

博多湾における栄養塩等に関する調査

環境科学課 生物担当

1 はじめに

全国の内湾や湖沼等の閉鎖性水域での水質改善は未だ十分ではない状況にあり、水域によっては、貧酸素水塊の発生等により水生生物の生息や水利用等に障害が生じている状況にある¹⁾。こうした中、環境省はより国民の実感にあった分かりやすい指標として、平成 28 年 3 月に底層溶存酸素量を生活環境項目環境基準として設定した。

閉鎖性の高い博多湾においては、例年、夏季に湾奥部や沿岸域等で貧酸素水塊（溶存酸素量（以下、DO とする。）=3.6 mg/L 以下の「貧酸素状態」にある水塊。）が発生し²⁾、生物の生息・生育に影響を及ぼしている。さらに、夏季の降雨による栄養塩類供給量の増加に伴う赤潮発生等で有機物汚濁が助長され、全窒素 (T-N) 及び全リン (T-P) は環境基準をほぼ達成しているものの、COD の環境基準は一部の海域で達成していない²⁾。

これらの現状を踏まえ、博多湾の栄養塩状態を把握し、貧酸素水塊生成要因に関する知見を得るため、福岡市保健環境研究所は地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所の共同研究（Ⅱ型共同研究）「海域における水質管理に係わる栄養塩・底層溶存酸素状況把握に関する研究（平成 29～31 年）」に参加し調査を行っており、その一環として、貧酸素水塊の発生頻度が高い博多湾海域（中部海域及び東部海域）において栄養塩類の測定や有機物関連項目を測定し、水質状況の把握を行った。

2 調査方法

2.1 調査地点

例年、貧酸素水塊の発生が確認されている、博多湾の中部海域 C-10 及び東部海域 E-X1 の 2 地点を選定し調査を行った（図 1）。なお、生物化学的酸素要求量 (BOD) については、この 2 地点に中部海域 C-1 を加え、3 地点について測定を行った。中部海域の平均水深は 8.5 m、東部海域の平均水深は 6.6 m である²⁾。C-10 及び C-1 は公共用水域常時監視点（環境基準点）で、E-X1 は補助地点である。水質環境基準生活環境項目の類型は、中部海域が A 類型（COD 2 mg/L 以下、T-N 0.6 mg/L 以下、T-P 0.05 mg/L 以下）、東部海域が B 類型（COD 3 mg/L 以下、T-N 0.6 mg/L 以下、T-P 0.05 mg/L

以下）である。



図 1 調査地点

2.2 調査項目

2.2.1 栄養塩類及び COD 関連項目

各調査地点の表層（海面下 0.5 m）と底層（海底上 1.0 m）について、バンドーン採水器を用いて採水を行った。採取した海水はその日のうちに分注・ろ過を行った。ろ紙は、事前に 450℃で 1 時間焼成処理したガラス繊維フィルターを使用した。分注・ろ過した試料・フィルター類は冷凍し、一連の分析を担当する国立環境研究所に送付した³⁾。試料を分注したものは COD の分析に、ろ液は溶存性の COD (D-COD) と有機炭素 (DOC)、全窒素 (DTN)、全リン (DTP)、硝酸性窒素 (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)、クロロフィル a (Chl-a) の分析に用いた。Chl-a 分析用には 47 mmGF/C、POC 分析用には 25 mmGF/C を使用した。懸濁性 COD (P-COD) は COD と D-COD の差から求めた。なお、令和元年度の COD 及び D-COD の値は、博多湾公共用水域常時監視データを用いた。調査は、平成 29 年度～令和元年度の夏季（7 月）及び冬季（1 月）に行った。

2.2.2 海域版 BOD

海域における酸素消費の潜在性を推定する試みとして BOD を測定した。各調査地点の表層（海面下 0.5 m）と底層（海底上 1.0 m）から採取した海水について、原液及びろ液（ガラス繊維フィルター（47 mmGF/C）でろ過したものを）をばっ気したのち、JIS K 0102 32.1 よう素滴定

