

伊勢湾の生態系の問題点

関口 秀夫

三重大学 大学院生物資源学研究所

キーワード

流域、汚濁負荷、
富栄養化、赤潮・青潮、貧酸素化現象、大量斃死、
半閉鎖的水域、海水交換、
干潟・藻場、自然浄化、
沿岸漁業、養殖漁業、
生態系モデル

伊勢湾の地理・地形

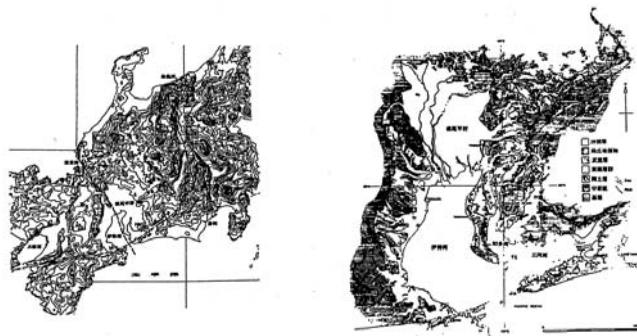


図 1-1 伊勢湾周辺の地形・地質、左図は伊勢湾周辺の地形、MTL: 中央構造線、SU: 鈴鹿山脈、KA:笠置山地、I:生駒山地、K:木曾山脈、E:恵那山、B:屏風山、S:猿投山、D: 段戸山、F: 本宮山、HA:幡豆山地、右図は伊勢湾周辺の地質。(出典: 日本海洋学会沿岸海洋研究部会(1985):「日本全国沿岸海洋誌」、東海大学出版会)。

伊勢湾の底質と水深

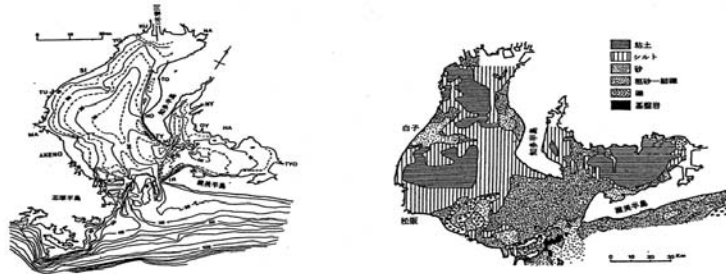
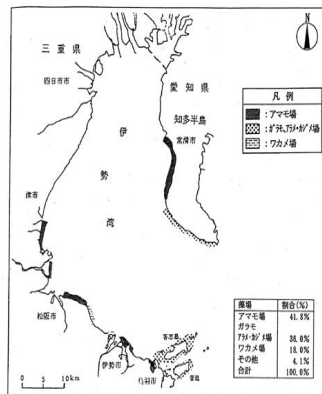
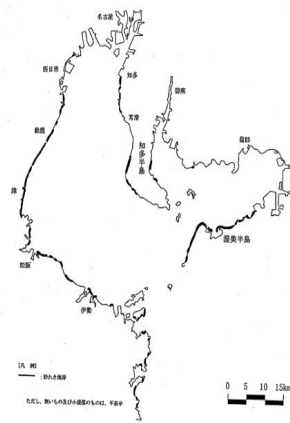


図 1-2 伊勢・三河湾の海底地形と底質、左図は伊勢・三河湾の海底地形、HA: 幡豆山地、IR: 伊良湖、KU: 桑名、M: 御崎、MA: 松坂、NA: 名古屋、NO: 野間、NY: 矢作川、P: 佐久島、Q: 日間賀島、R: 篠島、S: 菅島、T: 答志島、SI: 白子、TO: 常滑、TU: 津、TY: 豊浜、TYO: 豊橋、右図は伊勢・三河湾の底質。(出典: 日本海洋学会沿岸海洋研究部会(1985): 「日本全国沿岸海洋誌」、東海大学出版会)。

伊勢湾の藻場と干潟



出典: 中国国産海藻類一巻総論「中国国産海藻類の分布と産地地質地帯別立派事業に對する調査報告書」1955
図 1-9-1. 伊勢湾(狭義)沿岸部の藻場分布状況(平成5年)



資料: 農林庁「第4回自然環境保全基礎調査報告書(水産資源調査)第1巻(干潟)」
図 1-9-2. 伊勢湾における砂浜の分布

伊勢湾周辺域の風系

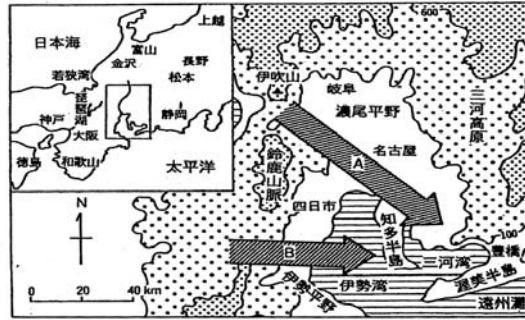


図 1-3 冬の濃尾平野における「伊吹おろし」(A)と伊勢平野における「鈴鹿おろし」(B)の模式図。(出典：大和田(1994):「伊勢湾海岸の大気環境」、名古屋大学出版会)。

