

地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究（Ⅱ型）

「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」

報告書

平成 26～28 年度

目 次

1. 研究背景と概要	1
2. 宮城県海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する 有機物項目について	3
3. 仙台湾沿岸における貧酸素水塊の発生状況について	9
4. 茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する 有機物項目について	18
5. 東京湾における栄養塩類濃度の推移（2003～2015 年度）（千葉県）	23
6. 東京都内湾部における貧酸素水塊発生状況の実態解明および赤潮・ 貧酸素水塊の実態調査（東京都）	35
7. 山形県沿岸海域における鉛直 DO 及び COD 関連項目測定の結果について	41
8. 新潟県東港における底層 DO の測定結果について（新潟県）	45
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）	50
10. 富山県沿岸海域	60
11. 石川県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について	67
12. 浜名湖「湖心」における貧酸素水塊の経年変化と 海域 BOD 測定の評価（静岡県）	72
13. 京都府の閉鎖性海域における水質調査	78
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（大阪湾）	85
15. 大阪湾における COD、DO の推移（2013～2015 年度）（兵庫県）	92
16. 徳島県沿岸海域における COD 関連項目の現状と傾向	94
17. 浦ノ内湾における底層 DO の測定結果と COD 関連項目について	100
18. 広島県海域公共用水域常時監視地点における COD 及び関連指標の季節変動について	110
19. 博多湾公共用水域調査地点における貧酸素調査と関連する有機物項目について	117
20. 長崎県大村湾湾奥部における COD に関連する有機物項目について	127
21. 宮崎県沿岸海域における COD、栄養塩類等について	134
22. 鹿児島湾湾奥部における水質調査結果について	140
23. 資料（研究実施組織，成果発表一覧）	147

研究背景と概要

1. はじめに

この報告書は平成 26 年度から 28 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）「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」で得られた成果を取りまとめたものである。

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

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

具体的には、平成 23～25 年に実施してきた II 型共同研究の終了課題の「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」においても実施してきた溶溶性・懸濁性有機炭素（DOC・POC）やクロロフィル a 等の COD・有機汚濁物質に関連する項目の測定を引き続き実施することに加えて、水塊中の有機物が分解されることにより生ずる貧酸素水塊形成への寄与、言い換えると DO を消費する要因である水塊中の有機物の性状（易・難分解性）を評価するための海域版生物化学的酸素要求量（BOD）測定法とその評価について本報告書では新たに検討を行った。

貧酸素水塊については、現在、新規環境基準項目として設定が検討されている底層の溶存酸素量（DO）測定のために前課題に引き続き多項目水質計を用いた測定を行うと共に、前課題で測定していなかったより多くの海域においても測定を行い、より広域の実態把握を行ってきた。

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

また過去から現在に至る公共用水域常時監視水質データから、栄養塩類と TN・TP 等の変遷について一部の閉鎖性海域において整理と解析を行った。

以上、全国の沿岸海域に共通し、水生生物生息場や水産資源にも大きな影響をおよぼす物質循環に関連する未測定・未解析の水質項目について情報を得て、貧酸素水塊軽減や適正な栄養塩状態を維持すべく「太く滑らかな」物質循環実現を目標とする里海管理上有益な知見を全国の沿岸海域で取得してきた。

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貸与し、こ

れまで日本海側では山形県、新潟県の沿岸海域と富山湾、久美浜湾・阿蘇海・宮津湾・舞鶴湾、博多湾、太平洋側では仙台湾・松島湾・女川湾・志津川湾・気仙沼湾、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、宮崎県沿岸部、東シナ海では大村湾、鹿児島湾の 20 以上の湾・沿岸海域で底層 DO の測定を行ったところ、13 ヶ所において底層 DO が 3 mg/L を下回る低・貧酸素水域が見付かった。

2.2 COD 関連項目の詳細分析

前課題に引き続き COD 関連項目を季節別に測定し、その内訳解明の検討を行うのと同時に、海域版 BOD 測定の試行を全国の海域 20 地点を対象にして行った。

その結果、ア）通常河川水等を対象にして行っている 5 日間放置ではなく 3 日間の放置で測定・評価が可能であること、イ）内部生産が高い夏季は冬季よりも高くなる傾向を示すこと、ウ）一部の海域では BOD が COD やクロロフィル a と正の相関を示すこと、エ）COD との正の相関を示す場合に BOD が外挿値でゼロ（0 mg/L）の時に COD は常に正の値（切片）を示すこと、オ）BOD は COD よりも測定値の幅（レンジ）が小さいこと、カ）沿岸近傍部の方が外洋域より高い傾向を示すこと（外洋域では値が低すぎて測定不能の場合もあり）、キ）溶存性の BOD が全 BOD に対して占める割合は小さく場合によっては測定不可能な場合があること、ク）人為起源の有機汚濁負荷が無く内部生産が僅少である外洋域でも何らかの値を示す COD よりも適切な評価が下せる有機汚濁指標となりうることが示された。

3. 今後の課題

本共同研究では、前課題から引き続き底層 DO の測定を対象とする海域を増やして行ってきたが、貧酸素水塊は時空間的変動が大きく、その生成頻度と規模の経年的な変化の評価のために、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必要であると考えられる。また水柱中の DO 消費に関わる有機物の質と量の評価のために、COD のみならず報告書で測定を試行した海域版 BOD の中長期の変遷の評価も併せて必要だと思われる。

栄養塩（窒素・りん）の質的な評価については、本報告書で詳細には触れていないが、次期新規継続課題では、既存の全窒素や硝酸態・亜硝酸態窒素の経年変化と共に、室内試験による採取した海水試料中の有機態の窒素の分解性・無機態窒素（栄養塩）の供給潜在性について行って検討を行う予定である。

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

2017 年 国立研究開発法人 国立環境研究所
地域環境研究センター 牧 秀明

宮城県海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について

宮城県保健環境センター 水環境部 佐藤優 福地信一 牧秀明*¹ 佐藤重人

*¹ 国立環境研究所

1 はじめに

前 II 型共同研究「沿岸海域環境の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」に引き続き、「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」(平成 26~28 年度)に宮城県保健環境センターも参画し、全国的に見られる沿岸海域における COD 漸増傾向を解明すべく、県中央部松島湾の 2 地点において、夏季と冬季の年 2 回、採水を実施し COD 構成要素の測定を行うことで季節変化と項目間の関係について検討した。

2 調査方法

2.1 調査地点及び時期

図 1 に示すとおり、松島湾において環境基準点である桂島 (A 類型) 及び西浜 (B 類型) の 2 地点で、前課題報告書で述べた 2011 年 8 月~2013 年 12 月の間に夏季と冬季の年 2 回、計 6 回に加え、平成 26~28 年度までの 3 年間にわたり、水温躍層が形成される 8 月と循環期に入る 12 月に計 6 回採水を行った。

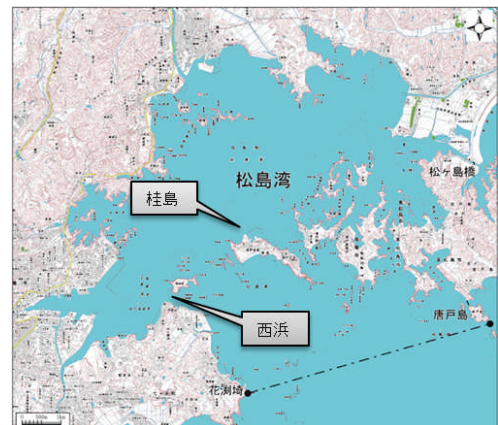


図 1 松島湾採水地点図

2.2 測定項目及び分析方法

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

測定項目は、COD、DCOD (溶存性 COD)、DOC (溶存性有機炭素)、POC (懸濁性有機炭素)、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。

3 調査結果

3.1 COD 環境基準値適合状況

図 2 および図 3 に桂島及び西浜における平成 13~27 年度までの COD75%値を示すが、桂島は A 類型の環境基準値 2 mg/L を経年的に超過しており、西浜は東日本大震災の影響による測定頻度低下により、計算上平成 23 年に基準超過を示したが、概ね B 類型の環境基準値 3 mg/L を達成している。

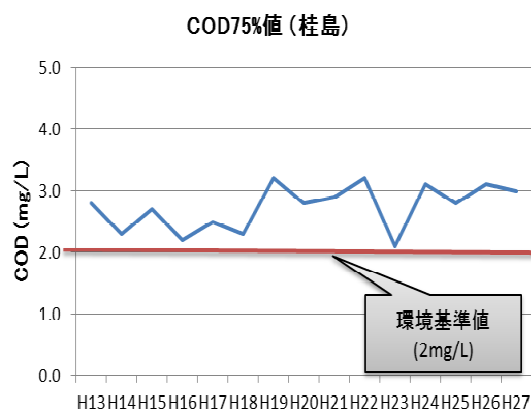


図 2 桂島の COD75%値

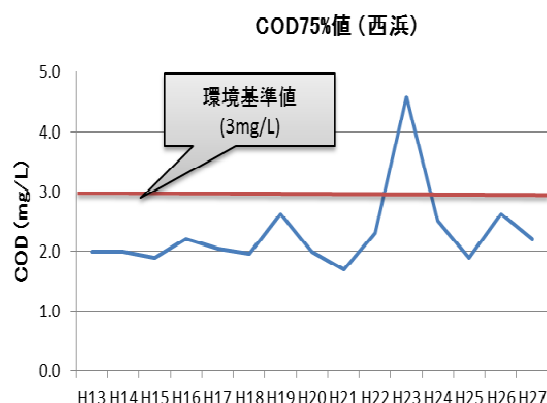


図 3 西浜の COD75%値

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。桂島と西浜共に、夏季に高く冬季は低い傾向となっており、Chl-a の変動は西浜のほうがより顕著となっている。東日本大震災のあった平成 23 年 8 月は懸濁性の COD (COD-DCOD) や POC が高くなっていたが、その後減少傾向を示している。

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

表 1 COD 構成要素調査結果

採水点名	採水年月	COD	DCOD	COD-DCOD	DOC+POC	DOC	POC	Chl a
松島湾 桂島	H23. 8. 30	5. 31	2. 60	2. 70	3. 01	2. 00	1. 01	7. 70
	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
	H24. 12. 17	1. 60	1. 60	0. 00	1. 57	1. 13	0. 44	4. 35
	H25. 8. 19	3. 11	2. 61	0. 50	1. 78	1. 49	0. 29	
	H25. 12. 17	1. 80	1. 60	0. 20	1. 08	0. 92	0. 16	1. 40
	H26. 8. 21	3. 31	2. 91	0. 40	2. 14	1. 71	0. 44	5. 10
	H27. 1. 14	2. 41	2. 01	0. 40	1. 34	1. 08	0. 26	1. 17
	H27. 8. 28	4. 40	3. 50	0. 90		1. 68		6. 11
	H27. 12. 14	2. 00	1. 80	0. 20	2. 02	1. 28	0. 74	0. 96
	H28. 8. 3	2. 70	2. 30	0. 40				5. 47
松島湾 西浜	H28. 12. 19	3. 21	2. 11	1. 11				0. 95
	H23. 8. 30	4. 71	2. 50	2. 20	2. 99	1. 58	1. 41	12. 04
	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
	H24. 12. 17	2. 50	2. 10	0. 40	2. 25	1. 72	0. 53	12. 02
	H25. 8. 19	3. 11	2. 91	0. 20	2. 33	1. 57	0. 76	
	H25. 12. 17	1. 90	1. 80	0. 10	1. 10	1. 02	0. 08	1. 04
	H26. 8. 21	3. 61	3. 21	0. 40	2. 33	1. 63	0. 70	18. 16
	H27. 1. 14	2. 01	1. 81	0. 20	1. 29	1. 10	0. 20	0. 93
	H27. 8. 28	3. 80	3. 60	0. 20		1. 75		10. 99
	H27. 12. 14	2. 20	1. 90	0. 30	2. 49	1. 33	1. 16	1. 16
	H28. 8. 3	3. 20	2. 70	0. 50				16. 16
	H28. 12. 19	2. 51	2. 21	0. 30				1. 13

単位：Chl-a(μg/L)，他(mg/L)

図 5 に桂島と西浜における COD 関連項目間の関係を示す。POC と Chl-a は正相関を示しているが、懸濁性の 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。

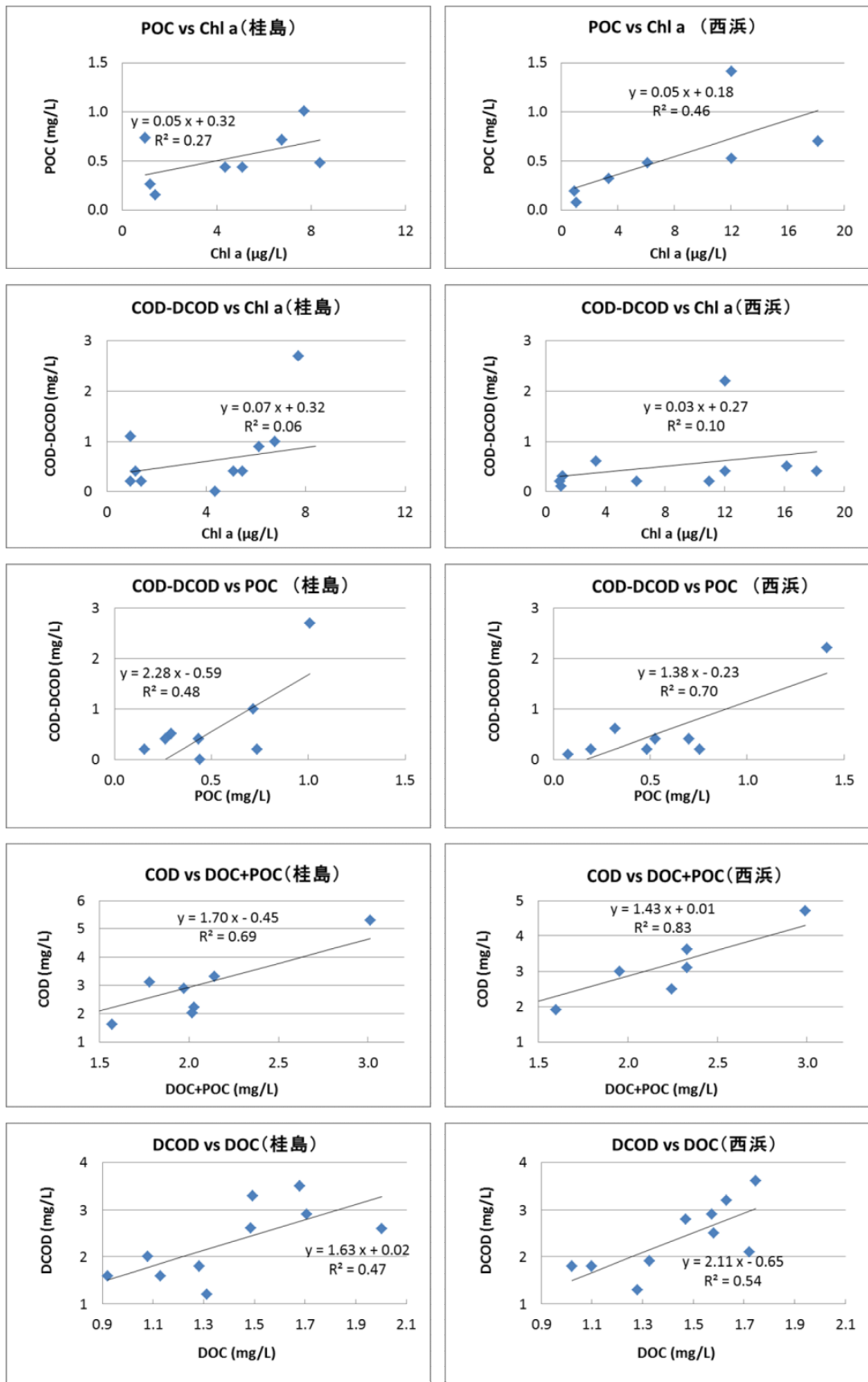


図 5 桂島と西浜における COD 関連項目の関係

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

採水点名	採水年月	NO3-N	NO2-N	NH4-N	DIN	DTN	PO4-P	DTP	SiO2
松島湾 桂島	H23. 8. 30	N. D.	N. D.	0.005	0.005	0.228	0.006	0.023	2.81
	H23. 12. 13	N. D.	0.003	0.004	0.007	0.176	0.000	0.007	0.36
	H24. 8. 27	N. D.	0.001	N. D.	0.001	0.285	0.021	0.031	0.94
	H24. 12. 17	N. D.	0.001	N. D.	0.001	0.163	0.002	0.012	0.20
	H25. 8. 19	N. D.	0.001	0.004	0.005	0.159	0.008	0.017	2.28
	H25. 12. 17	0.066	0.006	0.014	0.086	0.202	0.017	0.019	0.87
	H26. 8. 21	0.015	N. D.	0.000	0.015	0.240	N. D.	0.003	3.08
	H27. 1. 14	0.013	0.013	0.002	0.029	0.178	0.007	0.006	0.37
	H27. 8. 28	0.040	0.040	0.012	0.093	0.401	0.120	0.034	3.96
	H27. 12. 14	0.020	0.050	0.006	0.077	0.241	0.012	0.019	1.95
	H28. 8. 3	0.005	0.002	0.008	0.015	0.219	0.010	0.019	2.25
	H28. 12. 19	0.021	0.004	0.007	0.032	0.171	0.011	0.018	0.83
松島湾 西浜	H23. 8. 30	N. D.	N. D.	0.003	0.003	0.209	0.001	0.016	2.35
	H23. 12. 13	0.108	0.017	0.147	0.272	0.479	0.029	0.037	1.52
	H24. 8. 27	N. D.	0.002	N. D.	0.002	0.219	0.006	0.017	1.47
	H24. 12. 17	0.018	0.006	0.096	0.120	0.291	0.002	0.018	0.27
	H25. 8. 19	N. D.	0.000	0.000	0.001	0.163	0.005	0.013	2.31
	H25. 12. 17	0.160	0.015	0.082	0.256	0.388	0.023	0.026	1.23
	H26. 8. 21	0.018	N. D.	0.000	0.018	0.231	N. D.	0.004	2.67
	H27. 1. 14	0.025	0.087	0.013	0.125	0.351	0.063	0.021	0.74
	H27. 8. 28	0.070	0.250	0.026	0.347	0.701	0.162	0.064	3.51
	H27. 12. 14	0.025	0.088	0.008	0.122	0.319	0.030	0.025	1.89
	H28. 8. 3	0.003	0.001	N. D.	0.004	0.249	0.005	0.018	2.03
	H28. 12. 19	0.060	0.005	0.020	0.085	0.224	0.017	0.024	0.97

単位：mg/L

4 まとめ

① 松島湾桂島及び西浜における COD75%値は、桂島は A 類型の環境基準値 2 mg/L を経年的に超過しており、西浜は B 類型の環境基準値 3 mg/L を東日本大震災のあった平成 23 年度を除き達成している。

② COD 構成要素の調査結果では、Chl-a を除き桂島と西浜に際立った差異は見られず、いずれの項目も夏季に高く冬季は低い傾向となっている。

東日本大震災のあった平成 23 年 8 月は懸濁性 COD や POC が高くなっていたが、その後減少傾向を示している。

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

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。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。

本報告書は、宮城県のデータをまとめたものであるが、Ⅱ型共同研究参加機関が各々のデータをまとめ、国立環境研究所が全体的に取りまとめ、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 29 年 3 月】

2) 宮城県公共用水域及び地下水水質測定結果報告書

【平成 13～27 年度】

仙台湾沿岸における貧酸素水塊の発生状況について

－平成 26～28 年度－

仙台市衛生研究所 白寄りか

キーワード：閉鎖性海域，貧酸素水塊，底層溶存酸素量，鉛直混合

はじめに

貧酸素水塊とは，水中における溶存酸素量(以下，DOとする)が極端に少ない領域のことであり，水生生物のへい死や青潮の発生など海域環境に悪影響を与える可能性があるものである。発生場所としては，大都市周辺の内湾の閉鎖性海域が多く，その指標である底層DOは，平成 28 年 3 月に新たな環境基準(表 1)として設定された。主な発生要因としては，プランクトンの死骸の沈降や海の上層の温度が下層の温度より高くなることにより水の鉛直混合が進まないこと等が挙げられている。

当所では，仙台湾沿岸の貧酸素水塊の発生状況を調査するため，太平洋に面する海岸沿いに調査地点を設定し，季節ごとの水温，塩分，DO等の水質検査を継続的に実施したところ，若干の知見を得たので報告する。

調査方法

仙台市環境局で行っている海域常時監視の調査船に同乗し，表 2 のとおり平成 26 年は 2 回，平成 27 年は 5 回，平成 28 年度は 3 回，環境基準点 4 地点およびその他の水質調査地点 22 地点の計 26 地点を対象とし，調査を実施した。

調査地点を図 1 に示した。仙台塩竈港(以下，仙台新港とする)から名取川河口付近までの幅約 10 km の区域に，仙台新港内に 6 地点，海岸から 0.5～0.8 km 沖に 10 地点，さらに海岸から 1.2～2 km 沖に 10 地点を設定した。

調査機器は，国立環境研究所より借用した多項目水質計 (Hydrolab DataSonde Series，環境システム㈱) を用いて，海面から海底までの水温，塩分，DO，pH を連続的に測定した。

調査地点のDOの評価方法は，表 1 に示したとおり底層DO 3.0～4.0 mg/L 以下を低酸素，3.0 mg/L 以下を貧酸素状態とした。

結果

1 全地点の底層DOについて

全調査期間の底層DOの値を表 3 に示した。

平成 26 年度の調査では，夏季の 9 月に閉鎖性海域である仙台新港内だけでなく外洋に面した沿岸部でも低酸素状態を示し，沿岸に近い「荒浜 3」地点(以下，調査地点を「」で示す)で最も低い貧酸素状態を示した。

平成 27 年度は，7 月に荒浜周辺で低，貧酸素状態が確認された。8 月には全地点で低，貧酸素状態が解消されたが，9 月になると多くの地点で低，貧酸素状態を示した。

平成 28 年度は，7 月に「蒲生 5」から「井土 1」にかけて低酸素状態を示し，9 月には沿岸外洋北端の「外港 2」まで広範囲に低，貧酸素状態が確認された。仙台新港付近では，低酸素状態となったが，3.0 mg/L を下回る貧酸素状態は確認されなかった。

11 月，1 月には，いずれの年も低，貧酸素状態が解消されていた。

2 低，貧酸素水塊発生時の沿岸部における水温，塩分，DOの分布

図 2 に図 1 の A-A' (「蒲生 1」～「井土 5」) の調査時期別の水温，塩分，DOの分布を示した。解析には多項目水質計付属の断面解析ソフトウェア「ハイドログラフ」を使用し，各測定項目の値ごとに色分けで示した。(国立環境研究所，牧氏の協力により作成) 低，貧酸素状態の対比として，平成 27 年 11 月の分布も併せて示した。

平成 26 年 9 月のDOの分布では，「荒浜 3」の底層付近を中心に貧酸素水塊が形成されていた。水温は，底層に比べて表層の温度が 4℃程高く，塩分は，「蒲生 3」付近を中心に上層に低塩分水が広がり，鉛直混合しにくい状態であった。

平成 27 年 7 月には，DOは「荒浜 1」の底層付近で低く，低，貧酸素水塊が形成されていた。水温は上層と底層の温度差が 10℃近くあり，塩分は上層で低い状

態だった。9月には、貧酸素水塊が蒲生から井土に渡る広範囲で確認された。温度の高い低塩分水が広範囲に蓋をする形となっており、あたたかい大量の河川水が流れ込み、鉛直混合がしにくい状態であった。また、底層の水温が7月と比べて5℃以上上昇しているため、底層のDOがより消費されたものと思われた。11月には、温度、塩分、DOとも水深による変動が少なく、十分に鉛直混合が行われて、低、貧酸素状態が解消されていた。

平成28年7月には、「荒浜3」付近に低酸素水塊が形成されていた。水温は上層で約24℃、底層で約15℃と、平成27年7月と同様に差が約10℃あり、鉛直混合が妨げられる状態であった。9月にはさらに広い範囲で低酸素状態を示していた。低塩分水が蓋をしているが、水温は上層、下層とも20℃前後と高く、よりDOが消費される状態であったと考えられた。

3 測定場所による底層DOの推移（7月、9月）

図3に、測定場所による底層DOを比較するため、沿岸海岸側の10地点（外港1、外港3およびA-A'）の底層DOが低下する7月と9月のデータを示した。

沿岸海岸側では、平成26年9月は「蒲生5」から「井土1」にかけて、27年9月は「蒲生5」から「井土5」にかけてそれぞれ3.0mg/L以下の貧酸素状態が確認された。特に「荒浜1」、「荒浜3」付近で低くなる傾向が見られた。それに比較して、七北田川河口の「蒲生1」、「蒲生3」、名取川河口の「井土5」では、底層DOが高い傾向がみられた。

考察

1 貧酸素水塊発生状況

当初、貧酸素水塊は、仙台湾周辺の閉鎖性海域で発生することを想定していたが、低酸素状態にとどまった。底層DO値がさらに低い貧酸素状態は、外洋に面した海域の調査地点に発生した。特に「荒浜1」、「荒浜3」付近で貧酸素状態になりやすい傾向が確認され、季節的には夏季の9月に発生しやすく、それ以外に7月にも発生が確認された。

平成7年から16年にかけての仙台湾内の低、貧酸素水発生状況を調査した結果（岩井¹⁾ 2) 3)）によると、その発生は仙台湾において底層水温が最も上昇する時期（9、10月）に顕著で、それ以外に6、7月に発生が認められたとされている。特に仙台湾新港沖～名取市閑上沖の岸側の海域で発生頻度が高い傾向がみられたとしている。本調査の結果も名取川に近い井土から荒浜付近でDOが最も低い値を示し、ほぼ同じ傾向にあ

った。

2 貧酸素水塊発生要因

低貧酸素水塊が発生するには、本調査の結果から以下2つの要因が考えられた。

1) 季節的要因

夏季は、日照により水面が温められ、表層と水温が低い底層との間に温度が異なる層が形成されていた。特に7月には、上層と下層の温度差が約10℃と大きかった。このため、鉛直混合が進まず、表層から水中への酸素供給が妨げられ、水深の深い地点でのDO値が低くなることが考えられた。

また、仙台湾の沖は、初夏から秋口にかけて親潮と黒潮がぶつかり、季節により海流が大きく変動する海域である。夏季は、栄養塩豊富な親潮が北から三陸沖に張り出してくるため、表層で温められた海水中で、植物プランクトンが爆発的に増殖し、下層に移行、死骸が海底に堆積する。水温が高いため下層で分解が促進され、底層の酸素消費量が増加することも要因と考えられた。

貧酸素水塊は、夏季に発生しやすいが、平成27年8月に解消されたことから、夏の間持続して発生しているものではないと考えられた。

2) 河川水の影響

調査地点周辺には、仙台湾新港に砂押川、調査区域中部に七北田川、南端に名取川が流れ込み、少なからず河川水の影響を受ける区域である。河川水の海域への流入量は、夏季、特に7月の梅雨期、9月の秋雨・台風期に増大する。

図4に調査日30日前までの仙台での累計降水量⁴⁾と低、貧酸素水発生頻度を示した。低、貧酸素水塊発生頻度は、「低、貧酸素水塊発生地点数/月ごとの全調査地点×100」とした。

夏季にはほとんどの月で調査日10日前までの累計降水量が多い月は、低、貧酸素水塊発生頻度が高くなった。特に9月は降水量が多く、その傾向は顕著であった。

調査日10日前までに、平成26年9月には、仙台に約70mm、平成27年9月には約350mm、平成28年9月には約210mmの降水があった。これにより、河川水が広く海面を覆い、その低塩分水が沿岸海域表面に広がり、底層との鉛直混合を妨げたことが、底層DOの低下の一因と考えられた。

また、貧酸素水塊の発生場所としては、「荒浜3」付近で発生頻度が高かった。ここは、丁度七北田川と名取川の間地点に位置しているため、河川の水流の影

響を直接受けにくい場所であることが影響している可能性がある。

以上のことから、貧酸素水塊発生要因は、降雨や河川水の流入の影響、気温水温の影響、海流の影響などの環境的要因が複雑に影響し合って、発生していると考えられた。

3 貧酸素水塊発生による環境への影響

3カ年の調査期間を通じて、仙台湾では、魚類へい死などの漁業被害の報告はない。

貧酸素水塊が発生した場合、魚類は酸素の多い場所に逃避し、貝類は低酸素には比較的強いいため、それが一過性のものであれば魚類や貝類には、ほとんど影響がないものと考えられる。

まとめ

仙台湾で、底層DOの調査を行ったところ仙台港内港で4.0～3.0 mg/L以下の低酸素状態、七北田川河口から名取川河口の沿岸で3.0 mg/L以下の貧酸素状態が確認された。7月と9月に発生した低、貧酸素水塊は、いずれも冬季（秋季）には解消された。また、夏季においても8月に解消されるなど継続したものではなかった。

仙台湾での貧酸素水塊の発生は、降雨や河川水の流入の影響、気温水温の影響、海流の影響などの環境的要因が複雑に影響し合って、発生していると考えられた。

参考文献

- 1) 岩井拓郎：近年の仙台湾における貧酸素水発生状況と発生要因の検討，宮城県水産研究報告，第4号，2004
- 2) 岩井拓郎：仙台湾における貧酸素水発生多発期の年別発生状況と気象要因および発生海域と底質との関係，宮城県水産研究報告，第6号，2006
- 3) 岩井拓郎：仙台湾中南部沿岸域における貧酸素水塊発生要因の検討，宮城県水産研究報告，第8号，2008
- 4) 気象庁HP：気象データ

謝辞

本研究は国立環境研究所及び地方環境研究所とのⅡ型共同研究として実施した。本研究を実施するにあたり、多項目水質計の貸与及び多大な労力を割いていただいた国立環境研究所の牧秀明氏、ご多忙中のところ貴重な助言をいただいた東北区水産研究所の笥茂穂氏に深謝いたします。

表 1 底層DOの環境基準値

類型	水生生物が生息・再生産する場の適応性	基準値	
生物 1	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物が生息できる場を保全・再生する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域	4.0 mg/L 以上	↑ 本稿では 低酸素状態 ↓ 本稿では 貧酸素状態 ↓
生物 2	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が生息できる場を保全・再生する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域	3.0 mg/L 以上	
生物 3	生息段階において貧酸素耐性の高い水生生物が生息できる場を保全・再生する水域、再生産段階において貧酸素耐性の高い水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域又は無生物域を解消する水域	2.0 mg/L 以上	

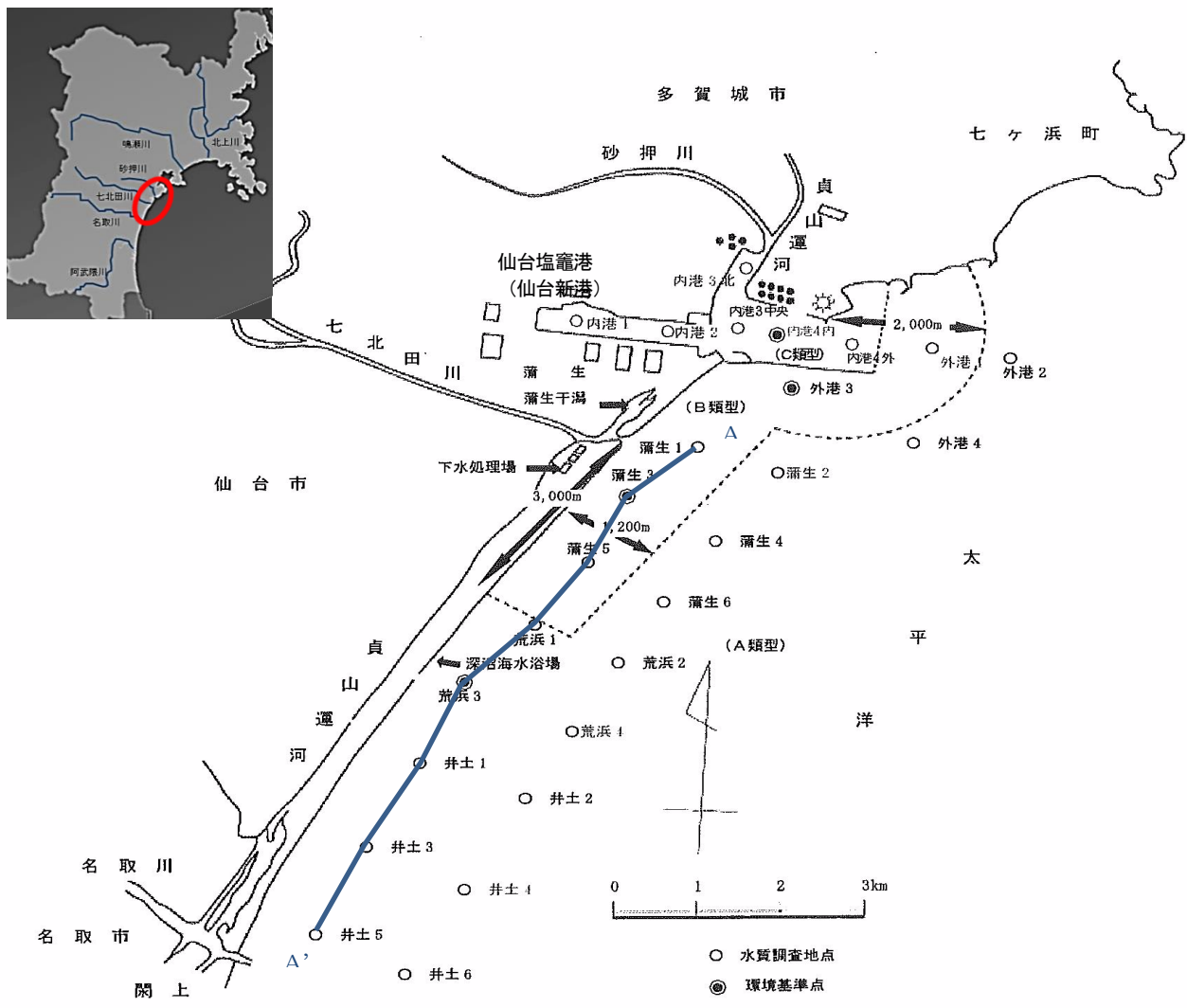


図 1 調査地点

表2 調査年月日

調査年度						
平成 26	調査月日	9 月 16 日		1 月 9 日		
	調査地点数 (全 26 地点中)	17		17		
平成 27	調査月日	6 月 10 日		7 月 14 日		8 月 11 日
	調査地点数 (全 26 地点中)	22		22		23
平成 28	調査月日	7 月 12 日		9 月 15 日		11 月 8 日
	調査地点数 (全 26 地点中)	23		26		25

表3 底層DOの値

調査地点	H26年度		H27年度					H28年度		
	9/16	1/9	6/10	7/14	8/11	9/16	11/10	7/12	9/15	11/8
内港1	4.36	8.51	8.39	7.93	5.27	4.18	6.05	5.62	4.10	6.15
内港2	4.03	8.54	7.66	6.64	5.40	3.40	6.02	5.28	4.46	6.26
内港3北	5.45	8.54	7.77	7.24	5.51	3.91	6.84	6.87	4.45	6.34
内港3中央	3.99	8.66	7.45	5.40	5.50	3.42	6.43	—	3.47	6.31
内港4内	3.71	—	7.78	6.03	5.43	3.42	5.98	5.35	3.29	6.19
内港4外	4.32	8.75	7.99	6.17	5.14	3.99	6.10	5.27	3.35	6.41
外港1	—	—	—	—	—	—	6.31	—	3.40	6.65
外港3	4.78	8.78	8.33	6.27	6.16	4.07	5.82	6.7	3.34	6.66
蒲生1	4.53	8.79	7.18	6.26	6.25	4.06	6.75	4.73	3.44	—
蒲生3	4.19	8.66	7.97	5.86	6.79	3.75	6.55	5.33	4.27	6.42
蒲生5	3.19	8.73	7.90	4.24	6.39	3.3	6.32	3.71	4.89	6.45
荒浜1	—	8.73	7.95	2.76	5.81	3.56	6.04	3.47	3.48	6.55
荒浜3	2.54	8.69	8.22	3.36	5.72	2.87	6.26	3.1	3.03	6.43
井土1	3.54	8.74	8.36	4.39	5.69	2.96	5.88	3.77	3.03	6.24
井土3	—	8.70	8.12	4.61	6.16	2.84	6.32	4.5	3.87	6.38
井土5	4.44	8.62	8.41	5.63	6.16	2.58	5.77	5.11	4.38	6.48

□ : 環境基準点

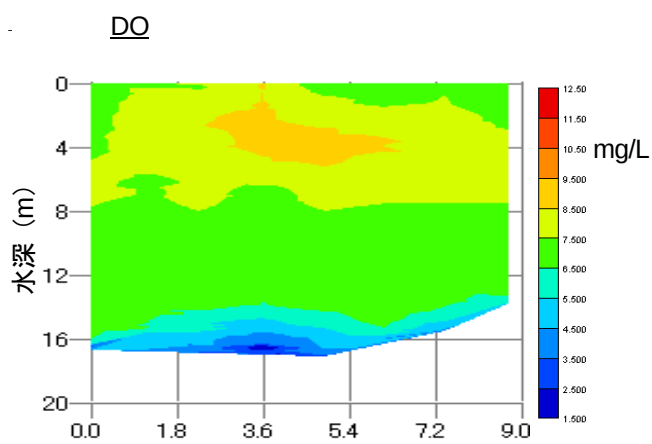
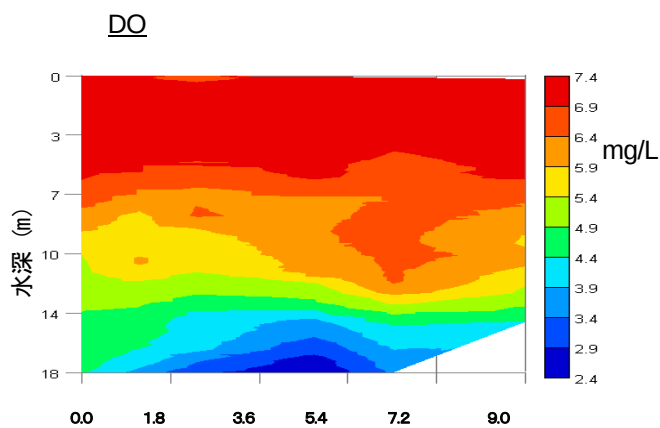
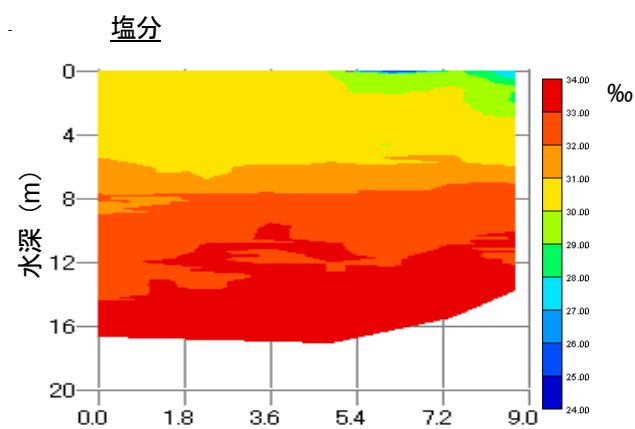
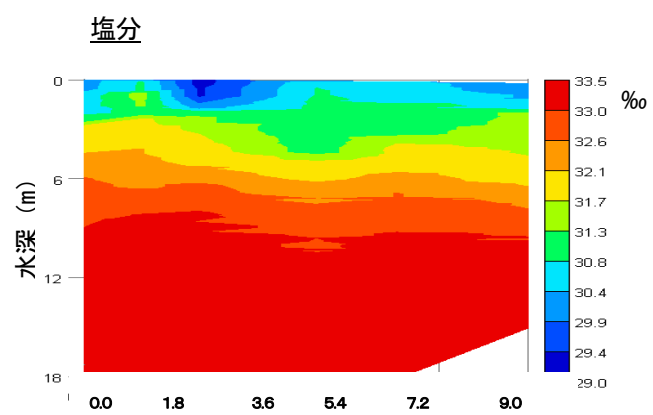
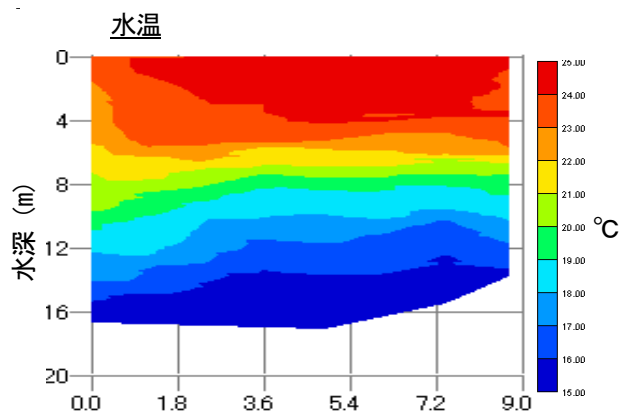
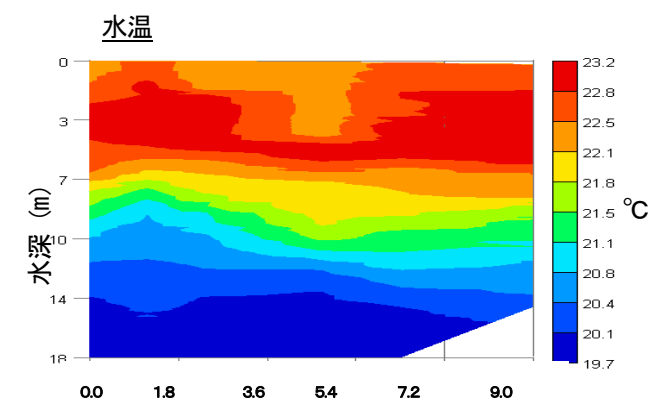
3.00 : 底層DO 3.0mg/Lより大きく4.0mg/L以下

2.00 : 底層DO 3.0mg/L以下

調査地点	H26年度		H27年度					H28年度		
	9/16	1/9	6/10	7/14	8/11	9/16	11/10	7/12	9/15	11/8
外港2	5.05	8.78	8.04	4.58	6.08	4.52	5.97	5.89	3.17	6.60
外港4	—	—	—	—	—	—	—	4.57	2.97	6.42
蒲生2	—	—	8.57	6.70	5.64	4.18	7.08	4.20	2.71	6.53
蒲生4	4.43	8.94	8.43	7.22	5.74	4.33	7.15	5.88	3.27	6.58
蒲生6	—	—	—	—	—	—	—	5.46	2.86	6.55
荒浜2	—	—	8.96	5.87	5.45	3.62	7.55	—	3.73	6.62
荒浜4	4.39	—	8.63	6.21	5.90	3.64	6.85	5.10	4.26	5.33
井土2	—	8.89	8.70	6.33	4.85	2.66	6.66	6.18	4.23	6.45
井土4	—	—	—	—	—	2.63	6.31	6.25	3.28	6.66
井土6	4.64	—	8.67	5.65	5.81	2.41	6.00	5.95	1.72	6.73

平成 26 年 9 月

平成 27 年 7 月



距離 (km)

蒲生 1 蒲生 3 蒲生 5 荒浜 1 荒浜 3 井土 1 井土 3 井土 5

A ————— A'

距離 (km)

蒲生 1 蒲生 3 蒲生 5 荒浜 1 荒浜 3 井土 1 井土 3 井土 5

A ————— A'

図 2 蒲生 1～井土 5 (A—A') における水温・塩分・DO の分布 (その 1)

平成 27 年 9 月

平成 27 年 11 月

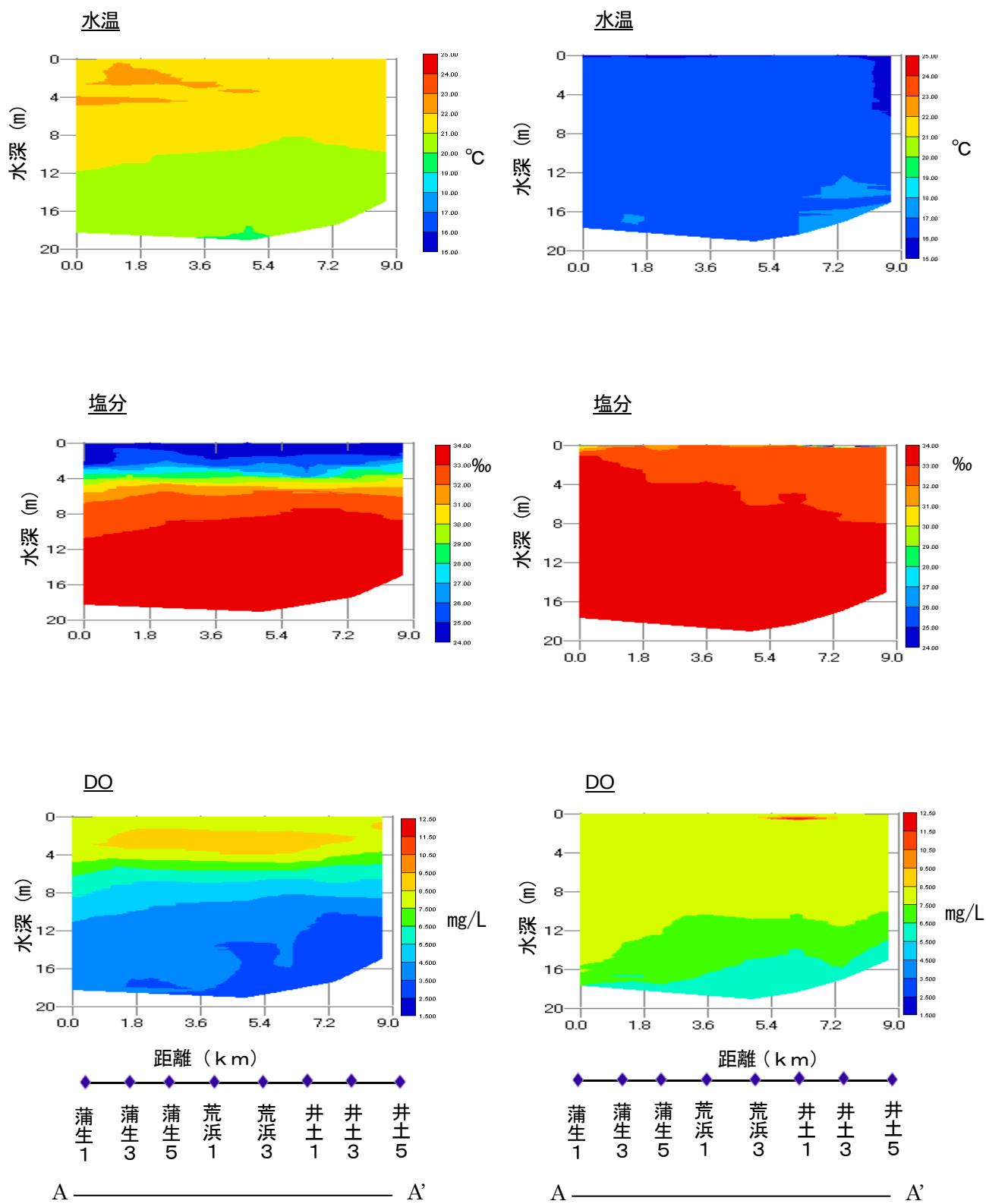


図2 蒲生1～井土5 (A—A') における水温・塩分・DOの分布 (その2)

平成 28 年 7 月

平成 28 年 9 月

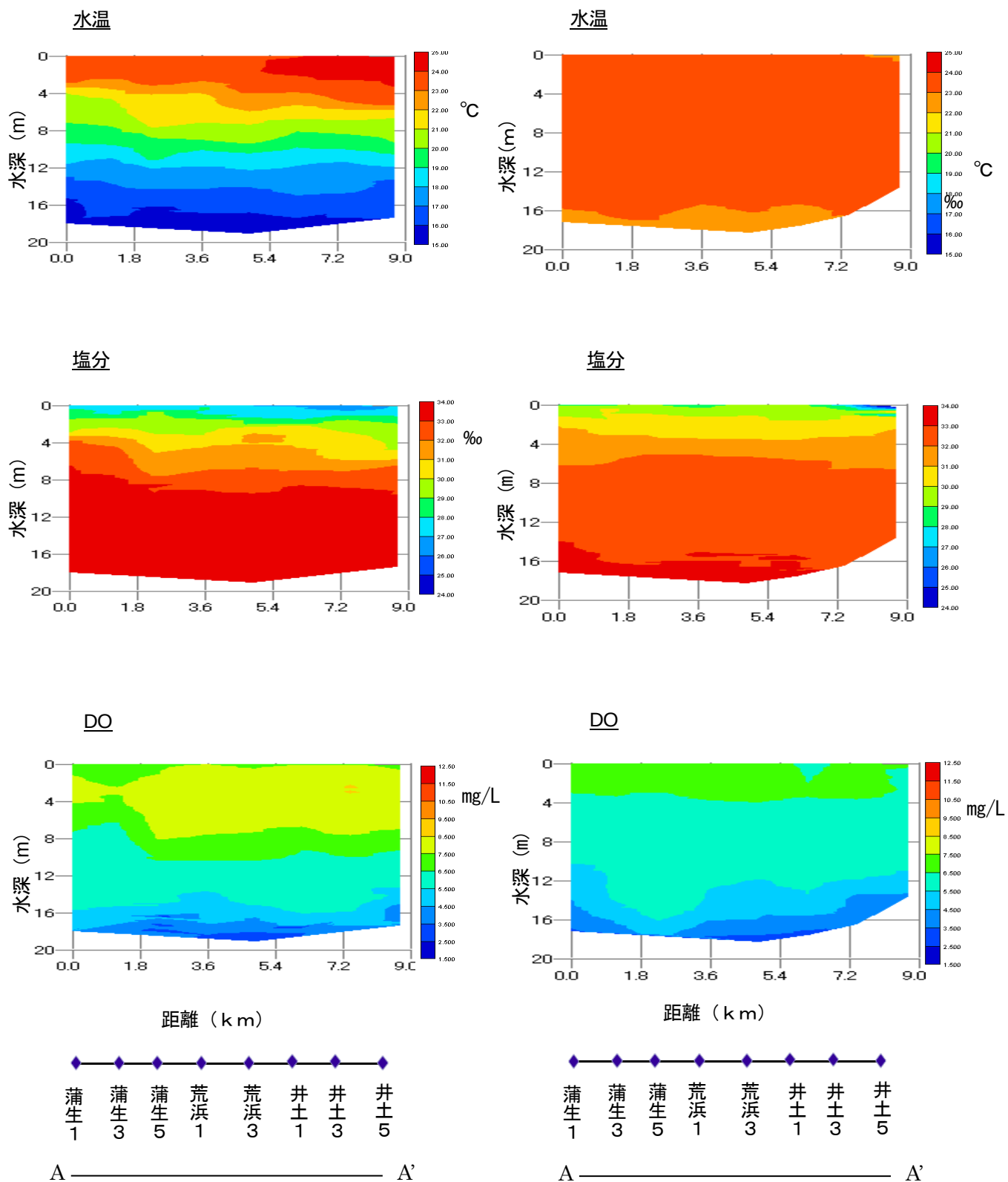


図2 蒲生1～井土5 (A—A') における水温・塩分・DOの分布 (その3)

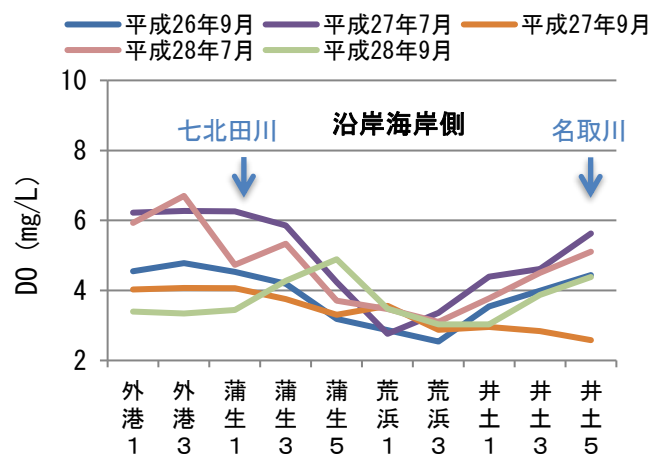


図3 測定場所による底層DOの変化

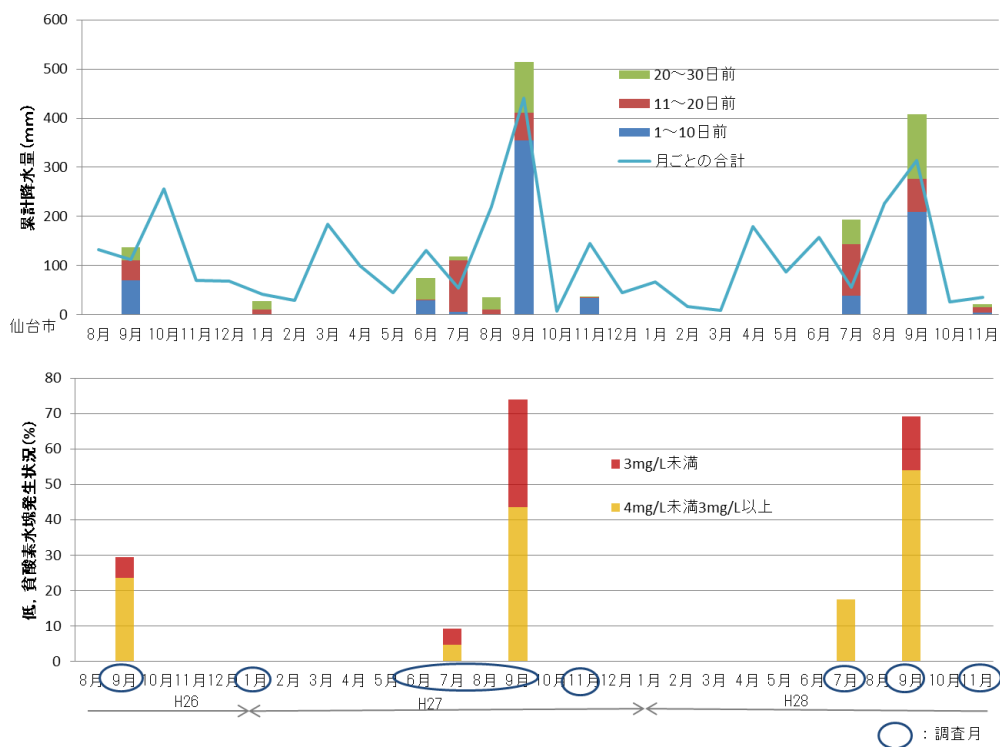


図4 調査日30日前までの降水量と底層DO

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

国立研究開発法人 国立環境研究所 牧 秀明

1. はじめに

前 II 型共同研究「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」に引き続き、茨城県沿岸海域で公共用水域水質測定頻度が高く、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 2 地点において、夏季と冬季の年 2 回、現場測定と採水を行って BOD・COD と関連する有機物指標と栄養塩類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

前課題報告書で述べた 2011 年 9 月～2014 年 1 月の間に夏季と冬季の年 2 回、計 6 回に加え、2014 年 8 月、2015 年 1 月と 8 月、2016 年 2 月と 8 月、2017 年 2 月現場観測と採水・測定を行った。

2.2 調査点

前課題と同様に、図 1 に示す県北部の北茨城市・大津漁港（水深～7 m）と県央東部の大洗港（水深～4 m）の 2 地点で岸壁から調査・採水を行った。これら 2 地点には近傍に公共用水域常時監視（環境基準）点があり、水質環境基準生活環境項目の類型は両方とも B（COD 3 mg/L）である。



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 5 cm 毎に測定を行った（※ただし 2015 年 8 月は 2 地点共に欠測、2016 年 8 月は DO が欠測となっている）。透明度は透明度板を用いて測定した。採水はロート型採水器、もしくはバンドーン採水器を用いて行い、表層から 1 m 下部の海水を採取した。

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

COD と BOD は JIS 法に従って未ろ過海水を用いて測定を行った。ただし BOD に関しては試水の曝気は行わず、フラン瓶の放置は 5 日間ではなく 3 日間経過した時点で DO を DO 計を用いて測定し、消費された DO を BOD3 として求めた。

クロロフィル *a*（Chl *a*）の分析には 450℃で 4 時間焼成処理した 47 mm 径のガラス繊維フィルター-GFC を用いて 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 (燃焼管に ST 触媒顆粒を充填したものを装着した TOC-5000A, もしくは TOC-L, 島津製作所) を用いて測定した。窒素・リン類・珪酸はオートアナライザー (TRAACS-800, もしくは QuAAtro, ビーエルテック) を用いて測定を行い, DTN と DTP については, ろ過海水にペルオキシ二硫酸カリウム液を添加後, オートクレーブ処理したものを測定機器に供した。

懸濁性有機炭素 (POC) は海水を 450℃ で 4 時間焼成処理した 25 mm 径のガラス繊維フィルター 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て無機溶存性炭素を除去した後に, 元素分析計 (FLASH 2000, サーモフィッシャーサイエンティフィック) を用いて測定を行った。

3. 結果

3.1 塩分, 水温, DO, 透明度 (※本課題実施期間 2014 年 8 月～2017 年 2 月のみ対象)

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 21.4～23.1℃, 塩分 31.9～32.3, 冬季で水温 9.6～10.7℃, 塩分 32.4～34.6, 大洗港の夏季で水温 22.4～24.3℃, 塩分 31.3, 底層 DO, 冬季で水温 9.6～9.8℃, 塩分 32.9～34.1, 底層 DO 8.5～9.3 mg/L であった。夏季は大津漁港の方が大洗港より海水温が低く, 冬季はその逆であった。塩分は常に大津漁港の方が高い傾向にあった。夏季, 冬季共に 2 地点において顕著な水温・塩分躍層は見られなかった。夏季の底層 DO は大津漁港で 5.1 mg/L, 大洗港で 5.9 mg/L (※2014 年 8 月のみ測定) と極端な低下 (貧酸素水塊) は見られなかった。

透明度は大津漁港で夏季に 2.5～4.5 m, 冬季に 4.5～5.5 m, 大洗港で夏季に 2～3 m, 冬季は 3～4 m となり, 2 地点とも夏季は低く冬季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。

3.2 栄養塩類 (※前課題実施期間 2011 年 9 月～本課題実施期間 2017 年 2 月)

栄養塩類の濃度範囲を表 2 に示す。

表 2 2011 年 9 月～2017 年 2 月の夏季と冬季の大津漁港と大洗港における栄養塩類
(単位は全て mg/L. カッコ内の数字は標準偏差)

地点	時季	DIN ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$)	DTN	DIP ($\text{PO}_4\text{-P}$)	DTP	SiO_2
大津漁港	夏季	0.060 (0.046)	0.233 (0.067)	0.010 (0.008)	0.018 (0.007)	0.93 (0.39)
	冬季	0.095 (0.016)	0.221 (0.049)	0.018 (0.006)	0.022 (0.008)	0.82 (0.11)
大洗港	夏季	0.102 (0.075)	0.295 (0.093)	0.017 (0.013)	0.025 (0.012)	1.26 (0.46)
	冬季	0.150 (0.044)	0.287 (0.028)	0.024 (0.003)	0.027 (0.001)	0.93 (0.20)

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。

また DIN が DTN に対して占める割合は夏季の大津漁港で 23%，大洗港で 31% だったのに対し、冬季の大津漁港で 44%，大洗港で 52% と夏季より冬季が高く、大洗港の方が大津漁港より高かった。DIP が DTP に対して占める割合は夏季の大津漁港で 47%，大洗港で 58%，冬季の大津漁港で 83%，大洗港で 88% と窒素と同様に夏季より冬季が高く、大洗港の方が大津漁港より高かった。以上は夏季に植物プランクトンの増殖が活発となり、栄養塩（DIN・DIP）が利用されていることの反映と考えられた。

3.3 BOD・COD 関連項目（※前課題実施期間 2011 年 9 月～本課題実施期間 2017 年 2 月）

本調査で採水した試料の COD 関連項目の測定結果を表 3 に示す。

表 3 2011 年 9 月～2017 年 2 月の夏季と冬季の大津漁港と大洗港における BOD・COD 関連項目（単位は Chl a は $\mu\text{g/L}$ ，他は全て mg/L 。カッコ内の数字は標準偏差）

地点	時季	BOD*	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC**	POC**	DOC+POC**	Chl a
大津漁港	夏季	0.63 (0.15)	1.94 (0.33)	1.72 (0.23)	0.22 (0.24)	1.22 (0.19)	0.32 (0.10)	1.54 (0.20)	2.28 (1.38)
	冬季	1.23 (0.36)	1.79 (0.55)	1.37 (0.32)	0.42 (0.41)	0.81 (0.13)	0.18 (0.11)	0.95 (0.24)	0.94 (0.26)
大洗港	夏季	0.74 (0.36)	2.50 (0.49)	1.92 (0.22)	0.58 (0.54)	1.35 (0.25)	0.61 (0.21)	1.96 (0.11)	4.01 (3.79)
	冬季	0.95 (0.15)	1.89 (0.64)	1.35 (0.14)	0.54 (0.56)	0.84 (0.18)	0.30 (0.12)	1.10 (0.28)	1.14 (0.71)

*2014 年 8 月以降測定，ただし大津漁港の 2016 年 8 月は欠測

**2016 年 8 月分と 2017 年 2 月分は 2 地点共に未測定

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 2 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% 近かった。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、水温の高い夏季の植物プランクトンの増殖による内部生産が反映している結果と考えられた。

