

第12章 瀬戸内海対策

1. はじめに

瀬戸内海は温暖な気候と資源に恵まれ、古くから人間の生活、文化と密接な関係を持ち、自然の恵みを提供してきた。また、世界的にも比類なき多島美や白砂青松でたとえられる海岸線等の美的景観は人の心をなごませ豊かにするものであり、昭和9年(1934年)には我が国最初の国立公園にも指定されている。しかしかつては豊穡で美しかった海域も戦後の高度経済成長による開発や産業活動の拡大に伴い、干潟や藻場等の浅海域は大規模に埋め立てられて消失していくと同時に、工場排水口付近の沿岸部では水質汚濁が進行し、油着臭魚や背骨が曲がりたり腫瘍の出来た奇形魚がみられ、また夏期には水域の富栄養化により大規模な赤潮が発生するなど、環境の破壊や汚染が社会的な問題となった。そのため国も全国一律の法規制以外に瀬戸内海に限定した固有の法律(特別措置法やCOD総量規制制度)を作り環境保全の対策を推進してきた。その結果、排水の影響が大きかった局所的な水質汚染や赤潮の発生件数等は改善されてきたが、瀬戸内海全体の水質等はそれほど改善効果が表れていない。

この章では、主として瀬戸内海で汚染が顕著となった昭和40年代半ば(1970年代)以降を対象とし保全対策の概要やそれに伴う環境の変化を紹介し、最後に今後の問題点を模索してみた。

2. 瀬戸内海の概要

2.1. 概況

日本列島はアジア大陸と陸続きであったが、地殻変動により大陸から切りはなされて出来たもので、本州と四国、九州の間に海進がはじまり、現瀬戸内海が誕生したのはほぼ1万年程前であるといわれている¹⁾。

瀬戸内海は本州、四国、九州に囲まれ、東西450 km、南北15~55 km、総面積は約22,000 km²、平均水深は約37mの東西に細長い内海であり、平均気温は15℃で適度な降雨(年間1,000~1,600mm)を有する温暖型気候に属し、大小700以上の島々が点在し、全長6,800 kmにおよぶ海岸線を有している。流入する河川は662あり、総流入量は年間550億 tに達する(図12-1)。

瀬戸内海は典型的な閉鎖性海域で、海水の交換性が悪いと言われていたが、最近の研究で、全体の海水の滞留時間は約15ヶ月であることが判明した²⁾。瀬戸内海全体の流況(恒流)を図12-2に示す。

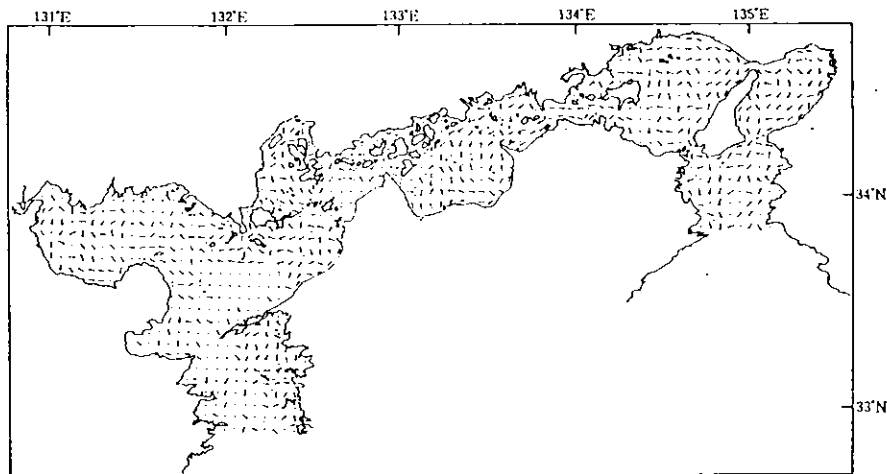
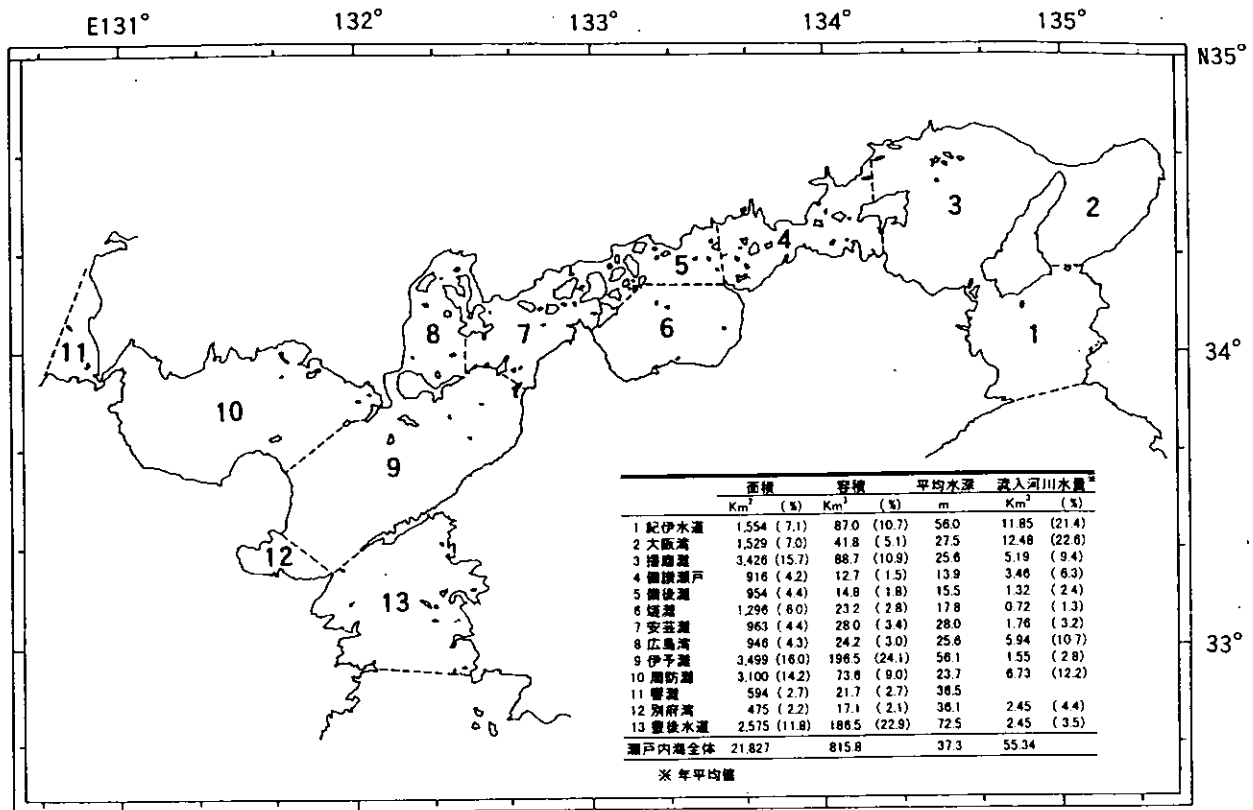


図 12-1 瀬戸内海の概要
図 12-2 表層水の恒流²⁾

2.2. 漁業生産

瀬戸内海には約3,000種の動物と500種の植物が存在している。魚類は約600種存在し、そのうち約100種程が漁業の対象とされている。

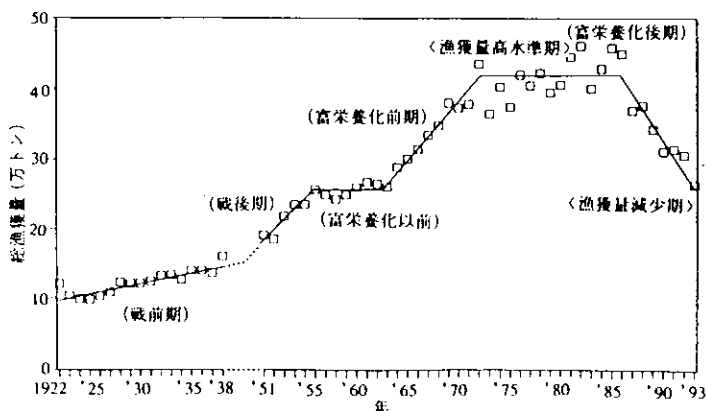


図 12-3 瀬戸内海における漁獲量の推移

漁獲量は戦前は15万 t/年以下で推移していたが、戦後は10年間で25万 tまで急増している。その後横這いの後、1960年代半ばから拡大期を迎え、1980年前後には45万 tに倍増した。しかしこれをピークに以降は減少傾向にあり、1993年には30万 t以下にまで落ち込んでいる^{3,4)} (図12-3)。1965年からの拡大期は、高度経済成長期にあり、海産物生産の場として重要な沿岸海域が大規模に埋め立てられ、また排水などにより漁場環境が変化している時期である。しかし一方で漁業技術の向上や合理化で生産性が著しく向上したため生産量は増加している。ただ魚種別に生産量をみると、この時期には高級魚として需要の高かったマダイ等は減少し、カタクチイワシやタチウオ、イカナゴ、シラス等の低価格魚が増大している。1990年代後半からはマダイ等の種苗放流効果もあり、高級魚の生産は持ち直し、横這い状態にあるが、最近では乱獲状態にあった低級魚の資源量が減少してきている。