木曾三川の淡水流量

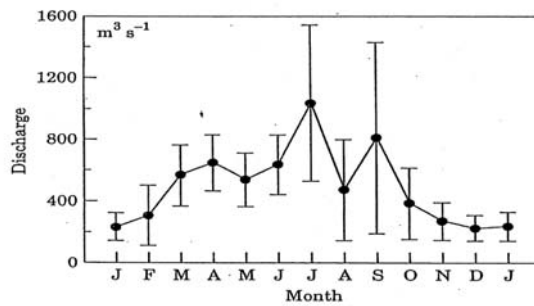


図 1-4 木曾三川の平均月間流量の月変化、黒丸は平均値を、縦線は標準偏差を示す。資料は1982年から1991年までの資料である。(出典：Fujiwara et al.(2002): Estuarine, Coastal and Shelf Sci. 54:19-31)

表1 東京湾、伊勢湾、大阪湾および有明海の環境の比較

海湾	面積	水深	潮位差	容積	流域面積	流域人口	COD 負荷量	淡水流入量
	km ²	m	m	km ³	km ²	万人	ton/day	m ³ /s
東京湾	960	18	2.03	17.9	7540	3500	286(16.0)	186
伊勢湾	1730	19	2.47	39.4	17675	800	351(9.0)	617
大阪湾	1450	29	2.33	41.8	5737	1934	352(8.4)	305
有明海	1690	20	4.95	33.8	2860	320	47(1.4)	275

*COD 負荷量の欄のカッコ内の数字は ton/km²day を表す。淡水流入量は一級河川の流量の合計である。
表中のデータは関口・石井(2003)のより引用している。

表2 東京湾、伊勢湾、大阪湾および有明海の環境の比較

海湾	面積	浅海	干潟	消滅干潟	藻場	COD	T-N	T-P
	km ²	%	km ²	km ²	km ²	mg/L	mg/L	mg/L
東京湾	960	18.6	16.40	157	2.29	3.3	2.46	0.182
伊勢湾	1730	4.2	13.95	79	2.07	3.0	0.46	0.040
大阪湾	1450	0.9	0.15	85	0.12	3.2	0.82	0.053
有明海	1690	20.0	207.13	58	3.12	1.5	0.46	0.069

*浅海 (%) は水深 5m 未満の面積の割合、COD、T-N (全窒素量)、T-P (全リン量) は湾中央部表層水中の平成7年度平均値、藻場はアマモ (海草) 藻場である。消滅干潟の面積は1945年以前から1993年までに埋立、干拓、波濙等により消滅した面積である。表中のデータは関口・石井(2003)より引用している。

伊勢湾(夏季)の水溫・塩分の分布

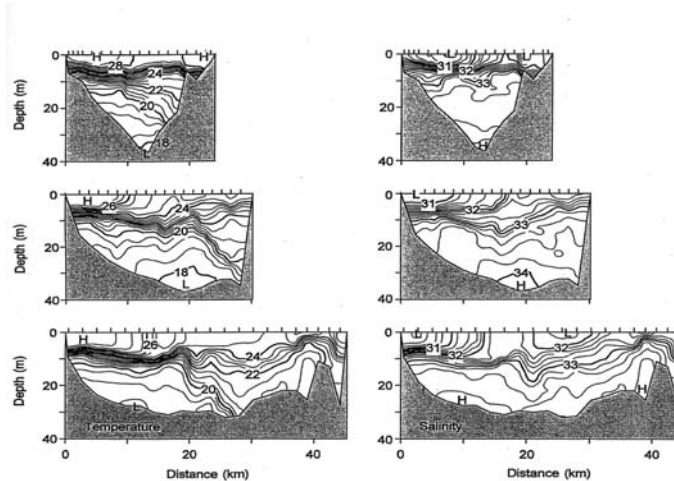


図1-7 夏季の伊勢湾の水溫・塩分の鉛直分布。左図は水溫を、右図は塩分を、aは白子一常滑ライン、bは津一野間ライン、cは松坂一伊良湖ラインである。(出典：藤原(2002):日本プランクトン学会誌 49:114-121)

伊勢湾(夏季)の塩分と流速の分布

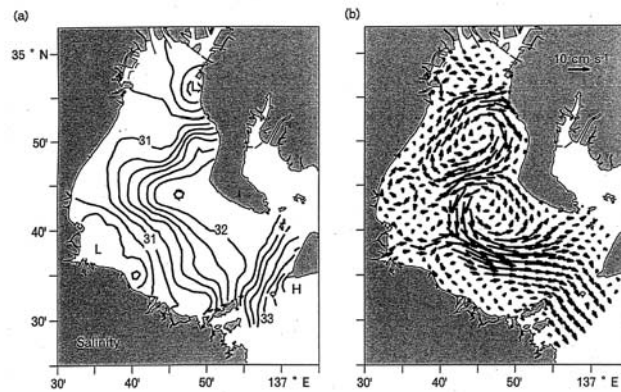


図 1-8 夏季の伊勢湾の表層の塩分(A)と流速(B)の水平分布図。(出典：藤原(2002): 日本プランクトン学会誌 49:114-121)

