

水質汚濁に影響を与える要因

1. 水質汚濁に影響を与える要因

閉鎖性水域においては、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、夏期には、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、底泥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・攪拌などがある。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などが複雑に影響している（図 1-1）。

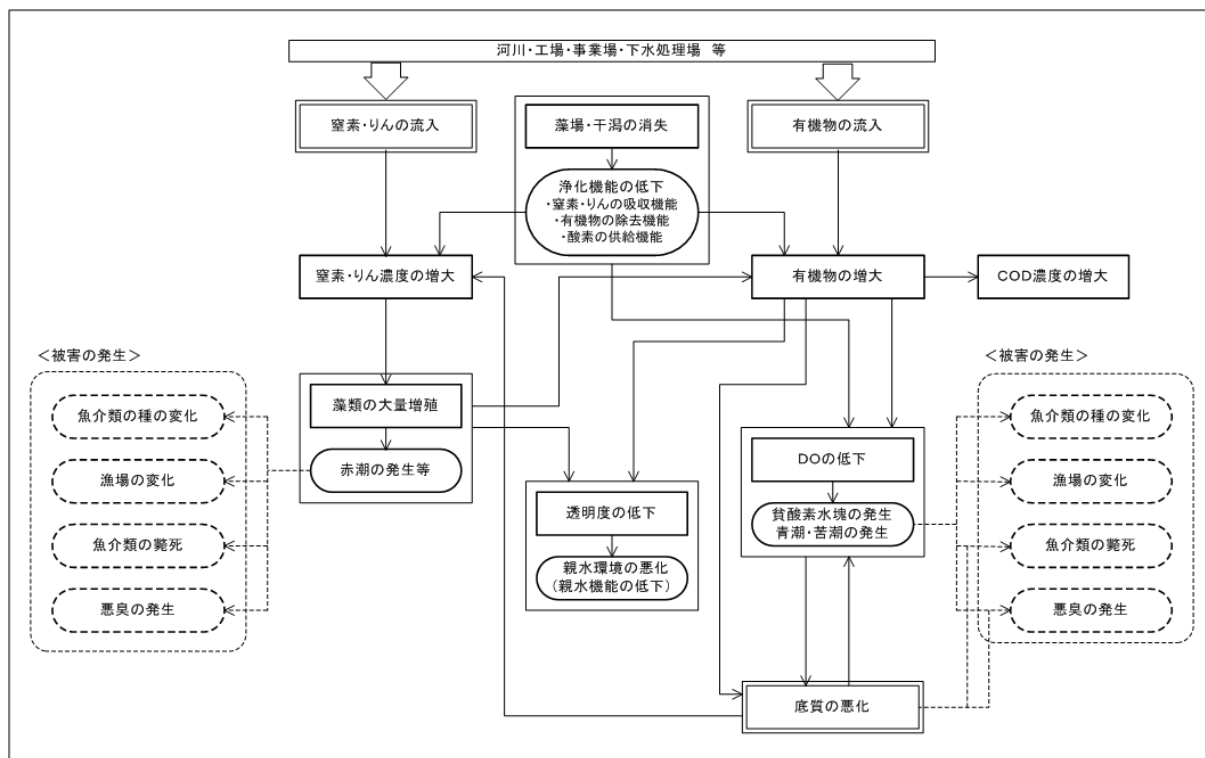
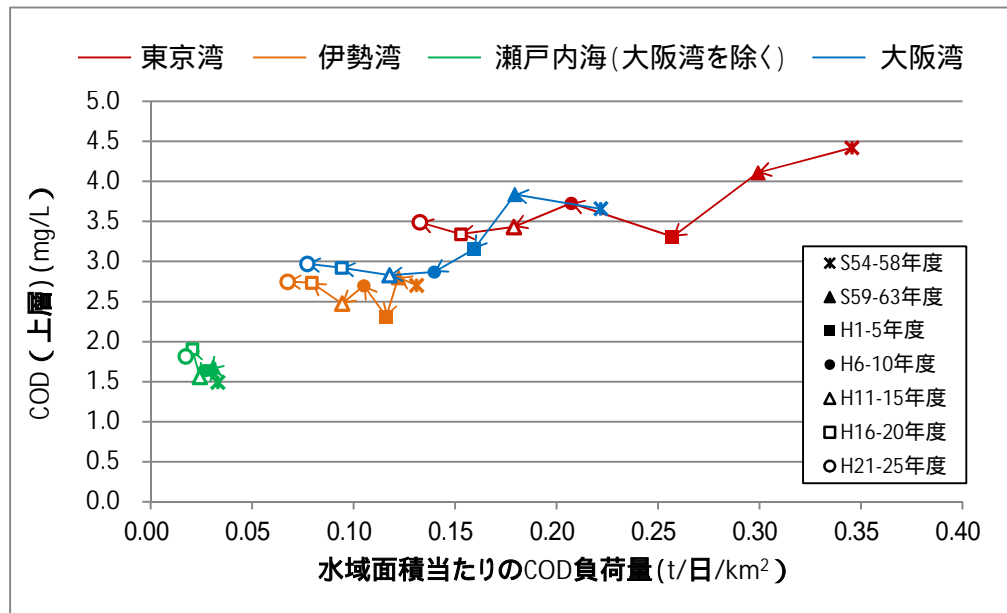