法で DO を測定し、さらに 20℃で暗所に 3 日間静置した後の DO も同様に測定し、3 日間で消費された DO を BOD₃ として求めた。また、酸素消費の要因の一つとして、硝化細菌による硝化作用に伴う酸素消費量 (N-BOD) についても検討を行うため、海水原液に ATU 溶液を添加したものについても前述と同様の操作を行い、硝化作用を抑えた酸素消費量 (C-BOD) を求めた。懸濁性 BOD (P-BOD) は BOD と溶存性 BOD (D-BOD) の差から求め、N-BOD は BOD と C-BOD の差から求めた。調査は平成 29 年度～令和元年度の博多湾公共用水域調査日のうち計 17 回行った。

3 結果及び考察

3.1 栄養塩類及び COD 関連項目

各調査地点の表層及び底層における平成 29 年度～令和元年度の夏季 (7 月) 及び冬季 (1 月) の各地点の水温、塩化物イオン、DO は表 1 のとおりである^{4, 5)}。冬季には表層と底層の差はほとんどないが、夏季には水温及び塩化物イオンが表層と底層に差が生じており、底層の DO は表層に比べ、C-10 では平均 37%、E-X1 では平均 47%程度にまで低下していた。

栄養塩類の測定結果を表 2 に示す。季節別では、溶存性無機態窒素 (DIN) 及び PO₄-P (DIP) は概ね夏季のほうが低い結果となり、特に表層においてはその差は大きく、冬季に比べると夏季の値は DIN は 7~12%、DIP は 13~50%程度にまで低下していた。これは、冬季には植物プランクトンが少なく栄養塩類が消費されない一方で、夏季には表層付近で植物プランクトンが増殖し栄養塩類が消費されるため、夏季の方が低値を示したものと考えられた。地点間の比較では、特に冬季に DIN 及び DIP いずれも E-X1 の方が高くなる傾向がみられた。これは、冬季には植物プランクトンによる栄養塩の消費が少ないことに加え、E-X1 は湾奥部に位置しており海水交換が行われにくく、流域からの栄養塩類の供給の影響を受けや

すいことが要因として考えられた。

COD 関連項目の測定結果を表 3、COD 及び有機炭素の内訳を図 2 に示す。季節間の比較では概ね夏季が冬季よりも高くなる傾向がみられた。COD 及び有機炭素のうち溶存態 (D-COD, DOC) が占める割合は、夏季冬季いずれも 50%以上を占めていたが、C-10 の表層及び E-X1 の表層・底層においては、夏季に P-COD 及び POC の割合がやや高くなった。これは、Chl-a が 20~27 µg/L とやや高いことから、夏季の植物プランクトンの増殖による影響であると考えられた。E-X1 底層においては水深が浅いため、底層においても植物プランクトンの増殖の影響があったものと考えられた。図 3 に、C-10、E-X1 における COD 及び有機炭素と Chl-a の関係を示す。相関係数は 0.615~0.797 で中程度~強い正の相関が見られ、懸濁態の方がより Chl-a との相関が高かったことから、COD 及び有機炭素は植物プランクトンの増殖の影響を受けていると考えられた。

3.2 海域版 BOD

海域版 BOD の測定結果を表 4 に示す。BOD は冬季よりも夏季の方が高く、底層よりも表層の方が高い結果となった。BOD 成分をみると、D-BOD は夏季の E-X1 表層を除いて全地点で定量下限値 0.5 mg/L 未満となり、酸素消費に係る有機物は多くが懸濁態として存在していると考えられた。3.1 で述べた通り COD 及び有機炭素では溶存態が占める割合が 50%以上を占めていたことから、D-COD 及び DOC は酸素消費に関わらない難分解性のものが多く含まれている可能性が推察された。N-BOD については全地点で定量下限値 0.5 mg/L 未満となり、酸素消費に係る要因としては非常に小さいと考えられた。図 4 に BOD と Chl-a の関係を示す。通年ではいずれも Chl-a と正の相関がみられた。季節別では夏季は強い正の相関が見られる一方、冬季はほとんど相関が見られなかった。したがって、特に夏季において植物プランクトンの増殖に伴う酸素消費の影響が大きいことが考えられた。