伊勢湾(秋季)の塩分の水平分布

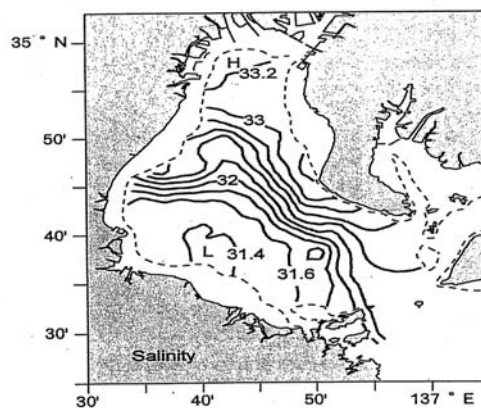
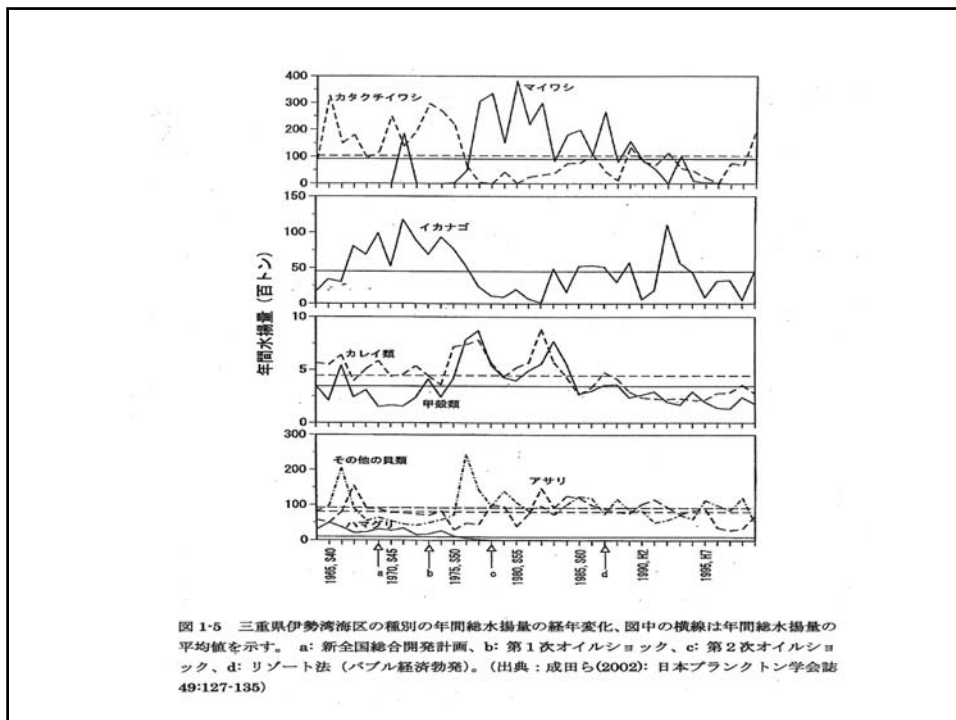


図 1-11 秋季の伊勢湾の 13m 層の塩分の水平分布。(出典：藤原(2002): 日本プランクトン学会誌 49:114-121)

伊勢湾の生物群集



伊勢湾の漁獲量変動と黒潮

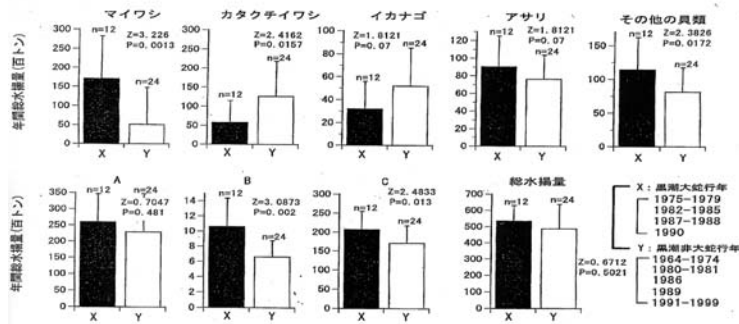


図 1-6 伊勢湾の各魚種対象種の年間総水揚量と黒潮大蛇行・非大蛇行の関係。A はプランクトン食性魚、B は底生捕食動物、C は過剰食性二枚貝、D はその他の水揚量、n は標本数、Z、P はそれぞれ U 検定における Z 近似値と棄却率を示す。(出典：成田ら(2002)：日本プランクトン学会誌 49:127-135)