図 1-1 閉鎖性海域における水質汚濁に影響を与える要因

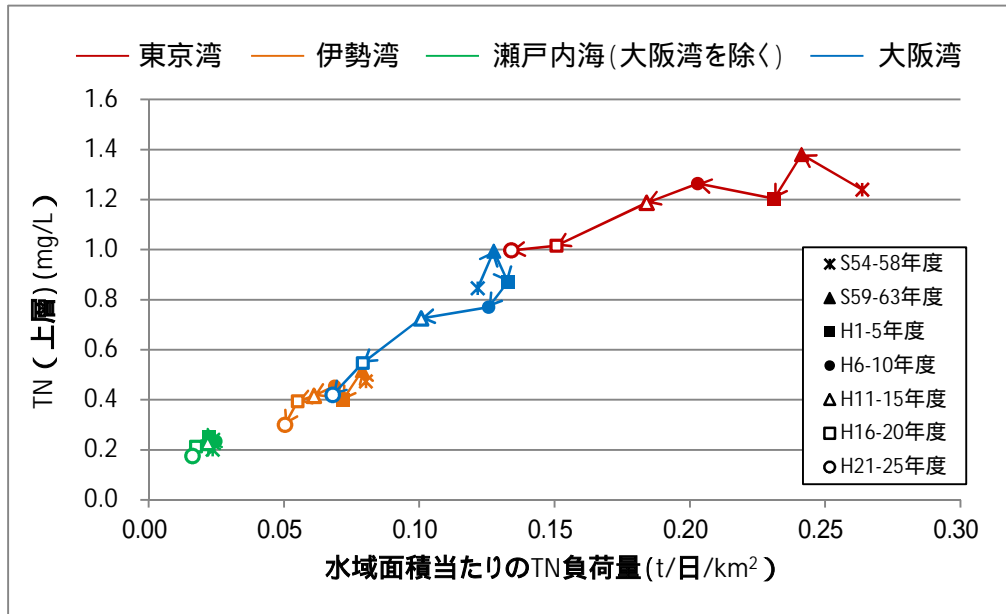
2. 負荷削減と水質改善の関係

指定水域における水域面積当たりの汚濁負荷量と水質濃度（COD、窒素、りん）の関係をみると、水域面積当たりの汚濁負荷量が高い海域ほど水質濃度は高くなっている。また、水域面積当たりの汚濁負荷量の削減量が高い海域ほど、水質濃度の低下傾向が明確に見られる。



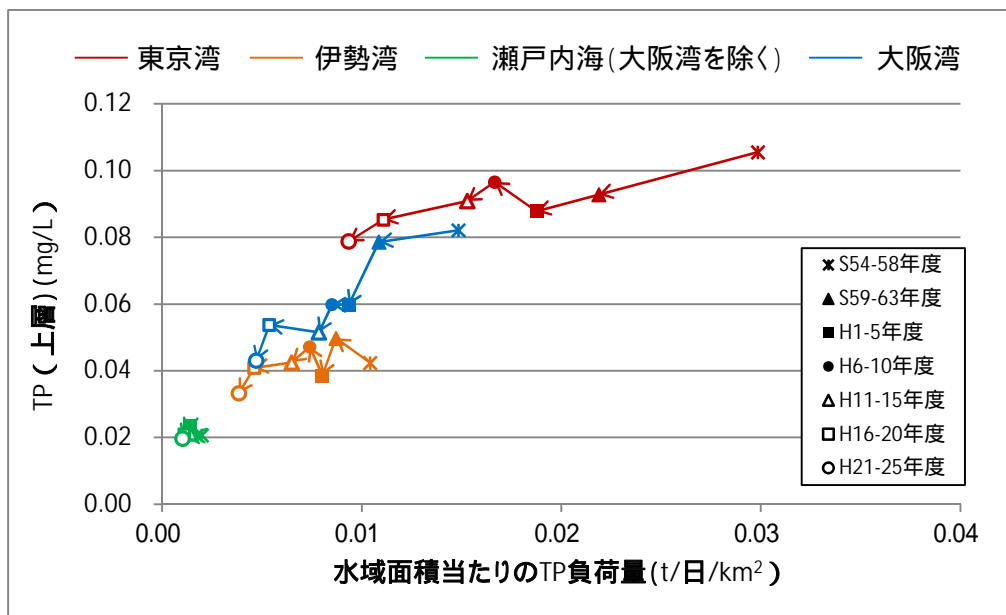
注) COD負荷量については第1次～第7次総量削減開始年度の値を、水質については各総量削減期間中の平均水質を用いた。

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7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



注) リン負荷量については第1次～第7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 2-3 水域面積当たりのりん負荷量とりん濃度の推移

(1) COD寄与率

1) シミュレーションモデルによる推定

ここでは各海域におけるCOD寄与率に着目し、シミュレーションモデル（モデルの概要等は資料3「水質将来予測」を参照）を用いて、東京湾、伊勢湾及び大阪湾を対象にCODに関わる条件を変更した場合の濃度寄与率を算定した。変更した条件は次の4ケースである。

- ・陸域からのCOD流入負荷量をゼロとしたケース（陸域負荷）
- ・海域における植物プランクトンの光合成速度をゼロとしたケース（内部生産）
- ・底泥からのCODの溶出量をゼロとしたケース（底泥からの溶出）
- ・外海境界濃度のCOD濃度をゼロとしたケース（バックグラウンド）

広域総合水質調査地点に該当する計算格子毎に、現況計算年度（平成21年度）における現況計算結果と上記4ケースの計算結果のCOD濃度差から寄与率を算定した。具体的には、ある条件をゼロとした時の濃度の低下割合が、その地点におけるCOD濃度に対する寄与率であると仮定したものである。上記4ケースの濃度低下の合計値と現況ケースの濃度に差がある場合、それを「その他」として区分した。

