

3章 有明海・八代海の環境変化

1. 汚濁負荷

(1) 陸域からの流入負荷量の算定結果

BOD、COD、T-N 及び T-P は昭和 50 年代に高い傾向にあったが、その後は減少傾向にある。昭和 55 年度、平成 5 年度の高い値は、豊水年によるものと推測される。流域別にみると、有明海では筑後川流域からの流入負荷量が最も大きく、全体の 20～30%を占めている。また、八代海では球磨川流域からの流入負荷量が全体の 10～30%を占めている。

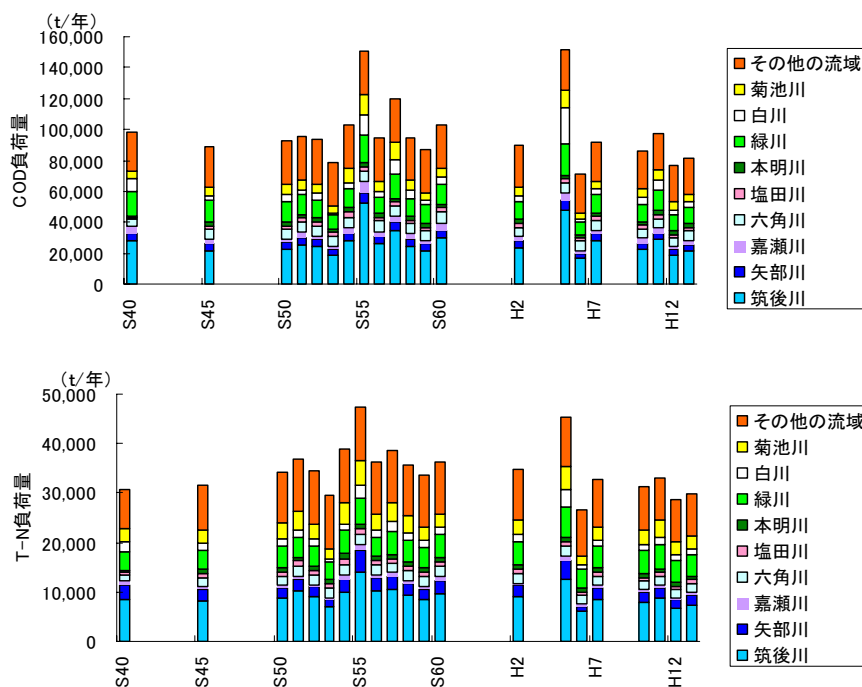


図 3. 1. 1 有明海の流入負荷量 (COD、T-N) の変遷 (BOD、T-P は別添資料 4)

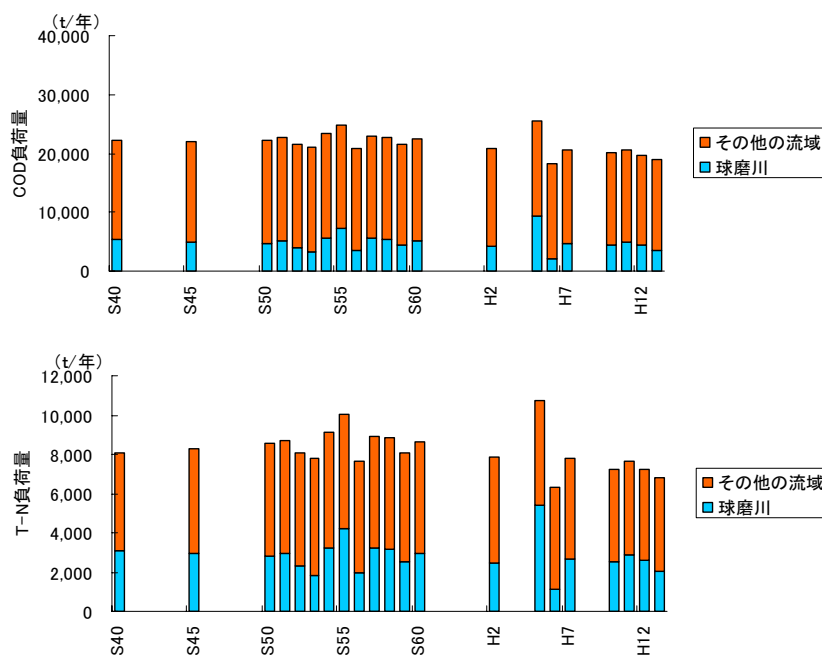


図 3. 1. 2 八代海の流入負荷量 (COD、T-N) の変遷 (BOD、T-P は別添資料 4)

(2) 排出負荷量の算定結果

発生源別にみると、BODは生活系（40～50%）と自然系（30～40%）、CODは自然系（60～70%）の割合が高い。T-Nは産業系の割合が高かったが、平成10年度以降は10%程度と減少傾向にある。他方、畜産系の割合が増加傾向にある（25%程度）。T-Pは畜産系の割合が高く、40～60%を占めている。排出負荷量は、昭和50年代に高い傾向がみられたが、その後、BOD、CODは生活系と産業系、T-N、T-Pは産業系の減少に伴い、減少傾向にある。

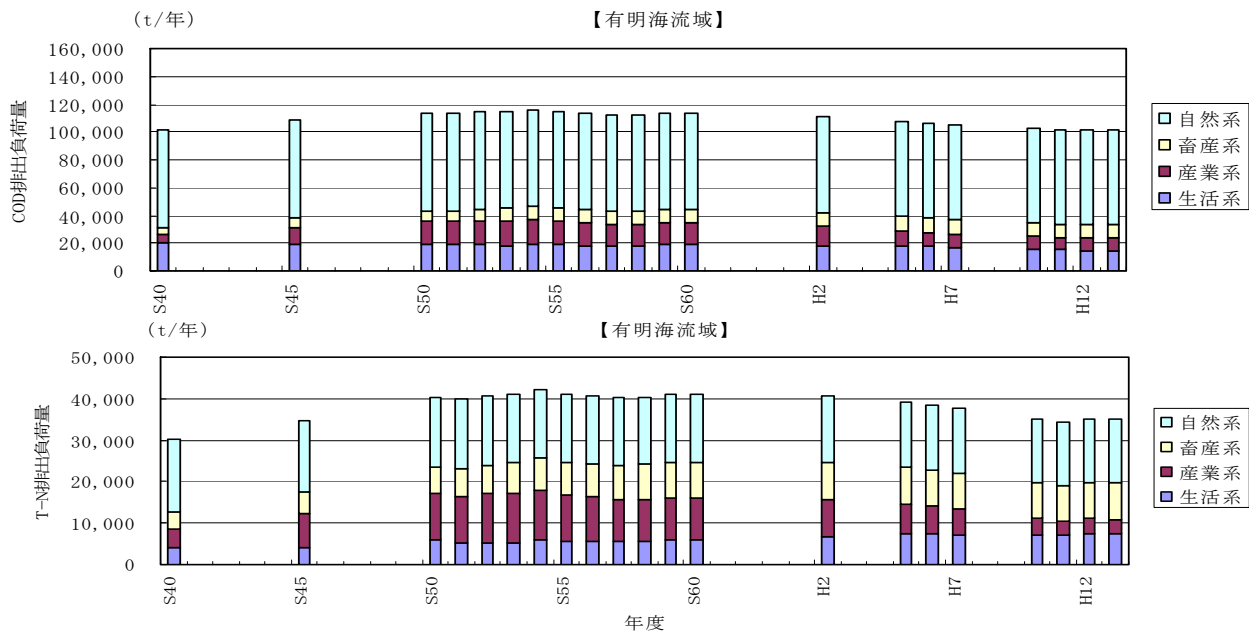


図 3.1.3 有明海の排出負荷量（COD、T-N）の変遷（BOD、T-P は別添資料 4）

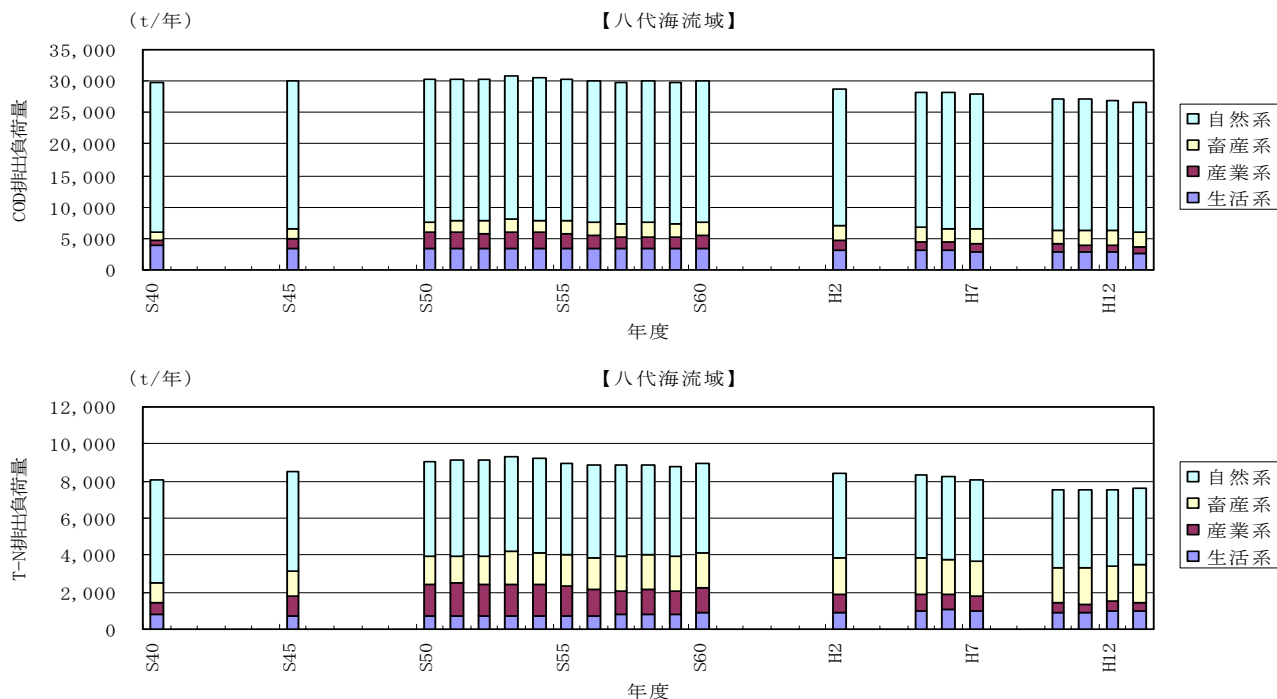


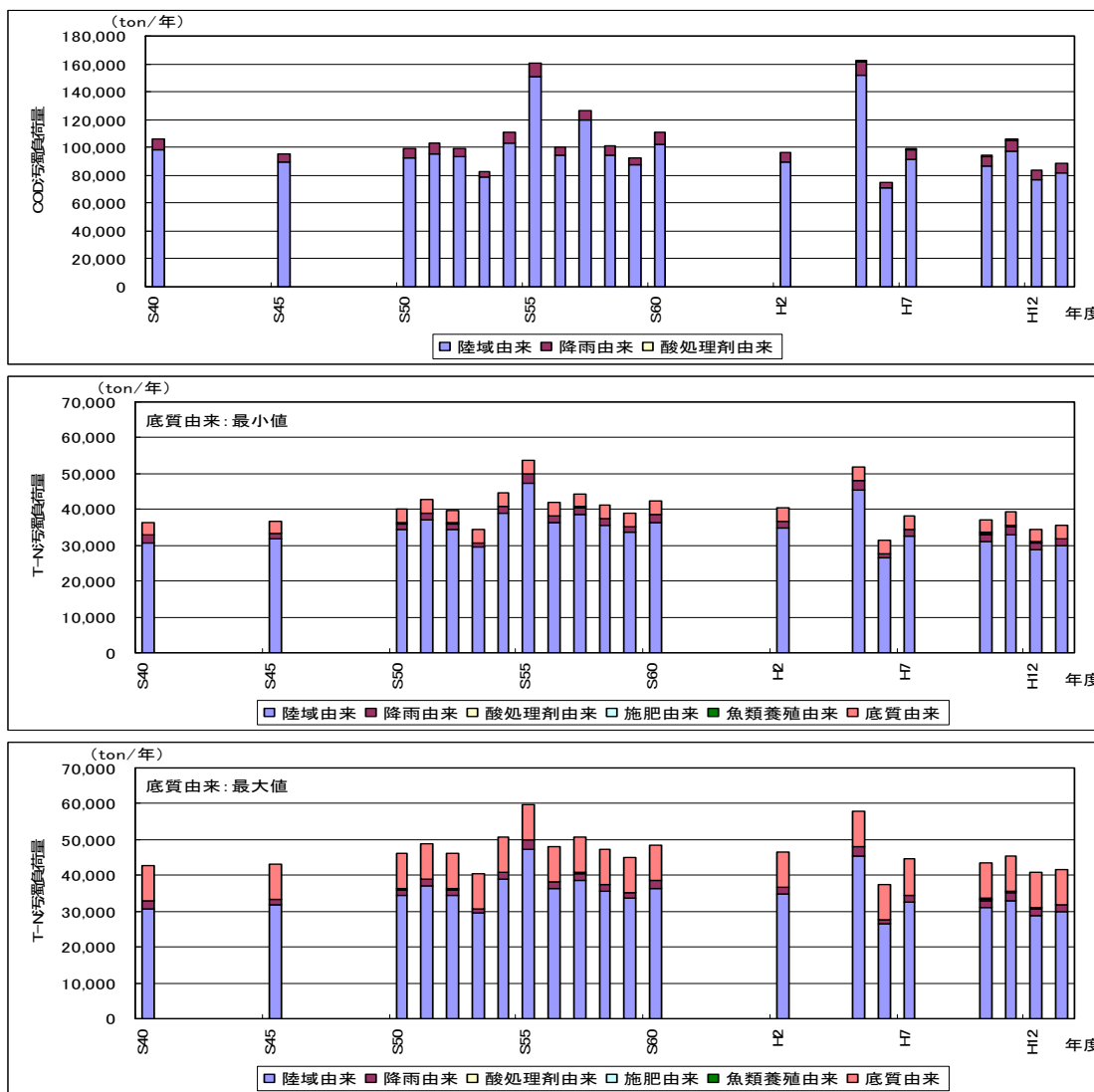
図 3.1.4 八代海の排出負荷量（COD、T-N）の変遷（BOD、T-P は別添資料 4）

