

資料

広島湾沿岸域におけるBOD₃の長期変動解析 —Chl-aを用いた推定手法による評価—

濱脇 亮次, 後田 俊直

Long-term variation of BOD₃ in the coastal area of Hiroshima Bay —evaluation using a chlorophyll-a-based estimation method—

HAMAWAKI Ryoji, USHIRODA Toshinao

(Received: October 22, 2025)

広島湾では毎年夏季を中心に沿岸域の底層で貧酸素水塊が形成され、生態系に深刻な影響を及ぼしている。本研究では、広島湾における有機物分解能および酸素消費特性を把握するため、1981~2023年の広域総合水質調査データを用い、クロロフィルa (Chl-a) から推定した生物化学的酸素要求量 (BOD₃) の長期変動を解析した。その結果、表層・底層ともにBOD₃の長期的な増減傾向は認められず、Mann-Kendall検定により有意な傾向は検出されなかった。このことから、過去約40年間に於いて広島湾のBOD₃はほぼ横ばいで推移し、有機物分解能やそれに関連する栄養塩負荷等は大きく変化していない可能性が示唆された。BOD₃は貧酸素水塊発生の予測や物質循環特性を把握するうえで有効な指標であり、今後も環境変動の早期把握に活用できると考えられる。

Key words : BOD, 貧酸素水塊, 広島湾, 酸素消費, Chl-a

結 言

瀬戸内海は日本最大の閉鎖性内湾であり、外洋との水交換が制限されることに加え、水深が浅く、河川分布が広範であるため、水質が人為的影響を受けやすい特徴を有している。高度経済成長期には瀬戸内海全体の水質汚染が深刻化し、「瀬死の海」と呼ばれるほど水質が悪化した。しかし、瀬戸内海環境保全特別措置法に基づく総量削減制度による富栄養化対策が進められた結果、窒素・リン濃度の低下や水質改善が認められ、赤潮の発生件数も80件/年程度で推移しており、ピーク時であった1980年代に比べると大幅に減少している [1,2]。しかし近年では、海域の基礎生産の低下に伴うノリの色落ちなど、いわゆる「貧栄養化」に伴う新たな問題も指摘されている [3,4]。

広島湾を含む瀬戸内海各地では、夏季を中心に底層の溶存酸素 (DO) が著しく低下する現象が継続的に観測されており、その範囲は湾全体に及ぶこともある [5,6]。底層DOの低下は水生生物の生息環境を悪化させるだけでなく、有害な硫化水素の発生を引き起こし、

底層生物群集や水産資源に深刻な影響を与えることが知られている [7,8]。さらに、底層DOの低下は底泥からの栄養塩溶出を促進し、再び富栄養化を引き起こす可能性も指摘されている [7]。このため、瀬戸内海の健全な海域環境を維持するためには、栄養塩管理のみならず、貧酸素水塊の発生要因となる有機物分解に伴う酸素消費ポテンシャルの把握が不可欠である。これまで酸素消費ポテンシャルに関する研究は多数行われてきたが、多くは水塊中の酸素消費要因の解明や貧酸素水塊のモデル化に重点が置かれ、化学的酸素要求量 (COD) 等の水質項目と酸素消費ポテンシャルとの直接的な関係を評価した研究は少ない。また、過去から現在に至るまでの酸素消費ポテンシャルに関する報告はほとんどない。

有機物分解に起因する酸素消費ポテンシャルを表す代表的な指標である生物化学的酸素要求量 (BOD) は、底層DOの変動機構を理解する上で重要であり、特にBOD₃は海水中の有機物性状とDO消費要因の関連を示す有用な指標として知られている [11]。しかし、BOD₃の観測データに関する報告は近年のものに限られ、過去のデータは不足している。このような状況に

において、既存のCODやTOCの長期データを活用してBOD₃を推定することができれば、過去から現在に至るまでの酸素消費ポテンシャルの長期変動を簡便に評価できる。瀬戸内海では、広域総合水質調査や公共用水域常時監視調査等の水質調査が継続的に行われており、これらの既存データを活用し、CODから酸素消費ポテンシャルを推定する既報の手法 [14] を応用すれば、過去から現在にかけてのBOD₃の長期変動を簡便かつ一貫した指標として評価することが可能となる。

本研究では、広島湾においてBOD₃を実測し、有機物関連項目であるCODおよびTOCとの関係を解析することで、酸素消費ポテンシャルの推定手法を確立し、広島湾における酸素消費ポテンシャルの長期変動とその変動要因を明らかにすることを目的とした。

方 法

広島湾は、瀬戸内海西部に位置する平均水深約30mの半閉鎖性内湾である。湾奥は広島市をはじめとする都市域に接しており、主要河川である太田川から栄養塩や有機物が供給されることが湾内水質に大きく影響する [15]。また、湾内は入り組んだ海岸線と複数の小規模港湾が存在し、水流の複雑な循環が生じることから、底層水の滞留や貧酸素水塊の形成が起りやすい。このため、夏季には湾奥部を中心に底層の溶存酸素(DO)が低下し、貧酸素水塊が形成される [5,6]。栄養塩濃度は河川から供給される有機物や底泥からの溶

出に影響を受け、窒素やリンは夏季に底層で増加する [7,16]。本研究では、広島湾内の5地点(図1)において、表層水および底層水の採水を行った。採水は2020年度から2024年度までの5年間にわたり、年4回(春季(5月)、夏季(8月)、秋季(11月)、冬季(2月))実施した(表1)。観測点は湾奥から湾口にかけて太田川の影響等を考慮して選定した。これらの地点は、いずれも広島県の公共用水域常時監視地点である(St.1:広島湾9, St.2:広島湾29, St.3:広島湾12, St.4:広島湾14, St.5:広島湾西部21)。

採水にはパンドーン採水器を用い、基本項目(水温、塩分、pH、DO)、有機物関連項目(BOD、COD、有機態炭素(TOC))、栄養塩関連項目(全窒素(TN)、全リン(TP)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、リン酸態リン(PO₄-P))を測定した。本研究は、主に有機物関連項目に着目するが、環境条件の補足やその変動要因を解明するために水温等の基本項目や窒素、リン等の栄養塩関連項目等も併せて調査した。採取試料は海洋観測ガイドライン [17]、流れ分析法による水質試験方法(JIS K 0170)、広島県公共用水域水質測定計画 [18] に準じて分析した。BOD₃は既報 [11,19] に示された方法に従い、採水当日と試験開始3日後にDOを測定し、その差からBOD₃を算出した。CODおよびTOC用試料は4℃で冷蔵保存し、24時間以内に分析を行った。溶存性COD(D-COD)、溶存性TOC(DOC)および溶存性栄養塩の測定は、450℃で1.5時間熱処理したガラス繊維ろ紙(Whatman GF/C、孔径1.2μm)を用いてろ過した試料を分析に用いた。分析にはすべて富士フイルム和光純薬(株)製の試薬を使用した。また、直接測定しない形態の炭素、窒素及びリンの測定は次の方法により算出した。粒子状有機態炭素(POC)はTOCからDOCを差し引いた値とした。粒子状有機態窒素(P_{TN})は全窒素から溶存性全窒素(D_{TN})を差し引いた値とした。溶存性有機態窒素(DON)はD_{TN}から溶存性無機態窒素(DIN=NH₄-N+NO₃-N+NO₂-N)を差し引いた値とした。粒子状有機態リン(POP)はTPから溶存性全リン(D_{TP})を差し引いた値とした。本研究における定量下限値は公共水域水質測定計画 [18] に準じた。なお、この計画におけるBODの定量下限値は0.5mg/Lであるが、海域のBOD₃はこの値を下回ることがあるため、ばつ気した飽和超純水のDOを繰り返し測定し、その標準偏差から定量下限値を求めた。

また、既報 [14] では、BODとCODにはBOD = a ·

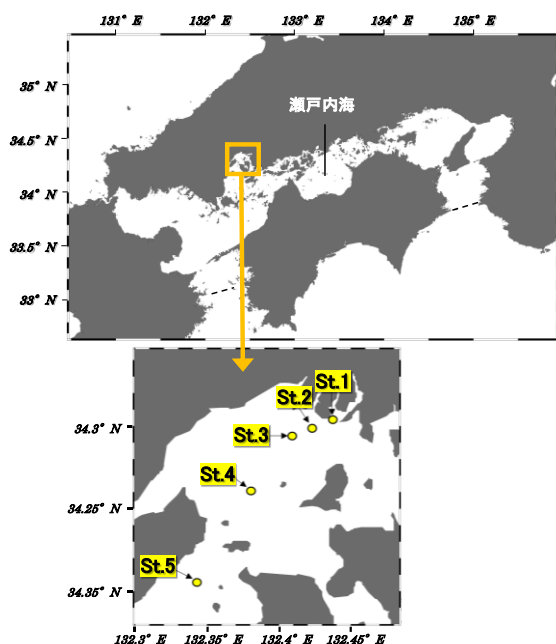


図1 広島湾における調査地点

表1 広島湾調査地点情報と調査時期

○:水質調査実施

地点	緯度	経度	層	調査年月																							
				R2				R3				R4				R5				R6							
				春季 5月	夏季 8月	秋季 11月	冬季 2月	春季 5月	夏季 8月	秋季 11月	冬季 2月	春季 5月	夏季 8月	秋季 11月	冬季 2月	春季 5月	夏季 8月	秋季 11月	冬季 2月	春季 5月	夏季 8月	秋季 11月	冬季 2月				
St.1(広島湾9)	34° 21' 12"	132° 26' 14"	上層															○	○	○	○	○	○	○	○		
			下層																	○	○	○	○	○	○	○	○
St.2(広島湾29)	34° 20' 54"	132° 25' 21"	上層																○	○	○	○	○	○	○	○	
			下層																		○	○	○	○	○	○	○
St.3(広島湾12)	34° 20' 56"	132° 24' 33"	上層	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			下層	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
St.4(広島湾14)	34° 18' 36"	132° 22' 45"	上層	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			下層	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
St.5(広島湾西部21)	34° 15' 21"	132° 20' 33"	上層	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			下層	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(COD)^b の関係式が採用されている。このことから、本研究においてもこの関係式を用い、最小二乗法によりaおよびbを算出した。また、本研究では、既報に示されたCOD以外にもBODと関連性が高いと考えられるTOCおよびChl-aを用いてBOD₃推定式の構築を試みた。

構築したBOD₃の推定式を用い、広島湾における過去の公的水質データを活用してBOD₃の長期変動を追跡した。広島湾では、広域総合水質調査や公共用水域常時監視調査等により、長期的かつ豊富な水質データが蓄積されている。本研究では、表層および底層 (B-1 m) の水質データが充実している広域総合水質調査の水質データを用い、広島湾沿岸部における過去から現在までのBOD₃の長期変動を評価するとともにその変化の要因を考察した。

結果および考察

1 広島湾の水質測定結果

2020年から2024年にかけて、広島湾内の定点において表層および底層の水質を測定した結果を表2および表3 (本調査により得られた各地点の水質データは別表1~別表4を参照) に示す。水温は明瞭な季節変動を示し、冬季には約10℃まで低下し、夏季には表層で25~29℃に達した。底層は表層よりもやや低く推移し、夏季には水温差が顕著となって強い成層が形成された。pHは年間を通じて7.8~8.3の範囲で安定しており、大きな変動は認められなかった。塩分は表層で21~32psuであり、底層は表層より高い値を示した。特に夏季には河川流入の影響により表層の塩分が低下する傾向が確認された。

