

委員会における指摘事項等への対応

第4回委員会における指摘事項等を踏まえ、情報収集・整理を行った。

1. 指定水域の水質汚濁メカニズムについて …………… P. 1
2. 気候変動による水質影響 …………… P. 23

1. 指定水域の水質汚濁メカニズムについて

指定水域の水質汚濁メカニズムに関する指摘事項に関して、以下のとおり整理した。

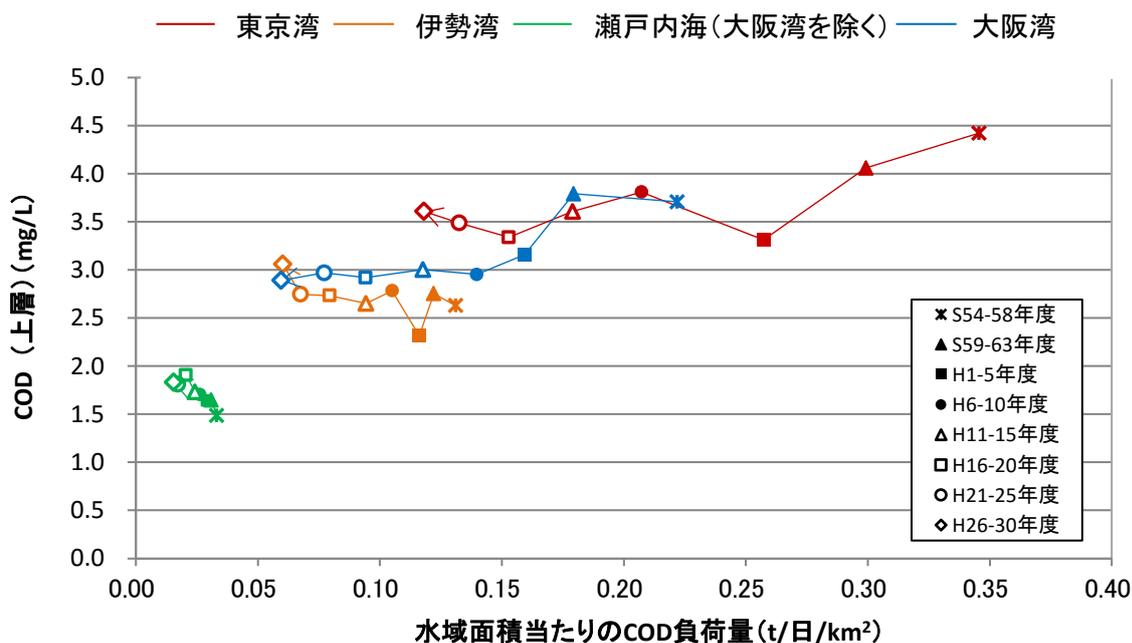
1-1. 負荷削減と水質改善の関係

水域面積あたりのCOD負荷量とCOD濃度の関係を見ると、水域面積あたりのCOD負荷量が多い海域ほど、COD濃度も高くなっている。また、東京湾においては、COD負荷量が多かった昭和54～58年から平成元～5年にかけて、大阪湾においては、COD負荷量が多かった昭和54～58年から平成6～10年にかけて、COD濃度の低下がみられる。しかし、近年の濃度が低い状況において異なる傾向が見られている。COD負荷量は減少しているものの、COD濃度は減少せず、横ばいあるいは増加する場合がある（図1）。

水域面積あたりの窒素負荷量と窒素濃度の関係を見ると、水域面積あたりの窒素負荷量が多い海域ほど、窒素濃度も高くなっている。また、窒素負荷量の削減に伴い、窒素濃度の低下傾向が見られる（図2）。

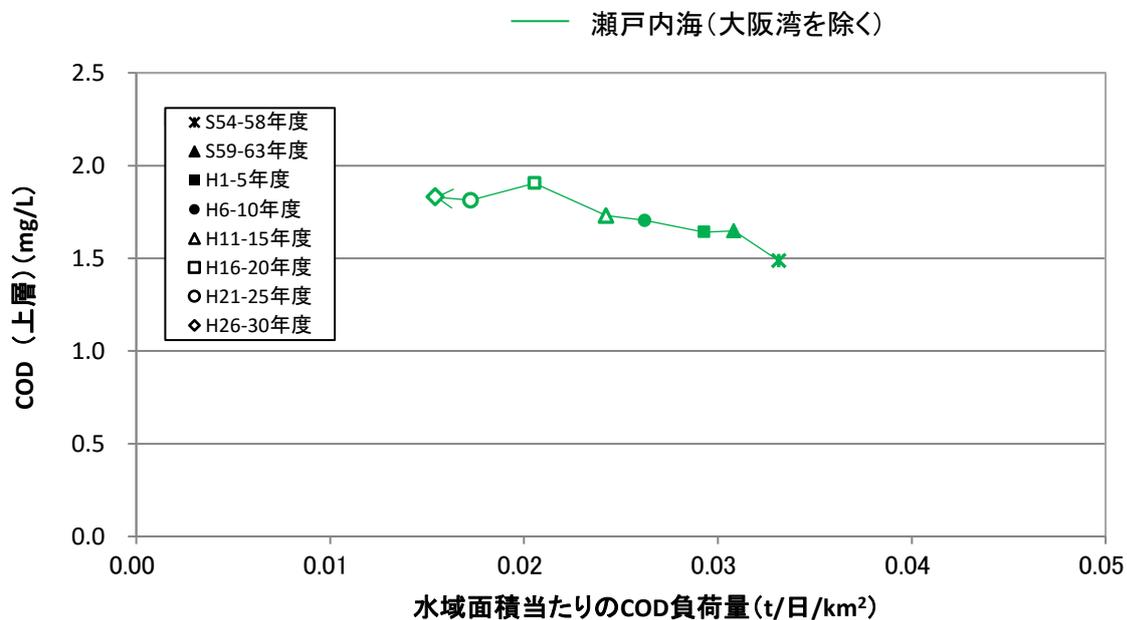
水域面積あたりのりん負荷量とりん濃度の関係を見ると、水域面積あたりのりん負荷量が多い海域ほど、りん濃度も高くなっている。また、りん負荷量の削減に伴い、りん濃度の低下傾向が見られる（図3）。

このような窒素及びりんの濃度の低下傾向とは異なるCOD濃度の変化に対しては、難分解性有機物の増加や、出水や外海の影響、気候変動の影響など、様々な要因が指摘されている。



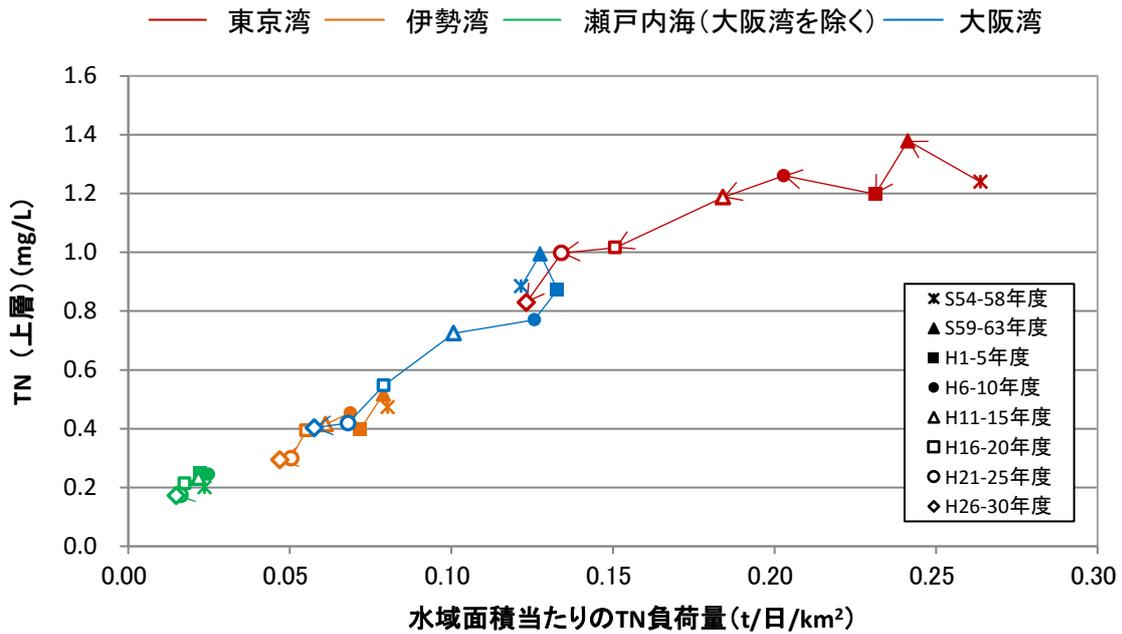
注) COD 負荷量については第 1 次～第 8 次総量削減開始年度の値を、水質については各総量削減期間中の平均水質を用いた。

図 1(1) 水域面積当たりの COD 負荷量と COD 濃度の推移 (全ての指定水域)



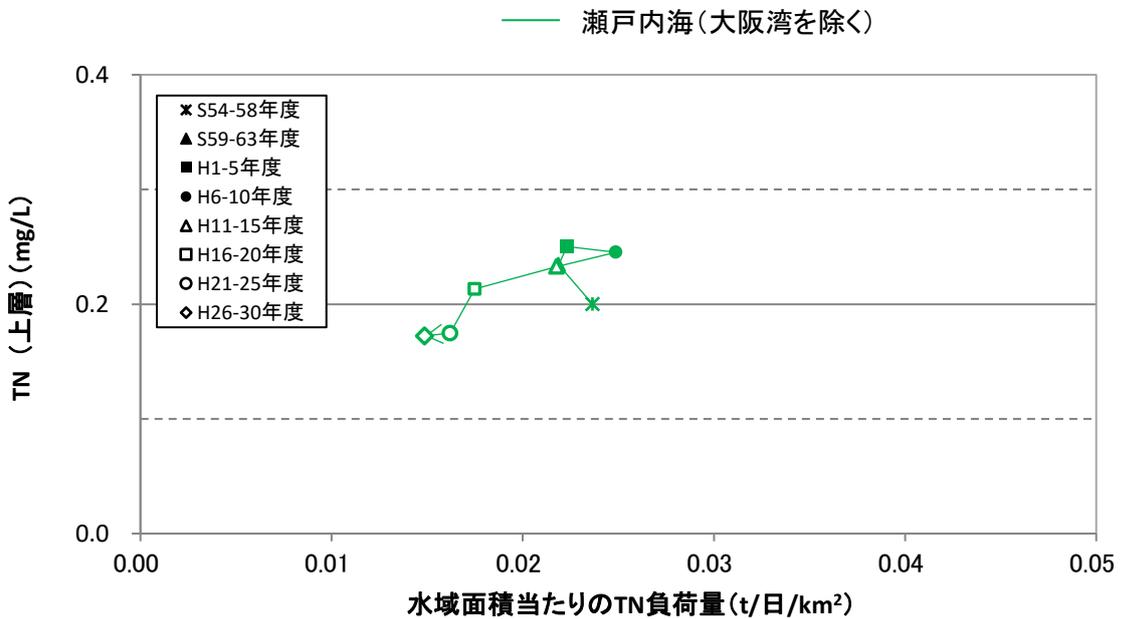
注) COD 負荷量については第 1 次～第 8 次総量削減開始年度の値を、水質については各総量削減期間中の平均水質を用いた。