(3) 海域への直接負荷を含めた汚濁負荷の算定結果

陸域からの流入負荷に加え、降雨、ノリ養殖、魚類養殖、底質からの溶出を含めた海域への汚濁負荷量を試算した（試算方法は別添資料5）。

【有明海】

- ・ 陸域からの流入負荷がCODとT-Pで全体の9割以上、T-Nでは全体の70～75%を占める。
- ・ 底質からの溶出は、T-Nでは全体の1～2割程度（最小値～最大値）、T-Pでは全体の7～9%である。
- ・ 降雨の負荷は、CODとT-Nで全体の5～8%、T-Pで1～2%を占める。
- ・ ノリ養殖（近年）の負荷は、T-Pでは全体の1～2%、T-Nでは1%未満、魚類養殖の負荷（T-N、T-P）も全体の1%未満である。
- ・ 有明海への直接負荷を含めた汚濁負荷については、陸域からの流入負荷量とほぼ同じ傾向にあり、昭和50年代に高く、その後は減少傾向にある（昭和55年度、平成5年度の高い値は豊水年によるものと推測される）。



注) T-Nは底質からのNの溶出調査結果の最小値と最大値

図 3.1.5(1) 有明海への直接負荷を含めた汚濁負荷量 (COD、T-N)

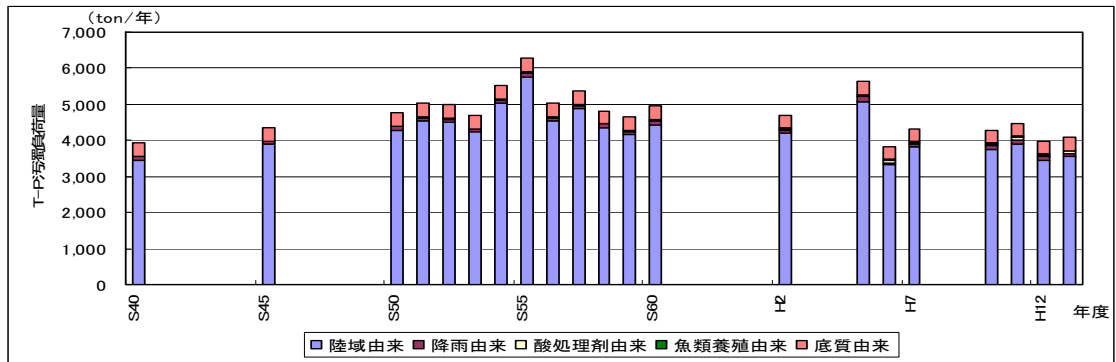
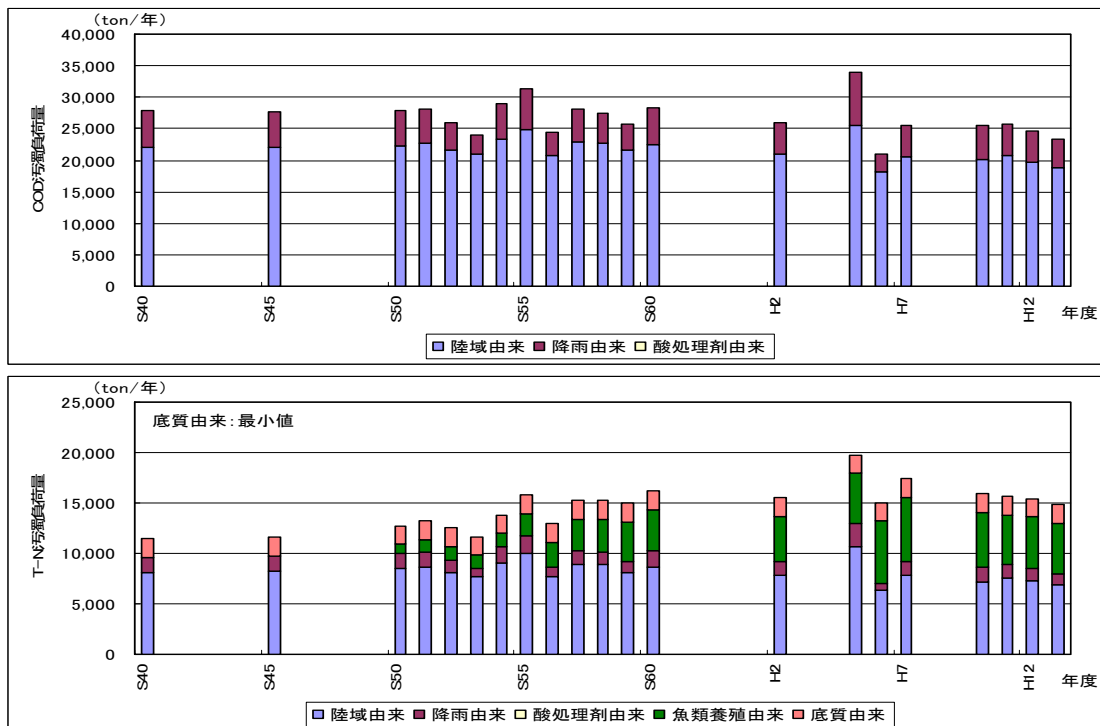


図 3.1.5(2) 有明海への直接負荷を含めた汚濁負荷量 (T-P)

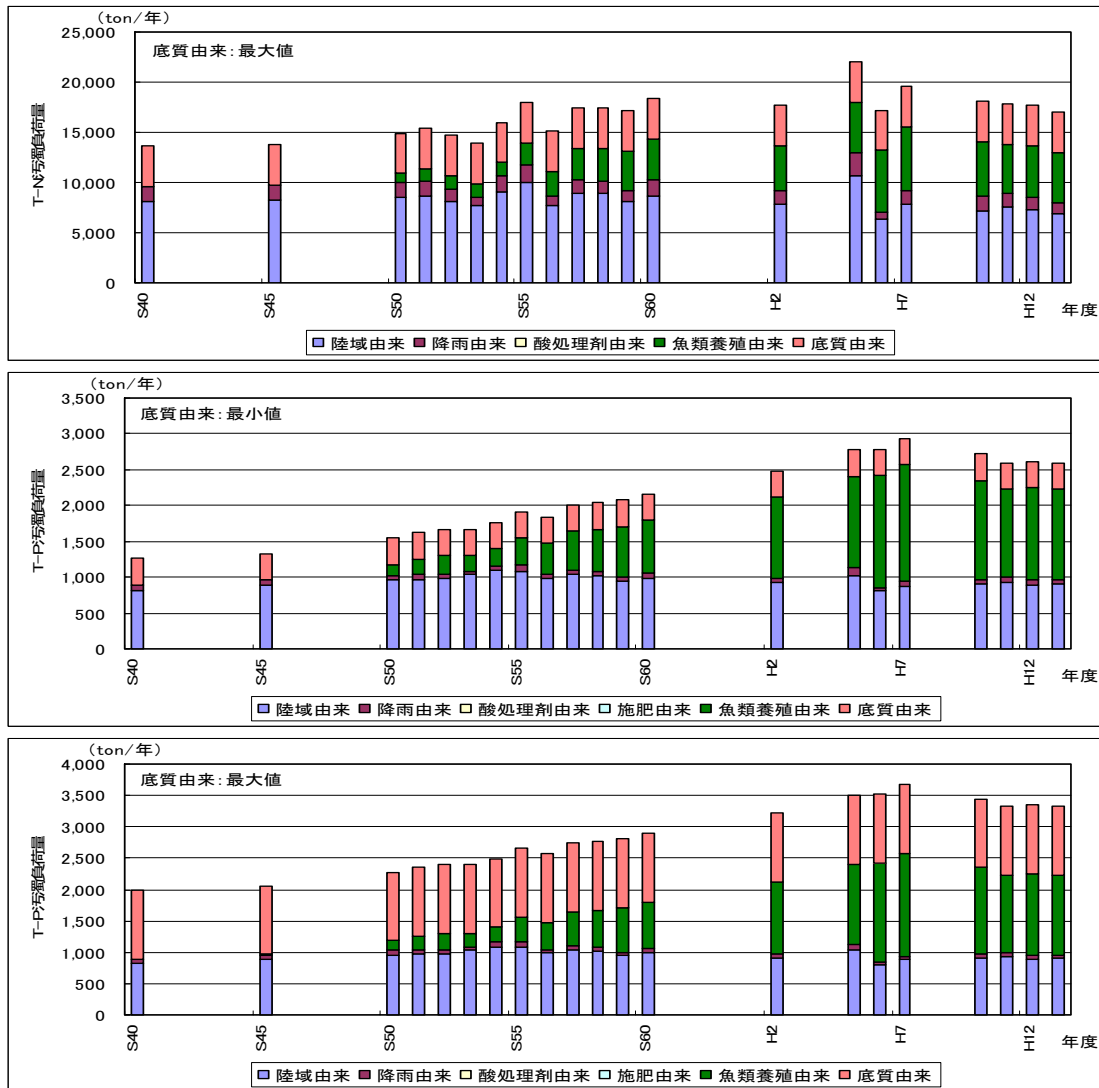
【八代海】

- ・ 陸域からの流入負荷が全体の COD の 8 割前後、T-N の 4 割、T-P の 3 割程度を占めている。
- ・ 魚類養殖の負荷は、昭和 50 年頃（全体の 6～7%）から増加し、平成 7 年に T-N で全体の 33%、T-P で 45%に達したが、近年は減少傾向にある。
- ・ 底質からの溶出は、T-N で全体の 12～24%（最小値～最大値）、T-P で 14～33%（最小値～最大値）を占める。
- ・ 降雨の負荷（近年）は、T-N では全体の 7～8%、T-P では約 2%である。
- ・ 八代海への直接負荷を含めた汚濁負荷量は、COD では有明海と同様の傾向（昭和 50 年代に高い傾向にあったが、その後減少傾向）がみられるが、T-N、T-P では魚類養殖による負荷の増加により昭和 50 年から平成 7 年頃まで増加傾向を示した後、近年は減少傾向にある。



注) T-N は底質からの N の溶出調査結果の最小値

図 3.1.6(1) 八代海への直接負荷を含めた汚濁負荷量 (COD、T-N：底質由来最小値)



注) T-Nは底質からのNの溶出調査結果の最大値、T-Pは底質からのPの溶出調査結果の最小値と最大値

図 3.1.6(2) 八代海への直接負荷を含めた汚濁負荷量 (T-N: 底質由来最大値、T-P)

2. 河川

有明海・八代海に流入する河川は各々112河川、47河川あり(別添資料6)、有明海では筑後川、八代海では球磨川の影響が大きい。

(1) 筑後川

筑後川の概要は、流域面積2,860km²、年間総流出量45億m³、低水流量約50 m³/s、幹川流路延長143km、流域内人口約107万人(平成2年)である。筑後大堰は、固定堰の撤去と河道掘削により洪水流下能力を6,000m³/sから9,000m³/sに増大させるとともに、新規利水として0.35m³/sを開発。可動堰により洪水時は流下を阻害せず、平常時は塩水の流入を阻止して安定した取水を可能とした。流域外への導水量(水道用水)年間7,000万~9,000万m³は、年間総流出量に比して少なく、取水された農業用水(域内導水)も有明海に戻る。筑後大堰の全開回数は年平均3.8回(流入量1,000m³/s以上の洪水時に全開)であり、これにより堰上流の堆砂を解消している。

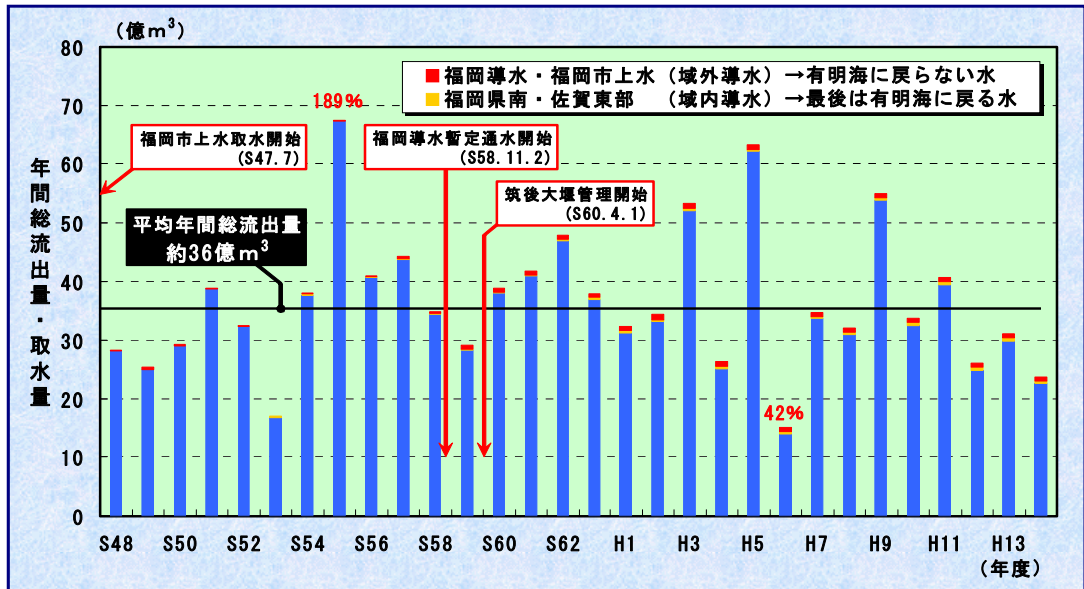


図 3.2.1 筑後川の年間総流出量と取水量の経年変化

筑後川の河床は、昭和 28 年を基準として 50 年間で 3,300 万 m³ 低下しており、その内訳は、砂利採取（治水効果も有する）2,490 万 m³、河川改修 500 万 m³、ダム堆砂 260 万 m³、干拓利用 160 万 m³ となっている（別添資料 7）。ダム堆砂量から推算した筑後川流域の土砂生産量はダム流域で 10 万 m³/年、全流域がダム流域と同様の生産をすると仮定すると全流域で 32 万 m³/年と推定される。

砂利採取により河床材料が変化し、下流（河口から 0～22 km）ではシルト・粘土の増加と細砂・粗砂の減少、上流部では礫分の増加がみられる（図 3.2.2）。長期的な河床変動をみると、砂利採取によって下流側が緩やかな勾配となり（図 3.2.3）、土砂流出が停滞（河川の運搬能力の低下）するとともに、海からガタ土の流入が増大している。