汚染とは？、汚濁とは？、生物多様性とは？

1. 汚染

- a. もともと自然界にあった物質：人類による分布や循環への異常な関与
 - a-1 重金類汚染
 - a-2 油汚染
 - a-3 水質汚濁
 - ワンカー座敷、オイル漏れ etc
 - 栄養塩、溶存・粒子状有機物、富栄養化、養殖による自家汚染や薬剤、温排水、塩素殺菌
- b. もともと自然界になかった物質
 - b-1 有機塩素系人工合成化学物質を含む内分泌攪乱物質（環境ホルモン）
 - b-2 放射性核種
 - b-3 プラスチック廃棄物
 - b-4 農薬、除草剤、殺虫剤、地盤殺菌剤
 - 田畑、ゴルフ場、ビル現場 etc

2. 汚濁（富栄養化への途）

- a. 未処理の生活排水・産業排水
 - バルブ排水（溶存・粒子状有機物）、透明度の低下、細菌による分解、溶存酸素の消費
- b. 公共下水道場で処理された生活排水・産業排水
 - 排水の高濃度下水処理場、無機態栄養塩、植物プランクトン、粒子状有機物の生産、透明度の低下底土への沈積、細菌による分解、底層の溶存酸素の消費
- c. 降雨等を通じての空中からの窒素、燐などの添加
- d. 流域における砂防・防災・護岸事業
 - 水循環への影響、砂礫の採取および沿岸域への供給の減少
- e. 埋立、干拓
 - 開発・利用と防災の促進、自然災害の発生、自然浄化場の消失
- f. 干潟・藻場の消失
 - 開発・利用と防災の促進、自然災害の発生、自然浄化場の消失

3. 生物学的多様性：群集・生態系の攪乱

- a. 貧酸素域の発達によるベントスの大量死
- b. 富栄養化にともなう生物相の変遷
- c. 移入種：船舶（積み荷、船底、バラスト水ほか）による外国からの偶発的な移入
- d. 移入種：外国からの外敵生物の人為的な移入

伊勢湾および半閉鎖的内湾における富栄養化現象—貧酸素域の発達と消失の機構—

1. 貧酸素域の発達への地理的な要因
 - a. 半閉鎖的な内湾（狭い伊良湖水道を通じての海水交換）
 - b. 伊勢湾北部域に沖積平野、湾奥に大都市と大河川
 - c. 海底地形、水深が浅い
2. 貧酸素域の発達への気象・海況的な要因
 - a. 日射量の増大、気温・水温の上昇（春～夏）、淡水（河川水）の流入
 - b. 湾内水の成層（水温・塩分躍層、密度躍層）、鉛直混合の弱化（初夏～秋）
 - c. 湾内の流況（風吹流、潮流、潮流残流、恒流）
 - d. 湾内水と外海水の低い交換率
3. 貧酸素域の発達への人的な要因
 - a. 生活水準の向上、生活排水と農業・産業排水の流入（化学肥料、BOD、COD）
 - b. 公共下水道の低い整備率（第三次処理場の不足、流域下水処理場、合併処理槽）
 - c. 降雨を通じての窒素、磷などの湾内水への添加
 - d. 用水その他の利用に伴う淡水（河川水）の流入量の減少
 - e. 流域の荒廃、砂防・防災・護岸事業に伴う砂礫の供給量の減少、自然災害の増加、護せる砂浜海岸
 - f. 埋立、干拓、干潟・藻場面積の減少、自然の浄化場の消失、自然災害の増加
4. 発生する現象：生物海洋学的な要因（初夏～秋）
 - a. 植物プランクトンの生産の増大、赤潮の頻発、粒子状有機物の増大
 - b. 摂食性動物プランクトンの低い摂食圧
 - c. 水中の透明度の低下
 - d. 高生産の増大と減少、河口干潟におけるアオサ類の異常繁殖
 - e. 動物相の発達、生物学的多様性の低下
5. 発生する現象：富栄養化現象-2：貧酸素域の発達（初夏～秋）
 - a. 表層における遊離和の溶存酸素量
 - b. 成層化による湾内水の鉛直混合の弱化、底層への溶存酸素の供給の停止
 - c. 底層および底土への粒子状有機物の沈積、細菌による有機物の分解
 - d. 貧酸素水塊の発達、硫化水素の形成、青潮の発生
 - e. ベントスの大量死、ベントス・ネクトン相の発達、生物学的多様性の低下
 - f. 漁業の対象がベントスではアサリ、ネクトンではプランクトン性魚類
6. 発生する現象の追加要因
 - a. 貧酸素域の発達、干潟や藻場域での観察、底土からの窒素や磷の水中への放出
 - b. 底土中のクロロフィルとその分解産物
 - c. 表層から底まで植物プランクトンの増光（光合成）層、第一次生産の持続
 - d. 埋立、干拓、浅瀬域の減少、干潟・藻場面積の減少、自然の浄化場の消失（河口干潟、前浜・砂浜・泥・岩礁干潟）、藻場（アマモ、ガラモ）
7. 貧酸素域の消失と生物相の回復（冬）
 - a. 日射量の減少、気温・水温の低下、冬の北西の季節風、冬の流況の変化
 - b. 成層の解消、湾内水の鉛直混合の増大、底層への溶存酸素の供給
 - c. 底土および底層での嫌氣的環境の解消、貧酸素域と硫化水素の消失
 - d. ベントス相の回復
8. 貧酸素域の発達規模の年変動：自然変動と人為的変動
 - a. 気象・海況的な要因（猛暑、冷夏、台風、湾内水の鉛直混合、河川流量の変動、養魚放流の変動、湾内水の流入、湾内の交換過程 etc）
 - b. ネクトン・ベントス群集の変動