図 1(2) 水域面積当たりの COD 負荷量と COD 濃度の推移 (瀬戸内海)



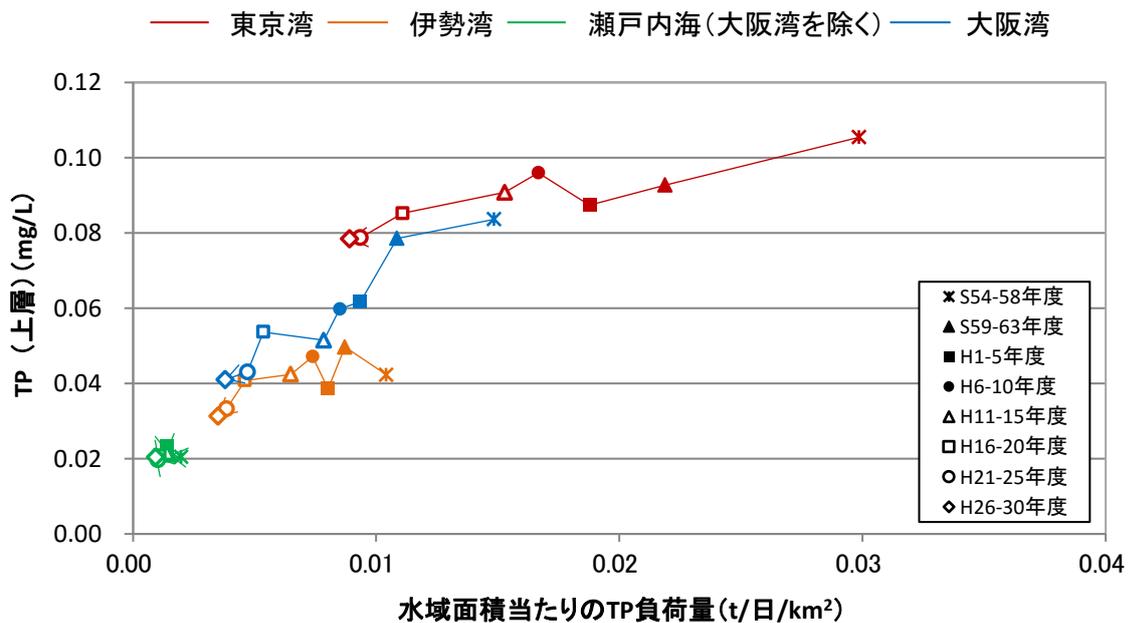
注) 窒素負荷量については第1次～第8次総量削減開始年度の値を、水質については各総量削減期間中の平均水質を用いた。

図 2(1) 水域面積当たりの窒素負荷量と窒素濃度の推移 (全ての指定水域)



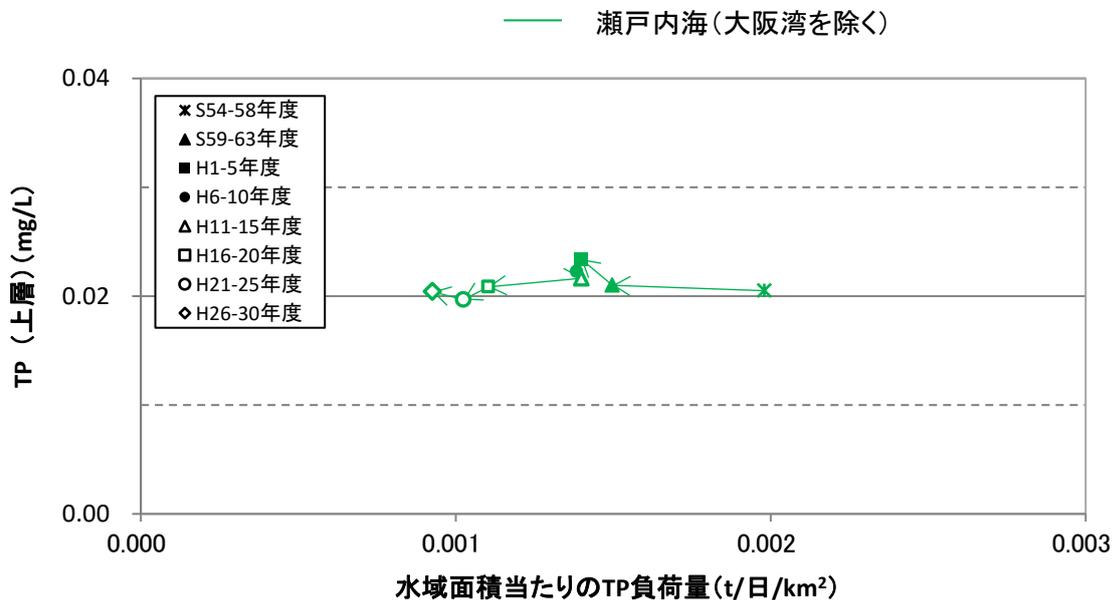
注) 窒素負荷量については第1次～第8次総量削減開始年度の値を、水質については各総量削減期間中の平均水質を用いた。

図 2(2) 水域面積当たりの窒素負荷量と窒素濃度の推移 (瀬戸内海)



注) りん負荷量については第1次～第8次総量削減開始年度の値を、水質については各総量削減期間中の平均水質を用いた。

図 3(1) 水域面積当たりのりん負荷量とりん濃度の推移 (全ての指定水域)



注) りん負荷量については第1次～第8次総量削減開始年度の値を、水質については各総量削減期間中の平均水質を用いた。

図 3(2) 水域面積当たりのりん負荷量とりん濃度の推移 (瀬戸内海)

1-2. 内部生産の状況

内部生産量の変化は、類型や年度ごとのばらつきが大きいものの、総量削減開始当初の1980年代は内部生産の寄与率がどの水域も50～60%であったのに対し、近年では各水域の大部分の面積を占めるA類型で、東京湾及び伊勢湾で40%前後、大阪湾や大阪湾を除く瀬戸内海では20～30%まで抑えられている。また、夏季のクロロフィルa濃度の推移を見ても、横ばいか減少傾向にある。窒素及びりんに対しては、第5次水質総量削減（2001年）より窒素及びりんの規制が開始されたほかに、下水道の高度処理化（東京湾では1995年から高度処理開始）も進められ、内部生産を抑制する効果が表れている。

一方で、COD環境基準の達成率では成果が見えにくくなっており、COD濃度も近年、窒素及びりんの濃度のように低下していないことから、内部生産以外の要因とあわせて検討する必要がある。

1-2-1. 内部生産量の変化

東京湾、伊勢湾、大阪湾及び瀬戸内海（大阪湾を除く）における1981年～2018年の広域総合水質調査結果を用いて内部生産の変化を算定した。

内部生産の算定は、 Δ COD法を適用して、年度毎・類型毎に内部生産及びその寄与率を推定した。 Δ COD法による内部生産及びその寄与率の算定式は以下のとおりである。

Δ COD法

内部生産 (Δ COD法) = CODの年平均値 - CODの年最低値

内部生産寄与率 (Δ COD法) = $\frac{\text{CODの年平均値} - \text{CODの年最低値}}{\text{CODの年平均値}}$

東京湾、伊勢湾、大阪湾及び瀬戸内海（大阪湾を除く）の Δ COD法による内部生産及びその寄与率の経年変化を図4～図7に示す。

<東京湾>

Δ COD法で算定した内部生産は、いずれの類型も1980年代は減少傾向、1990年代は増加傾向を示し、その後は、類型、年度により異なる傾向を示した。その寄与率はいずれの類型も40%前後で推移している。

<伊勢湾>

ΔCOD法で算定した内部生産は、いずれの類型も1980年代は減少傾向、それ以外は概ね増加傾向にあった。その寄与率はいずれの類型も40%前後で推移している。

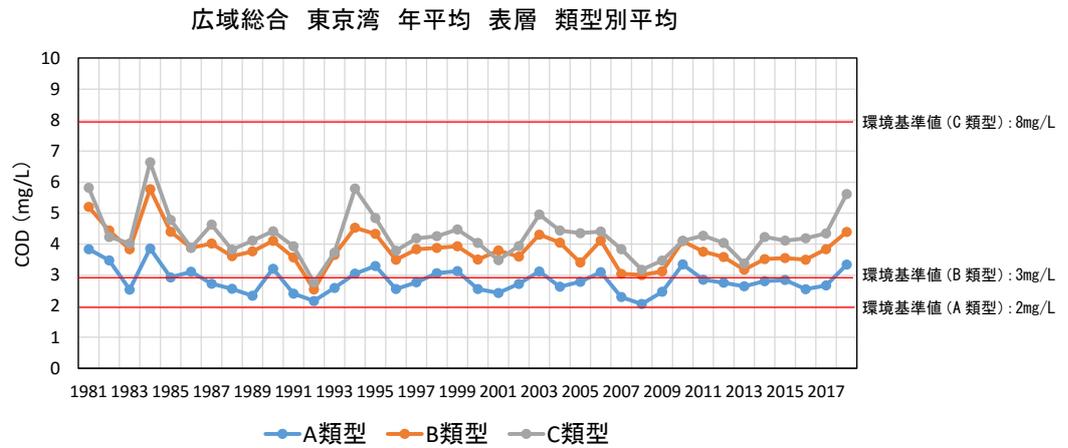
<大阪湾>

ΔCOD法で算定した内部生産は、いずれの類型、いずれの年代ともに減少傾向にあった。その寄与率はA類型では近年20%前後で推移し、C類型では40%前後で推移している。

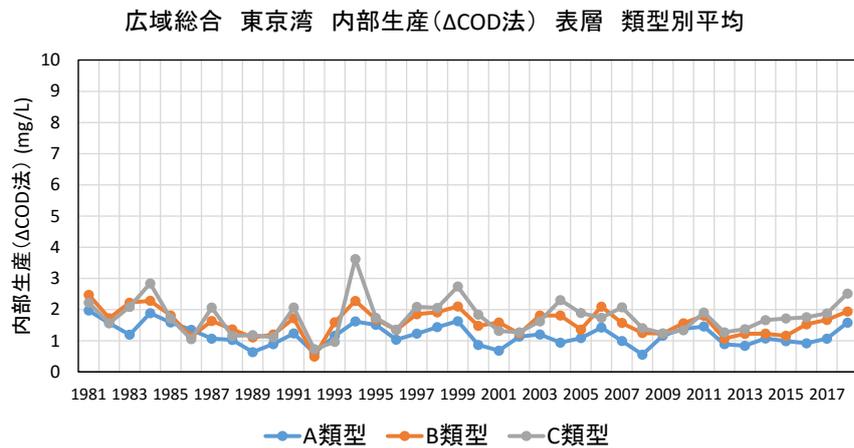
<瀬戸内海(大阪湾を除く)>

ΔCOD法で算定した内部生産のうち、特にB類型、C類型では1980年代～1990年代は減少傾向、2000年代は類型により傾向が異なり、2010年代は増加傾向にあった。その寄与率は1990年代以降30%前後で推移してきたが、近年は40%を上回る年もみられる。A類型ではいずれの年度も増減の傾向は小さかった。その寄与率は20%前後の低い水準である。