DOは表層で8.0~11.0mg/L前後であったが、底層では夏季に顕著な低下が認められた。特に2023年8月

にはSt.4の底層DOが2.2mg/Lまで低下した。これは夏季の強い成層により表層から底層への酸素供給が制限され、貧酸素水塊が形成されたものと考えられる。これは、既報[6]でも示されている現象が現在も、広島湾では起こっている可能性が示唆される。Chl-aは0.4~55.7 μg/Lの範囲にあり、春から夏にかけて沿岸部表層で高濃度を示し、沖合では低い値を示した。底層では春季から秋季は概ね1~3 μg/L以下で推移したことに対し、冬季には3 μg/Lを超える地点が多く、表層より高濃度となる場合も見られた。この現象は周防灘や有明海奥部でも報告されており[22,23]、成層の崩壊に伴う鉛直混合の活発化や、季節的な水柱構造の変化、さらにプランクトンの沈降過程などが複合的に作用した結果と考えられる。

CODは0.9~9.0 mg/Lの範囲にあり、とくに一次生産が活発となる春~夏季に高濃度となった。空間分布としては沿岸表層で高く、沖合・底層にかけて低下する傾向が認められた。また、CODとChl-aの間には有意な正の相関 (r=0.78, p<0.001) が認められ、CODは広島湾における基礎生産の変動を反映する有効な指標の一つと考えられる。TOCは1.2~4.6 mg/Lの範囲にあり、CODと類似した季節変動を示した。春~秋季に表層で高く、冬季には低下した。また、空間的にもChl-aやCODと同様に、沿岸表層で高く、沖合・底層にかけて低下する傾向が認められた。CODとTOCには有意な正の相関 (r=0.88, p<0.001) が、またTOCとChl-aにも有意な正の相関 (r=0.75, p<0.001) が認められた。これらの結果から、春~夏季にかけてのCODおよびTOCの上昇は植物プランクトンの増殖を反映していると考えられる。一方、底層でCODやTOCが表層よりも低い値を示したのは、沈降粒子の分解が進行する一方で、水柱中に残存する有機物が少なかったためと推察される。また、Chl-aの相関が

表2(a) 広島湾における水質調査結果 (基本項目)

地点	月	層	水温(°C)			pH			塩分(psu)			DO(mg/L)			
			平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	
St.1	5	上	19.0	19.8	18.1	8.2	8.2	8.2	18.5	21.4	15.6	9.3	9.5	9.1	
		下	16.0	17.0	14.9	8.1	8.1	8.1	32.5	32.8	32.2	7.4	7.5	7.2	
	8	上	29.4	29.9	28.9	8.4	8.6	8.3	18.3	20.4	16.2	9.7	9.9	9.5	
		下	23.1	24.2	22.0	7.9	7.9	7.8	31.4	31.4	31.4	3.8	4.1	3.5	
	11	上	20.5	21.1	19.9	8.0	8.0	8.0	24.4	27.8	21.1	7.7	7.9	7.5	
		下	22.1	22.5	21.7	8.0	8.0	8.0	32.3	32.4	32.2	6.0	6.2	5.7	
	2	上	9.0	9.4	8.5	8.0	8.1	7.9	20.7	30.1	11.2	10.5	10.8	10.2	
		下	11.0	11.8	10.1	8.1	8.1	8.1	32.8	33.2	32.4	9.7	10.5	8.9	
	St.2	5	上	18.5	19.2	17.7	8.3	8.3	8.2	28.3	29.0	27.6	9.9	9.9	9.8
			下	15.4	16.0	14.8	8.1	8.1	8.1	32.7	32.9	32.6	7.2	7.2	7.1
		8	上	28.9	29.9	27.8	8.4	8.5	8.3	19.7	26.2	13.2	9.3	9.7	8.9
			下	22.8	23.6	22.0	7.9	8.0	7.8	31.7	31.8	31.6	4.4	4.9	3.9
11		上	21.8	22.1	21.5	8.1	8.1	8.1	30.7	31.5	30.0	7.6	7.9	7.3	
		下	21.9	22.6	21.1	8.0	8.0	8.0	32.4	32.4	32.3	5.4	6.0	4.8	
2		上	8.9	9.1	8.7	8.1	8.1	8.1	24.6	31.4	17.9	10.6	10.9	10.3	
		下	11.0	11.8	10.2	8.1	8.1	8.1	33.0	33.4	32.7	8.8	9.1	8.6	
St.3		5	上	18.8	19.5	17.5	8.3	8.5	8.2	27.1	30.7	17.6	10.5	12.8	9.7
			下	15.5	16.5	14.8	8.0	8.2	8.0	32.8	32.8	32.6	6.9	8.3	5.6
		8	上	29.3	30.8	28.2	8.5	8.9	8.2	22.8	28.3	18.5	9.7	11.1	8.6
			下	22.3	23.7	21.2	7.9	7.9	7.8	31.9	32.3	31.6	3.8	4.3	3.2
	11	上	20.5	21.8	19.1	8.0	8.1	8.0	31.3	32.0	30.5	7.0	7.2	6.8	
		下	21.0	22.8	19.8	8.0	8.0	8.0	32.2	32.6	31.7	6.1	7.0	4.6	
	2	上	10.2	10.9	9.5	8.1	8.2	8.1	30.9	31.9	28.8	9.8	11.1	9.0	
		下	10.8	11.8	9.9	8.1	8.1	8.1	32.8	33.4	32.5	9.0	10.2	8.2	
	St.4	5	上	18.3	19.4	17.0	8.3	8.4	8.2	29.9	31.6	28.2	9.7	9.9	9.4
			下	15.3	16.0	14.6	8.1	8.2	8.0	33.0	33.1	32.9	7.5	8.0	6.9
		8	上	28.8	30.3	27.9	8.4	8.8	8.2	25.4	30.4	17.4	8.9	11.4	6.9
			下	22.1	23.4	21.5	7.8	7.9	7.7	32.1	32.6	31.6	3.8	4.8	2.2
11		上	20.6	21.6	19.5	8.1	8.1	8.0	31.5	32.2	29.7	7.5	8.0	7.0	
		下	21.1	22.5	20.1	8.1	8.1	8.0	32.3	32.6	32.1	7.0	7.4	6.2	
2		上	9.8	10.7	9.2	8.1	8.2	8.1	30.9	32.6	28.9	9.8	10.6	9.2	
		下	10.8	11.8	10.0	8.1	8.1	8.1	33.1	33.7	32.9	9.0	9.3	8.6	
St.5		5	上	18.0	18.7	17.7	8.2	8.3	8.2	31.0	32.0	30.3	9.2	9.7	8.9
			下	15.3	16.0	14.3	8.1	8.1	8.1	33.0	33.2	32.9	7.8	8.1	7.3
		8	上	28.0	29.6	26.8	8.3	8.4	8.2	27.7	30.2	23.9	8.1	8.6	7.7
			下	22.2	23.4	21.2	7.9	8.0	7.9	32.3	32.8	31.8	5.2	5.8	4.3
	11	上	20.7	21.6	19.5	8.1	8.1	8.1	31.9	32.7	30.8	7.4	7.8	7.1	
		下	20.9	22.3	19.6	8.1	8.1	8.1	32.6	32.9	32.1	7.3	8.0	6.5	
	2	上	10.4	10.8	9.7	8.1	8.1	8.1	32.6	32.8	32.1	9.5	9.8	9.2	
		下	10.8	11.6	10.0	8.1	8.1	8.1	33.1	33.5	32.8	9.0	9.4	8.6	

表2(b) 広島湾における水質調査結果 (Chl-a及び有機物関連項目)

地点	月	層	Chl-a(μg/L)			TOC(mg/L)			COD(mg/L)			BOD(mg/L)			
			平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	
St.1	5	上	9.2	12.8	5.7	2.4	2.7	2.0	2.6	2.9	2.4	1.8	2.4	1.2	
		下	2.6	3.1	2.0	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	0.7	0.7	0.7	
	8	上	20.0	22.9	17.1	3.2	3.3	3.2	4.7	4.9	4.6	2.0	2.0	2.0	
		下	1.1	1.6	0.7	1.5	1.5	1.4	2.2	2.6	1.8	0.4	0.4	0.3	
	11	上	3.0	4.7	1.3	1.7	1.8	1.7	2.8	3.2	2.3	1.2	1.7	0.6	
		下	1.8	2.2	1.3	1.4	1.5	1.3	2.2	3.0	1.4	0.5	0.5	0.4	
	2	上	6.2	10.3	2.1	1.5	1.6	1.4	2.3	2.3	2.2	0.7	1.0	0.4	
		下	6.8	7.0	6.5	1.4	1.5	1.3	1.7	1.9	1.4	0.7	0.9	0.4	
	St.2	5	上	6.4	7.5	5.4	2.3	2.4	2.2	3.0	3.2	2.7	1.5	1.7	1.4
			下	2.3	2.5	2.1	1.6	1.6	1.6	1.4	1.5	1.3	0.6	0.9	0.4
		8	上	13.3	13.9	12.7	2.7	3.0	2.4	3.6	3.7	3.5	1.6	2.0	1.2
			下	1.3	1.6	0.9	1.4	1.5	1.4	2.1	2.2	2.0	0.3	0.4	0.2
11		上	6.7	10.7	2.7	1.8	1.9	1.8	2.9	3.0	2.8	1.3	1.9	0.7	
		下	1.4	1.8	1.0	1.4	1.6	1.3	2.2	2.7	1.6	0.4	0.5	0.3	
2		上	4.5	6.3	2.7	1.5	1.5	1.4	2.0	2.2	1.8	0.8	1.0	0.5	
		下	4.3	6.2	2.5	1.3	1.3	1.3	1.6	1.8	1.3	0.5	0.7	0.3	
St.3		5	上	20.6	55.7	3.4	2.9	4.6	2.0	4.6	9.0	2.5	2.7	7.0	0.7
			下	1.7	2.6	0.8	1.5	1.6	1.3	2.1	2.9	1.6	0.5	0.9	0.3
		8	上	11.1	13.8	5.8	3.2	3.7	2.7	4.5	6.1	3.6	1.6	2.4	1.0
			下	1.2	1.9	0.7	1.5	1.6	1.5	2.1	2.5	1.7	0.3	0.4	0.3
	11	上	3.3	5.1	1.5	1.5	1.7	1.3	2.3	3.2	1.6	0.6	1.4	0.2	
		下	2.3	5.5	1.1	1.5	1.6	1.4	2.3	3.4	1.7	0.4	0.4	0.4	
	2	上	4.2	7.5	1.0	1.6	1.7	1.3	1.9	2.3	1.3	0.6	0.8	0.4	
		下	3.9	5.9	2.5	1.4	1.5	1.3	1.9	2.1	1.3	0.5	0.8	0.3	
	St.4	5	上	4.6	8.1	1.6	2.1	2.3	1.9	3.0	3.4	2.2	1.2	1.6	0.8
			下	1.8	2.8	1.5	1.4	1.6	1.3	1.8	2.6	1.0	0.4	0.7	0.2
		8	上	5.9	11.7	1.7	2.7	3.4	2.3	3.9	5.1	2.8	1.2	1.7	1.0
			下	0.9	1.6	0.4	1.5	1.7	1.3	2.1	2.6	1.5	0.3	0.5	0.2
11		上	5.3	9.3	2.3	1.6	1.8	1.3	2.4	3.1	1.7	0.7	1.1	0.4	
		下	2.8	6.8	1.1	1.4	1.6	1.2	2.2	2.9	1.5	0.4	0.4	0.3	
2		上	3.2	5.2	1.3	1.4	1.4	1.3	2.0	2.3	1.5	0.5	0.9	0.3	
		下	3.1	6.4	1.2	1.3	1.4	1.3	1.5	1.9	0.9	0.4	0.9	0.3	
St.5		5	上	3.0	6.0	1.2	2.2	2.5	1.7	2.9	3.3	2.1	1.1	1.5	0.7
			下	1.2	1.4	0.8	1.4	1.6	1.4	1.7	2.2	0.9	0.4	0.7	0.3
		8	上	2.8	5.0	1.2	2.5	3.0	2.0	3.4	4.5	2.3	1.2	1.9	0.5
			下	1.1	2.5	0.4	1.5	1.6	1.4	2.1	2.8	1.5	0.5	0.6	0.3
	11	上	4.2	7.8	2.7	1.6	2.0	1.3	2.4	3.2	2.1	0.5	1.0	0.3	
		下	3.5	8.3	1.1	1.5	1.7	1.3	2.3	3.1	1.3	0.4	0.7	0.2	
	2	上	3.3	4.6	2.1	1.5	1.9	1.2	2.0	2.5	1.6	0.5	0.8	0.3	
		下	3.1	5.3	1.5	1.3	1.4	1.2	1.7	2.0	1.4	0.4	0.6	0.3	