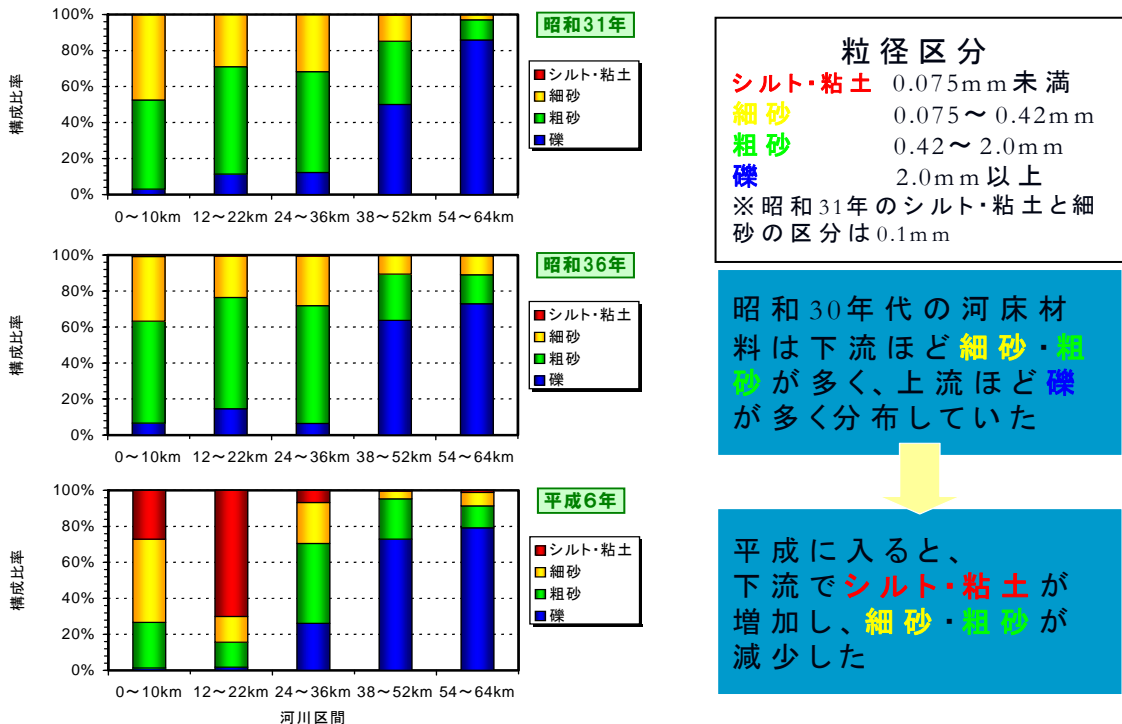


図 3.2.2 筑後川の河床材料の変化

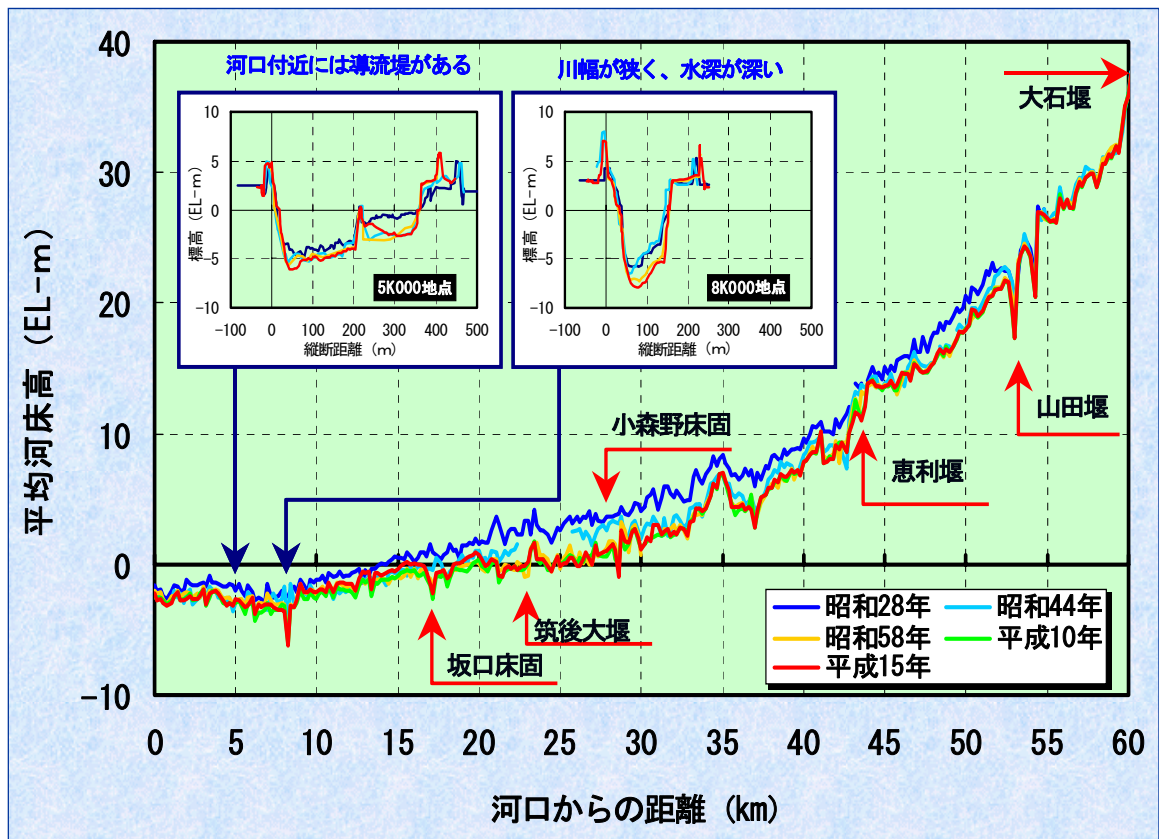


図 3.2.3 筑後川の河床変動の状況

(2) 球磨川

八代海に流入する 47 河川のうち、球磨川は唯一の 1 級河川であって、流域面積 1,880km² (全体の 61%)、年間総流出量 39 億m³である。八代海周辺の年間降水量は、天草から八代海にかけて少ないが、球磨川流域を中心とする山間部では大きい。球磨川の年間総流量の経年的な変化傾向は認められない (図 3.2.4)。

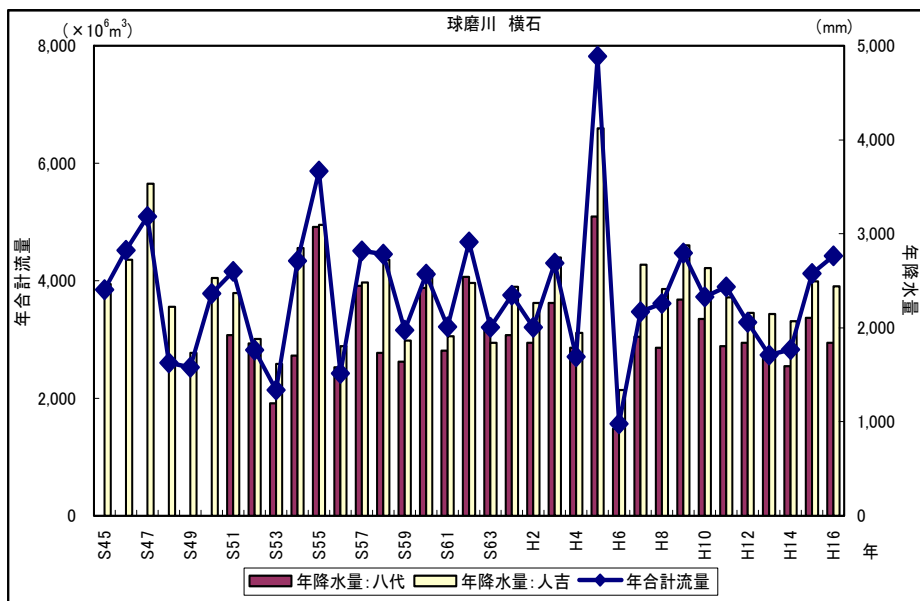


図 3.2.4 球磨川の年間総流量の推移

球磨川の既設ダムの堆砂量は1991年～2000年の間で年間11万m³、1996年以降の砂利採取量は年間2～10万m³と報告されている（別添資料8）。ダム堆砂量と砂利採取量の累計については、各々480万m³、220万m³、合計700万m³に達するとの報告がある（表3.2.1）。

表 3.2.1 2000年までのダム堆砂量及び河川からの採砂量

	建設年	貯水容量 (100万m ³)	堆砂率(%) (2000年現在)	堆砂量 (100万m ³)
荒瀬ダム	1954	10.137	0.6	1.075
瀬戸石ダム	1958	9.930	6.6	0.655
市房ダム	1959	40.200	7.7	3.095
			(ダム堆砂計)	4.825
			(砂利採取)	2.200
			合 計	7.025

3. 水質

公共用水域水質測定の実績的傾向を表3.1.1に示した（詳細は別添資料9）。また、公共用水域水質測定は測点が沿岸域に限られることから、参考として、沖合に広範な測点を有する浅海定線調査のデータを分析した文献等の概要を整理した。

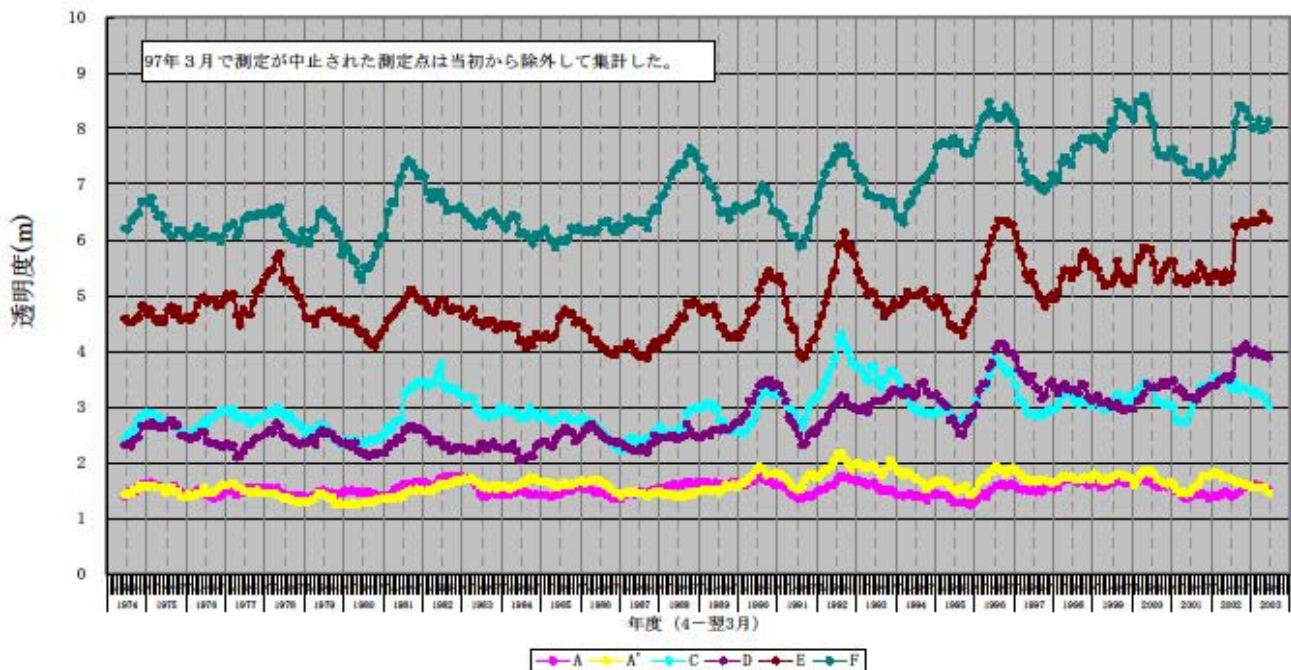
表 3.3.1(1) 有明海における水質の変動傾向

【有明海】

	公共用水域水質測定	浅海定線調査を分析した文献等の概要
水温	福岡県、熊本県の一部測点で有意に上昇。他の測点では一定の傾向は認められない。	冬季の水温に上昇傾向が認められる。
塩分	佐賀県の測点で有意に増加。他の測点では一定の傾向は認められず。	一定の傾向は認められず。
COD ^{注)}	測点により増減の傾向が異なり、一定の傾向は認められず。	佐賀県海域で増加傾向。
T-N(DIN)	T-Nは湾口と島原沖（長崎県）で有意に増加。他の測点は概ね減少。	DINに一定の傾向は認められず。
T-P(DIP)	T-Pは福岡、熊本の一部で有意に減少。他の測点では一定の傾向は認められず。	DIPに一定の傾向は認められず。
SS (透明度)	SSは全測点で有意に減少。透明度（長崎県、熊本県のみ）は一定の傾向は認められず。	透明度は多くの海域で上昇傾向（別図を参照）。なお、熊本市沖や湾奥西部の一部の海域において上昇が顕著との報告あり。

注) CODの測定方法は、定点により測定法（酸性法、アルカリ法）が異なる。

(別図) 透明度の経年変化 (各定点の平均値の経年変化、12ヶ月移動平均)



注) A : 福岡県沖、A' : 佐賀県沖、C : 諫早湾沖～対岸に至る範囲、D : 長洲町～三角に至る熊本県沖、E : 有明町から布津町に至る島原沖、F : 湾口部

表 3.3.1(2) 八代海における水質の変動傾向

【八代海】

	公共用水域水質測定	浅海定線調査を分析した文献等の概要 ^{注)}
水温	鹿児島県で有意に増加。熊本県も増加傾向がうかがわれる。	全点で上昇傾向。2月より8月、湾奥より南部の上昇傾向が大きい。
塩分	—	一定の傾向は認められず。
COD	熊本県で有意に減少。鹿児島県で有意に増加。	全点で増加傾向が見られ、特に湾奥部の傾きは大きく、有意。
T-N (DIN)	T-Nは有意な傾向は認められず。	DINに一定の傾向は認められず。
T-P (DIP)	T-Pは有意な傾向は認められず。	DIPに一定の傾向は認められず。
透明度	概ね低下傾向が認められる。	湾奥部で上昇傾向が見られる。

注) 2月、8月の湾奥部、中央部、南部、西部の測点を分析したもの。

4. 底質環境

(1) 有明海の底質

湾奥部及び中央部の東側の底質は主にシルト及び砂質シルトであって含泥率が高い。中央部の西側から湾口部にかけては砂質及び礫質であり、含泥率は低い（図 3. 4. 1）。有機物（強熱減量）、COD、硫化物、T-N の分布は粒度分布と対応しており、泥分の多い海域で高い値を示す（別添資料 10）。底質の中央粒径値について、1957 年、1997 年、2001 年のデータを比較すると（図 3. 4. 2）、底質の泥化の傾向が認められる（ただし、各々の調査方法に違いがあることには留意が必要である）。

