

(5) 富山湾の健全性に関する研究 (第 2 報)

藤島 裕典¹ 万尾 和恵¹ 井上 貴史¹ 鳥山 康成¹ 八木 麻子² 松村 航³ 飯田 直樹³

¹ 富山県環境科学センター

² 富山県農林水産総合技術センター 農業研究所

³ 富山県農林水産総合技術センター 水産研究所

1 はじめに

近年、富山湾では、COD（化学的酸素要求量：水中の有機物量から汚濁程度を示す指標）の環境基準を超過することがあり、必ずしも良好な水質とはいえない状況とされている。¹⁾しかしながら、COD を指標とする環境基準では、「水清くして、魚棲まず」を良しとしかねなく、海域の生物生産や生態系の健全性を示すことはできない。

この COD の環境基準は、上限のみが定められており、工場・生活排水からの有機汚濁負荷を水域から減少させることが目的だった時代には有効であったと考えられる。しかしながら、水中の有機物量はいわゆる有害物質とは異なり、海域の生物生産や生態系を維持するためには、必要不可欠なものであり、その存在量がゼロになればよいわけではない。

里山や里海といった場で人間活動と自然の調和が注目される現在、人間の活動を含めた適切かつ持続可能な物質循環を目指す必要がある。

そこで、本研究では環境科学センターと農林水産総合技術センター（農業研究所及び水産研究所）が共同で調査研究を実施し、富山湾の水質環境を海水に含まれる成分（有機物、栄養塩類）分析だけではなく、そこに生息する植物プランクトンや流入する河川の水質調査を行うことにより、富山湾の水質環境の良さ（健全性）を明らかにしたいと考える。

2 方法

2.1 栄養塩類、有機物及びプランクトン調査

2.1.1 調査地点

調査地点を図 1 及び図 2 に示す。海域の観測及び採水は水産研究所所属 漁業調査船「立山丸」及び栽培漁業調査船「はやつき」により行った。河川については、神通川上流は神通川第一ダムの表層水を採水し、河口は萩浦橋の橋上から河川中央付近の表層水を採水した。

- ① 海 域： 海域 st. 1（表層・水深 10 m 層）
海域 st. 2（表層・水深 10 m 層）
湾中央（表層）、湾口部（表層）
湾外部（表層）
- ② 河 川：神通川上流、神通川河口



図 1 調査地点



図2 調査地点

2.1.2 調査頻度

調査期間はH23年5月からH25年3月までで、隔月（5、7、9、11、1及び3月）で採水及び観測を行い、各調査項目の測定を行った。

2.1.3 測定方法

① 栄養塩類

栄養塩類については、以下に示す形態別窒素、形態別りん及びケイ素の濃度について測定した。

形態別窒素：全窒素 (TN)、溶存態全窒素 (D-TN)、アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)

亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$)

硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)

形態別りん：全りん (TP)、溶存態全りん (D-TP)、りん酸態りん ($\text{PO}_4\text{-P}$)

ケイ素：ケイ酸態ケイ素 ($\text{SiO}_2\text{-Si}$)

検体は孔径 $0.45\ \mu\text{m}$ のメンブランフィルター (Millex-HV, PVDF, Millipore) にてろ過を行った後、海洋観測指針 (気象庁) の 5・5・3 に定める方法に基づき測定を行った。測定には QuAAtro2-HR (BL-TEC) を用いた。

TN 及び TP についてはろ過を行わず、超音波で懸濁物を破碎処理した後測定した。

② 有機物

有機物については、化学的酸素要求量 (COD)、溶存態化学的酸素要求量 (D-COD)、全有機炭素 (TOC) 及び溶存態有機炭素 (DOC) の4項目について測定を行った。

CODはJIS K 0102 17に基づき測定した。TOCについてはろ過を行わず、超音波で懸濁物を破碎処理した後、TOC-V CSH (Shimadzu) を用いて高温燃焼酸化法でNPOC (不揮発性有機炭素) を測定した。

溶存態 (D-COD、DOC) については孔径 $0.7\ \mu\text{m}$ のガラス繊維フィルター (GF/F, Whatman) でろ過した後測定を行った。測定した。

③ 生物 (植物プランクトン)

生物については、クロロフィル a 濃度の測定及び植物プランクトンの計測を行った。

クロロフィル a 濃度は衛星海色データ校正・検証のための海洋観測指針のII蛍光法によるクロロフィル a の測定に定める方法に基づき測定した。

植物プランクトン組成については船上で固定処理をした後、委託業者が種の同定及び計数を行った。

2.2 溶存酸素の観測

2.2.1 調査地点

調査地点を図3に示す。溶存酸素 (DO) 濃度の観測は神通川河口海域の7地点で行った。これらの地点は富山湾の水質環境基準点である。



図3 調査地点 (DO)

表1 調査地点の概要

地点 番号	地点名 (富山県水質環境基準 準類型指定による)	水域名	水域 類型	水深 (m)
J-1	神通1	神通川 河口 海域	B	13
J-2	神通2		B	170
J-3	神通3		B	12
J-4	神通4		A	18
J-5	神通5		A	200
J-6	神通6		A	14
J-7	神通7	その他富山湾海域	A	320

2.2.2 調査頻度

調査期間はH23年5月からH25年3月までで、隔月(5、7、9、11、1及び3月)で観測を行った。富山湾における海域水質環境調査の採水と同時に観測を行った。

2.2.3 観測方法

観測にはAAQ1182s-PRO(JFEアレック)を用い溶存酸素濃度の鉛直プロファイルを観測した。

使用した測器のケーブル長は50mのため水深が50m以浅の地点では海底上1m付近まで、また、水深50m以深の地点では、観測可能な深さ(水深40m程度)まで観測した。

3 結果及び考察

3.1 栄養塩類、有機物及びプランクトン

3.1.1 栄養塩類

窒素系栄養塩類濃度の季節変化を図4に示す。また、りん酸態りん及びケイ酸態ケイ素濃度の季節変化を図5及び図6に示す。

栄養塩類濃度は測定を行った5つの成分いずれも、神通川河口及び河口に近い調査地点である海域st.1の表層で高い値を示し、これらの濃度はst.1、st.2から湾中央へと徐々に減少する傾向が多くみられた。また、st.1及びst.2におい

ては表層水において特に栄養塩類濃度が高い場合が多かった。

特にケイ酸態ケイ素濃度では、河川では海域に比べて非常に高い濃度であり、河口に近い地点の表層から遠い地点及び海域の深層へと濃度が低下していく傾向が顕著に見られた。

これらのことから、栄養塩類が陸域から河川を通して海域に供給されている割合が多く、海底や海洋生物の分解等から供給される栄養塩よりも、陸域からの影響が大きいことが予想される。

窒素系栄養塩類では、りん酸態りんやケイ酸態ケイ素に比べて、神通川上流から河口にかけて大きな濃度上昇が見られた。特にアンモニア態窒素濃度の上昇が顕著に見られる。このことは河川水が流下する間にアンモニアによる負荷を受けていることによると考えられる。

全窒素及び全りん濃度の季節変化を図7及び図8に示す。粒子態窒素(P-TN)濃度は全窒素(TN)及び溶存態全窒素(D-TN)を測定し、TN濃度からD-TN濃度を差し引きすることにより算出した。粒子態りん(P-TP)についても全りん(TP)及び溶存態全りん(D-TP)から濃度を求めた。

多くの場合、窒素及びりんの両方で溶存態の成分が主な成分であった。しかながら、窒素においてはH23年11月及びH24年7月に粒子態の成分が増加している。また、りんではH23年7月及びH24年7月に粒子態の成分の割合が上昇していた。