2. 3. 流域社会環境の変化

ここでは汚濁負荷に関連する基礎データとして、社会経済的背景の変化について簡単にふれる (図12-4~8)。瀬戸内海は工業用地の造成に適した遠浅の海岸線が多く、また良港にも恵まれ輸送の便が良かったことから、昭和30年(1955年)以降の高度経済成長の時期を通じコンビナートの形成を軸に重化学工業化が推進されてきた。特に鉄鋼、石油製品、化学工業等の出荷額は全国の約5割を占め、食品、繊維、紙パルプの生産高も1/3を占めていたが、現在はいずれの比率も少しずつ低下してきている。全工業出荷額では、昭和35年(1960年)には全国の38%を占めていたが平成5年(1993年)では約86兆円で、全国比は28%に低下してきている⁵⁾。産業分類でみると1, 2次産業の比率は減少し3次産業が増加している。

一方、流域人口は毎年少しずつ増加しており、最近15年間で約130万人増加し、平成5年(1993年)現在で3,010万人に達している。しかしその間に下水道処理人口は907万人から1,480万人に増え、下水道の普及率は約30%から50%近くまで増加している。また合併処理浄化槽人口も162万人から208万人、単独浄化槽人口も444万人から531万人に増加し、何らかの形で生活系排水が処理されている人口が、約700万人分増加している。

瀬戸内海沿岸域の家畜の養頭数は平成5年(1993年)現在で牛が60.4万頭、豚97.4万頭、馬1,220頭、鶏49.6百万羽で、全国比率ではそれぞれ10, 10, 5, 25%程度を占めている。森林面積は464万haで全国森林面積の20%を占めており20年間で21万ha増加している⁶⁾。

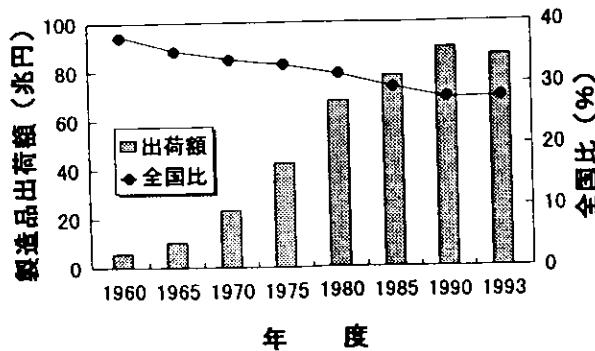


図12-4 製造品出荷額の変化

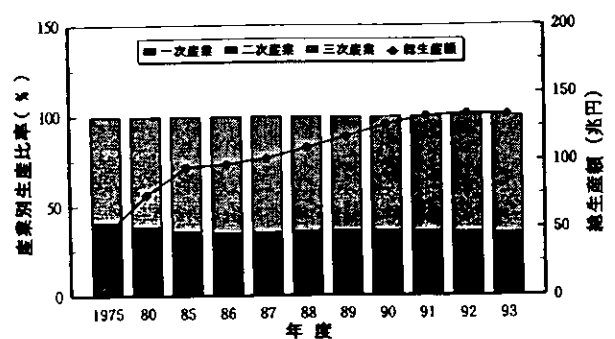


図12-5 産業別生産額の比率

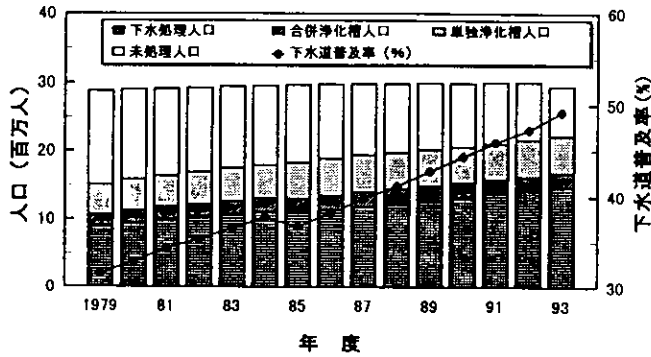


図 12-6 人口及び下水道普及率の変化

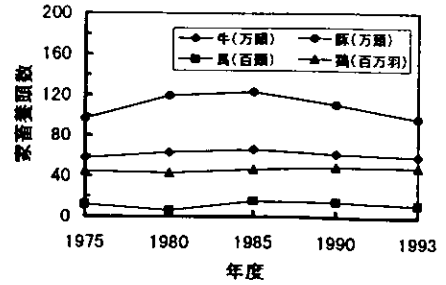
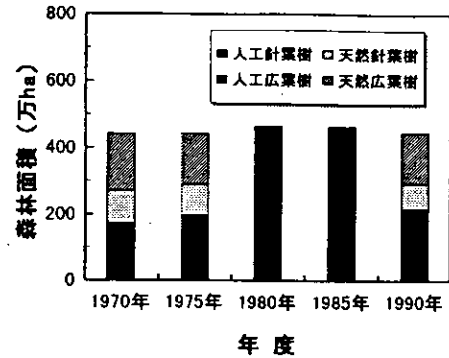


図 12-7 家畜養頭数の変化

図 12-8 森林面積の変化



2. 4. 海岸埋め立て状況

瀬戸内海の埋め立ては明治30年(1898年)から昭和45年(1970年)までの約70年間で26,400haにのぼるが、昭和40年(1965年)からのわずか5年間でその間の33%が埋め立てられている。昭和40年(1965年)以降の埋め立て状況を図12-9に示すが、「瀬戸内海環境保全臨時措置法」及び「瀬戸内海環境保全特別措置法」で埋め立てに対して特別に配慮することが明記されているため臨時措置法が施行された1974年以降はその速度が幾分か弱まっている。しかし、1898年から1993年までを累積すると全部で41,900haの浅海域が消滅した事になる。これらの埋め立てによって、瀬戸内海の海岸線の総延長約6,800kmの内、約1/2に相当する3,100kmがコンクリート護岸などの人口海岸となり、自然海岸は38%の2,580kmしか残っていない³⁾(図12-10)。

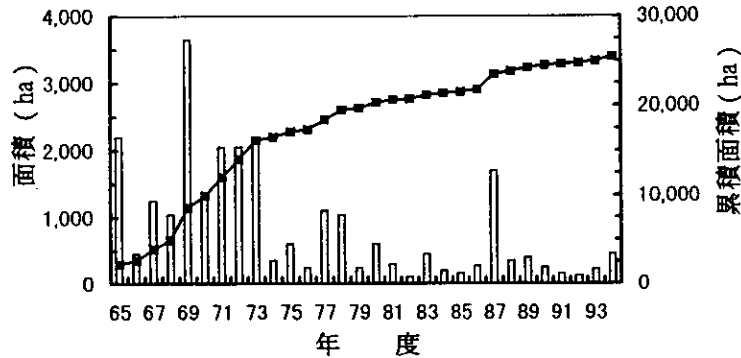


図 12-9 瀬戸内海における埋め立て面積の推移

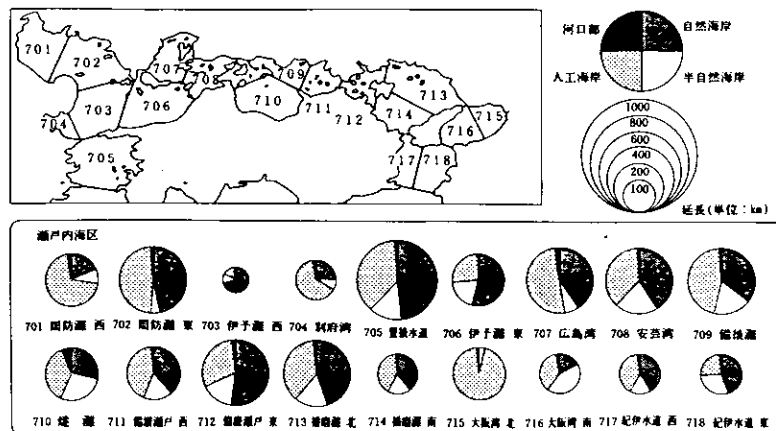


図 12-10 海岸線の改変状況

2. 5. 油汚染発生状況

海域の油汚染はタンカーの海難事故の他に船舶からの不法投棄や荷役作業時の過失による流出、ビルジ水や潤滑油、石油コンビナート等からの廃棄物としての排水があり、1974年当時、年間に瀬戸内海に排出される油分は13,000~32,200トンに達すると推定されている⁷⁾。昭和45~50年(1970~75年)頃、油汚染の進行は油臭魚等の水産被害と合わせて環境汚染として社会的に問題となった。