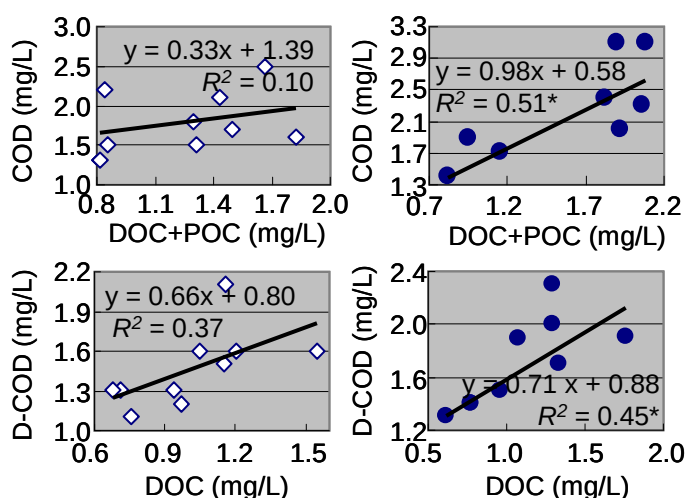


図 2-1 大津漁港（左，凡例◇）と大洗港（右，凡例●）における COD，D-COD と DOC+POC，DOC との関係（* $p < 0.05$ ）

前ページ図 2-1～2-3 に各項目間の関係を示した。DOC+POC と COD, DOC と D-COD それぞれにおける関係では、大洗港では有意な相関 ($p < 0.05$) が見られたが、大津漁港では見られなかった (図 2-1)。しかしながら上記のように 2 地点共に溶存性の D-COD が COD に占める割合と DOC が DOC+POC に占める割合が共に 80%近いことと、2 地点共に DOC と D-COD との間に正の相関関係が認められること、それらの係数が近似していること (大津漁港 : 0.66, 大洗港 : 0.71) から、これらの水域における COD の主成分は DOC であることが示された。

図 2-2 に 2 地点における懸濁態有機炭素関連項目の関係を示した。大洗港における Chl *a* と P-COD ($p < 0.05$)、並びに Chl *a* と POC 以外には明確な相関は認められなかった。これは大津漁港に比べて大洗港における P-COD と POC の最高値が大きい上に、Chl *a* に関しては大洗港が大津漁港よりもその濃度範囲が 3 倍近く大きいために、大洗港では懸濁態有機炭素関連項目と Chl *a* との相関が明確になったと考えられた。また大洗港における POC (mg/L)/Chl *a* (μg/L) 比 (0.038) は前課題における全国の海域のデータから算出した値 (0.041) に近かった。以上から大洗港では P-COD と POC の主成分は植物プランクトンであることが示された。

今回新たに測定を行った BOD に関しては、上記の項目とは逆に大津漁港、大洗港ともに冬季の方が夏季より高い傾向を示した。また大洗港における Chl *a* と BOD との関係以外には、COD 等の項目との間に明確な相関は見られなかった (図 2-3)。

今後更なるデータの蓄積が必要であると考えられる。

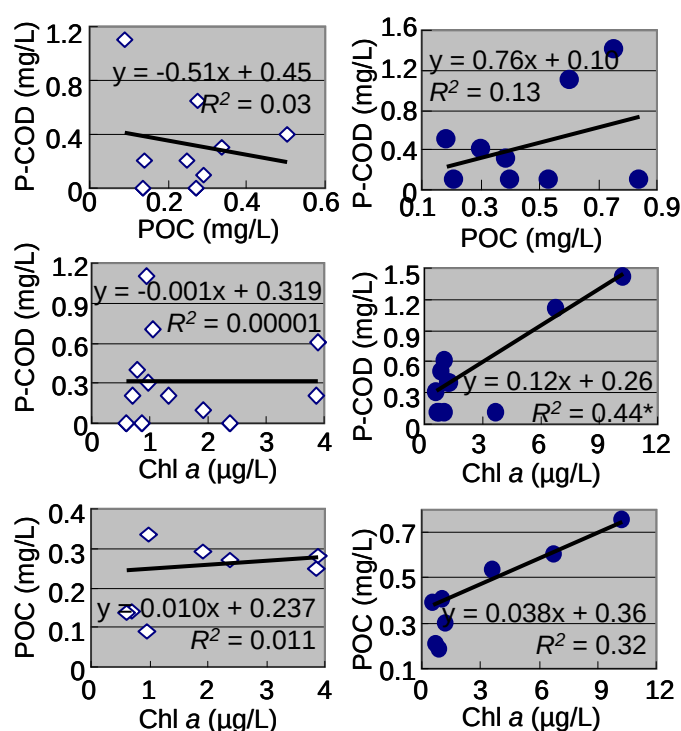


図 2-2 大津漁港 (左, 凡例◇) と大洗港 (右, 凡例●) における懸濁態有機炭素関連項目 (P-COD, POC, Chl *a*) 間における関係 (* $p < 0.05$)

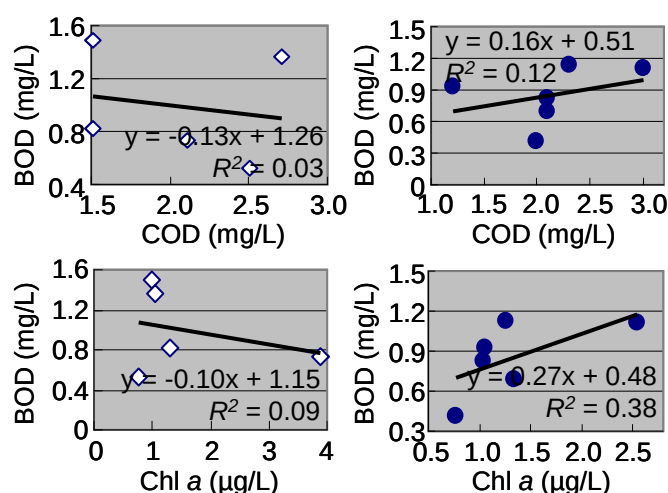


図 2-3 大津漁港 (左, 凡例◇) と大洗港 (右, 凡例●) における BOD と COD, Chl *a* 間における関係

4. まとめ

2011 年夏季～2017 年冬季の間 12 回、大津漁港と大洗港の 2 地点で現場観測、採水を行い一連の測定を行ったところ、以下のことが示された。

- ・ 透明度、栄養塩類共に冬季が高くなる傾向があり、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。
- ・ DIN/DTN 比、DIP/DTP 比共に夏季に低下し、冬季に上昇する傾向にあり、上記のように水温が高い時季に植物プランクトンの増殖による栄養塩吸収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 8 割は溶存性のものに占められており、COD の主成分は DOC であると考えられた。
- ・ 大洗港における懸濁態有機炭素関連指標と BOD は植物プランクトンのバイオマス（内部生産）によって占められていると考えられた。

5. 参考資料

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

東京湾における栄養塩類濃度の推移（2003～2015 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

千葉県では東京湾の公共用水域水質測定地点における栄養塩類濃度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⁾の東京湾 5 地点の 2003 年度から 2015 年度までの 13 年間の上層及び下層の全窒素（T-N）と硝酸性窒素（NO₃-N），及び全りん（T-P）とりん酸性りん（PO₄-P）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 0.5 m の点を表す。また，下層とは観測時の全水深－1 m の点を表している。

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 (St 1)	7.3	12/年
東京湾 8 (St 8)	17.4	12/年
東京湾13 (St 13)	20.0	12/年
東京湾15 (St 15)	13.3	12/年
東京湾20 (St 20)	9.9	12/年

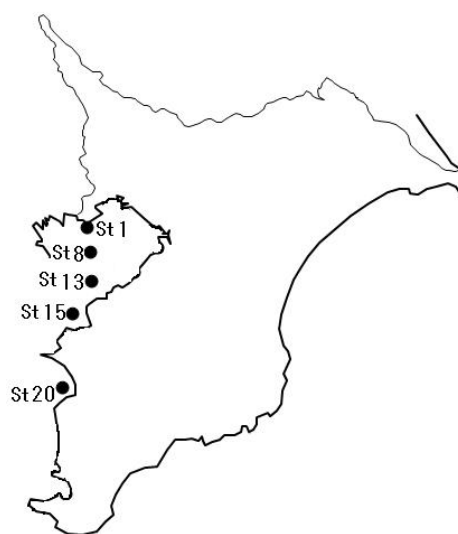


図1 観測地点

図 2 ～11 に各観測地点の上層，下層における全窒素，硝酸性窒素，全りん，りん酸性りん，（硝酸性窒素）／（全窒素），（りん酸性りん）／（全りん）の推移のグラフを示した。なお，各分析項目において報告下限値未満のデータは 0 mg/L として作図した。

上層，下層とも NO₃-N が冬季に高まり夏季に低下する傾向が見られるが上層では夏季から秋季にかけて時折非常に高いピークが現れることがあった。

全りんは夏季～秋季に高く冬季に低下する傾向があった。りん酸性りんについては St1 以外の 4 地点の上層で濃度極大のピークが秋季～冬季に現れる傾向があった。

2008 年 6 月に上層 T-N と T-P がともに高濃度で、同時に NO₃-N、PO₄-P は低濃度という状況が St1 を除く 4 地点で観測された。このときの上層水質は COD、TOC、クロロフィル a などが高濃度で、東京湾全域が赤潮状態であったが、プランクトン優占種を見ると St1 では珪藻類 *Skeletonema costatum* が単独で圧倒的であったのに対し、St20 では *S.costatum* は少数で渦鞭毛藻類 *Ceratium furca* が優占しており、他の 3 地点では両者が混合している状態であった²⁾。プランクトン優占種の違いが栄養塩類の濃度に影響を与えたものと考えられる。

(硝酸性窒素) / (全窒素) の推移を見ると、冬季に比の値は高く、夏季に低い季節的な変動傾向が顕著であった。(りん酸性りん) / (全りん) でもほぼ同様に冬季に比の値は高く、夏季に低い傾向は見られたが窒素に比べ変動が大きかった。

(りん酸性りん) / (全りん) の推移では 2011 年頃から上昇傾向がみられ、上層では St13 以外の 4 地点で上昇、下層では St15 で 2014 年に一時的に低下が見られるが全体としてははっきり上昇傾向がみられた。特に St20 の下層では 2009 年までは毎年夏季に PO₄-P の枯渇が起こっていたが、近年それが少なくなり、2014 年以降は枯渇せず極小値が上昇していた。東京湾内房海域では平成 25 年度 (2013 年度) 以降 COD 年平均値が上昇しており、そのことと下層 PO₄-P の上昇との関連を調べることは今後の課題といえる。

参考資料

1) 千葉県公共用水域水質測定結果：

<http://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/kasenntou/koukyouyousui/index.html>

2) 飯村晃・小林広茂・小倉久子：赤潮等プランクトン調査，千葉県環境研究センター年 第 8 号 (2008)

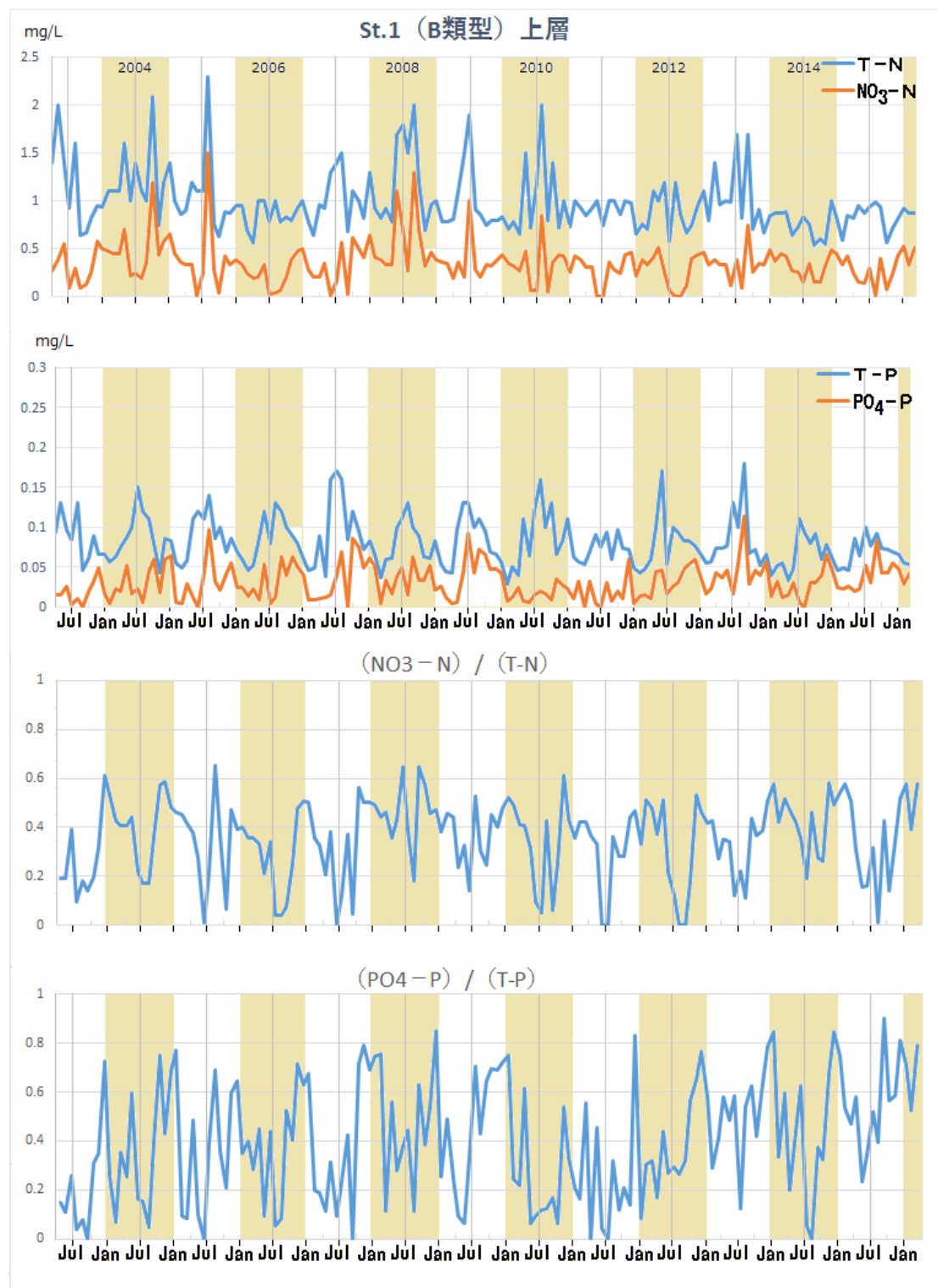


図2 東京湾1上層の栄養塩類濃度の推移

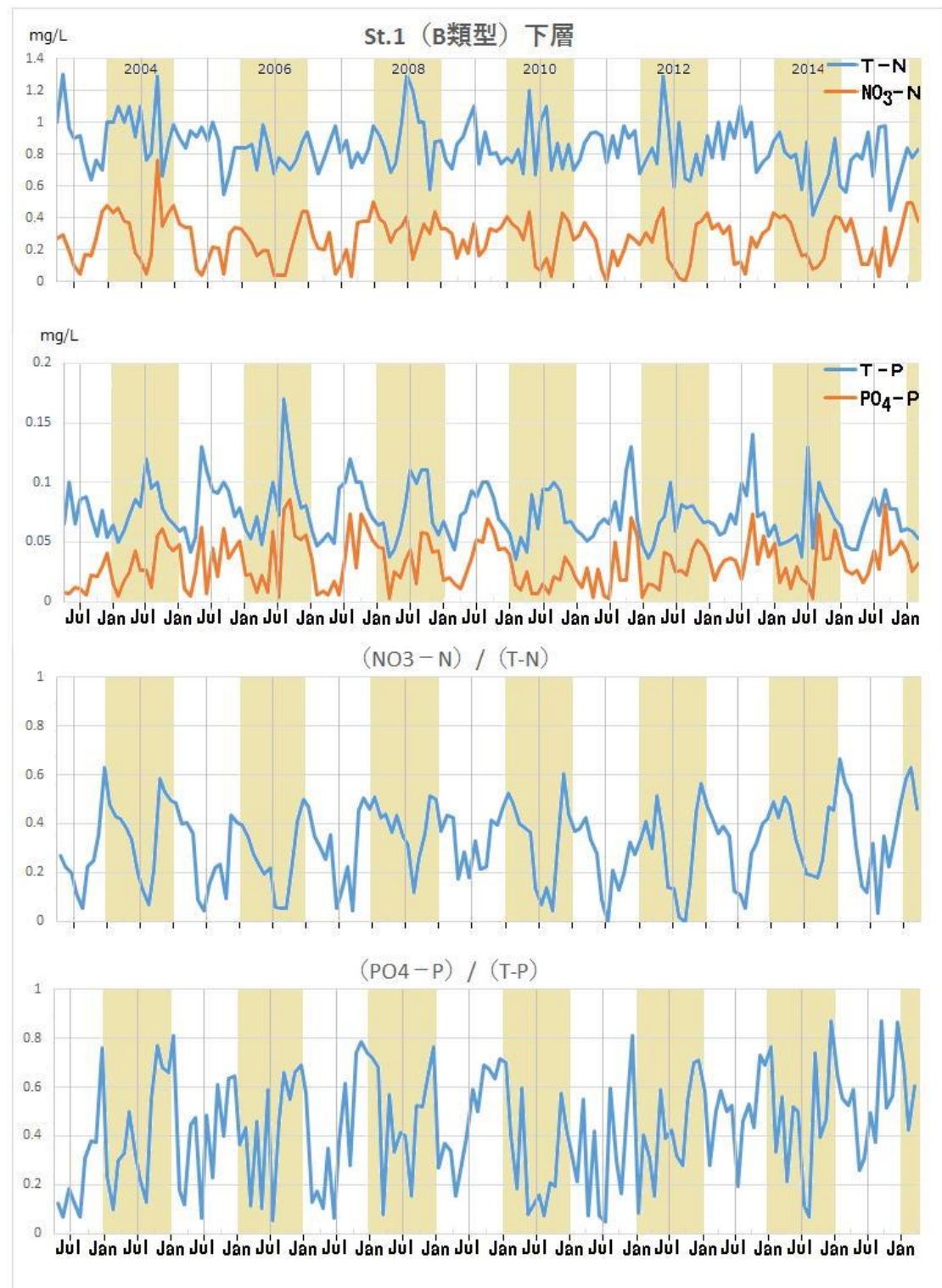


図3 東京湾1下層の栄養塩類濃度の推移

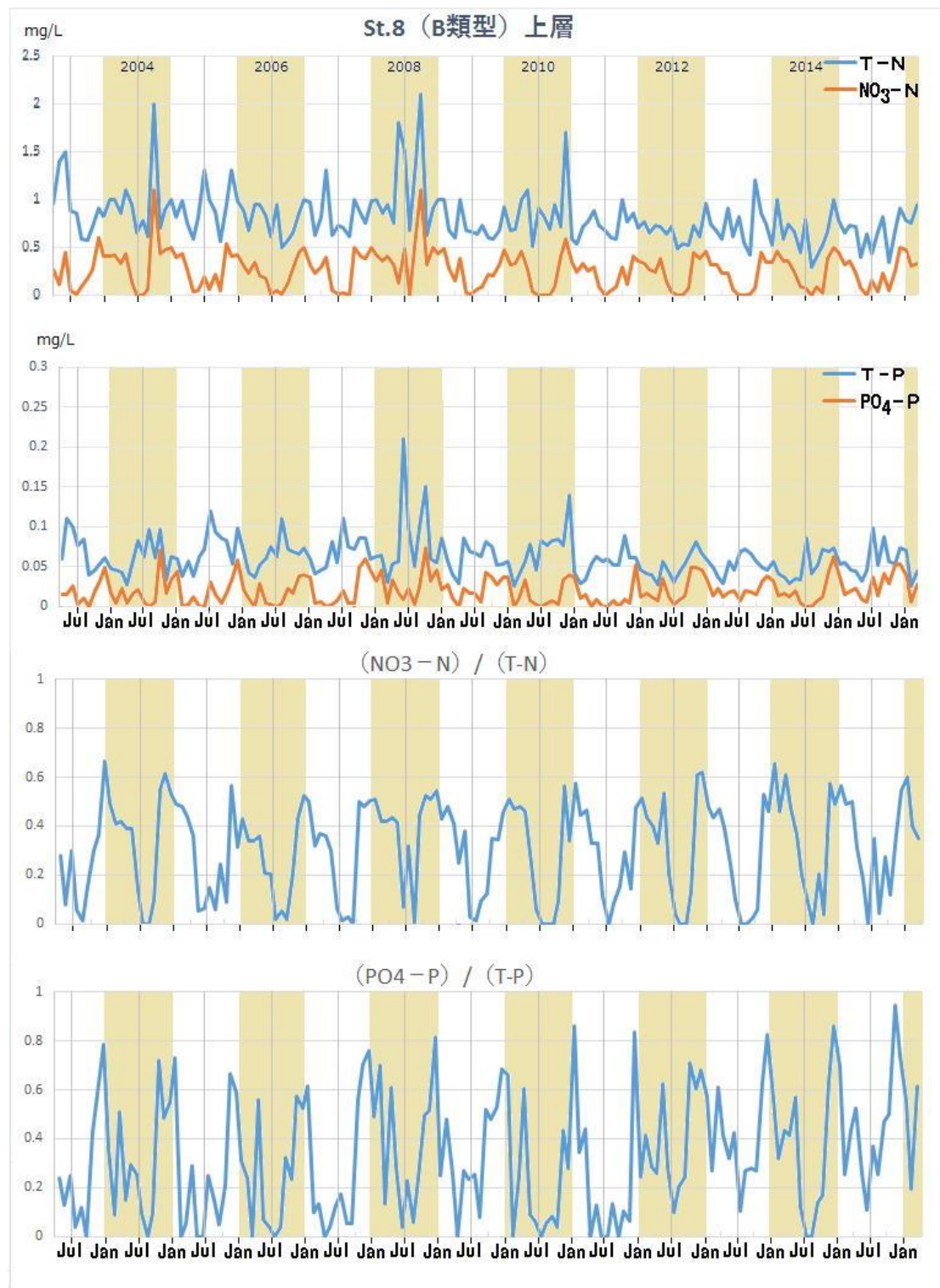


図4 東京湾8上層の栄養塩類濃度の推移

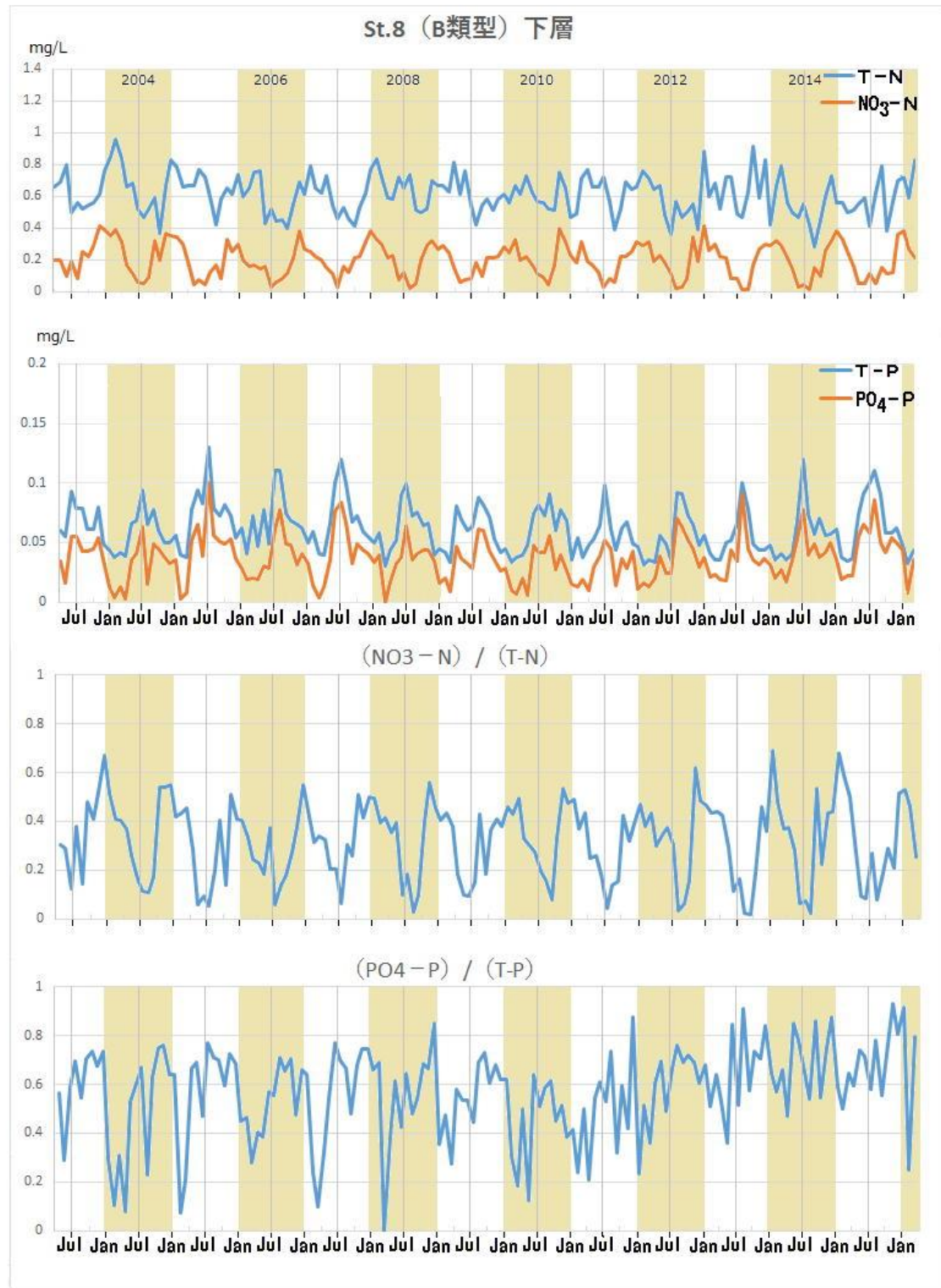


図5 東京湾8下層の栄養塩類濃度の推移

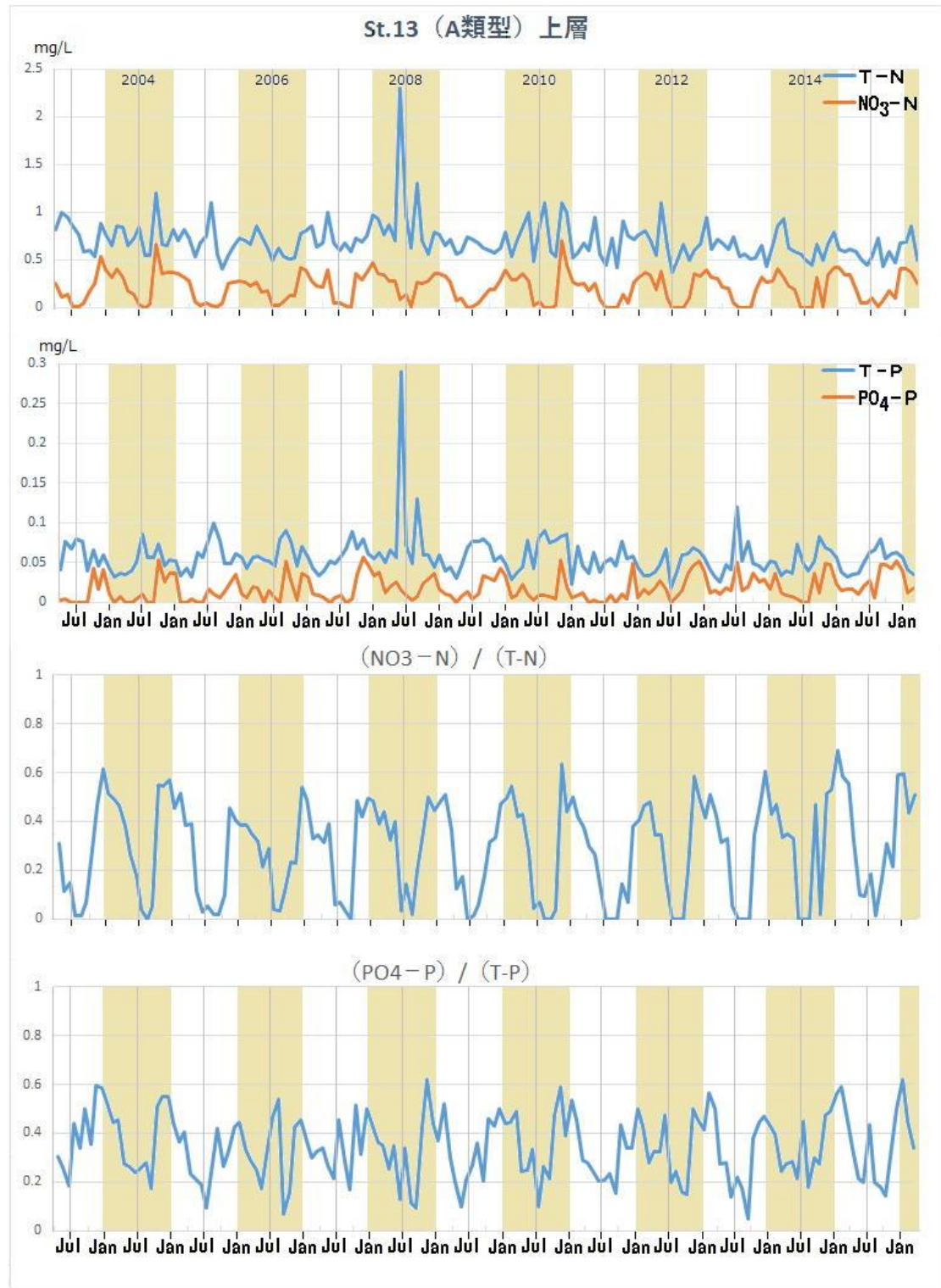


図6 東京湾13上層の栄養塩類濃度の推移

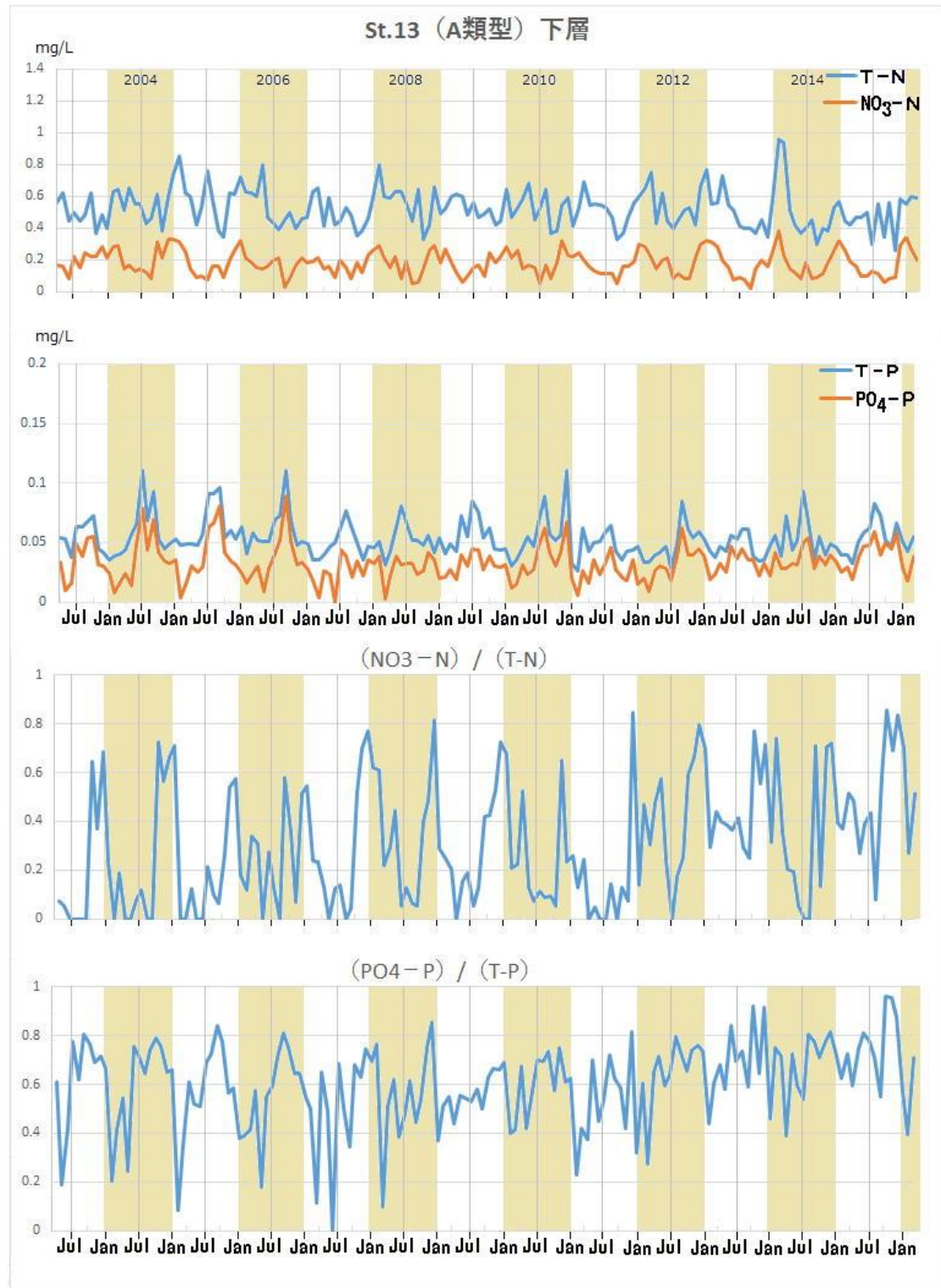


図7 東京湾13下層の栄養塩類濃度の推移

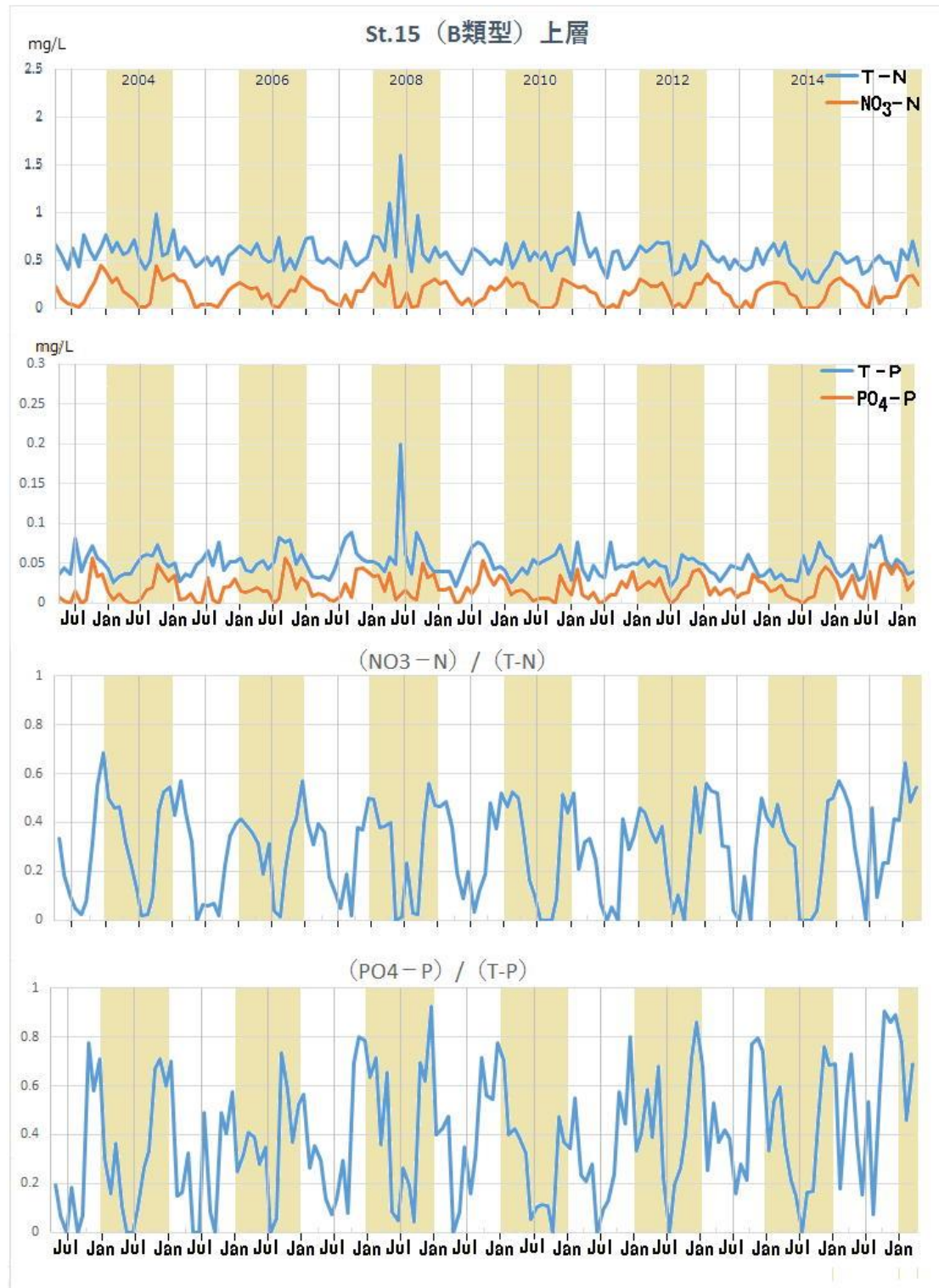


図8 東京湾15上層の栄養塩類濃度の推移

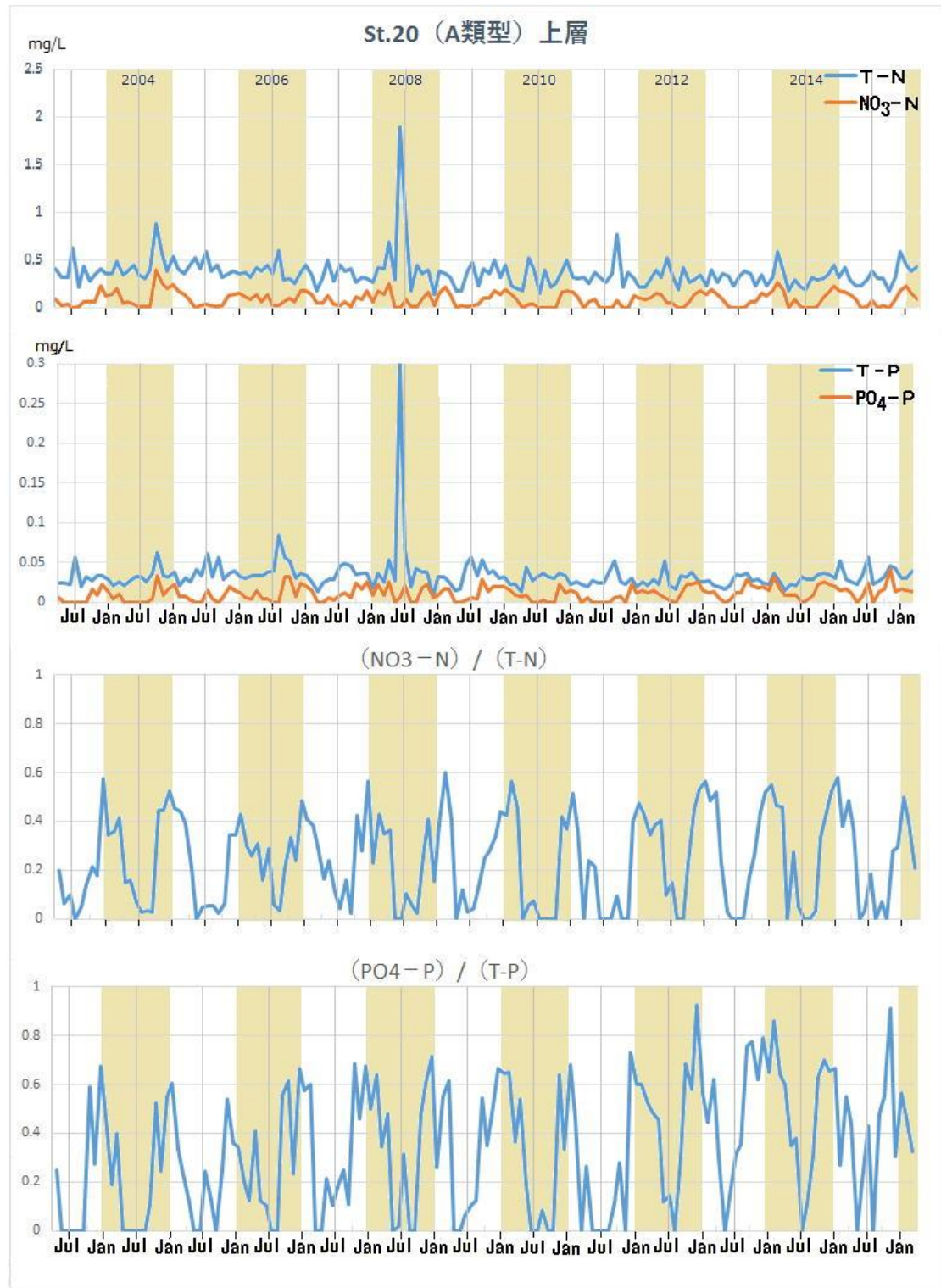


図10 東京湾20上層の栄養塩類濃度の推移

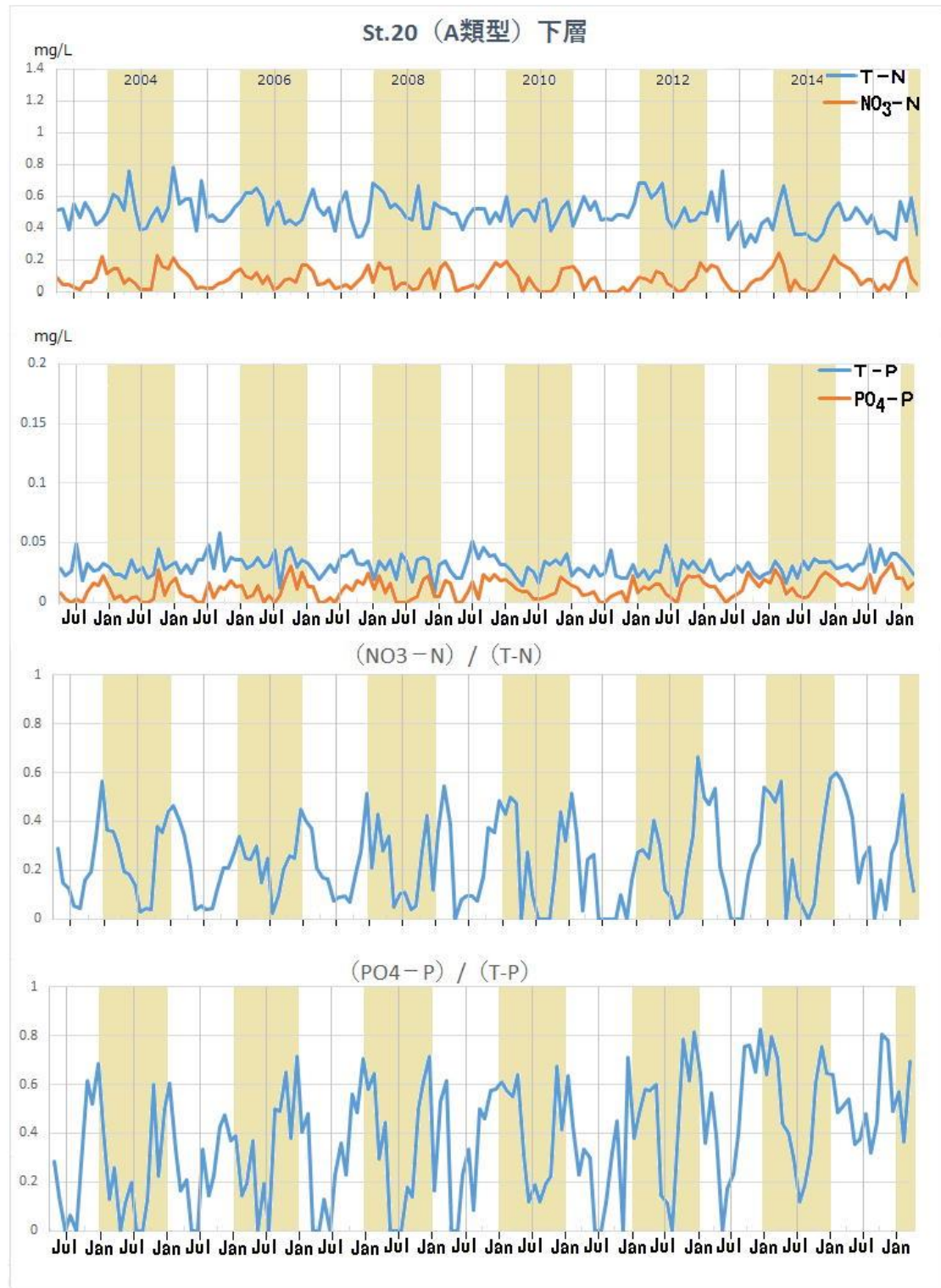


図11 東京湾20下層の栄養塩類濃度の推移

東京都内湾部における貧酸素水塊発生状況の実態解明 および赤潮・貧酸素水塊の実態調査

公益財団法人東京都環境公社 東京都環境科学研究所

橋本 旬也・安藤 晴夫・石井 裕一

【目 的】

公共用水域水質測定データの統計解析結果によれば、東京湾奥部の千葉県側海域では近年、貧酸素水塊の発生域が縮小傾向を示しているのに対して、東京都内湾部では溶存酸素量（DO）に改善傾向が認められず深刻な状況が続いている。本研究は、東京都内湾部において浅場造成等の水生生物の生息環境改善策を検討するために必要な、貧酸素水塊の挙動、特にどの程度の水深まで貧酸素水塊が発達し、生物に影響を及ぼす可能性があるのかを明らかにする目的で実施した。

【方 法】

1 貧酸素水塊発生状況の実態解明

- (1) 東京都環境局が水質常時監視と赤潮調査時に観測した7年間（2007～2014年度）の水温、塩分およびDOの多層データ（水深0、2、5、10 m…）にスプライン補間法を適用して水深0.5 m間隔の値を推定し、それを用いて地点別にDOの鉛直分布の時系列変化図を作成した。
- (2) 2011年7月6日に荒川河口から多摩川河口を結ぶ線上の12地点（図1）で水質の鉛直分布調査を行ない、そのデータから水質鉛直断面図を作成してDOと他の水質項目との関連を比較検討した。なお、調査の当日、前日、前々日の日平均風速は、それぞれ4.8、6.8、11.8 m/s（気象庁アメダス江戸川臨海）であった。

2 赤潮・貧酸素水塊の実態調査

東京都内湾のうち、隅田川河口から沖へのライン、沖から荒川河口へのラインおよび閉鎖的な水域にある環境基準点 St.6 で調査を行った。調査期間および調査地点数は、下記のとおりである。

- ・調査期間 2016年4月26日～2017年3月2日
- ・調査地点 11地点（図1参照）

各調査地点で水質の現場測定を行うとともに、表層及び底層の水を採取し分析を行った。

現場測定及び採水分析の項目は、下表のとおりである。

表1 水質現場測定及び採水分析の項目

水 質 現 場 測 定		採 水 分 析（表 層、底 層）
	多項目水質計	
透明度	水温、塩分、 溶存酸素（DO）、 クロロフィル a	浮遊物質（SS、表層のみ）、全有機体炭素（TOC）、溶存性有機体炭素（DOC）、全窒素、溶存性窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素、全りん、溶存性りん、りん酸態りん

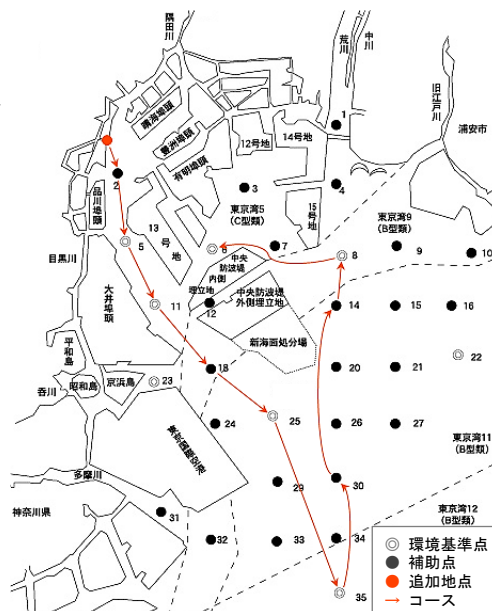
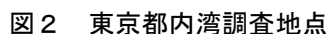


図1 調査地点およびコース

1 貧酸素水塊発生状況の実態解明

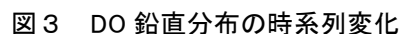
図 3 に、東京都内湾の環境基準点 3 地点における DO 鉛直分布の長期的推移を示す。図 3 によれば、各地点とも夏季には、海底から躍層付近まで貧酸素水塊が厚く発達し（赤で示す領域）、同時に海面付近ではしばしば赤潮プランクトンの光合成により DO が過飽和状態（紫で示す領域）になっている。こうした状況は、解析対象とした全期間を通じてほとんど変化が認められない。特に、中央防波堤内側の St.6 では、他の地点に比べて赤潮と貧酸素水塊の発生期間が長いことが分かる。

図4は、荒川河口-St.35-多摩川河口を結ぶ線で鉛直方向に切断し、展開した水質の断面図である。水温、塩分、DO、りん酸態りん濃度の分布構造がよく類似している。すなわち、水温が低く塩分が高い底層付近に貧酸素化した海水が存在し、DOが1 mg/L以下の海底の付近では、りん酸態りん濃度が特に高くなっている。このことは、底層水の貧酸素化により、底泥からりんが溶出していることを示唆している。なお、荒川河口域のりん酸態りん濃度の分布に着目すると、海面付近と貧酸素化した海底で値が高く、東京湾へのりんの負荷が、河川からの流入と底泥からの溶出によることを示唆している。



* 地図上で **St.** を付した地点は環境基準点、それ以外の地点は補助地点で、前者では年 12 回、後者では年 2 回定期的に水質調査が実施されている

* **St.35** は、荒川と多摩川の延長線上にあり、東京都内湾で最も沖合に位置する地点



- * 各地点（各グラフ左上）の位置を図2に黒丸で示す。
- * 図中で赤の領域は貧酸素、紫は過飽和状態を示している
- * 各地点とも夏季には、底層は底泥中の有機物分解により貧酸素
表層は赤潮プランクトンにより過飽和状態になっている。

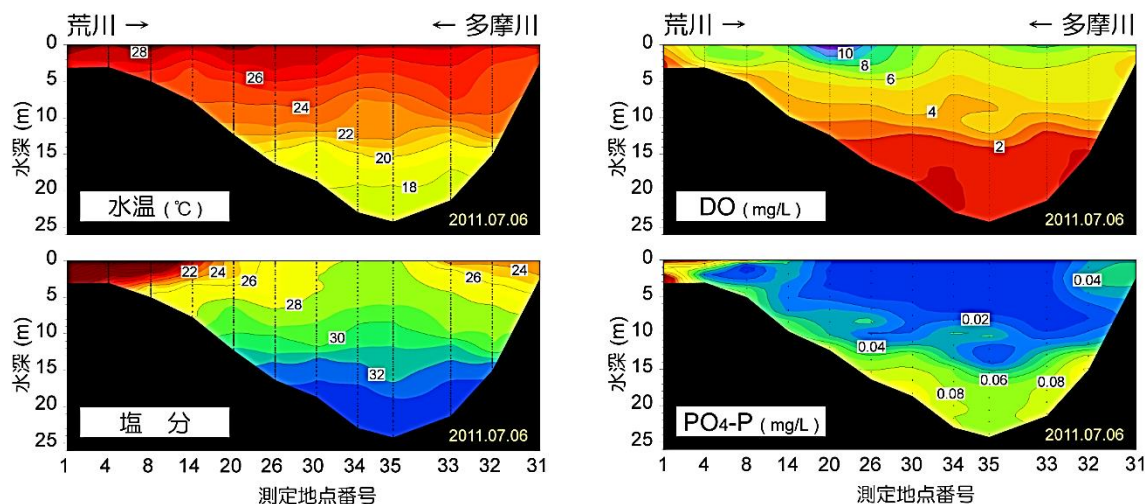


図4 水質鉛直断面図

* 図2の St.1～St.31 を結ぶ線上の各地点で水質の鉛直分布を測定し、それらを補間して作図した。

* DO が 2mg/L 以下 (赤で示す領域) では、水生生物の生息が困難であると考えられる。

* DO が 1mg/L 以下の海底周辺では PO₄-P (りん酸態りん) 濃度が高く、底泥からのりん溶出が示唆される。

* 荒川河口 (測定地点番号 1～4) の PO₄-P 濃度分布は海面と海底付近で高く、りんが河川と底泥から東京湾に供給されていることを示している。

2 赤潮・貧酸素水塊の実態調査

(1) 水質鉛直分布

赤潮および貧酸素水塊の指標であるクロロフィル a および DO の鉛直分布について、代表的な例として St.25 の鉛直分布を図5に示す。St.25 におけるクロロフィル a および DO について、下記の傾向が確認された。

- ・ 4月26日および5月6日の調査では、St.25 の水深 2 m 以下の層にクロロフィル a のピークが見られた。他の地点も同様の傾向にあり、赤潮の発生時季より前に植物プランクトンが中層に存在していた。
- ・ 5月24日に St.25 の表層でクロロフィル a 濃度が約 85 $\mu\text{g/L}$ まで上昇したとともに、底層 DO が 2 mg/L 前後まで下がった。その後、6月7日および6月15日に St.25 の表層クロロフィル a が減少し底層 DO が回復したが、6月21日に再び表層クロロフィル a が増加し底層 DO が低下した。
- ・ 6月28日および7月12日の調査では、St.25 表層のクロロフィル a 濃度がおおむね 30～40 $\mu\text{g/L}$ の範囲にあり、赤潮の判定基準 (50 $\mu\text{g/L}$) 以下であった。St.25 の底層は DO が 2 mg/L 以下で、貧酸素の状態であった。
- ・ 7月20日は東京都内湾の広い範囲で赤潮が見られ、St.25 表層のクロロフィル a 濃度も高い値となった。5月24日および6月21日の傾向と同様に、表層クロロフィル a 濃度の上昇と同時に底層 DO の低下が見られた。St.25 の底層は DO が 0.1 mg/L 以下の無酸素状態となった。
- ・ 8月および9月の調査では、表層のクロロフィル a が減少しても、底層は無酸素または貧酸素の状態が継続していた。

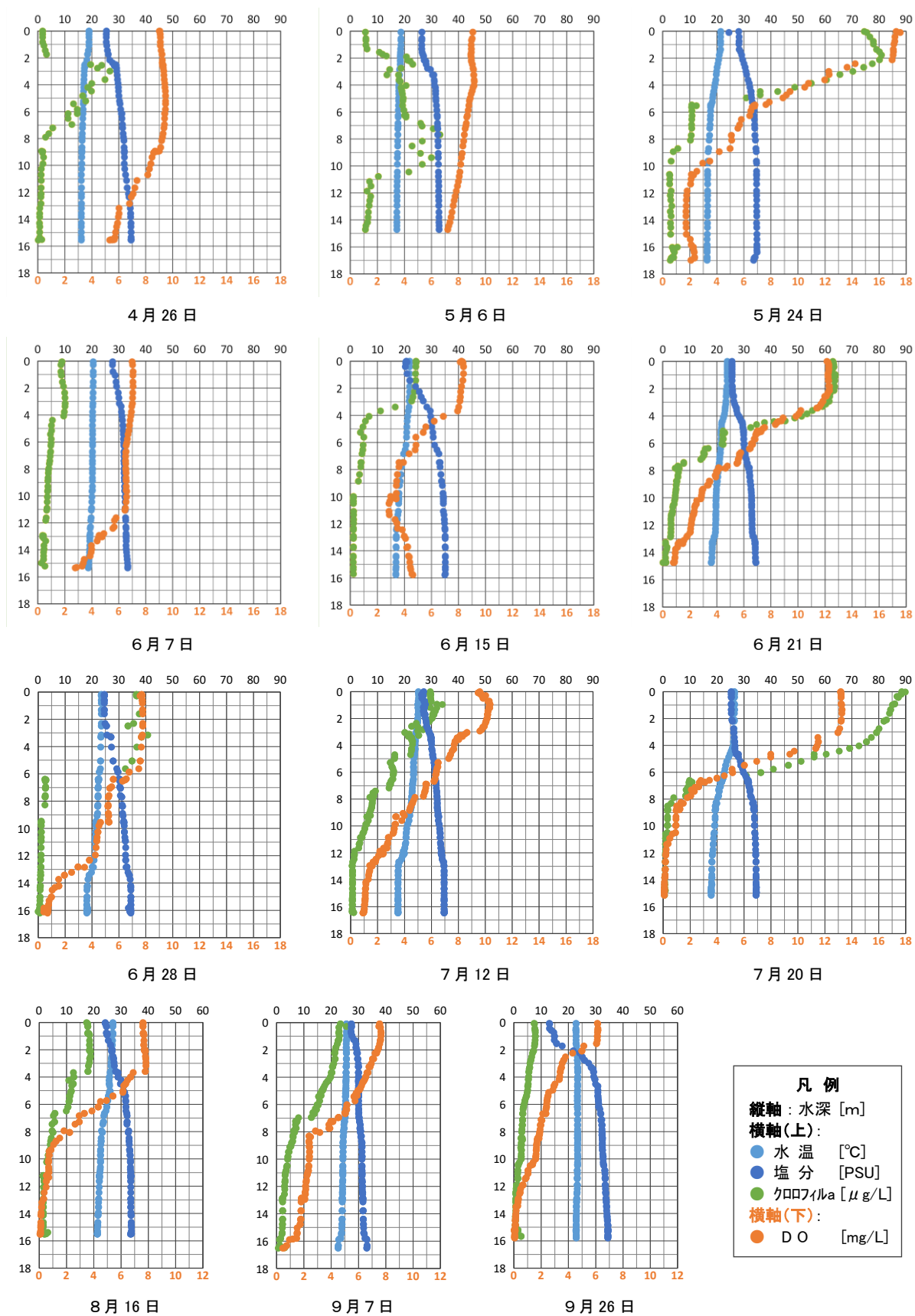


図5 St.25の水質鉛直分布(2016年)

(2) 底層 DO とりんの溶出

東京都の海域における全窒素・全りんに係る環境基準点は、St.22、St.25 および St.35 の 3 地点である。2015 年度の東京都環境局の水質測定結果から、これらの 3 地点で測定された全窒素および全りんの月別平均値を見ると、夏季に下層の全りんが上昇していることが分かる（図 6）。

この原因として、夏季に底層で発生する貧酸素水塊の影響が考えられる。図 7 に示すとおり、St.22、St.25 および St.35 における下層の DO と全りんには相関が見られ、DO が低いほどりんの濃度が高くなっている。他の地点に比べて赤潮と貧酸素水塊の発生期間が長い St.6 でも、図 8 のとおり同様の傾向が見られるが、下層の DO とりん濃度の関係にばらつきがあり、同じ下層 DO でもりんの濃度に差が見られる。

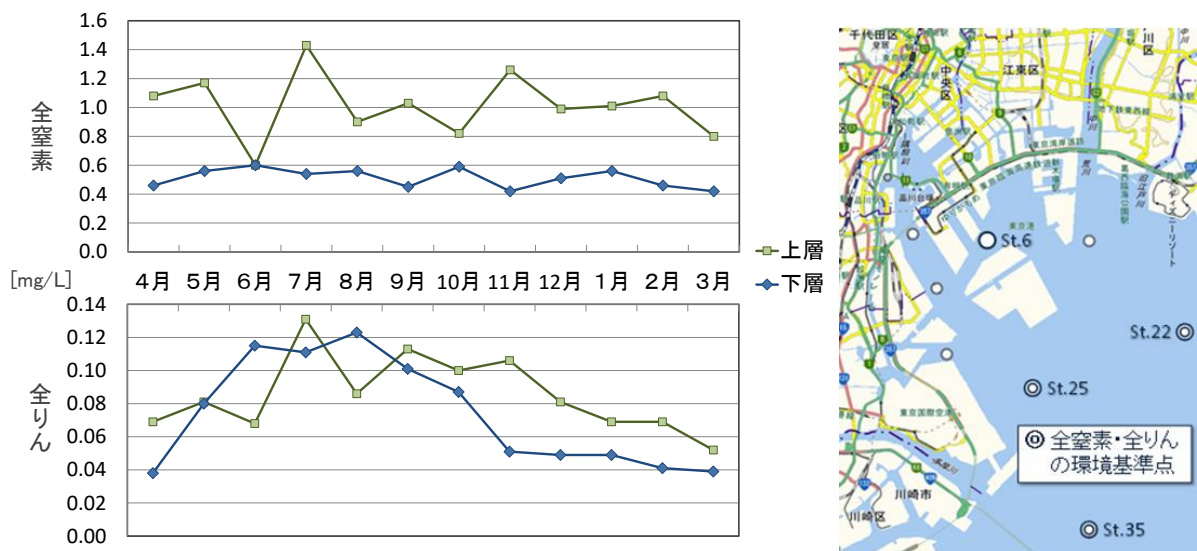


図 6 全窒素・全りんの月別環境基準点 (St.22、St.25、St.35) 平均値 (2015 年度)

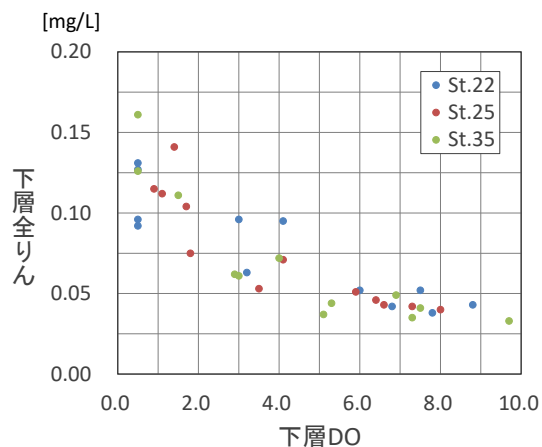


図 7 環境基準点下層の DO と全りん (2015 年度)

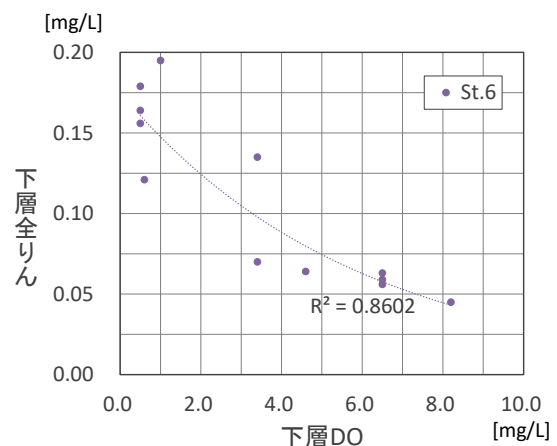


図 8 St.6 下層の DO と全りん (2015 年度)

