

指定水域の水質汚濁のメカニズム

1 水質汚濁に係る各種メカニズム

(1) 水質汚濁メカニズム

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、窒素及びりん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、嫌氣的条件下での脱窒などが複雑に影響している（図 2-1）。

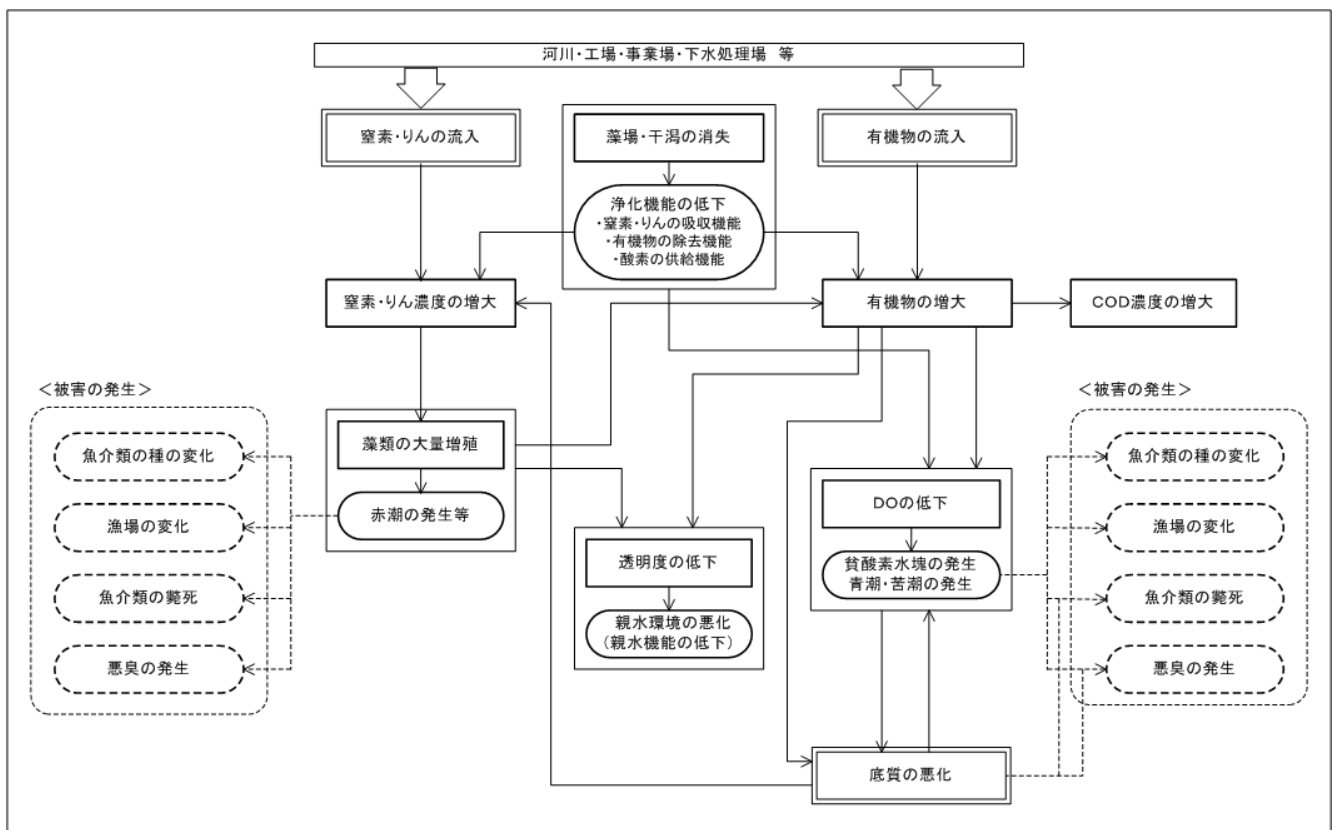
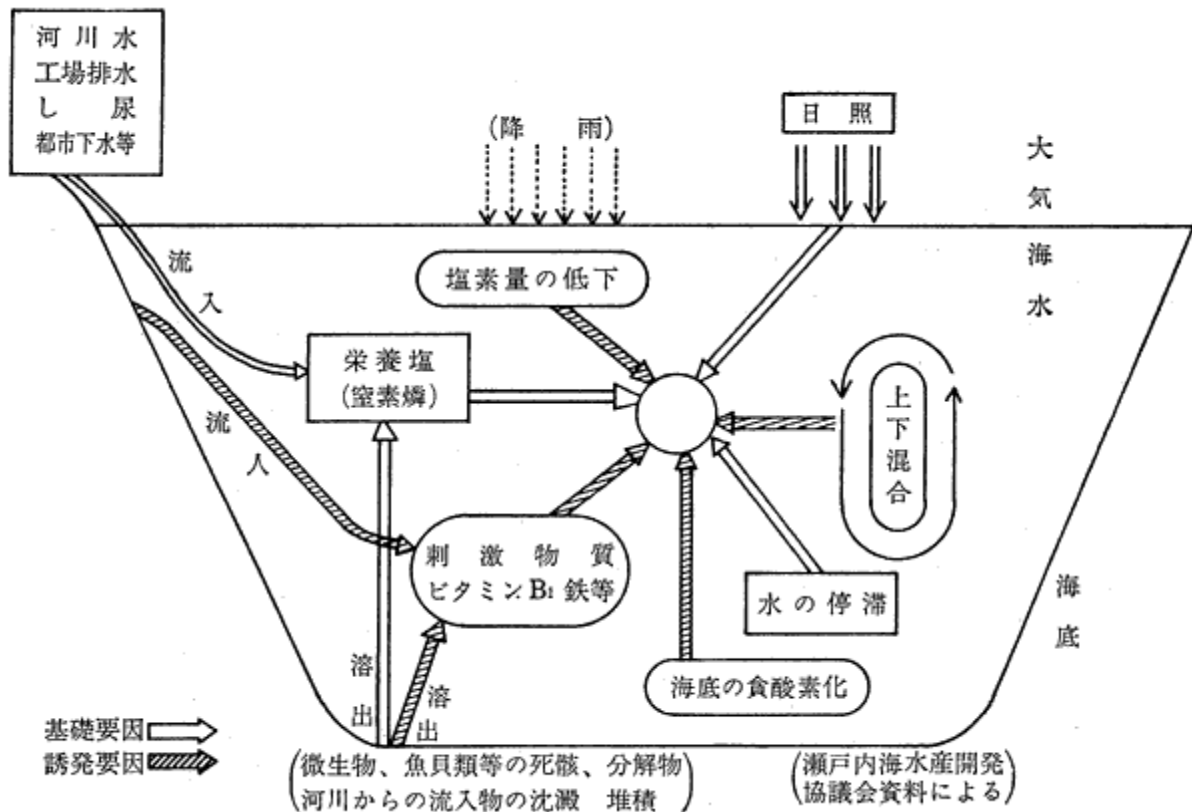