特にH24年7月の河川では非常に高い値を示した。これは降雨による水の濁りの影響が反映されたものと考えられる。また、海域においては植物プランクトンの増殖やその影響によるデトリタスの増加等が主な原因なのではないかと考えられる。

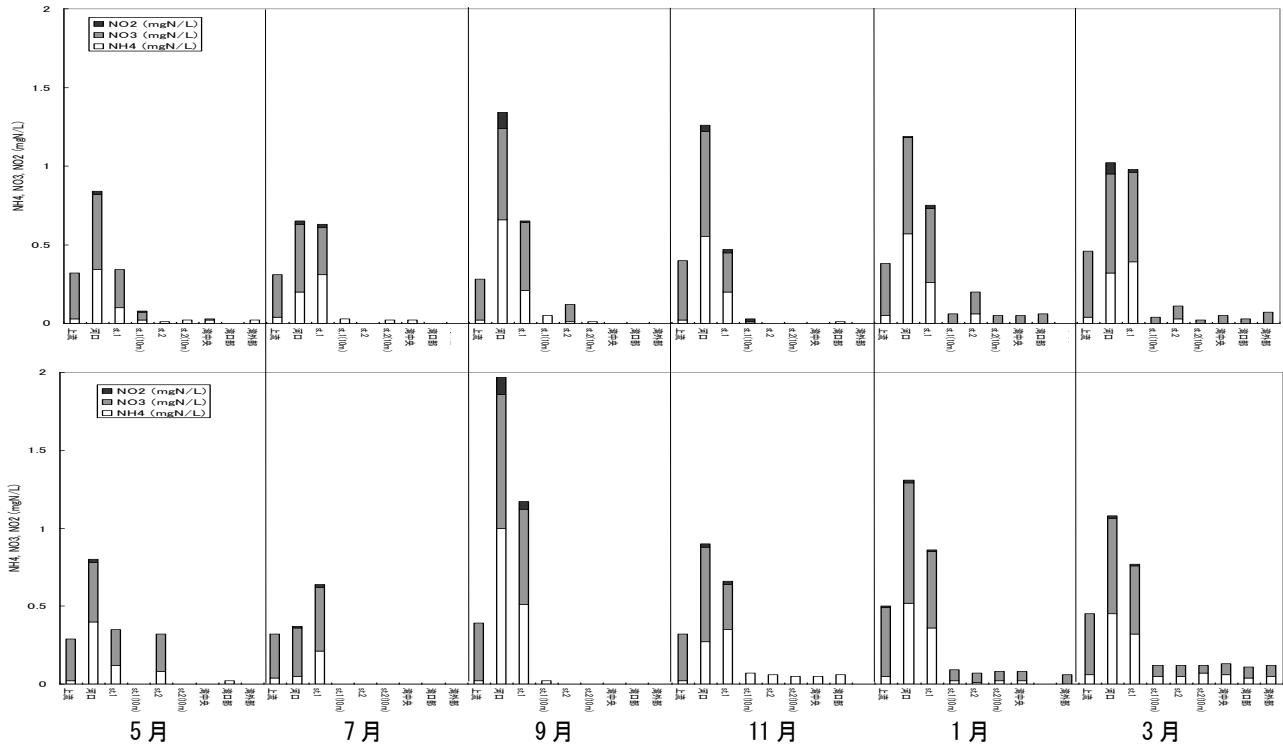


図4 硝酸態窒素 (NO₃-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N) 及びアンモニア態窒素 (NH₄-N) 濃度の季節変化
(上段は H23 年度、下段は H24 年度の調査結果)

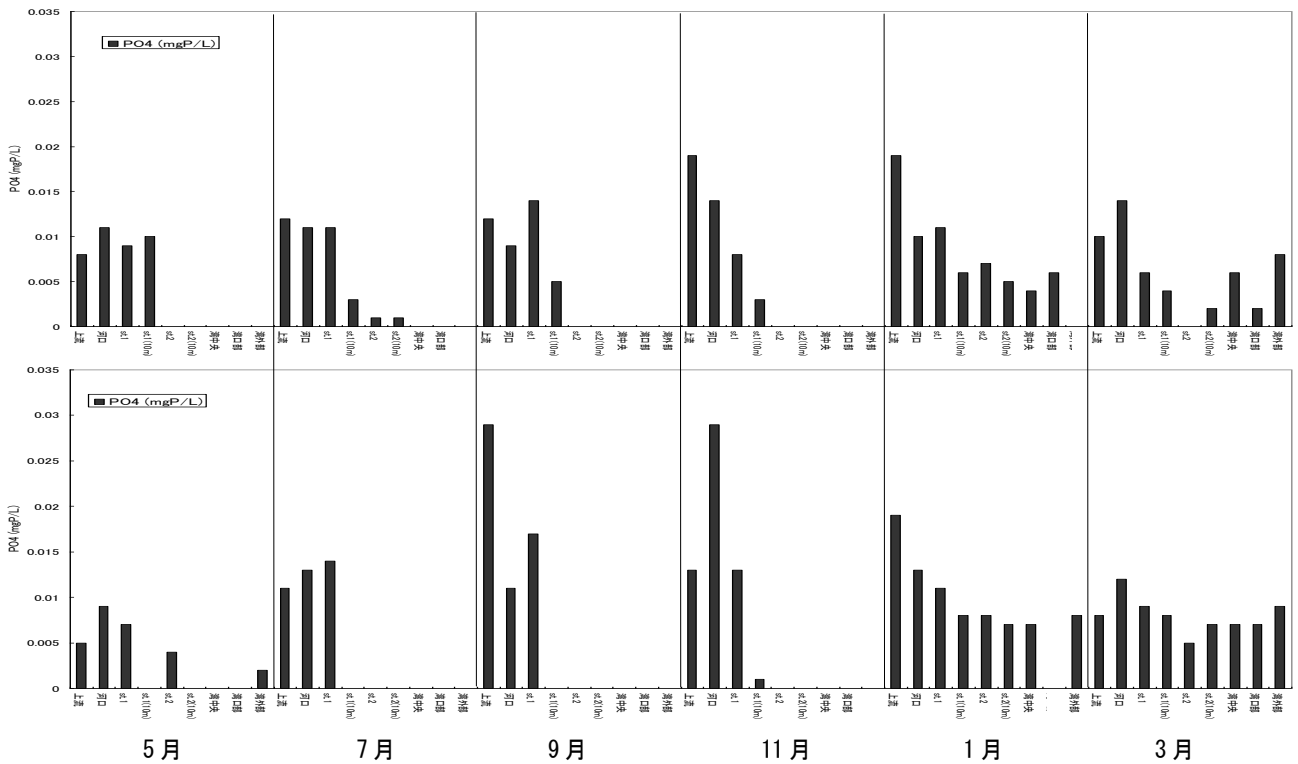


図5 リン酸態りん(PO₄-P)濃度の季節変化 (上段は H23 年度、下段は H24 年度の調査結果)