<東京湾のCOD年平均値の推移>



<内部生産CODの推移>



<内部生産寄与率の推移>

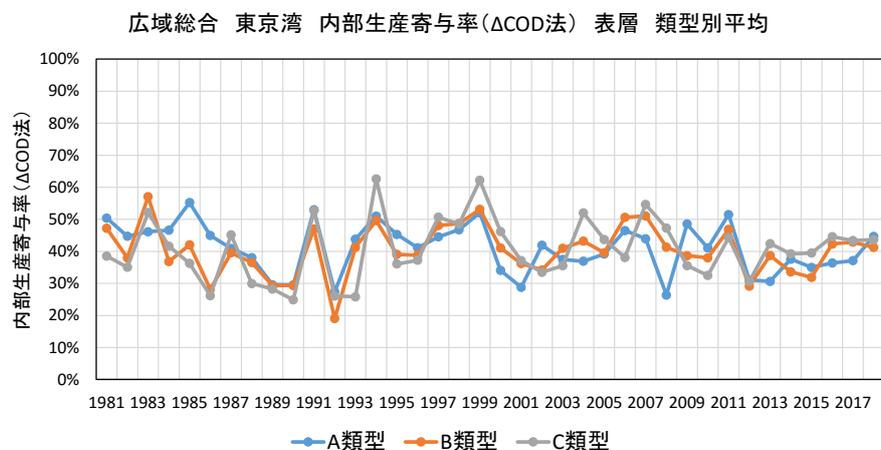
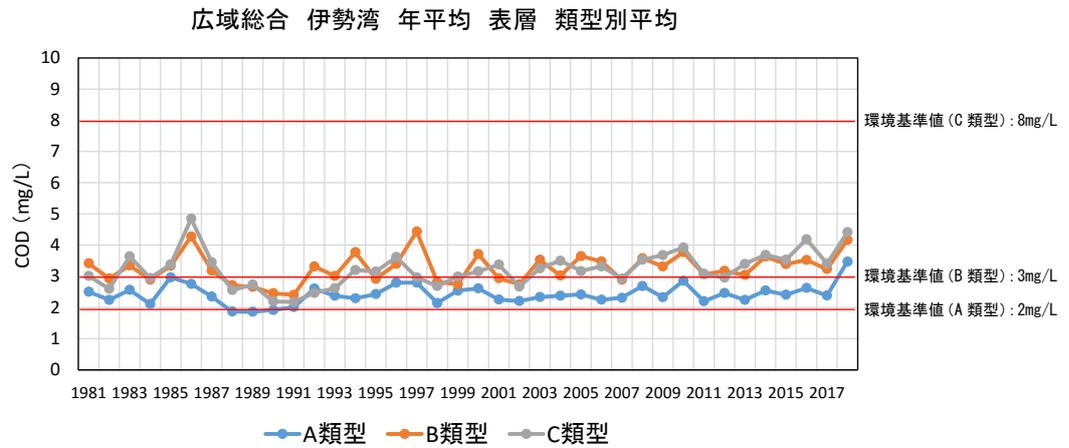
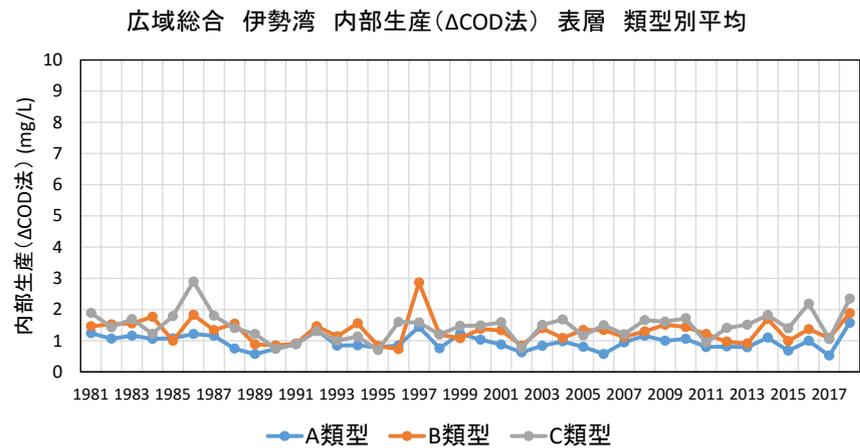


図 4 COD年平均値と内部生産の経年変化（東京湾、表層）

<伊勢湾のCOD年平均値の推移>



<内部生産CODの推移>



<内部生産寄与率の推移>

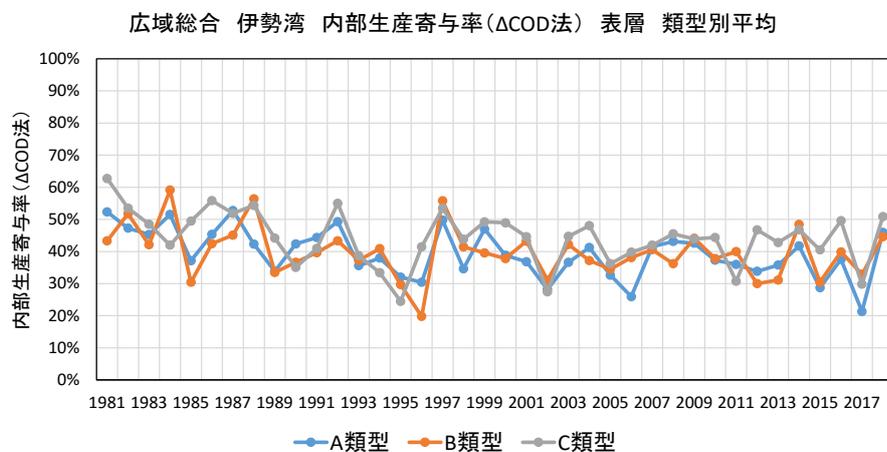
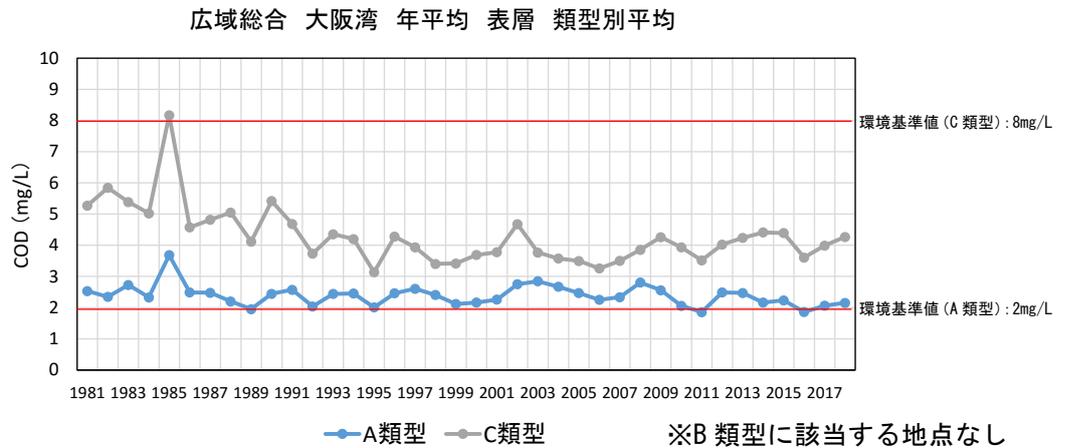
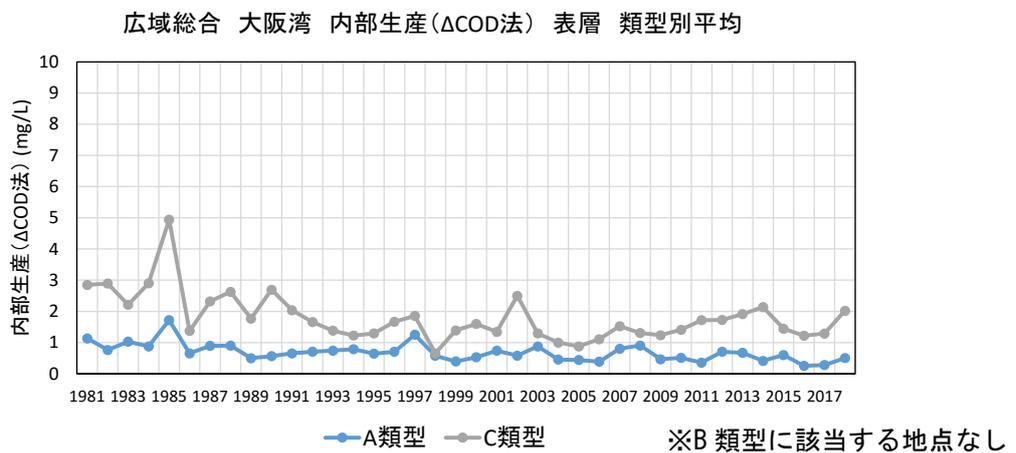


図 5 COD年平均値と内部生産の経年変化 (伊勢湾、表層)

