤健 (2018) 海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究 (ポスター発表) 発表会合 : 農水研シンポジウム 2018
12. 本多洋幸 (2018) 長崎県大村湾湾奥部における化学的酸素要求量 (COD) 関連物質の特性について、第 44 回九州衛生環境技術協議会 水質分科会
13. 安藤晴夫、橋本旬也、石井裕一、牧秀明 (2018) 東京湾における底層 DO の近年の変化について、海洋学会 2018 年度秋季大会講演要旨集、p43.
14. 齋藤辰善 (2018) 国立環境研究所との II 型共同研究「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究」新潟県保健環境科学研究所拡大所内セミナー
15. 牧秀明、金谷弦、東博紀、越川海、中村泰男 (2018) 東京湾奥部における水柱中有機炭素分解と底質酸素消費、第四回海洋環境研究発表集会同講演要旨集

16. 近藤健（2019）沿岸海域環境の物質循環把握と変遷解析に関する研究、第 33 回全国環境研協議会東海・近畿・北陸支部研究会
17. 宮崎一（2019）尼崎港人工干潟における DO(溶存酸素量)の変動（ポスター発表）第 53 回水環境学会年会要旨集 p467.
18. 本多洋幸（2019）長崎県大村湾湾奥部における化学的酸素要求量（COD）関連物質の特性について、長崎県環境保健研究センター平成 30 年度研究発表会
19. 濱脇亮次、小田新一郎、後田俊直（2019）ナフチルエチレンジアミン吸光光度法による海水試料の全窒素分析について、第 53 回日本水環境学会年会講演要旨集 p574.
20. 安藤晴夫（2019）東京湾の今 2019 年度東京都中央区総合環境講座
21. 山本佳奈恵、石川裕子、菅谷則子、田村隆志、内山道春、山内悟、牧秀明（2019）守ろう水生生物！知っておきたい溶存酸素量のこと～浜名湖編～ 第 30 回静岡県環境衛生科学研究所業務研究発表会
22. 山本佳奈恵（2019）浜名湖の溶存酸素量の状況 全国環境研協議会関東甲信静支部水質専門部会
23. 山本佳奈恵、牧秀明（2019）常時監視データから探る浜名湖の水環境 令和元年度日本水環境学会中部支部研究発表会（ポスター発表）要旨集 p5.
24. 山本佳奈恵、牧秀明（2019）浜名湖における溶存酸素量の経年推移 第 28 回浜名湖をめぐる研究者の会（ポスター発表）要旨集 p1.
25. 山本佳奈恵、石川裕子、田村隆志、山内悟、牧秀明（2019）浜名湖における貧酸素水塊と水質の変動 第 56 回静岡県公衆衛生研究会 抄録集 4-28.
26. 右田裕二（2019）鹿児島湾湾奥部における海域版 BOD について 令和元年度鹿児島県環境・保健衛生研究発表会
27. Ando H., Kashiwagi N., Ishii Y., Maki H. (2019) Long-term change in the state of water pollution in Tokyo Bay: Tokyo Bay, trend analysis, COD, nutrients and hypoxia, International symposium on coastal ecosystem change in Asia: hypoxia, eutrophication, and nutrient conditions（招待講演）La Mer, 愛媛大学
28. 安藤晴夫、橋本旬也、石井裕一、齋藤由美、木瀬晴美、牧秀明（2020）東京都内湾における水質の鉛直分布について 第 54 水環境学会年会（ポスター発表）講演要旨集 p471.
29. 山本佳奈恵、牧秀明（2020）浜名湖の水環境の 38 年間の変化 第 54 回水環境学会年会（ポスター発表）講演要旨集 p472.
30. 濱脇亮次、小田新一郎、後田俊直（2020）広島湾における溶存性有機態窒素の分解特性 第 54 回水環境学会年会（ポスター発表）講演要旨集 p475.

2.3 各自治体や関係機関に対する情報提供や貢献、マスメディア等その他の発表

1. 平成 30 年度「博多湾環境保全計画推進委員会」（福岡市）への資料提供（福岡市保健環境研究所）
2. 山形県の日本海沿岸海域における水質の把握、及び酒田港における COD 濃度上昇の

原因究明と、水質シミュレーションソフトを用いた酒田港の水質変化の将来予測へのデータ活用

3. 浜名湖観光地域づくり協議会、浜名湖地区水産振興協議会、水産業地域活性化研究会・静岡、浜名漁業協同組合、浜松市入野中学校、静岡放送へのデータ提供
4. 高知市環境部環境保全課との協議及び浦戸湾底層 DO 等のデータ提供
5. 兵庫県立龍野高等学校サイエンスⅡ（課題研究）中間発表会における助言