図 2-1 閉鎖性海域の水質汚濁メカニズム

(2) 赤潮の発生機構

内湾における赤潮は、海水が成層化し、海水の上下混合が起こりにくい状態において、プランクトンの増殖に必要な十分な日照と窒素・りん等の栄養塩類の供給があるという基礎的要因のうえに、降雨、河川水の入力による塩素量の低下に伴う物理的的刺激またはプランクトンの物質吸収の増大あるいは河川水の入力による刺激物質の補給、海底の貧酸素化による胞子の発芽の促進または刺激物質の溶出と攪拌、ビタミン B₁、B₁₂ 等のビタミン類、鉄、コバルト、ニッケル等の微量金属類、パルプ廃液、微生物や蛋白質の分解生成の添加等といった誘発要因が加わって発生するものと考えられる (図 2-2)。



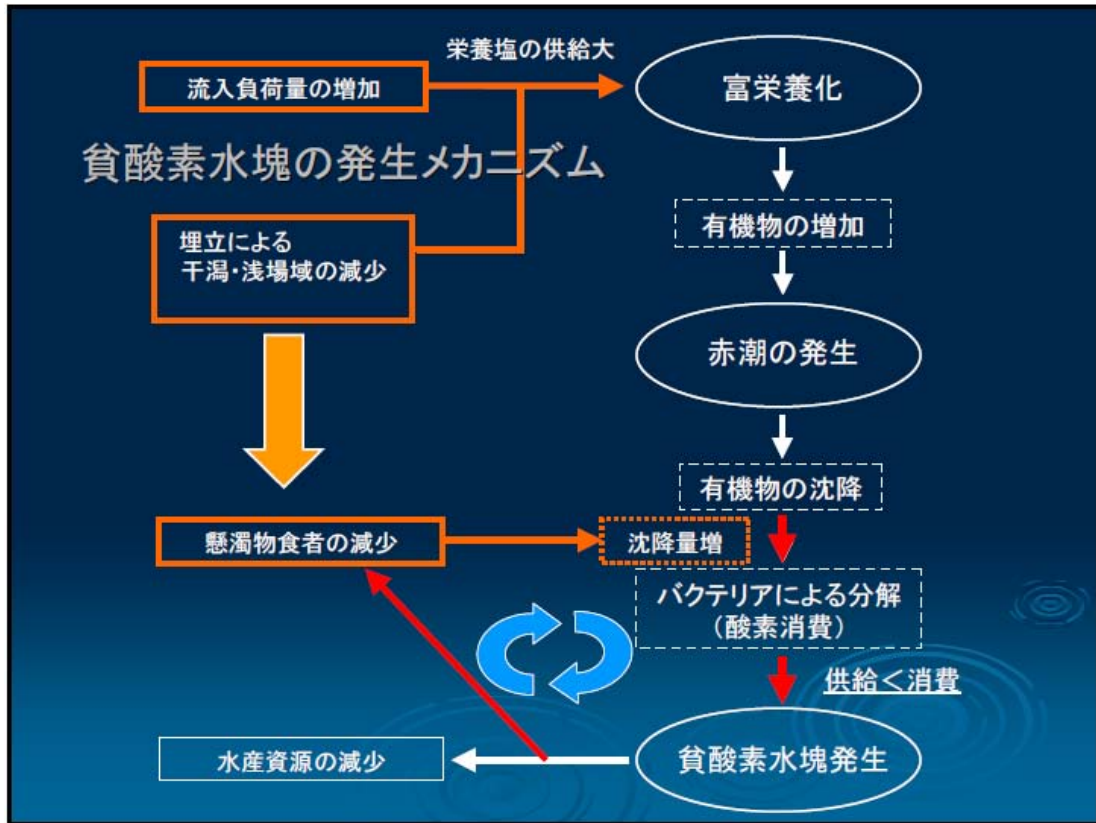
区分	要因	内容
基礎要因	栄養塩の供給	陸域からの流入または底質からの溶出により供給
	日照	増殖に必要な日照
	水の停滞	夏期の成層期及び弱風時など
誘発要因	塩素量の低下	出水時後など河川等からの淡水供給
	刺激物質の供給	陸域からの流入または底質からの溶出により供給
	海底の貧酸素化	底質からの溶出が促進され、栄養塩・刺激物質の供給に関与

資料：「環境白書 昭和 47 年版」(環境庁) より作成

図 2-2 赤潮の発生機構

(3) 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 2-3）。



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

資料：「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 2-3 貧酸素水塊の発生メカニズム

2 指定水域における将来水質の予測

(1) 水質予測シミュレーションモデルの構築

第6次水質総量削減の検討時に使用されたモデルを改良し、上述の水質汚濁メカニズムを組み込んだ新たな水質予測モデルを構築した。本モデルは、人口変動予測に加え、地球温暖化の影響を考慮した将来の気象条件等を設定しており、汚濁負荷削減対策による将来の汚濁負荷量推移も考慮することで、今後変化し得る陸域、底質、大気・気象などからの様々な入力条件を非定常で与えた計算を行うため、刻々と変化する水環境を高精度で再現可能なモデルとなった（表2-1）。