表3(a) 広島湾における水質調査結果 (栄養塩関連項目)

地点	月	層	TN(mg/L)			TP(mg/L)			NH ₄ (mg/L)		
			平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
定量子限値			0.05			0.003			0.01		
St.1	5	上	0.46	0.43	0.43	0.037	0.040	0.035	<0.01	<0.01	<0.01
		下	0.16	0.21	0.16	0.028	0.029	0.026	0.01	0.02	<0.01
	8	上	0.56	0.62	0.50	0.052	0.056	0.049	<0.01	0.01	<0.01
		下	0.18	0.22	0.13	0.037	0.052	0.022	0.02	0.04	<0.01
	11	上	0.37	0.49	0.25	0.038	0.046	0.030	0.07	0.12	0.03
		下	0.23	0.25	0.21	0.035	0.036	0.035	0.02	0.03	<0.01
	2	上	0.57	0.57	0.57	0.041	0.051	0.030	0.09	0.09	0.09
		下	0.16	0.18	0.13	0.026	0.028	0.025	0.01	0.01	<0.01
St.2	5	上	0.34	0.43	0.24	0.030	0.035	0.025	<0.01	<0.01	<0.01
		下	0.18	0.21	0.15	0.026	0.027	0.026	0.01	0.02	0.01
	8	上	0.40	0.41	0.39	0.037	0.041	0.032	<0.01	<0.01	<0.01
		下	0.17	0.21	0.12	0.031	0.039	0.023	<0.01	<0.01	<0.01
	11	上	0.31	0.47	0.16	0.039	0.045	0.032	0.07	0.14	<0.01
		下	0.24	0.26	0.22	0.037	0.039	0.035	0.02	0.03	0.01
	2	上	0.33	0.42	0.24	0.030	0.032	0.027	0.03	0.03	0.03
		下	0.16	0.18	0.14	0.028	0.031	0.025	0.02	0.02	0.02
St.3	5	上	0.57	0.75	0.25	0.043	0.070	0.022	0.02	0.07	<0.01
		下	0.18	0.19	0.16	0.025	0.029	0.021	0.02	0.05	<0.01
	8	上	0.37	0.52	0.25	0.031	0.045	0.021	<0.01	<0.01	<0.01
		下	0.22	0.31	0.16	0.040	0.057	0.027	0.03	0.06	<0.01
	11	上	0.30	0.42	0.19	0.036	0.046	0.031	0.06	0.12	<0.01
		下	0.21	0.23	0.19	0.035	0.041	0.030	0.04	0.07	0.02
	2	上	0.27	0.38	0.22	0.028	0.040	0.021	0.06	0.17	0.03
		下	0.16	0.17	0.14	0.025	0.030	0.021	0.02	0.03	<0.01
St.4	5	上	0.22	0.79	0.17	0.020	0.032	0.012	<0.01	<0.01	<0.01
		下	0.15	0.21	0.14	0.021	0.026	0.014	0.01	0.03	<0.01
	8	上	0.27	0.37	0.21	0.023	0.031	0.015	<0.01	0.01	<0.01
		下	0.24	0.30	0.17	0.044	0.061	0.035	0.02	0.06	<0.01
	11	上	0.23	0.32	0.16	0.030	0.033	0.027	0.03	0.05	<0.01
		下	0.20	0.25	0.16	0.029	0.033	0.026	0.03	0.07	<0.01
	2	上	0.22	0.25	0.17	0.023	0.026	0.016	0.03	0.06	0.02
		下	0.15	0.18	0.12	0.022	0.026	0.018	<0.01	0.01	<0.01
St.5	5	上	0.19	0.25	0.14	0.017	0.025	0.014	<0.01	<0.01	<0.01
		下	0.17	0.17	0.15	0.021	0.026	0.015	0.01	0.02	<0.01
	8	上	0.23	0.28	0.17	0.020	0.027	0.013	<0.01	0.03	<0.01
		下	0.20	0.23	0.15	0.034	0.040	0.029	0.02	0.03	<0.01
	11	上	0.17	0.22	0.13	0.026	0.027	0.025	0.02	<0.01	<0.01
		下	0.18	0.25	0.15	0.027	0.031	0.023	0.02	0.03	<0.01
	2	上	0.16	0.19	0.12	0.020	0.022	0.016	0.02	0.02	0.01
		下	0.15	0.17	0.13	0.021	0.023	0.018	0.01	0.02	<0.01

表3(b) 広島湾における水質調査結果 (栄養塩関連項目)

地点	月	層	NO ₂ (mg/L)			NO ₃ (mg/L)			PO ₄ (mg/L)		
			平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
定量子限値			0.005			0.005			0.005		
St.1	5	上	<0.005	<0.005	<0.005	0.140	0.226	0.054	0.003	0.005	<0.003
		下	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.012	0.015	0.010
	8	上	0.007	0.010	0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.003	<0.003	<0.003
		下	0.010	0.016	<0.005	0.012	0.022	<0.005	0.024	0.037	0.011
	11	上	0.039	0.040	0.039	0.059	0.094	0.023	0.021	0.021	0.020
		下	0.051	0.067	0.035	0.035	0.045	0.025	0.025	0.025	0.024
	2	上	0.019	0.026	0.013	0.379	0.416	0.343	0.028	0.045	0.011
		下	0.006	0.008	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.013	0.016	0.010
St.2	5	上	<0.005	<0.005	<0.005	0.011	0.018	<0.005	<0.003	<0.003	<0.003
		下	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.012	0.015	0.010
	8	上	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.003	<0.003	<0.003
		下	0.015	0.024	0.006	0.024	0.041	0.007	0.021	0.027	0.015
	11	上	0.040	0.048	0.033	0.067	0.072	0.062	0.022	0.023	0.021
		下	0.059	0.079	0.039	0.037	0.052	0.022	0.029	0.031	0.027
	2	上	0.008	0.009	0.008	0.173	0.264	0.081	0.014	0.019	0.009
		下	0.007	0.009	<0.005	0.022	0.036	0.007	0.016	0.019	0.013
St.3	5	上	<0.005	0.013	<0.005	0.045	0.199	<0.005	<0.003	0.006	<0.003
		下	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.007	<0.005	0.013	0.017	0.006
	8	上	<0.005	0.007	<0.005	<0.005	0.012	<0.005	<0.003	<0.003	<0.003
		下	0.014	0.025	0.006	0.043	0.106	0.014	0.029	0.043	0.018
	11	上	0.024	0.031	0.018	0.047	0.093	0.019	0.023	0.036	0.017
		下	0.038	0.109	0.011	0.022	0.046	0.009	0.024	0.038	0.017
	2	上	0.009	0.011	0.007	0.061	0.103	0.033	0.016	0.020	0.007
		下	0.006	0.009	<0.005	0.018	0.031	<0.005	0.014	0.017	0.007
St.4	5	上	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.003	<0.003	<0.003
		下	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.008	<0.005	0.012	0.017	0.009
	8	上	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.006	<0.005	<0.003	<0.003	<0.003
		下	0.015	0.029	<0.005	0.061	0.093	0.039	0.033	0.049	0.024
	11	上	0.020	0.051	<0.005	0.033	0.096	<0.005	0.016	0.021	0.009
		下	0.022	0.040	0.010	0.019	0.048	<0.005	0.020	0.025	0.012
	2	上	0.012	0.023	<0.005	0.056	0.071	0.014	0.012	0.019	<0.003
		下	0.006	0.010	<0.005	0.014	0.027	<0.005	0.011	0.015	0.007
St.5	5	上	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.003	<0.003	<0.003
		下	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.006	<0.005	0.011	0.014	0.010
	8	上	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.003	<0.003	<0.003
		下	0.014	0.026	0.005	0.039	0.069	0.023	0.024	0.030	0.020
	11	上	0.017	0.034	0.006	0.019	0.057	<0.005	0.014	0.016	0.009
		下	0.015	0.033	<0.005	0.013	0.043	<0.005	0.015	0.024	0.009
	2	上	0.005	0.009	<0.005	0.017	0.031	<0.005	0.009	0.014	0.003
		下	0.012	0.024	<0.005	0.008	0.014	<0.005	0.012	0.015	0.007

CODのそれより低いのは、TOCに過マンガン酸カリウムでは酸化されない難分解性有機物が含まれるためと考えられる。

BOD₃は0.2~7.0 mg/Lの範囲にあり、春~秋季にかけて高く、挙動はChl-a, COD, TOCと季節的・空間的に類似していた。BOD₃と有機物関連項目との関係性については次節にて記述する。

TNは0.12~0.79 mg/Lの範囲にあり、春~夏季には濃度が上昇し、沿岸表層で高値を示す傾向があった。一方、TPは0.012~0.070mg/Lの範囲にあり、TNやCOD・TOCと同調しない季節変動・空間分布であった。これには、海水や底泥中でのリンの吸着・溶出・再生といった物理・化学的特性が大きく影響していると考えられる[23, 24]。また、海域における栄養塩バランスの評価には、レッドフィールド比 (N:P(モル比)=16) という指標が広く使われ、N:P比が16を超える場合にはリン制限、それ以下なら窒素制限と呼ばれる[25]。そこで、本研究で対象とした期間における広島湾のN:P比を算出したところ、表層で11~80 (平均23)、底層で9~23 (平均14) を示した。これらの結果から、表層ではリン制限、底層では窒素制限であると考えられる。この結果は過去にも類似した結果が報告されており[26]、広島湾における栄養塩環境は大きく変化していないものと考えられる。また、広島湾におけるN:P比は陸域あるいは底質からの栄養塩負荷が大きく寄与することが報告されており[27]、広島湾の栄養塩環境を把握するためには今後も継続的

なモニタリングが必要であると考えられる。

2 BOD₃と水質項目の相関解析

底層における貧酸素水塊の発生は、水生生物の生息環境を著しく悪化させる主要因である。特に、水温躍層が形成される夏季には、酸素供給が遮断され、底層のDO濃度が急速に低下する[5]。本研究では、海域におけるDO消費の主要因と考えられる有機物分解過程に着目し、BOD₃と有機物関連項目および栄養塩項目との関係を解析した。