<大阪湾のCOD年平均値の推移>



<内部生産CODの推移>



<内部生産寄与率の推移>

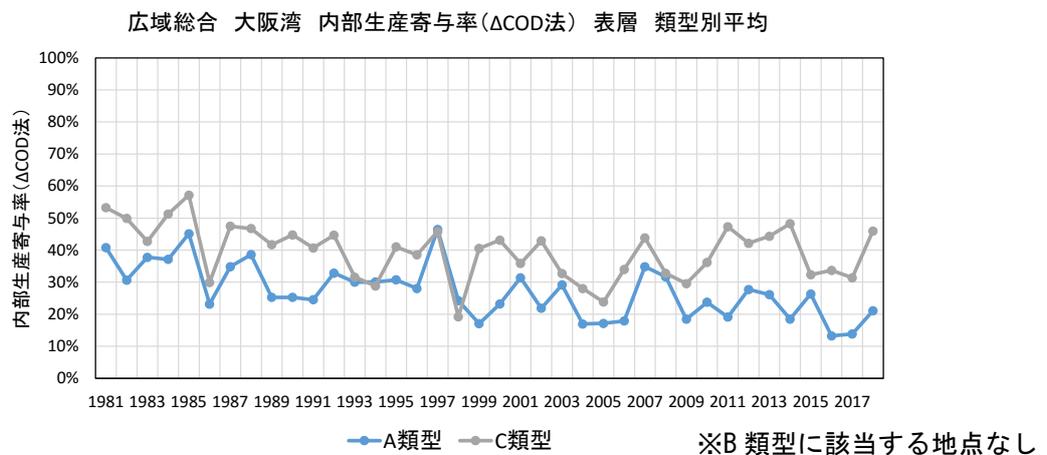
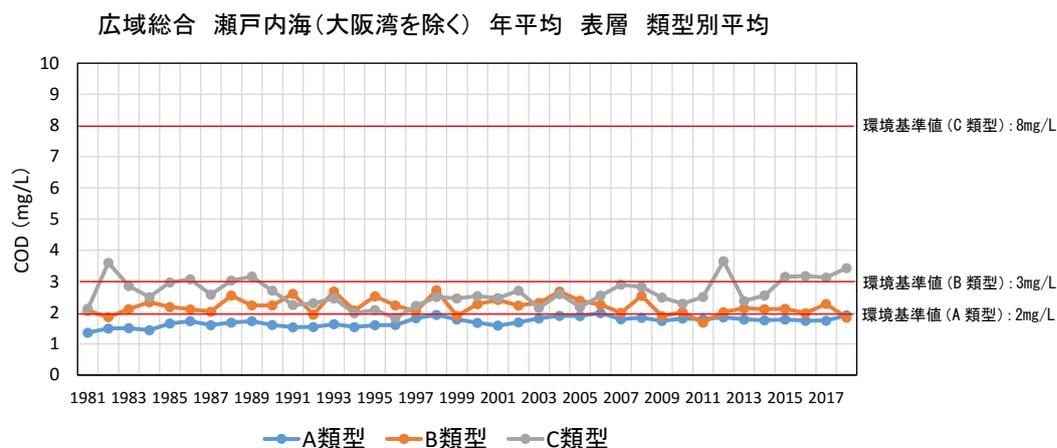
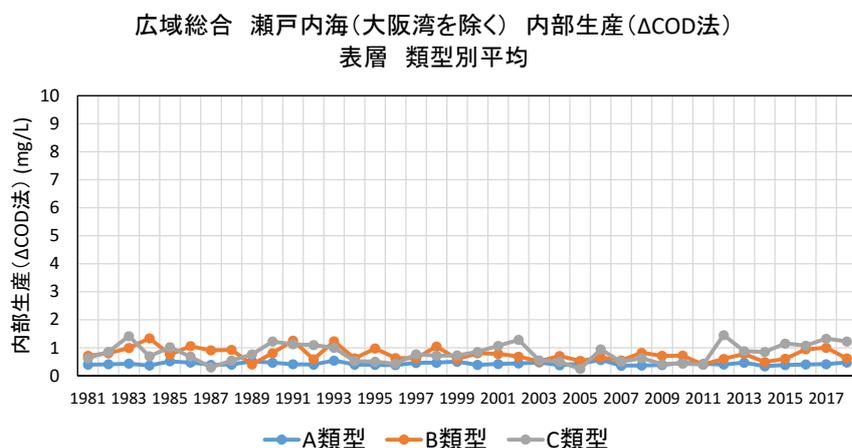


図 6 COD 年平均値と内部生産の経年変化 (大阪湾、表層)

<瀬戸内海(大阪湾を除く)のCOD年平均値の推移>



<内部生産CODの推移>



<内部生産寄与率の推移>

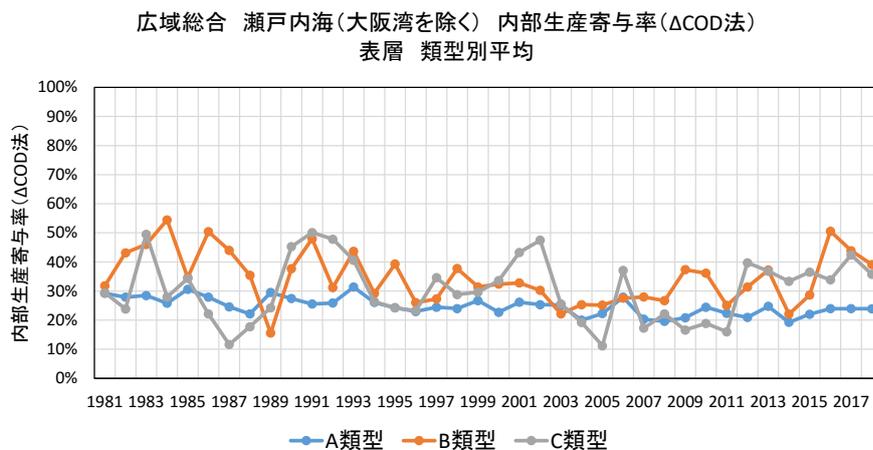
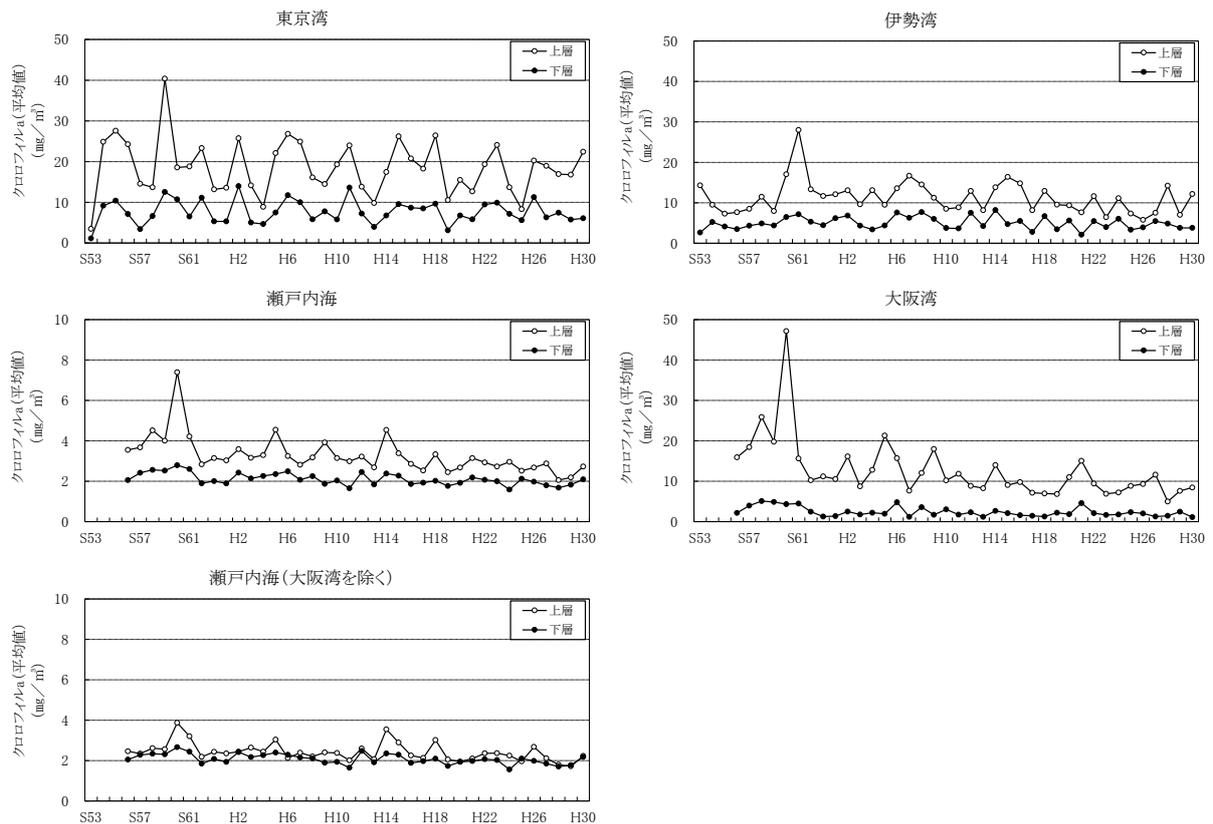


図 7 COD年平均値と内部生産の経年変化(瀬戸内海(大阪湾を除く)、表層)

