

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

Proposal of monitoring method to assess coastal sea environments
and influences of global warming

平成 23～25 年度

目 次

1. 研究背景と概要	1
2. 沿岸海域における COD 構成要素等調査結果（宮城県）	3
3. 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（国立環境研）	11
4. 千葉県沿岸海域における COD, DO の推移（2003～2012 年度）	16
5. 東京都内湾における COD, DO の推移（2011～2013 年度）	34
6. 川崎港における COD, DO の推移（2011～2012 年度）	36
7. 山形県沿岸海域公共用水域常時監視地点における COD と 関連する有機物項目について	38
8. 新潟東港における底層 DO の測定について（新潟県）	43
9. 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（新潟市）	46
10. 富山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	52
11. 石川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	58
12. 浜名湖における COD と下層 DO の経年変化の特徴について（静岡県）	62
13. 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	68
14. 大阪湾公共用水域常時監視点における COD と関連項目について（大阪府）	74
15. 大阪湾における COD, DO の推移（2010～2012 年度）（兵庫県）	80
16. 神戸海域公共用水域常時監視地点における有機物とこれに関連する項目について	82
17. 徳島県沿岸海域における COD と関連する有機物項目について	87
18. 高知県沿岸海域における多項目水質計を用いた水質測定結果と COD 関連項目について	93
19. 広島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	104
20. 博多湾公共用水域調査地点における COD と関連する有機物項目について	111
21. 長崎県大村湾湾奥部における COD について	123
22. 宮崎県沿岸海域における底層 DO の測定結果について	127
23. 鹿児島湾湾奥部における水質調査結果について	131
24. 沖縄県那覇港における COD 等の水質調査結果	140
25. 資料（研究実施組織、成果発表一覧）	144

研究背景と概要

1. はじめに

この報告書は平成 23 年度から 25 年度にかけ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）「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」で得られた成果を取りまとめたものである。

本研究課題においては、現行の公共用水域（海域）常時監視で欠落している水質形成の機構解明、測定的时间密度、未測定項目を補完するために、現在、各地の沿岸海域環境で見られている非汚濁海域における COD の漸増傾向要因を明らかにすると共に、閉鎖性海域において顕在化している貧酸素水塊発生状況を把握すべく多項目水質計を底層溶存酸素（DO）未測定海域に適用し測定を行ってきた。また旧 C 型共同研究の終了課題「地球温暖化がもたらす日本沿岸域の水質変化とその適応策に関する研究」において設置された簡易の海水温連続観測を継続し、海水温変動の解析や間欠的観測データとの比較に活用してきた。本研究で得られた成果は環境省で検討されている海域における下層 DO の新規水質環境基準設定に資する情報をもたらすと共に、今後の沿岸海域水環境の調査と管理手法の在り方の提案につなげるものと考えている。

2. 研究成果概要

2.1 底層 DO の測定と貧酸素水塊発生状況の把握

本共同研究に参加する一部の機関には国立環境研究所所有の多項目水質計をに貸与し、これまで日本海側では山形県、新潟県、富山県の沿岸と京都府の久美浜湾・阿蘇海・宮津湾・舞鶴湾、博多湾（福岡市）、太平洋側では松島湾と気仙沼湾（宮城県）、茨城県沿岸、東京湾（千葉県と東京都）、大阪湾（大阪府）、浦ノ内湾（高知県）、宮崎県沿岸部、東シナ海では大村湾（長崎県）、鹿児島湾（鹿児島県）、那覇港周辺（沖縄県）の 18 の湾・沿岸海域で底層 DO の測定を行ったところ、9 ヶ所において底層 DO が 2.5 mg/L を下回る低・貧酸素水域が見付かった。また、浦ノ内湾奥部では全水深の 7 割程度が貧酸素水塊に見舞われていたことが判明した。博多湾では二箇所の環境基準点で比較的高頻度で観測を行ったところ、10 月前半に貧酸素水塊が解消されることがわかった。さらに久美浜湾と阿蘇海、鹿児島湾では、晩秋から冬季にかけて低・貧酸素水塊が卓越している様相が観察された。

2.2 COD 関連項目の詳細分析

COD に関連する有機物の分析項目である溶存性有機炭素（DOC）や懸濁性有機炭素（POC）、植物プランクトンの指標であるクロロフィル a（Chl a）について、19 都府県市の管轄する公共用水域（海域）49 地点の 360 検体の分析を行った。その結果、多くの地点で COD の大部分を占める溶存性 COD は DOC と比較的高い相関（相関係数 $R=0.78$ ）を示したが、各水域毎に個別に検討すると相関はまちまちで、例えば神戸港、名古屋港、浜名湖等の閉鎖性の強く内部生産も活発な水域では相関は高く、回帰直線の傾きも 1.5 前後と似通っていたが、逆に内部生産が活発でない外洋に面した日本海側の九州・四国沿岸の一部

では相関が低く、回帰直線の傾きもまばらな海域も見られた。

以上のことから溶存性の COD の相当の部分は DOC で占められている（説明出来る）と考えられ、現行の COD 分析法による測定値は、ほぼ DOC の濃度を反映しており、COD 全体を大きく左右する因子は DOC であることが確認された。一方、懸濁性の COD（COD から溶存性の COD を差し引いたもの）と POC の相関（ $R=0.59$ ）は溶存性 COD と DOC との相関より低かった。また POC は Chl *a* と非常に高い相関（ $R=0.82$ ）を示したことから海域における POC の相当部分は植物プランクトンに由来することが示されたが、懸濁性の COD と Chl *a* との相関は低かった（ $R=0.55$ ）。このことから、現行の COD 測定法では懸濁性成分については酸化効率のばらつきが大きいこと、懸濁性 COD は POC や植物プランクトン以外の要因により影響を受けていることが示唆された。

3. 今後の課題

本共同研究では、主に公共用水域常時監視では未測定だった地点における底層 DO の測定を行ってきたが、貧酸素水塊は時空間的変動が大きく、今後も継続して鉛直方向の連続した DO の分布の把握を含めた現場測定を行うことが肝要であると考えられる。

また COD 関連項目については、その溶存性・懸濁性成分に分けて、今回主に後者について組成を検討してきたが、海域の COD の大部分を占める溶存性の有機炭素の中身については未検討であり、例えば DO を消費する要因という観点から、DOC の易分解性・難分解性、ひいては海域版 BOD の測定の検討が今後必要だと思われる。

本課題に参加されてこられ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。

2014 年 独立行政法人 国立環境研究所
地域環境研究センター 牧 秀明

沿岸海域における COD 構成要素等調査結果

宮城県保健環境センター水環境部

福地信一，千葉文博

1 はじめに

国立環境研究所と地方公共団体環境研究機関の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）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 COD 構成要素の詳細調査を実施するとともに、閉鎖性海域において顕在化している貧酸素水塊発生状況の調査を実施したものである。

2 調査方法

2.1 調査地点及び時期

2.1.1 公共用水域常時監視データ

平成13~22年度までの「宮城県公共用水域及び地下水水質測定結果報告書」から松島湾桂島及び西浜における COD データを抽出した。

2.1.2 COD 構成要素調査

図1に示すとおり、松島湾においては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、平成23~25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回採水調査を実施した。

2.1.3 鉛直分布調査

松島湾では上記2地点について、3年間にわたり年1回8月に実施した。

また、図2に示すとおり、気仙沼湾では環境基準点である神明崎（B 類型）、蜂ヶ崎（B 類型）、大川河口（B 類型）及び大島北（A 類型）の4地点を選定し、東日本大震災後の平成23年9月及び平成24年9月に実施した。

なお、両湾とも環境省が指定した閉鎖性海域88地点に含まれている。

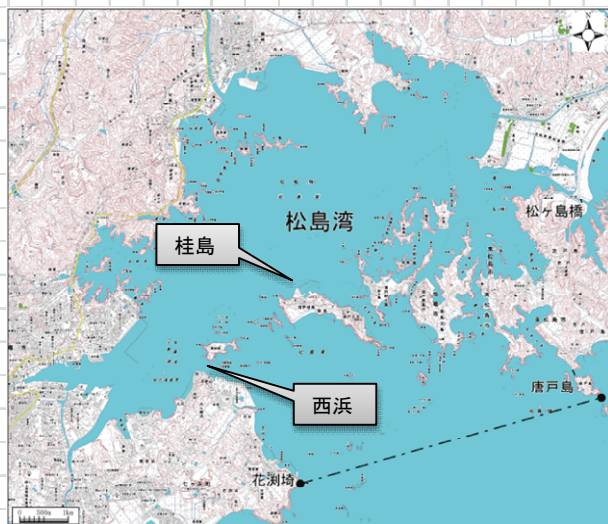


図1 松島湾調査地点

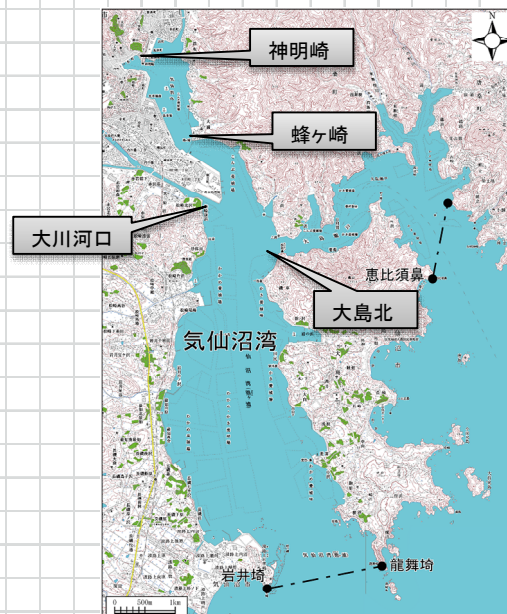


図2 気仙沼湾調査地点

2.2 測定項目及び分析方法

COD 関連項目については、採取した海水を当日中にろ過・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）、Chl-a、各態 NP、T-NP である。

分析は、「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」¹⁾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。

溶存酸素（DO）、水温等の垂直分布の調査は、国立環境研究所から借用した多項目水質計(Hydrolab Ds4a)を船上から垂下し、表層から海底まで約 10cm 間隔で測定を実施した。

3 調査結果

3.1 COD 変遷状況

図 3 に桂島及び西浜における平成 13~22 年度まで 10 年間の COD 変遷状況を示すが、両地点とも夏季に高く冬季は低い傾向を示し、近似直線のとおり全体的には漸増傾向を示している。

図 4 及び図 5 に COD75%値を示すが、桂島は A 類型の環境基準値 2mg/L を超過しており、西浜は B 類型の環境基準値 3mg/L を達成している。

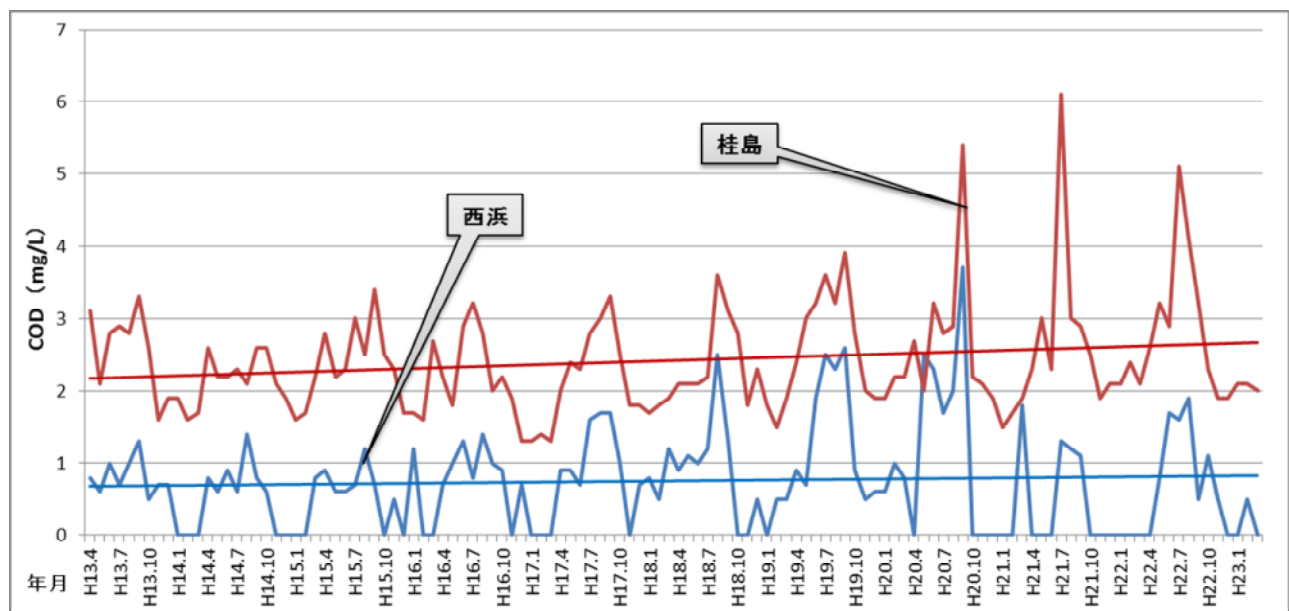


図 3 桂島、西浜における COD の変遷状況

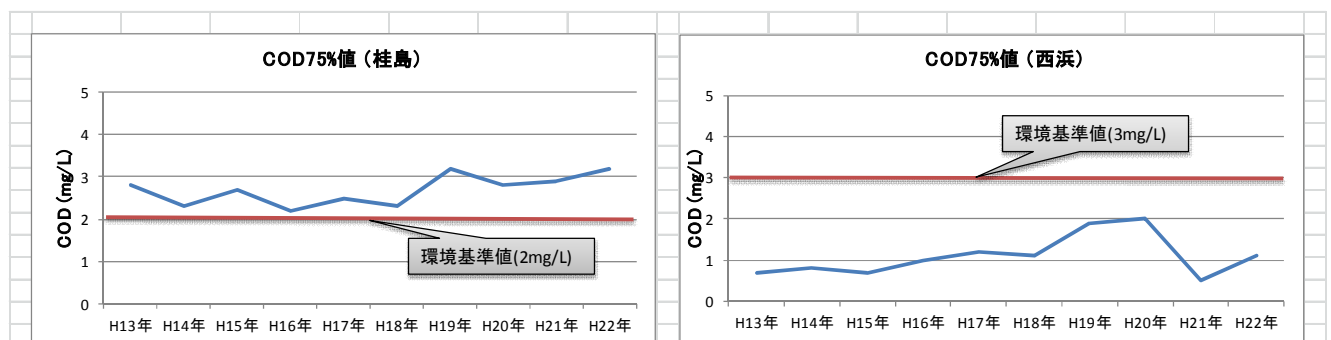


図 4 桂島の COD75%値

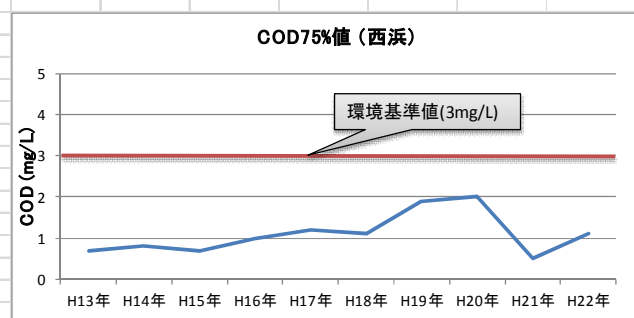


図 5 西浜の COD75%値

3.2 COD 構成要素調査結果

表 1 に COD 構成要素の調査結果を示す。桂島と西浜に際立った差違は見られず、いずれの項目も同程度のレベルであり、夏季に高く冬季は低い傾向となっている。平成 23 年 8 月は震災 5 ヶ月後のデータであるが、Chl-a が高く懸濁性の COD (COD-DCOD: COD から DCOD を引いたもの) や POC が

高いことから、懸濁性有機物の多くを占める植物プランクトンの影響が考えられる。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。

表 1 COD 構成要素調査結果

採水地点	採水年月日	COD	DCOD	COD-DCOD	DOC+POC	DOC	POC	Chl-a	塩分
松島湾 桂島	H23.8.30	5.31	2.60	2.70	3.01	2.00	1.01	7.70	31.8
	H23.12.13	2.21	1.21	1.00	2.03	1.31	0.71	6.77	
	H24.8.27	2.90	3.30	-0.40	1.97	1.49	0.48	8.39	30.5
	H24.12.17	1.60	1.60	0.00	1.57	1.13	0.44	4.35	29.7
	H25.8.19	3.11	2.61	0.50	1.78	1.49	0.29		26.4
	H25.12.17	1.80	1.60	0.20	1.08	0.92	0.16	1.40	30.0
松島湾 西浜	H23.8.30	4.71	2.50	2.20	2.99	1.58	1.41	12.04	31.5
	H23.12.13	1.91	1.31	0.60	1.60	1.28	0.32	3.37	
	H24.8.27	3.00	2.80	0.20	1.95	1.47	0.48	6.09	29.8
	H24.12.17	2.50	2.10	0.40	2.25	1.72	0.53	12.02	29.4
	H25.8.19	3.11	2.91	0.20	2.33	1.57	0.76		26.4
	H25.12.17	1.90	1.80	0.10	1.10	1.02	0.08	1.04	29.8

単位：Chl-a(μg/L)，塩分(‰)，他(mg/L)

図 4 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、懸濁性の COD (COD-DCOD) 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。懸濁性の COD と POC は正相関を示し、懸濁性の COD は懸濁性有機炭素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 (DOC+POC) 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。国立環境研究所の中間報告によると、全国的には DCOD と DOC には高い相関が得られているが、松島湾については、弱い正相関は示しているものの DCOD の主成分が DOC とは断言できないと考えられる。

なお、桂島と西浜における差違は見られなかった。

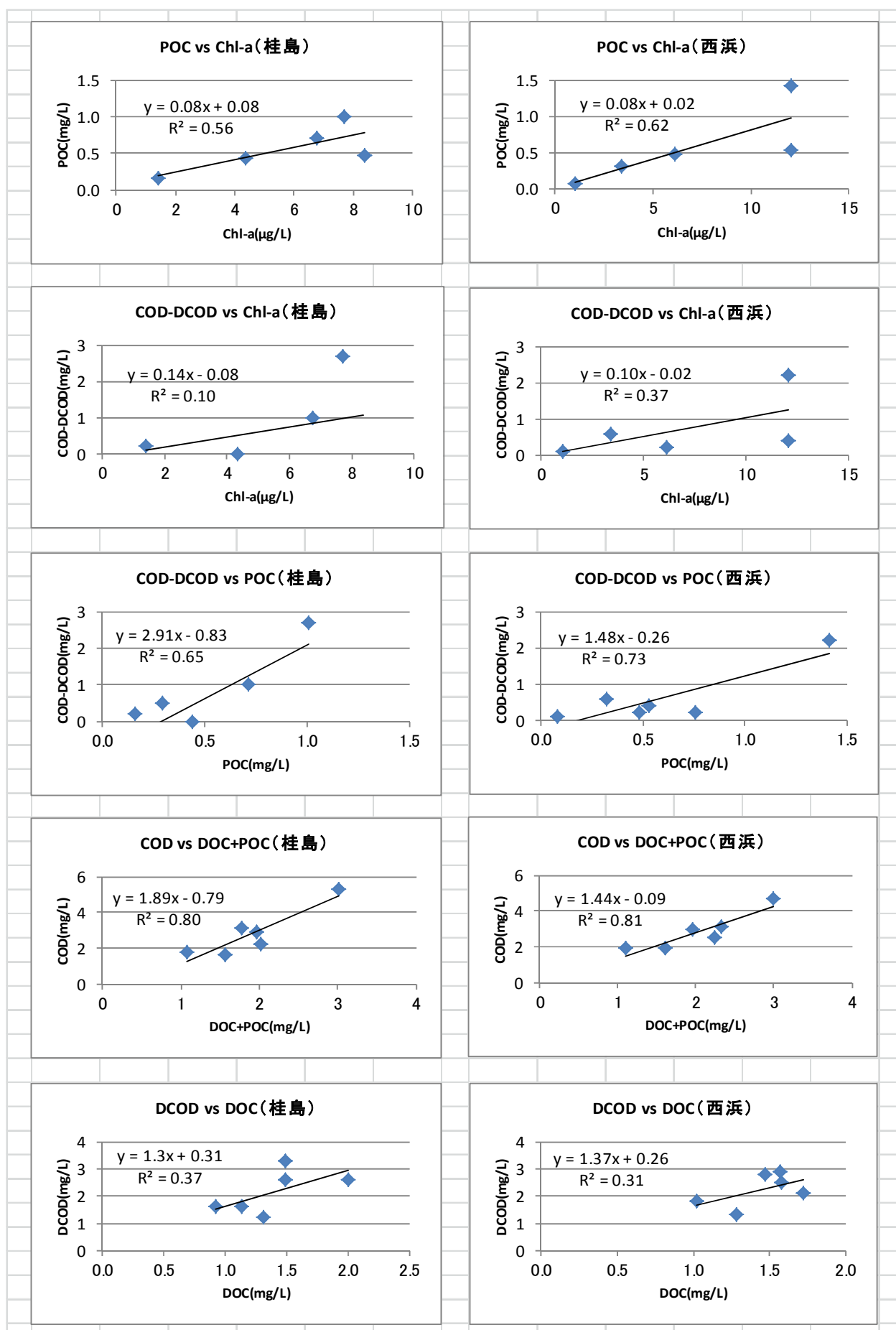


図4 桂島と西浜におけるCOD関連項目間の関係

3.3 栄養塩類調査結果

表2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が低い傾向にあり、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。

表2 栄養塩類調査結果

採水地点	採水年月日	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	DIN	DTN	PO ₄ -P	DTP	SiO ₂
松島湾 桂島	H23.8.30	N.D.	N.D.	0.005	0.005	0.228	0.006	0.023	2.813
	H23.12.13	N.D.	0.003	0.004	0.007	0.176	0.000	0.007	0.358
	H24.8.27	N.D.	0.001	N.D.	0.001	0.285	0.021	0.031	0.938
	H24.12.17	N.D.	0.001	N.D.	0.001	0.163	0.002	0.012	0.200
	H25.8.19	N.D.	0.001	0.004	0.005	0.159	0.008	0.017	2.277
	H25.12.17	0.066	0.006	0.014	0.086	0.202	0.017	0.019	0.867
松島湾 西浜	H23.8.30	N.D.	N.D.	0.003	0.003	0.209	0.001	0.016	2.347
	H23.12.13	0.108	0.017	0.147	0.272	0.479	0.029	0.037	1.521
	H24.8.27	N.D.	0.002	N.D.	0.002	0.219	0.006	0.017	1.468
	H24.12.17	0.018	0.006	0.096	0.120	0.291	0.002	0.018	0.269
	H25.8.19	N.D.	0.000	0.000	0.001	0.163	0.005	0.013	2.305
	H25.12.17	0.160	0.015	0.082	0.256	0.388	0.023	0.026	1.226

単位：mg/L

3.4 鉛直分布調査結果

図5に松島湾における水質鉛直分布調査結果を示す。H23.8.30のデータでは、桂島及び西浜とも1m付近に弱い躍層が見られChl-aが変化している。塩分濃度から判断して淡水流入量は少なく、DO値は底層に行くほど低くなるが貧酸素状態とはなっていない。

H24.8.27のデータでは、西浜において3m付近に水温躍層がみられ、表層では水温28℃が底層では24℃となっている。DO値は表層で6.3mg/Lであっ

たが、底層では貧酸素水塊の目安とされ、底生生物の生息状況に変化を引き起こす臨界濃度とされる4.3mg/Lを下回る3.2mg/Lを観測した。

H25.8.19のデータでは、桂島において2m付近に水温躍層が見られ、西浜では5m付近に水温躍層が見られたが、貧酸素状態とはならなかった。

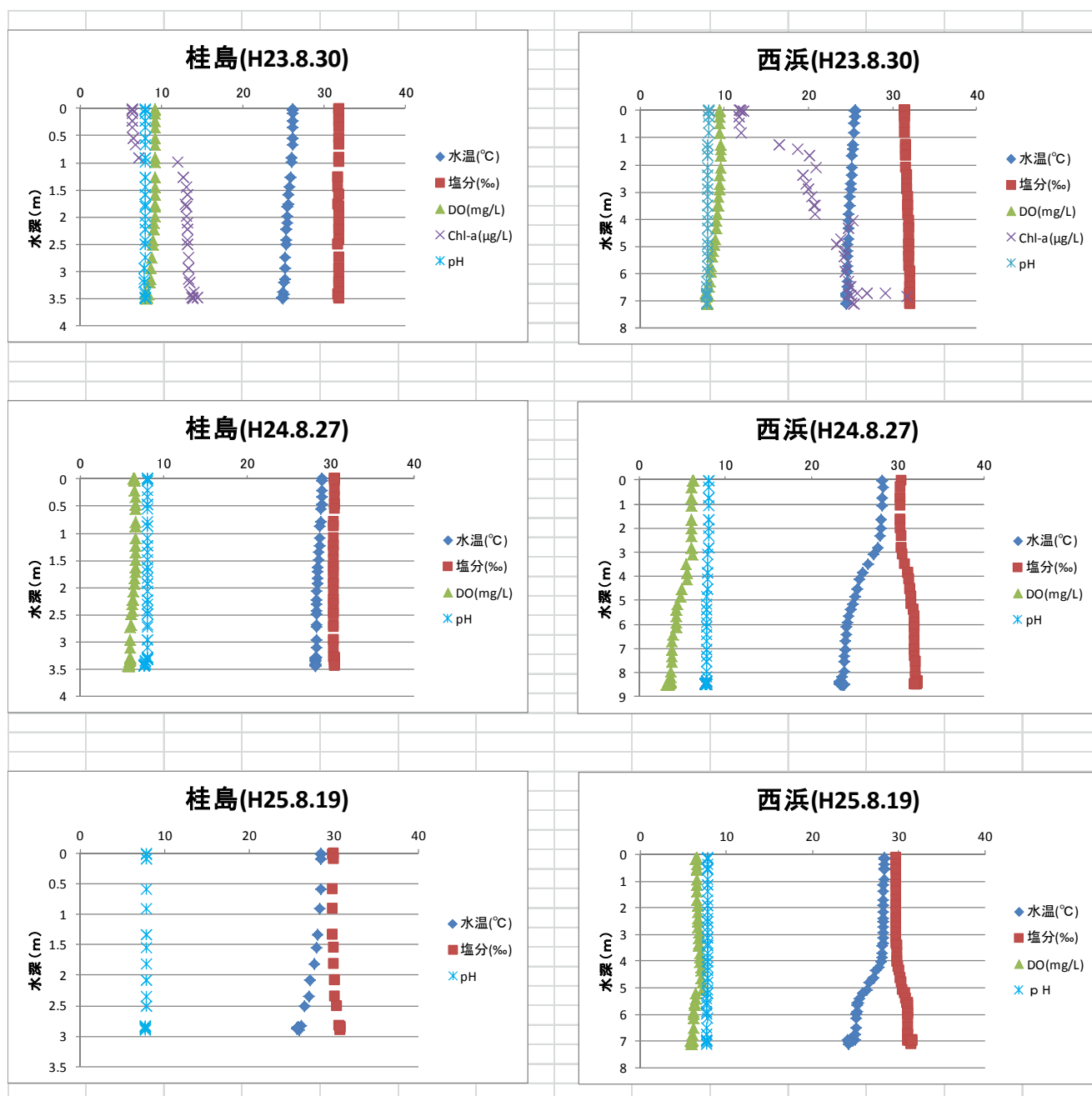


図5 松島湾における水質鉛直分布調査結果

図6に気仙沼湾における水質鉛直分布調査結果を示す。震災後のH23.9.15のデータによると、湾奥である神明崎、蜂ヶ崎では表層付近に植物プランクトンの影響と考えられるChl-aの変化が見られるが、水温躍層は形成されていない。津波被害で処理機能を失った未処理排水が大量に流れ込んだ大川河口では、低塩分表層水による表層DOの低下が見られた。最深部の大島北では、水深27m付近に水温躍層が形成され、これを境に貧酸素水塊が発生し、最深部ではDO値が3.2mg/Lまで低下した。

H24.9.6は、気仙沼湾では*Prorocentrum*属(渦鞭毛藻)による赤潮が大発生しており、湾奥部の神明崎では表層DOが光合成により過飽和となっていたが、底層ではDO値2.3mg/Lと貧酸素水塊を形成していた。蜂ヶ崎、大川河口では、低塩分表層水が見られ、大島北では水温が徐々に低下し、10~15mにかけてDO値が急激に低下し、底層では4.8mg/Lまで低下したが、貧酸素水塊の目安4.3mg/Lには至らなかった。

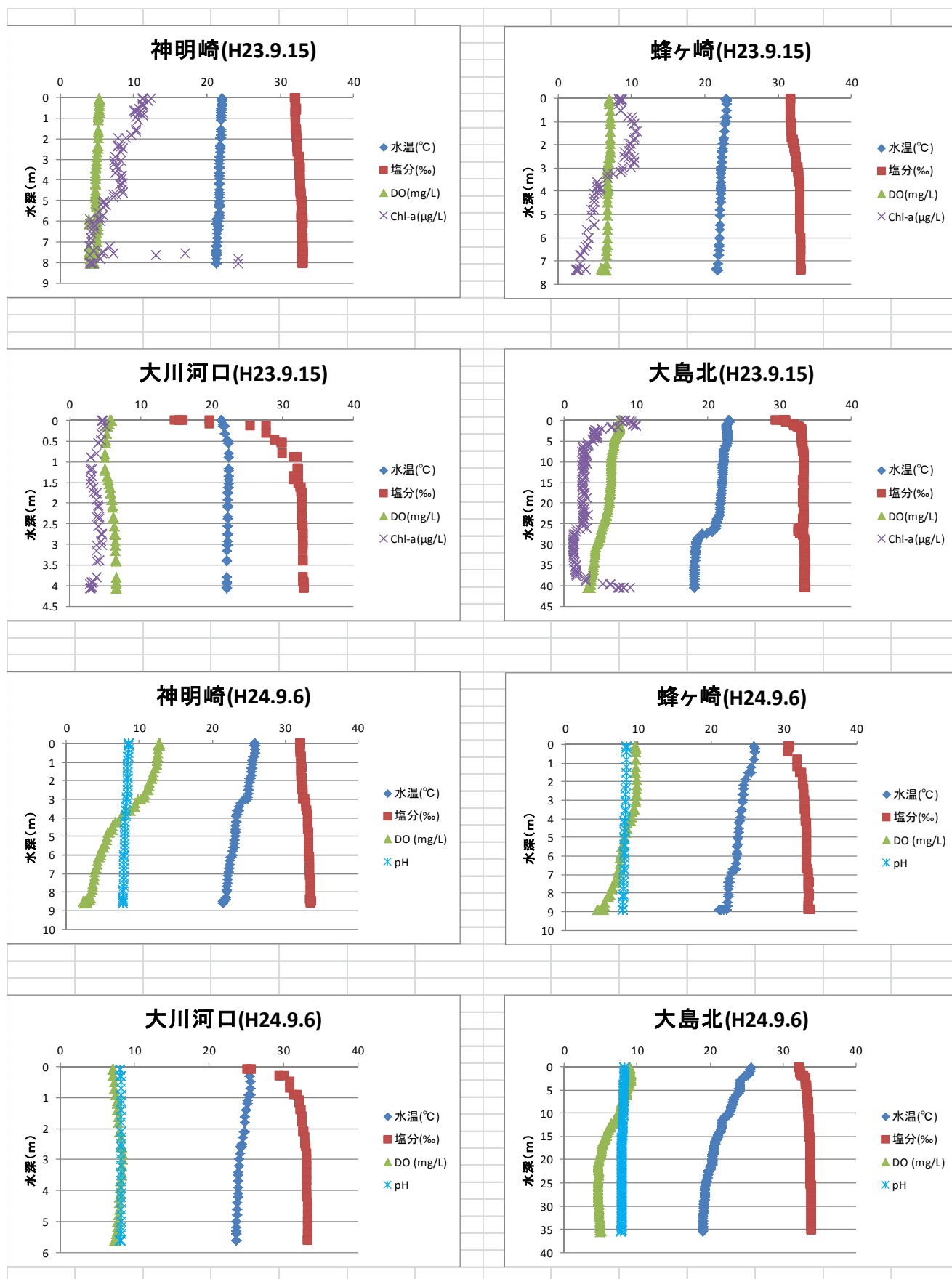


図6 気仙沼湾における水質鉛直分布調査結果

4 まとめ

- ① 過去10年間のデータによると、松島湾桂島及び西浜におけるCODトレンドは、夏季に高く冬季は低い傾向を示し、全体的には漸増傾向を示している。COD75%値では、桂島はA類型の環境基準値2mg/Lを超過しており、西浜はB類型の環境基準値3mg/Lを達成している。
- ② COD構成要素の調査結果では、桂島と西浜に際立った差は見られず、いずれの項目も同程度のレベルであり、夏季に高く冬季は低い傾向となっている。平成23年8月は震災5ヶ月後のデータであるが、Chl-aが高く懸濁性のCODやPOCが高いことから、懸濁性有機物の多くを占める植物プランクトンの影響が考えられる。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。
- ③ COD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、懸濁性の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。懸濁性のCODとPOCは正相関を示し、懸濁性のCODは懸濁性有機炭素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(DOC+POC)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が低い傾向にあり、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。
- ⑤ 松島湾における水質鉛直分布調査結果によると、H23.8.30のデータでは、桂島及び西浜とも1m付近に弱い躍層が見られChl-aが変化している。塩分濃度から判断して淡水流入量は少なく、DO値は底層に行くほど低くなるが貧酸素状態とはなっていない。
- H24.8.27のデータでは、西浜において3m付近に水温躍層がみられ、表層では水温28℃が底層では24℃となっている。DO値は表層で6.3mg/Lであったが、底層では貧酸素水塊の目安とされる4.3mg/Lを下回る3.2mg/Lを観測した。
- H25.8.19のデータでは、桂島において2m付近

に水温躍層が見られ、西浜では5m付近に水温躍層が見られたが、貧酸素状態とはならなかった。

- ⑥ 気仙沼湾における水質鉛直分布調査結果によると、震災後のH23.9.15のデータでは、湾奥である神明崎、蜂ヶ崎では表層付近に植物プランクトンの影響と考えられるChl-aの変化が見られるが、水温躍層は形成されていない。大川河口では、低塩分表層水による表層DOの低下が見られた。最深部の大島北では、水深27m付近に水温躍層が形成され、これを境に貧酸素水塊が発生し最深部ではDO値が3.2mg/Lまで低下した。

H24.9.6は、気仙沼湾に赤潮が大発生しており、湾奥部の神明崎では表層DOが過飽和となっていたが、底層では2.3mg/Lと貧酸素水塊を形成していた。大島北では10~15mにかけてDO値が急激に低下し、底層では4.8mg/Lまで低下したが、貧酸素水塊の目安4.3mg/Lには至らなかった。

本報告書は、宮城県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取りまとめ、報告書として完成することから、東京湾と松島湾の比較等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
「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」
【平成26年3月】
- 2) 鹿児島県環境保健センター 貴島宏 他
「鹿児島湾における水質調査に関する考察」
【平成24年度所報第13号】
- 3) 宮城県公共用水域及び地下水水質測定結果報告書
【平成13～22年度】

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

1. はじめに

茨城県の東側は太平洋に面し、その海岸線延長は 190 km におよぶ。海岸地形は直線状で砂浜が多く、閉鎖性海域はなく、特に富栄養化している海域も見られていない。親潮と黒潮が複雑に交錯する海域では沿岸漁業が盛んで、ヒラメ、チダイ、イカ、タコ、ソイ類の好漁場であり、チョウセンハマグリの漁獲高も高い。鹿島灘には重工業コンビナートが集中しているが、外洋域に面していることもあり、特に水質汚濁は顕在化していない。

今回、公共用水域の常時監視の項目と測定頻度共に高く、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二箇所を選び、夏季と冬季の年 2 回、現場測定と採水を行って 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. 現場調査、測定・分析方法

2.1 調査・採水時期

2011 年 9 月、2012 年 1 月と 8 月、2013 年の 1 月と 9 月、2014 年の 1 月の計 6 回行った。

2.2 調査点

図 1 に示す県北部の北茨城市・大津漁港（水深～7 m）と県央東部の大洗港（水深～4 m）の二地点で岸壁から調査・採水を行った。これら二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。

なお二地点とも 2011 年 3 月の東日本大震災時に発生した津波に襲われ、大津漁港は波除堤、漁港の岸壁が相当の被害を受け、現在（2014 年 3 月）も修復工事中である。



図 1 茨城県における公共用水域常時監視点と大津漁港と大洗港の位置

2.3 現場測定・採水・分析

塩分、水温、溶存酸素（DO）は多項目水質計の 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 0.1 m 毎に測定を行った。透明度は透明度板を用いて測定した。採水はローテ型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。

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 1,000 ml 程度吸引ろ過したものをホモジナイザーを用いてアセトン抽出を行い、遠心分離・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 (Inertsil ODS-4, カラム長さ 250 mm×4.5 mm 径, 粒子径 5 μm, GL サイエンス) 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 ($\text{NO}_3\text{-N}$ ・ $\text{NO}_2\text{-N}$), 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 (シリカ: SiO_2) 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 (TOC-5000A, 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 (TRAACS-800, 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 GF/F を用いて 1,000 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, 元素分析計 (FLASH2000, 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 公共用水域常時監視測定結果

茨城県のホームページ²⁾から上記二地点における COD の 2002～2011 年度間のデータを入手したものをグラフ化した。なお上述のように東日本大震災が発生した 2011 年 3 月は欠測となっている。

3. 結果

3.1 塩分, 水温, DO, 透明度

図 2 に大津漁港と大洗港における塩分, 水温, DO の鉛直分布をそれぞれ示した。採水を行った水深 1 m 層の各項目の値の範囲は, 大津漁港の夏季で水温 23.2～24.6℃, 塩分 32.6～34.4, DO 6.2～8.2 mg/L, 冬季で水温 9.3～9.6℃, 塩分 33.9～35.4, DO 9.1～9.5 mg/L, 大洗港の夏季で水温 24.5～25.8℃, 塩分 30.6～32.4, DO 7.1～8.1 mg/L, 冬季で水温 9.4～10℃, 塩分 33.3～35.1, DO 8.3～8.9 mg/L であり, 大津漁港の方が大洗港より海水温が低く, 塩分は高い傾向にあった。2011 年 9

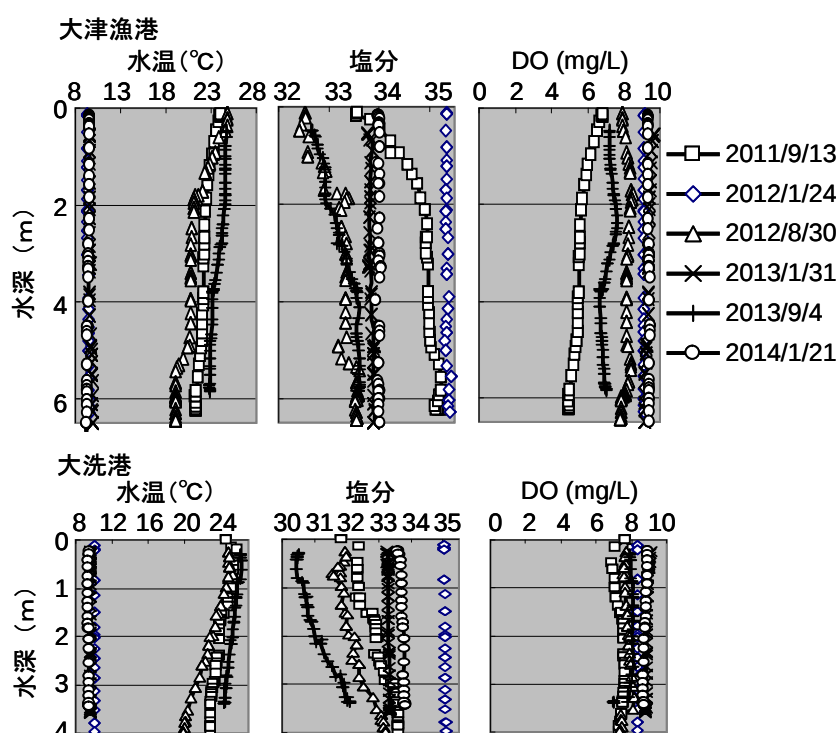


図 2 大津漁港と大洗港における海水温, 塩分, DO の鉛直分布

月の大津漁港を除く夏季，冬季を問わず二地点とも，顕著な水温・塩分躍層は見られなかった。二地点とも夏季に底層 DO 低下（貧酸素水塊）は見られなかった。

透明度は表 1 に示すとおり大津漁港で夏季に 3～4.3 m，冬季に 4.5～6.8 m，大洗港で夏季に 2.5～3.5 m，冬季は 1.8～4 m となり，二地点とも夏季に低く夏に高くなる傾向にあり，冬季には海底が見える時もあった。これは後述するように冬季は夏季より植物プランクトン増殖の増殖が抑えられて，その結果，透明度が上昇するものと考えられた。

表 1 2011 年 9 月～2014 年 1 月間の夏季と冬季の大津漁港と大洗港における透明度 (m)

	大津漁港	大洗港
2011 年 9 月	4.3	2.5
2012 年 1 月	4.5	1.8
2012 年 8 月	3.0	3.5
2013 年 1 月	6.8	3.5 以上（着底）
2013 年 9 月	4.3	2.5
2014 年 1 月	6.5 以上（着底）	4.0 以上（着底）

3.2 栄養塩類

栄養塩類の濃度範囲を表 2 に示す。地点間の比較では各項目とも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った。これは後述するように夏季に植物プランクトンが増殖し，栄養塩を取り込んでいることの表れだと考えられた。

表 2 2011 年 9 月～2014 年 1 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	NO _x -N (NO ₃ -N+NO ₂ -N)	NH ₄ -N	DTN	PO ₄ -P	DTP	SiO ₂
大津漁港	夏季	0.017 (0.005)	0.014 (0.009)	0.182 (0.021)	0.004 (0.002)	0.012 (0.001)	0.73 (0.21)
	冬季	0.069 (0.011)	0.017 (0.008)	0.177 (0.004)	0.014 (0.002)	0.017 (0.002)	0.74 (0.10)
大洗港	夏季	0.016 (0.003)	0.021 (0.003)	0.220 (0.023)	0.006 (0.004)	0.015 (0.003)	0.94 (0.39)
	冬季	0.123 (0.015)	0.058 (0.022)	0.288 (0.025)	0.025 (0.003)	0.027 (0.002)	1.07 (0.13)

3.3 COD 関連項目

今回調査・採水を行った二地点における水質の変遷を把握するために 2002～2011 年度の 10 年間の COD 値を図 3 に示した。二地点とも概ね夏季に高く冬季に低くなる傾向にあり，夏季に 4 mg/L，あるいは

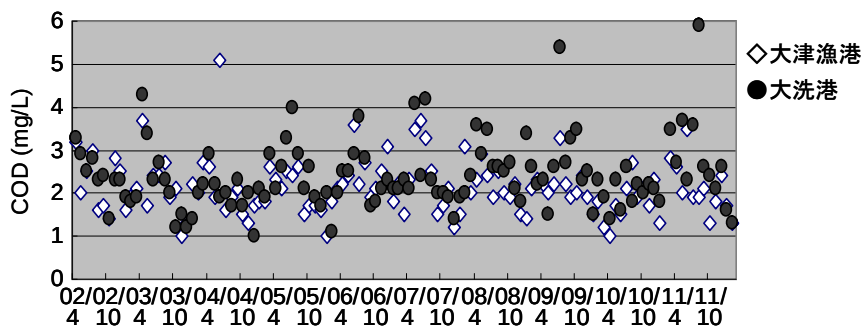


図 3 大津漁港と大洗港における 2002～2011 年度の 10 年間に渡る COD の変遷

5 mg/L を超える年度もあったが、75%値、平均値ともに特に顕著な増減の傾向は見られなかった。環境基準は大津漁港で 2007 年度、大洗港で 2011 年度それぞれを除いて達成されている。

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。概ねどの項目も大洗港の方が大津漁港より高い傾向を示し、特に Chl *a*、POC、懸濁性の COD（P-COD：COD から D-COD を差し引いたもの）において顕著であり、植物プランクトンの増殖（内部生産）の二地点間の相違が懸濁性の有機物の違いに表れているものと考えられた。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、その割合は平均で 80% 近くに達していた。これは二地点共に比較的低い Chl *a* 値が示すように、懸濁性の有機物の多くを占める植物プランクトンの細胞密度が冬季・夏季共に東京湾等の都市に隣接している閉鎖性海域ほど高くないことによるものと考えられた。

表 3 2011 年 9 月～2014 年 1 月の夏季と冬季の大津漁港と大洗港における 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	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC	POC	DOC+POC	Chl <i>a</i>
大津漁港	夏季	1.70 (0.10)	1.60 (0.00)	0.10 (0.10)	1.27 (0.26)	0.27 (0.02)	1.54 (0.26)	2.72 (1.02)
	冬季	1.67 (0.47)	1.24 (0.12)	0.43 (0.59)	0.72 (0.04)	0.12 (0.03)	0.84 (0.02)	0.75 (0.18)
大洗港	夏季	2.87 (0.41)	2.00 (0.30)	0.87 (0.68)	1.31 (0.02)	0.63 (0.11)	1.94 (0.13)	6.90 (3.29)
	冬季	1.67 (0.25)	1.37 (0.06)	0.30 (0.20)	0.72 (0.09)	0.26 (0.11)	0.98 (0.17)	0.73 (0.14)

地点間の比較では各項目とも概ね大津漁港より大洗港の方が高く、季節間の比較では夏季の方が冬季より高い傾向にあり、前述のように栄養塩類は夏季に低くなる傾向を示したように、水温の高いこの時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結果と考えられた。

図 4 に各項目間の関係を示した。POC と Chl *a* の関係では、大洗港では大津漁港より高い正の相関を示した。P-COD と Chl *a* の関係では大洗港は正の相関を示したが、大津漁港では示されなかった。このことは大洗港では P-COD の主な構成成分が植物プランクトンにあるのに対し、大津漁港では、それ以外の成分で構成されていることを示していると考えられた。POC に対する Chl *a* の係数（POC/Chl *a*）と同様に大洗港における P-COD に対する Chl *a* の係数

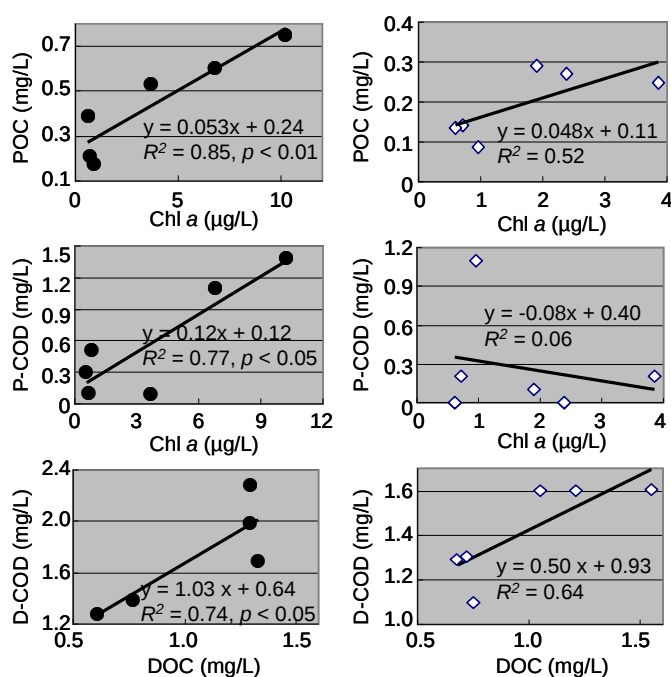


図 4 大洗港（左、凡例●）と大津漁港（右、凡例◇）における COD 関連項目間の関係

(P-COD/Chl *a*) は、本共同研究参加機関から送付された試水全検体について求めたもの (POC/Chl *a*, P-COD/Chl *a* 共に 0.041) より大きかった。これは大津漁港も含めてこの海域では植物プランクトンの増殖が活発でなく、生理的活性の低い細胞やその残査により懸濁性の有機物が構成されていることを示していると考えられた。D-COD と DOC の関係では、大洗港では大津漁港より高い正の相関を示し、D-COD に対する DOC の係数 (D-COD/DOC) も高かった。各地から送付された試水全検体について求めた D-COD/DOC は 1.5 であり、大洗港の方が大津漁港より近かった。このことは大洗での D-COD は DOC に依存しているが、大津漁港での D-COD は DOC 以外の因子により構成されている可能性を示していると考えられた。

4. まとめ

2011 年夏季～2014 年冬季の間 6 回、大津漁港と大洗港の二値点で現場観測、採水を行い一連の測定を行ったところ、以下のことがわかった。

- ・ 透明度、栄養塩類共に冬季が高く、逆に Chl *a* や COD に関連する有機物指標は夏季に高くなり、水温が高い時季に植物プランクトンの増殖による内部生産が活発になることの反映であると考えられた。
- ・ 二地点とも有機物指標の 8 割は溶存性のものに占められていた。
- ・ COD が高くなるのと環境基準を突破した 75% 値を示すのは共に夏季であり、本海域で COD を上昇させる主要因は内部生産であると考えられた。
- ・ COD に関連する有機物指標が大津漁港より高かった大洗港では、懸濁性の有機物の主成分は植物プランクトン、溶存性の COD の主成分は DOC であると考えられたが、大津漁港では溶存性の COD の主成分は DOC 以外であることが示された。

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/bukyoku/seikan/kantai/water/kokyoyosuiiki.html>

千葉県沿岸海域における COD, DO の推移 (2003～2012 年度)

千葉県環境研究センター 水質環境研究室 飯村 晃

1 はじめに

千葉県では千葉県沿岸の公共用水域水質測定地点における溶存酸素及びCODの変動についてとりまとめた結果を報告する。

2 方法

公共用水域水質測定地点¹⁾の太平洋9地点および東京湾27地点の2003年度から2012年度までの10年間の上層及び下層の溶存酸素(DO)とCODの測定結果について解析した。各地点の名称、全水深と年当たりの観測回数を表1に、図1に解析対象地点のおよその位置を示した。

測定結果の中で上層とは海面から深さ0.5mの点を表す。また、下層とはSt1～20及び水深16m未満の測定地点においては観測時の(全水深－1m)の点を、St21～28のうち水深16m以上の測定地点においては海面から深さ15mの点を表している。

St22～28, P1～9においては2011年3月のデータが欠測となっている。また、St22及びSt27においては2011年度より観測月が変更(奇数月→偶数月)になっている。

表1 解析対象地点

地点名(図中表記)	全水深(m)	観測頻度
東京湾1(St1)	7.3	12/年
東京湾2(St2)	5.9	12/年
東京湾3(St3)	5.6	12/年
東京湾4(St4)	10.7	12/年
東京湾5(St5)	8.2	12/年
東京湾6(St6)	10.3	12/年
東京湾7(St7)	9.0	12/年
東京湾8(St8)	17.4	12/年
東京湾9(St9)	15.1	12/年
東京湾10(St10)	18.1	12/年
東京湾11(St11)	16.2	12/年
東京湾12(St12)	17.4	12/年
東京湾13(St13)	20.0	12/年
東京湾14(St14)	19.9	12/年
東京湾15(St15)	13.3	12/年
東京湾16(St16)	14.4	12/年
東京湾17(St17)	13.1	12/年
東京湾18(St18)	12.0	12/年

地点名(図中表記)	全水深(m)	観測頻度
東京湾19(St19)	10.1	6/年
東京湾20(St20)	9.9	6/年
東京湾21(St21)	22.1	6/年
東京湾22(St22)	17.0	6/年
東京湾23(St23)	24.5	6/年
東京湾24(St24)	28.5	6/年
東京湾25(St25)	13.2	6/年
東京湾27(St27)	62.4	6/年
東京湾28(St28)	>500	12/年
太平洋1(P1)	19.8	4/年
太平洋2(P2)	14.9	4/年
太平洋3(P3)	15.1	4/年
太平洋4(P4)	12.0	4/年
太平洋5(P5)	13.5	4/年
太平洋6(P6)	26.7	4/年
太平洋7(P7)	77.4	4/年
太平洋8(P8)	64.8	4/年
太平洋9(P9)	40.9	4/年

全水深は2003年度～2012年度の全調査の平均値

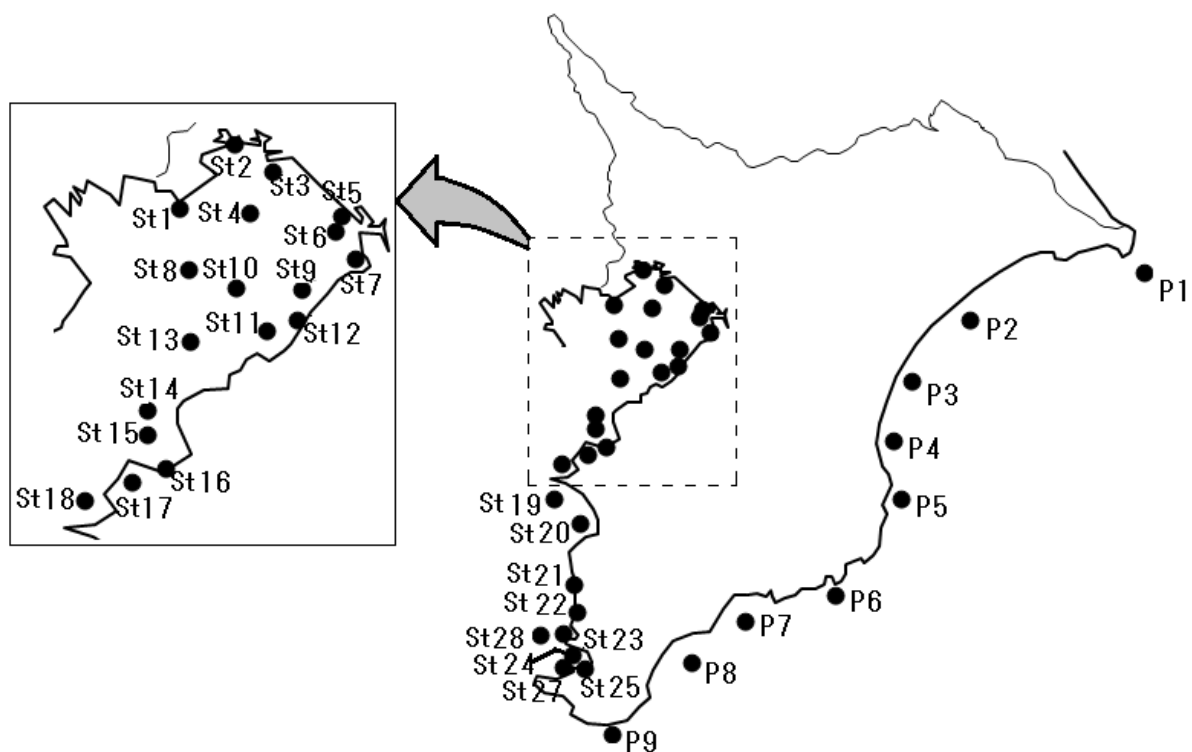


図 1 観測地点

3 結果と考察

(1) COD

各測定地点の上層と下層の COD 濃度の推移を図 2 に示す。報告下限値(0.5mg/L)未満の測定値は 0 としてプロットした。東京湾内湾の 18 地点については環境基準類型指定の C 類型(6 地点), B 類型(10 地点), A 類型(2 地点)ごとにまとめて示した。St19~28 はすべて A 類型であるが, 観測月の一致している地点ごとにまとめて示した。太平洋の地点は類型指定がなされていないので地点番号順に示した。

上層 COD は東京湾内の地点ではおおむね夏季に高く, 冬季に低くなる傾向がみられたが変動は激しかった。全体的に冬季には地点間のばらつきは小さくなる傾向がみられた。

下層 COD は内湾 C 類型の St2, 5, 7, B 類型の St1, 3, 6 では上層と差が小さく, 上層と類似した変動パターンを示していたのに対して, C 類型でも St12, 16, 17, B 類型で 4, 8, 9, 10, 11, 15, 18 では上層に比べて変動が小さかった。この違いは主として水深の違いによるとみられ, 全水深でおおむね 10m を超える地点では下層水の COD の変動が小さくなるような傾向がみられた。ただしこの傾向は内湾のみで, 内房, 太平洋の地点では水深の深い地点でも上下層の COD の差は小さく, 変動パターンも似通っていた。

(2) DO

図 3 には各測定地点の上層と下層の DO 濃度の推移を示した。図 2 と同様, 報告下限値(0.5mg/L)未満の測定値は 0 としてプロットした。東京湾の地点については類型ごと, 観測月の一致する地点ごとにまとめて示した。

内湾部では夏季を中心にしばしば極端に高い上層 DO が観測されていた。また, 夏季に下層の貧酸素化が進み, 報告下限値未満の無酸素状態も生じていた。貧酸素状態は南部に行

くにつれて緩和され St15 以南では無酸素状態が観測されることはなかった。

St19 からの内房海域では下層 DO はすべて 4mg/L を上回っていた。

外房・太平洋海域では上下層の DO 濃度差は小さかった。下層の貧酸素状態が生じることはなく、下層 DO が 4mg/L を下回ったのは 2011 年 5 月の P4 (3.9mg/L)，2012 年 5 月の P2 (3.7mg/L) の 2 回のみであった。

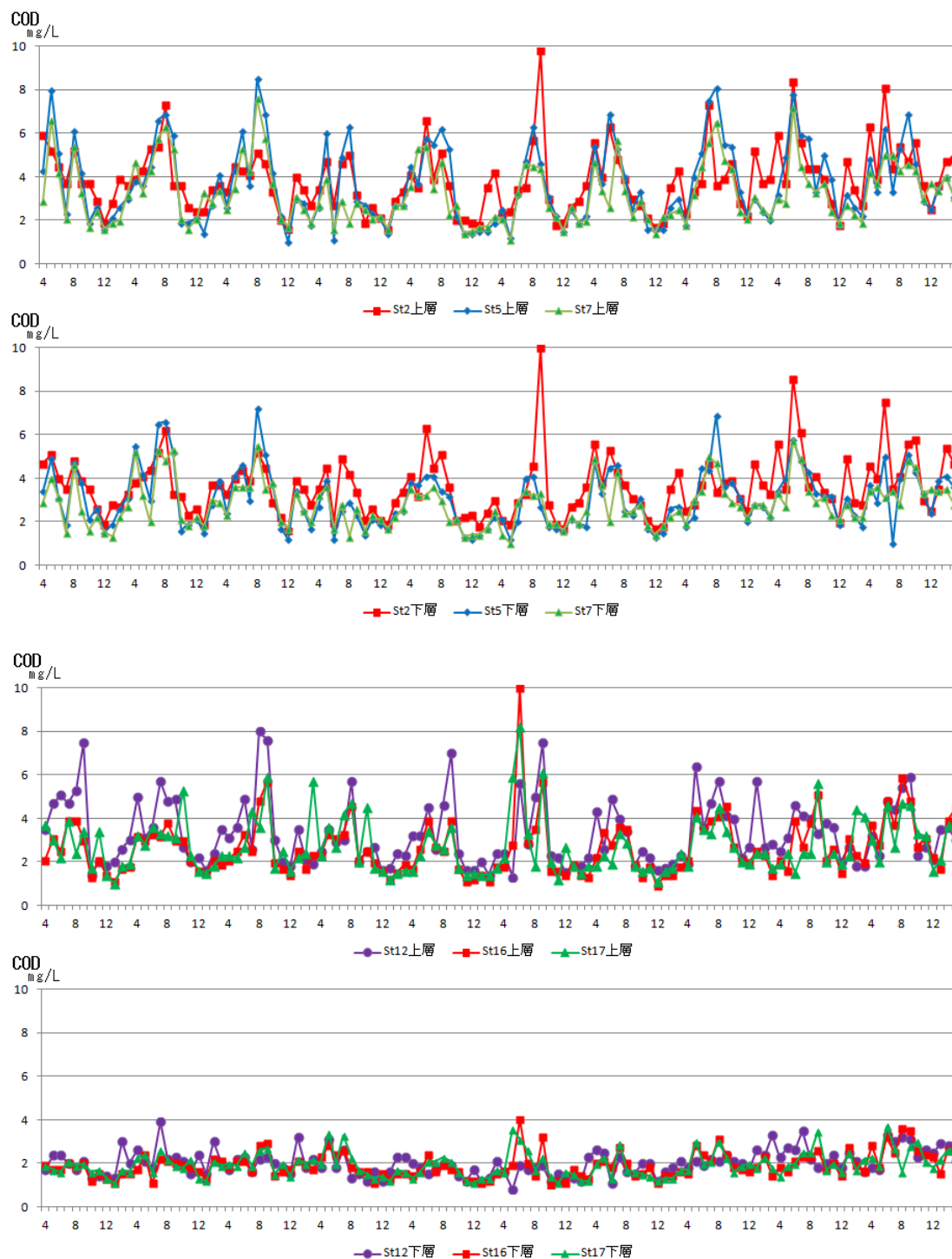


図 2 COD 濃度の推移 (内湾 C 類型, 上層; 水面下 0.5m, 下層; 全水深-1m)

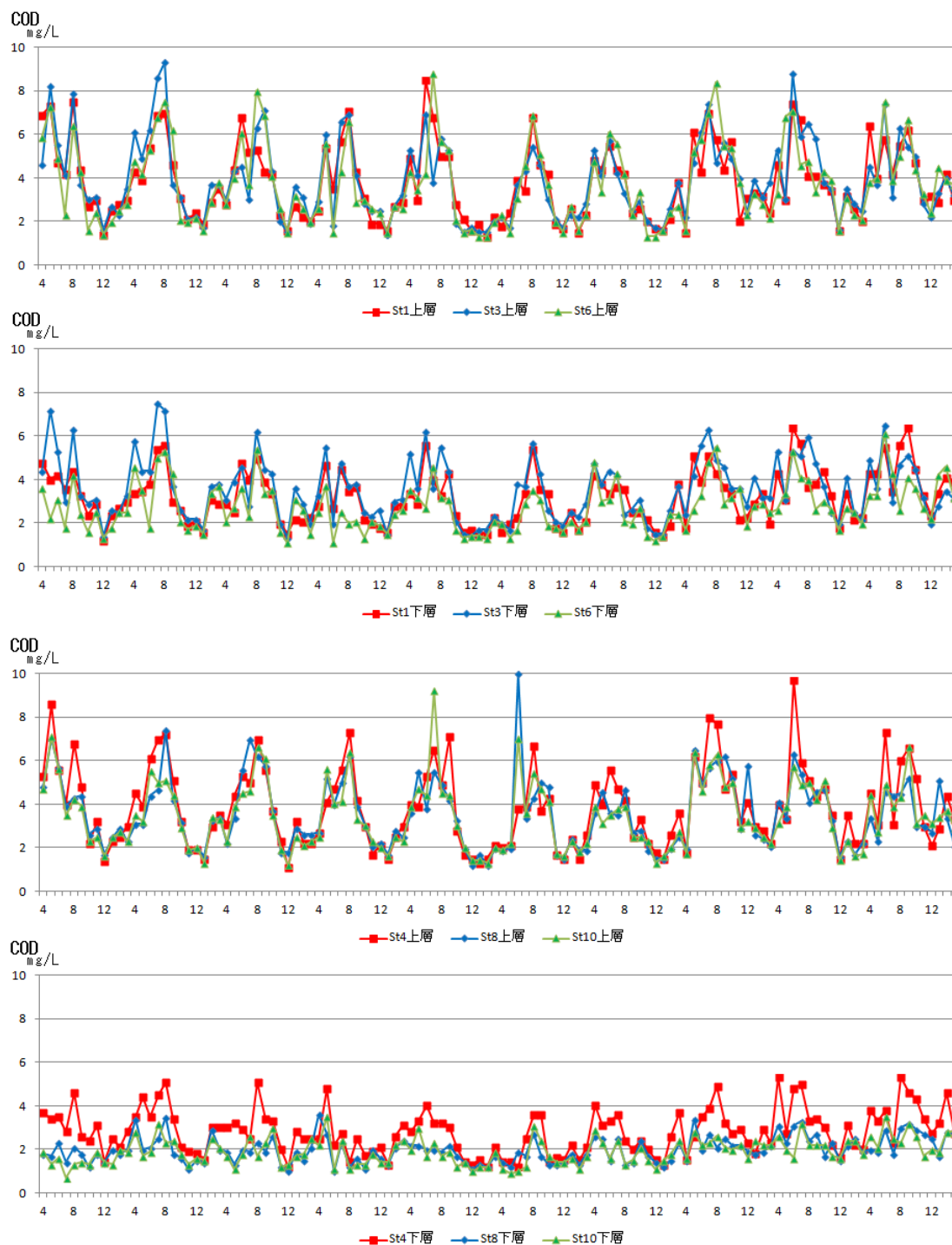


図 2(続き) COD 濃度の推移(内湾 B 類型(1), 上層;水面下 0.5m, 下層;全水深-1m)