解析結果を図2に示す。BOD₃はChl-aとの間に最も高い正の相関が認められ、次いでCOD, TOC, TN, TPの順に相関が高かった。この結果は、BOD₃が主として植物プランクトン由来の有機物の分解過程に依存していることを示しており、Chl-aとの高い相関は、一次生産に伴って生成される有機物が酸素消費の主要因となっていることが示唆される。一方、CODやTOCとも有意な相関が認められたことから、BOD₃は水中の有機物量と密接に関連する指標であると考えられる。このようなBOD₃と有機物関連項目との高い相関は、既往研究においても報告されており、鹿児島湾においても、BOD₃はChl-aやCODと密接に関連し、植物プランクトンの増殖と分解が酸素消費の主要因であることが示されている[29, 30]。本研究の結果もこれと一致しており、広島湾においても有機物分解が酸素消費を支配する主要因であることを裏付けているといえる。TNやTPとの関係は有機物に関連する指標よりも相関が弱かったが、これは栄養塩がBOD₃

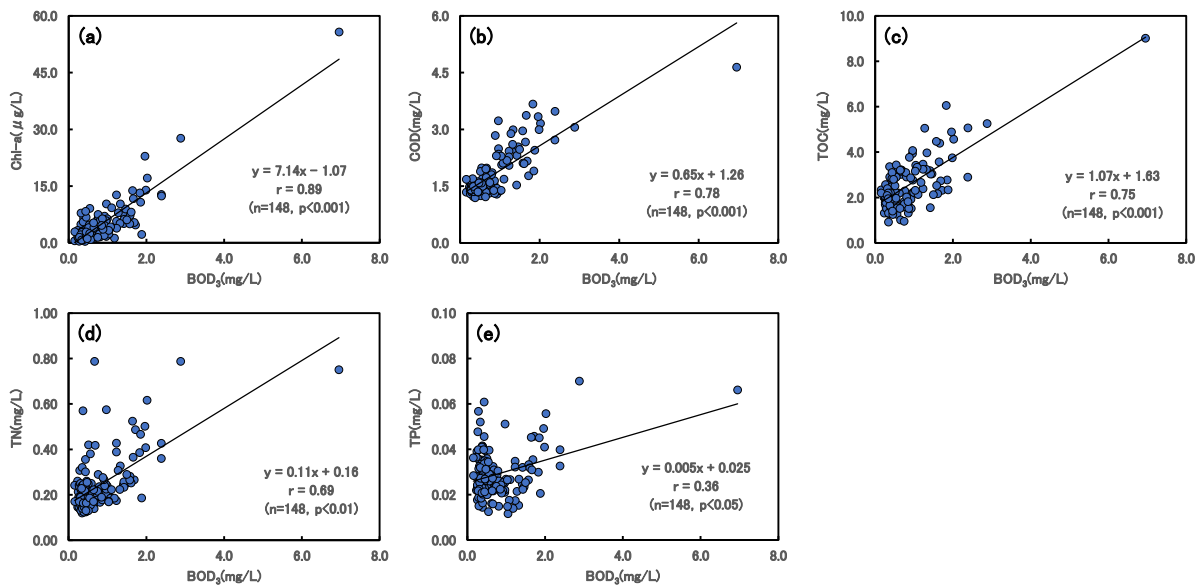


図2 広島湾におけるBOD₃と水質項目（有機物関連項目及び栄養塩関連項目）の関係
(a)Chl-a, (b)COD, (c)TOC, (d)TN, (e)TP

に直接的に反映されるのではなく、植物プランクトンの増殖を介して間接的に影響を及ぼすためと考えられる。以上の結果から、BOD₃を推定する上では、特にChl-a、COD、TOCが有効な水質項目であると考えられる。

3 BOD₃推定式の検討

BOD₃と各水質項目との相関解析の結果、BOD₃は主として植物プランクトン由来の有機物およびそれに関連する水質項目と高い関係性を示した。BOD₃は水中における短期的な酸素消費ポテンシャルを表す指標であり、海域における貧酸素水塊の発生機構の解明やその予測に資する可能性がある[31]。しかし、海域におけるBOD₃の観測事例は極めて少なく、過去に遡った酸素消費ポテンシャルの経年変動を直接的に把握することは困難である。このため、長期的に観測されている水質項目のうち、BOD₃と高い相関を示す指標を用いて推定式を構築できれば、広島湾におけるBOD₃の長期変動を定量的に評価することが可能であると考えられる。これまで海水中における酸素消費要因の解明については多くの研究が行われてきた[9, 10]が、水質データのみから酸素消費速度を直接算出できる報告例はほとんどない。しかし、既報[14]では、酸素消費速度が回帰式($y = a \times x^b$, a: 定数, x: 変数, b: 定数)で示されており、この方法を用いれば水質データから便宜的に酸素消費速度を算出できる。本研究では、既報[14]に示された関係式を応用し、BOD₃と相関性の高かったChl-a、TOC、CODを説明変数として回帰分析を行い、BOD₃推定式の構築を試みた。

解析の結果を表4および図3に示す。各水質項目を説明変数としたBOD₃推定式における傾きを表す係数aは0.28~0.31であった。これは、いずれの指標を用いても単位濃度あたりの基準的なBOD₃寄与量がほぼ共通していることを示しており、酸素消費に寄与する有機物の質が反映されていると考えられる[30,

32, 33]。ただし、aの値は季節や海域によって変動する可能性があるため、この点には注意が必要である。

一方、それぞれの推定式で得られたbは0.67~1.53の範囲にあり、変数によって差が見られた。Chl-aを説明変数とした場合のbは0.67であり、1未満であることから、植物プランクトン由来の有機物が短期的な酸素消費(BOD₃)に寄与する可能性が考えられる。また、CODを変数とした場合、bは1.10となり、BOD₃

表4 有機物関連項目を変数としたBOD₃の回帰式

	変数	BOD ₃ 推定式	a	b
推定式1	Chl-a	$BOD_3 = 0.31 \times (Chl-a)^{0.67}$	0.31	0.67
推定式2	COD	$BOD_3 = 0.28 \times (COD)^{1.10}$	0.28	1.10
推定式3	TOC	$BOD_3 = 0.31 \times (TOC)^{1.53}$	0.31	1.53

とCODの関係がほぼ線形であることを示した。さらに、TOCを用いた場合、bは1.53と最も高く、TOCが高い場合には生物利用可能な有機物の供給量が増加する可能性が示唆される。

実測値と推定式の適合度を示す決定係数(R²)は、Chl-aが0.72 ($p < 0.001$)で最も高く、次いでTOCが0.69 ($p < 0.001$)、CODが0.57 ($p < 0.001$)であった。これらの結果から、BOD₃の推定において最も有効な変数はChl-aであると考えられる。Chl-aは植物プランクトン由来の易分解性有機物を反映しており、短期的な酸素消費ポテンシャルの推定に適していると考えられる。TOCは難分解性有機物も含むものの、広島湾では動植物プランクトンやバクテリア等の生物由来有機物が主体と考えられるため、R²が高い値を示したと考えられる。一方、CODは無機還元物質や難分解性有機物の影響を受けやすい[30]等の理由から、3つの変数の中では最もR²が低かったと考えられる。以上の結果から、BOD₃の推定に用いる変数としては、Chl-aが最も適当であり、TOCおよびCODは補助的な指標として利用することが妥当であると考えられる。

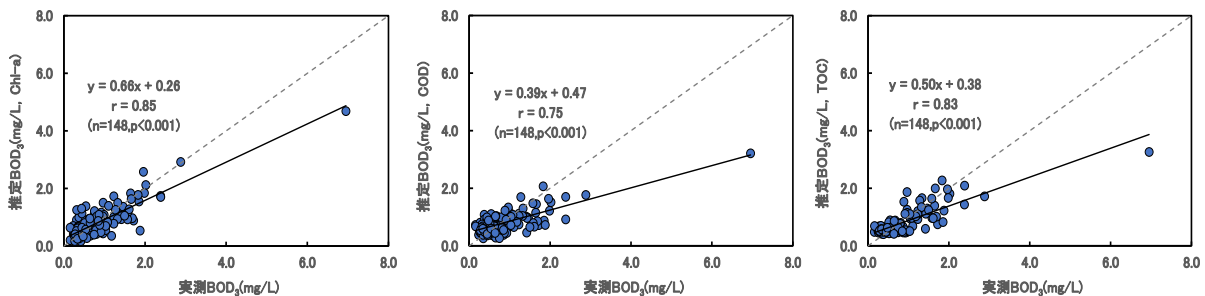


図3 実測BOD₃と推定BOD₃の比較
(a)Chl-a, (b)COD, (c)TOC

4 広島湾におけるBOD₃の長期変動

広島湾では例年、沿岸域の底層において貧酸素水塊の形成が確認されており、貧酸素水塊の発生は底層に生息する海洋生物に深刻な影響を与えることが報告されている[34]。そのため、海域においてBOD₃を測定することは、貧酸素水塊の発生を予測するうえで重要な指標の一つとされている[31]。これまで広島湾において、BOD₃の長期変動を評価した事例は報告されていない。そこで本研究では、前節にて構築したBOD₃推定式を用いて、広島湾沿岸域におけるBOD₃の長期変動を解析した。解析には1981年から

2023年までの期間に実施された広域総合水質調査で得られたChl-aデータを用い、広島湾沿岸域（地点番号396および411）における表層および底層のBOD₃を推定した。その結果を図4に示す。推定BOD₃の長期変動をMann-Kendall検定により評価した結果、いずれの層においても有意な増加・減少傾向は確認されなかった。このことから、過去43年間に於いて広島湾のBOD₃は長期的にはほぼ横ばいで推移しており、広島湾の有機物分解に伴う酸素消費構造が大きく変化していない可能性が示唆された。したがって、今後も広島湾沿岸域においては貧酸素水塊が継続して発生する