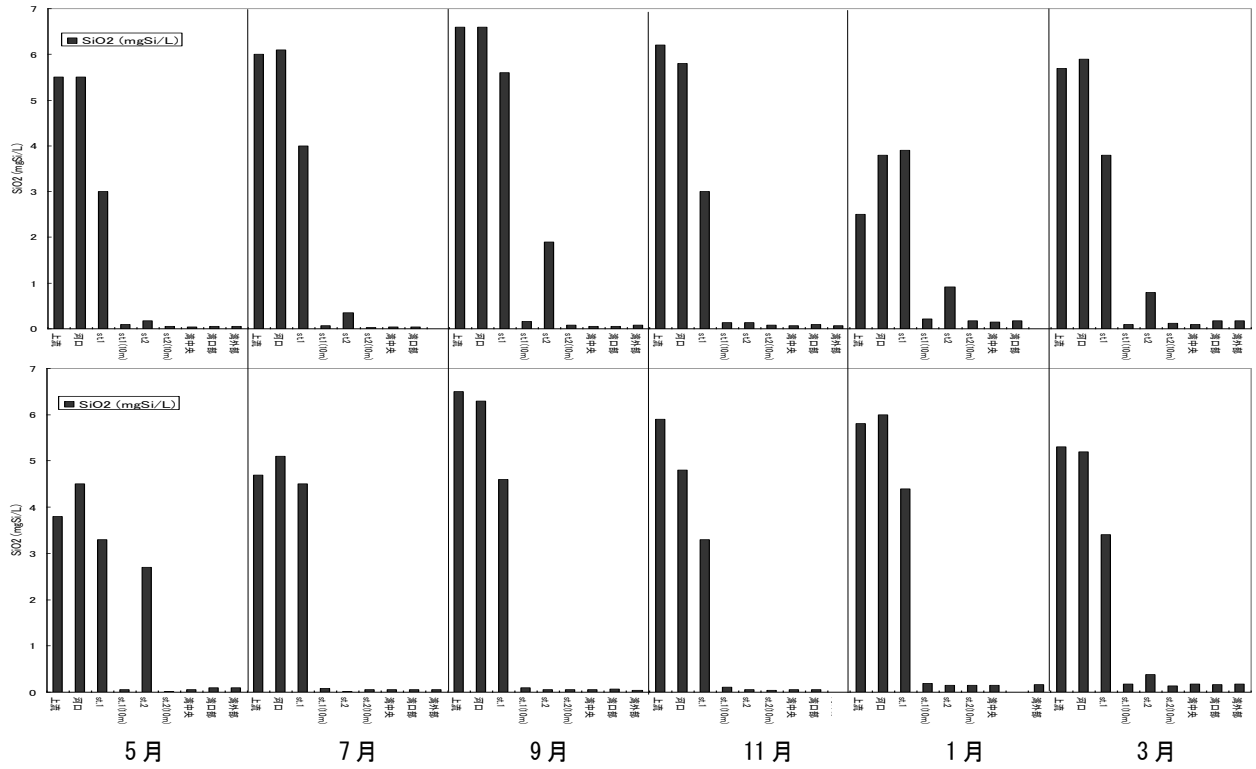


図6 ケイ酸態ケイ素(SiO₂-S)濃度の季節変化 (上段は H23 年度、下段は H24 年度の調査結果)

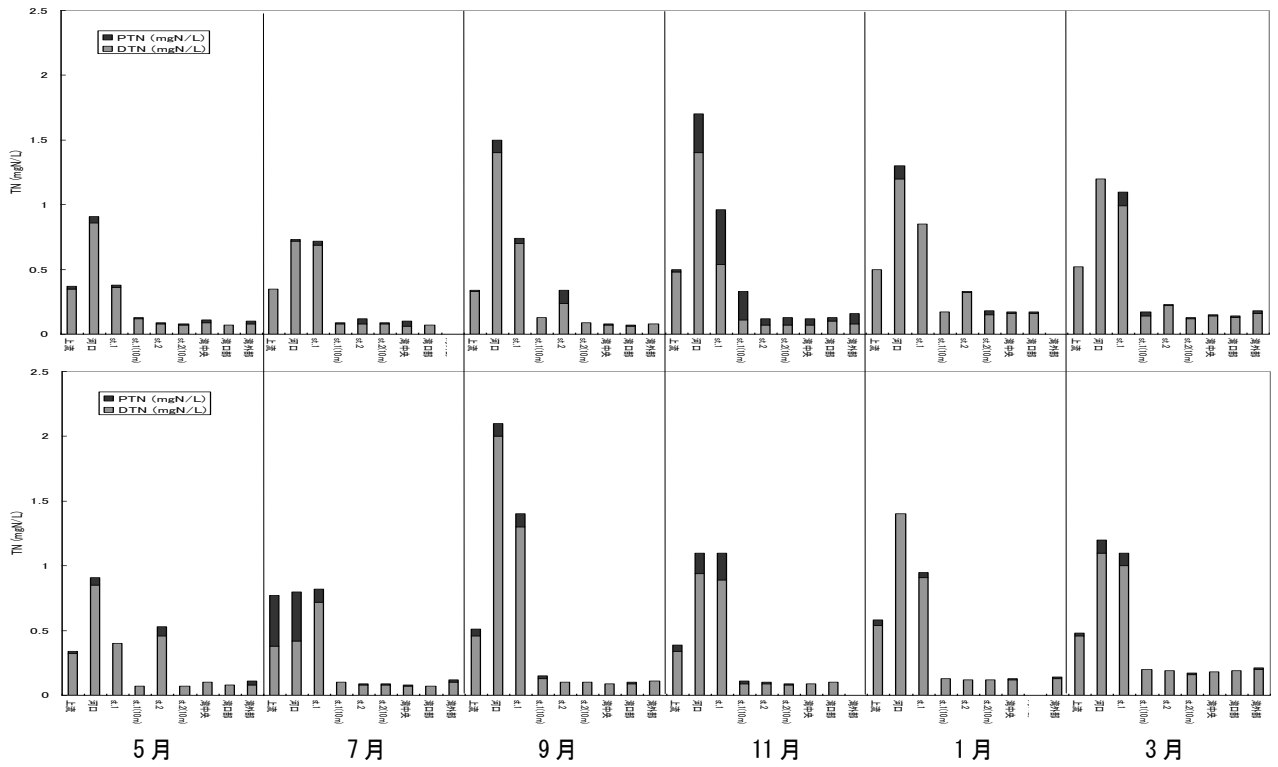


図7 全窒素濃度の季節変化 (上段は H23 年度、下段は H24 年度の調査結果)