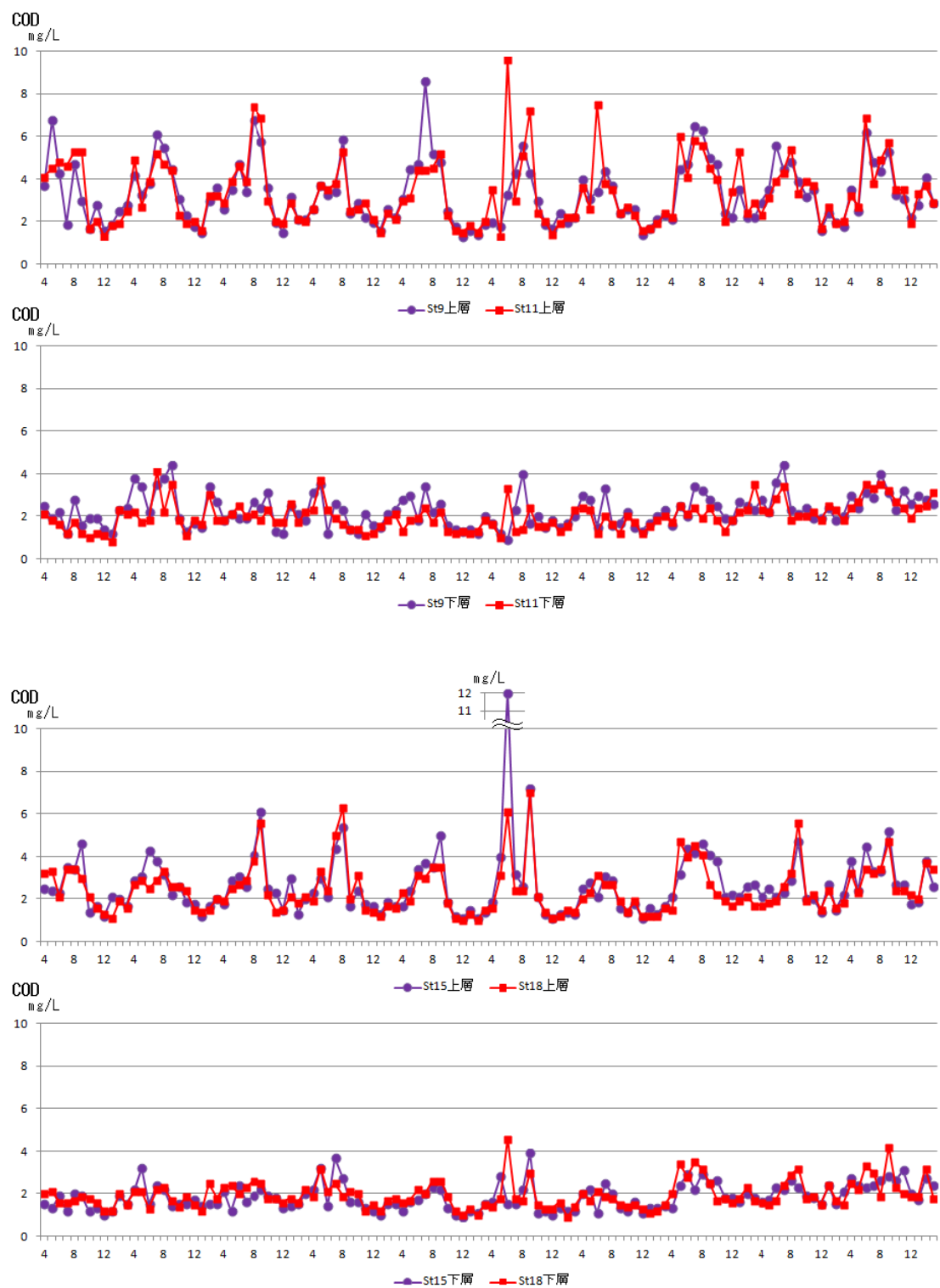


図 2(続き) COD 濃度の推移(内湾 B 類型(2), 上層;水面下 0.5m, 下層;全水深-1m)

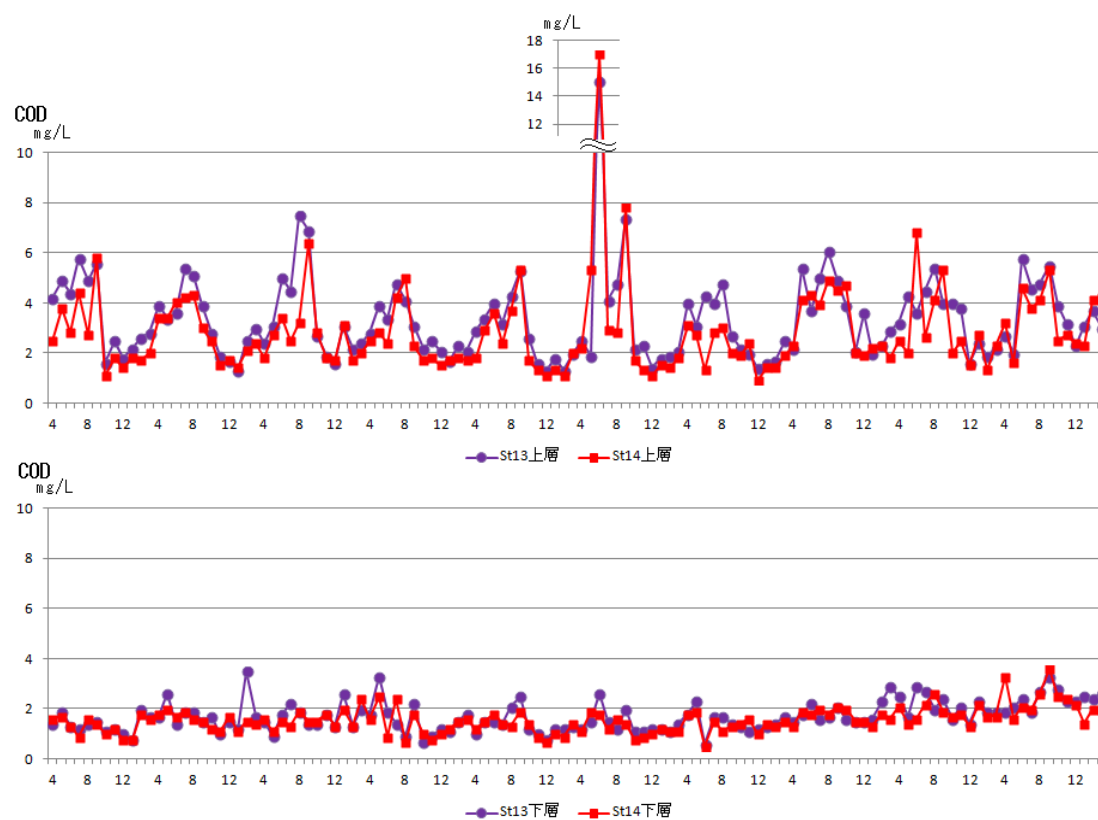


図 2(続き) COD 濃度の推移(内湾 A 類型, 上層;水面下 0.5m, 下層;全水深-1m)

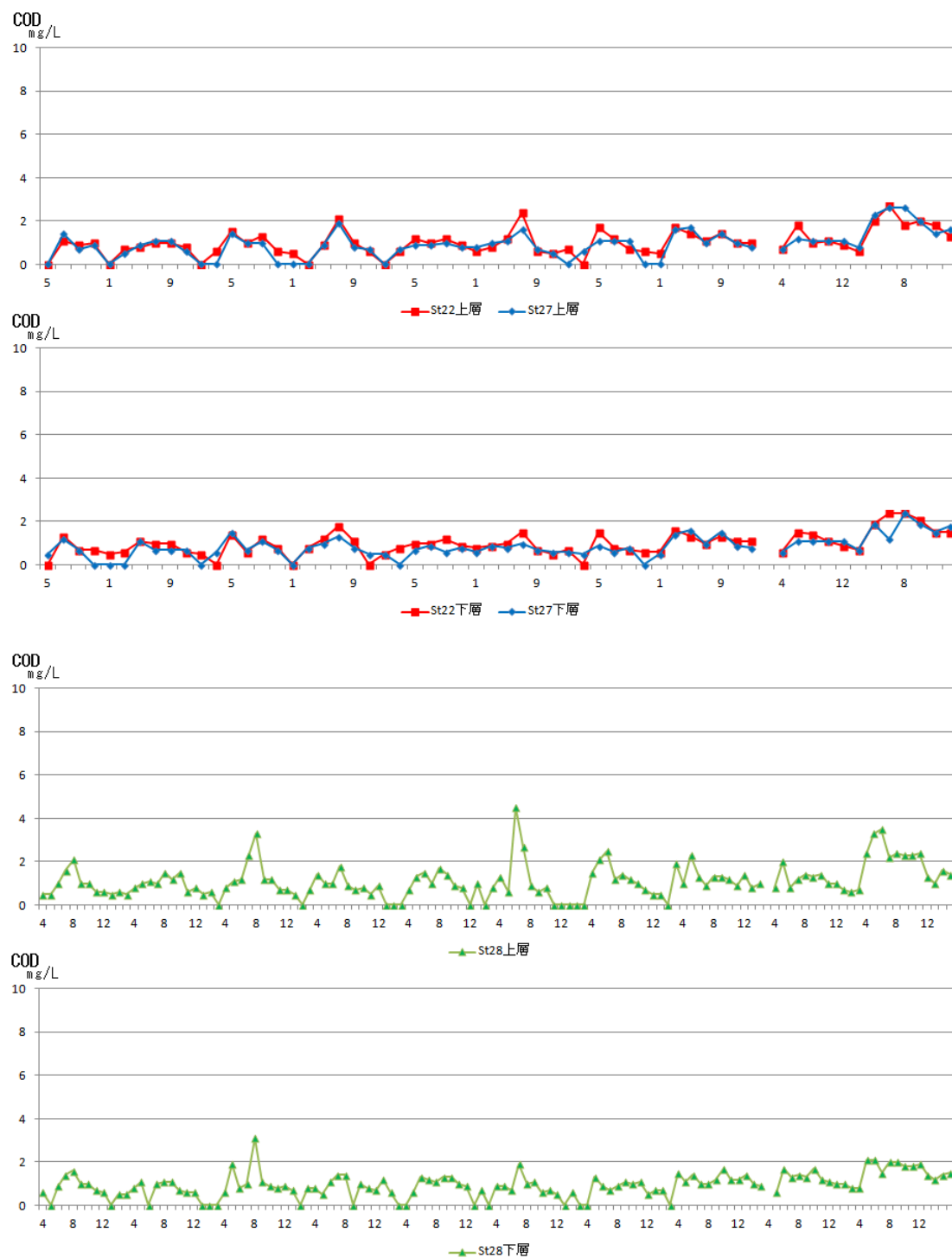


図 2(続き) COD 濃度の推移(内房(2)・湾口, 上層;水面下 0.5m, 下層;水面下 15m)

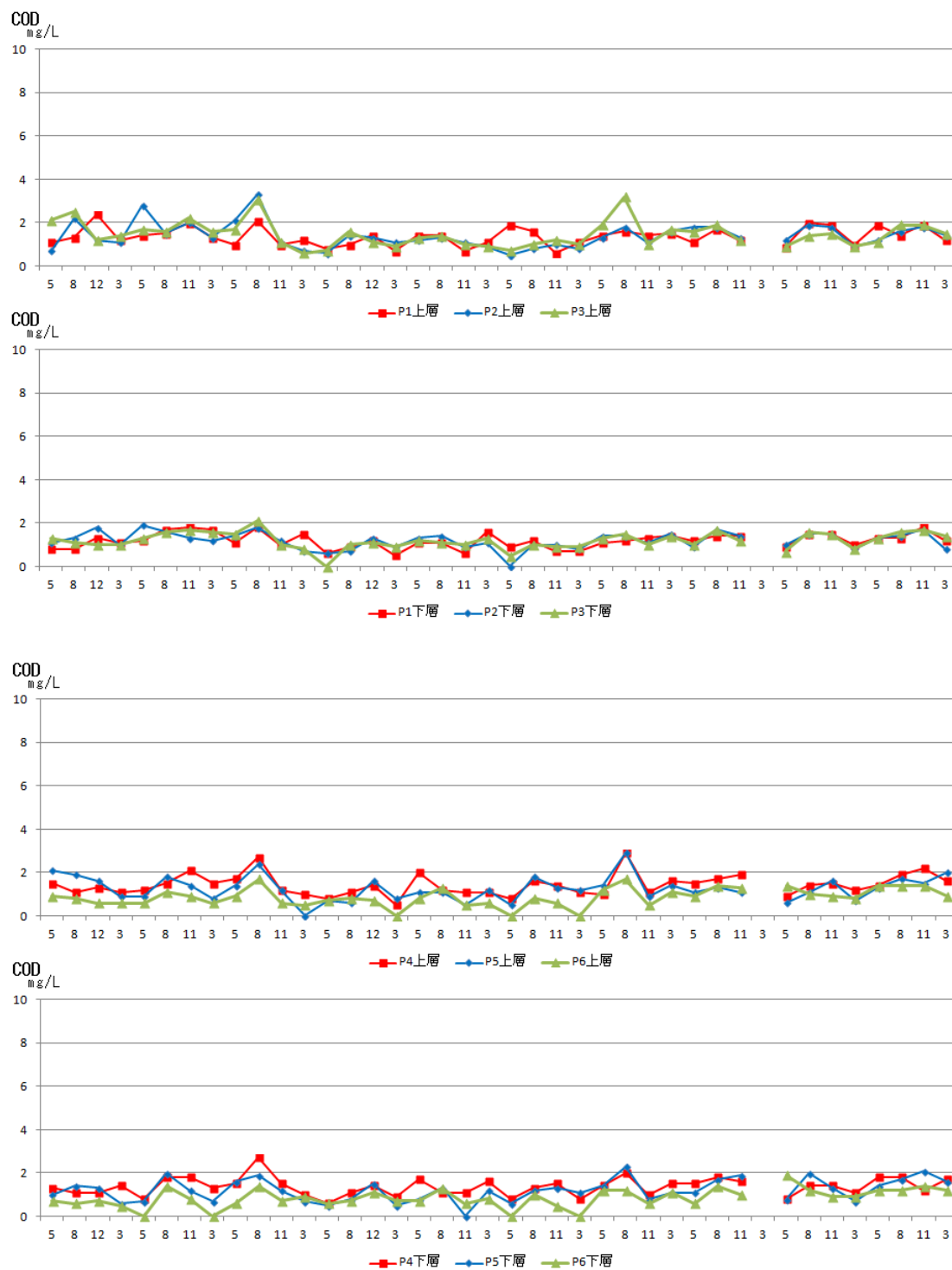


図 2(続き) COD 濃度の推移(太平洋(1), 上層;水面下 0.5m,
下層;全水深-1m(St1,6 は水面下 15m))

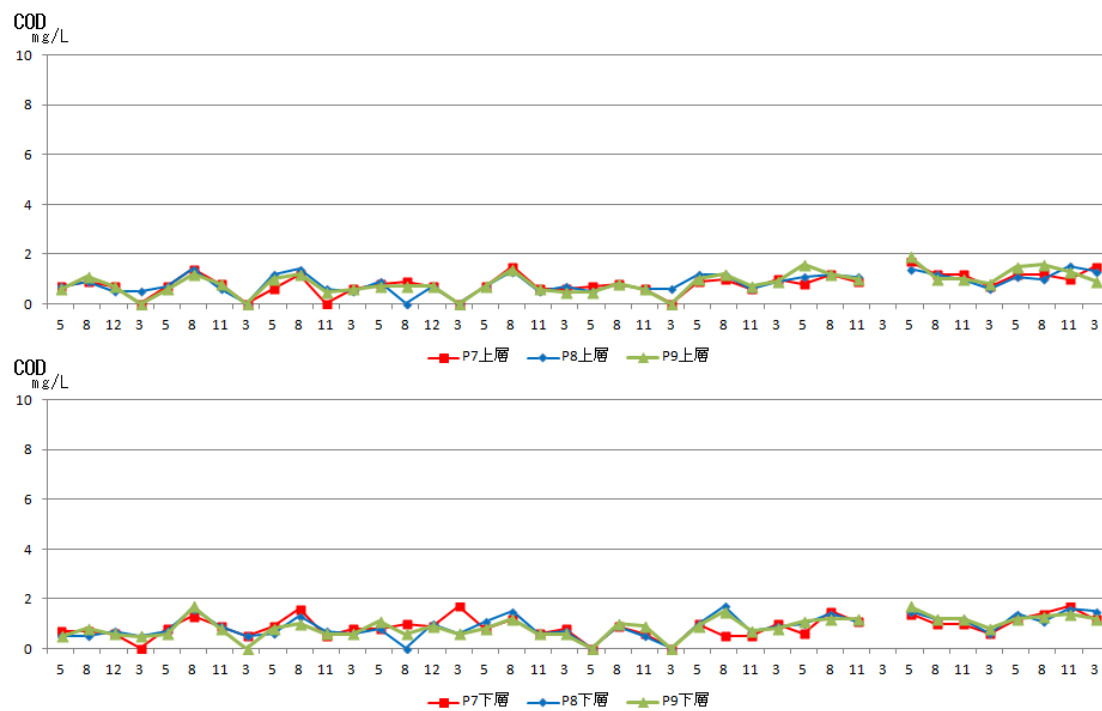


図 2(続き) COD 濃度の推移(太平洋(2), 上層;水面下 0.5m, 下層;水面下 15m)

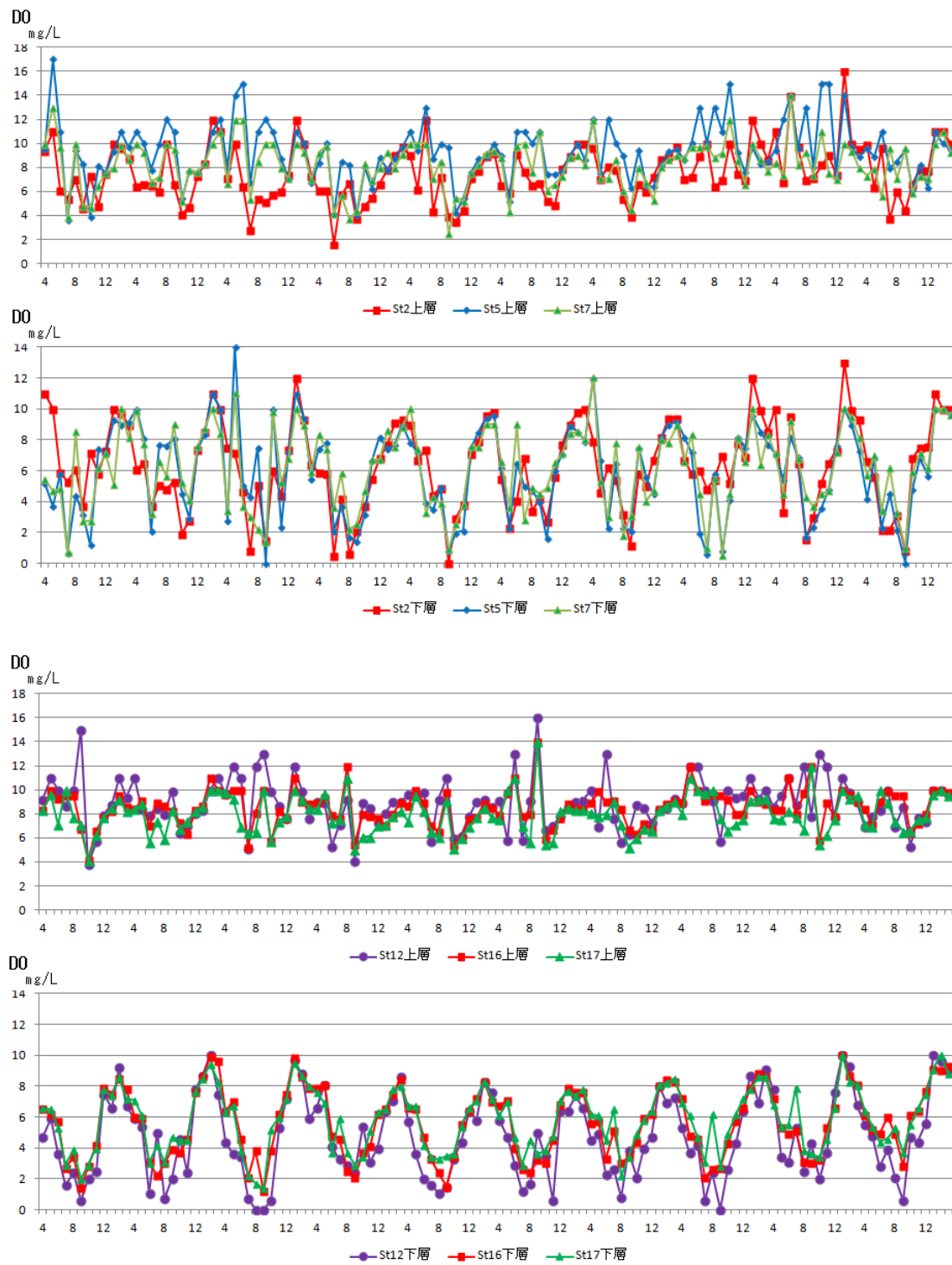


図 3 DO 濃度の推移(内湾 C 類型, 上層;水面下 0.5m, 下層;全水深-1m)

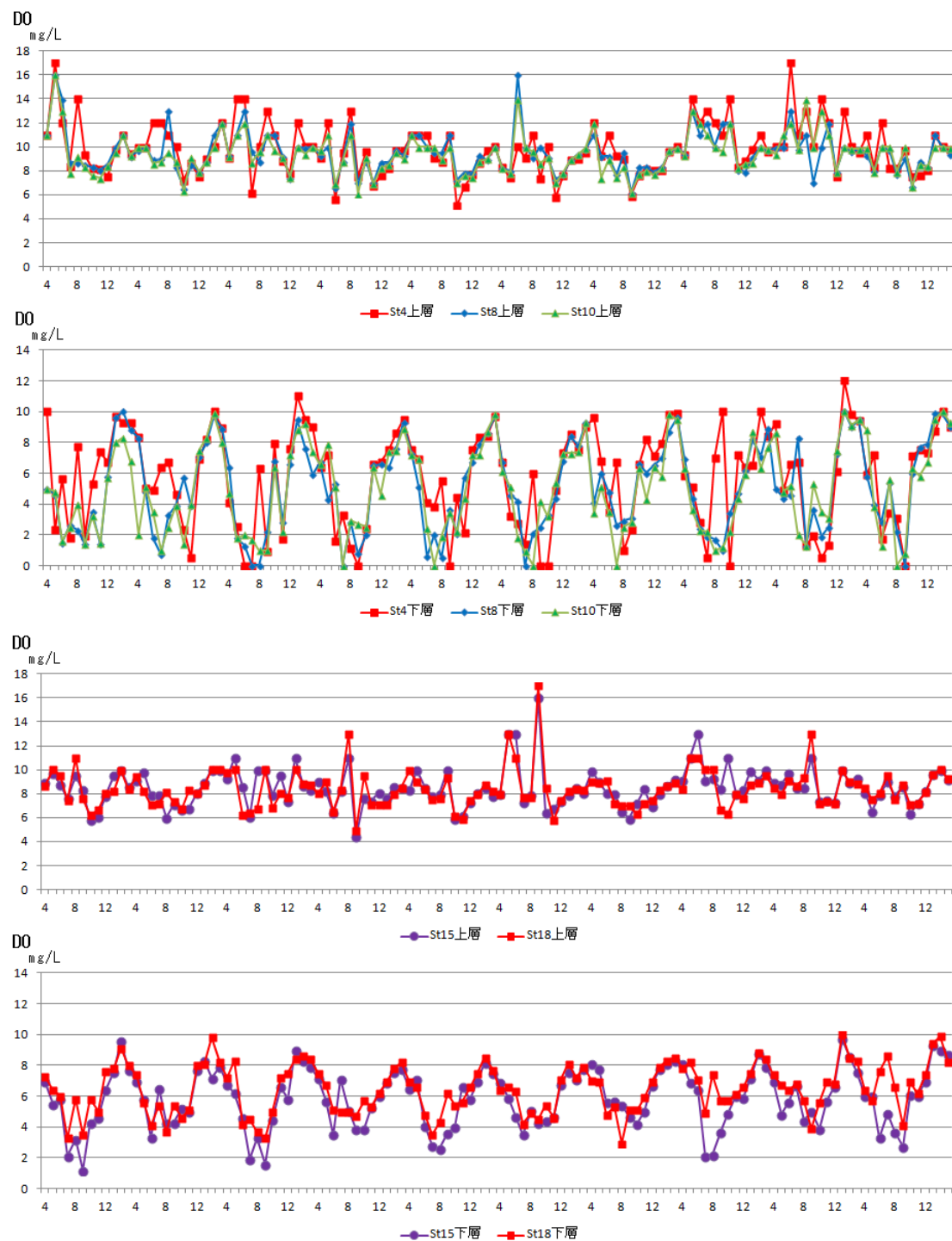


図 3(続き) DO 濃度の推移(内湾 B 類型(2), 上層;水面下 0.5m, 下層;全水深-1m)

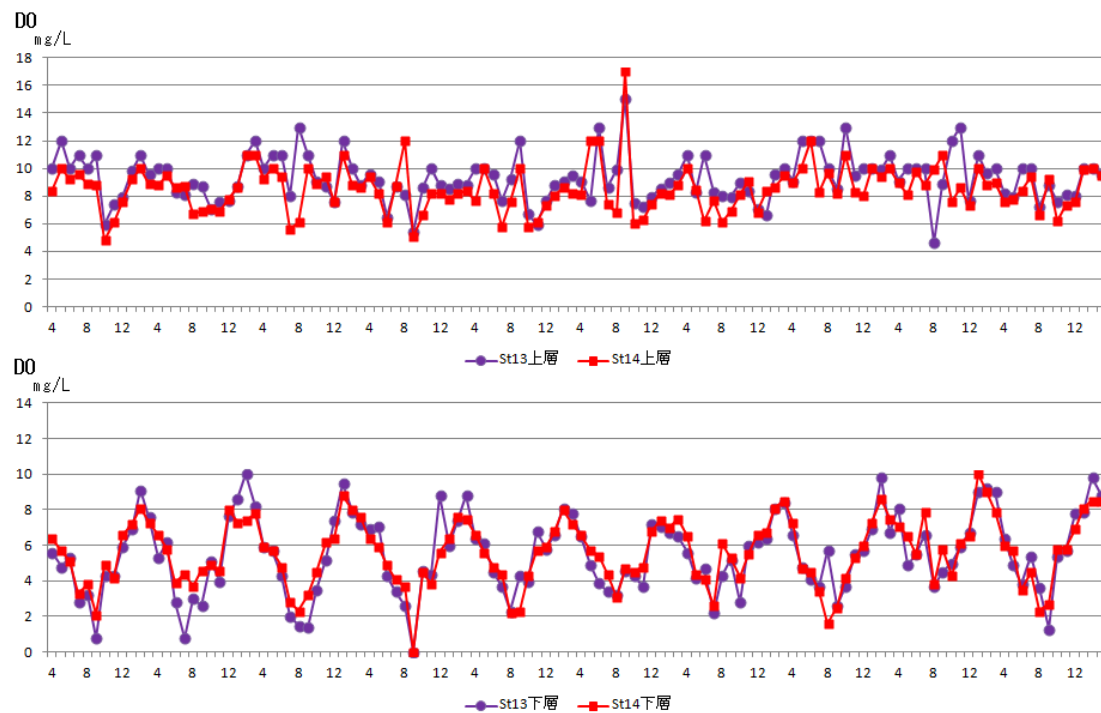


図 3(続き) DO 濃度の推移(内湾 A 類型, 上層;水面下 0.5m, 下層;全水深-1m)

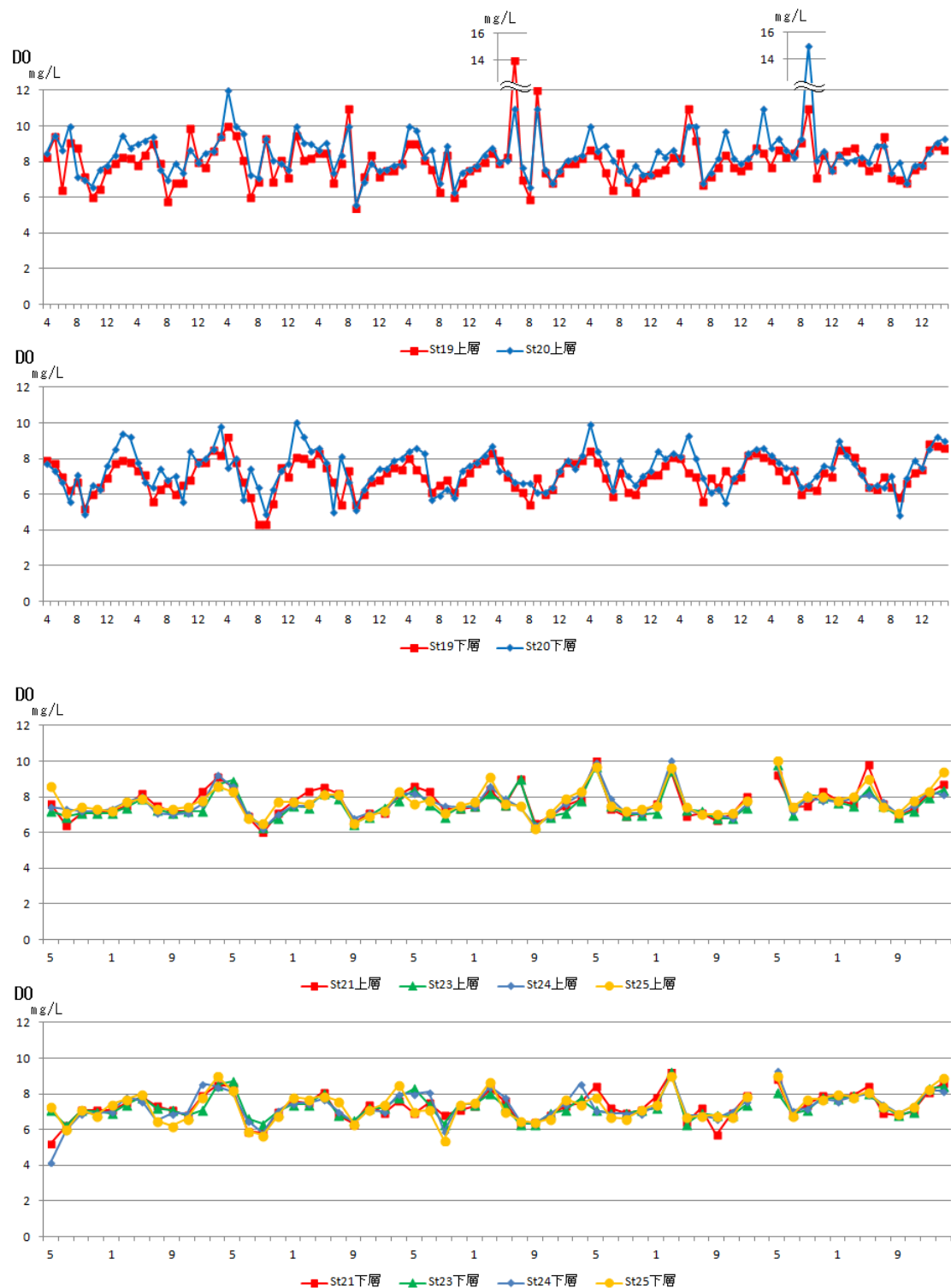


図 3(続き) DO 濃度の推移(内房(1), 上層;水面下 0.5m,
下層;全水深-1m(St21,23,24 は水面下 15m))

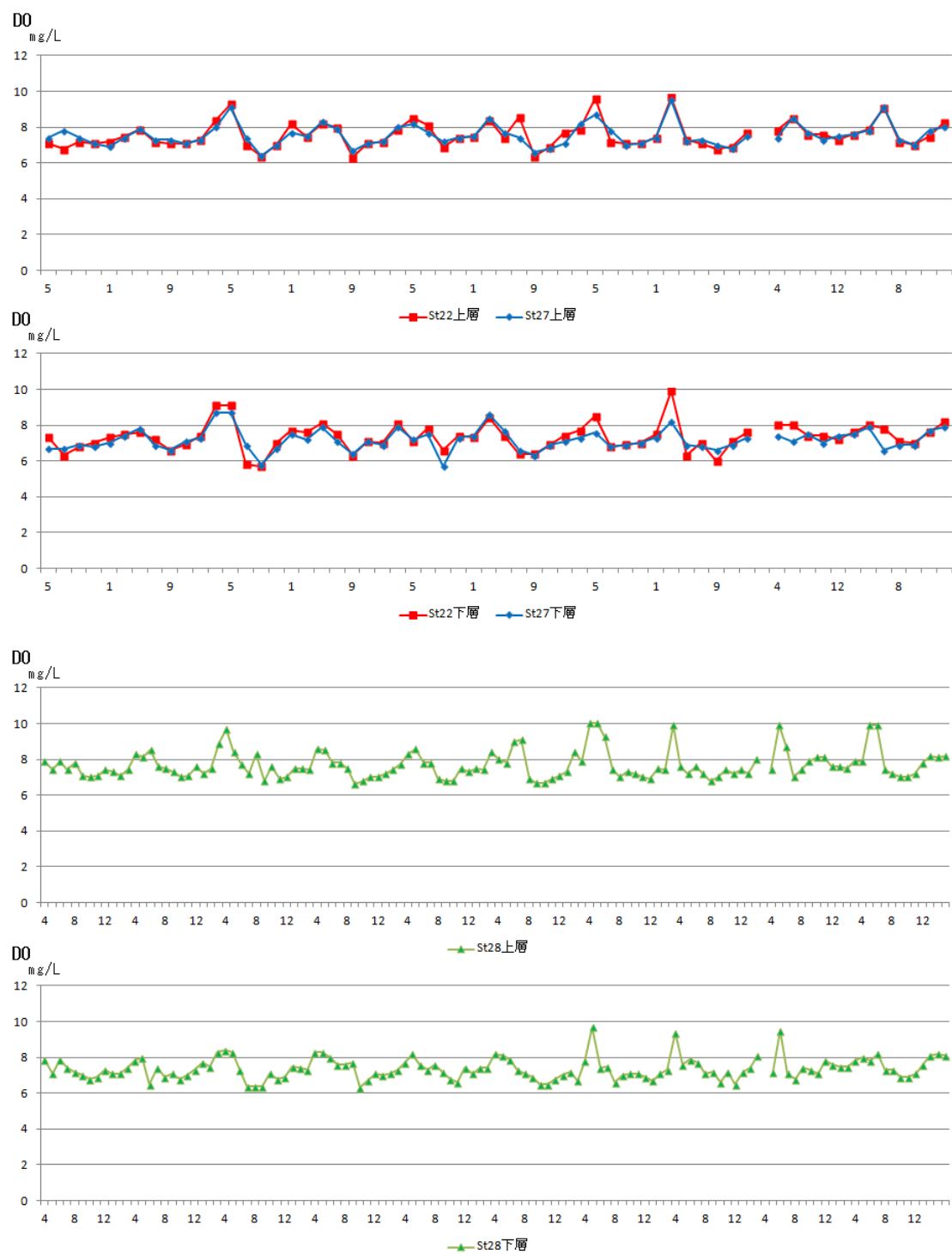


図 3(続き) DO 濃度の推移(内房(2)・湾口, 上層;水面下 0.5m, 下層;水面下 15m)

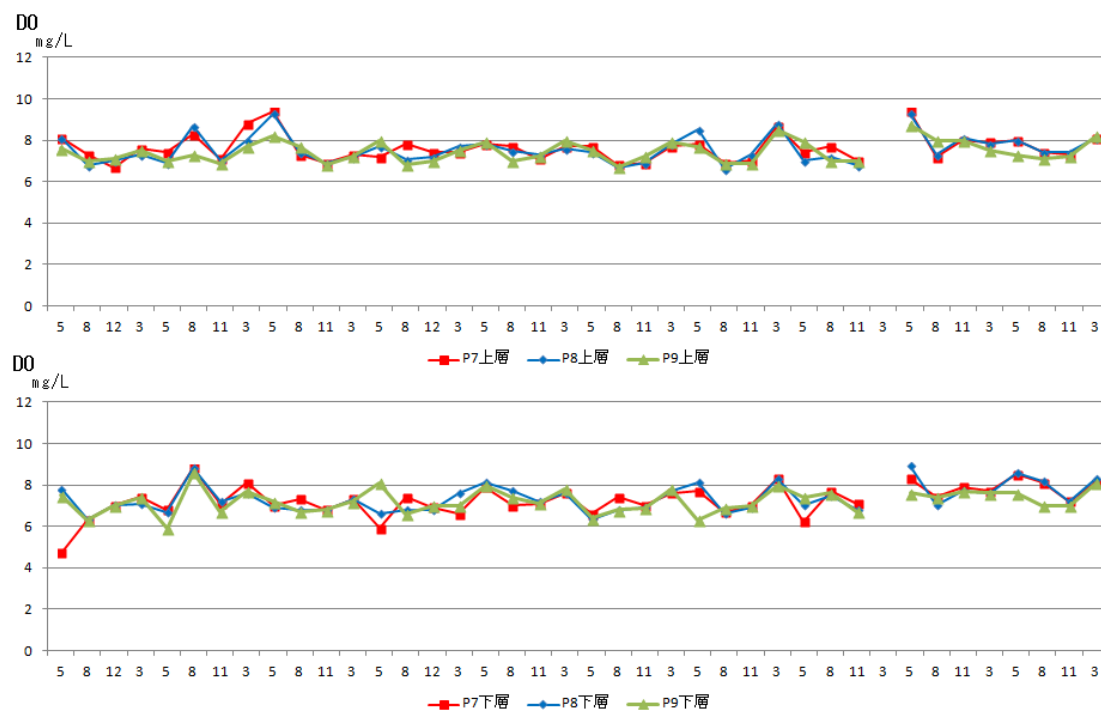


図 3 (続き) DO 濃度の推移(太平洋(2), 上層;水面下 0.5m, 下層;水面下 15m)

東京都内湾における COD、DO の推移（2011～2013 年度）

（公財）東京都環境公社 東京都環境科学研究所

安藤晴夫、和波一夫、石井裕一

東京都では、水質汚濁の状況を把握するため、毎年、水質測定計画に基づき調査を行っている。ここでは、2011～2013 年度（2013 年度は 12 月までの速報値）の公共用水域水質測定結果を利用し、化学的酸素要求量（COD）および溶存酸素（DO）の測定結果を整理した。対象とした地点は、図 1 に示す東京都内湾の環境基準点 3 地点（St. 5：13 号地船の科学館西、St. 25：東京灯標際、St. 35 多摩川河口東南 5km）で、各地点における COD と DO の経月変化、各地点の表層・底層の濃度差等について報告する。

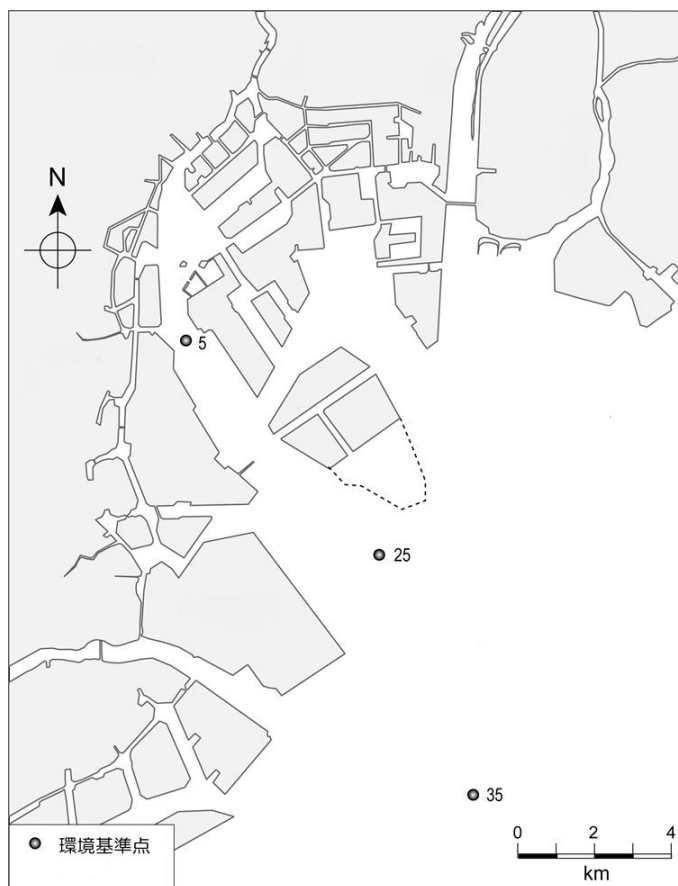


図 1 調査地点

図 2 に、各地点における表層水および底層水の COD の経月変化を示す。表層では高水温期（概ね 6 月～9 月）に高濃度になっており、赤潮との関連が示唆された。各地点の最大値は St. 5 で 8.0mg/l、St. 25 で 7.2、St. 35 で 7.0 であり、隅田川河口に近い地点ほど高濃度であった。また平均値でも同様の序列となっており、隅田川経由で流入する陸域負荷の影響と推察される。一方底層では、各地点とも明瞭な季節変化はなく、各地点ともに表層水に比べて低い濃度で推移していた（平均地：1.5～1.9mg/l）。

図 3 に、各地点における表層水および底層水の DO 濃度の経月変化を示す。底層では、2013 年度の 8 月・9 月に DO 濃度が 0.5mg/l 未満との測定結果であったが、便宜上 0mg/l として作図した。表層では明瞭な季節変化は認められないものの、高水温期に高い値を示す地点が多かった。また St. 5 では、10 月または 11 月に当該年度の最小値（2011 年度：5.3mg/l、2012 年度 4.4、2013 年度 4.6）が観測されたのが特徴的であった。一方底層では、いずれの地点においても、冬季（2 月）に最高値、その後減少し夏季（8・9 月）に最低値となる同様の季節変化が認められた。赤潮が発生する高水温期には上下層の成層が強固になり、混合しにくくなることから、底層での貧酸素化が進行するためと推察された。

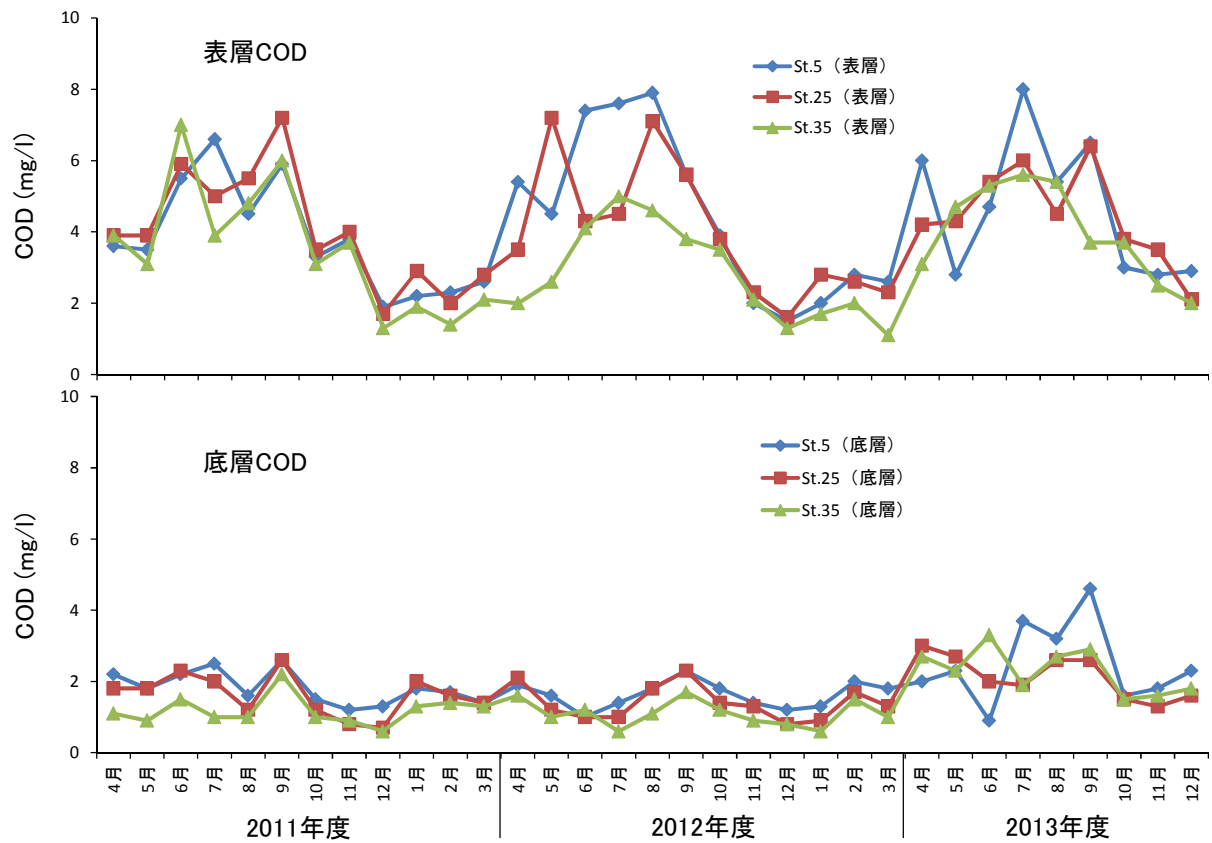


図2 CODの経月変化

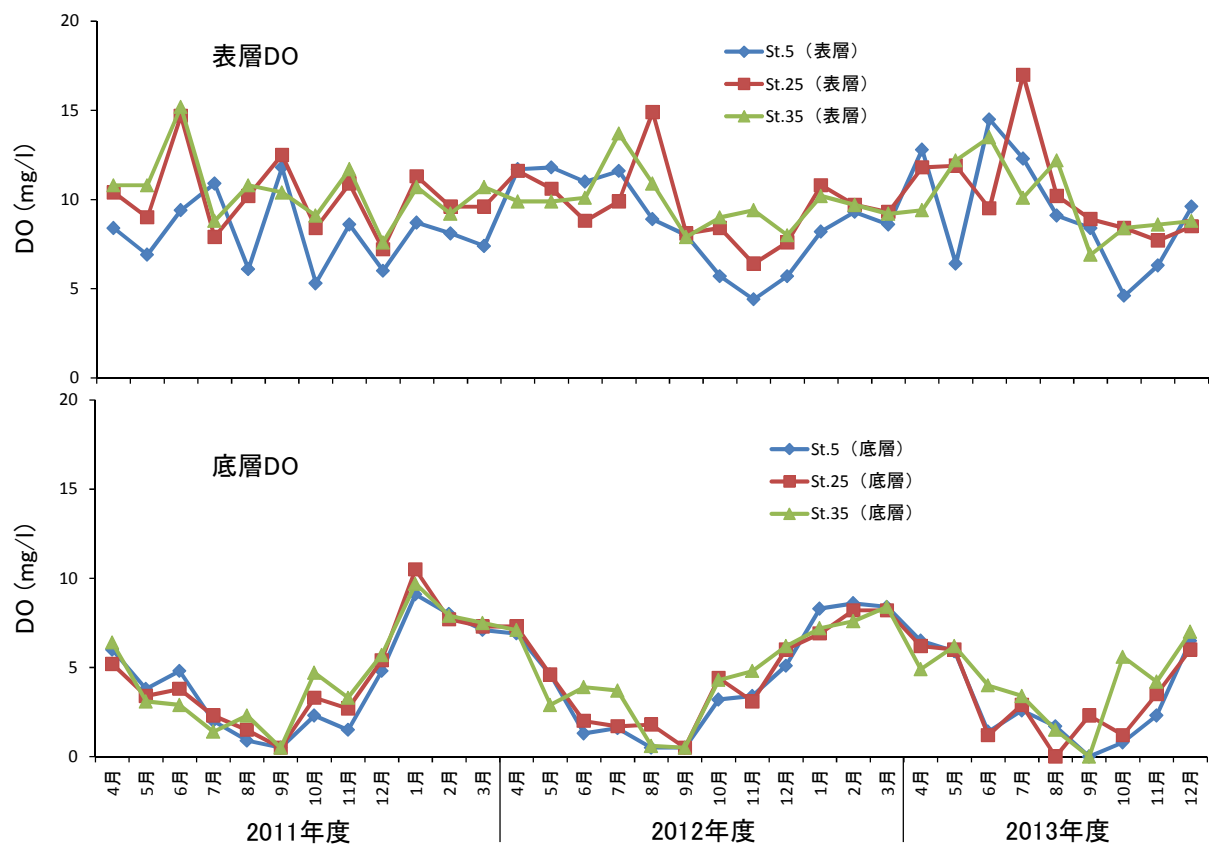


図3 DOの経月変化

川崎港における COD、DO の推移(2011～2012年度)

川崎市環境総合研究所 環境リスク調査課 岩瀬美香

1 測定地点

【沖合部】

①浮島沖 (26m)

②東扇島沖 (29m)

⑥扇島沖 (27m)

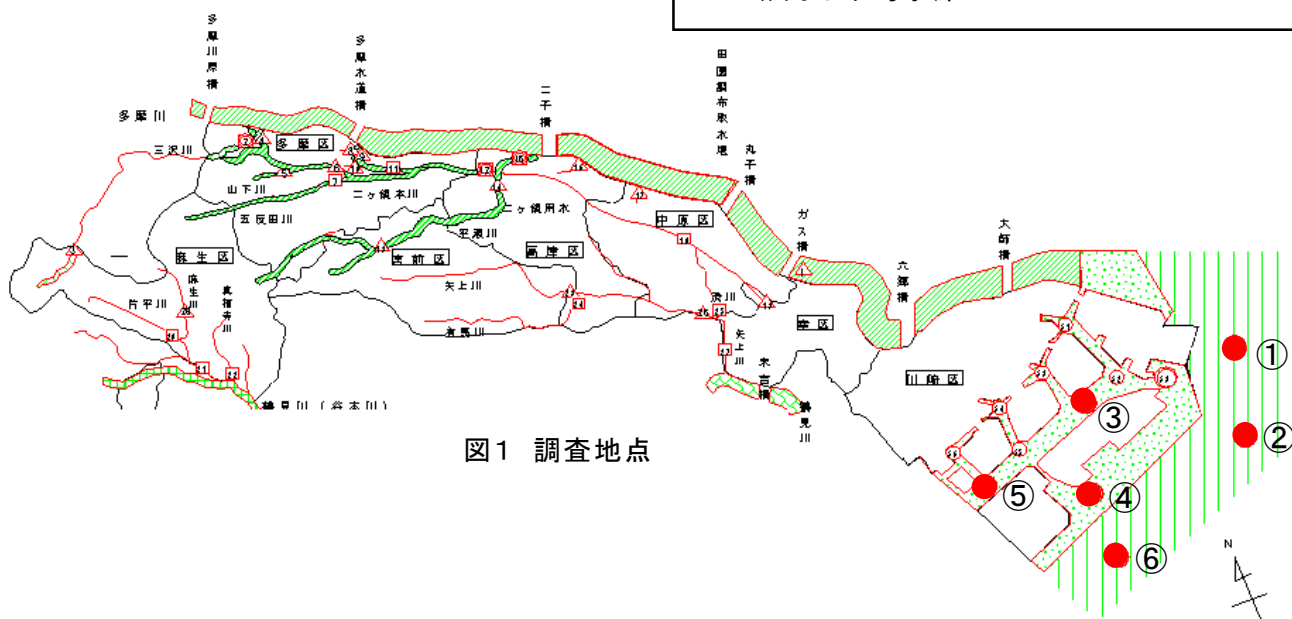
* () 内は平均水深

【運河部】

③京浜運河千鳥町 (15m)

④東扇島防波堤西 (17m)

⑤京浜運河扇町 (14m)



2 結果

川崎市では毎月1回測定計画に基づき、図1に示した川崎港の6地点において水質測定を実施している。今回は2011年度から2012年度における COD、DO 濃度の推移について報告する。

図2には、川崎港沖合部の3地点(浮島沖、東扇島沖、扇島沖)及び運河部の3地点(京浜運河千鳥町、東扇島防波堤西、京浜運河扇町)での上層と下層の COD 濃度の推移を示した。

上層、下層とも地点による濃度の差はほとんど見られなかった。上層 COD 濃度は夏季に高く、冬季に低くなる傾向が見られた。下層 COD 濃度は年間を通して、概ね 2mg/L までの範囲にあり、上層 COD に比べて濃度は低かった。

図3には、上層と下層の DO 濃度の推移を示した。上層 DO 濃度は沖合部、運河部ともに夏季に地点間で濃度のばらつきが大きく、冬季には類似した推移を示した。下層 DO 濃度は沖合部、運河部ともに地点間でほとんど差が見られず、夏季に濃度が低く、冬季に高くなる傾向を示した。9月には DO がほとんど0に近づき、極端な貧酸素状態を示した。

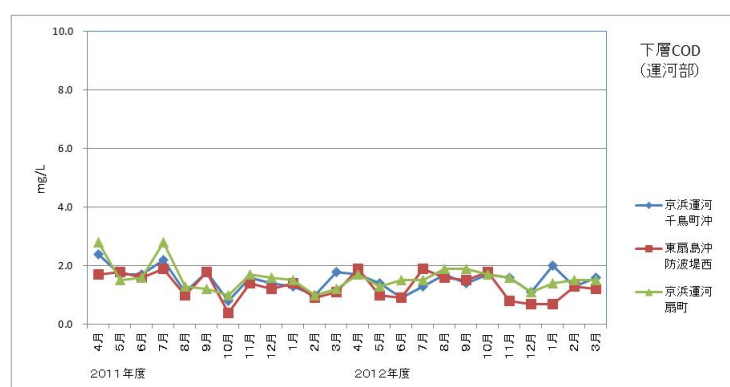
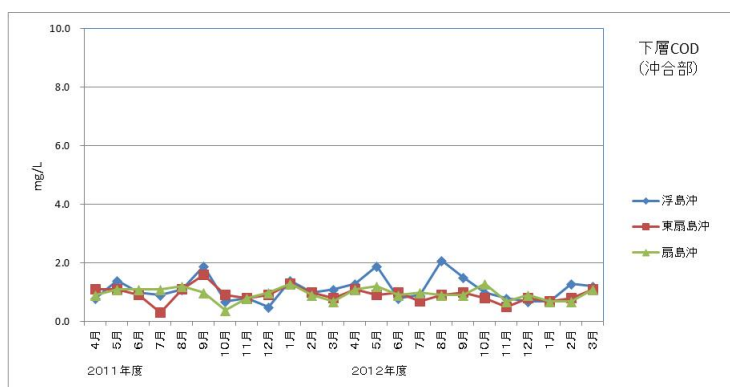
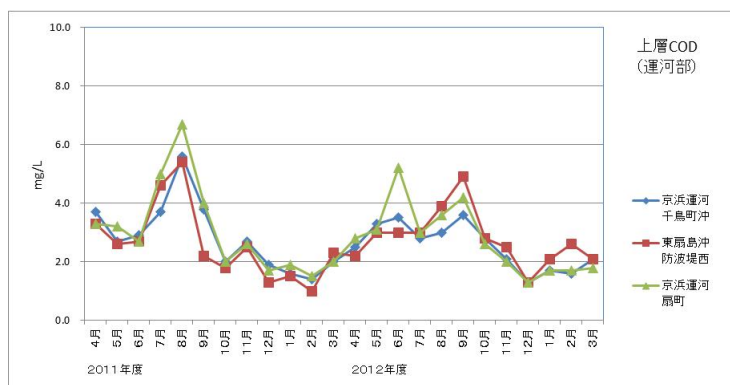
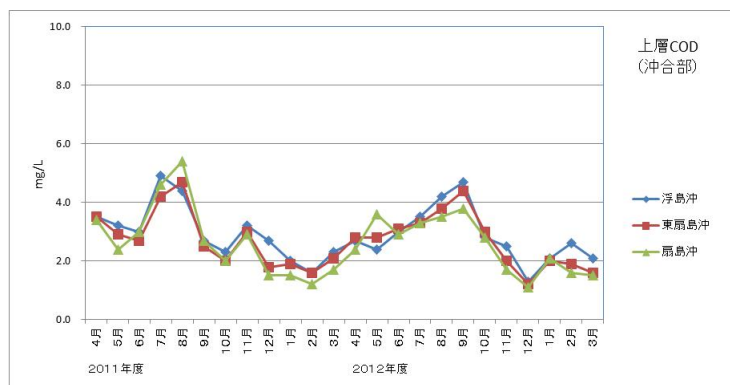


図2 CODの結果(上層:水面下0.5m、下層:底上1m)

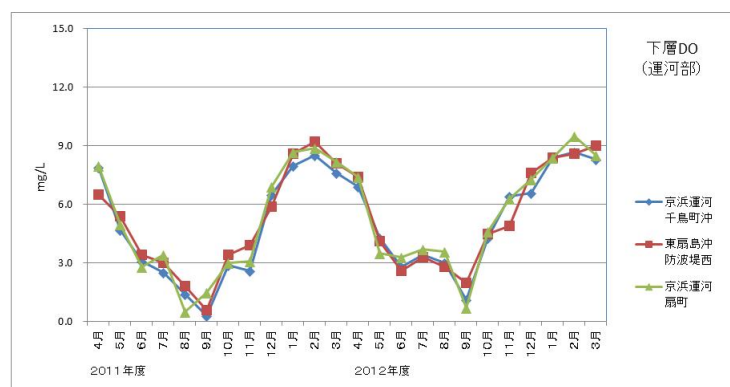
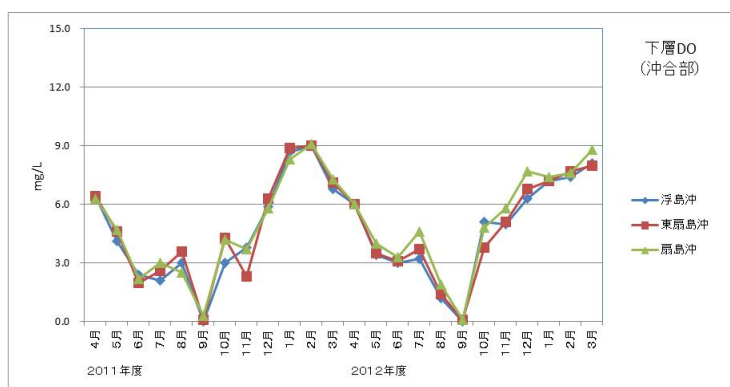
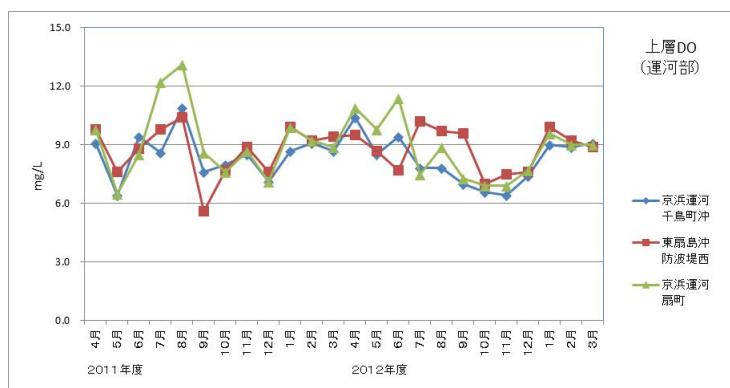
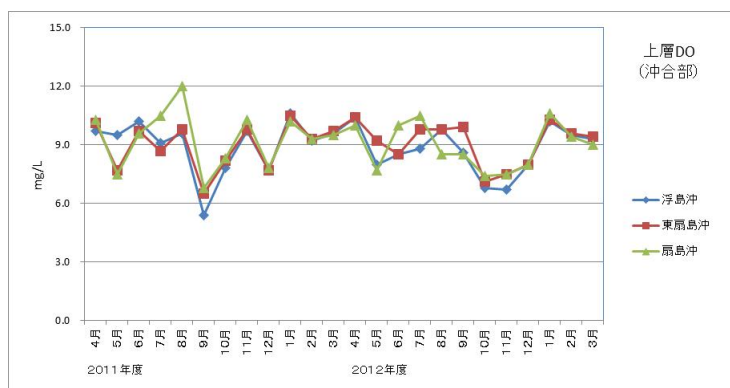


図3 DOの結果(上層:水面下0.5m、下層:底上1m)

1. はじめに

山形県の西側は日本海に面し、その海岸延長は全長約 135km(飛島含む。)におよぶ。海岸線はほぼ南北に直線上に延びており、海岸線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までの南部岩礁海岸の3地域に区分することができる。本県沿岸の海流としては、沖縄付近で黒潮から北へ分かれて日本海に向かう対馬海流が流れている。

砂浜海岸のほぼ中央に最上川河口及び近年閉鎖性の進行が懸念される酒田港がある。酒田市から鶴岡市には海岸に沿って庄内砂丘が発達し、その背後に庄内平野が広がっている。また、酒田沖約 40km には県内唯一の離島である飛島がある。

今回、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 年度から 25 年度)」により、多項目水質計による現場調査及び採水を行い、COD と関連する有機物指標の測定結果及び公共用水域常時監視結果の統計解析から、各項目間の関係について考察した。

2. 調査方法

2.1 調査時期

試料の採水は鼠ヶ関沖と吹浦沖について平成 23 年から 25 年の 8 月及び 10 月の計 6 回、酒田港内について平成 24 年から 25 年の 8 月及び 10 月の計 4 回実施した。また、多項目水質計による現場調査を平成 24 年及び 25 年の 8 月、10 月の計 4 回実施した。