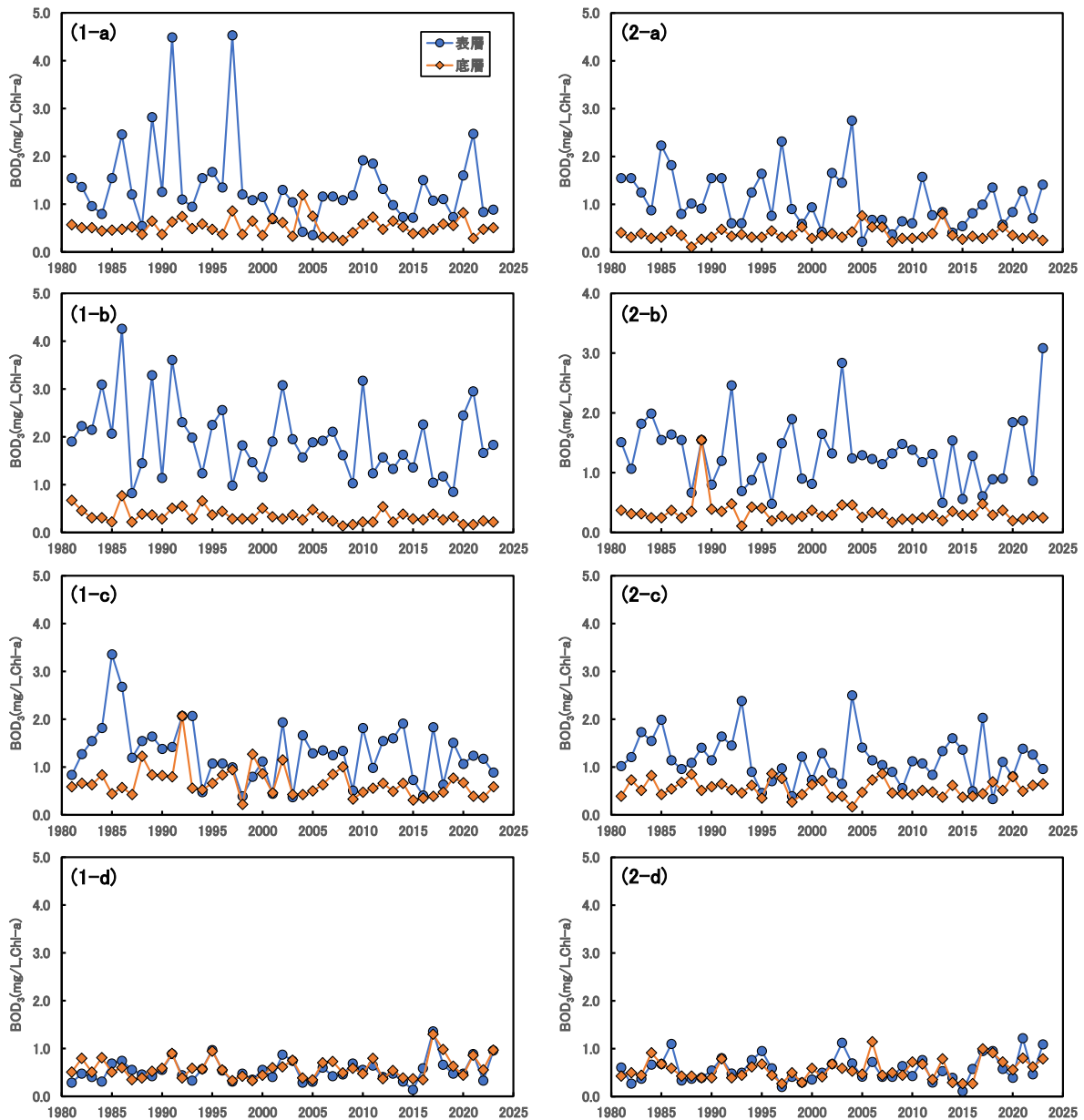


図4 広島湾表層及び底層におけるBOD₃の長期変動
 (1:396*, 2:411*, a: 春季, b: 夏季, c: 秋季, d: 冬季)
 ※広域総合水質調査（環境省）における調査地点通し番号

可能性が高いと考えられる。

一方、日本の閉鎖性水域においては、近年の貧栄養化により有機物の分解能が低下していることが報告されている[35]。BOD₃は、水中の酸素消費速度を評価するだけでなく、有機物分解能を評価する指標としても用いられることから、本研究で得られた広島湾のBOD₃の長期的横ばい傾向は、過去数十年間において広島湾の有機物分解能が大きく変化していないことを示している。このことは、広島湾における有機物や栄養塩が長期的に安定して供給されている可能性を示唆している。

以上のことから、Chl-aを指標としてBOD₃を推定することは、水塊中の酸素消費量を簡便に把握できることから、今後の貧酸素水塊発生の予測や海域における物質循環を評価する指標として有効であると考えられる。また、貧酸素水塊の発生を抑制するためには、有機物負荷の削減や底層水の循環改善等、湾内の酸素環境を改善するための継続的な対策を講じることが重要である。

結 語

本研究では、広島湾におけるBOD₃の長期的変動傾向を明らかにし、貧酸素水塊形成との関連性を検討することを目的とした。1981～2023年の推定BOD₃を解析した結果、表層・底層ともに長期的な増減傾向は認められず、有機物分解能は概ね大きく変化していないことが明らかとなった。これは、広島湾における酸素消費ポテンシャルは大きく変化していないことを示唆しており、他の閉鎖性水域で報告されている貧栄養化による分解能低下[35]とは異なる傾向を示した。

BOD₃は海域の酸素消費ポテンシャルを把握する有効な指標であり、今後は貧酸素水塊発生の予測モデルや物質循環評価への活用が期待される。ただし、広島湾のBOD₃は大きな変動を示さず、沿岸生態系の酸素消費特性は安定的に維持されていることから、有機物負荷の削減や底層水の循環改善等、湾内の酸素環境を改善するための継続的な対策を講じることが重要であると考えられる。

謝 辞

本研究は、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）「沿岸海域における新水

質基準としての底層溶存酸素（貧酸素水塊）と気候変動の及ぼす影響評価に関する研究」によって、実施したものである。関係者には謝意を表する。

文 献

- [1] 多田邦尚, 藤原宗弘, 他. 瀬戸内海の水質環境とノリ養殖. 分析化学. 2010, 59, 945-955.
- [2] 山本民次. 瀬戸内海の水底質環境と生態系修復技術. 環境と安全. 2014, 5, 199-203.
- [3] 藤原建紀. 瀬戸内海のパラ栄養化. 水環境学会誌. 2011, 34, 34-38.
- [4] T Yamamoto. The Seto Inland Sea-eutrophic or oligotrophic?, Mar.Pol.Bul.. 2003, 47, 37-42.
- [5] 山本裕規, 山本民次, 他. 浮遊系-底生系カップリング・モデルによる広島湾北部海域の貧酸素水塊形成に関する動態解析. 水環境学会誌. 2011, 34(2), 19-28.
- [6] 伊達悦二, 清木徹. 広島湾の貧酸素水塊の分布とその形成機構. 広島県保健環境センター研究報告. 2006, 14, 1-11.
- [7] 小倉紀雄, 高田秀重. 東京湾-100の環境変遷. 安全工学. 1995, 34(5), 325-331.
- [8] 長尾正之, 橋本英資, 他. 広島湾における海底酸素消費量の連続測定. 土木学会論文集. 2000, 663(II-53), 109-117.
- [9] 小林志保, 藤原建紀, 他. 沿岸海域の貧酸素化を引き起こす有機物の起源推定: 炭素安定同位体比を用いたアプローチ. 水環境学会誌. 2018, 41(1), 1-10.
- [10] 藤井智康, 藤原建紀, 他. 沿岸海域における窪地の貧酸素水塊の消滅過程. 土木学会論文集B2 (海岸工学). 2015, 71(2), I_1285-I_1290.
- [11] 牧秀明. 環境部局による海域の調査研究の在り方について. 全国環境研会誌. 2016, 41(1), 9-11.
- [12] 大久保慧, 西嶋渉, 他. 瀬戸内海における底質からの溶出量の推定及び近年の変遷. 土木学会論文集G (環境). 2022, 78(7), III_381-III_389.
- [13] 矢吹芳教, 小野純子, 他. 日本近海の太平洋外洋水のCODの長期変動と瀬戸内海のCODに及ぼす影響. 水環境学会誌. 2017, 40(5), 189-197.
- [14] 井上裕雄, 原田政隆. 浅海養殖場における有機物の堆積・分解過程について. 昭和52年度農林水産業特別試験研究費補助金による研究報告書. 1978,

- 21-43.
- [15] 山本民次, 石田愛実, 他. 太田川河川水中のリンおよび窒素濃度の長期変動-植物プランクトン種の変化を引き起こす主要因として-. 水産海洋研究. 2002, 66(2), 102-109.
- [16] 山本民次, 松田治, 他. 広島湾底泥化の無機態窒素溶出フラックスの見積り. 生物生産学研究: 広島大学生物生産学部紀要. 1995, 34(2), 185-190.
- [17] 日本海洋学会. “海洋観測ガイドライン (和文第5版, 2023年6月公開)”. <https://kaiyo-gakkai.jp/jos/guide>. 2025.10.01.
- [18] 広島県. 令和7年度公共用水域等の水質測定計画. 令和7年3月.
- [19] 小田新一郎, 濱脇亮次, 他. 広島湾における栄養塩類及びCOD関連項目の季節変動について. 広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告. 2020, 28, 45-52.
- [20] 福島武彦, 天野耕二, 他. 湖沼水質の簡易な予測モデル. 水質汚濁研究. 1986, 9(12), 775-785.
- [21] 早川和秀, 岡本高弘, 他. 低濃度有機汚濁水域における有機物指標の特性把握: 琵琶湖におけるCOD(Mn), BOD, TOCの比較から. 水環境学会誌. 2018, 41(6), 193-203.
- [22] 山口聖, 松原賢, 他. 有明海湾奥西部の鹿島川感潮域における高い栄養塩・高クロロフィル水塊と沿岸の冬季珪藻ブルームとの関係. 沿岸海洋研究. 2017, 54(2), 193-201.
- [23] 井伊博行, 平田健正, 他. 茶畑周辺の池水中のpH変化と窒素, リン, 硫黄, アルミニウムの挙動について. 土木学会論文集. 1998, 594(VII-7), 57-63.
- [24] 小林節子, 西村肇. 底質からのリン溶出におけるFe(II)とリン酸イオンの挙動. 水質汚濁研究. 1988, 11(12), 755-764.
- [25] Redfield A. C., The biological control of chemical factors in the environment, Am. Sci., 1958, 46, 205-221.
- [26] 山本民次, 橋本俊也, 他. 瀬戸内海における植物プランクトン態N:P比とその変動要因. 水産海洋研究. 1999, 63(3), 6-13.
- [27] 山本民次, 橋本俊也, 他. 1991~2000年の広島湾海中における新生物元素の時空間的変動, 特に植物プランクトン態C: N: P比のレッドフィールド比からの乖離. 沿岸海洋研究. 2002, 39(2), 163-169.
- [28] 内野宏治, 猪股あるか, 他. 有明海奥部における酸素消費対する水柱中の有機炭素分解の寄与. 水環境学会誌. 2019, 42(5), 195-200.
- [29] 有西聡美, 伊口航平, 他. 鹿児島湾における海域版BOD測定による易分解性有機物について, 鹿児島県環境保健センター所報. 2024, 25, 51-56.
- [30] 牧秀明, 金谷弦, 他. 沿岸海域の水温変動評価と底層溶存酸素 (DO), 有機物指標に係る地方環境研究機関との共同研究. 地球環境. 2023, 205-213.
- [31] 竹本修明, 久下芳生, 他. 海水のBOD測定. 水質汚濁研究. 1981, 4(2), 80-90.
- [32] 一瀬諭, 琵琶湖における難分解性有機物生成に及ぼす植物プランクトンの影響. 八郎湖流域管理研究. 2014, 1-6.
- [33] 仲川直子, 金澤良昭, 他. 珪藻類を対象とした植物プランクトン由来の難分解性溶存有機物に関する特性評価. 兵庫県環境研究センター紀要. 2010, 2, 1-7.
- [34] 松田治, 山本民次, 他. 広島湾の貧酸素と硫化水素がガザミ幼生の初期発達段階に及ぼす影響. 生物生産学研究: 広島大学生物生産学部紀要. 1993, 32(2), 61-70.
- [35] 藤原建紀, 鈴木元治. 閉鎖性海域のCOD上昇. 水環境学会誌. 2024, 47(1), 37-46.