汚濁負荷発生源の分類と単位



図2 汚濁負荷発生源の分類と単位
(国松・村岡(1990)：河川汚濁のモデル解析、技報堂)

汚濁負荷量解析の流れ

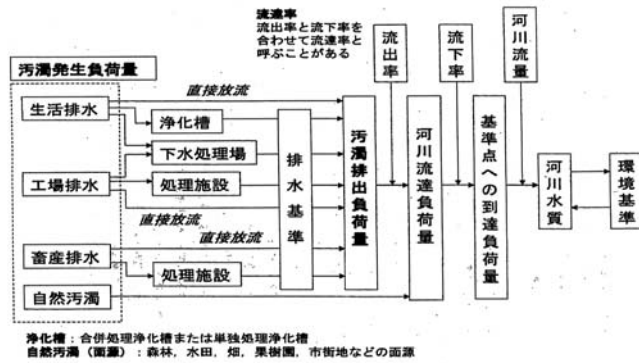


図3 汚濁負荷量解析の流れ

伊勢湾への汚濁発生負荷量

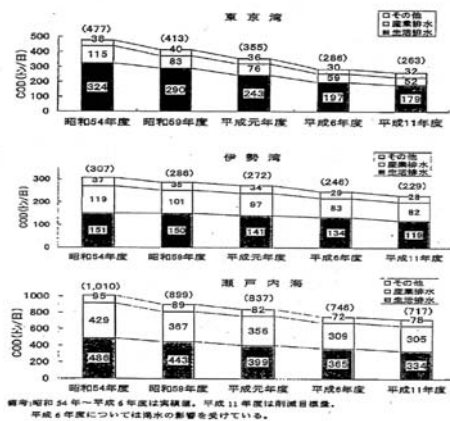
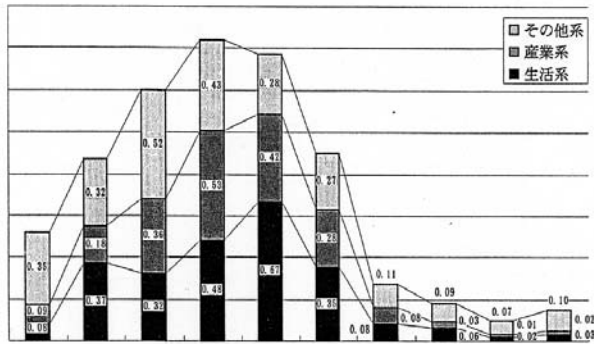


図1 東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の発生源別の汚濁発生負荷量 (環境白書 平成11年度版)

伊勢湾（狭義）へは木曾三川及び庄内川、三河湾へは矢作川からのリンの流入負荷量が多い。その内訳は、生活系・産業系・その他系ともに類似している。



豊川 矢作川 庄内川 木曾川 長良川 揖斐川 鈴鹿川 雲出川 柳田川 宮川

資料：環境庁『平成7年度 発生負荷量等算定調査報告書』

図. 伊勢湾に流入する主要河川のリンの負荷量 (平成6年度)

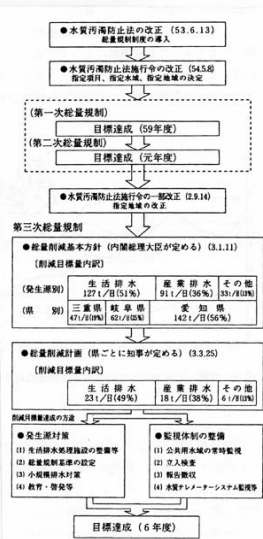


図20 水質総量規制のあらまし (平成5年版三重県環境白書)