2.2 調査地点

図 1 及び図 2 に調査地点を示した。酒田港 No.5, No.7 は環境基準地点であり、生活環境基準項目の類型はそれぞれ B(COD 3 mg/L), A(COD 2 mg/L)である。

2.3 現場調査, 採水, 分析

多項目水質計の Hydrolab DataSonde 4a(米国 HACH 社)を船上から海中に垂下して、塩分、水温、溶存酸素(DO)の測定を行った。

採水は公共用水域常時監視測定の採水と同時に実施し、表層から約 0.5mの海水を採取した。試料は保冷下で実験室に持ち運び、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は冷凍して国立環境研究所に送付し、国立環境研究所の示す方法¹⁾で COD、溶存性の COD(D-COD)、溶存性有機炭素(DOC)、懸濁性有機炭素(POC)及びクロロフィル *a* (Chl *a*)に加え、各栄養塩類($\text{NO}_x\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, SiO_2)の分析を行った。なお、多項目水質計による測定と採水は別日に行っている。

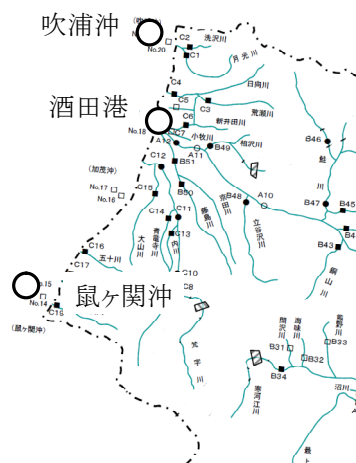


図 1 酒田港, 鼠ヶ関沖, 吹浦沖の位置

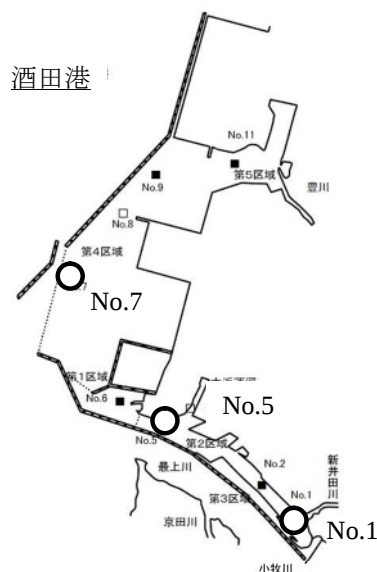


図 2 酒田港調査地点図

2. 4 公共用水域常時監視測定結果の統計解析

調査地点における過去 10 年間の COD の推移を取りまとめるとともに、測定開始(酒田港:昭和 47 年, 鼠ヶ関沖及び吹浦沖:平成 8 年)から 24 年度までの COD 測定結果について統計解析を行った。

3. 結果及び考察

3. 1 塩分, 水温, DO

図 3 に酒田港内, 鼠ヶ関沖及び吹浦沖の水温, 塩分及び DO の鉛直分布を示す。

水温の測定結果をみると, 酒田港内では水深の違いによる大きな変動はなかった。水深が吹浦沖より浅い鼠ヶ関沖では, 水深が下がっても水温が低下しない場合があった。

塩分について, 酒田港 No.1, No.5 では表層部の塩分濃度が低い場合があった。これは流入河川(新井田川, 小牧川)の影響であり, No.7 は河川から遠いため, 影響が小さかったと考えられる。また, 沖合では顕著な塩分の躍層はみられなかった。

DO について, 酒田港湾奥部の No.1 では, 底層の DO 低下がみられた。平成 24 年 8 月には約 2 mg/L と低い値を示した。水温の高い夏季には, 鉛直混合や拡散の影響をあまり受ないため, 底層ではプランクトン類などの微生物による DO 消費に伴う DO 低下が顕著になったものと考えられる。こうした底層の DO 低下は, 湾奥部(No.1)から港外側(No.5,7)へ進むにつれ解消する傾向がみられた。沖合では, いずれの調査日においても, 下層の DO は 5 mg/L 以上であった。

本調査では, 水温躍層と DO の低下がともに現れる貧酸素水塊の発生は確認されなかった。

3. 2 栄養塩類

栄養塩類の測定結果を表 1 に示す。各栄養塩濃度とも酒田港の湾奥部で高い値を示し, 港外側につれ減少していた。また, 沖合については, 酒田港内と比べて, 栄養塩濃度が低い状況にあり, 栄養塩類についても流入河川の影響が大きいと考えられる。

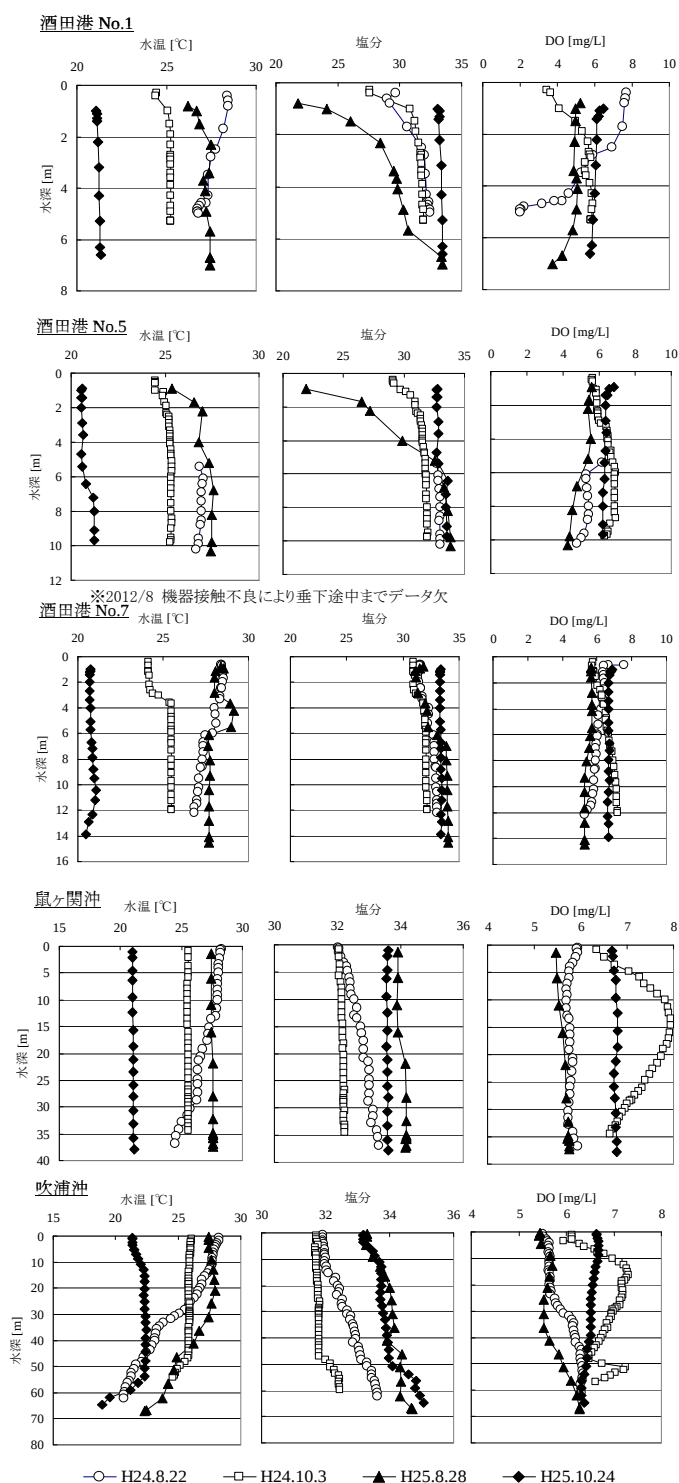


図 3 水温, 塩分及び DO の鉛直分布

※H24/8/22 機器接触不良により途中でデータ欠測

表1 栄養塩類測定結果（平均値, 単位はすべてmg/L, 括弧内は標準偏差）

	NO3-N	NO2-N	NH4-N	DTN	PO4-P	DTP	SiO2
酒田港 No.1	0.134 (0.146)	0.015 (0.010)	0.274 (0.231)	0.558 (0.370)	0.036 (0.019)	0.043 (0.017)	2.730 (2.637)
酒田港 No.5	0.085 (0.040)	0.007 (0.005)	0.092 (0.016)	0.308 (0.100)	0.017 (0.005)	0.019 (0.009)	1.290 (0.596)
酒田港 No.7	0.004 (0.003)	0.000 (0.0001)	※	0.166 (0.013)	0.003 (0.003)	0.008 (0.002)	0.778 (0.680)
鼠ヶ関沖	N.D.	0.000	0.006	0.149	0.000	0.004	0.665
	-	(0.0003)	(0.003)	(0.057)	(0.0001)	(0.001)	(1.092)
吹浦沖	0.017 (0.023)	0.001 (0.0007)	0.005 (0.0004)	0.148 (0.067)	0.001 ※	0.005 (0.001)	0.722 (0.764)

※ 1回のみの検出のため標準偏差を算出できず

3.3 COD の統計解析

過去 10 年間における公共用水域常時監視の COD 測定結果を図 4 及び 5 に示した。ここで、COD の増減傾向を把握するため、常時監視開始以降の COD75 % 値を Mann-Kendall 検定により解析すると、酒田港については No.1 で減少傾向にあるものの、他の地点は危険率 5%以下で有意に増加傾向がみられた。沿岸地域では、南部の鼠ヶ関沖は増加傾向にあるが、北部の吹浦沖は増減がみられなかった。酒田港 No.1 の COD が減少傾向にあるのは、流入河川の流域において下水道の普及が進むなど生活排水の処理率が向上したためと考えられる。

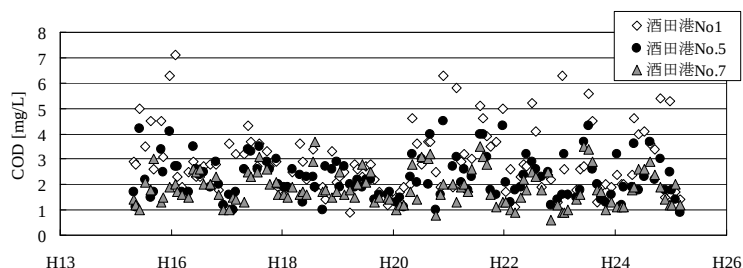


図 4 酒田港内 COD の変遷 (H14.4~H25.3)

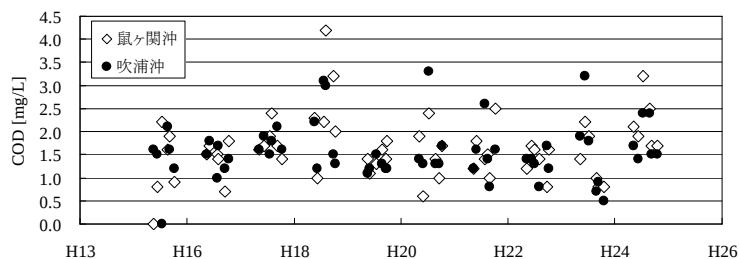


図 5 鼠ヶ関沖及び吹浦沖の COD の変遷 (H14.4~H25.3)

3.4 COD 関連項目

COD 関連項目の測定結果を表 2 に示す。なお、COD から D-COD を差し引いたものを懸濁性 COD (P-COD) とした。酒田港内の COD, D-COD は、栄養塩類と同様に湾奥部から港外側にかけて減少する傾向であった。鼠ヶ関沖と吹浦沖については、鼠ヶ関沖でやや COD が高いが、他の項目について大きな違いは確認できなかった。COD に占める D-COD の割合及び DOC+POC に占める DOC の割合は 60%から 80%であり、COD と有機炭素の多くは溶存性物質が多くを占めているものと考えられる。また、酒田港内の Chl a の値は港外と比較して高い値を示した。

表2 COD関連項目測定結果（平均値, 単位はすべてmg/L, 括弧内は標準偏差）

	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC	POC	DOC+POC	Chl a
酒田港 No.1	3.38 (0.950)	2.70 (0.595)	0.68 (0.387)	1.40 (0.279)	0.95 (0.521)	2.36 (0.771)	13.30 (12.304)
酒田港 No.5	2.95 (0.311)	2.38 (0.576)	0.58 (0.403)	1.28 (0.265)	0.59 (0.269)	1.87 (0.534)	9.57 (7.260)
酒田港 No.7	2.83 (0.880)	1.95 (0.583)	0.88 (0.500)	1.23 (0.291)	0.51 (0.192)	1.74 (0.475)	11.11 (5.931)
鼠ヶ関沖	2.20 (0.972)	1.77 (0.866)	0.43 (0.769)	1.17 (0.363)	0.15 (0.109)	1.32 (0.454)	1.01 (0.777)
吹浦沖	2.02 (0.461)	1.54 (0.257)	0.48 (0.610)	1.07 (0.308)	0.17 (0.094)	1.24 (0.309)	1.57 (1.478)

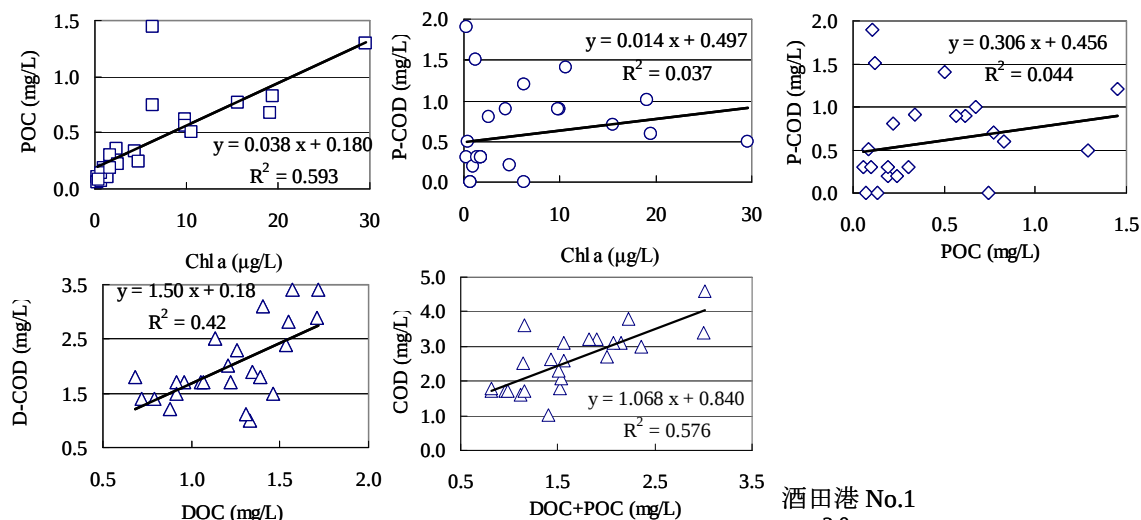


図 6 COD 関連項目間の関係

図 6 に各 COD 関連項目間の関係を示す。Chl *a* と POC には相関がみられた一方 P-COD と Chl *a* の間には相関がみられなかった。これら COD 関連項目の中で、地点間の違いが比較的明確にあった Chl *a* と POC との関係を図 7 に示す。酒田港は平成 24 年度からの測定のため、データは 4 点と少ないが、酒田港内での相関係数は鼠ヶ関沖・吹浦沖と比べて低く、特に酒田港 No.1 について相関が低かった。このことは鼠ヶ関沖及び吹浦沖における POC の主な構成成分は植物プランクトンであるのに対し、酒田港内では河川等の影響が大きいためと考えられた。

4. まとめ

鼠ヶ関沖と吹浦沖について平成 23 年から 25 年の 8 月及び 10 月の計 6 回、酒田港内について平成 24 年から 25 年の 8 月及び 10 月の計 4 回それぞれ採水、測定を実施した。また、多項目水質計による現場調査を平成 24 年及び 25 年の 8 月、10 月の計 4 回実施した。これらに加え、これまでの COD の経年変化を解析したところ、以下のことがわかった。

- ・COD の経年変化の傾向は、酒田港 No.1 は減少傾向、吹浦沖は増減なしであるが、他の 3 地点には増加傾向にあった
- ・多項目水質計による測定の結果、貧酸素水塊の発生は確認できなかったが、夏季の湾奥部において微生物による DO 消費が進み、平成 24 年 8 月には底層の DO が約 2 mg/L まで低下していた
- ・栄養塩濃度は酒田港の湾奥部は高く、港外にいくにつれ減少する傾向であり、沖合では酒田港内と比較して低い値であった
- ・酒田港 No.1 を除いて、各調査地点の有機物指標 (COD, DOC+POC) の 7~8 割は溶存性のものであった
- ・鼠ヶ関沖及び吹浦沖における POC は Chl *a* との相関があり、植物

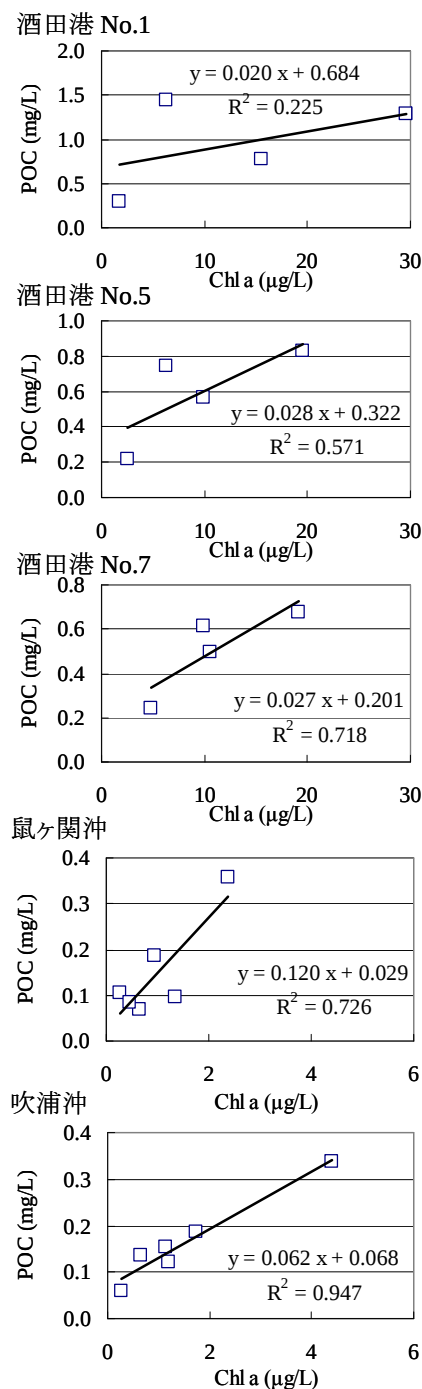


図 7 各地点の COD と POC の関係

プランクトン由来と考えられるが、酒田港内の POC はそれ以外の要因が大きいと考えられた

5. 参考資料

1) 国立環境研究所 牧秀明

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（平成 26 年 3 月）

2) 鹿児島県環境保健センター 貴島宏 他

鹿児島湾における水質調査に関する考察（平成 24 年度所報第 13 号）

新潟東港における底層 DO の測定について

新潟県保健環境科学研究所
調査研究室 水質科学科

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、新発田川放水路と福島潟放水路が接続している。また、海側が防波堤で囲まれた港湾であるため、化学的酸素要求量（COD：水質汚濁の程度を示す代表的な指標）が県内他海域よりも高く、近年環境基準値を超過している。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¹⁾、これらが塊となった貧酸素水塊は水生生物への影響や腐敗臭等の悪臭の原因となることが懸念されている。今回、国立環境研究所とのⅡ型共同研究により借用した多項目水質計を使用し、新潟東港における溶存酸素濃度（DO）の鉛直分布を調査したので報告する。

2. 方法

2. 1 測定日及び調査地点

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地点（環境基準点）である新潟海域（新潟東港）No.15 地点（水深約 16 m）において、平成 24 年 7 月 3 日及び 25 年 7 月 2 日の 2 回行った。また、水質汚濁防止法上の類型指定は B 類型に指定され、COD の基準値は 3 mg/L である。調査は新潟県が実施する公共用水域常時監視と同時にを行った。



図 1 新潟東港の位置



図 2 調査地点

2. 2 測定方法

多項目水質計を調査地点の海面から海底付近まで鉛直方向に徐々に沈めながら、水温、塩分及び DO を測定した。平成 24 年は Hydrolab 社製 H20 を使用し、水深約 3 m ごとに、平成 25 年は同社製 DATA SONDE4a を使用し、水深約 0.2 m ごとに測定した。気温、透明度及び表層・中層（水深約 3 m）混合試料液の COD は常時監視の項目として新潟県新発田環境センターが測定した。

3. 結果及び考察

3. 1 公共用水域常時監視による項目

No.15 地点での調査日における現地概況及び COD 測定結果を表 1 に示す²⁾。両日の現地概況を比較すると平成 24 年で若干気温が高いが、COD は 3.6 mg/L と同値であり、透明度にも大きな差はみられなかった。

表 1 現地概況

調査日	天候	気温(°C)	透明度(m)	COD(mg/L)
平成24年7月3日	晴れ	26.0	3.5	3.6
平成25年7月2日	曇り	23.0	3.0	3.6

3. 2 多項目水質計での測定

図 3 に新潟東港における塩分、水温、DO の鉛直分布を調査日ごとに示した。

平成 24 年 7 月 3 日は、表層において水温 22.8 °C、塩分 31.3 ‰であるが、海底付近では水温 19.5 °C、塩分 34.8 ‰と深くなるにしたがって緩やかに低水温・高塩分となった。DO は水深 11 m 付近から減少しはじめ、海底付近では 4.6 mg/L と貧酸素化が認められた。

平成 25 年 7 月 2 日は、表層で水温 24.8 °C、塩分 27.9 ‰であり、海底付近は水温 18.9 °C、塩分 34.7 ‰と、平成 24 年調査と比較すると表層の水温は高く塩分が低い。これは淡水が流れ込み、海水と混合していた可能性が考えられる。新潟東港には二つの放水路が接続しているが、どちらにも水門があり平常時は閉じている。このため、両調査日には港内への放水路から淡水の流入はなかった。このことから、原因の一つとして沿岸部を流れる河川水が潮流により、外部から港内に流入し海水と混合した可能性が考えられる。また、DO は表層で 6.0 mg/L、海底付近で 6.2 mg/L と濃度の減少はみられなかったことから、平成 25 年は潮流の影響または別の要因により、海水の均一化があったと推測される。

一般的に DO が 3 mg/L 未満では生物が生息できないと考えられているが、今回の調査ではそこまでの貧酸素化はみられなかった。平成 24 年調査での底層の貧酸素化は、平成 25 年との比較から海水の停滞がひとつの要因である可能性が考えられた。

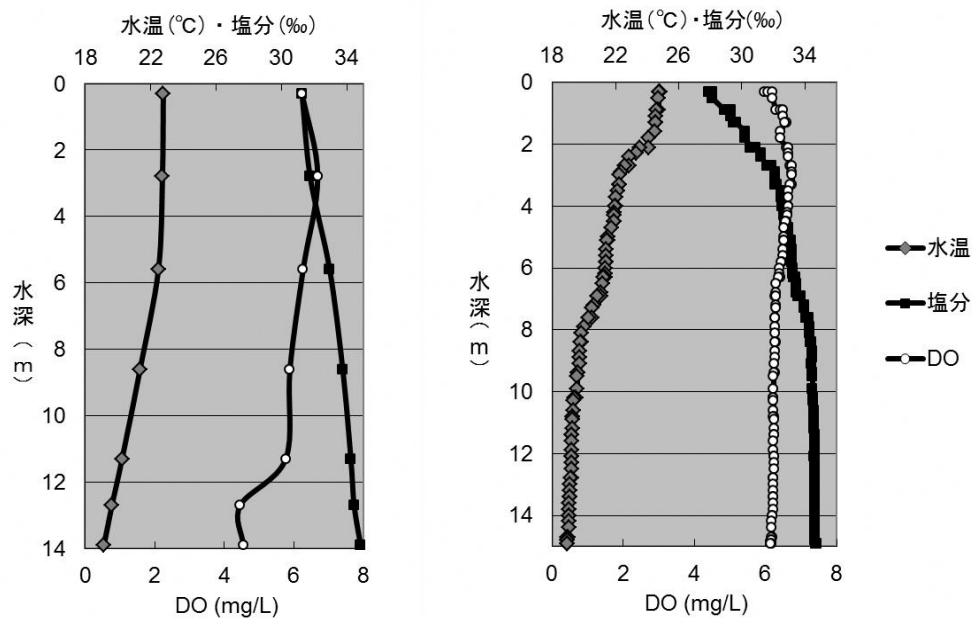


図3 No.15地点における水温、塩分、DOの鉛直分布
(左：平成24年7月3日、右：平成25年7月2日)

参考資料

1) 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）

2) 新潟県：

（平成24年度）公共用水域及び地下水の水質測定結果

<http://www.pref.niigata.lg.jp/kankyotaisaku/1356774243364.html>

（平成25年度）公共用水域常時監視計画及び結果速報

<http://www.pref.niigata.lg.jp/kankyotaisaku/1356040858670.html>

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

新潟市衛生環境研究所

1 はじめに

新潟県内では、新潟県及び新潟市等で海域 48 地点について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COD上昇や、閉鎖海域での夏季の溶存酸素（DO）濃度の低下などが懸念されている。そこで、新潟県内の沿岸海域での実態を探るため、新潟市が実施した海域の階層別の調査と、新潟県及び新潟市が国立環境研究所と共同研究で行った栄養塩類およびCODと関連する有機物指標の調査についてその結果を報告する。

2 調査地点

2-1 新潟県の調査地点

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「新潟東港海域」）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。新潟東港海域は水質汚濁防止法での類型BでCODの環境基準は 3.0 mg/L，県北海域は類型Aで環境基準は 2.0 mg/L である。過去 10 年間（平成 15～24 年度）のCOD75%値では、新潟東港海域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。

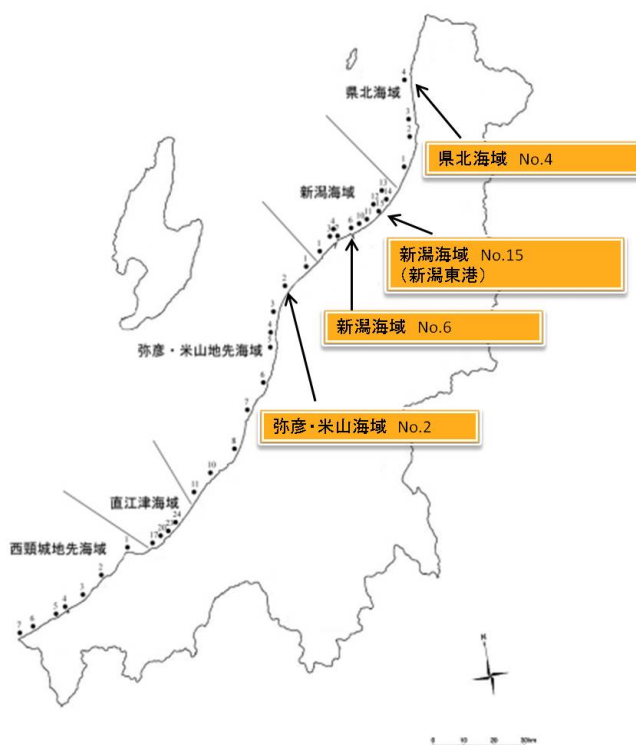


図 1 調査地点

2-2 新潟市の調査地点

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、弥彦・米山地先海域No.2（以下「弥彦・米山海域」）は一部海岸に山が迫った景勝地となっている。いずれも水質汚濁防止法での類型AでありCODの環境基準は 2.0 mg/L である。過去 10 年間のC

OD75%値では、新潟海域は 8 回環境基準を超過しているが、弥彦・米山海域ではいずれの年も基準を超過していない。

3 調査方法

3-1 階層別調査

新潟市は、上層、中層（表層より-3m）、下層（海底より 1m）の階層別に採水し、COD等の調査を実施した。ただし、項目により、上層と中層を 1 対 1 で混合したもの（以下「上層+中層」）も調査対象として使用した。また一部、現場測定 of データを使用した。

調査期間は平成 24～25 年の 4～10 月（8 月を除く、各月 1 回）計 12 回を行った。

3-2 栄養塩類およびCOD関連項目調査

新潟県と新潟市は、国立環境研究所とのⅡ型共同研究として、栄養塩類およびCOD関連項目の調査を行った。新潟県は水温が上昇する夏季と水温が若干下がる秋季に実施し、平成 24 年 7 月と 10 月、平成 25 年 7 月と 10 月の合計 4 回、調査を行った。新潟市は夏季のみ実施し、平成 24 年 7 月と平成 25 年 7 月の 2 回、調査を行った。検体はいずれも上層+中層とし、分析は国立環境研究所が行った。

4 結果および考察

4-1 階層別調査

(1) 水温

水温の状況を図 2 に示す。海域および階層別での顕著な差は見られなかった。また、気温とも同調しており、気温、水温ともに 9 月に最高値となった。

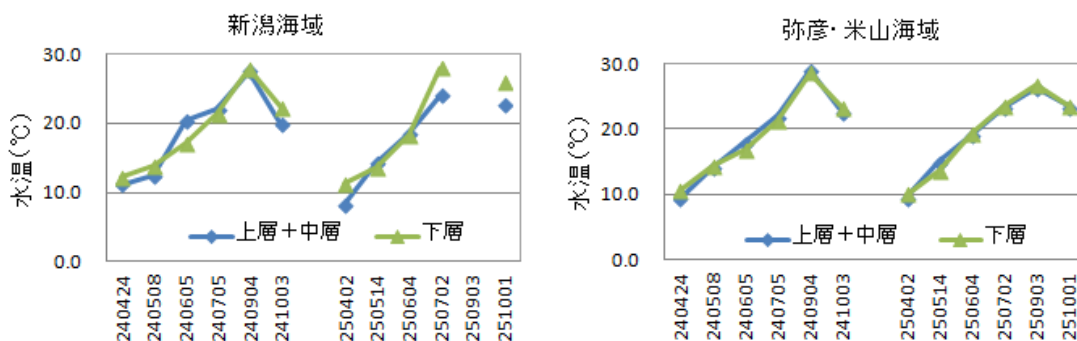


図 2 水温

(2) 塩化物イオン

塩化物イオンの状況を図 3 に示す。新潟海域では、上層は中層や下層と比較し、濃度がかなり低く、河川水の影響が見られた。

一方、弥彦・米山海域では、上層を含めて比較的安定した濃度で、河川水の影響が少な

い海域であると見られた。ただ、平成 24 年 4 月は上層の値が低くなっており、採水日前日の降雨が影響したものと思われる。

また、いずれの海域も中層、下層はほぼ同じ濃度であった。

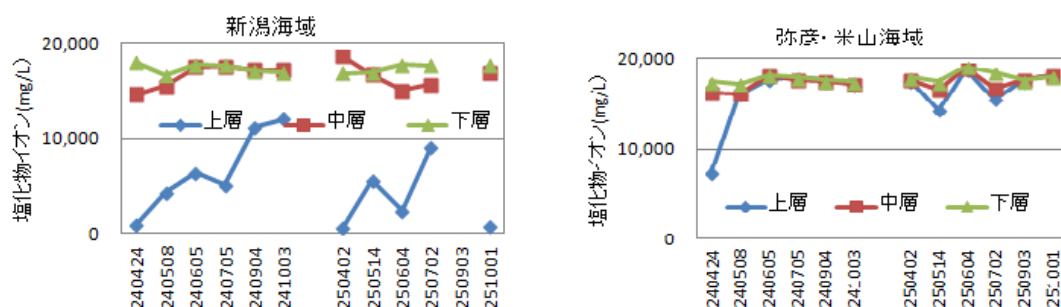


図 3 塩化物イオン

(3) DO

DOの状況を図 4 に示す。DOは、水温の上昇とともに低下する傾向が見られ、下層は上層+中層よりも低い値を示した。平成 24 年 9 月の下層の値は、新潟海域：3.9 mg/L、弥彦・米山海域：4.0 mg/L であり、やや貧酸素状態が認められた。

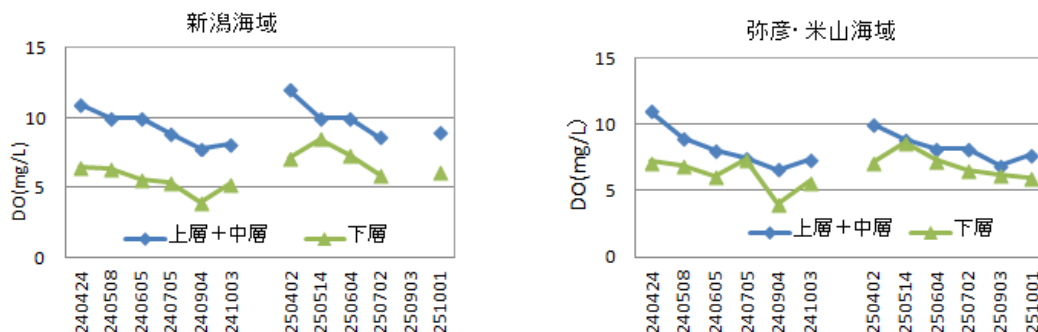


図 4 DO

(4) COD

CODの状況を図 5 に示す。新潟海域では、上層のCODが高く、基準値を超過する月が頻発した。弥彦米山海域では、3層ともに基準を超過することはなかった。

また、新潟海域では中層と下層が同調しているのに対し、弥彦・米山海域では上層と中層が同調していた。

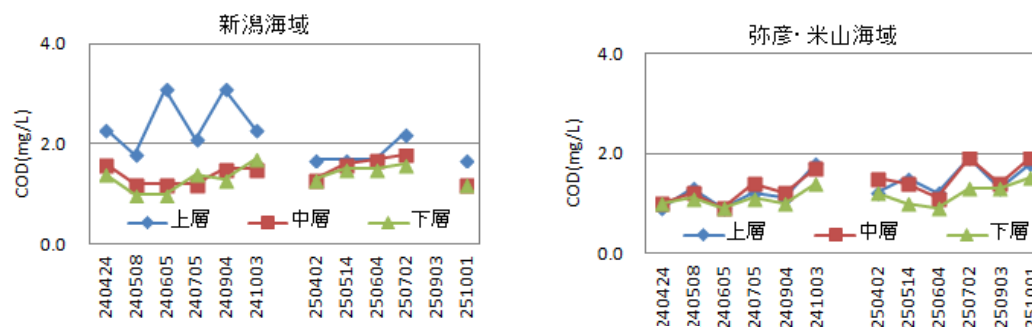


図 5 COD

4-2 栄養塩類とCOD関連項目

(1) 栄養塩類

栄養塩類の測定結果を表 1 に示す。溶存性無機窒素（DIN）については、新潟東港海域と新潟海域で高いものが見られたが、溶存性全窒素（DTN）では、新潟東港海域だけがやや高く、他の地点では大きな差は見られなかった。

表1 栄養塩類（単位:mg/L）

採水年月	調査地点	NO3-N	NO2-N	NH4-N	DIN	DTN	PO4-P	DTP
平成24年7月	新潟東港海域	0.014	0.004	N.D.	0.0180	0.230	0.001	0.007
平成24年10月		0.176	0.021	0.020	0.2175	0.380	0.005	0.013
平成25年7月		0.059	0.010	0.010	0.0788	0.232	0.003	0.007
平成25年10月		0.055	0.007	N.D.	0.0621	0.310	0.000	0.013
平成24年7月	県北海域	N.D.	0.001	N.D.	0.0005	0.157	0.000	0.004
平成24年10月		0.026	0.001	0.001	0.0277	0.159	0.001	0.006
平成25年7月		N.D.	0.001	0.001	0.0016	0.110	0.000	0.004
平成25年10月		0.004	0.000	N.D.	0.0045	0.190	N.D.	0.005
平成24年7月	新潟海域	0.106	0.004	0.033	0.1424	0.290	N.D.	0.005
平成25年7月		0.046	0.002	0.003	0.0516	0.172	0.001	0.006
平成24年7月	弥彦・米山海域	0.000	0.000	N.D.	0.0007	0.154	N.D.	0.004
平成25年7月		0.007	0.002	0.001	0.0097	0.124	0.001	0.004

(2) COD関連項目

COD関連項目の測定結果を表 2 に示す。いずれの調査地点でも、CODに占める溶存性のCOD（D-COD）の割合が高く、7,8割を占めていた。また、クロロフィルa（Chl a）は、時期や地点で大きな差があり、時期的には7月より10月が高く、地点的には新潟東港海域と新潟海域が高い傾向が見られた。

表2 COD関連項目（単位: Chl aは $\mu\text{g/L}$, その他は mg/L ）

採水年月	調査地点	COD	D-COD	COD-DCOD	DOC+POC	DOC	POC	Chl a
平成24年7月	新潟東港海域	3.40	2.20	1.20	1.74	1.11	0.64	9.61
平成24年10月		3.41	2.71	0.70	1.66	1.16	0.50	13.89
平成25年7月		3.31	2.41	0.90	1.99	1.41	0.59	5.68
平成25年10月		3.31	1.91	1.40	1.89	1.30	0.59	15.20
平成24年7月	県北海域	2.20	2.10	0.10	1.51	1.11	0.40	1.95
平成24年10月		2.00	1.70	0.30	1.30	1.15	0.15	2.28
平成25年7月		1.91	1.81	0.10	1.29	1.19	0.09	0.40
平成25年10月		1.71	1.10	0.60	0.77	0.70	0.07	0.60
平成24年7月	新潟海域	2.20	1.80	0.40	1.93	1.63	0.29	3.38
平成25年7月		2.61	2.01	0.60	1.56	1.22	0.34	5.29
平成24年7月	弥彦・米山海域	1.90	1.40	0.50	1.37	1.19	0.19	0.54
平成25年7月		2.01	1.91	0.10	1.47	1.21	0.26	10.84

また、表2の結果について、各項目間の関係を図6に示した。

D-CODと溶存性有機炭素（DOC）の関係では、特に相関は見られなかったが、懸濁性のCOD（PCOD=COD-DCOD）と懸濁性有機炭素（POC）の関係では、やや相関があるように見られた。また、PCODとChl aの関係でも、その相関は低いものの右肩上がりの傾向が伺えた。

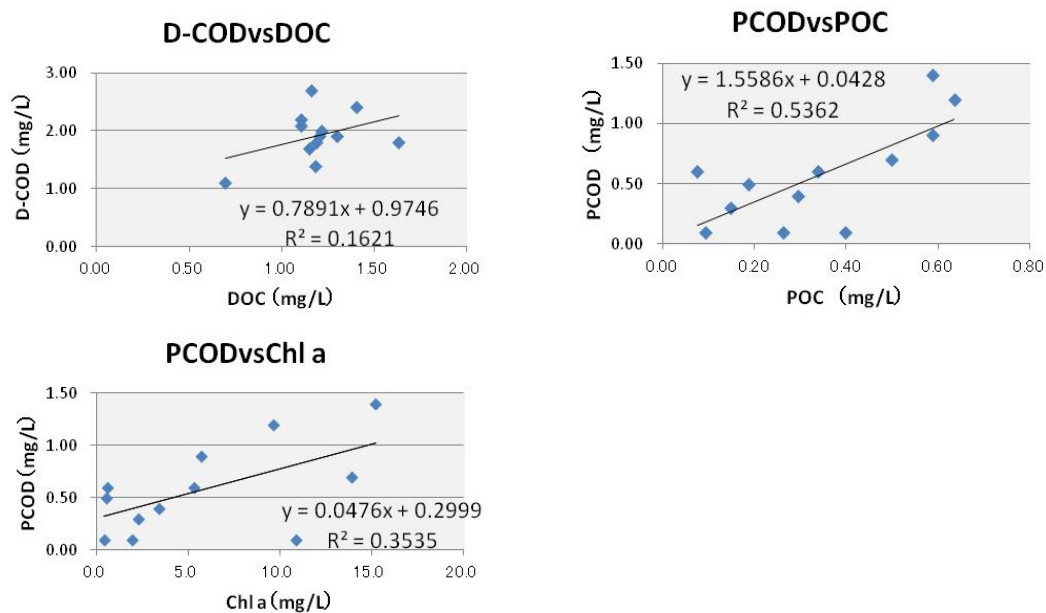


図6 新潟県内沿岸海域におけるCOD関連項目間関係

5 まとめ

平成 24・25 年の 4 月から 10 月に新潟市の沿岸海域 2 地点において、COD 等階層別の調査を行ったところ、以下のことがわかった。

- ・新潟市沿岸海域では、下層の DO は、上層、中層に比べ低いものの、夏季においても深刻な貧酸素状態ではなかった。
- ・新潟海域では、塩化物イオン濃度の低い上層で COD が高く、河川水の影響が認められた。

また、平成 24・25 年に新潟県内沿岸海域の 4 地点において、栄養塩類及び COD 関連項目の調査を行った結果からは、以下のことがわかった。

- ・新潟県内沿岸海域では、COD の成分として溶存性のものが大きな割合を占めている。
- ・全国各地では、D-COD と DOC の相関が高いところが多くみられるが、新潟県内沿岸地域ではその相関は明確には認められなかった。

6 参考資料

- ・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)

1. はじめに

近年、富山湾沿岸海域では、COD（化学的酸素要求量）の環境基準を超過することがあり¹⁾、必ずしも良好な水質とはいえない状況である。

海域の水質評価の指標として用いられている COD は、環境基準項目として公共用水域の水質測定の対象となっているが、この水質指標のみでは、海域の実態が十分反映されず、海洋環境を評価する際には、他の要素も加えるべきであるとの指摘もあがっている。

富山湾沿岸海域は、大小様々な河川から有機物や栄養塩類等が供給されており、河川水の影響を多大に受けていると考えられる²⁾。

そこで、河川水の影響を多大に受けていると考えられる神通川河口海域の環境基準点において夏季と冬季の年2回、表層（水深 0.5m と水深 2m の混合水）と水深 10m 層において採水を行い、COD と関連する有機物指標の測定及びその季節変化と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 調査地点及び採水時期

調査地点を図 1 に示す。神通川河口海域の公共用水域常時監視点は、J-1 ～7 まで設定されており、今回の調査では、J-5 の表層及び 10m 層において、2011 年 9 月、2012 年 2 月、9 月、2013 年 2 月、8 月及び 12 月の計 6 回採水を行った。この調査地点は、富山湾の水質環境基準点であり、生活環境項目の類型は、A（COD 2mg/L）である。



図 1 調査地点

2. 2 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及び形態別りん濃度を測定した。

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（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）及び硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）

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

採水試料は孔径 $0.7\mu\text{m}$ のガラス繊維フィルター（GF/F, Whatman）にてろ過を行った後、海洋観測指針（気象庁）の $5 \cdot 5 \cdot 3$ 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有機物関連項目

有機物関連項目については、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項目の測定を行った。

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。

③クロロフィル a 濃度

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。

3. 結果

3. 1 水温、塩分及び透明度

表1に神通川河口海域 J-5 における水温、塩分及び透明度を示す。

表層の水温は夏季に $27.2\sim 29.6^{\circ}\text{C}$ 、冬季に $10.0\sim 15.5^{\circ}\text{C}$ の範囲であった。表層の塩分は夏季に $24.5\sim 29.7$ 、冬季に $28.6\sim 32.7$ の範囲であった。10m 層の水温は夏季に $26.8\sim 30.0^{\circ}\text{C}$ 、冬季に $11.2\sim 17.6^{\circ}\text{C}$ の範囲であった。10m 層の塩分は夏季に $32.8\sim 33.3$ 、冬季に $32.1\sim 33.9$ の範囲であった。

いずれの季節においても表層と 10m 層の水温に大きな差が見られなかったが、表層の塩分は、10m 層よりも低い傾向であった。特に夏季における表層の塩分は 10m 層よりかなり低かったことから、河川水の影響を大きく受けていたと考えられる。

また、透明度は、夏季に $1.2\sim 4.5\text{m}$ 、冬季に $6.5\sim 9.0\text{m}$ となり、夏季に低く冬季に高くなる傾向であった。

表1 神通川河口海域 J-5 における水温、塩分及び透明度

調査年月日	表層 水温($^{\circ}\text{C}$)	10m 層 水温($^{\circ}\text{C}$)	表層 塩分	10m 層 塩分	透明度(m)
2011 年 9 月 13 日	27.8	26.8	29.7	33.3	3.5
2012 年 2 月 6 日	10.3	11.2	32.7	33.9	9.0
2012 年 9 月 3 日	29.6	30.0	29.4	32.8	4.5
2013 年 2 月 1 日	10.0	11.5	30.4	33.8	6.5
2013 年 8 月 5 日	27.2	26.8	24.5	32.8	1.2
2013 年 12 月 2 日	15.5	17.6	28.6	33.1	7.5

3. 2 栄養塩類

窒素系栄養塩類濃度を表2、3に、りん系栄養塩類濃度を表4、5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。

栄養塩類濃度は、10m 層よりも表層において高く、夏季よりも冬季に高い傾向であった。また、多くの場合、窒素及びりんの両方で溶存態が主な成分であった。

表 2 神通川河口海域 J-5（表層）における窒素系栄養塩類濃度（単位：mg/L）

調査年月日	TN	D-TN	P-TN	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
2011 年 9 月 13 日	0.13	0.09	0.04	<0.01	<0.01	<0.01
2012 年 2 月 6 日	0.27	0.25	0.02	<0.01	0.08	0.04
2012 年 9 月 3 日	0.22	0.20	0.02	<0.01	0.04	0.06
2013 年 2 月 1 日	0.34	0.32	0.02	<0.01	0.13	0.05
2013 年 8 月 5 日	0.34	0.21	0.13	<0.01	0.05	0.01

表 3 神通川河口海域 J-5（10m 層）における窒素系栄養塩類濃度（単位：mg/L）

調査年月日	TN	D-TN	P-TN	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
2011 年 9 月 13 日	0.07	0.07	0	<0.01	<0.01	<0.01
2012 年 2 月 6 日	0.18	0.18	0	<0.01	0.06	<0.01
2012 年 9 月 3 日	0.11	0.09	0.02	<0.01	<0.01	0.02
2013 年 2 月 1 日	0.21	0.19	0.02	<0.01	0.07	<0.01
2013 年 8 月 5 日	0.12	0.10	0.02	<0.01	<0.01	0.01

表 4 神通川河口海域 J-5（表層）におけるりん系栄養塩類濃度（単位：mg/L）

調査年月日	TP	D-TP	P-TP	PO ₄ -P
2011 年 9 月 13 日	0.010	0.005	0.005	<0.001
2012 年 2 月 6 日	0.013	0.011	0.002	0.006
2012 年 9 月 3 日	0.011	0.004	0.007	<0.001
2013 年 2 月 1 日	0.016	0.014	0.002	0.008
2013 年 8 月 5 日	0.016	0.004	0.012	<0.001

表 5 神通川河口海域 J-5（10m 層）におけるりん系栄養塩類濃度（単位：mg/L）

調査年月日	TP	D-TP	P-TP	PO ₄ -P
2011 年 9 月 13 日	0.005	0.005	0	<0.001
2012 年 2 月 6 日	0.013	0.011	0.002	0.007
2012 年 9 月 3 日	0.005	0.005	0	<0.001
2013 年 2 月 1 日	0.015	0.015	0	0.009
2013 年 8 月 5 日	0.006	0.003	0.003	<0.001

3. 3 有機物関連項目

3. 3. 1 公共用水域常時監視測定結果

富山県の「水質汚濁の現況」³⁾から神通川河口海域 J-5 における COD の変遷（表 6）を作成した。

神通川河口海域 J-5 における COD は、最小値 0.6 から最大値 4.6mg/L の範囲で変動し、近年は、年平均値 1.6 前後で推移していた。年平均値、75%値ともに顕著な増減の傾向は見られなかった。環境基準は、平成 15 年度と 18 年度を除いて達成されており、環境基準超過日数も近年は 2 日程度で推移している。

表 6 平成 14～24 年度における神通川河口海域 J-5 における COD の変遷（単位：mg/L）

調査年度	年平均値(75%値)	最小値～最大値	基準超過日数／総測定日数
平成 14 年度	1.8 (1.7)	0.8 ～ 3.8	3／12
平成 15 年度	1.7 (2.2)	0.8 ～ 3.7	5／12
平成 16 年度	1.6 (2.0)	0.6 ～ 3.7	3／12
平成 17 年度	1.7 (2.0)	0.7 ～ 3.8	3／12
平成 18 年度	2.2 (2.6)	1.1 ～ 4.6	4／12
平成 19 年度	1.5 (1.5)	1.0 ～ 2.9	2／12
平成 20 年度	1.9 (2.0)	1.2 ～ 2.9	3／12
平成 21 年度	1.7 (1.6)	1.1 ～ 3.5	2／12
平成 22 年度	1.6 (1.7)	1.0 ～ 2.4	2／12
平成 23 年度	1.6 (1.8)	0.9 ～ 2.5	2／12
平成 24 年度	1.5 (1.5)	0.9 ～ 3.0	2／12

3. 3. 2 有機物関連項目

TOC、DOC、COD 及び D-COD の濃度を表 7、8 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 を差し引くことにより算出した。粒子態化学的酸素要求量（P-COD）についても COD 及び D-COD から求めた。

表層及び 10m 層の TOC においても全窒素及び全りん濃度と同様に溶存態が主成分であった。

表層における COD は 0.9～2.8mg/L の範囲で変動しており、冬季よりも夏季において高くなる傾向にあった。それに対して 10m 層の COD は、0.8～1.2mg/L の範囲で変動し、冬季と夏季の間において大きな差が見られなかった。

10m 層の COD における D-COD の占める割合は 88%以上であったのに対して、表層の COD における D-COD の占める割合は 46～88%の範囲であった。表層の P-COD は、0.1～1.5mg/L の範囲であり、冬季よりも夏季において高くなる傾向であった。

表7 神通川河口海域 J-5（表層）における有機物濃度（単位：mg/L）

調査年月日	TOC	DOC	POC	COD	D-COD	P-COD
2011 年 9 月 13 日	1.2	1.0	0.2	1.8	1.4	0.4
2012 年 2 月 6 日	1.0	0.8	0.2	1.2	1.0	0.2
2012 年 9 月 3 日	1.4	1.2	0.2	2.1	1.3	0.8
2013 年 2 月 1 日	1.0	1.0	0	0.9	0.8	0.1
2013 年 8 月 5 日	1.5	1.2	0.3	2.8	1.3	1.5
2013 年 12 月 2 日	データ無し	データ無し	データ無し	1.1	0.8	0.3

表8 神通川河口海域 J-5（10m 層）における有機物濃度（単位：mg/L）

調査年月日	TOC	DOC	POC	COD	D-COD	P-COD
2011 年 9 月 13 日	1.2	1.0	0.2	1.2	1.1	0.1
2012 年 2 月 6 日	0.8	0.7	0.1	0.9	0.9	0
2012 年 9 月 3 日	1.0	1.0	0	1.2	1.2	0
2013 年 2 月 1 日	1.0	0.7	0.3	0.8	0.7	0.1
2013 年 8 月 5 日	1.0	1.0	0	0.9	0.8	0.1
2013 年 12 月 2 日	データ無し	データ無し	データ無し	0.9	0.8	0.1

3. 3. 3 植物プランクトンと COD 関連項目間の関係について

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）濃度を表9に示す。
表層における Chl-a 濃度は、1.8～14 $\mu\text{g/L}$ の範囲で変動し、冬季よりも夏季に高くなる傾向であった。10m 層における Chl-a 濃度は、0.2～1.6 $\mu\text{g/L}$ の範囲であり、いずれの季節においても表層に比べて低くなっていた。

表9 神通川河口海域 J-5 におけるクロロフィル a 濃度濃度（単位： $\mu\text{g/L}$ ）

調査年月日	表層 Chl-a	10m 層 Chl-a
2011 年 9 月 13 日	5.9	0.8
2012 年 2 月 6 日	2.6	1.4
2012 年 9 月 3 日	6.5	0.5
2013 年 2 月 1 日	2.1	1.6
2013 年 8 月 5 日	14	0.2
2013 年 12 月 2 日	1.8	0.6

クロロフィル a と COD 及び P-COD 間の相関を図 2 に示す。

Chl-a と COD は、高い正の相関を示した。また、Chl-a と P-COD も高い正の相関を示した。これらの結果から、COD と P-COD の主な構成成分が植物プランクトン由来であると考えられた。

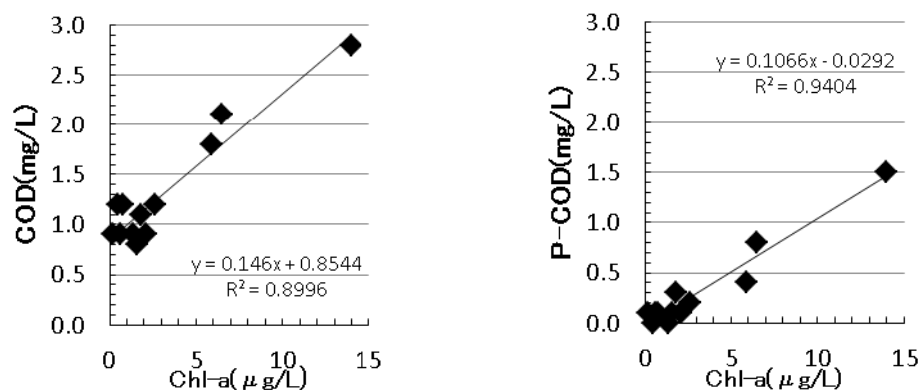


図 2 クロロフィル a と COD 及び P-COD の相関図

4. まとめ

2011 年 9 月から 2013 年 12 月までの計 6 回、神通川河口海域 J-5 において調査を行ったところ、以下のことがわかった。

- ・神通川河口海域は、冬季において透明度、栄養塩類が高く、逆に Chl-a や COD に関連する有機物指標は夏季に高くなる傾向を示した。
- ・夏季の神通川河口海域は、10m 層よりも表層において Chl-a 濃度が高かった。これは、表層において植物プランクトンが栄養塩類を消費し、内部生産が高くなっていることが考えられた。
- ・Chl-a と COD、P-COD との相関から、COD を上昇させる要因として植物プランクトンの内部生産が主な要因であると考えられた。

5. 参考資料

- 1) 富山県平成 24 年度版環境白書
- 2) 井上ら：富山湾をフィールドとした新たな水質環境指標に関する研究（第 2 報），富山県環境科学センター年報，38，67 - 75，2010
- 3) 富山県水質汚濁の現況（平成 14 年度～24 年度）

http://www.pref.toyama.jp/cms_cat/109010/kj00007252.html

石川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

石川県保健環境センター 環境科学部 安田能生弘・川畑陵介・牧野雅英・亀井とし

1. はじめに

石川県は能登半島が日本海に突き出た三方を海に面した形をしており、その海岸延長は約 584km であり、金沢港と七尾港の 2 つの重要港湾を有している。県の人口は平成 26 年 2 月現在、約 116 万人であり、その 4 割近い 45 万人余りが金沢港のある金沢市に住んでいる。また、能登半島の中程には七尾湾があり、平成 5 年に「窒素含有量又は磷含有量についての排水基準に係る海域」に指定されている。七尾湾内は北湾・西湾・南湾に区分され、南湾は七尾港が中心となっている。

今回、閉鎖性水域である七尾南湾中央部と日本海に面している加賀沿岸海域の白山市笠間沖の二箇所を選び、夏季と冬季の年 2 回採水し、栄養塩類及び COD 関連項目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. 調査地点、測定・分析方法

2. 1 調査・採水時期

2011 年 8 月、2012 年 3 月と 8 月、2013 年 3 月と 8 月、11 月の計 6 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ともに A (COD2mg/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行った。

2. 3 分析方法

採取した海水は、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 47mm 径のガラス繊維フィルター GF/C を用い、そのろ液は溶存性成分の分析用とした。懸濁性有機炭素 (POC) の分析用には 25mm 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。一連の分析は「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」で述べられた方法で行った。

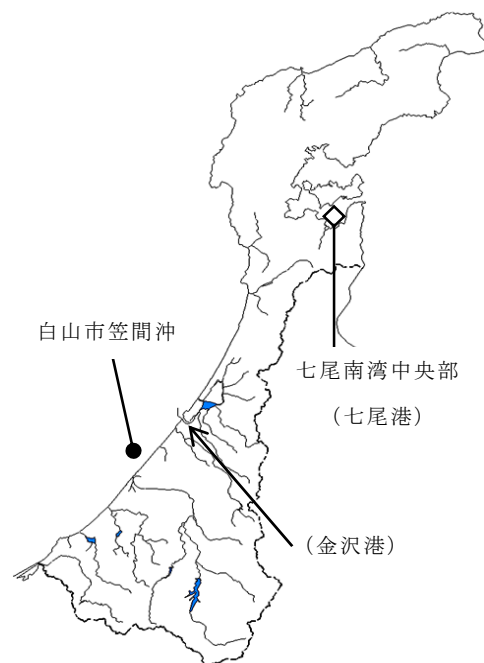


図 1 調査地点位置図

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硝酸態・亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$ ・ $\text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニウム態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、溶存性全窒素 (DTN)、リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$)、溶存性全リン (DTP) 及び珪酸塩 (シリカ： SiO_2) の 2011 年夏季から 2013 年冬季までの測定結果を表 1 及び表 2 に示す。地点間の比較では $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DTN 及び DTP で白山市笠間沖の方が七尾南湾中央部よりやや高い傾向が見られた。また、季節間の比較では特徴的な傾向は見られなかった。

表 1 七尾南湾中央部における栄養塩類 (単位は全て mg/L)

調査年月日	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	DTN	$\text{PO}_4\text{-P}$	DTP	SiO_2
2011 年 8 月 30 日	<0.002	<0.0002	0.011	0.189	0.001	0.012	0.03
2012 年 3 月 30 日	<0.002	0.0002	<0.002	0.240	<0.001	0.004	0.03
2012 年 8 月 22 日	<0.002	0.0014	<0.002	0.156	<0.001	0.008	0.51
2013 年 3 月 9 日	0.006	0.0008	<0.002	0.118	0.001	0.007	0.29
2013 年 8 月 28 日	0.002	0.0016	<0.002	0.144	<0.001	0.008	1.07
2013 年 11 月 24 日	0.035	0.0046	0.003	0.255	0.004	0.007	1.59

表 2 白山市笠間沖における栄養塩類 (単位は全て mg/L)

調査年月日	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	DTN	$\text{PO}_4\text{-P}$	DTP	SiO_2
2011 年 8 月 25 日	0.135	0.0022	0.017	0.300	0.014	0.022	2.95
2012 年 3 月 29 日	0.016	0.0014	0.006	0.314	0.003	0.010	0.59
2012 年 8 月 22 日	0.044	0.0012	<0.002	0.210	<0.001	0.006	1.41
2013 年 3 月 25 日	0.259	0.0039	0.075	0.448	0.023	0.026	4.57
2013 年 8 月 21 日	0.052	0.0037	<0.002	0.206	0.016	0.025	0.73
2013 年 11 月 1 日	0.019	0.0022	<0.002	0.299	0.002	0.007	0.66

3. 2 COD 関連項目

本調査で採水した試料の COD 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 2011 年夏季から 2013 年冬季までの測定結果を表 3 及び表 4 に示す。水中の有機物に対する溶存性有機物の割合は、COD に対する D-COD 及び DOC+POC に対する DOC とともに平均で約 8 割と高く、懸濁性有機物の割合が低かった。各項目の地点間の比較では 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。

また、POC と Chl a との関連について図 2 に示した。七尾南湾中央部、白山市笠間沖ともに POC と Chl a の相関はほとんど見られなかった。これは、先に述べた水中の有機物に対する懸濁性有機物の割合が低いことも考え合わせると、この 2 地点では植物プランクトンの増殖 (内部生産) による水質への寄与が低いためと考えられた。

表 3 七尾南湾中央部における COD 関連項目 (単位は Chl a は $\mu\text{g/L}$, 他は全て mg/L)

調査年月日	COD	D-COD	P-COD (COD-DCOD)	DOC	POC	DOC+POC	Chl a
2011 年 8 月 30 日	2.50	1.60	0.90	1.44	0.21	1.65	1.38
2012 年 3 月 30 日	1.71	1.81	-0.10	0.76	0.22	0.99	2.80
2012 年 8 月 22 日	2.90	2.30	0.60	1.32	0.23	1.55	1.41
2013 年 3 月 9 日	1.91	1.71	0.20	0.68	0.18	0.86	1.04
2013 年 8 月 28 日	2.51	2.61	-0.10	1.41	0.11	1.52	0.82
2013 年 11 月 24 日	2.20	1.40	0.80	0.82	0.12	0.94	1.71

表 4 白山市笠間沖における COD 関連項目 (単位は Chl a は $\mu\text{g/L}$, 他は全て mg/L)

調査年月日	COD	D-COD	P-COD (COD-DCOD)	DOC	POC	DOC+POC	Chl a
2011 年 8 月 25 日	2.80	1.80	1.00	1.49	0.50	1.99	0.86
2012 年 3 月 29 日	2.01	1.81	0.20	0.76	0.35	1.10	1.84
2012 年 8 月 22 日	2.40	2.00	0.40	1.08	0.40	1.48	1.16
2013 年 3 月 25 日	2.41	1.71	0.70	0.76	0.41	1.17	2.91
2013 年 8 月 21 日	3.41	2.41	1.00	1.18	0.44	1.61	1.09
2013 年 11 月 1 日	2.20	1.40	0.80	0.81	0.29	1.10	2.24

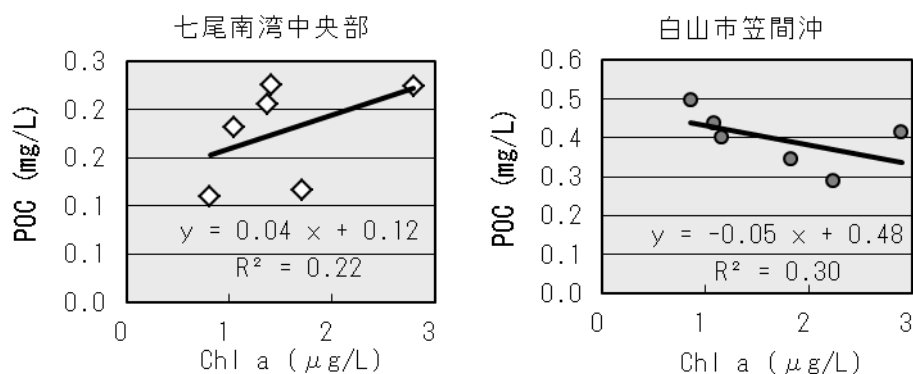


図 2 POC と Chl a の関係

3. 3 公共用水域常時監視測定結果から見た COD の変遷と季節変化

今回、調査・採水を行った 2 地点が環境基準点でもあることから、水質の変遷を把握するために、県で実施した公共用水域常時監視のデータ¹⁾を基に 2003 年度から 2012 年度までの 10 年間の COD の変遷を図 3 に、月別の COD を図 4 に、COD と水温との関係を図 5 に示した。2 地点ともこの 10 年間で COD に大きな変化はなく、2 地点の比較では大きな差は見られなかった。環境基準の 2mg/L を超える値が時々見られるが、その時期について季節性は見られなかった。また、COD と水温との関係でも相関はほとんど見られなかった。このことは 3. 2 で述べた POC と Chl a との相関がほとんど無いこととも合致

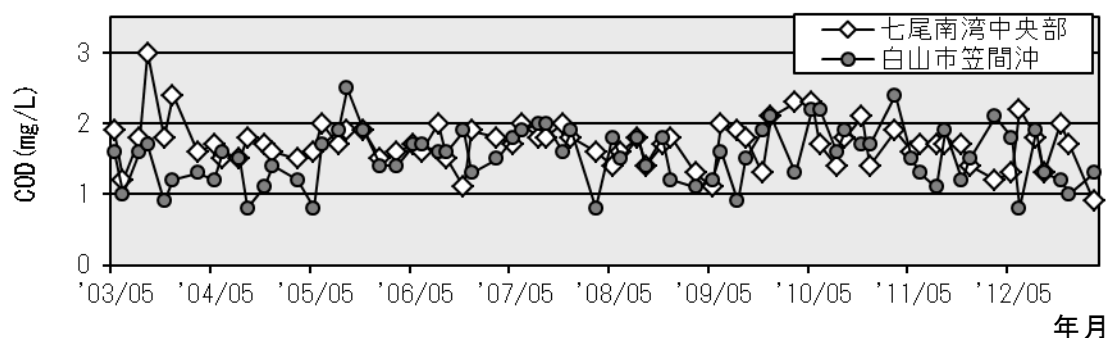


図 3 COD の変遷

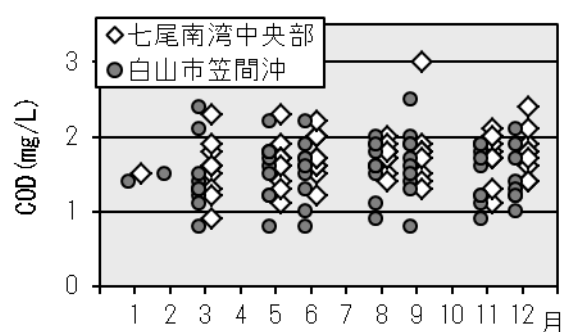


図 4 月別の COD

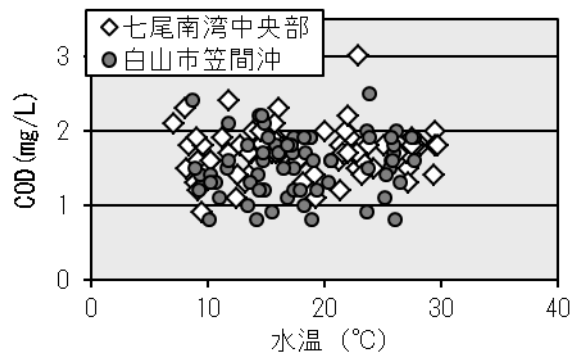


図 5 COD と水温との関係

すると考えられた。

4. まとめ

2011 年夏季～2013 年冬季の間 6 回、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 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DTN 及び DTP で白山市笠間沖の方が七尾南湾中央部よりやや高い傾向が見られた。また、季節間の比較では特徴的な傾向は見られなかった。
- ・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 8 割を占めていた。また、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。
- ・2 地点とも POC と Chl a の相関はほとんど見られず、植物プランクトンの増殖（内部生産）の水質への寄与は低いことが示唆された。

5. 参考資料

- 1) 公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書(平成 15 年度～平成 24 年度) (石川県)

浜名湖における COD と下層 D0 の経年変化の特徴について

静岡県環境衛生科学研究所

大気水質部 後藤裕康, 内山道春

1. はじめに

浜名湖は、静岡県西部に位置し、南端の湖口（今切口：幅約 200m）で遠州灘とつながる平均水深約 5m の比較的浅い汽水湖である。湖口を通じて大量の外海水が流出入し、近年の平均塩分は約 30psu あり、湖奥部まで閉鎖性内湾の環境を呈している。

湖口に近い湖南部は、底質が砂質～砂泥質で水深が 5m 以下（平均約 3m）と浅く、広い瀬が形成され、網の目状に複数の滞りがあり、外海水の影響を強く受けている。一方、湖北部（湖奥部）は、水深が 5-16m（平均約 7m）と深く、底質は泥質で、夏期には密度成層が形成され下層に貧酸素水塊が発達する。さらに、細江湖、猪鼻湖、松見ヶ浦等の複数の付属湖や入り江を持つ複雑な地形をしており、都田川など複数の河川が流入して陸水の影響が強い^{1, 2)}。

浜名湖では 1950 年代前半頃から県水産部局で毎月 1 回 12 定点（基本）での水質調査を、1971 年からは環境部局と水産部局との協同により、同じ定点・頻度で水質常時監視を行ってきた。水質環境基準（COD）の水域類型では、本湖が海域 A、付属湖等が海域 B に指定されている。閉鎖性が強い湖奥部では COD（75% 値）は常時監視開始以降恒常的に環境基準を超過していたが、1993 年頃からは外海水流入量の増大³⁾の影響と考えられる水質の改善傾向がみられ、一時期は全地点で環境基準を達成した。しかし、2005 年頃から全地点で水質悪化傾向がみられ、2006～2008 年からは本湖の常時監視地点である「新所」、「湖心」で再び環境基準を超過するようになった⁴⁾。そこで、静岡県環境衛生科学研究所では、本研究「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」に参加して全国の情報を収集するとともに、2010～2012 年に「新所」、「湖心」における COD 環境基準超過の原因究明のための研究を行った。その結果、近年潮汐流の増大に伴い富栄養の深層海水が浅い水域に移動し、これによるプランクトンの増殖が COD 値の上昇に影響していると推察され^{4, 5)}、浜名湖における COD 値の上昇は外海水流入量の増大により引き起こされているという他海域では例のない特異なメカニズムに起因している可能性が示唆された（研究は深層海水の浅海域移動のメカニズム究明を目的に継続中）。

また、環境省が水質環境基準への追加を検討している下層 D0 に関しては、湖奥部において夏季に密度成層の形成により恒常的に貧酸素水塊が発達し、秋季の成層解消時や荒天時にしばしば苦潮（青潮）が発生してアサリ等の漁業被害が発生するため、1950 年代前半の水質調査開始当初から観測を行っている。

そこで、浜名湖の海域環境診断の資料とするため、水質常時監視データを整理して COD と下層 D0 の長期的経年変化の検討を行うとともに、本Ⅱ型研究における国立環境研究所の分析データを含めた検討を行った。

2. 方 法

浜名湖及び周辺海域における公共用水域水質常時監視地点（図 1）のうち、今回の検討

本Ⅱ型研究の独自調査として、2011～13年度の夏季（9月）と冬季（1月）に、「湖心」、「新所」、「新居」（2011年9月は「湖口」）の3地点の表層と底層で採水を行い、ろ過・分注した試水・フィルター類を冷凍して国立環境研究所に送付し、「茨城県沿岸する有機物項目について」に記述した方法

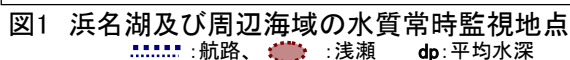


図1 浜名湖及び周辺海域の水質常時監視地点
 : 航路、 : 浅瀬 dp: 平均水深

水温の長期変動を図 2, 3 に, DO の長期変動を図 4, 5 に, 塩素イオンの長期変動を図 6 に, COD の長期変動を図 7 に示した. それぞれの図には, 水質環境への影響が考えられる事象を記入した.