平成21年度における東京湾、伊勢湾及び大阪湾における上層のCOD寄与率の結果をそれぞれ表2-1～表2-3及び図2-4～図2-6に示す。寄与率のグラフの横軸の数字は広域総合水質調査地点番号（連番）に対応している。

この結果、最近の東京湾では、内部生産の寄与が最も大きく（51.5%）、次いで陸域負荷（25.6%）、バックグラウンド（22.8%）となった。一方、伊勢湾と大阪湾では、バックグラウンドの寄与が最も大きく（それぞれ46.8%、44.1%）、次いで内部生産（同40.4%、37.9%）、陸域負荷（同12.8%、15.7%）となった。

表 2-1 東京湾における上層のCOD寄与率（平成21年度）

単位：%

陸域負荷	内部生産(含溶出)	バックグラウンド	その他
25.6	51.5	22.8	0.0

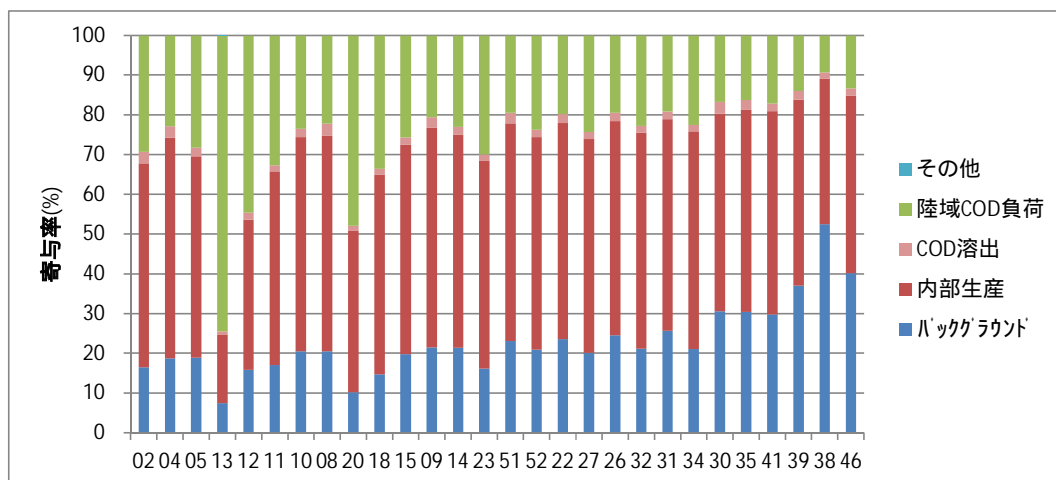


図 2-4 東京湾（各地点）における上層のCOD寄与率（平成21年度）

表 2-2 伊勢湾における上層のCOD寄与率（平成 21 年度）

単位：％

陸域負荷	内部生産(含溶出)	バックグラウンド	その他
12.8	40.4	46.8	0.6

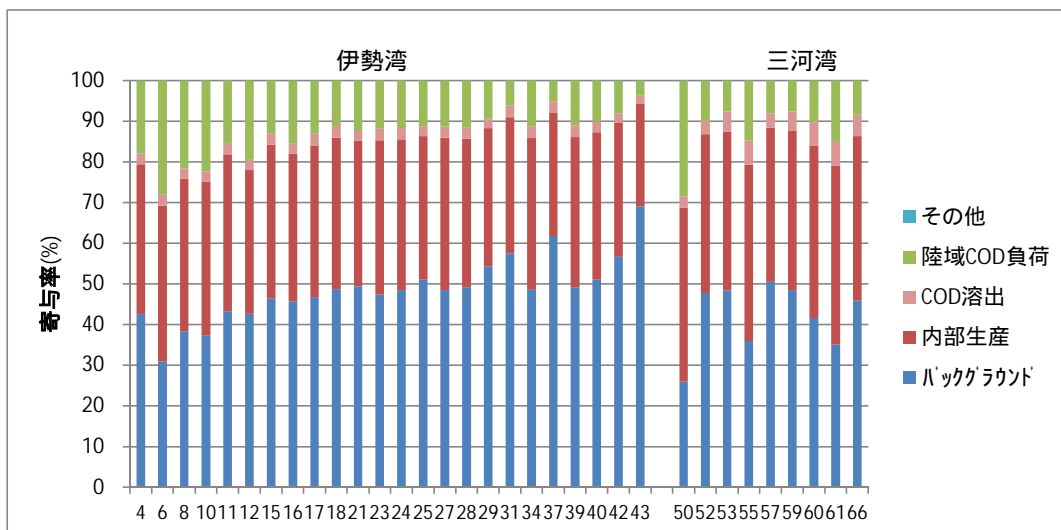


図 2-5 伊勢湾（各地点）における上層のCOD寄与率（平成 21 年度）

表 2-3 大阪湾における上層のCOD寄与率（平成 21 年度）

単位：％

陸域負荷	内部生産(含溶出)	バックグラウンド	その他
15.7	37.9	44.1	2.2

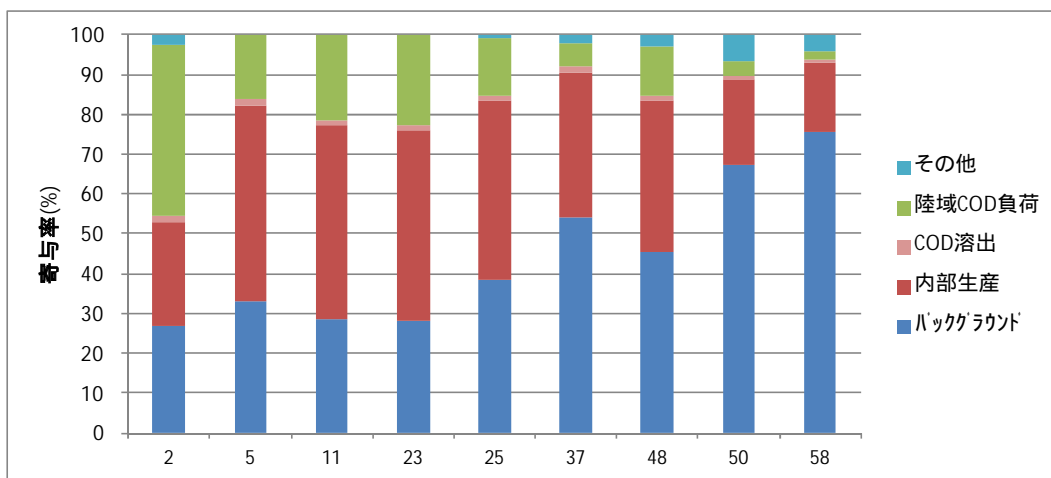


図 2-6 大阪湾（各地点）における上層のCOD寄与率（平成 21 年度）

2) COD法による推定

第6次水質総量削減に係る検討においては、COD法等によるCOD寄与率が推定されており、ここでは同手法に基づき算出した各海域におけるCOD寄与率を整理した。結果を表2-4及び図2-7に示す。なお、COD法による推定は、昭和56～58年度（第1次総量削減実施期間）と平成22～24年度（第7次総量削減実施期間）を対象とした。