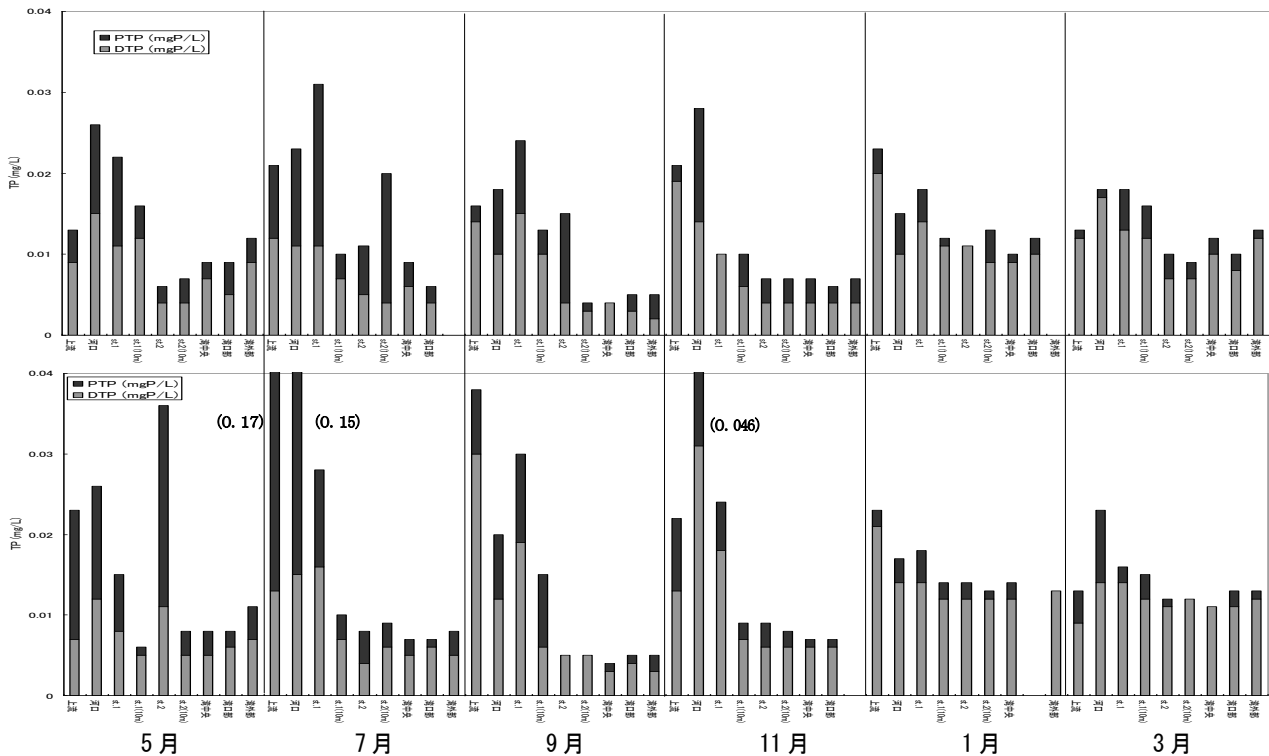


図8 全りん濃度の季節変化（上段はH23年度、下段はH24年度の調査結果）

H24年7月の上流と河口及びH24年11月の河口のPTPはスケールオーバーのためグラフ内に値を記述した。

3.1.2 有機物

全有機炭素 (TOC) 及び溶存態有機炭素 (DOC) 濃度の季節変化を図9に、また、化学的酸素要求量 (COD) の季節変化を図10に示す。

粒子態有機炭素 (POC) 濃度は TOC 及び DOC を測定し TOC から DOC を差し引きすることにより算出した。粒子態化学的酸素要求量 (P-COD) は COD 及び D-COD の測定結果から P-COD を求めた。

全有機炭素濃度および化学的酸素要求量においても全窒素及び全りん濃度と同様に溶存態の成分が主成分であった。以前の溶存有機物に関する研究²⁴⁾では夏季に濃度が高くなり冬季に低くなる傾向が見られたが、本研究では明確な傾向は見られなかった。

有機物の濃度分布は栄養塩類の場合とは異なり、必ずしも河口に近い調査地点 (st 1 及び st 2) の表層でより高い濃度を示してはいなかった。

栄養塩類では陸域から河川を通して海域に供

給されるものよりも影響が大きいことを示していたが、このような傾向は有機物濃度の指標となる TOC や COD では見られなかった。海水中の有機物濃度は陸域から供給された有機物と内部生産 (海水中で生産されたプランクトン等) による有機物の両方の影響を受けている。そのため、これら由来の有機物の割合が変動することによって有機物の濃度分布が変化していたと考えられる。

H24年7月調査の河川において粒子態の有機物濃度が著しく増加した。全窒素及び全りんの場合と同様に降雨による河川の濁りの影響を強く受けたものと考えられる。

また、有機炭素量 (POC 及び DOC) と化学的酸素要求量 (P-COD 及び D-COD) を比較すると濃度分布や粒子態と溶存態の比率の傾向はあまりよく一致していない。このことは有機炭素量と化学的酸素要求量によって表されている有機物量に違いがあることを示している。

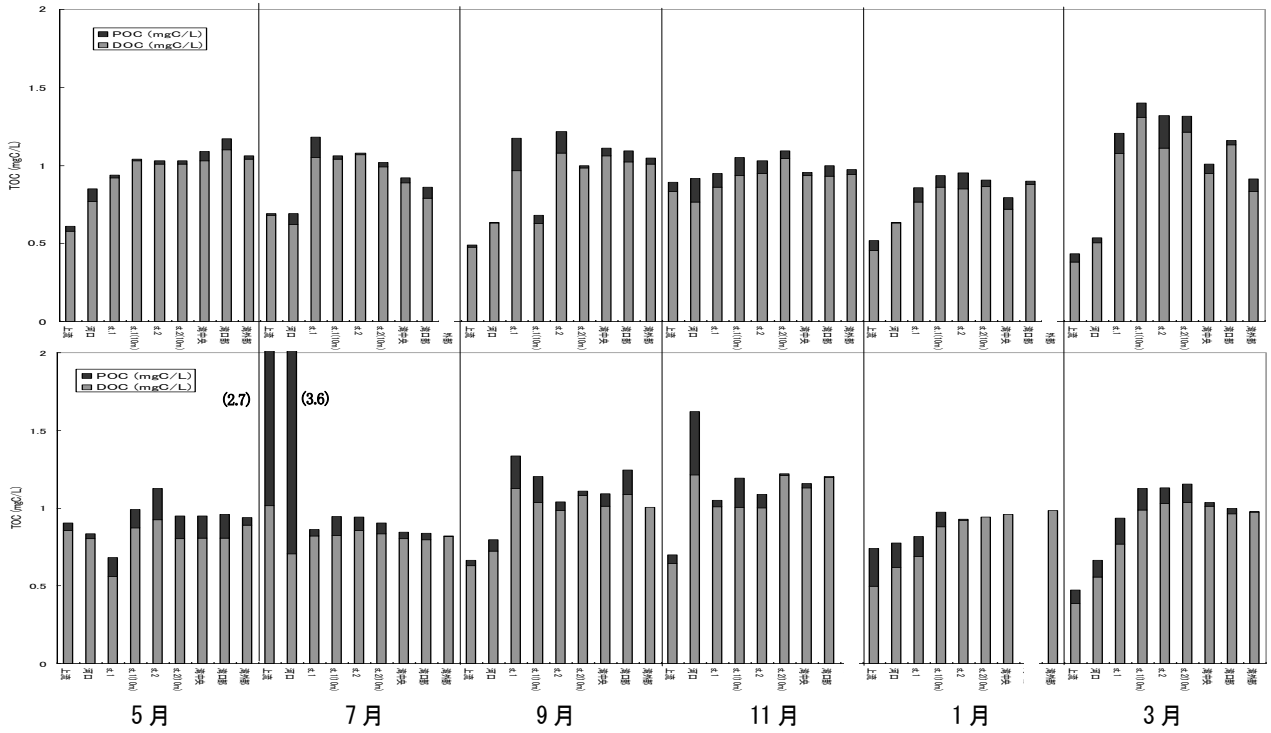


図9 全有機炭素 (TOC) 濃度の季節変化 (上段は H23 年度、下段は H24 年度の調査結果)