タンカーの海難事故による海洋汚染としては1987年のアラスカ湾及び1993年のスコットランド沖での原油流出が有名であるが、我国近海における大規模な海難事故としては1971年の新潟港外でのジュリアナ号による原油流出(7,200 K1)と1997年1月に山陰沖の日本海で座礁したロシア船籍ナホトカ号からの重油流出(3,700 ton)がある。

図12-11に昭和45年(1970年)以降の瀬戸内海の油汚染発生件数の推移を示すが、2年後の47年(1972年)の最盛期には874件の汚染が報告されている⁵⁾。昭和49年(1974年)には岡山県の水島コンビナートにおいて、タンクの破損事故により約43,000K1の重油が流出し、その内7,500~9,000K1が海域に流入した。これは当時としては我国最大の重油汚染で、被害は総額で約160億円に達した³⁾。瀬戸内海の油汚染は1971~74年にかけてピークを示したが、それ以降徐々に減少し、最近では101件と大幅に減少しているものの、なお全国の約30%を占めている。

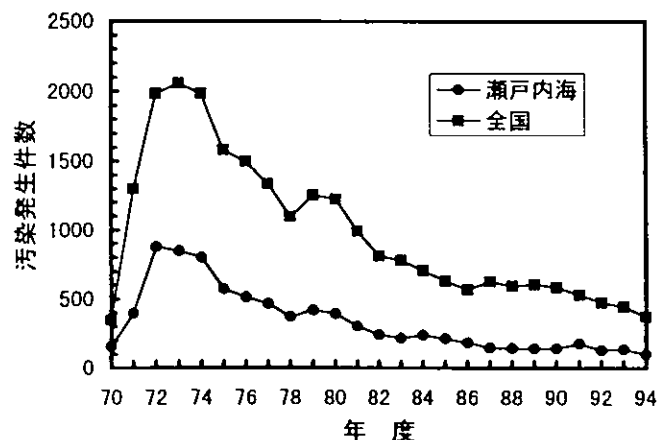


図 12-11 我国及び瀬戸内海における油汚染発生件数の推移

3. 赤潮及び漁業被害

瀬戸内海でも他海域と同様に *Noctiluca* による赤潮は昔からみられており、大阪湾では戦前(1945年以前)から *Skeletonema* などによる赤潮が発生していた。しかし昭和32年(1957年)に徳山湾で *Gymnodinium* による漁業被害を伴った赤潮が発生するまでは小規模に出現する程度であり問題とならなかつたが、それ以降毎年のように珪藻や渦鞭毛藻による赤潮や漁業被害が生じるようになり、規模も拡大していった⁸⁻¹⁰⁾。1957年以降の主だった赤潮による漁業被害の状況を表12-1に示す³⁾。昭和44, 45年(1969, 70年)に広島湾沿岸で発生した *Chattonella* の赤潮が1972年には播磨灘で未曾有の規模で発生し、瀬戸内海の富栄養化、赤潮問題が一気に社会的な問題へと発展した。この赤潮が契機となって、国も瀬戸内海の汚染対策を行うことと

なり、「瀬戸内海環境保全臨時措置法」等の法律が作定されていった。瀬戸内海における赤潮発生件数の推移を図12-12に示すが、昭和51年（1976年）をピークとして現在は減少傾向にある。

表 12-1 赤潮による漁業被害状況

発生年	発生海域	原因種	被害その他	魚類へい死尾数	被害金額(百万円)
1962	山口県 徳島湾	<i>Gymnodinium</i>	魚類	1	.4
1964	山口県 徳島湾	同 上	魚類		24
1965	大分県 佐伯湾	同 上	ハマチ	20,000	不明
	津久見湾	同 上			
1966	徳島県 椿泊湾	同 上	ハマチ	500,000	100
	愛知県 豊田南部	<i>Eutreptiella</i>	富栄養化の現れ		-
1969	広島湾	<i>Chattonella</i>	漁業被害発生、 <i>Chattonella</i> の確認		
1970	広島県沿岸その他	同 上	ハマチ	500,000	620
1971	徳島	<i>Fibrocapsa</i>	瀬戸内海の汚染の認識深まる		-
1972	播磨灘	<i>Chattonella</i>	ハマチ 最大の被害	14,000,000	7,100
1975	播磨灘	<i>Prorocentrum</i>	ハマチ	35,000	不明
1977	播磨灘	<i>Chattonella</i>	ハマチ	3,300,000	2,688
1977	広島湾	<i>Gymnodinium</i>	ハマチ	69,000	161
			その他魚類	142,000	18
1977	和歌山県 田辺湾	<i>Gymnodinium</i>	ハマチ	50,000	76
1978	播磨灘	<i>Chattonella</i>	ハマチ	2,800,000	3,277
1978	大坂湾、紀伊水道	同 上	ハマチ	31,000	40
1979	播磨灘	<i>Chattonella</i>	ハマチ	1,042,000	316
1979	播磨灘	<i>Chattonella</i> および <i>Gymnodinium</i>	タイ	15,000	25
1979	愛媛県 豊後水道諸湾	<i>Gymnodinium</i>	ハマチ	547,000	496
1979	愛媛県	<i>Gymnodinium</i>	タイ、アジ	219,000	12
1979	大分県 周防灘	同 上	アサリ (3,416トン)		262
1979	山口県 仙崎湾	<i>Photogonyaulax</i>	麻痺性貝毒 16名中毒		
1980	和歌山県、豊浦、串本周辺	同 上	ハマチ	9,700	19
			タイ、カンパチ、マグロ	4,255	10
			アワビ、サザエ、イセエビなど		12
1980	愛媛県 豊後水道	同 上	ハマチ	468,000他	326
1980	大分県 佐伯湾	同 上	ハマチ他	41,173	23
1981	大分県 別府湾	<i>Olithodiscus</i>	カレイ、タイ、クルマエビ	(18,408 kg)	20
1981	愛媛県 豊後水道諸湾	<i>Gymnodinium</i> <i>Heterosigma</i> など	ハマチ、アジ	77,757	71
1981	香川県 志度湾	<i>Heterosigma</i>	ハマチ	8,048	20
1983	播磨灘	<i>Chattonella</i>	被害なし		
	徳島県 紀伊水道	同 上	ハマチなど	286,000	281
1984	熊野灘沿岸	<i>Gymnodinium</i>	ハマチなど		4,600
1985	周防灘、豊後水道	同 上	ハマチなど		10,210
1987	播磨灘など	<i>Chattonella</i>	ハマチ	約190万	2,400
1989	豊後水道	同 上	ハマチなど	約17万	490
1991	安芸灘、伊予灘、周防灘	<i>Gymnodinium</i>	マダイなど	約205万	1,500
1995	豊後水道	<i>Gonyolux</i>	マダイなど	約487万	800
1995	播磨灘	<i>Gymnodinium</i>	カンパチ、ハマチなど	554,270	469

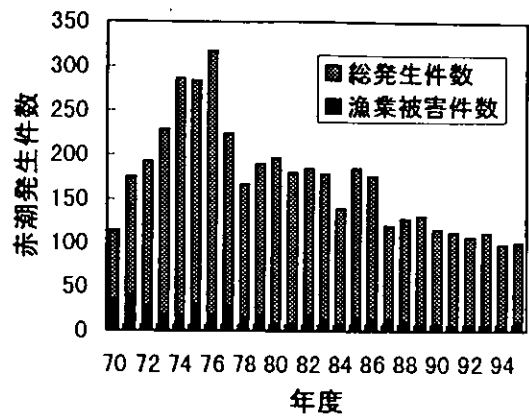


図 12-12 瀬戸内海における赤潮発生件数の推移

赤潮による漁業被害の原因は一般的に有害物質による中毒死と酸欠による窒息死に大別されている。*Chattonella*の場合には、エラの粘膜細胞が破壊され窒息死に至ることが知られている。その他の被害としては、渦鞭毛藻類等でGonyautoxinやSaxitoxin等の貝毒を生成するものがあり、それを摂取した貝を人間が食べると神経性麻痺症状を示し、死に至ることもある¹¹⁾。

我が国で赤潮による漁業被害が多いのは、人工養殖が盛んなためで、筏の中の魚が避難できない事が主な原因である。これらの被害対策としては、基本的には海域の富栄養化対策を行うことであるが、当面 1) 赤潮のモニタリング体制を整備し、2) 発生初期段階で筏の深度を下げたり、他へ移動させるシステムを確立したり、3) 富栄養化の自家汚染因子である投餌量を減らす等の工夫がなされている。

