

指定水域の水質汚濁メカニズムについて

1. 水質汚濁に影響を与える要因

閉鎖性海域においては、外海と海水が交換しにくいいため、汚濁物質が海域内部に蓄積しやすい。また、夏季には、海面の水温上昇と河川からの淡水の流入により成層構造が発達し、海水が鉛直方向に混合しにくくなるため、底層のDOが低下しやすくなる特徴を有している。このため、閉鎖性海域においては、COD、窒素及びリンの濃度が外海と比較して高く、赤潮や貧酸素水塊といった海域環境保全上の問題が発生している。

閉鎖性海域における水質汚濁に影響する主な要因には、陸域（河川、工場・事業場・下水処理場等）からの有機汚濁物質及び栄養塩類の流入、河川からの淡水の流入、有機物の内部生産、沈降、堆積及び分解、底質からの栄養塩類の溶出、外海との海水交換、潮流による海水の移動・攪拌等がある。その他、水温、日射量等の気象条件、生物による食物連鎖、漁業による海域からの取り上げ、嫌気的条件下での脱窒等が複雑に影響している（図 1）。

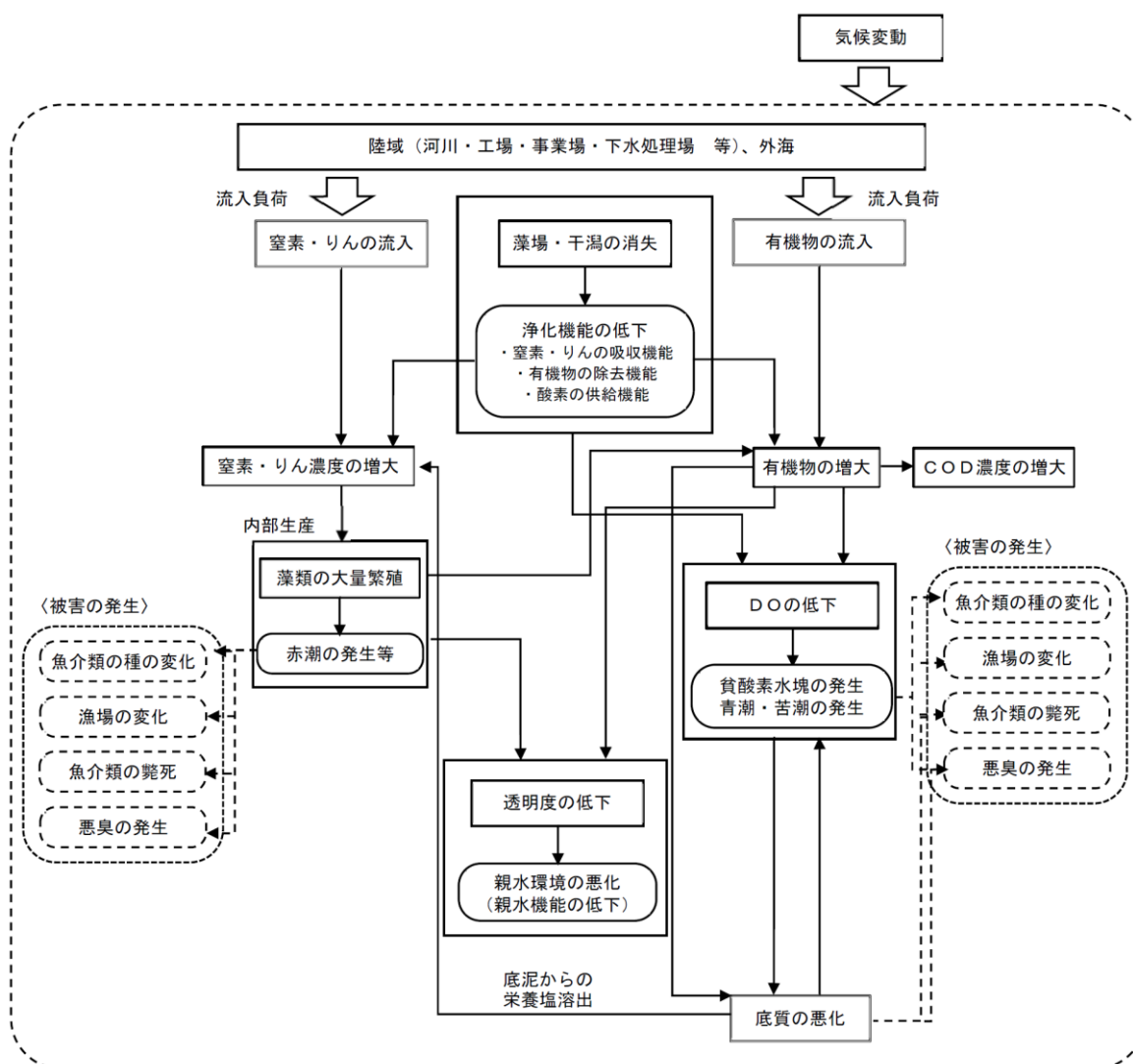


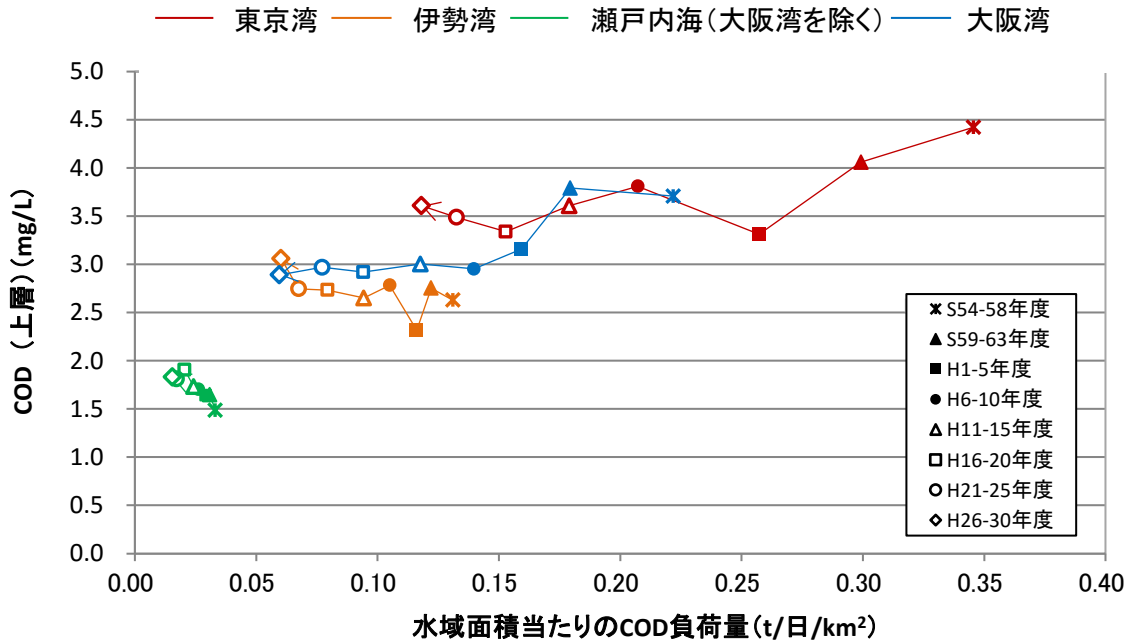
図 1 閉鎖性海域における水質汚濁に影響を与える要因

2. 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2）。

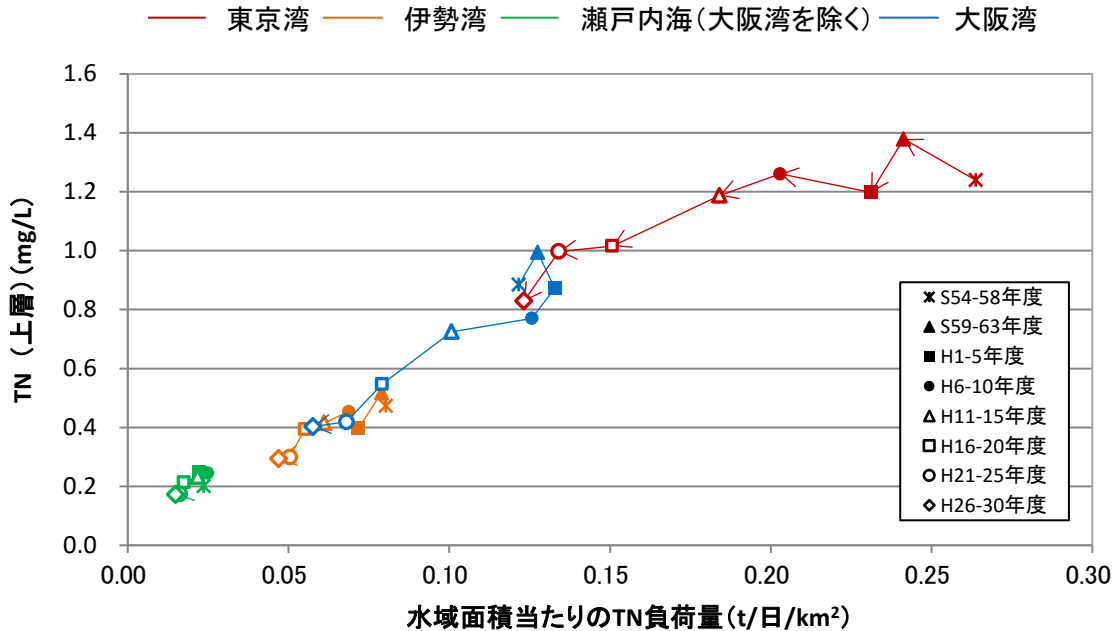
水域面積あたりの窒素負荷量と窒素濃度の関係を見ると、水域面積あたりの窒素負荷量が多い海域ほど、窒素濃度も高くなっている。また、窒素負荷量の削減に伴い、窒素濃度の低下傾向が見られる（図3）。

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4）。



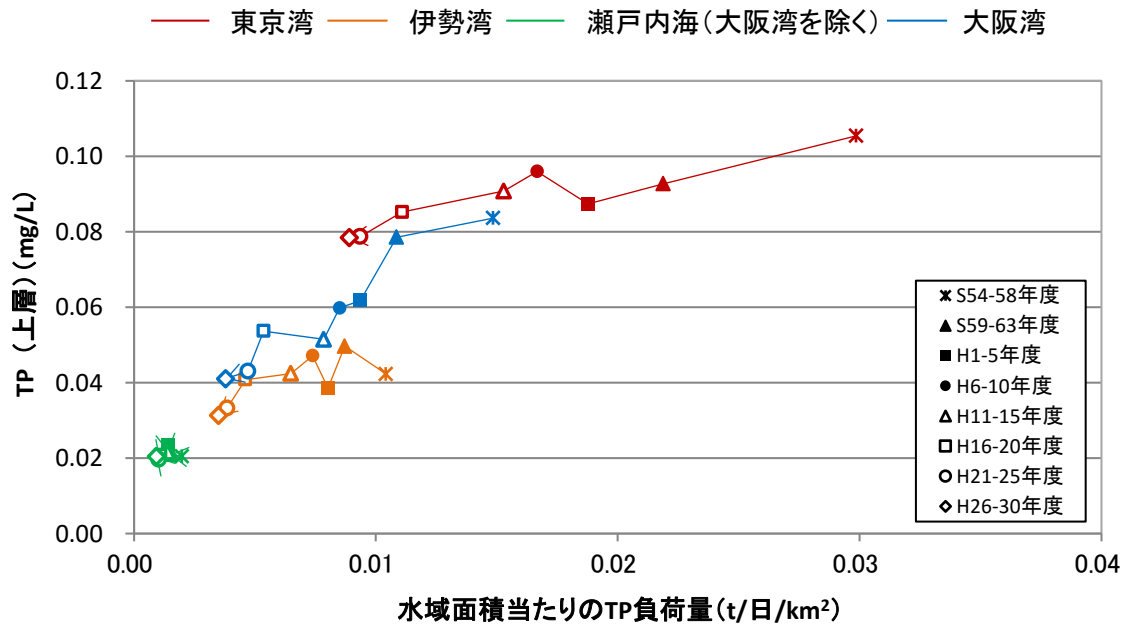
注) COD負荷量については第1次～第8次総量削減開始年度の値を、水質については各総量削減期間中の平均水質を用いた。