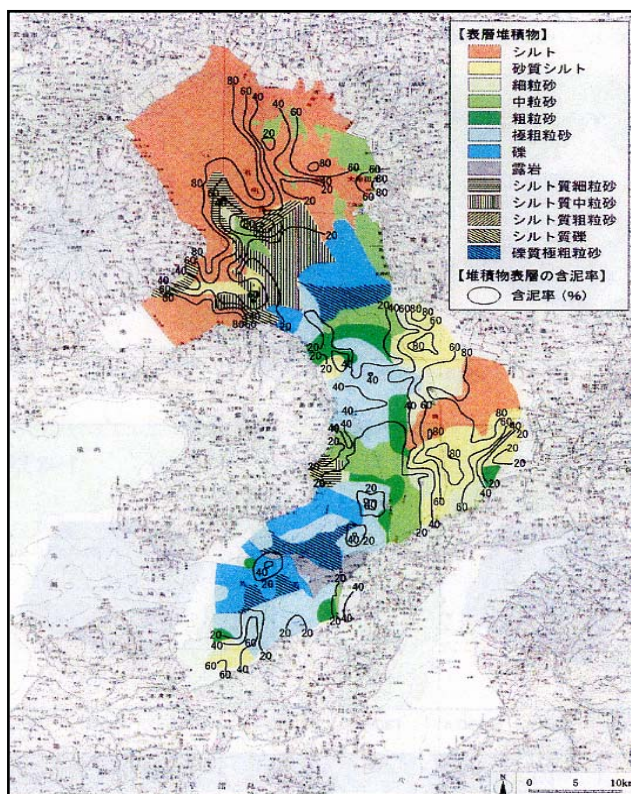


図 3. 4. 1 有明海の底質分布

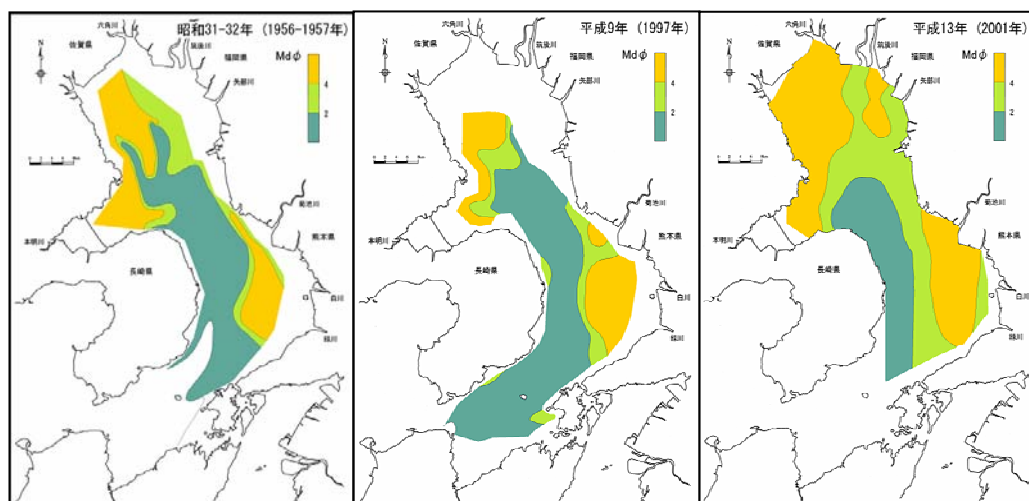


図 3. 4. 2 有明海の底質分布（中央粒径値）の変化

有明海では、水深0m～5mと40m以深の面積が減る一方、水深10m～30mの分布が増え、水深が平均化している（別添資料11）。

また、海底堆積物の珪藻類や赤潮シストの変化等から、有明海の富栄養化は少なくとも40～50年前から進行したと考えられる（図3.4.3）。熊本沖（潮目のところ）では硫化水素臭を伴う泥が20～30mm堆積し（別添資料12）、また、大浦沖・諫早湾口では1～4mのシルト質の底泥が堆積している（別添資料13）。堆積速度（年間約1～5mm）からみて底質の泥化は以前（熊本沖（堆積速度は年間約1mm）では20～30年前）から始まったとみられる。

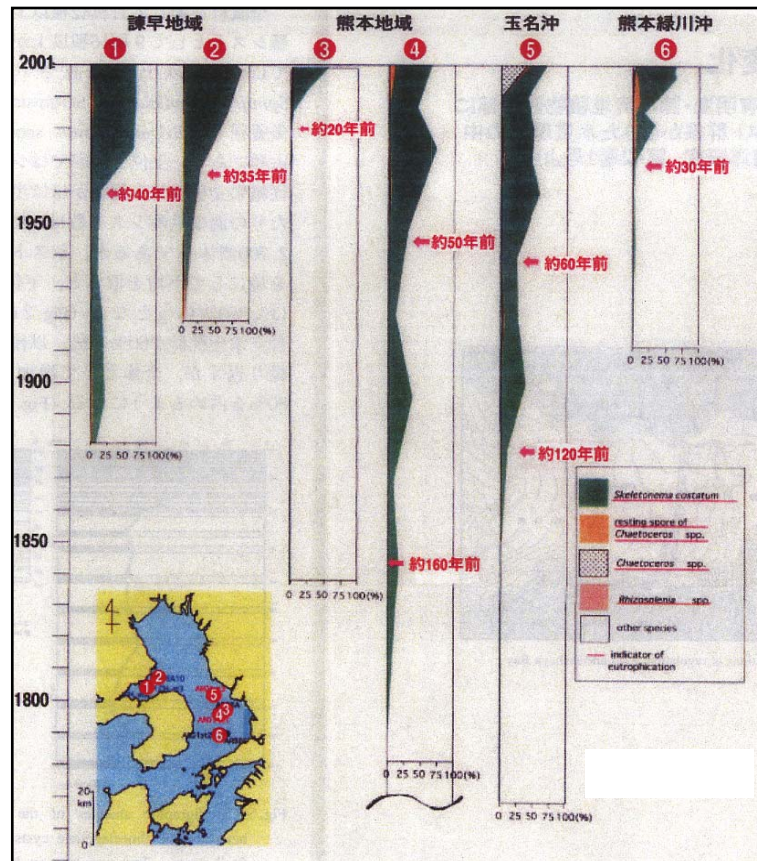


図 3.4.3 海底堆積物中に含まれる富栄養化を示唆する珪藻属・種の出現頻度の変遷（中原 2002MS）

(2) 八代海の底質

シルト層が湾奥部、日奈久以南の湾東部および天草下島東部に分布する。樋島から御立岬以北では球磨川河口からの極細粒砂が広がるのに対して、以南では細粒砂、南端の瀬戸（黒の瀬戸）付近では中粒砂より荒い砂が分布する（図3.4.4）。八代海においては、北部湾奥域における底質の細粒化、泥化が指摘されている。

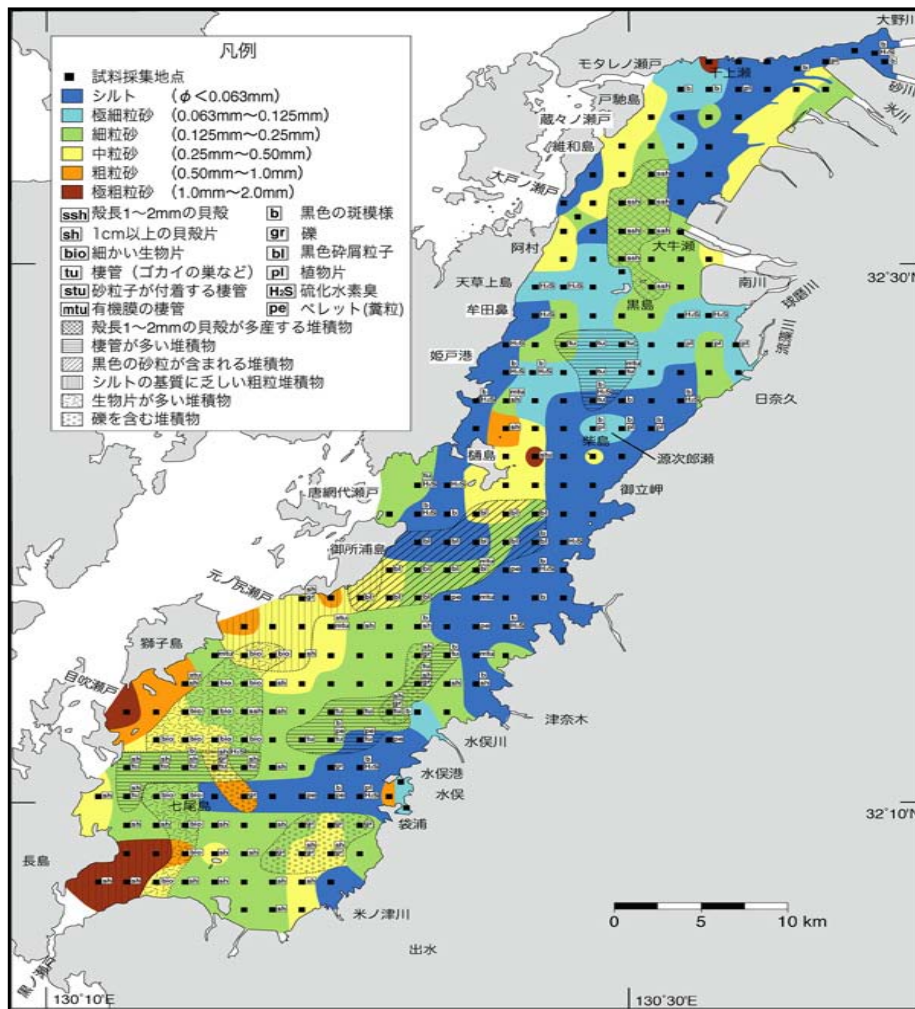


図 3.4.4 八代海の表層堆積物の分布図

(3) 有明海、八代海における底質中の重金属・有害化学物質

環境省等が実施した調査によると、有明海・八代海の底質中の重金属（総水銀、カドミウム、鉛、亜鉛、砒素）の測定値は、東京湾、大阪湾、三河湾及び伊勢湾の既往値と同等以下であった（別添資料 14）。また、有明海の底質中に含まれるトリブチルスズ化合物、トリフェニルスズ化合物、トリフェニルスズ化合物、ノニルフェノール、4-*t*-オクチルフェノール、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、PCB、17β エストラジオール、農薬（ピリダフェンチオン、ブタクロール、1,2-ジクロロベンゼン）についても東京湾、大阪湾、三河湾及び伊勢湾の既往値と同等以下もしくは不検出であった（別添資料 15）。

5. 潮流・潮汐

【潮位の変動】

(1) 有明海について

ア) 潮位の状況

潮汐は主に月と太陽の引力から生じる異なる周期を持つ分潮で構成され、 M_2 分潮（主太陰半日周潮）、 S_2 分潮（主太陽半日周潮）、 O_1 分潮（主太陰日周期）、 K_1 分潮（日月合成日周期）を主要 4 分潮と呼ぶ。月の引力による分潮は月の昇交点の黄経の周期変化（約 18.6 年周期）の影響を受けて振幅や位相が毎年変動する。有明海では湾口から湾奥に向かって潮位差は増大するが（表 3.5.1）、これは有明海の固有振動周期が半日周期に近く、半日周期の外洋潮汐と湾内水が共振現象を起こすためである。有明海の最も大きな成分は M_2 分潮であり、 S_2 分潮がこれに次ぐ（表 3.5.2）。湾奥の潮位差の増大には湾の固有振動による半日周潮（ M_2 分潮+ S_2 分潮）の増幅が大きく関与する。なお、有明海の潮位変動の解析に際しては以下の点に留意する必要がある。

- ① 環境問題との関係を見るには、分潮振幅の変化だけではなく、実際の振幅変化（分潮振幅に 18.6 年周期の変化（係数 f）をかけたもの）を考える必要があること
- ② 実際の潮位には気象・海象等の要因が加わり、潮汐変動以外に特異な変動が含まれること
- ③ 潮汐振幅の減少要因については、1) 海水面積の減少、2) 平均水位の上昇、3) 外洋潮汐振幅の減少の 3 つの要因に整理されて議論されていること

表 3.5.1 有明海各地点の潮位差

地名	潮差	平均潮差 cm	大潮差 cm	小潮差 cm
富岡	同	192	278	106
口之津	同	208	290	126
柳ノ瀬	同	238	338	138
三角	同	250	354	146
三島	同	294	406	182
大浦	同	315	453	178
大竹	同	316	454	178
三池	同	318	456	180
若津	同	322	458	186
住ノ江	同	344	494	194

表 3.5.2 主要分潮の潮汐調和定数(振幅)

地名	分潮	M_2		S_2		K_1		O_1	
		Han	K'	Han	K'	Han	K'	Han	K'
富岡	同	96	230	43	252	27	208	20	190
口之津	同	104	254	41	290	28	216	21	192
柳ノ瀬	同	119	252	50	287	28	220	20	197
三角	同	125	254	52	295	26	220	19	201
三島	同	147	258	56	299	25	219	20	204
大浦	同	158	266	69	302	29	222	22	201
大竹	同	158	259	69	299	29	220	22	203
三池	同	159	259	69	299	27	219	21	198
若津	同	161	262	68	301	25	228	20	193
住ノ江	同	172	267	75	306	27	221	22	206

イ) 潮位差の比較

湾奥ほど潮位差の年平均値とその変動幅の経年変化が大きく、大浦の潮位差は 1979 年頃（潮位差約 345cm）頃と 1995 年頃（同 337cm）に極大、1988 年頃（同 325cm）に極小をもつ変動がみられる（図 3.5.1 参照）。

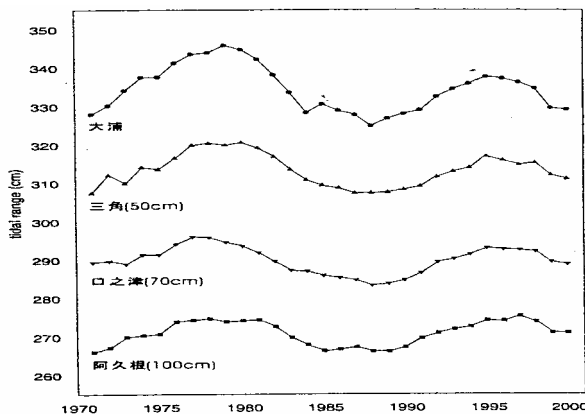


図 3.5.1 有明海内外の観測点における年平均潮位差の経年変化

大浦における年平均潮位差の変動は、 M_2 分潮の f と振幅自体の変動でほぼ説明でき、1979年の極大と1988年の極小の差(20cm強)は、 M_2 分潮の振幅と係数 f の変化(3.7%)から期待される変化とほぼ一致する。また、1979年の極大と1995年の極大の差(9cm、 M_2 分潮の振幅の2.9%に相当)は、大浦における M_2 分潮の振幅の減少率でほぼ説明できる。

潮位差減少への諫早湾の潮受堤防の影響については、1970年～2001年の大浦の年平均潮位差、大潮差の経年変化から明らかな変化は読みとれなかったという報告(図3.5.2)があるが、数値シミュレーションでは潮受堤防により潮位差は減少し、その影響は湾奥ほど大きく、最奥の住ノ江では約2.5%の減少となった(図3.5.3)