H24 年 7 月の上流と河口の POC はスケールオーバーのためグラフ内に値を記述した。

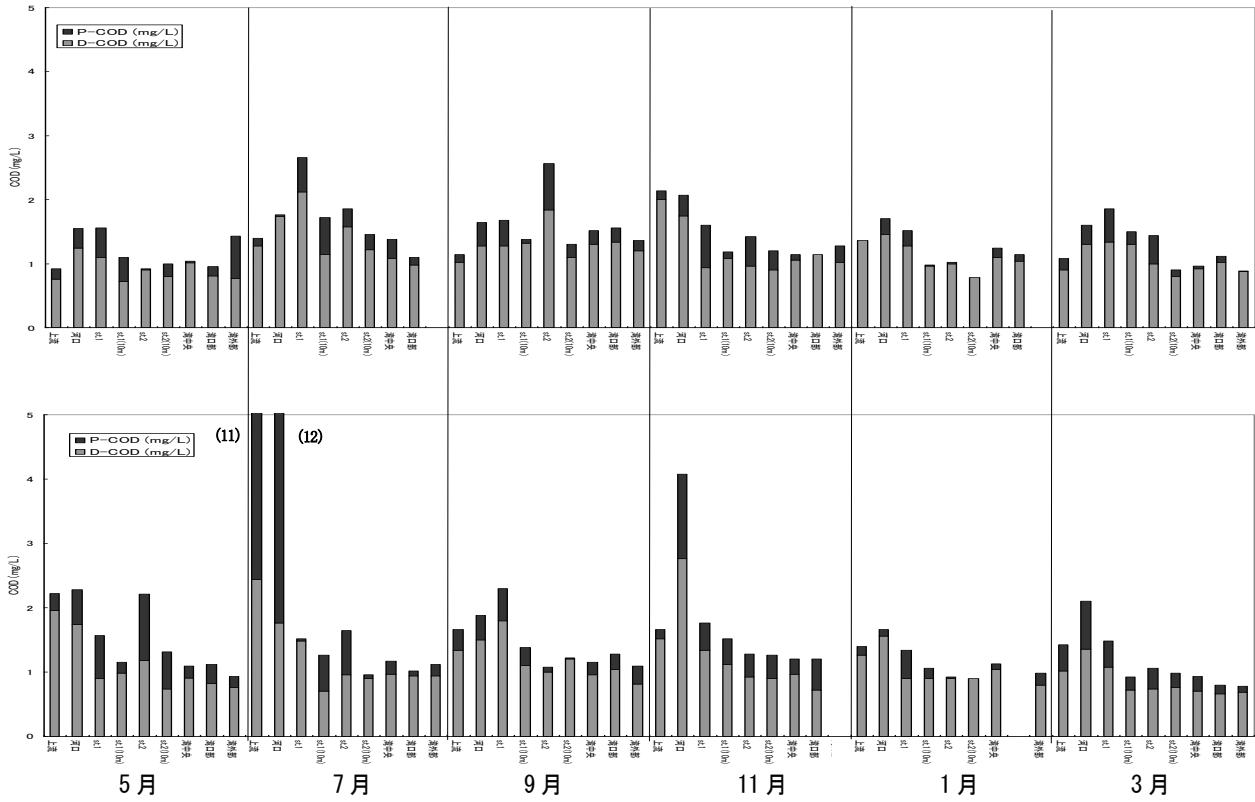


図10 化学的酸素要求量(COD)の季節変化 (上段は H23 年度、下段は H24 年度の調査結果)

H24 年 7 月の上流と河口の P-COD はスケールオーバーのためグラフ内に値を記述した。

3.1.3 植物プランクトン

植物プランクトン濃度の指標の一つとされるクロロフィル-a (Chl-a)濃度の季節変化を図11に、植物プランクトン細胞数及び種類数の季節変化を図12及び図13に示す。

Chl-a濃度はH23年9月のst.2において最大値をとっており、また、H23年度とH24年度を比較すると全体的にH23年度で高めであった。

植物プランクトンの細胞数の測定結果とChl-a濃度とを比較すると、両者の傾向はよく一致していた。

植物プランクトンの種類数の季節変動については、細胞数は季節によって大きく変動している

が、どの季節においても珪藻類が優占する 경우가多かった。ただし、存在する種を見ると、渦鞭毛藻類等も確認され、また、植物プランクトンの細胞数が少ない場合には珪藻類以外の植物プランクトンが優占することもあった。

沿岸部では珪藻類が優占し高い細胞数となるのが沖合の調査地点よりも顕著にみられ、珪藻類の増減が植物プランクトンの増減を決定していると推察された。また、本研究に係る植物プランクトン調査の中では有害な赤潮プランクトンとされる種は確認されなかった。

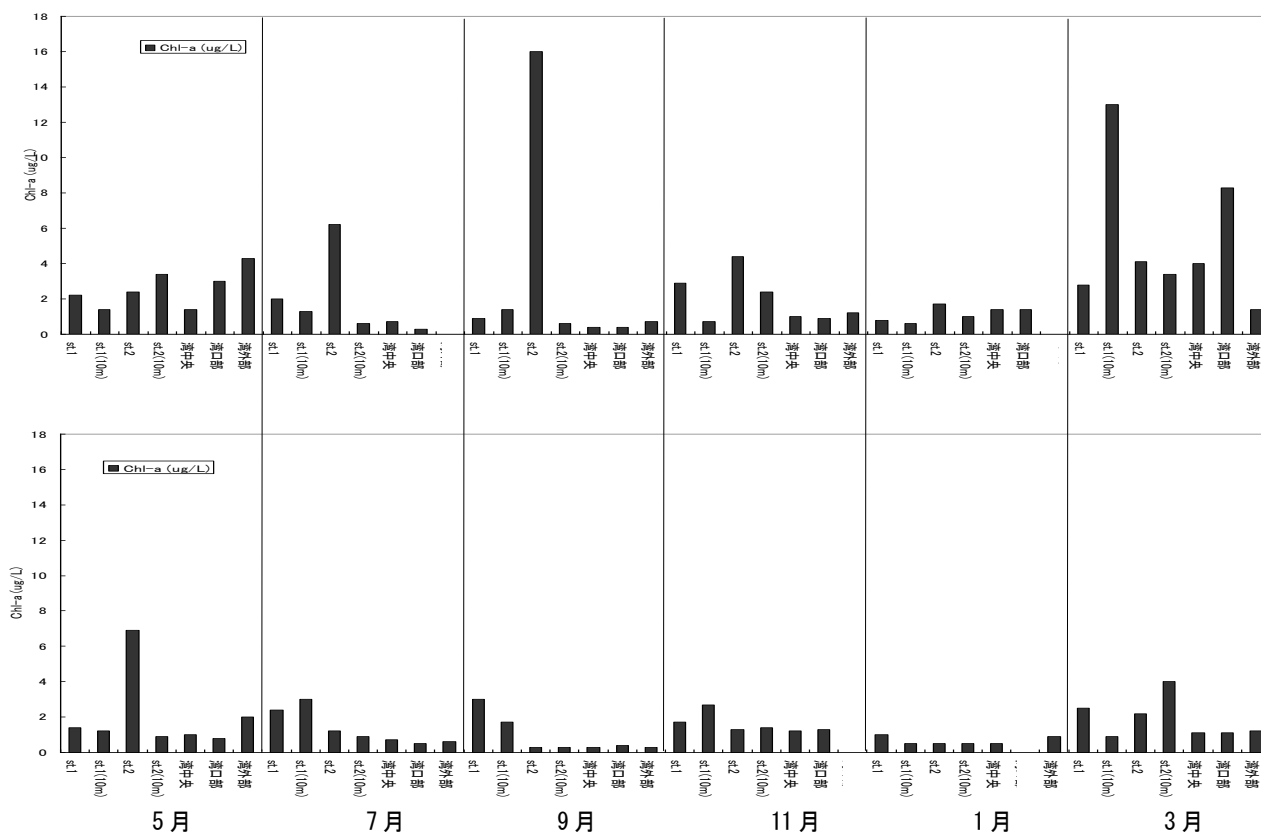


図11 クロロフィル-a (Chl-a)濃度の季節変化 (上段はH23年度、下段はH24年度の調査結果)