平成22～24年度の結果を1)のシミュレーションモデルによる結果と比較すると、東京湾では内部生産の割合が最も大きい点は同様であるが、陸域負荷とバックグラウンドの割合が逆転している。また、伊勢湾と大阪湾についても、バックグラウンドの割合が最も大きい点は同様であるが、陸域負荷の割合がモデルによる結果に比べるとそれぞれ高くなっており、大阪湾では陸域負荷と内部生産の割合が逆転している。

また、昭和56～58年度の結果と平成22～24年度の結果を比べると、いずれの海域においても陸域負荷の割合は低下しており、それに伴い内部生産及びバックグラウンドの比率が相対的に高まっている状況が確認された。

表2-4 水質測定結果に基づく上層のCOD寄与率の算定結果

(昭和56～58年度 / 第1次総量削減実施期間)

単位：%

	陸域負荷	内部生産（含溶出）	バックグラウンド
東京湾	37	36	26
伊勢湾	24	35	40
大阪湾	49	22	29
瀬戸内海 （大阪湾を除く）	14	13	73

(平成22～24年度 / 第7次総量削減実施期間)

単位：%

	陸域負荷	内部生産（含溶出）	バックグラウンド
東京湾	27	41	33
伊勢湾	21	33	46
大阪湾	28	27	46
瀬戸内海 （大阪湾を除く）	12	18	70

注) 中央環境審議会総量規制専門委員会（第二回：平成16年7月7日）資料の手法に基づき試算した。
 全体COD濃度は、広域総合水質調査結果による対象3か年の上層平均値
 バックグラウンド値は、公共用水域水質測定結果による太平洋沿岸62地点における平均COD濃度
 内部生産CODの割合は、COD変法による対象の3か年平均値
 全体濃度からバックグラウンドと内部生産分を差し引いた残りを陸域からの負荷と仮定
 第7次総量削減実施期間中の東京湾については平成22年度及び23年度の平均値
 数字を丸める際の誤差により合計が100%とならない場合がある