1-2-2. クロロフィル a の濃度年平均値の推移

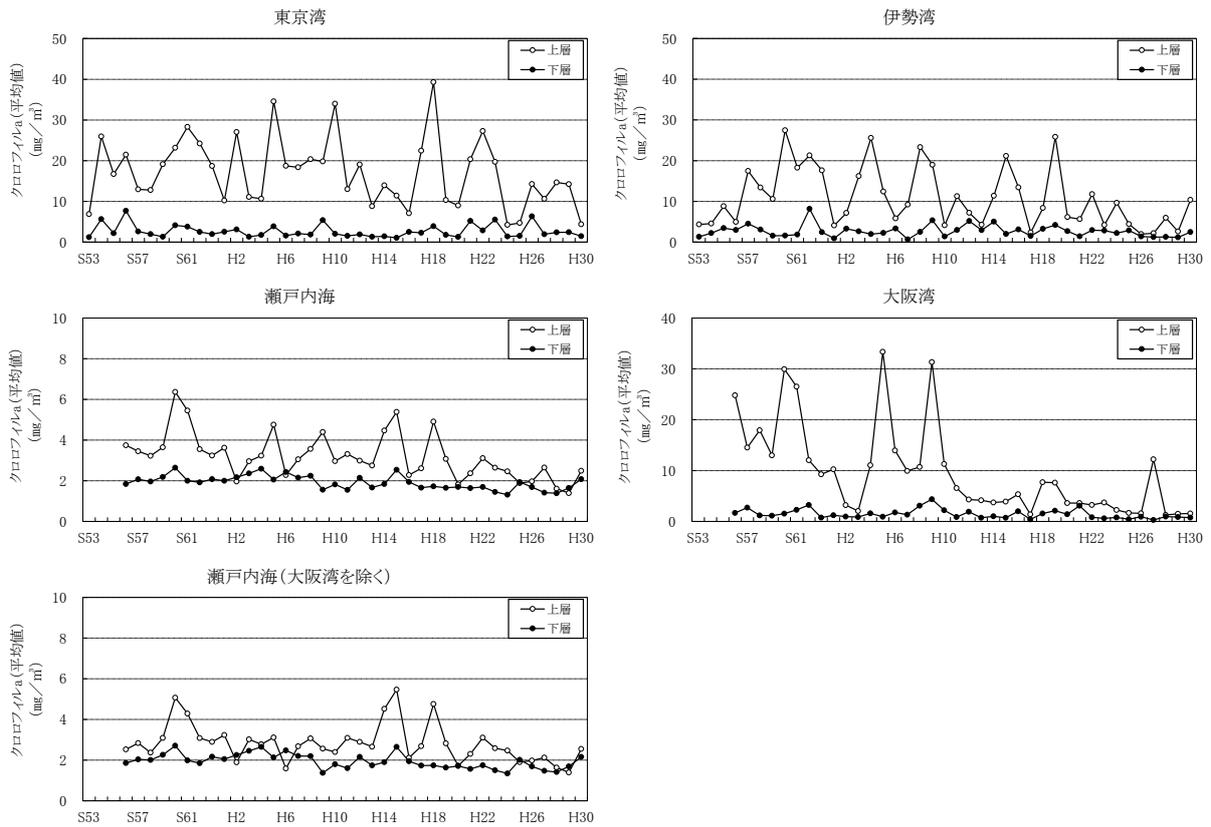
指定水域におけるクロロフィル a の濃度年平均値の推移を図 8 に示す。

東京湾や伊勢湾、瀬戸内海（大阪湾を除く）においては横ばい傾向であるが、大阪湾では減少傾向を示している。



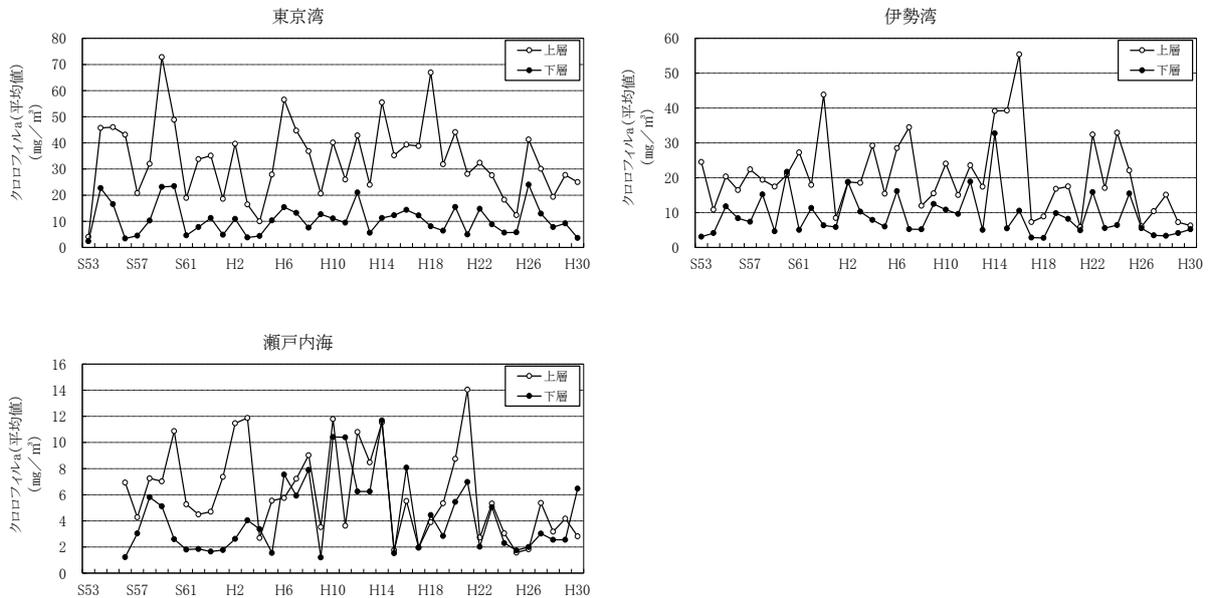
出典)「広域総合水質調査結果」(環境省)

図 8(1) クロロフィル a の濃度年平均値の推移



出典)「広域総合水質調査結果」(環境省)

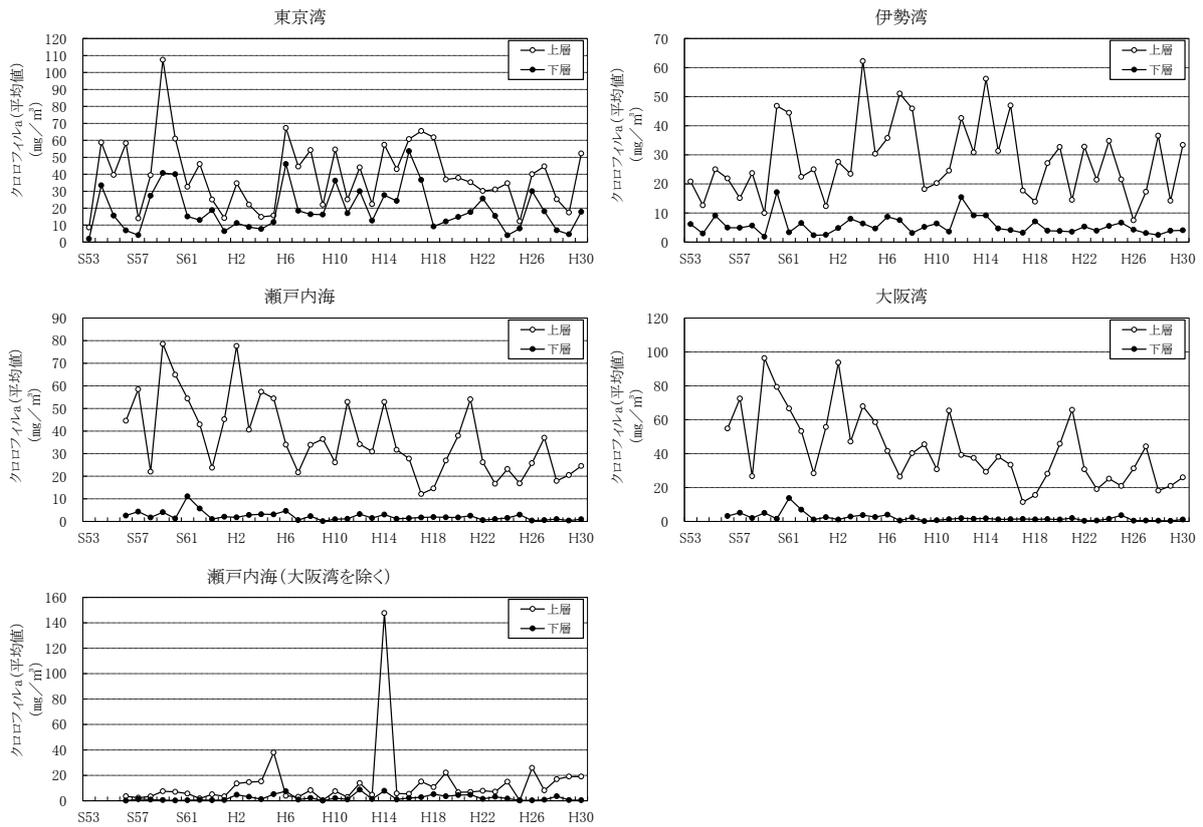
図 8(2) クロロフィル a の濃度年平均値の推移 (A 類型の地点のみ)



注) 大阪湾では、B 類型に指定されている水域に広域総合水質調査の調査地点がない。

出典)「広域総合水質調査結果」(環境省)

図 8(3) クロロフィル a の濃度年平均値の推移 (B 類型の地点のみ)



出典)「広域総合水質調査結果」(環境省)

図 8(4) クロロフィル a の濃度年平均値の推移 (C 類型の地点のみ)

1-3. 底泥からの溶出

東京湾、伊勢湾、大阪湾及び瀬戸内海(大阪湾を除く)における底泥からの溶出量は、既存の測定事例から、それぞれ表 1、表 2、表 3 に示すとおりである。なお、引用した事例には古いデータも含まれており、測定方法、条件、時期等が異なることから、これらの結果を一概に比較できないものの、窒素、りんともに総じて東京湾で溶出速度は大きく、伊勢湾、大阪湾、瀬戸内海 (大阪湾を除く) で小さい傾向にあった。

これらの事例以降に測定された事例では、横浜港で T-N の溶出速度が嫌気状態で $-0.535 \sim 52.9 \text{ mg/m}^2/\text{日}$ 、T-P が $6.65 \sim 21.9 \text{ mg/m}^2/\text{日}$ ¹であった。また、東部瀬戸内海における DIN の溶出速度の年平均値は $2 \sim 27 \text{ mg/m}^2/\text{日}$ 、DIP は $-0.3 \sim 1.6 \text{ mg/m}^2/\text{日}$ の範囲にあり²、いずれも過去の事例と大きな差はなかった。なお、NP の溶出速度は、同じ実験方法であっても条件の違いによってその結果が大きく異なり、溶出速度の増減の評価ができない³ともされている。

また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高濃度の地点・時期には底泥からのりんの溶出速度は小さくなっていることが確認されており、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が一定程度以上 (概ね 0.2 mg/L 以上) の濃度で直上水中に存在する場合、水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は上昇しない、すなわち底泥からの $\text{PO}_4\text{-P}$ 溶出が抑制されているとの報告がある⁴。

なお、既存文献によると、瀬戸内海の窒素・りん起源の見積もりから、底質起源と河川起源⁵との割合は、T-N で 2.1 : 1、T-P で 3.7 : 1 となり、また、別途測定された溶出速度からは、播磨灘では底質起源と陸起源との割合は T-N で 2.5 : 1、T-P で 2.1 : 1 であり、いずれも堆積物からの栄養塩溶出量が河川起源のものより大きいことが示されている。このことは、2007 年以降の瀬戸内海全域の T-N、T-P 濃度の急激な減少傾向を示している主な原因は、河川からの T-N、T-P 負荷量の減少に加えて底質からの T-N、T-P 溶出量が減少しているためではないか、とされている³。

さらに、香川県東部の志度湾の地点では、堆積物間隙水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、2011 年～2012 年の結果と比較して、1999 年～2000 年より平均で 80～90% 減少、兵庫県姫路沖の調査地点でも $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は 1982 年より 75～85% 減少して

¹ 信澤雄一郎, 横浜港の底泥からの栄養塩の溶出と覆砂の効果に関する現地調査と室内実験. 海洋開発論文集, 第 21 巻, 2005, 737-742.

² 樽谷賢治ら, 東部瀬戸内海における底泥からの栄養塩の溶出フラックス. 日本海洋学会大会講演要旨集, Vol.2014 秋季. 2014, p.214.

³ 多田邦尚, 海底からの栄養塩溶出量. 海洋と生物, Vol.37, No.3, 2015, p.217-221.

⁴ 石井裕一ら, 浅海域底泥からのリン溶出と DO 消費に関する実験的検討. 日本水環境学会シンポジウム講演集, Vol.22nd, 2019, p.32.

⁵ 「底質起源」、「河川起源」は引用元での記述をそのまま用いたものである。

いたとされており、堆積物間隙水中の栄養塩濃度は減少しており、瀬戸内海の底泥からの栄養塩溶出も過去と比較して著しく減少したとされている⁶。

一方、海域における巻き上げによる溶出に関する記述は少なく、東京湾盤洲干潟において、上げ潮時の汀線付近での巻き上げ、一時的な底泥からの溶出フラックスの増加が干潟域の水質分布に影響を及ぼしている可能性があること⁷、大阪北港処分地南地区の浚渫土砂処分場において、冬季のT-NとNH₄-Nの増加の要因として、これは浮泥層までの水深が2.4m以浅の時の浮泥の攪乱、巻き上げによる溶出等⁸が挙げられている。

表 1 東京湾におけるCOD・窒素・リンの溶出速度の測定事例

(単位：mg/m²/日)