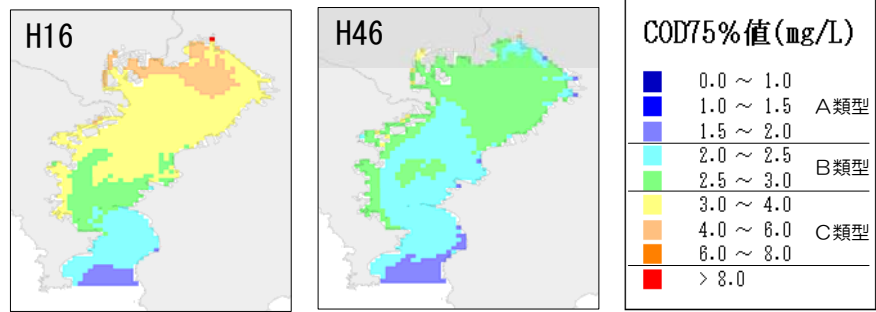
表2-1 水質予測シミュレーションモデルの概要

区分	第6次水質総量規制の在り方が検討された際に用いられたモデル	今回用いた新たなモデル
計算項目	<ul style="list-style-type: none"> ○植物プランクトン（渦鞭毛藻・珪藻） ○炭素（DOC、POC） ○りん（DOP、POP、PO₄⁻） ○窒素（DON、PON、NH₄⁺、NO₃⁻） ○溶存酸素 	<ul style="list-style-type: none"> ○植物プランクトン（渦鞭毛藻・珪藻） ○動物プランクトン ○炭素（DOC、POC） ○りん（DOP、POP、PO₄⁻） ○窒素（DON、PON、NH₄⁺、NO₃⁻） ○溶存酸素 ○シリカ ○SS
対象水域	東京湾	東京湾・伊勢湾・瀬戸内海
地形条件	水平方向：200m～1000m 可変メッシュ 鉛直方向：10層	水平方向：1000mメッシュ 鉛直方向：10層
計算方法	指定された条件による単年度計算	複数年度の連続計算 東京湾はS54～H46 伊勢湾・瀬戸内海はH16～H46
計算シナリオ	汚濁負荷量の一律30%削減及び干潟の造成のみ考慮	汚濁源ごとに将来実施される施策や将来の人口・気象などを時系列的に考慮
漁獲の影響	対象外	漁獲による栄養塩の取り上げ量を新たに組み込んだ
透明度	対象外	クロロフィルaと新たにモデルに組み込んだSSから透明度を推計した

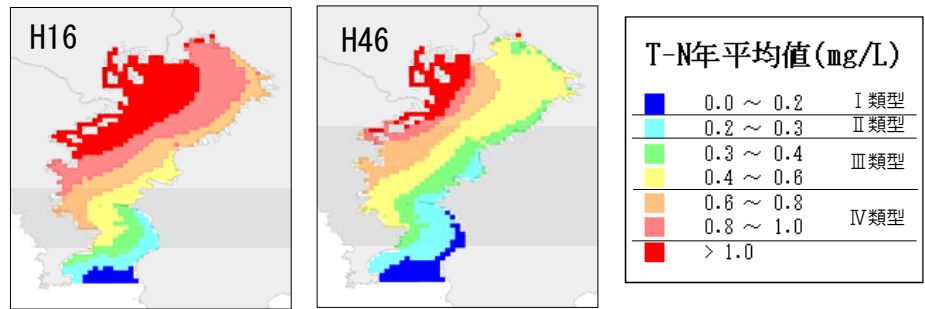
(2) 水質予測計算結果

COD、T-N、T-Pは、シミュレーションの最終年度である平成46年度において、大都市圏の沿岸域を除き、水質が大きく改善されるという結果が得られた。また、底層DO、透明度に関しても同様に改善される結果が得られた（図2-4～6）。

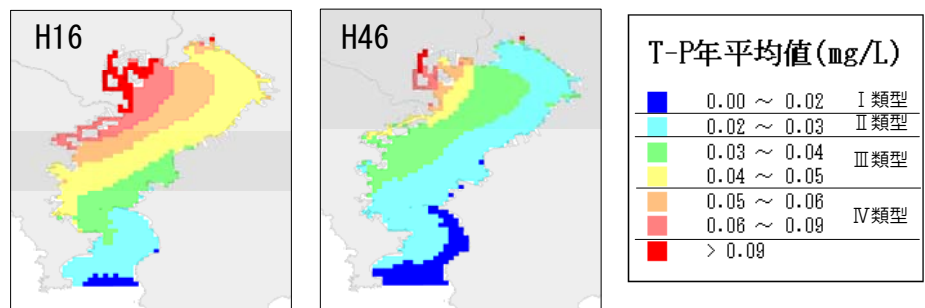
【COD75%値】



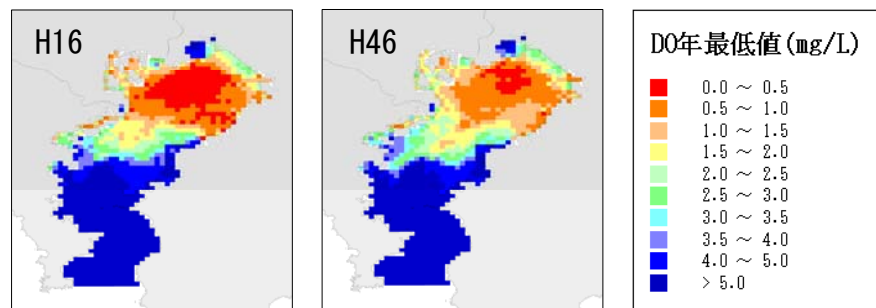
【T-N年平均値】



【T-P年平均値】



【底層DO年最低値】



【透明度年平均値】

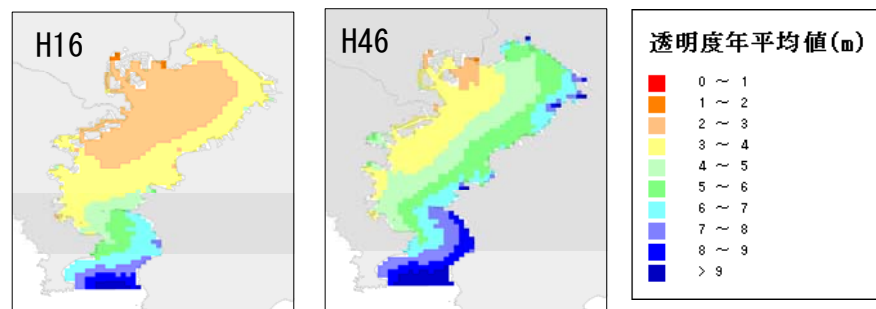
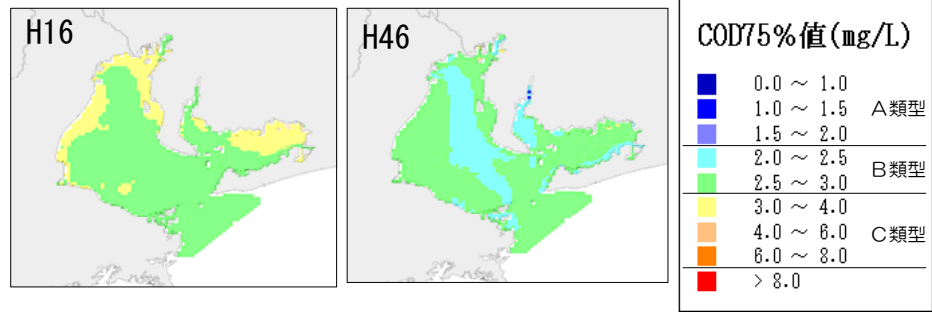
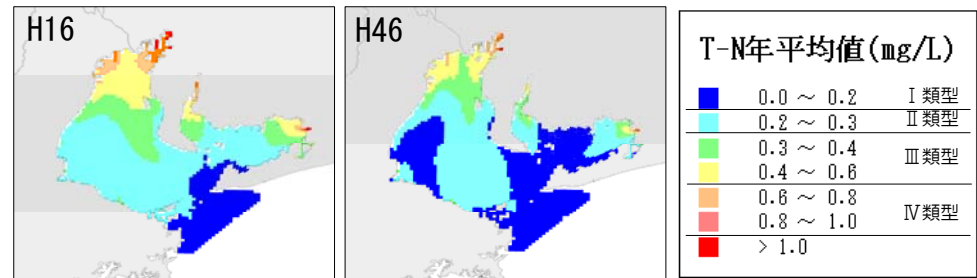