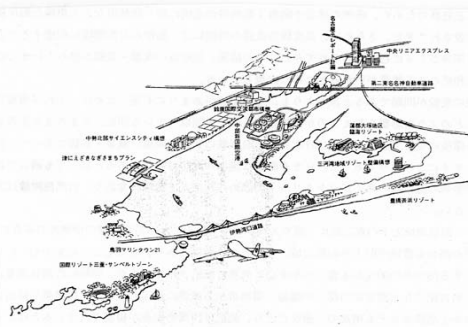
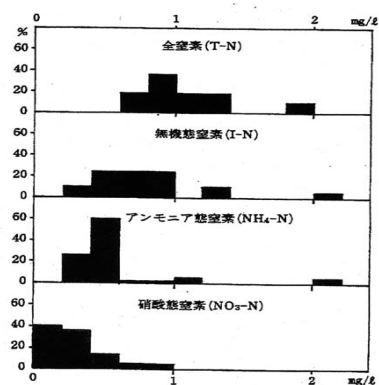
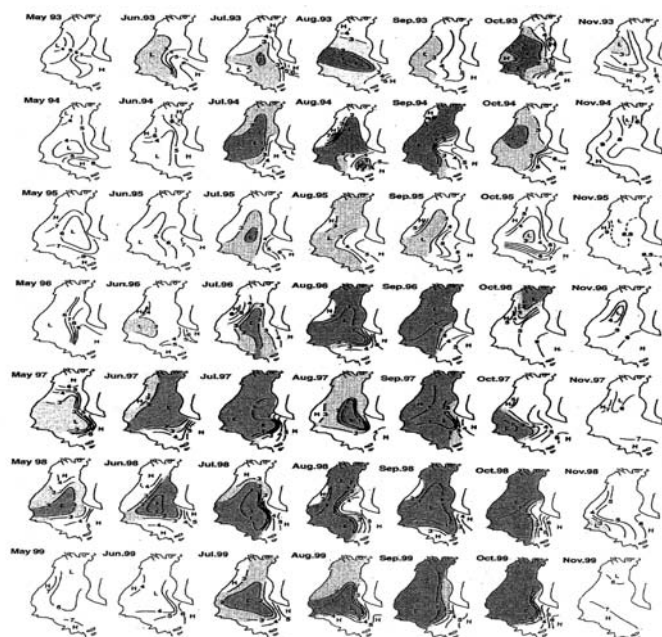


図7 伊勢湾周辺域の開発計画 (東海総研, 1991)

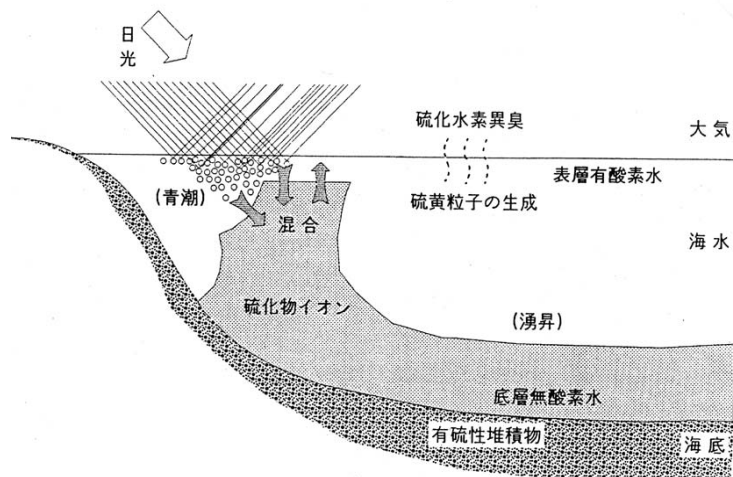
降水中の窒素濃度



降雨中の窒素濃度の頻度分布 (国内各地の平均値)
 (田淵・高村(1985) : 集水域からの窒素・リンの流出、東京大学出版会)



貧酸素水塊による大量斃死



出典：大阪湾新社会基盤研究会『海域環境創造事典改訂版』1997.3

図1-7-7. 青潮の発生

貧酸素水塊の発達過程の模式図

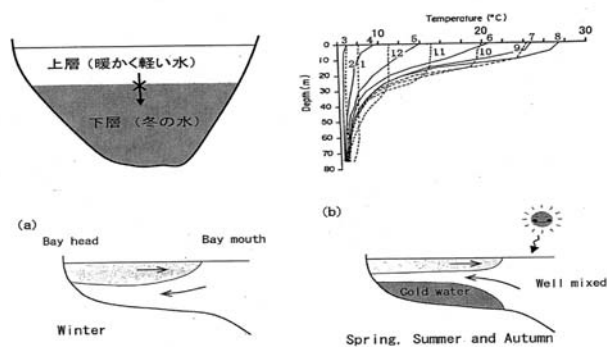


図 6-2 貧酸素水塊の発達過程の模式図、左上図は琵琶湖における貧酸素水塊の発達湖沼タイプを、右上図は各月の水温の鉛直分布を示す。下左図と下右図はそれぞれ伊勢湾の寒期と暖期におけるエスチュアリー循環の模式図を示す。(出典：藤原(2007): 月刊海洋 39:5-8)