2016 年度には、St.6 において 4 月 26 日～10 月 24 日に平均で 7.5 日に 1 回の頻度で調査を行い、11 月以降も月 1 回の調査を行った。2016 年 4 月 26 日～12 月 2 日の St.6 底層における DO とりん酸態りん濃度の関係を図 9 に示す。

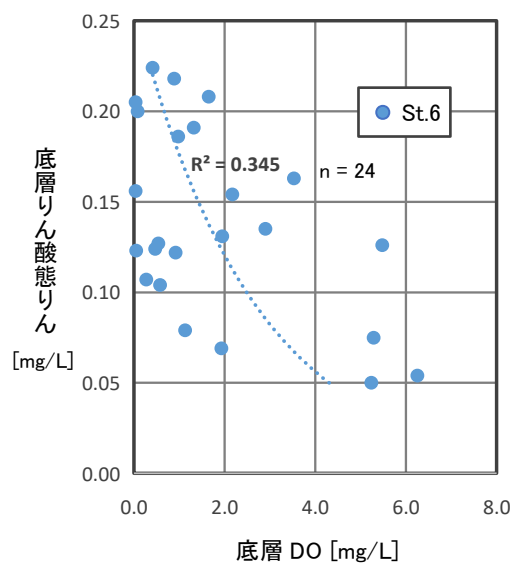


図9 St.6 底層の DO とりん酸態りん
(2016 年 4 月 26 日～12 月 2 日)

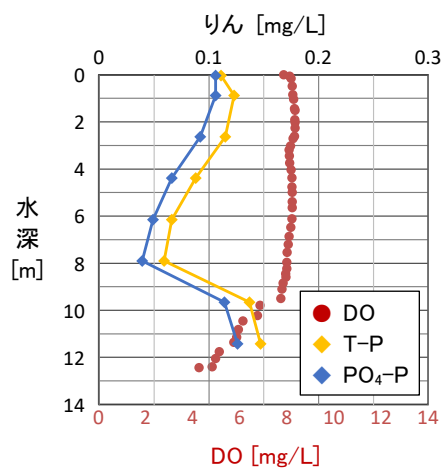


図10 St.6 水質鉛直分布 (2016 年 4 月 26 日)

下層（底層）の DO とりん（全りん、りん酸態りん）の関係は、データ数を増やしても相関が高くなり、ばらつきが大きくなっている。これは、底層が貧酸素の状態になくとも底層のりん濃度が高くなったり、逆に底層 DO が低くとも底層のりん濃度が低かったりするためである。図 10 に示すとおり、底層 DO が高くとも底層のりん濃度が高くなる現象が確認されている。

貧酸素水塊に関わる様々な現象について、それぞれの現象の発生メカニズムを解明することが今後の課題となる。2017 年度も内容を一部見直ししながら、貧酸素水塊の発生メカニズムを解明できるよう、調査研究を継続していく。

II 型共同研究（山形県沿岸海域における鉛直 D0 及び COD 関連項目測定）の結果について

山形県環境科学研究センター 水環境部

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 135 km 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。本県沿岸には、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は流域面積 7,040 km² を誇る最上川が流入し、その北側には水質悪化が懸念される酒田港がある。

近年、酒田港に流入する河川（新井田川、豊川、小牧川）の BOD が減少しているにも関わらず、酒田港内では COD が環境基準値を超過する地点が多く、COD 75%値が平成 12 年頃から増加傾向にある。現在、酒田港では防波堤延伸が進んでおり、閉鎖性が高まっている。

酒田港内及び山形県沿岸海域における水質の状況を把握し、酒田港内の水質悪化原因を究明するため、国立環境研究所との II 型共同研究「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究（平成 26～28 年度）」に前課題から引き続き参加し、多項目水質計による鉛直水質及び COD 関連項目の測定を行い、各項目間の関係について解析した。

2 調査方法

2. 1 調査時期と調査地点

日本海鼠ヶ関沖、吹浦沖及び酒田港内 No1、No5、No7、No9、No11（図 1）における水温、塩分、溶存酸素（D0）及び COD 関連項目について、平成 24～28 年の夏、晩秋の計 10 回調査した（ただし、No11 は平成 28 年から実施）。

なお、酒田港内 No5、No7、No9、No11 は環境基準地点であり、生活環境基準項目の類型は No5 及び No11 が B（COD 3 mg/L）、No7 及び No9 が A（COD 2 mg/L）である。

2. 2 調査内容

鉛直方向の水温、塩分、D0 の測定は、多項目水質計（HACH 社製 Hydrolab DataSonde 4a）を船上から海中に垂下して現場測定及びデータ保存を行った。

COD 関連項目については、表層から約 0.5m の海水を採水した後、試料を保冷下で実験室に搬入し、ふらん瓶で 3 日間及び 5 日間培養し、BOD 分析に供した。

また、試料は直ちに 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、牧の方法¹⁾で COD、溶存性 COD（D-COD）、溶存性有機炭素（DOC）、懸濁性有機炭素（POC）、クロロフィル *a*（Chl *a*）及び栄養塩類の分析を国立環境研究所が行った。

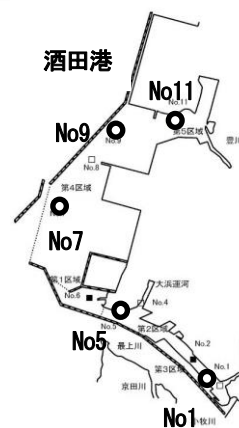


図 1 沿岸海域及び酒田港内調査地点

3 結果と考察

(1) 鉛直方向の水温、塩分、D0

鼠ヶ関沖（水深 60m）や吹浦沖（水深 40m）では、底層に行くほど水温が低下する傾向があったが、水温や塩分の躍層はみられなかった。

酒田港 No1、No5、No11 では、港内への流入河川の影響により、表層から 2～3 m までの塩分が低い傾向にあった（図 2、図 3）。

D0 は、酒田港奥部にある No1 では底層に向かうほど低下し、夏季には約 3 mg/L と低い値を示した（図 3）。沖合では、いずれの調査日においても底層 D0 は 5 mg/L 以上であった。

また、水温躍層と D0 低下がともに現れる貧酸素水塊は確認されなかった。

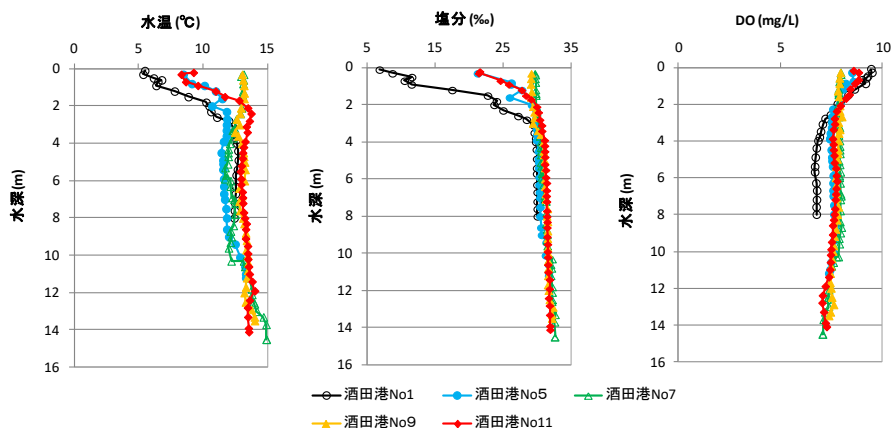


図 2 酒田港内の鉛直水質分布(H28 年 12 月)

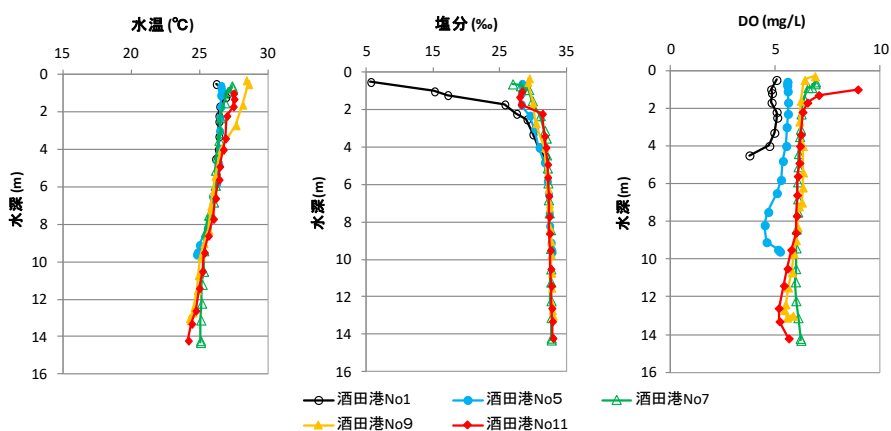


図 3 酒田港内の鉛直水質分布(H28 年 8 月)

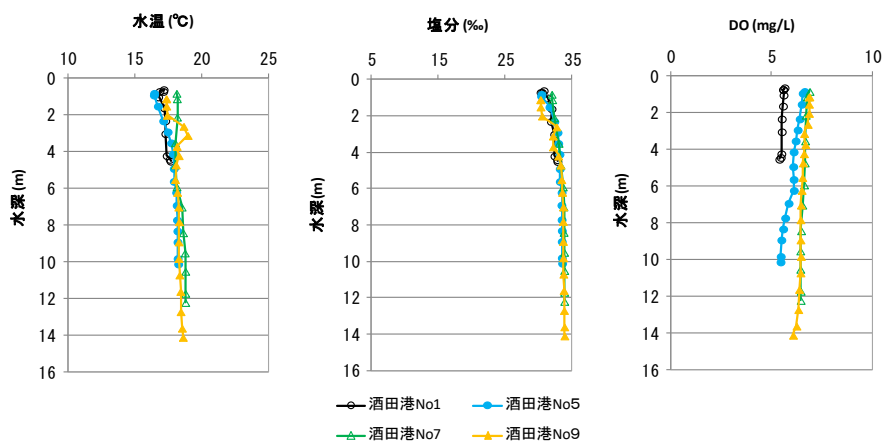


図 4 酒田港内の鉛直水質分布(H27 年 11 月)

(2) COD 関連項目

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 と D-COD は、港奥部から港外側にかけて減少する傾向にあった。COD に占める D-COD の割合及び有機炭素全体 (DOC+POC) に占める DOC の割合は高く、COD と有機炭素は溶存成分が多い傾向にあった。

また、港内の Chl *a* は、鼠ヶ関沖や吹浦沖と比較して高い値を示した。

図 5 に各 COD 関連項目間の関係を示す。Chl *a* と POC は正の相関を示し、POC の主成分は植物プランクトンであると考えられる。この相関は地点による違いがみられ、酒田港内の相関係数は鼠ヶ関沖や吹浦沖と比べて低く、特に酒田港 No1 について相関が低かった。これは鼠ヶ関沖及び吹浦沖における POC の主成分が植物プランクトンであるのに対し、酒田港内では河川由来の懸濁物質等の影響が大きいためと考えられる。

一方、P-COD と Chl *a* は相関がみられず、P-COD には植物プランクトン以外の成分が関与していると考えられる。

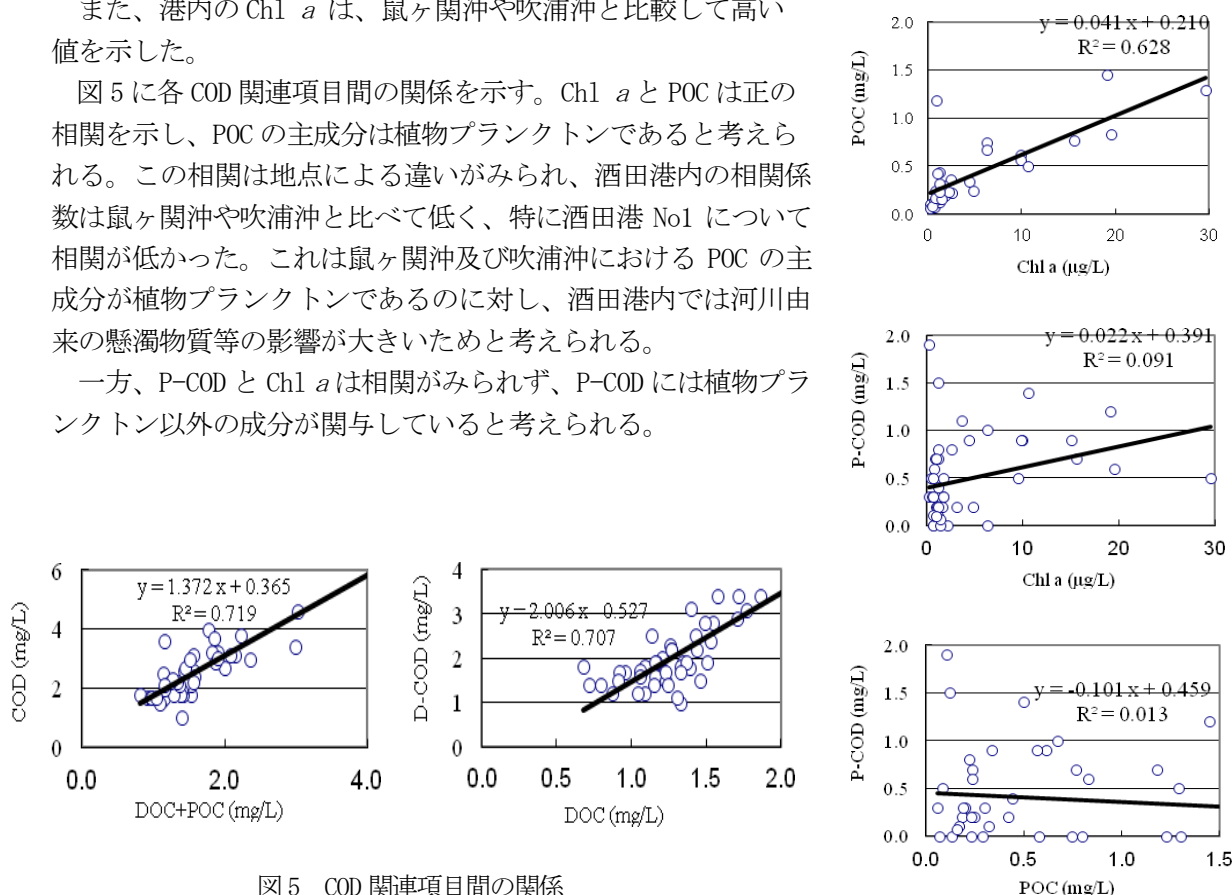


図 5 COD 関連項目間の関係

平成 26 年度から測定を開始した BOD については、BOD3 (3 日間培養) と BOD5 (5 日間培養) について、図 6 に示すとおり、正の相関があり、3 日間の培養で十分と考えられた。しかし、BOD と COD との間に相関はみられなかった。

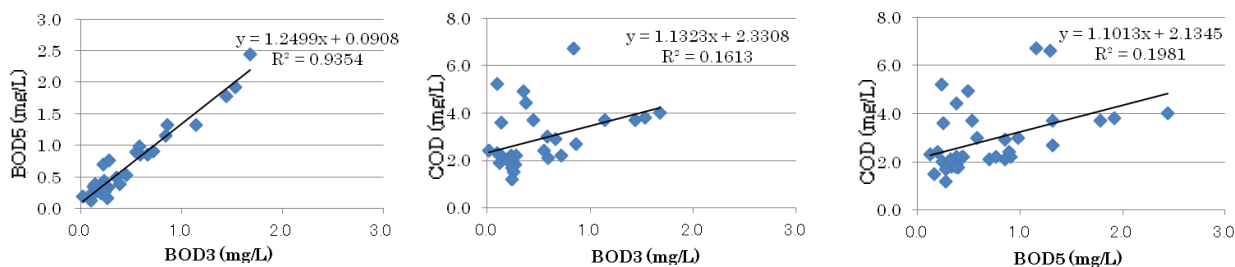


図 6 BOD と COD 等との関係

4 まとめ

酒田港内、鼠ヶ関沖及び吹浦沖において多項目水質計による鉛直水質及びCOD関連項目の測定を行った。流入河川に近い地点では、表層から2～3 mまでの塩分が低い傾向にあった。

いずれの地点でも貧酸素水塊は確認されなかったが、夏季に港奥部において底層のDOが約3 mg/Lまで低下しており、微生物によるDO消費が示唆された。

また、鼠ヶ関沖及び吹浦沖におけるPOCはChl *a*と相関があり、植物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。

今後は、鉛直水質データ等を活用しながら、酒田港内の流動モデル計算及び水質予測を行い、酒田港内における効果的な水質改善策を模索していく。

5 参考文献

- 1) 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、地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究(Ⅱ型)「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」報告書、11 - 15(2014)

新潟東港における底層 DO の測定結果について

新潟県保健環境科学研究所
調査研究室 水質科学科

1. はじめに

新潟市の北端に位置する新潟東港は工業地帯に面し、福島潟放水路と新発田川放水路が接続している。港の海側は防波堤で囲まれているため、化学的酸素要求量（COD）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 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が発生すると沿岸海域環境への悪影響が懸念される。

当研究所では、平成 23 年度から 25 年度まで実施された国立環境研究所とのⅡ型共同研究「沿岸海域環境の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」において、新潟海域（新潟東港）No.15 の溶存酸素量（DO）の鉛直分布を調査した。平成 24 年度及び 25 年度の 7 月に 1 回ずつ実施した調査では、貧酸素耐性の低い生物に影響が及ぶと考えられている底層 DO4 mg/L を下回ることとはなかった。今回、平成 26 年度から 28 年度において、引き続き No.15 の DO 鉛直分布について調査したので報告する。

2. 方法

2. 1 調査地点及び測定日

新潟東港の位置を図 1 に、調査地点を図 2 に示す。測定は公共用水域常時監視地点（環境基準点）である新潟海域 No.15 において実施した。本地点は、水質汚濁防止法上 B 類型に指定されており、COD の環境基準値は 3 mg/L である。調査は新潟県が実施する公共用水域常時監視と同時に行い、平成 26 年度から 28 年度までに計 4 回測定した。

2. 2 測定方法

国立環境研究所より借用した多項目水質計（Hydrolab 製 DATA SONDE4a）を使用し、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。気温、全水深、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。また、混合試料液のクロロフィル a（Chl.a）は国立環境研究所が分析した。



図 1 新潟東港の位置



図 2 調査地点

3. 結果及び考察

3. 1 公共用水域常時監視項目等

No.15 での調査日における現地概況、COD²⁾ 及び Chl.a の分析結果を表 1 に示す。現地概況及び分析結果を比較すると、平成 26 年の調査は他の調査日よりも気温及び透明度が低く、COD 及び Chl.a が高くなっていた。平成 26 年の調査時、表層では大量に植物プランクトンが発生し、それが透明度の低下及び COD の上昇を引き起こした原因のひとつであったと考えられた。

表 1 現地概況及び分析結果

調査日	天候	気温 (℃)	全水深 (m)	透明度 (m)	COD (mg/L)	Chl.a (μg/L)
平成 26 年 7 月 8 日	曇り	24.5	14	1	6.3	42.3
平成 27 年 8 月 3 日	晴れ	30.9	14	2	4.4	19.4
平成 28 年 8 月 2 日	曇り	28.1	13	2	4.5	7.0
平成 28 年 9 月 6 日	曇り	30.2	13	3	4.1	1.3

3. 2 多項目水質計での測定

新潟東港における塩分、水温及び DO の鉛直分布を図 3～6 に示す。いずれの調査日においても、全水深（表 1）と多項目水質計による測定の最大深度がほぼ同じであることから、測定地点の海底付近まで測定できていたと考えられた。

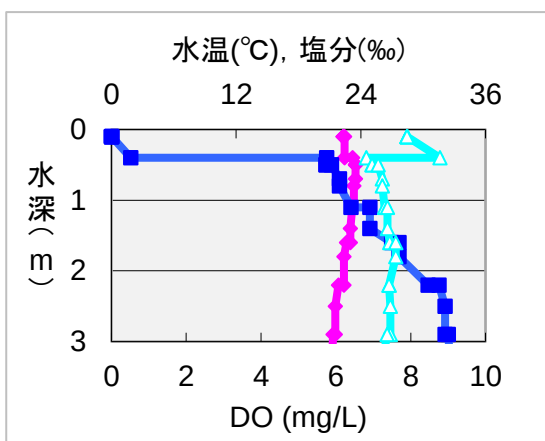
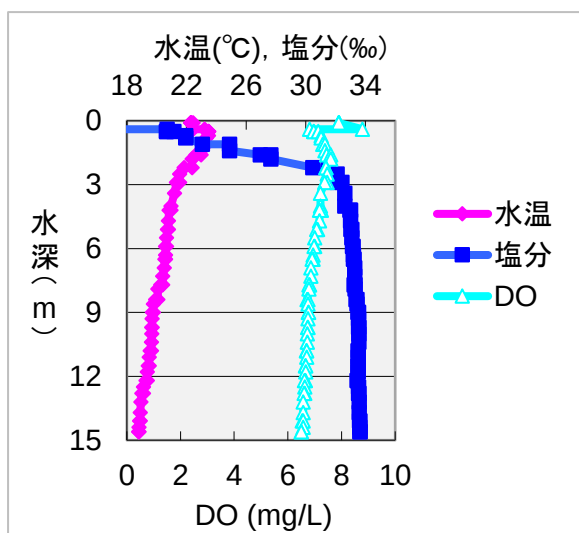


図3 平成26年7月8日 (左：全水深、右：水深0～3 m)

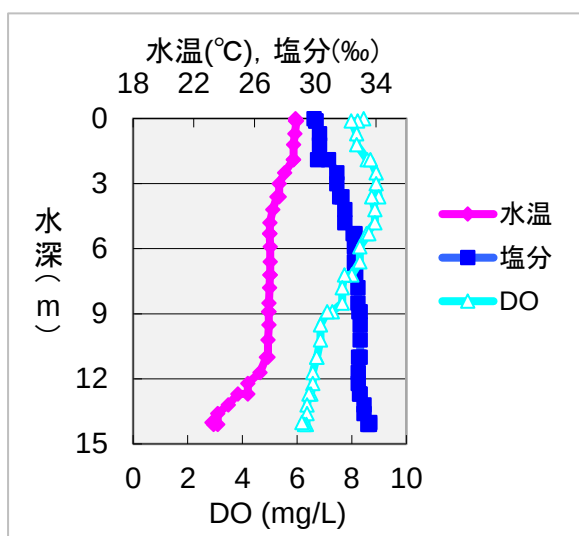


図4 平成27年8月3日

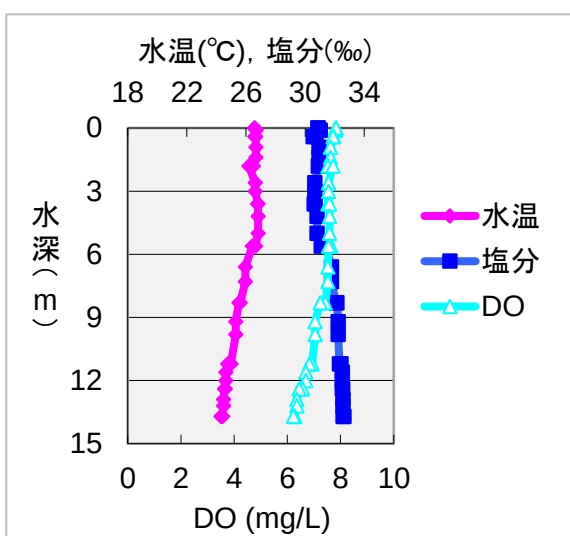


図5 平成28年8月2日

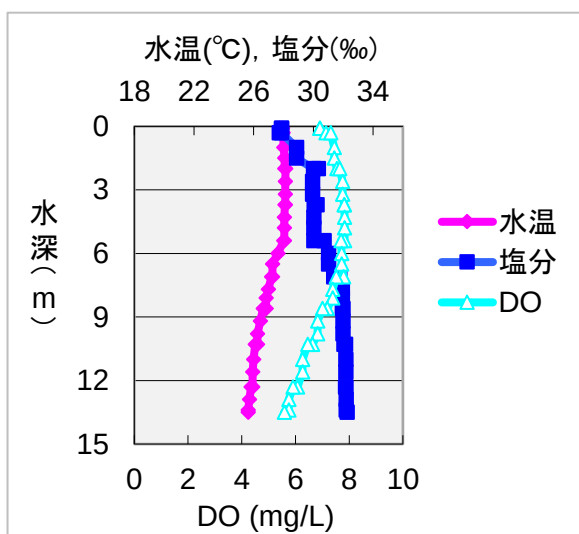


図6 平成28年9月6日

平成 26 年 7 月 8 日（図 3）は、表層から水深 2 m 付近まで塩分が低く、淡水が流入している様子が認められた。その影響により、水温及び DO にも変化が見られ、特に水深 0.5 m 付近では急激に DO が減少し、水温もわずかに上昇した。2 m 以深はどの項目も緩やかな変化しか見られず、淡水の影響は小さくなったと考えられた。

平成 27 年 8 月 3 日（図 4）は、12 m 以深において急激な水温の低下が見られた。しかし、DO にそのような変化は見られず、水深 3.6 m における 9.0 mg/L を最大として緩やかに減少し、海底付近 14 m で最小値 6.2 mg/L となった。

平成 28 年 8 月 2 日（図 5）は、表層から水深 5 m までは水温及び塩分に大きな変化は見られないが、5 m 以深では深くなるにしたがって水温の緩やかな低下と塩分の緩やかな上昇が見られた。DO は水深 8 m 付近から深くなるにつれ、緩やかに低下した。

平成 28 年 9 月 6 日（図 6）は同年 8 月の測定値と比べると、どの水深においても水温が 1 ℃ほど高かった。DO については、8 月が水深 7.3 m から 13.7 m までの間に 7.5 mg/L から 6.2 mg/L まで低下したのに対し、9 月は水深 7.1 m から 13.5 m までの間に 7.5 mg/L から 5.6 mg/L まで低下した。

調査日によって程度が異なるものの、淡水が流入している様子が確認された。東港には福島潟放水路及び新発田川放水路が接続しているが、全ての調査日において福島潟放水路の潮止堰からの放流はなかった。このことから、新発田川放水路から放流された河川水が要因のひとつになっていると考えられる。または、沿岸部の表層を流れる河川水が潮流により湾内に流入した可能性も考えられる。

前回調査を実施したのは 7 月のみだったが、閉鎖性海域である東京湾¹⁾や志津川湾³⁾では 9 月にも底層の DO 低下が見られたことから、今回は 8 月及び 9 月にも調査を実施した。平成 28 年度の調査では 9 月において 8 月よりも低い DO 濃度が海底付近で見られたが、4 mg/L を下回ることはなく、いずれの調査日においても底層の貧酸素化は確認されなかった。

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 26 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/1356830235994.html>

（平成 27 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/1356858176911.html>

(平成 28 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/1356832866964.html>

3) 千葉ら: 宮城県沿岸閉鎖性海域における貧酸素水塊発生状況の把握(第 1 報)、
宮城県保健環境センター年報、33、57～60 (2015)

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、閉鎖海域等での底層の溶存酸素（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¹⁾

新潟県が今回調査対象とした海域 2 地点を図 1 に示す。

新潟海域 No.15（以下「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 mg/L、県北海域は類型 A で環境基準は 2 mg/L である。過去 10 年間（平成 18～27 年度）の COD 75%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、8 回超過している。

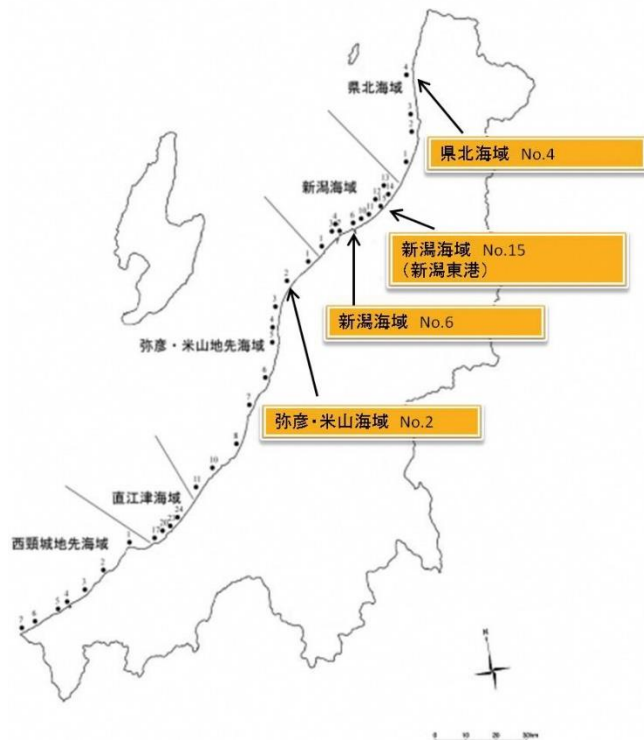


図 1 調査地点

2-2 新潟市の調査地点¹⁾

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

新潟海域 No.6（以下「新潟海域」）は阿賀野川河口沖に位置しており、海流により信濃川流入水の影響も受ける可能性がある。弥彦・米山地先海域 No.2（以下「弥彦米山海域」）は一部海岸に山が迫った地形となっており、流れ込んでいる大きな河川はない。いずれも水質汚濁防止法での類型 A であり、COD の環境基準は 2 mg/L である。過去 10 年間（平成 18

～27 年度) の COD 75%値では、新潟海域は 7 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

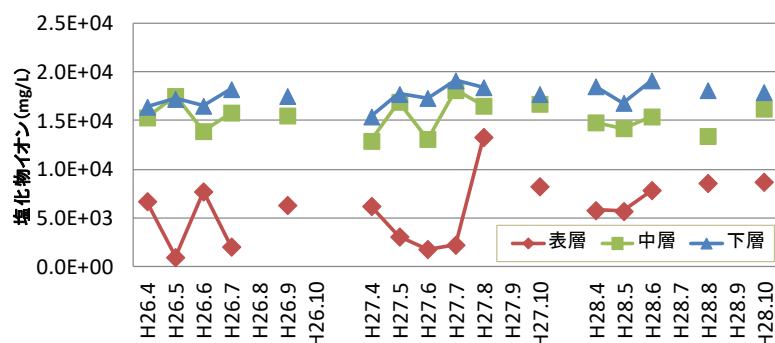
3-1 階層別調査

新潟市は、表層、中層（表層より-3 m）、下層（海底より 1 m）の階層別に採水し、COD 等の調査を実施した。ここで、若干の変動はあるものの、採水地点の水深は新潟海域で約 19 m、弥彦米山海域で約 13 m であった。ただし、項目によっては表層と中層の混合試料（以下「表層+中層」）も調査対象として使用し、一部は現場測定 of データを使用した。調査期間は平成 26～28 年の 4～10 月（各月 1 回。平成 26 年度は 8 月，平成 27 年度以降は 9 月を除く。）で、計 16 回行った。

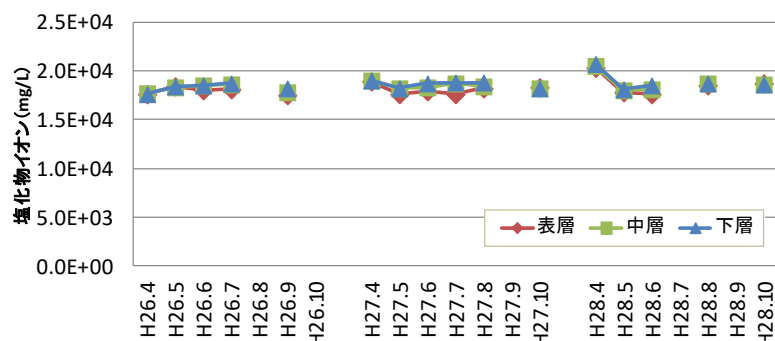
また、新潟海域への河川水の影響を検討するため、平成 28 年 4 月より、阿賀野川（松浜橋及び大阿賀橋）及び信濃川（本川大橋及び平成大橋）の河川水も同日調査し、塩化物イオン濃度が低く、海水の入り込みが少ない方の検体の値を各河川の水質として採用した（採用した検体：塩化物イオン濃度 5～25 mg/L の範囲内）。

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。調査は、基本的に水温が上昇する夏季と水温が若干下がる秋季に実施した（平成 24 年度～28 年度，新潟県は計 12 回，新潟市は計 8 回）。検体はいずれも表層+中層とし、分析は国立環境研究所が行った。



(a) 新潟海域



(b) 弥彦米山海域

図 2 塩化物イオン濃度（平成 26 年 4 月～平成 28 年 10 月）

4 結果および考察

4-1 階層別調査

(1) 塩化物イオン

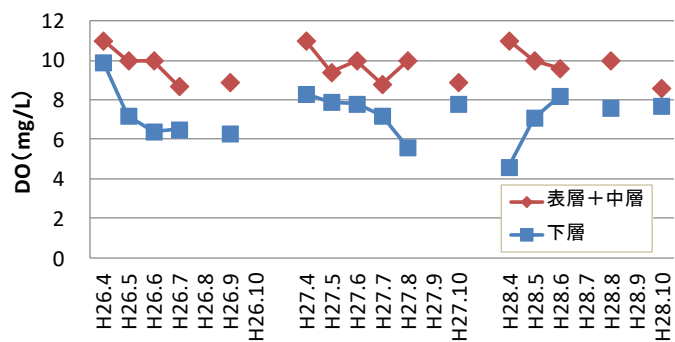
過去 3 年間の塩化物イオンの状況を図 2 に示す。

図 2 より、新潟海域における表層の塩化物イオン濃度は、下層と比較してかなり低く、過去 3 年間で、

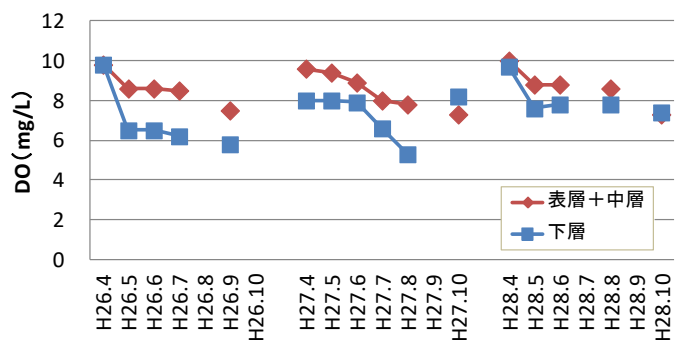
月ごとの変化に規則性は見られなかった。また、中層の塩化物イオン濃度は下層の値と近く、流入河川の影響は表層部 3 m 以内で強いと考えられる。

また、降雨の影響を見るために、新潟市での採水前 7 日間の降水量を調査し、表層の塩化物イオン濃度との関連を調べたが、直接的な影響は見られなかった。このことから、4 月～10 月における新潟海域表層の塩化物イオン濃度の変動は、河川を經由して流入した水が主な原因と考えられた。

一方、弥彦米山海域では、表層を含め、比較的安定した濃度で推移していた。また、表層から下層までの塩化物イオン濃度にさほど差がなかった。



(a) 新潟海域

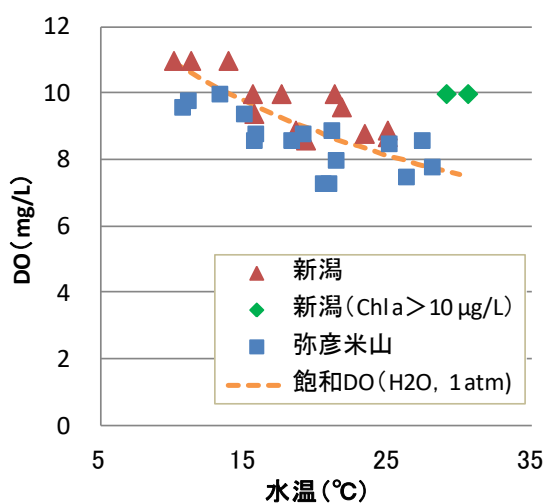


(b) 弥彦米山海域

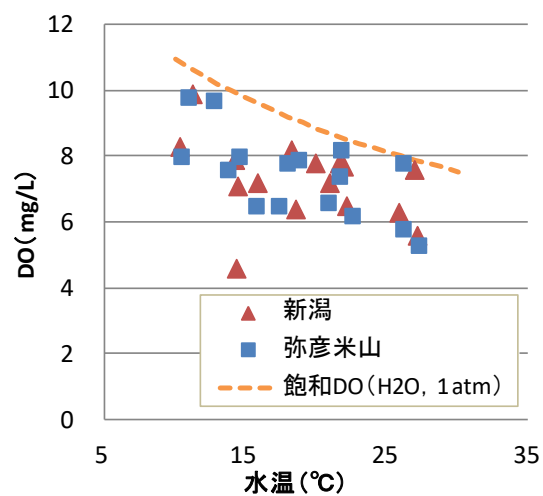
図 3 DO (平成 26 年 4 月～平成 28 年 10 月)

(2) 溶存酸素量 (DO)

図 3 に過去 3 年間の DO の状況を、図 4 に DO と水温の関係を示す。また図 4 には、目安として 1 気圧の水の飽和溶存酸素量を併せて示した。



(a) 表層+中層



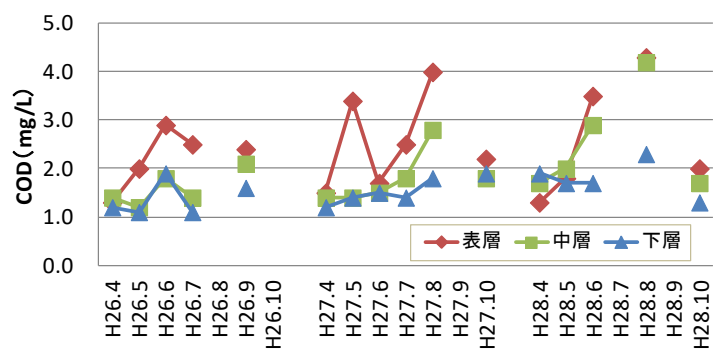
(b) 下層

図 4 DO と水温の関係 (平成 26 年 4 月～平成 28 年 10 月)

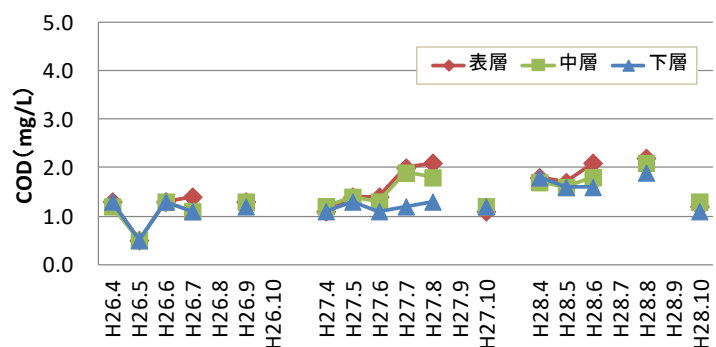
図 3 より、DO は、例外もあるものの、4 月に高く 8～10 月に低くなる傾向にあった。また図 4 より、DO は水温の上昇とともに低下する傾向が見られた。図 4(a)より、表層+中層の DO は、塩分濃度の低い新潟海域の方が、弥彦米山海域と比べて若干高めとなった。また、新潟海域において、クロロフィル a (Chl a) >10 $\mu\text{g/L}$ の 2 点（ともに 8 月）の DO が、水温の割に高かった。これについて、植物プランクトンによる影響等が示唆される。図 3 及び図 4 より、下層の DO は表層+中層よりも低い値を示した。下層 DO が最も低かったのが新潟海域の平成 28 年 4 月の 4.6 mg/L であり、夏場も深刻な貧酸素状態は認められなかった。

(3) COD

図 5 に各海域及び阿賀野川、信濃川における COD の状況を、図 6 に Chl a と COD の関係を示した。



(a) 新潟海域

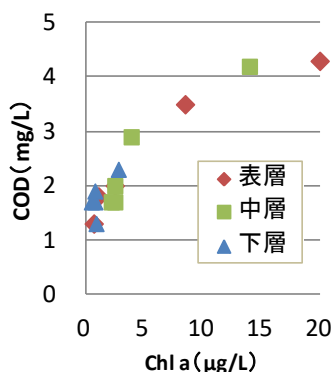


(b) 弥彦米山海域

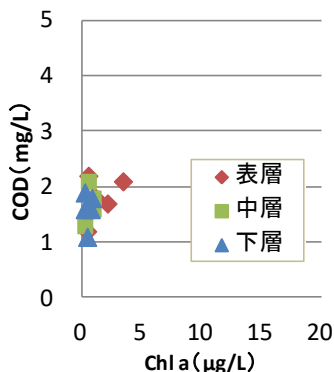


(c) 阿賀野川及び信濃川

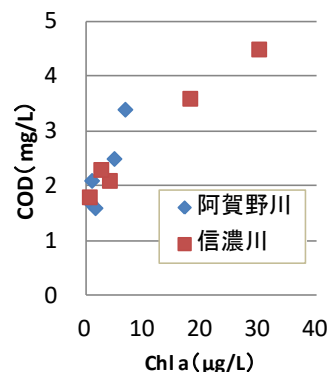
図 5 COD (平成 26 年 4 月～平成 28 年 10 月)



(a) 新潟海域



(b) 弥彦米山海域



(c) 阿賀野川及び信濃川

図 6 Chl a と COD の関係 (平成 28 年 4 月～平成 28 年 10 月)

図 5(a)より、新潟海域の COD は、夏場に向けて、表層及び中層で同調して高くなる傾向にあった。一方で、図 2(a)の塩化物イオン濃度では、表層でのみ河川水の影響が強く、中層とはさほど連動しなかった。これについて、沈降しやすい形態の有機物等が河川から流入した可能性や、表層と中層の COD 上昇の原因が別である可能性などが考えられた。

ここで、図 5(a)(c)より、新潟海域における COD 上昇の原因の 1 つは、河川の COD 由来と考えられた。しかし、図 2(a)の塩化物イオン濃度から推定される海水と河川水の混合比を考慮すると、特に夏場においては物質収支が合わず、他にも要因があると思われる。ここで、図 6(a)より、Chl a の増加に伴い表層+中層の COD が上昇しており、COD と植物プランクトンの関連性が強いことが示唆される。図 4(a)に加え、これらのことから、表層及び中層での COD 上昇には、河川 COD の直接的な影響以外に、植物プランクトンによる内部生産が関与しているのではないかと推測された。

一方で、下層 COD には、明確な傾向は見られなかった。

図 5(b)より、弥彦米山海域の COD も、新潟海域ほど明確ではないが、表層と中層で同調傾向にあった。また近年、下層を含め COD は上昇傾向にあり、今後も変化を見ていきたい。

(4) Chl a と窒素及びリンの関係

平成 28 年の各海域及び河川において、水温 20℃未満では、Chl a は常に低かった。そこで、Chl a と全窒素 (TN) 及び全リン (TP) の平均値を表 1 に、溶存性全窒素 (DTN) 及び溶存性全リン (DTP)、非溶存性全窒素 (PTN ; TN と DTN の差) 及び非溶存性全リン (PTP ; TP と DTP の差) の平均値を表 2 に、それぞれ植物プランクトンの活性が高くなる夏季 (6~9 月、水温 20℃以上) と、低い春秋期 (4, 5, 10 月、水温 20℃未満) に分けて示した。

表 1 Chl a と TN 及び TP の平均値 (平成 28 年 4 月~平成 28 年 10 月)

		Chl a (µg/L)		TN (mg/L)		TP (mg/L)	
		春秋期	夏季	春秋期	夏季	春秋期	夏季
新潟 海域	表層	1.4	14	0.40	0.45	0.029	0.035
	中層	2.4	9.0	0.23	0.25	0.017	0.024
	下層	0.8	1.7	0.17	0.09	0.013	0.012
弥彦 米山 海域	表層	1.2	2.0	0.23	0.14	0.012	0.016
	中層	0.6	0.7	0.13	0.11	0.011	0.014
	下層	0.6	0.2	0.12	0.09	0.013	0.014
阿賀野川		1.0	5.8	0.32	0.30	0.015	0.019
信濃川		2.3	24	0.87	0.89	0.068	0.069

※ 下限値を下回る場合は 0 として計算

表 1 より、平成 28 年度については、TN、TP とともに、海域及び河川において明確な季節変化は見られなかった。このことから、試料採取時の新潟海域への TN、TP 流入量に大きな変動はなかったと考えられる。また、Chl a は、新潟海域では表層、中層ともに夏季に高くなったが、弥彦米山海域ではさほど変わらなかった。ここで、弥彦米山海域の Chl a が夏季の海水温上昇に伴い増加しなかったのは、窒素及びリンの濃度や形態に左右されたため

と考えられた。

成分別に見ると、表 2(a)(b)より、新潟海域の下層を除き、窒素、リン両方において、溶存性の成分が夏季に減少し、非溶存性の成分が増加していた。また、PTN、PTP とともに、新潟海域では表層及び中層で、夏季に高くなった。これについて、河川からの流入量の季節変動以外に、窒素及びリン成分が植物プランクトンに取り込まれたことも影響していると推測された。

表 2 溶存性、非溶存性の窒素及びリンの平均値（平成 28 年 4 月～平成 28 年 10 月）

(a) 窒素

		DTN (mg/L)		PTN (mg/L)		非溶存性比率(%)	
		春秋季	夏季	春秋季	夏季	春秋季	夏季
新潟 海域	表層	0.40	0.26	0.027	0.19	6.3	43
	中層	0.23	0.10	0.023	0.15	9.2	60
	下層	0.11	0.065	0.057	0.026	33	28
阿賀野川		0.28	0.19	0.040	0.11	13	36
信濃川		0.80	0.40	0.067	0.49	7.7	55

(b) リン

		DTP (mg/L)		PTP (mg/L)		非溶存性比率(%)	
		春秋季	夏季	春秋季	夏季	春秋季	夏季
新潟 海域	表層	0.016	0.010	0.013	0.025	45	71
	中層	0.009	0.011	0.008	0.014	48	56
	下層	0.008	0.010	0.005	0.003	38	21
阿賀野川		0.011	0.008	0.005	0.011	30	59
信濃川		0.036	0.030	0.032	0.040	47	57

※ 下限値を下回る場合は 0 として計算

4-2 栄養塩類と COD 関連項目

(1) 栄養塩類

平成 26 年 4 月～平成 28 年 10 月における表層+中層の栄養塩類の平均値を表 3 に、平成 24 年 4 月～平成 27 年 10 月における栄養塩類の関係を図 7 に示した。

表 3 より、溶存性無機窒素（DIN）の 9 割程度が、季節に関わらず硝酸・亜硝酸性窒素（NO_x-N；硝酸性窒素 NO₃-N と亜硝酸性窒素 NO₂-N の合計）として存在していた。ここで、DIN/DTN (%)及びオルトリン酸態リン(PO₄-P)/DTP (%)は、値の低い県北海域を除き、夏季に低くなる傾向となった。これは、表 2 にも見られたように、植物プランクトンが関連していると考えられた。地点別に見ると、表 3 より、新潟東港海域及び新潟海域で多くの栄養塩類の値が高く、県北海域と弥彦米山海域では低い傾向となった。

DTN について、表 3 より、新潟東港海域及び新潟海域では、植物プランクトンに取り込まれやすい形態の窒素成分を含む DIN の占める割合が高く、図 7(a)より、DTN と DIN の間には一定の相関が見られた。また、図 7(b)より、県北海域と弥彦米山海域では、DTN は溶存性有機窒素（DON；DTN と DIN の差）に依存していた。

一方、DTP と PO₄-P の関係については、海域ごとの明確な傾向の違いは確認できず、図

7(c)より、新潟県沿岸海域全体において、正の相関が見られた。

表 3 表層+中層の栄養塩類の平均値（平成 26 年 4 月～平成 28 年 10 月）

		(a) 窒素					
		NO _x -N	NH ₄ -N	DIN	DTN	NO _x N/DIN (%)	DIN/DTN (%)
県北	秋季	0.003	0.000	0.003	0.15	100	2.2
	夏季	0.001	0.000	0.002	0.17	84	0.9
新潟 東港	秋季	0.15	0.019	0.17	0.33	89	51
	夏季	0.063	0.005	0.068	0.29	93	24
新潟	秋季	0.17	0.050	0.22	0.50	77	44
	夏季	0.093	0.005	0.10	0.31	95	32
弥彦 米山	秋季	0.027	0.002	0.029	0.40	94	7.3
	夏季	0.001	0.000	0.001	0.15	96	0.8

		(b) リン			
		PO ₄ -P	DTP	SiO ₂	PO ₄ P/DTP (%)
県北	秋季	0.001	0.005	0.23	8.5
	夏季	0.001	0.006	0.21	21
新潟 東港	秋季	0.007	0.013	2.0	52
	夏季	0.006	0.014	0.81	43
新潟	秋季	0.009	0.013	4.7	67
	夏季	0.004	0.011	5.2	37
弥彦 米山	秋季	0.008	0.011	0.30	69
	夏季	0.001	0.006	0.23	20

※1 単位：mg/L ※2 下限値を下回る場合は 0 として計算

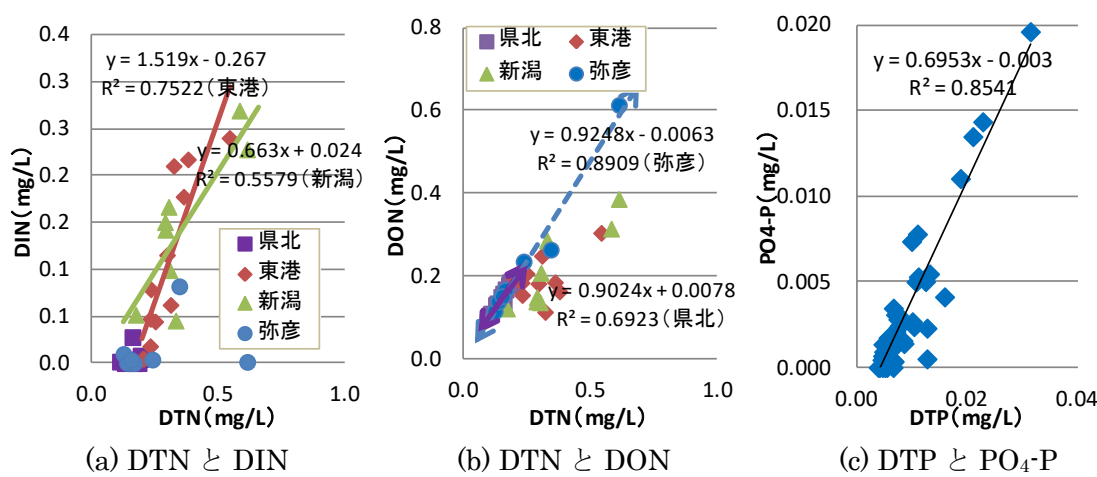


図 7 栄養塩類の関係（平成 24 年 4 月～平成 27 年 10 月）

(2) COD 関連項目

平成 26 年 7 月～平成 28 年 10 月における COD 関連項目の測定結果を表 4 に示す。
 表 4 より、いずれの調査地点でも、COD に占める溶溶性 COD（DCOD）の割合は、7～9 割と高かった。どの項目も、概ね夏季に高くなる傾向にあった。

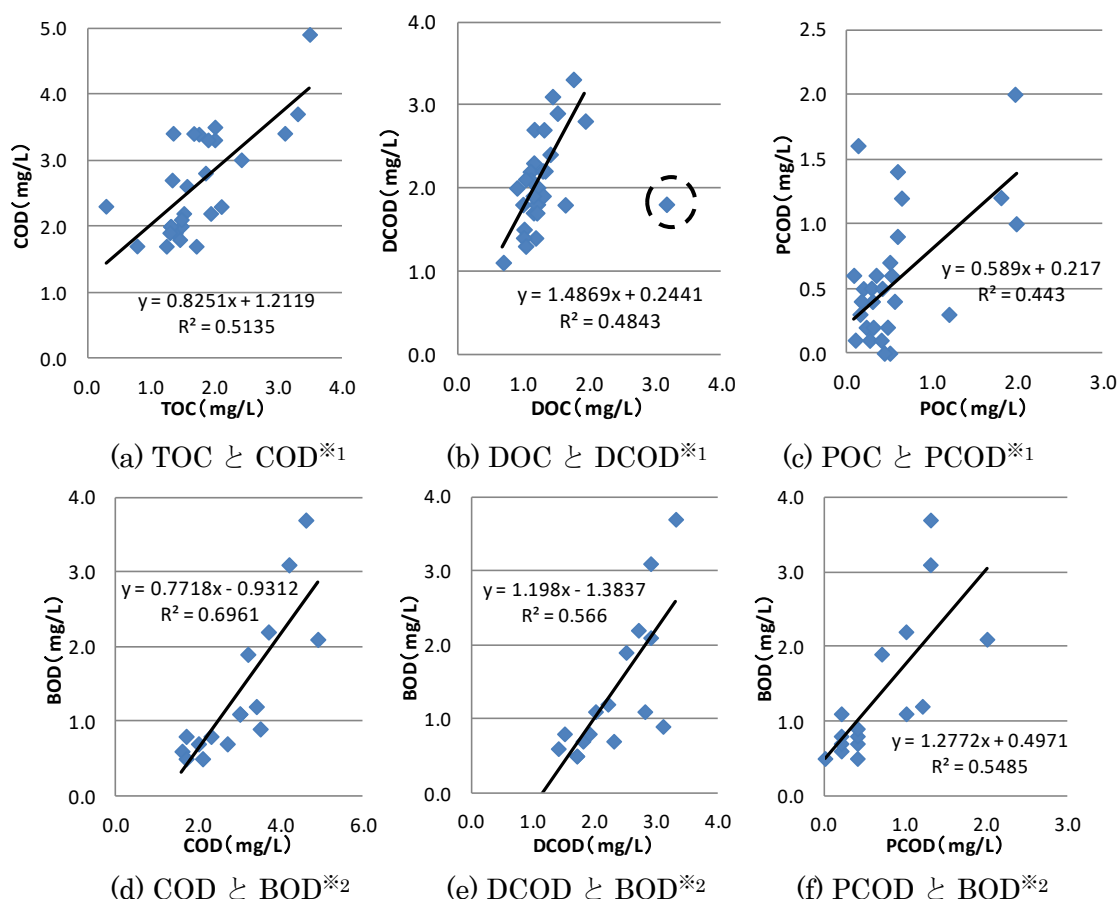
ここで、Chl a は、季節や地点で差があり、夏季の新潟東港海域で最も高く、次に新潟海域が続く、県北海域と弥彦米山海域では年間を通して低かった。非溶存性 COD (PCOD；COD と DCOD の差) も Chl a と概ね同調して増減したが、地点ごとの差を見ると、PCOD 全てが植物プランクトン由来ではないと思われた。

表 4 表層+中層の COD 関連項目 (平成 26 年 7 月～平成 28 年 10 月)

		Chl a	Cl ¹⁾	COD	DCOD	PCOD	BOD ^{※2}	PCOD/COD (%)
県北	秋季	1.2	18300	1.6	1.6	0.20	0.0	11
	夏季	0.7	18600	2.3	1.9	0.40	0.4	18
新潟東港	秋季	2.2	13400	2.6	1.9	0.60	0.4	25
	夏季	18	15000	3.9	2.7	1.2	2.2	31
新潟	秋季	2.1	10503	2.5	2.3	0.23	0.6 ^{※3}	9.2
	夏季	4.1	8597	3.2	2.5	0.77	1.9 ^{※3}	24
弥彦米山	秋季	1.0	17467	1.9	1.6	0.30	0.3 ^{※3}	16
	夏季	1.3	18467	2.4	1.6	0.74	0.6 ^{※3}	31

※1 単位：mg/L, Chl a のみ µg/L ※2 培養期間は 3 日間 ※3 平成 27 年以降の平均

※4 下限値を下回る場合は 0 として計算



※1 平成 24 年 4 月～平成 27 年 10 月 ※2 平成 26 年 7 月～平成 28 年 10 月

図 8 COD 関連項目の関係

また、COD 関連項目の関係を図 8 に、Chl a 関連項目の関係を図 9 に示した。

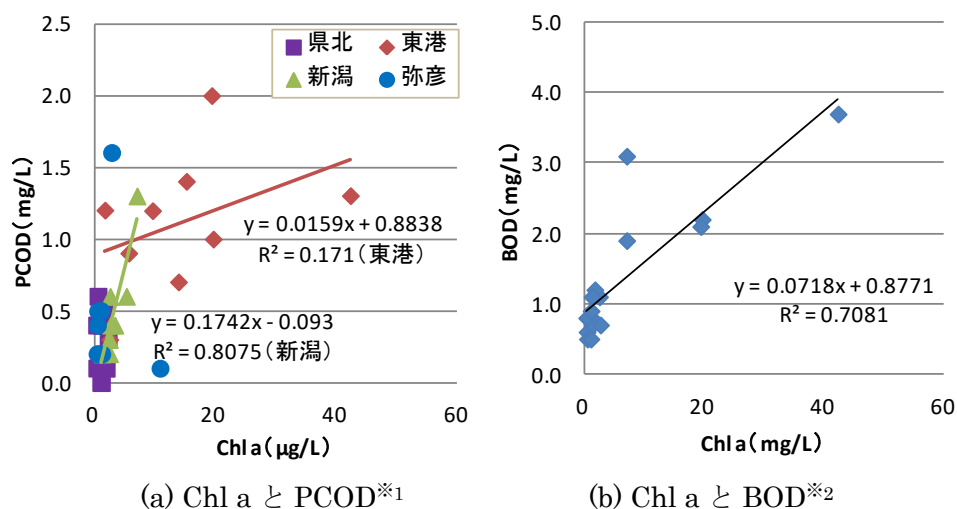
図 8(a)の有機炭素〔TOC；溶存性有機炭素 (DOC) と非溶存性有機炭素 (POC) の和〕

と COD において、正の相関があることから、COD は概ね TOC で説明できると考えられた。また、図 8(b)の DOC と DCOD についても外れ値 1 点を除き正の相関があり、図 8(c)の POC と PCOD についても類似の関係が見られた。

図 8(d)より、新潟県沿岸海域において、BOD は COD に対して正の相関があり、3 日間の培養により COD の 7~8 割の値を示した。よって、この海域においては、BOD は有機物の指標として一定の有用性があると考えられた。また、図 8(e)(f)より、BOD は DCOD や PCOD にもある程度依存しており、易分解性の有機物は、溶存性成分、非溶存成分の両方に含まれると推測された。

図 9(a)の PCOD と Chl a の関係については、全体として、概ね右肩上がりの傾向となった。個別には、新潟海域では正の相関が見られたが、その傾きは共同研究参加機関の平均 0.041 の約 4 倍であり、この海域の PCOD には、生理的活性の低い植物プランクトン細胞やその残渣などが含まれる可能性²⁾や、植物プランクトン及び PCOD 双方と関連のある別の指標が介在する可能性などが考えられた。また、新潟東港海域では右肩上がりではあるものの相関は低く、県北海域と弥彦米山海域では明確な傾向は認められなかった。

図 9(b)において、BOD と Chl a に正の相関が見られた。これについて、図 8(f)より、BOD が PCOD と関連していたことに由来すると推測された。



※1 平成 24 年 4 月～平成 27 年 10 月 ※2 平成 26 年 7 月～平成 28 年 10 月

図 9 Chl a 関連項目の関係

5 まとめ

平成 26~28 年の 4 月~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結果、以下のことがわかった。

- ・ 新潟海域では、夏季に表層及び中層で COD が高くなる状況が確認された。表層の塩化物イオンが低いことから、原因の 1 つとして河川 COD の流入が考えられるものの、窒素・リン成分の流入により植物プランクトンの増殖が促されたことも影響していると思われた。
- ・ これまで環境基準の超過がほとんど見られなかった弥彦米山海域の COD は、表層、中

層、下層のいずれも上昇傾向にあり、今後も変化を見ていく必要があると思われた。

- ・新潟市沿岸海域では、下層 DO は表層や中層に比べやや低いものの、夏季においても貧酸素状態は認められなかった。

また、平成 24～28 年に新潟県の沿岸海域の 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、以下のことがわかった。

- ・ Chl a の比較的高い新潟東港海域及び新潟海域では DTN のうち植物プランクトンが取り込みやすい形態の窒素成分を含む DIN の占める割合が高く、Chl a の低い県北海域及び弥彦米山海域では DON の割合が高かった。
- ・新潟県沿岸海域では、季節に関わらず、COD に対して溶存性の成分が大きな割合を占めていた。
- ・新潟県沿岸地域では、COD の多くは TOC で説明できると考えられた。また、DOC と DCOD、POC と PCOD についても一定の相関が見られた。
- ・新潟県沿岸海域においては、BOD は 3 日間の培養により COD の 7～8 割の値を示し、海域の有機物の指標として一定の有用性があると考えられた。
- ・PCOD と Chl a は、新潟県沿岸海域全体では概ね右肩上がりの傾向となり、新潟海域においては明確に正の相関が見られた。

6 参考資料

- 1) 新潟県公共用水域水質測定結果
- 2) 「茨城県沿岸海域公共用水域常時監視点における COD と関連する有機物項目について」
独立行政法人 国立環境研究所 牧 秀明, 平成 23～25 年度, II 型共同研究報告書

1. はじめに

近年、富山湾沿岸海域では、夏季を中心に COD（化学的酸素要求量）の環境基準を超過することがあり、良好な水質とはいえないときもある。

富山湾沿岸海域は、大小様々な河川からの影響を多大に受けていると考えられ、河川水由来の有機物や栄養塩類等が沿岸海域の水質環境に大きく関与していると考えられる¹⁾。

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水質環境基準点 1 地点において、3 か年にわたり夏季と冬季の年 2 回、水温、塩分、クロロフィル a（Chl-a）及び溶存酸素量（DO）の鉛直分布の観測を行った。併せて、河川をはじめとする陸域からの影響が大きいと考えられる表中層と比較的影響の少ないと考えられる水深 10 m 層において採水を行い、COD と関連する有機物指標及び栄養塩類の測定並びにそれら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。神通川河口海域の水質汚濁の常時監視点は、J-1～7 の 7 地点設定されており、今回の調査では、J-5 の表中層（水深 0.5 m 層及び水深 2 m 層の海水を等量混合）及び 10 m 層において、2014 年 8 月、2015 年 2 月、8 月、2016 年 2 月、8 月及び 2017 年 1 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 2 mg/L）である。