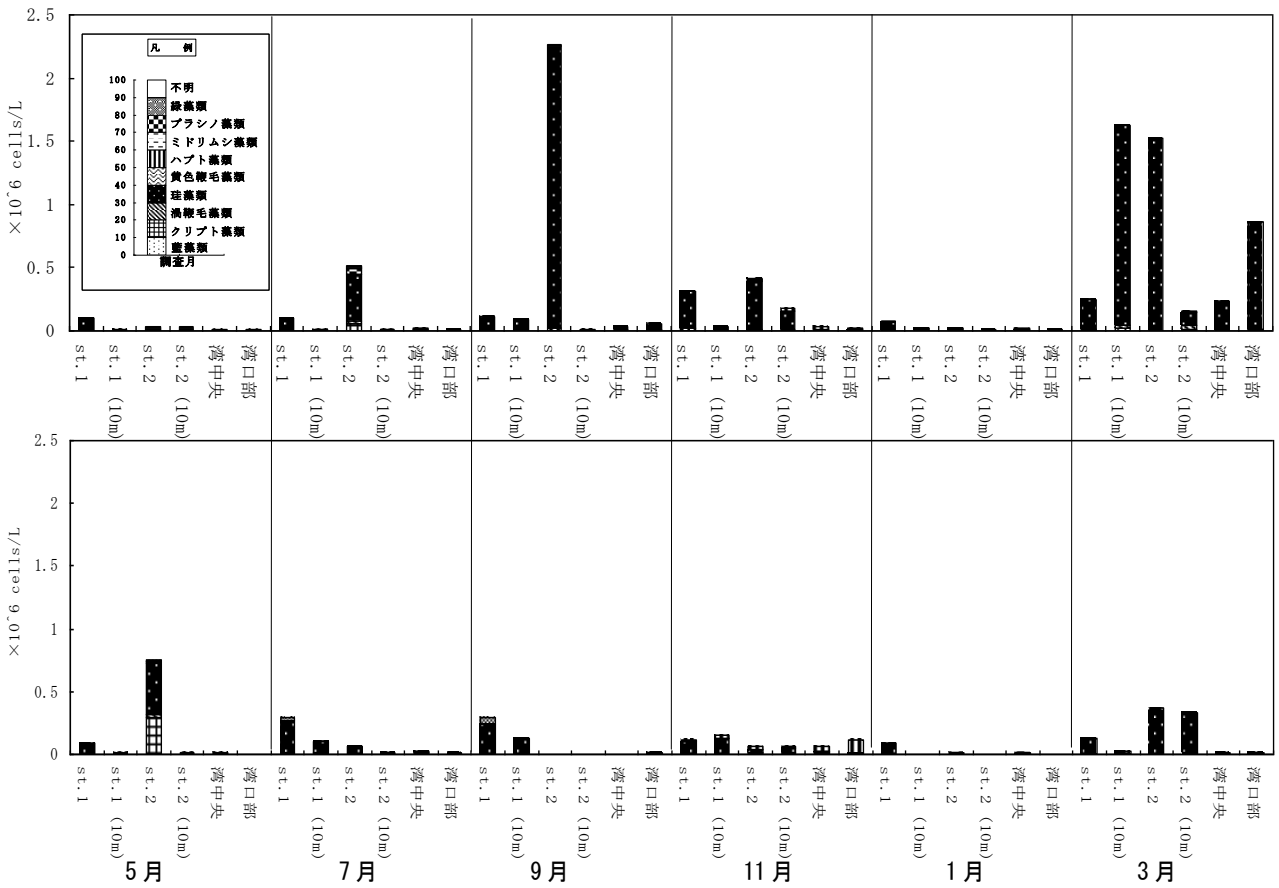


図12 植物プランクトン細胞数の季節変化（上段はH23年度、下段はH24年度の調査結果である。）

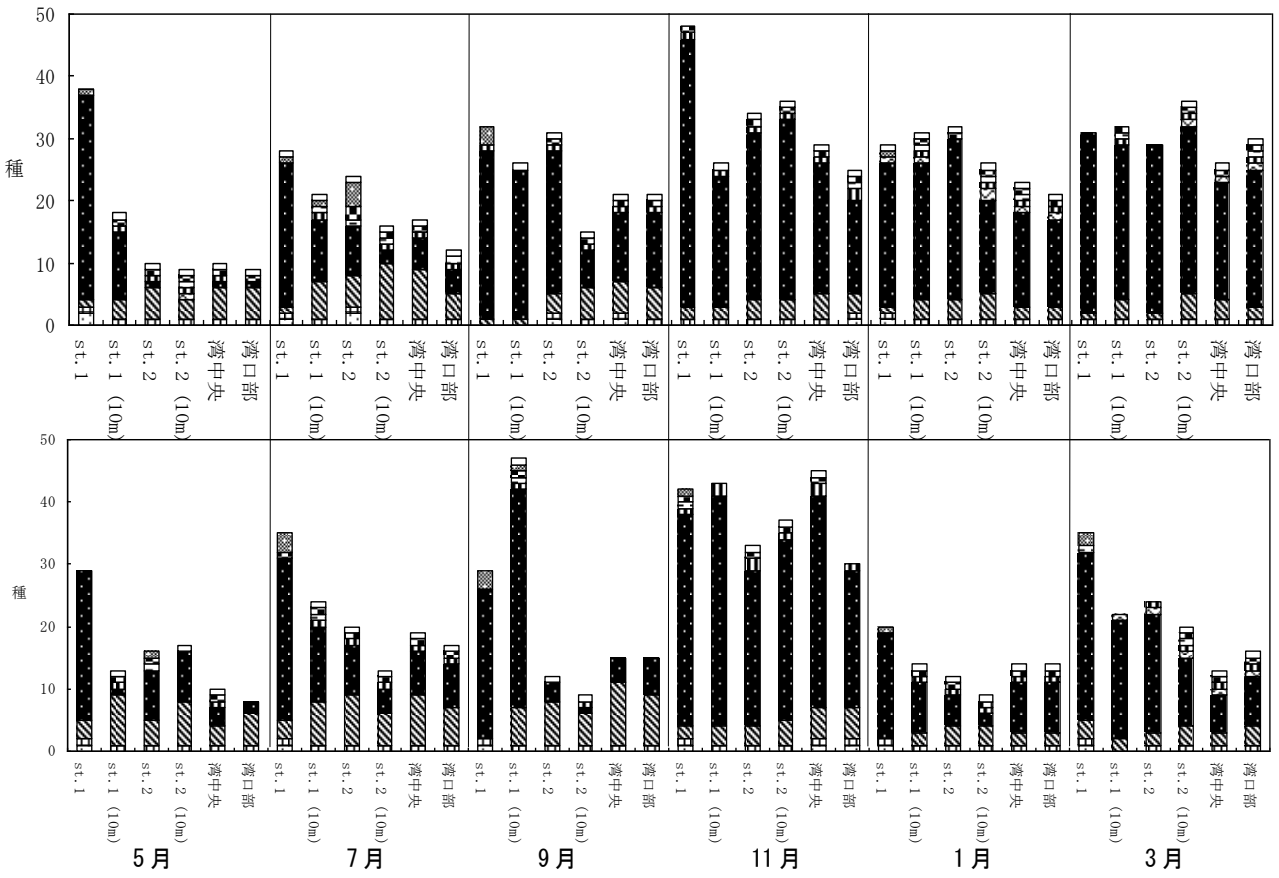


図13 植物プランクトン種類数の季節変化（上段はH23年度、下段はH24年度の調査結果である。凡例は図12を参照）

3.2 溶存酸素

溶存酸素 (DO) 濃度の鉛直分布とその季節変化を図 14 及び図 15 に示す。

比較的水深の浅い J-1、J-3、J-4 及び J-6 では海底上 1 m 程度まで DO 濃度の鉛直分布を観測した。水温の高い時期には DO 濃度は低く、水温が低い時期には比較的 DO 濃度が高くなるといった変動は見られたが、すべての観測結果で DO 濃度が 6 mgO/L を下まわることがなく、海底付近においても DO 濃度が 2 mgO/L を下まわるような貧酸素の状態にはなっていなかった。

また、J-2、J-5 及び J-7 では水深が 100 m 以上

と深いため海底直上の DO 濃度の観測はできなかった。水深の浅い調査地点と同様に DO 濃度の季節変化はあるものの、すべての観測結果で DO 濃度が 6 mgO/L を下まわることがなかった。