表1 各地点における過去3年間の夏季(7月)及び冬季(1月)の水温, 塩化物イオン及びDO

		水温(°C)		塩化物イオン(mg/L)		DO(mg/L)		
		夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	
C-10	表層	H29年度	27.0	9.2	14800	18600	9.1	8.9
		H30年度	29.2	10.0	13300	18100	11	9.9
		R1年度	23.8	11.3	16300	17300	8.8	8.2
	底層	H29年度	25.2	9.4	18100	18500	3.6	8.9
		H30年度	23.2	11.5	17700	18600	2.9	9.1
		R1年度	22.7	12.2	17200	17600	4.0	8.3
E-X1	表層	H29年度	27.2	8.4	16000	17100	8.3	9.2
		H30年度	28.9	9.9	14000	17800	11	10
		R1年度	24.1	10.9	15400	16800	10	8.1
	底層	H29年度	26.4	8.4	16800	17600	4.9	9.1
		H30年度	23.4	9.8	17000	18000	5.5	10
		R1年度	23.1	11.2	16800	17100	3.2	8.2

表2 栄養塩類測定結果(平成29年度~令和元年度の平均値)

表層 (mg/L)							
地点	時季	DIN		DTN	DIP		SiO ₂
		(NO ₃ -N+NO ₂ -N+NH ₄ -N)			(PO ₄ -P)		
C-10	夏季	0.049		0.434	0.006	0.029	0.60
	冬季	0.413		1.003	0.012	0.033	1.06
E-X1	夏季	0.052		0.467	0.004	0.027	0.35
	冬季	0.720		1.602	0.030	0.066	1.55
底層 (mg/L)							
地点	時季	DIN		DTN	DIP		SiO ₂
		(NO ₃ -N+NO ₂ -N+NH ₄ -N)			(PO ₄ -P)		
C-10	夏季	0.141		0.491	0.011	0.032	1.58
	冬季	0.274		0.754	0.009	0.025	0.76
E-X1	夏季	0.137		0.549	0.009	0.030	1.01
	冬季	0.620		1.372	0.023	0.051	1.29

表3 COD関連項目測定結果(平成29年度~令和元年度の平均値)

表層 (mg/L, Chl-aはµg/L)									
地点	時季	COD	D-COD	P-COD		DOC+POC	DOC	POC	Chl-a
				(COD-D-COD)					
C-10	夏季	4.6	2.9	1.7		4.5	2.3	2.2	23
	冬季	2.3	1.7	0.8		2.8	1.8	0.7	5.6
E-X1	夏季	5.1	3.3	1.8		4.5	2.2	2.2	27
	冬季	2.3	2.0	0.5		2.3	1.6	0.6	4.6
底層 (mg/L, Chl-aはµg/L)									
地点	時季	COD	D-COD	P-COD		DOC+POC	DOC	POC	Chl-a
				(COD-D-COD)					
C-10	夏季	2.4	1.8	0.6		2.5	1.7	0.9	4.7
	冬季	2.1	1.8	0.4		2.0	1.4	0.5	5.9
E-X1	夏季	3.5	2.3	1.2		3.0	1.8	1.3	20
	冬季	2.2	1.8	0.5		2.1	1.6	0.5	4.1