2. 2 観測及び測定方法

①直読式総合水質計による水温、塩分、Chl-a 及び DO の鉛直分布の観測

水温、塩分、Chl-a 及び DO は直読式総合水質計 AAQ170（JFE アドバンテック）を海中に垂下して表層から水深 90 m 付近まで測定を行った。（ただし、風、潮流等の影響により水深 70 m 付近までの場合がある。）

②有機物関連項目の測定

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）、溶存態有機炭素（DOC）及び溶存態生物化学的酸素要求量（D-BOD）の 5 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。

D-COD 及び DOC については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。

D-BOD はガラス繊維フィルター（GF/C, Whatman）でろ過した後 JIS K 0102 21 に基づき測

定した。ただし、フラン瓶の放置は 5 日間ではなく 3 日間経過した時点で DO を測定し、消費された DO を D-BOD3 とした。

③Chl-a の測定

直読式総合水質計による鉛直分布の観測とは別に、採水した試料の Chl-a を測定した。Chl-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 Chl-a の測定に定める方法に基づき測定した。

④栄養塩類の測定

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を測定した。

形態別窒素： 全窒素 (TN)、溶存態全窒素 (D-TN)、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、
亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) 及びアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)

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・5・3 に定める方法に基づき測定を行った。測定には QuAAtro2-HR (BL-TEC) を用いた。

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

3. 結果

3. 1 透明度並びに直読式総合水質計による水温、塩分、Chl-a 及び DO の鉛直分布の観測結果

神通川河口海域 J-5 における透明度を表 1 に、直読式総合水質計による水温、塩分、Chl-a 及び DO の鉛直分布を図 1 に示す。

表層については、水温は夏季に $25.7\sim 28.7^{\circ}\text{C}$ 、冬季に $8.7\sim 10.8^{\circ}\text{C}$ の範囲であった。塩分は夏季に $19.9\sim 32.1$ 、冬季に $24.2\sim 27.7$ の範囲であった。Chl-a は夏季に $0.5\sim 6.6\ \mu\text{g/L}$ 、冬季に $1.1\sim 1.3\ \mu\text{g/L}$ の範囲であった。DO は夏季に $7.0\sim 9.1\ \text{mg/L}$ 、冬季に $9.2\sim 9.9\ \text{mg/L}$ の範囲であった。

10 m 層については、水温は夏季に $25.6\sim 26.1^{\circ}\text{C}$ 、冬季に $12.6\sim 13.6^{\circ}\text{C}$ の範囲であった。塩分は夏季に $33.5\sim 33.9$ 、冬季に $33.6\sim 33.9$ の範囲であった。Chl-a は夏季に $0.1\sim 0.5\ \mu\text{g/L}$ 、冬季に $0.4\sim 0.7\ \mu\text{g/L}$ の範囲であった。DO は夏季に $6.9\sim 7.2\ \text{mg/L}$ 、冬季に $8.0\sim 8.5\ \text{mg/L}$ の範囲であった。

水温については、夏季においては表層が 10 m 層に比べて高く、冬季は表層が 10 m 層に比べて低い傾向であった。10 m 層以深については、夏季では水深 10 m からさらに深層に向けて徐々に低下していったが、冬季では測定を行った範囲ではほぼ一定の値であった。Chl-a は夏季の表層で濃度が高くなる傾向があった。また、水深 10 m 以深では水深 20 m から 30 m 付近に小さなピークが見られる場合があった。表層の塩分は常に 10 m 層よりも低い傾向であり、水深 10 m 層とさらに深層の差はわずかであった。この傾向は季節を問わず見られたが、2014 年 8 月の調査実施

日は南風が強く波が高かったため、表層水が攪拌混合され低塩分が通常よりも緩和されたと考えられる。また、透明度は、夏季に 2.0~9.0 m、冬季に 8.0~9.0 m であり、夏季に低く冬季に高くなる傾向であったが、2014 年 8 月は塩分と同様の影響で透明度が冬季並みに高かった。DO は夏季に低下する傾向が見られたが、貧酸素の状態は見られなかった。DO は水温の変化と逆の傾向を示しているため、主に水温の変化が大きく影響していると考えられる。また、表層付近での DO の急激な上昇は塩分の低下と Chl-a の上昇つまり植物プランクトンの増殖の影響を受けていると考えられる。

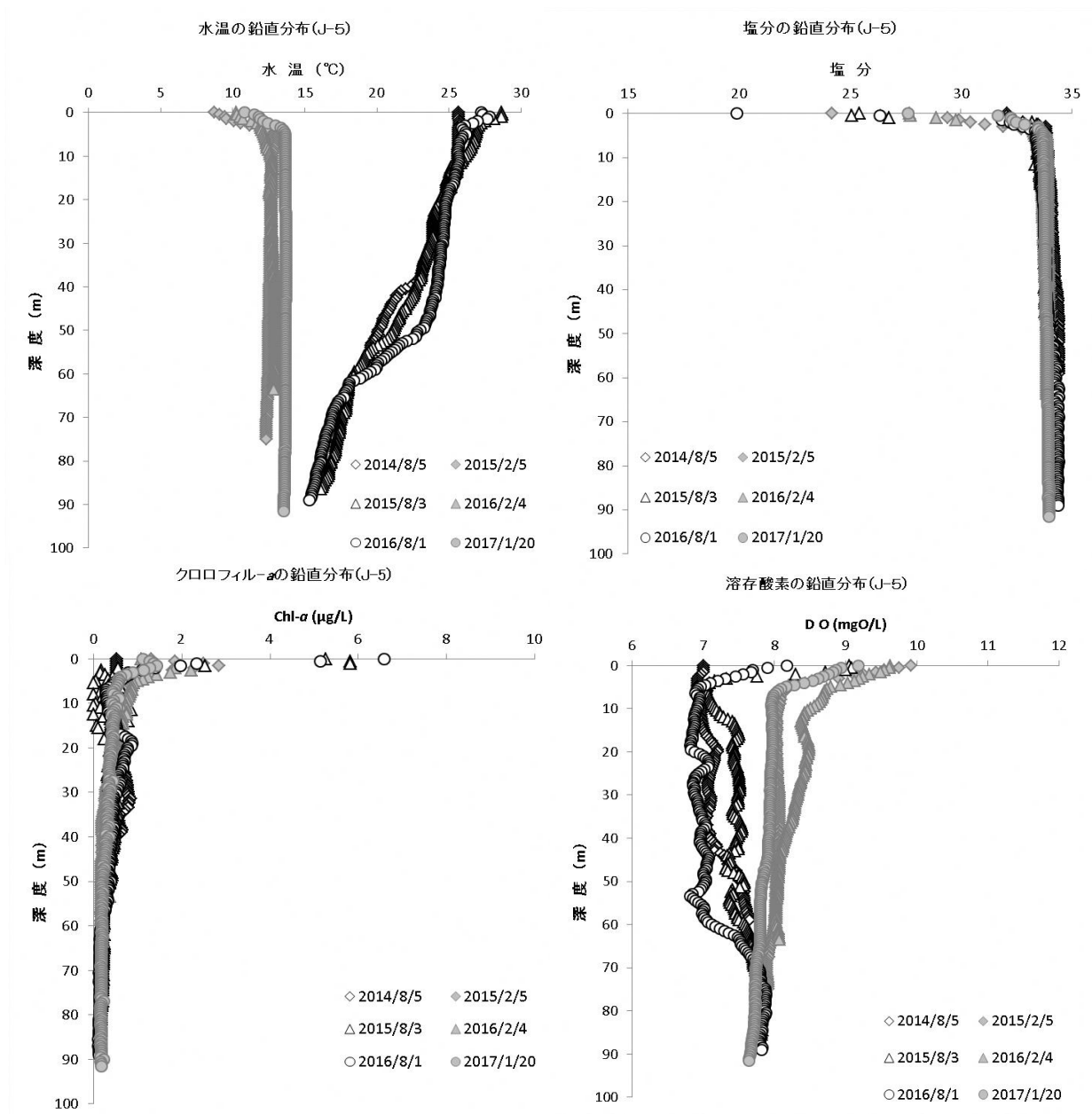


図2 神通川河口海域 J-5 における水温、塩分、Chl-a 及び DO の鉛直分布

表1 神通川河口海域 J-5 における透明度（単位：m）

調査年月日	透明度
2014年8月5日	9.0
2015年2月5日	8.0
2015年8月3日	2.0
2016年2月4日	9.0
2016年8月1日	4.0
2017年1月20日	8.5

3. 2 栄養塩類

窒素系栄養塩類の濃度を表2、3に、りん系栄養塩類の濃度を表4、5に示す。粒子態窒素（P-TN）は全窒素（TN）及び溶存態全窒素（D-TN）を測定し、TN から D-TN を差し引く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（NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N 及び PO₄-P）は、表中層では冬季において高く、夏季に低くなる傾向であった。また、NO₃-N 及び NH₄-N は 10 m 層と比べて表中層が高くなったが、PO₄-P は表中層と 10 m 層はほぼ同様の値であった。全窒素及び全りんの多くは溶存態が主な成分であった。

表2 神通川河口海域 J-5（表中層）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 ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N
2014年8月5日	0.22	0.19	0.03	0.03	<0.01	0.04
2015年2月5日	0.38	0.33	0.05	0.16	0.01	0.07
2015年8月3日	0.21	0.15	0.06	<0.01	<0.01	0.01
2016年2月4日	0.31	0.29	0.02	0.12	<0.01	0.06
2016年8月1日	0.24	0.09	0.15	<0.01	<0.01	<0.01
2017年1月20日	0.17	0.15	0.02	0.06	<0.01	<0.01

表3 神通川河口海域 J-5（10 m 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 ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N
2014年8月5日	0.27	0.24	0.03	<0.01	<0.01	0.03
2015年2月5日	0.23	0.16	0.07	0.06	<0.01	<0.01
2015年8月3日	0.29	0.23	0.06	<0.01	<0.01	0.04
2016年2月4日	0.22	0.17	0.05	0.08	<0.01	0.01
2016年8月1日	0.10	0.07	0.03	<0.01	<0.01	0.02
2017年1月20日	0.21	0.20	0.01	0.04	<0.01	<0.01

表 4 神通川河口海域 J-5（表中層）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
2014年8月5日	0.007	0.004	0.003	<0.001
2015年2月5日	0.014	0.009	0.005	0.006
2015年8月3日	0.010	0.005	0.005	<0.001
2016年2月4日	0.013	0.010	0.003	0.007
2016年8月1日	0.010	0.003	0.007	<0.001
2017年1月20日	0.011	0.009	0.002	0.006

表 5 神通川河口海域 J-5（10 m 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
2014年8月5日	0.006	0.005	0.001	<0.001
2015年2月5日	0.013	0.012	0.001	0.008
2015年8月3日	0.008	0.006	0.002	<0.001
2016年2月4日	0.014	0.013	0.001	0.009
2016年8月1日	0.004	0.004	0	<0.001
2017年1月20日	0.010	0.009	0.001	0.007

3. 3 有機物関連項目

3. 3. 1 有機物関連項目

COD、D-COD、TOC、DOC、D-BOD₃ 及び Chl-a の濃度を表 6、7 に示す。

粒子態有機炭素（POC）濃度は TOC 及び DOC 濃度を測定し、TOC 濃度から DOC 濃度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。

表中層における COD は 0.9～2.2 mg/L の範囲で変動しており、夏季において高くなる傾向にあった。それに対して 10 m 層の COD は、1.0～1.4 mg/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。

10 m 層の COD における D-COD の占める割合は 70%以上で常に溶存態が主成分であったのに対し、表中層では 55～92%の範囲で変動していた。表中層の P-COD は、0.1～1.0 mg/L の範囲であり、夏季において高くなる傾向であった。

TOC については表中層及び 10 m 層において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。また、表中層と 10 m 層で大きな差は見られなかった。

D-BOD₃ については、ほとんど検出下限値（0.5 mg/L）未満であった。このことから、溶存性の有機物は生物に分解されにくい物質であったと考えられる。

Chl-a については表中層で 3.4～11 μg/L、10 m 層では 0.5～1.7 μg/L の範囲で変動していた。

表6 神通川河口海域 J-5（表中層）における有機物及び Chl-a 濃度

（単位：mg/L、Chl-a は μ g/L）

調査年月日	COD	D-COD	P-COD	TOC	DOC	POC	D-BOD3	Chl-a
2014年8月5日	1.3	1.2	0.1	1.1	1.0	0.1	<0.5	2.1
2015年2月5日	1.4	1.0	0.4	0.8	0.8	0	<0.5	6.2
2015年8月3日	2.2	1.2	1.0	1.4	1.2	0.2	<0.5	11
2016年2月4日	1.1	1.0	0.1	0.9	0.7	0.2	<0.5	3.4
2016年8月1日	2.2	1.4	0.8	1.1	1.1	0	<0.5	7.2
2017年1月20日	0.9	0.8	0.1	0.9	0.9	0	<0.5	3.4

表7 神通川河口海域 J-5（10 m 層）における有機物及び Chl-a 濃度

（単位：mg/L、Chl-a は μ g/L）

調査年月日	COD	D-COD	P-COD	TOC	DOC	POC	D-BOD3	Chl-a
2014年8月5日	1.4	1.4	0	1.1	1.1	0	<0.5	1.7
2015年2月5日	1.0	0.7	0.3	0.9	0.9	0	<0.5	1.1
2015年8月3日	1.2	1.2	0	1.2	1.2	0	0.5	0.5
2016年2月4日	1.0	0.9	0.1	0.8	0.7	0.1	<0.5	0.8
2016年8月1日	1.0	0.9	0.1	1.2	1.0	0.2	<0.5	0.7
2017年1月20日	1.1	1.1	0	1.0	0.9	0.1	<0.5	0.8

3. 3. 2 植物プランクトンと COD 関連項目間について

植物プランクトン量の指標となる Chl-a と COD 及び P-COD 間の相関を図3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 の上昇には植物プランクトンの増殖が大きく影響していると考えられ、P-COD の主成分は植物プランクトンであると推察された。

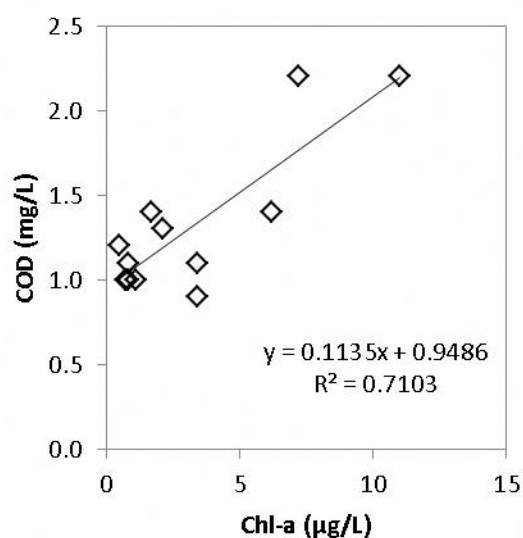


図3 植物プランクトンと COD 関連項目間について

4. まとめ

2014年8月から2017年1月までに計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、河川の影響を強く受けて表層で塩分が低かった。この影響は夏季及び冬季の両方で見られた。
- ・夏季の表中層においてCODが高くなったが、D-BOD3は低い状態であった。このことから溶解態の有機物は生物に難分解性であると考えられた。
- ・Chl-aやCODに関連する有機物指標の濃度は夏季高くなっていたが、逆に、冬季においては透明度及び栄養塩類濃度が高くなる傾向を示した。
- ・夏季は表層付近において植物プランクトンが活発に増殖するため、消費される栄養塩類の濃度は低下し、Chl-a濃度が高くなると考えられた。
- ・Chl-aとCOD及びP-CODとの相関から、植物プランクトンの内部生産がCODを上昇させる主要因のひとつであると考えられた。

5. 参考資料

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

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

石川県保健環境センター 環境科学部 安田能生弘・吉田秀一・古澤佑一・清水隆二

1. はじめに

前Ⅱ型共同研究「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」に引き続き、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、BOD・COD と関連する有機物項目及び栄養塩類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

前課題報告書で述べた 2011 年 8 月～2013 年 11 月の間に夏季と冬季の年 2 回，計 6 回に加え，2014 年 8 月または 9 月と 11 月，2015 年 8 月と 11 月，2016 年 8 月と 11 月の計 6 回行った。

2. 2 調査地点

前課題と同様に，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 (COD 2 mg/L) である。なお，本調査の採水は公共用水域の常時監視の採水と同時にを行った。

2. 3 分析方法

採取した海水は，その一部を，450℃で 4 時間焼成処理したガラス繊維フィルターを用いて，その日の内にろ過・分注した。クロロフィル a (Chl a) の分析用には 47 mm 径のガラス繊維フィルター GF/C を用い，そのろ液は溶溶性成分の分析用とした。懸濁性有機炭素 (POC) の分析用には 25 mm 径のガラス繊維フィルター GF/C を用いてろ過した。これらの試水・フィルター類は冷凍後に国立環境研究所へ送付した。BOD を除く項目の分析は「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について」で述べられた方法で行った。

BOD は当センターにおいて，JIS 法に従って未ろ過海水を用いて測定を行った。ただし，

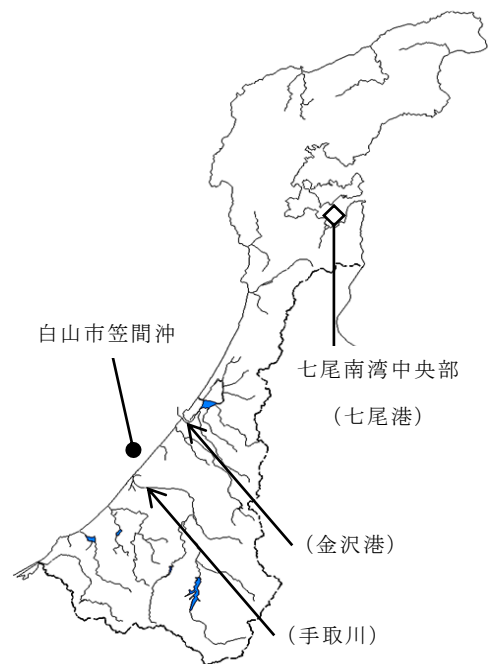


図 1 調査地点位置図

フラン瓶の培養は5日間ではなく3日間、7日間及び14日間経過した時点で溶存酸素量(DO)を測定して求め、消費されたDOをBOD3、BOD7、BOD14として求めた。

3. 結果

3. 1 栄養塩類

本調査で採水した試料の栄養塩類の溶存性無機窒素(DIN, 硝酸態・亜硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$)及びアンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)の和), 溶存性全窒素(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2016年冬季までの測定結果の平均値と標準偏差を表1に示す。地点間の比較ではいずれの項目も白山市笠間沖の方が七尾南湾中央部より高い傾向が見られた。また、季節間の比較では2地点とも冬季がやや高い傾向が見られた。

表1 2011年8月～2016年11月の夏季と冬季の白山市笠間沖と七尾南湾中央部における栄養塩類(単位は全てmg/L. カッコ内の数字は標準偏差)

地点	時季	DIN ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$)	DTN	DIP ($\text{PO}_4\text{-P}$)	DTP	SiO_2
白山市 笠間沖	夏季	0.064	0.223	0.009	0.016	1.76
		(0.046)	(0.046)	(0.006)	(0.007)	(0.89)
	冬季	0.133	0.332	0.013	0.018	2.04
		(0.132)	(0.065)	(0.012)	(0.011)	(1.72)
七尾南湾 中央部	夏季	0.010	0.184	0.002	0.010	0.78
		(0.015)	(0.041)	(0.002)	(0.003)	(0.97)
	冬季	0.011	0.205	0.003	0.008	1.04
		(0.016)	(0.056)	(0.002)	(0.003)	(0.82)

3. 2 BOD

本調査研究で行ったBOD試験について、0日目のDOに対する3日目、7日目、14日目のDO消費率(0日目のDOをB1、3、7、14日目のDOをB2とすると、 $(B1-B2) \div B1 \times 100(\%)$)を図2に示す。

3日目、7日目、14日目のDO消費率は経時的に大きくなっているが、その増加は一様ではなく、3日目のDO消費率が比較的低いにもかかわらず、7日目、14日目のDO消費率が3日目のDO消費率に比べて数倍高いものがあつた。採水量の関係からn=1であり、今後、信頼性を上げていく努力が必要であるが、BODの3日間培養では値として不安定である恐れもあり、今後さらなる検討が必要と考えられた。本報告書では以後、BODは7日間培養の値(BOD7)について述べることにする。

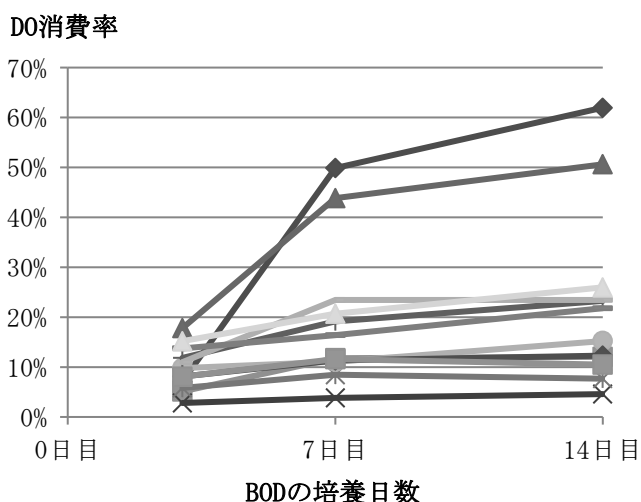


図2 海水BODの培養日数とDO消費率

3. 3 BOD・COD 関連項目

本調査で採水した試料の BOD 及び COD 並びに関連項目の溶存性 COD (D-COD), 懸濁性 COD (P-COD (COD-DCOD)), 溶存性有機炭素 (DOC), POC, DOC+POC 及び Chl a の 2011 年夏季から 2016 年冬季までの測定結果の平均値と標準偏差を表 2 に示す。

表 2 2011 年 8 月～2016 年 11 月の夏季と冬季の白山市笠間沖と七尾南湾中央部における BOD・COD 関連項目 (単位は Chl a は $\mu\text{g/L}$, 他は全て mg/L . かつこ内の数字は標準偏差)

地点	時季	BOD7*	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC**	POC**	DOC+POC**	Chl a
白山市 笠間沖	夏季	2.37 (1.38)	2.70 (0.49)	1.90 (0.34)	0.86 (0.47)	1.23 (0.16)	0.41 (0.08)	1.66 (0.23)	1.57 (0.62)
	冬季	0.61 (0.29)	2.14 (0.22)	1.72 (0.30)	0.48 (0.26)	0.87 (0.14)	0.37 (0.09)	1.16 (0.07)	2.19 (0.81)
七尾南湾 中央部	夏季	1.38 (0.25)	2.89 (0.52)	2.30 (0.47)	0.60 (0.46)	1.41 (0.09)	0.23 (0.12)	1.66 (0.19)	1.93 (1.05)
	冬季	1.12 (0.36)	2.06 (0.29)	1.79 (0.25)	0.24 (0.34)	0.94 (0.28)	0.21 (0.11)	1.00 (0.15)	2.17 (0.67)

* 2014 年 8 月以降測定

**2016 年 8 月分と 2017 年 2 月分は 2 地点共に未測定, 2015 年 8 月分の POC は測定失敗

BOD7 については本調査期間 2014 年 8 月から 2017 年 11 月の 3 カ年のデータであるが, 白山市笠間沖で夏季に高く冬季に低い傾向にあった。七尾南湾中央部では夏季にわずかに高くなる程度でほとんど変わらなかった。2 地点間の比較では夏季に白山市笠間沖で高く, 逆に冬季に低くなる傾向であった。その他の項目については, 夏季と冬季の比較では Chl a を除いて夏季に高い傾向であった。各項目の地点間の比較では懸濁性成分の P-COD, POC で白山市笠間沖の方が七尾南湾中央部より高い傾向が見られた。水中の有機物に対する溶存性有機物の割合である COD に対する D-COD 及び DOC+POC に対する DOC の比率は 2 地点共に季節ごとの平均で 71%～88%と高く, 懸濁性有機物の割合が低かった。

COD と DOC+POC との関係及び D-COD と DOC との関係について図 3 に示した。COD と DOC+POC との関係では七尾南湾中央部の R^2 が 0.63 と高い相関を示したものの, 白山市笠間沖ではやや低い相関を示した。D-COD と DOC との関係では, 七尾南湾中央部で R^2 が 0.46 と相関を示したが, 白山市笠間沖ではほとんど相関がなかった。これは, 白山市笠間沖が, 工業団地沿岸にあり, かつ, 県内一大きな河川である手取川河口にも近いことから, サンプルングのタイミングによって, 工場排水や河川水といった陸水の影響を受けているのでは

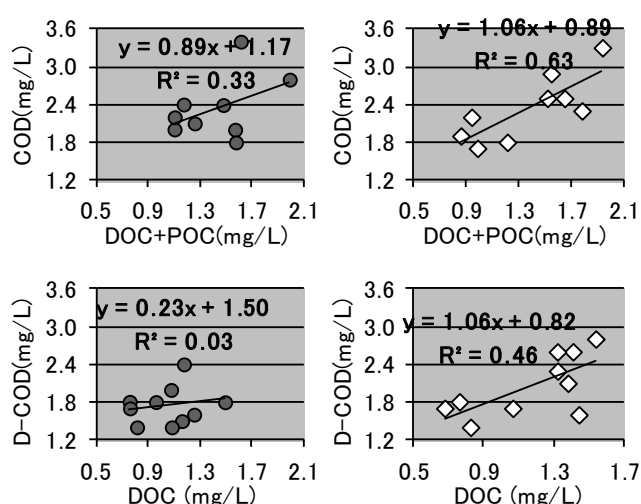


図3 白山市笠間沖(左, 凡例●)と七尾南湾中央部(右, 凡例◇)におけるCODとDOC+POCとの関係並びに D-CODとDOC+POC, DOCとの関係

ないかと推測しているが、今後の検証が必要と考えられた。

懸濁態有機炭素関連項目間における関係を図 4 に示した。七尾南湾中央部の POC と Chl a とでは R^2 が 0.50 とかなり高い相関を示したものの、そのほかでは低い相関か、相関は見られなかった。このことから懸濁態有機炭素に占める植物プランクトン量は七尾南湾中央部では比較的多いものの、白山市笠間沖では余り多くないと考えられた。このことは七尾南湾が閉鎖性水域であるのに対し、白山市笠間沖が日本海に面していることに加え、先述したように陸水の影響もあり、植物プランクトンによる内部生産よりもその他の COD の懸濁態有機炭素が多いのではないかと考えている。

本調査から測定を開始した BOD7 について COD 又は Chl a との関係を図 5 に示した。七尾南湾中央部の BOD7 と COD とでは R^2 が 0.57 とかなり高い相関を示したものの、そのほかではほとんど相関は見られなかった。これらについてはサンプル数が 6 と少なく、今後さらなるデータ蓄積が必要と考えられた。

4. まとめ

2011 年夏季～2016 年冬季の間 12 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地点間の比較で、いずれの項目も白山市笠間沖の方が七尾南湾中央部より高い傾向が見られた。また、季節間の比較では 2 地点とも冬季がやや高い傾向が見られた。

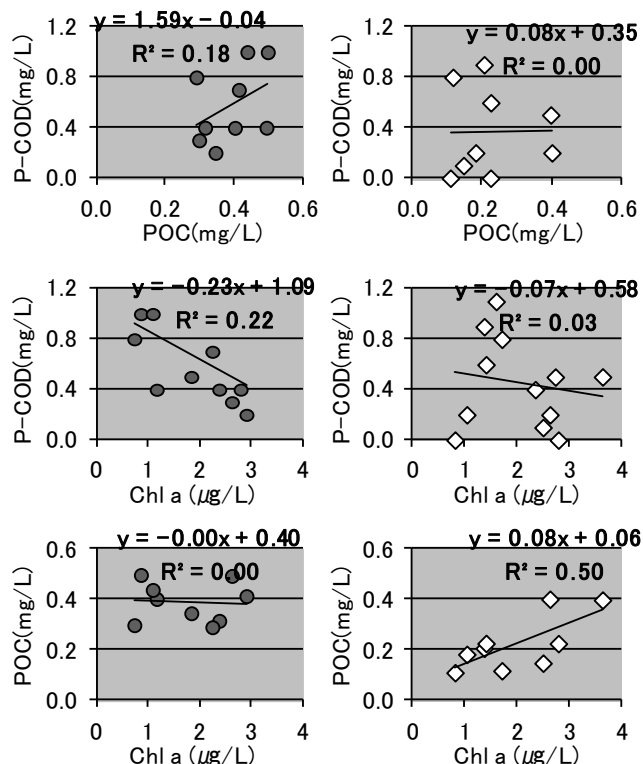


図4 白山市笠間沖(左, 凡例●)と七尾南湾中央部(右, 凡例◇)における懸濁態有機炭素関連項目(P-COD, POC, Chl a)間における関係

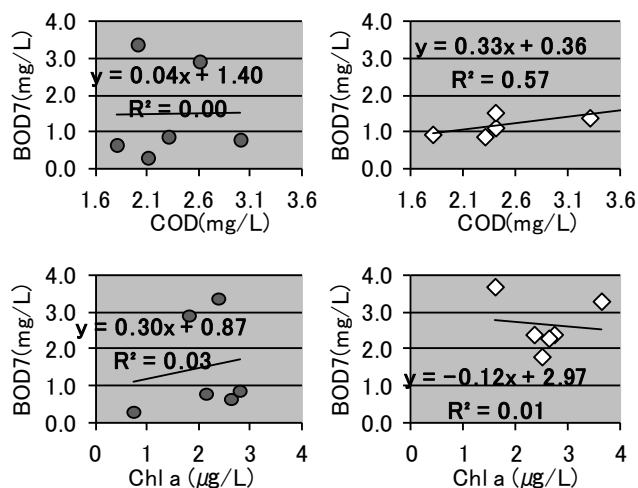


図5 白山市笠間沖(左, 凡例●)と七尾南湾中央部(右, 凡例◇)におけるBODとCOD, Chl aとの関係

- BOD については培養日数で 3 日目, 7 日目, 14 日目の DO 消費率は経時的に大きくなっているが, その増加は一様ではなく, 今後さらなる検討が必要と考えられた。
- 7 日間培養の BOD については, 白山市笠間沖で夏季に高く冬季に低い傾向, 七尾南湾中央部では夏季と冬季でほとんど変わらなかった。
- BOD・COD 関連項目については水中の有機物に対する溶存性有機物の割合は 71%~88% を占めていた。
- 各項目の関係については七尾南湾中央部で COD と DOC+POC, D-COD と DOC, POC と Chl a 及び BOD7 と COD との間に高い相関が見られた。白山市笠間沖では, これらの項目間では低い相関があるか, ほとんど相関が見られなかった。特に POC と Chl a の関係から, 懸濁態有機炭素に占める植物プランクトン量は七尾南湾中央部では比較的多いものの, 白山市笠間沖では余り多くないと考えられた。

浜名湖「湖心」における貧酸素水塊の経年変化と海域 BOD 測定の評価

静岡県環境衛生科学研究所

大気水質部 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 200 m）で遠州灘とつながる平均水深約 5 m 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 30 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 5 m 以下（平均約 3 m）と浅く、広い瀬が形成される一方、湖北部（湖奥部）は、水深が 5-16 m（平均約 7 m）と深く、底質は泥質である。「湖心」（水深約 11 m）を中心とした水域では、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。下層 D0 に関しては 1975 年の水質調査開始当初から観測を行っており、秋季の成層解消時や荒天時には貧酸素水塊が横溢して角立て網（小型定置網）漁等に漁業被害が発生したこともあった。

今回、これまで実施した研究データと水質常時監視データを整理して貧酸素水塊の経年変化の検討を行うとともに、本Ⅱ型研究における新たな評価指標となりえる海域版生物化学的酸素要求量（BOD）の評価を行った。

2. 方 法

浜名湖における公共用水域水質常時監視地点（図 1）のうち、今回の検討には「湖心」のデータを使用した。常時監視の観測頻度は 12 回/年（毎月 1 回）で、「湖心」では水深 0.5 m・2 m・4 m・6 m・8 m・10 m の 6 層で調査を行っている。安定したデータが得られている 1975～2015 年度（昭和 50～平成 27 年度）の期間について水質常時監視データを整理・解析し、「湖心」における貧酸素水塊の発生状況を整理した。

また、2014 年 8 月から 2017 年 3 月の水質調査において、公共用水域水質常時監視地点のうち 3 地点で表層と底層（「湖心」：0.5 m 及び 10 m 層、「新所」：0.5 m 及び 4 m 層、「新居」：0.5 m 及び 2 m 層）の採水を行い、BOD（20℃ 3 日間培養）と COD の比較検討を行った。

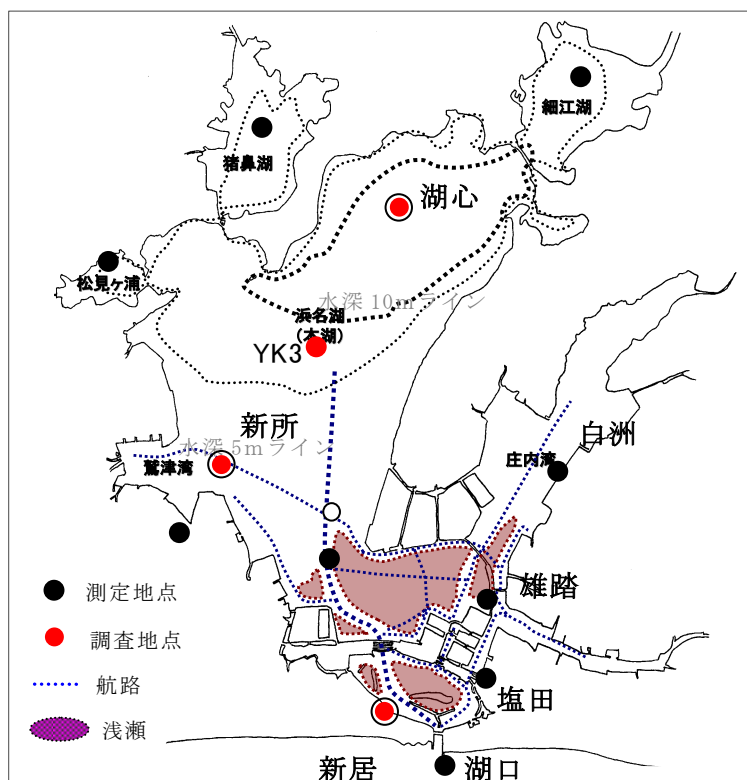


図 1 浜名湖の測定地点・調査地点

3. 結果及び考察

1) 「湖心」における貧酸素水塊の発生状況

湖心において $\text{D.O. } 4 \text{ mg/L}$ 未満の貧酸素水塊が発生した発生月及び底層（10 m）からの厚さの経年変化を図 2 に示した。貧酸素水塊の発生は平均で年間 5.4 月、概ね夏季に集中したが 4 月や 11 月、12 月に観測された事例もあった。貧酸素層の垂直分布状況は、期間を通じて最も浅い水層では表層から 4 m で観測されている。全体の平均では表層から 6.8 m となるが、直近 15 年間の平均では表層から 7.3 m と、貧酸素層の分布が底層側に移行している印象を受けた。

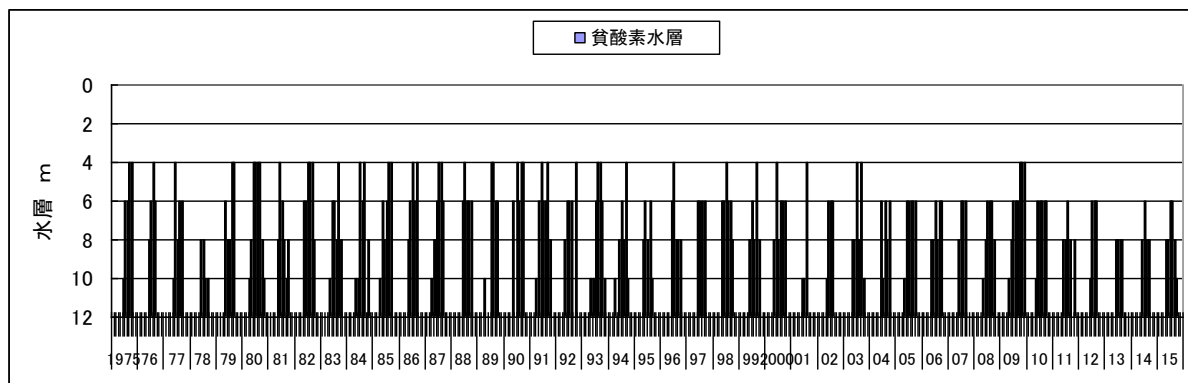


図 2 浜名湖「湖心」における貧酸素層の発生状況（1975 年–2015 年）

浜名湖湖心部における貧酸素水塊は密度成層形成による¹⁾とされており、降雨等の気象イベントで流入した陸水が表層を覆うことでその形成は助長されてきた。そこで、湖心部の $\text{D.O. } 4 \text{ mg/L}$ 未満で最も浅い水層、貧酸素層数及び水層間の水温差・塩素イオン濃度差について年平均値の 5 年移動平均により傾向を検討した。

湖心部で貧酸素水塊形成時の最も浅い水層は、1983 年から 1994 年の間は表層から 4 m であったが、2015 年には表層から 6 m 以下となっている。また、貧酸素層数を貧酸素水塊の厚さとする、1982 年から 1996 年の間の貧酸素水塊は厚い状態を保ち、その上端は表層から 4 m に迫ったが、その後漸減し 2015 年には表層から 5.6 m となるなど、最も浅い水層の変動と同様の傾向を示した。これらの結果から、浜名湖「湖心」の貧酸素水塊の垂直分布は厚みが縮小する傾向にあると考えられた。

そこで、密度成層に関与すると考えられる表層と底層間の水温差及び塩素イオン濃度差の傾向を検討した。塩素イオン濃度差については、1982 年から 1996 年にかけて 3500 から

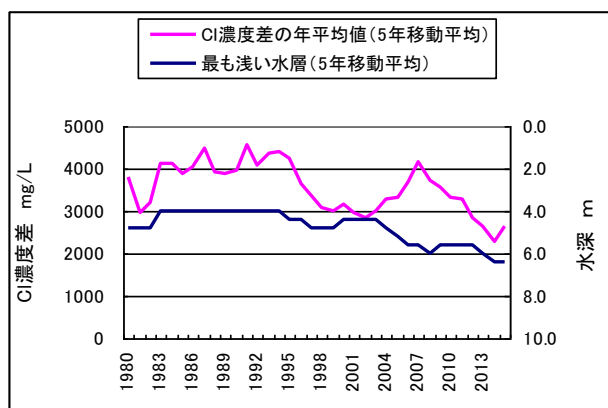


図 3 貧酸素発生時の Cl 濃度差と厚さの傾向

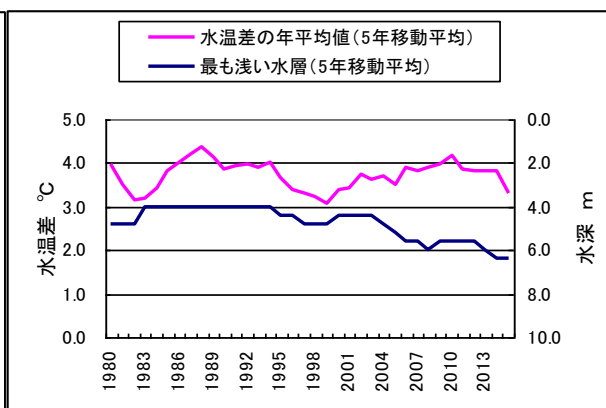


図 4 貧酸素発生時の水温差と厚さの傾向

4500 mg/L の間で変動していたが、その後 2002 年にかけて 3000 mg/L 未満まで低下した（図 3）。その後 2007 年の 4000 mg/L へ上昇，以後低下という傾向を示しているが，貧酸素層の低下傾向との関連性は見られなかった。水温差については全期間を通じて 3℃ から 4.5℃ の間を変動していたが一定の変動傾向はなく（図 4），貧酸素層の低下傾向との関連性は見られなかった。

ただし，貧酸素水塊形成期の鉛直方向の水温変動を比較すると，変動幅が縮小している。図 5 に示すとおり，1975 年 7 月の表層から 4 m 層と 6 m 層の間や 1977 年 7 月の表層から 6 m 層と 8 m 層の間，1985 年 8 月の表層から 6 m 層と 8 m 層の間では 4℃ 以上の水温変動が観測されていた。

しかし，2012 年以降は 1995 年から 1999 年の間と同様に，水層 2 m 間で 3℃ を超える水温変動は観測されていない。その一方，貧酸素水塊の発生は減少しておらず，グラフに含まれない 1℃ 未満の水温変動が増加している。図 6～9 に水層間の水温変動を例示したが，近年は温度勾配の緩やかな事例が増加している。

実際，2014 年に湖心周辺部（YK3 水深 9.5 m 図 1）で水層ごとの水温分布を連続して測定した結果（図 10），途中で中断はあるものの期間を通じて温度成層が形成されており，水層間の水温の乖離は観測されなかった。

これらの結果から，現在の浜名湖「湖心」では明確な密度躍層ではなく温度成

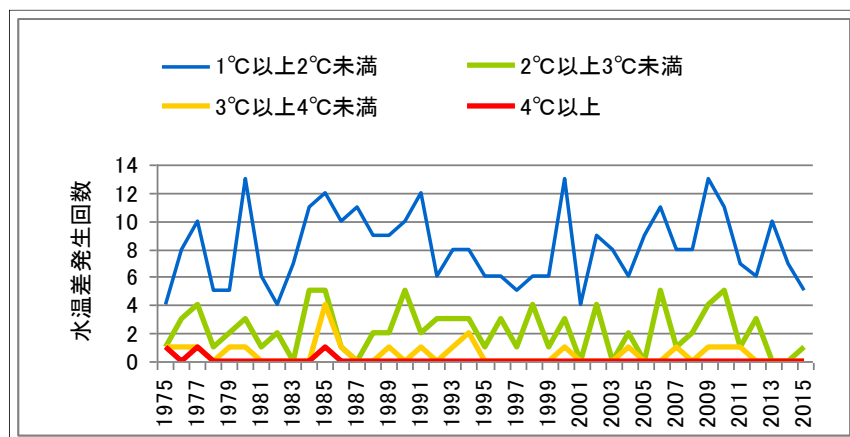


図 5 貧酸素発生時の水層間水温差の発生状況

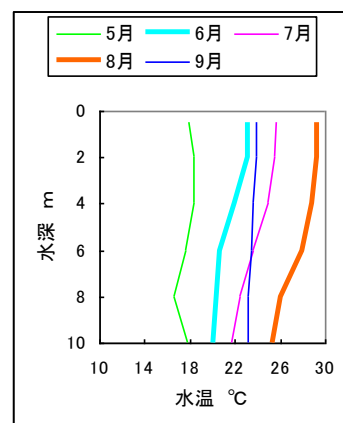
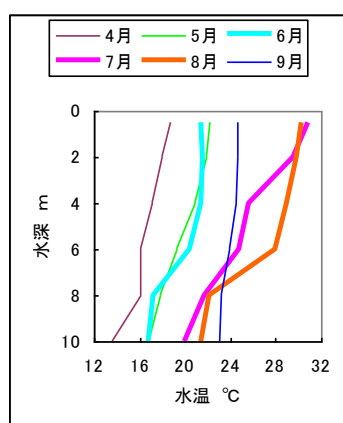


図 6 鉛直方向水温変動（1985）図 7 鉛直方向水温変動（1995）

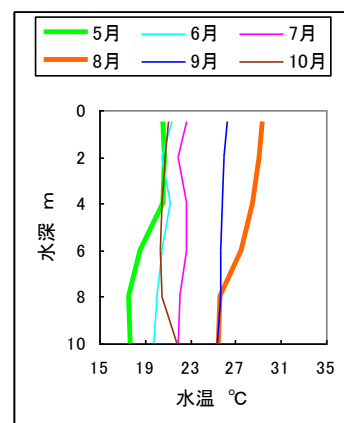
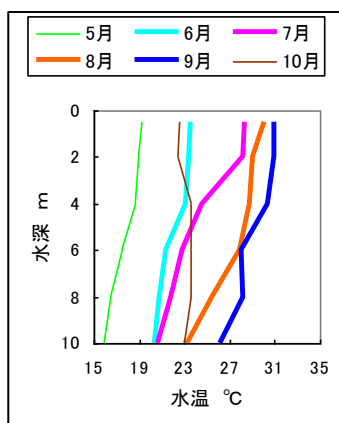


図 8 鉛直方向水温変動（2010）図 9 鉛直方向水温変動（2015）

層が形成されるようになり、貧酸素水塊が形成される水層は深化していると推察される。また現在の傾向が続けば、浜名湖湖心部の夏季の貧酸素水塊の垂直分布は縮小傾向が続くと考えられるが、湖心部周辺の浅海域への貧酸素水塊の移動・影響は継続すると考えられる。

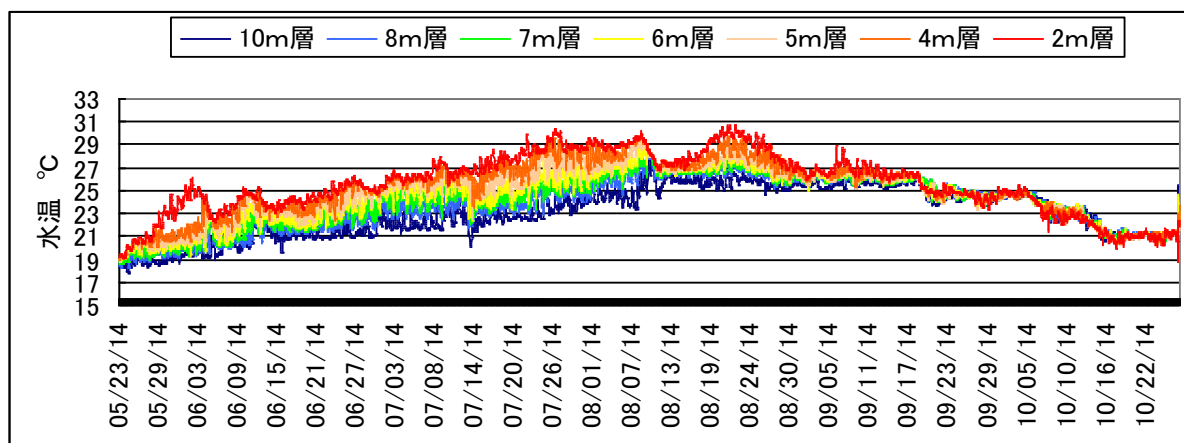


図 10 YK3 における水層ごとの水温変動（2014 年 5 月 23 日-10 月 27 日）

2) 浜名湖における BOD と COD 測定値の比較検討

海域版生物化学的酸素要求量 (BOD) と COD の相関については、明らかに赤潮の影響を受けた「湖心」の 2014 年 11 月と 2015 年 11 月のデータを除いて評価を行った。この評価においても、湖心において貧酸素水塊形成期間と非形成期間に区分し、BOD と COD の相関を考察した (図 11~13)。

貧酸素水塊形成期間の「湖心」0.5 m 層及び「新所」0.5 m 層では $R^2=0.785$, 0.706 であり、高い相関が見られた。「新居」0.5 m 層では $R^2=0.554$ とやや下回った。各地点の底層は $R^2=0.062\sim0.219$ と低かった。また貧酸素水塊の非形成期間については、各地点の表層・下層で最大でも $R^2=0.217$ と低く、一定の傾向は見られなかった。

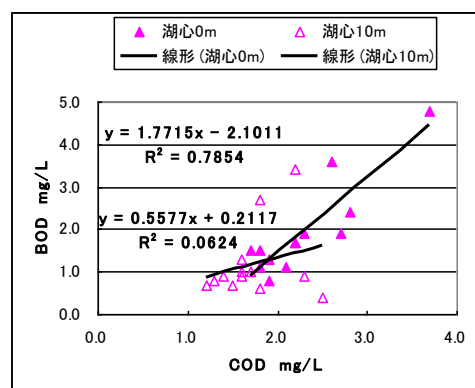


図 11 BOD・COD 相関(湖心 形成期)

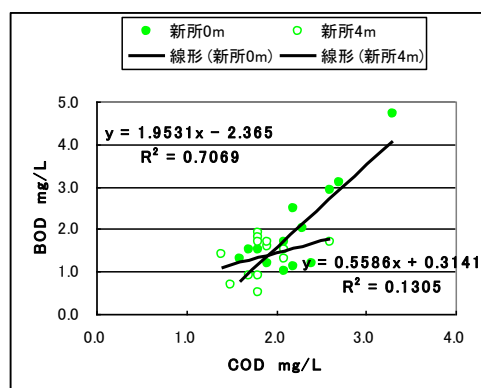


図 12 BOD・COD 相関(新所 形成期)

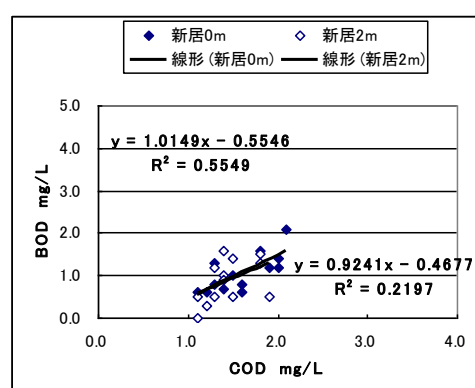


図 13 BOD・COD 相関(新居 形成期)

この貧酸素水層形成期の表層で BOD・COD の相関が高く、底層及び非形成期で相関が低いことは BOD 測定値にプランクトン量が関与していることを示唆していると考えられる。

実際、過去の浜名湖に関する研究において、夏季の COD 上昇はプランクトン増殖による懸濁態 COD の増加による（図 14）こと、貧酸素水塊形成期には栄養塩に富む貧酸素水塊が湖心部周辺の浅海域に移動²⁾し、プランクトン増殖の一因となっている³⁾ことが確認されている。

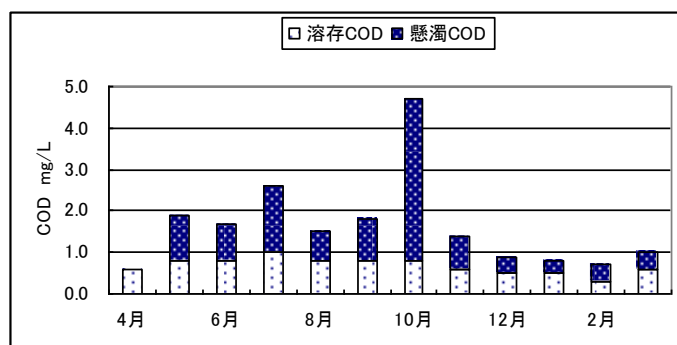


図 14 溶存態・懸濁態 COD の変動（「湖心」表層 2010 年）

今回の結果は、この懸濁態 COD の増加相当分が BOD として測定され、相関が高まったと考えられる。また、「新居」は湖口に近く外海水の影響を強く受けるため、湖中央の「湖心」や「新所」より相関が下回ったと考えられる。

また、貧酸素水塊形成期表層の相関一次式において、いずれも切片が正数であることから、COD 値の低い範囲では BOD の誤差が大きいことが考えられた。ただし、BOD 値が大きい場合は相関一次式より高い位置にプロットされる傾向がある。

次に、本Ⅱ型研究で別途調査を行った懸濁態 COD (COD-DCOD) とクロロフィル a (Chl a) の関係を検討した。BOD 値がプランクトン増殖によるものであれば高い相関は得られると予想したが、実際にはあまり高くなかった（図 15）。その理由としては、試料採水時期が 8 月ないし 9 月と 12 月ないし 1 月と時期的に限定されたことなどが考えられるが、今回のデータでは不明である。

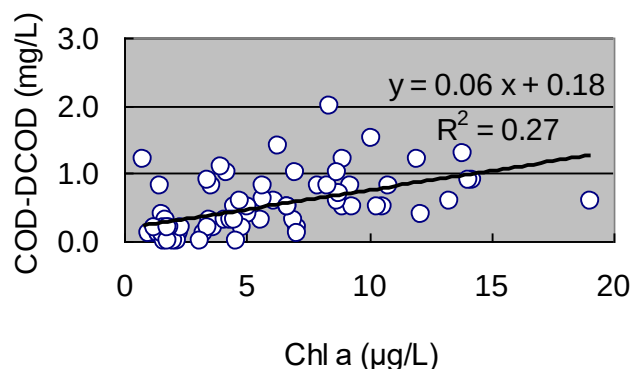


図 15 COD-DCOD と Chl a の相関

以上の結果から、海域版生物化学的酸素要求量（BOD）は生分解される有機物量を反映しており、生物循環に使用される有機物資源量の評価に有効と考えられる。また、近年海域における COD 値の上昇原因として難分解性有機物の蓄積が挙げられる。そのため、海域の有機物汚染状況の評価において、COD のみならず BOD を併せた評価が必要と思われる。

4. まとめ

公共用水域の水質常時監視データの解析及び 2014 年 8 月から 2017 年 3 月の期間、浜名湖内の 3 地点で水質分析を行い、以下の知見が得られた。

- ・ 近年、浜名湖湖心部の夏季の貧酸素水塊の垂直分布は縮小傾向にある。
- ・ 近年、浜名湖湖心部では、密度躍層ではなく温度成層が形成されている。
- ・ 夏季の貧酸素水塊形成期間には、浜名湖内の 3 地点表層で BOD と COD が高い相関を示

した.

- ・ 調査地点の下層及び貧酸素水塊非形成期間では、BOD と COD の相関は低かった.