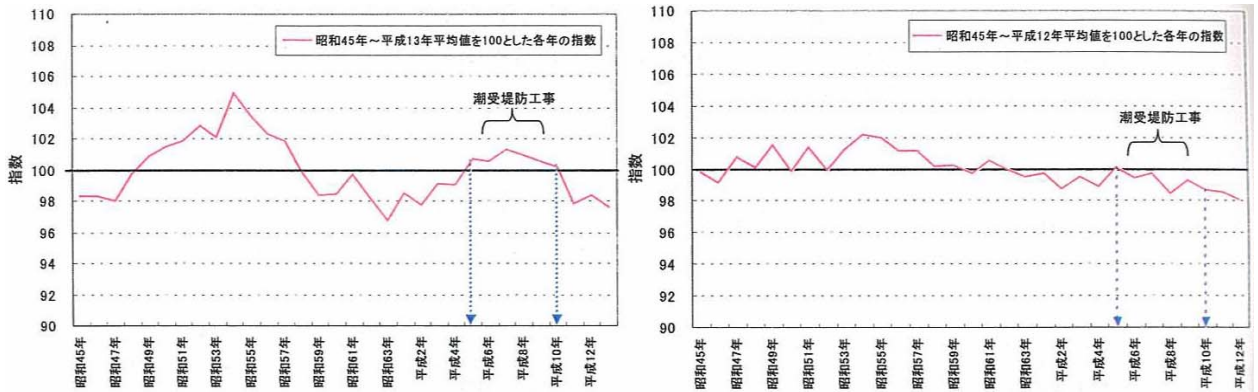


図 3.5.2 大浦検潮所における年平均潮位差と大潮差の推移

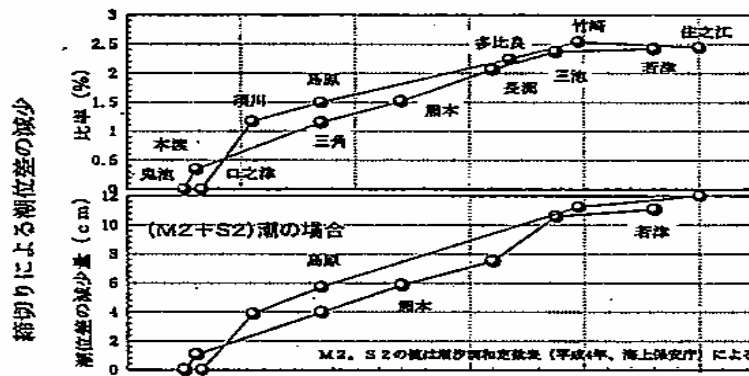


図 3.5.3 諫早湾締め切りの潮位差への影響

ウ) M_2 分潮振幅の比較

データ解析から、大浦の M_2 分潮振幅は1980年～99年の間に約4%減少しているが、この減少は口之津のほか外海でもみられる(図3.5.4)。

諫早干拓事業開始から潮受堤防締め切りまでの間に大浦から口之津に至る M_2 分潮振幅の増幅率が約1.54から約1.52に減少しており、この減少は干拓事業に伴う地形変化が原因との報告(図3.5.5)がある一方、口之津を1とした場合の大浦の M_2 分潮の振幅の増幅率に明らかな変化は読みとれなかったとの報告もある(図3.5.6)。

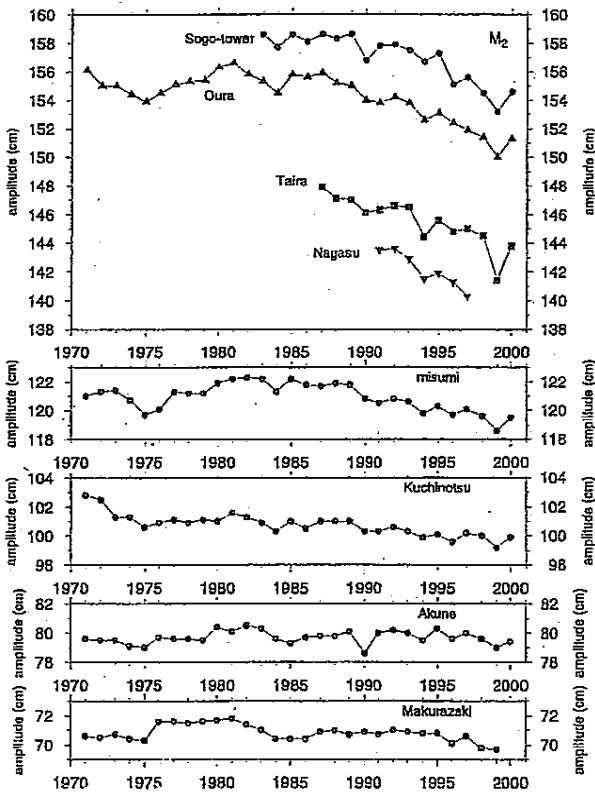
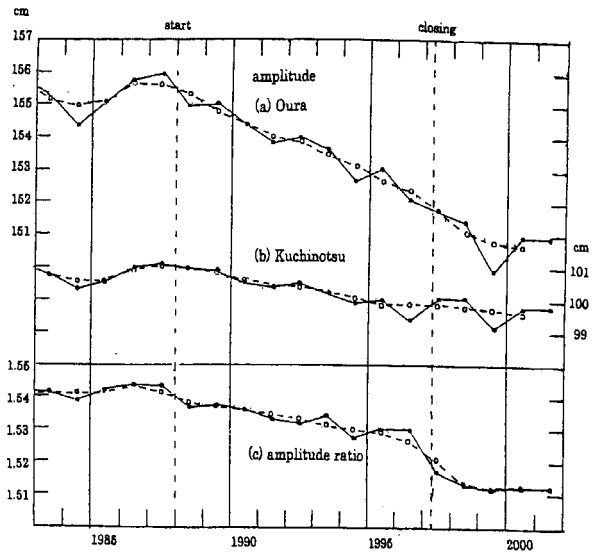


図 3.5.4 M₂分潮の調和定数（振幅）の経年変化



- 注) 1. (a)は大浦、(b)は口之津の M₂ 分潮振幅を示し、(c)は振幅比、すなわち増幅率を示す。
 2. 実線は観測値、破線は3年間の移動平均値（短周期ノイズを消すために実施）である。
 3. 縦の破線は、諫早湾干拓事業の開始と潮受け堤防による締め切り。

図 3.5.5 大浦と口之津の M₂ 分潮振幅の経年変化

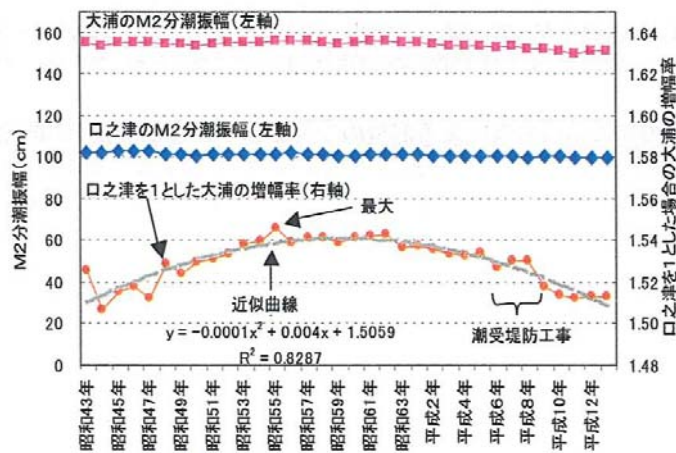


図 3.5.6 口之津検潮所と大浦検潮所の M₂ 分潮増幅率の経年変化

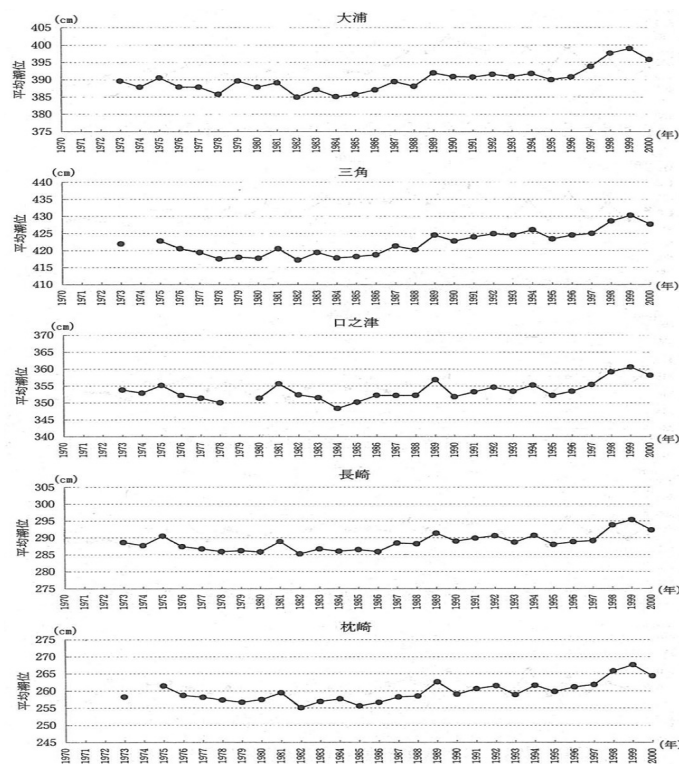
M₂ 分潮振幅減少の要因としては、有明海内の海水面積の減少（内部効果）、平均水位の上昇（外部効果）、外洋潮汐振幅の減少（外部効果）などが挙げられているが、その影響度合いに関する見解は異なる（表 3.5.3）。

表 3.5.3 M₂分潮振幅減少に関する各要因の寄与率に関する見解

要因 \ 見解	見解 1	見解 2	見解 3	見解 4
有明海内の海水面積の減少	50%	40~50%	潮受堤防の締切 10~20%	諫早堤防：24% 熊本新港：2%
平均水位の上昇	10%	極めて小さい	—	0%
外洋潮汐振幅の減少	40%	50~60%	—	76%

エ) 有明海の潮位の上昇

平均潮位は有明海及び外洋の長崎や枕崎で近年上昇している。



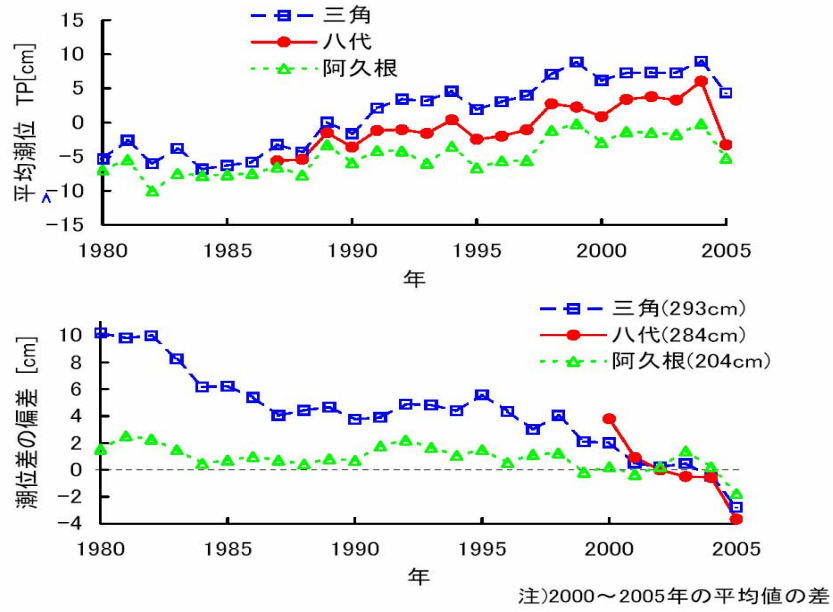
(出典：気象庁、潮汐概況・潮汐観測原簿・気象庁データより)

図 3.5.7 年間の平均潮位の水位

(2) 八代海について

ア) 潮位の変動

八代海の潮位観測点は数少ないが、1980年以降、有明海と同様に平均潮位の上昇と潮位差の減少傾向が観測されている(図3.5.8)。八代海の潮汐による潮位変動特性(湾振動)にかかる詳細な知見は少ないが、外洋からの入射波周期に対する八代海の各点での振動応答を2次元の数値計算よりに算定した結果によると、八代海の湾振動周期は約3時間であり、八代海の長軸方向の固有振動周期である。また、9時間以上の振動応答は、有明海の固有周期による影響であり、八代海と有明海の潮汐流動の調査に際しては相互の影響についても考慮する必要がある。(図3.5.9)



[出典]
三角、阿久根: JODC
八代: 国土交通省九州地方整備局
(データは日平均値の年間平均)

図 3.5.8 八代海における平均潮位及び潮位差の年変動

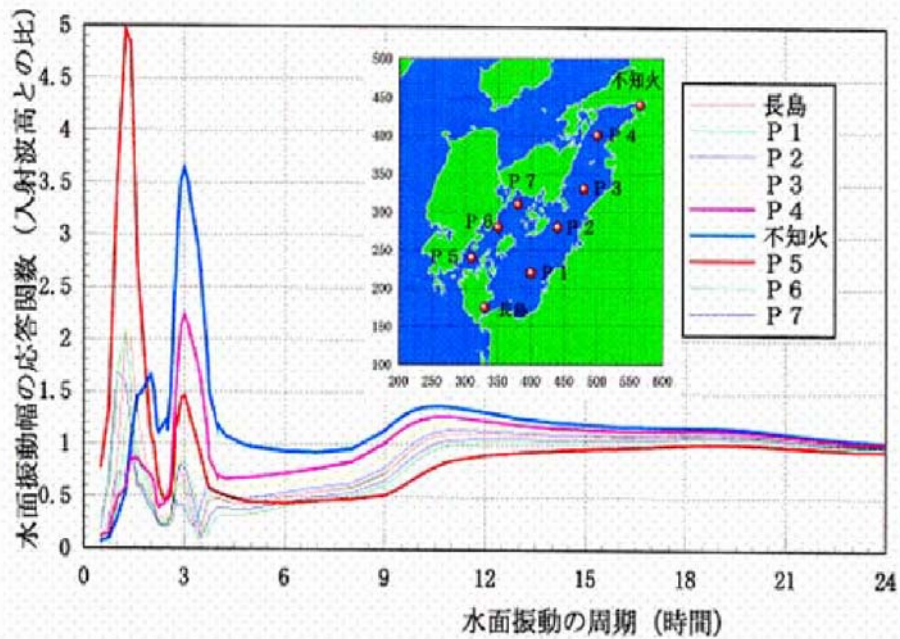


図 3.5.9 八代海における水面振動幅の応答関数

【潮流の変動】

潮流は潮汐による海面昇降を起こす海水の水平方向の往復運動であり、潮汐と同様な周期成分で構成される。沿岸では周囲海水が同じ密度であるときには上層から下層まで同じ方向にほぼ同じ潮流となるが、密度成層が発達すると、流れに差が出ることもある。潮流により運ばれる水粒子は、一周期終わっても元の位置に戻らず、実際の湾ではややずれた位置にたどり着く。この流れを潮汐残差流と呼ぶ。長期の物質輸送には潮汐残差流などの一方向流が重要な役割を果たす。内湾での潮汐よりも長周期の流れには、河川流入水による流れ、風による流れ、上下層の密度差による流れ等も寄与し、恒流や平均流と呼ばれる。また、岸近くの干潟部などでは滞筋に沿った流出入が起きるなど地形の影響を強く受ける。