図 2 水域面積当たりのCOD負荷量とCOD濃度の推移



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 3 水域面積当たりの窒素負荷量と窒素濃度の推移



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 4 水域面積当たりのりん負荷量とりん濃度の推移

3. 内部生産の状況

3-1. 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 の年平均值 - COD の年最低値

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

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 5～図 8 に示す。

<東京湾>

東京湾における整理結果の概要として、 Δ COD 法で算定した内部生産及びその寄与率は、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。

<伊勢湾>

伊勢湾における整理結果の概要として、 Δ COD 法で算定した内部生産及びその寄与率は、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。

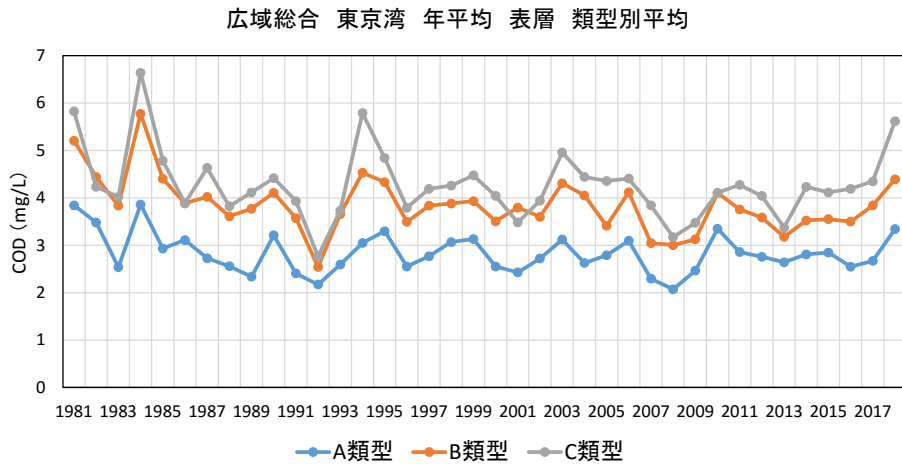
<大阪湾>

大阪湾における整理結果の概要として、 Δ COD 法で算定した内部生産及びその寄与率は、いずれの類型、いずれの年代ともに減少傾向にあった。

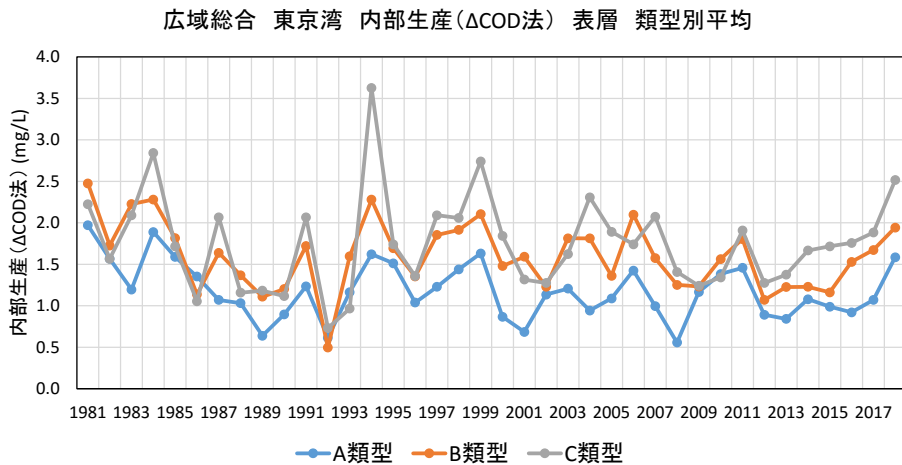
<瀬戸内海(大阪湾を除く)>

瀬戸内海(大阪湾を除く)における整理結果の概要として、 Δ COD 法で算定した内部生産及びその寄与率のうち、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。A 類型ではいずれの年度も増減の傾向は小さかった。