5. 文 献

- 1) 静岡県環境部浜名湖保全室：平成 11 年度浜名湖富栄養化防止対策調査報告書，I-4-I-9(2000)
- 2) 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）
- 3) 内山道春・山内悟他：浜名湖の流動と水質環境に関する研究，静岡県環境衛生科学研究所報告，No. 58，9-13（2015）

阿蘇海における酸素消費と貧酸素水塊の形成について

京都府保健環境研究所 水質課 中居千和・多田哲子・一二三純子・北野隆一・
武田真由美・田中豊稔・木南敬之

1. はじめに

全国の沿岸海域環境では非汚濁海域における化学的酸素要求量(以下、COD)の漸増傾向や閉鎖性海域において顕在化している貧酸素水塊の発生が水質上の問題となっている¹⁾。

京都府内も例外ではなく、舞鶴湾、阿蘇海、宮津湾、久美浜湾は、全国に 88 ある閉鎖性海域に指定されており、COD の環境基準を達成できない状況が続いている。また、これらの海域はいずれも漁業の盛んな地域であり、貧酸素水塊の発生は漁業に大きな影響を与える。これらの問題に対応する上での知見を得るため、当所は地方環境研究所と国立環境研究所とのⅡ型共同研究に参加し調査を行ってきた。

Ⅱ型共同研究では、「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)と「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」(平成 26～28 年度)の 2 課題において調査が行われてきた。調査項目は、1) 新規水質環境基準項目である底層溶存酸素量(以下、底層 DO)を対象にした多項目水質計による水質の鉛直分布の測定、2) 非汚濁海域において漸増傾向のみられる COD の構成要素解明のための関連項目の詳細分析、3) DO を消費する要因である水塊中の有機物の性状を評価するための生物化学的酸素要求量(以下、BOD)測定の試行、4) 栄養塩の状態と推移の評価のために水質環境基準項目である全窒素(以下、TN)・全リン(以下、TP)に加えて無機体の各態窒素・リンの測定²⁾である。

府内におけるこれまでの調査結果²⁾から、阿蘇海と久美浜湾において、底層 DO が低い状況であることが分かっている。阿蘇海はかつて宮津湾の一部であったが、天橋立砂州の成長により湾と隔絶された面積約 5 km² の潟湖であり、日本の他の潟湖に比べ面積に対する最大水深や平均水深が大きい。特殊な地形ゆえ、天橋立は日本三景のひとつであるが、阿蘇海では宮津湾との海水交換は狭い水路のみとなり、閉鎖性が 2.04 と高く、生活排水や工場排水により水質は悪化しており、名産キンタライワシなどの漁獲量にも影響を与えている(京都府レッドデータブック 2015 <http://www.pref.kyoto.jp/kankyo/rdb/geo/db/sur0022.html>)。京都府では、阿蘇海の環境改善を目指し、平成 19 年 5 月に「阿蘇海環境づくり協働会議」を設置の上、地域住民や関係団体及び行政により総合的な取り組みが進められている。

本研究では、これらの取り組みに資する基礎データを得るために阿蘇海(類型指定は COD に関して B 類型、全窒素及び全リンに関しⅡ類型)を調査海域とし、DO 等の鉛直分布測定、栄養塩類、COD 関連項目、BOD、COD の測定を行ったので報告する。

2. 材料と方法

2-1. 調査地点と採水日

調査は、図 1 に示す阿蘇海の公共用水域常時監視測定の環境基準点である野田川流入点(平均水深 6.9 m)、中央部(平均水深 12.5 m)、溝尻地先(平均水深 9.1 m)、文殊地先(平均水深 11 m)で行った。

調査・採水は、一般に貧酸素水塊が発生する夏季と解消するとされる冬季³⁾の年 2 回とし、平成 27 年 9 月 1 日、平成 28 年 1 月 12 日、平成 28 年 9 月 16 日及び平成 29 年 1 月 10 日に実施した。

2-2. 方法

2-2-1. 採水方法・多項目水質計による鉛直分布調査

表層水はポリバケツを用いて採水し、底層水はバンドーン採水器を用いて海底から約 1 m 上で採水し、それぞれ 3 L のポリプロピレン製容器に満水となるよう移した。

貧酸素水塊発生の確認のため、多項目水質計を用いて水深 0.5 m から 1 m 間隔で海底までの測定を行い、DO、塩分、水温の鉛直分布を測定した。多項目水質計は、平成 27 年度は HORIBA U-52G を、平成 28 年度は国立環境研究所から借用した HYDROLAB DS5 を用いた。なお、平成 27

年度と平成 28 年度冬季の鉛直分布測定について、多項目水質計の不具合によりデータが得られなかった項目については、京都府丹後保健所により提供された公共用水域常時監視測定用の同日データを採用した。このデータは表層、中層、底層の 3 点のみである。

2-2-2. 栄養塩類・COD 関連項目・BOD 測定

海水の一部は採取した当日中に、ガラス繊維フィルター(47 mmGF/C)でろ過し、溶存性成分を測定するための試料とした。また、表層水については、クロロフィル a (以下、Chl-a)の測定用に、47 mmGF/C を用いて検水 500 ml をろ過したろ紙を、懸濁性有機炭素 (以下、POC) 測定用に 25 mm GF/F を用いて検水 100 ml をろ過したろ紙を、各々 Chl-a と POC の測定に供した。これらのフィルター類と試水を冷凍して国立環境研究所に送付し「茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について」⁴⁾で述べられた方法で COD、溶存性 COD (以下、D-COD)、溶存性有機炭素(以下、DOC)、懸濁性有機炭素(以下、POC)、Chl-a の測定が行われた。また、表層水・底層水ともに原水とろ過水について T-N、T-P、硝酸性・亜硝酸性窒素(以下、 $\text{NO}_3\text{-N}\cdot\text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニア性窒素(以下、 $\text{NH}_4\text{-N}$)、リン酸性リン(以下、 $\text{PO}_4\text{-P}$)、BOD、COD の測定を当研究所で行った。BOD と COD は、それぞれ JIS K 0102-21 と JIS K 0102-17 により測定した。なお、BOD は無植種とし、希釈が必要な場合の希釈水は、JIS K 0102-21 に従って調製し、A, B, C, D 液を添加後、試料海水と電気伝導度が同等になるように NaCl を加えた。フラン瓶の放置は 6 日間とし、6 日間経過した時点で DO を測定し、消費された DO を BOD6 として求めた。栄養塩類の、T-N、 $\text{NO}_3\text{-N}\cdot\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、T-P 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ はオートアナライザー(QUAAtro2-HR, ビーエルテック)を用い、それぞれ JIS K 0170-3、JIS K 0170-2、JIS K 0170-1、JIS K 0170-4 により測定した。



図 1. 阿蘇海の調査地点図

3. 結果と考察

3-1. DO、水温、塩分の鉛直分布

鉛直方向の DO、水温、塩分を測定した結果を図 2 (平成 27 年度)、図 3 (平成 28 年度)に示す。本報告書では DO 3.0 mg/L 以下を貧酸素水塊とした。この値は柳(1989)⁹⁾が貧酸素水塊の定義として示した DO 3.6 mg/L 以下であり、貧酸素水塊の目安として広く用いられている¹⁾⁶⁾⁷⁾。

平成 27 年度の調査結果は公共用水域常時監視測定データのデータであり、DO は上層(0.5 m)、中層(2 m)、下層(10 m、水深 10 m 以下の場合は底部から約 1 m)の 3 点分である。夏季は中央部と文殊地先で底層 DO が 3.0 mg/L 以下と貧酸素状態であった。中央部、文殊地先において、水深 6～9 m 付近で水温が急激に低下し、表層と底層間で約 5℃の差が生じた。一方、野田川流入点、溝尻地先では水温の急激な低下はみられなかった。また、塩分の鉛直分布は、汽水域である野田川流入点の表層において、塩分が他の 3 地点より約 10 低かった以外は、4 地点とも表層より底層の塩分が高いという同様の傾向を示した。中央部、文殊地先では、水温の鉛直分布の結果より、水深 6～9 m 付近に水温躍層が発生したと考えられる。これにより、海水の鉛直混合が阻害され、貧酸素水塊が形成されたと推察される。一方、野田川流入点と溝尻地先は、水深が増すにつれ DO の低下がみられたが、水深が浅いため水温躍層が形成されず貧酸素水塊の発生にまではいたらなかったと考えられる。

冬季は 4 地点とも底層 DO が 3.0 mg/L 以上を示し、貧酸素状態にはいたらなかった。しかし、4 地点とも躍層が形成されるほどではないが、表層と底層間では水温と塩分に差がみられた。これは、夏季に形成された貧酸素水塊が、風などによる上下混合により解消され、水温と塩分の上下差も一旦は解消された可能性がある。その後、水温と塩分については外気温や河川水の流入等の影響で早期に濃度勾配が再形成されたが、底層 DO については消費されるまでにある程度の時間を要するため、貧酸素状態までは低下しなかったと推察される。

平成 28 年度夏季は、4 地点すべてで水深が増すにつれ、DO が急激に低下し無酸素状態となった。野田川流入点以外の地点では、水深 8～10 m 付近で水温が急激に低下し、表層と底層間で約 10℃の差が生じた。塩分においても表層と底層間で 8～11 程度の差が生じた。よって、水温と塩分の躍層が形成されたことにより、上下混合が起らず、貧酸素水塊が形成され、底層 DO が消費され、無酸素状態に至ったと考えられる。

冬季も夏季と同様に水深が増すにつれ、DO が低下し、すべての地点で 3.0 mg/L 以下であった。水温はすべての地点において夏季とは逆に底層ほど上昇していた。一方、塩分はすべての地点において、夏季と同様に底層ほど上昇する傾向が見られた。表層の塩分は夏季より冬季の方がわずかに低く、これは、冬季は雪解け水による河川からの流入量が増加したことによると考えられる。上下の塩分勾配が発生したことは、鉛直混合が阻害されたことを示し、これにより底層 DO が低くなったと考えられる。加えて、鉛直混合が起らなかったことにより、表層は外気で冷やされ、水温が低下したと考えられる。また、阿蘇海は久美浜湾と同様に²⁾冬季でも底層の水温が 13℃もあるという日本海独特の状況から、冬季でも底質と底層の DO 消費が活発であることが予想される。

平成 27 年度冬季を除いて、夏季と冬季の両方で貧酸素状態が確認されたことは平成 24 年度の調査結果²⁾と同様であった。一般的に貧酸素状態は、冬季には表層水温が低下し高密度になるため、鉛直混合が起り解消するとされている。しかし、阿蘇海は閉鎖度の高い海域であり、そこに雪解け水により増加した河川水が流入し、表層の塩分は低下する一方、底層の塩分は高い状態となったため、密度勾配が形成され混合が起らず、底層の貧酸素状態が維持されたと考えられる。しかしながら、冬季の貧酸素状態は平成 27 年度にはみられなかったように、強風などにより混合が起れば、容易に解消されるものであると思われる。以上から、閉鎖度の高い阿蘇海は、夏季には持続的な貧酸素水塊が形成され、冬季の貧酸素水塊の形成は気象条件などに左右され継続しない可能性が推察される。

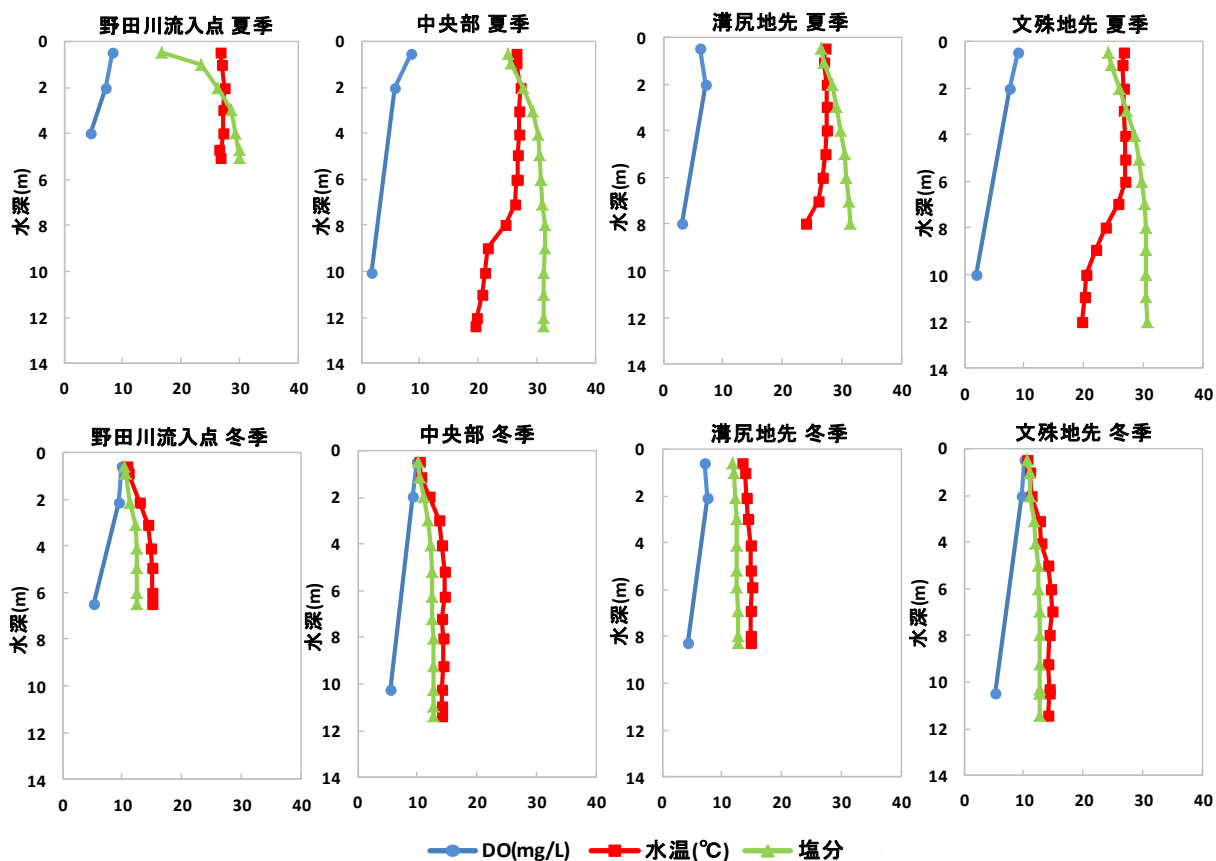


図 2. 平成 27 年度夏季と冬季の阿蘇海における DO、水温、塩分の鉛直分

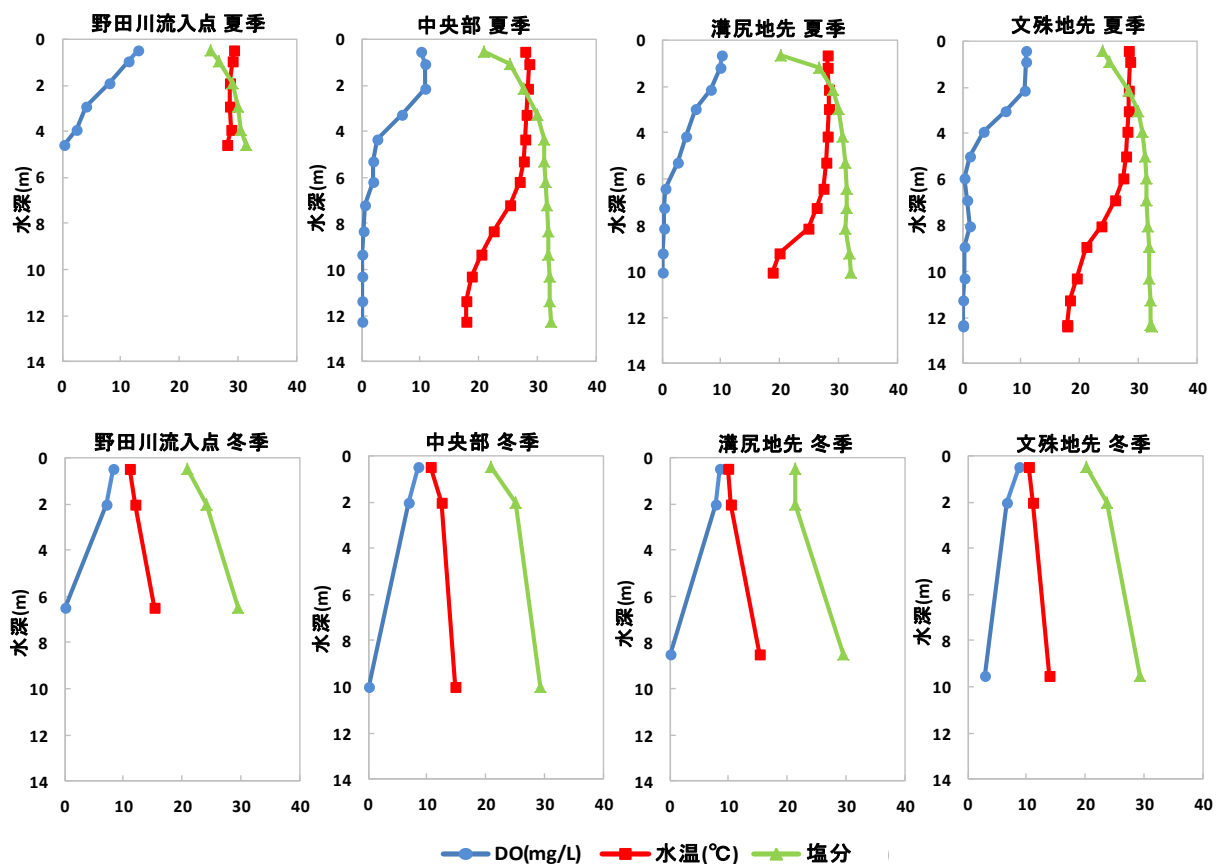


図 3. 平成 28 年度夏季と冬季の阿蘇海における DO、水温、塩分の鉛直分

3-2. 栄養塩類

栄養塩類の測定結果を表1に示す。夏季において、貧酸素水塊が形成された地点の底層における栄養塩類の濃度は、表層におけるそれらより T-N においては 3.5～12.8 倍、T-P においては 12～58 倍と顕著に高くなり、それぞれ $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の増加によるものであった。貧酸素水塊が形成された場合、底層は還元状態となり、底質から $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ が溶出し、底層水におけるこれらの濃度が高くなる³⁾ことが知られており、本調査における結果はこのことと一致する。

冬季においては、貧酸素水塊形成の有無にかかわらず、平成 27 年度の野田川流入点を除いて、表層に比べて底層の窒素・リン濃度が高くなる傾向が見られた。底層における窒素・リン濃度の増加傾向は、貧酸素水塊の形成が観察された平成 28 年度により顕著であったが、夏の底層における窒素・リンの増加傾向よりは、明らかに低かった。冬季の底層における窒素の増加は、夏季とは異なり主として $\text{NO}_3\text{-N}$ の増加によるものであった。また、底層におけるリンの増加は、夏季と同様に $\text{PO}_4\text{-P}$ の増加によるものであったが、夏季より濃度は低かった。

貧酸素水塊の発生した地点における夏季と冬季の温度と塩分の鉛直分布を比較すると、夏季では水温は底層ほど下がり、塩分は底層ほど高くなるため、ともに高密度になる。一方、冬季は水温に関しては底層ほど暖かく低密度になり、塩分は底層ほど濃度が高く高密度であった。よって、密度の勾配は夏季より冬季のほうがゆるやかで、貧酸素水塊の形成状況も冬季は夏季ほど強固ではなかった可能性が考えられる。以上のことから、夏季と冬季では底層の還元状態の程度に差があるため、窒素の存在形態とリンの濃度に差が現れたのではないかと考えられる。

表1. 平成27年度と平成28年度の夏季と冬季の阿蘇海における栄養塩類の測定結果

採水日	採水地点	採水層	T-N		$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	T-P		$\text{PO}_4\text{-P}$
			全量	溶存性	全量	全量	全量	全量	溶存性	全量
H27.9.1	野田川流入点	表層	0.62	0.48	0.21	<0.01	0.04	0.079	0.033	0.030
		底層	0.30	0.27	<0.01	0.01	<0.01	0.051	0.042	0.014
	中央部	表層	0.28	0.18	<0.01	<0.01	<0.01	0.030	0.014	<0.002
		底層	1.1	1.0	<0.01	<0.01	0.76	0.36	0.36	0.33
	溝尻地先	表層	0.29	0.17	<0.01	<0.01	<0.01	0.033	0.012	<0.002
		底層	0.21	0.17	<0.01	0.02	<0.01	0.044	0.044	0.022
	文殊地先	表層	0.27	0.15	<0.01	<0.01	<0.01	0.023	0.007	<0.002
		底層	1.1	0.91	<0.01	<0.01	1.0	0.35	0.35	0.30
	野田川流入点	表層	0.38	0.32	0.15	<0.01	0.04	0.029	0.006	0.011
		底層	0.34	0.22	0.029	<0.01	0.03	0.026	0.010	0.004
H28.1.12	中央部	表層	0.24	0.14	<0.01	<0.01	<0.01	0.017	0.006	0.003
		底層	0.41	0.34	0.12	<0.01	<0.01	0.034	0.023	0.019
	溝尻地先	表層	0.49	0.18	<0.01	<0.01	<0.01	0.039	0.016	0.007
		底層	0.49	0.48	0.18	<0.01	<0.01	0.051	0.045	0.039
	文殊地先	表層	0.25	0.14	<0.01	<0.01	<0.01	0.020	0.008	0.003
		底層	0.33	0.33	0.12	<0.01	<0.01	0.028	0.020	0.016
	野田川流入点	表層	0.86	0.55	0.13	0.03	0.19	0.042	0.010	0.011
		底層	0.39	0.22	0.01	0.02	<0.01	0.027	0.008	0.004
	中央部	表層	0.45	0.17	<0.01	<0.01	<0.01	0.033	0.011	0.007
		底層	1.7	1.5	<0.01	<0.01	1.3	0.63	0.63	0.63
H28.9.16	溝尻地先	表層	0.40	0.13	<0.01	<0.01	<0.01	0.025	0.009	0.004
		底層	1.4	1.3	<0.01	<0.01	1.0	0.54	0.53	0.53
	文殊地先	表層	0.14	0.14	<0.01	<0.01	<0.01	0.012	0.012	<0.002
		底層	1.8	1.6	<0.01	<0.01	1.5	0.70	0.66	0.70
	野田川流入点	表層	0.40	0.22	0.03	<0.01	0.01	0.037	0.013	0.006
		底層	0.58	0.51	0.16	<0.01	0.10	0.15	0.14	0.13
	中央部	表層	0.41	0.19	0.02	<0.01	0.01	0.033	0.011	0.005
		底層	0.55	0.55	0.20	<0.01	0.04	0.10	0.089	0.07
	溝尻地先	表層	0.31	0.16	0.01	<0.01	<0.01	0.028	0.009	0.004
		底層	0.61	0.53	0.30	<0.01	<0.01	0.10	0.10	0.09
H29.1.10	文殊地先	表層	0.34	0.19	0.03	<0.01	<0.01	0.030	0.008	0.005
		底層	0.52	0.46	0.21	<0.01	0.01	0.068	0.062	0.04

単位 : mg/L

3-3. COD 関連項目

COD 関連項目の測定結果を表 2 に示す。COD から D-COD を差し引いたものを懸濁性 COD (以下、P-COD) として示した。平成 27 年度の Chl-a を除いて、いずれの項目も冬季より夏季において高い値となる傾向を示した。これは、夏季に植物プランクトンが増加したことによる内部生産が影響していると考えられる。

COD に占める D-COD の割合は、約 50～85%と幅があった。また、Chl-a が高い地点ほど COD に占める D-COD の割合は低くなる傾向が見られた。よって、COD の大部分は D-COD が占めるが、Chl-a の高い地点では懸濁性の有機物が増加するため、P-COD の割合が増加すると考えられる。

表 2. 平成27年度と平成28年度の夏季と冬季の阿蘇海におけるCODと関連する有機物指標の測定結果

採水日	採水地点	採水層	COD	D-COD	P-COD (COD-DCOD)	DOC+POC	DOC	POC	Chl-a
H27.9.1	野田川流入点	表層	5.71	4.81	0.90	-	2.20	-	13.8
	中央部	表層	4.51	3.50	1.00	-	1.96	-	8.3
	溝尻地先	表層	4.10	3.30	0.80	-	1.85	-	8.0
	文殊地先	表層	3.90	3.30	0.60	-	1.84	-	9.1
H28.1.12	野田川流入点	表層	3.01	2.41	0.60	2.97	1.45	1.52	6.5
	中央部	表層	3.51	2.41	1.10	3.49	1.56	1.92	12.2
	溝尻地先	表層	4.91	2.41	2.51	4.35	1.77	2.58	30.9
	文殊地先	表層	3.01	2.51	0.50	3.17	1.57	1.60	10.0
H28.9.16	野田川流入点	表層	6.02	3.81	2.21	-	-	-	37.8
	中央部	表層	6.32	4.11	2.21	-	-	-	30.6
	溝尻地先	表層	6.62	3.81	2.81	-	-	-	19.5
	文殊地先	表層	6.42	3.51	2.91	-	-	-	24.2
H29.1.10	野田川流入点	表層	3.82	2.51	1.31	-	-	-	23.7
	中央部	表層	4.32	2.91	1.41	-	-	-	20.2
	溝尻地先	表層	3.92	2.01	1.91	-	-	-	19.8
	文殊地先	表層	2.91	2.01	0.90	-	-	-	18.2

単位: Chl-aはμg/L、それ以外はmg/L

3-4. BOD と COD

BOD と COD の測定結果を表 3 に示す。今回、DO を消費する要因(いわゆる生物分解)である水塊中の有機物の性状を評価するために BOD の測定を行った。貧酸素水塊の発生した夏季における底層 BOD は、平成 27 年度の野田川流入点を除いて、表層より底層で BOD が高く、BOD に占める溶存性物質の割合が高かった。このときはいずれも、T-P と $\text{PO}_4\text{-P}$ も高濃度で検出された。これは、貧酸素状態における海底の堆積物からの $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出は、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の形態のみでなく、溶存性の有機体リンの形態としても溶出し、速やかに $\text{PO}_4\text{-P}$ へと変化するとされる報告⁸⁾と矛盾しない。一方で、貧酸素水塊の発生した冬季の BOD は、夏季とは逆に、表層より底層で低かった。また、T-P と $\text{PO}_4\text{-P}$ も夏季ほど高濃度で検出されなかった。これは、夏季と冬季では貧酸素水塊の形成状況が違い、還元状態にも差があることと関連しているのかもしれない。

次に、表層・底層の全量 BOD と全量 COD の関係を図 4 に示す。COD は BOD より 1.85 mg/L 高い値を示すことが明らかになった。BOD は COD と決定係数 $R^2 = 0.71$ で相関があり、回帰式の切片 1.85 mg/L は微生物による酸素消費に関わらない難分解性有機物によると考えられた。すなわち、COD の値は、酸素消費に関わらない難分解性有機物を含んで評価している可能性が考えられる。今回の調査結果だけでは断定できないが、酸素消費に関わる汚濁物質の評価方法としては BOD のほうがより適当であると推察された。

今回の調査は、貧酸素水塊が発生する夏季と解消する冬季の年 2 回実施したが、今後は鉛直混合が起ころはじめる秋季にも測定を行ってきたい。

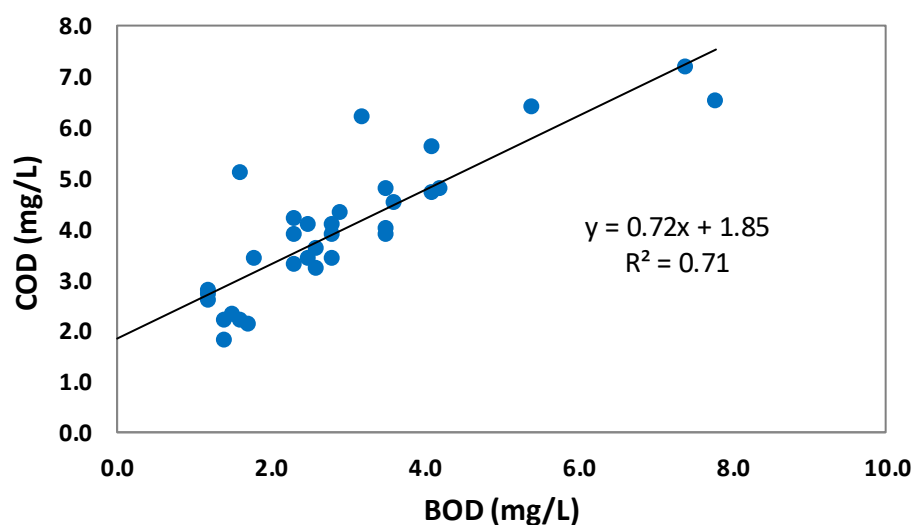


図 4. 平成 27 年度と平成 28 年度の夏季と冬季における阿蘇海での BOD と COD の相関

4. 謝辞

本研究において御教示いただいた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様、現地調査にご協力いただいた丹後保健所の皆様には深謝いたします。

5. 参考文献

- 1) 牧秀明. 2016. 環境部局による海域の調査研究の在り方について. 第 42 回環境保全・公害防止研究発表会, 41(1). 9-11.
- 2) 蒲敏幸, 田中豊稔, 宮尻久美, 田邊義浩. 2014. 京都府の閉鎖性海域における底層 DO の状況及び COD 等の調査結果について. 沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱, 68-72.
- 3) 柳哲雄. 2004. 貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響. 海の研究, 13(5). 451-460.
- 4) 牧秀明. 2017. 茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について.
- 5) 柳哲雄. 1989. シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ. 沿岸海洋研究ノート, 26. 141-145.
- 6) 徳永貴久, 児玉真史, 木元克則, 柴原芳一. 2009. 有明海湾奥西部海域における貧酸素水塊の形成特性. 土木学会論文集 B2 (海岸工学). 65(1). 1011-1015.
- 7) 濱田建一郎, 上田直子, 山田真知子, 多田邦尚, 門谷茂. 2010. 栄養塩濃度が大幅に減少した洞海湾の貧酸素水塊と低次生産過程について. 沿岸海洋研究. 48(1). 29-36.
- 8) 神谷宏, 石飛裕, 井上徹教, 中村由行, 山室真澄. 2001. 富栄養化した汽水湖沼における高水温・貧酸素時の堆積物からの溶存有機態リン(DOP)とリン酸の溶出. 陸水学雑誌. 62. 11-21.

大阪湾公共用水域常時監視点における COD とその他項目との関連について

地方独立行政法人 大阪府立環境農林水産総合研究所

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 10,140 km² である。周辺地形は、北は六甲山地、東は生駒山地、金剛山地、笠置山地、南は和泉山脈などの 500～1,000 m の山地・森林が連なっており、平地は大阪平野、京都盆地などに限られる。大阪湾に流入する主要な河川は、淀川、神崎川、武庫川、大和川などがあるが、これらの多くは北東の湾奥部に集中し、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

検討に用いる観測地点として、大阪湾の環境基準点のうち湾奥と湾口の代表的な地点である C-3（C 類型・水深 13 m）と A-11（A 類型・水深 44 m）とを選定した（図 1）。また、水温、DO 及び塩分等の鉛直分布の把握のために水質監視調査定点から St.17（C-3 付近）と St.2D（A-11 付近）とを選定した。

2-2 経月変化データ

COD 及びクロロフィル a の経月変化を把握するための月別データ（2000 年 4 月～2017 年 1 月）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。

2-3 国立環境研究所との共同研究

地点 C-3 と A-11 において 2014～2016 年の 9 月（夏季）及び 2013～2017 年の 1 月（冬季）にバンドーン採水器を用いて採水を行った。表層水は海面下 1 m から、底層水は C-3 では海底面上 2 m、A-11 では同 5 m から採水した。採水当日中にろ過・分取を行った試水・フィルター類は冷凍して国立環境研究所に送付した。国立環境研究所において「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」³⁾ に記載の方法で得られた分析データを用いて解析を行った。

2-4 鉛直分布

地点 St.17 及び St.2D では、多項目水質計（JFE アドバンテック社製 STD RINKO-Profiler ASTD-102）を用いてクロロフィル蛍光強度、水温、DO 及び塩分の鉛直方向での測定を行った。測定は 10 cm ごとに行った。

2-5 DO 消費速度

海水の DO 消費率を求めるため、採取した試料水について 20℃及び 30℃で曝気を行い、初期（0 日目）の DO を測定した。試料水を所定数のフラン瓶に分取し密栓をした後、10℃、20℃および 30℃のインキュベータ内に所定日数静置し、静置日数終了後、直ちにインキュベータ内と同じ温度で DO を測定した。静置日数間の DO の経時変化から DO 消費速度を算出した。

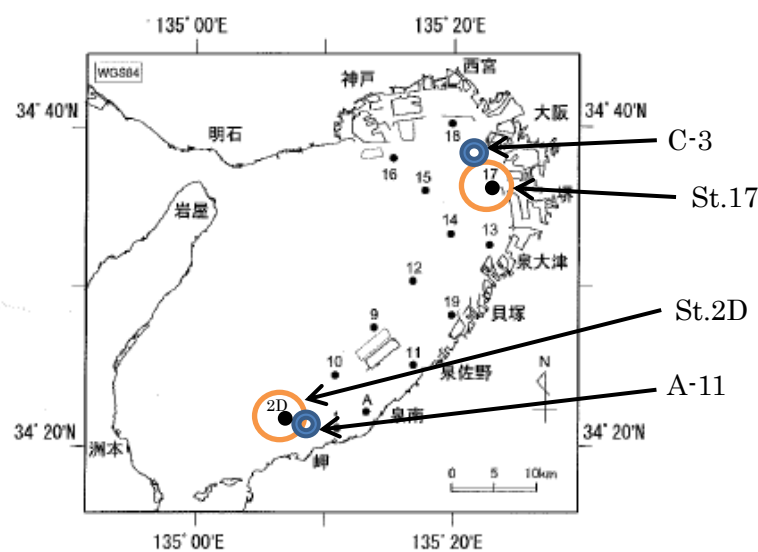


図1 大阪湾の採水地点及び環境基準点

3. 結果及び考察

3-1 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

2000 年 4 月～2017 年 1 月の湾奥 (C-3) 及び湾口 (A-11) の COD の経月変化を、図 2-1 及び 2-2 にそれぞれ示した。

湾奥の地点 C-3 の COD は 1.8～9.7 mg/L で、環境基準値 (C 類型 : 8 mg/L) を超えた月は 2009 年 8 月、2013 年 6 月及び 2014 年 6 月の 3 回のみであり、環境基準 (75%値) はすべて達成されていた。湾口の地点 A-11 (A 類型) の COD は 1.3～4.3 mg/L であり、環境基準値 (A 類型 : 2 mg/L) を超えた月の割合は 50%程度であった。表層では 7～9 月の夏季に COD の高くなる傾向がみられ、地点 C-3 で特に顕著であった。一方、底層では一定の傾向はみられなかった。

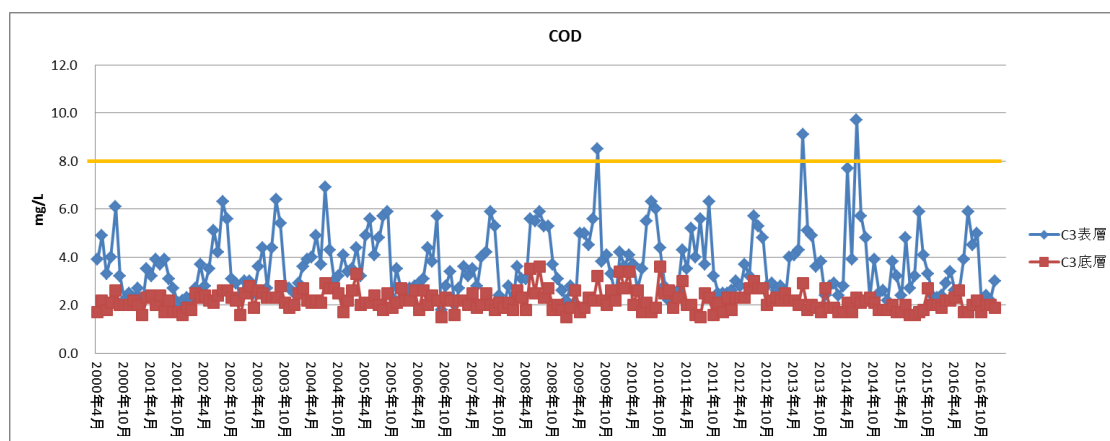


図2-1 C-3 (表層・底層) での COD の経月変化

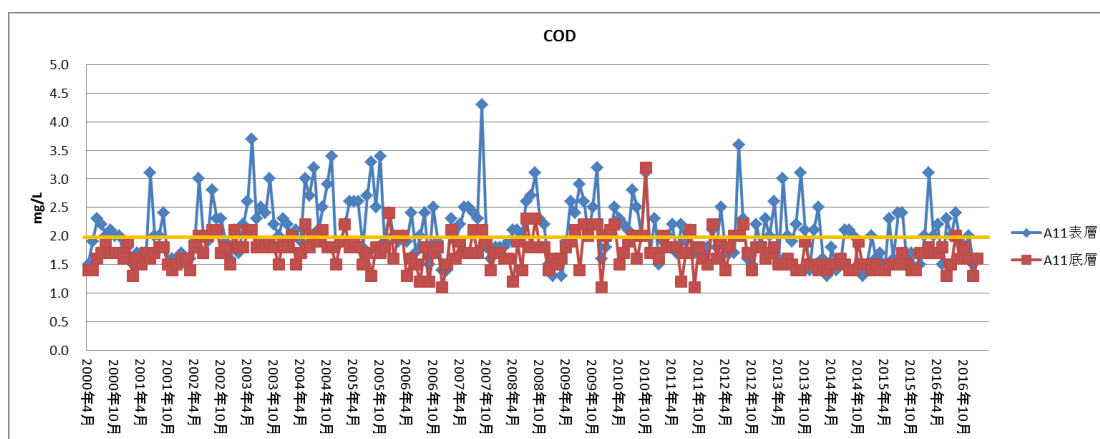


図 2-2 A-11（表層・底層）での COD の経月変化

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。そこで地点 C-3 及び A-11 の表層のクロロフィル a の経月変化を図 3 に示した。特に、地点 C-3 のクロロフィル a は夏季に高くなる傾向が見られ、夏季に植物プランクトンが増加し、内部生産が活発になることで COD が高くなると推察された。

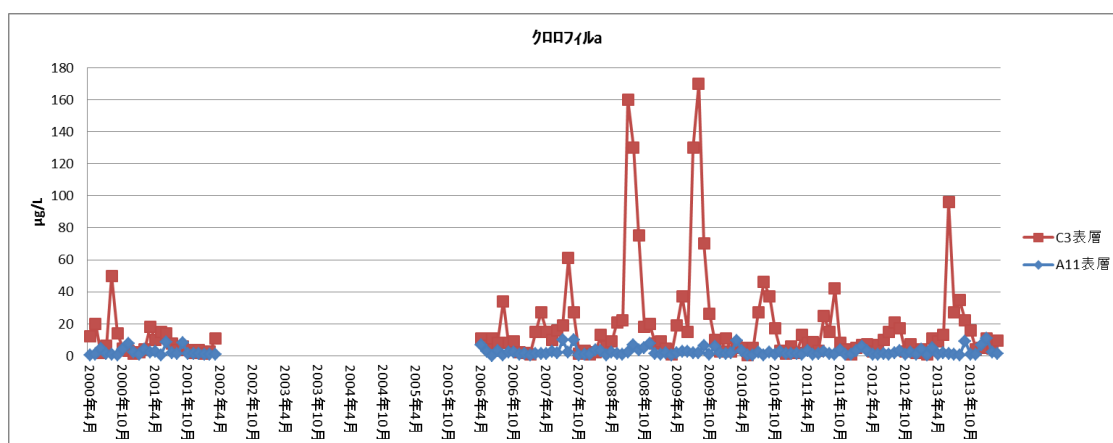


図 3 C-3 及び A-11 表層でのクロロフィル a の季節変動（2002～2005 年は欠測）

COD とクロロフィル a とが夏季に高くなる傾向が見られた C-3 表層について、クロロフィル a と COD との関係を図 4（2000 年 4 月～2017 年 1 月までの全データ）に示した。両者の間には正の相関（ $P < 0.01$ で有意）がみられた。

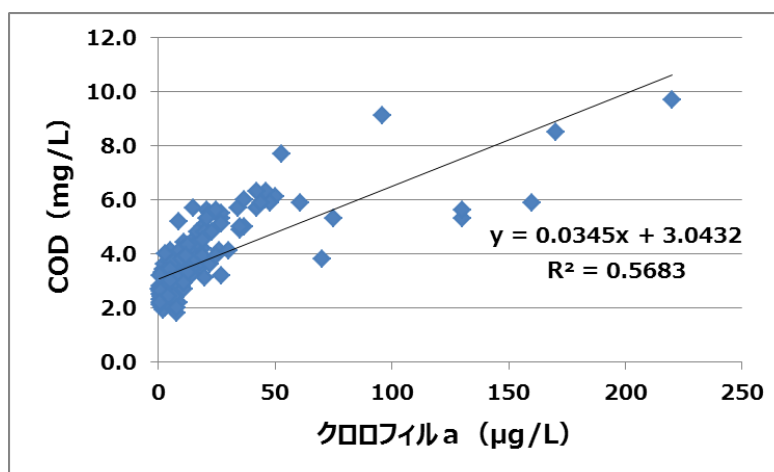


図 4 C-3 表層におけるクロロフィル a と COD との関係

次に、クロロフィル a と懸濁態 COD (p-COD : COD－溶存態 DCOD) との関係を図 5 に示した。植物プランクトンの細胞数は p-COD に反映されと考えられる。クロロフィル a と p-COD との間には正の相関 ($P < 0.01$ で有意) がみられ、表層における p-COD の増加はクロロフィル a の増加、すなわち植物プランクトンの細胞数の増加と関係あることが示唆された。よって COD が夏季に高い値を示すのは表層付近の植物プランクトンの影響を強く受けていると推察された。

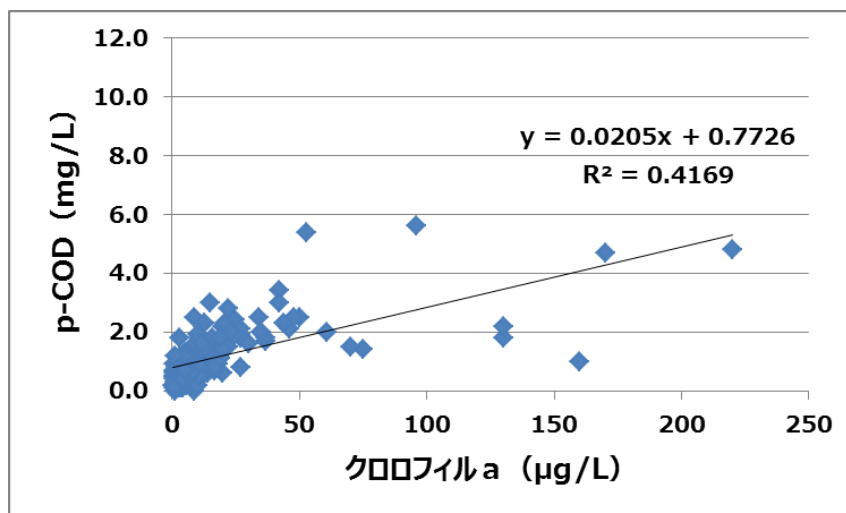


図 5 C-3 表層におけるクロロフィル a と p-COD との関係

3-2 溶存態の栄養塩類

2011 年～2016 年度の COD、クロロフィル a 及び溶存態栄養塩類³⁾ の 6 年間の平均濃度を表 1 に示した。前述と同様、COD 及びクロロフィル a は地点別でみると、湾口の A-11 と比較して湾奥の C-3 の方で値が高く、季節別でみると夏季（9 月）に高い値であった。表層の溶存態栄養塩類については地点別では地点 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（1 月）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可能性が推察された。一方底層では、夏季と冬季の差に一定の傾向はみられなかった。

表 1 2011～2016 年度の溶存態栄養塩類等³⁾ の平均濃度

採水点名		COD (mg/L)	Chl a (µg/L)	DIN (mg/L)	DTN (mg/L)	PO4-P (mg/L)	DTP (mg/L)
大阪湾A-11表層	夏季	2.17	3.73	0.02	0.22	0.0071	0.0158
大阪湾A-11表層	冬季	2.04	2.88	0.06	0.22	0.0087	0.0177
大阪湾A-11底層	夏季	1.85	1.25	0.06	0.23	0.0129	0.0196
大阪湾A-11底層	冬季	1.85	1.94	0.09	0.21	0.0140	0.0193
大阪湾C-3表層	夏季	4.33	23.48	0.43	0.64	0.0313	0.0446
大阪湾C-3表層	冬季	2.91	6.10	0.64	0.81	0.0301	0.0384
大阪湾C-3底層	夏季	2.31	2.74	0.24	0.44	0.0512	0.0576
大阪湾C-3底層	冬季	1.94	3.96	0.16	0.33	0.0171	0.0243

3-3 鉛直分布データ

海底直上水の底層溶存酸素量（以下、底層 DO とする）が 2016 年 3 月 30 日より環境基準項目として新たに追加された。底層の DO 低下の抑制・防止対策を検討するためには、DO 消費の要因解析及び表層水から海底直上水を含めた DO の鉛直分布の把握が重要かつ有効であると考えられる。次に多項目水質計で測定した鉛直データを示した。

図 6-1 で示される夏季の鉛直データからは、湾奥である St.17 の表層付近は河川の影響で塩分が低いことが分った。また 4~7 m では DO が高くなっており、沖合の水塊が中層部に入り込んでいると考えられた。また 10 m 付近で躍層が認められ、それ以深では塩分が高く、低 DO の水塊がとどまっていることが分かった。躍層以深の底層では、沈降した有機物の分解に DO が消費され、低 DO となったと考えられた。湾口である St.2D では、St.17 と同様に 10 m で躍層がみられたものの、St.17 と比較して DO が高く、また鉛直方向の変動も小さかった。このように鉛直分布を見ることで、貧酸素水塊の由来を解析できる可能性があることが示唆された。

冬季（図 6-2）は St.17 では水深 10 m 前後で水温躍層が認められたが、その原因は不明である。また、St.2D は全体的に循環期の様相を呈していた。

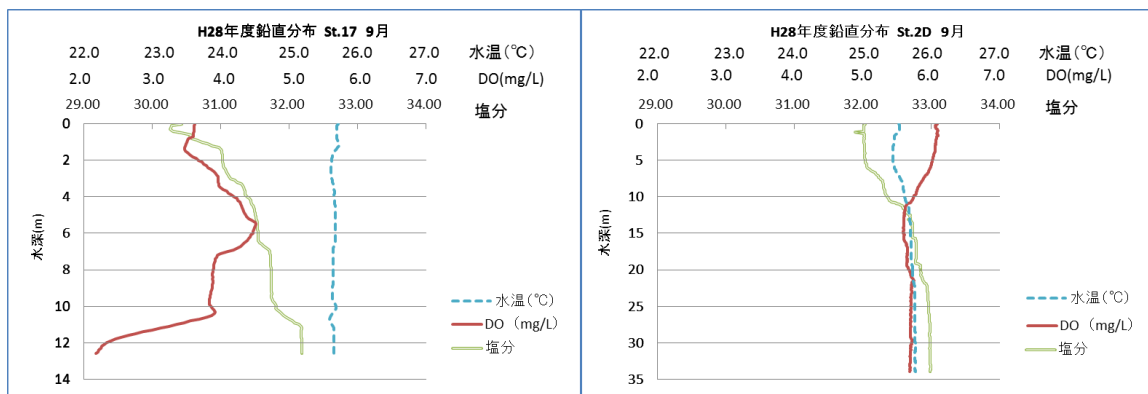


図 6-1 St.17・St.2D の水温、DO、塩分の鉛直分布（夏季）

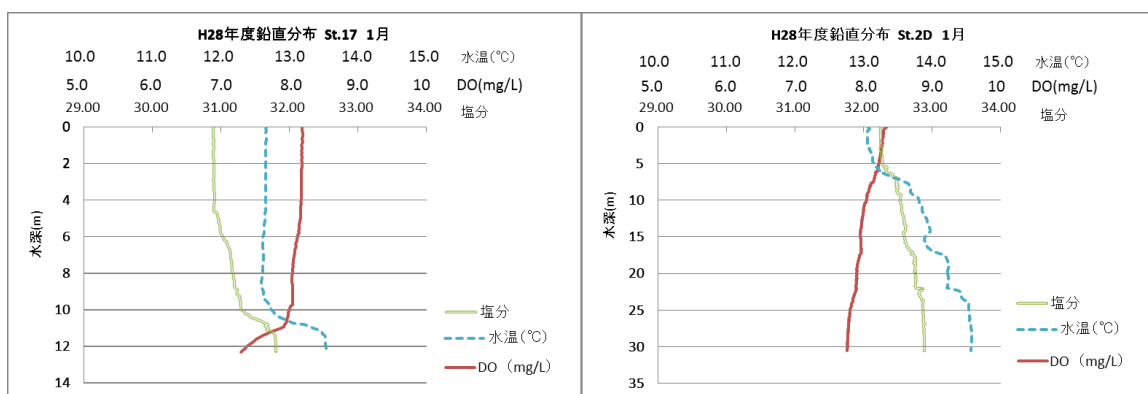


図 6-2 St.17・St.2D の水温、DO、塩分の鉛直分布（冬季）

3-4 DO 消費率

DO 低下の要因の一つとして微生物による有機物の酸化分解に伴う海水中の DO 消費が挙げられる。しかし、海水の有機汚濁の指標は化学的酸素要求量 (COD) であり、これまで微生物による海水中の DO 消費に関する情報が少ない。そこで、常時監視地点の海水を用いて微生物の活動に伴う DO 消費速度の測定を行い、海水の有機物の指標である COD 及び植物プランクトンの指標であるクロロフィル a との関係について解析を行った。

常時監視地点である C-3 及び A-11 で夏季に採取した海水の温度別の DO 消費率を図 7 に示した。いずれも C-3 表層で DO 消費率が高く、次いで C-3 底層、A-11 表層、A-11 底層の順となり湾奥で高く湾口で低い、また表層で高く底層で低いという関係が認められた。

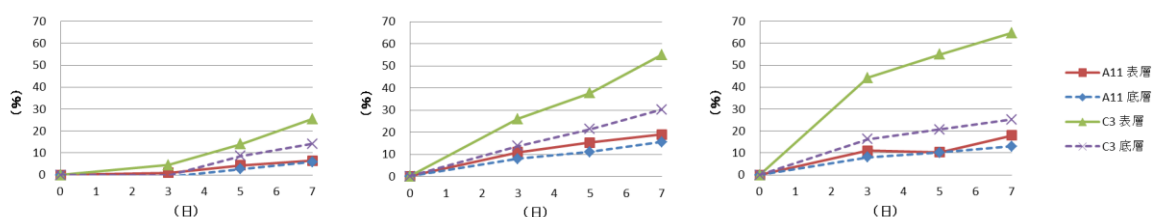


図 7 温度別 DO 消費速度 (左から 10°C、20°C、30°C)

DO の経時変化を元に DO 消費速度定数 k を求めた。DO の低下が一次反応であると仮定した場合、次の式が成り立つ。

$$d[A]/dt = -k[A] \quad (1)$$

ここで、 A は DO の濃度 (mg/L)、 k は DO の消費速度定数 (day^{-1})、 t は経過時間 (day) である。この式を変形させることにより下記の反応式を得ることができる。

$$[A] = [A_0] \cdot e^{-kt} \quad (2)$$

ここで、 A_0 は DO の初期濃度である。

$$\ln([A]/[A_0]) = -kt \quad (3)$$

(2)式を上記(3)式に変形し、 $t=1, 3, 5$ 及び 7 (day) の時の $\ln([A]/[A_0])$ をプロットし、その傾きから各試験区の k を求めた (表 1)。10°C の場合に比べ 20°C で消費速度定数 k は増加した。30°C では DO 消費の多い C3 表層で消費速度定数 k の増加が顕著であった。

表 2 反応速度定数 k

2016 年夏季消費速度定数 k

°C	A11表層	A11底層	C3表層	C3底層
10	0.0087	0.0065	0.0355	0.0182
20	0.0320	0.0244	0.1070	0.0502
30	0.0275	0.0212	0.1569	0.0449

2016 年度冬季消費速度定数 k

°C	A11表層	A11底層	C3表層	C3底層
10	-0.0040	-0.0079	0.0059	0.0024
20	0.0121	0.0076	0.0229	0.0179
30	0.0219	0.0186	0.0404	0.0331

2014 年 9 月から半年毎に 20℃での消費速度定数 k を測定しており⁴⁾、その時の COD 及びクロロフィル a との相関を調べた結果、消費速度定数 k と COD との間には高い相関関係 ($r=0.9183$) が認められた (図 8)⁵⁾。したがって有機物が多いほど消費速度定数 k も大きな値を示すことが示唆され、COD の値からある程度の消費速度定数を予測できることが推察された。しかし、クロロフィル a と消費速度定数 k との間には、地点 C-3 表層のデータを除外した場合、関係性は認められない ($r=0.0693$) (図 8)。このことから、植物プランクトン (有機物) による暗所での呼吸 (DO 消費) よりも、その他の微生物による有機物の分解が海水中の DO 消費速度に寄与しているものと予測された。

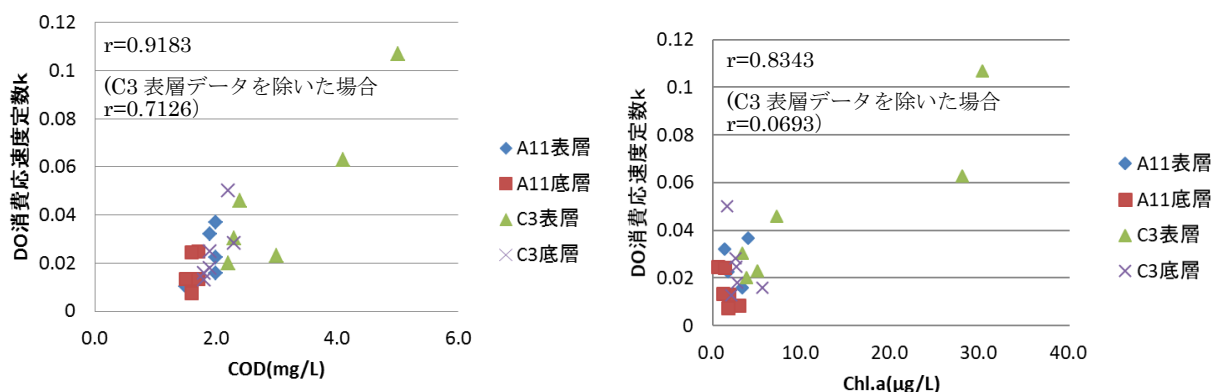


図 8 DO 消費速度定数 k と COD 及びクロロフィル a との関係

4. まとめ

大阪湾の COD とその関連項目について 2000 年 4 月～2017 年 1 月の経月変化を解析した。また、2011 年～2016 年度の夏季と冬季に栄養塩類等の測定、水温・DO・塩分の鉛直分布測定を行った。さらに DO 消費速度定数 k を調べた結果、以下のことが明らかになった。

- 地点 C-3 (C 類型) では COD 及びクロロフィル 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。
- 表層の COD とクロロフィル a との間には高い相関が見られた。
- 鉛直分布データから、地点 St.17 では St.2D と比較して夏季に大きく底層 DO が下がり、貧酸素水塊が出現していることが分った。また、地点 St.17 は陸域からの河川水の影響を大きく受けて塩分が表層で低くなることが分った。
- COD が高いほど DO 消費速度定数 k が高いことが明らかになり、海水中の有機物が DO 消費に関わっていることを示唆するデータが得られた。

5. 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」
- 4) 小野純子ら、第 4 2 回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集、2015
- 5) 小野純子ら、第 5 1 回日本水環境学会年会講演要旨集、2017

大阪湾における COD、DO の推移（2013～2015 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

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、富栄養化が認められる示す 2 地点（図 1）を選定し、COD、Chl-a および DO（溶存酸素）について評価した。評価は平成 25 年度から平成 27 年度までの表中層混合（海面下 0.5 m 水および海面下 2 m 水の等量混合水）COD、表層 Chl-a（クロロフィル-a）、底層（底上 1 m）DO について実施した。

1 COD および Chl-a

図 2 に各地点での経月変化を示す。夏季に増加、冬季に減少するパターンは両地点において共通していたが、西宮市沖 1 の方が有機汚濁の蓄積がより危惧された。

図 3 に Chl-a の周年変化を示す。夏季に西宮市沖 1 で明瞭に COD が高かった 2013 及び 2014 年度において西宮市沖 1 において高濃度を示した。このことから、海域における内部生産性の有機物の増加が COD 増加に寄与したこと、2 地点間の差となって表れたことが示唆された。

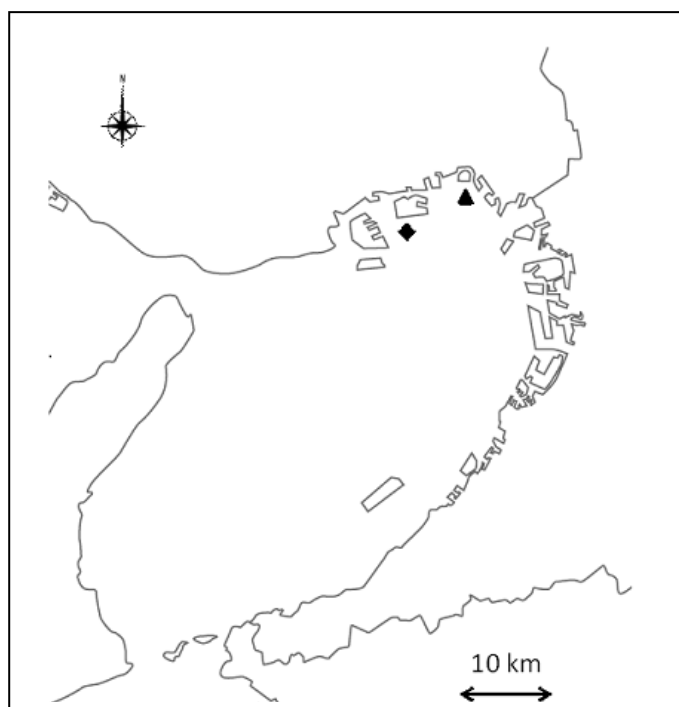


図 1 調査地点 ▲:西宮市沖 1, ◆:神戸市東部沖 1

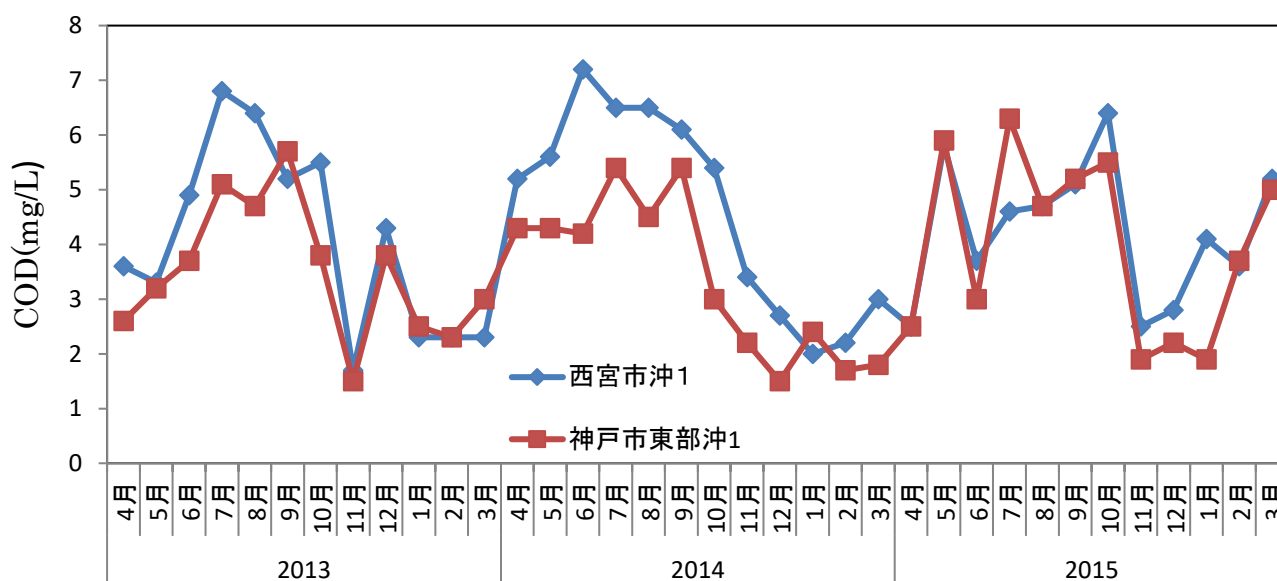


図2 表中層水CODの周年変化

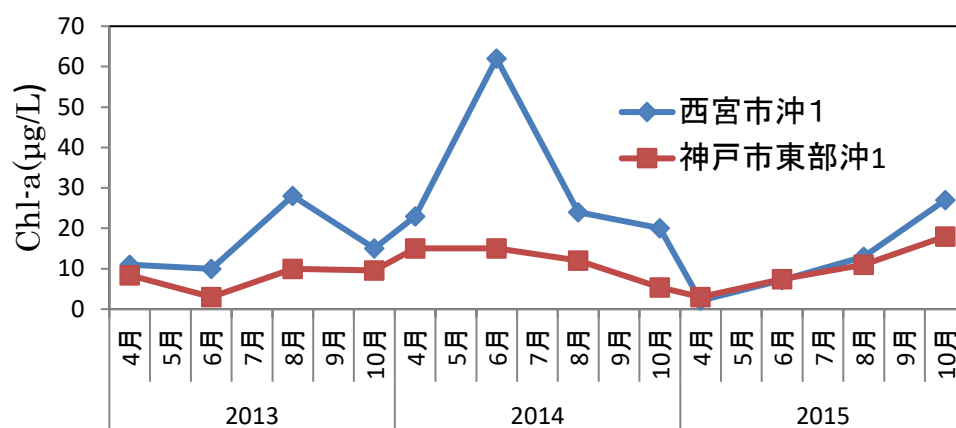


図3 表層水Chl-aの周年変化

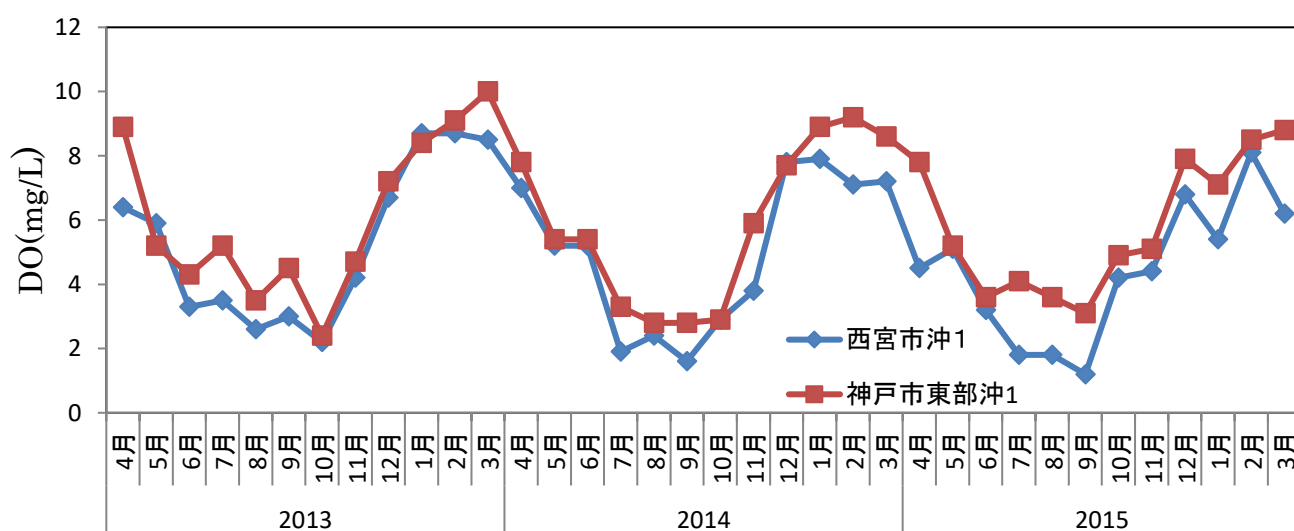


図4 底層DOの周年変化

2 DO

図3に底層水のDOの周年変化を示す。DOは概ね夏季（7月から10月）に減少し、冬季から初春（12月から3月）にかけて増加する周期的な変動を示した。

2地点の比較においては西宮市沖1において、ほぼ全調査時においてDOは低くなった。また、水産用水基準（2005）で、内湾漁場の夏季底層において最低限維持しなくてはならない溶存酸素とされる4.3 mg/L(3 mL/L)を下回る貧酸素化は表1の通り発生しており、依然、貧酸素化による生態系への悪影響が継続していると考えられた。

表1 DO濃度が4.3 mg/L未満の貧酸素化発生回数

	西宮市沖1	神戸市東部沖1
2013	6	2
2014	5	4
2015	6	5

徳島県沿岸海域における COD 関連項目の現状と傾向

徳島県立保健製薬環境センター 管生伸矢・岩佐博司

1 緒言

徳島県は、播磨灘・紀伊水道（瀬戸内海）、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

2014 年 9 月、2015 年 1 月と 8 月、2016 年の 1 月と 8 月、2017 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 0.5 m 位置）で、この 3 地点の水質環境基準生活環境項目の類型はいずれも A（COD 2 mg/L 以下）である。



提供元：徳島県総合地図提供システム

図 1 調査地点

表 1 各調査地点の特徴

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

2.3 分析方法

海水試料は、採水当日に分注・ろ過を行った。

試料をそのまま分注したものは、COD の分析に用いた。

クロロフィル a (Chl-a) の分析には、450℃で 4 時間焼成処理した 47 mm 径のガラス繊維フィルターGF/C を用いて、試料を 1000 mL 吸引ろ過したろ紙を用いた。得られたろ液は、溶存性の COD (D-COD) と有機炭素 (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 25 mm 径のガラス繊維フィルターGF/F を用いて、試料を 500 mL 吸引ろ過したろ紙を用いた。

ろ過・分注した試水・フィルター類は冷凍して国立環境研究所に送付し、「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⁾

また、BOD についてろ過・分注した試料を用いて、当センターで JIS 法に基づき測定した。ただし、培養期間は 3 日間及び 7 日間とした。

3 結果と考察

3.1 栄養塩類

栄養塩類の測定結果を表 2 に示す。珪酸塩以外の項目については、夏季より冬季で値が大きくなる傾向が認められた。これは夏季にプランクトンが増殖し、栄養塩を多く取り込んでいることの影響の可能性もあると考えられる。

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、2002～2017 年（冬 2 月、夏 8 月）の 15 年間の COD 値を図 2 に示した。^{2),3)}

県南沿岸海域の水質は安定しており、いずれの期間においても環境基準 (2 mg/L 以下) を下回った。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。しかし、紀伊水道海域では値が大きく上昇しているケースが見受けられる。(2003 年夏、値 4.2 mg/L) 紀伊水道では

夏季・冬季に限らず高い値となることが稀にある。

表 2 2014 年 9 月～2017 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	0.001 (0.001)	0.004 (0.001)	0.19 (0.020)	0.005 (0.001)	0.015 (0.003)	0.47 (0.20)
	冬季	0.047 (0.024)	0.006 (<0.001)	0.23 (0.015)	0.015 (0.002)	0.022 (0.013)	0.83 (0.23)
紀伊水道 (Ki-2)	夏季	0.018 (0.023)	0.006 (<0.001)	0.19 (0.023)	0.006 (0.004)	0.015 (0.006)	0.84 (0.13)
	冬季	0.057 (0.003)	0.006 (<0.001)	0.23 (0.024)	0.014 (0.001)	0.020 (0.001)	0.70 (0.050)
県南沿岸 (Ka-3)	夏季	<0.001 (0.001)	<0.001 (<0.001)	0.13 (0.015)	0.001 (<0.001)	0.007 (<0.001)	0.43 (0.22)
	冬季	0.035 (0.007)	0.004 (0.001)	0.16 (0.003)	0.008 (0.003)	0.011 (<0.001)	0.32 (0.10)

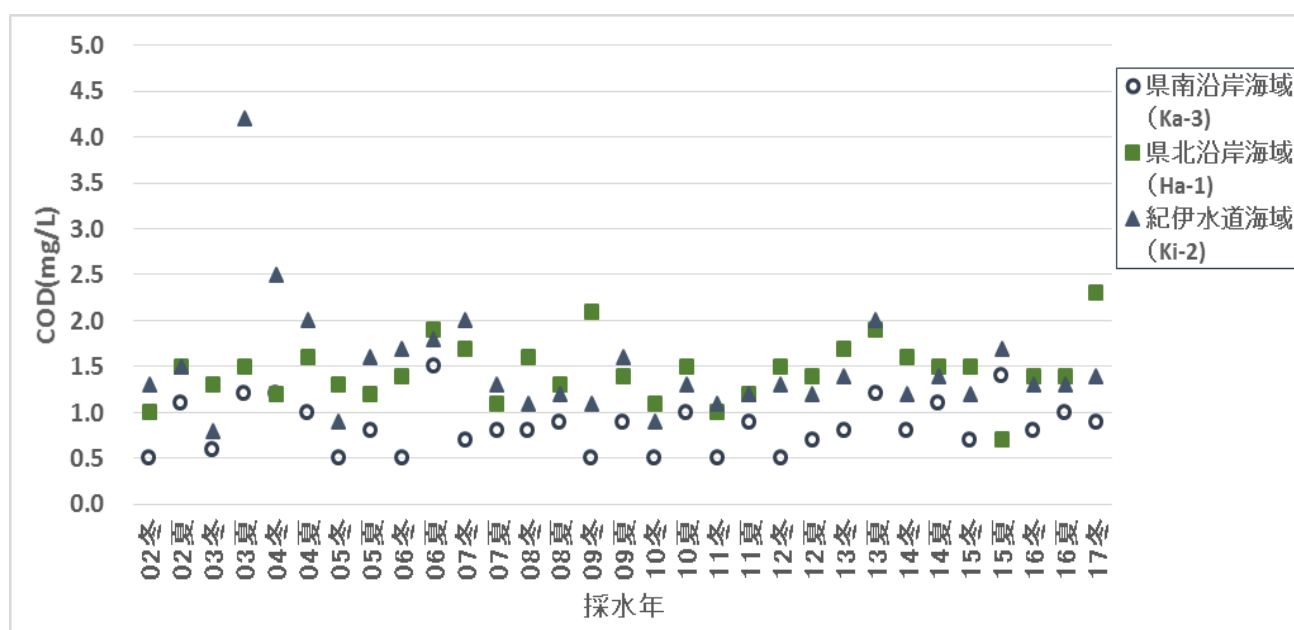


図 2 2002～2017 年における COD

3.3 COD 関連項目の測定結果

今回調査した試料の COD 関連項目の測定結果を表 3 に示す。懸濁性の COD (P-COD) は、COD と D-COD の差から求めた。全有機炭素 (TOC) については、DOC と POC の和から求めた。