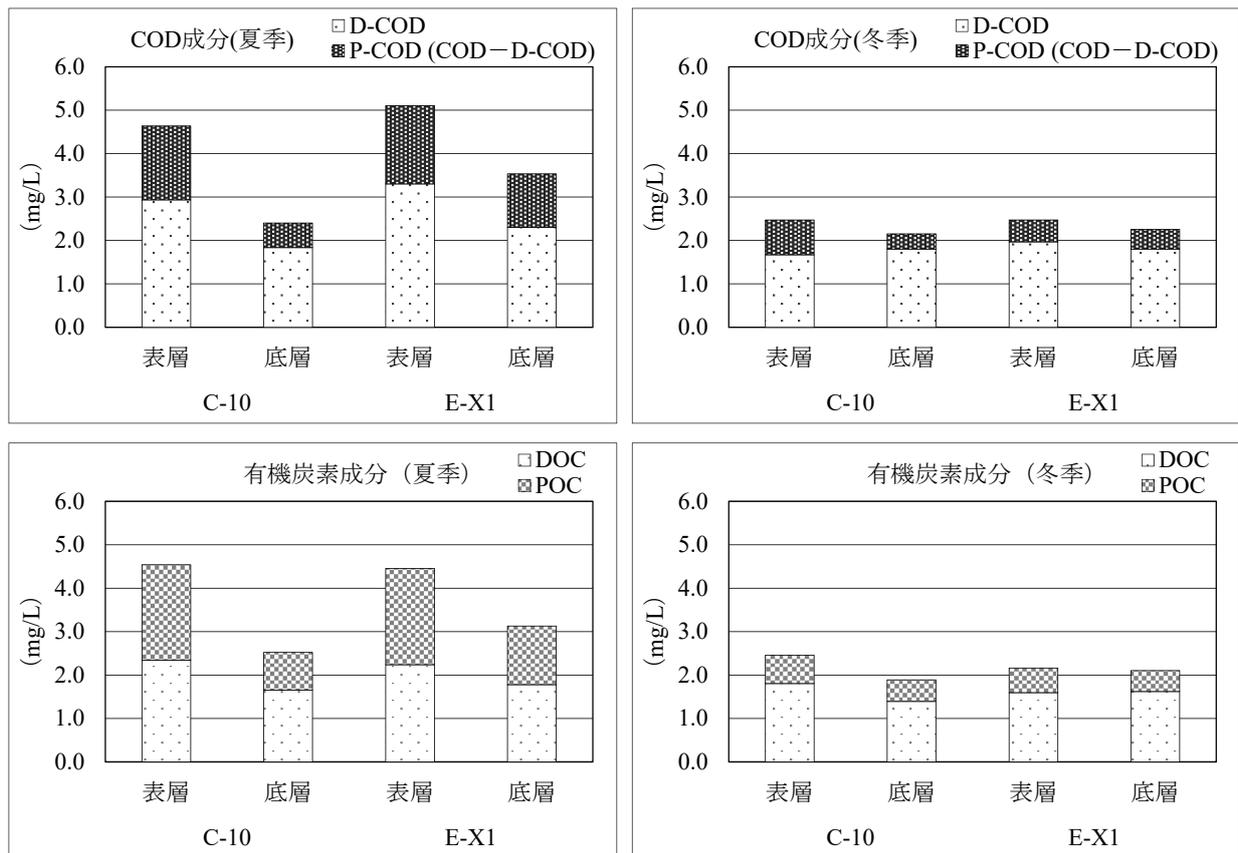


図2 COD及び有機炭素の内訳

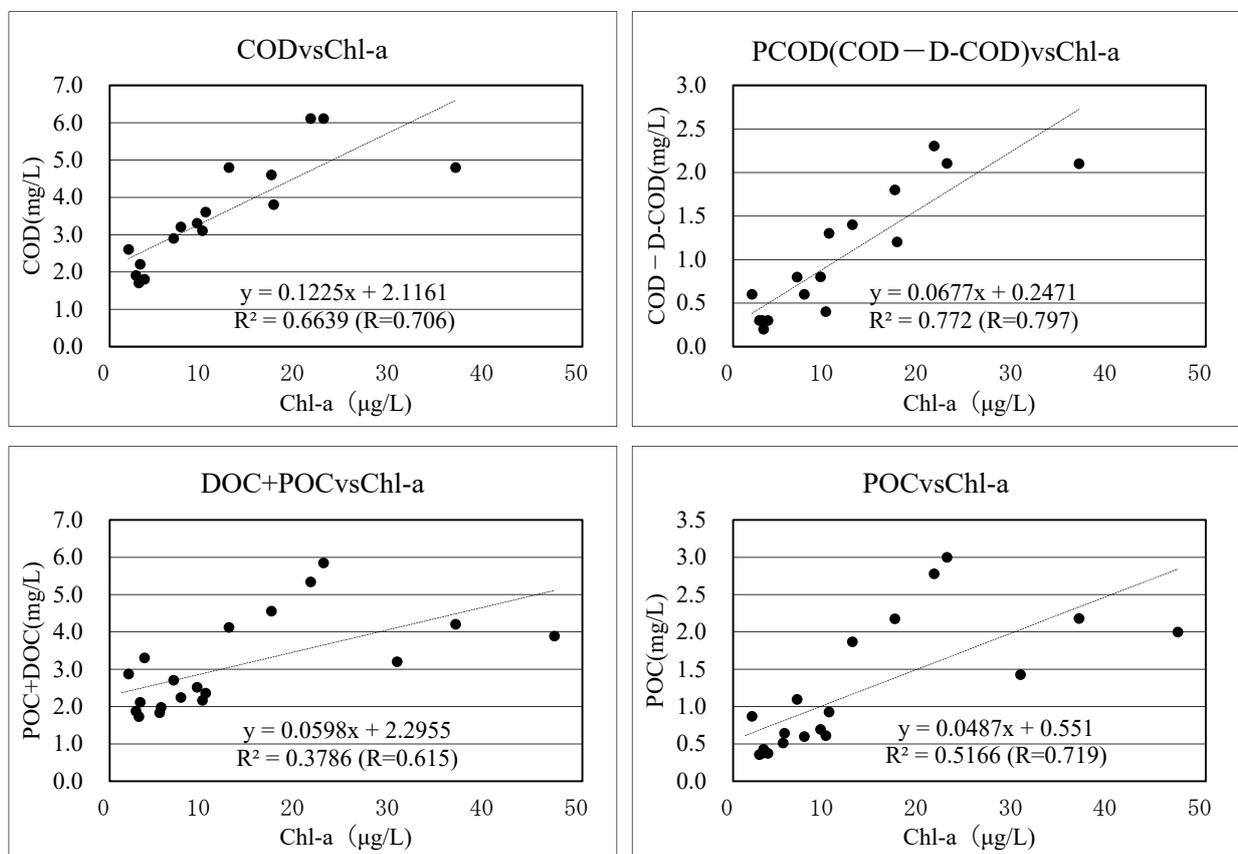


図3 C-10, E-X1におけるCOD及び有機炭素とChl-aの関係

表4 海域版BOD測定結果 (mg/L)

表層		(mg/L)					
測定地点	時季	BOD	D-BOD	P-BOD	C-BOD	N-BOD	C-D-BOD
C-1	夏季	1.6	<0.5	1.1	1.3	<0.5	<0.5
	冬季	1.0	<0.5	0.8	0.8	<0.5	<0.5
C-10	夏季	2.2	<0.5	1.8	1.7	<0.5	<0.5
	冬季	0.8	<0.5	<0.5	0.9	<0.5	<0.5
E-X1	夏季	1.8	0.9	1.0	2.5	<0.5	0.8
	冬季	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5

底層		(mg/L)					
測定地点	時季	BOD	D-BOD	P-BOD	C-BOD	N-BOD	C-D-BOD
C-1	夏季	0.7	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5
	冬季	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5
C-10	夏季	0.8	<0.5	0.6	0.7	<0.5	<0.5
	冬季	0.7	<0.5	0.6	0.6	<0.5	0.5
E-X1	夏季	0.9	<0.5	0.6	1.1	<0.5	<0.5
	冬季	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7