項目	出典	番号	条件等	サンプル数	最小値	最大値
COD溶出	日本道路公団(1987)	1)	(1) 夏季		130	~ 299
	運輸省第二港湾建設局(1977)	2)	(2) S51.9-S52.1採泥、20℃	11地点	77	~ 276
	環境庁(1987)	2)	(3) S53.9-S53.11採泥、DO:0.6-3.2mg/L、20-22℃	湾奥2地点	32	~ 32
	環境庁(1980)	2)	(4) S55.10採泥、好気、20℃	湾奥3地点	15.2	~ 54.4
	運輸省第二港湾建設局(1986)	2)	(5) S55.10採泥、現地DO条件		24.2	~ 71.8
	環境庁(1990)	7)	(6) 成層期(室内コアサンプル法)		7.4	~ 103
	環境庁(1997)	7)	(7) 成層期(室内コアサンプル法)		13.5	~ 172
	環境庁(1997)	7)	(8) 成層期(数理法)		16	~ 148
	曾田・安藤(1993)	3)	(9) H2-H4、好気条件、25℃、葛西沖、東京湾周辺		29	~ 82
	曾田・安藤(1993)	3)	(10) H2-H4、嫌気条件、25℃、葛西沖、東京湾周辺		149	~ 609
	曾田・安藤(1989)	4)	(11) S61、好気条件、20℃、湾奥-湾央		73	~ 592
	関東地方整備局(1999)	6)	(12) H10夏季		14.7	~ 141.8
窒素溶出	日本道路公団(1987)	1)	(1) 夏季		57.5	~ 97.3
	曾田・安藤(1993)	3)	(2) H2-H4、好気条件、25℃、葛西沖、東京湾周辺		9	~ 210
	曾田・安藤(1993)	3)	(3) H2-H4、嫌気条件、25℃、葛西沖、東京湾周辺		45	~ 243
	曾田・安藤(1989)	4)	(4) S61、好気条件、20℃、湾奥-湾央(DTN)		12.8	~ 964
	国総研(2002)	5)	(5) H14夏季		21	~ 180
	関東地方整備局(1999)	6)	(6) H10夏季		75.6	~ 182.1
	環境庁(1989)	10)	(7) S63.8	6地点	57.3	~ 194
	環境庁(1998)	9)	(8) H9年8月(室内コアサンプル法)	12地点	23	~ 249
	環境庁(1998)	9)	(9) H9年8月(数理法)	12地点	14.7	~ 267
	環境庁(1997)	8)	(10) H8年7-9月(室内コアサンプル法)	5地点	13.5	~ 172
	環境庁(1997)	8)	(11) H8年7-9月(数理法)	5地点	16	~ 148
リン溶出	日本道路公団(1987)	1)	(1) 夏季		5.6	~ 14.5
	環境庁(1977)	2)	(2) S51.11採泥、嫌気、20℃		13.3	~ 57.3
	運輸省第二港湾建設局(1977)	2)	(3) S51.9-S52.1採泥、20℃	11地点	3	~ 39
	環境庁(1980)	2)	(4) S55.10採泥、嫌気、25℃	湾奥3地点	1.89	~ 7.59
	運輸省第二港湾建設局(1986)	2)	(5) S55.10採泥、現地DO条件		2.69	~ 47.5
	運輸省第二港湾建設局(1983)	2)	(6) DO:0.2,4,6(mg/L)、8,18,28℃		7.76	~ 18.8
	環境庁(1990)	7)	(7) 成層期(室内コアサンプル法)		5.2	~ 29.1
	曾田・安藤(1993)	3)	(8) H2-H4、好気条件、25℃、葛西沖、東京湾周辺		0	~ 14
	曾田・安藤(1993)	3)	(9) H2-H4、嫌気条件、25℃、葛西沖、東京湾周辺		9	~ 34
	曾田・安藤(1989)	4)	(10) S61、好気条件、20℃、湾奥-湾央(DTP)		0.39	~ 19.7
	国総研(2002)	5)	(11) H14夏季		1.56	~ 65
	関東地方整備局(1999)	6)	(12) H10夏季		9.9	~ 31.9
	環境庁(1989)	10)	(13) S63.8	6地点	11.6	~ 36.6
	環境庁(1998)	9)	(14) H9年8月(室内コアサンプル法)	12地点	6.09	~ 39.6
	環境庁(1998)	9)	(15) H9年8月(数理法)	12地点	1.9	~ 34.8
	環境庁(1997)	8)	(16) H8年7-9月(室内コアサンプル法)	5地点	4.7	~ 28.4
	環境庁(1997)	8)	(17) H8年7-9月(数理法)	5地点	0.7	~ 22.1

- 1) 日本道路公団(1987) 東京湾横断道路環境影響評価書(資料編)、
- 2) 堀江毅(1987) 海域の物質循環過程のモデル化と浄化対策効果の予測手法について、港湾技術研究所報告、第26巻、第4号
- 3) 曾田京三、安藤晴夫(1993) 東京湾の富栄養化に関する研究(その3) 底質からの栄養塩類等の溶出実験の結果について、東京都環境科学研究所年報、p.95-99
- 4) 曾田京三、安藤晴夫(1989) 東京湾の富栄養化に関する研究(その5) 底質からの栄養塩類等の溶出実験の結果について、東京都環境科学研究所年報、p.81-83
- 5) 国総研(2002) 平成14年東京湾広域環境調査結果
- 6) 関東地方整備局：東京湾内対策検討業務(H11.3)
- 7) 環境省(2002) H13年度備後灘、安芸灘、広島湾における底泥からの栄養塩類溶出把握実態調査報告書
- 8) 環境庁(1997) H8年度 海域における底泥からの栄養塩類溶出把握実態調査報告書
- 9) 環境庁(1998) H9年度 海域における底泥からの2次汚濁物質の原因となる栄養塩類溶出把握実態調査
- 10) 環境庁(1989) 青潮の発生機構の解明等に関する調査

出典)「東京湾流域別下水道総合計画基本方針 パブリックコメント意見に対する回答について 第2回懇談会資料」

⁶ 多田邦尚ら、近年の瀬戸内海における底泥からの栄養塩溶出の評価。日本海洋学会大会講演要旨集、Vol.2012 秋季、2012、p.71.

⁷ 野村宗弘ら、盤洲干潟における潮汐に伴う水質変動に関する現地観測。水環境学会誌、Vol.25、No.4、2002、p.217-225.

⁸ 森 鐘一ら、浚渫土砂海面埋立処分場における水質変動特性と植物プランクトンのN:P比。環境技術、33 巻、10 号、2004、p.779-787.

表 2 伊勢湾における窒素・リンの溶出速度の測定事例

調査地点	時期	項目	溶出速度(mg/m ² /日)	項目	溶出速度(mg/m ² /日)	出典
三河湾(渥美湾)		DIN	2.4	DIP	0.3	①
三河湾	夏	DIN	4.6			②
	冬	(NH ₄ -N)	1.4			
	夏	窒素	4.2			③
	冬		2.6			
	好気	DTN	36.4			④
	嫌気		102.2			
		NH ₄ -N	13.6			⑤
		NO ₂ -N	8.0			
		NO ₃ -N	0.3			
		T-N	32.9	T-P	3.1	⑥
		NH ₄ -N	14.8	PO ₄ -P	3.1	
				PO ₄ -P	7.5~17.1	⑦
			20.3		5.0	⑧
	8月	窒素	64.0	燐	15.2	⑨
	3月		11.6		1.0	
伊勢湾	7月		36.2		10.1	
	1月		2.5		- 0.3	

出典) ①：半田敏彦ら,底層水、底泥における有機物の分解と栄養塩の再生,文部省特別研究・環境科学,三河湾とその集水域の環境動態,1978,pp.91-122.

②：神山孝吉ら,水域底泥中のアンモニア態窒素の分布と水中への溶出,用水と廃水,21巻,3号,1978, p.285-291.

③：林孝一郎,内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究,1980.

④：愛知県環境部,三河湾栄養塩類溶出実態調査結果,1991, pp.23-34.

⑤：愛知県水産試験場,底質の種類別による無機化速度-II「内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究」,昭和56年度研究成績報告書,1982,pp.42-46.

⑥：運輸省第五港湾建設局三河港工事事務所,昭和61年度三河湾物質循環機構調査報告書,1987, p.38.

⑦：堀江 毅ら,三河湾での覆砂による底質浄化の環境に及ぼす効果の現地実験,土木学会論文集, No.533,1996,pp.225-235.

⑧：有田正光,水圏の環境,東京電機大学出版,1998,pp.307-308.

⑨：環境省,中央環境審議会水環境部会 総量規制専門委員会(第2回)資料3-2底泥からの窒素・燐の溶出について,2004,p.6.

表 3(1) 大阪湾及び瀬戸内海（大阪湾を除く）における窒素・リンの溶出速度の測定事例

調査年月	海域	項目	方法	出典
詳細不明	瀬戸内海全域	P, N	コアー培養法 A * ¹	中西・浮田 (1982-1984) ²⁸⁻³⁰⁾
1979.8-9,12,1980.9, 1981.1,8,12,1982.8,12	瀬戸内海全域	P, N	ベルジャー法	塩沢ら (1984) ¹²⁾
1977.6,8,10,1978.1	大阪湾	N	濃度勾配法 A * ³	城 (1986) ³⁵⁾
1978.6-8,10,12		P, N	コアー培養法 A	
1985.8,10-11,1986.1,5, 8-9,10-11	広島湾	P, N	ベルジャー法, コアー培養法 A, 濃度勾配法 B * ⁴	清木 (1990) ³⁶⁾
1982.6,7,8	播磨灘北部沿岸	P	濃度勾配法 B	Tada and Montani (1997) ³⁷⁾
1992.7,10,1993.1, 1995.10	広島湾	N	濃度勾配法 A, コアー培養法 B * ²	Yamamoto et al. (2000) ²¹⁾
1993.10, 1994.1,4,6	瀬戸内海全域	P, N	濃度勾配法 A	山本ら (1998) ³¹⁾
1991.7	播磨灘	P, N	コアー培養法 A	神山ら (1997) ³⁸⁾
1992.7	播磨灘	P, N	コアー培養法 A	神山ら (1998) ³⁹⁾
2000.8,12	大阪湾, 播磨灘	P, N	コアー培養法 A, 濃度勾配法 A	環境庁 (2001) ³²⁾
2001.8,12	燧灘, 広島湾	P, N	同上	環境省 (2002) ³³⁾
2002.7, 2003.1	周防灘, 伊予灘, 別府湾	P, N	同上	環境省 (2003) ³⁴⁾
2002.7	広島湾	P, N	同上	同上
2002.1,4,8,11	周防灘	P, N, Si	濃度勾配法 A	Jahangir et al. (2005) ⁴⁰⁾

*¹ : コアー培養法 A とは, 採泥したコアーを閉鎖系で実験したもの。スターラーなどで攪拌した場合も含む。

*² : コアー培養法 B とは, コアーをフロースルー系で実験したもの。

*³ : 濃度勾配法 A とは, 底泥と直上水の濃度勾配から見積もったもの。

*⁴ : 濃度勾配法 B とは, 底泥中の濃度勾配から見積もったもの。

出典) 瀬戸内海底泥からのリン・窒素の溶出 (山本民次, 2008. 瀬戸内海の海底環境 (柳 哲雄編著))