D0 は、「気賀」、「湖心」では水温と同じく 1975～84 年度は低下傾向、1985～2004 年度は上昇傾向がみられ、2005 年度以降は両地点とも底層ではほぼ定常で推移しているが、表層では上昇する傾向がみられた。また、水温と同様、「浜名湖沖」は浜名湖内と変動パター

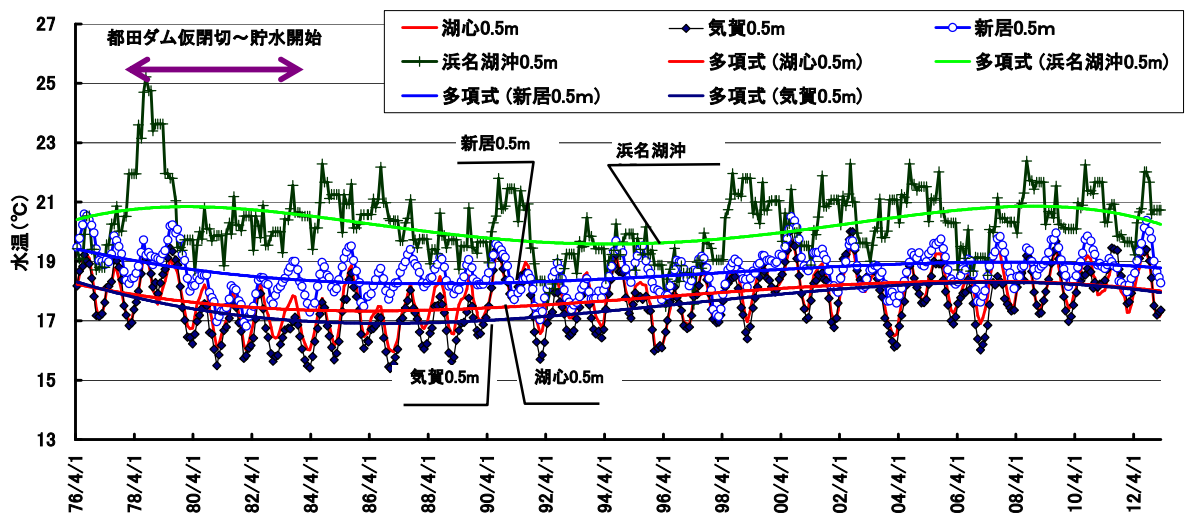


図2 浜名湖と遠州灘における水温の長期変動(13ヶ月移動平均値)

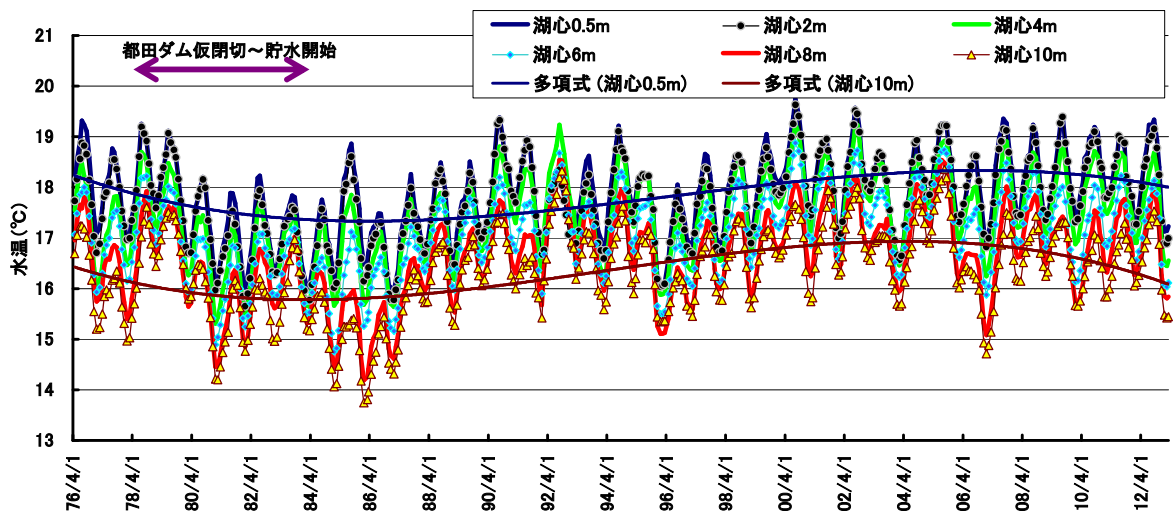


図3 浜名湖「湖心」における水温の長期変動(13ヶ月移動平均値)

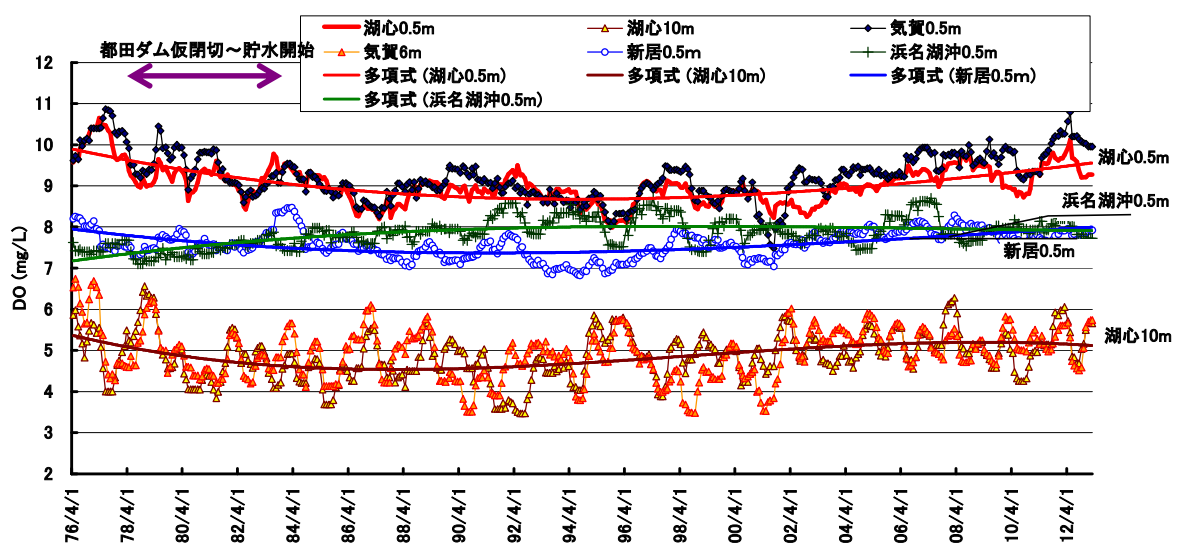


図4 浜名湖と遠州灘におけるDOの長期変動(13ヶ月移動平均値)

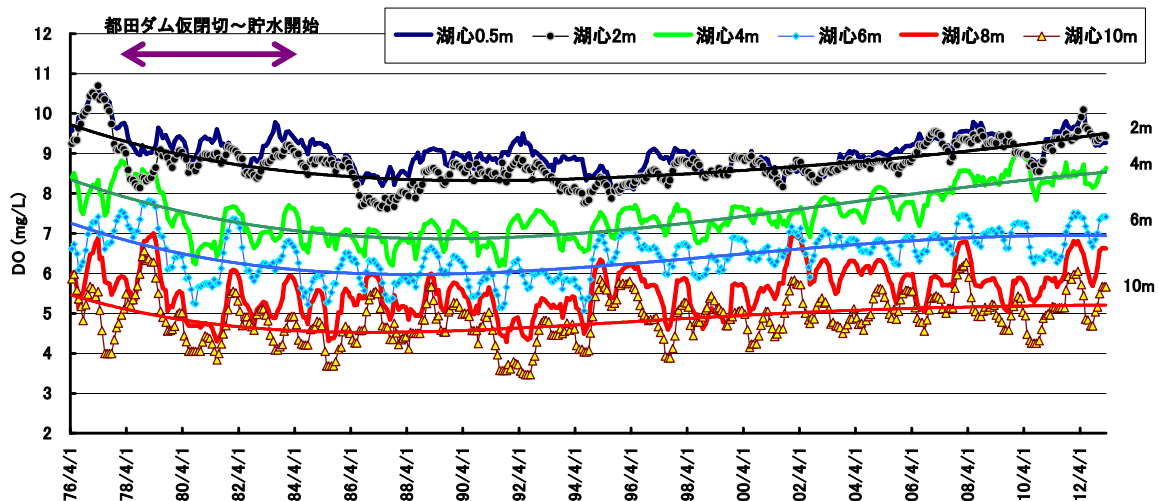


図5 浜名湖「湖心」におけるDOの長期変動(13ヶ月移動平均値)

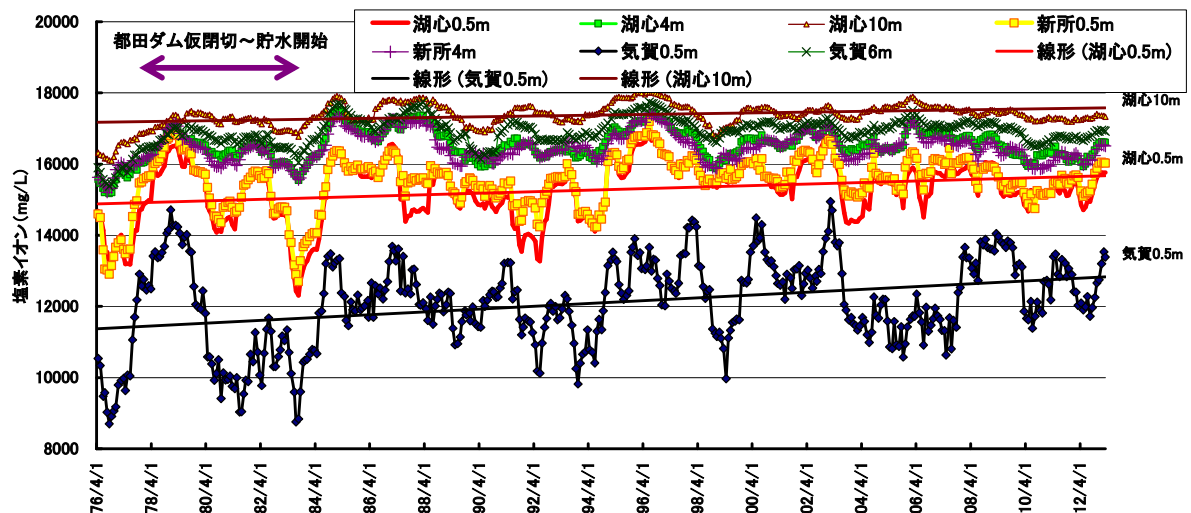


図6 浜名湖「気賀」「湖心」「新所」における塩素イオンの長期変動(13ヶ月移動平均値)

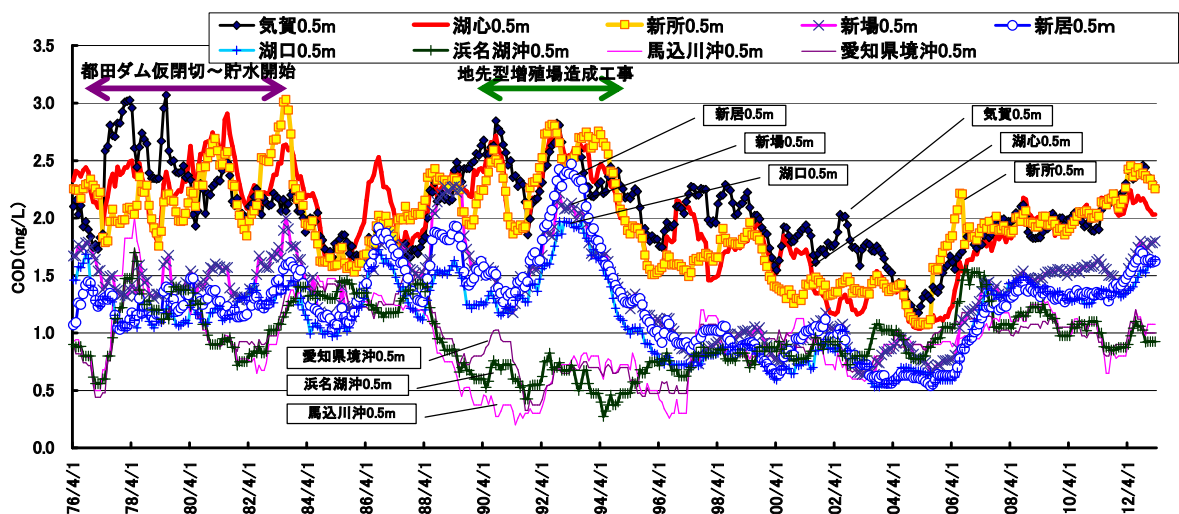


図7 浜名湖と遠州灘におけるCODの長期変動(13ヶ月移動平均値)

ンに差がみられ（図 4）,「湖心」の層別 D0 は、表層と 2m 層はほぼ同様、その他の層では底層まで順次低下していた（図 5）。さらに、「湖心」の 4m 層では 1984~85 年度頃までは 6m 層と変動パターンが同様であったが、2001 年度頃からは 2m 層に変動パターンに近い（図 5）。浜名湖における 1985 年度以降の D0 上昇傾向は、近年の外海水流入量の増大³⁾や潮汐の影響拡大⁴⁾の影響と考えられ、特に躍層（例年「湖心」では水深 5m 付近に形成）直上の 4m 層では影響が顕著に現われたものと推察された。

塩素イオンは、底層から表層にかけて数値が低下しており、夏季の密度成層の形成や降雨による表層の塩分低下を明確に反映していた。変動パターンはいずれの層でも漸増傾向がみられ、「湖心」0.5m 層と「新所」0.5m 層が、「湖心」4m 層と「新所」4m 層がそれぞれほぼ同様で推移し、「気賀」6m 層、「湖心」10m 層もパターンは同様であった（図 6）。また、浜名湖で最大の流入河川である都田川の影響が強い「気賀」の表層は、1983 年度以前は変動幅が特に大きかったのが、近年（2000 年度以降）は変動幅や低下量が小さい傾向がみられた。これは、都田川に多目的ダムが建設（1970 年度仮閉切り、1984 年度貯水開始）された影響と考えられた³⁾。

浜名湖における水温と D0 は同様な長期変動パターンを示しているが、1975~84 年度の低下傾向には都田川のダム設置による陸水流入状況の変化³⁾が（夏季出水時の成層破壊等）、1985~2004 年度の上昇傾向には外海水流入量の増大³⁾が影響したと推察される。なお、水温、D0 とも近似曲線は次数 3 の多項式が良く適合し、変動に影響を与える共通の事象が複数あることを示しており、ダム、外海水流入量という複数の変動要因が関係したことを裏付けていると考えられた。

COD の変動パターンは、湖北部（湖奥部：気賀、湖心、新所）、湖南部（新場、新居、湖口）、遠州灘（「馬込川沖」、「浜名湖沖」、「愛知県境沖」）の海域別に良く一致しており、海域間では差がみられた。浜名湖中～奥部の調査点である「気賀」、「湖心」、「新所」と外海水の影響が強い湖南部の「新場」、「新居」、「湖口」では、COD 以外の分析項目も含めて各水深別に類似した変動パターンを示し、水塊的にはほぼ同様な環境であることが推察された。

湖南部の 3 地点では、1990~94 年度頃に急激な COD の上昇がみられたが、この時期には浜名湖南部の浅瀬（大瀬）においてア

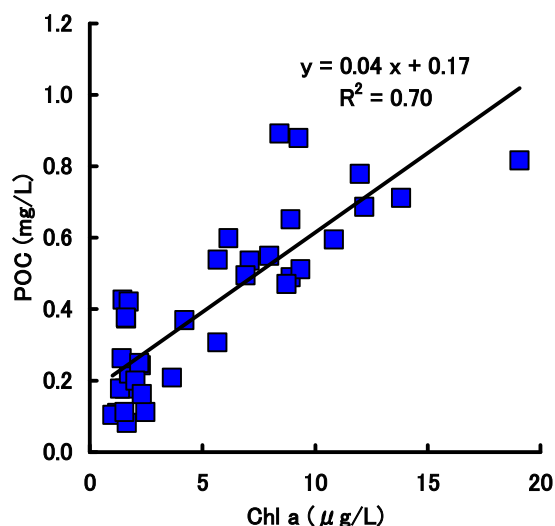


図8 浜名湖における懸濁態有機炭素とクロフィルaの関係

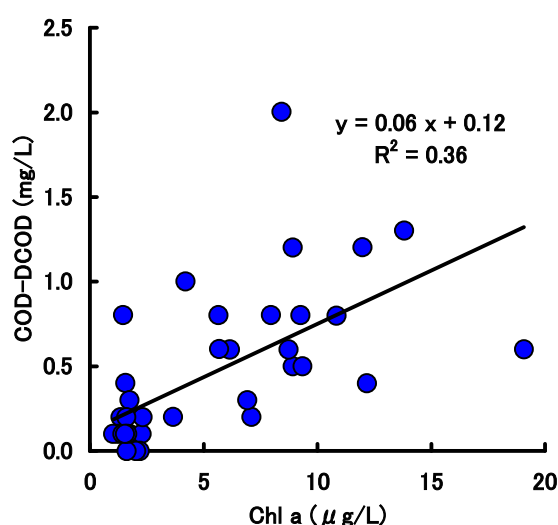


図9 浜名湖における懸濁態CODとクロフィル aの関係

サリ漁場造成のための大規模な耕運・作濤工事（地先型増殖場造成工事：1990～94年度）⁶⁾が行われており、これの影響によるものと考えられた。

浜名湖における春～秋季のCOD上昇は、懸濁態CODとクロロフィルa (Chl a) の関係等からプランクトンの増殖によることが確認されている⁴⁾。本Ⅱ型研究の独自調査においてもChl aと懸濁態有機炭素(POC)、懸濁態CODの関係を検討したが、POCでは比較的高い相関がみられたものの、懸濁態CODでは相関が低かった(図8, 9)。懸濁態CODで相関が低かった理由としては、2012～13年のサンプルのいくつかに、コペポダ類やクラゲ類の幼生といった動物性プランクトンが多く混入していた影響等が考えられるが、今回のデータだけでは詳細は不明であった。

なお、国立環境研究所の分析結果では溶存態CODと塩分に高い負の相関がみられる等(図10)、今回詳細な解析は行わなかったものの、他にも興味深いデータも得られている。浜名湖のCODに大きく影響するのは鞭毛藻類や珪藻等のプランクトンに起因する懸濁態CODであるが⁴⁾、溶存態CODと塩分の負の相関関係は、溶存態CODが陸水起源である可能性を示唆していることが考えられる。これらについては、本研究所の研究データを含めて解析・検討を行い、浜名湖における有機汚濁や貧酸素水塊等の水質環境のメカニズム解明に供していきたい。

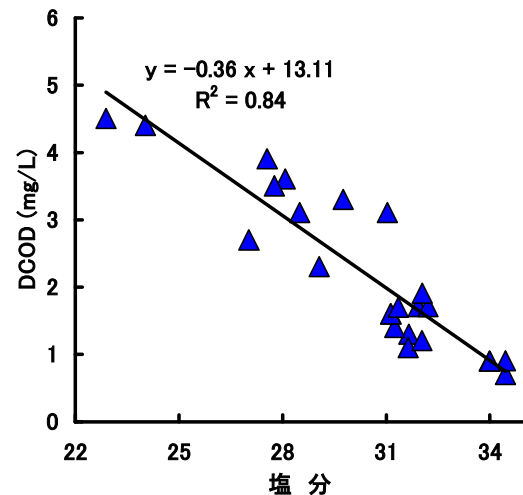


図10 浜名湖における溶存態CODと塩分の関係
(2011-12年度データ)

4. 文 献

- 1) 松田義弘：浜名湖の海水交換（Ⅰ）—塩分輸送形態と地理的環境，東海大学紀要海洋学部，15，1-16（1982）
- 2) 浜名湖地区水産振興協議会：浜名湖地区の水産，67pp. (2001)
- 3) 後藤裕康：漁獲量変動からみた浜名湖の漁場環境の変化，静岡水試研報，39，31-50 (2004)
- 4) 内山道春・後藤裕康他：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，No. 55，85-94（2012）
- 5) 後藤裕康・内山道春他：浜名湖の水質研究における湖水流動の調査，静岡県環境衛生科学研究所報告，No. 55，77-83（2012）
- 6) 上村信夫・津久井文夫他：浜名湖地区地先型増殖場造成事業効果調査，平成3-6年度静岡県水産技術研究所事業報告（1992～1995）

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

京都府保健環境研究所 水質課 蒲 敏幸 田中 豊稔 宮尻 久美 田邊 義浩

1 はじめに

京都府は北部日本海側に海域を有しており、日本三景の一つである天橋立が観光地として知られている。天橋立は閉鎖性海域である宮津湾内にあり、砂州で宮津湾と阿蘇海を隔てている。この他に、舞鶴湾、久美浜湾などの閉鎖性海域が多く、いずれも観光地であるとともに水産業が盛んである。

これらの閉鎖性海域にはCOD、全窒素、全燐の環境基準に係る類型指定が行われているが、CODについては最近8年間、全海域で環境基準非達成が続いている。窒素と燐については平成元年度以降は各海域ともほぼ横ばいで推移しており、阿蘇海の窒素、燐、久美浜湾の窒素の環境基準達成率が低い状況にある。特にCODについては平成15年度、16年度に環境基準を超過する上昇が見られ、その後も緩やかではあるが上昇傾向が続いている。各海域への流入河川のBODは良好な数値を維持しているにもかかわらず、CODは増加傾向にあり、その原因を究明することが環境基準達成のための課題となっている。

2 方法

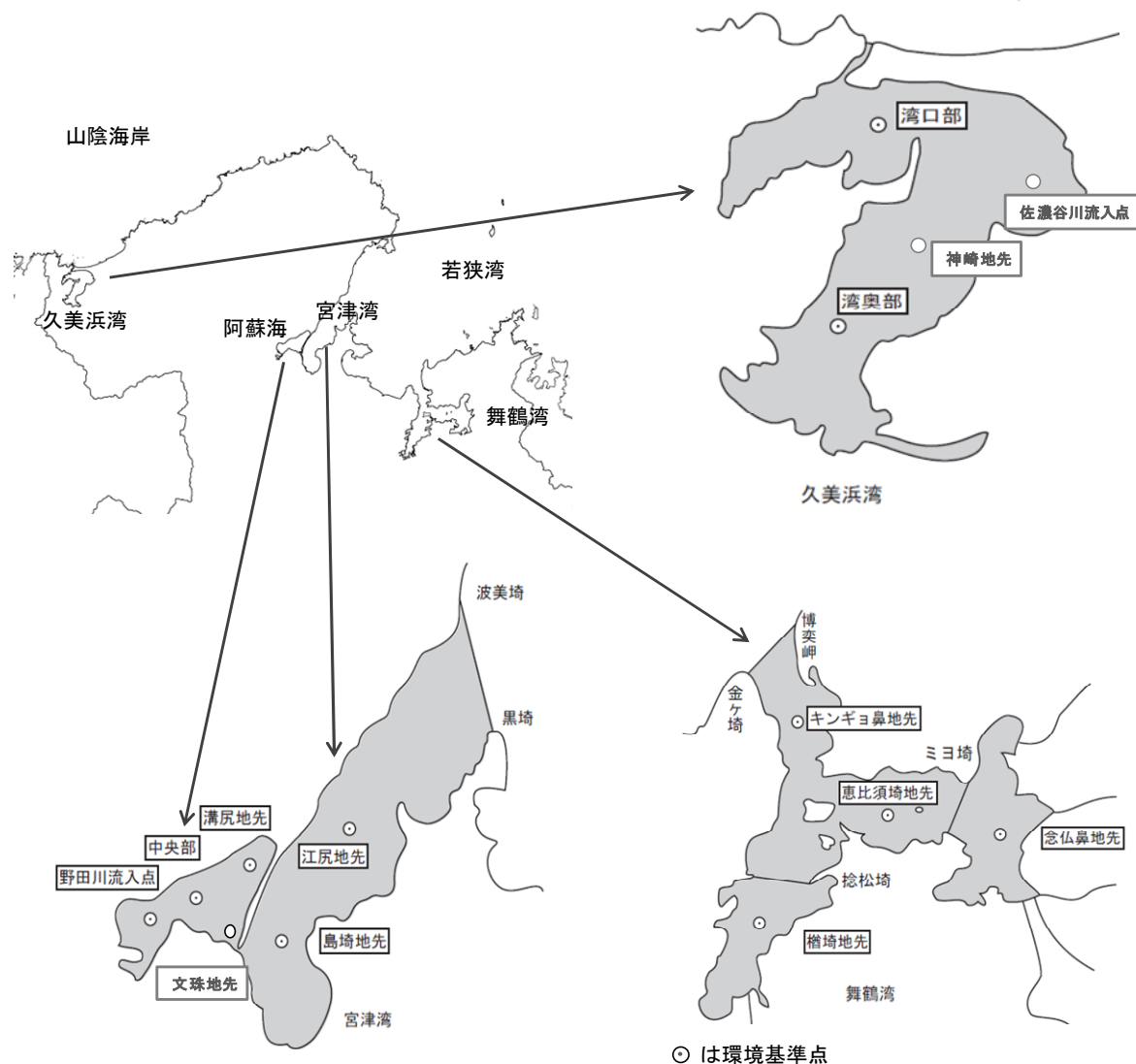
府の閉鎖性海域を3つに分け、平成23年度は久美浜湾、平成24年度は宮津湾・阿蘇海、平成25年度は舞鶴湾を対象に調査を行った。調査は夏季と冬季に行い、現地で水質測定器によりDO等の垂直分布を測定するとともに、表層の海水を採取した。垂直分布の調査は、23年度は国立環境研究所から借用した多項目水質計HYDROLAB H20を、24、25年度はHORIBA製U-52Gを用いて実施した。採取した海水はろ過を行い、ろ過・分注した試水・フィルター類は冷凍して国立環境研究所に送付し、「茨城県沿岸海域公共用水域常時監視点におけるCODと関連する有機物項目について」で述べられた方法で一連の分析を行った。また、平成10年度から24年度の15年間の京都府の水質測定結果のうち、CODについての経年変化と季節変化をとりまとめ、考察を行った。久美浜湾と阿蘇海は年12回、宮津湾と舞鶴湾は年6回の測定を行っており、COD値は表層(0.5m)、中層(2m)、下層(10m)、水深10m以下の場合は底部から約1m)の平均値を用いた。調査地点名と調査日は表1のとおりで、図1に調査地点を示した。

表1 調査地点、調査日及び類型指定状況等

水域	地点名	測定日		類型指定状況		CODに係る環境基準達成状況(H15～H24年度)											
		夏季	冬季	COD	NP	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24		
久美浜湾	湾口部	2011.8.2	2012.2.7	A	II	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	湾奥部	2011.8.2	2012.2.7														
	佐濃谷川流入点*	2011.8.2	2012.2.7														
	神崎地先*	2011.8.2	2012.2.7														
宮津湾	江尻地先	2012.9.4	2013.1.8	A	II	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	島崎地先	2012.9.4	2013.1.8														
阿蘇海	溝尻地先	2012.9.4	2013.1.8	B	II	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	中央部	2012.9.4	2013.1.8														
	野田川流入点	2012.9.4	2013.1.8														
	文珠地先*	2012.9.4	2013.1.8														
舞鶴湾(1)	キンギョ鼻地先	2013.9.3	2014.1.14	A	II	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×		
	恵比須崎地先	2013.9.3	2014.1.14														
舞鶴湾(2)	念仏鼻地先	2013.9.3	2014.1.14	A	II	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×		
	檜崎地先	2013.9.3	2014.1.14														

注) *印は環境基準点ではないため、国立環境研究所によるCOD関連項目の検査は実施しなかった。

図1 調査地点図



3 結果と考察

(1) 水質計測器による垂直分布

各海域のDO、水温、塩分濃度の垂直分布を図2に示した。

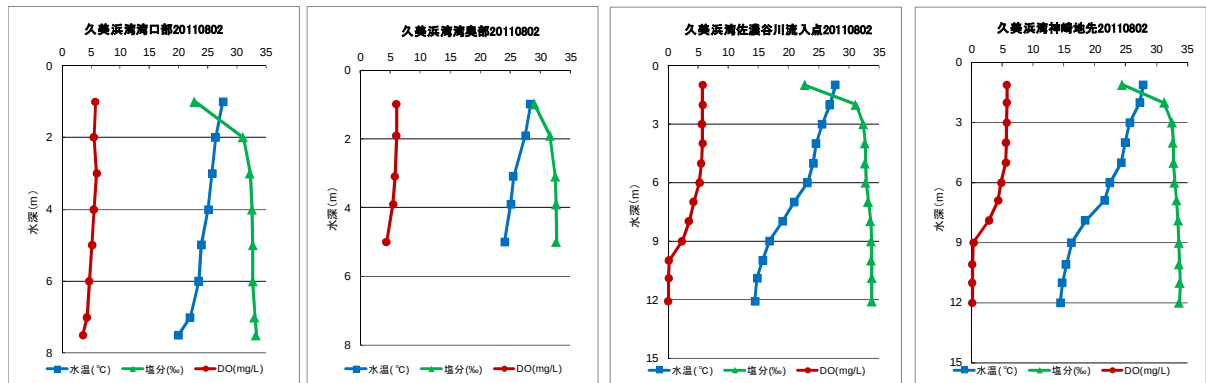
久美浜湾では、夏季の調査において佐濃谷川流入点では10m、神崎地先では9mより深くなるとDOがゼロとなり、底層の貧酸素状態が確認された。冬季の調査においても湾奥部、佐濃谷川流入点、神崎地先でDOの低下が見られ、4mより深くなるとDOが顕著に低下した。冬季の水温は各地点とも3m以深はほぼ一定であり、底層と表層の循環がおこっていると見られるにもかかわらず、4m以深における貧酸素状態が確認されたことから、今後さらに詳細な調査を行う必要があると考えられる。

宮津湾は比較的外海(若狭湾)に向かって開けていることから、2地点ともに夏季、冬季とも底層DOの低下は認められなかった。

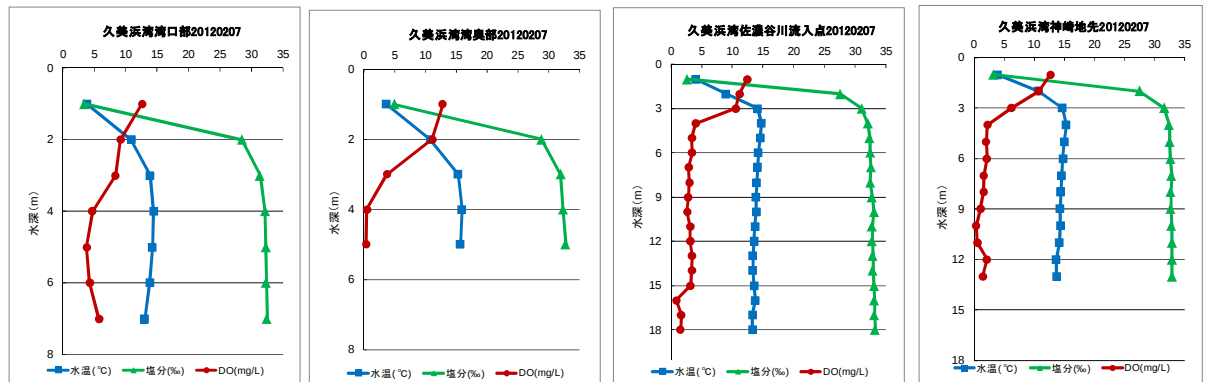
阿蘇海は天橋立の砂州により宮津湾と隔てられていることから海水の入れ替わりは非常に少ないことと、有機物を多く含む底泥がたまっていることなどから、各地点とも底層DOの低下が見られ、夏季、冬季を通じておよそ5m以深ではDOはほぼゼロとなっていた。また、各地点とも夏季の酸化還元電位は-300mV以下となっていることから、底泥の有機物分解によるDO消費

図2 京都府北部閉鎖性海域の垂直調査結果

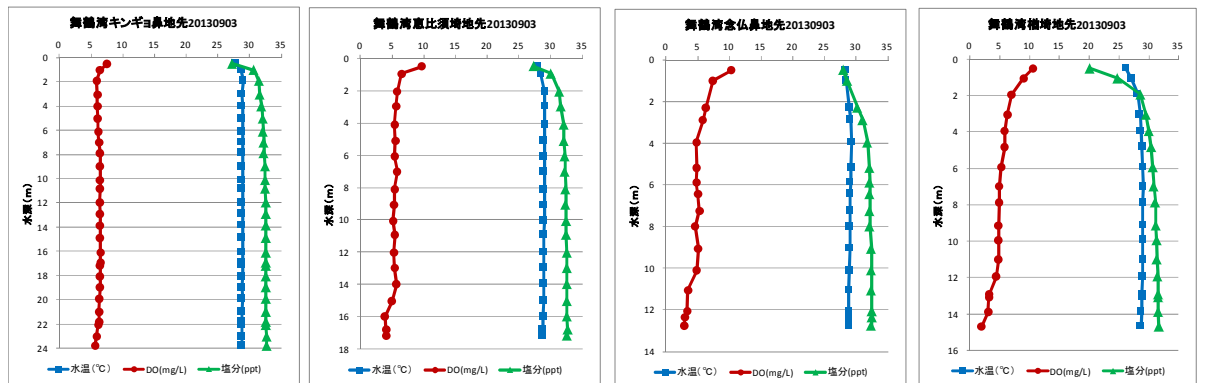
久美浜湾夏季の調査結果



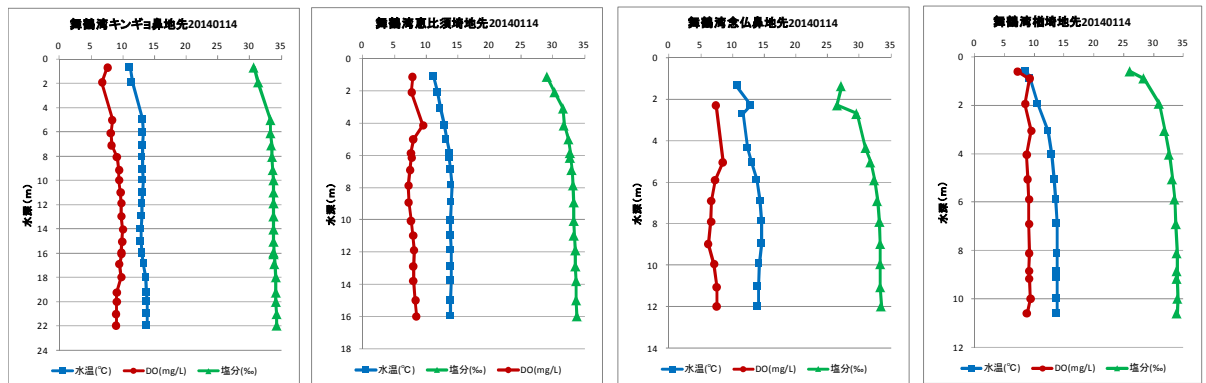
久美浜湾冬季の調査結果



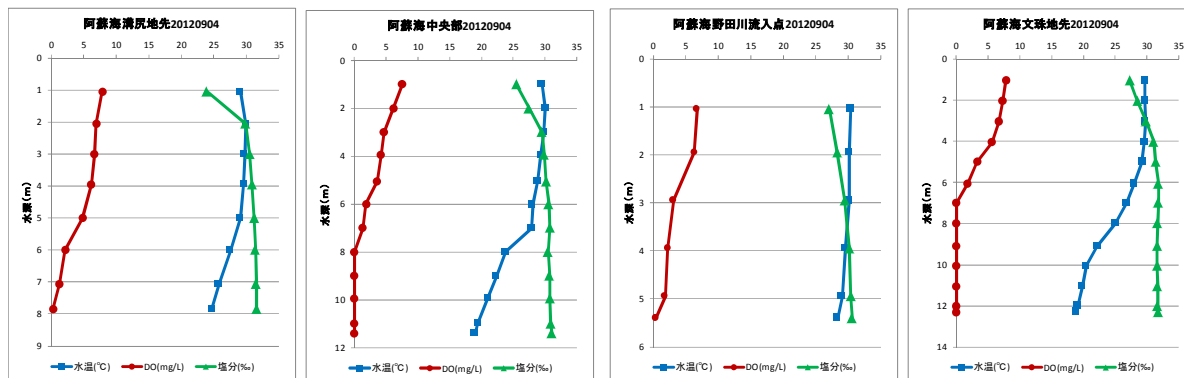
舞鶴湾夏季の調査結果



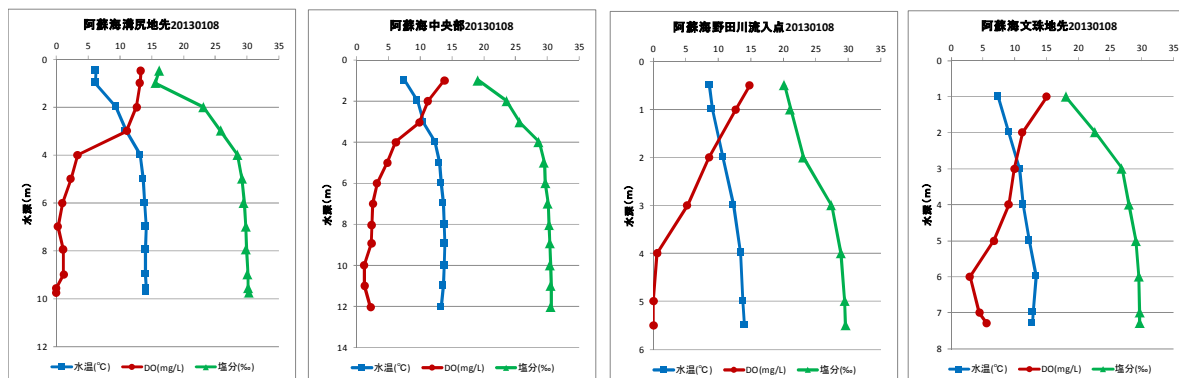
舞鶴湾冬季の調査結果



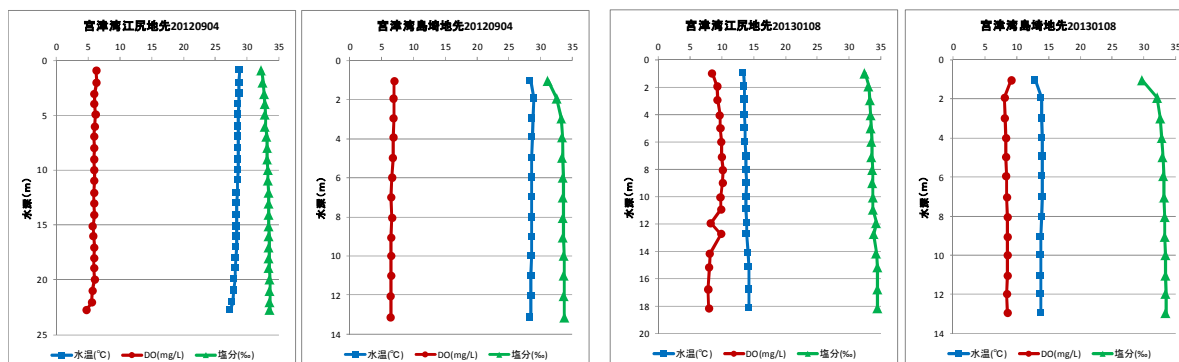
阿蘇海夏季の調査結果



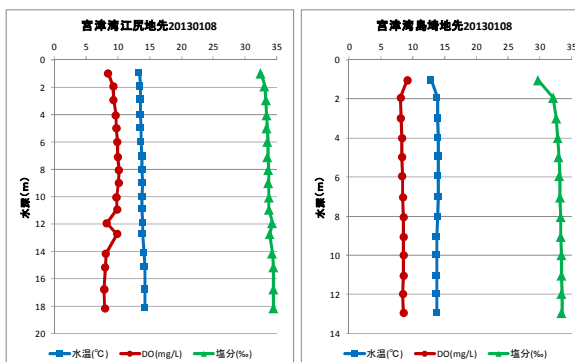
阿蘇海冬季の調査結果



宮津湾夏季の調査結果



宮津湾冬季の調査結果



による貧酸素状態が継続していることが窺えた。冬季の酸化還元電位の低下は夏季ほど顕著ではなかったが、底層DOの低下は底泥の有機物分解と関連していることが考えられる。

舞鶴湾は湾奥にあたる念仏鼻地先と檣埼地先で夏季に底層DOの低下が見られたが、底部でも2~3mg/L程度のDOが確保されていた。冬季は各地点とも顕著なDOの低下は見られなかった。

以上から、京都府の海域では久美浜湾と阿蘇海の閉鎖度が非常に高い水域で夏季、冬季を通じて底層の貧酸素状態が確認されたが、久美浜湾はさらに詳細な調査を要すると考えられる。

(2) COD及び関連項目の分析結果について

3年間のCOD関連項目の分析結果のうちCOD、溶存性COD(DCOD)、クロロフィルaの分析結果を図3に示した。各地点のCODのうちDCODの占める比率の平均は70%強であったが、流入河川の影響が考えられる阿蘇海野田川流入点と、夏季のクロロフィルaが比較的高い舞鶴湾の各地点ではDCODの割合が低くなる傾向があった。阿蘇海と舞鶴湾の各地点は夏季にクロロフィルaが高くなり、プランクトンの繁殖があるものと考えられ、懸濁性のCODが高くな

これらの結果から、溶存性のCOD成分が多くかつ分解されにくいことが各海域のCOD値を高くしているとともに、夏季のプランクトンの増殖により懸濁性のCOD成分が上乘せされ、さらにCOD値が高くなることが示唆された。

Figure 1 is a bar chart showing the concentration of COD, D-COD, and Chl a in the water of the 12 rivers in the Miyagi Prefecture. The Y-axis represents concentration in mg/L for COD and D-COD, and μg/L for Chl a. The X-axis lists the rivers and their sampling locations. COD is represented by blue bars, D-COD by red bars, and Chl a by green bars. The chart shows that COD and D-COD concentrations are generally higher in the summer (夏) and winter (冬) samples compared to the spring (春) and autumn (秋) samples. Chl a concentrations are generally higher in the summer (夏) and winter (冬) samples compared to the spring (春) and autumn (秋) samples. The legend indicates: COD(mg/L) in blue, D-COD(mg/L) in red, and Chl a(μg/L×10) in green.

River	Location	Season	COD (mg/L)	D-COD (mg/L)	Chl a (μg/L × 10)
久美沢	河口	夏	3.5	3.0	0.5
久美沢	清瀬	夏	3.5	3.0	0.5
久美沢	清瀬	冬	2.0	2.0	0.2
久美沢	清瀬	春	3.5	2.5	0.2
阿蘇川	清瀬	地先	5.2	4.5	1.5
阿蘇川	清瀬	地先	5.2	3.5	2.0
阿蘇川	中央部	夏	4.5	1.5	2.2
阿蘇川	清瀬	地先	3.2	1.8	1.2
阿蘇川	中央部	冬	3.2	2.0	0.8
阿蘇川	野田川	流入点	欠測	欠測	0.0
宮津川	清瀬	地先	2.0	2.0	0.0
宮津川	清瀬	地先	2.2	2.0	0.5
宮津川	清瀬	地先	1.5	1.0	0.8
宮津川	清瀬	地先	1.8	1.2	0.8
舞鶴川	牛久井	地先	4.5	2.5	0.2
舞鶴川	清瀬	地先	5.8	4.2	3.2
舞鶴川	清瀬	地先	4.5	2.8	2.0
舞鶴川	牛久井	地先	6.2	3.0	3.8
舞鶴川	清瀬	地先	1.8	1.5	0.5
舞鶴川	清瀬	地先	1.8	1.2	0.8
舞鶴川	清瀬	地先	1.5	1.5	0.2

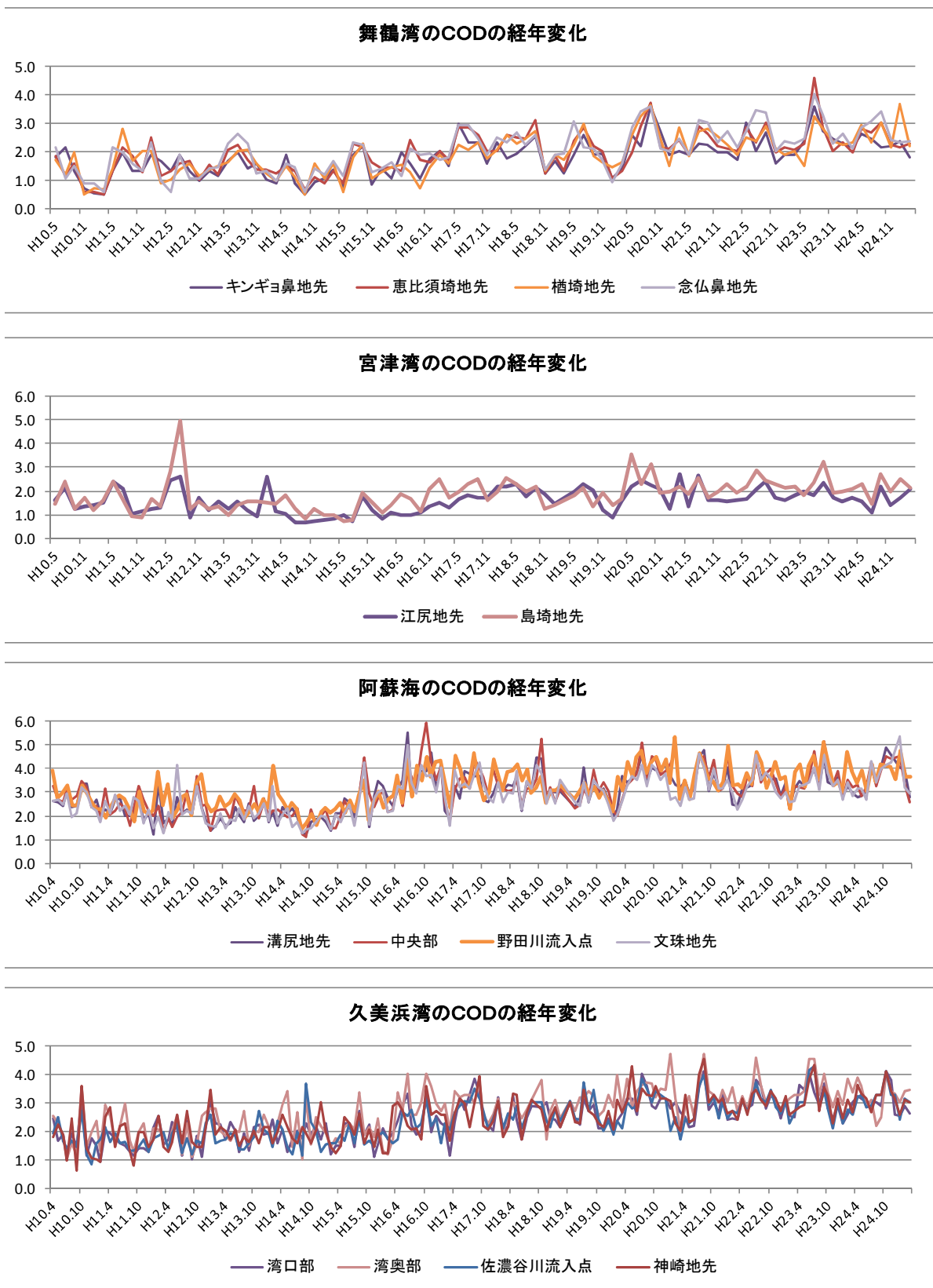
平成 10 年度から 24 年度の 15 年間の COD の変化を海域ごとに図 4 に示した。

4 まとめ

COD関連項目の調査では、COD成分の70%以上が溶存性であること、夏季にはプランクトンの増殖等により懸濁性のCOD成分が上乘せされてさらにCOD値が高くなる傾向があることなどが示唆された。

京都府の過去 15 年間のデータを解析したところ、COD 値は緩やかに上昇する傾向が確認されるとともに、夏季に高くなる傾向があった。同一の海域では湾奥に位置する採水地点の COD 値が高い傾向があった。

図4 京都府の閉鎖性海域のCODの経年変化(平成10年度～24年度)



大阪湾公共用水域常時監視点における COD と関連項目について

地方独立行政法人 大阪府立環境農林水産総合研究所

1. 大阪湾の環境

大阪湾の集水域は2府5県にわたり、集水面積は約 10,140km² 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 500～1,000m 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、年平均河川流入量の 93%（平成 15～17 年平均）を占めており、湾奥部には淀川などから多量の河川水が流入するため、海水の塩分による成層化が見られる¹⁾。

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)。また、後述する鉛直分布は St.17 (C-3 付近)、St.2D (A-11 付近) を選定した。

2-2 経年変化データ

経年変化については大阪府の公共用水域等環境データベースシステム²⁾ から入手した 2000 年 4 月～2014 年 3 月のデータを使用した。

2-3 国立環境研究所との共同研究

C-3 (C 類型)・A-11 (A 類型) において 2011～2013 年の 9 月 (夏季)、2012～2014 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。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常時監視点における COD と関連する有機物項目について」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³⁾。

2-4 鉛直分布

St.17、St.2D では大阪府立環境農林水産総合研究所水産技術センターでクロロフィル蛍光強度、水温、DO、塩分、密度 σ_t の鉛直方向のデータを取った。鉛直分布のデータは多項目水質計 (JFE アドバンテック社製 CTD RINKO-Profiler ASTD-102) を用いて測定を行った。

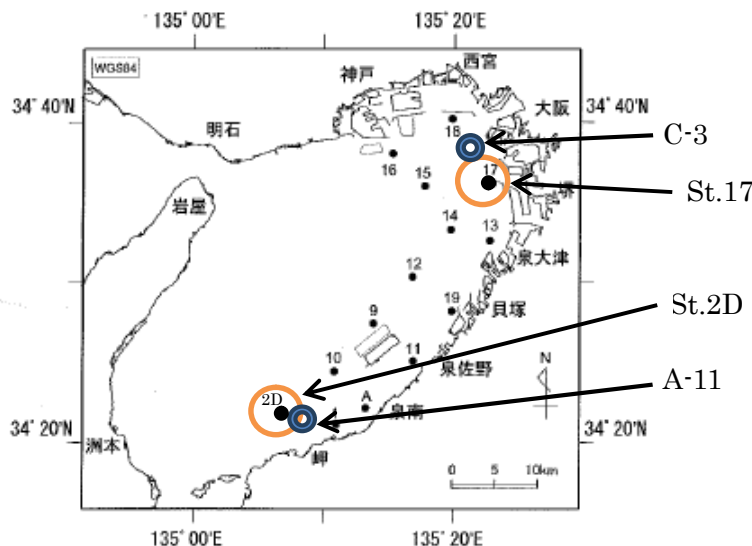


図1 大阪湾の採水地点及び環境基準点

3. 大阪湾の COD の季節変動及び COD に影響を与える因子についての考察

大阪府の公共用水域等環境データベースシステムから入手した、2000 年 4 月～2014 年 3 月²⁾の湾奥（C-3）、湾口（A-11）の 2 地点の COD の季節変動を図 2-1、2-2 に示した。大阪湾では 2000 年以降 COD の横ばい傾向が続いている。湾奥である C-3（C 類型）の COD 値は 1.8～9.1mg/L で、環境基準値（8mg/L）が緩いこともあり基準値を超えたのは 2009 年 8 月、2013 年 6 月の 2 回であった。湾口である A-11（A 類型）の COD 値は 1.3～4.3mg/L であり、環境基準値（2mg/L）を超えた割合は 50%程度であった。C-3 表層では夏に COD の高くなる傾向が顕著に認められた。底層については表層と比較して COD が低く、季節変動も明瞭ではなかった。

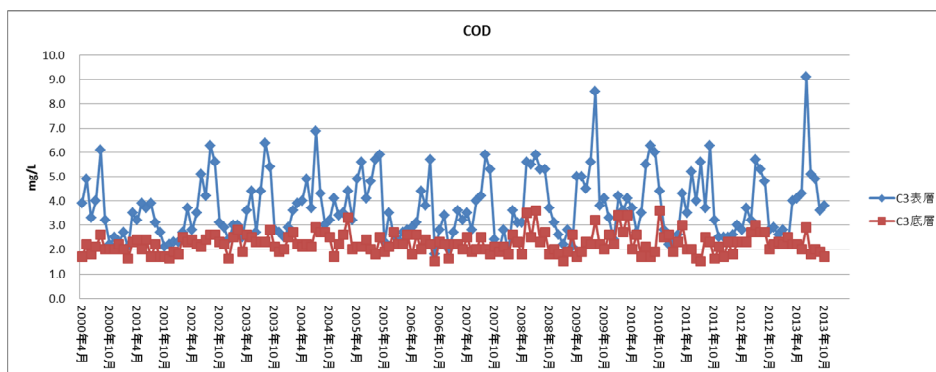


図 2-1 C-3（表層・底層）の COD 季節変動

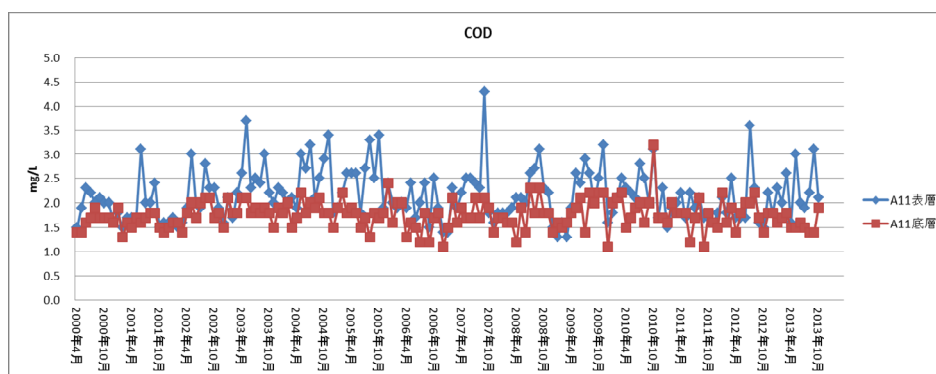


図 2-2 A-11（表層・底層）の COD 季節変動

夏季に表層で COD が高くなる要因としては、植物プランクトンによる内部生産の影響が考えられる。そこで C-3 及び A-11 のクロロフィル a の季節変動を図 3 に示す。C-3 のクロロフィル a は夏季に高くなる傾向が見られ、夏にプランクトン活動が活発になり COD が高くなることが推察された。A-11 のクロロフィル a は低い値で推移し、季節変動はあまり見られなかった。

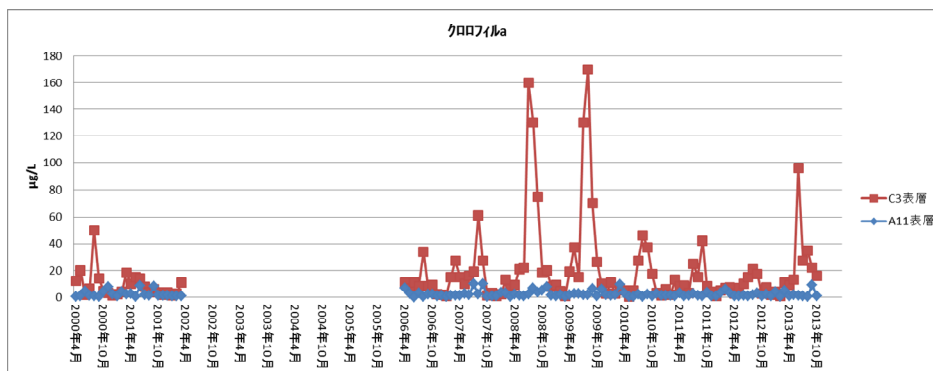


図 3 C-3・A-11（表層）のクロロフィル a の季節変動（2002～2005 年は欠測）

COD とクロフィル a が夏季に高くなる傾向が見られた C-3 表層について、クロフィル a と COD の関係を図 4-1 (C-3 表層、2000~2013 年度の全データ²⁾)、図 4-2 (図 4-1 からクロフィル a 50 $\mu\text{g/L}$ 以下を抜き出したもの) に示した。特にクロフィル a が 50 $\mu\text{g/L}$ 以下では両者の間に高い正の相関が見られた ($r^2=0.68$)。一般的にはクロフィル a が高いほど海水中の有機物に占める内部生産由来の割合が高くなることが考えられ、クロフィル a が 50 $\mu\text{g/L}$ 以上になると COD に反映されない有機物が増えてくるということは考えにくい。COD の分析では有機物濃度が高い場合は過マンガン酸カリウムによる酸化が十分に行われなくなるため、検体を希釈して分析する必要がある。クロフィル a が 50 $\mu\text{g/L}$ 以上の検体の分析で希釈が不十分だった可能性が考えられるが、推察の域を出ない。