図 2-4 東京湾における各水質項目の分布図(計算値)

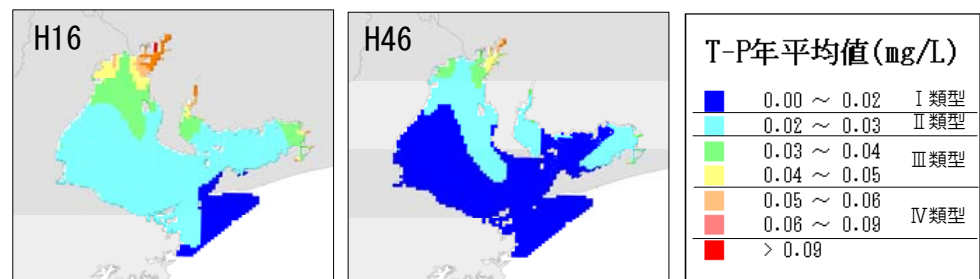
【COD75%値】



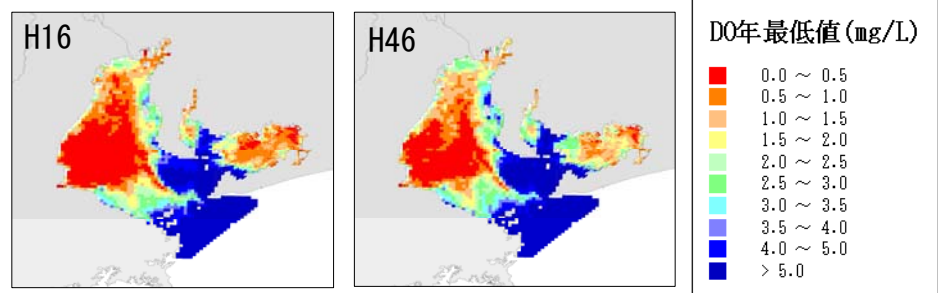
【T-N年平均値】



【T-P年平均値】



【底層DO年最低値】



【透明度年平均値】

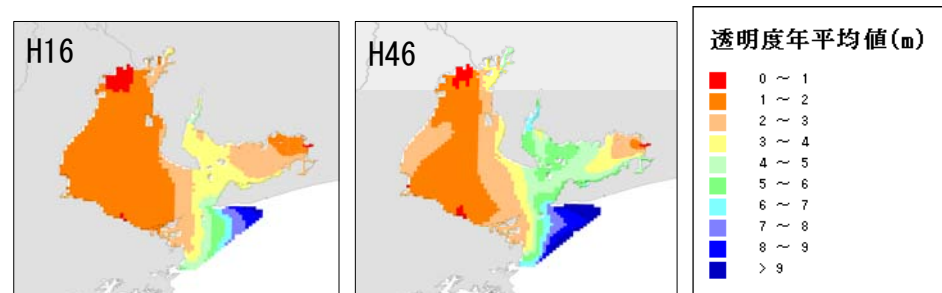
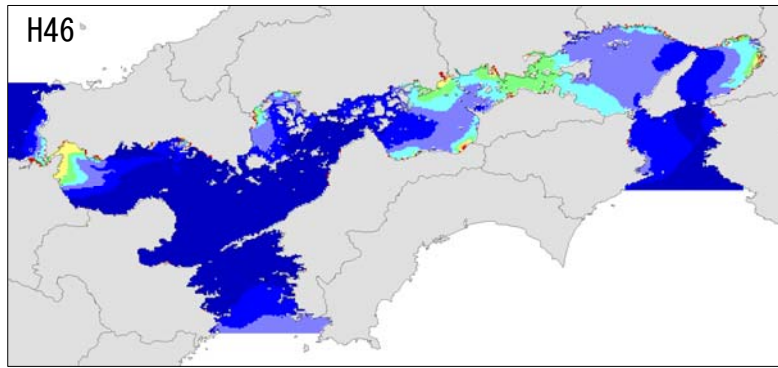
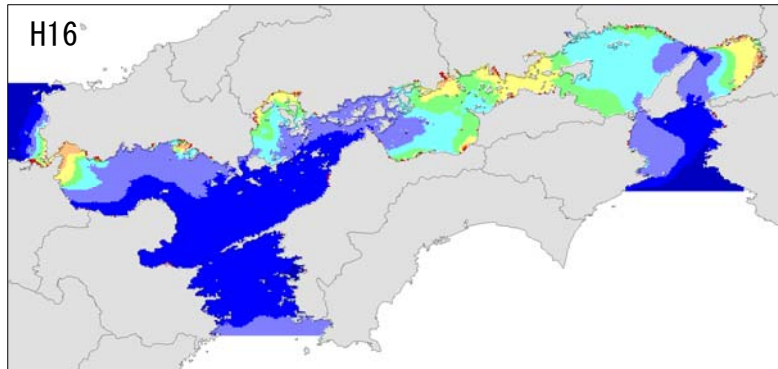
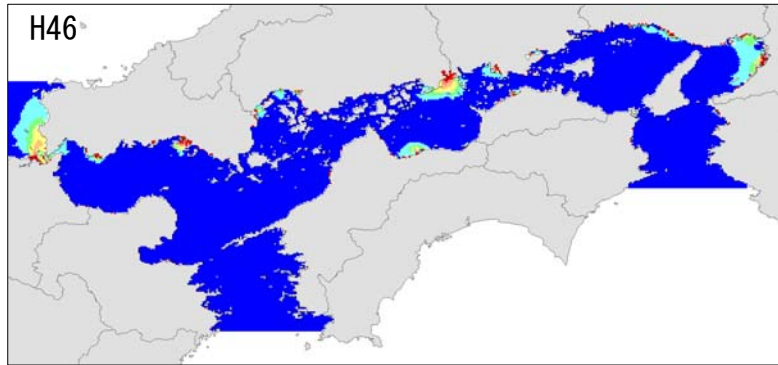
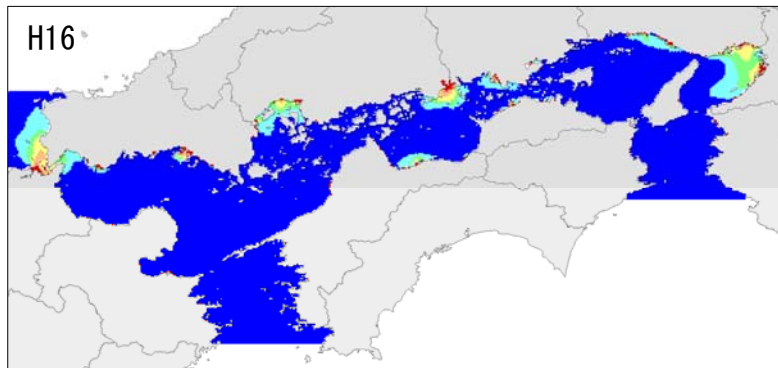