<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>

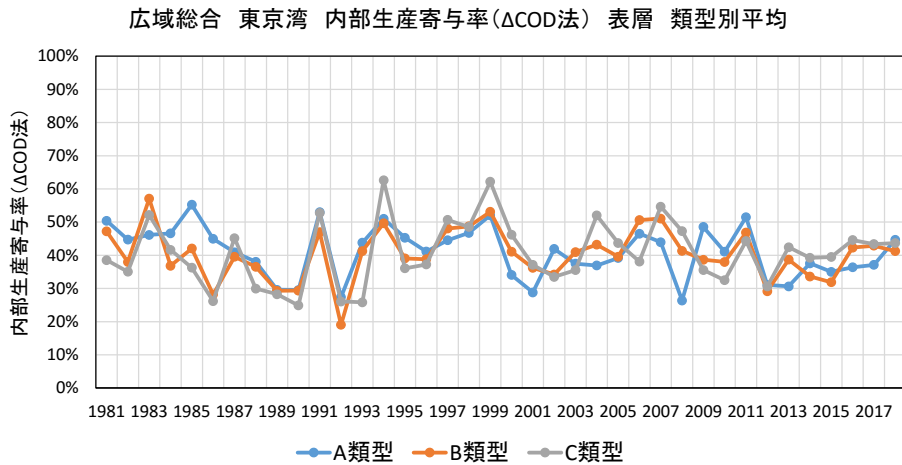
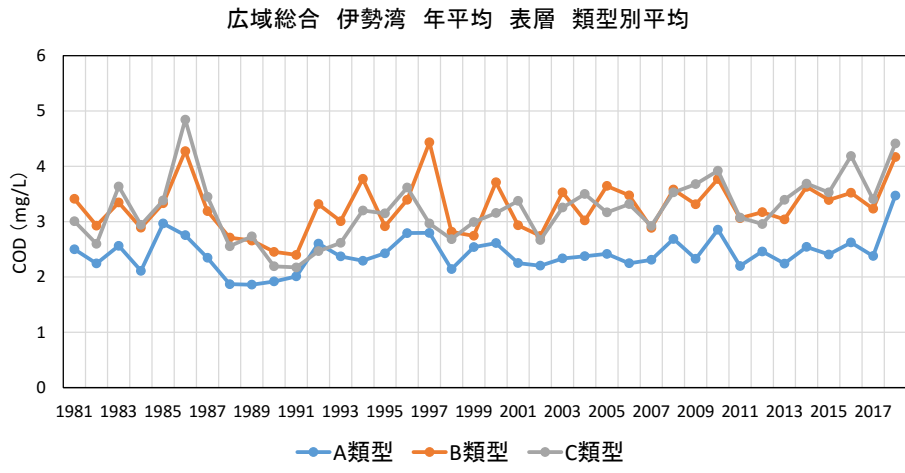
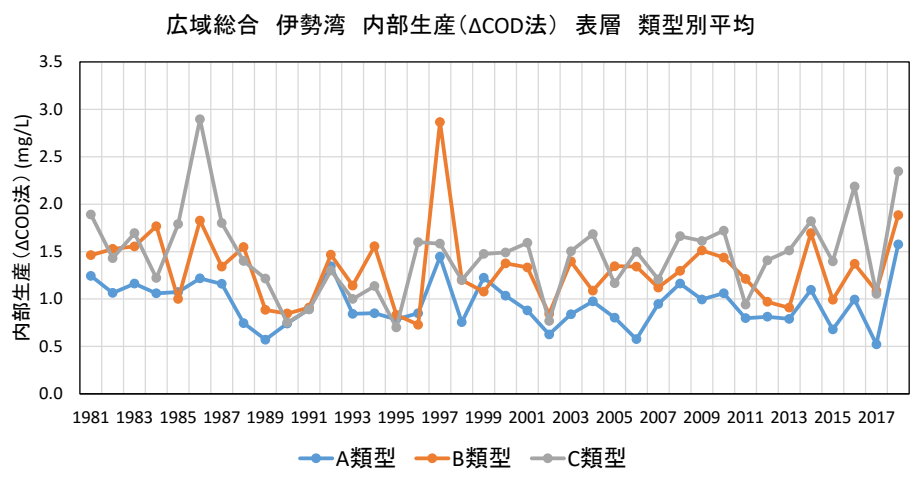


図 5 COD年平均値と内部生産の経年変化(東京湾、表層)

<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>

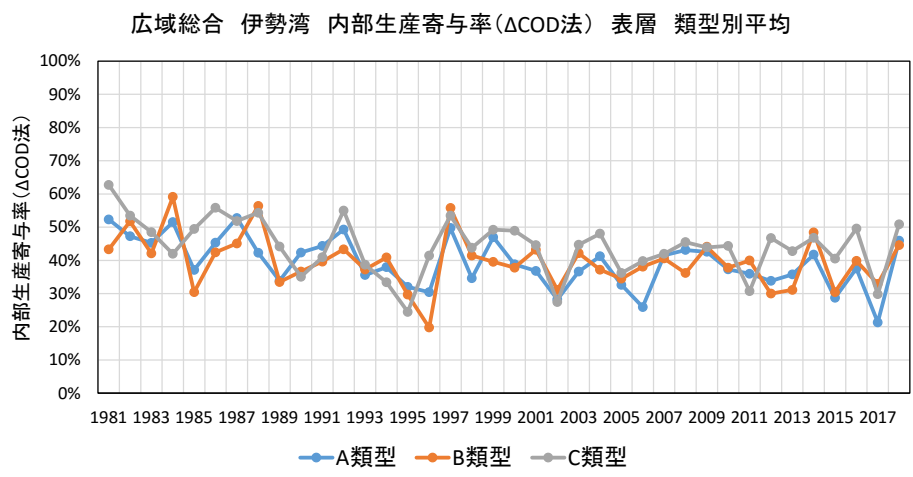
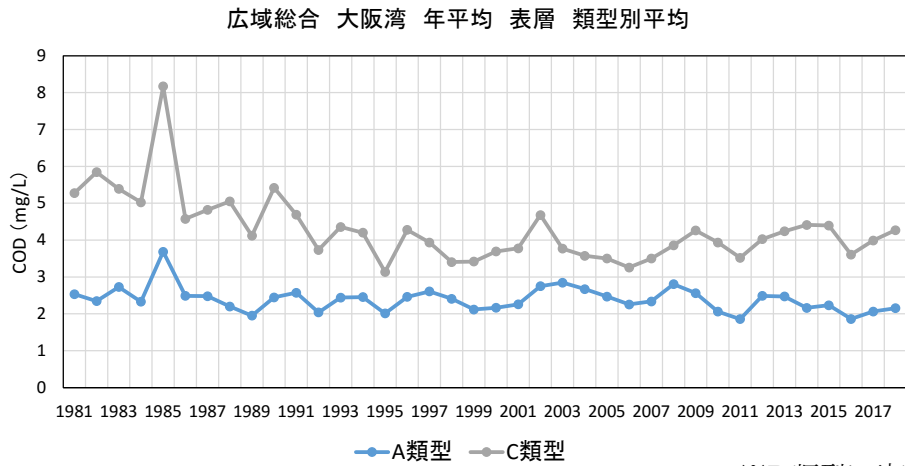