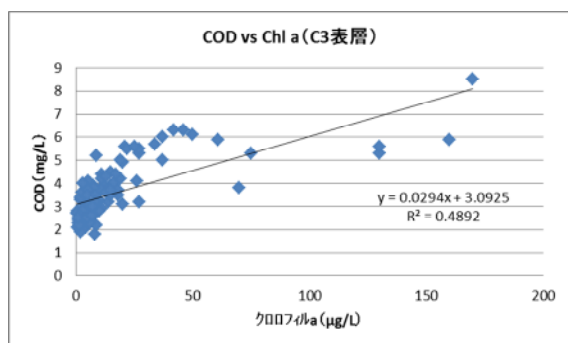


図 4-1 C-3 表層、全データ²⁾

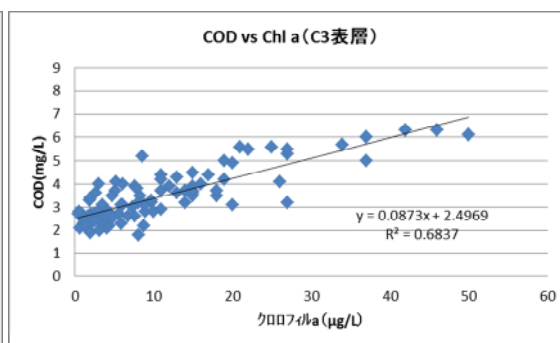


図 4-2 C-3 表層、50 $\mu\text{g/L}$ 以下²⁾

またクロフィル a と p-COD (=COD-DCOD) の関係 (C-3・A-11 表層、底層、2011 年~2013 年度³⁾) を図 5-1、5-2 に示す。両者の間には C-3、A-11 共に表層では高い正の相関が見られ、表層における p-COD の増加はクロフィル a の増加、すなわち植物プランクトンの増加と関係あることが示唆された。よって COD の季節変動で夏季に高い値を示すのは表層付近の植物プランクトン由来のものであると推察される。底層で相関が高くないことについてはクロフィル a を多く含まない分解の進んだ粒子や、底質が巻き上げられた粒子を多く含むためと推察される。

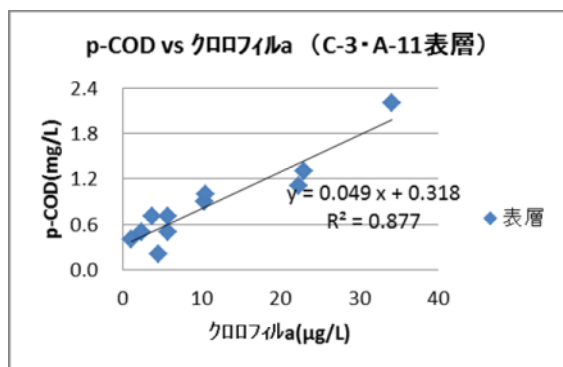


図 5-1 C-3・A-11 表層³⁾

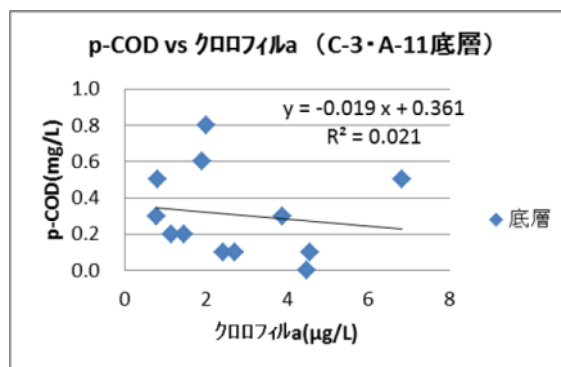


図 5-2 C-3・A-11 底層³⁾

4. 栄養塩類

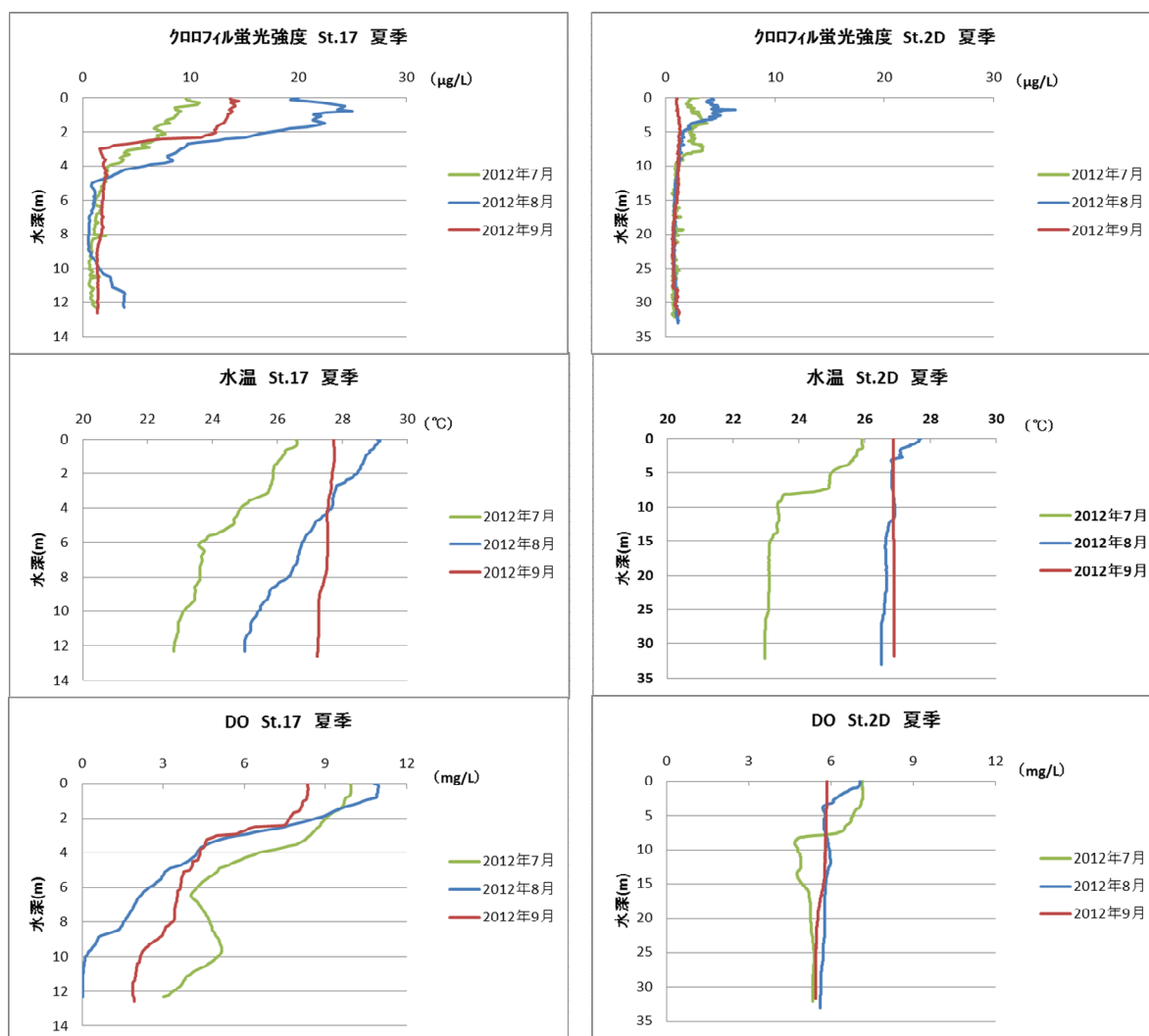
2011 年~2013 年度³⁾ の栄養塩類等の 3 年間の平均濃度を表 1 に示した。前述と同様、COD・クロフィル a は場所別でみると A-11 と比較して湾奥である C-3 の方で値が高く、季節別でみると夏季に高い値であった。栄養塩については場所別では A-11 と比較して C-3 が高く、季節別では夏季と比較して冬季の方が高い値を示した。これは夏季に植物プランクトンが増殖し、栄養塩を取り込んでいることを反映していると推察された。

表1 2011年～2013年度年³⁾の栄養塩類等の平均濃度

採水点名 季節	塩分 (%)	COD (mg/L)	Chl a ($\mu\text{g/L}$)	DIN (mg/L)	DTN (mg/L)	PO4-P (mg/L)	DTP (mg/L)
大阪湾A-11 表層 夏季	31.8	2.07	5.08	0.015	0.216	0.0042	0.0143
大阪湾A-11 表層 冬季	31.7	1.90	3.47	0.059	0.207	0.0069	0.0184
大阪湾C-3 表層 夏季	21.8	4.57	26.50	0.345	0.572	0.0218	0.0359
大阪湾C-3 表層 冬季	25.2	2.74	6.90	0.628	0.769	0.0275	0.0344

5. 鉛直分布データ

次に多項目水質計で測定した鉛直データを示す。夏季の St.17 (C-3 付近、C 類型)、St.2D (A-11 付近、A 類型) でのクロロフィル蛍光強度、水温、DO、塩分、密度 σ_t の鉛直分布を図 6-1 に示した。夏季は 8 月が典型的な例となっているが、クロロフィル蛍光強度は湾奥である St.17 の表層で高く、湾口である St.2D では低い値であった。また、7 月は St.2D で水温躍層が認められた。また、DO は St.17 底層で 0mg/L 付近まで減少し、貧酸素水塊の形成が見られた。また、塩分、密度 σ_t は湾奥表層の方で河川流入の影響が大きく反映されていた。図 6-2 に示した冬季は循環期であるため水温躍層は見られず、湾奥の St.17 では弱い塩分躍層・密度躍層が認められた。



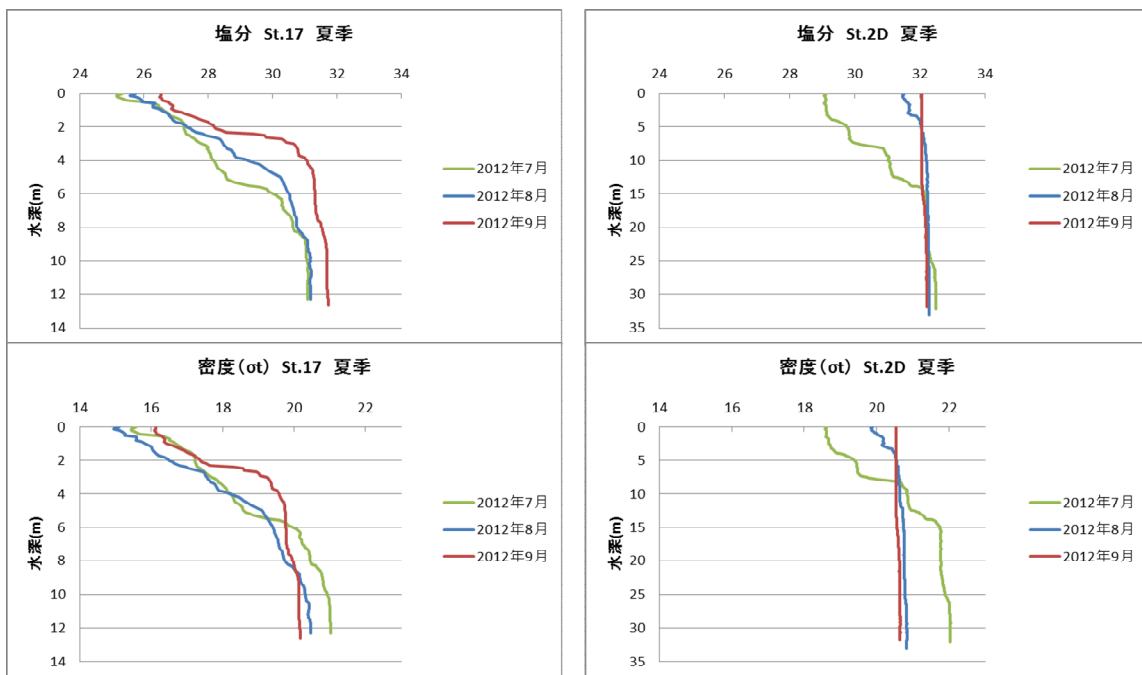
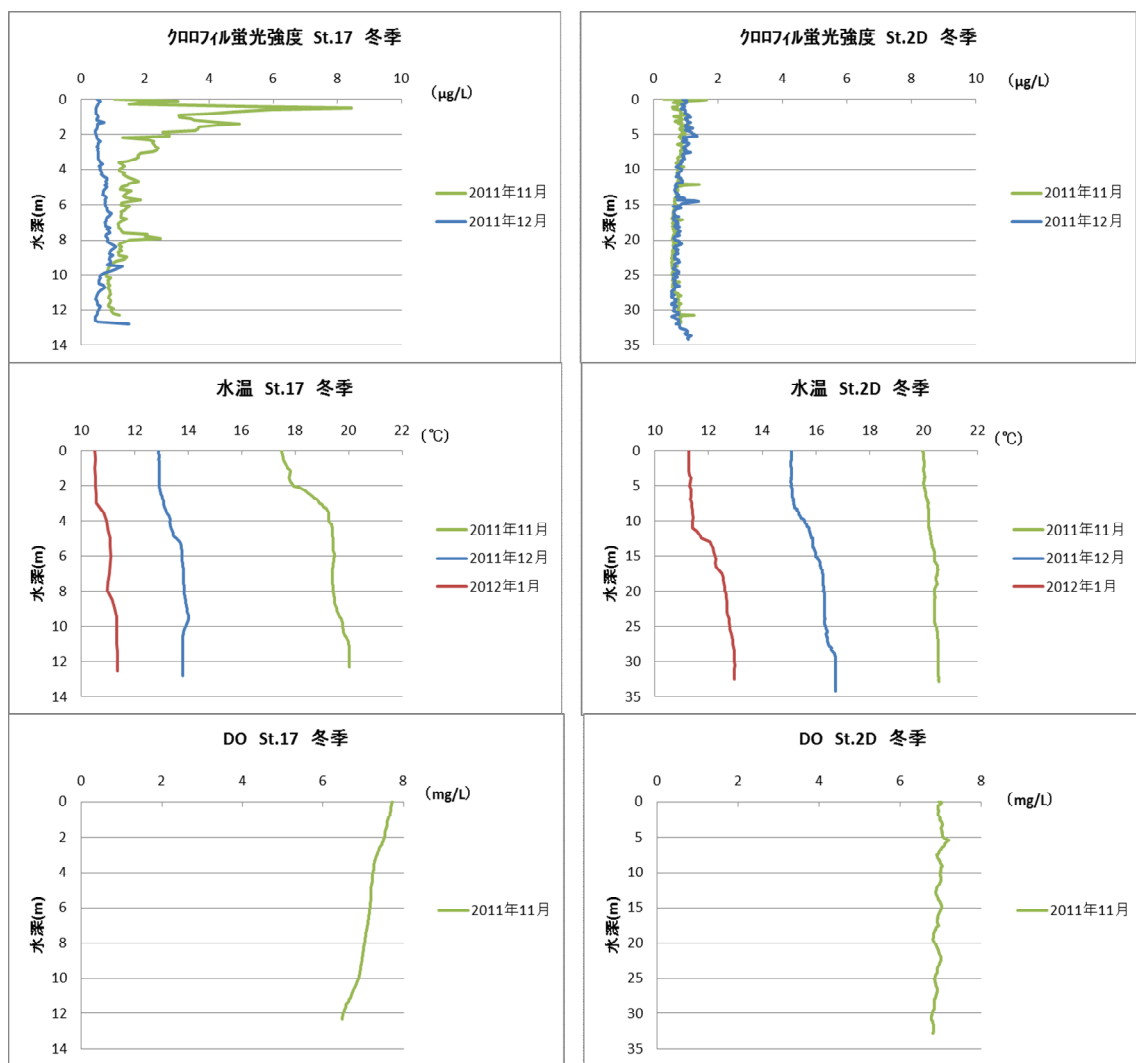


図6-1 St.17・St.2D のクロフィル蛍光強度、水温、DO、塩分、密度 σ_t の鉛直分布 (夏季)



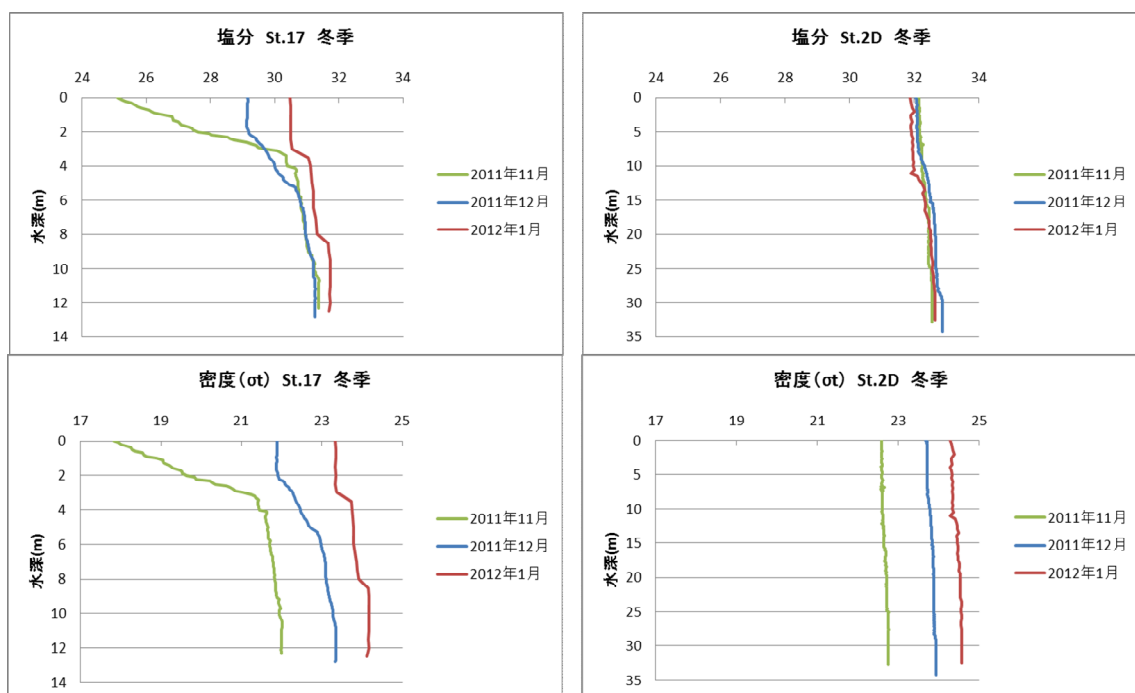


図 6 - 2 St.17・St.2D のクロフィル蛍光強度、水温、DO、塩分、密度 σ_t の鉛直分布 (冬季)

6. まとめ

大阪湾の COD とその関連項目について 2000 年 4 月～2014 年 3 月の経年変化を解析した。また、2011 年～2013 年度の夏季と冬季に栄養塩類等の測定、さらにクロフィル蛍光強度、水温、DO、塩分、密度 σ_t の鉛直分布測定を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ・ C-3 地点 (C 類型) では COD・クロフィル a の季節変動が明確であり、夏季に高く冬季に低くなる傾向が見られた。COD が環境基準値を超えたのは 2 回だけであった。これに対して A-11 地点 (A 類型) では年間を通して値が低く、季節変動はあまり認められなかった。
- ・ 表層の COD とクロフィル a との間に高い相関が見られた。
- ・ 鉛直分布ではクロフィル蛍光強度は表層域に偏在する傾向が見られた。St.17 では St.2D と比較して夏季に大きく底層の DO が下がり、貧酸素水塊の出現が見られた。また St.17 は陸域からの河川水の影響を大きく受けて塩分、密度が表層で低くなっていた。

7. 参考資料

- 1) 平成 20 年 11 月大阪湾再生推進会議 大阪湾再生行動計画より抜粋、一部改編
- 2) 大阪府公共用水域等環境データベースシステム
<http://www.pref.osaka.lg.jp/kankyohozen/osaka-wan/database.html>
- 3) 独立行政法人国立環境研究所 牧秀明 「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」

大阪湾における COD、D0 の推移（2010～2012 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

ここでは、兵庫県が大阪湾において常時監視を実施している環境基準点から、図 1 に示す 4 地点を選定し、COD および D0（溶存酸素）について評価した。評価は平成 22 年度から平成 24 年度までの表中層混合（海面下 0.5m 水および海面下 2m 水の等量混合水）COD、表中層 D0、底層（底上 1m）について実施した。

1 COD

図 2 に各地点での経月変化を示す。平均値、最大値、最小値のいずれもが最湾奥において高く、沖合に向かって減少した。季節的には春季から梅雨および夏季に増加し、秋季、冬季に向かって減少した。

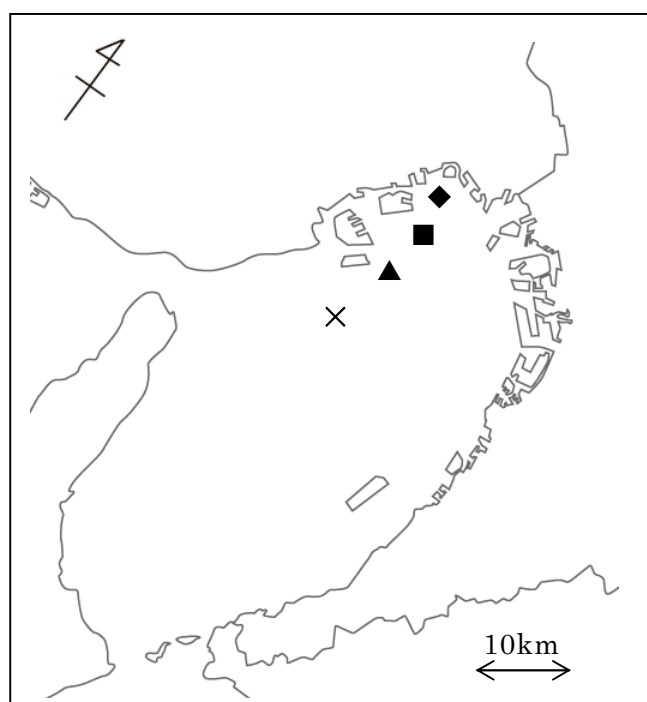


図 1 調査地点 ◆:西宮市沖 1, ■:西宮市沖 2, ▲:神戸市東部沖 3, ×:神戸市東部沖 4

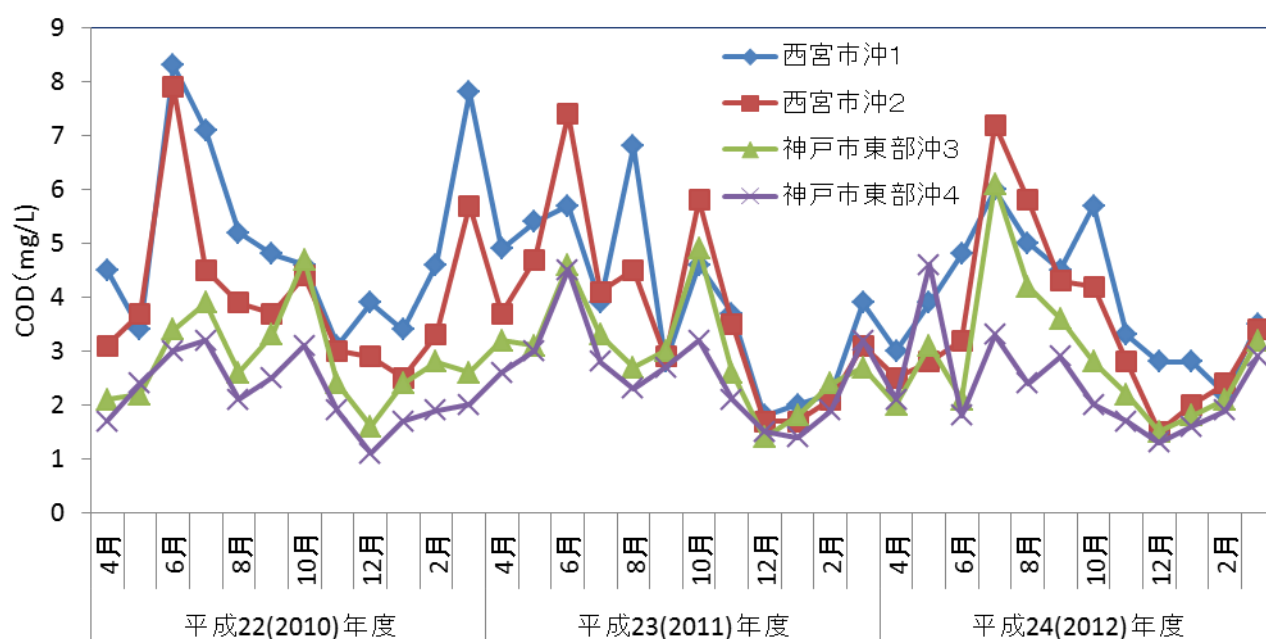


図2 表中層等量混合水CODの経月変化

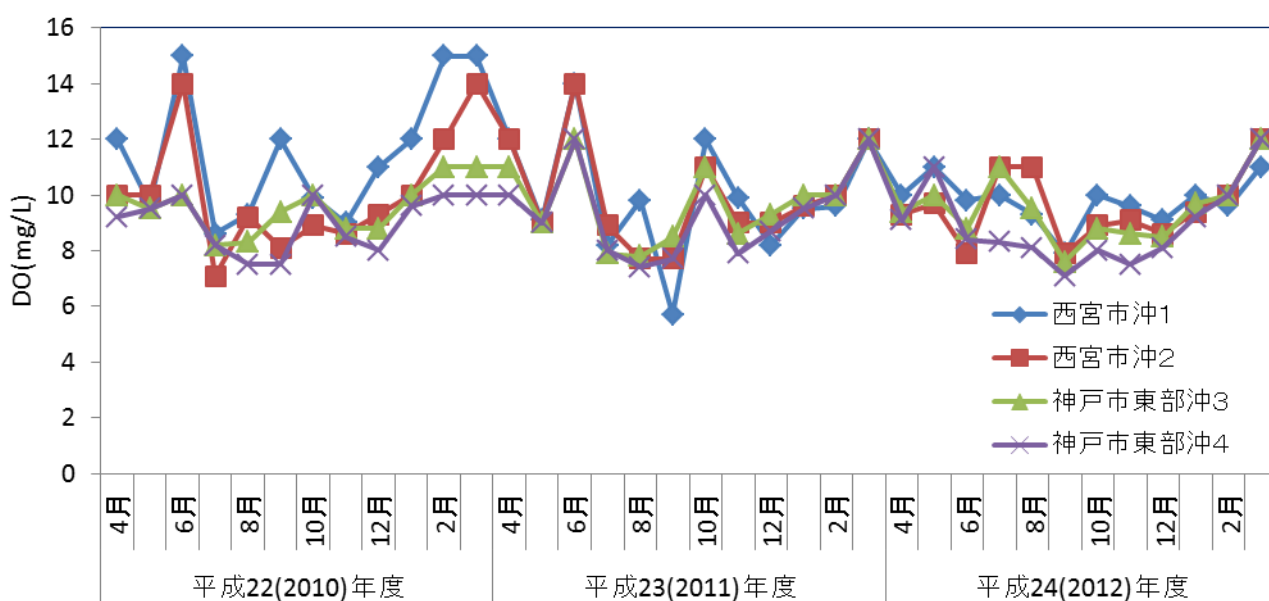


図3 表中層等量混合水DOの経月変化

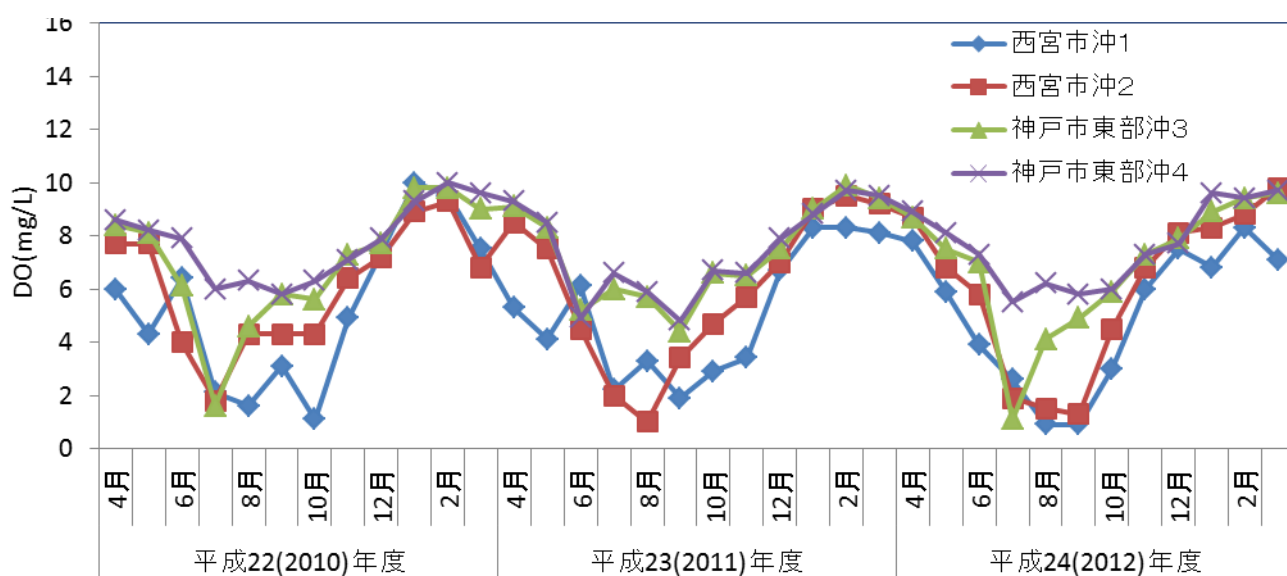


図4 底層DOの経月変化

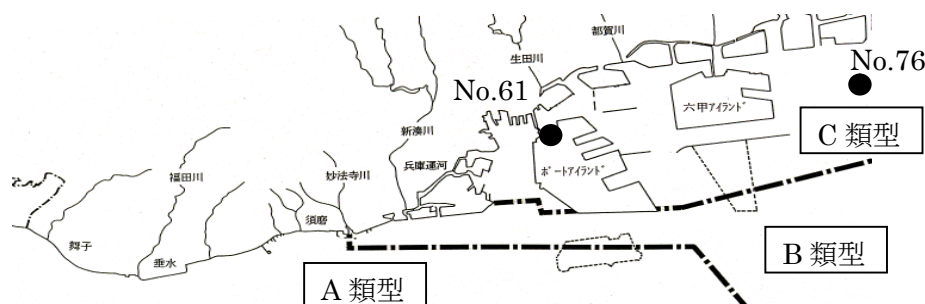
2 DO

図3に表中層等量混合水のDOの経月変化を示す。DOは周期的な変動を示さず、調査年度毎に異なる変動パターンを示した。平成22年度の2月、3月に湾奥部で顕著に高くなり、平成23年度には6月の増加後、急減少した。平成24年度には最も沖合部の地点において、他3地点と比較してDOが低めに推移したことが特徴的であった。

図4に底層DOの経月変化を示す。夏季に湾奥部から沖合方向に向けて3地点においてDO濃度が3 mg/L以下となる貧酸素化が認められ、周年的な変動様式が伺えた。貧酸素化の発生頻度は湾奥部の地点において高くなった。最も沖合部の地点では貧酸素化は認められなかった。

本研究は、国立環境研究所が当該試料について行った有機物項目の分析結果に本市の公共用水域監視結果を加え、季節変化と項目間の関係について解析・検討を行ったものである。

神戸市環境局では、神戸海域の 22 地点で公共用水域の常時監視地点を実施しているが、今回は、図 1 に示す No.61 及び No.76 の 2 地点で採水したもののについて分析を実施した。なお、採水深度については、No.61 については、表中層（海面下 0.5m と 2m を等量混合したもの）のみであるが、No.76 については表中層に加え、中下層（海面下 6m）及び底層（海底上 1m）についても採水を実施しており、これらの各層ごとに分析を行った。2 地点ともに水質環境基準生活環境項目類型は C 類型に属している。



82

2.3 COD 公共用水域常時監視測定結果

今回調査・採水を行った 2 地点における水質の推移を把握するために、神戸市環境局が実施している上記 2 地点（表中層）における COD の 2011～2013 年度における各月ごとの濃度変化を図 2 に示す。2 地点とも変動はあるが概ね夏季に高く冬季に低くなる傾向があり、夏季には 5mg/L かそれ以上の値を示し、冬季は 1～3mg/L 程度の値を示している。なお、No.76 の方が湾奥に位置し、汚濁が進んでいるためか、全体的にみると No.61 よりも若干高い傾向を示している。

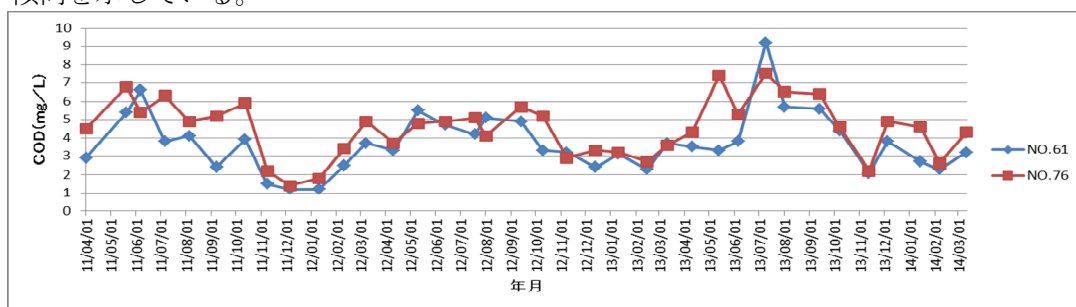


図 2 No. 61 及び No. 76 表中層における 2011～2013 年度の COD の推移

2.4 分析方法

採水した海水は、採水した日のうちに実験室に持ち運び、ろ過・分注を行った。

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、当該研究所において「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」で述べられた方法で一連の分析が行われた。

当該分析で行われた項目のうち、本解析ではクロロフィル a (Chl a)、COD、溶存性 COD (D-COD)、有機炭素 (DOC)、懸濁性有機炭素 (POC) について使用した。

3. 結果

3.1 COD 神戸市公共用水域常時監視結果と国立環境研究所分析結果との相関について

COD については、神戸市環境局においても公共用水域常時監視として測定を実施している。図 3 に国立環境研究所に送付・分析した全検体の結果との相関を示す。若干のばらつきはあるが高い相関を示した。双方の結果について精度管理上問題ないものと考えられる。

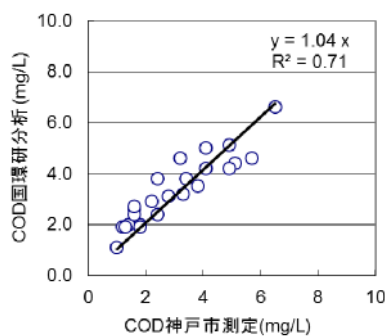


図 3 COD 神戸市測定結果と国環研分析結果の相関

3.2 各地点における DO（溶存酸素量）、塩素量及び有機汚濁関連成分の概要

各地点における DO、塩素量及び有機汚濁関連成分について、表 1 に夏季及び冬季の平均濃度を示す。

DO については、いずれの地点も夏季と冬季で差はないが、底層（No.76 のみで測定）では、夏季に大きく低下している。これは夏季の底層貧酸素化の影響が考えられる。

塩素量は淡水流入影響の指標であり、淡水流入の影響が大きくなるとその濃度が低下する。夏季と冬季では、2 つの地点とも夏季の方が低い値を示しているが、これは降水による河川流入量の増大によることが考えられる。また、No.61 よりも、より湾奥に位置する No.76 において表中層の塩素量が低下しているが、淡水流入量の大部分を占める淀川により近いことが影響しているものと考えられる。

COD については、No.76 が No.61 よりも若干ではあるが高い値を示している。夏季・冬季で比較すると夏季が両地点とも有機汚濁関連成分全てで高い値を示している。No.76 における鉛直方向での傾向は、夏季・冬季ともに底層に向かうにつれ濃度が減少している。

D-COD（溶存性 COD）については、No.61 と No.76 の間で差は認められなかったが、懸濁性 COD を示す COD-D-COD では、No.76 の方が高い値を示した。

溶解性有機態炭素 DOC と懸濁性有機態炭素 POC の和は全有機態炭素 TOC であるが、いずれの項目も地点間で大きな差は認められなかった。

また、いずれの地点も COD と有機態炭素ともに多くの部分（60～80％）を溶存性のものが占めていた。

クロロフィル a については、特に夏季表中層で差が大きく No.76 が No.61 の 2 倍近い値を示した。また No.61 では夏季と冬季であまり差がなかったのに対して、No.76 では、夏季は冬季の 3 倍程度の値を示した。

表 1 2011～2013 年度夏季及び冬季の No. 61、No. 76 における DO、塩素量及び有機汚濁関連成分

地点	層別	時季		DO (mg/L)	塩素量(%)	化学的酸素要求量関連項目			有機態炭素関連項目			Chl a (ug/L)
						COD(mg/L)	DCOD(mg/L)	PCOD (COD-DCOD) (mg/L)	DOC(mg/L)	POC(mg/L)	TOC (DOC+POC) (mg/L)	
No. 61	表中層	夏季	平均値	7.4	16.3	4.7	3.8	0.90	2.2	1.0	3.2	13.5
			標準偏差	1.3	0.70	0.26	0.04	0.30	0.42	0.24	0.64	6.5
		冬季	平均値	7.7	17.2	2.6	2.0	0.60	1.4	0.49	1.9	10.2
			標準偏差	1.2	0.69	0.67	0.35	0.51	0.12	0.19	0.11	9.3
No. 76	表中層	夏季	平均値	8.9	15.1	5.3	3.6	1.7	2.3	1.3	3.6	25.4
			標準偏差	0.81	0.90	1.0	0.38	0.93	0.40	0.18	0.28	7.2
		冬季	平均値	9.2	15.6	3.1	2.3	0.80	1.4	0.45	1.8	8.2
			標準偏差	2.0	0.78	0.90	0.33	0.57	0.07	0.19	0.26	7.7
	中下層	夏季	平均値	5.8	16.3	4.1	3.1	0.94	1.8	0.69	2.5	18.9
			標準偏差	0.82	0.39	0.38	0.32	0.62	0.34	0.26	0.57	8.8
		冬季	平均値	7.1	16.8	2.6	1.9	0.73	1.4	0.33	1.7	8.8
			標準偏差	1.4	0.59	0.52	0.16	0.41	0.25	0.11	0.32	6.4
	底層	夏季	平均値	2.0	17.8	2.4	2.2	0.23	1.3	0.32	1.7	3.4
			標準偏差	1.0	0.37	0.31	0.33	0.12	0.14	0.07	0.19	0.27
		冬季	平均値	6.3	17.6	1.8	1.5	0.33	1.1	0.22	1.3	2.8
			標準偏差	1.1	0.52	0.53	0.26	0.34	0.05	0.08	0.13	0.32

3.3 項目間の相関関係

図 4～図 5 に調査した 2 地点の表中層における各項目間の相関関係を示した。POC-Chl a 間、懸濁性 COD（P-COD：COD から D-COD を減じたもの）-Chl a 間のいずれも正の相関を示すとともに No.61 よりも No.76 のほうが高相関であった。これは、いずれの

地点とも懸濁性の有機物の主な構成成分が植物プランクトンであること、さらには No.76 のほうが、No.61 よりもより強く植物プランクトンの影響を強く受けていたことが考えられた。

また、D-COD と DOC の関係では、No.76 のほうが No.61 よりも高いが、いずれも高い正の相関を示し、D-COD に対する DOC の係数には大きな差は認められずほぼ D-COD/DOC は 1.4~1.7 程度の値を示した。これはいずれの地点も D-COD は DOC の影響を強く受けていることが考えられた。

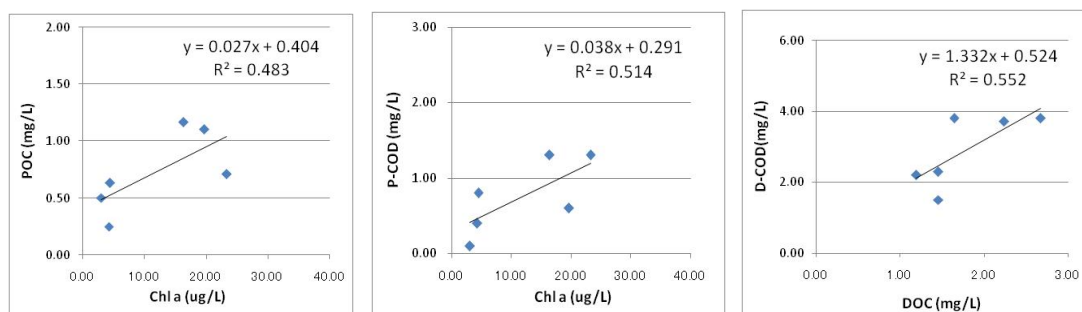


図 4 No. 61 表中層における COD 関連項目間の相関関係

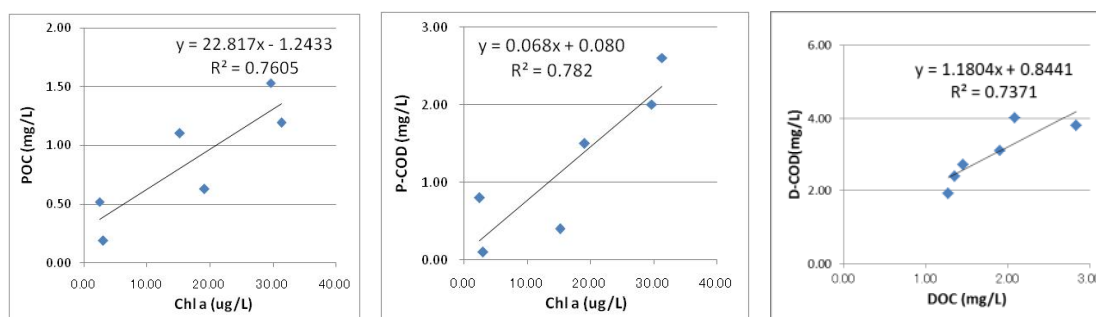


図 5 No. 76 表中層における COD 関連項目間の相関関係

4. まとめ

2011 年度夏季～2013 年度冬季の年 6 回、神戸海域の 2 地点において採水された試料について分析を行い、公共用水域調査結果と併せて解析を実施したところ以下のことが考えられた。

- ・いずれの地点も夏季に冬季よりも COD 等の有機物関連項目が高い値を示した。
- ・いずれの地点も COD と有機態炭素共に多くの部分（60～80％）を溶溶性のものが占めていた。
- ・クロロフィル a で特に夏季表中層で差が大きく No.76 が No.61 の 2 倍近い値を示したこと、POC-Chl a 間、懸濁性 COD（P-COD : COD から DCOD を減じたもの）- Chl a 間のいずれも正の相関を示すとともに No.61 よりも No.76 のほうが高相関であったことから、懸濁性有機物については、No.76 のほうが、No.61 よりもより強く植物プランクトンの影響を強く受けていたことが考えられた。
- ・いずれの地点も D-COD は DOC の影響を強く受けていることが考えられた。

5. 参考資料

- 1) 牧 秀明 独立行政法人国立環境研究所 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
- 2) 神戸市公共用水域水質測定結果
<http://www.city.kobe.lg.jp/life/recycle/environmental/earth/kokyo.html>

徳島県沿岸海域における COD と関連する有機物項目について

徳島県立保健製薬環境センター 村田武史・山田哲也

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。

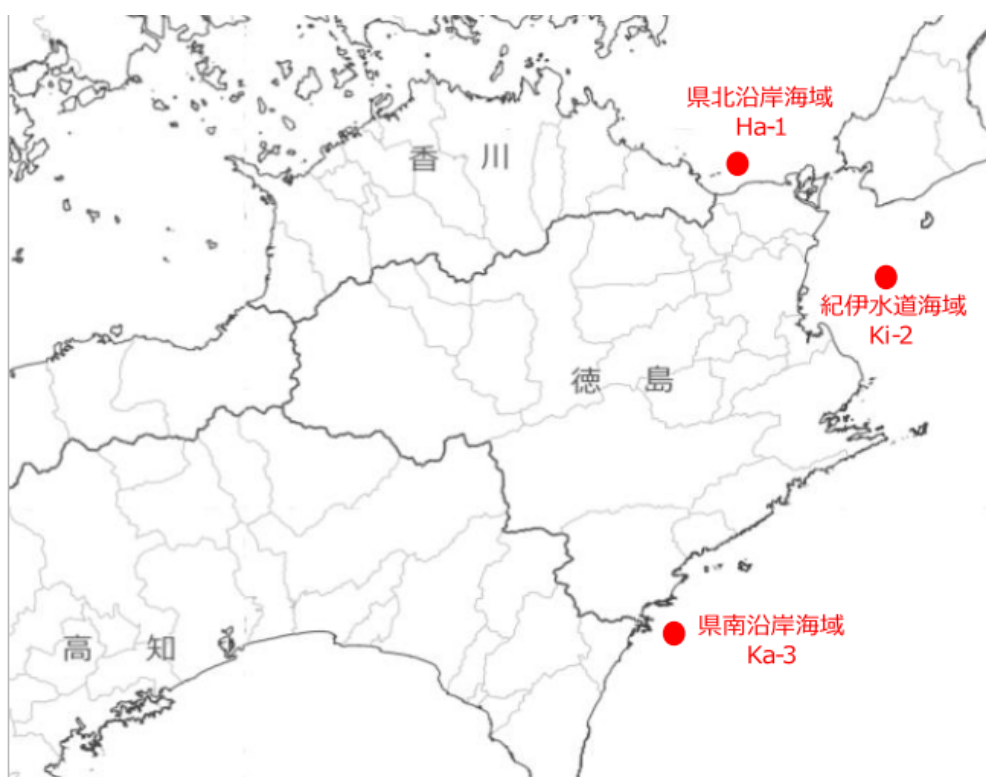
2 方法

2.1 調査・採水時季

2011 年 9 月、2012 年 2 月と 8 月、2013 年の 2 月と 9 月、2014 年の 1 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 0.5m 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 2mg/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	紀伊水道	太平洋
類型	AⅡ	AⅡ	A
水深	約 35m	約 31m	約 86m
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 47mm 径のガラス繊維フィルターGF/C を用いて、試料を 1000mL 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。

懸濁性有機炭素 (POC) の分析には、450℃で 4 時間焼成処理した 25mm 径のガラス繊維フィルターGF/F を用いて、試料を 500mL 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の方に送付し、「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」で述べられた方法で一連の分析を行った。¹⁾

2.4 公共用水域常時監視測定結果

上記 3 地点における 2002 から 2011 年度までの COD 測定結果を図 2 に示す。²⁾

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。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。これは夏季に植物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だと考えられる。

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、2002～2011 年度の 10 年間の COD 値を図 2 に示した。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 (2mg/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。季節変化に着目すると、冬季よりも夏季において環境基準を超過する傾向が認められ

た。

表2 2011年9月～2014年1月の夏季及び冬季の栄養塩類
(単位はすべて mg/L, かつこ内の数字は標準偏差)

地点	時季	NO _x -N (NO ₃ ⁻ -N+NO ₂ ⁻ -N)	NH ₄ -N	DTN	PO ₄ -P	DTP	SiO ₂
県北沿岸 (Ha-1)	夏季	0.035 (0.045)	0.004 (0.005)	0.198 (0.073)	0.010 (0.004)	0.019 (0.005)	0.89 (0.67)
	冬季	0.019 (0.026)	0.002 (0.002)	0.274 (0.089)	0.010 (0.005)	0.016 (0.003)	0.26 (0.27)
紀伊水道 (Ki-2)	夏季	<0.001 (<0.001)	0.002 (0.003)	0.145 (0.020)	0.001 (0.002)	0.010 (0.002)	0.69 (0.27)
	冬季	0.037 (0.028)	0.004 (0.002)	0.185 (0.029)	0.012 (0.004)	0.017 (0.003)	0.36 (0.22)
県南沿岸 (Ka-3)	夏季	0.006 (0.004)	0.006 (0.004)	0.159 (0.038)	0.004 (0.001)	0.010 (0.003)	0.47 (0.19)
	冬季	0.051 (0.012)	<0.001 (<0.001)	0.198 (0.019)	0.008 (0.002)	0.013 (0.005)	0.35 (0.07)

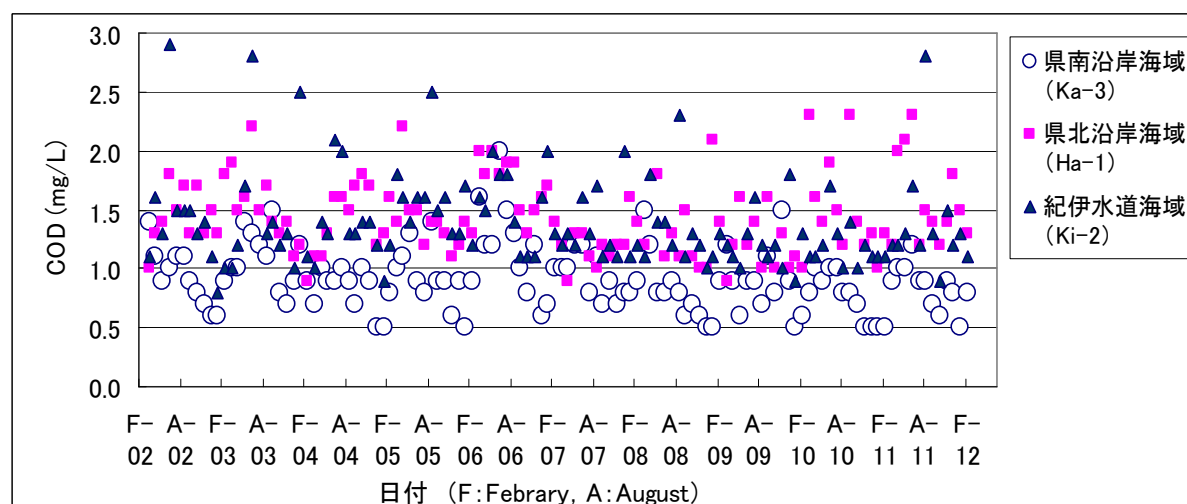


図2 2002～2011年度におけるCOD

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、Chl aを含むすべての項目において、冬季より夏季の値が高くなった。特にChl a, COD及びTOCの値で大きな差がでた。紀伊水道海域のCODとChl aの平均値が高くなっているが、これは2011年9月のCOD(3.3mg/L)及びChl a(19.6μg/L)が他の時期に比べ高くなったことが影響している。そのため以下の考察では、このデータを含めた場合と含めない場合の2通りで比較検討を行った。

表3 2011年9月～2014年1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-DCOD)	DOC	POC	DOC+POC	Chl a
県北沿岸 (Ha-1)	夏季	2.27 (0.526)	1.87 (0.286)	0.40 (0.375)	1.27 (0.343)	0.22 (0.036)	1.48 (0.370)	3.72 (0.640)
	冬季	1.91 (0.288)	1.64 (0.267)	0.27 (0.048)	0.94 (0.095)	0.19 (0.056)	1.14 (0.146)	1.23 (0.313)
紀伊水道 (Ki-2)	夏季	2.37 (0.666)	1.67 (0.095)	0.70 (0.572)	1.04 (0.150)	0.50 (0.416)	1.54 (0.520)	7.11 (8.878)
	冬季	1.57 (0.469)	1.51 (0.502)	0.07 (0.094)	0.86 (0.057)	0.14 (0.038)	1.00 (0.088)	1.15 (0.354)
県南沿岸 (Ka-3)	夏季	1.57 (0.309)	1.37 (0.046)	0.20 (0.283)	0.96 (0.128)	0.11 (0.023)	1.07 (0.141)	1.43 (1.276)
	冬季	1.07 (0.289)	0.94 (0.289)	0.13 (0.047)	0.63 (0.047)	0.10 (0.035)	0.73 (0.062)	0.65 (0.076)

3.3.1 COD関連項目の比較1 (高Chl a 除外)

Chl a 値が高い2011年9月の紀伊水道海域のデータを除外して比較を行った結果を図3に示す。

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0.78であり、相関があることを確認できた。

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。溶存性成分同士は決定係数が0.51と相関性が認められるものの、懸濁性成分同士はPOCの値が小さいためか決定係数0.06と相関性は見られなかった。したがって、懸濁性成分はCOD値にあまり影響を与えないと考えられる。

さらに(d),(e)に示すように、懸濁性COD及びPOCとChl aの値についても検討を行ったが、同様に相関は見られなかった。Chl aが $5\mu\text{g/L}$ 以下の濃度では、Chl aがCODやOCの濃度にほとんど影響を与えなかった。

最後に溶存性CODと塩分の関係について、塩分の測定を行った2012, 2013年度のデータで比較した。その結果、(f)に示すように、塩分濃度が低くなるとD-CODが高くなった。このことは、塩分濃度が低い状況、つまり陸水の流入が多い状況でD-CODの値が高くなる傾向にあるといえ、徳島県沿岸海域は陸水による汚染の影響がCOD値を上昇させる一因になっているとも考えられる。このことについては更なる調査を必要とする。

3.3.2 COD関連項目の比較2

高Chl aの高い紀伊水道海域のデータを含めて、Chl aとCOD関連項目について比較を行った。その結果を図4に示す。(g),(h)に示すように、高濃度のChl aが存在すると懸濁性成分であるPCODやPOCに大きな影響を与えることがわかる。特にPOCとの相関は大変大きくなった。このことにより、Chl aが $5\mu\text{g/L}$ 以上の高濃度となる海域または時期では、植物プランクトンの増殖(内部生産)による影響でCOD値が高くなり、特に溶存性のものより懸濁性のCODやOCに影響を与えていると推測される。しかし当県の海域は、閉鎖性がそこまで大きくないため、CODがChl aの影響を受けることはほとんど見られなかった。

本共同研究参加機関の全機関における、POCに対するChl aの係数（POC/Chl a）とP-CODに対するChl aの係数（P-COD/Chl a）は、POC/Chl a 0.041とP-COD/Chl a 0.041である。当県のデータは、図4のPOC/Chl a 0.05及びP-COD/Chl a 0.07と全国平均よりわずかに高値であり、全国的にみても植物プランクトンの増殖が比較的活発ではないと考えられる。

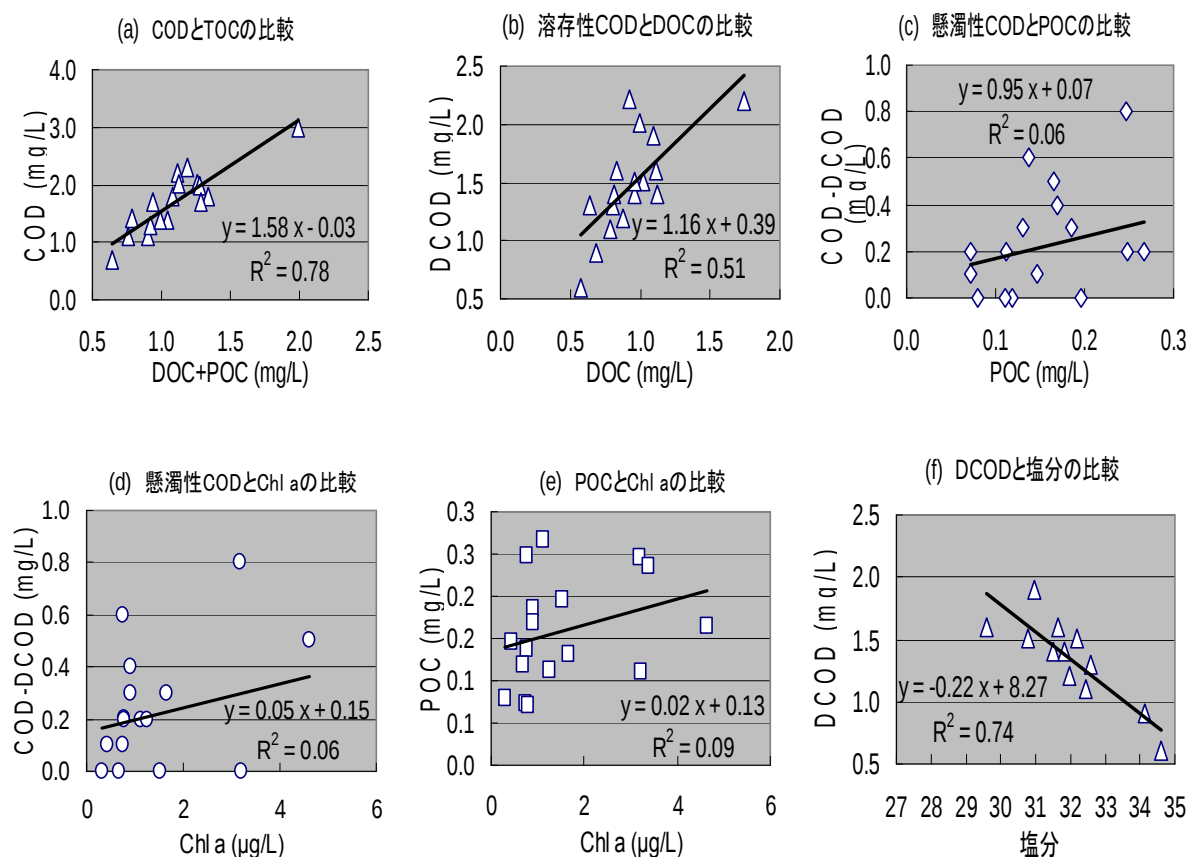


図3 COD関連項目の比較（紀伊水道2011年9月データ除く）

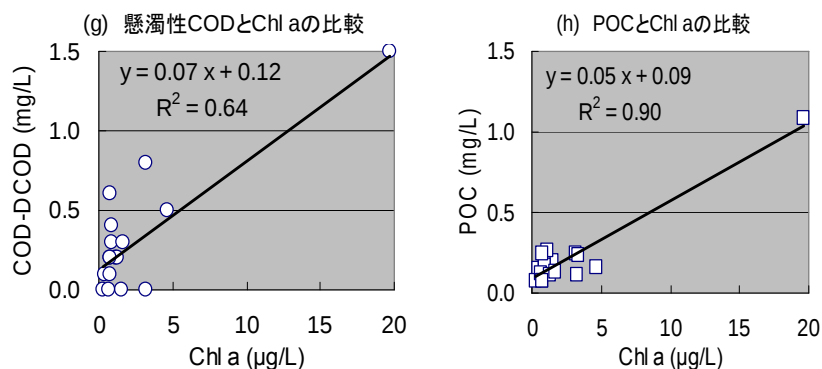


図4 COD関連項目の比較（紀伊水道2011年9月データ含む）

4 まとめ

徳島県沿岸域 3 地点において 2011 年 9 月～2014 年 1 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 は太平洋側では低い値で安定しているが、紀伊水道、瀬戸内海側では夏場を中心に環境基準である 2.0mg/L を超過する場合がある。
- (2) 夏場を中心に当県の COD が上昇する要因は、植物プランクトンの増殖によるものよりも、陸水の流入による影響が大きいと推測された。
- (3) 植物プランクトンの増殖による内部生産が起こった際には Chl a の増加などの影響により、植物プランクトンが COD 値を高くする一因になり得ると考えられる。

5 文献

- (1) 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
- (2) 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

1. はじめに

高知県の南側に位置する土佐湾は直線的な海岸線と内部に深く入り組んだ、いわゆる閉鎖性海域との両方を併せ持つ。土佐湾中央部に位置する浦ノ内湾は県の代表的な閉鎖性海域であり、土佐湾に面する水面積 12km²、奥行き約 10km、湾幅 400～1000m の東西に細長い湾である。湾口部の宇佐大橋付近（図 1/st-10）で湾幅 350m、水深 3～5m と最も狭く閉鎖度指標は 6.30¹⁾²⁾である。また、湾中央部では養殖業が行われている。“閉鎖性”という海面が穏やかであるという長所を有する反面、外海との海水交換能が低く滞水環境を生じやすい³⁾という短所を有することから、特に夏季において底層部での貧酸素層の形成が確認されている。

本県では、沿岸海域での鉛直方向の水質形成の要因解明に資するため、浦ノ内湾及び外洋の物部川沖の公共用水域常時監視地点において、多項目水質計による水質の鉛直分布測定を試みた。また、COD 等の関連する有機物項目（以下「COD 関連項目」という。）についても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・採水時期

2011～2013 年度にかけて調査をおこなった。本報では、2011 年度（夏季・秋季・冬季・春季）と 2013 年度（夏季・秋季）に行った調査結果を中心に報告する。

2.2 調査地点

図 1 及び図 2 に調査地点を示す。類型指定は浦ノ内湾の st-9～15 は AⅡ 類型、仁淀川河口 st-4 及び物部川沖 st-3 は A 類型である。浦ノ内湾内の地点 st-12 付近では養殖業が行われており、湾奥部にかけて底層の貧酸素化が問題視されている。

また、仁淀川河口付近の st-4 と物部川沖の st-3 は河川から流入する有機物による底層部の溶存酸素（以下「DO」という。）等への影響実態を調査した。

2.3 調査・分析方法

塩分・水温・DO の測定には Hydrolab 社 Data Sonde DS-4 型（多項目水質計。以下単に「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 の速度で昇降させ、表層から海底まで測定を行った。透明度は透明度板を用いて測定した。採水は、st-3, 4, 14, 15 においてリゴ採水器を用いて行った。

また、COD 関連項目・栄養塩類の測定については、採水した検体をろ過し、試水・フィルター

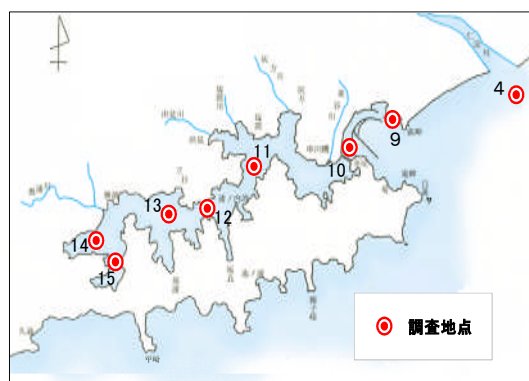


図 1 浦ノ内湾の調査地点図



図 2 物部川河口の調査地点図

類共に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地点における COD と関連する有機物項目について」で述べられた方法で一連の分析を行った。⁴⁾

2.4 公共用水域常時監視における COD 測定結果⁵⁾

過去 10 年間（2002～2011 年度）の COD の経年変化をグラフ化した。

3. 結果と考察

3.1 水質計による鉛直分布測定結果

3.1.1 浦ノ内湾内における塩分・水温・D0（2011 年度）

2011 年度における、浦ノ内湾内 st-9～15 の各地点における塩分・水温・D0 の鉛直分布（降下時のみ）を図 3～6（夏季・秋季・冬季・春季の順）※に示す。なお、この測定結果は、地点によっては水質計の校正が正常に行われていなかった可能性があるため、ここでは定量的な議論は行わず、傾向的な定性評価に留めた。

夏季（7 月）には湾中央部から奥部の st-11～15 の底層部での貧酸素層が確認され、底層に近づくにつれて D0 の低下率が増加する傾向がみられた。（図 3）

秋季（11 月）になると湾中央部 st-11～13 では比較的解消する傾向がみられたが、湾奥部 st-14, 15 では貧酸素層が残っていた。（図 4）

冬季（1 月）になると湾奥部においても貧酸素層の解消が認められ（図 5）、春季（3 月）には底層部に向かって D0 の低下がみられた。（図 6）

以上のことから、滞水環境で出現する貧酸素層の形成・消滅という四季変化の傾向が浦ノ内湾でも確認された。

3.1.2 浦ノ内湾内における塩分・水温・D0（2013 年度）

2013 年度における、浦ノ内湾内 st-9～15 の各地点における塩分・水温・D0 の鉛直分布（降下時・上昇時の両結果）を図 7（夏季/7 月）、図 8（秋季/11 月）に示す。[※]

夏季には、2011 年度の測定結果と同様に湾中央部から奥部にかけて、貧酸素層が確認され、最も水深の深い st-12 では 19.8m(水深) - 0.8mg/L(D0) であった。このとき、湾奥部の表層・中層部では赤潮とみられる懸濁物が大量に浮遊していた。

秋季には、ほぼ全地点において貧酸素層が改善傾向にあることが認められた。しかし、湾最奥部では秋季でも、st-14 で 9.9m(水深) - 4.3mg/L(D0)、st-15 で 8.9m(水深) - 4.0mg/L(D0) と低濃度の層が確認された。

st-14, 15 の両地点では夏季・秋季とも水深約 5～7m 付近で、水温や塩分濃度分布に特異な変化が示されている。特に、秋季の調査では水深 7m 付近で底層に向けて水温上昇があるなど水温・塩分・D0 が急変している。これは陸域側から何らかの影響を受けている可能性もあり、今後さらに継続調査していく予定である。

また、夏季・秋季の全地点において水質計の降下時の測定結果と上昇時の測定結果でずれが生じた。特に夏季の st-11～15 はそれが顕著にみられ、差の多いところでは D0 : 約 3～5mg/L のずれがみられた。水質計を昇降させる短時間に水塊の移動があったとは考えにくいため、これは、水質計の昇降速度に測定系の応答速度が追従しきれずに生じるヒステリシスが原因であると推測される。特に水質計が着底した際の衝撃による底泥の巻上げが、より大きなヒステリシスを生み出す要因になっていると考えられる。

※サイズの関係により、図 9, 10 と前後。

3.1.3 仁淀川河口及び物部川沖における塩分・水温・D0

仁淀川河口 st-4 及び物部川沖 st-3 における塩分・水温・D0 の 2011 年度（冬季）の 2013 年度（夏季・秋季）の結果を図 9 に示す。

st-4 の表層では夏季・秋季を通じて淡水の流入が示唆される低塩分層が確認された。夏季には両地点ともに表層と底層との温度差が確認された。

また、今回は、年間を通じた調査を行うことができなかったが、2011 年度冬季、2013 年度夏季・秋季の 3 回の調査では、底層の貧酸素化は確認されなかった。このため、河川から流入した有機物が河口付近の海底に沈降することによる影響は小さいものと考えられるが、今後、調査回数を増やして最終確認したい。

3.2 水質分析結果

今回、各地点において採取した試水・ろ紙は、国立環境研究所地域環境研究センターの牧秀明様のもとに分析を依頼し、分析データ（COD 関連項目・栄養塩類）を提供していただいたので、その結果を報告する。

3.2.1 公共用水域常時監視結果と COD 関連項目

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 2002～2011 年度（10 年間）における COD の公共用水域常時監視結果を図 10 に示す。

移動平均（12 月）を取り、その単回帰直線を取ったところ、st-15 については一定の傾向がみられ、ほぼ横ばい傾向であった。

また、3 地点ともに夏季に極大値をとる傾向にあるため（図 10）、本調査で採水したもののうち夏季に採水した COD 関連項目を表 1 に示した。全項目において湾内 st-15 が他の 2 地点より高い傾向を示し、その内訳として、表層・中層における P-COD（懸濁性 COD：COD から D-COD（溶存性 C

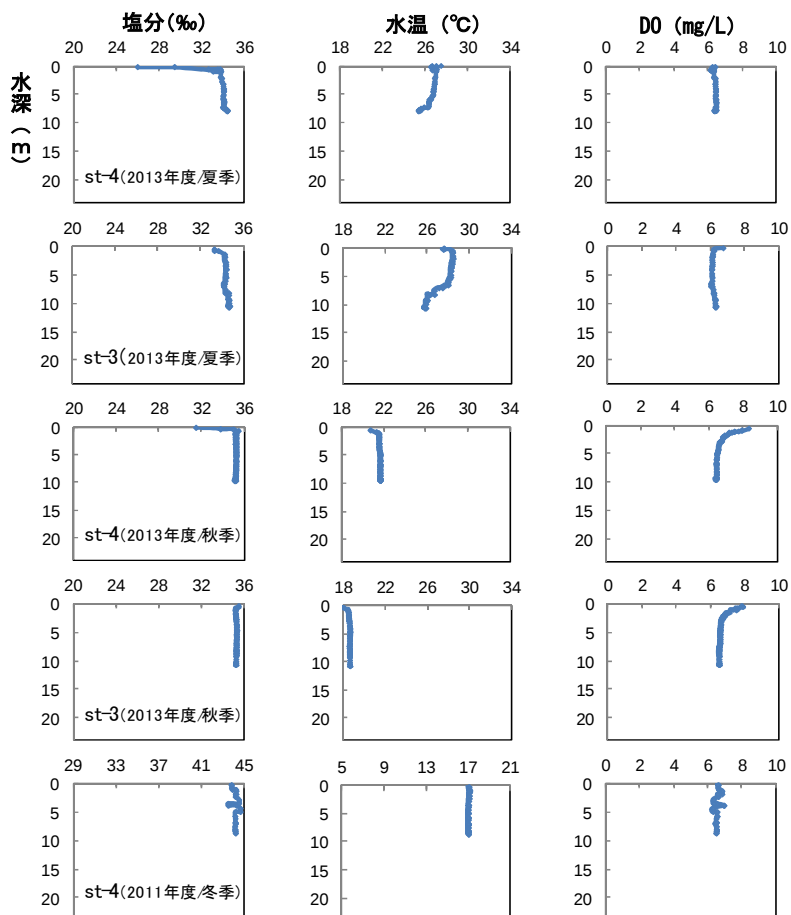


図 9 仁淀川河口及び物部川沖の塩分・水温・DO
(夏季・秋季/2013 年度)

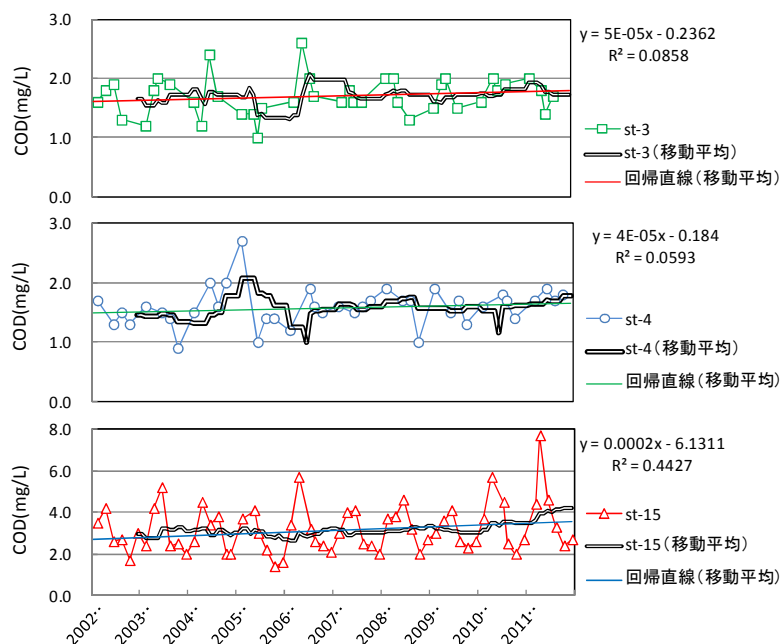


図 10 物部沖・仁淀川河口・浦ノ内湾内の 10 年間に渡る COD の変遷 (2002～2011 年度)

OD) を差し引いたもの.), POC (懸濁性有機炭素), Chl *a* の項目においてより顕著に表れた. 前述のとおり, 当該調査時点において赤潮とみられる懸濁物が浮遊しており, 懸濁性有機物の多くを占める植物プランクトンが COD 値の上昇の一因であると考えられた.