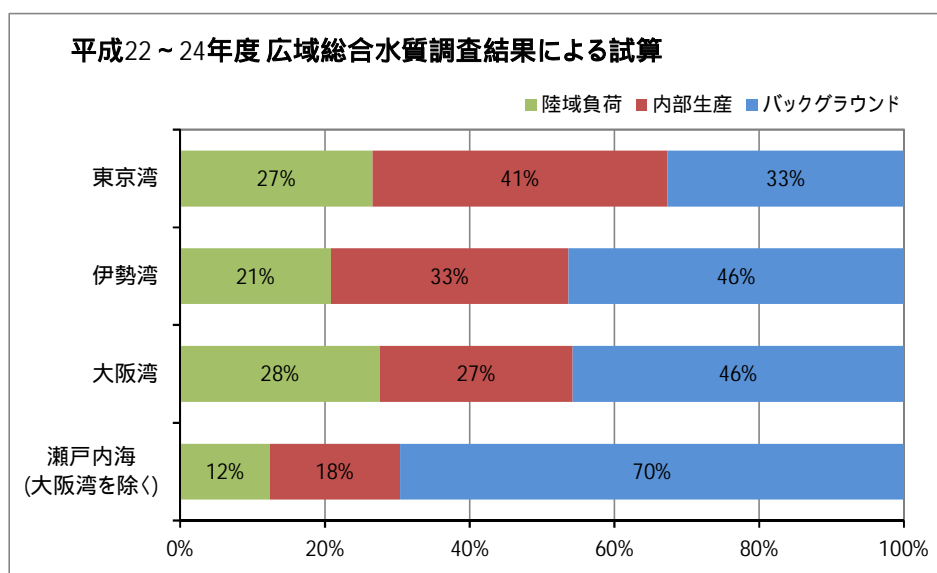
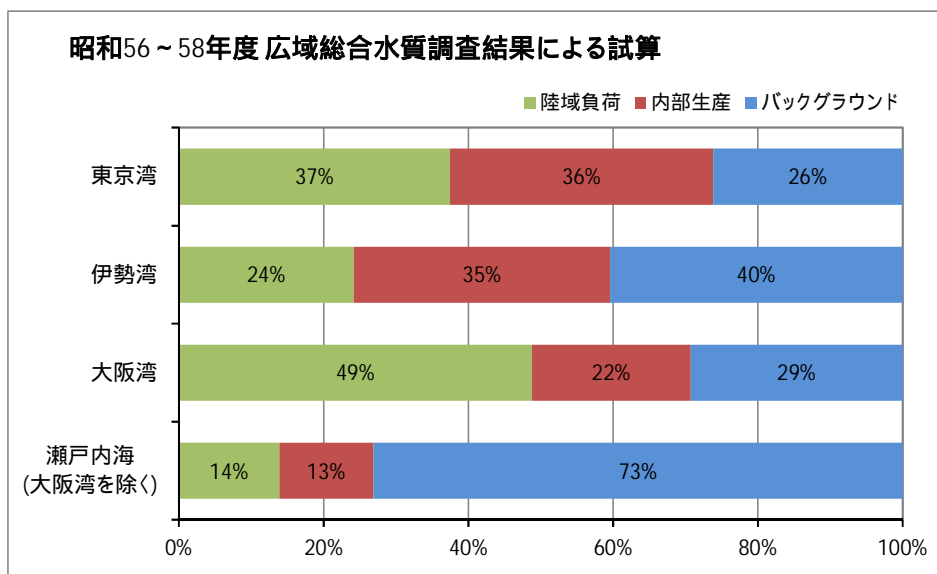


図 2-7 水質測定結果に基づく上層のCOD寄与率の算定結果

1)と 2)のそれぞれの手法による結果を総合的に勘案すると、近年のCOD寄与率をめぐる傾向として、内部生産やバックグラウンドの割合が比較的大きいが、陸域負荷の割合も一定程度を占めているという傾向を見てとることができる。

(2) 窒素・りんが内部生産に及ぼす影響

窒素・りんの負荷量が内部生産に及ぼす影響に着目し、シミュレーションモデル（モデルの概要等は資料3「水質将来予測」を参照）を用いて、東京湾全域を対象に、窒素・りん負荷量に関わる条件を変更した場合の内部生産量（植物プランクトンの光合成量 - 呼吸量）の変化を算定した。変更した条件は次の3ケースである。

- ・陸域からの流入負荷量の全窒素もしくは全りんをゼロとしたケース（陸域負荷）
- ・外海境界濃度の全窒素もしくは全りんをゼロとしたケース（バックグラウンド）
- ・底泥からの溶出量の全窒素もしくは全りんをゼロとしたケース（底泥からの溶出）

平成21年度の東京湾における内部生産量の変化を表2-5及び図2-8に示す。

この結果、東京湾では、特に陸域負荷が内部生産量に大きな影響を及ぼしていることが示唆された。

表 2-5 東京湾における内部生産量の変化

単位：千トン/年

ケース	現況	陸域負荷		バックグラウンド		底泥からの溶出	
		窒素ゼロ	りんゼロ	窒素ゼロ	りんゼロ	窒素ゼロ	りんゼロ
東京湾	347	152	133	331	258	328	296

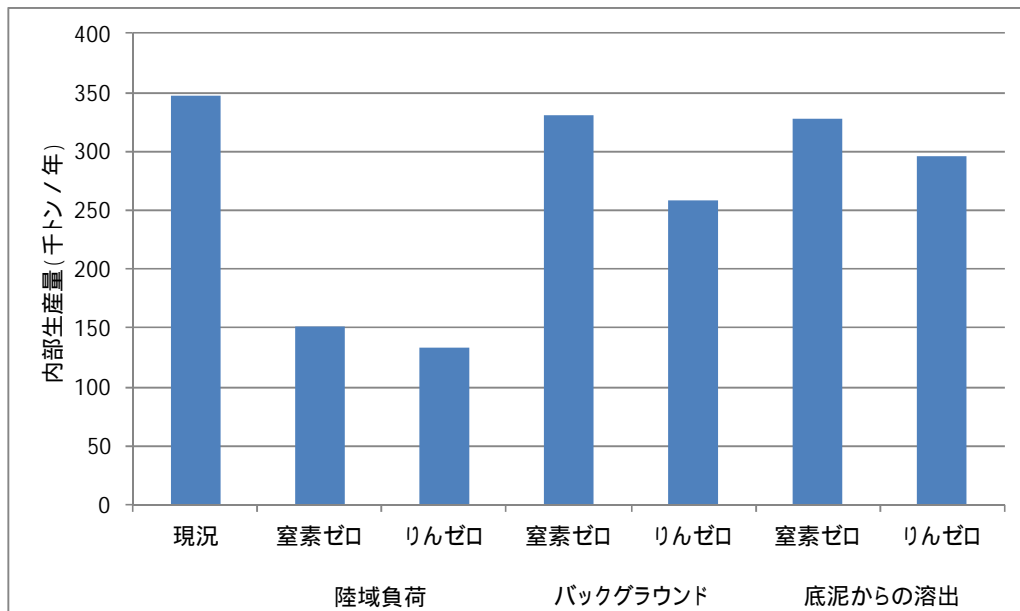
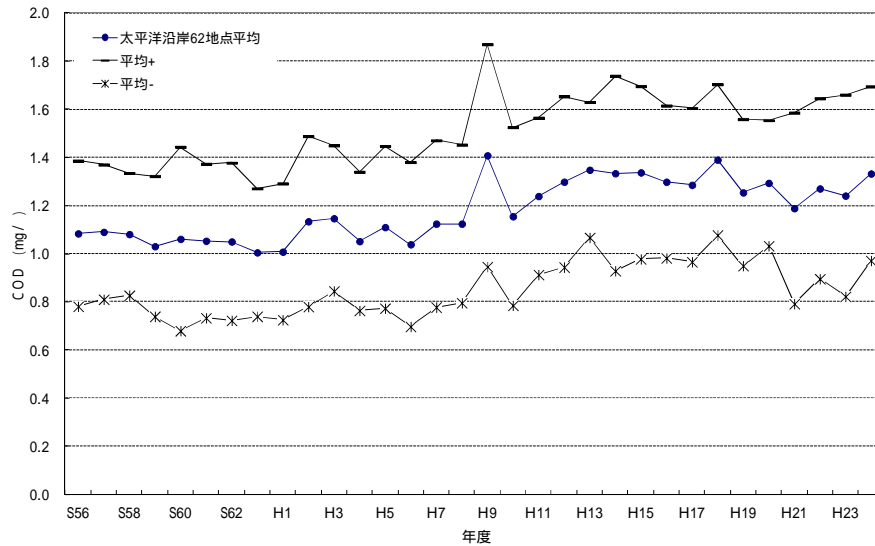