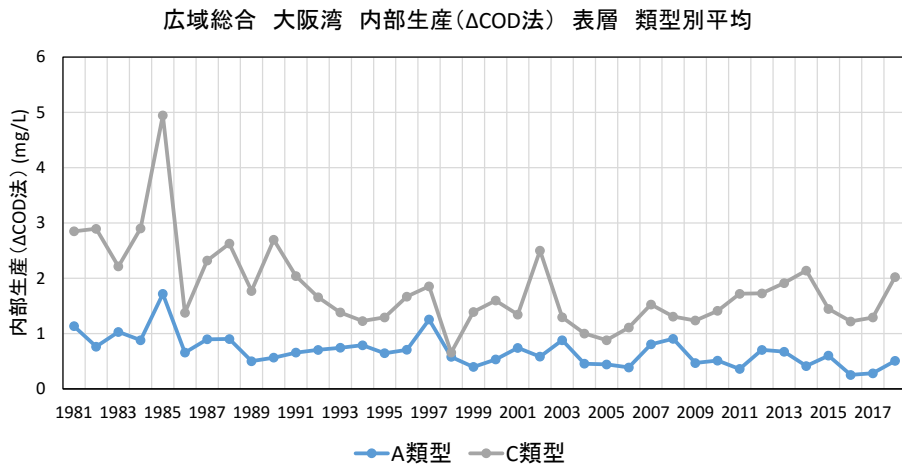
図 6 COD年平均値と内部生産の経年変化(伊勢湾、表層)