表 3(2) 大阪湾及び瀬戸内海（大阪湾を除く）における窒素の溶出速度の測定事例

海域	方法*	項目	成層期	混合期	出典
			(mg N/m ² /日)		
大阪湾	培養法	DIN	23 ~ 60	10 ~ 29	城 (1986) ³⁵⁾
		NH ₄	0.8 ~ 138.1	-0.8 ~ 30.6	環境庁 (2001) ³²⁾
		NH ₄	51.1 ~ 140.5	—	環境省 (2002) ³³⁾
	濃度勾配法	DIN	32 ~ 45	4.8 ~ 5.5	城 (1986)
		DIN	2.6 ~ 36	3.6 ~ 11	山本ら (1998) ³¹⁾
		NH ₄	0.1 ~ 49.9	0.1 ~ 23.1	環境庁 (2001) ³²⁾
播磨灘	培養法	DIN	3.0 ~ 64.8	—	神山ら (1998) ³⁹⁾
		NH ₄	-6.5 ~ 135	8.6 ~ 28.2	環境庁 (2001) ³²⁾
	培養法 (嫌気)	DIN	8.3 ~ 36	—	神山ら (1997) ³⁸⁾
		(好気) DIN	1.8 ~ 11.6	—	
	濃度勾配法	DIN	0 ~ 37	2.6 ~ 19	山本ら (1998) ³¹⁾
		NH ₄	8.9 ~ 24.5	3.2 ~ 14.4	環境庁 (2001) ³²⁾
備讃瀬戸 隠灘	濃度勾配法	DIN	2.2	0.9	山本ら (1998) ³¹⁾
	培養法	NH ₄	5.4 ~ 11.5	1.3 ~ 9.4	環境省 (2002) ³³⁾
濃度勾配法		DIN	9.9 ~ 15	0 ~ 11	山本ら (1998) ³¹⁾
安芸灘	濃度勾配法	NH ₄	8.9 ~ 24.5	2.4 ~ 5.9	環境省 (2002) ³³⁾
		DIN	2.7	1.2	山本ら (1998) ³¹⁾
広島湾	培養法	DIN	10.7 ~ 39.8	1.6 ~ 5.1	清木 (1990) ³⁶⁾
		NH ₄	-4.2 ~ 1.7	-0.2 ~ 13.3	環境省 (2002) ³³⁾
		NH ₄	-1.4 ~ 25.6	—	環境省 (2003) ³⁴⁾
		DIN	—	0.3 ~ 1.1	Yamamoto et al. (2000) ²¹⁾
		濃度勾配法	DIN	40.5 ~ 104	26 ~ 43.5
	濃度勾配法	DIN	17 ~ 18	3.6 ~ 8.9	山本ら (1998) ³¹⁾
		NH ₄	6.7 ~ 16.6	3.3 ~ 15.7	環境省 (2002) ³³⁾
		NH ₄	9.3 ~ 18.4	—	環境省 (2003) ³⁴⁾
		DIN	—	0.1 ~ 0.4	Yamamoto et al. (2000) ²¹⁾
		DIN	5.1	2.2	山本ら (1998) ³¹⁾
伊予灘	濃度勾配法	DIN	5.1	2.2	山本ら (1998) ³¹⁾
		NH ₄	1.4 ~ 91.4	3.1 ~ 4.8	環境省 (2003) ³⁴⁾
	培養法	DIN	15 ~ 37	0 ~ 18	山本ら (1998) ³¹⁾
		NH ₄	3.3 ~ 36.7	0.3 ~ 4.8	環境省 (2003) ³⁴⁾
周防灘	濃度勾配法	DIN	9.1 ± 9.1	3.1 ± 2.9	Sarker et al. (2005) ⁴⁰⁾
		NH ₄	-0.5 ~ 11.2	1.3 ~ 15.2	環境省 (2003) ³⁴⁾
		NH ₄	4.7 ~ 21.2	0.3 ~ 1.2	環境省 (2003) ³⁴⁾
別府湾	培養法	NH ₄	-0.5 ~ 11.2	1.3 ~ 15.2	環境省 (2003) ³⁴⁾
	濃度勾配法	NH ₄	4.7 ~ 21.2	0.3 ~ 1.2	環境省 (2003) ³⁴⁾

*：培養法にはコア培養法とベルジャー法を含み、濃度勾配法には底泥中の濃度勾配および底泥一直上水の濃度勾配から見積もったものを含む。

出典) 瀬戸内海底泥からのリン・窒素の溶出 (山本民次, 2008. 瀬戸内海の海底環境 (柳 哲雄編著))

表 3(3) 大阪湾及び瀬戸内海（大阪湾を除く）における窒素・リンの溶出速度の測定事例

海域	出典	時期	溶出量 (A)		陸域負荷量 (B) *		(A)/(B)	
			窒素 (t/日)	リン (t/日)	窒素 (t/日)	リン (t/日)	窒素 (%)	リン (%)
大阪湾	山本ら (1998) ³¹⁾	成層期	32	3	161	13	20	23
		年平均	21	2			13	15
	環境庁 (2001) ³²⁾	成層期	23	7	14	6	54	8
		混合期	10	1			11	23
播磨灘	山本ら (1998) ³¹⁾	成層期	35	7	95	6	37	117
		年平均	32	4			34	67
	環境庁 (2001) ³²⁾	成層期	21	3	22	16	50	50
		混合期	15	3			16	50
燧灘	山本ら (1998) ³¹⁾	成層期	28	4	32	2	88	200
		年平均	9	1			28	50
	環境省 (2002) ³³⁾	成層期	28	5	88	0	250	50
		混合期	0	1			0	50
広島湾	山本ら (1998) ³¹⁾	成層期	16	2	40	4	40	50
		年平均	6	1			15	15
	環境省 (2002) ³³⁾	成層期	17	3	43	33	75	25
		混合期	13	1			48	75
周防灘	山本ら (1998) ³¹⁾	成層期	80	7	64	3	125	233
		年平均	23	2			36	67
	環境省 (2003) ³⁴⁾	成層期	49	5	77	19	167	67
		混合期	12	2			20	33
	Sarker et al. (2005) ⁴⁰⁾	成層期	36	2	56	12	67	50
		混合期	13	1			20	33
別府湾	環境省 (2003) ³⁴⁾	成層期	5	1	42	2	12	50
		混合期	2	0			5	0

*：陸域負荷量は、環境省 (1999) (未公表データ) として、環境省 (2003)³⁴⁾ に掲載されているもの。

出典) 瀬戸内海底泥からのリン・窒素の溶出 (山本民次, 2008. 瀬戸内海の海底環境 (柳 哲雄編著))

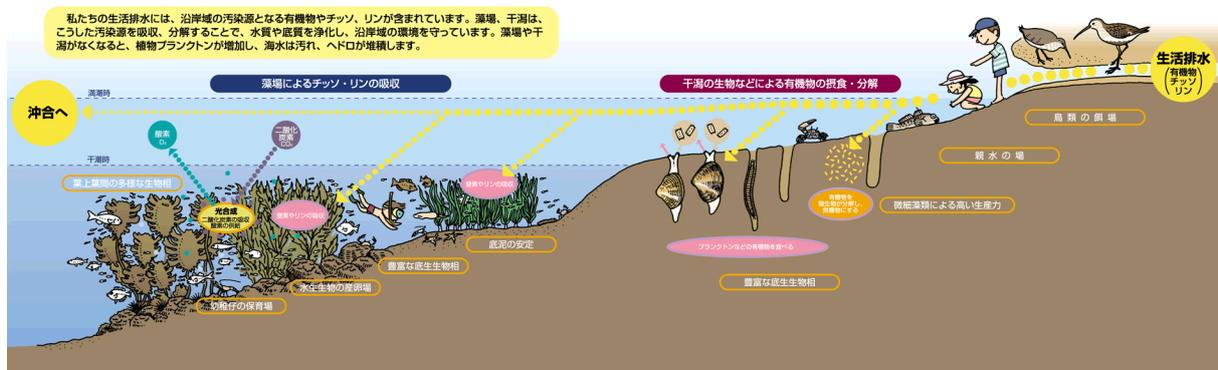
1-4. 藻場・干潟の機能

沿岸域に広がる藻場・干潟は、水質浄化や生物多様性の維持など多様な機能を有し、良好な水環境を維持する上で重要な役割を果たしている（図 9、表 1）。

藻場・干潟の水質浄化機能に着目すると、バクテリアや底生生物による分解、貝類による濾過、藻類による固定、鳥類や魚類による搬出等を通じて有機物や窒素・リンが除去されている。これらの機能はいずれも生物の代謝（摂食、摂餌、呼吸、同化等）により発現されることから、藻場・干潟という基盤に生物が豊かに存在することによりその機能が支えられているといえる。

水質浄化機能の他にも、干潟にはシギ・チドリ類など多くの渡り鳥が餌と休息の場を求めて飛来し、「海のゆりかご」とも呼ばれる藻場には多くの魚介類が産卵や保育の場を求めて集まるなど、豊かな生物多様性と高い生物生産性が維持されている。また、潮干狩りや自然観察、環境学習等が広く行われており、人と海のふれあい場の提供という面からも重要な役割を果たしている。

近年では、藻場・干潟の炭素貯留の働きに注目し、定量的に評価する研究も実施されている。



出典) 水産庁資料

図 9 藻場・干潟の機能

表 4 藻場・干潟の機能

	藻 場	干 潟
①水質の浄化 〔 ・ 環境保全機能 ・ 生態系保全機能 〕	<ul style="list-style-type: none"> ・窒素、磷の吸収による富栄養化の防止 ・流れ藻による沖合への栄養塩類の拡散 ・透明度の増加と濁り防止 ・酸素の供給 	<ul style="list-style-type: none"> ・二枚貝等による有機物の除去 ・窒素、磷の吸収による富栄養化の防止 ・バクテリアによる窒素の除去
②生物多様性の維持	<ul style="list-style-type: none"> ・多様な生物種の保全 ・産卵場の提供 ・幼稚子の育成場の提供 ・流れ藻による産卵・育成場の提供 ・希少生物への餌の提供 	<ul style="list-style-type: none"> ・多様な生物種の保全 ・鳥類の餌場、休み場の提供 ・幼稚子の育成場の提供
③炭素の貯留	・海草藻類の光合成による吸収	・底生生物や堆積による固定
④浸食抑制による海岸保全	・波浪の抑制や底質の安定	・消波効果
⑤親水性や環境学習の場	・ダイビング、生物観察等	・潮干狩り、散策、野鳥観察等

出典)「藻場・干潟等の現状と問題点等」平成 20 年 5 月、水産庁、第 1 回環境・生態系保全活動支援制度検討会資料を一部改変

1-4-1. 藻場・干潟の水質浄化能

屋外実験施設での測定結果・現地調査結果等を用いて算出された藻場・干潟全体の水質浄化能が報告されている文献^{9,10}を基に、藻場・干潟の水質浄化能を算出した(表 5)。

表 5 藻場・干潟の水質浄化能の算出結果

	窒素	りん
藻場	16.3 mgN/m ² /d	1.3 mgP/m ² /d
干潟	90.1 mgN/m ² /d	15.4 mgP/m ² /d

注 1) 藻場による水質浄化能については、枯死体が分解することによる栄養塩類の回帰の可能性があるため、既存知見¹¹等を考慮して、栄養塩類吸収の効率を 15%と仮定して算出した。

注 2) 干潟による水質浄化能については、「干潟の底泥が富栄養化の原因物質である窒素・りんを海水(直上水)から除去する作用」とし、①底泥と直上水間での DIN・DIP の交換、②底泥と直上水間での PON・POP 交換、③脱窒のプロセスを考慮して算出した。

⁹ 「海草アマモの栄養塩吸収」水野豪、平成 20 年度三重大学大学院生物資源学研究科修士論文

¹⁰ 「メソコスム実験による人工干潟の水質浄化機能の評価」桑江朝比呂・細川恭史・木部英治・中村由行、海岸工学論文集 第 47 巻 土木学会、pp.1096-1100(2000)