図 2-8 東京湾における内部生産量の変化

(3) 外海の状況

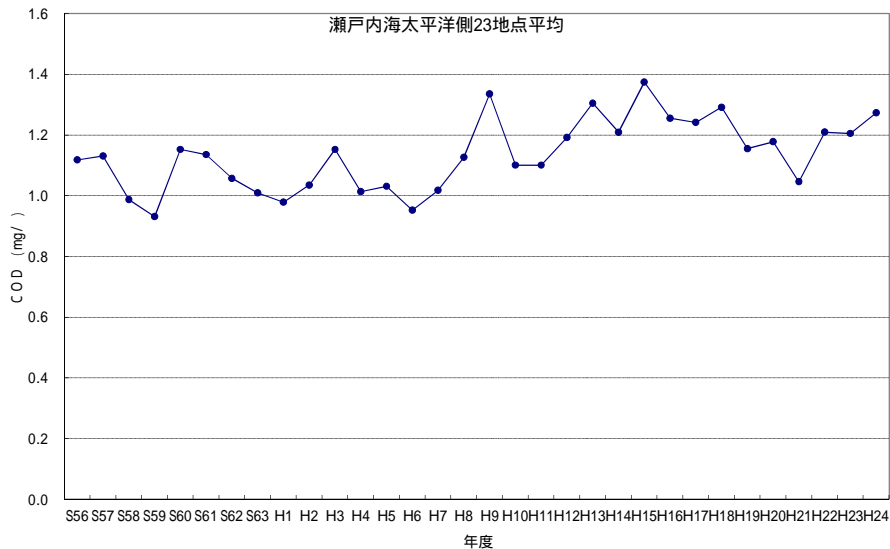
太平洋岸 62 地点及び瀬戸内海の太平洋岸 23 地点における COD 濃度の年平均値（バックグラウンド）の推移を図 2-9 及び図 2-10 に示す。

太平洋岸 62 地点、瀬戸内海の太平洋岸 23 地点のいずれにおいても COD 濃度はやや上昇傾向にあり、太平洋岸 62 地点における COD 年平均値でみると、昭和 56 年～平成 8 年度までは 1.1mg/L 前後で推移していたが、平成 11 年度以降は 1.3mg/L 前後で推移している。



注) 太平洋沿岸 62 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 62 地点の平均値。
出典) 公共用水域水質測定結果

図 2-9 太平洋沿岸 62 地点における平均 COD 濃度の推移



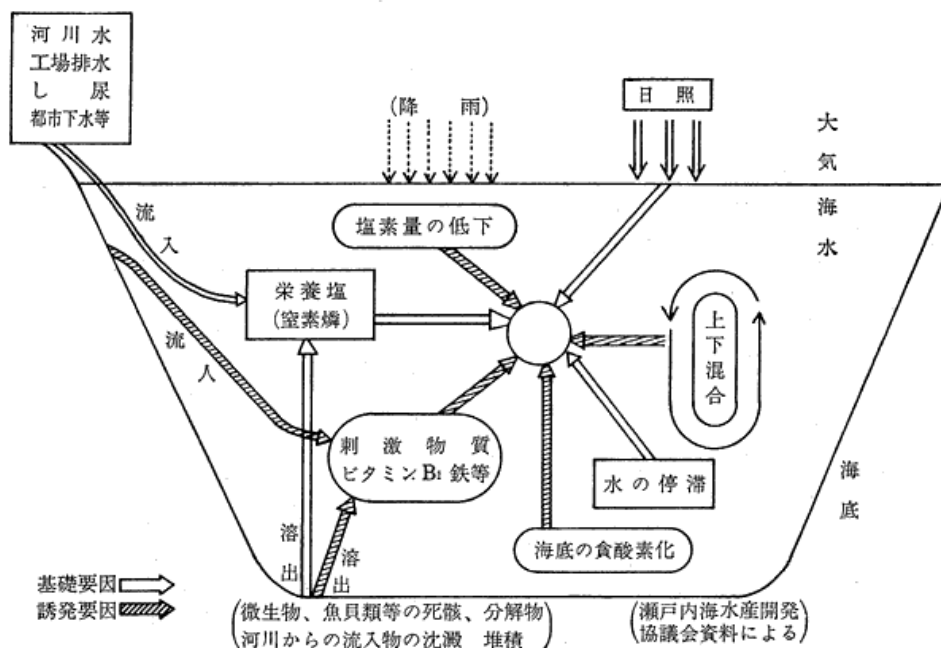
出典) 公共用水域水質測定結果 (環境省)