別表1(a) 広島湾における水質調査結果 (St.1及びSt.2)

地点	年	月	層	水温 (°C)	pH	塩分	DO (mg/L)	Chl-a (µg/L)	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)	COD (mg/L)	D-COD (mg/L)	BOD (mg/L)	D-BOD (mg/L)	
定量下限値				—	—	—	0.5	0.5	0.2	0.2	0.5	0.5	0.05	0.05	
St.1	2023	5月	上	19.8	8.2	21.4	9.5	12.8	2.7	1.5	2.9	1.9	2.38	0.41	
			下	17.0	8.1	32.2	7.2	2.0	1.6	1.3	1.6	1.3	0.66	0.19	
	8月	上	28.9	8.3	20.4	9.5	17.1	3.2	1.7	4.6	2.8	2.02	0.23		
		下	24.2	7.8	31.4	3.5	0.7	1.5	1.4	2.6	2.2	0.33	0.13		
	11月	上	21.1	8.0	27.8	7.5	4.7	1.8	1.4	2.3	1.8	1.72	0.27		
		下	21.7	8.0	32.4	6.2	2.2	1.3	1.1	1.4	1.1	0.45	0.16		
	2月	上	9.4	7.9	11.2	10.8	2.1	1.6	1.2	2.3	2.0	0.37	0.20		
		下	11.8	8.1	33.2	8.9	6.5	1.5	1.1	1.4	1.0	0.39	0.16		
	2024	5月	上	18.1	8.2	15.6	9.1	5.7	2.0	1.5	2.4	1.6	1.23	0.29	
			下	14.9	8.1	32.8	7.5	3.1	1.6	1.4	1.6	1.2	0.72	0.28	
	8月	上	29.9	8.6	16.2	9.9	22.9	3.3	1.7	4.9	2.7	1.96	0.19		
		下	22.0	7.9	31.4	4.1	1.6	1.4	1.2	1.8	1.4	0.40	0.24		
	11月	上	19.9	8.0	21.1	7.9	1.3	1.7	1.4	3.2	2.9	0.59	0.27		
		下	22.5	8.0	32.2	5.7	1.3	1.5	1.2	3.0	2.5	0.51	0.35		
	2月	上	8.5	8.1	30.1	10.2	10.3	1.4	1.2	2.2	0.9	0.97	0.49		
		下	10.1	8.1	32.4	10.5	7.0	1.3	1.2	1.9	1.5	0.92	0.38		
	St.2	2023	5月	上	19.2	8.2	29.0	9.9	7.5	2.4	1.7	3.2	1.9	1.41	0.37
				下	16.0	8.1	32.6	7.1	2.1	1.6	1.3	1.5	1.2	0.40	0.13
8月		上	27.8	8.3	26.2	9.7	13.9	3.0	1.8	3.7	2.4	1.99	0.18		
		下	23.6	7.8	31.6	3.9	0.9	1.4	1.3	2.0	1.8	0.25	0.08		
11月		上	21.5	8.1	31.5	7.9	10.7	1.9	1.4	2.8	2.0	1.85	0.16		
		下	21.1	8.0	32.3	6.0	1.8	1.3	1.2	1.6	1.3	0.32	0.14		
2月		上	8.7	8.1	17.9	10.9	2.7	1.5	1.2	1.8	1.6	0.52	0.18		
		下	11.8	8.1	33.4	8.6	2.5	1.3	1.1	1.3	1.2	0.34	0.11		
2024		5月	上	17.7	8.3	27.6	9.8	5.4	2.2	1.4	2.7	1.9	1.69	0.26	
			下	14.8	8.1	32.9	7.2	2.5	1.6	1.3	1.3	1.0	0.85	0.20	
8月		上	29.9	8.5	13.2	8.9	12.7	2.4	1.5	3.5	2.6	1.23	0.23		
		下	22.0	8.0	31.8	4.9	1.6	1.5	1.2	2.2	2.1	0.45	0.25		
11月		上	22.1	8.1	30.0	7.3	2.7	1.8	1.5	3.0	2.6	0.67	0.29		
		下	22.6	8.0	32.4	4.8	1.0	1.6	1.5	2.7	2.4	0.47	0.19		
2月		上	9.1	8.1	31.4	10.3	6.3	1.4	1.1	2.2	1.8	1.00	0.44		
		下	10.2	8.1	32.7	9.1	6.2	1.3	1.1	1.8	1.2	0.75	0.44		

別表1(b) 広島湾における水質調査結果 (St.1及びSt.2)

地点	年	月	層	TN (mg/L)	DTN (mg/L)	TP (mg/L)	DTP (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	
定量下限値				0.05	0.05	0.003	0.003	0.01	0.005	0.005	0.003	
St.1	2023	5月	上	0.43	0.23	0.040	0.011	<0.01	<0.005	0.054	<0.003	
			下	0.16	0.13	0.029	0.020	0.02	<0.005	<0.005	0.015	
	8月	上	0.62	0.29	0.056	0.011	0.01	0.010	<0.005	<0.003		
		下	0.22	0.19	0.052	0.043	0.04	0.016	0.022	0.037		
	11月	上	0.49	0.39	0.046	0.032	0.12	0.039	0.094	0.021		
		下	0.21	0.18	0.035	0.030	0.03	0.035	0.025	0.024		
	2月	上	0.57	0.53	0.030	0.016	0.09	0.026	0.416	0.011		
		下	0.13	0.09	0.028	0.017	<0.01	<0.005	<0.005	0.010		
	2024	5月	上	0.43	0.34	0.035	0.014	<0.01	<0.005	0.226	0.005	
			下	0.21	0.17	0.026	0.018	<0.01	<0.005	<0.005	0.010	
	8月	上	0.50	0.18	0.049	0.008	<0.01	0.005	<0.005	<0.003		
		下	0.13	0.10	0.022	0.017	<0.01	<0.005	<0.005	0.011		
	11月	上	0.25	0.25	0.030	0.023	0.03	0.040	0.023	0.020		
		下	0.25	0.19	0.036	0.028	<0.01	0.067	0.045	0.025		
	2月	上	0.57	0.54	0.051	0.040	0.09	0.013	0.343	0.045		
		下	0.18	0.14	0.025	0.018	0.01	0.008	<0.005	0.016		
	St.2	2023	5月	上	0.24	0.12	0.025	0.009	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
				下	0.15	0.11	0.027	0.020	0.02	<0.005	<0.005	0.015
8月		上	0.41	0.16	0.041	0.012	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003		
		下	0.21	0.16	0.039	0.035	<0.01	0.024	0.041	0.027		
11月		上	0.47	0.34	0.045	0.032	0.14	0.033	0.062	0.023		
		下	0.22	0.18	0.035	0.031	0.03	0.039	0.022	0.027		
2月		上	0.42	0.38	0.032	0.016	0.03	0.009	0.264	0.009		
		下	0.14	0.12	0.031	0.019	0.02	<0.005	0.007	0.013		
2024		5月	上	0.27	0.17	0.035	0.011	<0.01	<0.005	0.018	<0.003	
			下	0.19	0.14	0.026	0.019	0.01	<0.005	<0.005	0.010	
8月		上	0.39	0.20	0.032	0.005	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003		
		下	0.12	0.10	0.023	0.027	<0.01	0.006	0.007	0.015		
11月		上	0.16	0.17	0.032	0.025	<0.01	0.048	0.072	0.021		
		下	0.26	0.27	0.039	0.034	0.01	0.079	0.052	0.031		
2月		上	0.24	0.21	0.027	0.020	0.03	0.008	0.081	0.019		
		下	0.18	0.16	0.025	0.020	0.02	0.009	0.036	0.019		

別表2(a) 広島湾における水質調査結果 (St.3)

地点	年	月	層	水温 (°C)	pH	塩分	DO (mg/L)	Chl-a (μg/L)	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)	COD (mg/L)	D-COD (mg/L)	BOD (mg/L)	D-BOD (mg/L)
定量下限値				—	—	—	0.5	0.5	0.2	0.2	0.5	0.5	0.05	0.05
St.3	2020	5	上	19.5	8.5	29.4	12.8	55.7	4.6	2.5	9.0	4.1	6.95	1.56
			下	15.5	8.0	32.7	6.2	1.5	1.3	1.1	2.9	1.5	0.54	0.12
	8	上	29.0	8.9	20.9	11.1	13.2	3.7	1.6	6.1	3.4	1.83	0.31	
		下	21.2	7.8	31.6	3.2	0.7	1.5	1.2	2.5	2.1	0.29	0.20	
	11	上	19.1	8.0	30.5	6.9	1.5	1.4	1.0	2.2	1.9	0.43	0.10	
		下	20.0	8.0	32.2	5.6	1.5	1.4	1.3	2.1	1.8	0.37	0.17	
	2	上	10.9	8.1	31.1	9.8	2.5	1.3	1.1	2.3	1.9	0.47	0.46	
		下	11.0	8.1	32.5	8.6	3.3	1.4	1.1	2.1	2.1	0.32	0.20	
	2021	5	上	19.1	8.4	17.6	10.3	27.6	3.1	2.0	5.3	2.8	2.88	0.58
			下	15.7	8.0	32.8	5.6	0.8	1.5	1.3	2.0	1.7	0.29	0.06
	8	上	30.8	8.4	25.2	8.6	12.4	3.5	2.0	5.1	3.8	2.39	0.28	
		下	22.1	7.9	32.2	4.3	0.8	1.6	1.3	2.2	1.9	0.38	0.23	
	11	上	19.8	8.0	31.5	7.0	4.9	1.3	1.1	2.4	2.1	0.31	0.16	
		下	19.8	8.0	31.7	7.0	5.5	1.5	1.2	2.5	2.4	0.37	0.18	
	2	上	10.0	8.2	31.1	11.1	6.7	1.7	1.3	2.3	1.8	0.76	0.13	
		下	9.9	8.1	32.7	10.2	4.7	1.5	1.2	1.9	1.6	0.53	0.13	
	2022	5	上	18.5	8.2	30.7	9.7	3.4	2.0	1.5	3.1	2.6	0.67	0.22
			下	14.8	8.0	32.8	7.8	1.7	1.4	1.1	2.2	2.1	0.26	0.07
	8	上	28.4	8.4	28.3	9.4	5.8	3.2	1.9	3.9	2.8	0.96	0.14	
		下	22.8	7.8	32.3	3.9	1.7	1.5	1.4	1.7	1.5	0.27	0.15	
	11	上	20.0	8.0	31.8	6.8	3.3	1.6	1.4	2.0	1.7	0.23	0.06	
		下	20.8	8.0	32.3	6.4	1.8	1.5	1.2	1.7	1.6	0.44	0.11	
	2	上	10.5	8.1	31.9	9.0	1.0	1.5	1.4	2.1	2.1	0.44	0.22	
		下	11.0	8.1	32.9	8.2	2.5	1.4	1.2	2.0	1.9	0.29	0.18	
	2023	5	上	19.2	8.3	29.5	9.8	8.9	2.5	1.6	3.0	1.9	1.46	0.24
			下	16.5	8.1	32.6	6.7	1.7	1.6	1.3	1.6	1.4	0.57	0.16
	8	上	28.2	8.2	18.5	10.0	13.8	2.7	1.7	3.6	2.5	1.65	0.12	
		下	23.7	7.8	31.6	3.6	0.9	1.6	1.3	2.3	2.1	0.39	0.10	
	11	上	21.6	8.0	32.0	7.2	5.1	1.5	1.3	1.6	1.3	1.42	0.16	
		下	21.7	8.0	32.6	6.7	1.6	1.4	1.2	1.7	1.4	0.35	0.11	
	2	上	10.1	8.1	28.8	9.5	3.2	1.7	1.3	1.3	1.2	0.56	0.26	
		下	11.8	8.1	33.4	8.8	3.2	1.3	1.1	1.3	1.1	0.40	0.21	
	2024	5	上	17.5	8.3	28.2	9.7	7.2	2.1	1.5	2.5	1.8	1.58	0.20
			下	15.2	8.2	32.8	8.3	2.6	1.6	1.3	1.6	1.3	0.89	0.88
	8	上	30.3	8.5	21.0	9.4	10.3	3.0	1.8	4.0	2.9	1.33	0.18	
		下	21.5	7.9	31.9	3.9	1.9	1.5	1.3	2.0	1.6	0.40	0.26	
	11	上	21.8	8.1	30.7	7.1	1.6	1.7	1.5	3.2	2.9	0.69	0.38	
		下	22.8	8.0	32.4	4.6	1.1	1.6	1.5	3.4	3.0	0.37	<0.05	
	2	上	9.5	8.1	31.8	9.8	7.5	1.5	1.1	1.7	0.9	0.76	0.44	
		下	10.2	8.1	32.6	9.2	5.9	1.4	1.1	2.0	1.4	0.81	0.44	