伊勢湾口の海水密度と底層酸素濃度の関係

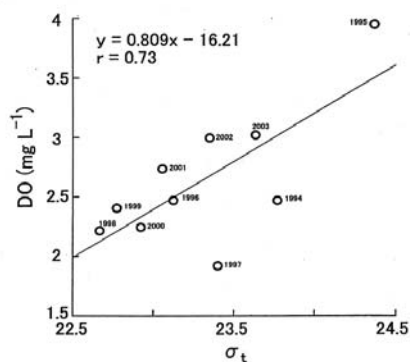


図 6-5 夏季の伊勢湾口域の海水密度と伊勢湾中央域底層の溶存酸素濃度の関係、図中の数字は観測年を、 r は相関係数を、実線は回帰直線(Y)を示す。(出典：箕・藤原(2007): 月刊海洋 39:11-13)

伊勢湾底層の酸素濃度の経年変化

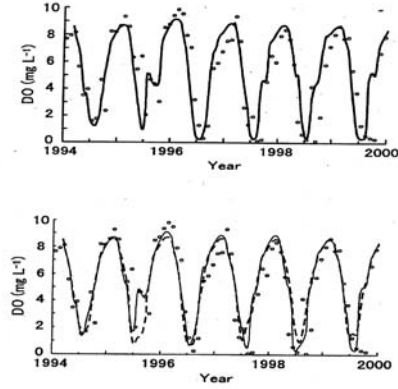


図 6-6 伊勢湾中央底層（海底直上 1m）の溶存酸素濃度の経年変化、图中的白丸は実測値を、実線と破線はそれぞれ「流動モデル」による計算値を示す。上図の実線は伊勢湾湾口域の海水密度の変動のみを与えた場合、下図の実線と破線はそれぞれ伊勢湾湾口域の海水密度と河川流量の変動を与えた場合の計算値である。（出典：寛・藤原(2007): 月刊海洋 39:15-21)

汚濁負荷量と窒素・リン濃度

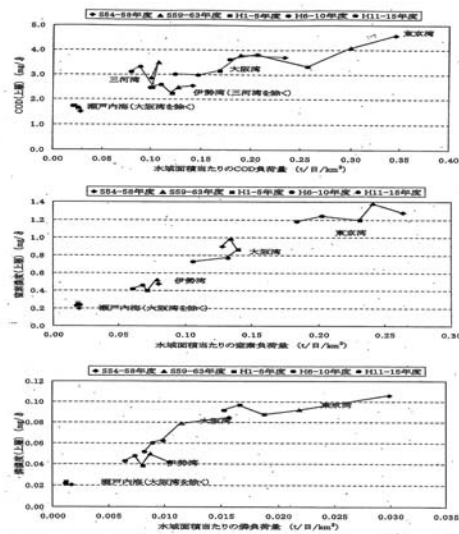
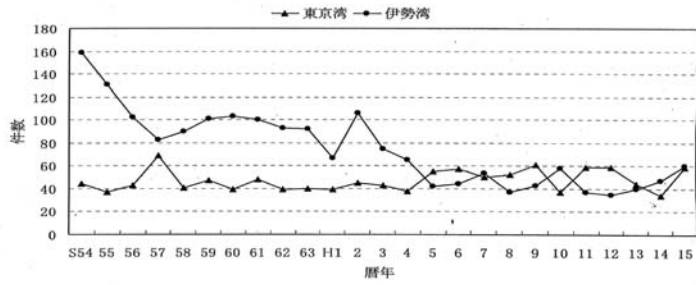


図 2-4 各海湾の汚濁負荷量と表層の COD・窒素・リン濃度の関係。（出典：中央環境審議会水環境部会総量規制専門委員会(2006)：「第 6 次水質総量規制の在り方について」、総量規制委員会報告）

赤潮発生件数の経年変化

図 2-1 東京湾および伊勢湾の赤潮発生件数の経年変化。(出典：中央環境審議会水環境部会 赤潮監視専門家委員会の2000年「第6次赤潮監視報告書のとりまとめ」(注)、環境部委員会報告)



伊勢湾の透明度の経年変化

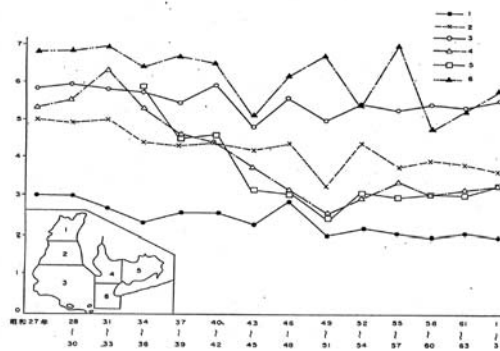


図 2-3 伊勢湾各海域の透明度の経年変化。(出典：三重県(2000)「伊勢湾再生ビジョン(資料編)」)