図 2-10 瀬戸内海の太平洋沿岸 23 地点における平均 COD 濃度の推移

3. 赤潮の発生機構

赤潮は人為的影響の少ない自然条件下でも発生するが、内湾における赤潮は、海水が成層化し上下混合が起こりにくい状況下で、より高頻度に発生する傾向にある。赤潮を形成するプランクトンの増殖には、必要十分な日照と、河川水の流入や底泥からの溶出による窒素・りんといった栄養塩類の供給が不可欠である。また、底泥からのビタミン類、微量金属類等の供給が赤潮を誘発するという説もある（図 3-1）。

赤潮を形成する代表的なプランクトンとしては、珪藻類、渦鞭毛藻類、ラフィド藻類等が挙げられる。プランクトンの増殖には、適度な水温、塩分、日照及び栄養塩等といった環境条件が必要であるが、プランクトン種によって増殖に適した環境条件は異なっており、これらの環境条件との関係から、その場に優占する種類とその発生規模が決定される（表 3-1、図 3-2）。



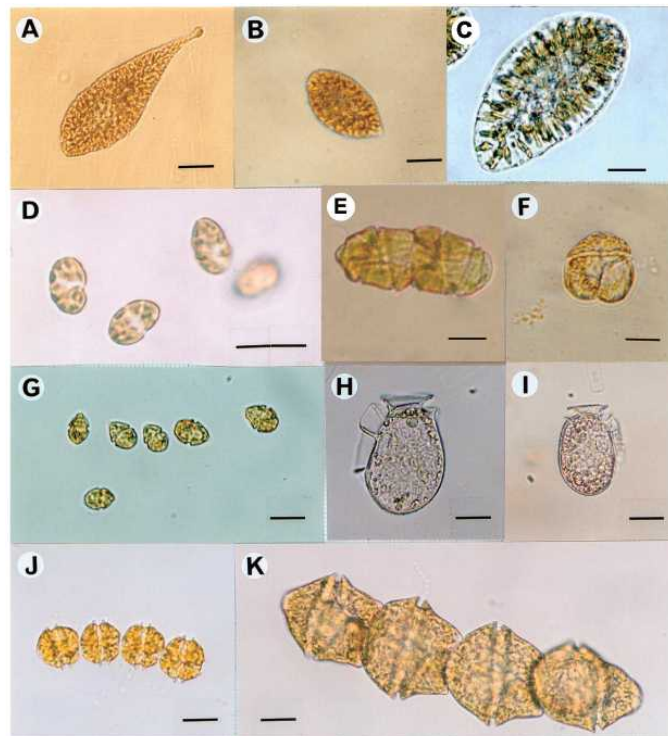
区分	要因	内容
基礎要因	栄養塩の供給	陸域からの流入または底質からの溶出により供給
	日照	増殖に必要な日照
	水の停滞	夏期の成層期及び弱風時など
誘発要因	塩素量の低下	出水時後など河川等からの淡水供給
	刺激物質の供給	陸域からの流入または底質からの溶出により供給
	海底の貧酸素化	底質からの溶出が促進され、栄養塩・刺激物質の供給に関与

出典)「環境白書 昭和 47 年版」(環境庁)

図 3-1 赤潮の発生機構

表 3-1 種々のタイプの赤潮

タイプ	特徴	代表的な原因生物
大量増殖赤潮 (バイオマスブルーム)	基本的には無害であるが、高密度に達した場合には溶存酸素の欠乏等を引き起こして魚介類を斃死させる	<i>Gonyaulax polygramma</i> <i>Noctiluca scintillans</i> <i>Trichodesmium erythraeum</i> <i>Scrippsiella trochoidea</i>
有毒ブルーム	強力な毒を産生し、食物連鎖を通じて人間に害を与える。海水が着色しない低密度の場合でも毒化現象（特に二枚貝）がしばしば起こる	麻痺性貝毒： <i>Alexandrium tamarense</i> , <i>Gymnodinium catenatum</i> 下痢性貝毒： <i>Dinophysis fortii</i> , <i>Dinophysis acuminata</i> , <i>Prorocentrum lima</i> 記憶喪失性貝毒： <i>Pseudo-nitzschia multiseries</i> , <i>Pseudo-nitzschia australis</i> 神経性貝毒： <i>Karenia brevis</i> シガテラ毒： <i>Gambierdiscus toxicus</i>
有害赤潮	人間には無害であるが養殖魚介類を中心に大量斃死被害を与える	<i>Chattonella antiqua</i> , <i>Chattonella marina</i> , <i>Chattonella ovata</i> <i>Heterosigma akashiwo</i> <i>Heterocapsa circularisquama</i> <i>Karenia mikimotoi</i> , <i>Cochlodinium polykrikoides</i> <i>Chrysochromulina polylepis</i>
珪藻赤潮	通常は海域の基礎生産者として重要な珪藻類が海苔養殖の時期に増殖して海水中の栄養塩類を消費し、海苔の品質低下を引き起こして漁業被害を与える	<i>Eucampia zodiacus</i> <i>Coscinodiscus wailesii</i> <i>Chaetoceros</i> spp. <i>Skeletonema</i> spp. <i>Rhizosolenia imbricata</i>