4. 水質汚濁規制及び対策

瀬戸内海における水質汚濁に対する法的規制としては、基本的には水質汚濁防止法により環境及び排水の基準が定められ規制が行われている。しかし、これだけでは改善効果の期待度が低いため、固有の対策として、「瀬戸内海環境保全臨時措置法」（臨時措置法）、「瀬戸内海環境保全特別措置法」（特別措置法）と総量規制制度が導入されている。ここでは臨時措置法と特別措置法の概要を紹介する。

4. 1. 臨時措置法

瀬戸内海では赤潮が頻繁に発生し、大規模な漁業被害をもたらすようになり、その緊急な対策が政治的課題となり、5年間の期限付きで成立した議員立法である。本法は昭和48年（1973年）に施行され、5年後に特別措置法に引き継がれた。内容は後継法とほぼ同じであるが、次の2点が異なっている。

1) COD総量規制の必要性を明記

2) 産業系のCOD流入負荷を1/2に削減

当時は濃度規制で、まだ総量規制となっていなかったため、総量規制の必要性を明記すると同時に、削減の科学的根拠については明確なものがあつたわけではないが、対策の緊急性を考慮し、当面有機汚濁の主要因と考えられていた産業系排水の有機汚濁負荷量を半減すれば水質がかなり改善するものと予測して、本法実施から3年以内に無条件で産業系排水のCOD負荷量を昭和47年（1972年）当時の1/2に削減することを義務づけた^{12) 13)}。

4. 2. 特別措置法

臨時措置法の考え方を受けて、1979年に水質汚濁防止法が改正され、COD負荷量の総量規制制度が導入された（瀬戸内海以外にも東京湾、伊勢湾にも適用）。そのため本法ではCODの総量規制が盛り込まれている他、富栄養化防止のため栄養塩負荷の削減対策が設けられた。主な内容は以下の通りである。

① 府県の環境保全計画作定

国が基本計画を作り、関係府県が瀬戸内海の保全に関する計画を作成し実施する。

〈基本計画の考え方〉

景勝地としての美的価値、漁業資源の宝庫としてその恵みを等しく受け、後世の人にも継承するために環境保全上有効な施策を実施するための計画を作成する。

〈基本計画の内容〉

具体的には地域性を考慮して②以下の環境保全計画を各府県ごとに策定する。

② 特定施設設置の規制

水質汚濁防止法では特定施設の設置は届出制であるが、本法では許可制となっており、汚濁負荷削減のために各自治体ごとに特定施設の許可基準を作成する。また新設の施設は事前に環境影響評価を行うことが義務づけられている。

③ COD汚濁負荷の総量規制の推進

国が目標年度を定めて内海全体の負荷削減量を決定し、関係自治体に割りふって削減を実

施する。削減量については、目標年度において削減可能な見積もり量の範囲内で決定されている。CODの削減目標及び実施状況は表12-2の通りである。

表12-2 COD及び指定物質負荷量削減計画

	目標年度	COD 負荷量		指定物質
		目標削減率(%)	実質削減率(%)	
第1次	1984	7.4	10.9	リン
第2次	1989	6.1	6.8	リン
第3次	1994	9.1	10.9	リン
第4次	1999	3.9		リン、窒素

④ 指定物質(栄養塩) 負荷量削減指導

指定削減物質としては、窒素は水域で生物固定されることや、当時窒素の処理技術が十分に確立されていなかったため第3次までは磷のみが対象となった¹⁴⁾(表12-2)。しかし、1) 海域の場合は海水中の窒素と磷の比が同じ水域内でも季節的、場所的に変動しており、植物プランクトンの増殖に必要な窒素と磷の比率を一定の値に特定することができず、磷のみが増殖の制限因子になっていると断定できないことや、2) 窒素と磷の比が通常値から大きくはずれた場合には、健全な海域の生態系維持という観点から支障を生じるおそれがあるという理由で、4次の削減指導から、磷と合わせて窒素及びその化合物も削減指導の対象となった¹⁵⁾。

削減指導は国の方針に基づき、自治体が地域の実状に合わせ指定物質の削減ができるように指導方針を作成、実施する。主な内容は以下の通りである。

1) 産業排水対策

- ・排水基準の遵守
- ・窒素、磷を含む副原料の適正使用
- ・無磷洗剤への転換
- ・処理施設の適正な維持管理
- ・効率の高い処理施設の導入

2) 生活系排水対策

- ・下水道、農業集落排水施設、し尿処理施設、合併浄化槽の整備促進及び維持管理の適正化
- ・無磷洗剤の使用促進
- ・生活雑排水に関する住民意識を啓蒙するための教育及び広報活動

3) その他

- ・畜産対策：ふん尿の適正処理及び利用技術の普及
- ・農業対策：窒素、磷を含む肥料の適正使用
- ・魚養殖対策：給餌法の適正化
- ・環境浄化対策：環境中の水質浄化機能の積極的活用

しかし、これらは現在行政指導の範囲に留まっており、CODのような総量削減目標は存在していない。

⑤ 自然海浜の保全

瀬戸内海の特殊性を考慮し、

- 1) 砂浜、岩礁及びこれに類する自然の状態が維持されているもの
- 2) 海水浴や潮干狩り等で公けに利用されており、将来にわたってその利用が行われる可能性があるもの

に該当する区域を自然海浜保全地区に指定し、開発を制限する。平成7年（1995年）現在91地区が条例に基づき指定されている。

⑥ 埋め立ての抑制

瀬戸内海の公有水面の埋め立てについては十分配慮し、その基本方針に関しては瀬戸内海環境保全審議会で調査、審議することが義務付けられている。

⑦ 環境保全プロジェクトの推進

- 1) 廃棄物、公共下水道、流域下水道等の処理施設の整備促進
- 2) 船舶の廃油処理施設の整備
- 3) 赤潮生成メカニズム解明のための水質監視及び研究
- 4) 赤潮等による漁業被害者の救済

5. 流入汚濁負荷量の変遷

瀬戸内海の水質汚濁や赤潮による漁業被害の対策として、臨時措置法で産業系COD負荷の1/2削減が行われ、後継の特別措置法で総量規制が採用され、5年おきにCOD負荷量の削減計画が立案され、目標の削減率を上回る実績をあげてきた。1、2次の規制では産業系や下水道整備が中心であったが、3次以降はこれらの他に地域の実情に応じ、コミュニティープラント、農業集落排水施設、合併処理浄化槽の整備など生活系排水の対策を含め総合的に負荷対策を推進していくこととなり、現在は第4次の総量規制が行われている。

一方、CODの総量規制と並行して栄養塩類の負荷も臨時及び特別措置法のもとで関係自治体が削減指導方針を策定し、削減指導を行ってきた。ただ1～3次までは磷だけが対象とされてきたが、4次からは窒素も削減指導の対象となった。

この間の流域からのCOD及び窒素、磷の流入負荷量の変化を図12-13に示す⁶⁾。COD負荷量は、昭和36年（1961年）と43年（1968年）の間に大幅に増大しているが、それ以降は減少し、特に昭和47年（1972年）と54年（1979年）の間に著しい減少が認められる。前者は産業活動の拡大が原因であるが、後者は臨時措置法による産業系負荷削減結果を反映したもので、瀬戸内海全域で流入負荷がほぼ半減している。昭和54年（1979年）以降では1～3次の総量規制の結果を反映して15年間で約1,000t/日から800t/日に低下している。産業系と生活系の比率をみると、昭和47年（1972年）当時は産業系が生活系の3倍近くを占めていたが、厳しい排水規制の結果、現在では生活系負荷を下回っている。削減率で見ると過去20年間で産業系が約75%、生活系が約20%削減されたこととなる。