その結果、COD や D-COD などの項目で冬季より夏季の値が高い傾向が見られたが、これまでの研究(2011～2014 年)¹⁾で見られたほどの大きな差ではなかった。

表3 2014年9月～2017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	2.37 (0.092)	2.03 (0.207)	0.33 (0.287)	1.26 (0.063)	0.20 (<0.001)	1.36 (0.036)	1.73 (1.166)
	冬季	2.03 (0.265)	1.83 (0.170)	0.20 (0.216)	1.13 (0.042)	0.24 (<0.001)	1.25 (0.077)	2.65 (1.505)
紀伊水道 (Ki-2)	夏季	2.23 (0.250)	1.50 (0.293)	0.73 (0.369)	1.25 (0.236)	0.13 (<0.001)	1.32 (0.168)	1.59 (1.070)
	冬季	1.87 (0.388)	1.53 (0.126)	0.33 (0.263)	1.10 (0.063)	0.33 (<0.001)	1.27 (0.232)	1.84 (0.541)
県南沿岸 (Ka-3)	夏季	1.56 (0.169)	1.43 (0.249)	0.13 (0.125)	1.14 (0.210)	0.12 (<0.001)	1.20 (0.148)	1.07 (1.016)
	冬季	1.23 (0.288)	0.93 (0.125)	0.30 (0.163)	0.88 (0.007)	0.20 (<0.001)	0.98 (0.112)	0.71 (0.115)

*DOC, POC に関しては 2016～2017 年のデータを含めていない。

3.3.1 COD 関連項目の比較

測定した COD 関連項目の結果 (2011～2017 年,) を比較し, グラフとしたものを図 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 0.69 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 と有機炭素について, 溶存性成分間の値と懸濁性成分間の値を比較した。溶存性成分間(D-CODvsDOC)では決定係数が 0.41, 懸濁性成分間(P-CODvsPOC)では決定係数 0.45 と相関性が見られるものの, 中程度に留まった。以上のことから, TOC と COD の相関は中程度であり, 相互の影響は限定されたものであると考えられた。

次に(d),(e)に示すように, P-COD 及び POC と Chl-a の値についても検討を行った。これには 2011 年紀伊水道の高 Chl-a 値のデータを含んでいない。決定係数はそれぞれ, P-COD と Chl-a は 0.07, POC と Chl-a も 0.05 とほぼ相関がなかった。つまり, 懸濁成分は COD にあまり影響を与えていないと考えられる。

D-COD と塩分の関係について, 塩分の測定を行った。その結果, (f)に示すように, 塩分が低くなると D-COD が高くなった。このことは, 陸水の流入が多くなると塩分が低くなることから, 海域の D-COD の増加には陸水の流入が影響を与えていることを示唆している。

COD 関連項目の COD,D-COD,P-COD についての比較を図 4 に示す。COD と D-COD は同程度の値を示しており, P-COD は概ね低い値が続いている。つまり, 本県の COD は D-COD に依るところが大きく, D-COD は陸水の流入によって増加することから本県の COD は陸水由来であることが考えられる。また, 図 4 の 2011 年データなどでは, P-COD が比較的高い値を示している例が見られる。2011 年は Chl-a も高い値 ($19 \mu\text{g/L}$) を示しており, 植物性プランクトンの増殖により P-COD の値が高くなることがあると考えられる。このような場合, D-COD による COD 値に P-COD 由来の COD 値が加算されることで一時的な COD 高値を招いていると思われる。

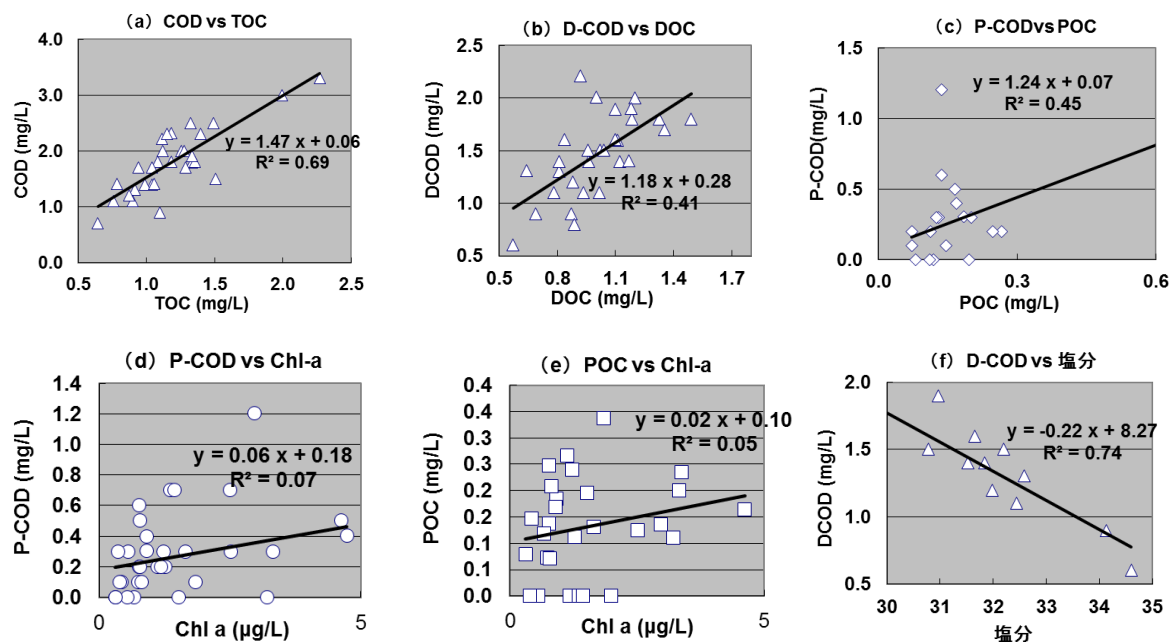


図3 COD 関連項目の比較

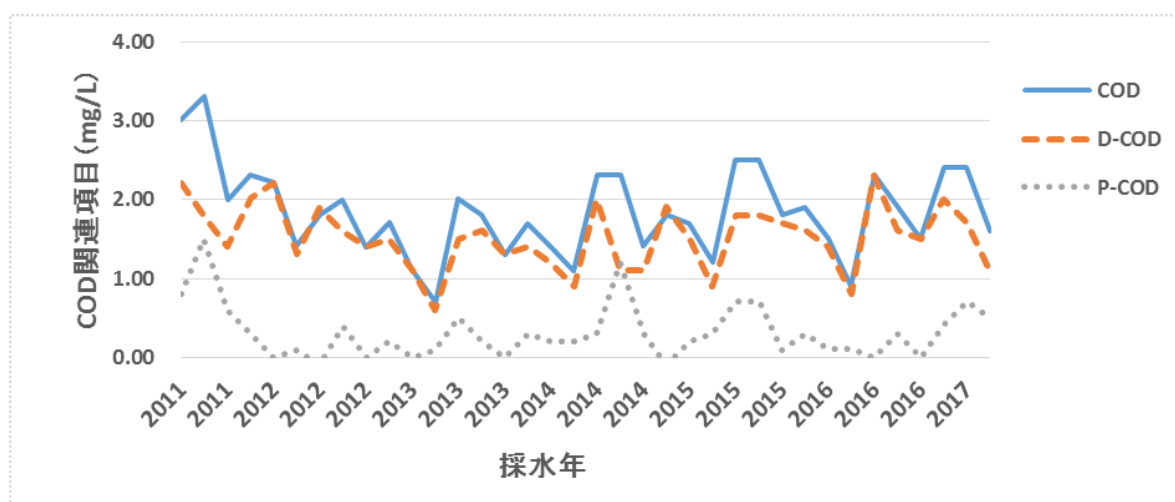


図4 COD, D-COD, P-COD の比較

3.3.3 BOD の比較

2014～2017 年における BOD_3 ・ BOD_7 (3 日間, 7 日間の BOD 値)の未ろ過検体とろ過検体の比較を図 5 に示す。冬季の検体では BOD_3 と BOD_7 に大きな差は見られず, 培養期間 3 日でも微生物による酸素消費が十分に行われている値が得られた。しかし, 夏季における BOD では特に BOD_7 (ろ過検体でも) では大きな差が見られ, 培養期間 3 日の BOD_3 では期間が不十分であると考えられた。

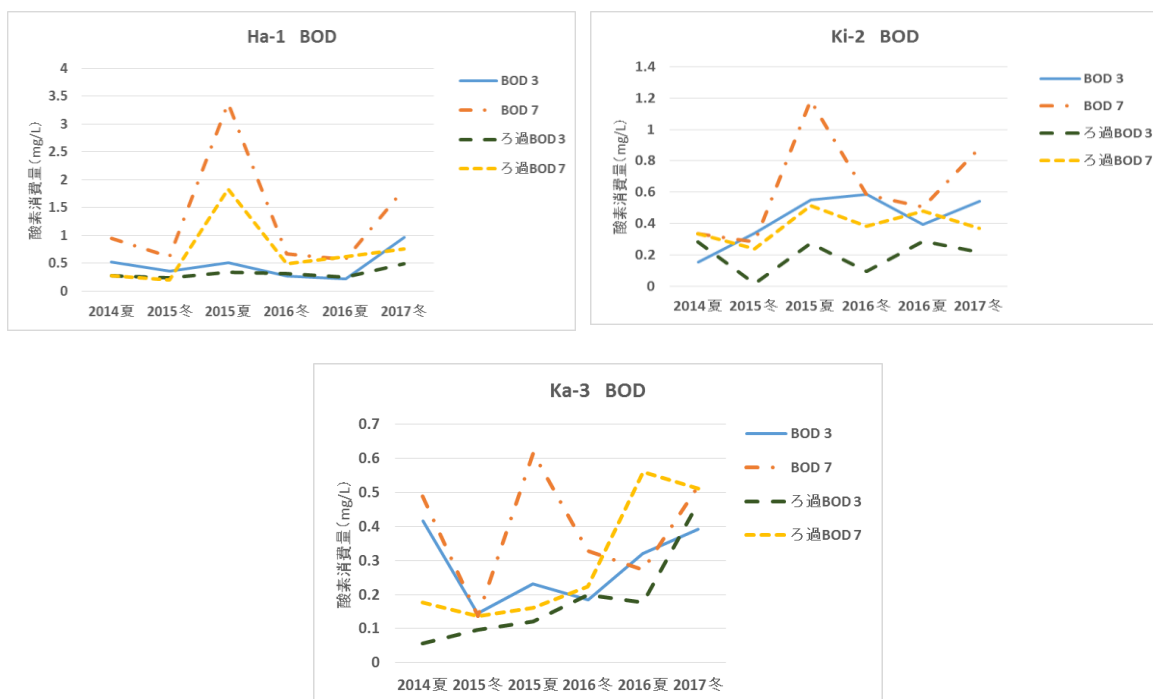


図 5 BOD 比較

4 まとめ

徳島県沿岸域 3 地点において 2014 年 9 月～2017 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 は近年安定化してきているが、紀伊水道、瀬戸内海側ではまだ基準の超過が見られる。
- (2) 当県の COD は D-COD の影響が大きい、D-COD は塩分の低下に伴い増加することから陸水由来であると考えられる。
- (3) D-COD 値に季節的な P-COD が上乗せされることで COD の基準超過に繋がっている。
- (4) BOD₃ 及び BOD₇ の比較を行ったところ、冬季では値に大きな違いはなく BOD₃ による測定でも培養期間は十分だと考えられる。しかし、夏季では倍程度の差となり培養期間 3 日では不十分であると考えられた。

5 文献

- (1) II 型共同研究, 2011-2014. 「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」報告書, pp.11-15, 87-92.
- (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
- (3) 公共用水域及び地下水の水質測定結果 (平成 24～26 年度), 徳島県

1. はじめに

土佐湾中央部に位置する浦ノ内湾は高知県の代表的な閉鎖性海域であり、土佐湾に面する水面積 12 km²、奥行き約 10 km、湾幅 350～1000 m の東西に細長い湾である。湾口部の宇佐大橋付近の st-10 (図 1) で湾幅 350 m、水深 3～5 m と最も狭く閉鎖度指標は 6.30¹⁾²⁾である。非常に閉鎖的な湾であるため、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³⁾。

当所では、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、浦ノ内湾内及び外洋の仁淀川河口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、BOD・COD と関連する有機物指標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

2014 年度は 7 月～3 月の間に 5 回、2015 年度は 5 月～12 月の間に 4 回、2016 年度は 6 月～12 月の間に 9 回の調査を行った。

2.2 調査地点

図 1 に調査地点を示す。環境基準の類型指定は浦ノ内湾の st-9～15 は AII 類型、仁淀川河口沖 st-4 は A 類型である。

湾中央部の 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。

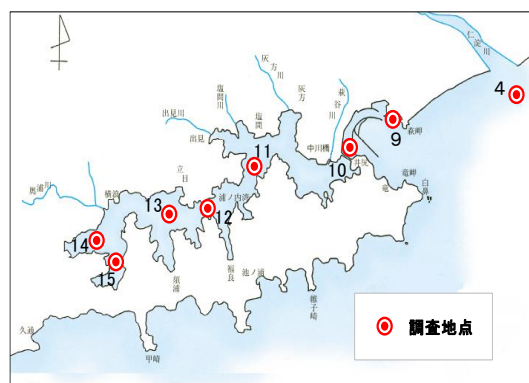


図 1 浦ノ内湾の調査地点図

2.3 調査・分析方法

塩分・水温・DO の測定には多項目水質計 Hydrolab 社 DataSonde DS-5 型 (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 cm/s の速度で垂下させ、表層から海底まで測定を行った。試料採取は、st-4, 10, 12, 15 においてリゴ採水器を用いて行った。採取水深は表層, 2 m, 5 m, 地点によっては 10 m まで採水を行った。

採取した海水は保冷下で実験室に持ち帰り、450℃で 4 時間焼成処理した 47 mm 径のガラス繊維フィルターGFC でろ過し、ろ過・未ろ過の各試料について COD・BOD・TOC の測定を行った。ろ過試料は溶溶性成分の分析用とし、それぞれ溶溶性 COD (D-COD), 溶溶性 BOD (D-BOD), 溶溶性有機炭素 (DOC) の測定結果を得た。また、懸濁性 COD (P-COD), 懸濁性 BOD (P-BOD), 懸濁性有機炭素 (POC) について、未ろ過試料とろ過試料の結果の差し引きにより算出した。

COD 及び BOD は JIS 法に基づき測定した。ただし BOD に関しては、ふらん瓶での培養は 5 日間ではなく 3 日間経過した時点でよう素滴定法により DO を測定し、消費された DO を BOD3 として求めた。TOC は TOC 計 (TOC-V CPH, 島津製作所) を用いて NPOC (不揮発性有機炭素) を測定した。

また、栄養塩類及びクロロフィル a の測定については、採水した検体をろ過し、試料水・フィルター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環境基準点にお

る栄養塩類と COD に関連する有機物項目について」⁴⁾で述べられた方法で一連の分析を行った。

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水温・塩分・D₀ (2014・2015 年度)

2014 年度及び 2015 年度の夏季・冬季の測定結果について、浦ノ内湾内 st-10～15 の各地点における水温・塩分・D₀ の鉛直分布を図 2 に示す (文末)。なお、st-9 については st-10 とほぼ同じ結果であったため図からは省略した。

2014 年 9 月と 2015 年 8 月の結果を比較すると、水温や塩分がほぼ同じ動きを示したが、D₀ の鉛直分布に違いがあることが分かった。湾中央部の st-12 や st-13 において、2014 年 9 月の測定結果では底層に近づくにつれて D₀ が減少する傾向がみられたが、2015 年 8 月の結果では水深 5 m 付近で D₀ 約 1.5 mg/L と最も低くなり、そこから底層に向かって D₀ 濃度が上昇し、水深 17 m 付近では D₀ 約 4.8 mg/L となっていた。

冬季 (2015 年 1 月, 12 月) には貧酸素状態の改善が認められた。

3.1.2 浦ノ内湾内における D₀ の断面図解析 (2016 年度)

2016 年度は、貧酸素水塊の形成から解消されるまでの様子をより詳しく見るため、6 月から 12 月にかけて月 1～2 回の頻度で水質計による調査を行った。浦ノ内湾内の D₀ の断面分布を図 3 に示す。

調査を開始した 6 月 3 日時点で、すでに湾中央部を中心に st-11 近辺から湾奥部にかけて底層の貧酸素水塊の形成が確認され、底層 D₀ は最も水深の深い st-12 では 0.8 mg/L であった。また、このとき st-12 から湾最奥部の st-15 にかけて、表層から水面下 3.5 m 付近までは D₀ が約 14 mg/L と非常に高くなっていた。採水時には st-11 と st-12 において赤潮とみられる懸濁物が確認され、このときクロロフィル *a* 濃度は st-12 の水深 5 m において最も高く 86.5 μg/L であった。

夏季になるにつれ、貧酸素水塊は表層及び湾奥方向へ徐々に広がっていき、9 月の調査時には st-10 付近から湾奥部の st-15 にわたる広範囲で最も顕著な貧酸素状態となった。このとき、底層 D₀ は st-10 で 6.5 mg/L, st-11 で 1.1 mg/L, 湾中央部の st-12 から湾最奥部の st-15 にかけては 0.8 mg/L となっていた。しかし、7 月 27 日や 8 月 26 日の D₀ 断面分布を見ると湾中央部の底層付近で D₀ 濃度がやや改善されており、夏の間に貧酸素層が継続して拡大していくのではなく、D₀ の消費と供給を繰り返しながら貧酸素水塊が形成されていく様子がうかがえた。宗景ら⁵⁾⁶⁾の研究によれば、これは、大潮時に湾外水の密度が湾内底層水の密度より大きくなり、湾外水が湾内底層に潜り込むように侵入する差込み (密度流) が生じたためである。差込みに伴う D₀ 補給によって、一時的に湾中央部の D₀ 濃度は改善されるが、短期間のうちに D₀ が消費されてしまい、次の小潮時には再び貧酸素水塊が形成される。また、差込みの及ばない湾奥側では、貧酸素状態が長く持続する。

10 月以降の秋季にかけての調査では、貧酸素状態が徐々に解消されていった。10 月 13 日の D₀ 断面分布からも、湾中央部の底層から D₀ 濃度が改善されている様子が確認された。11 月の調査時には、底層 D₀ は湾最奥部の st-15 で 4.9 mg/L まで改善し、12 月の調査では st-15 で 6.8 mg/L となり、貧酸素層の解消が認められた。

2016 年度の調査で得られた D₀ 断面分布図は、1987 年の観測結果を基にして作成された縦断面分布⁵⁾⁶⁾と非常によく一致する挙動を示しており、30 年ほど前から変わらずに浦ノ内湾内で周期的な貧酸素水塊の形成・発達と消失が起こっていることが推察された。

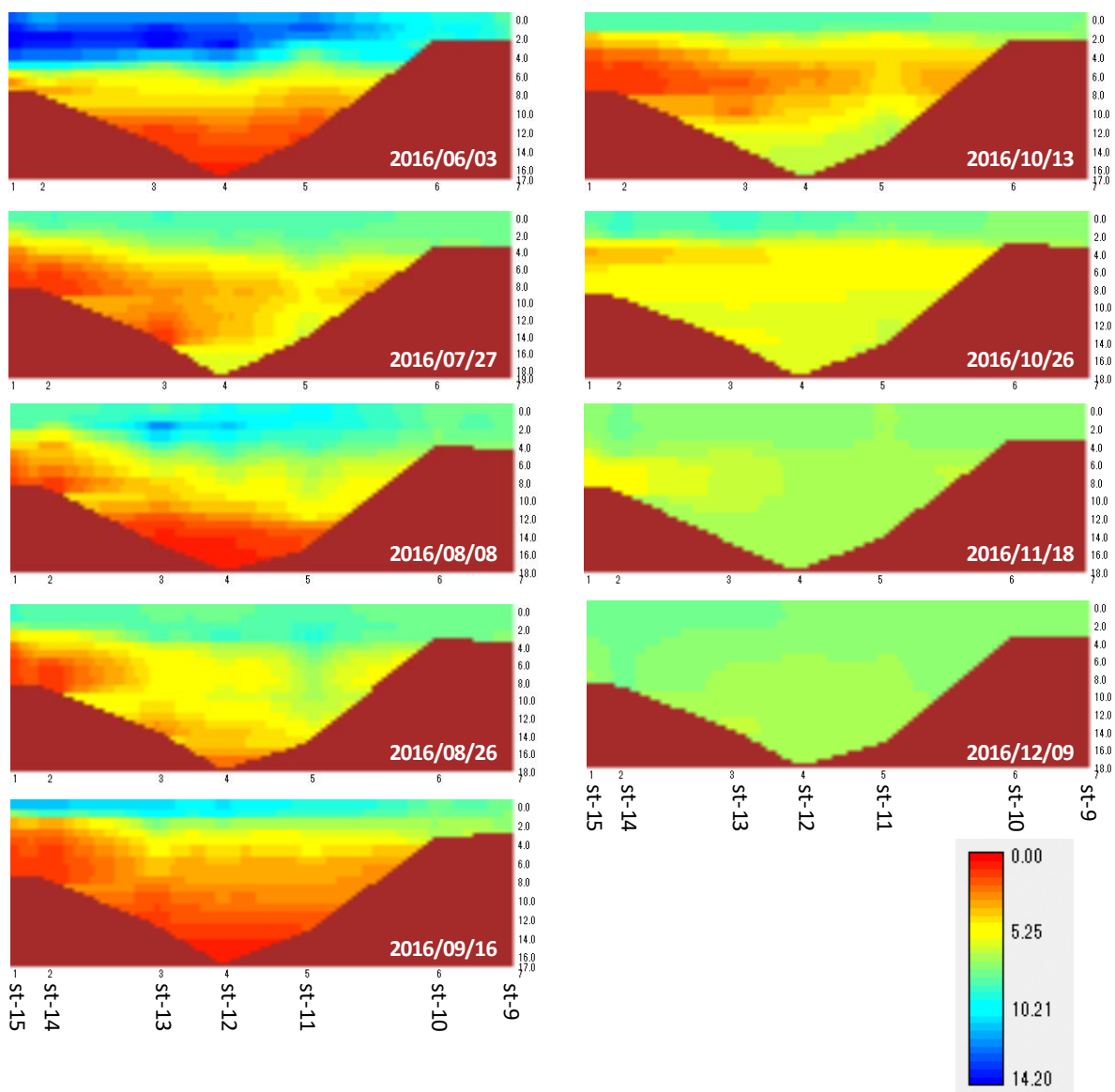


図3 浦ノ内湾の断面分布図 (DO mg/L)

3.2 水質分析結果

今回、各地点において採取した試料水・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（クロロフィル *a* (Chl *a*) ・栄養塩類）を提供していただいたので、BOD・COD・TOC と併せて、その結果を報告する。

3.2.1 BOD・COD 関連項目

本調査で採水したもののうち夏季（7～9月）に採水した試料のBOD・COD関連項目の測定結果を表1に示す。全項目において外洋である仁淀川河口沖より浦ノ内湾内の方が高い値を示し、特に湾奥部であるst-15は他の湾内2地点より高くなる傾向がみられた。

表1 仁淀川河口沖・浦ノ内湾内におけるBOD・COD関連項目(夏季/2014～2016年度)

(単位はChl aはμg/L, 他は全てmg/L.)												平均値 中央値 (標準偏差)
地点	採水層	COD	D COD	P COD (COD-D COD)	TOC	DOC	POC (TOC-DOC)	BOD	D-BOD	P BOD (BOD-D BOD)	Chl a	
仁淀川 河口沖	st4	表層	1.30	1.25	0.18	1.50	1.28	0.22	0.43	0.30	0.12	0.69
			1.50	1.15	0.05	1.44	1.25	0.21	0.45	0.31	0.13	0.63
			(0.57)	(0.31)	(0.29)	(0.22)	(0.06)	(0.16)	(0.08)	(0.13)	(0.07)	(0.17)
	2m	1.83	1.60	0.33	1.74	1.60	0.13	0.46	0.30	0.17	0.54	
		1.80	1.65	0.15	1.69	1.69	0.15	0.45	0.33	0.16	0.51	
		(0.38)	(0.24)	(0.25)	(0.26)	(0.27)	(0.28)	(0.13)	(0.10)	(0.07)	(0.09)	
	5m	1.85	1.45	0.40	1.79	1.52	0.27	0.38	0.27	0.10	0.71	
		1.90	1.50	0.30	1.63	1.35	0.19	0.41	0.26	0.10	0.54	
		(0.37)	(0.19)	(0.45)	(0.39)	(0.46)	(0.17)	(0.09)	(0.04)	(0.10)	(0.32)	
浦ノ内湾 湾口部	st10	表層	2.43	1.97	0.69	1.73	1.41	0.32	0.93	0.31	0.63	8.34
			2.10	1.80	0.70	1.64	1.34	0.41	0.65	0.24	0.41	2.53
			(1.50)	(0.56)	(0.86)	(0.31)	(0.27)	(0.23)	(1.08)	(0.28)	(0.82)	(15.16)
	2m	2.56	2.11	0.57	1.90	1.53	0.37	0.90	0.36	0.54	5.83	
		2.30	2.00	0.30	1.79	1.53	0.33	0.78	0.35	0.39	2.74	
		(1.22)	(0.52)	(0.68)	(0.41)	(0.21)	(0.24)	(0.49)	(0.11)	(0.45)	(8.28)	
	5m	2.28	1.88	0.42	1.72	1.44	0.28	0.62	0.35	0.26	2.11	
		2.10	1.80	0.30	1.66	1.42	0.24	0.59	0.39	0.16	1.96	
		(0.53)	(0.23)	(0.62)	(0.27)	(0.22)	(0.14)	(0.13)	(0.10)	(0.23)	(0.96)	
浦ノ内湾 中央部	st12	表層	3.00	2.18	0.82	2.27	1.75	0.51	1.23	0.27	0.96	3.11
			3.15	2.20	0.75	2.22	1.69	0.44	1.12	0.24	0.87	1.92
			(0.52)	(0.34)	(0.56)	(0.30)	(0.30)	(0.29)	(0.39)	(0.13)	(0.33)	(2.67)
	2m	3.29	2.56	0.80	2.39	1.80	0.59	1.69	0.59	1.10	9.71	
		2.70	2.50	0.70	2.34	1.77	0.47	1.32	0.33	0.83	2.77	
		(1.33)	(0.80)	(0.81)	(0.32)	(0.21)	(0.40)	(0.97)	(0.63)	(0.43)	(14.41)	
	5m	2.70	2.16	0.60	2.25	1.53	0.71	1.28	0.37	0.91	8.11	
		2.70	2.20	0.50	2.33	1.46	0.67	1.14	0.32	0.78	7.82	
		(0.45)	(0.29)	(0.46)	(0.23)	(0.19)	(0.19)	(0.28)	(0.17)	(0.34)	(3.25)	
浦ノ内湾 湾奥部	st15	表層	2.10	1.83	0.34	1.75	1.50	0.25	0.57	0.19	0.38	2.44
			2.20	2.00	0.50	1.71	1.47	0.24	0.53	0.18	0.41	2.06
			(0.54)	(0.74)	(0.26)	(0.17)	(0.27)	(0.19)	(0.22)	(0.08)	(0.17)	(0.95)
	2m	3.27	2.52	0.77	2.53	1.79	0.74	1.53	0.56	0.97	3.77	
		3.25	2.60	0.90	2.63	1.70	0.68	1.69	0.37	0.99	2.23	
		(0.72)	(0.64)	(0.42)	(0.34)	(0.25)	(0.26)	(0.47)	(0.57)	(0.46)	(2.71)	
	5m	4.64	3.10	1.54	2.74	1.92	0.82	2.31	0.35	1.96	15.10	
		3.80	2.70	1.50	2.76	1.79	0.77	2.16	0.35	1.62	4.90	
		(1.91)	(1.37)	(0.80)	(0.26)	(0.40)	(0.26)	(1.09)	(0.17)	(1.00)	(26.67)	
5m	3.14	2.29	0.86	2.38	1.70	0.68	1.47	0.38	1.08	5.58		
	3.20	2.20	0.90	2.45	1.69	0.71	1.30	0.36	0.91	5.41		
	(0.60)	(0.32)	(0.57)	(0.24)	(0.16)	(0.17)	(0.64)	(0.17)	(0.55)	(2.19)		

12月～3月に採水した試料のBOD・COD関連項目の測定結果について、表2に示す。夏季と冬季のデータを比較するにあたって、1～3月の測定データが非常に少なかったため、水質計を用いた測定により貧酸素水塊が完全に解消されていることが確認された12月のデータを含めて評価した。季節間の比較では夏季の方が冬季より測定値が高い傾向にあり、外洋である仁淀川河口沖より浦ノ内湾内の方がより季節間の差が顕著に表れていた。

表2 仁淀川河口沖・浦ノ内湾内におけるBOD・COD関連項目(冬季/2014～2016年度)

(単位はChl aは $\mu\text{g/L}$ 、他は全て mg/L 。)												平均値 中央値 (標準偏差)
地点	採水層	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	TOC	DOC	POC (TOC-DOC)	BOD	D-BOD	P-BOD (BOD-D-BOD)	Chl a	
仁淀川 河口沖	st-4	1.45	1.30	0.35	1.38	1.26	0.12	0.57	0.38	0.19	0.60	
		1.45	1.30	0.35	1.38	1.26	0.12	0.57	0.38	0.19	0.60	
		0.21)	0.28)	0.21)	0.52)	0.59)	0.07)	0.23)	0.06)	0.16)	—	
	2m	1.55	1.25	0.30	1.45	1.21	0.24	0.21	0.26	0.03	0.75	
		1.55	1.25	0.30	1.45	1.21	0.24	0.21	0.26	0.03	0.75	
		0.21)	0.07)	0.28)	0.28)	0.47)	0.18)	0.13)	0.03)	0.04)	—	
浦ノ内湾 湾口部	st-10	1.35	1.35	0.05	1.55	1.20	0.36	0.32	0.17	0.15	0.77	
		1.35	1.35	0.05	1.55	1.20	0.36	0.32	0.17	0.15	0.77	
		0.35)	0.49)	0.07)	0.53)	0.45)	0.09)	0.08)	0.04)	0.04)	—	
	2m	1.93	1.38	0.55	1.94	1.47	0.46	0.70	0.43	0.26	1.01	
		1.95	1.35	0.50	1.98	1.61	0.54	0.70	0.44	0.26	1.01	
		0.43)	0.35)	0.17)	0.32)	0.44)	0.33)	0.23)	0.09)	0.23)	0.24)	
浦ノ内湾 中央部	st-12	1.88	1.78	0.18	1.65	1.52	0.18	0.65	0.38	0.26	1.01	
		1.85	1.70	0.15	1.67	1.64	0.21	0.69	0.36	0.25	1.01	
		0.43)	0.77)	0.21)	0.43)	0.33)	0.13)	0.16)	0.11)	0.21)	0.20)	
	2m	2.35	1.98	0.40	1.96	1.56	0.42	0.79	0.30	0.55	2.78	
		2.30	2.05	0.35	1.92	1.67	0.40	0.99	0.30	0.71	2.78	
		0.34)	0.36)	0.39)	0.16)	0.41)	0.39)	0.40)	0.09)	0.37)	(1.97)	
浦ノ内湾 湾奥部	st-15	2.20	1.78	0.43	1.89	1.78	0.28	0.95	0.34	0.61	3.47	
		2.25	1.75	0.35	1.84	1.99	0.27	0.92	0.32	0.64	3.47	
		0.50)	0.25)	0.34)	0.44)	0.53)	0.26)	0.18)	0.16)	0.20)	(1.44)	
	5m	2.35	1.73	0.63	1.88	1.58	0.29	0.96	0.30	0.65	2.98	
		2.35	1.80	0.50	1.84	1.68	0.30	0.97	0.32	0.66	2.98	
		0.47)	0.45)	0.56)	0.32)	0.37)	0.24)	0.12)	0.11)	0.05)	0.94)	
浦ノ内湾 湾奥部	st-15	2.20	2.10	0.18	2.00	1.59	0.41	0.75	0.21	0.54	2.72	
		2.30	2.10	0.05	1.99	1.67	0.50	0.74	0.18	0.52	2.72	
		0.45)	0.26)	0.29)	0.42)	0.40)	0.23)	0.18)	0.11)	0.14)	0.05)	
	2m	2.58	2.10	0.60	1.98	1.58	0.42	0.93	0.34	0.60	4.09	
		2.65	2.15	0.50	1.99	1.61	0.35	0.89	0.31	0.61	4.09	
		0.54)	0.29)	0.61)	0.04)	0.44)	0.42)	0.20)	0.19)	0.17)	(2.69)	
浦ノ内湾 湾奥部	st-15	2.75	2.20	0.63	2.22	1.61	0.61	1.17	0.41	0.78	4.13	
		2.65	2.25	0.55	2.21	1.69	0.46	1.27	0.39	0.83	4.13	
		0.62)	0.22)	0.61)	0.19)	0.41)	0.41)	0.28)	0.09)	0.25)	(1.23)	
	5m	2.68	2.18	0.50	2.11	1.97	0.33	1.05	0.26	0.80	3.61	
		2.70	2.25	0.50	2.23	1.98	0.02	1.06	0.30	0.79	3.61	
		0.22)	0.26)	0.12)	0.40)	0.76)	0.63)	0.28)	0.16)	0.18)	0.30)	

図4～6に2014～2016年度に測定したデータの各項目間の関係を示す。なお、P-COD（懸濁性COD：CODからD-COD（溶存性COD）を差し引いたもの。）のように、直接測らず間接的に算出してマイナスになった値については、誤差の範囲とみなし懸濁成分ゼロとして評価した。

図4にTOCとCOD、DOCとD-CODの各項目間の関係を示す。TOCとCODには相関がみられたが、DOCとD-CODの間には相関は認められなかった。

図5に懸濁態有機炭素関連項目の関係を示す。Chl aとP-CODには相関が認められた。

BODに関しては、CODとBODの間に明確な相関が確認できたほか、Chl aとBOD、Chl aとP-BODに相関が認められた（図6）。

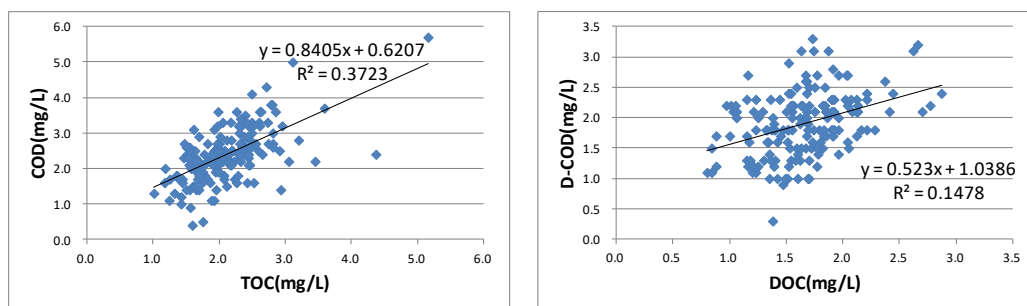


図4 TOC と COD, DOC と D-COD の関係

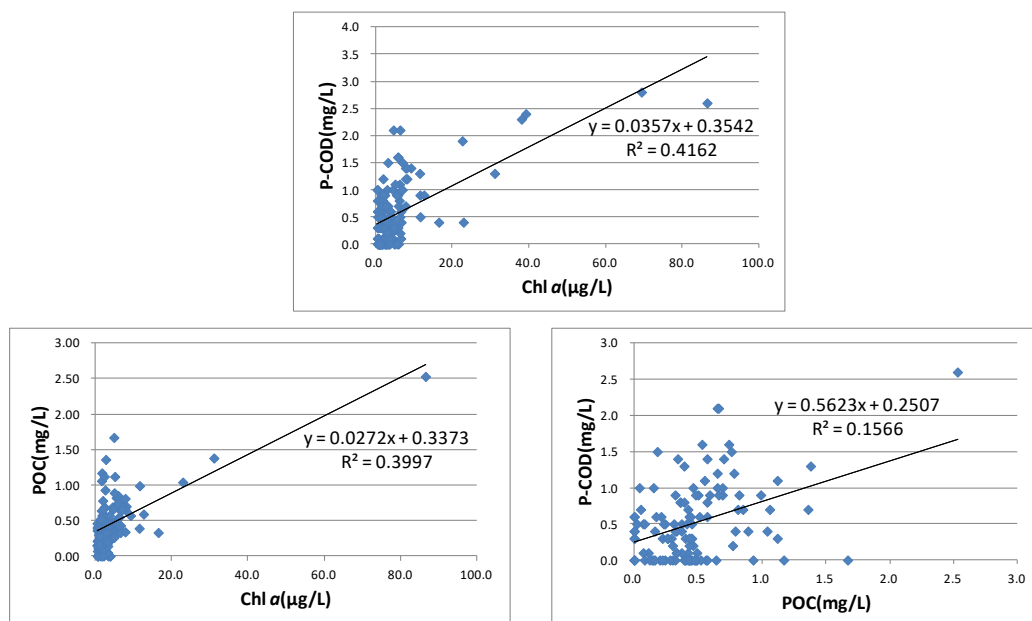


図5 懸濁態有機炭素関連項目 (P-COD, POC, Chl *a*) 間における関係

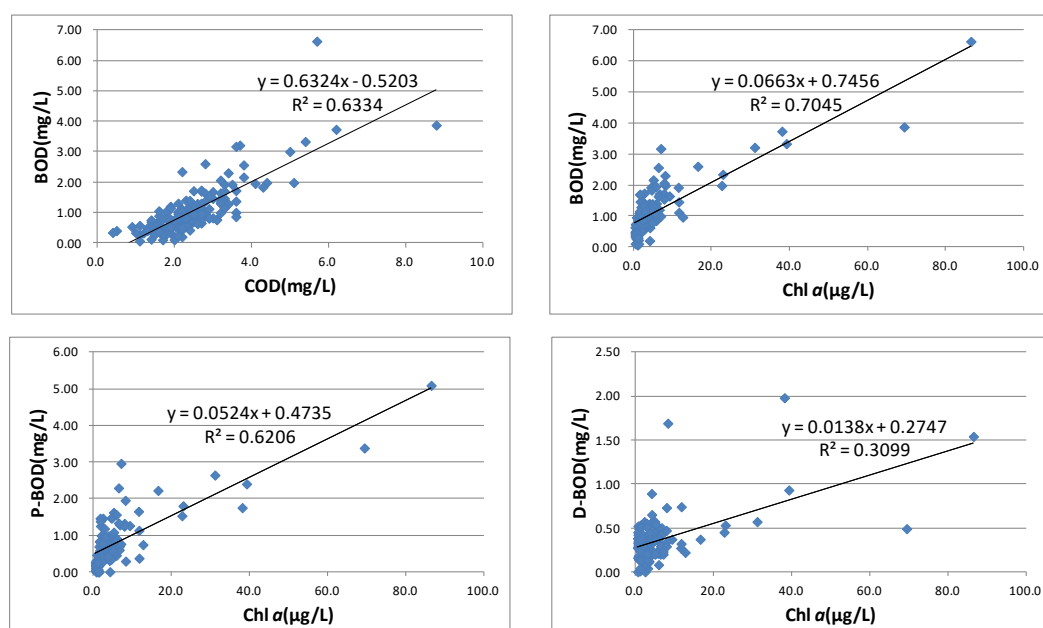


図6 BOD と COD, Chl *a*間における関係

3.2.2 栄養塩類

栄養塩類の夏季の測定結果を表3に示す。湾内 st-12 の底層及び st-15 において、底質から溶出したと思われる溶存性の全リン（DTP）が高い傾向にあった。仁淀川河口 st-4 の表層付近では、2012 年及び 2013 年の同地点の調査結果³⁾と同様に、河川水の流入に由来すると思われる硝酸性窒素、珪酸塩（SiO₂）が高い傾向がみられた。また、st-15 の表層及び底層においても珪酸塩がやや高い傾向を示した。

表3 仁淀川河口沖・浦ノ内湾内における栄養塩類(夏季/2014～2016 年度)

(単位は全てmg/L.)		平均値 中央値 (標準偏差)				
地点	採水層	D N NO ₃ -N+NO ₂ -N+NH ₄ -N)	DTN	D P PO ₄ -P)	DTP	SiO ₂
仁淀川 河口沖	表層	0.093	0.214	0.004	0.009	2.67
		0.091	0.217	0.003	0.009	1.78
		0.092)	0.094)	0.003)	0.003)	3.09)
	2m	0.017	0.160	0.002	0.007	0.69
		0.020	0.161	0.002	0.007	0.66
		0.010)	0.019)	0.001)	0.002)	0.33)
	5m	0.007	0.162	0.002	0.007	0.31
		0.007	0.116	0.001	0.007	0.29
		0.007)	0.109)	0.001)	0.002)	0.10)
浦ノ内湾 湾口部	表層	0.020	0.156	0.004	0.012	0.92
		0.012	0.157	0.004	0.010	0.73
		0.016)	0.007)	0.001)	0.002)	0.52)
	2m	0.021	0.188	0.005	0.013	0.73
		0.015	0.166	0.005	0.012	0.71
		0.013)	0.038)	0.003)	0.005)	0.34)
	5m	0.019	0.148	0.004	0.011	0.54
		0.015	0.150	0.004	0.011	0.53
		0.012)	0.017)	0.001)	0.001)	0.18)
浦ノ内湾 中央部	表層	0.002	0.157	0.003	0.014	0.95
		0.002	0.155	0.003	0.013	0.86
		0.003)	0.015)	0.002)	0.004)	0.49)
	2m	0.006	0.201	0.003	0.014	0.66
		0.003	0.189	0.004	0.012	0.69
		0.007)	0.059)	0.002)	0.005)	0.44)
	5m	0.015	0.169	0.009	0.018	0.72
		0.004	0.175	0.005	0.018	0.62
		0.019)	0.027)	0.005)	0.004)	0.49)
浦ノ内湾 湾奥部	10m	0.067	0.226	0.020	0.027	1.00
		0.086	0.229	0.018	0.025	1.14
		0.039)	0.032)	0.009)	0.008)	0.38)
	表層	0.005	0.171	0.005	0.017	1.51
		0.003	0.182	0.003	0.016	1.31
		0.004)	0.033)	0.005)	0.008)	0.81)
	2m	0.005	0.193	0.008	0.021	1.07
		0.002	0.181	0.007	0.018	1.16
		0.008)	0.031)	0.005)	0.006)	0.33)
	5m	0.015	0.193	0.026	0.037	1.31
		0.005	0.188	0.029	0.038	1.31
		0.019)	0.023)	0.009)	0.011)	0.42)

表4に冬季（1～3月）の栄養塩類の測定結果を示す。st-10については、冬季は水深が5m未満であったため、表層と水深2mで採水した。冬季の栄養塩類の測定結果が2014年度分しかなくデータ数が少ないため確定的な判断は難しいが、栄養塩（DIN）についてはst-12やst-15の底層を除いて夏季より冬季の方が高くなる傾向を示した。他の項目については、季節間の傾向の違いは特にみられなかった。

表4 仁淀川河口沖・浦ノ内湾内における栄養塩類(冬季/2014年度)

		(単位は全てmg/L.)					平均値 (標準偏差)
地点	採水層	D N NO ₃ -N+NO ₂ -N+NH ₄ -N)	DTN	D P PO ₄ -P)	DTP	SD ₂	
仁淀川 河口沖	表層	0.214	0.361	0.009	0.013	3.73	
		—	—	—	—	—	
	st-4 2m	0.033	0.147	0.005	0.009	0.42	
	5m	0.032	0.155	0.005	0.009	0.23	
浦ノ内湾 湾口部	表層	0.038 (0.001)	0.176 (0.002)	0.007 (0.000)	0.011 (0.002)	0.52 (0.25)	
	st-10 2m	0.038 (0.002)	0.169 (0.009)	0.007 (0.001)	0.010 (0.001)	0.43 (0.12)	
	表層	0.045 (0.009)	0.192 (0.025)	0.005 (0.000)	0.011 (0.002)	0.93 (0.32)	
	st-12 2m	0.016 (0.006)	0.140 (0.018)	0.003 (0.001)	0.010 (0.000)	0.64 (0.22)	
浦ノ内湾 中央部	5m	0.022 (0.009)	0.170 (0.013)	0.005 (0.001)	0.012 (0.002)	0.55 (0.18)	
	10m	0.023 (0.013)	0.262 (0.153)	0.005 (0.001)	0.013 (0.004)	0.53 (0.15)	
	表層	0.074 (0.027)	0.219 (0.034)	0.007 (0.001)	0.015 (0.002)	1.51 (0.47)	
	st-15 2m	0.016 (0.015)	0.154 (0.024)	0.002 (0.001)	0.010 (0.000)	0.82 (0.35)	
浦ノ内湾 湾奥部	5m	0.001 (0.002)	0.146 (0.015)	0.001 (0.000)	0.009 (0.000)	0.72 (0.01)	

4. まとめ

4.1 水質計による鉛直分布測定結果

6月初旬には湾中央部を中心に底層の貧酸素状態が確認され、夏季になるにつれD₀の消費と供給を繰り返しながら貧酸素水塊が形成されていく様子がうかがえた。秋季にかけての調査では、湾中央部の底層から貧酸素状態が徐々に解消されていき、冬季には貧酸素層の消失が認められた。

今回の調査結果は、1987年の観測結果⁵⁾⁶⁾と非常によく一致する挙動を示しており、30年ほど前から変わらずに浦ノ内湾内で1年を通じて周期的な貧酸素水塊の形成・発達と消失が起きていることが推察された。

4.2 水質分析結果

BOD・CODと関連する有機物指標について、外洋である仁淀川河口沖より浦ノ内湾内の方が高い値となる傾向がみられた。季節間の比較では、夏季の方が冬季より測定値が高い傾向にあり、仁淀川河口沖より浦ノ内湾内の方がより季節間の差が顕著に表れていた。

CODと関連する有機物指標について、各項目間の関係を検討した結果、TOCとCOD、Chl *a*とP-CODに相関が認められた。BODに関しては、CODとBODの間に明確な相関が確認できたほか、Chl *a*とBOD、Chl *a*とP-BODに相関が認められた。

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：<https://www.emecs.or.jp/encsea/japan>
- 3) 田嶋誠ら：高知県沿岸の閉鎖性水域における多項目水質計を用いた鉛直分布測定結果とCOD等の関連項目について 高知県環境研究センター所報(平成25年)
- 4) 牧秀明：
茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類とCODに関連する有機物項目について
- 5) 宗景志浩ら：浦の内湾のD₀収支と貧酸素水塊の形成および消滅機構 海洋工学論文集 第36巻(1989)
- 6) 宗景志浩：湾外水の差込み現象(密度流)とこれに伴う大規模貧酸素化の発達機構の解明 平成5年度科学研究費補助金(一般研究-C)研究成果報告書(平成6年)

6. 謝辞

最後に、分析・ご助言をいただきました国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センター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。

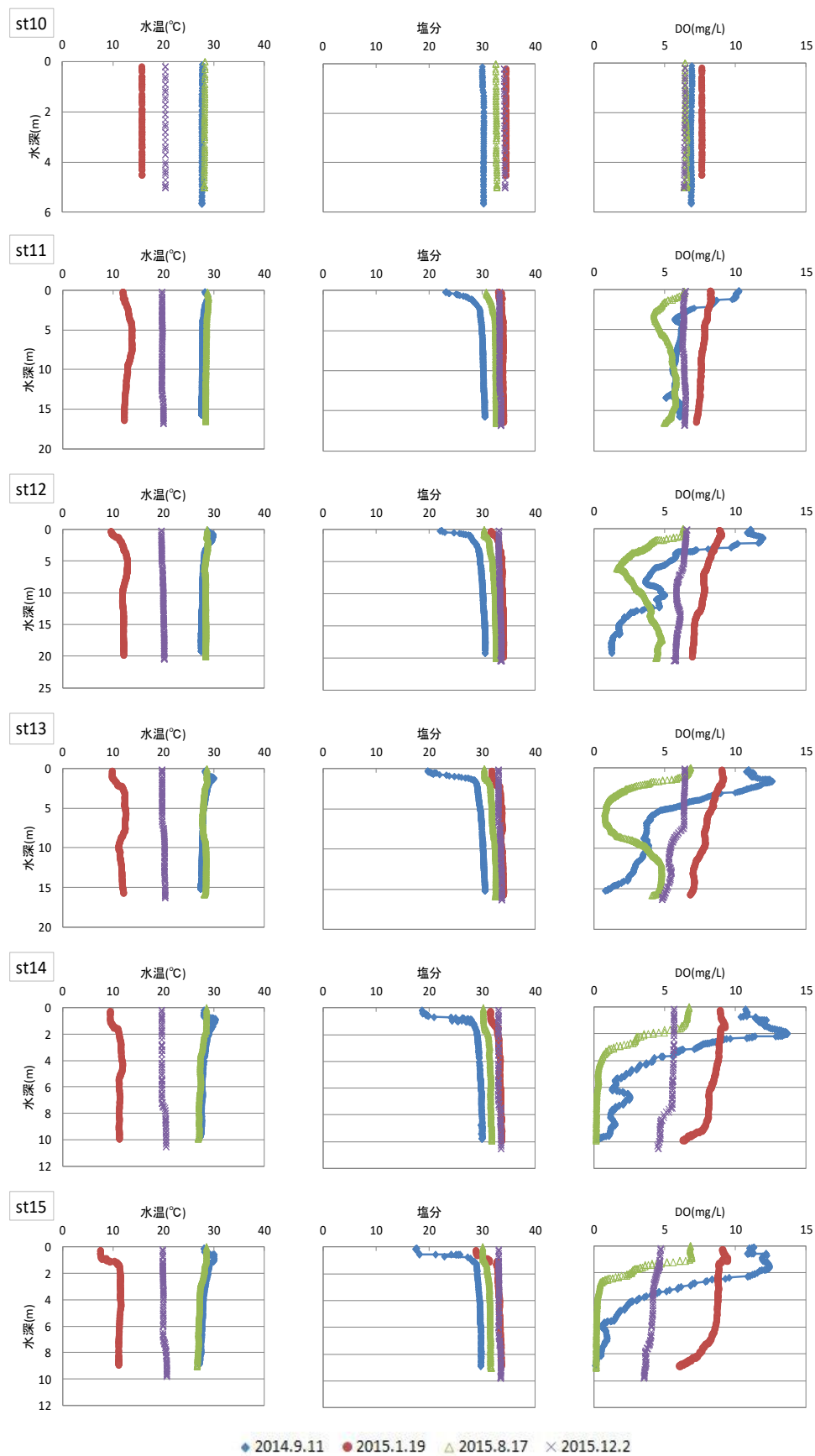


図2 浦ノ内湾内における塩分・水温・DO(春季・冬季/2014~2015年度)

平成 28 年度「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」
広島県海域公共用水域常時監視地点における COD 及び関連指標の季節変動について

広島県立総合技術研究所保健環境センター環境研究部
小田新一郎，後田 俊直，瀧脇 亮次

1. はじめに

広島湾は島嶼部に囲まれた閉鎖性が高い湾であるが，一方では一級河川である太田川の影響を強く受け，河川水の流入にともなうエスチュアリー循環が起きている。1990～2001 年度の調査¹⁾では，夏期の沿岸部底層で貧酸素水塊が恒常的に発生しており，年度によっては DO が 1 mg/L を下回っている。しかし栄養塩については瀬戸内海の他の海域と同様，減少傾向にあると考えられる。これらを踏まえ，現在の広島湾湾奥から沖合における水質の季節変動及び BOD・COD による有機物指標を検討する。

2. 現場調査，測定・分析方法

2.1 調査・採水時期

採水は 2016 年 5 月 30 日，8 月 3 日，11 月 7 日，2017 年 2 月 1 日の計 4 回（春～冬期）行った。

2.2 調査地点

広島湾の公共用水域調査環境基準点のうち，広島湾北部海域 1 地点（32-12，A/Ⅲ：湾奥），南部海域 1 地点（32-14，A/Ⅱ：湾央）及び西部海域 1 地点（31-21，A/Ⅱ：沖合）の計 3 地点（図 1）について，基本項目及び栄養塩関連項目を調査した。各地点の平均水深はそれぞれ 16，21，32 m であった。

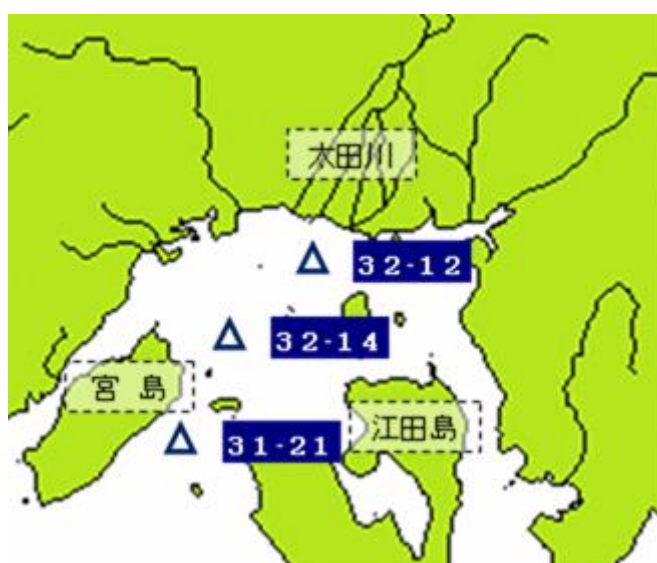


図 1 広島湾内の調査地点

出典：「国土数値情報（JPJIS1.0 行政区域データ H22 年・河川データ H20 年）国土交通省」²⁾

2.3 採水・分析

採水は表層（0.5 m）及び底層（B-1 m）の2層について、バンドーン採水器等を用いた。持ち帰った海水は、事前に 450℃ 1 h 焼成処理したワットマン GF/C 47 mm をろ過に使用して、ろ過した検体及び未ろ過の検体をそれぞれの分析に供した。測定項目及び測定方法は表 1 のとおりである。BOD3 については JIS K0102, 21 BOD に準じて行った。培養期間は 3 日間、植種は使用しなかった。なお、冬期は現場水温と培養温度の差が大きいため、BOD 瓶に分取後、20℃ 恒温槽で 15 分、振とう後さらに 15 分、同槽内で安定させてから試験に供した。また、この試験前後の溶存酸素量については光学式センサ（HACH 製 H Q 30 d）で測定、海水の実用塩分から一次補間により補正を行った（JISK0102:2016 32.3）。

表 1 測定方法一覧

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

3. 結果

3.1 水温、塩分、DO、透明度（図 2～4）

水温及び塩分は湾奥に向かうにつれ、表層と底層の差が大きくなり、流入河川の影響が強くなっている。水温は秋期以降に表底層の差がなくなるものの、塩分は秋期に差がなくなった後、冬期で再び差が生じており、採水時の干満が影響していると考えられた。DO は成層期（春期・夏期）で表層と底層の差が大きく、循環期（秋期・冬期）でその差が小さくなっていた。また、湾奥ほど底層で低下する傾向にあり、夏期の湾奥底層で最も低下（4.2 mg/L）し、その後冬期にかけて上昇していた。透明度は湾奥 2.5～8.0 m，湾央 3.0～8.5 m，沖合 5.0～12.0 m の範囲にあり、湾奥・夏期で低い傾向にあった。

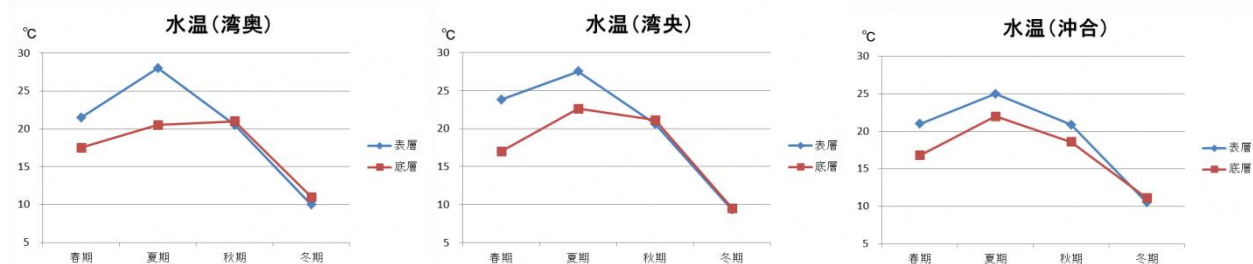


図 2 表層・底層の水温変動（左：湾奥，中：湾央，右：沖合）

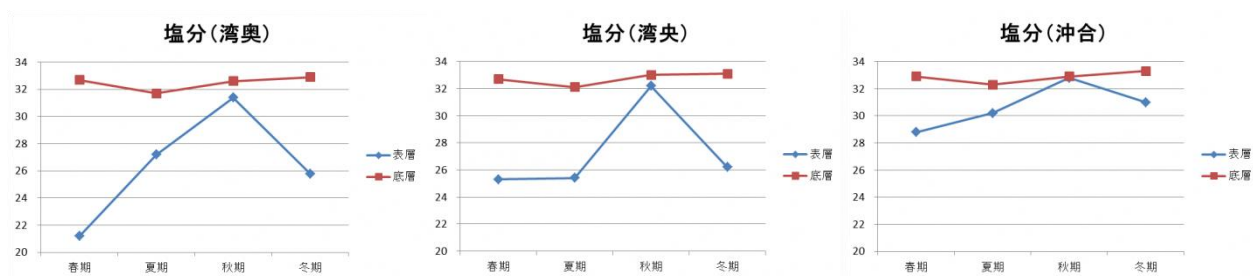


図3 表層・底層の塩分変動（左：湾奥，中：湾央，右：沖合）

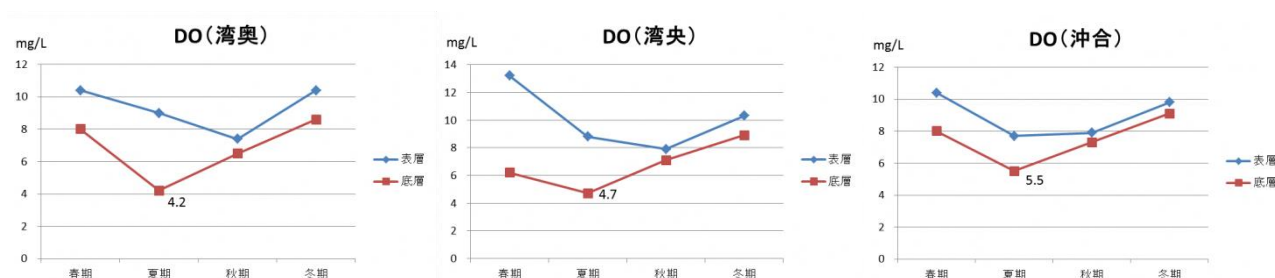


図4 表層・底層のDO変動（左：湾奥，中：湾央，右：沖合）

3.2 栄養塩類（図5～7）

栄養塩類のうち、溶解性無機態窒素（DIN）は湾奥で高い傾向にあったが、夏期には表底層とも低い状態であった。表層は3地点ともに冬期にかけて上昇する傾向にあった。また、沖合は変動があるものの、年間を通して低い状態であった。溶解性無機態りん（DIP）はDINと変動が異なり、湾央底層を除いて春・夏期に低く、秋期で大きく上昇していた。表層におけるChl.aと栄養塩類の関係について、Chl.aとDINが逆の傾向を示し、湾奥でChl.aが高かった春・夏期にDINが低下していた。表層のDIPは3地点ともに春・夏期では定量下限値（0.003 mg/L）付近にあり、ほぼ枯渇状態にあると考えられた。



図5 表層・底層のDIN変動（左：湾奥，中：湾央，右：沖合）



図6 表層・底層のDIP変動（左：湾奥，中：湾央，右：沖合）

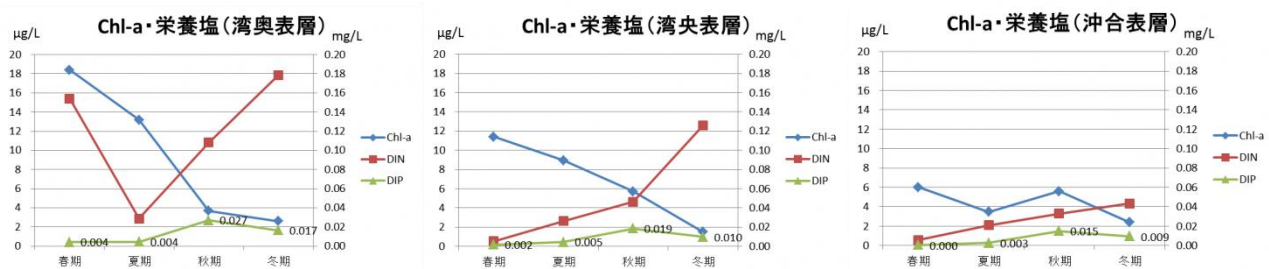


図7 表層 Chl.a と栄養塩の変動 (左:湾奥, 中:湾中央, 右:沖合), グラフ左縦軸は Chl.a, 右縦軸は栄養塩濃度 (DIN, DIP) を示す。

3.3 BOD・COD 関連項目 (図8～9, 11)

BOD3 は他の文献³⁾と同様, 夏期に高くなり, 冬期に低くなる傾向が見られた。表底層では, 春・夏期に差が大きく, 秋・冬期に近い値となっていた。ろ過検体 (D-BOD3) は春・夏期に高く, 表底層の差はあまりなかった。COD は BOD3 と同様の変動傾向であったが, 沖合底層では季節変動が小さく, 他の地点と挙動が異なっていた。