(1) 有明海の潮流について

ア) 潮流の状況

大潮平均流速分布は湾口部の早崎瀬戸で最大7ノットを超え、湾南部で2~3ノット、湾中央部で1.5~2ノット、湾奥部と沿岸部でも1~1.5ノットに達する。湾奥部でも強い流速を有するのは潮汐と同様に湾の共振による振動増幅及び水深減少のためと考えられている。また、浅海部の観測によると、湾奥河口域では滞筋に速い流れが出現している。

有明海では河川流入水の変動が大きく、恒流については不明な点も多いが、海上保安庁が作成した夏の表層での恒流の分布図によると、湾内には、湾南部、湾中央部、湾奥部にそれぞれ独立した流れが形成されている。湾奥部では東部の三池沖に北向きの流れが存在し、湾奥になるにしたがって北西に向きが変わり、全体として反時計回りの環流がみられるとされている。湾中央部では島原市北方と長洲町沿岸には湾奥に向かって0.4ノットの流入がみられる。一方、島原半島の沿岸で0.2~0.6ノット程度の明瞭な南下流が形成されている。この強い南下流は、その後の観測でも見いだされている。湾南部では全般的に湾口に向かう流れとなっている。有明海の流動は大きな潮位差に引き起こされる卓越した潮流が特徴的である。恒流としては島原半島側の南下流が明瞭で、湾全体として反時計回りの恒流が推察される。

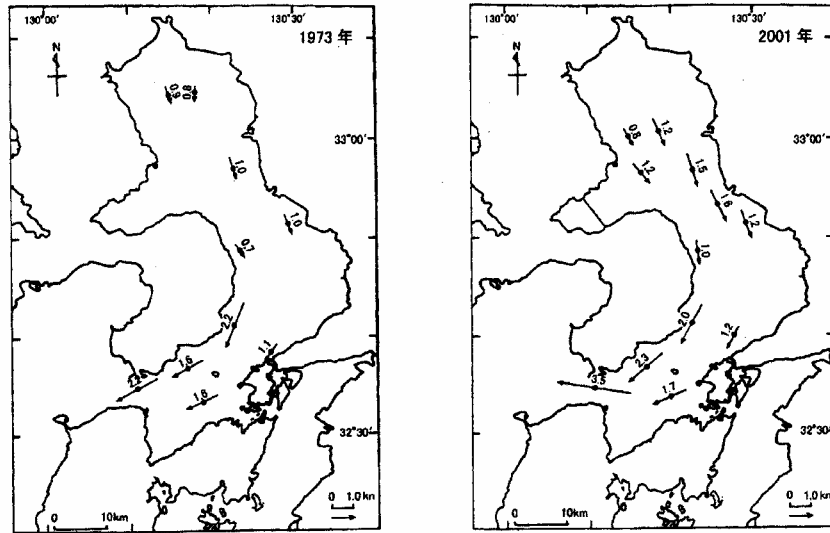
イ) 潮流の一斉調査

海上保安庁による1973年と2001年の2回の観測結果に明確な変化傾向は見られなかったが(図3.5.10、図3.5.11)、島原半島を南下する沿岸流の流速¹⁾は約1/3となるとともに、各測点の潮流鉛直分布も特徴的な変化²⁾が現れており、これは淡水流入条件による密度流の違いによる可能性が大きいこと等が報告されている。また、平均流については、場所によって15日平均よりも数日程度の短期変動の方が大きく、上下層での違いが顕著になる場合もあり、この変動が何に起因するのか検討する必要があること、場所や水深による違いも大きいと考えられるので3次元的な考察を進める必要があることが指摘されている。この2回の観測結果は、河川流入量や水温などの相違により密度流の効果が異なっていたおそれがあること等から、地形変化のみの効果を取り出して評価するまでに至っていないと考えられる。

1) 流速は15日間の平均流速(恒流)である。

2) 測点7(島原沖)の10m層の潮流は顕著な変化はないものの、3m層では流速が増加するなど、明らかな変化がみられた。測点4(三池沖)の潮流では、昭和48年では下層ほど増大するのに対し、平成13年では下層ほど減少していた。

一方、西海区水産研究所が実施した 2001 年 2 月の観測によると、25 年前の同時期の推定値と比較して、有明海全体(熊本県大矢野島諏訪原と島原半島有家町石田を結ぶ線以北)の流速は約 12%低い値を示したことが報告されているが(図 3.5.12)、両者の測定方法等が異なるので単純に比較はできない。



注) 各地点の潮流は平均流を含まず、平均大潮に換算されている。

図 3.5.10 1973 年と 2001 年の平均大潮時の海面下 3m における下げ潮流の比較

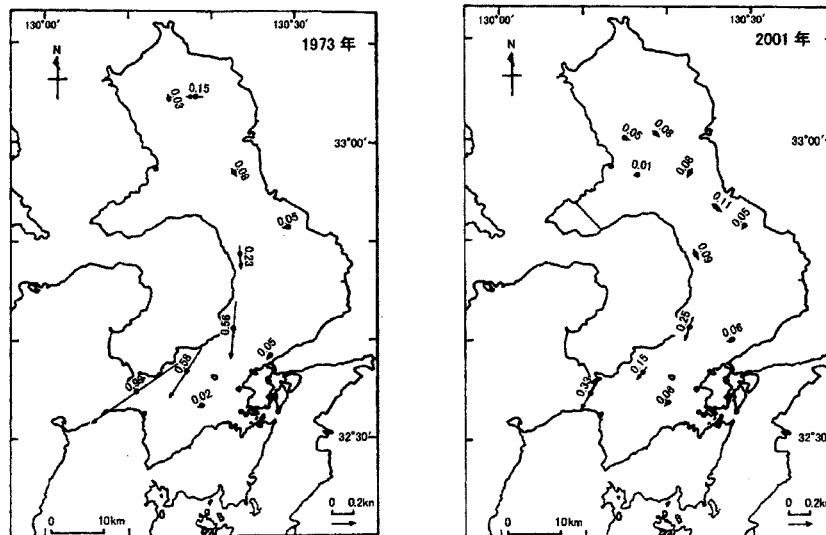


図 3.5.11 1973 年と 2001 年の 15 昼夜観測の平均流の比較

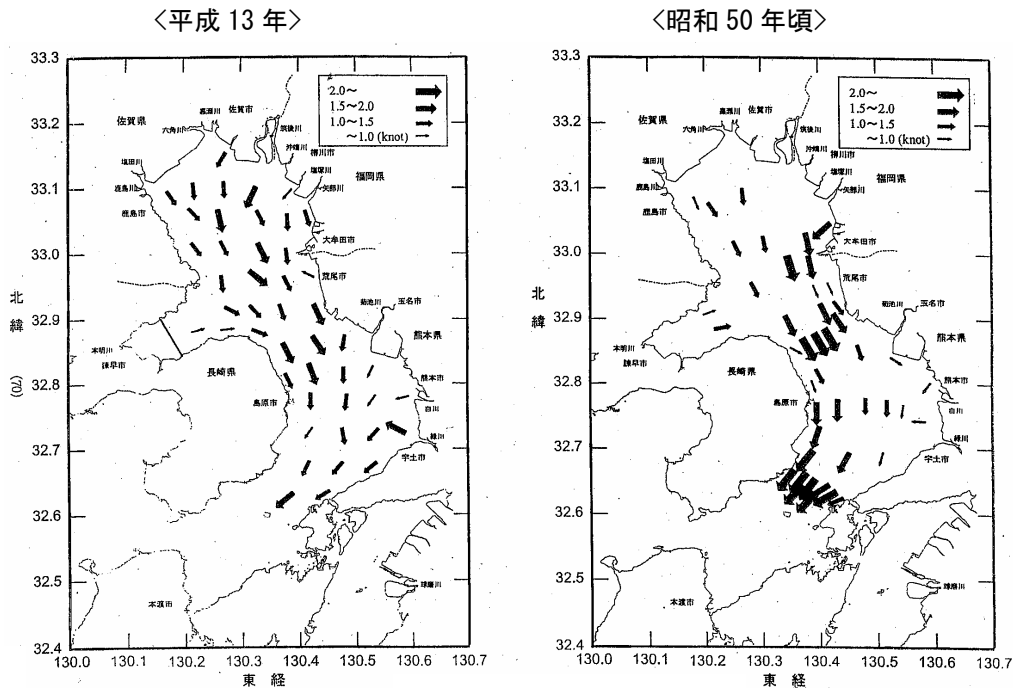


図 3.5.12 平成 13 年と昭和 50 年頃の下げ潮時の流速水平分布図

ウ) 潮流流速の変化要因とその影響

①潮流流速の変化要因

有明海の潮流に全体的な影響を及ぼす要因としては、1)干拓・埋立等による海面の減少、2)東シナ海全体の平均水位の上昇に伴う有明海湾内の平均水位の上昇、3)外海の潮汐振幅の減少があげられる。近年の有明海では、干拓、埋立等による有明海の海表面積の減少、有明海湾内の潮汐振幅（潮位差）の減少等から、流体力学の基本原理である連続条件（体積保存則）を満足するため、平均的にみれば潮流流速は減少する。例えば、諫早湾は締切により海面積が約 33%減少するので、諫早湾の湾口断面において入退潮量が 1 潮汐で 33%程度減少することになる（平均流速として約 6.3cm/s の減少）。有明—長洲ラインより奥部の面積減少率を約 4.9%とすると、入退潮量の変化による潮流流速の減少は、潮汐振幅の増加を考慮して断面平均で 5.0%程度（平均流速として約 2.4 cm/s の減少）の減少と概算される。

②潮受堤防による潮流流速への影響

諫早湾内における環境モニタリング結果から、湾奥部と湾中央部では堤防締切り後に流速が低下し、湾口部でも湾奥部や湾中央部ほど顕著ではないものの、流速が低下する傾向がみられたが、諫早湾外では観測年によるデータのばらつきが大きく、変化の傾向も異なった（図 3.5.13）。また、シミュレーションによると、下げ潮時の流速は潮受堤防設置により諫早湾口北側の一部海域で増加、湾内から島原半島に沿った広い領域では減少するとの結果が得られている（図 3.5.14）。

島原半島沿岸部の観測結果(1993年と2003年)から、潮流流速は大きく減少(約21~27%)

し、この減少率は締切で減少した面積(約 3,667ha)が北部有明海(有明-長洲ライン以北、約 75,435ha)に占める割合(約 5%)と比して大きく、諫早湾への水塊の流出が島原半島沿岸で集中的に生じることが示唆されるとの報告がある(図 3.5.15)。

他方、シミュレーションによると、潮受堤防による最大潮流速度の変化は、堤防前面で 0.3~0.4m/s の減少、諫早湾外北側の地点で僅かに増速(0.0~0.1m/s)する部分がある以外は、有明海全体で最大潮流速度の変化は非常に小さい(0.0~0.1m/s の減速)とされている(図 3.5.16)。