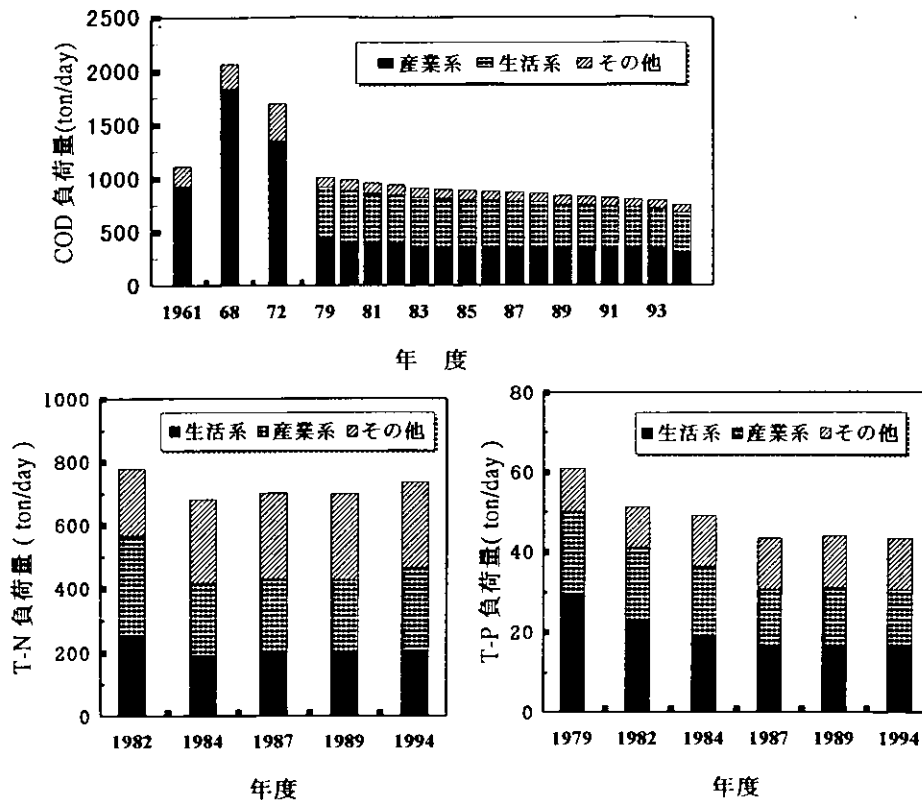


図 12-13 COD, T-N, T-P 流入汚濁負荷量の推移

(1961～72年のCOD生活系負荷はその他に含まれる)

次に窒素、磷の負荷量変化では、1980年前後からの10年間で、磷は削減指導対策の効果を反映して28%低下しているが、窒素は10%程度に留まっている。生活系、産業系、その他の比率でみると、磷では生活系、産業系の負荷が削減されたことにより、1979年には全体の1/2近くを占めていた生活系の比率が低下し、1989年には三者の比率がほぼ均等になっている。生活系負荷の削減では無リン洗剤への切り替えも効果を発揮した。窒素はこれら三者の比率がほぼ等しいが、その他（自然系）の比率がやや高い。

現時点の流入負荷を各水域別にみると大阪湾が特に高く、COD, T-N, T-Pとも全体の30%近くを占めている（表12-3）。各水域ごとの負荷量を水域面積で割った水域面積負荷も大阪湾が最も大きくCOD負荷で147kg/km²/日、次いで備讃瀬戸103、広島湾80、紀伊水道54kg/km²/日の順で最も低いのは豊後水道の8.9kg/km²/日である。特に大阪湾は流域人口も高く、瀬戸内海全体の約1/2の人口をかかえ、生活系の負荷が産業系の3倍近くを占めている。しかし20年前の負荷と比較すると当時の40%程度にまで減少している⁶⁾。

	流域人口 (千人)	下水道普及率 (%)	汚濁負荷量		
			COD(t/日)	T-P(t/日)	T-N(t/日)
紀伊水道	1,690	6.0	84	4.18	76.8
大阪湾	15,300	68.2	225	14.4	206.2
播磨灘	2,410	33.9	72	3.73	67.4
備讃瀬戸	2,720	20.5	95	4.94	97.4
備後灘	944	19.6	29	1.45	20.7
燧灘	583	26.9	50	1.79	30.6
安芸灘	416	19.1	20	0.58	8.0
広島湾	1,760	48.6	76	2.52	35.5
伊予灘	1,440	21.9	52	2.86	50.3
周防灘	1,520	29.7	52	3.45	48.9
響灘	1,030	83.5	22	1.64	31.5
豊後水道	335	8.9	23	0.77	7.8
全 域	30,100	49.2	798	44.05	699.9

表 12-3 水域別汚濁負荷データ

注) 1993年データ、ただしT-N, T-Pは1989年データ
別府湾は伊予灘に含まれる

6. 瀬戸内海の水環境

6. 1. 海域の類型指定とモニタリングシステム

海域の環境基準は人体にとって有害な健康項目は一律規制であるが、COD等の生活環境項目は利水目的に応じていくつかのランクに分類され、各ランクごとに基準値が異なる。PH, CO D, DO等は昭和45年（1970年）に、また窒素、磷は平成5年（1993年）に環境基準が作成され、前者はA～Cの3類型に、後者はI～IVの4類型に分類されている。この基準を基に、自治体が各水域の類型指定を行い、基準が守られているかどうか定期的に水質をモニタリングして監視している。

〈類型指定を行う際の基本的考え方〉

水域の現在及び将来の利水目的、汚濁状況及び下水道計画等の負荷削減対策を勘案し、現状より水質悪化を許容しないように類型の当てはめを行う。

COD等の類型指定は昭和45年（1970年）から49年（1974年）にかけて国が多県にまたがる県際間水域の指定を行い、関係府県が残りの県内海域の指定を行った。指定に当たっては、上記の考え方と瀬戸内海が有数の景勝地であり、また漁業資源の宝庫であることを考慮して、工場排水や生活排水による汚濁が顕著で漁業権が設定されていない内湾等一部の海域を基準の緩いB、Cに指定した以外は基本的により厳しいA類型の当てはめがなされた。瀬戸内海全域の類型区分を図12-14に示す。一方、T-N, T-Pに関しては現在類型指定の作業中である。

瀬戸内海の水環境の定常的なモニタリングシステムとしては、水質汚濁防止法で定められている公共用水域の常時監視調査（昭和45年（1970年）～）と環境庁が関係府県の協力で実施している瀬戸内海広域総合水質調査（昭和47年（1972年）～）がある。その概要を表12-4に示す。

表 12-3 瀬戸内海におけるモニタリングシステム

	調査地点	調査深度	調査頻度	測定項目
常時監視調査	環境基準点 及び補助点*1 (0.5, 2m層)	原則2層	原則1回/月	環境基準項目
広域総合水質調査	124地点	2層 (表層、下層*2)	4回/年	透明度、水温、PH、DO、COD、DIN、T-N、 DIP、T-P、TOC、Chl.a、プランクトン

*1: 環境基準の類型あてはめが行われた水域に対し、維持達成状況を把握するために設定されているモニタリング地点

*2: 下層は水深により異なる。
水深 下層
5m以下 : 底泥上1m
5～10m : 底泥上2m
20～55m : 底泥上5m
55m以上 : 50m

この他に水産庁サイドで、漁業資源保護の目的で環境のモニタリングを行っている漁業海況予報事業浅海定線調査（昭和47年（1972年）～）と赤潮予察調査（昭和51年（1976年）～）とがある。測定項目はどちらも広域総合調査と同じで、モニタリング頻度は前者が4回～12回/年の定期的モニタリングであるのに対し、後者は赤潮が発生する5～10月の間に5～15回程度集中的なモニタリングが行われている。