表 1 仁淀川河口・物部沖・浦ノ内湾内における COD 関連項目 (夏季/2013 年 7 月)
COD 関連項目※ (有効数字2桁, 単位はChl *a* は $\mu\text{g/L}$, 他は全て mg/L .)

地点	採水層	COD	DOCOD	PCOD (COD-DOCOD)	DOC	POC	DOC+POC	Chl <i>a</i>	
物部川沖	st-3	表層	1.5	2.1	-0.60	1.1	0.12	1.3	0.78
		中層	1.8	1.8	0.00	1.2	0.17	1.4	0.62
		底層	1.9	1.8	0.10	0.93	0.12	1.0	0.55
仁淀川河口	st-4	表層	2.0	1.6	0.40	1.0	0.11	1.1	1.6
		中層	2.4	2.2	0.20	1.3	0.15	1.4	1.1
		底層	2.4	1.8	0.60	1.0	0.16	1.2	1.2
浦ノ内湾 奥部	st-15	表層	5.5	3.2	2.30	1.4	0.52	1.9	5.4
		中層	4.7	3.7	1.00	1.8	1.4	3.3	12
		底層	2.7	2.7	0.00	1.1	0.39	1.5	1.0

※用語の定義及び測定方法は, 「茨城県沿岸海域公共用水域常時監視地点におけるCODと関連する項目について」を参照のこと.

3.2.2 栄養塩類

栄養塩類の測定結果を表 2 に示す. 湾内 st-14 及び 15 において溶存性の全リン (DT-P) 及び珪酸塩が高い傾向にあり, 逆に亜硝酸性窒素は低く, 硝酸性窒素については検出されなかった. これらの原因についても, 水温や DO と併せて継続調査する予定である.

また, 仁淀川河口 st-4 の表層付近では, 2 年を通じ硝酸性窒素, 珪酸塩が高い傾向がみられた. 今回の調査では, 前述のとおり, st-4 の表層において河川水の流入が示唆される低塩分層がみられたことから, これらの栄養塩についても河川由来のものと推定された.

表 2 仁淀川河口・物部沖・浦ノ内湾内における栄養塩類 (夏季/2012・2013 年度)
(有効数字2桁, 単位は全て $\mu\text{g/L}$.)

地点	年度/月	採水層	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	DTN	PO ₄ -P	DTP	SD ₂
物部川河口	2012/7	表層	4.9	0.76	N.D.	130	N.D.	3.4	540
		中層	1.5	0.93	N.D.	150	N.D.	4.8	540
		底層	1.0	0.83	0.85	300	N.D.	4.5	260
	2013/7	表層	36	0.92	1.6	140	1.9	4.9	890
		中層	9.5	0.62	3.5	150	0.58	4.5	350
		底層	N.D.	0.30	N.D.	100	0.47	4.0	140
仁淀川河口	2012/7	表層	84	1.5	N.D.	270	1.2	7.3	4500
		中層	1.9	0.82	N.D.	150	N.D.	4.2	480
		底層	N.D.	0.56	N.D.	130	N.D.	5.5	270
	2013/7	表層	52	0.96	0.39	150	3.3	6.7	2000
		中層	9.8	0.53	5.9	190	1.6	5.6	600
		底層	N.D.	0.28	0.006	120	0.65	5.0	240
浦ノ内湾 奥部	st-14 2013/7	表層	N.D.	0.27	N.D.	150	2.0	11	1200
		中層	N.D.	0.24	N.D.	180	1.6	12	1200
		底層	N.D.	0.28	6.9	140	13	18	1700
	st-15 2013/7	表層	N.D.	0.26	N.D.	150	3.0	13	1300
		中層	N.D.	0.28	3.2	160	2.2	13	1300
		底層	N.D.	0.19	80	220	32	36	2100

4. まとめ

4.1 水質計による鉛直分布測定結果について

4.1.1 浦ノ内湾内の測定結果

夏季には湾中央部から湾奥部にかけて貧酸素層がみられ、秋季に向けて改善していく傾向であったが、湾奥部では秋季でも貧酸素層が残存していた。冬季には、ほぼ全地点において貧酸素層の解消がみられ、春季からは、湾奥部において貧酸素層の形成がみられた。このことから、一年を通じて周期的な動きをもつことが予想された。

また、測定の際、水質計の降下時と上昇時に測定結果のずれがみられた。水質計の昇降速度に測定系の応答速度が追従しきれないことが一因であると推定される。

4.1.2 仁淀川河口・物部川沖の測定結果

2013 年度（夏季・秋季）の測定結果からは底層部での貧酸素層は確認されなかった。また、2011 年度（冬季）の仁淀川河口での測定結果からも貧酸素層は確認されなかった。

4.2 水質分析結果

4.2.1 浦ノ内湾内について

公共用水域常時監視測定結果から COD はほぼ横ばい傾向にあり、夏季に極大値をとる傾向にあった。また、COD 関連項目の測定結果から、湾奥部の表層・中層において懸濁性 COD (P-COD)、懸濁性有機炭素 (POC)、Chl *a* の値が高い傾向にあったことから、内部生産が COD 値の上昇に一部影響していると考えられた。湾奥部では、溶存性の全リン (DT-P) 及び珪酸塩が高い傾向にあり、亜硝酸性窒素は低く、硝酸性窒素については検出されなかった。

4.2.2 仁淀川河口・物部川沖について

公共用水域常時監視測定結果から 10 年間通じて COD 値はほぼ横ばいであった。また、仁淀川河口の表層部に、河川由来と推定される比較的高濃度の硝酸態窒素、珪酸塩が確認された。

5. 参考文献

- 1) 白木恭一ら：浦ノ内湾の水質調査 高知県環境研究センター所報(平成 8 年)
- 2) (公財)国際エメックスセンターHP：<http://www.emecs.or.jp/closedsea-jp/closedsea-jp.htm>
- 3) 山本潤：寒地土木研究所報告 第 129 号(平成 19 年 1 月)
- 4) 牧秀明：茨城県沿岸海域公共用水域常時監視地点における COD と関連する有機物項目について
- 5) 高知県：公共用水域及び地下水の水質測定結果（2002～2011 年度）

6. 謝辞

最後に、分析・ご助言をいただきました独立行政法人国立環境研究所・地域環境研究センターの牧秀明様をはじめ、ご協力いただきました皆様に深く感謝いたします。

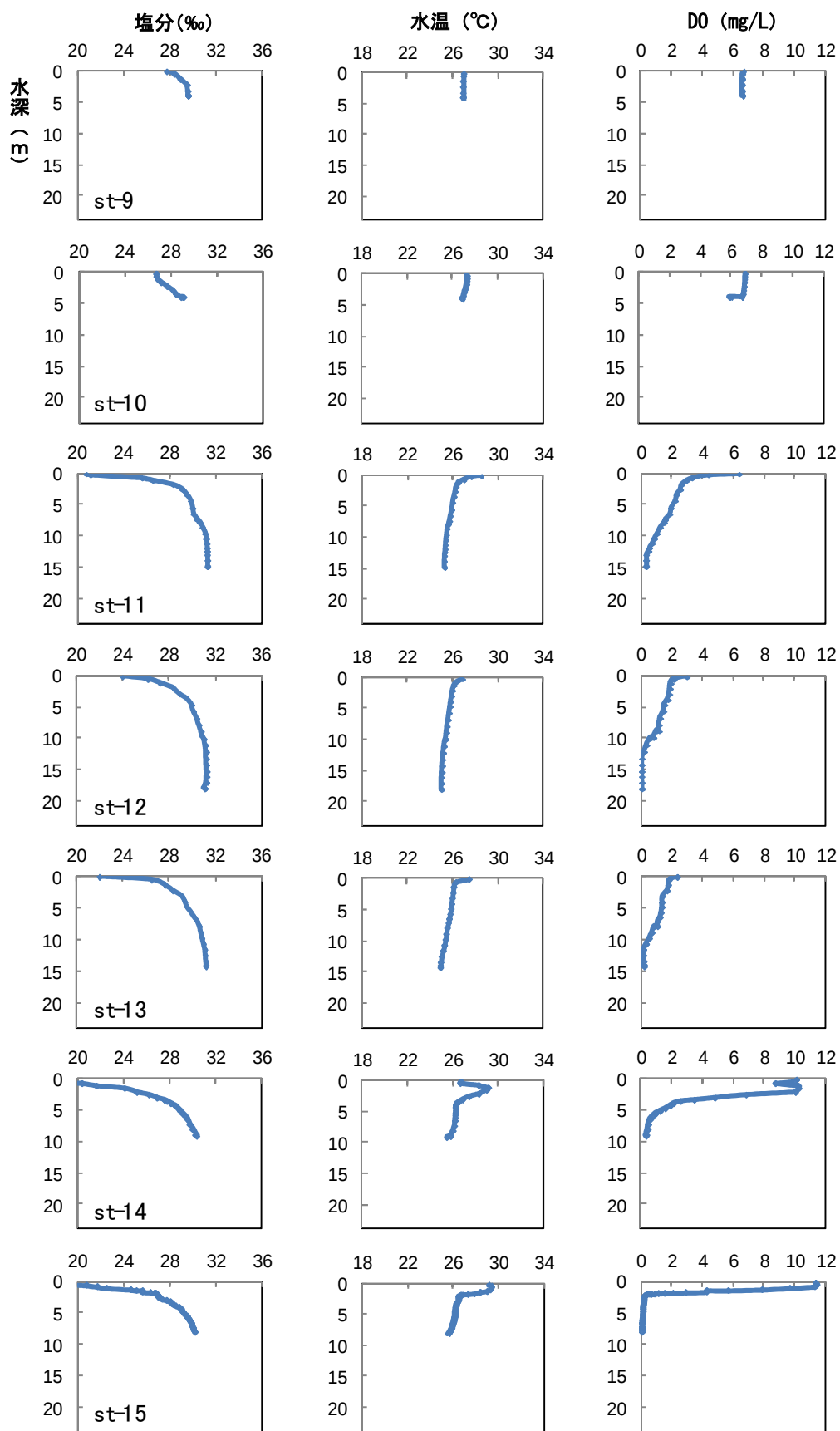


図3 浦ノ内湾内における塩分・水温・DO(夏季/2011年7月9時~11時)
調査日の潮汐(干潮9時, 満潮16時)

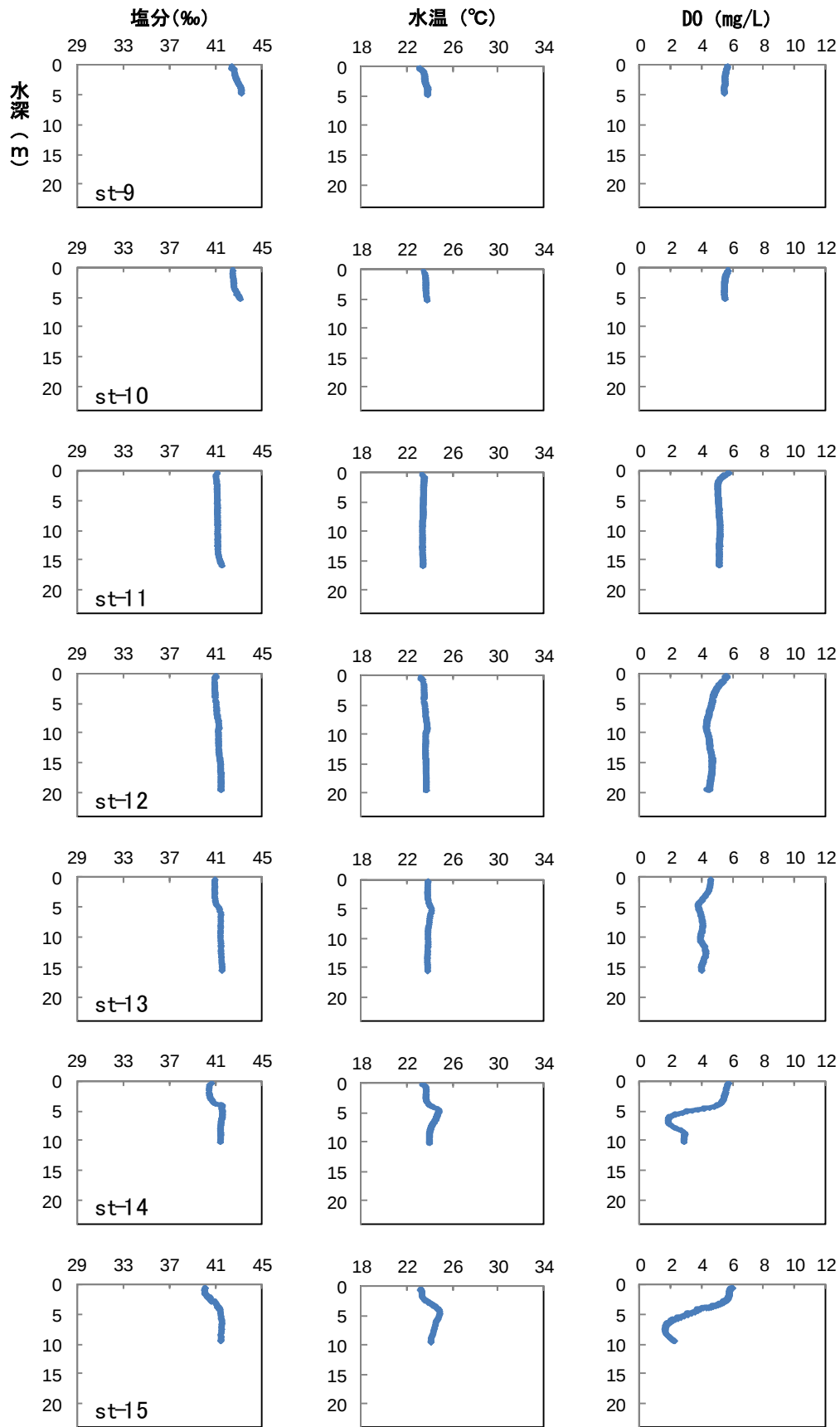


図4 浦ノ内湾内における塩分・水温・DO(秋季/2011年11月9時~11時)
調査日の潮汐(満潮10時, 干潮15時)

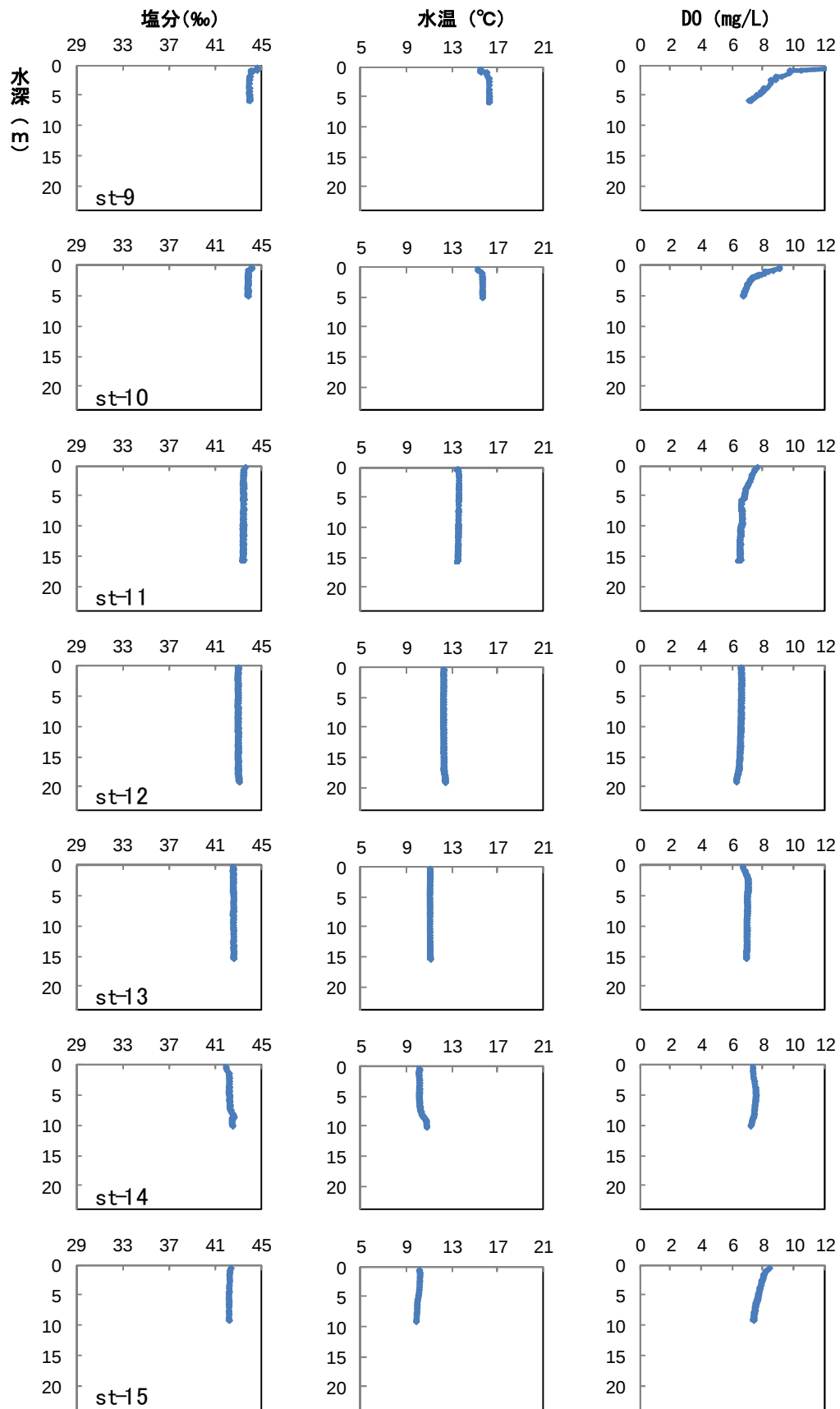


図5 浦ノ内湾内における塩分・水温・DO(冬季/2012年1月9時~11時)
調査日の潮汐(干潮5時, 満潮11時)

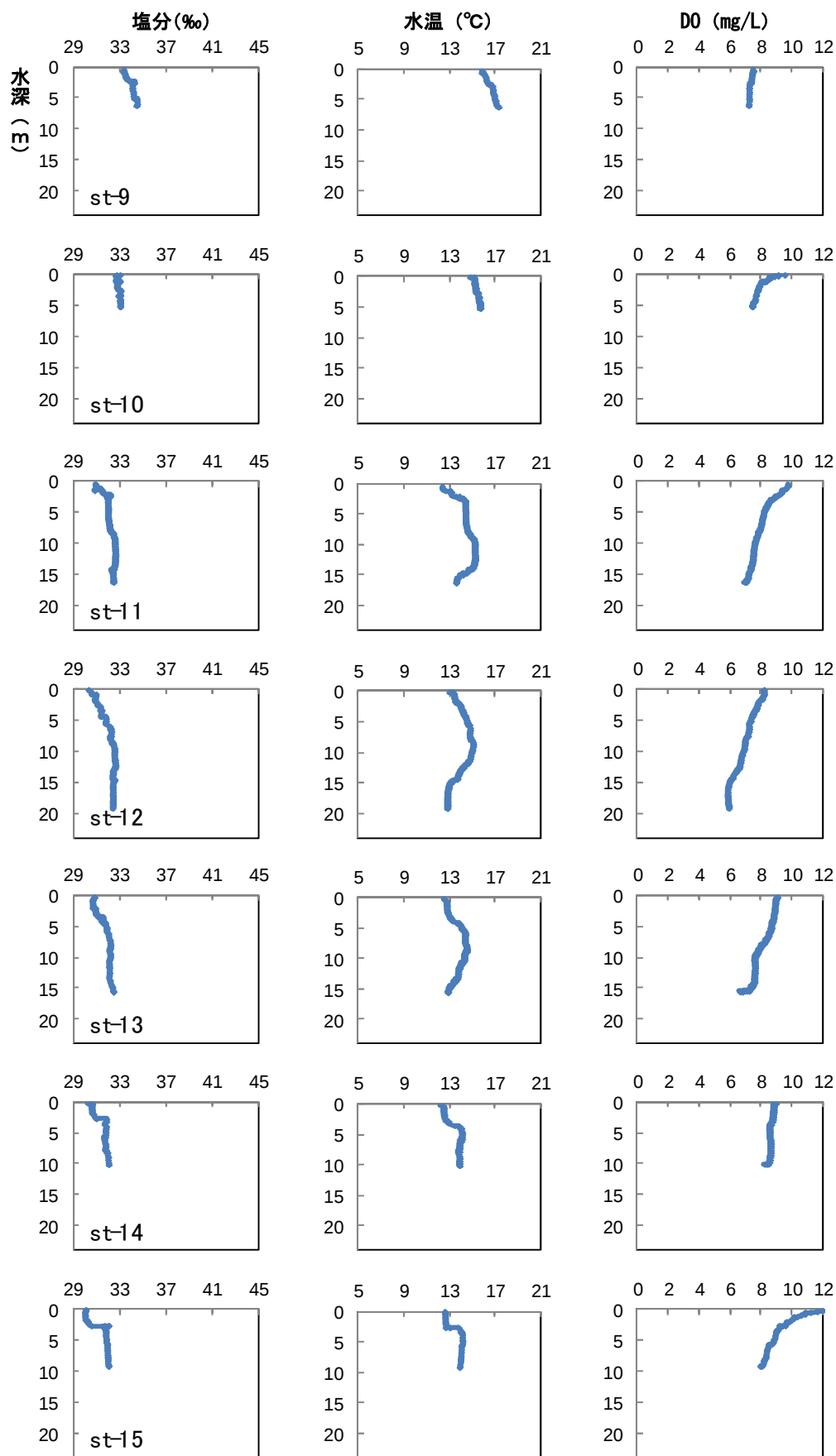


図6 浦ノ内湾内における塩分・水温・DO(春季/2012年3月9時~11時)
調査日の潮汐(満潮8時, 干潮14時)

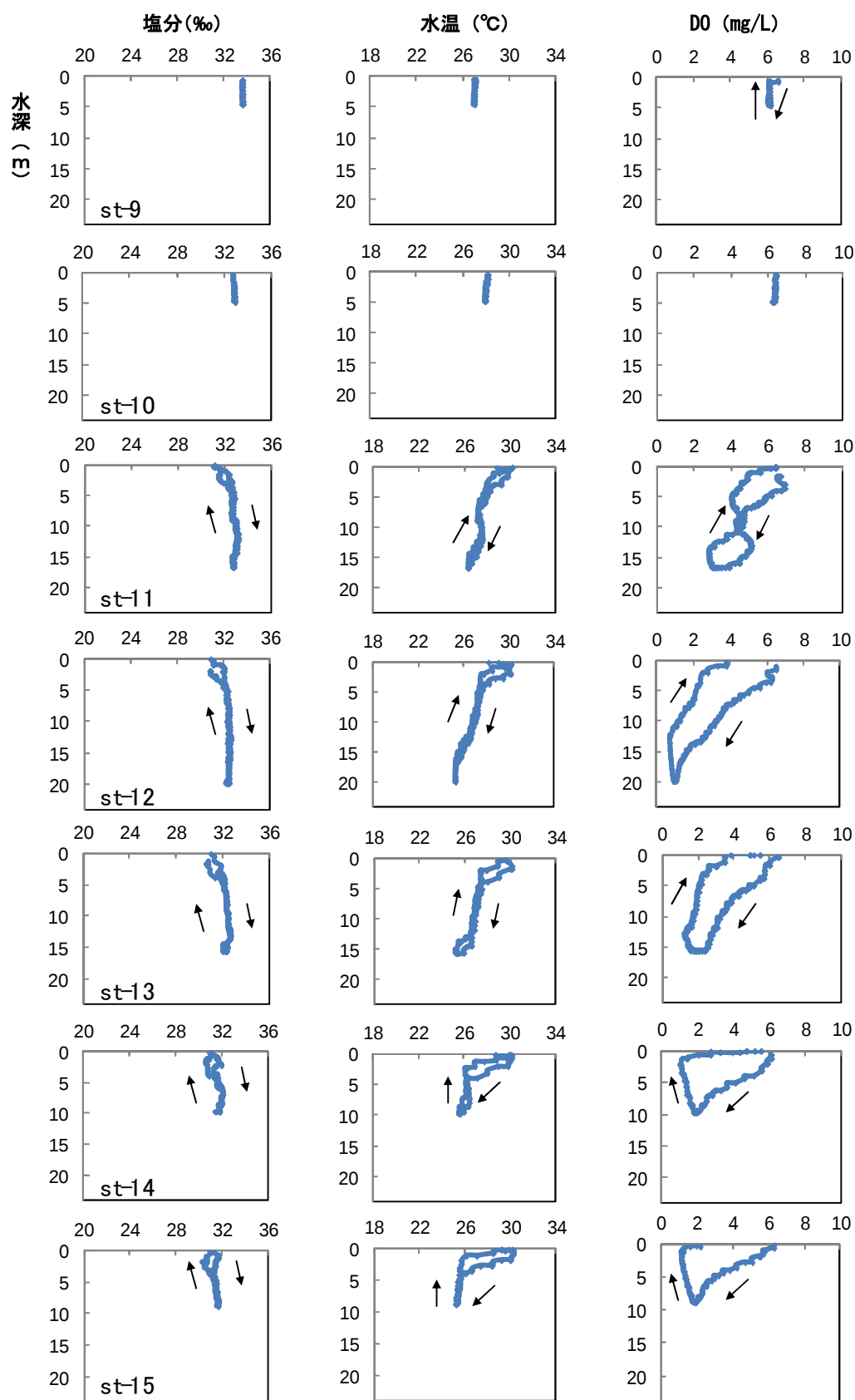


図7 浦ノ内湾内における塩分・水温・DO (夏季/2013年7月24日9時~11時)
調査日の潮汐 (大潮, 満潮6時, 干潮13時)

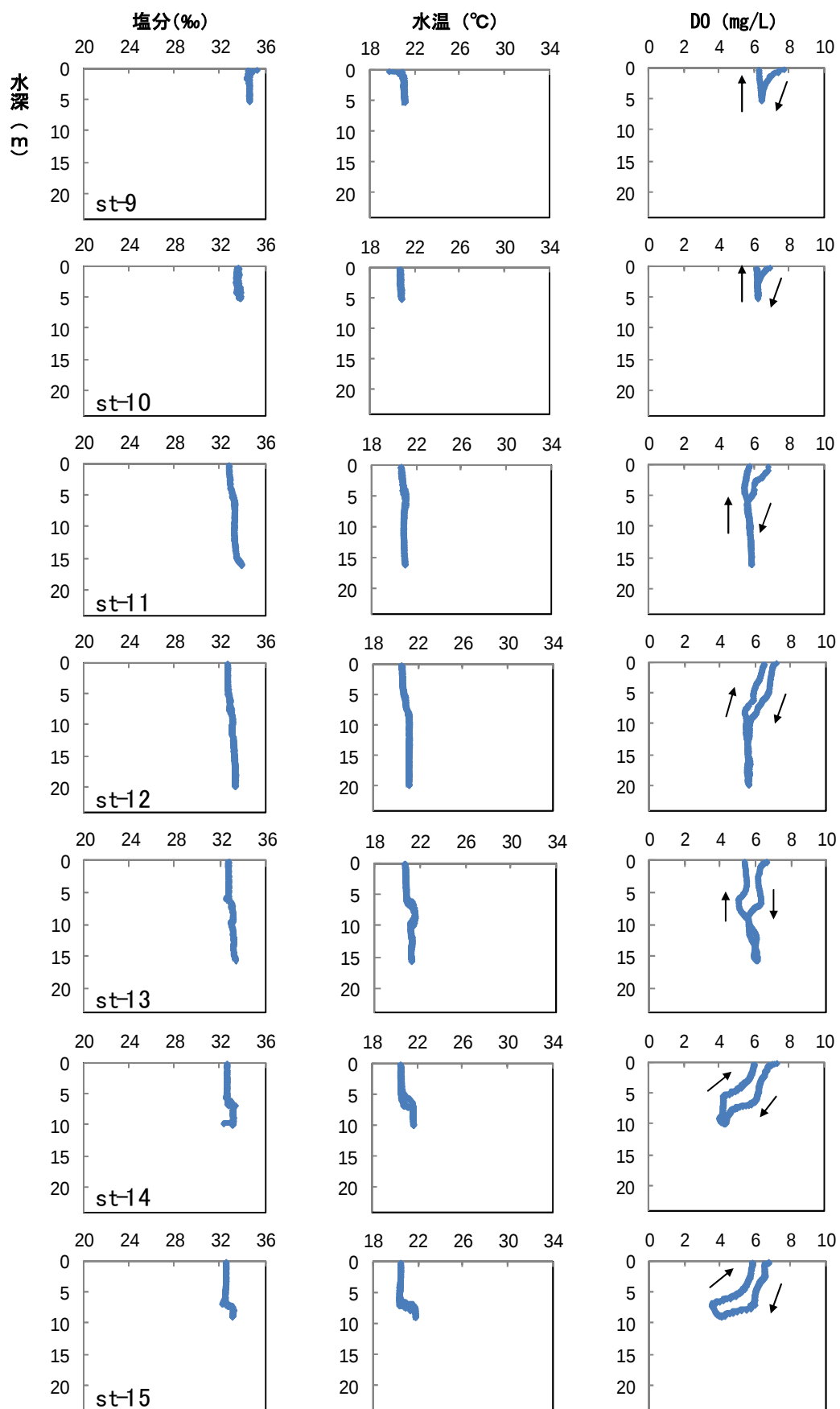


図8 浦ノ内湾内における塩分・水温・DO (秋季/2013年11月9時~11時)
調査日の潮汐 (大潮, 満潮6時, 干潮12時)

広島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

広島県立総合技術研究所保健環境センター

環境研究部 花岡雄哉

1. はじめに

広島湾は瀬戸内海に位置する閉鎖性の強い水域で、夏季には底層で恒常的に貧酸素水塊が発生する富栄養化水域である¹⁾。湾奥部は水深 10～20 m の浅海で停滞域であり、一級河川の太田川が流入している²⁾。また広島湾はカキの養殖業をはじめ漁業の盛んな水域であるが、沿岸部は各種製造業が立地し、西部は岩国、大竹の工業地帯がある。

今回、広島県の海域測定地点のうち、陸水の影響が比較的少ないと考えられる広島湾沖合域(31-21)及び陸水の影響があると考えられる広島湾沿岸域(32-12)の2箇所を選び、夏季と冬季の年2回現場測定と採水を行って、COD と関連する有機物指標を測定し季節変化と項目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・採水期間

2012 年 9 月、2013 年 2 月と 9 月、2014 年 1 月の計 4 回行った。

2.2 調査点

採水は図 1 に示す広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)の二地点において海上から行った。これら二地点は公共用水域常時監視（環境基準）点であり、水質環境基準生活環境項目の類型はどちらも A(COD 2 mg/L)である。



図 1 今回調査を行った広島県の公共用水域常時監視点

2.3 現場測定・採水・分析

水温は棒状温度計を用いて測定し、塩分は電気伝導度法（「海洋観測指針」5.3）に基づいて測定した。また、溶存酸素(DO)は JIS K0102, 32 に定める方法により測定し、透明度は透明度板を用いて測定した。

採水は、表層はポリバケツを用いて行い、中層は表層から 5 m 下部、底層は海底から 1 m 上部の海水をバンドーン採水器により採取した。

COD 関連項目について、採取した表層の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。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の方に送付し、「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」で述べられた方法で一連の分析を行った。

2.4 公共用水域常時監視測定結果

広島県のホームページ³⁾から上記二地点における COD の 2002～2011 年度間のデータをグラフ化した。

3. 結果

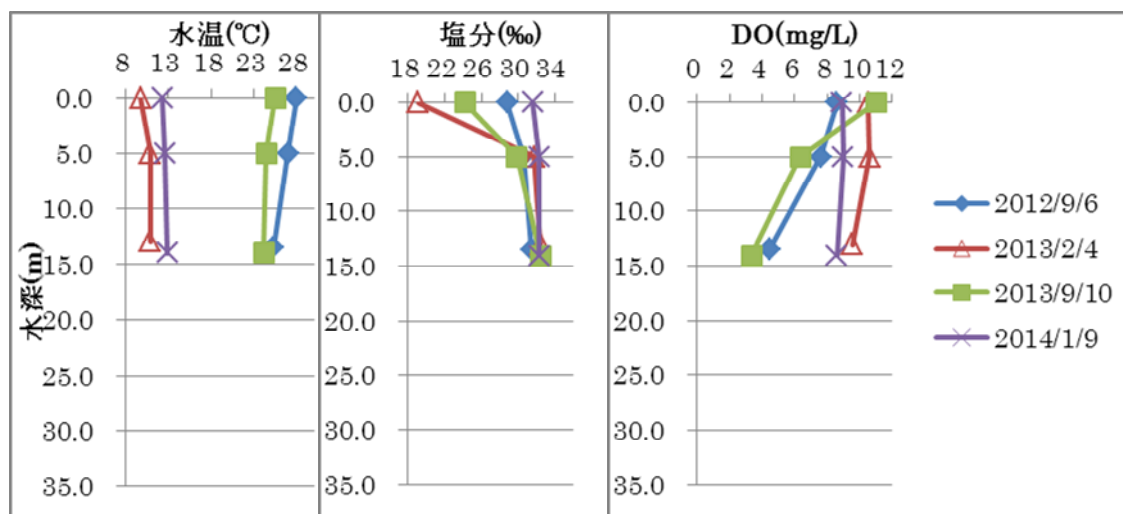
3.1 水温、塩分、DO、透明度

図 2 に広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)における水温、塩分、DO の分布を示す。広島湾沿岸域(32-12)の方が広島湾沖合域(31-21)よりも水温はやや高く、塩分は低い傾向にあった。また二地点とも夏季に底層 DO の低下が確認された。

表 1 に広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)における透明度を示す。二地点とも夏季に低く冬季に高くなる傾向にあった。これは後述するように冬季は夏季に比べて植物プランクトンの増殖が抑えられ、その結果、透明度が上昇するためと考えられる。

また、今回得られた結果は、1978～1981 年の調査から得られた結果²⁾と一致している。

広島湾沿岸域(32-12)



広島湾沖合域(31-21)

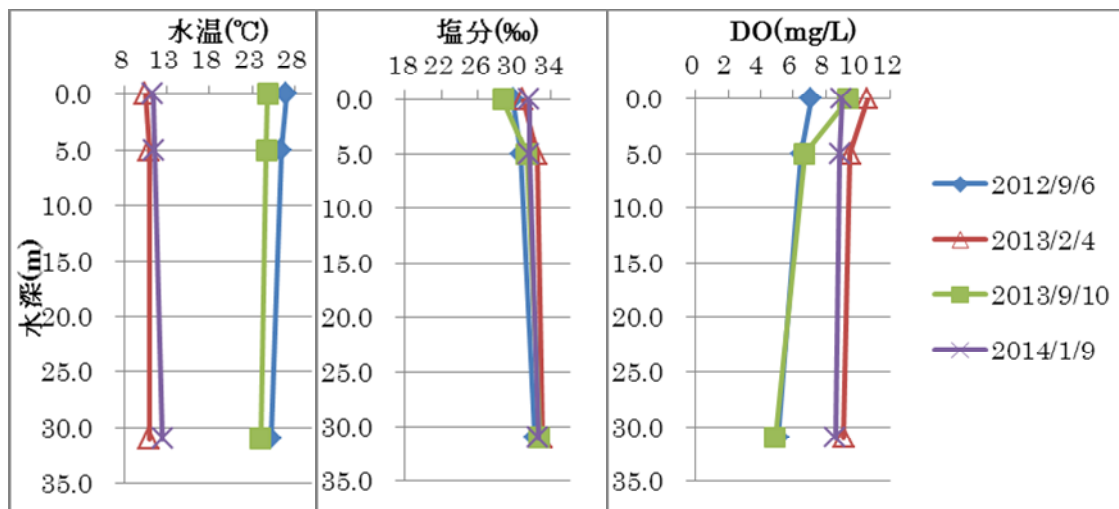


図2 2012年9月～2014年1月までの広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)における表層、中層、底層の水温、塩分、DO

表1 2012年9月～2014年1月までの広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)における透明度(m)

採水時季		広島湾沖合域 (31-21)	広島湾沿岸域 (32-12)
夏季	2012/9/6	6.2	3.2
	2013/9/10	3.8	2.0
冬季	2013/2/4	7.0	6.7
	2014/1/9	9.5	10.3

3.2 栄養塩類

各栄養塩類の濃度を表2に示す。二地点の比較では、夏季における無機態窒素及び無機態リンを除き、広島湾沖合域(31-21)よりも広島湾沿岸域(32-12)の方が高い傾向にあった。これは陸水の影響によるものと考えられる。また、季節間の比較では夏季よりも冬季の方が高い傾向にあった。これは、夏季に植物プランクトンが増殖し栄養塩を取り込んでいるためと考えられる。

表 2 2012 年 9 月～2014 年 1 月までの広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)における各栄養塩類濃度(mg/L)

地点	採水時季		NO _x -N (NO ₃ -N+NO ₂ -N)	NH ₄ -N	DTN	PO ₄ -P	DTP	SiO ₂
広島湾沖合域 (31-21)	夏 季	2012/9/6	N.D.	N.D.	0.15	0.003	0.010	0.82
		2013/9/10	N.D.	N.D.	0.13	N.D.	0.006	1.8
	冬 季	2013/2/4	0.021	0.007	0.19	0.002	0.009	0.40
		2014/1/9	0.089	0.012	0.22	0.016	0.018	1.2
広島湾沿岸域 (32-12)	夏 季	2012/9/6	N.D.	N.D.	0.20	0.002	0.018	1.4
		2013/9/10	0.001	N.D.	0.13	N.D.	0.008	3.4
	冬 季	2013/2/4	0.29	0.12	0.59	0.032	0.039	4.8
		2014/1/9	0.12	0.057	0.30	0.019	0.022	1.3

* N.D. : 定量下限値未満

* 網掛けは二地点の濃度を比較し高かった項目を示す

3.3 COD 関連項目

今回調査・採水を行った広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)における水質の変遷を把握するため、2002～2011 年度の 10 年間の COD 値を図 3 に示した。COD の濃度範囲は広島湾沖合域(31-21)で 1～5.5 mg/L、広島湾沿岸域(32-12)で 0.6～6.3 mg/L であり、二地点とも夏季に高く、冬季に低くなる傾向にあった。10 年間全体では顕著な増減の傾向は見られず、ほぼ横ばいであった。環境基準は広島湾沖合域(31-21)の 2003 年度を除いて達成されていないかった。

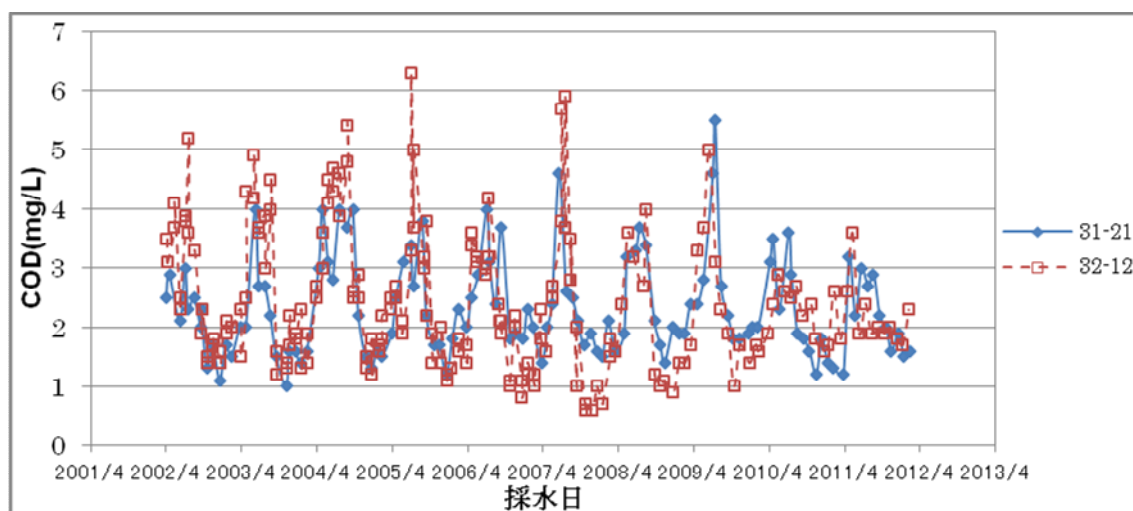


図 3 広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)における
2002～2011 年度の 10 年間の COD 値

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。二地点の比較では、COD 及び P-COD を除き、広島湾沖合域(31-21)よりも広島湾沿岸域(32-12)の方が高い傾向にあった。また、季節間の比較では冬季よりも夏季の方が高い傾向にあり、特に Chl *a* や POC において顕著であった。これは前述のように、夏季の植物プランクトンの増殖を反映していると考えられ、栄養塩類の結果とも一致する。また、今回得られた結果は、1978～1981 年の調査から得られた結果^{4),5)}とも一致している。

表 3 2012 年 9 月～2014 年 1 月までの広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)における COD 関連項目(Chl *a* : µg/L, 他 : mg/L)

地点	採水時季		COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC	POC	DOC+POC	Chl <i>a</i>
広島湾沖合域 (31-21)	夏 季	2012/9/6	2.3	2.2	0.10	1.3	0.26	1.5	1.3
		2013/9/10	3.6	1.8	1.8	1.1	0.67	1.8	1.9
	冬 季	2013/2/4	3.1	1.6	1.5	0.93	0.32	1.3	3.8
		2014/1/9	1.7	1.2	0.50	0.85	0.08	0.93	1.7
広島湾沿岸域 (32-12)	夏 季	2012/9/6	3.4	2.7	0.70	1.5	0.50	2.0	8.0
		2013/9/10	3.3	1.7	1.6	1.3	0.84	2.1	10
	冬 季	2013/2/4	2.3	2.3	0	1.2	0.45	1.7	1.9
		2014/1/9	1.6	1.2	0.40	0.77	0.09	0.86	1.5

*網掛けは二地点の濃度を比較し高かった項目を示す

図 4 に COD 関連項目間の関係を示す。POC と Chl *a* の関係において、広島湾沖合域(31-21)では相関が悪かったが、広島湾沿岸域(32-12)では高い正の相関を示した。このことから、広島湾沿岸域(32-12)では POC の大部分が植物プランクトン起源であると考えられる。懸濁性の COD (P-COD : COD から D-COD を差し引いたもの) と Chl *a* の関係において、広島湾沖合域(31-21)では相関が悪かったが、広島湾沿岸域(32-12)では高い正の相関を示した。このことから、広島湾沿岸域(32-12)では P-COD の大部分が植物プランクトン起源であると考えられる。D-COD と DOC の関係では、広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)とも高い正の相関を示した。このことから、広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)では D-COD の大部分が DOC 起源であると考えられる。

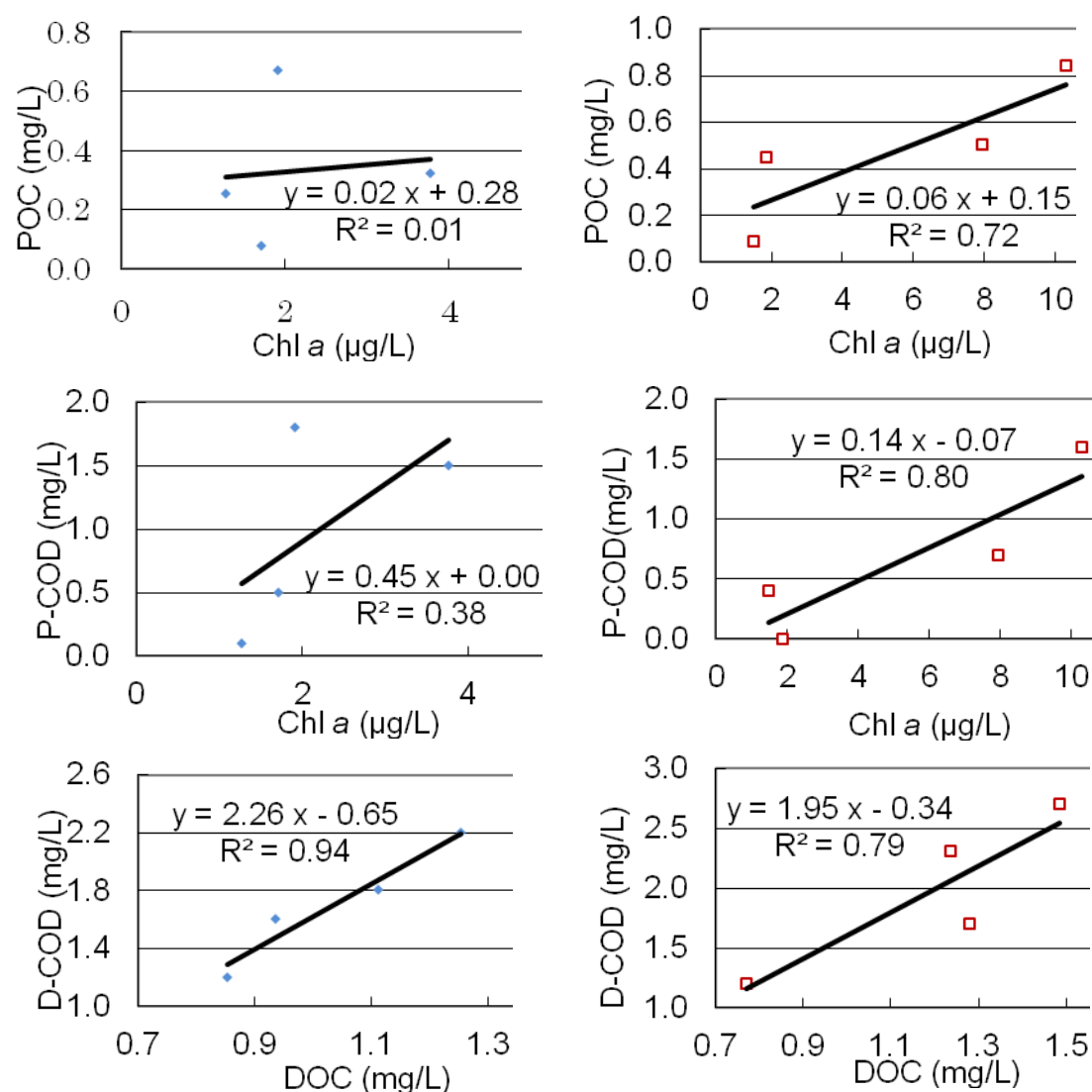


図4 広島湾沖合域(31-21, 左)及び広島湾沿岸域(32-12, 右)における
COD 関連項目間の関係

4. まとめ

2012年夏季～2014年冬季まで4回、広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)において、現場観測、採水を行い一連の測定を行ったところ、以下のことがわかった。

- ・ 透明度、栄養塩類とも夏季よりも冬季が高く、逆に Chl a や POC は冬季よりも夏季に高くなる傾向にあり、夏季に植物プランクトンが増殖することを反映していると考えられる。
- ・ 広島湾沿岸域(32-12)では POC 及び懸濁性の COD の大部分は植物プランクトン起源であると考えられる。また、広島湾沖合域(31-21)及び広島湾沿岸域(32-12)とも溶存性の COD の大部分は DOC 起源であると考えられる。

5. 参考資料

- 1) 伊達悦二, 清木徹 (2006), 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
- 2) 伊達悦二, 星野響 (1982), 広島湾の物質循環機構の解明に関する研究 (第1報) —水質環境因子 (栄養塩類を除く) 垂直分布の季節変化について—, 広島県環境センター研究報告, 3, 66-71
- 3) 広島県「公共用水域等の水質調査結果」
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/e-e4-kokyo-index.html>
- 4) 伊達悦二, 星野響 (1982), 広島湾の物質循環機構の解明に関する研究 (第2報) —栄養塩類の季節変化について—, 広島県環境センター研究報告, 3, 72-81
- 5) 伊達悦二 (1983), 広島湾の物質循環機構の解明に関する研究 (第3報) —懸濁物の化学組成について—, 広島県環境センター研究報告, 5, 67-71

博多湾公共用水域調査地点における COD と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 水質担当

1. はじめに

博多湾は、東西に約 20km、南北に約 10km、面積約 133km² の内湾である。沿岸に大都市を擁し、玄界灘とは西浦～玄界島、玄界島～志賀島の 2 箇所の開口部を通じてつながっている。博多湾は、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海と比べ閉鎖性が強く、水の交換が悪い海域となっている。

今回、貧酸素の発生状況の確認を行うため、博多湾の中部海域及び東部海域における DO（溶存酸素）、塩分及び水温を調査するとともに、COD に関連する有機物項目の測定を行い、季節変化及び項目間の関係について検討した。

2. 調査方法

2.1 調査時期

平成 23 年度から平成 25 年度まで 3 年間の夏季に多項目水質計を用いて DO、塩分及び水温の調査を 26 回実施した。また、COD と関連する有機物項目の調査を夏季及び冬季に測定を行った。

2.2 調査地点

調査地点を図 1 に示す。博多湾の C-10（中部海域）及び E-X1（東部海域）の 2 地点で調査を行った。C-10 は公共用水域常時監視（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 C-10 が A（COD2mg/L 以下）、E-X1 は B（COD 3mg/L 以下）である。

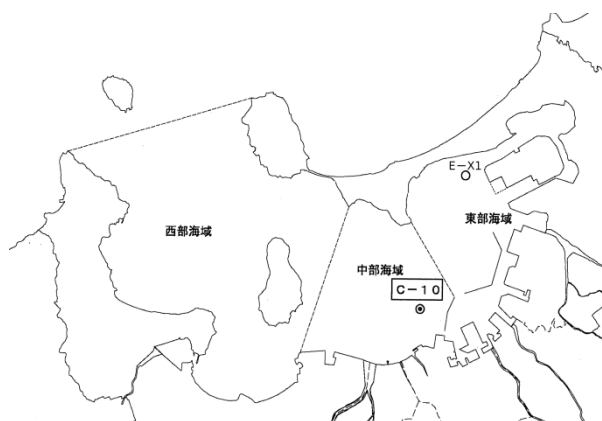


図 1 調査地点

2.3 調査項目

DO、塩分及び水温は国立環境研究所から貸与された多項目水質計（Hydrolab）を船上から海中に垂下させ、表層から底層までの測定を行った。また、透明度は透明度板を用いて測定した。採水は表層についてはバケツを用い、底層についてはバンドーン採水器を用いて海底から 1m 上の海水を採取した。採取した海水は採取した日のうちに分注、ろ過を行った。

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の方に送付し、「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」で述べられた方法で一連の分析を行った。

3. 結果

3.1 DO, 塩分, 水温, 透明度

C-10 及び E-X1 における鉛直方向の DO (図 2), 塩分 (図 3), 水温 (図 4) の水深 20cm 毎の推移を示す。

DO (溶存酸素) は 6 月下旬から 9 月中旬にかけて底層の貧酸素 (DO : 3.6mg/L 以下を「貧酸素」とする) が 2 地点とも確認されることがあった。C-10 と E-X1 の貧酸素の状況を比較すると E-X1 は底層の DO が 0.5mg/L を下回ることがあり, DO 低下の度合いが強い傾向にある。

塩分における表層と底層の塩分濃度差の最大は C-10 で 12‰, E-X1 で 20‰と湾奥に位置する E-X1 の濃度差が C-10 に比べ大きかった。

水温における表層と底層の温度差の最大は C-10 で 3.2℃, E-X1 で 4.6℃であり, 水温成層の形成が示唆された。

博多湾内で水温の連続測定を実施した唐泊漁港 (福岡市西区宮浦) における水深毎の温度を測定した結果を図 5 に示す。平成 23 年度から平成 25 年度の 3 年間, 温度ロガーを設置し, 表層 (海面から 0.5m), 中層 (海面から 3~4m), 底層 (海底から 1m) の温度データを採取した。表層と底層の温度は 10 月頃から 4 月頃にかけて同程度であるが 5 月頃から 9 月頃にかけて表層と底層の温度差が広がることもあり, 水温成層が形成されたものと考えられる。

図 6 に C-10 及び E-X1 における鉛直方向の最高値と最低値の DO 差と水温差, DO 差と塩分差との関係を示す。DO 差との関係では塩分差よりも水温差の方が相関が高く, C-10 よりも水深が浅い E-X1 の方が相関が高かった。

透明度は表 1 に示す。2 地点ともおおむね同様な透明度の推移をしている。冬季の調査では透視度が夏季に比べおおむね良好になっている。冬季は夏季よりプランクトンの増殖が抑えられた結果, 透明度が上昇するものと考えられた。