<大阪湾のCOD年平均値の推移>



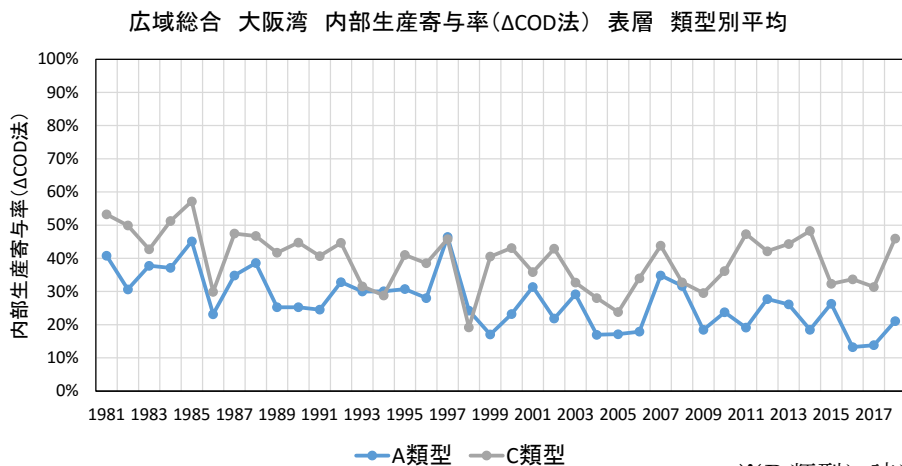
※B 類型に該当する地点なし

<内部生産CODの推移>



※B 類型に該当する地点なし

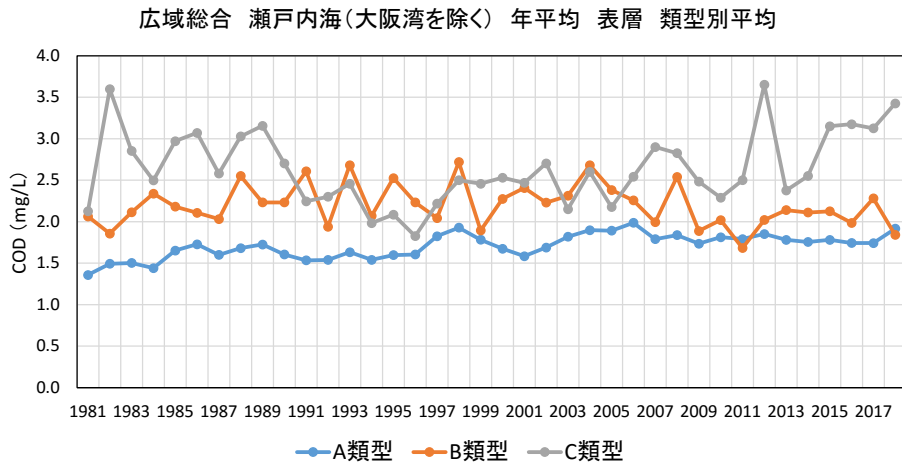
<内部生産寄与率の推移>



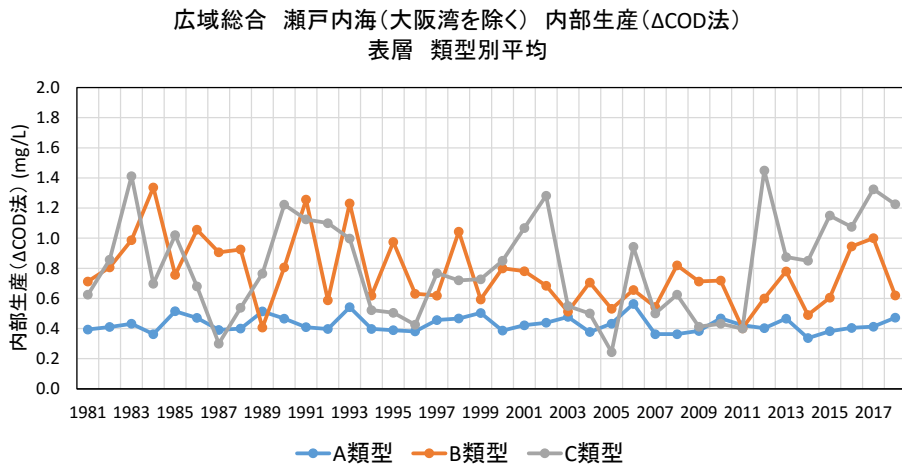
※B 類型に該当する地点なし

図 7 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>

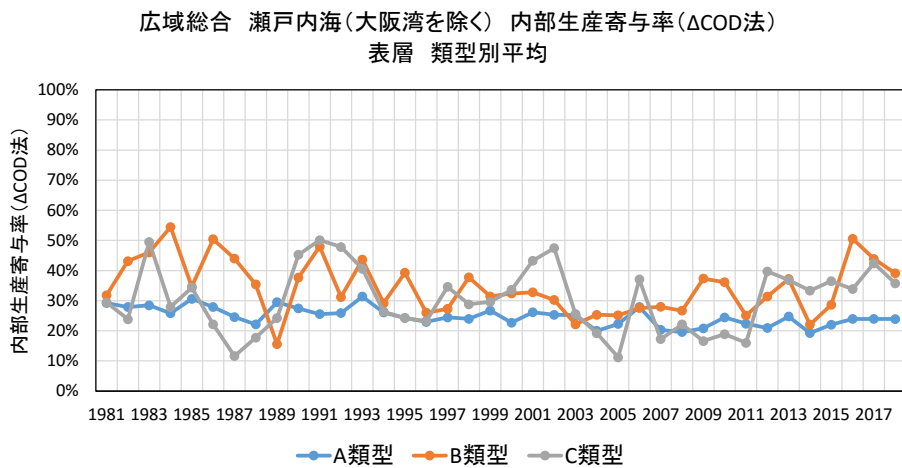
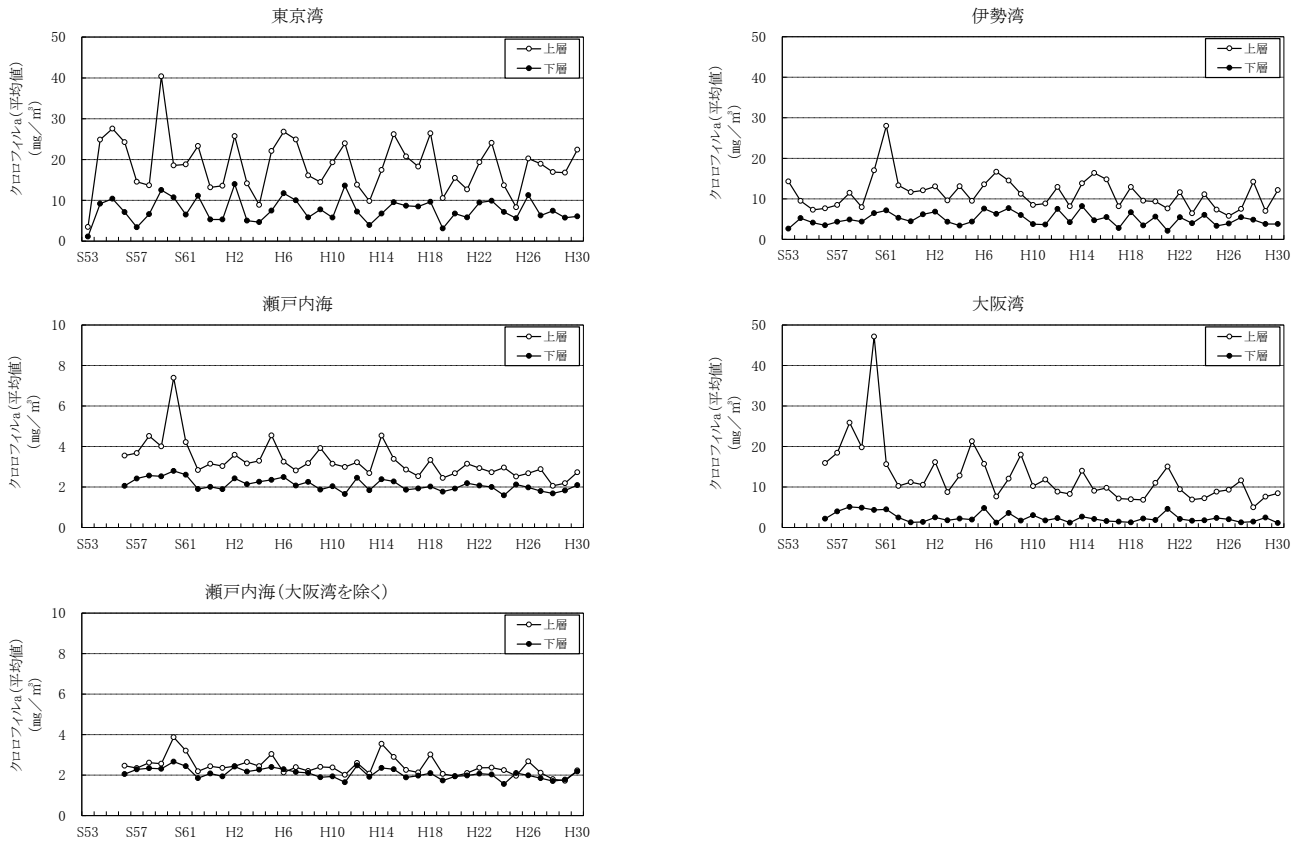


図 8 COD年平均値と内部生産の経年変化(瀬戸内海(大阪湾を除く)、表層)