底泥からのリン溶出量

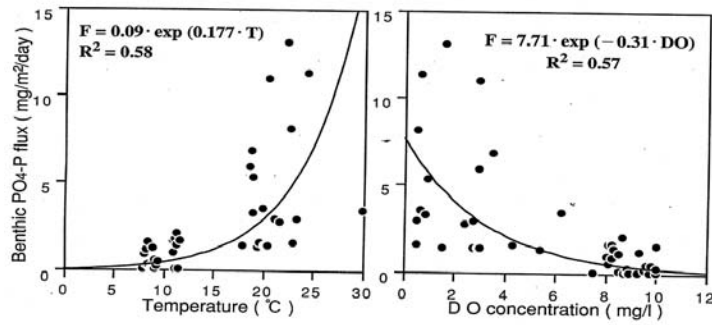


図 3-2 底泥からのリン溶出量と直上水温(左図)および溶存酸素濃度(右図)の関係、黒丸は実測値である。(出典: 田口(1998): 海洋と生物 20:366-374)

● 伊勢湾底泥からの窒素溶出量の季節・年変化

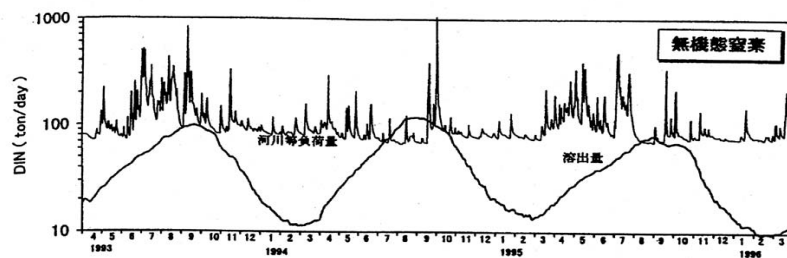


図 3-3 伊勢湾全体での無機態窒素の汚濁負荷量と底泥からの溶出量の季節・年変化(中田、1999)、底泥からの溶出量は伊勢湾生態系モデルをもとに推定された。(出典: 中田(1999): 海洋と生物 21:45-51)

表1 東京湾、伊勢湾、大阪湾および有明海の環境の比較

海湾	面積	水深	潮位差	容積	流域面積	流域人口	COD 負荷量	淡水流入量
	km ²	m	m	km ³	km ²	万人	ton/day	m ³ /s
東京湾	960	18	2.03	17.9	7540	3500	286(16.0)	186
伊勢湾	1730	19	2.47	39.4	17675	800	351(9.0)	617
大阪湾	1450	29	2.33	41.8	5737	1934	352(8.4)	305
有明海	1690	20	4.95	33.8	2860	320	47(1.4)	275

*COD 負荷量の欄のカッコ内の数字は ton/km²day を表す。淡水流入量は一級河川の流量の合計である。表中のデータは関口・石井(2003)のより引用している。

表2 東京湾、伊勢湾、大阪湾および有明海の環境の比較

海湾	面積	浅海	干潟	消滅干潟	藻場	COD	T-N	T-P
	km ²	%	km ²	km ²	km ²	mg/L	mg/L	mg/L
東京湾	960	18.6	16.40	157	2.29	3.3	2.46	0.182
伊勢湾	1730	4.2	13.95	79	2.07	3.0	0.46	0.040
大阪湾	1450	0.9	0.15	85	0.12	3.2	0.82	0.053
有明海	1690	20.0	207.13	58	3.12	1.5	0.46	0.069

*浅海 (%) は水深 5m 未満の面積の割合。COD、T-N (全窒素量)、T-P (全リン量) は湾中央部表層水中の平成7年度平均値。藻場はアマモ (海草) 藻場である。消滅干潟の面積は 1945 年以前から 1993 年までに埋立、干拓、浚渫等により消滅した面積である。表中のデータは関口・石井(2003)より引用している。

伊勢湾汚染度の評価と提言

1. 伊勢湾の湾の水質・底土汚染の防止

1-1 水質汚濁の防止と富栄養化の進行を止めるための監視指標

- 水中と海底土の酸素や窒素量
- 水中の表層と底層の溶存酸素量
- 有機物の形成とその規模
- 海底土の硫酸還元細菌の生理活性
- 植物プランクトンのクロロフィル濃度
- 透明度
- 潮況 (水濁、塩分ほか)

1-2 監視指標の評価システム

- 長期間にわたる環境データの収集
- 自然変動に起因する環境変動と、人為的な影響に起因する環境変動の識別

2. 人工的な水質浄化機能の確保

2-1 人工的な水質浄化機能の監視指標

- 公共下水道と人工浄化槽の整備率
- 公共下水道処理場と人工浄化槽の排水処理量
- 公共下水道処理場と人工浄化槽の排水の COD、BOD、無機態の窒素と窒素の除去率

2-2 監視指標の評価システム

- 伊勢湾と関係する県との共同事業と対策
- 指標の数値の変動が伊勢湾の水質汚濁と富栄養化の進行あるいは防止にどの程度寄与しているか

3. 多様な自然環境の保全

3-1 多様な自然環境の監視指標

- 各種の干潟や藻場の分布と面積
- 自然海岸線
- ノリ生産量
- 水鳥の種数と生息数

3-2 監視指標の評価システム

- 干潟と藻場生態系の構造と機能
- 干潟と藻場の浄化機能