図 2-5 伊勢湾における各水質項目の分布図(計算値)



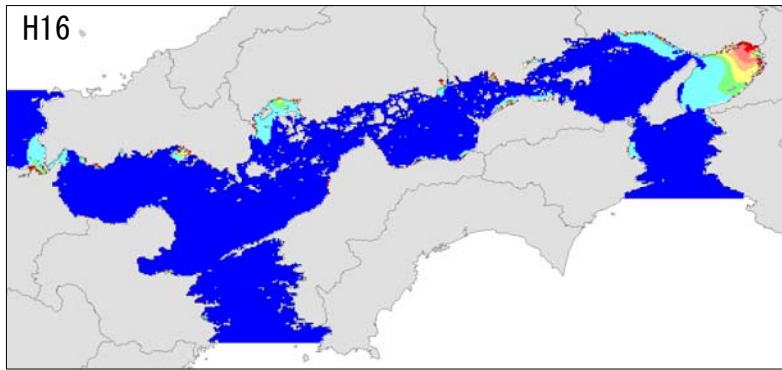
COD75%值(mg/L)	
0.0 ~ 1.0	A類型
1.0 ~ 1.5	
1.5 ~ 2.0	B類型
2.0 ~ 2.5	
2.5 ~ 3.0	
3.0 ~ 4.0	C類型
4.0 ~ 6.0	
6.0 ~ 8.0	
> 8.0	

【COD75%値】

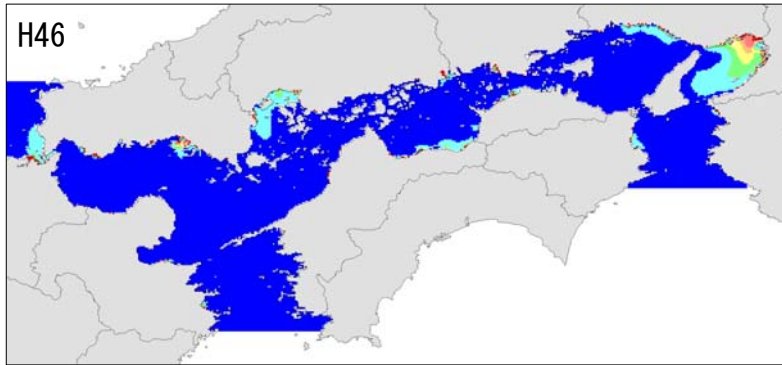


T-N年平均値(mg/L)	
0.0 ~ 0.2	I 類型
0.2 ~ 0.3	II 類型
0.3 ~ 0.4	III 類型
0.4 ~ 0.6	
0.6 ~ 0.8	IV 類型
0.8 ~ 1.0	
> 1.0	

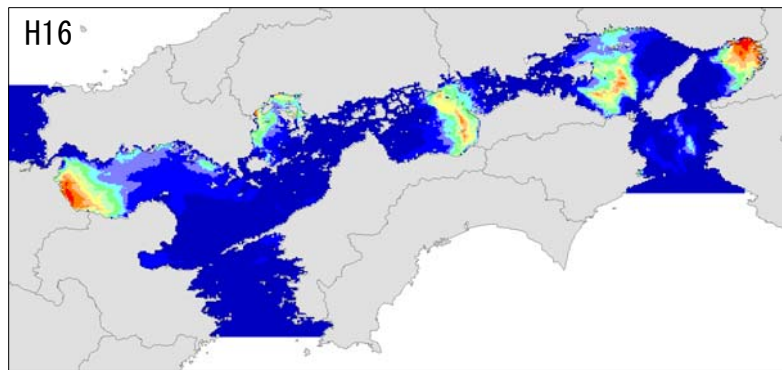
【T-N年平均値】



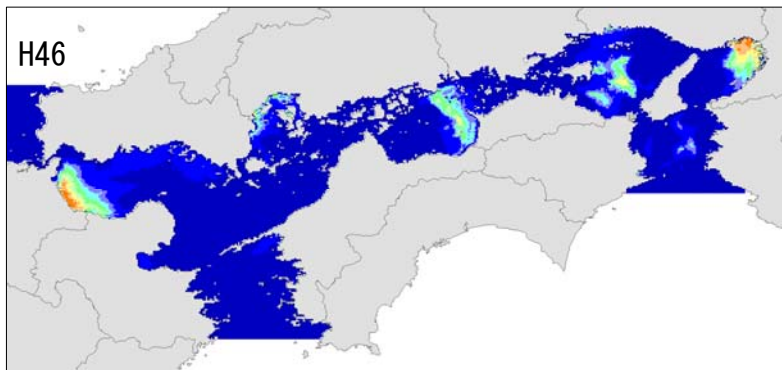
T-P年平均値(mg/L)		
■	0.00 ~ 0.02	I 類型
■	0.02 ~ 0.03	II 類型
■	0.03 ~ 0.04	III 類型
■	0.04 ~ 0.05	
■	0.05 ~ 0.06	IV 類型
■	0.06 ~ 0.09	
■	> 0.09	