環境中の BOD・COD はおよそ有機物の易分解性・難分解性の性状を示すと考えられる。求められた測定値のうち, 未ろ過 (T-BOD3 : T-COD) とろ過 (D-BOD3 : D-COD) の間にそれぞれ強い相関 ($p < 0.001$) が見られた (図10)。ここで求められた近似式より, BOD3 0 mg/L では T-BOD3, D-BOD3 とともに, COD 値が 1.4 mg/L 付近に当たり, 今年度の広島湾調査結果ではこの数値が BOD3 と COD から求められる難分解性有機物のバックグラウンドに相当すると考えられた。COD/BOD3 比は表層が低く, 底層, 表層 (ろ過: 底層は未測定) の順で高くなっていた。多くは夏期に低下, 秋期から上昇する傾向にあった。

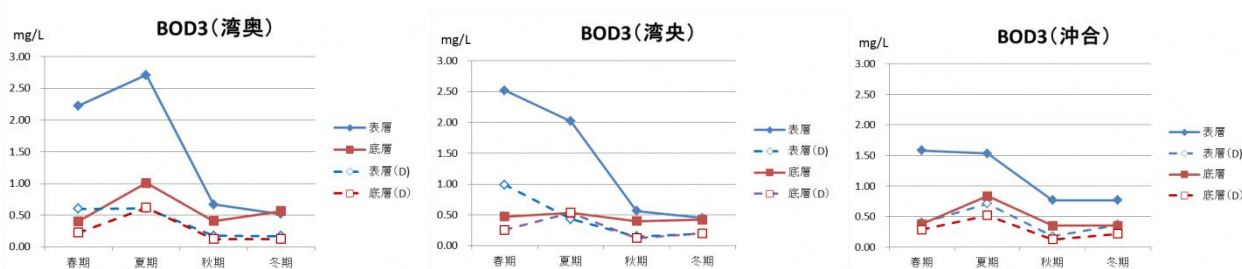


図8 表層・底層の BOD3 変動 (左:湾奥, 中:湾中央, 右:沖合)

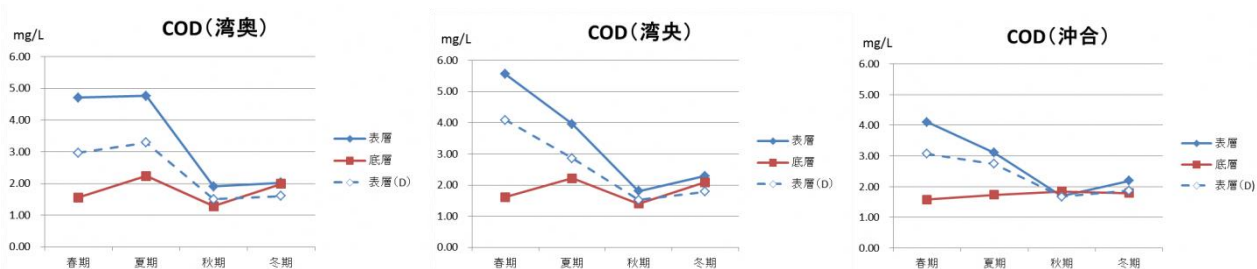


図9 表層・底層の COD 変動 (左:湾奥, 中:湾中央, 右:沖合)

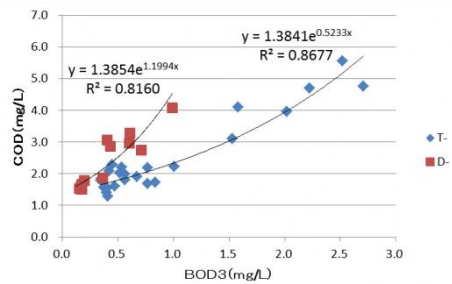


図 10 BOD3 (T-BOD3・D-BOD3) と COD (T-COD・D-COD) の関係
※ただし溶存態 (D-) は表層のみ

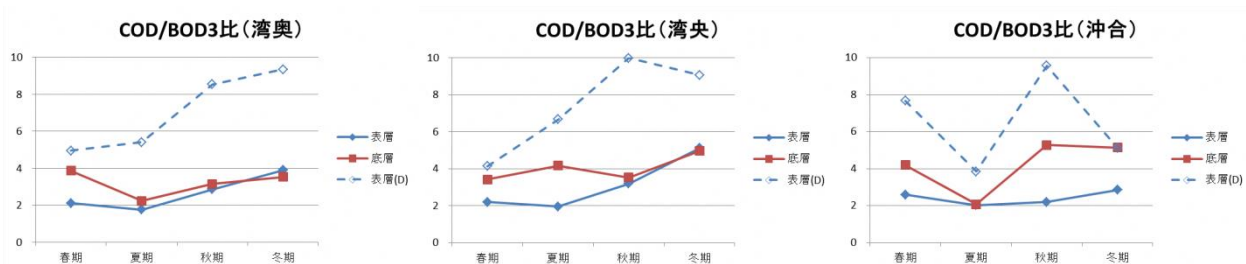


図 11 表層・底層の COD/BOD3 比変動 (左：湾奥，中：湾央，右：沖合)

ここで BOD3 と COD/BOD3 比の関係を図 12 に示した。BOD3 1.4 mg/L を基準にグラフを見ると、T-BOD3 が > 1.4 mg/L ではおよそ 2 で一定となっている。この時の Chl. a は $3.5 \sim 18.4 \mu\text{g/L}$ と高めの値を示していることから、易分解性有機物である植物プランクトン藻体由来の COD/BOD 比を反映していると推察された。中西ら⁴⁾は複数種の海産植物プランクトンの培養液 (定常期) から COD と BOD の比率を求めている。記載された比率を再計算すると、 $\text{COD}_{\text{acid}}/\text{BOD}_5 = 1.2$, $\text{COD}_{\text{acid}}/\text{BOD}_{20} = 0.54$ となり、BOD の培養期間が長くなると比は減少している。岸本⁵⁾は淡水藻類 3 種の培養液で対数増殖期 0.88~1.3, 定常期 1.1~1.5 の COD/BOD 比を確認している。これらは培養期間の違いもあるため、前述の数値と比べると低い。環境中では BOD に占める植物プランクトンの割合が高くなる程、その増殖状態に応じて、COD/BOD 比が一定の数値に収束していくものと考えられる。

一方、 ≤ 1.4 mg/L では変動幅が小さくなるが、T-BOD3 が下がるにつれ、COD/BOD 比が急激に高くなっていた。D-BOD3 では同程度の T-BOD3 に対し、さらに高い COD/BOD 比を示していた。このように $\text{BOD}_3 \leq 1.4$ mg/L では COD/BOD 比が指数的減衰を示している。服部ら⁶⁾は難分解性有機物の指標として COD/BOD 比を検討しており、河川水及び下水処理場排水において、BOD と COD/BOD の間に負の強い相関関係を確認している。また、河川水の同グラフ (図 13) で低 BOD 値では傾きが大きくなっていることから、環境中の BOD と COD/BOD 比は有機物の生成・分解過程の影響を受け、指数的減衰カーブを示すものと推察される。この曲線は COD/BOD 比が高 BOD で低く、低 BOD で高いことから、海域の難分解性有機物としても指標性が高いと考えられる。

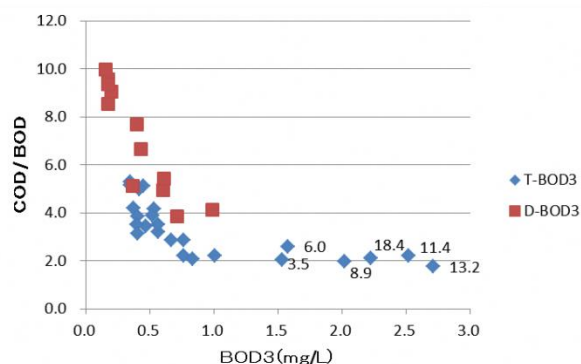


図 12 BOD3 と COD/BOD の関係図

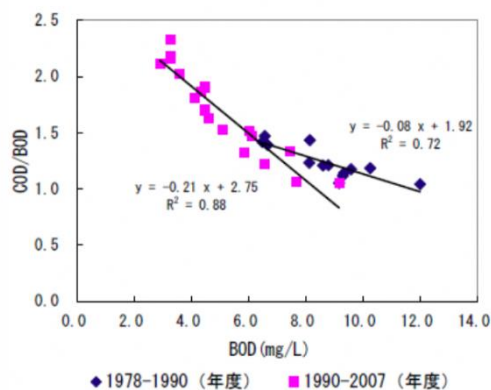


図 13 BOD と COD/BOD の関係 6)より引用

本手法による海域底層やろ過検体の BOD3 の結果は、環境基準項目の報告下限値である 0.5 mg/L を下回っていた。COD についても 2 mg/L 以下の数値結果を取扱うため、本来よりも過剰な酸化過程を経た数値であることが想定される。このように高い分析精度は確保しにくいことや植物プランクトンによる呼吸の評価等、検討すべき課題はあるものの、これらの数値を比較することにより、海域における易分解性有機物を簡易に評価できるとともに、難分解性有機物の評価に対しても有効である可能性が示された。引き続き、今後のデータ蓄積・検証が必要である。

4. まとめ

2016 年春期～2017 年冬期の間 4 回、広島湾内の公共用水域調査環境基準点のうち 3 地点で海況・水質を測定したところ、以下のことが示された。

- ・水温及び塩分は湾奥に向かうにつれ、流入河川の影響により表層と底層の差が大きくなっており、秋期の循環開始時には差がなくなっていた。D0 は湾奥ほど底層で低下する傾向にあり、夏期に低下、冬期にかけて上昇していた。透明度は湾奥・夏期で低い傾向にあった。
- ・DIN は湾奥で高い傾向にあり、沖合は年間を通して低い状態であった。湾奥で Chl. a が高かった春・夏期に DIN が低下していた。DIP は主として春・夏期に低く、秋期で大きく上昇していた。また表層では 3 地点ともに春・夏期でほぼ枯渇状態にあると考えられた。
- ・BOD3 は夏期に高くなり、冬期に低くなる傾向があった。表底層差が春・夏期に大きかったが、ろ過検体では小さかった。COD は BOD3 と同様の変動傾向であった。COD/BOD3 比は表層が低く、底層、表層（ろ過：底層は未測定）の順で高くなっていた。多くは夏期に低下、秋期から上昇する傾向にあった。
- ・BOD3 と COD は相関性が高く、近似式から BOD3 0 mg/L での COD 値を求めたところ、T-BOD3, D-BOD3 とともに、COD 値が 1.4 mg/L 付近に当たり、本調査結果ではこの数値が BOD3 と COD から求められる難分解性有機物のバックグラウンドに相当すると考えられた。
- ・海域の BOD3 は分析精度等に課題があるものの、COD と比較することによって易分解性有機物を簡易に評価できるとともに、難分解性有機物の評価に対しても有効である可能性が示された。

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) 国土交通省国土政策局国土情報課，“国土数値情報ダウンロードサービス”，
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>，（参照 2015-9-25）
- 3) 博多湾における貧酸素水塊に関する調査（2015），平成 27 年度福岡市保健環境研究所報（41），117-120
- 4) 中西弘，浮田正夫，宇野良治（1975），海域における COD 生産量について，用水と廃水，17(6)，725-735
- 5) 岸本直之（2005），琵琶湖の COD/BOD 比に及ぼす植物プランクトンの影響に関する予備的検討，日本陸水学会講演要旨集 70(0)，128-128
- 6) 服部廉，渡邊博，新谷建，高田文子，水野勝（2011），河川水中の難分解性有機物についての検討．ー公共用水域常時監視データの検討と河川水長期分解性試験ー，愛知県環境調査センター所報(39)，35-39

1. はじめに

全国各地の閉鎖性水域で貧酸素水塊の発生と富栄養・貧栄養状態が顕在化している。博多湾においても水生生物の生息場や水産資源にも大きな影響を及ぼすこれらの現象が発生しているため、国立環境研究所と地方環境研究所とのⅡ型共同研究の前課題「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」に引き続き、「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」に参加し、多項目水質計を用いた貧酸素水塊に関する調査を行うとともに、化学的酸素要求量（COD）と関連する有機項目の測定を行った。また、貧酸素水塊発生の潜在性を推定する試みとして生物化学的酸素要求量（BOD）についても測定し、季節変化及び項目間関係について検討した。

2. 調査方法

2.1 調査時期

平成 26 年度から平成 28 年度までの 3 年間に、夏季を中心に多項目水質計を用いた現地調査を計 14 回実施した。

さらに、COD と関連する有機物項目の調査を夏季及び冬季に各 3 回計 6 回測定（平成 23 年度から平成 25 年度の前課題実施期間を含めると夏季 7 回、冬季 6 回の計 13 回（平成 23 年夏季は 2 回））を行った。平成 27 年度、28 年度は常時監視と同時に試料を採取した。

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。多項目水質計を用いた調査では、平成 27、28 年度は貧酸素水塊が発生しにくい対照地点として C-1（中部海域）を追加し、3 地点で調査を行った。C-10、C-1 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、C-1 が A（COD 2 mg/L 以下）、E-X1 は B（COD 3 mg/L 以下）である。また、中部海域の平均水面下における平均水深は 8.5 m、東部海域の平均水深は 6.6 m¹⁾ となっており、湾口部から湾奥部に向かって浅くなっている。

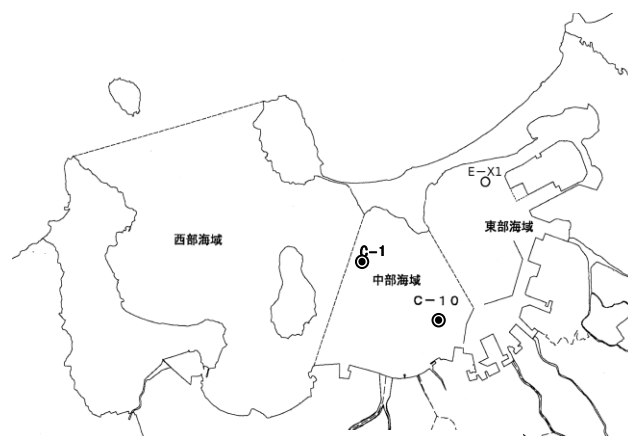


図 1 調査地点

2.3 調査項目

国立環境研究所から貸与された多項目水質計（Hydrolab DataSonde 5x）を船上から海中に垂下させ、表層から底層まで溶存酸素（DO）、塩分、水温及びクロロフィル a（Chl

a) の測定を行った。

採水は表層についてはバケツまたはバンドーン採水器を用い、底層についてはバンドーン採水器を用いて海底から 1 m 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。BOD は未ろ過の海水を爆気したのち、DO を滴定で測定し、さらに 20℃で暗所に 3 日間放置した後の DO を測定し、3 日間で消費された DO を BOD3 として求めた。

ろ過、分注した試料・フィルター類を冷凍して国立環境研究所に送付し、「茨城県沿岸海域公共用水域常時監視点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について」で述べられた方法で一連の分析を行った。試料を分注したものは COD の分析に、ろ液は溶溶性 COD (D-COD) と有機炭素 (DOC)、全窒素 (DTN)、全リン (DTP)、硝酸性窒素 (NO₃-N)、亜硝酸性窒素 (NO₂-N)、アンモニア性窒素 (NH₄-N)、リン酸態リン (PO₄-P)、ケイ酸塩 (シリカ : SiO₂) の分析に用いた。ろ紙は懸濁性有機炭素 (POC) の分析に用いた。懸濁性 COD (P-COD) は COD と D-COD の差から求めた。

3. 結果及び考察

3.1 DO, 塩分, 水温, Chl a

鉛直方向の DO, 塩分, 水温, Chl a の水深 20 cm 毎の値を図 2-1 ~ 2-3 に示す。C-10 と E-X1 で 7 月中旬から 9 月中旬にかけて底層で貧酸素状態 (DO : 3.6 mg/L 以下を「貧酸素状態」とする) が確認されることがあった。C-1 では、平成 28 年 9 月のみ貧酸素状態が確認された。C-10 と E-X1 の貧酸素状態の状況を比較すると E-X1 は底層の DO が 0.5 mg/L を下回ることがあり、DO 低下の度合いが強い傾向にあった。また、E-X1 は底層付近で急激に DO が低下する傾向が見られた。

表層と底層の塩分差の最大値は C-10 で 6.2 (塩分 32.5 ~ 26.3, H26.9.8), C-1 で 6.5 (塩分 32.6 ~ 26.1, H28.7.19), E-X1 で 10 (塩分 32.1 ~ 22.1, H26.9.8) と湾奥に位置する E-X1 の濃度差が最も大きかった。

表層と底層の温度差の最大値は C-10 で 4.3℃ (26.8 ~ 22.5℃), C-1 で 4.0℃ (26.9 ~ 22.9℃), E-X1 で 4.5℃ (28.1 ~ 23.6℃) (いずれも H27.7.29) であり、地点間での大きな差は見られなかった。

Chl a は、夏季に水深 2 ~ 4 m 付近で高くなる傾向が見られ、H26.9.8, H27.8.28, H28.7.12 は特に高く、40 µg/L を超える地点が確認された。

いずれの地点でも塩分躍層や水温成層の形成が示唆された。また、Chl a が 40 µg/L を超えた理由としては、降雨による栄養塩の流入と、その後の高日射による植物プランクトンの増殖による影響が考えられた。

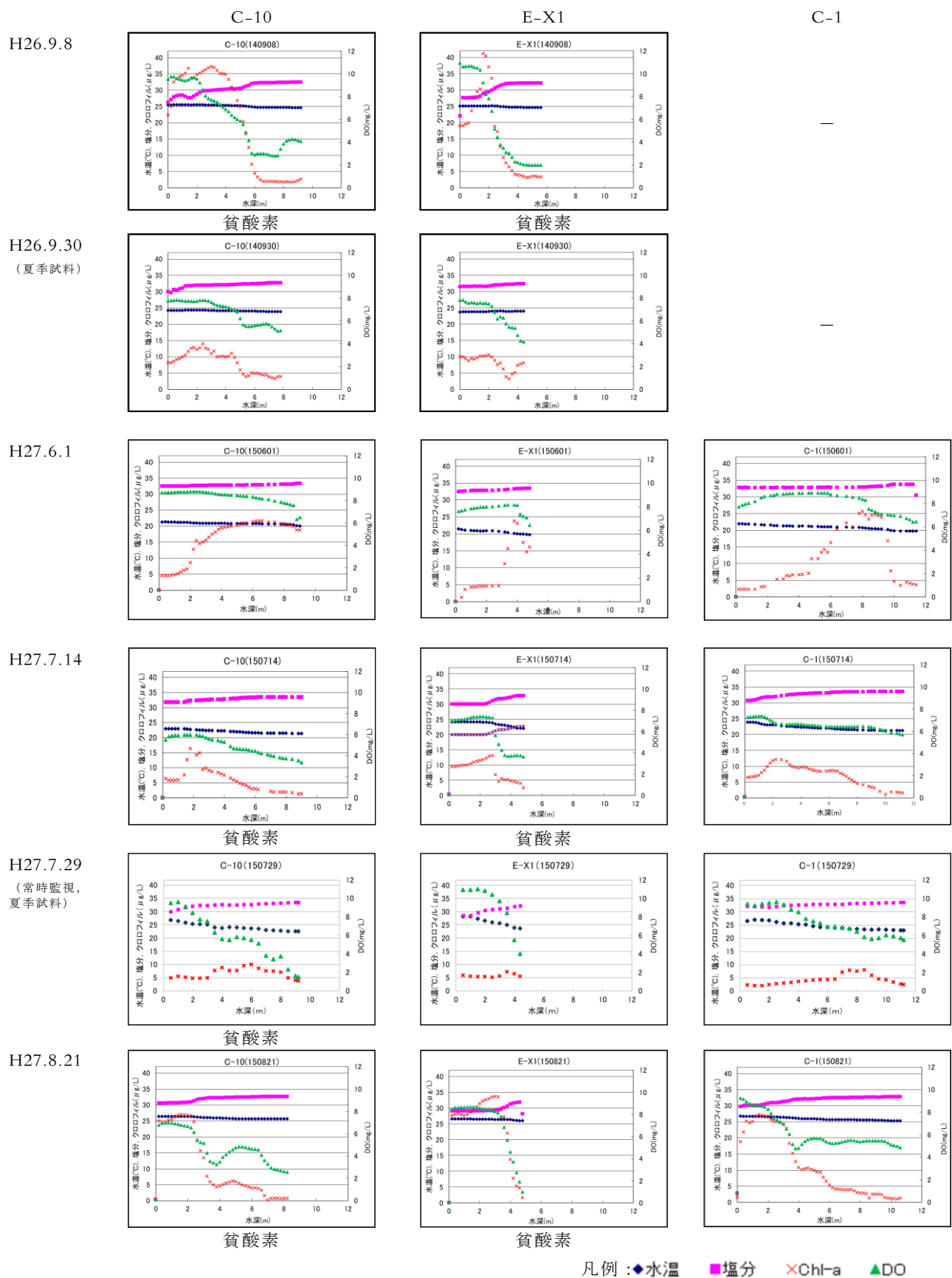


図 2-1 多項目水質計による調査結果 (平成 26 年 9 月～平成 27 年 8 月)

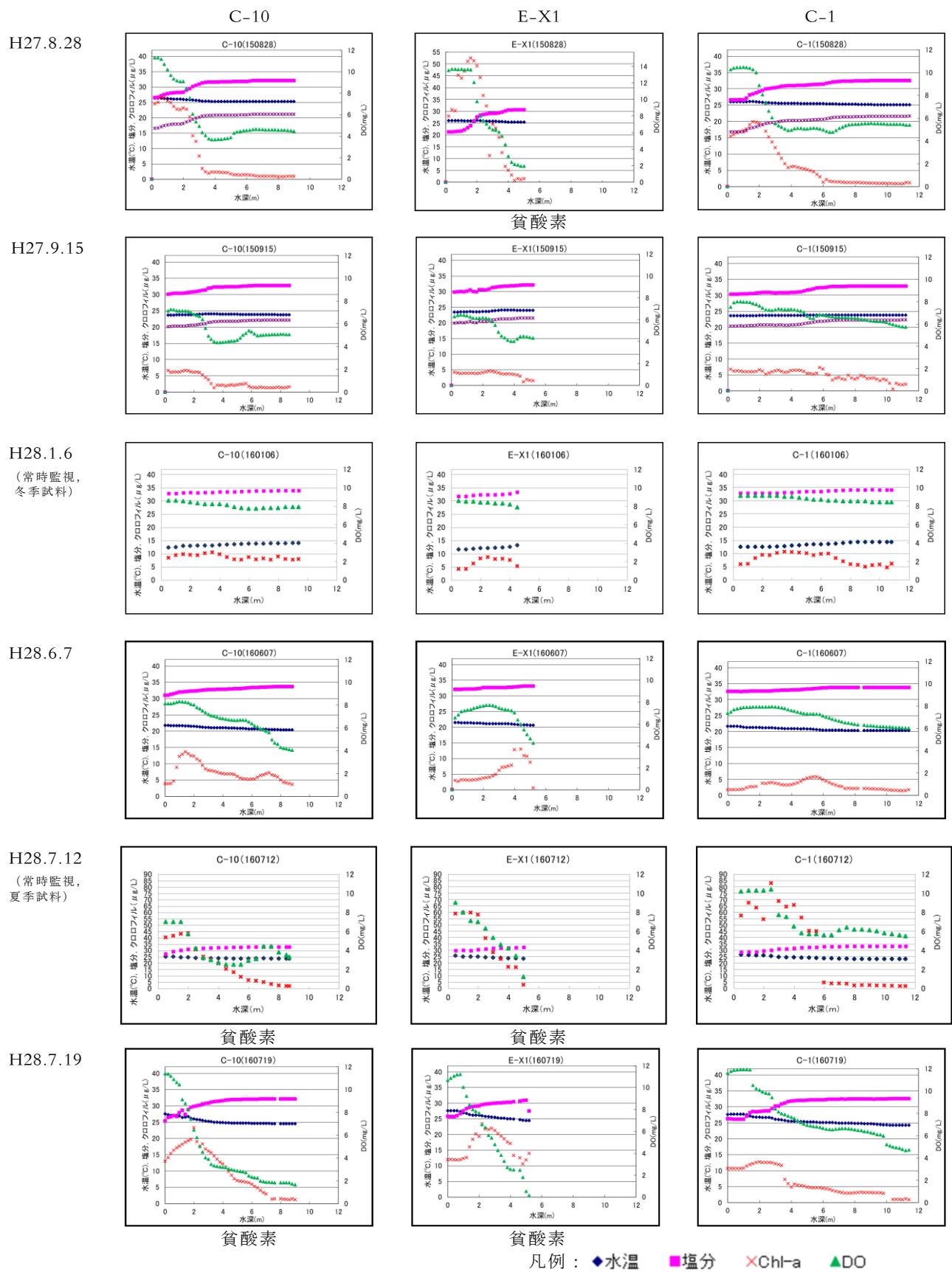
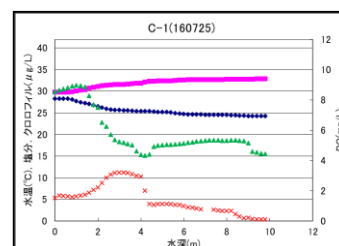


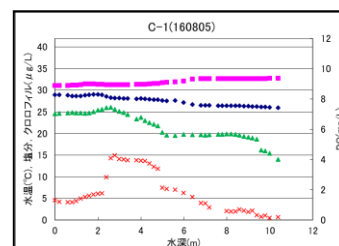
図 2-2 多項目水質計による調査結果 (平成 27 年 8 月～平成 28 年 7 月)

C-1



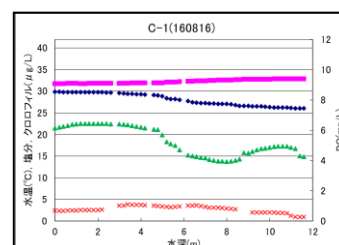
小澤(用)

C-1(16080



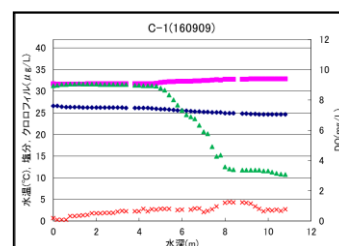
水課(11)

C-1(16081)



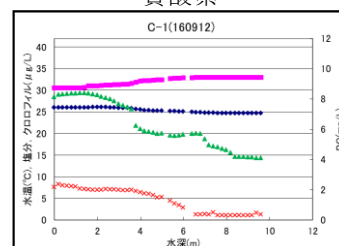
水泳(用)

C-1(16090



貧酸

C-1(16091)



水深(10)

C-1 (17011)

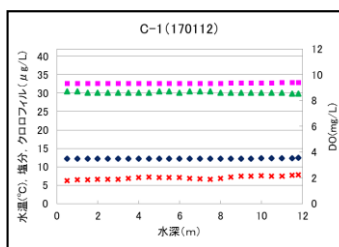


図 2-3 多項目水質計による調査結果（平成 28 年 7 月～平成 29 年 1 月）

3.2 栄養塩類（前課題の実施期間 2011 年 8 月～本課題実施期間 2017 年 1 月）

栄養塩類の濃度を表 1 に示す。季節間の比較では、各項目とも概ね冬季が夏季より高い傾向が見られた。C-10 底層の DIP, DTP, SiO₂ については、夏季が冬季より高い値を示した。DIN が DTN に対して占める割合及び DIP が DTP に対して占める割合は冬季が夏季より高い値を示した。

地点間の比較では各項目とも概ね E-X1 の方が C-10 より高くなっていた。夏季の DIP, DTP は C-10 の方が高かったものの、その差は小さく、いずれも低濃度だった。

表層と底層の比較では概ね夏季は底層が高い値を示し、冬季は表層が高い値を示した。

季節間の比較では、夏季に表層でプランクトンが増殖し、栄養塩類を消費することにより、夏季が冬季より低い値を示したと考えられる。

地点間の比較では、E-X1 が湾奥部に位置して海水交換が行われにくく、流入負荷も大きいため、C-10 よりも栄養塩類が高くなったと考えられる。

表層と底層の比較では、夏季の表層ではプランクトンによる栄養塩の消費により栄養塩類が減少し、底層では水温上昇や貧酸素状態による還元状態になり、栄養塩の溶出が起こって底層の栄養塩が増加したことが考えられる。冬季は河川などの流れ込みにより表層の栄養塩類が高くなったことが考えられる。

表 1 栄養塩類測定結果（平成 23～28 年度の平均値）

（単位はすべて mg/L かっこ内は標準偏差）

表層						
地点	時季	DIN (NO ₃ -N+NO ₂ -N+NH ₄ -N)	DTN	DIP (PO ₄ -P)	DTP	SiO ₂
C-10	夏季	0.079 (0.072)	0.309 (0.123)	0.004 (0.006)	0.014 (0.009)	1.13 (0.83)
	冬季	0.314 (0.065)	0.470 (0.063)	0.010 (0.005)	0.017 (0.005)	1.22 (0.49)
E-X1	夏季	0.131 (0.147)	0.364 (0.157)	0.002 (0.002)	0.013 (0.004)	1.21 (1.04)
	冬季	0.457 (0.163)	0.562 (0.157)	0.016 (0.009)	0.021 (0.007)	1.59 (0.70)
底層						
地点	時季	DIN (NO ₃ -N+NO ₂ -N+NH ₄ -N)	DTN	DIP (PO ₄ -P)	DTP	SiO ₂
C-10	夏季	0.099 (0.056)	0.305 (0.096)	0.011 (0.006)	0.019 (0.006)	1.37 (0.36)
	冬季	0.221 (0.057)	0.355 (0.063)	0.010 (0.006)	0.015 (0.004)	0.97 (0.41)
E-X1	夏季	0.152 (0.141)	0.357 (0.155)	0.009 (0.013)	0.018 (0.014)	1.32 (0.79)
	冬季	0.381 (0.124)	0.504 (0.066)	0.014 (0.007)	0.020 (0.006)	1.43 (0.65)

3.3 BOD・COD 関連項目（前課題の実施期間 2011 年 8 月～本課題実施期間 2017 年 1 月）

本調査で採水した試料の BOD・COD 関連項目の測定結果を表 2 に示す。季節間の比較では概ね夏季が冬季に比べて高い傾向が見られ、特に表層は顕著であった。E-X1 は夏季には底層でも比較的高い値が見られた。夏季には、C-10 表層と E-X1 の表層及び底層では COD に対する P-COD の割合及び DOC+POC に対する POC の割合が高い傾向にあった。しかし、夏季においても懸濁性（P-COD, POC）の割合は 50%を超えることはなく、夏季・冬季ともに 50%以上は溶解性（D-COD, DOC）のもので占められていた。

地点間の比較では、夏季では概ね各項目とも E-X1 の方が高かったが、冬季には C-10 の方が高くなる項目が多くみられた。

表層と底層の比較では、夏季においてはほとんどの項目で表層が高かった一方、冬季にはその差が小さくなり、底層の方が高くなる項目もみられた。

夏季に表層と E-X1 底層で COD 等が高いのは、Chl a が高いことから、プランクトンの影響が大きいと考えられた。E-X1 は水深が浅く、底層付近でもプランクトンが増殖しやすかったと考えられた。

地点間の違いは、夏季は E-X1 においてプランクトンが多く増殖した一方で、冬季は C-10 が河口等に近いため、河川水等の影響を受けたことが考えられた。

表 2 BOD・COD 関連項目測定結果（平成 23～28 年度の平均値（異常値は除く））

（単位は Chl a は $\mu\text{g/L}$ 、その他は mg/L かつこ内は標準偏差）

表層									
地点	時季	BOD	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC+POC	DOC	POC	Chl a
C-10	夏季	1.67 (0.61)	4.12 (0.93)	2.66 (0.52)	1.46 (0.88)	2.84 (0.75)	1.64 (0.29)	1.17 (0.55)	22.5 (13.3)
	冬季	0.60 (0.28)	2.11 (0.33)	1.67 (0.10)	0.43 (0.37)	1.66 (0.07)	1.16 (0.19)	0.50 (0.18)	4.38 (2.65)
E-X1	夏季	2.43 (1.82)	4.66 (1.05)	3.25 (0.36)	1.39 (0.89)	3.09 (0.45)	1.70 (0.17)	1.42 (0.38)	28.8 (11.20)
	冬季	0.30 (0.14)	2.06 (0.27)	1.74 (0.18)	0.32 (0.23)	1.46 (0.21)	1.12 (0.15)	0.34 (0.13)	2.09 (0.70)
底層									
地点	時季	BOD	COD	D-COD	P-COD (COD-D-COD)	DOC+POC	DOC	POC	Chl a
C-10	夏季	1.80 (0.95)	2.60 (0.47)	2.15 (0.39)	0.42 (0.43)	1.95 (0.32)	1.41 (0.20)	0.54 (0.11)	7.12 (4.65)
	冬季	0.50 (0.14)	2.11 (0.52)	1.68 (0.09)	0.52 (0.56)	1.60 (0.26)	1.03 (0.16)	0.57 (0.31)	3.31 (1.97)
E-X1	夏季	1.67 (0.75)	3.30 (0.34)	2.40 (0.43)	0.92 (0.39)	2.58 (0.44)	1.48 (0.26)	1.04 (0.42)	15.0 (8.52)
	冬季	0.55 (0.35)	2.04 (0.27)	1.77 (0.23)	0.27 (0.19)	1.66 (0.22)	1.16 (0.06)	0.50 (0.25)	3.59 (3.14)

図 3-1, 3-2 に各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 の表層では正の相関を示し、P-COD(mg/L)/Chl a(μ g/L)比 (0.05) と POC(mg/L)/Chl a(μ g/L)比 (0.029~0.030) がほぼ同値を示した。底層は表層に比べ相関が弱い傾向にあった。D-COD と DOC, P-COD (COD-D-COD) と POC 及び COD と DOC+POC についても、C-10 及び E-X1 表層においては正の相関を示し、特に COD と DOC+POC では強い相関がみられた。一方、底層では E-X1 における COD と DOC+POC を除いて相関が弱い傾向であり、表層と底層との差が見られた。BOD と COD については C-10, E-X1 のいずれも比較的強い正の相関があった。BOD が 0 mg/L 付近であっても、COD は 1.5 mg/L 以上を示した。BOD と Chl a については C-10 の底層、E-X1 の表層で比較的強い正の相関を示した。表層の Chl a と P-COD(COD-D-COD)及び POC では正の相関があったことから、P-COD, POC はプランクトンの増殖が寄与していると考えられた。COD と DOC+POC では強い相関がみられたが、C-10 の底層では、前課題時と同様、相関が弱かったが、原因はわからなかった。BOD が 0 mg/L 付近であっても、COD は 1.5 mg/L 以上を示したものもあったことから、COD には生物によって分解されにくい有機物が一定量含まれていると考えられた。BOD については、DO の消費が有機物分解によるものか、プランクトンの呼吸によるものか、アンモニアの硝化によるものかが区別できない。今後、これらを検討するため、ろ過をした検体と未ろ過の検体による BOD の違いについても測定する必要があると考えられる。BOD とその他の項目との関連については、データ数が少ないため、今後さらに調査が必要と考えられる。

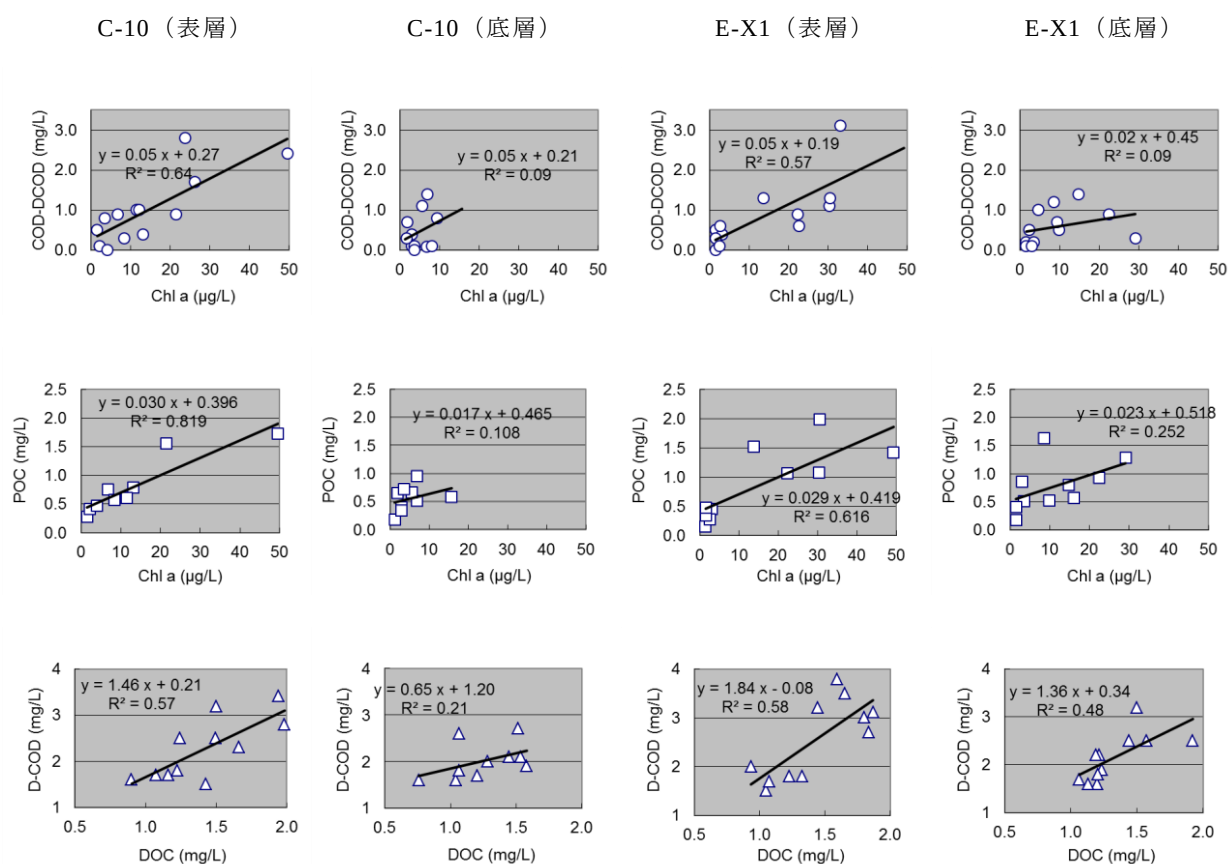


図 3-1 COD 関連項目間の関係 (1)

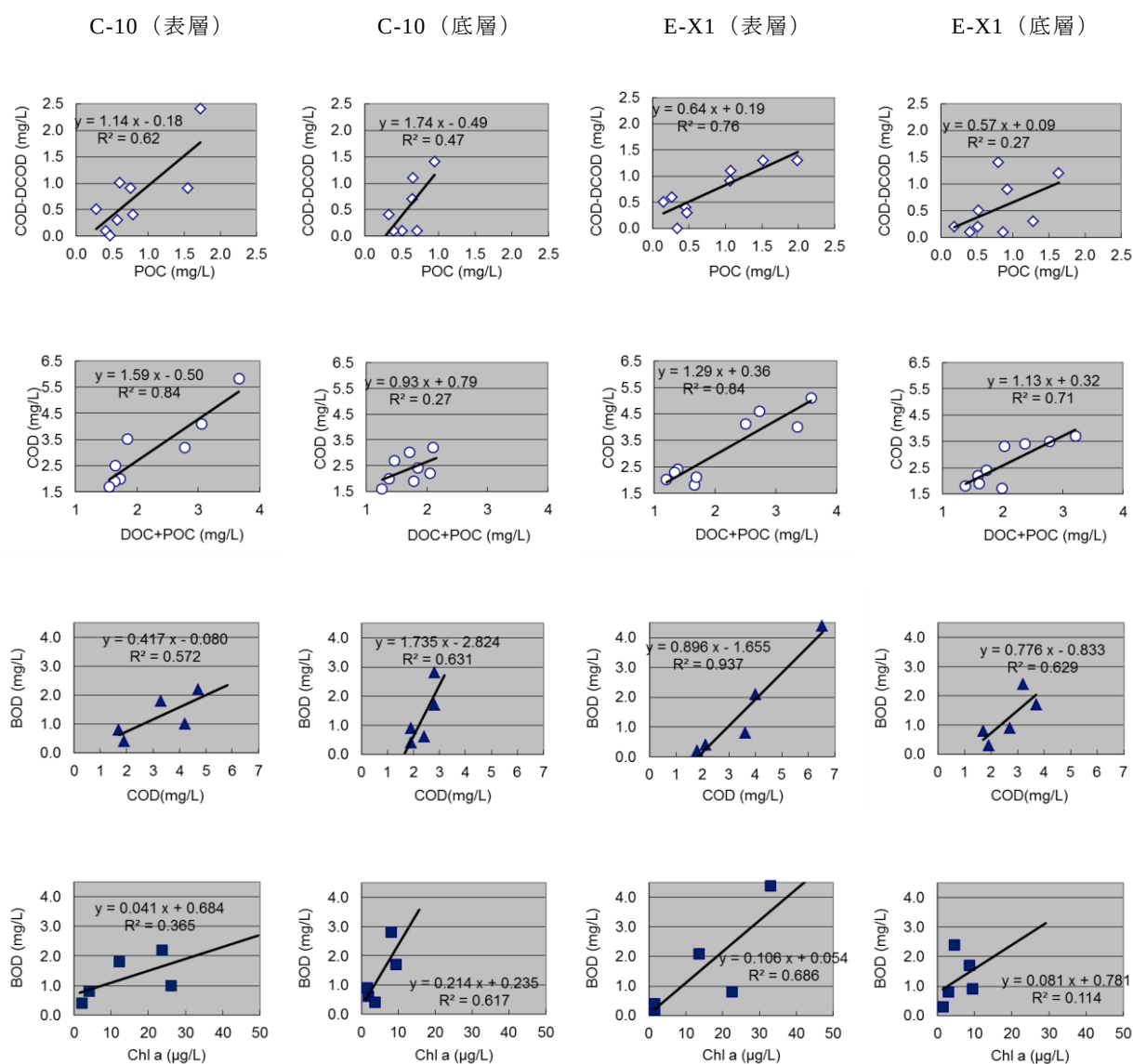


図 3-2 COD 関連項目間の関係 (2)

4. まとめ

平成 23 年度から平成 28 年度にかけて C-10、C-1 及び E-X1 の 3 地点で現場調査、C-10 及び E-X1 の 2 地点で採水を行い一連の測定を行ったところ、以下のことが分かった。

- ・ 7 月の中旬から 9 月の中旬にかけて 3 地点すべてで貧酸素状態を確認した。
- ・ 栄養塩類は概ね冬季が夏季より高かった一方で、Chl a や COD に関する有機物指標は夏季に高くなり特に表層で顕著だった。
- ・ Chl a と P-COD 及び POC は表層において正の相関を示した
- ・ COD と POC+DOC の半分以上は溶存性 (D-COD,DOC) のもので占められていた。
- ・ BOD が 0 mg/L 付近であっても、COD は 1.5 mg/L 以上を示したものもあったことから、COD は生物によって分解されにくい有機物が一定量含まれていると考えられた。
- ・ 前課題に引き続き、C-10 の底層では COD と DOC+POC の相関が低い状況が見られた。

- ・ BOD と COD については C-10, E-X1 の両地点とも正の相関を示した。
- ・ BOD は、データ数が少なく、傾向等を見る上で今後さらなるデータの蓄積が必要である。

5. 参考資料

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

1. はじめに

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。大村湾は海域 A 類型に指定されており、化学的酸素要求量(COD)の基準値は 2.0 mg/L であるが、17 環境基準地点における平均値は基準値を超過した状態が続いている。本調査では、前 II 型共同研究「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」に引き続き、大村湾奥部の 2 地点(久山港沖と祝崎沖)において、現場測定と採水を行って COD 関連項目と栄養塩類を測定し、項目間の関係について検討した。

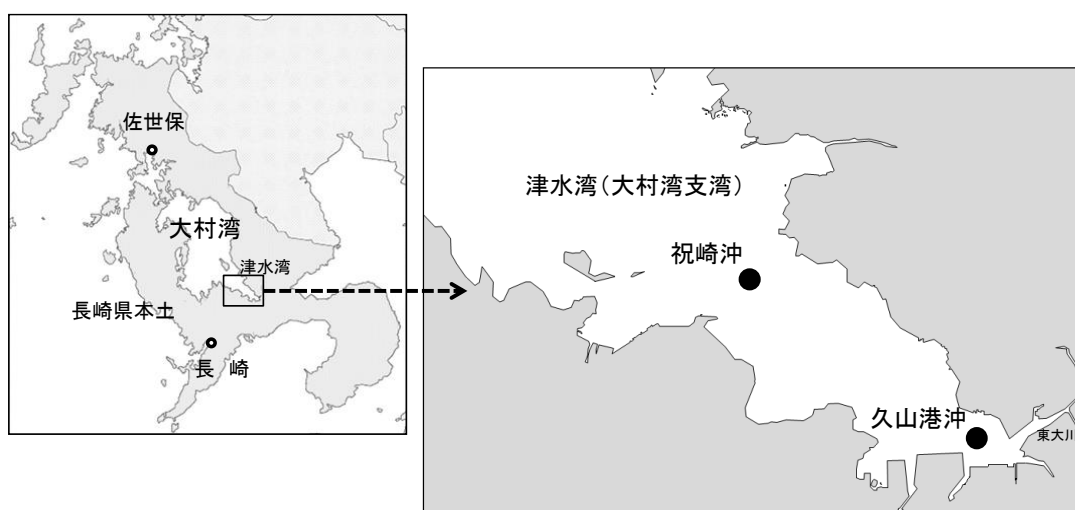


図 1 調査点位置図

2. 現場調査、測定・分析方法

2.1 調査点とその環境概要

調査点は大村湾の環境基準点である「久山港沖」と「祝崎沖」である(図 1)。両測点は大村湾の支湾である津水湾内にあり、それぞれの水深は、久山港沖で約 6 m、祝崎沖で約 15 m である。

両調査点における 2006 年 1 月から 2015 年 3 月までの透明度と COD(水深 0.5 m)の推移を図 2 に示す。透明度は年間で変動が大きいものの、大概すると夏季に低く、冬季に高い傾向が見られた。平均値は久山港沖では 3.2 m(範囲: 1.4~6.3 m)、祝崎沖では 4.5 m(範囲: 2.2~11 m)であり、沿岸に近い久山港沖でより低い。

COD も年間で大きく変動するものの、大概すると夏季に高く、冬季に低い傾向が見られた。平均値は久山港沖では 2.6 mg/L(範囲: 1.5~7.0 mg/L)、祝崎沖では 2.3 mg/L(範囲: 1.4~4.2 mg/L)であり、沖合にある祝崎沖でより低い。両調査点とも 2006 年以降、透明度および COD はほぼ横ばいで推移している。

2.2 現場測定・採水・分析

調査は前 II 型共同研究実施期間を含めて 2011 年 9 月から 2017 年 1 月の間に、夏季と冬

季の年2回、合計12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）

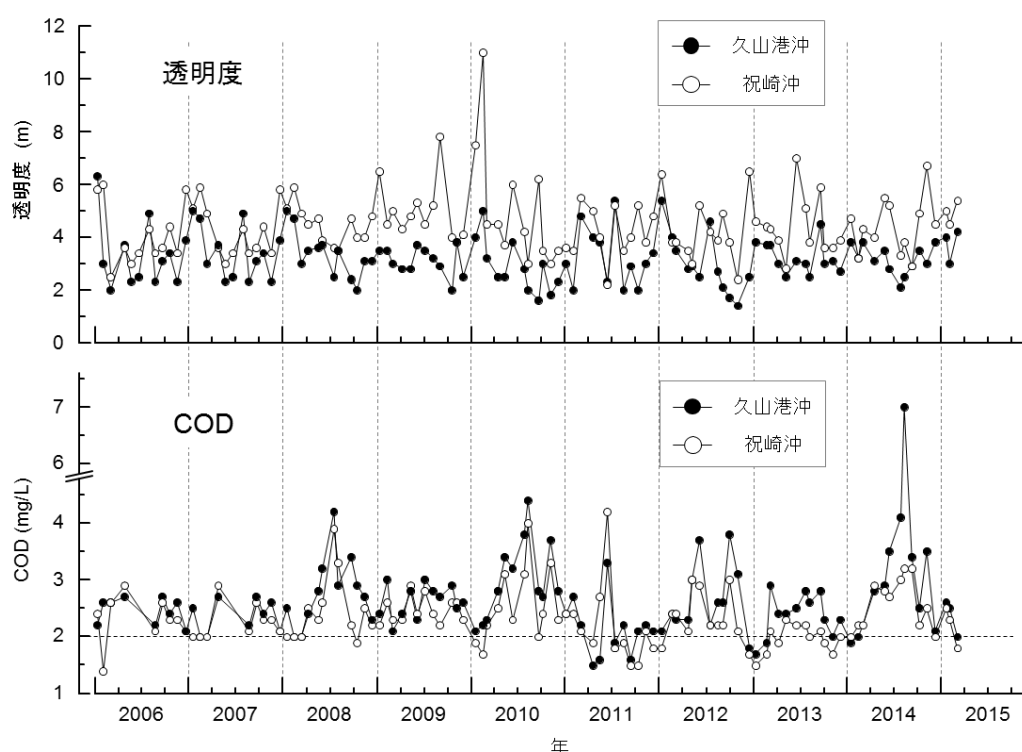


図2 久山港沖および祝崎沖における2006年1月から2015年3月までの透明度とCOD値の推移。データは長崎県公共用水域水質測定結果から引用した。COD値は水深0.5mのデータである。

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、透明度板を用いて透明度を測定するとともに、採水バケツおよびバンドン採水器を用いて、久山港沖では表層と底層、祝崎沖では表層、中層、底層から採水した。ここで、中層とは水深の1/2の深度、底層とは海底から1mの深度である。

採取した海水は氷冷して持ち帰り、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の方に送付し、本報告書内の「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. 結果と考察

3.1 海況について

夏季(2016年9月26日)および冬季(2017年1月25日)における久山港沖および祝崎沖の水温、塩分およびDOの鉛直分布を図3に示す。夏季においては、水温は久山港沖では26.7~28.1℃、祝崎沖では25.9~28.0℃であり、久山港沖でやや高い傾向が見られた。一方、塩分は久山港沖では29.7~31.0、祝崎沖では30.4~31.7であり、祝崎沖でやや高かった。水温・塩分躍層は久山港沖では水深2m付近に、また、祝崎沖では水深5m付近に見られた。DOは両調査点ともに海底上1m付近から急激に減少した。久山港沖では海底直上のDOは4.9mg/Lであったのに対して、祝崎沖は2.2mg/Lまで低下しており貧酸素状態であった。

冬季においては、水温は久山港沖では9.1~9.2℃、祝崎沖では9.2~9.6℃であった。塩分は久山港沖では31.4~31.6、祝崎沖で31.8~32.0であり、両調査点間に夏季ほど差は見られ

なかった。また、水温、塩分ともに顕著な躍層は見られず、両調査点ともに鉛直的に混合していた。DO は久山港沖で 9.8～9.9 mg/L、祝崎沖で 9.3～9.6 mg/L で、鉛直的にほぼ一様であった。

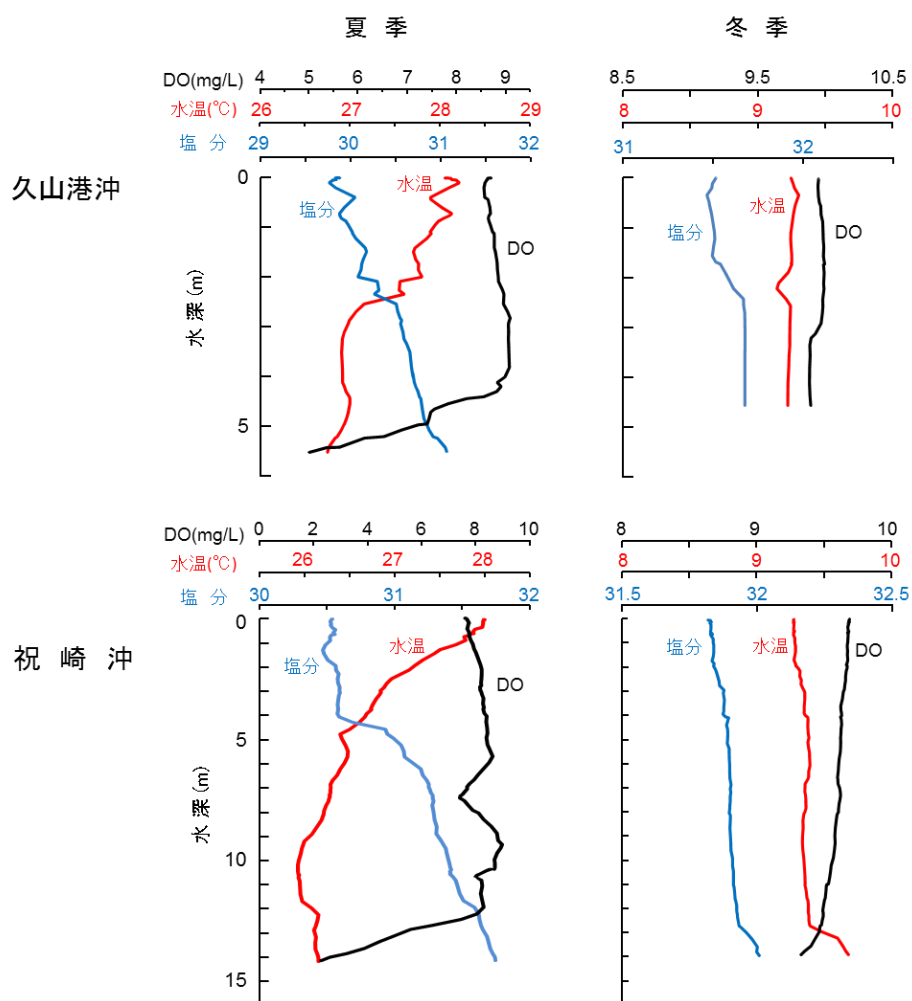


図 3 久山港沖(上図)および祝崎沖(下図)における夏季(左側、2016 年 9 月 26 日)および冬季(右側、2017 年 1 月 25 日)の海況鉛直構造

3.2 栄養塩類

栄養塩類の測定結果を表 1 に示す。溶存態の無機窒素 (DIN: 硝酸態と亜硝酸態窒素、そしてアンモニア態窒素の総和)、全窒素 (DTN)、リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$)、全リン (DTP)、そして珪酸塩 (SiO_2) は久山港沖の方が祝崎沖よりも高い傾向が見られた。久山港沖は東大川の河口付近に位置することから、河川から栄養が流入していることの反映と思われる。季節間の比較では、夏季の方が冬季よりも高く、特に $\text{PO}_4\text{-P}$ で顕著であった。これは後述するように、貧酸素によって底泥から溶出した栄養塩が供給されたためと思われる。

DIN が DTN に占める割合 (DIN/DTN) は夏季においては久山港沖では 22%、祝崎沖では 14%であったのに対して、冬季は久山港沖で 30%、祝崎沖で 5%であった。一方、DIP が DTP に占める割合 (DIP/DTP) を計算した結果、久山港沖と祝崎沖ではそれぞれ、夏季は 47%と 53%、冬季は 25%と 14%であり、両調査点ともに夏季の方が高かった。一般に、他の海域、例えば茨城県の大津漁港や大洗港では、本調査結果とは異なり、 DIN/DTN および DIP/DTP は共に夏季よりも冬季の方が高く、これは夏季に植物プランクトンの増殖が活発となり、栄養塩 (DIN と DIP) が利用されていることの反映と考えられている。大村湾では、晩夏から初秋にかけて湾外水の底層流入による貧酸素水塊の湾奥部への移動が起こる (図 4)。本調査で得た夏季に高い DIN/DTN および DIP/DTP は、貧酸素化によって底泥から水塊内に溶出した高い濃度の栄養塩 (特に $\text{PO}_4\text{-P}$) が、津水湾内に供給されたことを示唆していると考えられる。

表 1 2011 年 9 月～2017 年 1 月の夏季と冬季の久山港沖と祝崎沖における栄養塩類の平均値。単位はすべて mg/L、カッコ内の数値は標準偏差を表す。

		DIN	DTN	$\text{PO}_4\text{-P}$	DTP	SiO_2
久山港沖	夏季	0.061 (0.063)	0.270 (0.075)	0.008 (0.009)	0.017 (0.008)	0.77 (0.56)
	冬季	0.055 (0.070)	0.181 (0.048)	0.002 (0.002)	0.008 (0.002)	0.54 (0.31)
祝崎沖	夏季	0.030 (0.030)	0.211 (0.049)	0.008 (0.011)	0.015 (0.010)	0.51 (0.74)
	冬季	0.009 (0.005)	0.151 (0.037)	0.001 (0.001)	0.007 (0.001)	0.39 (0.15)

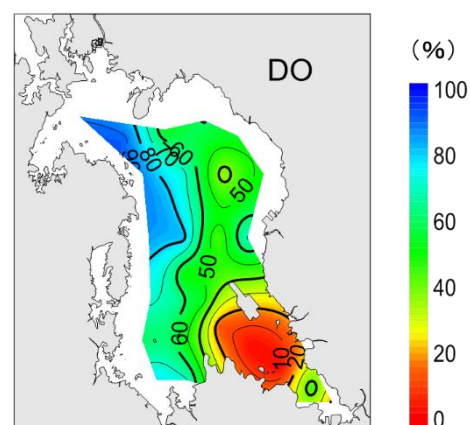


図 4 2014 年 9 月 30 日の海底から 1.0m 上の DO 分布 (%)。大村湾貧酸素水塊情報から引用。

3.3 COD 関連項目

本調査で採集した試料の COD 関連項目、すなわち COD、溶存態 COD (D-COD)、懸濁態 COD (P-COD)、全有機炭素 (TOC)、懸濁態有機炭素 (POC) およびクロロフィル *a* (Chl. *a*) の測定結果を表 2 に示す。調査点間の比較では、どの項目も祝崎沖よりも久山港沖で高い傾向が見られ、特に Chl. *a* で顕著であった。また季節間の比較では、祝崎沖の Chl. *a* を除き、何れの項目も夏季に高かった。COD 関連項目の調査点間および季節間の違いには植物プランクトンの増殖による内部生産が関わっていると思われる。

表 2 2011 年 9 月～2017 年 1 月の夏季と冬季の久山港沖と祝崎沖における COD 関連項目の平均値。単位は Chl.*a* は $\mu\text{g/L}$ 、他はすべて mg/L である。カッコ内の数値は標準偏差を表す。

		COD	D-COD	P-COD	TOC	DOC	POC	Chl. <i>a</i>
久山港沖	夏 季	3.12 (0.46)	2.58 (0.33)	0.54 (0.4)	1.98 (0.17)	1.39 (0.12)	0.59 (0.21)	6.35 (3.78)
	冬 季	2.46 (0.49)	1.94 (0.38)	0.51 (0.46)	1.54 (0.26)	1.14 (0.13)	0.43 (0.16)	5.04 (1.45)
祝崎沖	夏 季	2.62 (0.48)	2.23 (0.38)	0.44 (0.38)	1.62 (0.27)	1.26 (0.17)	0.51 (0.6)	2.83 (1.52)
	冬 季	2.18 (0.32)	1.92 (0.36)	0.25 (0.21)	1.44 (0.28)	1.15 (0.18)	0.39 (0.14)	3.59 (1.07)

図 5 に久山港沖と祝崎沖における主な項目間の相関を示す。Chl. *a* と POC との間には両調査点ともに有意な相関が見られたが ($p<0.05$)、Chl. *a* と P-COD との間には相関は無かった。従って、両調査点ともに P-COD の主な構成成分は植物プランクトン生体以外 (例えば死んで分解過程にある植物プランクトンなど) のものであることが示唆される。

COD と TOC はそれぞれ溶存態のもの (D-COD と DOC) が多くを占め、その割合は 70%～88%であった。D-COD と DOC との間には久山港沖では有意な相関がみられたものの ($p<0.01$ 、D-COD に対する DOC の寄与率 47%)、祝崎沖では相関はなかった (図 5)。また、D-COD と塩分との間には久山港沖で有意な負の相関が見られた ($p<0.05$) (図 6)。これらのことから、河口に近い久山港沖においては、存在する DOC の一部は陸水起源である可能性が示唆された。

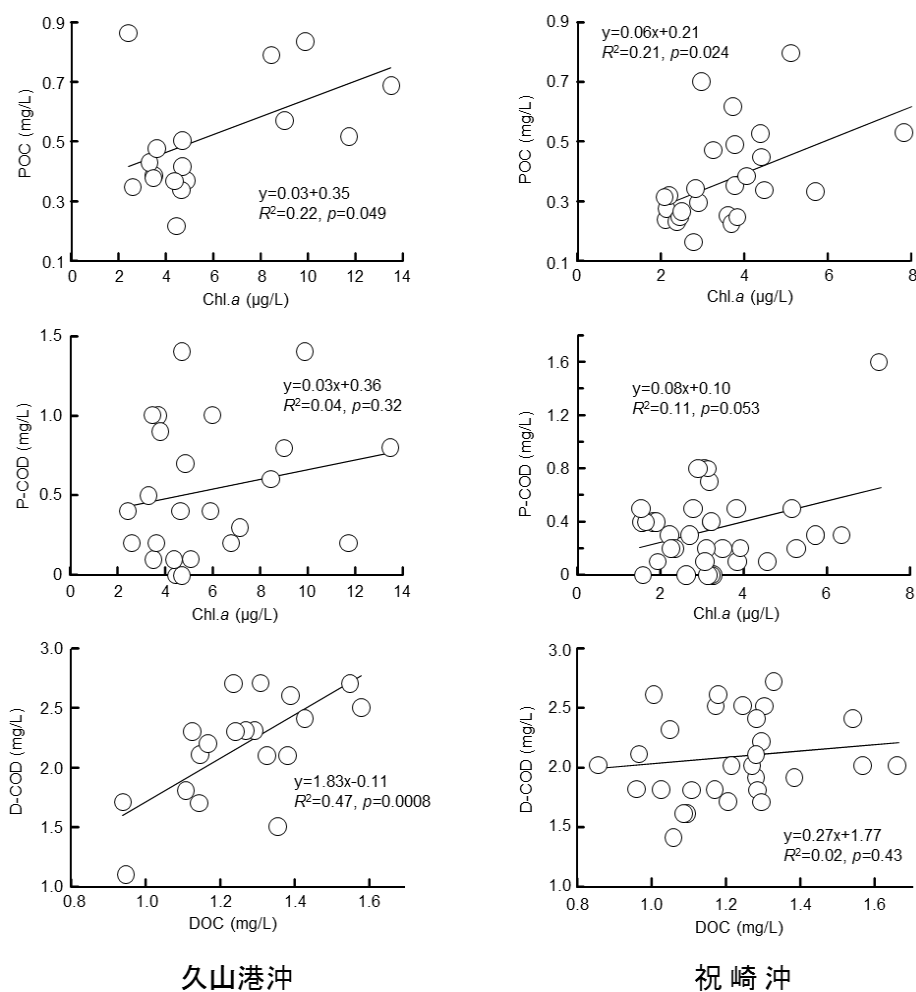


図 5 久山港沖および祝崎沖における 2006 年 1 月から 2015 年 3 月までの透明度と COD 値の推移。データは長崎県公共用水域水質測定結果から引用した。COD 値は水深 0.5m の