3-2. クロロフィル a の濃度年平均値の推移

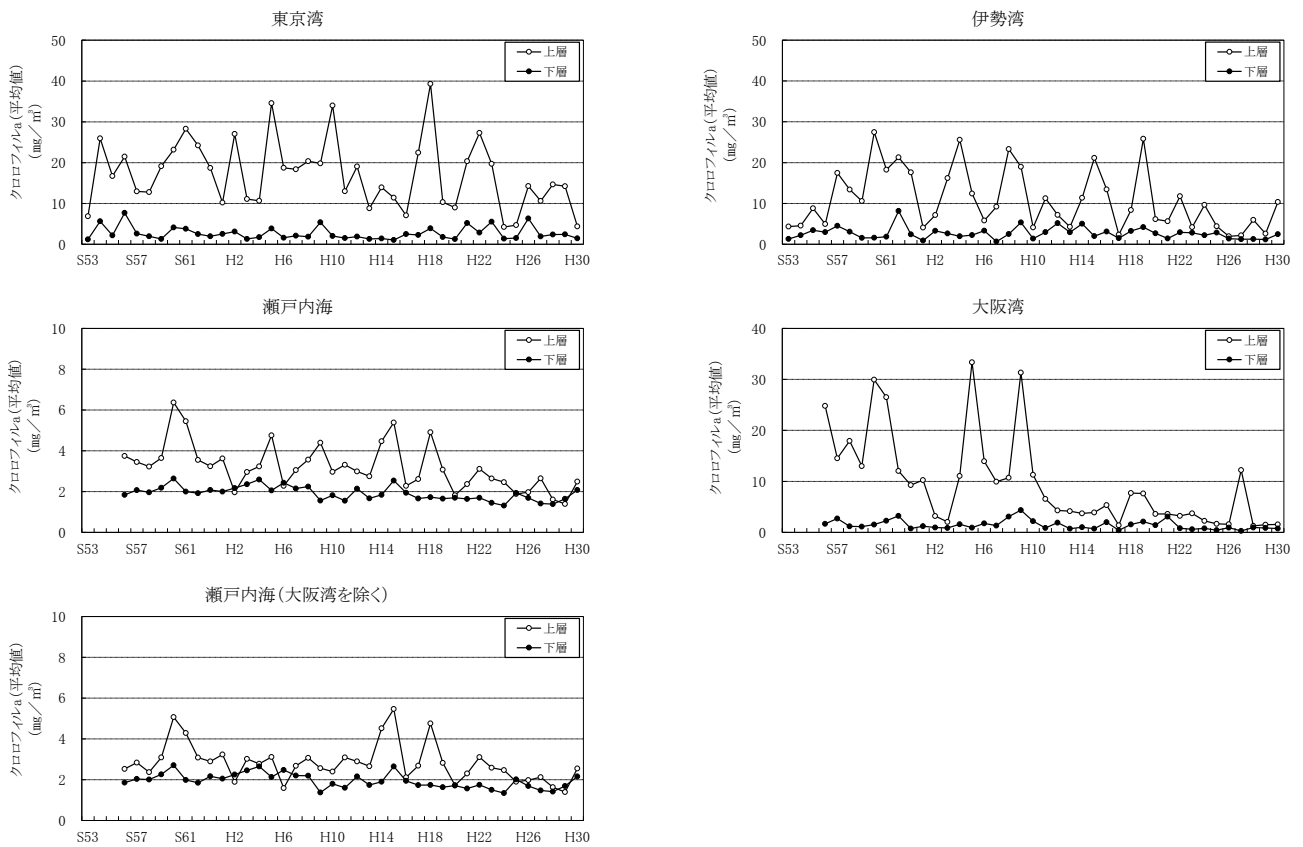
指定水域におけるクロロフィル a の濃度年平均値の推移を図 9 に示す。

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。



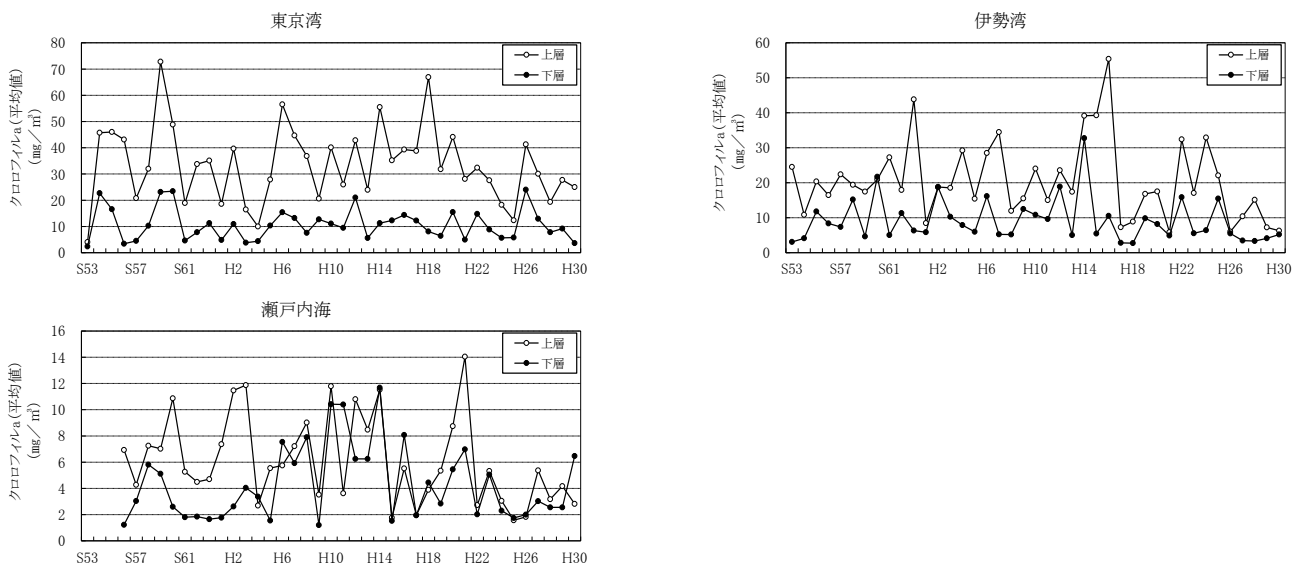
出典) 「広域総合水質調査結果」 (環境省)

図 9(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)

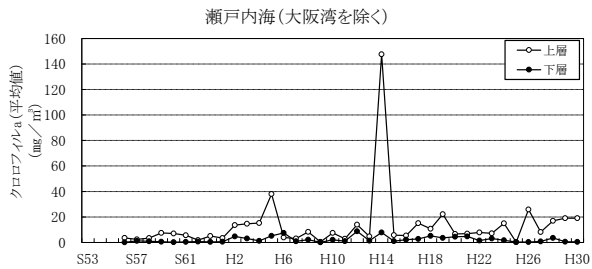
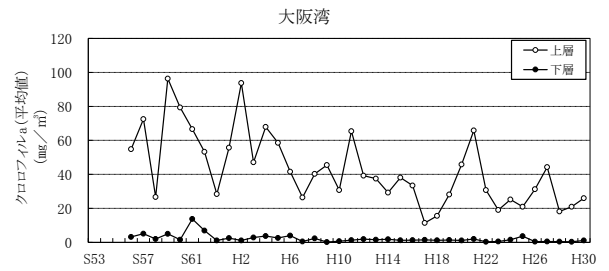
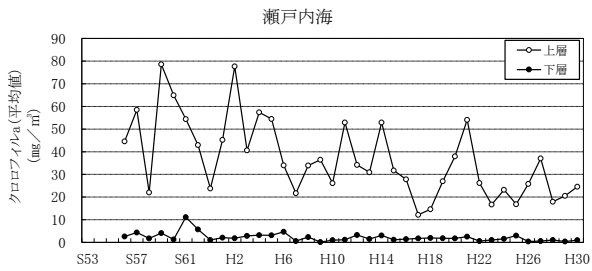
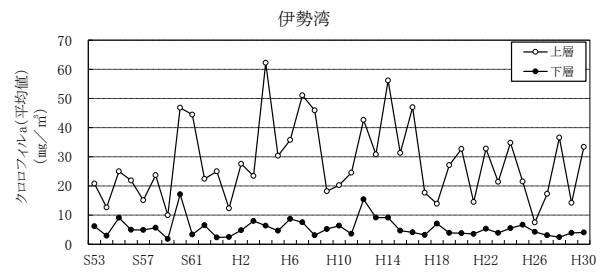
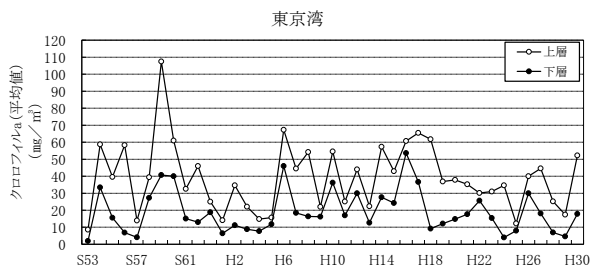
図 9(2) クロロフィル a の濃度年平均値の推移 (A 類型の地点のみ)



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 9(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 9(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)