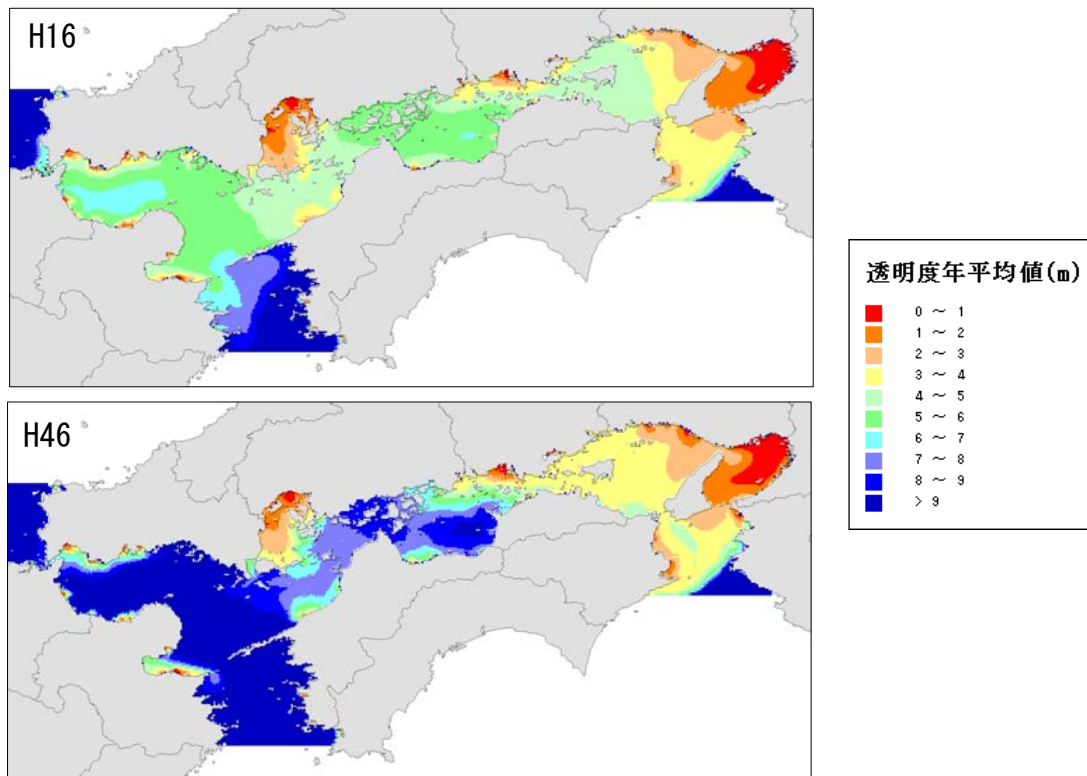
【T - P 年平均値】



DO年最低値(mg/L)	
■	0.0 ~ 0.5
■	0.5 ~ 1.0
■	1.0 ~ 1.5
■	1.5 ~ 2.0
■	2.0 ~ 2.5
■	2.5 ~ 3.0
■	3.0 ~ 3.5
■	3.5 ~ 4.0
■	4.0 ~ 5.0
■	> 5.0



【底層DO年最低値】



【透明度年平均値】

図 2-6 瀬戸内海における各水質項目の分布図(計算値)

(3) 水質改善を抑制していた要因等

ア 底質の状態

昭和54年度から平成16年度までの東京湾奥部における窒素、リンの溶出量と沈降量の関係について解析を行ったところ、常に溶出量より沈降量が多く、蓄積過程にあることが判明した(図2-7)。

東京湾のような夏季に貧酸素状態が続くような場所での底質の悪化は、水質汚濁メカニズムからも分かる通り、底質からの大量の無機態栄養塩の溶出を引き起こすことが考えられる。陸域からの汚濁負荷の削減にも係わらず、底質からの無機態栄養塩の供給により削減の効果が相殺されていた可能性が考えられる。

底質の予測結果では、東京湾の底質のCOD、T-N、T-Pは、湾奥・湾央において現況年度から暫くは悪化傾向であり、平成20年度前後をピークに横這いに推移している。一方、伊勢湾及び瀬戸内海の底質のCOD、T-N、T-Pはいずれの項目とも現況年度から目標年度に向け改善する傾向が得られた(図2-8~10)。

底質が改善される伊勢湾及び瀬戸内海は、陸域からの汚濁負荷削減との相乗効果により水質の改善の速度が上がるものと考えられる。一方、東京湾では底質の改善は見られないものの、悪化はしない予想であることから、それ以降は水質改善の効果が徐々に出始めるものと考えられる。

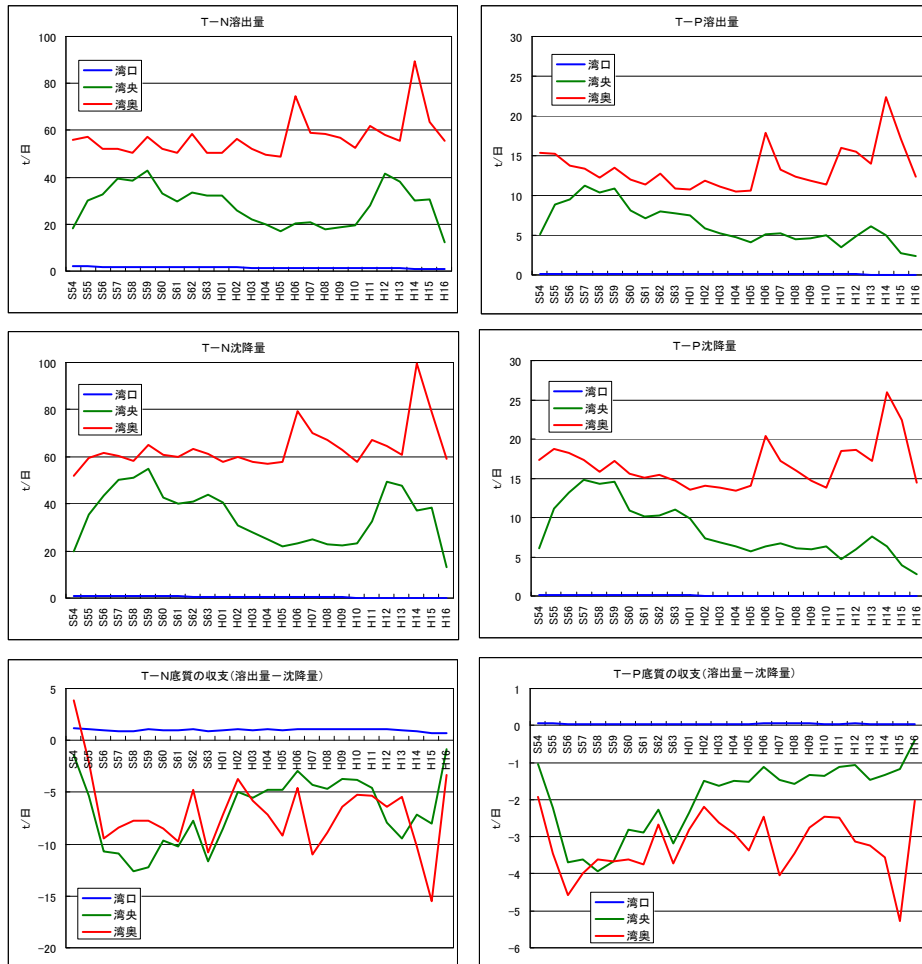


図 2-7 東京湾における窒素、リンの溶出量・沈降水量とその差の推移(計算値)