別表2(b) 広島湾における水質調査結果 (St.3)

地点	年	月	層	TN (mg/L)	DTN (mg/L)	TP (mg/L)	DTP (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)
定量下限値				0.05	0.05	0.003	0.003	0.01	0.005	0.005	0.003
St.3	2020	5	上	0.75	0.17	0.066	0.009	<0.01	<0.005	<0.005	0.003
			下	0.17	0.12	0.024	0.016	0.02	<0.005	0.007	0.016
	8	上	0.39	0.14	0.030	0.006	<0.01	0.006	0.012	<0.003	
		下	0.31	0.26	0.057	0.049	0.06	0.008	0.106	0.043	
	11	上	0.36	0.32	0.046	0.040	0.12	0.019	0.093	0.036	
		下	0.22	0.19	0.035	0.032	0.03	0.011	0.009	0.017	
	2	上	0.22	0.19	0.021	0.017	0.04	0.007	0.050	0.014	
		下	0.16	0.12	0.021	0.017	0.02	0.006	0.020	0.013	
	2021	5	上	0.79	0.44	0.070	0.020	0.07	0.013	0.199	0.006
			下	0.19	0.14	0.029	0.024	0.05	<0.005	<0.005	0.017
	8	上	0.36	0.16	0.033	0.012	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.16	0.13	0.027	0.023	<0.01	0.015	0.023	0.018	
	11	上	0.19	0.16	0.035	0.029	0.04	0.021	0.019	0.021	
		下	0.19	0.16	0.035	0.027	0.04	0.020	0.017	0.020	
	2	上	0.29	0.22	0.029	0.007	0.05	0.007	0.033	0.007	
		下	0.14	0.11	0.023	0.012	<0.01	<0.005	<0.005	0.007	
	2022	5	上	0.79	0.44	0.022	0.008	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.19	0.14	0.024	0.017	<0.01	<0.005	<0.005	0.011
	8	上	0.25	0.12	0.021	0.006	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.24	0.20	0.036	0.030	0.02	0.025	0.043	0.024	
	11	上	0.26	0.22	0.037	0.031	0.08	0.018	0.048	0.024	
		下	0.23	0.20	0.035	0.030	0.07	0.017	0.022	0.024	
	2	上	0.22	0.21	0.026	0.023	0.03	0.009	0.058	0.020	
		下	0.17	0.14	0.026	0.018	0.02	0.009	0.031	0.017	
	2023	5	上	0.25	0.11	0.023	0.006	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.16	0.13	0.026	0.023	0.02	<0.005	0.006	0.016
	8	上	0.52	0.25	0.045	0.010	<0.01	0.007	<0.005	<0.003	
		下	0.20	0.17	0.042	0.037	0.02	0.019	0.030	0.031	
	11	上	0.26	0.19	0.032	0.025	0.05	0.028	0.034	0.019	
		下	0.20	0.16	0.030	0.027	0.02	0.032	0.019	0.021	
	2	上	0.38	0.37	0.040	0.029	0.17	0.011	0.103	0.020	
		下	0.16	0.12	0.030	0.023	0.03	0.006	0.008	0.015	
	2024	5	上	0.28	0.20	0.033	0.010	<0.01	<0.005	0.022	<0.003
			下	0.21	0.16	0.021	0.013	<0.01	<0.005	<0.005	0.006
	8	上	0.33	0.13	0.027	0.006	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.17	0.14	0.041	0.037	0.03	0.006	0.014	0.029	
	11	上	0.42	0.43	0.031	0.025	<0.01	0.031	0.040	0.017	
		下	0.20	0.19	0.041	0.040	0.03	0.109	0.046	0.038	
	2	上	0.22	0.21	0.026	0.023	0.03	0.009	0.058	0.020	
		下	0.17	0.14	0.026	0.018	0.02	0.009	0.031	0.017	

別表3(a) 広島湾における水質調査結果 (St.4)

地点	年	月	層	水温 (°C)	pH	塩分	DO (mg/L)	Chl-a (μg/L)	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)	COD (mg/L)	D-COD (mg/L)	BOD (mg/L)	D-BOD (mg/L)
定量下限値				—	—	—	0.5	0.5	0.2	0.2	0.5	0.5	0.05	0.05
St.4	2020	5月	上	18.6	8.3	30.9	9.6	3.4	2.1	1.5	3.4	1.5	1.05	0.16
			下	15.3	8.1	33.0	7.8	2.8	1.3	1.1	2.6	1.5	0.39	0.09
	8月	上	28.2	8.8	17.4	11.4	7.9	2.9	1.7	5.1	3.1	1.28	0.22	
		下	21.9	7.9	31.8	4.8	0.5	1.3	1.1	2.3	2.0	0.22	0.21	
	11月	上	19.5	8.1	31.7	7.6	2.6	1.3	1.2	2.2	1.8	0.58	0.15	
		下	20.2	8.1	32.1	7.1	2.0	1.2	1.2	2.1	1.7	0.33	0.12	
	2月	上	10.7	8.1	30.7	9.8	3.0	1.3	1.1	2.2	1.8	0.36	0.26	
		下	11.2	8.1	32.9	8.8	2.4	1.3	1.1	1.9	1.8	0.26	0.18	
	2021	5月	上	18.5	8.4	28.5	9.8	6.2	2.3	1.7	3.0	2.4	1.43	0.24
			下	15.8	8.0	33.1	6.9	1.5	1.5	1.2	1.3	1.2	0.24	0.16
	8月	上	30.3	8.2	30.4	6.9	1.7	2.5	1.9	4.1	2.9	0.97	0.14	
		下	21.5	7.8	32.6	3.3	<0.5	1.7	1.3	2.6	1.7	0.27	0.20	
	11月	上	19.9	8.1	31.8	8.0	9.1	1.6	1.2	2.9	2.3	0.54	0.20	
		下	20.1	8.1	32.1	7.4	6.8	1.5	1.2	2.6	1.6	0.45	0.16	
	2月	上	9.5	8.2	31.3	10.6	5.2	1.4	1.1	2.2	1.5	0.63	0.09	
		下	10.0	8.1	33.1	9.3	2.5	1.3	1.2	1.7	1.5	0.29	0.07	
	2022	5月	上	18.0	8.2	31.6	9.7	1.6	1.9	1.4	2.9	2.4	0.81	0.11
			下	14.6	8.0	33.0	8.0	1.5	1.4	1.2	2.0	2.1	0.27	0.10
	8月	上	28.0	8.3	29.2	8.1	5.1	2.6	1.9	3.2	2.1	1.32	0.22	
		下	22.2	7.8	32.5	4.1	1.0	1.5	1.3	1.5	1.5	0.28	0.16	
	11月	上	20.3	8.0	32.2	7.0	3.1	1.6	1.3	1.7	1.5	0.35	0.09	
		下	21.0	8.0	32.3	7.0	2.7	1.6	1.4	1.8	1.7	0.31	0.19	
	2月	上	10.0	8.1	30.9	9.2	1.3	1.4	1.3	2.3	2.1	0.35	0.20	
		下	10.9	8.1	33.0	8.6	1.2	1.4	1.2	1.7	1.7	0.26	0.06	
	2023	5月	上	19.4	8.2	30.2	9.4	3.8	2.3	1.5	3.2	2.1	1.23	0.17
			下	16.0	8.1	32.9	6.9	1.6	1.6	1.4	1.8	1.5	0.45	0.17
	8月	上	27.9	8.3	28.5	8.9	3.3	2.3	1.8	2.8	2.5	0.97	0.09	
		下	23.4	7.7	31.6	2.2	1.0	1.5	1.3	2.1	1.9	0.44	0.19	
	11月	上	21.6	8.1	32.2	7.9	9.3	1.7	1.3	2.1	1.5	1.10	0.13	
		下	21.8	8.0	32.6	7.4	1.5	1.4	1.2	1.5	1.0	0.29	<0.05	
	2月	上	9.2	8.1	28.9	9.7	2.1	1.3	1.2	1.8	1.3	0.46	0.21	
		下	11.8	8.1	33.7	8.8	2.8	1.3	1.1	0.9	0.9	0.35	0.22	
	2024	5月	上	17.0	8.3	28.2	9.9	8.1	2.1	1.5	2.2	1.4	1.61	0.22
			下	14.7	8.2	33.1	7.7	1.6	1.3	1.3	1.0	1.0	0.66	0.16
	8月	上	29.6	8.6	21.6	9.0	11.7	3.4	1.9	4.4	2.8	1.66	0.29	
		下	21.5	7.9	32.0	4.6	1.6	1.4	1.4	1.9	1.7	0.50	0.22	
	11月	上	21.6	8.1	29.7	7.2	2.3	1.8	1.5	3.1	3.1	0.79	0.34	
		下	22.5	8.1	32.5	6.2	1.1	1.4	1.4	2.9	2.8	0.38	0.29	
	2月	上	9.4	8.2	32.6	9.9	4.5	1.4	1.1	1.5	1.0	0.93	0.52	
		下	10.3	8.1	32.9	9.2	6.4	1.3	1.1	1.5	1.2	0.87	0.44	

別表3(b) 広島湾における水質調査結果 (St.4)