4. 外海水の状況

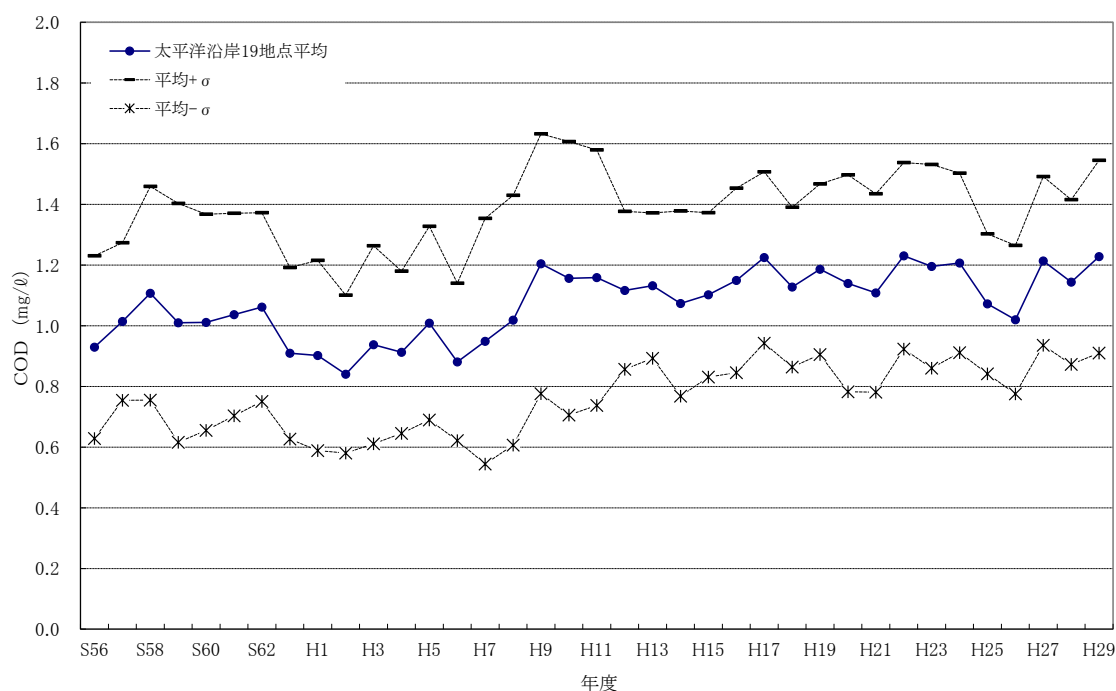
4-1. 外海水水質の長期的な変化（COD・T-N・T-Pの状況）

太平洋沿岸 19 地点（図 10）のCOD濃度（年平均値）は、いずれもやや上昇傾向を示しており、昭和 56 年～平成 8 年度までは 1.0mg/L 前後で推移していたが、平成 11 年度以降は 1.2mg/L 前後で推移している（図 11）。

一方で、同地点におけるT-N濃度及びT-P濃度（年平均値）はいずれも横ばいあるいは減少傾向を示している（図 12）。

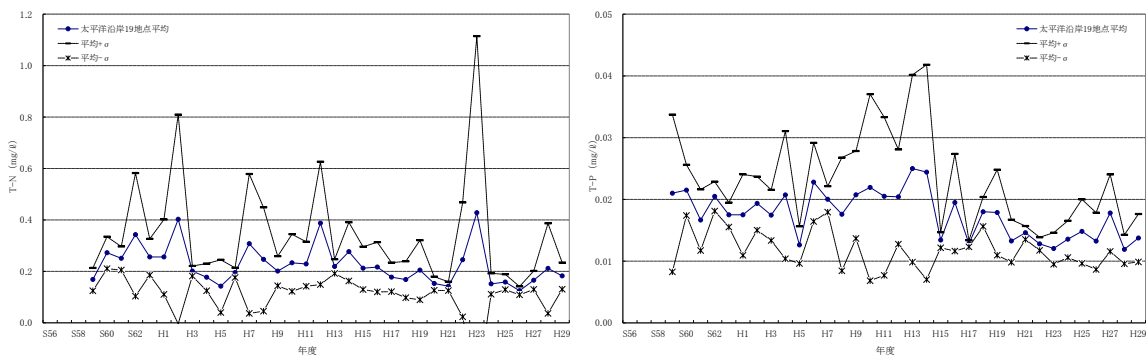


図 10 太平洋沿岸 19 地点の位置



注) 太平洋沿岸 19 地点とは、黒潮の流路に近接する太平洋沿岸県の環境基準点のうち、閉鎖性海域、港湾及び漁港等の陸域の影響を受けやすいと考えられる環境基準点を除外した 19 地点の平均値。
 出典) 「公共用水域水質測定結果」 (環境省)

図 11 太平洋沿岸 19 地点における平均 COD 濃度の推移



注) 太平洋沿岸 19 地点とは、図 11 で COD 濃度の推移を把握するために選定した地点と同じ地点を示す。T-N 及び T-P が測定されていない地点も含まれているため、観測した結果のみで T-N 及び T-P の推移を示す。
 出典) 「公共用水域水質測定結果」 (環境省)

図 12 太平洋沿岸 19 地点における平均 T-N 濃度及び平均 T-P 濃度の推移

4-2. 外海水との海水交換

外海水の影響について、藤原¹はエスチュアリー循環流²による東京内湾上層水の交換時間^{3,4}を算出しており、13日(夏)～14日(冬)であった。同様に、大阪湾東部上層水の交換時間は8.1日⁵、瀬戸内海は195日(6.4ヵ月)⁶とされている。

一般に外海水に比べて河川水の全窒素・全りん濃度は高く、湾奥には下水処理場等からの窒素・りんの影響(淡水として)もある。このため、湾内上層は、湾奥部の低塩分・高栄養の海水が、湾外へとエスチュアリー循環流で運ばれていきながら、下層から上昇してくる高塩分・低栄養の外海水で希釈される構造とされている。

このような外海水の湾内侵入は、湾奥部の密度成層を発達させるため青潮が発生しやすい状況を作り出すとし、それは外海の高塩分水塊が底層に進入してくることでそれまで湾中央部の底層に形成されていた貧酸素水塊が持ち上げられ、高塩分水塊と密度躍層の間に押し上げられる現象によるものとされている⁷。

瀬戸内海については、流入する栄養塩類は、瀬戸内海が2箇所接続する太平洋からの負荷が大きく、底泥からの負荷も考慮する必要があるとされており、外洋起源の栄養塩の見積もりとしては、石井ら⁸によると栄養塩がおおよそ6～9割を占める計算となっている。一方、武岡⁹は推計の課題を指摘しており、それらを踏まえて6割足らずであるとしている。

なお、速水¹⁰らによると、外海における窒素・りん濃度をバックグラウンド濃度として各湾のTN、TP濃度で除した割合を外海起源の窒素・りん寄与率とした場合、瀬戸内海全体の寄与率はTNで64%、TPで62%となっており、その内訳としては図13に示すように瀬戸内海の東部では比較的寄与率が低く、特に大阪湾では25%程度と最も低い寄与率であると推定されている。

¹ 内湾の貧栄養化－窒素・リン負荷量削減が海域のCOD、栄養塩レベルに及ぼす影響－(藤原建紀、沿岸海岸研究,第52巻第1号,2014年)

² エスチュアリー循環流とは、沖合から塩分濃度の濃い海水が低層に入り込むことにより、塩分濃度の低い水が沖合に流れて、循環が起こる現象。

³ 内湾上層水の交換時間は、水深5m以浅の体積Vを上層から湾外への流出流量Qで除して求めたもの。

⁴ 高尾敏幸・岡田知也・中山恵介・古川恵太(2004):2002年東京湾広域環境調査に基づく東京湾の滞留時間の季節変動. 国土技術政策総合研究所資料 No. 169, 78pp.

⁵ 藤原建紀・澤田好史・中辻啓二・倉本茂樹(1994):大阪湾東部上層水の交換時間と流動特性－内湾奥部にみられる高気圧性渦－. 沿岸海洋研究ノート, 31, 227-238.

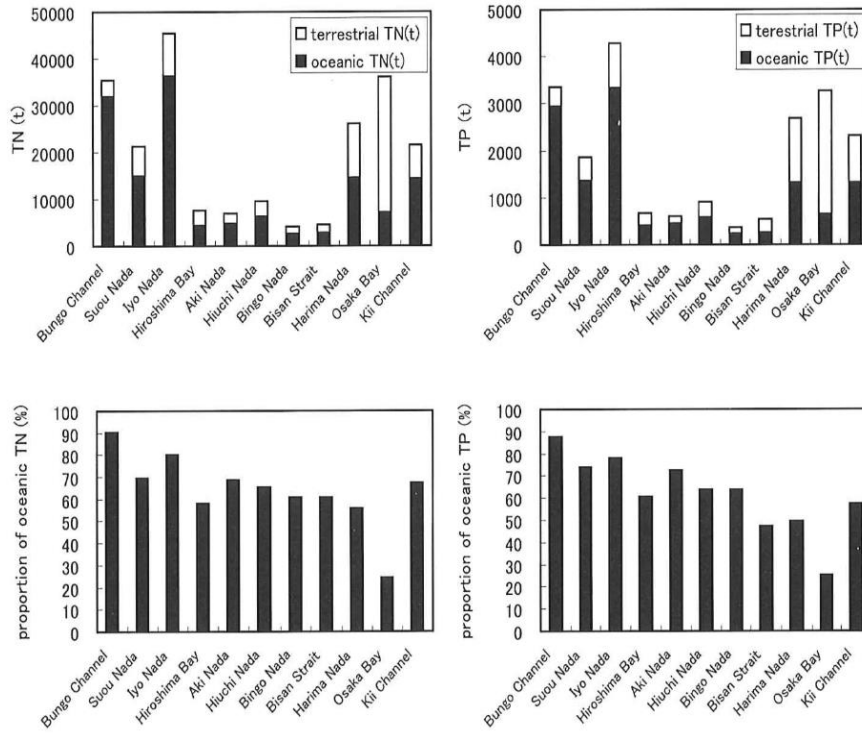
⁶ 藤原建紀(1983):瀬戸内海と外洋水の海水交換. 海と空, 59, 7-17.