本研究で調査を行ったすべての調査地点の全水深で貧酸素の状態を観測することはなかった。

DO 濃度が 4 mgO/L を下まわると限られた生物しか生息できず、また、DO 濃度が 2 mgO/L を下まわると生物が生息できなくなると考えられるが⁵⁾、神通川河口海域においては年間を通して生物が十分に生息できる環境であったと推測される。

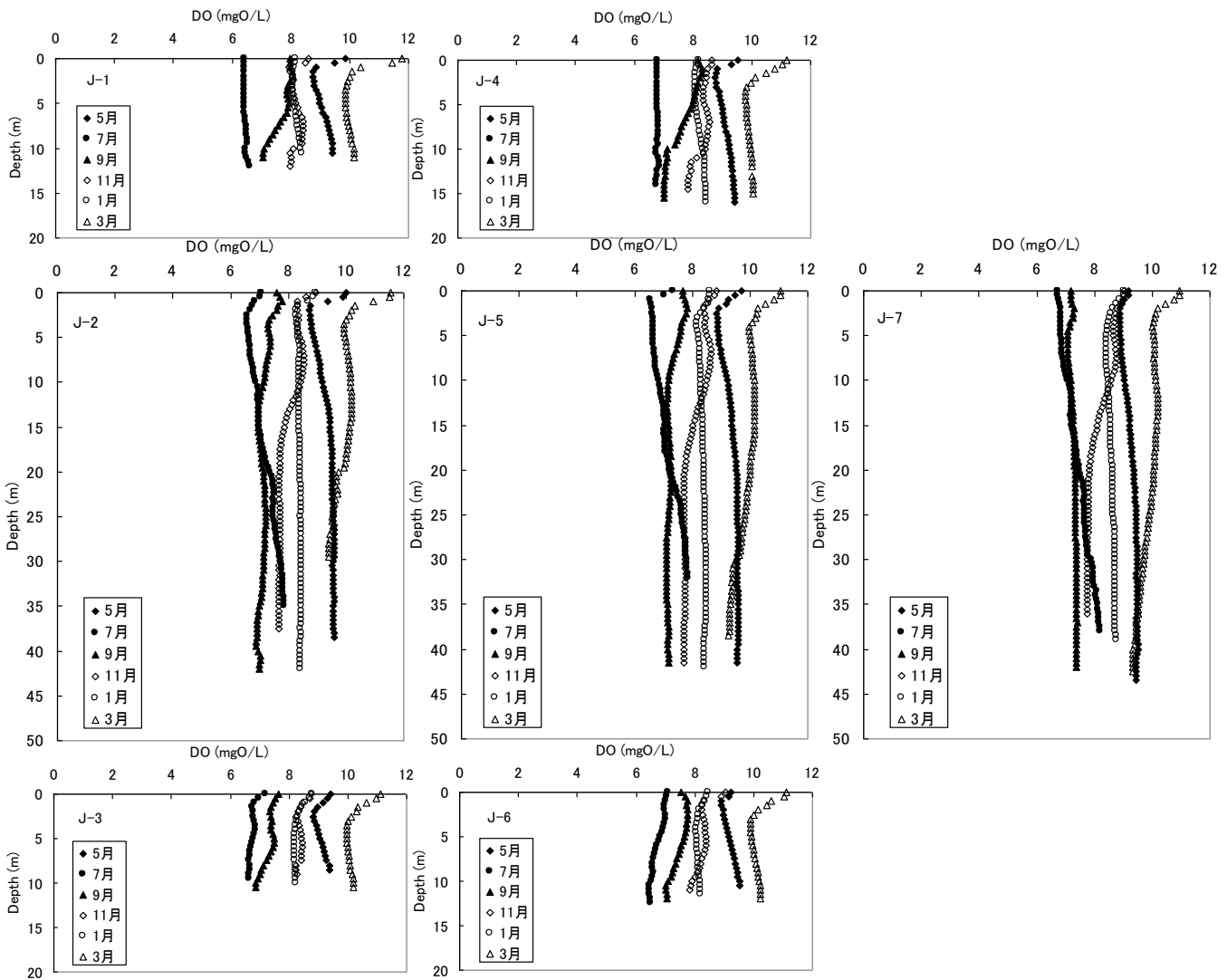


図 14 H23 年度の溶存酸素濃度鉛直分布の季節変動

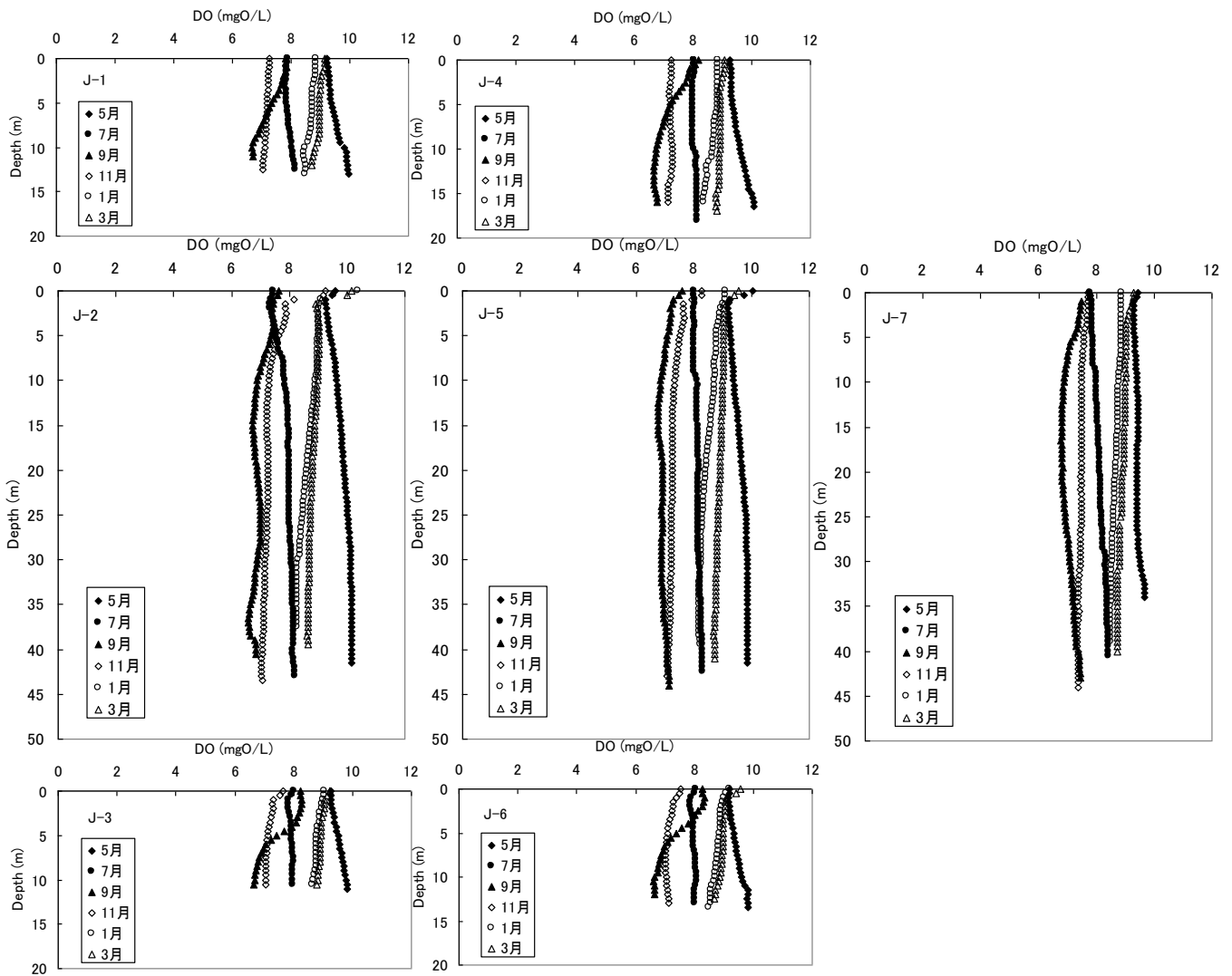


図 15 H24 年度の溶存酸素濃度鉛直分布の季節変動

3.3 海洋水質環境の健全性について

海域水質環境調査において富山湾沿岸部表層では夏季を中心に COD の上昇現象がみられ、水中の有機物濃度が高くなり有機汚濁が進行した状態と評価される。

この COD 上昇の大きな原因の一つとして内部生産による植物プランクトンの増殖が考えられ、本研究でも st 2 の表層においてクロロフィル a の上昇に伴う COD の上昇がみられた。ここで、植物プランクトンは水中の有機物濃度を上昇させる原因物質と考えられるが、一方では海洋生物の餌料となる重要な生物で、海洋での生物生産の基礎となっている。このことから増殖した植物プランク

トン単なる有機物として捉えるのではなく、増殖した植物プランクトンが生物生産につながる種のプランクトンなのか、また、漁業被害や食中毒の原因となる有害プランクトンなのかを場合分けして評価する必要がある。

さらに、海洋生物の餌料として有用な植物プランクトンであっても、大規模な赤潮を引き起こし、その結果として底質の悪化や貧酸素水塊を発生させていないかを確認したうえで、海洋水質環境の健全性が保たれているかどうかについて評価しなくてはならないと考えられる。

これらのことを踏まえ、本研究では有機物濃度、

植物プランクトンの量・種組成、赤潮・漁業被害の有無及びDO濃度といった項目に注目し、図16に示す手順に基づいて富山湾の水質環境の健全性についての評価を試みた。

st2の表層についてはH23年9月及びH24年5月にCODが2.6 mg/L及び2.2 mg/LとCODによる水質環境基準(A類型)の基準値である2 mg/Lを超過していた。このCOD上昇の主な原因について検討したところ、Chl-a濃度が16 µg/L及び6.9 µg/Lと高く、内部生産が主な原因であると考えられた。

このいずれの場合も珪藻類が優占しており、赤潮や漁業被害の報告はなかった。また、DO濃度は年間を通して貧酸素の状態にはなっていないと推測されるため、CODの上昇は見られるが富山湾の水質環境の健全性は保たれていると推察された。

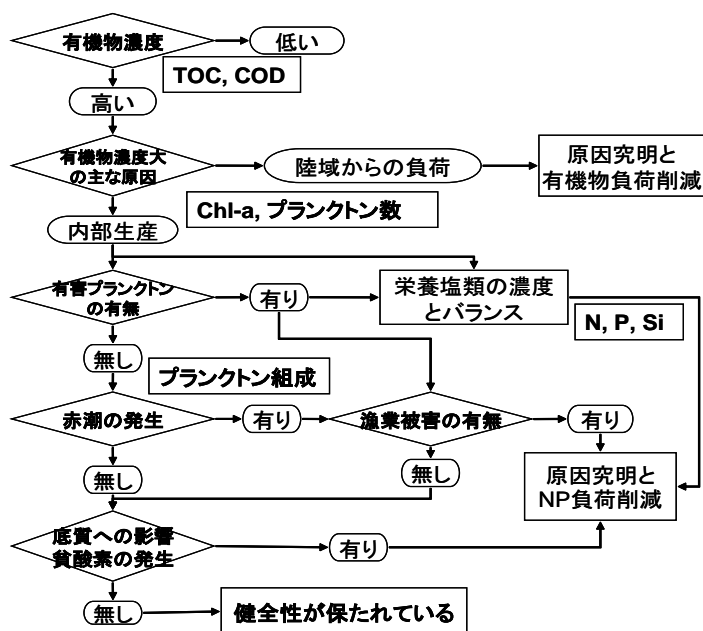


図16 海洋水質環境の健全性を示す手順

st1の表層についてもH23年7月及びH24年9月にCODが2.7 mg/L及び2.3 mg/LとCODによる水質環境基準(A類型)の基準値である2 mg/Lを

超過していた。このときの塩分が6.0及び7.5と低いため、このCODの上昇は河川の影響を強く受けているものと考えられる。また、塩分が低いため海洋性の植物プランクトンは増殖していなかったと考えられる。

4 まとめ