¹¹ 伊藤靖・中野喜央(2007):漁場の費用対効果分析基礎調査 費用対効果分析手法(藻場の炭素固定効果の検討)、漁港漁場漁村研究所報告

上記で設定した藻場・干潟の水質浄化能に指定水域の藻場及び干潟・浅場の面積（表 6）を乗じ、藻場及び干潟・浅場の水質浄化能及び流入負荷量（平成 26 年度）に対する比率を試算した結果を表 7, 8 に示す。

表 6 指定水域における藻場及び干潟・浅場の面積

	東京湾	伊勢湾	瀬戸内海
藻場面積 (ha)	1,428	2,278	13,386
干潟・浅場面積 (ha) (うち干潟面積)	5,022 (1,734)	11,907 (2,901)	36,126 (11,019)

注) 既存知見^{12,13,14}を踏まえ、浅場においても干潟と同程度の水質浄化能が期待できると仮定し、干潟・浅場面積は、水深 3m 以浅の面積とした。

出典) 第 4 回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書 (1989~1990、環境庁)

第 5 回自然環境保全基礎調査 海辺調査報告書 (1996~1997、環境庁)

瀬戸内海における藻場・干潟分布調査 (2015~2017、環境省)

表 7 指定水域における藻場の水質浄化能の試算結果

	東京湾	伊勢湾	瀬戸内海
窒素(kg/日)	233	371	2,182
	H26 流入負荷量 170 t/日の <u>0.1%</u>	H26 流入負荷量 110 t/日の <u>0.3%</u>	H26 流入負荷量 390 t/日の <u>0.6%</u>
りん(kg/日)	18.6	29.6	174
	H26 流入負荷量 12.3 t/日の <u>0.2%</u>	H26 流入負荷量 8.2 t/日の <u>0.4%</u>	H26 流入負荷量 24.6 t/日の <u>0.7%</u>

表 8 指定水域における干潟・浅場の水質浄化能の試算結果

	東京湾	伊勢湾	瀬戸内海
窒素(kg/日)	4,525	10,728	32,550
	H26 流入負荷量 170 t/日の <u>3%</u>	H26 流入負荷量 110 t/日の <u>10%</u>	H26 流入負荷量 390 t/日の <u>8%</u>
りん(kg/日)	773	1,834	5,563
	H26 流入負荷量 12.3 t/日の <u>6%</u>	H26 流入負荷量 8.2 t/日の <u>22%</u>	H26 流入負荷量 24.6 t/日の <u>22%</u>

以上より、流入負荷量に対する藻場及び干潟・浅場の水質浄化能は、藻場では、窒素：0.1~0.6%、りん：0.2~0.7%、干潟・浅場では、窒素：3~10%、りん：6~22%という結果となった。なお、水質浄化能の程度は、藻場及び干潟・浅場の状態や規模、生物の現存量等によって異なるものであることに留意が必要である。

¹² 鈴木輝明他(2000):マクロベントスによる水質浄化機能を指標とした底質基準試案—三河湾浅海部における事例研究—, 水産海洋研究, Vol.64, No.2, pp85-93

¹³ 風呂田利夫(1993):東京湾の環境と干潟・浅瀬の役割, 千葉大学廃棄物処理施設報, Vol.11, No.16, pp.5-10

¹⁴ 風呂田利夫(2000):東京湾の干潟と生態学的機能, 海洋と生物, 129, pp.308-314

2. 気候変動による水質影響

前回委員会における、気候変動による水質影響のうち水環境・水資源分野の影響についても記載すべきとの指摘事項を踏まえ、「気候変動影響評価報告書（総説）」（令和2年12月、環境省）より当該部分について、以下のとおり示す。

「気候変動影響評価報告書（総説）」

3章. 日本における気候変動による影響の概要

3.3 各分野における気候変動による影響の概要

(2) 水環境・水資源

水環境・水資源分野における気候変動による影響の概略は、図10に示すとおりである。

水環境分野

気候変動による気温の上昇は、湖沼やダム貯水池、河川、沿岸域や閉鎖性海域の水温を上昇させ、水質にも影響を及ぼす恐れがある。また、気候変動による降水パターンの変化は、ダム貯水池や河川への土砂流入量を増加させ、沿岸域や閉鎖性海域では、河川からの濁質の流入増加も懸念される。

水資源分野

気候変動による降水パターンの変化は、無降水日数の増加等や積雪量の減少、蒸発散量の増加による河川流量の減少や地下水位の低下を引き起こす。気温の上昇により、農業用水・都市用水等の水需要量や、人々の水使用量は増加することが想定されるが、冬季の降雨事象の増加とともに積雪量が減少することや融雪時期の早期化などにより、需要期に水を供給することができない可能性も懸念される。また、海面水位の上昇は、河川河口部や地下水において塩水遡上範囲を拡大させ、塩水化を引き起こす。

これらの影響は、農業生産基盤や自然生態系、国民生活等の他分野にも影響を及ぼす。

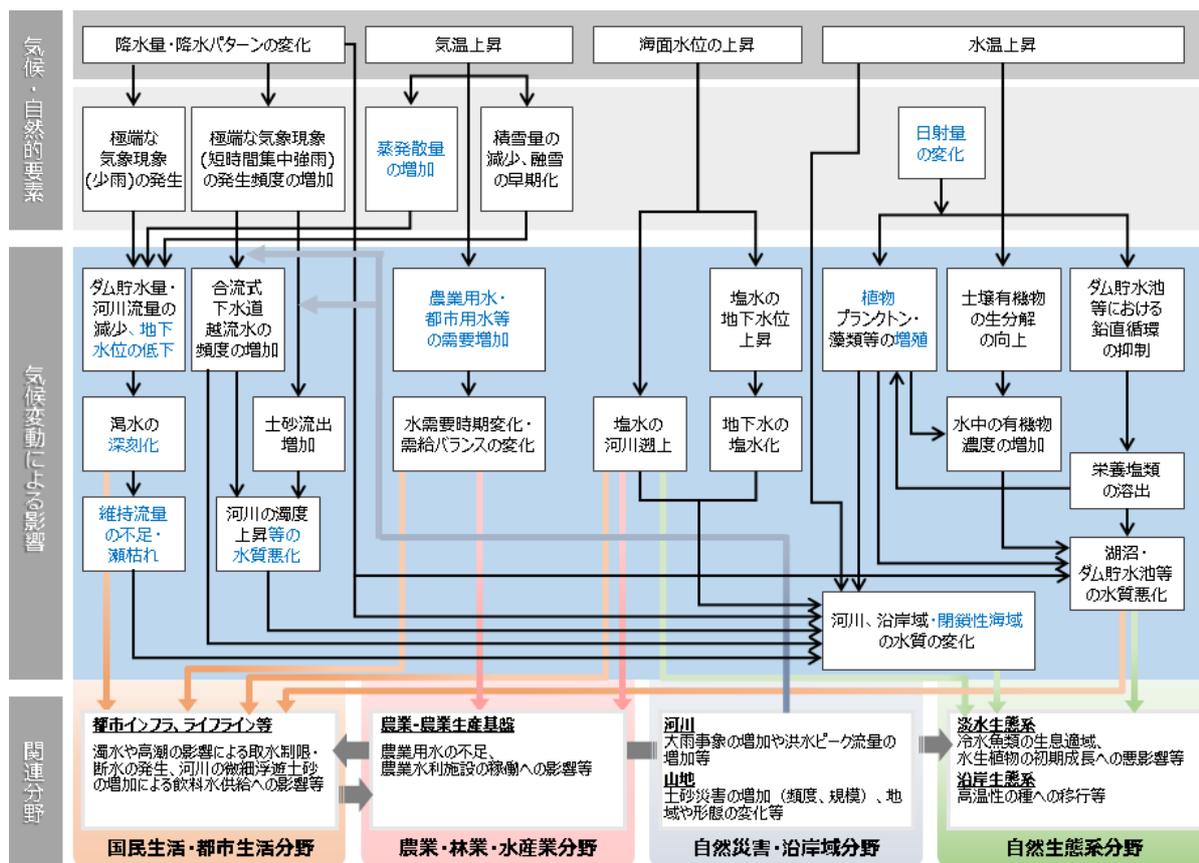


図 10 気候変動により想定される影響の概略図 (水環境・水資源分野)¹⁵

● 気候変動による影響の概要

現在の状況

水環境分野では、全国の湖沼の 265 観測点のうち、夏季は 76%、冬季は 94% で水温の上昇傾向にある等、既に全国の公共用水域（湖沼・河川・海域）における水温の上昇、それに伴う水質の変化、一部の湧水起源の池の湧水水温の上昇等の影響が生じていることが新たに明らかとなった。水資源分野では、無降雨・少雨等に伴う渇水による給水制限の実施、冬季の融雪の増加による春先の灌漑用水の不足、農業用水・都市用水の需要の増加等の影響が発生したことが報告されている。新たに報告されている影響として、臨海部における帯水層への海水の侵入や小規模な島の淡水レンズの縮小などが挙げられる。

将来予測される影響

水環境分野では、富栄養湖に分類されるダムの増加、宍道湖・中海における水

¹⁵ 本図は、本報告書において引用された科学的知見の中から、国内において想定される水環境・水資源分野の代表的な影響を選定し、想定される気候・自然的要素(外力)との関係や他分野への影響を概略的に図化したものである。したがって、各分野の影響や項目間の関係性を完全に網羅しているわけではないことに留意が必要である。図の「気候・自然的要素」(上段)は、気候変動の直接的な影響(濃い灰色部分)と、そのほか水環境・水資源分野に直接的な影響を及ぼす外力(薄い灰色部分)の2段に分けている。図が複雑になりすぎるのを避けるため、気候変動の直接的な影響(濃い灰色部分)のボックス間の因果関係は表示していない。

温の上昇や塩分濃度の上昇、仙台平野における帯水層の温度上昇、瀬戸内海や伊勢湾における水温の上昇、東北地方の4つのダムにおける流入量の増加に伴う浮遊物質の増加により、濁水が放流される期間が長期化する等の影響が予測されている¹⁶。水資源分野では、無降水日数の増加等による渇水の深刻化、冬季の降雪が降雨に変わることによる河川流量の増加、春季の融雪量の減少による河川流量の減少、融雪時期の早期化による需要期の河川流量の減少、将来の水資源賦存量の減少による札幌市民の生活用水への影響、地下水の低下等による農業用水の需要と供給のミスマッチ、海面水位の上昇に伴う塩水遡上距離の増大や、それに起因する河川水の利用への影響、渇水リスク・洪水リスクの二極化の進行、大雨や融雪による地下水供給の増加による地すべり等の斜面災害の発生等が予測されている。

● 重大性・緊急性・確信度評価の概要

水環境・水資源分野では、影響の程度や範囲が限定的と判断されることから、影響の重大性は「影響が認められる」と評価される傾向にある。しかしながら、今回収集された文献に基づき、「水環境（河川）」については、現在既に生じている影響が確認されたこと等から、緊急性評価が上方修正となった。また、「水環境（沿岸域及び閉鎖性海域）」、「水資源（水供給（地下水））」の2つの小項目については、限定的であるものの気候予測モデルを用いた定量的な予測が行われていたため、確信度が上方修正された。

¹⁶ ここでは将来の気候変動影響に関する知見が得られている地域を挙げており、言及されていない地域において将来の気候変動影響がないことを意味するものではない。