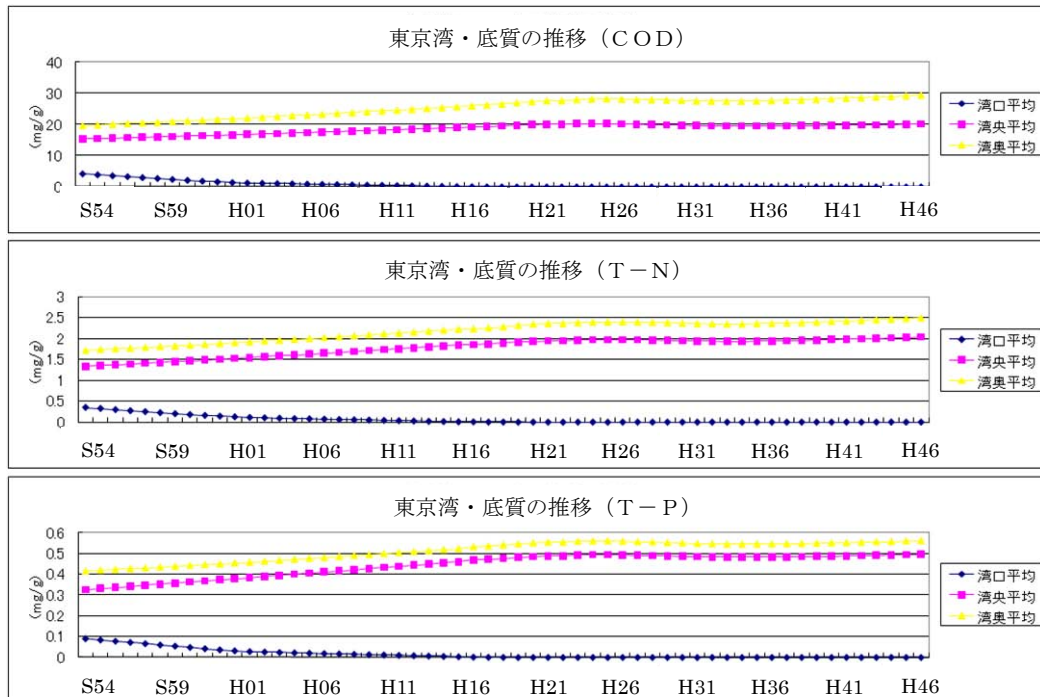


図2-8 底質(計算値)の推移(東京湾)

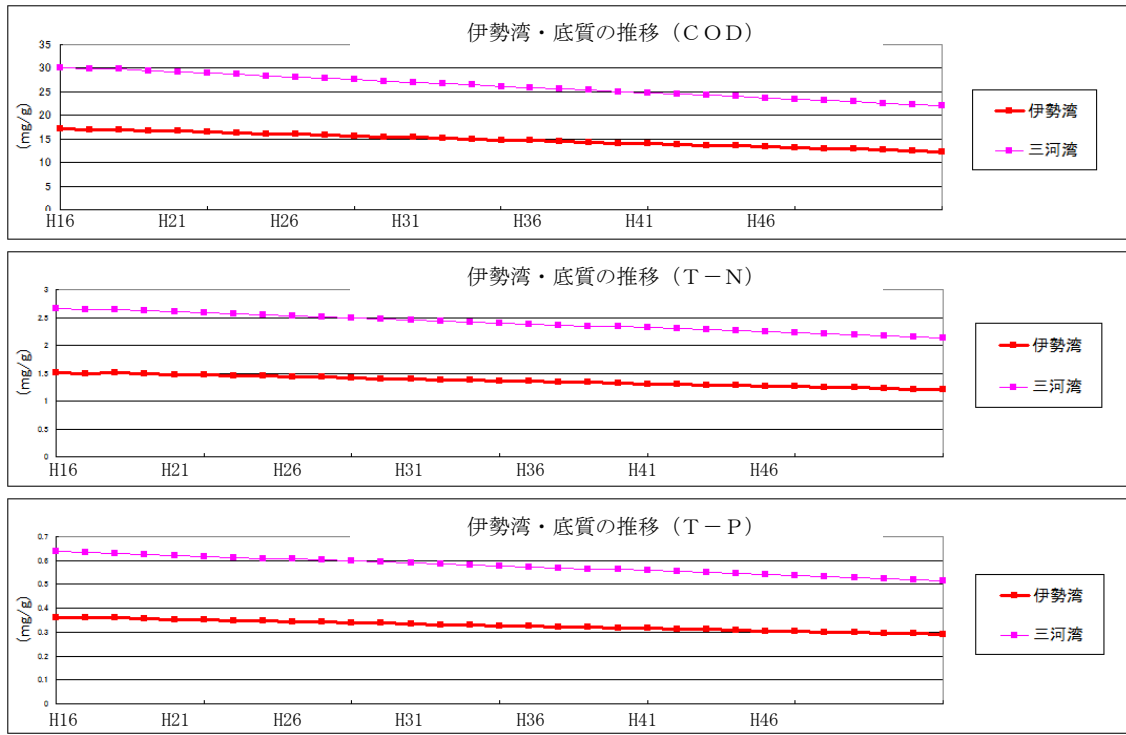


図2-9 底質(計算値)の推移 (伊勢湾)