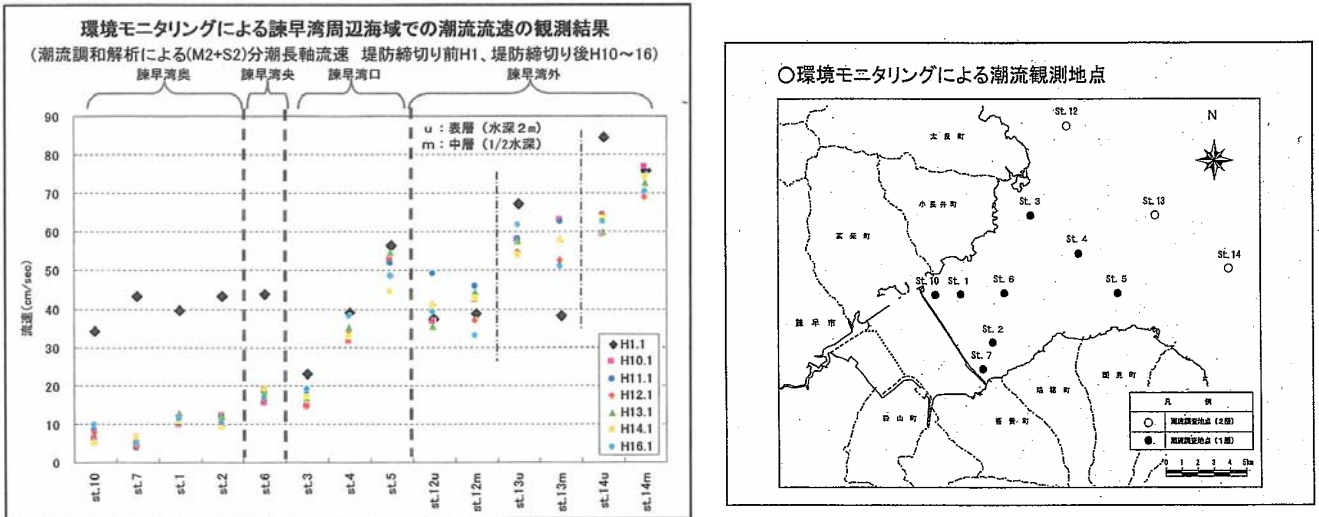


図 3.5.13 環境モニタリングによる諫早湾周辺海域での潮流流速の観測結果

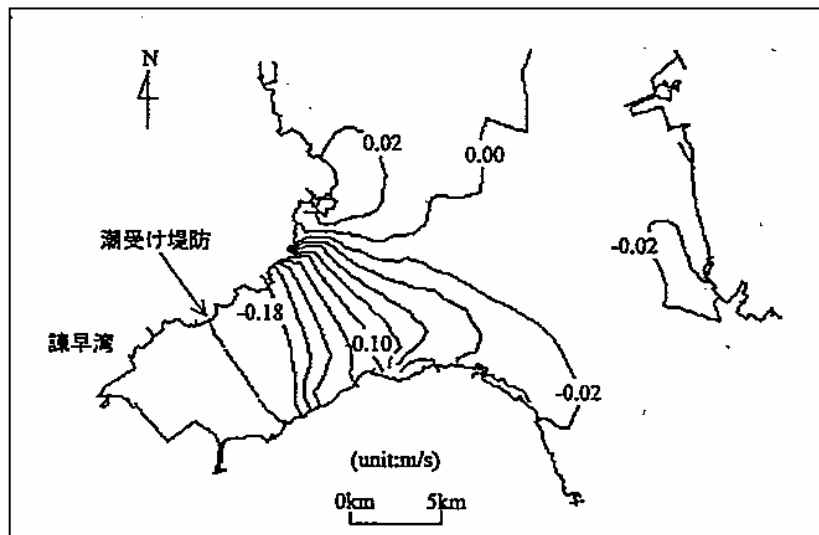
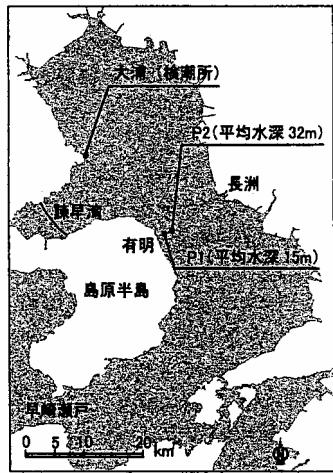
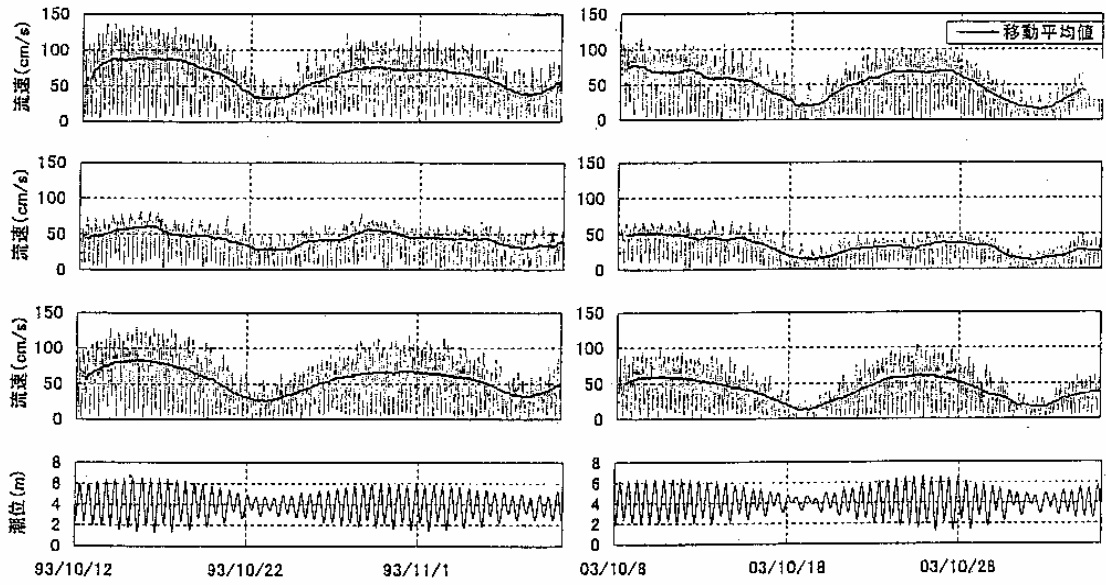


図 3.5.14 下げ潮時の流速強度に関する締切り前後の差



注) 1. 左図は1993年10月12日～11月1日、右図は2003年10月9日～11月7日
 2. 上段より、P1(水深5m)、P2(水深5m)、P2(水深20m)における水平流速の絶対値、潮位

図 3.5.15 観測結果の時系列

[観測実施位置の概略図]

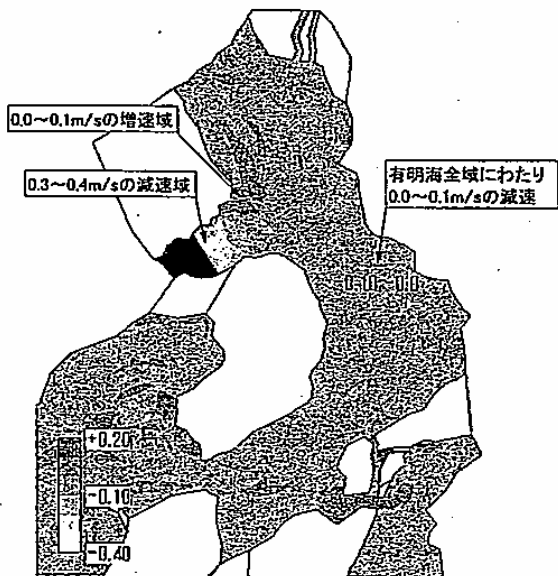


図 3.5.16 最大潮流速度の偏差分布 (潮受堤防の影響)

③ノリ養殖施設

ノリ養殖施設の影響については、シミュレーションの結果、湾中央から湾奥にかけての海水の流動が小さくなる傾向にあること（図 3.5.17）、最大潮流速度はノリ網設置地域で 0.3~0.5m/s の減少、湾奥中央部で 0~0.1m/s の増加（別添資料 16）が報告されている。また、有明海湾奥部における潮流と浮泥輸送に関する数値実験結果から、ノリ養殖域やその沖側前面部分ではノリ養殖施設の流体抵抗によって、潮流流速や浮泥濃度が低減、抵抗が小さい船通し部分で上昇し、ノリ養殖施設が潮流や浮泥輸送の空間構造に影響している可能性が示されている。なお、ノリ網の柵数については 1970 年以降は減少傾向にある。

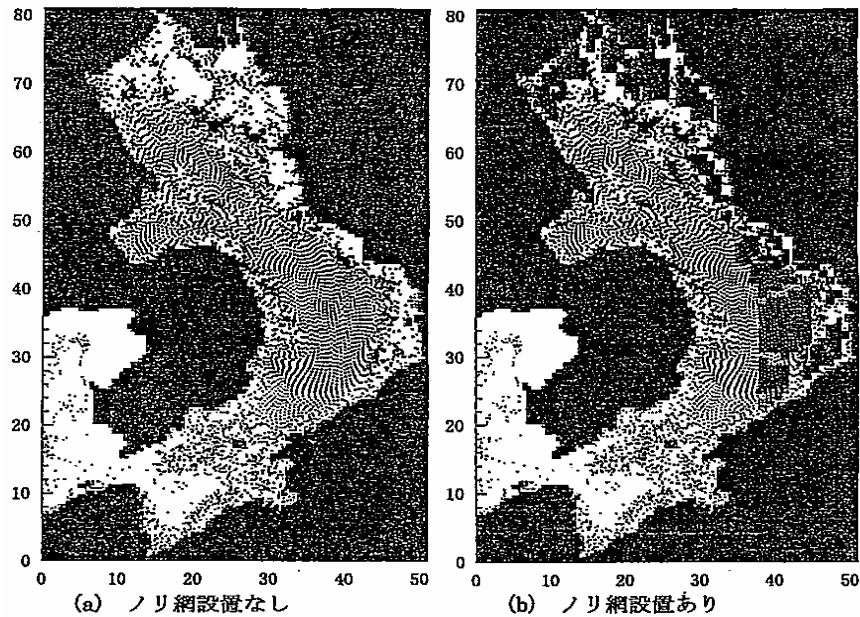


図 3.5.17 ノリ網設置の有無による流況変化（粒子追跡開始 3 潮汐後）

④港湾

熊本港建設による影響については、数値シミュレーションの結果、港の周辺で 20~30cm/s の流速変化があり、潮位差への影響は港の周辺で±2cm 程度との報告がある（別添資料 17）。

(2) 八代海の潮流について

八代海は九州本土と天草諸島・長島に囲まれ、本渡瀬戸・三角瀬戸・満越瀬戸を通じて有明海と繋がり、長島瀬戸や黒之瀬戸を通じて東シナ海と繋がっている。外洋水は長島瀬戸と黒之瀬戸から流入し、流入量は黒之瀬戸に比べて長島瀬戸は 4 倍である。有明海と通じる三角瀬戸、満越瀬戸、本渡瀬戸では海水の交流は少ない。干満差は湾奥で 4m 以上となり、このため長島瀬戸での潮汐流速は、大潮時には約 8 ノットにもなる。

東流及び西流時に長島瀬戸等の湾口部で流速が早く、北部海域ではその数分の 1 程度の流速である（別添資料 18）。これらの流況は数値計算によってもある程度再現されており、

特に線流量の残差流は八代海湾中央部の東岸から湾奥部での流量が小さく、潮汐流動に伴う海水流動が停滞する傾向にあることが算定されている。(図 3. 5. 18)

また、これらの流況は、河川流入水の影響によっても変動し、河川流量がある場合、満越瀬戸や長島瀬戸を通じて流出するような残差流となる。

潮汐残差流（線流量）

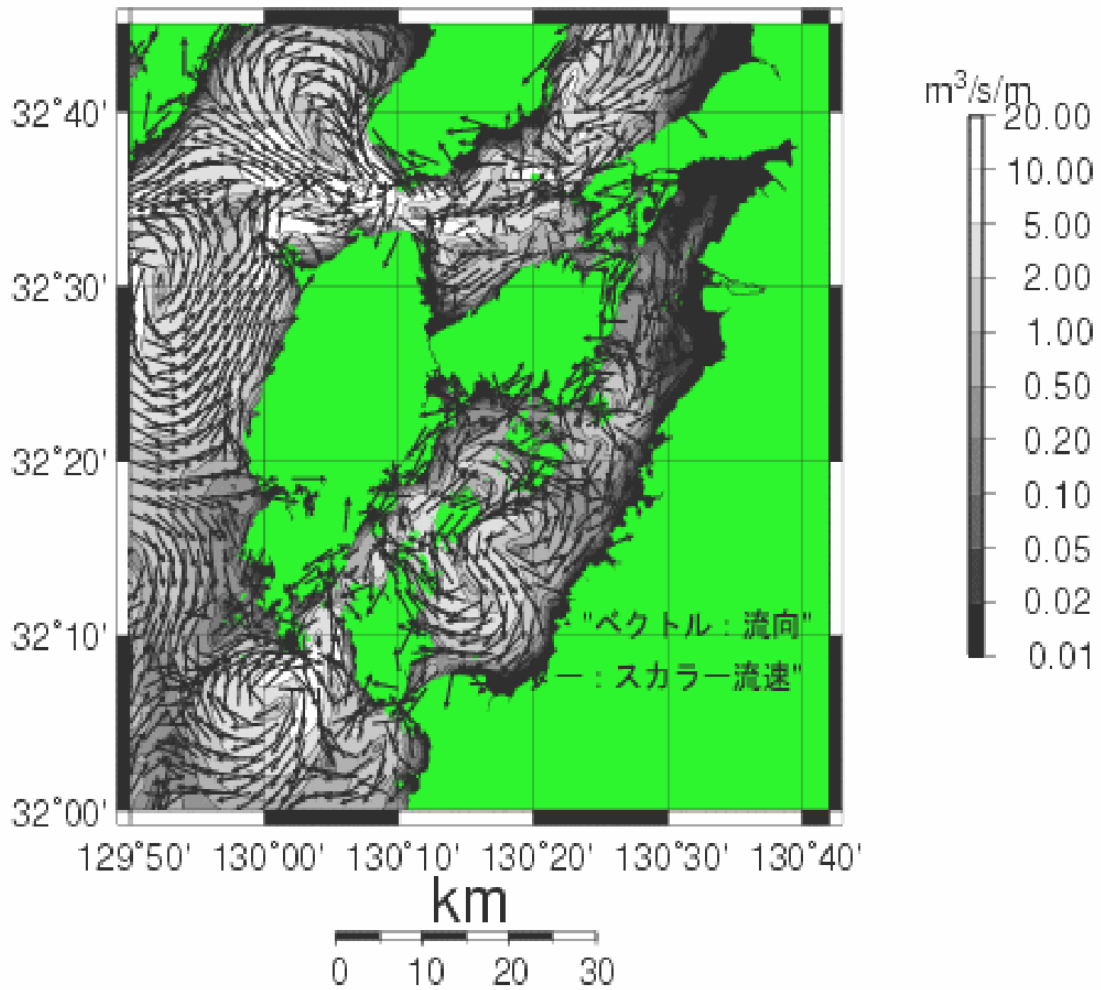


図 3. 5. 18 八代海における潮汐残差流

6. 貧酸素水塊

(1) 有明海

農林水産省（農村振興局・水産庁）と環境省が連携して実施した広域連続観測の結果、有明海の貧酸素水塊は、湾奥西部の干潟縁辺域と諫早湾内において、小潮から中潮期を中心に別々に発生することが判明した（図 3.6.1）。

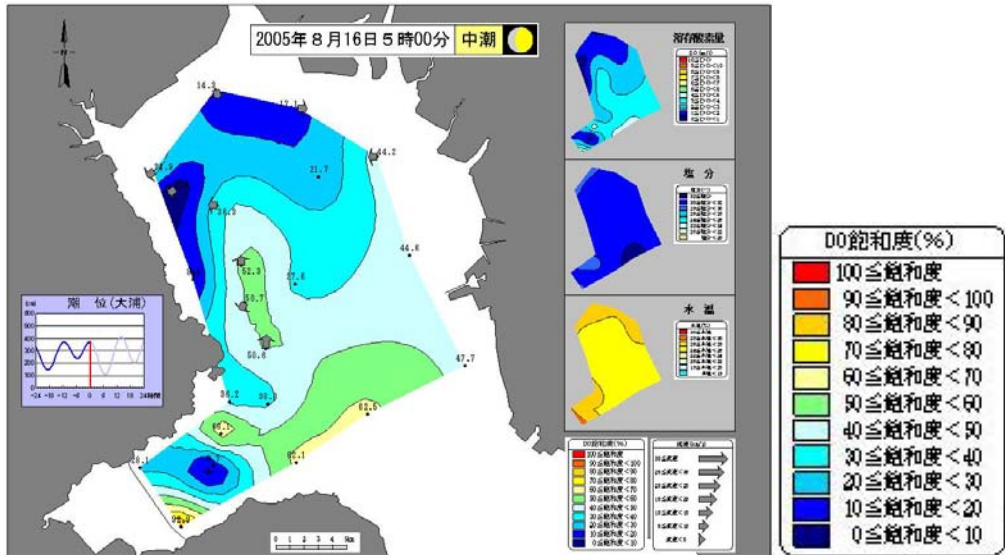


図 3.6.1 貧酸素水塊調査結果：2005年8月16日午前5時

有明海湾奥部の干潟縁辺域において、成層期（夏季）の小潮時に流速が低下して海水の移動・混合が減少すると、躍層の上で赤潮が発達するとともに、躍層の下では貧酸素状態が生じる（別添資料 19）。赤潮が終息して大量の有機物が底質に供給されて還元状態が進行し、底泥・底層水の酸素消費により急速に貧酸素化する。さらに、底生生物の斃死により底質悪化と貧酸素化が進行し、底層水は無酸素状態となる。沖合域（水深 10m 以深）においては、潮汐の影響は浅海域ほど小さくなく、夏季に成層が形成されると底泥・底層水の酸素消費により徐々に貧酸素化し、台風等の攪乱が起きるまで貧酸素化が持続する。沖合域では浅海域に遅れて貧酸素化が起こり（図 3.6.2）、小潮時に浅海域で形成された貧酸素水塊が潮汐により干潟域及び沖合域へ移流・拡散しているものと推察される。有明海湾奥部における貧酸素水塊発生の様式図を図 3.6.3 に示す。