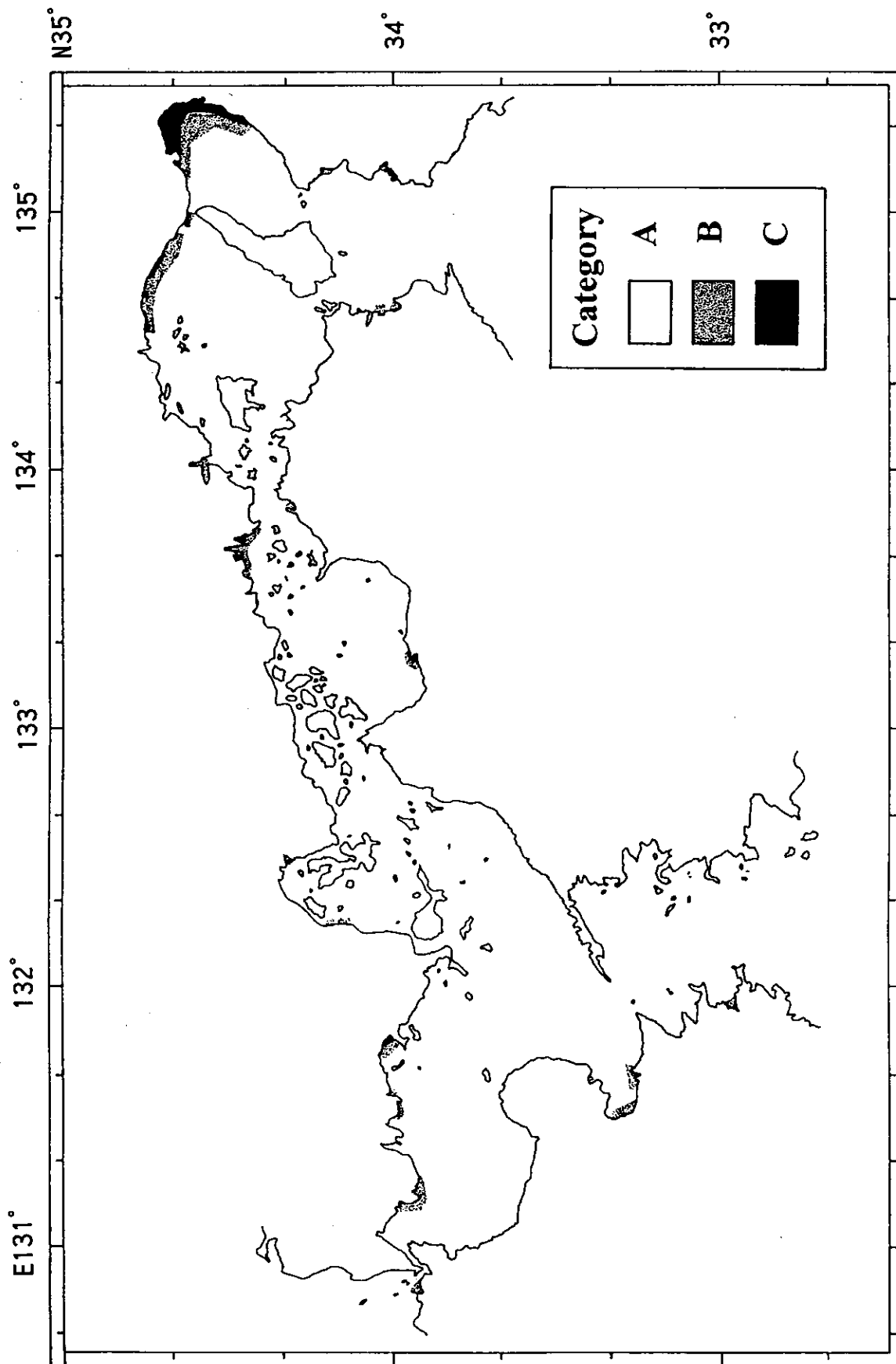


図 12-14 COD 等生活環境基準の類型区分

6. 2 瀬戸内海の水環境

6. 2. 1 水質環境の変遷

瀬戸内海の汚染に対処するため、上述したようにこれまで様々な対策が行われてきたが、瀬戸内海の水質の変遷をCOD等の生活環境基準達成率でみると80%前後で推移しており改善傾向はほとんど認められない(図12-15)。類型別にみるとA類型が特に達成率が低く、1994年度で43%にすぎない。瀬戸内海広域総合水質調査の全地点の表層データを用いそれぞれ透明度、COD、TN、TP、Chl.aの年平均値の経年変化を求めたものが図12-16である。Chl.aだけは85、86年にピークが認められるが、それを除くと各項目とも横這いで、基準達成率同様ほとんど水質改善効果は認められない。瀬戸内海全体の平均水質は季節的にかなり変化するが、年間平均値でみると透明度=6~7 m、COD=1.5~2.0 mg/l、Chl.a=3~4 μ g/l、TN=0.25~0.3 mg/l、TP=0.025 mg/lの範囲である。

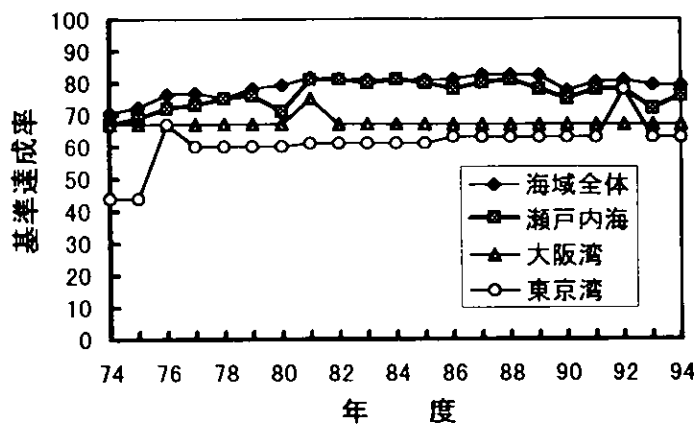


図 12-15 海域における COD 等生活環境基準達成率の変遷

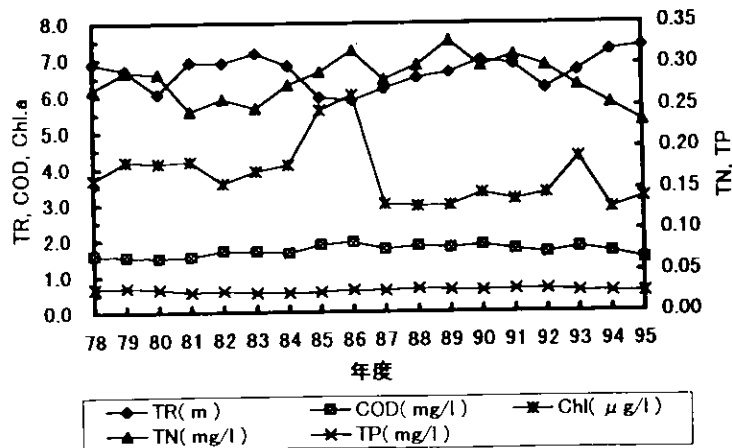


図 12-16 瀬戸内海全域の平均水質の変化

同じく広域総合調査のデータを用いてCODとChl.a濃度の水平分布を調べたものが図12-17である⁶⁾。また、TN、TPの湾、瀬ごとの約20年分の平均濃度を図12-18に示す。各モニタリング項目とも大阪湾が濃度が高く、水質が汚染されている様子がわかる。CODの高い水域はChl.a濃度も高く、瀬戸内海の有機汚染が植物プランクトンの増殖と強く関連している様子が伺われる。

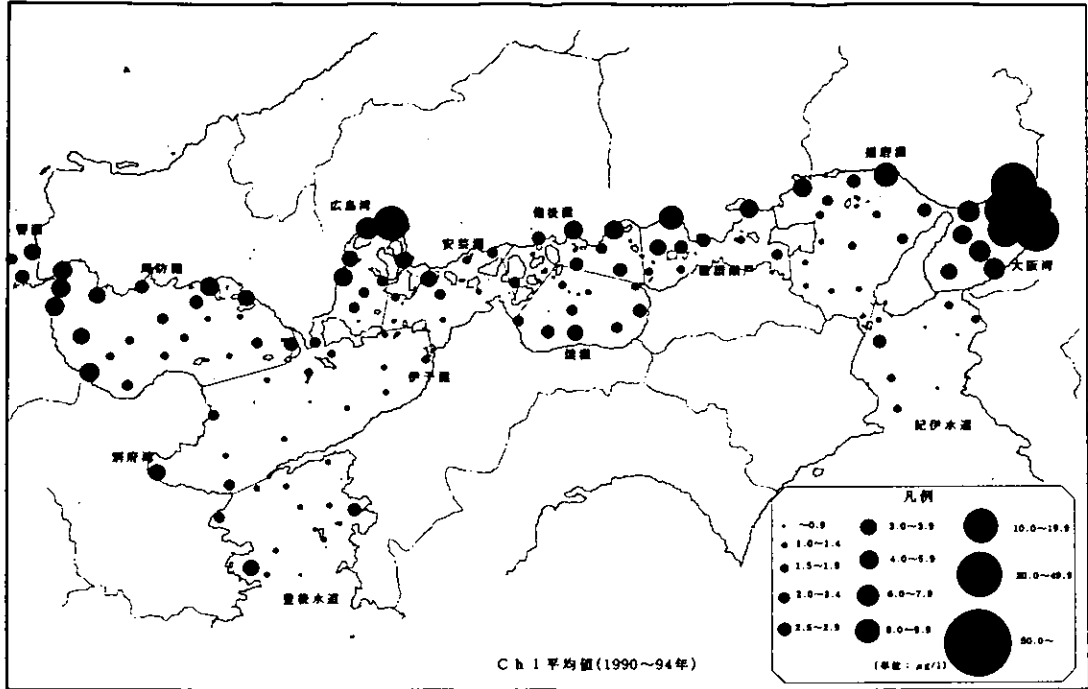
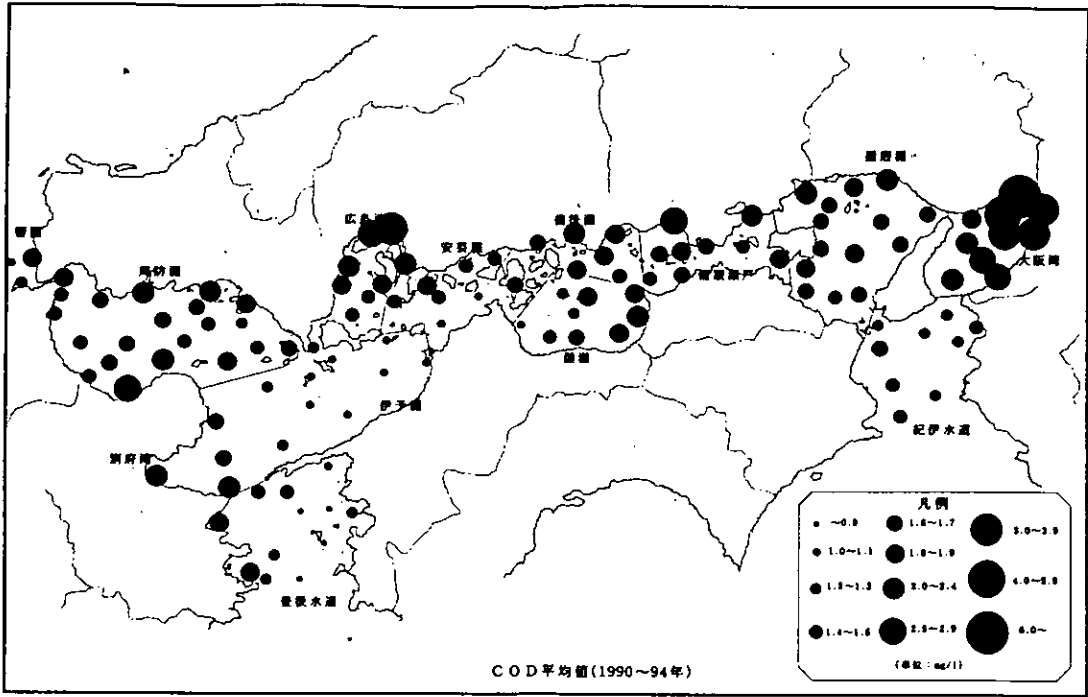