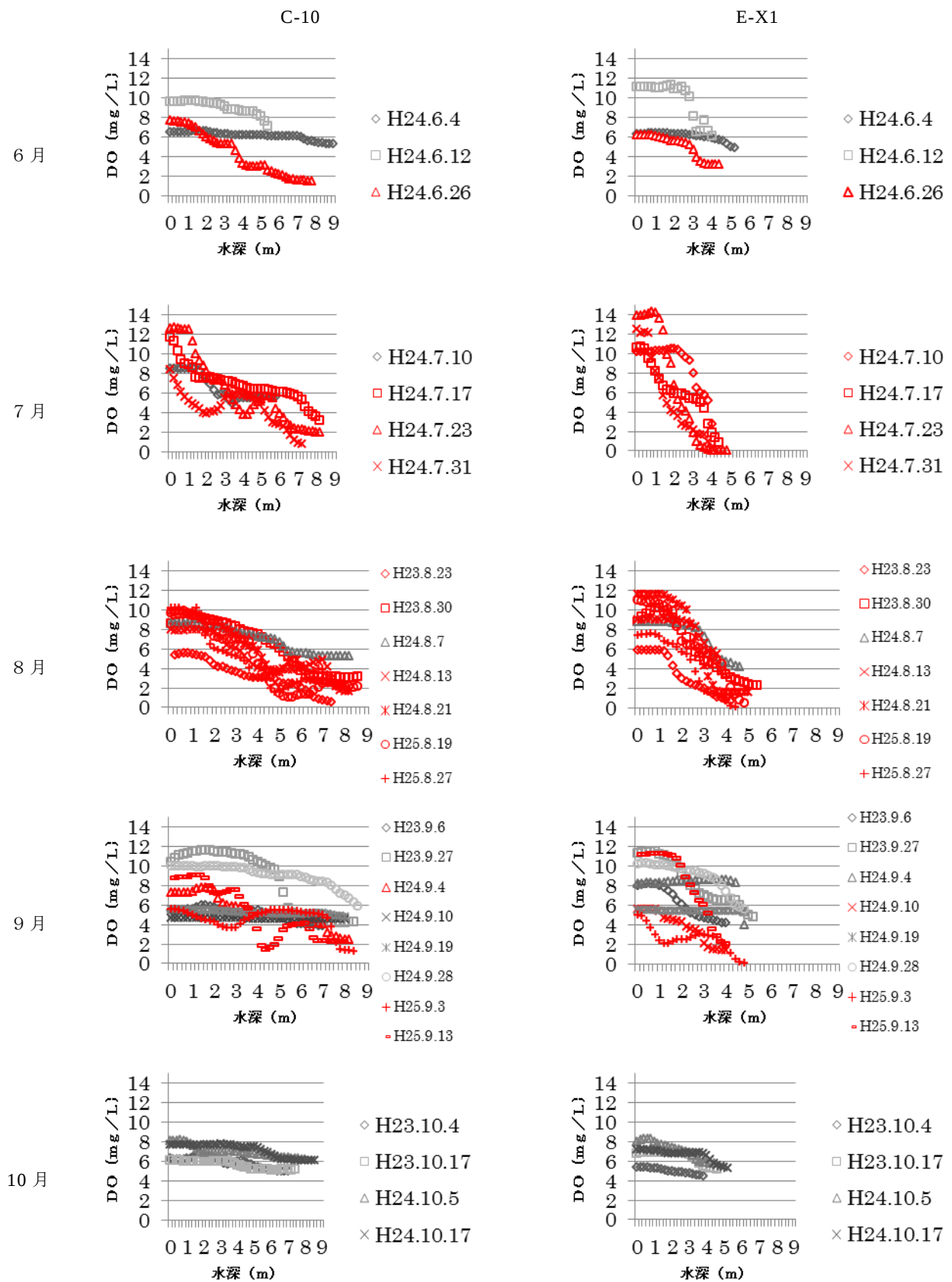


図2 多項目水質計によるDO測定結果

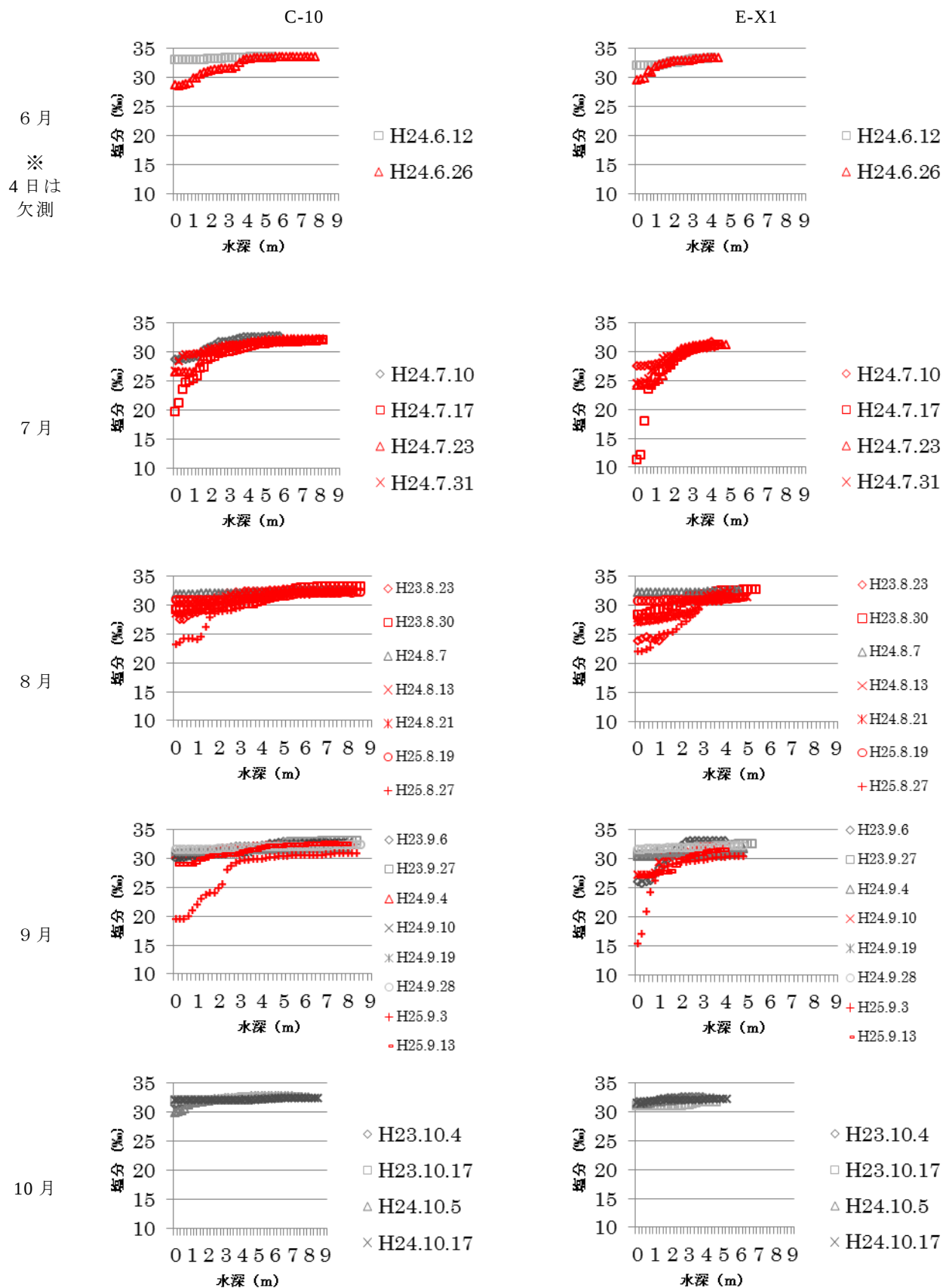


図3 多項目水質計による塩分測定結果

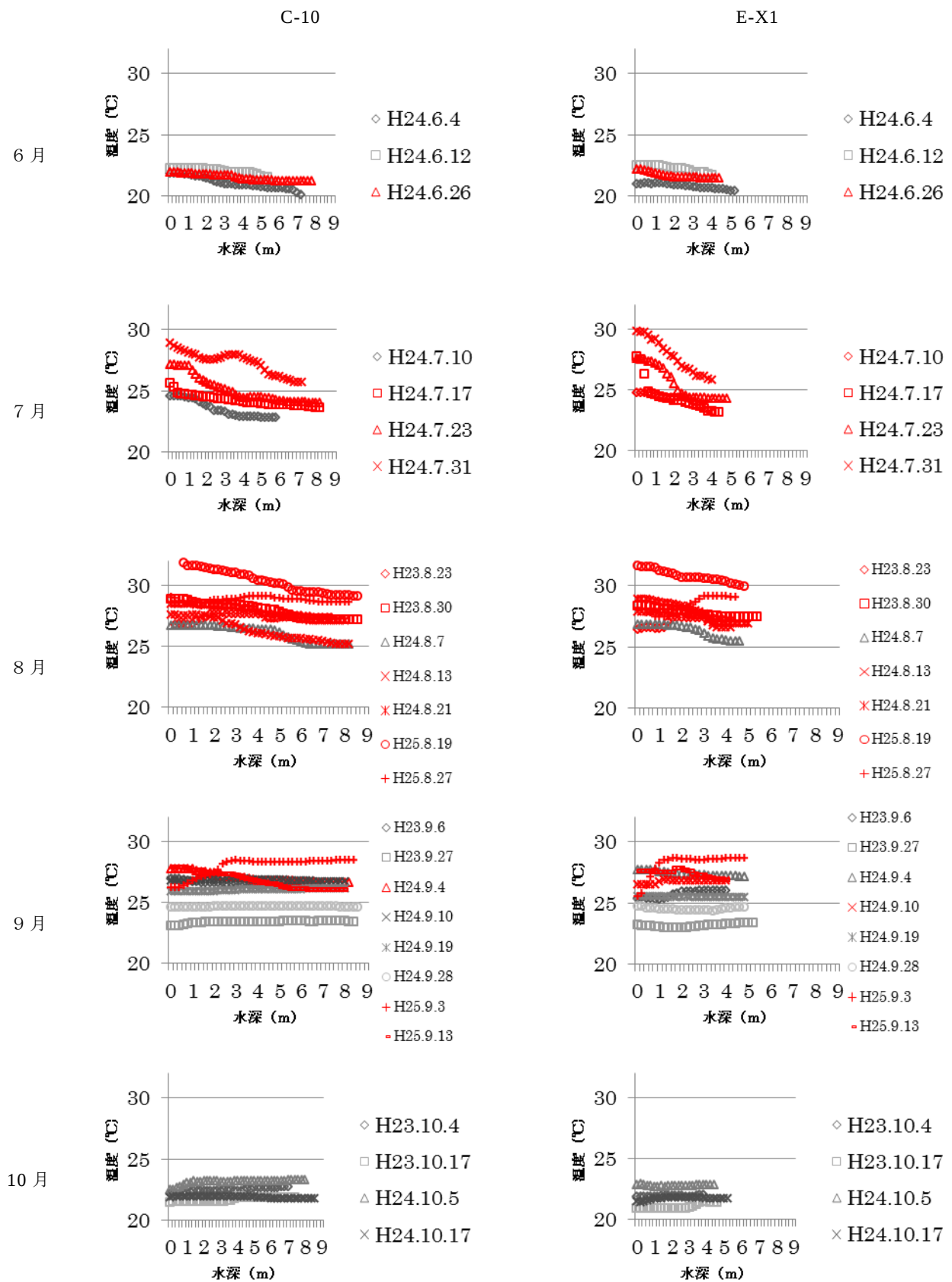
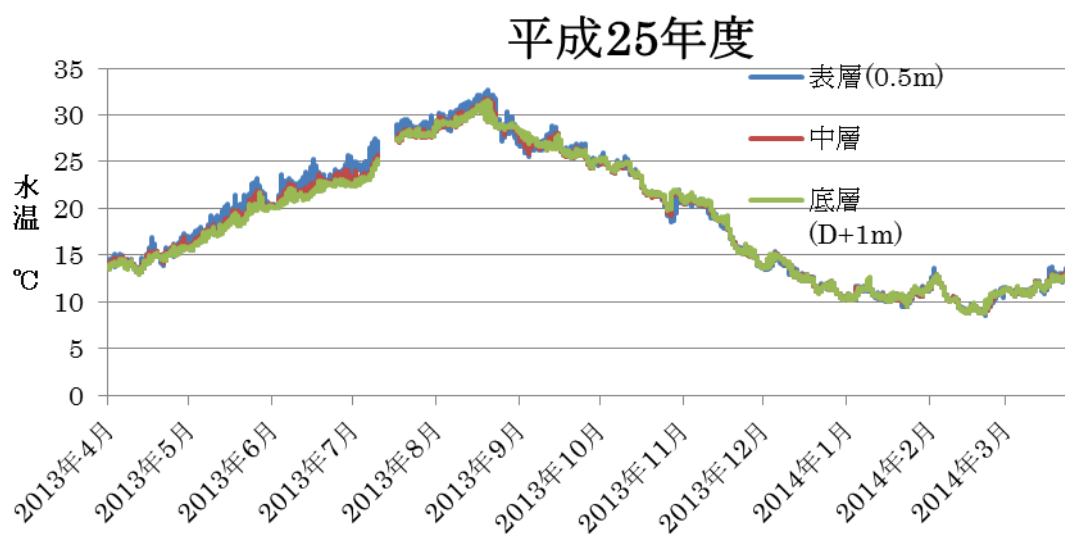
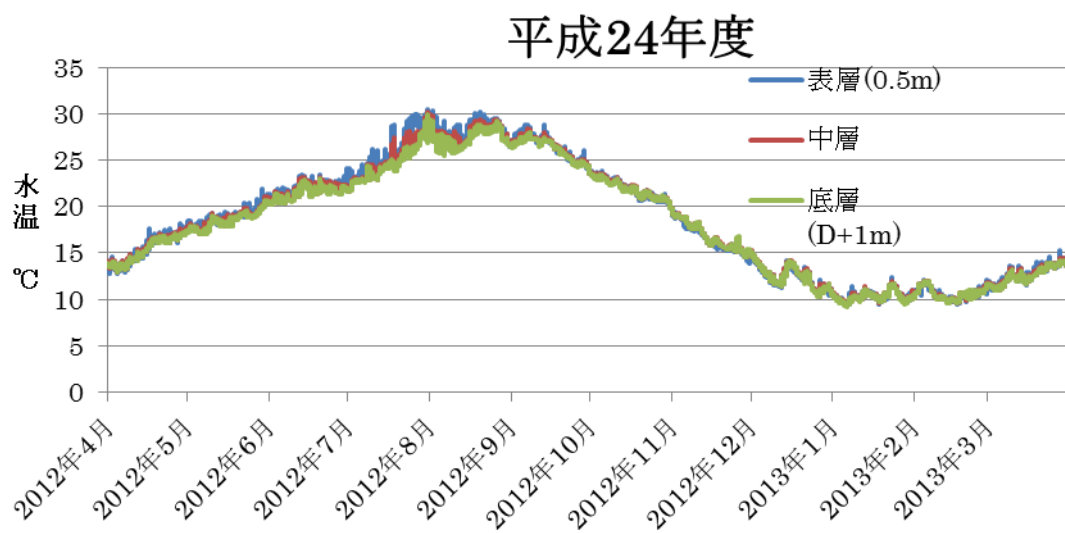
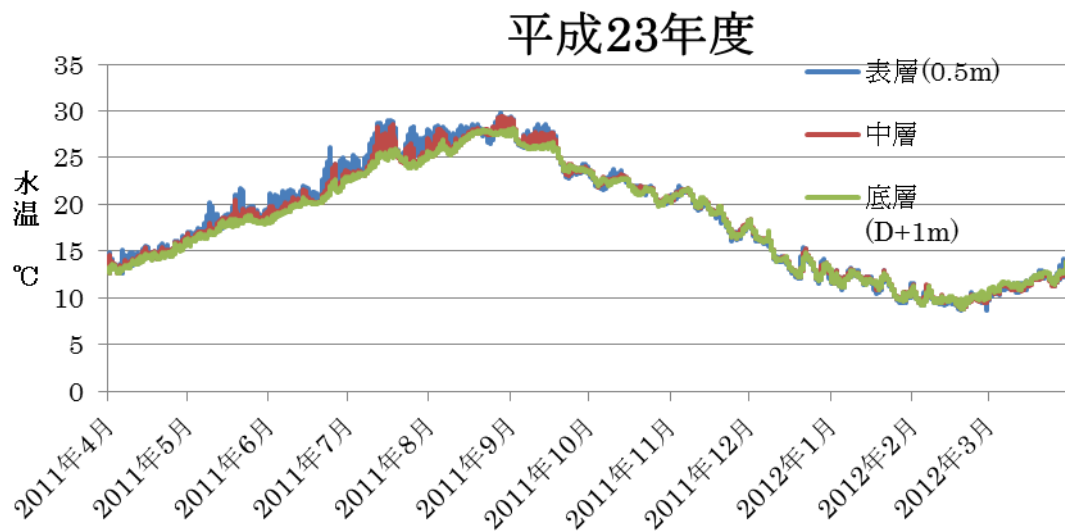


図 4 多項目水質計による水温測定結果



7月10日から7月17日まで欠測

図5 温度ロガーによる水温測定結果 唐泊漁港 (1時間毎の値をプロットしたもの)

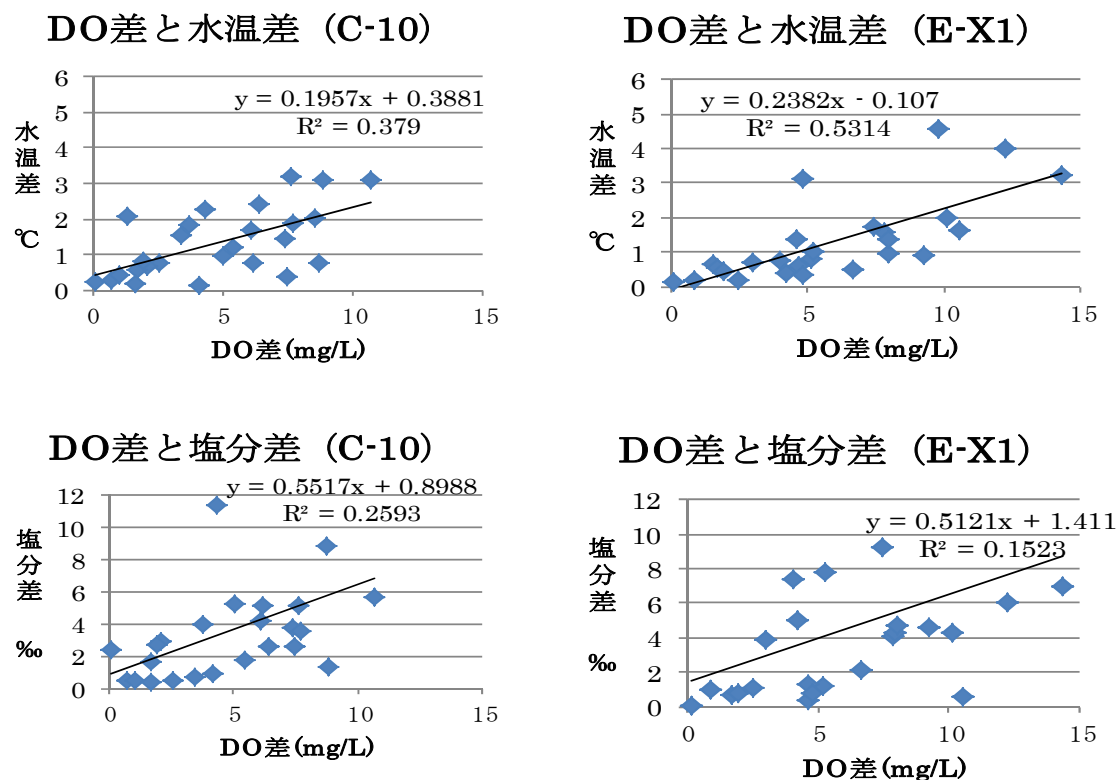


図 6 DO 差と水温差，塩分差との関係

表 1 透明度 (m)

	C-10	E-X1
平成 23 年 8 月	0.8(23 日) 1.3(30 日)	1.1(23 日) 0.9(30 日)
平成 23 年 9 月	1.5(6 日) 1.6(27 日)	1.3(6 日) 1.5(27 日)
平成 23 年 10 月	2.1(4 日) 1.7(17 日)	1.8(4 日) 1.7(17 日)
平成 23 年 12 月	4.5(7 日)	3.2(7 日)
平成 24 年 5 月	2.0(29 日)	2.0(29 日)
平成 24 年 6 月	1.8(4 日) 1.9(12 日) 1.7(26 日)	3.3(4 日) 2.0(12 日) 2.0(26 日)
平成 24 年 7 月	3.1(10 日) 1.1(17 日)	2.4(10 日) 0.7(17 日)
	1.1(23 日) 1.6(31 日)	0.8(23 日) 1.0(31 日)
平成 24 年 8 月	1.8(7 日) 1.8(13 日) 1.5(21 日)	1.4(7 日) 1.6(13 日) 1.2(21 日)
平成 24 年 9 月	5.3(4 日) 2.3(10 日)	4.1(4 日) 2.1(10 日)
	2.7(19 日) 2.2(28 日)	1.7(19 日) 2.0(28 日)
平成 24 年 10 月	2.1(5 日) 2.1(17 日)	2.1(5 日) 2.5(17 日)
平成 25 年 1 月	1.8(28 日)	3.5(28 日)
平成 25 年 8 月	1.5(19 日) 1.3(27 日)	1.2(19 日) 1.5(27 日)
平成 25 年 9 月	1.7(3 日) 2.1(13 日)	1.5(3 日) 1.6(13 日)
平成 26 年 1 月	2.4(7 日)	2.8(7 日)

3.2 栄養塩類

栄養塩類の濃度を表 2 に示す。地点間の比較では $\text{NO}_x\text{-N}$, DTN は E-X1 の方が C-10 より高く、冬季の方が夏季より高い傾向が見られた。これは夏季にプランクトンが増殖し、栄養塩を取り込んでいることによると考えられた。また、表層と底層の濃度差が夏季では大きく、冬季では小さい傾向が見られた。

表 2 栄養塩類測定結果（平成 23, 24, 25 年度の平均値） (mg/L)

表層							
地点	時季	$\text{NO}_x\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	DTN	$\text{PO}_4\text{-P}$	DTP	SiO_2
C-10	夏季	0.101	0.042	0.348	0.004	0.016	0.84
	冬季	0.176	0.119	0.456	0.007	0.014	1.06
E-X1	夏季	0.231	0.040	0.435	0.001	0.013	1.05
	冬季	0.260	0.165	0.521	0.013	0.019	1.38

底層							
地点	時季	$\text{NO}_x\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	DTN	$\text{PO}_4\text{-P}$	DTP	SiO_2
C-10	夏季	0.032	0.081	0.329	0.011	0.021	1.29
	冬季	0.141	0.077	0.338	0.009	0.014	0.87
E-X1	夏季	0.095	0.098	0.420	0.009	0.019	1.18
	冬季	0.239	0.132	0.512	0.011	0.018	1.32

3.3 COD 関連項目

今回、調査・採水を行った 2 地点における水質の変化を把握するため平成 15 年度から平成 24 年度の 10 年間の COD 値¹⁾を図 7 に示した。2 地点ともに概ね夏季に高く冬季に低くなる傾向が見られた。10 年間の COD 値は特に顕著な増減の傾向は見られなかった。環境基準は C-10（環境基準地点）では未達成の状況が続いている。

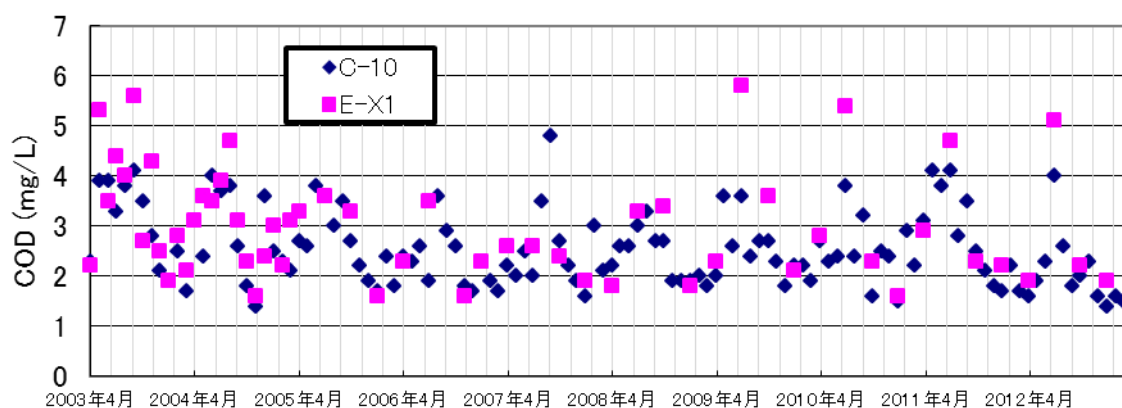


図 7 COD 値（2003～2012 年度）

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。概ねどの項目も E-X1 の方が C-10 より高い傾向を示している。また、季節間の比較では冬季に比べ夏季の方が高い傾向が見られ、特に表層の DOC を除くすべての項目で顕著であった。一方底層では表層に比べ顕著な差が見られなかった。

表 3 COD 関連項目測定結果（平均値（異常値は除く））

（単位は Chl *a* は μ g/L, そのほかは mg/L）

表層								
地点	時季	COD	D-COD	COD - DCOD	DOC + POC	DOC	POC	Chl <i>a</i>
C-10	夏季	4.16	2.98	1.18	2.84	1.67	1.17	23.90
	冬季	2.17	1.60	0.57	1.69	1.16	0.53	5.53
E-X1	夏季	4.60	3.50	1.10	2.94	1.56	1.38	27.71
	冬季	2.24	1.74	0.50	1.31	1.02	0.29	2.34
底層								
地点	時季	COD	D-COD	COD - DCOD	DOC + POC	DOC	POC	Chl <i>a</i>
C-10	夏季	2.70	2.27	0.43	1.87	1.35	0.52	5.08
	冬季	2.50	1.60	0.90	1.54	0.90	0.64	4.86
E-X1	夏季	3.40	2.53	0.87	2.39	1.39	1.00	22.06
	冬季	2.14	1.84	0.30	1.57	1.16	0.41	4.93

図 8 (C-10), 図 9 (E-X1) に COD 関連項目間の関係を示す。

Chl *a* と P-COD(COD-D-COD)及び POC の関係では, C-10 及び E-X1 における表層では正の相関を示したが, 底層では E-X1 の POC を除き, 表層に比べ相関が悪い傾向にある。このことから表層の P-COD, POC はプランクトンが寄与しているものと考えられた。

表層においては, D-COD と DOC, P-COD と POC 及び COD と DOC+POC は正の相関を示した。一方, 底層では C-10 で P-COD (COD-D-COD) と POC の相関が高かったが D-COD と DOC の相関が低い傾向であった。E-X1 においても底層で P-COD (COD-D-COD) と POC の相関が低く, 表層と底層との差が見られた。

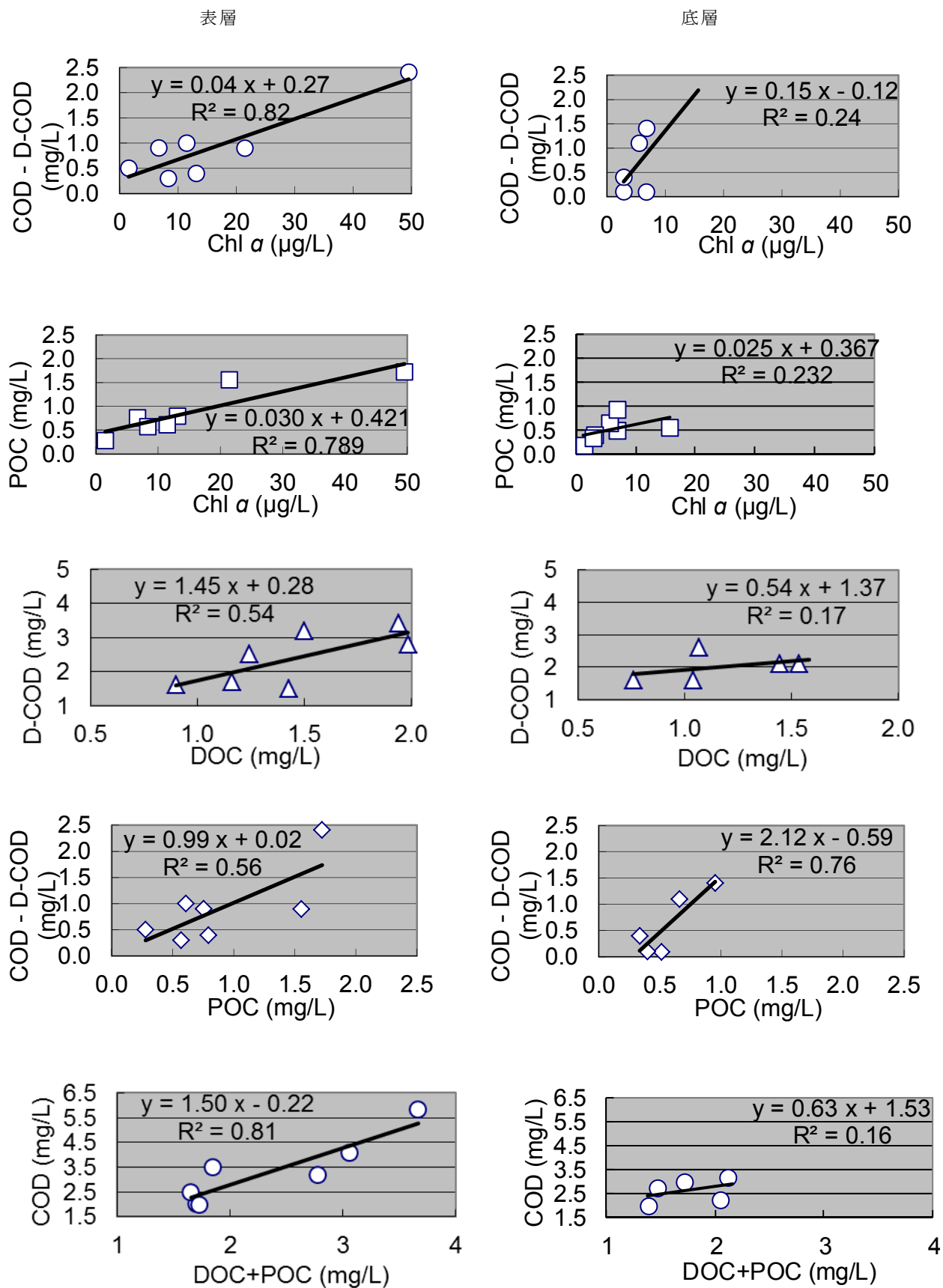


図 8 C-10 COD 関連項目間の関係

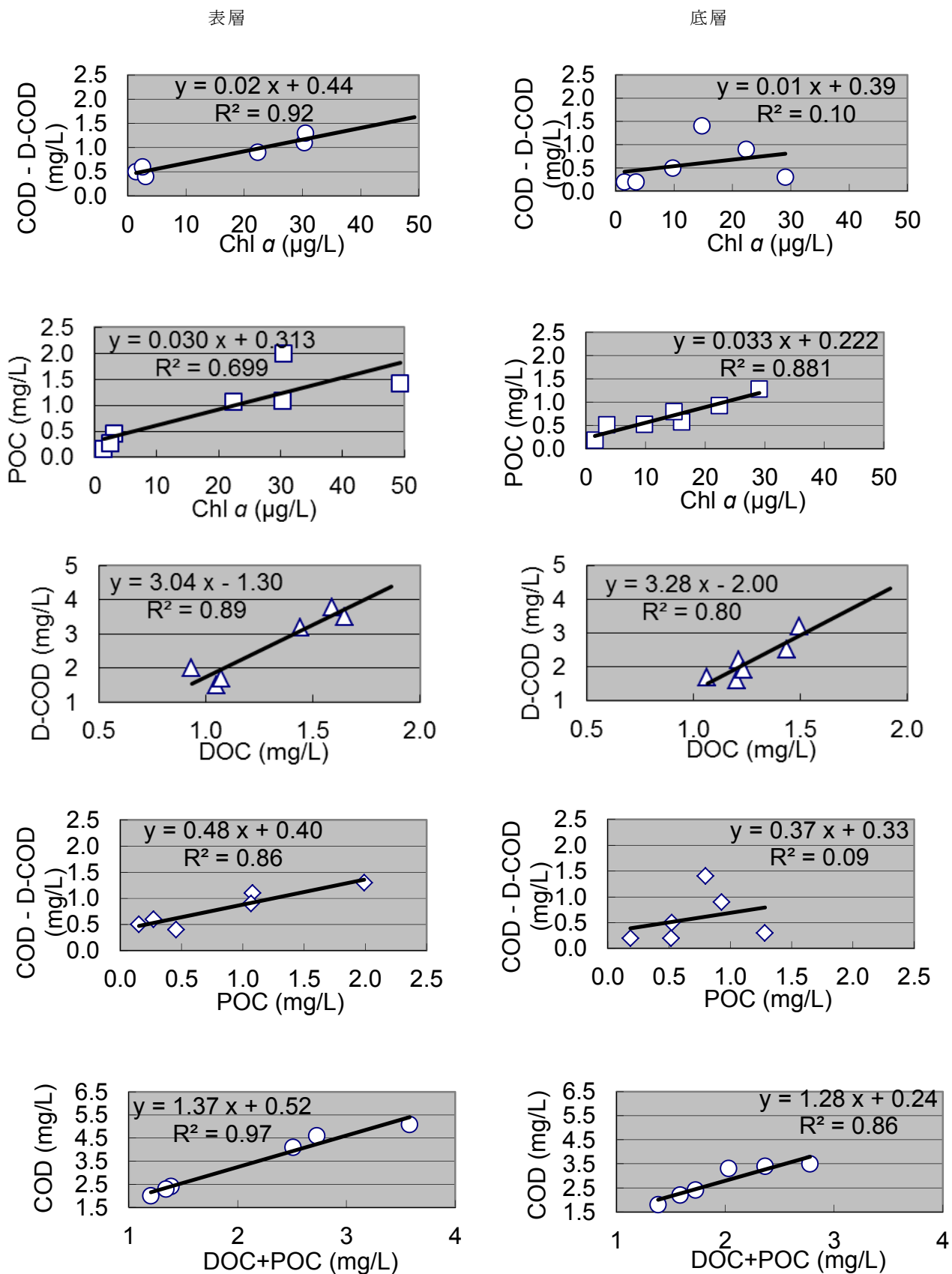


図 9 E-X1 COD 関連項目間の関係

4. まとめ

平成 23 年度から平成 25 年度にかけて C-10 及び E-X1 の 2 地点で現場調査、採水を行い一連の測定を行ったところ、以下のことが分かった。

- ・ 栄養塩類は冬季に高く、一方で Chl *a* や COD に関する有機物指標は夏季に高くなり、水温が高い時期にプランクトンの増殖による内部生産が活発になることの反映であると考えられた。
- ・ 2 地点とも有機物指標の半分以上は溶存性 (D-COD,DOC) のもので占められていた。
- ・ 環境基準を上回る値は夏季が多く、博多湾で COD を上昇させる主要因は内部生産であると考えられた。
- ・ 6 月の下旬から 9 月の月上旬にかけて貧酸素の発生を確認した。

5. 参考資料

- 1) 福岡市環境局：福岡市水質測定結果報告書 平成 15 年度～平成 24 年度

長崎県大村湾湾奥部における COD について

長崎県環境保健研究センター 粕谷 智之

1. はじめに

大村湾は長崎県本土のほぼ中央に位置し、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。面積はおよそ 320km^2 で琵琶湖の約 $1/2$ である。同湾は昭和 49 年に海域 A 類型に指定され、県では法的な規制を含め、公共下水道の普及等さまざまな対策を実施してきたが、昭和 51 年以降、環境基準項目のうち化学的酸素要求量 (COD) の 17 環境基準地点における平均値が基準値 (2.0mg/L) を超過した状態が続いている。近年、底魚などの底生水産生物の漁獲量が減少しており、2001 年度に海洋シンクタンク事業の一環として行われた海健康診断において、生物の生息空間や底質などに問題がある可能性が指摘されている。本調査では大村湾の中でも COD 値が高い傾向がある湾奥部の環境基準地点 2 地点 (祝崎沖と久山港沖) を対象として、COD およびそれに関わると考えられる環境因子について調査を行い、関連性について検討した。

2. 現場調査、測定・分析方法

2.1 調査点

調査点は大村湾の環境基準点である「祝崎沖」と「久山港沖」である (図 1)。それぞれの水深は、祝崎沖で約 15m、久山港沖で約 6m である。

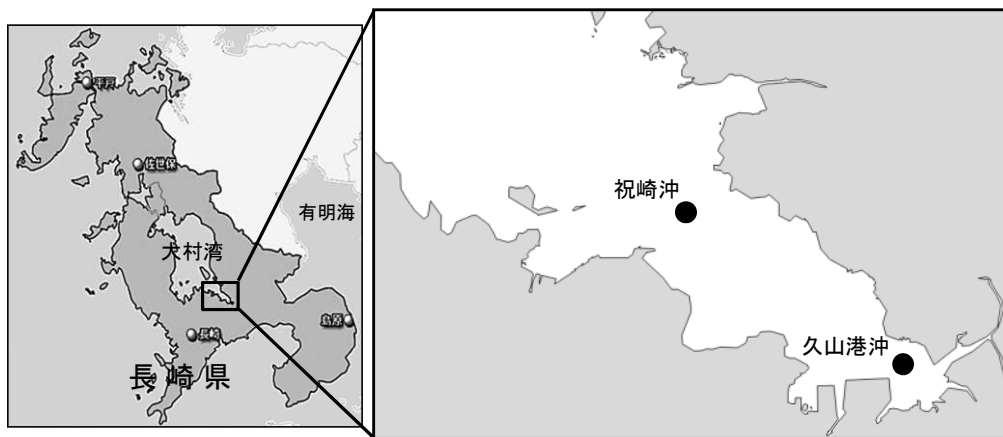


図 1 調査点位置図

2.2 調査方法

調査は平成 22 年度から 24 年度にかけて、夏季 (9 月) と冬季 (1 月または 2 月) に計 8 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、塩分および溶存酸素量 (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。

2.3 分析

採取した海水は氷冷して持ち帰り、COD、溶存態 COD (D-COD)、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*)の分析に供するためにそれぞれ処理した(表 1)。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の方に送付し、「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」で述べられた方法で一連の分析を行った。

表1 分析試料概要

項 目	試水量 (mL)	サンプル
COD	500	未ろ過海水
D-COD DOC	1000	焼成GF/Fろ過海水
Chl. <i>a</i>	1000	ワットマン47mm径GF/Fフィルターでろ過したフィルター試料
POC	500	ワットマン25mm径焼成GF/Fでろ過したフィルター試料

3. 結果と考察

3.1 海況について

夏季(2013 年 9 月)および冬季(2014 年 1 月)における祝崎沖および久山港沖の水温、塩分および DO の鉛直分布を図 2 に示す。夏季の海況については、水温は祝崎沖では 26.7℃～28.1℃、久山港沖では 27.9℃～28.3℃の範囲であった。塩分は祝崎沖では 31.2～31.7、久山港沖では 30.3～31.2 の範囲であった。水温・塩分躍層は祝崎沖では水深 8m、久山港沖ではより浅い水深 0.3m あたりに見られた。久山港沖は河口に近く、周辺には下水処理場などもあることから、淡水流入の影響が表れていると考えられる。DO は躍層を境に変化し、祝崎沖では水深 8m まではおおよそ 6.7mg/L であったが、それ以深では徐々に低下し、水深 14m 付近ではおおよそ

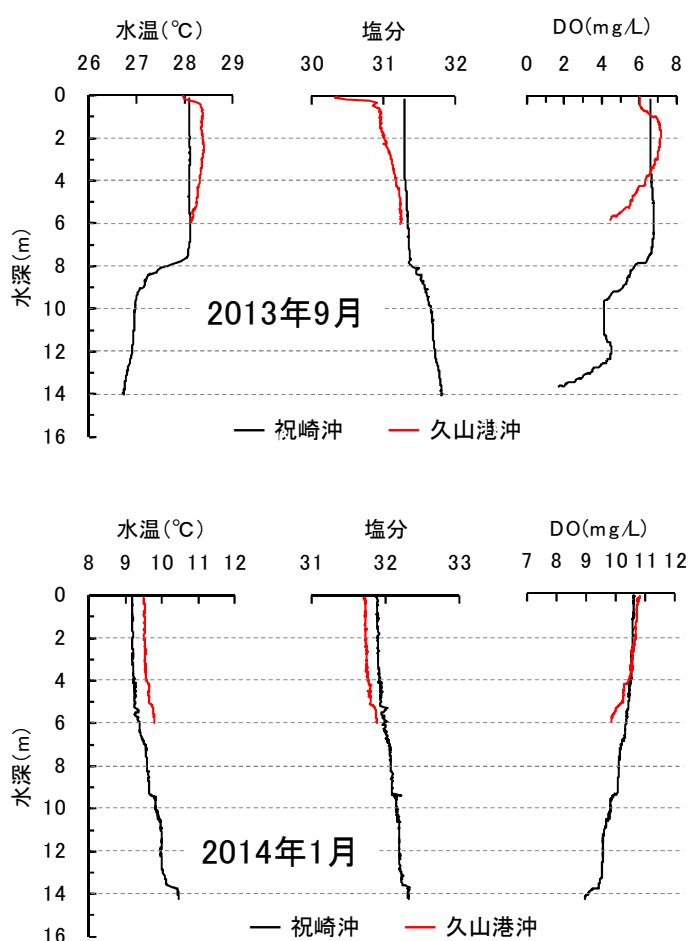


図 2 2013 年 9 月(上図)および 2014 年 1 月(下図)の祝崎沖および久山港沖における水温、塩分、および DO の鉛直分布

表 2 COD関連項目分析結果

年 月	調査点	採水層	塩 分	COD	D-COD	COD-DCOD	DOC+POC	DOC	POC	Chl a
2011年9月	祝崎沖	表 層	28.7	4.00	2.40	1.60	2.07	1.54	0.53	7.24
		中 層	30.0	2.80	2.00	0.80	1.91	1.66	0.25	3.04
		底 層	30.4	2.10	1.80	0.30	1.27	1.11	0.16	2.20
	久山港沖	表 層	28.8	3.30	2.50	0.80	2.15	1.58	0.57	8.97
		底 層	29.1	2.30	2.10	0.20	1.73	1.38	0.35	2.57
2012年2月	祝崎沖	表 層		2.21	2.01	0.20	1.05	1.05	失敗	3.90
		中 層		2.21	2.21	0.00	1.32	1.01	0.32	3.26
		底 層		2.21	1.81	0.40	1.73	1.03	0.70	3.20
	久山港沖	表 層		3.12	2.11	1.01	1.52	1.14	0.38	3.44
		底 層		2.11	1.71	0.40	1.27	0.94	0.34	4.61
2012年9月	祝崎沖	表 層	30.8	2.10	1.70	0.40	1.44	1.20	0.24	1.54
		中 層	30.9	3.21	3.01	0.20	1.43	1.14	0.30	2.33
		底 層	31.3	2.61	2.10	0.50	1.30	0.97	0.33	5.14
	久山港沖	表 層	30.2	3.41	2.71	0.70	1.92	1.55	0.37	4.82
		底 層	30.6	4.11	2.71	1.40	2.07	1.23	0.83	9.86
2013年2月	祝崎沖	表 層	30.7	1.81	1.61	0.20	1.08	0.86	0.22	3.48
		中 層	31.7	2.11	1.61	0.50	1.63	1.29	0.34	3.81
		底 層	32.1	1.71	1.40	0.30	1.22	0.96	0.27	2.68
	久山港沖	表 層	30.5	1.81	1.81	0.00	1.32	1.10	0.22	4.43
		底 層	31.3	2.51	1.10	1.41	1.45	0.94	0.50	4.67
2013年9月	祝崎沖	表 層	31.2	2.51	2.51	0.00	1.45	1.17	0.28	1.56
		中 層	31.3	2.91	2.51	0.40	1.54	1.30	0.23	1.81
		底 層	31.7	2.71	2.61	0.10	1.63	1.18	0.45	3.84
	久山港沖	表 層	30.3	3.21	3.11	0.10	1.89	1.50	0.39	3.46
		底 層	31.2	3.11	2.61	0.50	1.82	1.39	0.43	3.26
2014年1月	祝崎沖	表 層	31.8	2.20	1.80	0.40	1.45	1.10	0.35	3.20
		中 層	32.0	2.40	2.40	0.00	1.47	1.09	0.39	2.60
		底 層	32.2	2.20	1.70	0.50	1.31	1.06	0.25	2.77
	久山港沖	表 層	31.7	2.20	2.20	0.00	1.58	1.16	0.42	4.66
		底 層	31.7	2.40	2.30	0.10	1.49	1.12	0.37	4.34

2.0mg/L と貧酸素の状態であった。一方、久山港沖では DO は水深 1～2m 付近で最大値である 7.1mg/L となった後、徐々に低下し、水深 6m 付近でおよそ 4.4mg/L であった。

冬季の海況については水温は祝崎沖で 9.1℃～10.1℃、久山港沖で 9.5℃～9.7℃であった。塩分は祝崎沖で 31.7～32.2、久山港沖では 31.7～31.8 であり、水温、塩分ともに躍層は見られず、鉛直的に混合していた。DO は祝崎沖で 9.2～10.8mg/L、久山港沖で 10.0～10.8mg/L に達した。

3.2 COD 関連項目

COD 関連項目の分析結果を表 2 に示す。大概すると、各項目の数値は塩分を除き久山港沖のほうが祝崎沖よりもやや高い傾向が見られた。これは河川からの流入負荷が一因と思われる。

COD に対する D-COD の割合は 44～100%であり、平均で 84%に達した。観測を行った夏季と冬季に限定すれば、大村湾における COD の存在形態は溶存態の割合が高い。そこで、D-COD および DOC を中心に解析した。

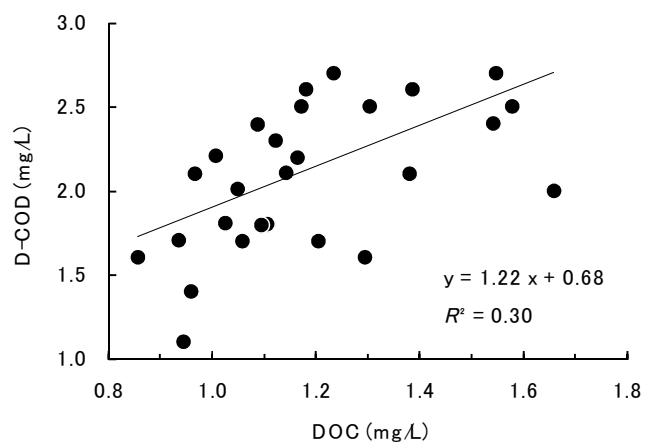


図 3 D-COD と DOC との関係。祝崎沖と久山港沖のデータを併せて回帰式を求めた。

D-COD と DOC との間には正の相関がみられたものの、寄与率は 30%であった(図 3)。この寄与率は本共同研究において茨城県の大津漁港($R^2=0.74$)や大洗港($R^2=0.64$)で測定された値と比較して非常に低い。

DOC は植物プランクトンの細胞外分泌物などの易分解性のものと難分解性のものに分けられる。本研究で得られた DOC と Chl. *a* との間には顕著な関係は見られなかった($R^2=0.06$ 、図 4)。東京湾では DOC と Chl. *a* との間に高い相関があったことが報告されて

いる(成田ら、2006)。また、広島湾では、ラフィド藻類 *Heterosigma akashiwo* の赤潮時に高い DOC 値が計測され、*H. akashiwo* の増殖による DOC の生産が推察されている(松山ら、1995)。今回行った調査では DOC に対する植物プランクトンの寄与率は 6%であったことから、夏季および冬季の大村湾における DOC の多くは難分解性である可能性がある。中村ら(2007)は大村湾の表層海水の生分解性試験を行い、採集直後と 64 日後の有機物量を比較した結果、60~70%が生分解されずに残存したことを明らかにした。中村らの報告は今回の調査結果と符合する。一般に過マンガン酸カリウムによる COD 測定は難分解性溶存有機物が酸化されにくいことから、大村湾においては存在が示唆された難分解性 DOC が D-COD に対する寄与率に影響しているのかもしれない。

4. まとめ

大村湾の祝崎沖および久山港沖の 2 定点において、平成 22 年度から 24 年度にかけて、夏季(9 月)と冬季(1 月または 2 月)に計 8 回観測を行うとともに現場海水の COD などの分析を行った。

観測結果から、大村湾では、①夏季および冬季の COD は溶存態の割合が高いこと、②DOC に対する Chl. *a* の寄与率は 6%であり、DOC の多くは難分解性である可能性があること、③D-COD に対する DOC の寄与率は他の海域と比較して低く、存在が示唆された難分解性 DOC が差異の要因の一つとなっている可能性があること、などが示された。

参考文献

- 1) 成田美穂, 荒川久幸, 下田 徹, 森永 勤 (2006) 東京湾における溶存態有機物と懸濁物による濁度の分布および各起因物質との関係, 東京海洋大学研究報告, 2, 35~46.
- 2) 長崎県環境部環境政策課 公共用水域及び地下水の水質測定結果.
- 3) 中村心一, 浦 伸孝, 本多 隆 (2007) 大村湾における溶存有機物実態調査, 長崎県環境保健研究センター所報, 53, 62~70.
- 4) 松山幸彦, 内田卓志, 本城凡夫 (1995) 広島湾沿岸域における溶存態有機炭素の濃度, 南西海区水産研究所研究報告, 28, 55~61.

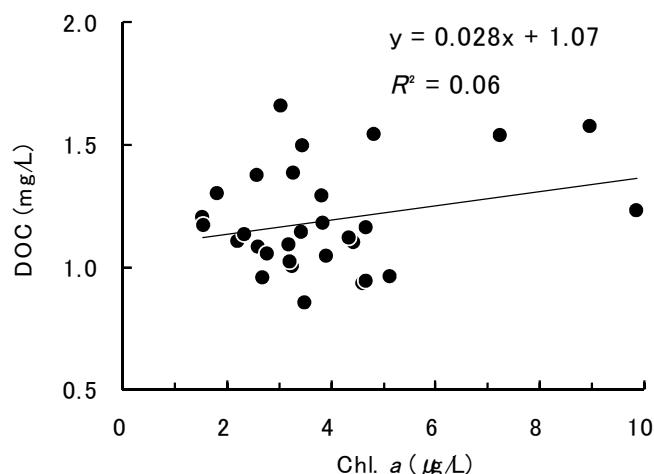


図 4 Chl. *a* と DOC との関係。祝崎沖と久山港沖のデータを併せて回帰式を求めた。

宮崎県沿岸海域における底層 DO の測定結果について

宮崎県衛生環境研究所 赤崎いずみ 三坂淳一 溝添光洋

河野通宏 坂元勇太 中村公生 黒木泰至

1 はじめに

沿岸海域における貧酸素水塊の発生は世界各地で起こっており、国内においても東京湾や大阪湾、大村湾、有明海など閉鎖性の強い海域で顕在化している。また、現在環境省においては、水域の下層の溶存酸素量（DO）を水質環境基準の生活環境項目として追加することが検討されている。

今回、宮崎県沿岸海域における貧酸素水塊発生状況を把握するため、貧酸素水塊が発生しやすい夏季において沿岸海域の底層 DO を測定した。測定は多項目水質計を使用し、DO と同時に水温や塩分等も測定することで鉛直方向の水質分布が把握できたのでその概要を報告する。

2 方法

2-1 調査日及び調査地点

調査日 平成 24 年 8 月 29 日

調査地点(図 1) ①五ヶ瀬川導流堤東 750m

②沖田川河口東 750m

③赤水湾口

④土々呂湾央

2-2 使用機器

多項目水質計 Haydrolab DS-5

(国立環境研究所から借用)

2-3 調査項目

水深、水温、塩分、DO、pH、クロロフィル a

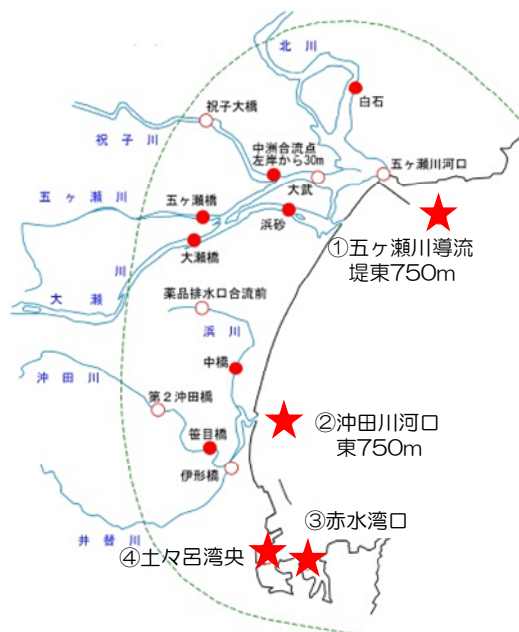


図 1 調査地点

3 結果及び考察

3-1 DO の測定結果

4 地点の DO の鉛直分布を図 2 に示す。①五ヶ瀬川導流堤東 750m は、表層 DO が 8.0mg/L で、水深 2m まで徐々に減少し、水深 2m で 6.7mg/L であった。水深 2m 以降は水深 12m 付近まではほぼ一定で、12m 付近で急に 0.3mg/L 程度減少し、それ以降緩やかに減少し水深 20m では 6.1mg/L であった。なお、この地点の水深は約 28m であったが、潮流が速かったためケーブルが流され、水深 20m の地点までしか測定できなかった。②沖田川河口東 750m は、表層 DO が 8.0mg/L で、水深 4m 付近まで徐々に減少し、水深 4m で 7.0mg/L であった。水深 4m 以降は水深 10m 付近まではほぼ一定で、それ以降緩やかに減少し、底層の水深 18.5m では 6.3mg/L であった。③赤水湾口は、表層 DO が 8.4mg/L で、水深 1m で 7.6mg/L となり、水深 1m 以降は徐々に減少し、底層の

水深 6m では 6.4mg/L であった。④土々呂湾央は、表層 DO が 7.4mg/L で、水深が下がるにつれ徐々に減少し、底層の水深 4.5m では 6.0mg/L であった。

4 地点とも、表層 DO は 8mg/L 程度で、水深が下がるにつれ DO の低下がみられ、最も低い DO が 6mg/L 程度であった。貧酸素とする DO の明確な定義はないものの、2mg/L～3mg/L としている例がよくみられる。また、魚類の生息に影響を与える DO を 5mg/L 程度としている例もみられる。今回の 4 地点の DO 測定結果では、最も低い DO が 6mg/L 程度で、いずれの定義と比較しても貧酸素状態は確認されなかった。

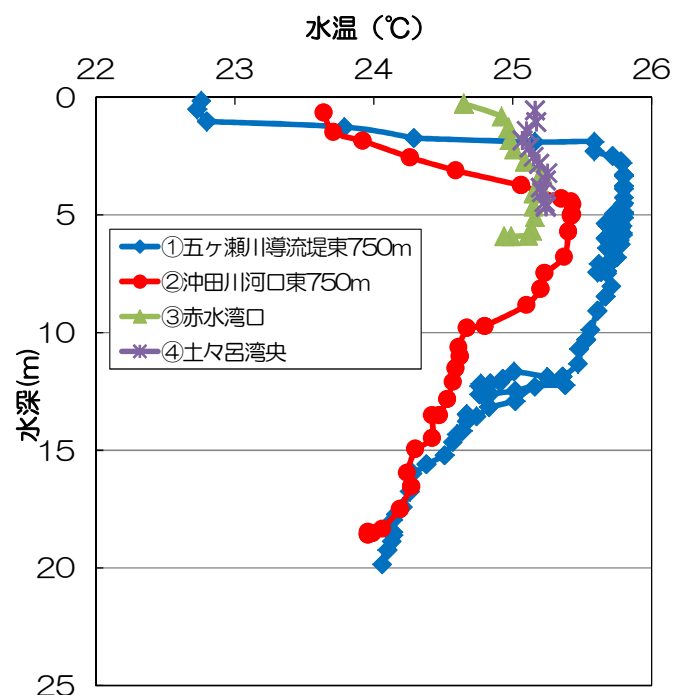
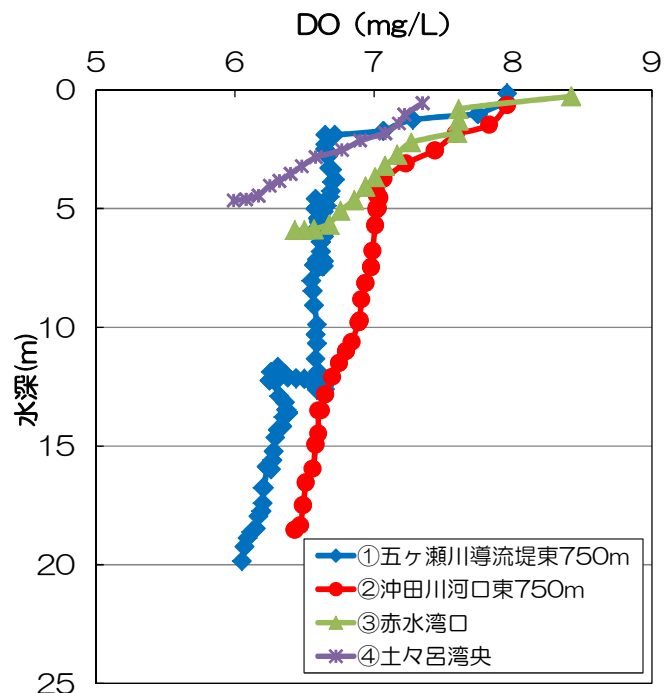
3-2 水温、塩分、pH の測定結果

4 地点の水温の鉛直分布を図 3 に示す。

①五ヶ瀬川導流堤東 750m は、表層水温が 22.7℃で、水深 2m 付近まで徐々に高くなり水深 2m で 25.6℃であった。それ以降は、水深 8m 付近まではほぼ一定で、8m 以降緩やかに低下し、12m 付近で急に約 0.5℃低下した。それ以降徐々に低下し、水深 20m では 24.1℃であった。②沖田川河口東 750m は、表層水温が 23.6℃で、水深 5m まで徐々に高くなり水深 5m で 25.4℃であった。それ以降は徐々に低くなり、約 10m 付近で 24.6℃であった。それ以降についてもゆるやかながら水温は低下し、底層の水深 18.5m では水温 24.0℃であった。③赤水湾口は、表層水温が 24.6℃で、水深 3m 付近まで徐々に高くなり、水深 3m で 25.2℃であった。

それ以降底層の水深 6m までほぼ一定であった。④土々呂湾央は、表層から底層の水深約 4.5m まで、水温 25.1℃から 25.2℃とほぼ一定であった。

塩分の鉛直分布を図 4 に示す。①五ヶ瀬川導流堤東 750m は、表層塩分が 13.5 で、水深が下がるにつれ上昇し、水深 2m で 32.4 であった。水深 2m 以降は微かに上昇し、水深 20m で 33.1 で

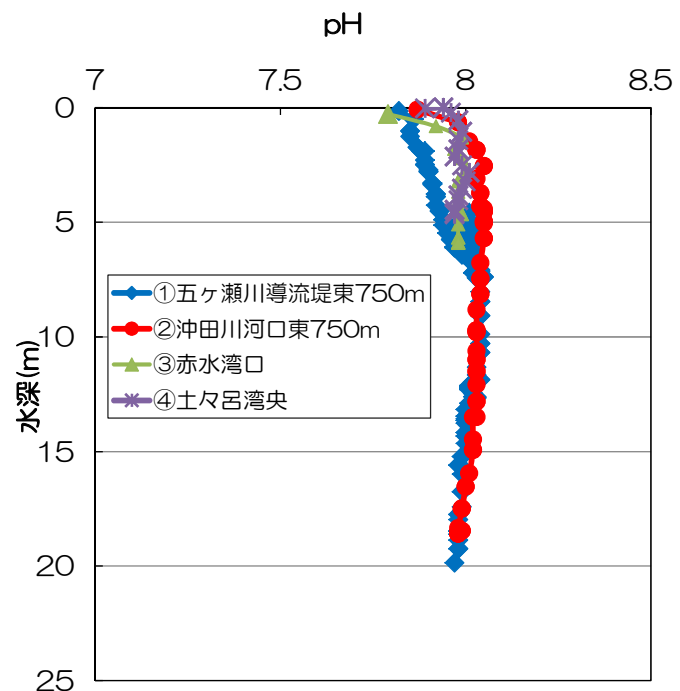
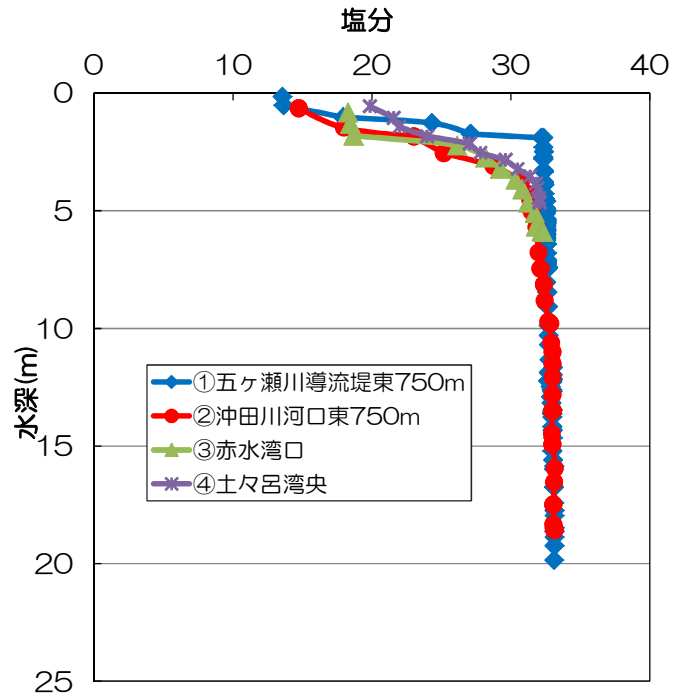


あった。②沖田川河口東 750m は、表層塩分が 14.8 で、水深 5m で 31.5 であった。水深 5m 以降は微かに上昇し、水深 10m から 15m まで 33.0、15m から底層の 18.5m まで 33.1 であった。③赤水湾口は、表層塩分が 18.5 で、水深 2m で 26.1 であった。水深 2m 以降は徐々に上昇し、底層の 6m では 32.3 であった。④土々呂湾央は、表層塩分が 20.5 で、水深が下がるにつれ徐々に上昇し、底層の 4.5m では 32.1 であった。

pH の鉛直分布を図 5 に示す。①五ヶ瀬川導流堤東 750m は、表層の pH は 7.8 で、水深が下がるにつれ徐々に上昇し水深 7m 付近で pH8.0 であった。それ以降水深 20m までほぼ一定であった。②沖田川河口東 750m は、表層の pH は 7.9 で、水深が下がるにつれ徐々に上昇し、水深 3m 付近で pH8.0 であった。それ以降底層の 18.5m までほぼ一定であった。③赤水湾口は、表層の pH は 7.8 で、水深が下がるにつれ徐々に上昇し、水深 1m で pH8.0 であった。それ以降、底層の 6m までほぼ一定であった。④土々呂湾央は、表層の pH は 7.9 で、水深が下がるにつれ徐々に上昇し、水深 1m で pH8.0 であった。それ以降、底層の 4.5m までほぼ一定であった。

水温、塩分及び pH の結果をみると、①五ヶ瀬川導流堤東 750m は、水深 2m 及び 12m 付近で大きく変動していた。塩分から、水深 2m 層までは陸水（河川水）がかなり入り込んでいると推察された。

また、水深 12m 付近で水温が大きく低下しており、夏季に表層と底層の水温差が大きくなる、いわゆる成層構造が形成されていると推察された。②沖田川河口東 750m は、水深 5m 及び 10m 付近で大きく変動していた。塩分から、水深 4～5m 層までは陸水（河川水）がかなり入り込んでいると推察された。また、水深 10m 付近で水温が大きく低下しており、この地点でも成層構造が形



成されていると推察された。③赤水湾口及び④土々呂湾央は、塩分から、水深 3m 層程度は陸水の影響を受けていると考えられた。一方、この 2 地点は水深が 5m 前後と浅く、表層から底層まで水温の大きな変動はみられなかった。

3-3 クロロフィル a 濃度の測定結果

4 地点のクロロフィル a 濃度の鉛直分布を図 6 に示す。①五ヶ瀬川導流堤東 750m は、表層濃度が約 $0.4 \mu\text{g/L}$ で、水深 2m で約 $0.7 \mu\text{g/L}$ 、水深 2m 以降は水深が下がるにつれゆるやかに上昇し、水深 20m では約 $0.8 \mu\text{g/L}$ であった。②沖田川河口東 750m は、表層濃度が約 $0.9 \mu\text{g/L}$ で、水深が下がるにつれ徐々に濃度が上昇し、水深 4.3m で $2.9 \mu\text{g/L}$ であった。それ以降は水深が下がるにつれ