海域における栄養塩類(硝酸態窒素(NO₃-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、リン酸態リン(PO₄-P)及びケイ酸態ケイ素(SiO₂-Si)の濃度は、河口に近い調査地点(海域st1及び海域st2)の表層により高い濃度で分布していた。このことから栄養塩類は陸域から河川を通して海域に供給される割合が高く、海底や海洋生物の分解等から供給されるものより陸域から供給される影響の方が大きいと推察された。

しかし、このような傾向は有機物濃度の指標となるTOCやCODでは見られなかった。このことは、海水中の有機物濃度は陸域から供給された有機物と内部生産(海水中で生産されたプランクトン等)による有機物の両方の影響を受けていることが要因であると考えられ、これら由来の有機物の割合が変動することによって有機物の濃度分布が変化していたと考えられる。

植物プランクトンについては、細胞数は季節によって大きく変動しているが、どの季節においても珪藻類が優占する場が多かった。ただし、渦鞭毛藻類等の存在も確認され、植物プランクトンの細胞数が少ない場合には珪藻類以外の種が優占することもあった。

沿岸部では珪藻類が優占し高い細胞数となるのが沖合の調査地点よりも顕著にみられ、珪藻類の増減が植物プランクトンの増減を決定していると推察された。

本研究で得られた水質調査データ及び植物プランクトン調査データを基に富山湾の水質環境の健全性についての評価を試みた。その結果、内部生産によりCODの上昇が夏季を中心に見られ

たが、有害なプランクトンや大規模な赤潮の発生はなく、漁業被害も報告されていなかった。また、DO 濃度の観測の結果、年間を通して貧酸素水塊の発生はないと推測されるため、神通川河口海域においてはCODの上昇は見られたが、海洋水質環境の健全性は保たれていると推察された。ただし、沿岸海域の水質は気象・海象等の影響を受け大きく変動することから、今後も観測を通して海洋水質環境の保全に努めていく必要がある。

また、底質や藻場といった海洋中の物理的環境や高次生産生物も含めて海洋環境の健全性を評価していかなければならないと考える。

5 成果の活用

本研究により、富山湾の海洋水質環境の健全性や、生産力の高さを科学的に明らかにすることにより、富山湾の海洋環境保全に役立てることができる。

参考文献

- 1) 富山県環境白書平成 24 年版
- 2) 藤島ら： 県内水域における溶存有機物の動態に関する研究（第 3 報），富山県環境科学センター年報，**33-2**，8-22，2005.
- 3) Fujishima, Tohezo : Dissolved organic matter in Toyama Bay, J. Ecotech. Res., **13** [2], 139-144, 2007.
- 4) 藤島ら： 富山湾の水質汚濁メカニズムに関する研究，富山県環境科学センター年報，**36**，83-84，2008.
- 5) 大畑聡： 東京湾北部海域における底層 DO の推移と大型底生生物の出現状況について，地方公共団体環境研究機関と国立環境研究所とのⅡ型共同研究「沿岸海域環境の診断と地球温暖化影響評価のためのモニタリング手法の提唱」全体会議資料
- 6) 富山県農林水産総合技術センター 水産研究所：平成 23 年度 富山湾漁場環境調査報告書，2012.