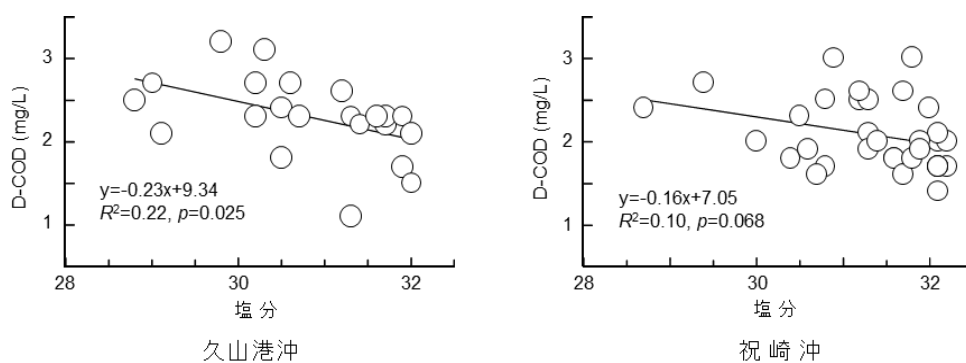


図 6 久山港沖および祝崎沖における塩分と D-COD との相

4. まとめ

大村湾の支湾である津水湾内の 2 調査点 (久山港沖と祝崎沖) において、2011 年 9 月から 2017 年 1 月の間に、夏季と冬季の年 2 回、合計 12 回、海洋観測を行うとともに、現場海水の栄養塩類および COD 関連項目の分析を行い、以下の意見を得た。

- ・栄養塩類は東大川河口に近い久山港沖の方が祝崎沖よりも高く、河川から栄養が流入してい

ることの反映であると考えられた。

- 栄養塩類および DIP/DTP は両調査点ともに夏季の方が高く、貧酸素化によって底泥から溶出した高い濃度の栄養塩が津水湾内に供給されている可能性があることが示唆された。
- COD の 70%～88%は溶存態であり、久山港沖では COD の主成分は DOC であると考えられた。
- 久山港沖に存在する DOC の一部は陸水起源である可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究(II型) 平成 23~25 年度「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」報告書
- 2) 長崎県環境部地域環境課 公共用水域及び地下水の水質測定結果
- 3) 長崎県環境部地域環境課 大村湾の貧酸素水塊発生情報
<https://www.pref.nagasaki.lg.jp/bunrui/kurashi-kankyo/kankyohozen-ondankataisaku/omura/hinsanso-omura>

宮崎県沿岸海域における COD、栄養塩類等について

宮崎県衛生環境研究所 環境科学部 中村公生 赤崎いずみ 島田玲子
萩原摩耶 有簾真奈美 三角敏明

1. はじめに

平成 20 年度から実施されている沿岸海域環境に係る II 型共同研究の一環である課題「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」(研究期間平成 26 年度～平成 28 年度)に参加し、宮崎県沿岸の 2 地点で、夏季と冬季に採水を行い、COD と関連する有機物指標と栄養塩類の季節変化と項目間の関係等について検討した。また、同じ 2 地点において、これまでの II 型共同研究で行った経年変化解析に準じて、本県常時監視結果データを用いた解析を行ったので、これらについて報告する。

2. 方法

2.1 調査方法の概要

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

2.2 採水・分析

2.2.1 調査地点及び採水・分析調査の時期

調査地点を図 1 に示す。前課題報告書(平成 26 年 3 月)で報告対象とした地点のうち、環境基準点である以下 2 地点を調査地点とした。

①五ヶ瀬川導流堤東 750 m

②沖田川河口東 750 m

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

各地点で、H27 年度から H28 年度に夏季と冬季の年 2 回、計 4 回採水・分析を行った。

2.2.2 調査項目

①気温、②水温、③pH、④塩化物イオン、⑤EC、⑥BOD、⑦COD、⑧D-COD(溶存性 COD、試料をガラス繊維フィルターでろ過したろ液の COD のこと)、⑨P-COD(懸濁性 COD、COD から D-COD を差し引いたもの)、⑩DOC(溶存性有機炭素、試料をガラス繊維フィルターでろ過したろ液の有機炭素)、⑪POC(懸濁性有機炭素、試料をガラス繊維フィルターでろ過したフィルター中の有機炭素)、⑫DOC+POC、⑬Chl a (クロロフィル a)、⑭DIN (溶存性無機態窒素($\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N}$))、⑮DTN (溶存性全窒素)、⑯(溶存性無機態リン($\text{PO}_4\text{-P}$))、⑰DTP(溶存性全リン)、⑱ SiO_2



図 1 調査地点

2.2.3 分析方法等

2.2.3.1 項目①及び②

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

2.2.3.2 項目③～⑥

項目③～⑥については、当研究所でそれぞれ以下の方法で分析した。

③pH：ガラス電極法

④EC：電気伝導度計による測定

⑤塩化物イオン：イオンクロマトグラフ法 ⑥BOD：JIS 法(K0102:2016)

なお、BOD は 3 日後の溶存酸素量から求めた。^{1), 3)}

2.2.3.3 項目⑦～⑱

項目⑦～⑱については、国立研究開発法人 国立環境研究所へ冷凍した試料を送り同研究所において分析した。分析法は同研究所資料¹⁾に記載のとおり。

2.3 底層 DO、COD 経年変化、COD 等季節変動に係るデータ解析

2.2.1 に記載の 2 地点について、常時監視結果²⁾を用いて以下の解析を行った。

2.3.1 過去 3 年間の底層 DO

H25～H27 年度の四半期毎の底層 DO のデータを集計した。

2.3.2 COD の経年変化

沿岸海域環境に係る II 型共同研究前々課題報告書（平成 23 年 3 月）での COD 経年変化報告に、データを追加し、S56～H27 年度の推移をみた。

2.3.3 COD、全窒素及び全リンの季節変動

H25～H27 年度の四半期毎（COD については、毎月）のデータを集計し、季節変動の有無をみた。

3. 結果

3.1 採水・分析調査結果

3.1.1 気温、水温、pH 等

本調査で採水した試料の気温、水温、pH 等の分析結果を表 1 に示す。

表 1 気温、水温、pH 等の結果

採水地点名	採水年月日	気温(℃)	水温(℃)	pH	塩化物イオン(g/L)	EC (mS/cm)
五ヶ瀬川導 流堤東 750m	H27. 8. 28	27. 0	25. 0	8. 2	13. 0	43. 3
	H28. 1. 26	10. 1	16. 0	8. 3	15. 0	43. 2
	H28. 8. 4	29. 0	24. 0	8. 2	17. 0	46. 4
	H29. 1. 13	9. 5	16. 5	8. 1	19. 8	50. 9
沖田川河口 東 750m	H27. 8. 28	27. 2	25. 5	8. 2	16. 0	55. 4
	H28. 1. 26	9. 8	18. 3	8. 3	19. 0	51. 5
	H28. 8. 4	28. 3	25. 8	8. 2	19. 1	49. 1
	H29. 1. 13	9. 3	16. 6	8. 2	19. 5	50. 9

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

3.1.2 COD 等関連項目

本調査で採水した試料の COD 等関連項目の分析結果を表 2 に示す。

表 2 H27 年 8 月～H29 年 1 月の夏季と冬季の BOD・COD 関連項目*
(単位は Chl a は $\mu\text{g/L}$, 他は全て mg/L)

採水地点名	採水年月日	BOD	COD	D-COD	P-COD	DOC	POC	DOC+POC	Chl a
五ヶ瀬川 導流堤東 750m	H27. 8. 28	<0. 5	1. 70	1. 40	0. 30	0. 98	—	—	0. 92
	H28. 1. 26	<0. 5	1. 20	1. 10	0. 10	0. 91	0. 23	1. 15	0. 56
	H28. 8. 4	0. 5	1. 51	1. 30	0. 20	—	—	—	3. 22
	H29. 1. 13	<0. 5	2. 11	1. 41	0. 70	—	—	—	0. 84
沖田川河 口東 750m	H27. 8. 28	0. 5	2. 00	1. 90	0. 10	0. 97	—	—	2. 93
	H28. 1. 26	<0. 5	1. 10	1. 00	0. 10	1. 18	0. 23	1. 41	0. 58
	H28. 8. 4	<0. 5	2. 81	1. 30	1. 50	—	—	—	2. 79
	H29. 1. 13	<0. 5	1. 21	1. 21	0. 00	—	—	—	1. 40

*BOD は当研究所による分析値。他は国立研究開発法人 国立環境研究所による分析値

BOD は全てきわめて低い値だった。また、BOD 及び COD のどちらも 2 地点間で大差なかった。COD は、一部を除き夏季の方が冬季より高くなる傾向がみられた。さらに、一部を除き COD の多くを D-COD が占め、D-COD の多くを DOC が占める傾向がみられた。このことは、COD の多くを溶存性の有機物が占める傾向にあることを意味しており、全国³⁾の状況とほぼ同様である。Chl a については、夏季の方が冬季より高くなる傾向が顕著にみられ、夏季の植物プランクトン増殖を示すものと考えられた。今後、POC を含めたデータを蓄積し、COD と植物プランクトンの関係等についても引き続き検討する必要がある。

3.1.3 栄養塩類 (DIN、DTN、DIP、DTP、 SiO_2)

本調査で採水した試料の栄養塩類の分析結果を表 3 に示す。

表 3 H27 年 8 月～H29 年 1 月の夏季と冬季の栄養塩類** (単位は mg/L)

採水地点名	採水年月日	DIN	DTN	DIP	DTP	SiO_2
五ヶ瀬川導 流堤東 750m	H27. 8. 28	0. 183	0. 280	0. 009	0. 009	4. 74
	H28. 1. 26	0. 145	0. 312	0. 011	0. 017	3. 82
	H28. 8. 4	0. 011	0. 163	0. 000	0. 008	1. 45
	H29. 1. 13	0. 085	0. 196	0. 007	0. 011	1. 63
沖田川河口 東 750m	H27. 8. 28	1. 072	1. 165	0. 004	0. 006	2. 61
	H28. 1. 26	0. 692	0. 863	0. 008	0. 013	0. 88
	H28. 8. 4	0. 050	0. 266	0. 001	0. 008	0. 30
	H29. 1. 13	0. 069	0. 265	0. 008	0. 012	0. 57

**全て国立研究開発法人 国立環境研究所による分析値

栄養塩類のうち、DIN と DTN については沖田川河口東 750 m 地点の方が五ヶ瀬川導流堤東 750 m 地点より高めの値になる傾向がみられた。DTN 中の DIN 及び DTP 中の DIP の割合は、調査時期及び地点により変動が大きく、現段階では一定の傾向を把握することは困難だった。栄養塩類についても、今後データを蓄積し、引き続き検討する必要がある。

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

3.2.1 過去 3 年間の底層 DO

五ヶ瀬川導流堤東 750 m 地点の H25～H27 年度の底層 DO を図 2 に示す。底層 DO は 6.1～8.4 (平均 7.2) mg/L であり、若干の変動は見られるものの DO 3 mg/L を下回る貧酸素水塊³⁾の発生は認められなかった。

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

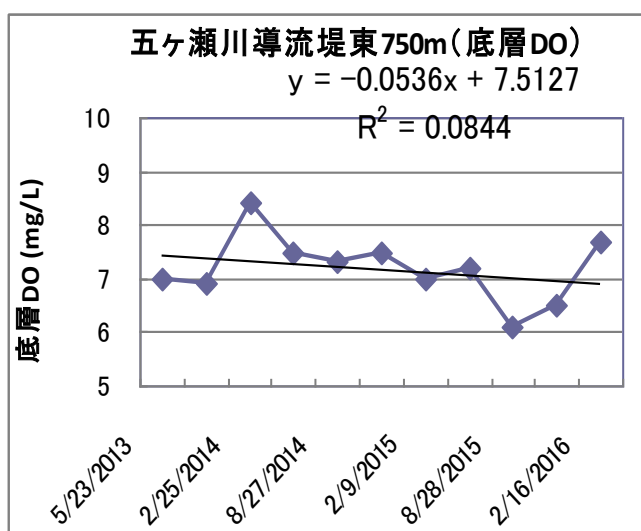


図 2 五ヶ瀬川導流堤東 750 m の H25～H27 年度の底層 DO

3.2.2 COD の経年変化

調査対象 2 地点の S56～H27 年度の COD 75%値の推移を図 3～4 に示す。

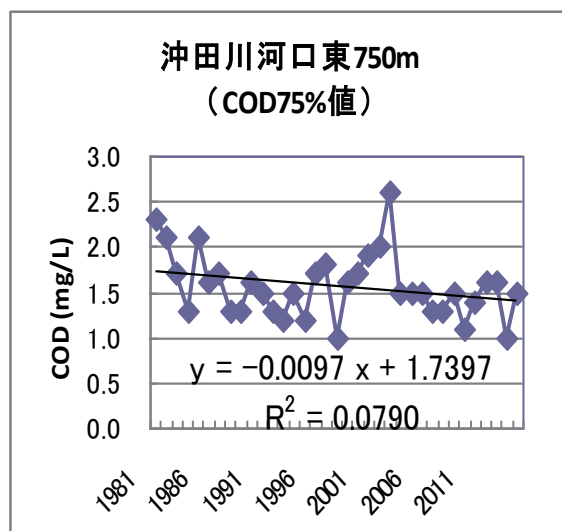


図 3 五ヶ瀬川導流堤東 750 m の COD 経年変化

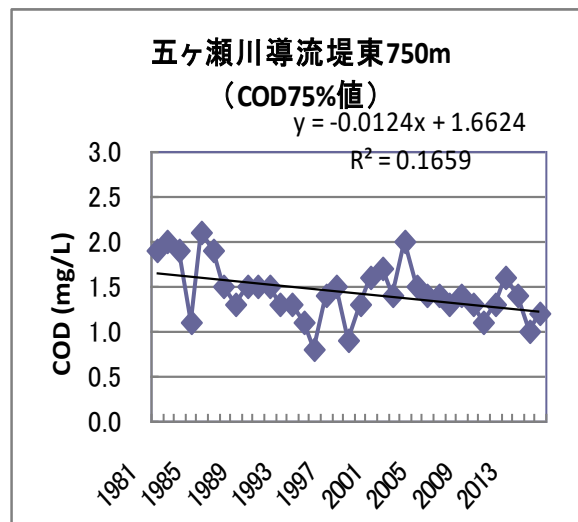


図 4 沖田川河口東 750 m の COD 経年変化

どちらの地点においても COD 増加の兆候はみられなかった。

3.2.3 COD、全窒素及び全リンの季節変動

調査対象 2 地点の H25～H27 年度の COD、全窒素及び全リンを図 5～8 に示す。

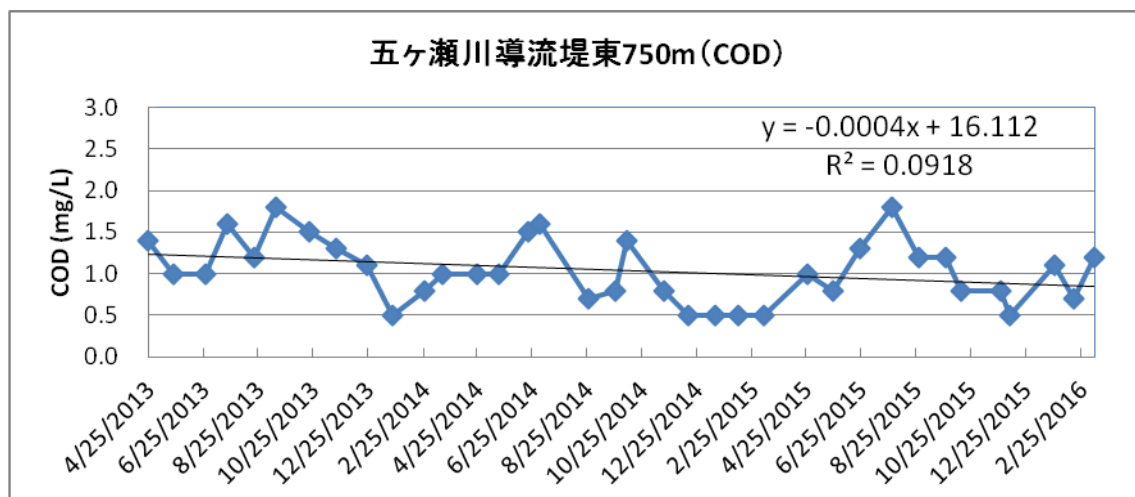


図 5 五ヶ瀬川導流堤東 750m の H25～H27 年度の COD

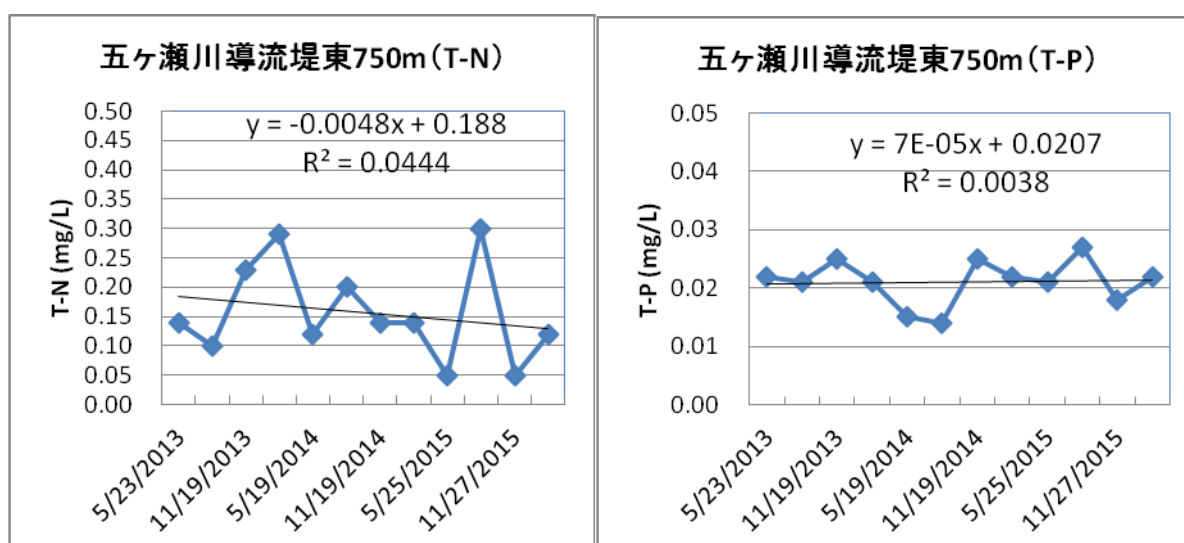


図 6 五ヶ瀬川導流堤東 750m の H25～H27 年度の全窒素及び全リン

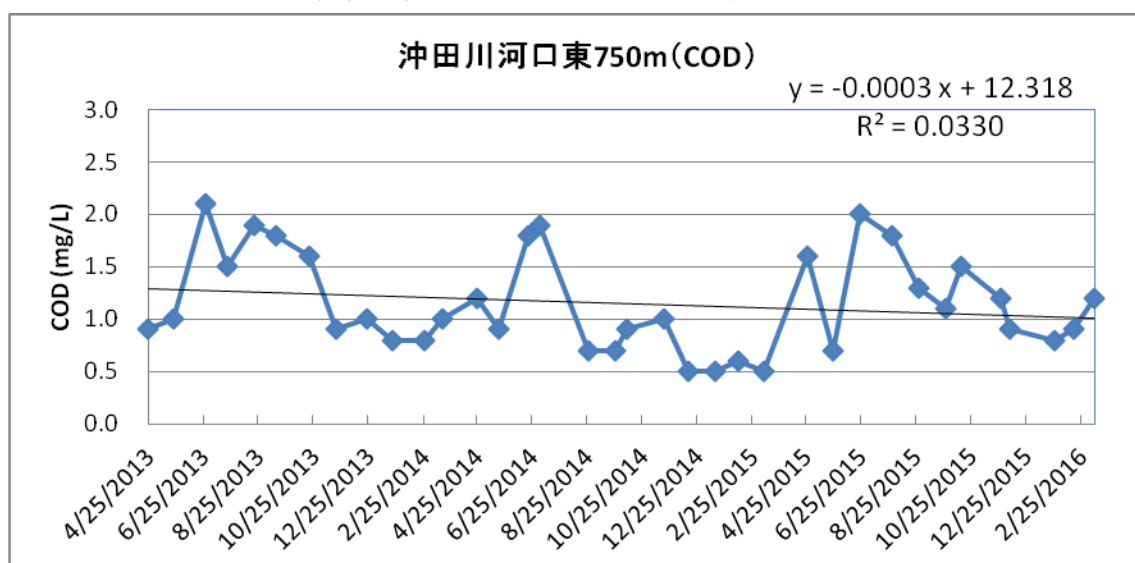


図 7 沖田川河口東 750 m の H25～H27 年度の COD

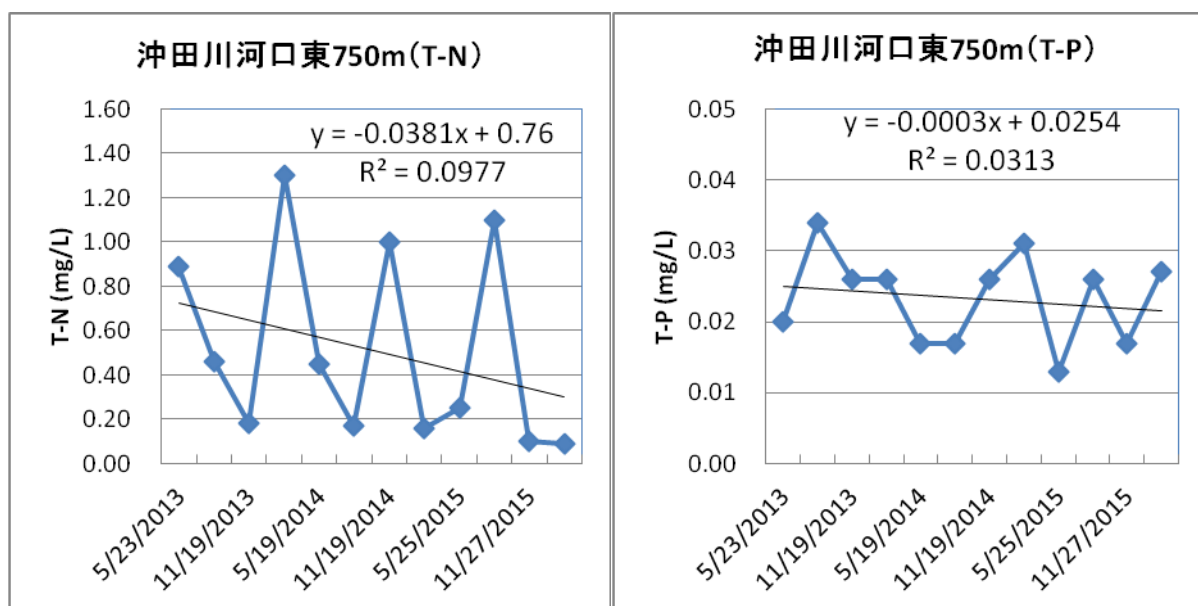


図 8 沖田川河口東 750 m の H25～H27 年度の全窒素及び全リン

COD については、2 地点とも夏季の方が冬季より高くなる傾向がみられた。一方、栄養塩類の指標として解析した全窒素及び全リンについては、2 地点とも調査時期による変動は大きい、変動には季節による明確な違いはみられなかった。これは、2 地点ともに各流入河川による影響を強く受けているためではないかと考えられた。

4. まとめ

・五ヶ瀬川導流堤東 750 m 及び沖田川河口東 750 m の 2 地点において、平成 27 年度から平成 28 年度の夏季と冬季に採水・分析を行った。分析結果から、概ね COD の多くを溶存性の有機物が占める傾向がみられた。また、Chl a の分析値から、夏季における植物プランクトン増殖が認められた。栄養塩類のうち、DIN と DTN については、沖田川河口東 750 m の方が高い値となる傾向がみられた。栄養塩類に占める溶存性成分の割合については、変動が大きく一定の傾向の把握は困難であった。

・過去の常時監視結果のデータを解析し、貧酸素水塊は発生していないことを確認した。また、2 地点とも COD に上昇の兆候はみられなかった。COD については、夏季の方が冬季より高くなる傾向がみられた。

・当研究所は、本Ⅱ型共同研究の平成 29 年度以降の課題にも引き続き参加を予定している。沿岸海域環境については未解明の点が多いが、本県についても同様である。今後とも本Ⅱ型共同研究に係るデータを蓄積し、本県沿岸海域環境に係る知見提供のため検討を進める予定である。

5. 参考文献

- 1) 牧秀明：茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目について、Ⅱ型共同研究報告書例（国立環境研究所），2017 年 3 月
- 2) 宮崎県：平成 27 年度大気・水質（公共用水域及び地下水）測定結果，2015 等
- 3) 牧秀明他：環境部局による海域の調査研究の在り方について，第 42 回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集，2015

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

右田 裕二, 山田 正人, 大庭 大輔, 大坪 充寛

1 はじめに

鹿児島湾は、南北約 80 km、東西約 20 km 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 40 m、幅 1.9 km の西桜島水道を隔てて、北方の湾奥部（最大水深 206 m）と南方の湾央・湾口部に大別される。特に、湾奥部において海水の交換が起こりにくく、赤潮が発生しやすいことや、夏から秋にかけて比較的浅い層に貧酸素水塊が発生しやすいことが知られている^{1,2)}。

貧酸素水塊などの水生生物の生息への影響等を直接判断できる指標はこれまでなかったことから、環境省においてわかりやすい指標の検討が行われてきたところであり、平成 28 年 3 月に、新たに「底層溶存酸素量（底層 DO）」が水質汚濁に係る環境基準に追加された。現段階で類型指定は設定されていないが、本県では、湾奥部において公共用水域の常時監視調査に併せて、多項目水質計を用いた DO の鉛直測定を行っているところである。

本研究では、全国各地の沿岸海域で顕在化している貧酸素水塊と貧栄養状態を湾奥部において評価することを目的としている。

今般、上記 DO の鉛直測定の結果と併せて、DO 消費の要因である有機物の性状を評価するため、COD などの有機汚濁指標に加え、海域版 BOD 測定による検討を行い、さらに、生活環境の保全に関する環境基準の項目である全窒素（T-N）及びその各態のデータを参照し解析を行ったので、報告する。

2 湾奥部基準点 1, 2 における調査結果について

2. 1 調査時期

2014 年度から 2016 年度まで、夏季と冬季の年 2 回実施した。2014 年度は夏季に実施できなかったため、11 月と 1 月に調査を行った（2014 年 11 月、2015 年 1 月、2015 年 9 月、2016 年 1 月、2016 年 9 月、2017 年 1 月に実施）。

2. 2 調査地点

調査地点を図 1 に示す。対象地点は湾奥部の基準点 1（水深約 107 m）、基準点 2（水深約 109 m）とした。基準点 1 は、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、公共用水域常時監視調査時に水深 0.5 m 層（表層）、20 m 層、50 m 層の 3 層で調査を行っている。一方、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 0.5 m 層、2 m 層の 2 層で調査を行っている。基準点 1, 2 は共に A 類型、COD 環境基準 2.0 mg/L 以下である。

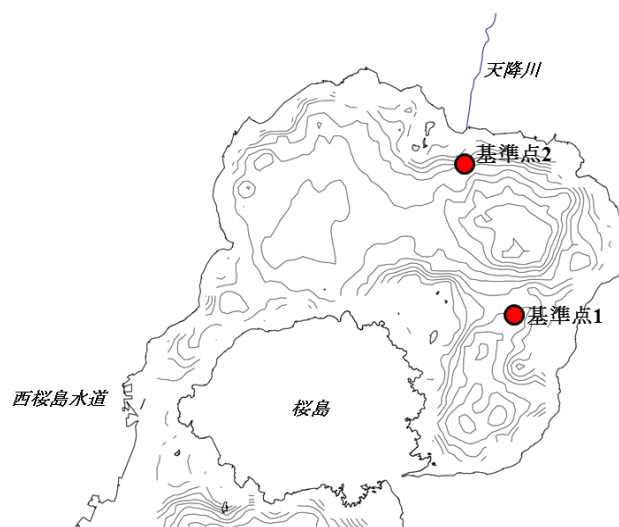


図 1 調査地点図※1

2. 3 調査項目

COD, D-COD（溶存態 COD）, DOC（溶存態有機炭素）, POC（懸濁態有機炭素）, Chl a（クロロフィル a）

2. 4 調査方法

本調査の採水層は、表層及び 90 m 層の 2 層とし、採水方法は、表層水はバケツを用いて採水し、90 m 層はバンドーン採水器を用いて採水した。

COD 試料は採水当日に分注し、D-COD, DOC, POC, Chl a 試料のろ過操作は、採水の翌日に行った。COD 試料、ろ過試料、フィルター試料は、全て冷凍保管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環境基準点における栄養塩類と COD に関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。海域版 BOD については、採水当日に水温を 20℃に調整して曝気を行った。曝気後、5 個の 300 mL フラン瓶に分注し、1 検体は DO をヨウ素滴定法により測定を行い、その他の 4 検体は 20℃の孵卵器に静置し、それぞれ 3, 5, 7, 14 日後の DO を滴定法により測定した。なお、酸素を固定したものは水中に保管しておき、14 日後以降に全ての滴定を行った。

2. 5 COD 関連項目

COD 関連項目について 2017 年 3 月現在の測定結果を表 1 に示す。2014 年 11 月は夏季として表に示している。なお、COD から D-COD を差し引き、懸濁態 COD（以下、P-COD という）を示し、

表 1 夏季及び冬季の基準点 1, 2 における COD 関連項目の測定結果

地点名	採水層	季節	採水年月	COD (mg/L)	D-COD (mg/L)	P-COD (mg/L)	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)	POC (mg/L)	Chl a (µg/L)
基準点 1	0.5 m (表層)	夏季	2014/11/5	2.21	1.40	0.80	1.17	1.05	0.12	1.78
			2015/9/8	3.51	2.81	0.70	2.35	1.68	0.67	1.48
			2016/9/26	2.61	2.31	0.30	-	-	-	3.18
		冬季	2015/1/13	1.50	1.20	0.30	-	0.80	-	0.50
			2016/1/5	1.00	0.90	0.10	1.44	1.07	0.37	4.85
			2017/1/16	2.81	1.21	1.61	-	-	-	0.74
	90 m	夏季	2014/11/5	1.20	1.20	0.00	0.92	0.84	0.08	0.20
			2015/9/8	1.51	1.51	0.00	1.10	0.84	0.26	0.19
			2016/9/26	1.40	1.30	0.10	-	-	-	0.20
		冬季	2015/1/13	1.20	1.10	0.10	-	0.88	-	0.52
			2016/1/5	1.10	0.90	0.20	1.29	1.05	0.24	0.23
			2017/1/16	2.21	2.21	0.00	-	-	-	0.30
基準点 2	0.5 m (表層)	夏季	2014/11/5	2.21	1.71	0.50	1.11	0.92	0.19	1.43
			2015/9/8	3.51	2.11	1.41	1.93	1.01	0.91	0.65
			2016/9/26	3.01	2.41	0.60	-	-	-	2.41
		冬季	2015/1/13	1.30	1.30	0.00	-	0.66	-	0.58
			2016/1/5	1.20	0.90	0.30	1.06	0.82	0.24	3.00
			2017/1/16	1.31	1.21	0.10				0.91
	90 m	夏季	2014/11/5	1.30	1.20	0.10	0.94	0.86	0.08	0.19
			2015/9/8	1.10	0.90	0.20	1.24	0.97	0.26	0.19
			2016/9/26	1.90	1.70	0.20	-	-	-	0.21
		冬季	2015/1/13	1.40	1.10	0.30	-	0.84	-	0.25
			2016/1/5	1.00	0.50	0.50	1.00	0.82	0.17	0.24
			2017/1/16	1.31	1.21	0.10	-	-	-	0.20

溶存態炭素（DOC）に懸濁態炭素（POC）を足し合わせ、全有機炭素（TOC）を示した。COD について、夏季の表層は、夏季の 90 m 層、冬季の表層及び 90 m 層より高い傾向を示していたことから、夏季における植物プランクトンの増殖（内部生産）の影響による有機物の増加が考えられる。しかし、Chl a は、COD との相関は見られず、また、夏季の値よりも冬季に高い場合もあった。本研究の前課題(2011 年度～2014 年度)³⁾において、夏季は成層化して表層よりも 10 m 層付近で内部生産が活発であることが予想されており、表層ではなく 10 m 層付近であれば Chl a が高い値を示すと考えられる。冬季においては、鉛直混合により植物プランクトンや栄養塩類が拡散し、表層でも Chl a が高い値となる場合があると考えられる。Chl a については、より詳細な検討が必要である。

有機物の状態は、COD に対する D-COD、P-COD の割合、TOC に対する DOC、POC の割合から、ともに溶存態有機物が多いことが分かる。また、懸濁態有機物は、90 m 層では夏季においても低い値となっていることから、90 m 層まで沈降する前に大部分が分解されていると考えられる。

今回の調査では、季節、採水層での相違は見られたものの、地点間の相違は見られなかった。

2. 6 海域版 BOD

本来、BOD は海域では用いられないが、生物学的に分解しやすい有機物（以下、易分解性有機物という）量や、有機物の分解により発生する貧酸素水塊の潜在性を簡易的に評価するため、海域版 BOD の測定法の検討を行った。溶存酸素の消費日数は、河川、工場排水と同様の 5 日間に加え、

表 2 夏季及び冬季の基準点 1, 2 における海域版 BOD の測定結果

地点名	採水層	季節	採水年月	BOD (mg/L)				塩化物イオン (mg/L)
				3 日	5 日	7 日	14 日	
基準点 1	0.5 m (表層)	夏季	2014/11/5	-	0.7	-	0.7	17900
			2015/9/8	0.9	1.4	1.6	2.6	15000
			2016/9/26	0.6	0.9	1.2	1.8	17200
		冬季	2015/1/13	-	-	<0.5	<0.5	18800
			2016/1/5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7	18500
			2017/1/16	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	18700
	90 m	夏季	2014/11/5	-	0.5	-	0.5	-
			2015/9/8	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	-
			2016/9/26	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	-
		冬季	2015/1/13	-	-	<0.5	<0.5	-
			2016/1/5	<0.5	0.5	0.6	0.7	-
			2017/1/16	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	-
基準点 2	0.5 m (表層)	夏季	2014/11/5	-	0.9	-	1.2	6720
			2015/9/8	<0.5	0.6	0.6	1	2070
			2016/9/26	0.8	1.2	1.5	1.9	16500
		冬季	2015/1/13	-	-	<0.5	<0.5	9280
			2016/1/5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	16800
			2017/1/16	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	16900
	90 m	夏季	2014/11/5	-	<0.5	-	<0.5	-
			2015/9/8	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	-
			2016/9/26	<0.5	<0.5	0.5	0.7	-
		冬季	2015/1/13	-	-	<0.5	<0.5	-
			2016/1/5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	-
			2017/1/16	<0.5	<0.5	0.5	0.7	-

最小で3日間から最大で14日間を設定した。測定結果は表2に示す。BODは、上述のCOD関連項目と同様の傾向となっており、夏季の表層で高く、夏季の90 m層、冬季の表層及び冬季の90 m層は、7日間の測定ではほとんどが0.5 mg/L未満となる。つまり、夏季の表層において易分解性有機物が比較的多く存在していると考えられる。2015年9月の表層は、表1のCOD等からBODが高くなることが予想されたが、低い値となった。これは、塩化物イオン濃度が極端に低いことから、河川から流入する淡水によってBODが低くなったと考えられる。CODと比較し、海域版BODは内部生産による有機物をより反映していると言える。

海域版BODは、5日間や7日間の測定では0.5 mg/L未満であっても、14日間まで経過すると大部分が0.5 mg/L以上となってくるが、採水層、季節に関わらず、BODは日数の経過に伴い直線的に上昇し、また、3日間の測定で0.5 mg/L未満の場合の14日間の測定結果も0.5 mg/Lに近い値のため、3日間の時点で簡易的な評価が可能であると考えられた。夏季の易分解性有機物は、夏から秋頃の比較的浅い層での貧酸素水塊(DO 4 mg/L未満)の形成に寄与すると推察できることから、海域BODが有益な指標となる可能性があり、今後も検討が必要である。

3 湾奥部基準点3、監視点ト、西桜島水道北における調査結果について

3.1 調査時期

2015年度、2016年度の常時監視時(奇数月)に、年6回実施した。

3.2 調査地点

調査地点は、基準点3、監視点ト、さらに、公共用水域常時監視の調査地点ではないものの、湾央部との海水交換の状況を確認する地点として西桜島水道北を調査地点として加えた(図2)。基準点3は湾奥部の中央に位置する水深約142 mの地点で、監視点トは水深約200 m、西桜島水道北は水深約106 mの地点となっている。

3.3 調査項目

塩分、水温、DO、T-N(全窒素)、D-TN(溶存態窒素)、NO₃-N(硝酸態窒素)、NO₂-N(亜硝酸態窒素)、NH₄-N(アンモニア態窒素)、Chl a

3.4 調査方法

塩分、水温、DOは、多項目水質計(Hach Hydrolab, DS5)を使用し、船上から海中に垂下して表層から海底まで、5秒毎に測定した。

窒素試料については、基準点1、2と同様に、表層水はバケツ、その他の層はバンドーン採水器を用いて採水した。採水試料は冷蔵保管し、翌日から分析を行った。窒素の分析は、オートアナライザー(ビーエルテック、QuAAtro)を使用した。硝酸態窒素(NO₃-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)は、採取海水をガラス繊維フィルターGC-50でろ過し、ろ過した海水(以下、ろ過海水という)を測定に用いた。溶存態窒素(D-TN)は、ろ過海水、全窒素(T-N)は、採取海水に、ペルオキシ二硫酸カリウム液を添加後、オー

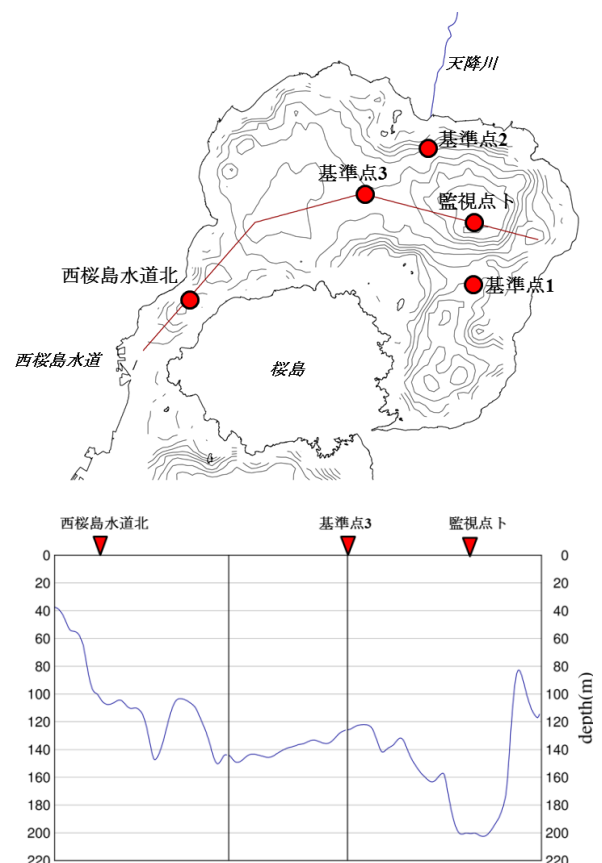


図2 調査地点及び断面図※2

トクレーヴ処理したものを測定に用いた。Chl a は、ガラス繊維フィルターGF/C で採取海水をろ過し、アセトン抽出を行い、分光光度計（HITACHI, U-3900）で測定した。採取海水の DO は現場で固定し、測定はヨウ素滴定法により行った。

3. 5 塩分、水温、DO の鉛直測定

2016 年 9 月，11 月，2017 年 1 月の 3 地点における水温，DO の鉛直測定について，図 3 に示す。2016 年 9 月は，表層が低塩分，高水温となっている。塩分は，100 m 層付近まで，約 30.5 から約 34 まで緩やかに上昇し，水温は，約 27℃から約 17℃まで低下している。DO は，植物プランクトンの光合成もあり，表層付近で約 7～8 mg/L になっているが，20 m 層付近では 4 mg/L 程度まで低下している。これらは，植物プランクトンの増殖が表層付近で活発であり，同時に植物プランクトンの

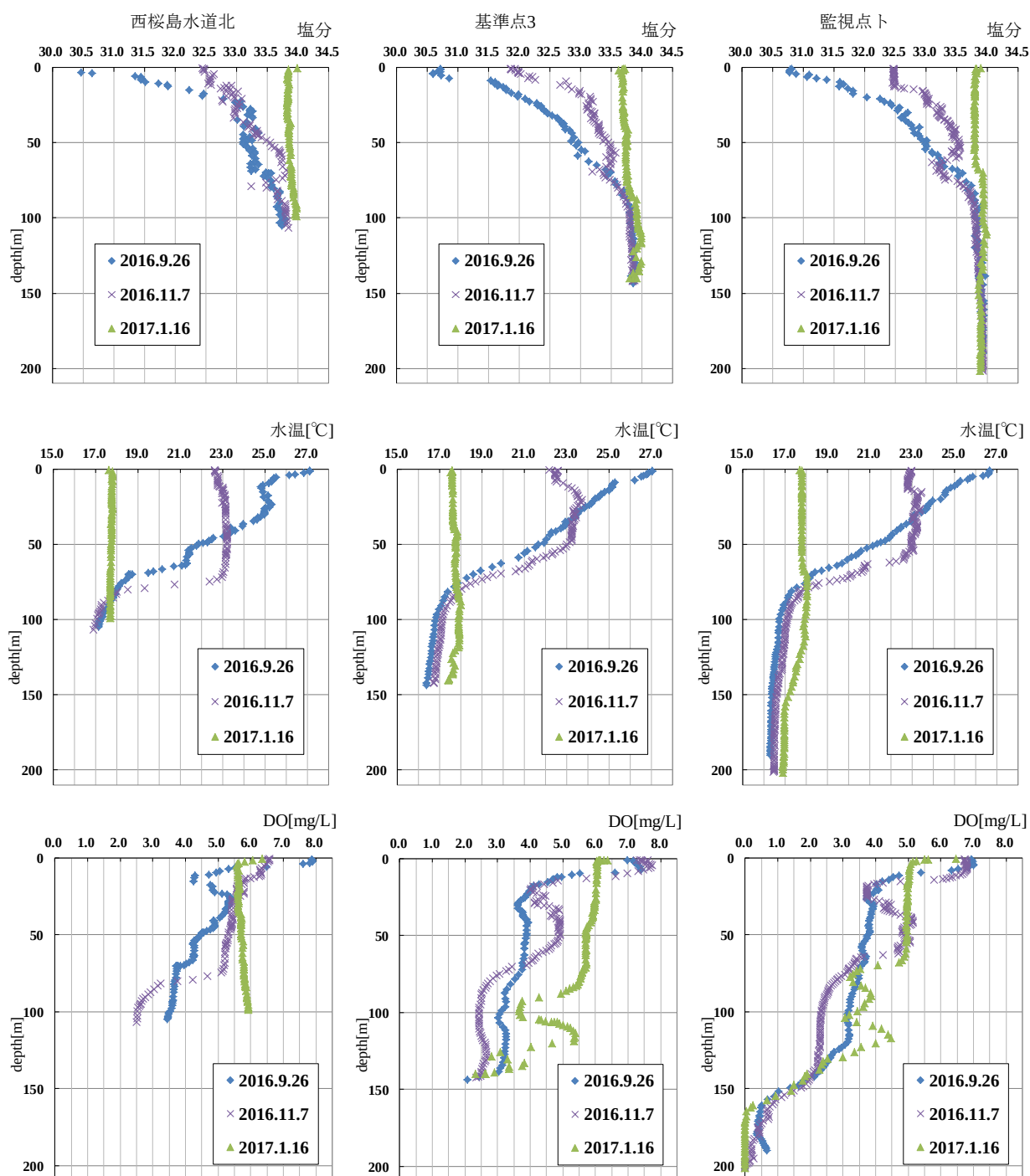


図 3 塩分，水温，DO の鉛直分布

死滅、沈降が起こり、その分解等による酸素消費の影響が 20 m 層付近で大きくなっているものと考えられる。また、下層に向かって、DO は減少していく傾向にあり、監視点トでは 150~200 m 層が 1 mg/L 未満になっていた。なお、西桜島水道北は 25 m 付近で DO が上昇し、塩分、水温にも変化が見られた。

2016 年 11 月は、各地点とも表層の水温低下に伴い、上層で鉛直循環が生じてくると考えられる。西桜島水道北を見ると、塩分は降水量の減少等により表層が約 32.5 まで上昇したと考えられ、水温は 75 m 層付近まで約 23℃となり、鉛直循環の影響によりはっきりとした躍層が見られる。基準点 3 と監視点トにおいては、50 m 層付近まで水温の変化が小さく表層の塩分はそれぞれ 32~32.5 程度まで上昇している。DO については、西桜島水道北は水温と同様に 75 m 層付近で躍層が見られ、鉛直循環によって DO が上昇していると考えられる。一方、基準点 3、監視点トは、9 月の西桜島水道北で見られるような DO の変化が見られ、40~60 m 層付近で 9 月よりも DO が上昇していた。

2017 年 1 月は、上層から下層までの塩分、水温の変化が小さくなり、鉛直循環がより下層まで生じていると考えられる。西桜島水道北は、DO についても表層から底層まで約 5.5~6.0 mg/L となっており、表層から底層までの全層の循環が生じていると考えられる。一方、基準点 3 は

80 m 層付近、監視点トは 70 m 層付近までが鉛直循環により混合されていると思われる。また、基準点 3 は 100 m~底層付近、監視点トは 80~130 m 層付近で DO の変化が見られた。変化がある層においては、DO が上昇すると多項目水質計で Chl a が検出されていた。いずれの地点でも透明度は 12~13 m であり有光層ではないと考えられることから、これらの層では光合成は行われていない。西桜島水道からの比較的上層の DO、植物プランクトンが、これらの層に水平方向に流入したため、Chl a が検出されたものと推察される。9 月、11 月の DO の変化も、同様な流入によるものと推察される。つまり、9 月から 1 月にかけて、表層から下層に向かって水温が低下、密度が上昇していくにしたがって鉛直循環がより下層まで生じ、鉛直循環が生じていない安定した層の上に西桜島水道からの水平方向の流入の影響が見られる⁴⁾と考えられる。また、前課題では 3 月までに湾央部から下層への水塊の流入により、監視点トの底層まで、DO の回復がみられたが、今回の調査では、底層の DO が回復していないことから、引き続き、DO 等変動を把握し、さらなる解析等を行う必要がある。

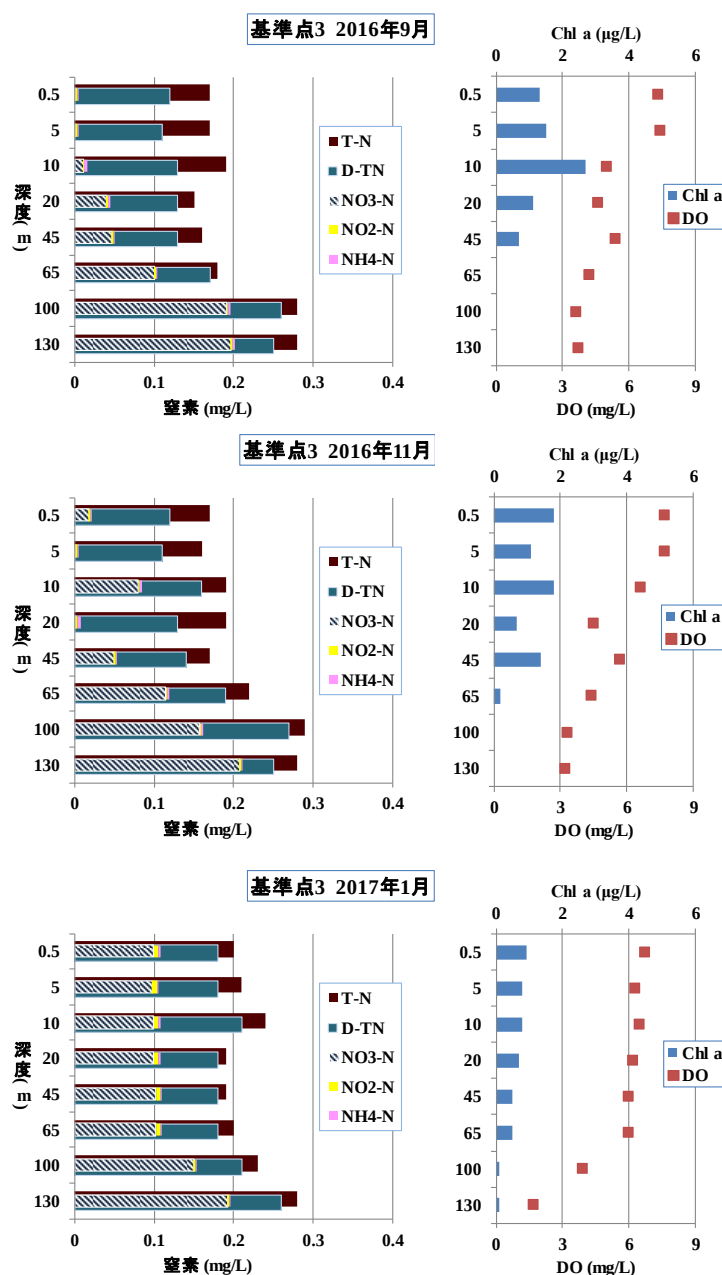


図4 基準点3における窒素、DO、Chl a 測定結果

3. 6 栄養塩類等

採水層の多い基準点3について、2016年の9月、11月、2017年1月の窒素、DO、Chl aの測定結果を図4に示す。窒素については、全窒素に占める無機態窒素の比率が9月、11月は1月に比べて低い傾向を示した。無機態窒素は栄養塩として降雨の影響により河川から流入し供給されるが、表層付近は植物プランクトンの増殖により、無機態窒素が取り込まれていると考えられ、全窒素に占める懸濁態の窒素の比率が多くなっている。9月、11月は、45 m層まではChl aが高く、65 m層付近からはほぼ見られなくなっている。1月になると鉛直循環により65 m層までほぼ均一な水質になっていると考えられ、このことは多項目水質計によるDOの結果とも一致している。100 m層、130 m層は、9月、11月と同様に全窒素に占める無機態の比率が高く、栄養塩が豊富に存在している。また、栄養塩の増加に従い、DOは減少している。これは、底層からの栄養塩の溶出に加え、上層から沈降する植物プランクトン等由来の有機物が、酸素を消費しながら分解され、上層で植物プランクトンに取り込まれた無機態窒素は、下層で植物プランクトンの分解によって供給されることによると推察される。

4 まとめ

基準点1、2の水質調査において、有機物指標として、COD関連項目、海域版BODの解析を行った。いずれも夏季の表層で高く、水温が高い時期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を反映していると考えられた。一方、90 m層は季節間の違いは無く低い値になり、有機物の大部分が分解されていると考えられた。なお、海域版BODは現在の方法の3日間測定で評価可能と考えるが、DO消費は少なく、今後も条件検討が必要である。

基準点3、監視点ト、西桜島水道北の調査では、多項目水質計による鉛直測定を行い、塩分、水温、DOの解析を行った。湾奥部は夏季の表層付近が低塩分、高水温となっているが、冬季に至るまでに塩分の上昇、水温の低下が見られた。11月から1月にかけて鉛直循環の層が下がり、DOについては、鉛直循環のない安定した層の上に湾中央部からの水平方向の流入による影響を受けることが示唆された。基準点3においては、栄養塩として窒素について各態を含めて解析を行った。表層付近の無機態窒素は、植物プランクトンの増殖により夏季に少なく、また、下層に向かって増加していく傾向があり、DOとの負の相関が見られた。

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～No.1-6（2016）
- 2) 鹿児島県水産技術開発センター；鹿児島湾貧酸素情報 N0.1～No.4（2016）
- 3) 貴島宏，他；鹿児島湾湾奥部における水質調査結果について，Ⅱ型共同研究報告書（2015）
- 4) 東海大学出版会；日本全国沿岸海洋誌，783-785（1985）

※1 国土地理院「国土数値情報」をもとに作成

※2 国土地理院「国土数値情報」，日本海洋データセンター「500 m メッシュ水深データ」をもとに作成

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
 国立研究開発法人 国立環境研究所 牧 秀明

参加機関および参加者

宮城県保健環境センター	千葉文博, 佐藤 優, 福地信一
仙台市衛生研究所	白寄りか, 佐藤津子, 東海敬一, 毛利淳子
仙台市環境局環境部環境対策課	奈良美穂 (※平成 26 と 27 年度参加)
山形県環境科学研究所	和田章伸, 田中恵子
新潟県保健環境科学研究所	小野香南子, 高橋みや子, 土田智宏
新潟市衛生環境研究所	藤田裕美, 真田和衛, 大野耕栄, 立川正幸, 阿部秀人, 松田哲明
千葉県環境研究センター	横山智子, 行方真優, 本田恵理, 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, 橋本旬也, 石井裕一, 和波一夫
川崎市公害研究所	佐々田丈瑠, 古川功二, 小林弘明, 間仲利樹 (※平成 26 と 28 年度参加)
静岡県環境衛生科学研究所	後藤裕康, 内山道春, 山内 悟
富山県環境科学センター	藤島裕典
石川県保健環境センター	安田能生弘, 亀井とし, 清水隆二
京都府保健環境研究所	中居千和, 蒲 敏幸, 田邊義浩, 田中豊稔, 木南敬之
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, 小西弘和, 玉澤光久
公益財団法人 ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター	宮崎 一, 松林雅之
広島県立総合技術研究所保健環境センター (※平成 28 年度のみ参加)	小田新一郎, 後田俊直, 濱脇 亮次
徳島県立保健製薬環境センター	山本昇司, 管生伸矢
高知県環境研究センター	田嶋 誠, 刈谷玲菜, 大森真貴子
福岡市保健環境研究所	新田千穂, 上尾一之, 清水徹也, 谷口勝彦
長崎県環境保健研究センター	粕谷智之
宮崎県衛生環境研究所	赤崎いずみ, 中村公生, 島田玲子
鹿児島県環境保健センター	右田裕二, 羽子田真吾

2. 成果発表

2.1 誌上発表

1. 赤崎いずみ，立山諒，三坂淳一，溝添光洋，河野通宏，坂元勇太，中村公生，黒木泰至（2013）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年報 第 25 号（平成 25 年度）p69-73
2. 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 データの解析 東京都環境科学研究所 2014 年年報 p94
3. 田嶋誠，西山泰彦（2014）高知県沿岸の閉鎖性水域における多項目水質計を用いた鉛直分布測定結果と COD 等の関連項目について 高知県環境研究センター所報 第 30 号
4. 千葉文博，福地信一，牧秀明，波岡陽子，赤崎千香子，佐藤千鶴子，泉澤啓（2015）宮城県沿岸閉鎖性海域における貧酸素水塊発生状況の把握（第 1 報） 宮城県保健環境センター年報 第 33 号
5. 環境科学課水質担当（2015）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，40，p189-191.
6. 安藤晴夫（2016）東京湾の水質と赤潮，底層 DO および透明度の長期変化．水環境学会誌，第 39 巻，第 5 号，p169-173
7. 千葉文博，福地信一，牧秀明，波岡陽子，赤崎千香子，佐藤千鶴子，佐藤重人（2016）宮城県沿岸閉鎖性海域における貧酸素水塊発生状況の把握（第 2 報） 宮城県保健環境センター年報 第 34 号 p61-64
8. 粕谷智之（2016）大村湾における底層溶存酸素量の変遷と改善に向けた取り組み．水環境学会誌，39 巻，第 5 号，p178-183
9. 真田和衛，松田哲明，大野耕栄，立川正幸（2016）新潟市沿岸海域における水質の現状 新潟市衛生環境研究所年報（第 40 号）p92-98
10. 松田哲明，真田和衛，立川正幸，小林秀昭（2016）新潟市沿岸海域における水質の現状と汚濁要因について 全国環境研会誌（第 41 号）p2-7
11. 環境科学課水質担当（2016）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，41，p117-120.
12. 新田千穂，谷口勝彦，上尾一之（2017）博多湾における貧酸素水塊及び栄養塩類等に関する実態調査 福岡市保健環境研究所報，42，p70-82
13. 白寄りか（2017）仙台湾沿岸における貧酸素水塊の発生状況について 仙台市衛生研究所報（平成 28 年度），46，p101-109

2.2 学会・集会等における口頭・ポスター発表

1. 中村心一（2014）閉鎖性海域大村湾及びその流域における溶存有機物に関する研究 平成 26 年度長崎県環境保健研究センター研究発表会

2. 宮崎一，松林雅之，藤森一男（2014）人工干潟における無機栄養塩類の生成 第 29 回全国環境研協議会東海・近畿・北陸支部研究会講演要旨集 p.29
3. 千葉文博（2015）閉鎖性海域における貧酸素水塊発生状況の把握 第 30 回宮城県保健環境センター研究発表会
4. 蒲敏幸，田邊義浩，田中豊稔（2015）京都府北部閉鎖性海域における貧酸素水塊発生について 第 30 回全国環境研究所交流シンポジウム
5. 上尾一之（2015）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 第 30 回全国環境研究所交流シンポジウム
6. 和田章伸，佐藤勉（2015）酒田港及び山形県沿岸海域における DO 鉛直測定と COD 関連項目の測定結果について 第 30 回全国環境研究所交流シンポジウム
7. 和田章伸，佐藤勉（2015）酒田港及び山形県沿岸海域における DO 鉛直測定と COD 関連項目の測定結果について 平成 26 年度山形県環境関係業務報告会
8. 牧秀明（2015）環境部局による海域の調査研究の在り方について，第 42 回環境保全・公害防止研究発表会特別講演，12 月，東京
9. 横山智子，飯村晃，行方真優（2016）東京湾における水質分布の三次元的・年間変動について 第 50 回日本水環境学会年会（ポスター発表）講演要旨集 p521
10. 安藤晴夫，牧秀明，和波一夫，石井裕一，風間真理，橋本旬也（2016）東京都の沿岸海域における DO の鉛直分布について．第 50 回日本水環境学会年会，同講演要旨集，p519
11. 飯村晃，横山智子，行方真優（2016）千葉県が行っている東京湾調査について 平成 27 年度全国環境研協議会日本水環境学会年会併設研究集会
12. 福岡市保健環境研究委員会環境部会における発表（2016）
13. 橋本旬也，石井裕一，安藤晴夫，木瀬晴美，齋藤由美（2016）東京都内湾で発生する赤潮・貧酸素水塊の実態調査 平成 28 年度全国環境研協議会関東甲信静支部水質専門部会
14. 小野純子，矢吹芳教，中嶋昌紀（2016）大阪湾における貧酸素水塊の発生に関する研究－海水中における DO 消費率の測定の試み 2－水環境学会関西支部第 7 回研究発表会
15. 牧秀明（2016）沿岸海域環境における調査研究の在り方，平成 28 年度 沿岸環境関連学会連絡協議会ジョイントシンポジウム，12 月，大阪 講演要旨集 p121.
16. 佐藤優（2016）県内閉鎖性海域における貧酸素水塊発生状況の把握，第 42 回全国環境研協議会北海道・東北支部研究連絡会議 一般研究発表会
17. 安藤晴夫，橋本旬也，石井裕一，風間真理（2017）東京都内湾における赤潮プランクトンの出現状況の長期的推移 第 51 回日本水環境学会年会（ポスター発表），同講演要旨集，p506
18. 藤島裕典，武藤章裕，藤沢弘幸（2017）富山湾沿岸部の水質環境－富山湾沿岸部での CTD 観測結果と表層の水質－ 第 51 回水環境学会年会講演要旨集 p102

19. 小野純子，矢吹芳教，秋山諭，中嶋昌紀（2017）大阪湾における海水の酸素消費速度と有機物濃度との関係 水環境学会年会講演要旨集 p400
20. 田中恵子（2017）Ⅱ型共同研究（山形県沿岸海域における鉛直 DO 及び COD 関連項目測定）の結果について 平成 28 年度山形県環境関係業務報告会

2.3 その他の発表等

1. 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.
2. 中村心一（2014）大村湾に残る分解されにくい有機物. 長崎新聞「研究所から」

2.4 各自治体に対する情報提供や貢献

1. 福岡市環境局保健環境研究所
 - ・「平成 27 年 博多湾関係の調査情報交換会」での情報提供
 - ・「博多環境保全計画推進委員会」への資料提供
2. 新潟市衛生環境研究所
 - ・「新潟市沿岸海域における水質の現状と汚濁調査について」新潟市環境部環境対策課で発表
3. 仙台市衛生研究所
 - ・仙台市環境局環境部環境対策課への仙台湾底層 DO 等のデータ提供
 - ・仙台市環境基本計画「杜の都環境プラン」の主要な環境施策として取組み状況の報告
4. 新潟市衛生環境研究所
 - ・新潟市環境部環境対策課と要望等の意見交換