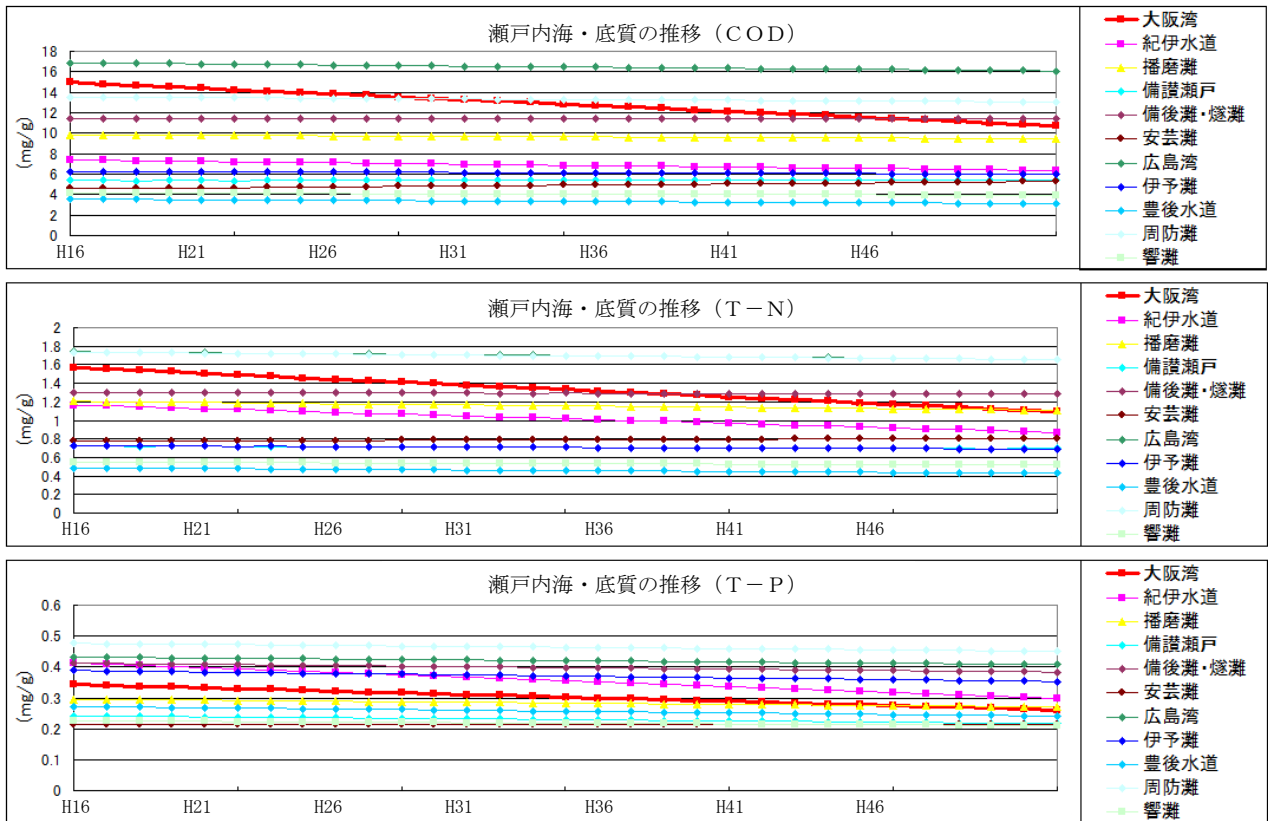


図2-10 底質(計算値)の推移 (瀬戸内海)

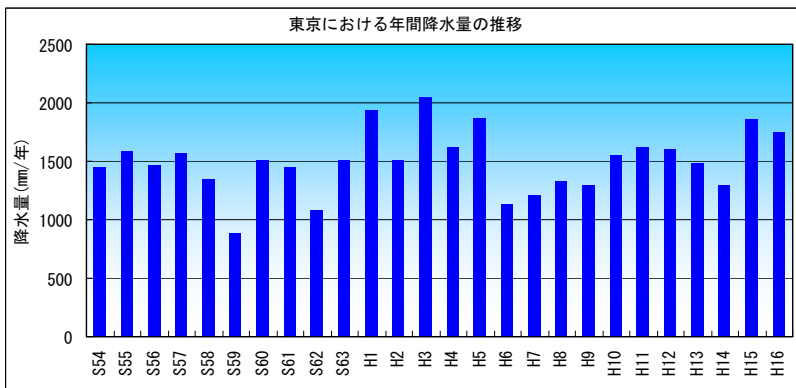
イ 海水交換

水質改善を抑制するもう1つの要因として、閉鎖性海域内の海水交換の影響が考えられる。陸域から淡水が海水の主に表層に供給される一方、湾口の底層からは湾外から海水が流入する海水交換が行われる。海水交換により外洋から汚濁物質濃度が低く溶存酸素濃度の高い水塊が供給され、これが浄化機能として働く。閉鎖性海域はその地理的形状から、元々海水交換が十分行われにくい。それに加え埋立地・堤防・橋脚等の人工構造物(表2)は、その立地条件等により、海水交換量を減少し底質蓄積量を増加させることで、その浄化機能を低下する要因となり得る。

表2-2 昭和54年度以降の東京湾における主な海岸線地形変化(埋立地等)

NO	名称	埋立等期間
①	葛西臨海公園・東なぎさ、西なぎさ	昭和58年度
②	中央防波堤外側埋立地	昭和55年度～昭和59年度
③	羽田沖埋立地	昭和55年度～平成元年度
④	浮島町周辺	昭和55年度～昭和50年度
⑤	大黒ふ頭周辺	昭和55年度～昭和63年度
⑥	本牧ふ頭周辺	昭和55年度～昭和59年度
⑦	南本牧ふ頭 第一期	平成3年度～平成8年度
	南本牧ふ頭 第二期	平成9年度～平成12年度
⑧	八景島シーパラダイス	昭和55年度～昭和58年度
⑨	横須賀新港ふ頭 うみかぜ公園周辺	昭和60年度～昭和63年度
⑩	富津火力発電所周辺	昭和55年度～昭和59年度
⑪	東京湾アクアライン	平成2年度～平成9年度
⑫	海ほたる	平成2年度～平成9年度

海水交換の影響に関連し、平成3年の多雨年を境に降水量が減少し、平成6年は渇水年となり平成9年までは降水量が少ない時期であったことも平成に入ってから水質改善が停滞した要因の1つと考えられる(図2-11)。前述の海水交換のメカニズムから、河川や降雨からの淡水の供給量が少ない場合は、この海水交換量も必然的に少なくなる。シミュレーション結果から、流量の増減と水質の増減を関連付ける結果として、河川流量の多い年には水質が改善し、少ない年には悪化していることが分かる(図2-12)。



出典)気象統計情報(気象庁)

図 2-11 東京における年間降水量の推移

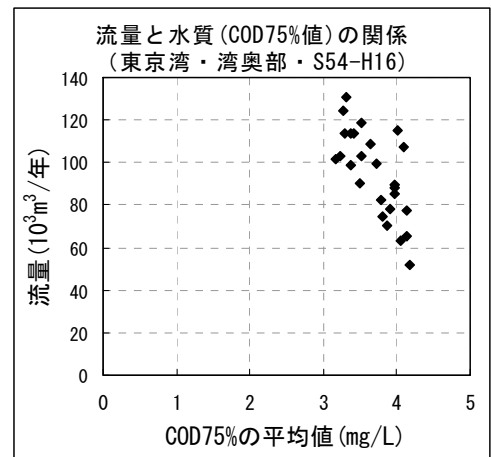


図 2-12 東京湾・湾奥部における流量とCOD75%値(計算値)との関係