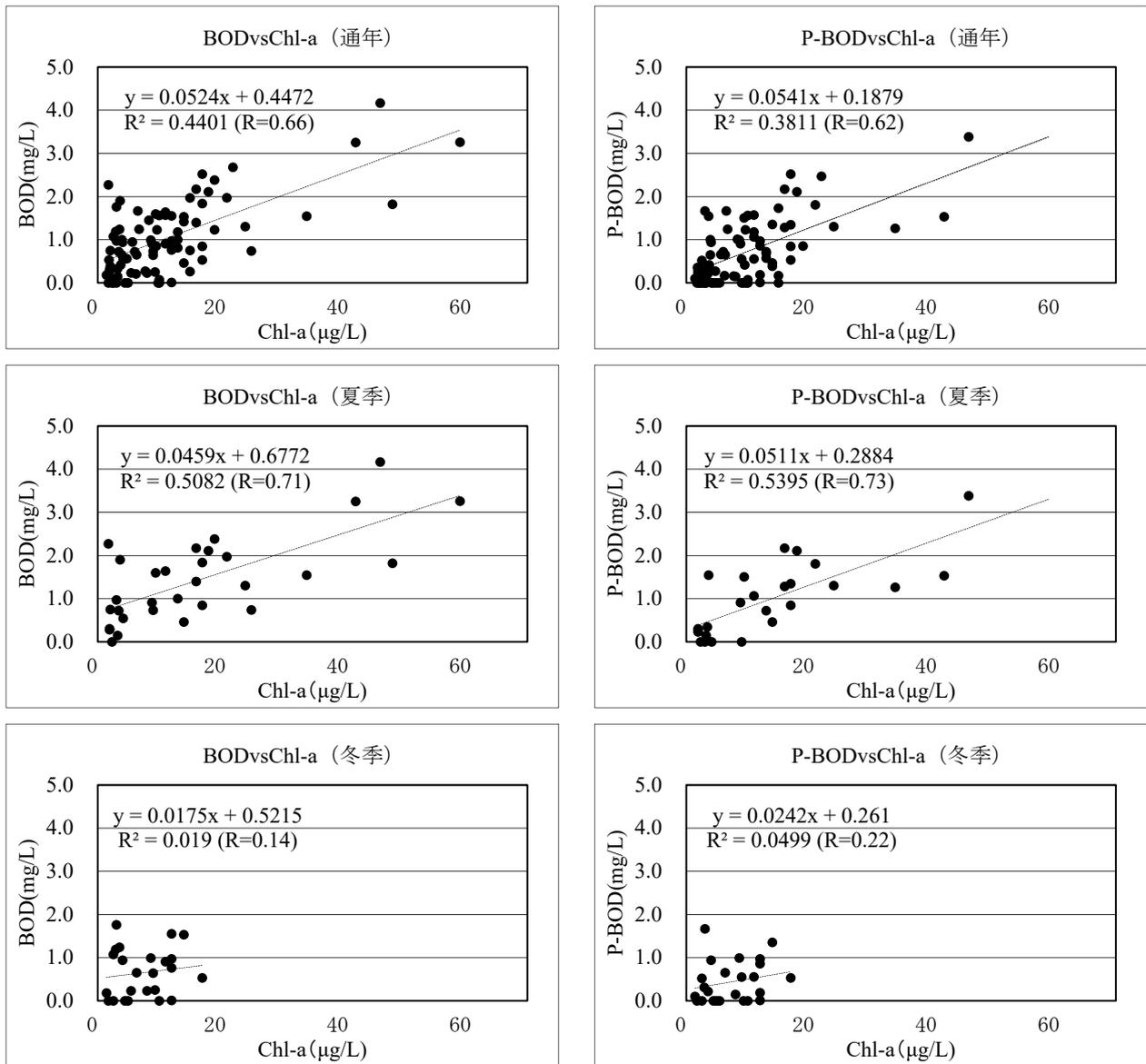


図4 BOD及びP-BODとChl-aの関係

4 まとめ

貧酸素水塊の発生頻度が高い博多湾海域（中部海域及び東部海域）において栄養塩類や有機物関連項目を測定し、水質状況の把握を行った。

栄養塩類の状況については、季節別では、DIN 及び DIP は概ね夏季のほうが低い結果となり、特に表層においてその差は顕著であった。これは、夏季の植物プランクトン増殖に伴う栄養塩類消費が要因として考えられた。地点別では、特に冬季に DIN 及び DIP いずれも E-X1 の方が高くなる傾向がみられた。これは、E-X1 は湾奥部に位置するため、海水交換が行われにくく、流域からの栄養塩類の供給の影響を受けやすいことが要因として考えられた。

COD 関連項目については、季節別でみると概ね夏季が冬季よりも高くなる傾向がみられた。COD 及び有機炭素と Chl-a には中程度～強い相関がみられ、植物プランクトンの増殖の影響を受けていると考えられた。海域版 BOD については、季節別では冬季よりも夏季の方が高く、底層よりも表層の方が高い結果となった。D-BOD は夏季の E-X1 表層を除いて全地点で定量下限値 0.5 mg/L 未満となったことから、酸素消費に係る有機物は多くが懸濁態として存在していると考えられ

た。一方で、COD 及び有機炭素では溶存態が占める割合が 50%以上を占めていたことから、D-COD 及び DOC は酸素消費に関わらない難分解性のものが多く含まれている可能性が推察された。BOD と Chl-a の関係を季節別では夏季に強い正の相関があったことから、特に夏季において植物プランクトンの増殖に伴う酸素消費の影響が大きいと考えられた。

文献

- 1) 環境省中央環境審議会：水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて（答申），平成 27 年 12 月
- 2) 福岡市環境局：博多湾環境保全計画（第二次），平成 28 年 9 月
- 3) 牧英明：茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類と COD に関連する有機物項目（第 3 報）と有機態窒素の分解性の東京湾との比較，II 型共同研究報告書
- 4) 福岡市環境局：福岡市水質測定結果報告書（2017 年度～2018 年度），2018～2019
- 5) 福岡市環境局：博多湾と河川の水質・底質の状況（速報），福岡市ホームページ