図 12-17 瀬戸内海水質の水平分布

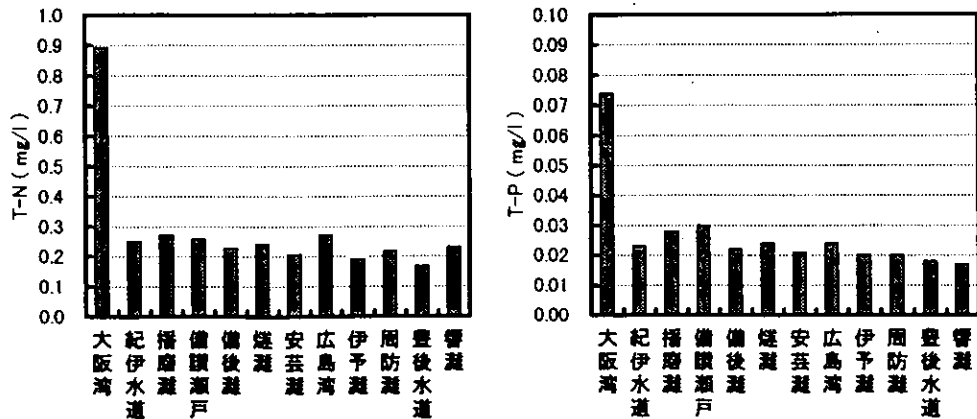


図 12-18 各湾、瀬ごとの栄養塩濃度レベル

この様に、全体的にみると瀬戸内海の水質は過去20年近くほとんど変化が認められないが、それを湾、灘別に個別にみると、CODは広島湾、備讃瀬戸、備後灘の一部で若干悪化しているが、透明度では大阪湾、播磨灘の一部で改善してきている。TN, TP, Chl.a は他の海域では変化がないが、大阪湾奥部では減少が認められている⁶⁾。

これらの生活環境項目以外にも水銀やカドミウム等の重金属による汚染も見られ、1970年初頭には徳山湾の魚介類で厚生省の暫定基準を上回る水銀濃度や広島県中部海域の養殖カキで高濃度のカドミウムが検出される等の問題が生じた。しかし、これらの重金属汚染は水質汚濁防止法による排水規制により徐々に改善されてきた。現在健康項目に関しては瀬戸内海ではすべての水域で環境基準を達成している。

また、重金属以外の有害物質として船底塗料や漁網防汚剤等に用いられた有機スズや農薬等の化学物質による汚染も指摘されてきた¹⁶⁾。国際的に汚染が問題になっているPCBでは環境基準が設定されているが、海域ではすべてND (0.5 $\mu\text{g} / \text{l}$ 以下)で基準値以下である。しかし、これらの化学物質は魚介類に濃縮、蓄積される傾向がある。そのため環境庁では昭和53年(1978年)から全国の環境水や底泥、魚体を対象にして環境基準が定められていない各種の有害化学物質も含めて調査を行っている。図12-19には瀬戸内海における魚体(スズキ)中のPCBと有機スズ(TBT, TPT)の経年変化の一例を示す。PCBは昭和48年(1973年)に制定された「化学物質の審査及び製造品の規制に関する法律(化審法)」の第1種特定化学物質に指定され、製造、輸入、販売が禁止され、濃度も昭和57年(1982年)をピークに減少傾向を示している。また、有機スズも1980年代の後半には厚生省が示している許容摂取量(人の体重Kg当たりTBT 1.6 $\mu\text{g} / \text{Kg} / \text{day}$, TPT 0.5 $\mu\text{g} / \text{Kg} / \text{day}$)をかなり超える魚介類がみられていたが、1990年に化審法の規制対象物質に指定されたことや、その数年前から業界の自主規制が行われたため、環境中の濃度は徐々に減少しており、最近では許容摂取量に相当する濃度をこえるものはほとんど観測されなくなってきた^{17, 18)}。

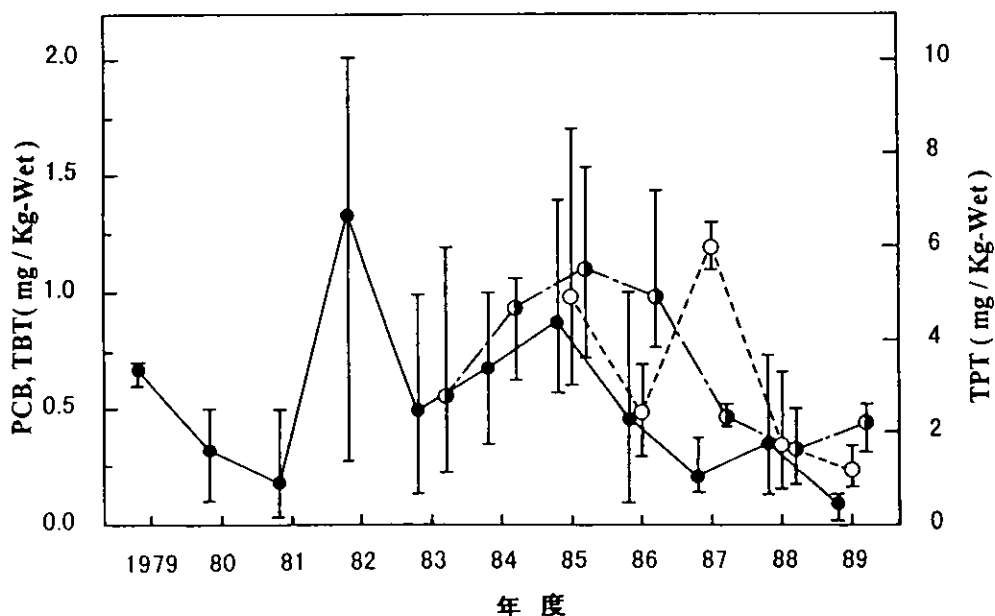


図 12-19 瀬戸内海における魚体(スズキ)中の化学物質濃度の推移
●: PCB、○: TBT、●: TPT、範囲は最大と最小値を示す

6. 2. 2 底泥環境

環境庁が昭和56年(1981年)～60年(1985年)にかけて調査した瀬戸内海全域の底質の概要を図12-20に示す¹⁹⁾。外洋水(太平洋)と内海水の交換が生じる水域や瀬戸部では潮流が速いため水中懸濁物の堆積が生じにくく砂質の部分が多く、逆に水が滞留しやすい水域は粒径の細かい有機質な汚泥となる。TOCの水平分布で見ると大阪湾奥、播磨灘沿岸及び中央部、広島湾、周防灘西部、別府湾が20mg/g以上の汚泥が堆積し、汚染が進行している様子が伺われ、その分布は含泥率の高い水域と良く一致している。