地点	年	月	層	TN (mg/L)	DTN (mg/L)	TP (mg/L)	DTP (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)
定量下限値				0.05	0.05	0.003	0.003	0.01	0.005	0.005	0.003
St.4	2020	5月	上	0.19	0.11	0.012	<0.003	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.14	0.11	0.014	0.010	<0.01	<0.005	<0.005	0.010
	8月	上	0.31	0.11	0.021	0.006	<0.01	<0.005	0.006	<0.003	
		下	0.24	0.19	0.036	0.031	<0.01	0.005	0.093	0.026	
	11月	上	0.21	0.18	0.029	0.023	0.05	0.015	0.032	0.019	
		下	0.16	0.13	0.026	0.021	0.07	0.015	0.019	0.025	
	2月	上	0.25	0.20	0.026	0.019	0.06	0.009	0.061	0.017	
		下	0.16	0.12	0.018	0.015	0.01	0.006	0.014	0.012	
	2021	5月	上	0.23	0.13	0.022	0.010	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.15	0.11	0.022	0.018	0.02	<0.005	<0.005	0.012
	8月	上	0.21	0.18	0.025	0.010	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.24	0.19	0.048	0.040	0.01	0.029	0.050	0.036	
	11月	上	0.16	0.11	0.029	0.018	<0.01	<0.005	<0.005	0.011	
		下	0.16	0.11	0.026	0.018	<0.01	0.010	<0.005	0.012	
	2月	上	0.17	0.13	0.016	0.013	0.02	<0.005	0.014	<0.003	
		下	0.14	0.17	0.019	0.012	0.01	<0.005	<0.005	0.007	
	2022	5月	上	0.23	0.13	0.015	0.007	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.15	0.11	0.022	0.018	0.02	<0.005	<0.005	0.012
	8月	上	0.22	0.12	0.015	0.006	0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.23	0.17	0.040	0.033	0.02	0.008	0.071	0.031	
	11月	上	0.32	0.18	0.033	0.028	0.04	0.014	0.023	0.021	
		下	0.25	0.20	0.033	0.026	0.02	0.013	0.010	0.018	
	2月	上	0.24	0.21	0.025	0.022	0.02	0.023	0.066	0.019	
		下	0.18	0.12	0.024	0.017	<0.01	0.010	0.027	0.015	
	2023	5月	上	0.17	0.11	0.017	0.005	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.16	0.13	0.026	0.023	0.03	<0.005	0.008	0.017
	8月	上	0.22	0.13	0.022	0.011	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.30	0.27	0.061	0.055	0.06	0.029	0.055	0.049	
	11月	上	0.22	0.14	0.027	0.018	0.02	0.016	0.016	0.009	
		下	0.19	0.16	0.031	0.026	0.03	0.030	0.016	0.022	
	2月	上	0.19	0.18	0.021	0.016	0.02	<0.005	0.071	0.007	
		下	0.12	0.09	0.026	0.018	0.01	<0.005	<0.005	0.009	
	2024	5月	上	0.25	0.16	0.032	0.010	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.17	0.16	0.022	0.016	<0.01	<0.005	<0.005	0.009
	8月	上	0.37	0.15	0.031	0.007	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.17	0.14	0.035	0.030	<0.01	<0.005	0.039	0.024	
	11月	上	0.24	0.22	0.030	0.023	0.01	0.051	0.096	0.019	
		下	0.25	0.22	0.031	0.026	<0.01	0.040	0.048	0.022	
	2月	上	0.24	0.21	0.025	0.022	0.02	0.023	0.066	0.019	
		下	0.18	0.12	0.024	0.017	<0.01	0.010	0.027	0.015	

別表4(a) 広島湾における水質調査結果 (St.5)

地点	年	月	層	水温	pH	塩分	DO	Chl-a	TOC	DOC	COD	D-COD	BOD	D-BOD
				(°C)			(mg/L)	(μg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
				—	—	—	0.5	0.5	0.2	0.2	0.5	0.5	0.05	0.05
St.5	2020	5月	上	17.7	8.2	32.0	8.9	1.2	1.7	1.2	3.2	2.0	0.66	0.10
			下	15.7	8.1	33.0	8.1	1.3	1.4	1.2	2.2	1.5	0.30	0.17
	8月	上	27.2	8.4	23.9	8.2	1.2	2.0	1.5	3.4	2.7	0.54	0.10	
		下	21.9	8.0	32.0	5.5	1.1	1.4	1.3	2.8	2.4	0.43	0.08	
	11月	上	19.5	8.1	31.9	7.6	3.2	1.3	1.1	2.1	1.9	0.41	0.21	
		下	19.9	8.1	32.5	7.4	3.6	1.5	1.2	2.0	1.8	0.45	0.18	
	2月	上	10.7	8.1	32.1	9.4	3.1	1.2	1.1	2.2	1.9	0.52	0.32	
		下	11.0	8.1	33.1	8.8	3.1	1.2	1.0	2.0	1.7	0.38	0.18	
	2021	5月	上	17.9	8.2	30.5	9.0	4.2	2.1	1.6	3.3	2.3	1.08	0.33
			下	15.5	8.1	33.2	7.6	1.0	1.5	1.1	1.3	1.3	0.34	0.17
	8月	上	28.6	8.3	29.8	7.7	5.0	3.0	2.2	4.5	3.1	1.57	0.22	
		下	21.5	7.9	32.6	4.3	<0.5	1.6	1.3	2.5	2.1	0.42	0.18	
	11月	上	20.0	8.1	31.9	7.8	7.8	1.7	1.2	2.4	2.1	0.32	0.16	
		下	19.6	8.1	32.1	8.0	8.3	1.5	1.1	3.1	1.9	0.44	0.22	
	2月	上	10.0	8.1	32.6	9.8	2.8	1.4	1.2	1.6	1.4	0.39	0.15	
		下	10.0	8.1	33.1	9.2	2.7	1.4	1.2	2.0	1.9	0.35	0.12	
	2022	5月	上	17.9	8.2	31.5	9.7	1.2	2.2	1.5	2.7	2.7	1.18	0.17
			下	14.3	8.1	33.1	8.1	1.3	1.4	1.3	2.2	2.0	0.40	0.08
	8月	上	26.8	8.2	30.2	7.8	2.2	2.5	1.7	2.3	2.1	1.88	0.13	
		下	23.0	7.9	32.8	5.8	0.8	1.5	1.3	1.5	1.0	0.57	0.23	
	11月	上	20.7	8.1	32.7	7.2	2.7	1.5	1.2	2.2	1.4	0.34	0.12	
		下	21.0	8.1	32.8	7.5	2.9	1.7	1.4	2.2	1.7	0.16	0.06	
	2月	上	10.8	8.1	32.7	9.2	2.1	1.5	1.4	2.1	1.7	0.31	0.19	
		下	10.9	8.1	33.2	8.6	1.5	1.4	1.3	1.8	1.7	0.28	0.27	
	2023	5月	上	18.7	8.3	30.6	9.1	2.3	2.3	1.5	3.2	1.9	1.03	0.07
			下	16.0	8.1	32.9	7.3	0.8	1.4	1.2	1.6	1.4	0.38	0.22
	8月	上	27.8	8.3	28.9	8.6	1.9	2.3	1.8	2.9	2.4	0.91	0.11	
		下	23.4	7.9	31.8	4.7	0.7	1.5	1.3	1.9	1.8	0.34	0.14	
	11月	上	21.6	8.1	32.4	7.1	3.3	1.4	1.4	2.3	1.4	1.03	0.10	
		下	21.9	8.1	32.9	7.0	1.5	1.3	1.3	1.3	1.1	0.46	0.09	
	2月	上	10.8	8.1	32.6	9.6	4.0	1.9	1.4	2.5	1.2	0.51	0.37	
		下	11.6	8.1	33.5	9.4	2.9	1.3	1.2	1.4	0.9	0.45	0.17	
	2024	5月	上	18.0	8.3	30.3	9.3	6.0	2.5	1.7	2.1	1.4	1.50	0.33
			下	14.8	8.1	33.0	7.9	1.4	1.6	1.3	0.9	0.8	0.75	0.25
	8月	上	29.6	8.4	25.5	8.3	3.6	2.8	2.0	3.8	2.8	0.88	0.29	
		下	21.2	8.0	32.3	5.7	2.5	1.6	1.3	2.0	1.7	0.54	0.29	
	11月	上	21.6	8.1	30.8	7.4	4.1	2.0	1.6	3.2	2.8	0.65	0.39	
		下	22.3	8.1	32.6	6.5	1.1	1.6	1.3	2.8	2.8	0.68	0.67	
	2月	上	9.7	8.1	32.8	9.6	4.6	1.4	1.1	1.8	0.8	0.85	0.54	
		下	10.4	8.1	32.8	9.0	5.3	1.2	1.0	1.5	1.2	0.64	0.49	

別表4(b) 広島湾における水質調査結果 (St.5)

地点	年	月	層	TN	DTN	TP	DTP	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄
				(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
				0.05	0.05	0.003	0.003	0.01	0.005	0.005	0.003
St.5	2020	5月	上	0.14	0.10	0.016	0.004	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.16	0.11	0.015	0.013	0.01	<0.005	0.006	0.010
	8月	上	0.17	0.15	0.013	0.006	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.22	0.18	0.034	0.027	0.01	0.005	0.069	0.022	
	11月	上	0.16	0.13	0.025	0.020	0.05	0.011	0.015	0.015	
		下	0.16	0.12	0.023	0.018	0.03	0.008	0.008	0.012	
	2月	上	0.16	0.11	0.020	0.014	0.02	0.006	0.023	0.011	
		下	0.15	0.11	0.023	0.014	0.02	0.006	0.014	0.013	
	2021	5月	上	0.19	0.11	0.018	0.009	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.15	0.12	0.026	0.017	0.02	<0.005	<0.005	0.010
	8月	上	0.26	0.14	0.027	0.011	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.22	0.18	0.040	0.033	0.03	0.026	0.029	0.030	
	11月	上	0.13	0.10	0.025	0.015	<0.01	0.006	<0.005	0.009	
		下	0.15	0.10	0.027	0.016	<0.01	<0.005	<0.005	0.009	
	2月	上	0.12	0.09	0.016	0.011	0.02	<0.005	<0.005	0.003	
		下	0.14	0.09	0.018	0.016	0.02	<0.005	<0.005	0.007	
	2022	5月	上	0.19	0.11	0.014	0.007	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.15	0.12	0.020	0.016	0.01	<0.005	<0.005	0.010
	8月	上	0.19	0.18	0.021	0.007	0.03	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.15	0.12	0.029	0.023	0.03	0.010	0.023	0.020	
	11月	上	0.17	0.12	0.027	0.024	<0.01	0.012	0.008	0.015	
		下	0.17	0.13	0.028	0.023	<0.01	0.012	0.008	0.015	
	2月	上	0.19	0.15	0.022	0.019	0.01	0.009	0.031	0.014	
		下	0.17	0.15	0.022	0.018	<0.01	0.024	0.012	0.015	
	2023	5月	上	0.17	0.10	0.015	0.004	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.16	0.13	0.021	0.019	0.02	<0.005	0.006	0.014
	8月	上	0.27	0.14	0.022	0.014	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.23	0.18	0.032	0.029	<0.01	0.021	0.045	0.023	
	11月	上	0.17	0.13	0.027	0.020	0.03	0.021	0.013	0.015	
		下	0.16	0.13	0.027	0.022	0.02	0.018	0.006	0.016	
	2月	上	0.13	0.10	0.020	0.017	0.02	<0.005	<0.005	0.004	
		下	0.13	0.11	0.021	0.013	0.02	<0.005	<0.005	0.009	
	2024	5月	上	0.29	0.17	0.025	0.010	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003
			下	0.22	0.15	0.024	0.019	<0.01	<0.005	<0.005	0.010
	8月	上	0.28	0.18	0.021	0.011	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	
		下	0.19	0.15	0.034	0.031	0.01	0.008	0.030	0.024	
	11月	上	0.22	0.19	0.027	0.021	<0.01	0.034	0.057	0.016	
		下	0.25	0.25	0.031	0.024	<0.01	0.033	0.043	0.024	
	2月	上	0.19	0.15	0.022	0.019	0.01	0.009	0.031	0.014	
		下	0.17	0.15	0.022	0.018	<0.01	0.024	0.012	0.015	