⁷ 東京湾における底層水塊の流動と千葉浚渫窪地に与える影響(2008):田中 陽二, 有路 隆一, 諸星 一信, 鈴木 信昭, 松坂省一, 鈴木 高二朗 海岸工学論文集 55巻(2008) p. 1031-1035

⁸ 瀬戸内海各湾・灘における全りん・全窒素の起源と濃度変動機構:石井、柳、海の研究,第13巻第4号,2004年

⁹ 沿岸域における外洋起源栄養塩物質量の見積もり法とその問題点:武岡英隆、沿岸海岸研究,第43巻第2号,2006年

¹⁰ 瀬戸内海における窒素・リンの存在量とその長期変動:速水、海と空,第80巻,2004年



出典) 「瀬戸内海における窒素・リンの存在量とその長期変動」 (速水、海と空,第 80 巻,2004 年)

図 13 瀬戸内海における外海起源の窒素・リンの寄与率

5. 底泥からの溶出

東京湾、伊勢湾、瀬戸内海における既存資料による底泥からの溶出量はそれぞれ表 1、表 2、表 3 に示すとおりである。

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、りんとともに総じて東京湾で溶出速度は大きく、伊勢湾、瀬戸内海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 $6.65\sim 21.9$ $\text{mg/m}^2/\text{日}$ ¹¹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¹²、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¹³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 0.2mg/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ことが確認された¹⁴。

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¹⁵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¹³。

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 $80\sim 90\%$ 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 $75\sim 85\%$ 減少していたとされており、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ているとされている¹⁶。

¹¹ 信澤雄一郎ら、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。

¹² 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。

¹³ 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。

¹⁴ 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。

¹⁵ 「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。

¹⁶ 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。

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¹⁷、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¹⁸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	11地点 湾奥2地点 湾奥3地点	130	~ 299
	運輸省第二港湾建設局(1977)	2)	(2) S51.9-S52.1採泥、20℃		77	~ 276
	環境庁(1987)	2)	(3) S53.9-S53.11採泥、D0:0.6-3.2mg/L、20-22℃		32	~ 32
	環境庁(1980)	2)	(4) S55.10採泥、好気、20℃		15.2	~ 54.4
	運輸省第二港湾建設局(1986)	2)	(5) S55.10採泥、現場D0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、東京港周辺		29	~ 82
	曾田・安藤(1993)	3)	(10) H2-H4、嫌気条件、25℃、葛西沖、東京港周辺		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	6地点 12地点 12地点 5地点 5地点	57.5	~ 97.3
	曾田・安藤(1993)	3)	(2) H2-H4、好気条件、25℃、葛西沖、東京港周辺		9	~ 210
	曾田・安藤(1993)	3)	(3) H2-H4、嫌気条件、25℃、葛西沖、東京港周辺		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		57.3	~ 194
	環境庁(1998)	9)	(8) H9年8月(室内コアサンプル法)		23	~ 249
	環境庁(1998)	9)	(9) H9年8月(数理法)		14.7	~ 267
	環境庁(1997)	8)	(10) H8年7-9月(室内コアサンプル法)		13.5	~ 172
	環境庁(1997)	8)	(11) H8年7-9月(数理法)		16	~ 148
リン溶出	日本道路公団(1987)	1)	(1) 夏季	11地点 湾奥3地点	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℃		3	~ 39
	環境庁(1980)	2)	(4) S55.10採泥、嫌気、25℃		1.89	~ 7.59
	運輸省第二港湾建設局(1986)	2)	(5) S55.10採泥、現場D0条件		2.69	~ 47.5
	運輸省第二港湾建設局(1983)	2)	(6) D0:0.2,4.6(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、東京港周辺		0	~ 14
	曾田・安藤(1993)	3)	(9) H2-H4、嫌気条件、25℃、葛西沖、東京港周辺		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		11.6	~ 36.6
	環境庁(1998)	9)	(14) H9年8月(室内コアサンプル法)		6.09	~ 39.6
	環境庁(1998)	9)	(15) H9年8月(数理法)		1.9	~ 34.8
	環境庁(1997)	8)	(16) H8年7-9月(室内コアサンプル法)		4.7	~ 28.4
	環境庁(1997)	8)	(17) H8年7-9月(数理法)		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」

¹⁷ 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.

¹⁸ 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	リン	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・リンの溶出について,2004,p.6.

表 3(1) 瀬戸内海における窒素・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 1978.6-8,10,12	大阪湾	N	濃度勾配法 A * ³	城 (1986) ³⁵⁾
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) 瀬戸内海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⁾
		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⁾
		NH ₄	8.9 ~ 24.5	2.4 ~ 5.9	環境省 (2002) ³³⁾
安芸灘		濃度勾配法	DIN	2.7	1.2
	広島湾	培養法	DIN	10.7 ~ 39.8	1.6 ~ 5.1
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⁾
濃度勾配法		DIN	—	0.3 ~ 1.1	Yamamoto et al. (2000) ²¹⁾
		DIN	40.5 ~ 104	26 ~ 43.5	清木 (1990) ³⁶⁾
		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⁾
周防灘	濃度勾配法	NH ₄	3.3 ~ 36.7	0.3 ~ 4.8	環境省 (2003) ³⁴⁾
		DIN	9.1 ± 9.1	3.1 ± 2.9	Sarker et al. (2005) ⁴⁰⁾
	培養法	NH ₄	-0.5 ~ 11.2	1.3 ~ 15.2	環境省 (2003) ³⁴⁾
別府湾	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) 瀬戸内海における窒素・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	窒素 (t/日)	リン	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			19	67
	Sarker et al. (2005) ⁴⁰⁾	成層期	36	2	56	20	67	33
		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))

表 4(2) 気候変動が水生生態系に及ぼす影響

既に生じている影響	将来予測される影響
<ul style="list-style-type: none"> ・ 水温上昇に伴う植物プランクトン群集の変化 ・ 沿岸における南方種の増加・北方種の減少 ・ サンゴ礁の白化・死滅 ・ 水温上昇による養殖カキへの影響 ・ オホーツク海等の水温上昇・溶存酸素濃度低下による生物生産性への影響 ・ 結氷日数の減少および結氷面積の低下による生態系への影響 	<ul style="list-style-type: none"> ・ オホーツク海の海水減少に伴う食物連鎖の変化、回遊性生物の回遊ルートの変化 ・ 海洋の酸性化によるプランクトン、石灰化生物への影響拡大 ・ サンゴの白化や病気の拡大 ・ 砂浜環境の減少

出典)「気候変動による水質等への影響解明調査報告」(環境省 水・大気環境局 水環境課, 2013年3月)