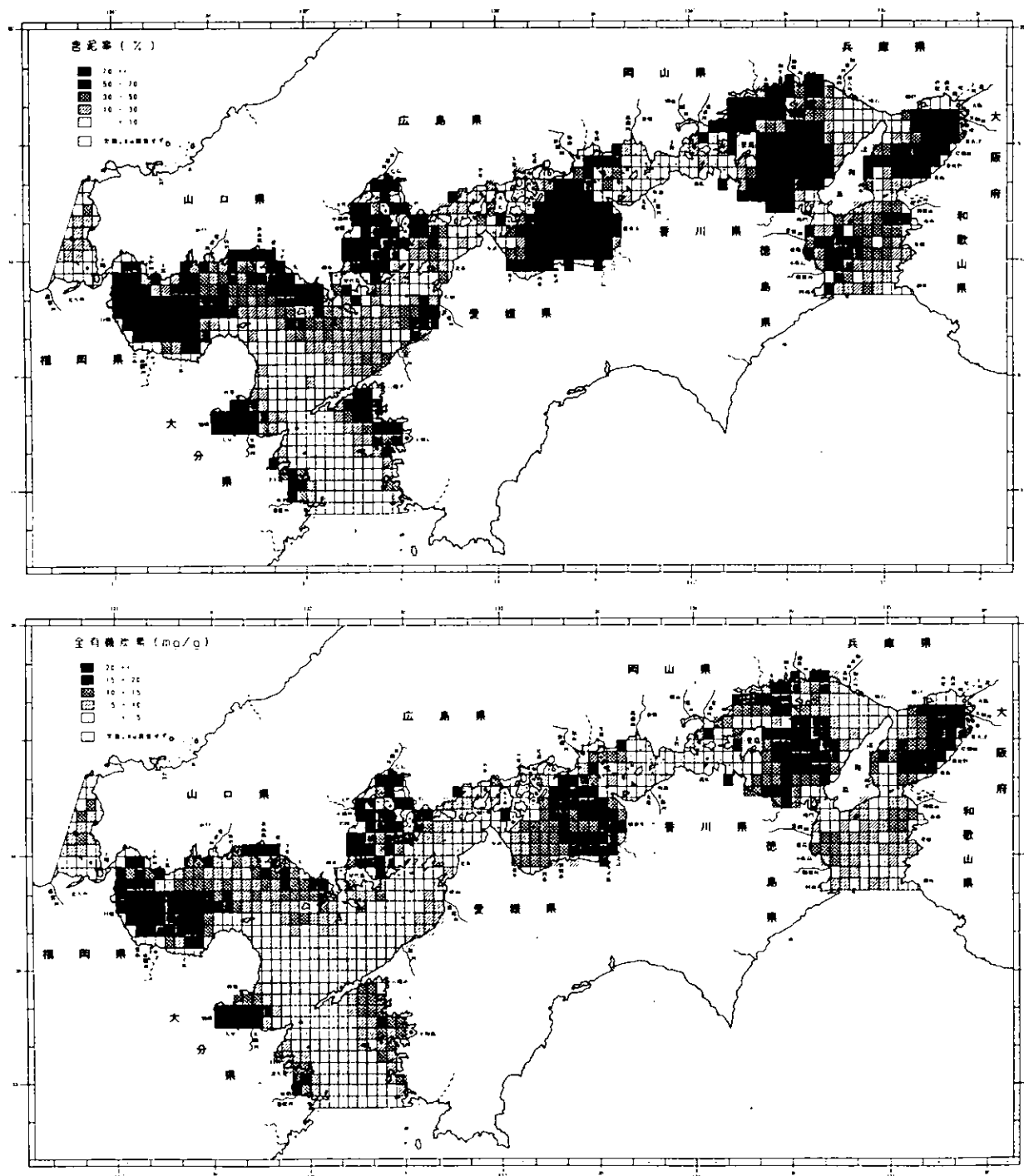


図 12-20 瀬戸内海全域の底質環境の平面分布

瀬戸内海の底泥環境の変化を調べるため、10年後に二度目の調査が実施され各測定項目（含泥率、IL、TOC、T-N、T-P等）ごとに二度の調査データの比較検討が行われた結果、危険率5%で統計的に有意な差異は認められていない⁶⁾。なお、二度目の調査では瀬戸内海の重金属濃度の分布も測定されている。

7. 今後の課題

瀬戸内海の汚染が問題となってモニタリングシステムの整備、流入負荷量の削減、下水道処理施設の整備促進、埋め立ての規制等様々な対策が行われてきたにもかかわらず最後の水環境の変遷で述べてきたように瀬戸内海の水質及び底質はあまり改善効果が認められない。ただし、赤潮の発生件数の減少や大阪湾における水質の改善及び瀬戸内海全域の水質が悪化せず現状を維持できていることはこれまで行ってきた一連の対策の一定の成果であると考えることが出来る。

流入負荷削減にもかかわらず水質が改善しない最大の理由は瀬戸内海の有機汚染が陸上からの直接的な流入負荷に加え、水域の富栄養化に起因する内部生産に支配されているからであると考えられる。星加らは富栄養化が著しい大阪湾において底泥表層の安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) を測定し、湾内の有機汚濁の80%を内部生産起源のものが占めていることを報告している²⁰⁾。一方、広島湾北部海域でも内部生産速度と陸上からの流入負荷量との比較から、前者が90%以上を占めていることが報告されている²¹⁾。これまでの対策で陸上からのCOD流入負荷量は最大時に比較して60%近く削減されている。しかし、富栄養化の原因物質である窒素、磷に関しては削減率は低く、窒素では10%前後にすぎない。海域の富栄養化は水質汚濁や赤潮の他に、底層水の貧酸素化により水域の生態系に影響を及ぼす。大阪湾や広島湾北部沿岸域では夏期には底層のDO濃度が2mg/l以下になり、底生生物の棲息可能レベルを下回る貧酸素状態が確認されている²²⁾。1999年を目標年度とする我国の第4次指定物質削減指導では、磷とともに窒素も削減指導の対象になっているが、今後さらに水域における窒素、磷削減の効果的な対策が望まれる。

また、これまで瀬戸内海では有機汚濁の観点から各種の対策が実施されてきたが、船底塗料や漁網防腐材として使用されたTBTやTPP等の有機スズ化合物及び有機磷、カーバメート系農薬による沿岸環境汚染が見られ、さらに平成5年(1993年)からは有害化学物質が環境基準に追加され、要監視項目も25項目リストアップされている。今後、新たな有害化学物質に対する重要性はさらに高まるものと考えられるので、これらの物質に対するモニタリングシステムや対策にも力を入れていく必要がある。

最後に、これらの水質汚染対策と併せて、瀬戸内海の類希なる自然の美的景観を末永く保存し、後世に継承していくための政策も重要なことではないだろうか。

引用文献

- 1) 津田覚(1974)環境科学ライブラリー瀬戸内海、大日本図書。
- 2) 小坂淳夫(1985)瀬戸内海的环境、恒星社厚生閣。
- 3) 岡市友利、小森星児、中西弘(1996)瀬戸内海の生物資源と環境、恒星社厚生

関。

- 4) 村上彰男 (1976) 瀬戸内海の海域生態と漁場、フジテクノス。
- 5) 瀬戸内海環境保全協会 (1996) 環境庁水質保全局監修、平成7年度瀬戸内海の環境保全一資料集一。
- 6) 瀬戸内海環境保全協会 (1997) 平成8年度環境庁請負業務結果報告書、瀬戸内海環境管理基本調査 (総合解析編)。
- 7) 岡市友利、辰巳修三 (1975) 瀬戸内海の重油汚染一その記録とリモートセンシング一、アジア企画。
- 8) 村上彰男 (1976) 赤潮と富栄養化、公害対策同友会。
- 9) 村上彰男 (1980) 瀬戸内海の赤潮ハンドブック、瀬戸内海水産開発協議会。
- 10) 岡市友利 (1987) 赤潮の科学、恒星社厚生閣。
- 11) 柳田友道 (1976) 赤潮、講談社。
- 12) 村上彰男 (1974) 水質総量規制の生態学的考察、公害と対策、10, 317-323。
- 13) 瀬戸内海環境保全知事、市長会議 (1973) 速記録。
- 14) 中西弘 (1996) N, P規制の必要性、制定の経緯と内容、日本海洋学会沿岸海洋研修講習会、1-8, 1996。
- 15) 瀬戸内海海洋保全審議会、瀬戸内海における窒素、削減指導に関する基本的な考え方 (答申)。
- 16) 日本海洋学会 (1994) 海洋環境を考える一海洋環境問題の変遷と課題一、恒星社厚生閣。
- 17) 環境庁環境保健部保健調査室 (1990) 昭和61~平成2年版化学物質と環境。
- 18) 環境庁環境保健部環境安全課 (1996) 平成8年版化学物質と環境。
- 19) 瀬戸内海環境保全協会 (1988) 昭和62年度環境庁委託業務結果報告書 瀬戸内海環境情報基本調査 (総合解析編)。
- 20) 星加章、三島康史、谷本照巳 (1997) 大阪湾における陸起源および内部生産有機物の循環、第31回日本水環境学会講演集。
- 21) 伊達悦二、清木徹、井澤博文、星野馨 (1989) 広島湾における炭素、窒素、リンの循環、水質汚濁研究、12, 567-574。
- 22) 瀬戸内海環境保全協会 (1997) 平成8年度環境庁委託業務報告書、瀬戸内海における底層貧酸素化対策調査一総合解析編一。