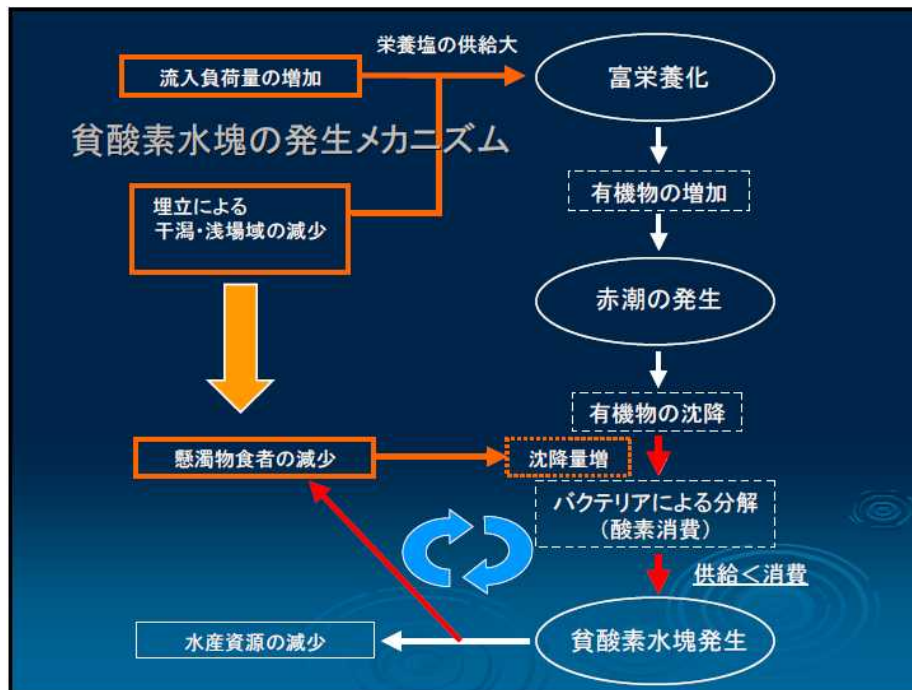
注) 魚類を斃死させるラフィド藻, *Chattonella antiqua* (A), *Chattonella marina* (B), *Chattonella ovata* (C), *Heterosigma akashiwo* (D); 魚介類を斃死させる赤潮渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* (E), *Karenia mikimotoi* (F), 二枚貝を斃死させる *Heterocapsa circularisquama* (G); 下痢性貝毒を生産する渦鞭毛藻 *Dinophysis fortii* (H), *Dinophysis acuminata* (I); 麻痺性貝毒の原因渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* (J), *Gymnodinium catenatum* (K). スケールは全部 20 μm .

出典) 今井一郎・葛西亮秀・小路淳「赤潮と内湾環境：瀬戸内海を事例として」(水産海洋研究、77、39-45、2013)

図 3-2 我が国沿岸域における代表的な赤潮プランクトン

4. 貧酸素水塊の発生機構

河川からの負荷量の増加や、埋め立てによる干潟・浅場域の減少によって富栄養化し、赤潮が発生し始めると、大量の有機物が沈降し海底に堆積する。堆積した有機物はバクテリアにより無機化されるが、この時、酸素が消費され、酸素の供給が消費に追いつかなくなると、貧酸素水塊を発生させる。また、埋め立てにより干潟・浅場域が減少することで、そこに生息する二枚貝など、水中の懸濁態有機物を取り込む懸濁物食者が減少するので、堆積していく有機物の量が増加し、酸素消費が大きくなると考えられる（図 4-1）。



区分	要因	内容
直接要因	酸素消費過多	酸素供給量に対し酸素消費量が過多になることにより生じる
減少要因	バクテリアによる分解	底質の有機物などをバクテリアが分解する際に酸素を消費する
	硝化作用	アンモニア性窒素が硝化作用により酸素が消費される
	生物による呼吸	生物の呼吸により酸素を消費する
	大気への放出	大気と海水の境界面から大気に放出される
	外洋への流出	外洋との海水交換のうち流出分
増加要因	光合成による供給	植物プランクトンの光合成活動による供給
	大気からの溶解	大気と海水の境界面から水塊に溶解される
	外洋からの流入	外洋との海水交換のうち流入分
	陸域からの流入	河川等を通じ陸域からの流入分
誘発要因	上下混合の減少	夏期の成層期において上下混合が減少し、底層への酸素供給が阻害
	底質への有機物供給量増加	動植物などが死滅し、底質に有機物が沈降する
	プランクトンの増加	植物プランクトンが増殖することにより、有機物の沈降量が増加する
	富栄養化	富栄養化により、植物プランクトンが増殖する
	陸域からの流入	陸域からの栄養塩が流入することで富栄養化する
	底質からの溶出	底質が貧酸素状態になることで栄養塩が溶出し易くなる
	干潟・浅場の減少	干潟・浅場が減少することで海域の浄化機能が低下する

出典)「三河湾における貧酸素水塊形成過程に関する研究 中田喜三郎」より作成

図 4-1 貧酸素水塊の発生機構