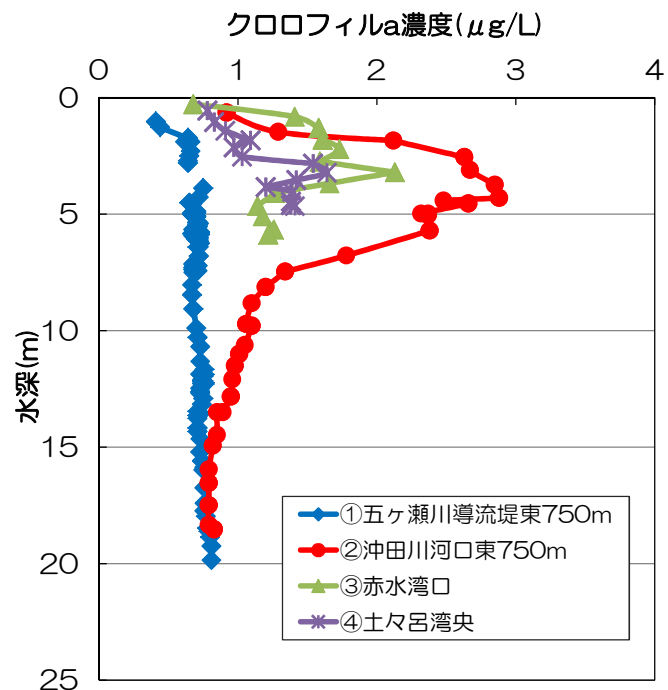
徐々に濃度が減少し、水深 10m で $1 \mu\text{g/L}$ であった。水深 10m 以降は緩やかに減少し、底層の水深 18.5m では約 $0.8 \mu\text{g/L}$ であった。③赤水湾口は、表層濃度が約 $0.7 \mu\text{g/L}$ で、水深が下がるにつれ徐々に濃度が上昇し、水深 3.2m で $2.1 \mu\text{g/L}$ であった。それ以降は水深が下がるに減少し、底層の水深 6m では $1.2 \mu\text{g/L}$ であった。④土々呂湾央は、表層濃度が約 $0.8 \mu\text{g/L}$ で、水深が下がるにつれ徐々に濃度が上昇し、水深 3.2m で $1.6 \mu\text{g/L}$ であった。それ以降濃度が減少し、底層の 4.5m では $1.4 \mu\text{g/L}$ であった。

4 地点のクロロフィル a 濃度を比較すると、①五ヶ瀬川導流堤東 750m が表層から底層まで低い濃度で推移しており、②沖田川河口東 750m が比較的高い濃度で検出される層が確認された。②沖田川河口東 750m は河川水からの窒素・リンの負荷が大きく、その影響により他地点と比較しクロロフィル a が高い濃度で検出されたと考えられた。

4 まとめ

宮崎県沿岸海域の底層 DO 等を多項目水質計で測定した結果、以下のことがわかった。

- ① 今回調査した 4 地点では、貧酸素水塊は確認されなかった。
- ② 調査した地点で、成層構造が形成されていると推察された。
- ③ クロロフィル a 濃度は、河川からの窒素・リンに影響を受け高くなると考えられた。



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
貴島宏，須納瀬正，福盛順子

1 はじめに

鹿児島湾は、南北約80km東西20kmの細長く入り組んだ内湾であり、桜島と鹿児島市街地を結ぶ水深40m、幅1.9kmの西桜島水道を隔てて、北方の湾奥部（最大水深206m）と南方の湾央・湾口部に大別される。鹿児島湾は、特に湾奥部において海水の交換が起こりにくく、赤潮が起こりやすいことや、水深30mまでの比較的浅い層において貧酸素水塊が発生しやすいことが知られている^{1, 2)}。

近年、東京湾や大阪湾などの閉鎖性海域において、水温成層が生じる夏季を中心に、底層に貧酸素水塊が発生し、水生生物の生育に好ましくない状況が発生している。そのため、環境省では水質汚濁に係る新規環境基準項目として「下層における溶存酸素」を導入することに向けた準備が進められている³⁾。そこで、本県では鹿児島湾内で貧酸素水塊の発生が懸念される地点を選定し、下層D0の状況を把握することを目的とした調査を実施している。

本研究では、下層のD0の低下が特に懸念される湾奥部において、下層D0調査を今後実施する地点の選定や時期等に関する知見を得ることを目的として、2011、2012年度に実施したD0等の鉛直観測結果について、近年における湾奥部の水質状況と併せて報告する。また、沿岸海域への温暖化影響評価の検証に資することを目的として設置した水温ロガーによる海水温連続観測について、この地区の年間を通じての水温特性を把握し、調査地点としての妥当性を検証するために、観測結果の解析及び常時監視における採水時水温との比較を行ったので報告する。

2 湾奥部基準点1, 2における水質状況について

2.1 調査方法

調査地点を図1に示す。水質測定結果は、鹿児島県ホームページで公表されているものを使用した⁴⁾。対象地点は湾奥部の中でも代表的な地点である基準点1, 2とし、2005年度から2012年度まで年6回奇数月に実施したCODの結果について解析した。基準点1は、垂水市牛根沖に位置する地点であり、近くに大きな流入河川は無く、水深0.5m層（表層）、20m層、50m層の調査が行われている。基準点2については、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り、水深0.5m層、2m層の調査が行われている。基準点1, 2については鹿児島湾海域（1）に属している（A類型：COD環境基準2.0mg/L以下）。

また、2011年度から2013年度までの夏季と冬季の年2回CODと関連する有機物指標の測定を行った。表層水についてはバケツを用いて採水し、採水後の水質の変化がないように保管したものをその日のうちにろ過・分注した。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の方に送付し、「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」で述べられた方法で一連の分析を行った。

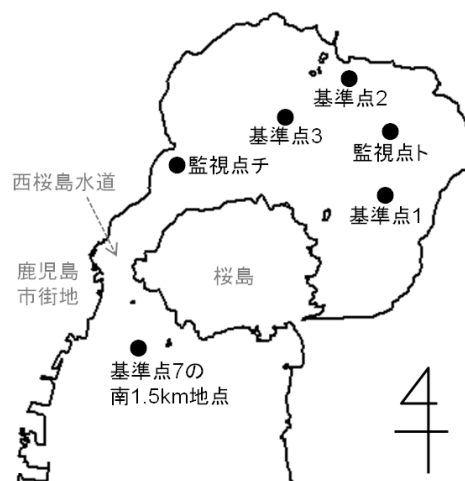


図1 調査地点図

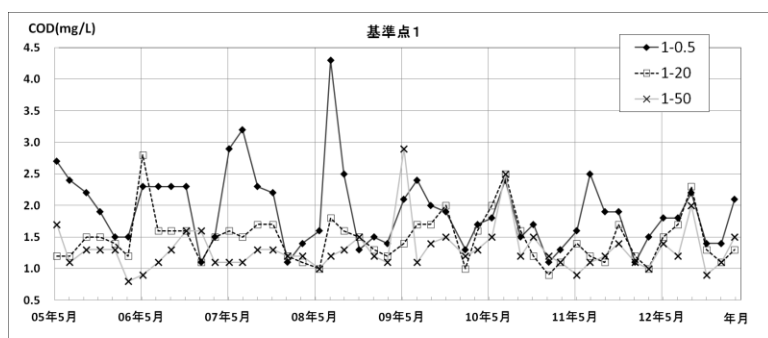


図2 基準点1におけるCODの推移

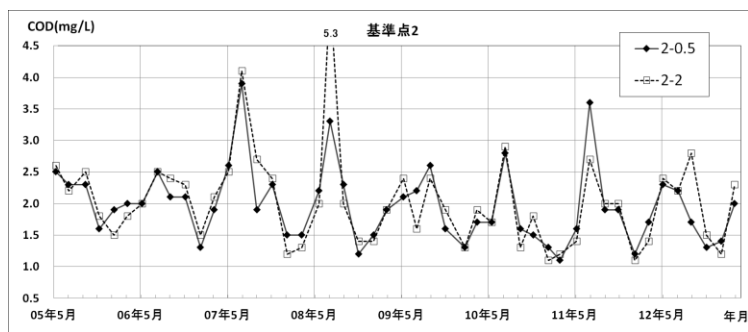


図3 基準点2におけるCODの推移

2. 2 常時監視結果の推移

図2, 3に2005年度から2012年度までの基準点1, 2におけるCODの推移を示す。基準点1, 2の表層については、7月に年間で最も高くなる傾向にあり、5月または9月に年間で2番目に高い数値となることが多いことがわかる。COD75%値については、1回/日の測定であるので全層の日間平均を算出し、年6回の調査で上から2番目の値が75%値となる。基準点1については、水深50mまで採水を行っているため全層の日間平均が低くなりやすく、水質測定結果⁴⁾によると期間を通してCOD75%値の環境基準を達成していた。一方、基準点2では、2010, 2011年度を除いて基準を超過していた。基準点2では、天降川から流入する淡水の影響を受けやすいためと考えられる。

2. 3 CODと関連する有機物項目について

基準点1, 2の表層において2011年度から2013年度までの夏季と冬季の年2回行った調査について、COD, DCOD (溶存性COD), DOC (溶存性有機炭素), POC (懸濁性有機炭素), DTN (溶存性全窒素), DTP (溶存性全りん) 等の関連項目測定結果を表1に示す。基準点1の2012年8月及び12月のDCODがCODよりも高くなっているが、今回採水した試料は分析機関ごとの測定値のばらつきが生じやすいとされるCODの分析を全国で統一的行うために冷凍処理を行っているため、この影響が生じたものと推察される。いずれの地点でも、CODに対するD-CODの割合、DOC+POCに対するDOCの割合が高くなっていたことから、CODと有機体炭素ともに溶存性のものが大部分を占めて

表1 2011～2013年の夏季と冬季の基準点1, 2におけるCODと関連項測定結果

地点名	採水年月日	COD (mg/L)	DCOD (mg/L)	COD-DCOD (mg/L)	DOC+POC (mg/L)	DOC (mg/L)	POC (mg/L)	Chl a (ug/L)	DTN (mg/L)	DTP (mg/L)	塩分 (%)
基準点1 (0.5m)	2011年7月29日	2.11	1.61	0.50	1.28	1.14	0.13	0.69	0.117	0.005	30.4
	2011年12月19日	1.00	1.00	0.00	0.94	0.84	0.11	1.27	0.223	0.021	33.1
	2012年8月8日	1.60	2.00	-0.40	1.67	1.42	0.25	0.85	0.173	0.006	30.2
	2012年12月14日	0.90	1.00	-0.10	0.88	0.77	0.11	2.90	0.228	0.026	33.5
	2013年9月9日	2.21	2.01	0.20	1.27	1.08	0.19	1.19	0.249	0.007	30.9
	2013年12月26日	1.30	1.10	0.20	1.03	0.89	0.13	2.13	0.189	0.024	33.7
基準点2 (0.5m)	2011年7月29日	2.11	1.31	0.80	1.15	0.82	0.33	0.93	0.782	0.041	28.2
	2011年12月19日	1.41	1.21	0.20	0.90	0.79	0.11	0.76	0.506	0.029	23.8
	2012年8月8日	1.20	1.10	0.10	1.08	0.87	0.21	0.89	0.873	0.041	28.3
	2012年12月14日	1.20	1.10	0.10	0.71	0.56	0.15	1.09	0.480	0.031	31.4
	2013年9月9日	2.11	2.11	0.00	1.08	0.87	0.20	1.00	0.402	0.011	17.1
	2013年12月26日	1.10	1.00	0.10	0.78	0.63	0.15	2.77	0.441	0.029	26.1

いたことがわかる。COD, DCOD, DOC, POCは夏季に高く冬季に低い傾向が見られ、淡水の影響を受けやすい基準点2よりも基準点1でこの傾向が顕著であった。一方、Chl a, DTN, DTPは基準点1において夏季よりも冬季が高い傾向にあった。この季節変化の要因の一つとして、詳細は次章で述べるが夏季には成層化して表層よりも水深約10m付近での内部生産が活発となり、冬季には鉛直混合により成層が崩壊し下層の栄養塩類が表層に供給された結果ではないかと推察されるが、今回の調査では表層のChl aに対するCOD及び有機体炭素の各項目との関連性は低いものであった。また、CODに関して本県における基準超過要因を検討するには、CODが最も高くなる7月に加えて5月から9月にかけてのCODと関連項目の詳細な分析を行うことが望ましいと考えられる。

3 D0等の鉛直観測結果について

3. 1 調査方法

3. 1. 1 調査地点

調査地点としては、図1に示す基準点1, 2, 3並びに監視点ト, チを設定した。また、公共用水域常時監視調査地点ではないものの湾中央部に位置する基準点7の南1.5km地点（水深約155m）を調査点として追加した。この地点は、監視点チ（水深約145m）の西桜島水道を隔てて反対側に位置する地点である。

3. 1. 2 調査時期

調査は2011年度と2012年度にそれぞれ年3回実施した。2011年度は基準点1（水深約100m）において2011年7月29日、10月7日、12月19日に実施した。2012年度には湾奥部最深部に近い監視点ト（水深約200m）において、2012年12月14日、2013年1月30日、3月7日に実施した。また、2013年1月30日には全地点での調査を行った。

3. 1. 3 調査項目

D0等の鉛直観測方法について、多項目水質計はHYDROLAB DataSonde5x（米国HACH社）を使用し、測定項目は水深、水温、D0、塩分、pH等である。多項目水質計は共同研究の一環として国立環境研究所より借用したものを利用した。

3. 2 結果及び考察

3. 2. 1 2011年度調査基準点1について

基準点1において2011年7月29日、10月7日、12月19日に実施した調査結果について、水温、塩分、D0の鉛直分布を図4-1、4-2、4-3に示す。図から、基準点1の各調査日における水質状況について考察すると以下ようになる。

7月29日においては、表層から水深20mまでが高温・低塩分となっており、表層と水深20m以深の層とで成層化していたことが窺える。水深10m付近にはD0の上昇が見られ、植物プランクトンによる光合成がこの層で活発に行われているものと考えられる。水深20m以深ではD0が約5～6mg/Lで推移していた。東京湾などでは成層化が激しい夏季に下層のD0が低下することが知られているが、鹿児島湾においても表層からD0の供給が少なくなる水深20m以深の層でD0が低下することが予想されたが、実際には底層までのD0が約5mg/L以上と豊富な状態にあることがわかった。

気温の低下に伴い鉛直混合の始まる時期にあたる10月7日では、表層から水深20mまでの水温は低下していたが、水深20m以深では7月29日より水温が上昇していた。D0は表層のみ7mg/Lと高かったが、表層以深では7月29日と比較してD0が低下しており、水深20～40mではD0が約4mg/L

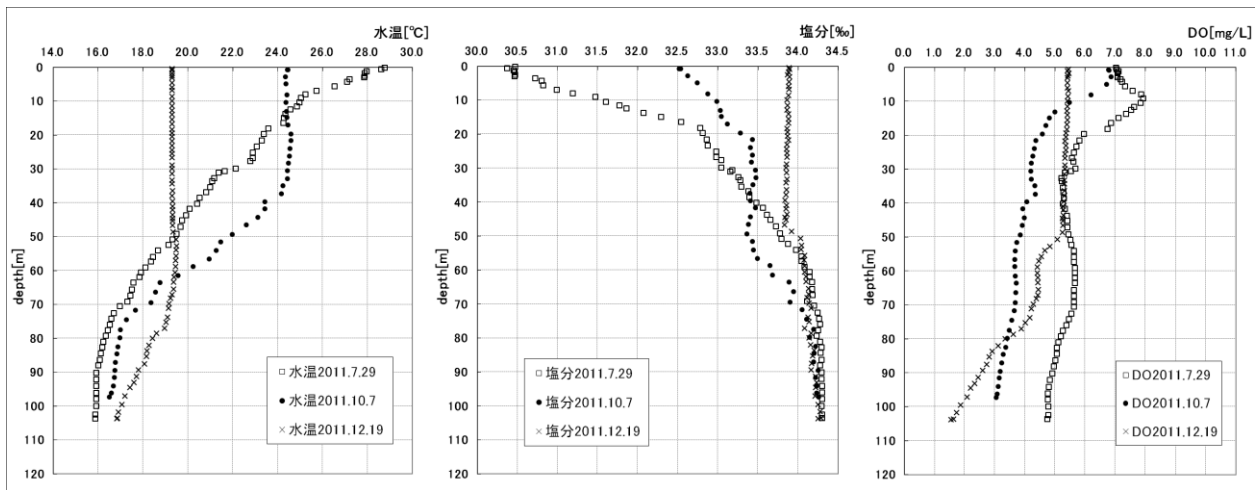


図4-1 基準点1における水温鉛直分布 図4-2 基準点1における塩分鉛直分布 図4-3 基準点1におけるD0鉛直分布

とこの層では3回の調査のうち最も低い値となっていた。この結果は、この時期に水深20m付近の比較的浅い層にD0が4mg/L付近とやや低い水塊が発生することを示唆しており、例年9、10月に発表される湾奥部の貧酸素情報²⁾とも一致していた。底層まではD0が徐々に低下しており、底層でD0が約3mg/Lとなっていた。

12月19日では、表層から水深50mまでの水温、塩分及びD0が一様になっていることから、表層から水深50mまでの層で鉛直循環が生じていたことが推察される。水深50m以深での水温については10月7日よりも上昇し、D0については水深50～80mまで上昇、水深80m以深では低下していた。水深50～80mまでの層では、鉛直混合による影響を受けてD0が上昇したと考えられるが、水深80m以深の層では、鉛直混合による影響よりも微生物等によるD0の消費が上回り、底層のD0が2mg/L以下に低下したものと推察される。今回の調査により、水深の深い鹿児島湾の湾奥部では底層付近のD0は夏季（7月）よりも冬季（12月）に最も低くなることが明らかとなった。

3. 2. 2 2012年度調査監視点トについて

前項により、湾奥部の底層付近のD0は冬季（12月）に低くなることがわかったが、2011年度には気温が年間で最も低くなる晩冬季（1～2月）におけるD0等の状況を把握することができなかったため、2012年度の冬季～晩冬季に計3回の調査を実施した。湾奥部の中でも代表的な地点である基準点1と鉛直観測結果がほぼ同様⁵⁾であった監視点トにおいて、2012年12月14日、2013

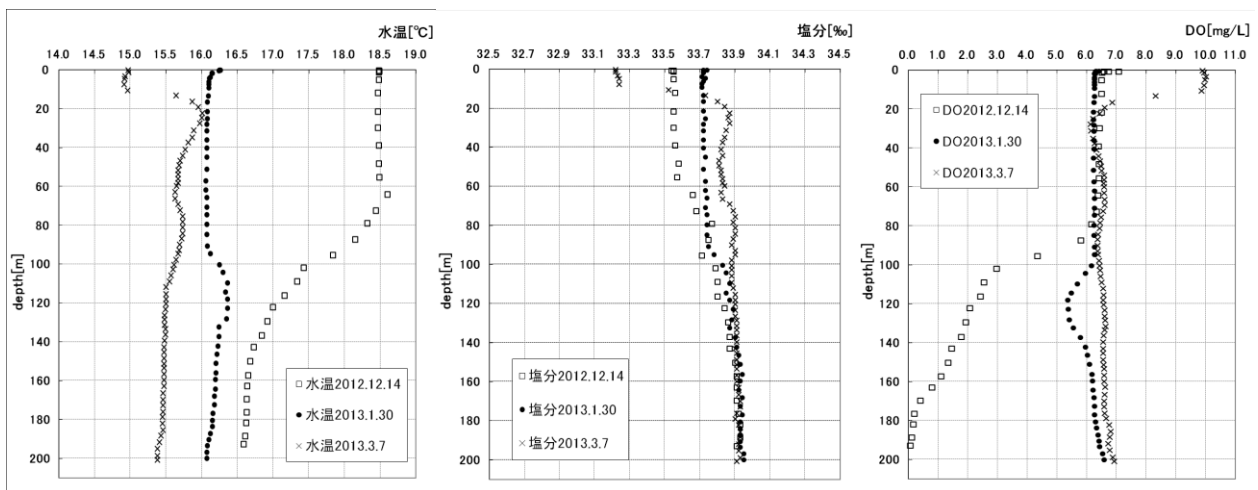


図5-1 監視点トにおける水温鉛直分布 図5-2 監視点トにおける塩分鉛直分布 図5-3 監視点トにおけるD0鉛直分布

年1月30日、3月7日に実施した調査結果について水温、塩分、D0の鉛直分布を図5-1、5-2、5-3に示す。図から、監視点トの各調査日における水質状況について考察すると以下ようになる。

12月14日には、表層から水深60m付近までの水温、塩分、D0がほぼ一様になっていたことから、この層まで鉛直循環が生じているものの、水深90m以深ではD0が減少し、水深180mから底層では無酸素状態となっていた。1月30日には鉛直循環が水深90m付近まで達しているものの、水深100～120m付近では水温が上昇、D0が減少しており、120m以深で再び水温が低下、D0が上昇するという特徴的な現象が見られた。さらに、底層のD0が12月14日から大幅に回復し、表層よりも高くなっていた。鉛直混合によるD0の供給や水温の低下は浅いところから深いところへ徐々に進行するので、このことについて鉛直混合だけでは説明が難しく、水平方向の海水の大きな動きがあることが予想されるが、詳細については次項で述べる。3月7日では、表層付近の水温、塩分が低く、D0が過飽和になっていることから降雨や河川から流入した淡水、もしくはその影響を受けて植物プランクトンなどが増殖し光合成が活発に行われていたものと推察される。1月30日と比較して、水深100m以深での水温が大きく低下し、D0がわずかに上昇していることから、3月7日までの間にも水深100m以深で水平方向の海水の動きが生じている可能性が示唆される。

3. 2. 3 2012年度複数地点について

前項にて湾奥部の底層付近には、12月から3月にかけて水平方向の海水の動きが生じている可能性が示唆されたが、湾奥部の全体的な水質の状況を調査するために1月30日に基準点1、2、3、監視点チ、ト、基準点7の南1.5km地点にて実施した調査結果について図6-1、6-2、6-3に示す。

まず、水温について、湾奥部の多くの地点で水深100m前後をピークに水温のわずかな上昇が見られ、それ以深で再び水温が低下していた。湾奥部の中でもより奥側に位置する監視点トでは水温の上昇が水深120m付近で見られた。湾奥部の中央に位置する基準点2や3では水温の上昇が水深90～100mをピークに見られ、監視点トよりも浅い層から減少していた。底層の水温は、水深の深い基準点3や監視点ト、チで表層以下になっており、湾中央部に近い監視点チが最も低くなっていた。これに対して、湾中央部に位置する基準点7の南1.5km地点では水深100m前後での水温の特徴的な上昇は見られず、表層から底層まで湾奥部よりも低い温度でほぼ一様であった。

塩分については、基準点1や監視点トでは表層から水深100m付近まで33.7‰で一様であり、水深120m以深では約33.9‰となっていた。また、基準点3や監視点チでは水深90m以深で約33.9‰になり、底層でのみわずかに上昇していた。一方、基準点7の南1.5km地点では、全層にわたり湾奥部よりも高い値となっていた。

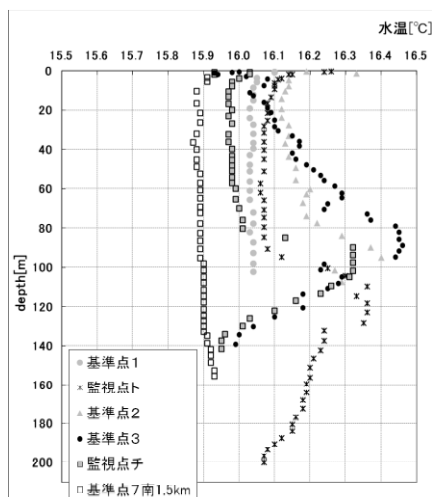


図6-1 1月30日における水温鉛直分布

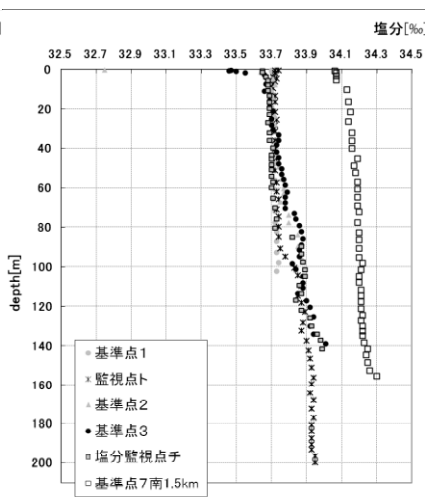


図6-2 1月30日における塩分鉛直分布

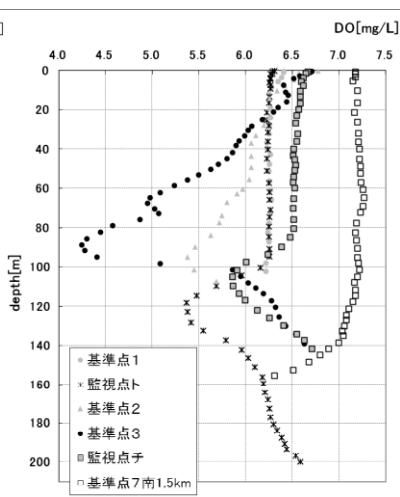


図6-3 1月30日におけるD0鉛直分布

D0については、湾奥部の多くの地点で水深100m前後をピークにD0の特徴的な減少が見られた。基準点1や監視点トでは表層から水深100mまでのD0が一様になっており、監視点トでは前節で述べたように水深120m付近で減少が見られ、基準点2や3、監視点チにおいては、D0の減少のピークが水深90～100mにあり、監視点トよりも浅い層での減少が見られた。これらの中層付近での最も減少したD0の値は、基準点3で最も低くなっており、基準点2及び監視点トでも大きく低下していた。中層から底層まではD0が増加し、基準点3や監視点ト、チでは底層のD0が表層以上の濃度にまでなっていた。これに対して、基準点7の南1.5km地点では、表層から水深130m付近まで約7.2mg/Lと湾奥部よりも高い値で一様になっており、底層でのみ減少していた。

以上のことから、1月30日における湾奥部の海水構造は、地点によって層の深度が異なるものの表層、中層、底層に大きく分けられる。表層の海水は、比較的低温・低塩分・比較的高D0になっており、監視点トを例にとると、水温・塩分・D0が一様になっていた水深90mまでである。他の地点では、表層水は監視点トよりも浅い層にあると考えられる。中層については、表層、底層よりも水温が上昇し、D0が減少するという特徴的な挙動を示していた層である。湾奥部でも中央に位置する基準点3においてこの特徴が顕著に見られた。底層については、水深の深い基準点3や監視点ト、チの底層で見られたように、表層以下の水温、高塩分、表層以上のD0となっていた層である。

前項でも述べたが、湾奥部の1月30日における中層から底層における特徴的な海水構造は鉛直循環だけでは説明がつかず、底層付近での水平方向の海水の大きな動きがあることが予想される。ここで、基準点7の南1.5km地点では全層にわたって湾奥部よりも冷たく、塩分とD0が高くなっていた。湾奥部の範囲内では、比重が大きくD0を豊富に含んだ海水は湾央部にのみ由来するため、湾央部の海水が水深40mの西桜島水道を経て、湾奥部の底層を這うように流入しているものと考えられる。このことは高橋⁶⁾が、湿度の少ない冬期において湾奥部の海底に西桜島水道の下層から海水が流入すると報告していることと一致していた。前項により、湾奥部最深部付近の監視点トにおける底層D0が12月14日の無酸素状態から、1月30日には6.6mg/Lに上昇し、3月7日には6.9mg/Lとさらに上昇していた。このことから、底層流入は12月から1月にかけて起こり始め、3月までの間に湾奥部の中層～底層の密度差が小さくなるまで継続して生じるものと推察される。

さらに、1月30日の湾奥部の中層において、多くの地点で水温の上昇、D0の低下が見られたのは、12月に湾奥部の中層から底層にあった海水が、底層に流入してきた湾央部の海水に押し上げられて上昇したことによると推察される。湾奥部の中央に位置する基準点3や北側の基準点2では、監視点トよりも水深の浅い層からこの現象が見られ、特に基準点3では顕著であったことから、中層水が湾奥部で反時計回りの動きをしている可能性が考えられるが、この時期の湾奥部の中層以深では複雑な海水の動きがあり、気温や海水温、気象条件等によってもその状況が変わってくるので、今後の検討が必要である。

今回の調査により、水深の深い湾奥部の底層付近のD0は12月頃に最も低下することが明らかとなった。下層D0は水生生物の生息域や再生産の場の確保のために基準が設定されるので、複雑な海底の形状を有する湾奥部の水生生物の生息域や再生産の状況に応じては、より浅い層に基準が設定されることも考えられる。前項により、湾奥部の水深20～40mのD0は10月頃に最も低下することを考慮すると、今後湾奥部の基準点において下層D0調査を実施するのは、10～12月頃を中心とするのが望ましいと考えられる。

従来の常時監視調査では、採水水深が湾奥部で最も多い基準点3でも表層、20m層、65m層、130m層の計4層で、採水水深が最も深い監視点トでも表層、75m層、150m層となっており、採水間隔も2か月に1回のみである。今回の調査により、これまで間欠的に測定されてきた常時監視調

査結果では把握が難しい海水の動きの一部について考察することができた。

4 水温ロガーによる海水温観測結果について

4. 1 調査方法

図7に鹿児島市鴨池地区に設置した水温ロガーの設置イメージを示す。水温ロガーの設置状況は以下のとおりである。

設置場所：鹿児島市鴨池海釣り公園歩道橋脚

観測水深：水深約0.5mの表層，水深約20mの底層（海底より約1m）

観測期間：2011年1月1日～2011年12月31日

観測頻度：毎正時及び30分後

なお、2011年7月17日8時30分から7月20日16時30分までは台風6号のため水温ロガーを回収した。海水温との比較用として用いた観測期間における気温データは、気象庁で公表されている鹿児島地方気象台のデータ⁷⁾を使用した。

ロガー水温と比較した常時監視の採水時水温調査地点は、図8に示す鹿児島湾海域（1）基準点8，13，監視点ハとし、採水時にはアルコール温度計を用いて水温を測定した。なお、常時監視の採水時刻と水温ロガーの記録時刻が異なる場合は、差が15分未満となる水温ロガーの記録時刻の値を採用した。

4. 2 海水温連続観測結果について

2011年1月1日0時00分から2011年12月31日23時30分までに鹿児島市鴨池地区において実施した海水温連続観測結果を図9に示す。以下に2011年の年間変動について大まかな傾向を述べる。

気温が年間で最も低くなる1月には、海水温は低下傾向にあり、気温が暖まり始める2月から3月にかけて表層及び底層の水温が年間で最も低くなっていた。2月3月には、暖かい海水の流入と考えられる海水温の上昇が数回見られたが、しばらくして元の温度に戻っていた。4月になると海水温が上昇し始め、5月から6月には気温の上昇や日照などにより表層水温から上昇していき、底層との温度差がはっきり見られるようになっていた。この温度差は7月にピークを迎え、最大で一日の温度差が約7℃まで広がっていた。7月後半から8月にかけては表層水温が約28℃と最も高くなっていたが、底層水温は表層よりも一月ほど遅れて8月後半～9月に約25℃で最も高くなっていた。9月下旬からは気温の低下とともに、表層も底層水温もほぼ同じになり12月まで徐々に低下していた。水温ロガーによる海水温連続観測により表層から水深20mまでにおける成層の成立及び消滅時期を特定することができた。

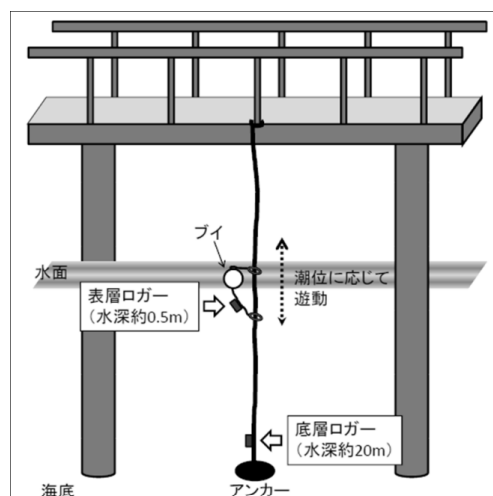


図7 水温ロガー設置イメージ

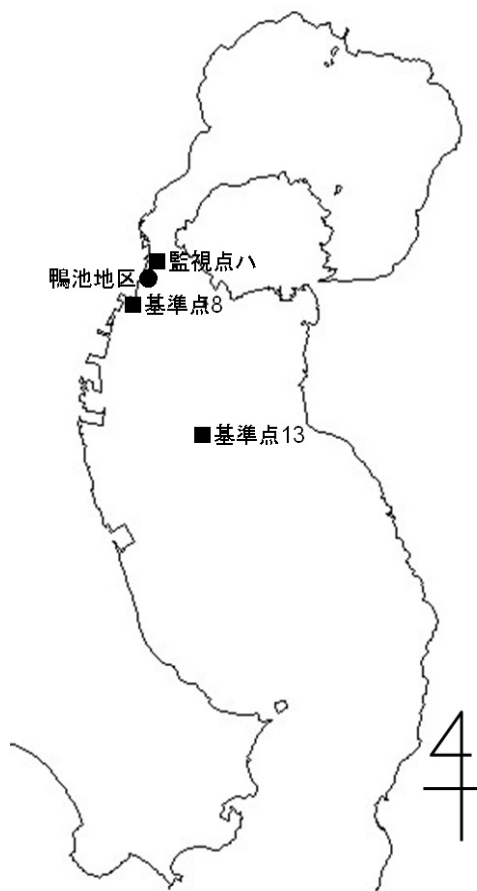


図8 ロガー設置場所及び比較した常時監視の調査地点

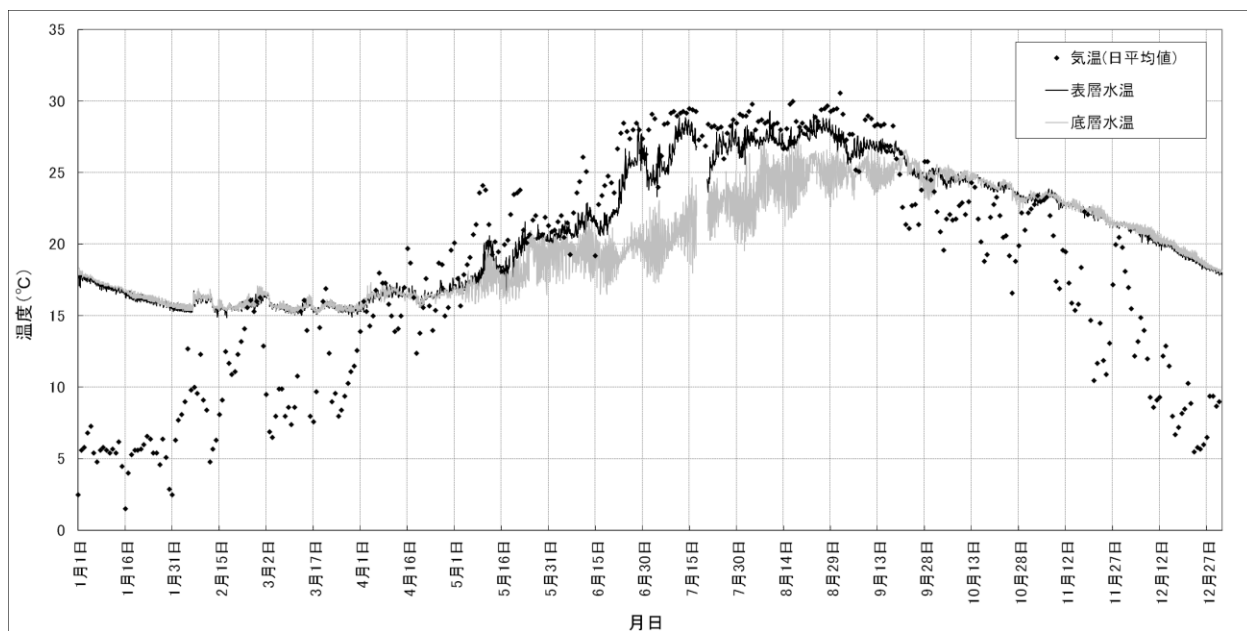


図9 2011年の海水温連続観測結果

3. 2. 2 常時監視調査地点との比較

水温ロガーによる海水温の観測結果と、監視点ハ-表層，基準点8-表層，基準点13-表層における採水時測定水温，気温の観測結果をそれぞれ図10～12に示す。

監視点ハ-表層について，ロガー水温と採水時水温は3，7，9，11月でおおむね一致しているが，1，5月には1.5℃以上の差が見られ，採水時水温との水温差の絶対値の平均値は，年6回の調査で0.88℃であった。基準点8-表層については，5月を除く月でロガー水温と採水時水温がほぼ一致しており，水温差の絶対値の平均値は0.70℃であった。基準点13-表層では，5月を除く月でおおむね同様の値を示しており，水温差の絶対値の平均値は0.81℃であった。

採水時水温とロガー水温との差が生じた要因については，1月や5月は海水温と気温との差が大きく，いずれの地点でも採水時水温が気温の方向に上下していることから，採水後の気温による影響を受けている可能性が推察される。このことは，水温ロガーによる海水温連続観測が，常時監視における採水後の水温の変動を受けずに，正確に海水温を測定できる有用な手段であることを示唆している。また，鴨池地区に設置した水温ロガーの表層水温は，基準点8-表層と最も類似した値となっているが，周辺の調査点ともおおむね類似していたことから，常時監視で2か月おきに得られる周辺海域の水温データを補完するのに十分な地点であると考えられる。

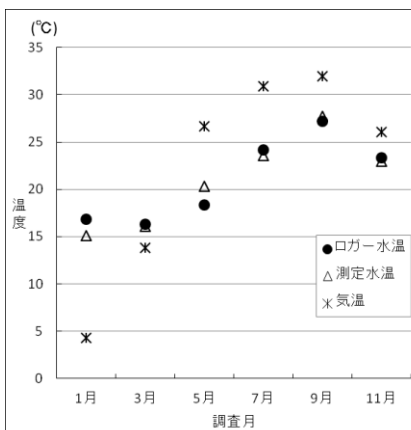


図10 監視点ハ-表層との比較

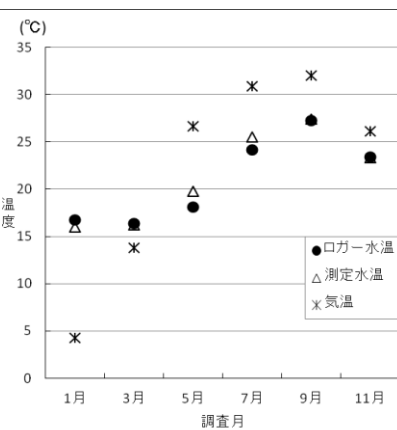


図11 基準点8-表層との比較

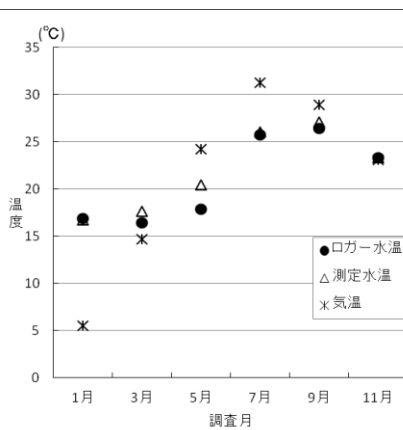


図12 基準点13-表層との比較

4 まとめ

湾奥部基準点1, 2の近年における水質状況を把握するため、常時監視結果の推移について解析を行った。基準点1, 2の表層については、年6回の調査のうち7月に年間で最も高くなり、5月または9月に年間で2番目に高い値、すなわちCOD75%値となる傾向にあった。2011年度～2013年度の夏季と冬季の年2回CODと関連する有機物指標の測定を行った結果、CODと有機体炭素ともに溶存性のものが大部分を占めていることがわかった。

2011, 2012年度に湾奥部にてD0等の鉛直観測を行った結果、水深の深い鹿児島湾の湾奥部では、水深20～40m付近のD0は、10月頃に約4mg/Lと年間で最も低くなることがわかった。また、底層付近のD0は12月頃に最も低くなり、水深約100mの基準点1で底層のD0が2mg/L以下に、水深約200mの監視点トの底層は無酸素状態となることが明らかとなった。さらに、湾奥部の底層付近のD0は1月から3月にかけて間に大幅に回復していた。これは湾中央部のD0を豊富に含んだ海水が、西桜島水道を経て湾奥部の底層を這うように流入することに起因すると推察された。今後、湾奥部の基準点において下層D0調査を実施するには、10～12月を中心とするのが望ましいと考えられた。

鹿児島市鴨池地区に設置した水温ロガーによる海水温連続観測について、観測結果の解析及び常時監視における採水時水温との比較を行った。表層及び底層の水温は2月から3月に年間で最も低くなっていた。表層水温は7月後半から8月にかけては最も高くなっていたのに対し、底層水温は表層よりも一月ほど遅れて8月後半～9月に最も高くなっていた。今回の水温ロガーによる海水温連続観測により表層から水深20mまでにおける成層の成立及び消滅時期を特定することが可能となった。また、今回鴨池地区に設置した水温ロガーは、常時監視における採水後の水温の変動を受けずに正確な海水温を測定できる有用な手段であり、常時監視で2か月おきに得られる水温データを補完するのに十分な地点であると考えられた。

参考文献

- 1) 鹿児島県水産技術開発センター；鹿児島湾赤潮警報No. 1 (2012)
- 2) 鹿児島県水産技術開発センター；鹿児島湾貧酸素情報No. 2 (2011)
- 3) 環境省水・大気環境局水環境課長通知；要測定指標の測定の実施について（協力依頼）（環水大水発第110324001号），2011年3月24日
- 4) 鹿児島県；<http://www.pref.kagoshima.jp/kurashi-kankyo/kankyo/suishitu/sokutei/index.html>
- 5) 貴島宏，坂元克之，他；鹿児島湾における水質調査に関する考察，鹿児島県環境保健センター所報，13，50～57（2012）
- 6) 高橋淳雄；内湾における流系の変動について，内湾における海水循環過程の研究 研究経過報告書，1～7（1978）
- 7) 気象庁；<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

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
－沖縄県那覇港における COD 等の水質調査結果－

沖縄県衛生環境研究所 天願 博紀

1. 初めに

沖縄県にある那覇港は、沖縄本島南部、那覇市と浦添市にまたがって位置し、沖縄県の物流、人流の中心的な拠点港湾として、沖縄県の経済社会活動を支えており、外国、本土と沖縄県内の宮古、八重山や周辺離島と連絡する沖縄で最も重要な港湾となっている¹⁾。

本調査では、那覇港海域において公共用水域の常時監視地点となっている那覇港沖、那覇港入口及び那覇港内の3地点について、多項目水質計での測定及びCOD等の水質調査を行った。

2. 方法

2-1. 調査方法

公共用水域常時監視におけるサンプリング時に乗船し、各サンプリング地点の透明度を測定して表層から採水し、多項目水質計(Hydrolab)を用いて表層から底層にかけて、水深毎の塩分、水温及びDOを測定した。採水したサンプルは、サンプリング当日中にろ過及び分注を行った。

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へ送付し、「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」に記載された方法で一連の分析を行った。

2-2. 調査地点

公共用水域常時監視地点である那覇港沖、那覇港入口及び那覇港内の3地点(図1)。

2-3. 調査時期

2011年8月及び2011年9月、2012年9月及び12月、2013年8月及び12月の計6回。

(2011年8月は那覇港内の1地点のみ調査を行った。)



図1. 調査地点位置

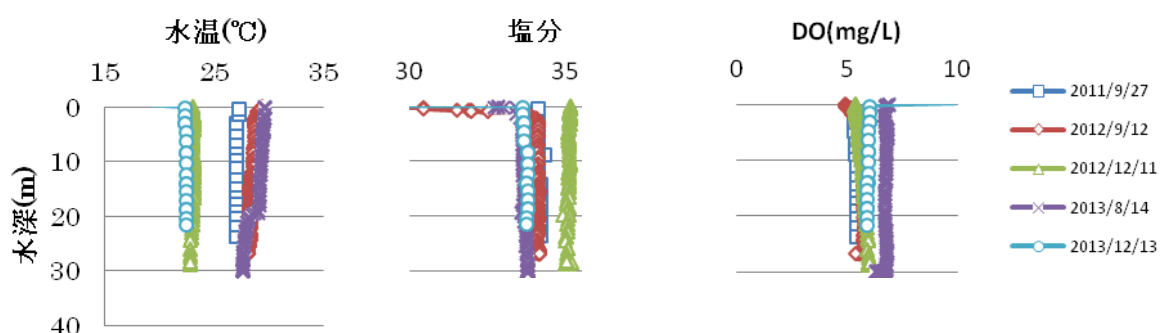
3. 結果及び考察

3-1. 塩分、水温及びDO

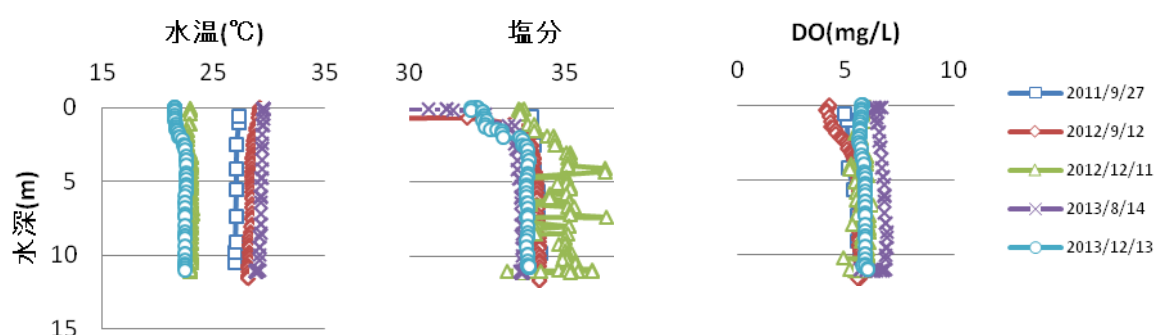
図2に那覇港沖、那覇港入口、那覇港内における塩分、水温及びDOの鉛直分布を示した。

2012年12月11日の那覇港入口及び那覇港内の塩分の変動について、水温やDOの変化は見られないので、測定時における塩分計の測定誤差だと思われる。那覇港沖、那覇港入口及び那覇港内の3地点において、顕著な水温又は塩分躍層は見られなかった。3地点とも底層DOの低下(貧酸素水塊)は見られなかった。

那覇港沖



那覇港入口



那覇港内

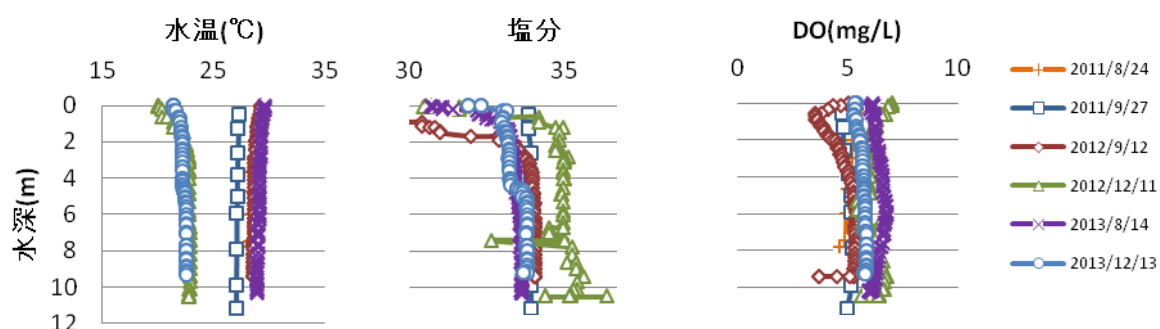


図 2. 那覇港沖、那覇港入口、那覇港内における塩分、水温及び DO の鉛直分布

3-2. COD 及び栄養塩類等

COD 及び栄養塩類等測定結果を表 1 に示す。2011 年 9 月 27 日の那覇港沖の COD と P-COD が異常値となっているのは、まだ原因は究明出来ていないが、冷凍した後に解凍して測定している為に、溶存成分の偏在化や植物プランクトンの細胞壁の崩壊等の影響を受けているのではないかと考えられた。なお、同時にサンプリングした那覇港沖の本県の COD 測定値は 0.5mg/L 未満となっている²⁾。

DTN 及び DTP について、夏季と冬季を比較すると、那覇港沖では冬季が高く、那覇港入口では夏季が高い傾向が見られる。那覇港内では特に季節による傾向は見られなかった。

表 1. COD 及び栄養塩類等測定結果（単位は Chl a のみ μ g/L、他は全て mg/L）

採水地点名	採水年月	COD	D-COD	P-COD	DOC	POC	DOC+POC	Chl a	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	DTN	PO ₄ -P	DTP	SiO ₂
那覇港沖	2011/9/27	異常値	1.61	異常値	1.65	0.78	2.42	16.42	0.082	0.021	0.053	0.421	0.044	0.067	0.68
	2012/9/12	1.60	1.10	0.50	1.42	0.13	1.55	0.64	0.011	0.001	0.015	0.164	0.001	0.010	0.17
	2012/12/11	1.70	1.60	0.10	1.77	0.22	1.99	0.57	0.040	0.029	1.348	1.647	0.051	0.072	1.21
	213/8/14	6.31	1.60	4.70	1.07	0.53	1.59	1.09	0.028	0.004	0.066	0.290	0.020	0.034	0.37
	2013/12/13	2.20	0.80	1.40	1.18	0.14	1.32	1.28	0.120	0.030	0.461	0.787	0.049	0.118	0.76
那覇港入口	2011/9/27	3.91	3.71	0.20	1.96	0.65	2.61	2.70	0.495	0.066	0.411	1.231	0.164	0.168	2.12
	2012/9/12	5.71	3.21	2.51	2.32	0.75	3.08	3.47	0.655	0.077	0.497	1.517	0.175	0.213	2.73
	2012/12/11	1.10	0.80	0.30	0.93	0.16	1.08	0.66	0.015	0.001	0.022	0.182	0.002	0.008	0.13
	213/8/14	2.80	1.90	0.90	1.41	0.37	1.79	0.69	0.155	0.026	1.449	1.815	0.067	0.070	1.10
	2013/12/13	2.60	1.10	1.50	0.98	0.63	1.60	0.86	0.205	0.020	0.195	0.582	0.034	0.052	1.18
那覇港内	2011/8/24	1.71	1.61	0.10	0.99	0.17	1.16	1.45	0.045	0.004	0.059	0.259	0.014	0.016	0.27
	2011/9/27	3.01	2.61	0.40	1.33	0.36	1.69	2.93	0.141	0.021	0.917	1.211	0.094	0.094	1.21
	2012/9/12	3.81	2.71	1.10	1.35	0.84	2.19	12.10	0.126	0.019	0.186	0.500	0.060	0.066	0.97
	2012/12/11	2.30	1.30	1.00	0.73	0.05	0.79	0.86	0.018	0.002	0.028	0.138	0.004	0.007	0.12
	213/8/14	2.00	1.70	0.30	0.99	0.18	1.17	0.98	0.174	0.032	0.194	0.518	0.049	0.048	0.71
	2013/12/13	1.90	1.70	0.20	1.03	0.26	1.29	1.41	0.197	0.040	0.259	0.590	0.073	0.074	0.95

※D-COD=溶存態COD、P-COD=懸濁態COD、DOC=溶存態有機炭素、POC=懸濁態有機炭素、DTN=溶存態全窒素、DTP=溶存態全磷

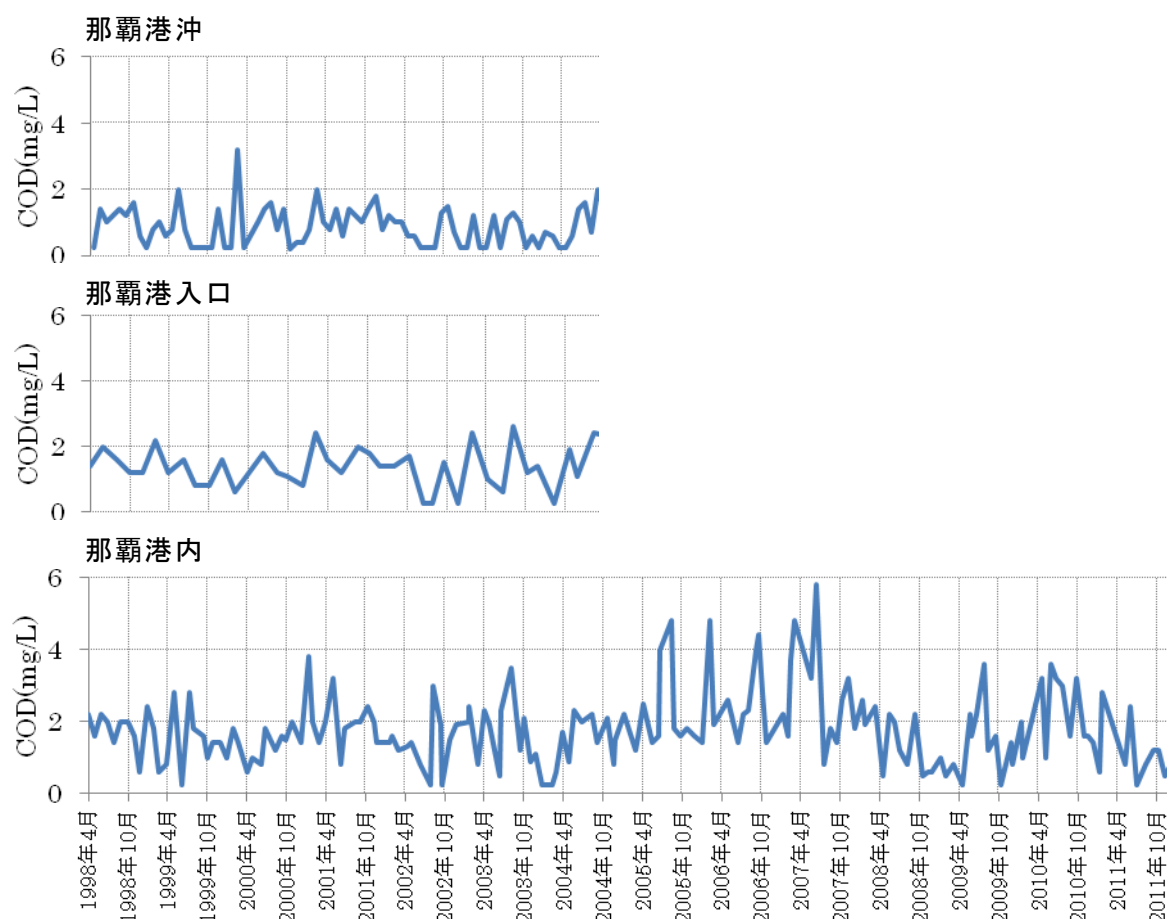


図 3. 那覇港沖、那覇港入口、那覇港内における COD 値の変遷

今回調査・採水を行った 3 地点における COD 値の変遷を図 3 に示す³⁾。図 3 の 4 月～9 月と 10 月～3 月の COD 値を比べると、3 地点とも概ね夏季（4 月～9 月）に高くなり冬季（10 月～3 月）に低くなる傾向にある。表 1 についても同様の結果となっている。

表 2. COD の平均値及び 75%値の変遷（単位は全て mg/L）

（類型の（ ）付きは補助測定点を表す。）

（類型別）内とは補助測定点と致す。

地 点 名	類型	年 度												
		基準値	12年度	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度	18年度	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度
那覇港沖	A		1.1	1.1	0.7	0.8	1.0	1.3	1.2	1.2	0.7	0.6	0.8	0.7
	2		1.4	1.4	0.7	1.0	1.4	1.3	1.5	1.8	0.5	0.6	1.2	0.6
那覇港入口	(A)		1.4	1.6	1.2	1.2	1.9	1.3	1.8	1.5	1.8	1.8	1.9	1.0
	2		1.8	1.8	1.7	1.4	2.3	1.2	2.6	1.4	2.4	2.0	2.4	1.2
那覇港内	A		1.6	1.8	1.5	1.5	1.7	2.4	2.8	2.6	1.1	1.6	2.2	1.0
	2		1.8	2.0	1.9	2.1	2.1	2.5	3.7	3.2	1.2	2.0	3.2	1.2

（数値の上段はCODの平均値、下段はCOD75%値、網掛けは基準値超過を示す。）

表 2 には 3 地点における COD の平均値と 75%値の変遷を示す³⁾。那覇港沖については基準値超過の年は無く、那覇港入口と那覇港内については基準値超過の年があった。那覇港内においては、平均でも基準値の 2mg/L を超過する年がある。

図 3 及び表 2 と今回の 3 地点の位置関係（図 1）より、那覇港内は陸域からの影響を一番受けやすく、那覇港沖は陸域からの影響を一番受けにくいと考えられるので、陸域からの影響によって COD 値が上昇していると考えられた。また、表 1 の結果より、3 地点まとめて P-COD と Chl a の関係を図 4 に、COD と DOC+POC の関係を図 5 に示す。図 4 より、P-COD と Chl a にはほぼ相関が無いので、P-COD の主な構成成分は植物プランクトンでは無いと考えられた。さらに図 5 より、COD 値への有機物の影響が示唆された。これらのことより、那覇港海域における COD の上昇は、海域における植物プランクトンの増殖によるものではなく、陸域からの有機物の影響であることが示唆された。

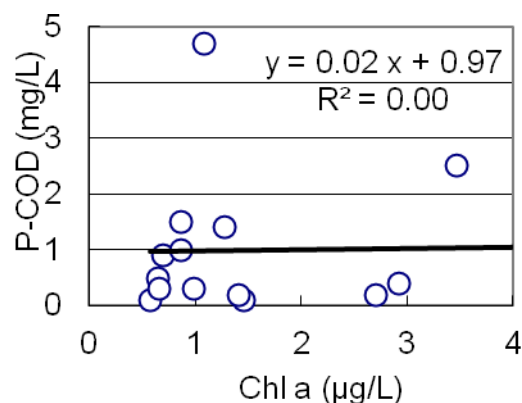


図 4. P-COD と Chl a の関係

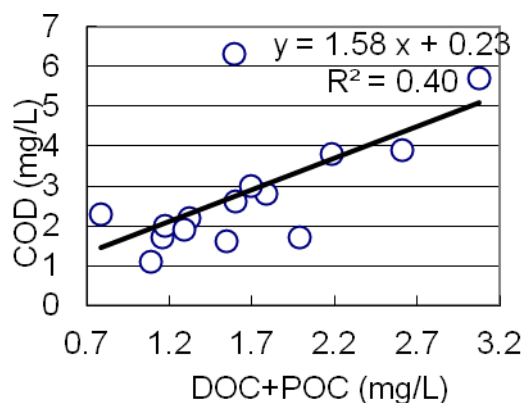


図 5. COD と DOC+POC の関係

5. 参考資料

1) 那覇港管理組合：那覇港要覧（平成 23/24 年度版）

<http://www.nahaport.jp/insatu/insatu.htm>

2) 沖縄県環境生活部：水質測定結果（平成 23 年度）

3) 沖縄県環境生活部：水質測定結果（1998 年度－2011 年度）

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
 独立行政法人 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	三浦和樹，福地信一
山形県環境科学研究所	武田圭右，沼澤聡明，西塚一茂，早坂 翔
新潟県保健環境科学研究所	高橋みや子，土田智宏，旗本尚樹
	齋藤辰善，笠原 貢，田村良三，鈴木美智子
新潟市衛生環境研究所	大野耕栄，立川正幸，北 弘美
	(※平成 24 年度から参加)
千葉県環境研究センター	横山智子，藤村葉子，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，石井裕一，和波一夫
川崎市公害研究所	岩渕美香，小林弘明，永山 恵
静岡県環境衛生科学研究所	後藤裕康，内山道春
名古屋市環境科学研究所	山神尚人，岡村祐里子，西 史江，長谷川絵理
	長谷川瞳 (※平成 23 年度のみ参加)
富山県環境科学センター	井上貴史，藤島裕典
石川県保健環境センター	安田能生弘，中村能則，亀井とし
京都府保健環境研究所	蒲 敏幸
地方独立行政法人大阪府環境農林水産総合研究所	
	小野純子，田下信行，小谷 恵
神戸市環境保健研究所	向井健悟
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，前川真徳
広島県立総合技術研究所保健環境センター	
	花岡雄哉，山本竜治
徳島県立保健製薬環境センター	村田武史，山田哲也
高知県環境研究センター	田嶋 誠，武市梨沙，西山泰彦
福岡市保健環境研究所	大平良一，野中研一，清水徹也，藤代敏行
長崎県環境保健研究センター	中村心一，粕谷智之
大分県衛生環境研究センター	中村千晴 (※平成 23 年度のみ参加)
宮崎県衛生環境研究所	赤崎いずみ，中村公生，三坂淳一，溝添光洋
鹿児島県環境保健センター	貴島 宏，坂元克行，尾辻裕一
沖縄県衛生環境研究所	天願博紀

客員研究員

統計数理研究所 柏木宣久

2. 成果発表

2.1 誌上発表

1. 環境科学課水質担当（2012）博多湾における貧酸素に関する調査結果 福岡市保健環境研究所報, 37, p112–115.
2. 環境科学課水質担当（2013）博多湾における貧酸素に関する調査結果 福岡市保健環境研究所報, 38, p103–107.
3. 貴島宏, 坂元克行, 尾辻裕一, 永井里央, 長井一文（2012）鹿児島湾における水質調査に関する考察 鹿児島県環境保健センター所報第 13 号, p50–57.
4. 石井裕一, 安藤晴夫, 山崎正夫, 和波一夫, 木瀬晴美, 牧秀明（2012）東京都内湾部における栄養塩類の空間分布, 東京都環境科学研究所年報, p24–30.
5. 貴島宏, 坂元克行, 尾辻裕一, 須納瀬正（2013）鹿児島湾湾奥部における水質調査に関する考察 鹿児島県環境保健センター所報第 14 号, p45–49.
6. 兵庫県環境研究センター水環境科（2014）海の適正な栄養管理のために エコひょうご 2014 春号 No.71, p10.
7. 環境科学課水質担当（2014）博多湾における貧酸素に関する調査結果 福岡市保健環境研究所報, 39, p118–120.

2.2 学会発表

1. 向井健悟、八木正博、川上史朗（2013）神戸海域における貧酸素水塊発生時の金属類を含めた物質動態（ポスター発表）第 47 回日本水環境学会年会同予稿/集, p574.
2. 貴島宏, 坂元克行, 尾辻裕一, 長井一文（2013）鹿児島湾における下層 DO 調査に関する考察第（ポスター発表）第 47 回水環境学会年会同予稿集, p572.
3. 貴島宏（2013）鹿児島湾湾奥部における下層 DO 調査に関する考察, 第 55 回鹿児島県公衆衛生学会
4. 牧秀明, 飯村晃, 二宮勝幸, 佐々木久雄（2013）地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との沿岸海域環境に係わる共同研究. 第 40 回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集, p78–79.
5. 安藤晴夫, 柏木宣久, 和波一夫, 石井裕一（2014）東京湾における底層 DO の長期変動傾向について（ポスター発表）第 48 回水環境学会年会同予稿集, p125.

2.3 その他の口頭発表等

1. 村田武史, 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, 徳島県立保健製薬環境センター学術会議（口頭発表, 2013 年 3 月）
2. 赤崎いずみ, 宮崎県沿岸海域における底層 DO 測定結果について（Ⅱ型共同研究）平成 25 年度宮崎県衛生環境研究所研究成果発表会（ポスター発表）