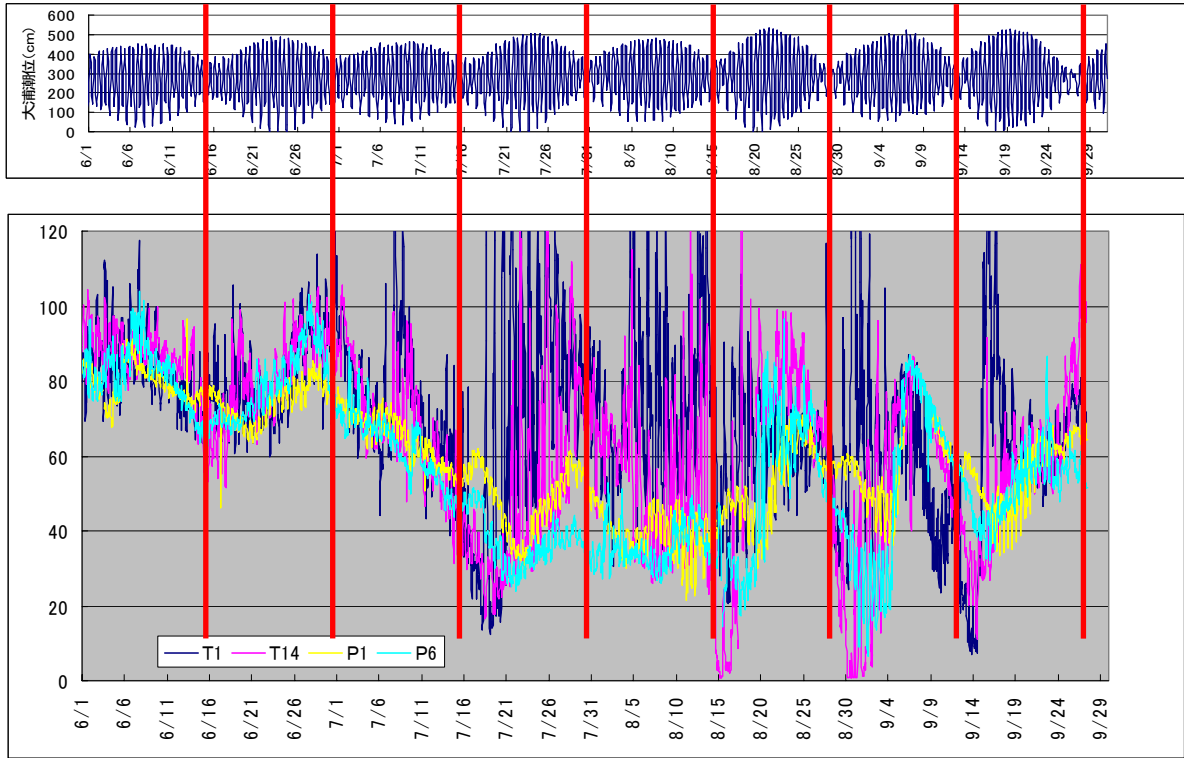


図 3. 6. 2 浅海域 (T1、T14) と沖合域 (P1、P6) の DO 飽和度の推移

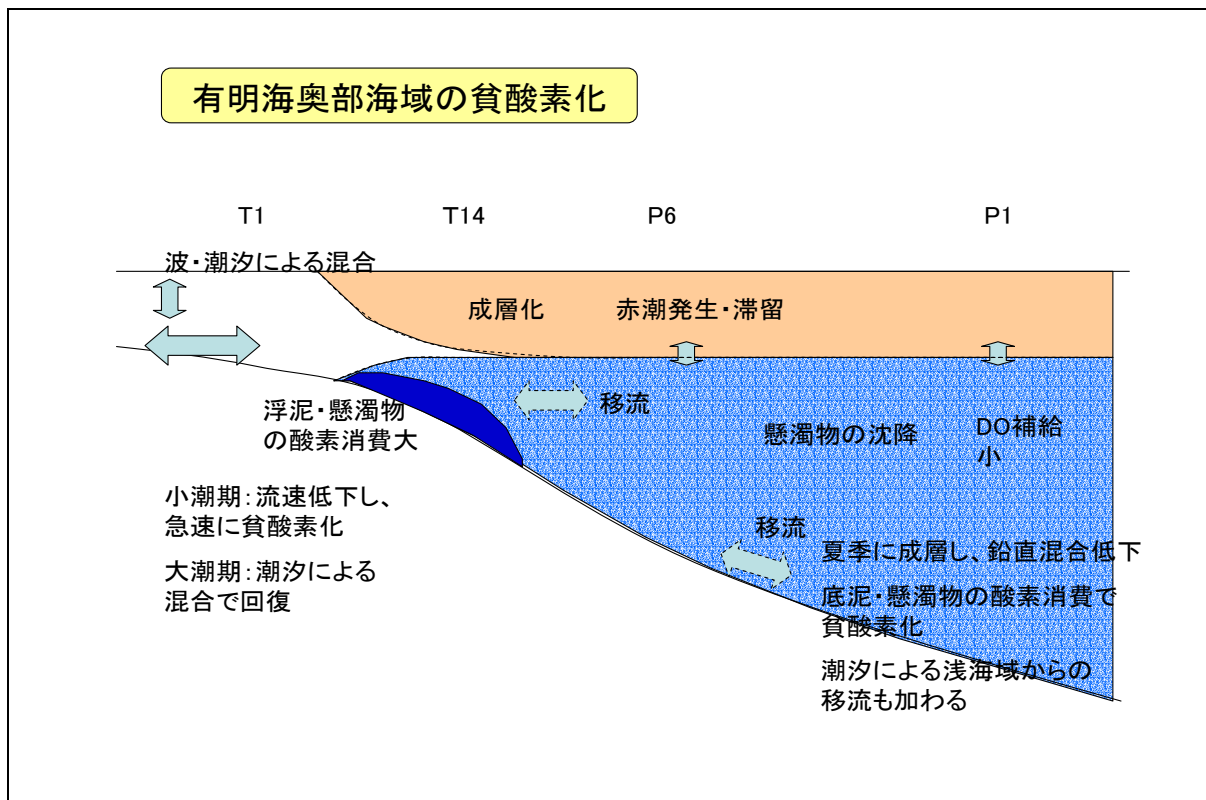


図 3. 6. 3 有明海湾奥部における貧酸素水塊発生の模式図

(2) 八代海

八代海では貧酸素水塊は確認されていない。熊本県が実施している八代海定線調査において、湾奥部の溶存酸素濃度は2月に増加傾向、8月に減少傾向がみられる(別添資料20)。これらの要因として、冬季の珪藻赤潮の発生、夏季の水温上昇や有機物負荷量の増加傾向が指摘されている。

また、水質断面調査の結果、2003年9月に湾奥部(St.3)の底層を中心に、溶存酸素量が4.0mg/Lを下回る値が確認されている(図3.6.4)

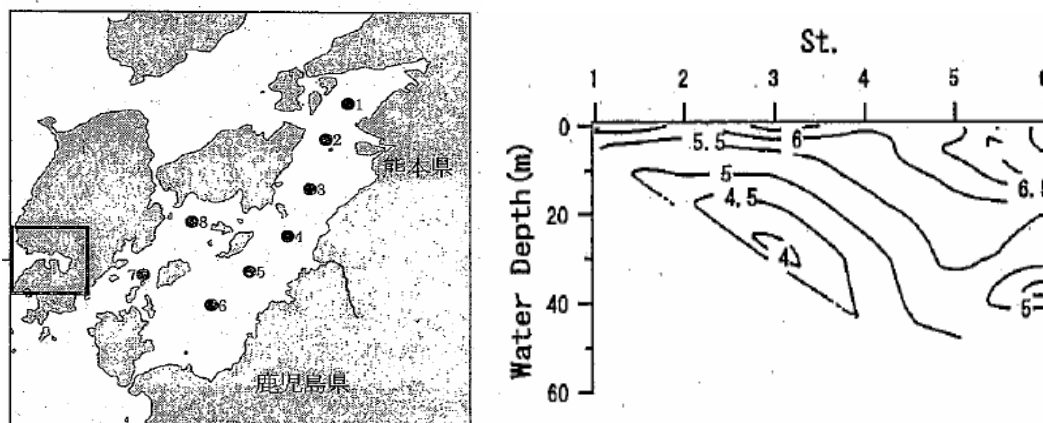


図 3.6.4 水質断面調査定点 (左図)、2003年9月16日のDO (mg/L) 分布 (右図)

7. 藻場・干潟等

(1) 有明海の藻場・干潟

環境省自然環境保全基礎調査(表3.7.1)によると、1978年度調査から1989~1991年度調査の間に、有明海の干潟は22,070haから20,713ha(6.1%減)、藻場は2,066haから1,640ha(20.6%減)に、各々減少している(諫早干拓により消失した干潟(1,550ha)を第5回調査時の干潟面積から減じると、18,841haとなり、14.6%減となる)。

(2) 八代海の藻場・干潟

同じく自然環境保全基礎調査(表3.7.1)によると、八代海の干潟は4,604haから4,405ha(4.3%減)、藻場は1,358haから1,339ha(1.4%減)に、各々減少している。

上記調査のほか、八代海においては、水産庁・関係県が詳細な調査(環境省調査では対象外となる小規模な藻場・干潟を含む)を1977~1978年度、2003年~2005年度に実施した(図3.7.1)。本調査によると、八代海の干潟は5,430haから4,689ha(14%減)、藻場(アマモ等の海草^(注))は295haから191ha(35%減)に大きく減少していた。干潟の主な減少海域は、球磨川河口域を含む東岸北部であり、全体の減少分の約6割を占めた。アマモ場は天草松島海域で減少面積が大きく、また、東岸北部では濃生していたアマモ(ナガモ)が消失し、代わってコアマモが斑状に広く疎生していた(藻場面積は増加)。

球磨川河口域にはアマモ(ナガモ)、アカモク、オゴノリが広い範囲で密生していたとされているが(聞き取り調査)、現在、同海域にはコアマモが疎生しているのみである。

アマモは1970年頃から減り始め、1975年頃に急速に減少したと指摘されていることから、1977年の調査時点ではすでに藻場が大きく減少していたと推測される。

表 3.7.1 自然環境保全基礎調査（海域）結果の概要

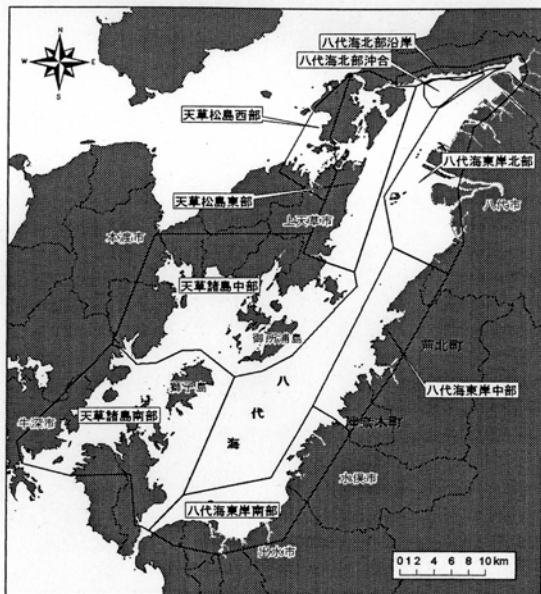
◆現存干潟の面積(ha)

	第4回調査				第5回調査 H8~9
	S53 (A) *1	H1~3 (B)	(A)-(B) *2	減少率	
全国	55,300 (100.0%)	51,443 (100.0%)	3,857	7.0%	49,380 (100.0%)
有明海	22,070 (39.9%)	20,713 (40.3%)	1,357	6.1%	20,391 (41.0%)
福岡県	3,137 (5.7%)	1,956 (3.8%)	1,181	37.6%	
佐賀県	9,612 (17.4%)	9,585 (18.6%)	27	0.3%	
長崎県	2,655 (4.8%)	2,606 (5.1%)	49	1.8%	
熊本県	6,666 (12.1%)	6,566 (12.8%)	100	1.5%	
八代海	4,604 (8.3%)	4,405 (8.6%)	199	4.3%	4,083 (8.3%)
熊本県	4,402 (8.0%)	4,203 (8.2%)	199	4.5%	
鹿児島県	202 (0.4%)	202 (0.4%)	0	0.0%	

◆現存藻場の面積(ha)*3

	第4回調査				第5回調査 H8~9
	S53 (A) *1	H1~3 (B)	(A)-(B) *2	減少率	
全国	207,615 (100.0%)	201,212 (100.0%)	6,403	3.1%	142,459 (100.0%)
有明海	2,066 (1.0%)	1,640 (0.8%)	426	20.6%	1,599 (1.1%)
長崎県	383 (0.2%)	383 (0.2%)	0	0.0%	
熊本県	1,683 (0.8%)	1,257 (0.6%)	426	25.3%	
八代海	1,358 (0.7%)	1,339 (0.7%)	19	1.4%	1,141 (0.8%)
熊本県	610 (0.3%)	593 (0.3%)	17	2.8%	
鹿児島県	748 (0.4%)	746 (0.4%)	2	0.3%	

[備考]
 ・()内は全国面積に占める割合
 *1 第4回調査の調査対象に合わせて、第4回調査時に第2回調査結果を取りまとめた値
 *2 昭和53年以降、第4回調査時(平成元年~3年)までに1ha以上消滅した面積
 *3 第2回、第4回調査は水深20mまで、第5回調査は水深10mまでを対象とした。



海 域	2003-2004年調査		1977年調査	変化量 面積(ha)	比率 2003-2004年/1977年	埋立 面積(ha)	比率 埋立/変化量
	面積(ha)	面積(ha)					
八代海北部沿岸	244.7	294.1	-49.4	83%	-15.5	31%	
八代海北部沖合	180.1	213.8	-33.7	84%	0.0	0%	
八代海東岸北部	2947.8	3379.1	-431.3	87%	-82.8	19%	
八代海東岸中部	122.4	170.0	-47.6	72%	-3.4	7%	
八代海東岸南部	357.9	377.8	-19.9	95%	-22.6	114%	
天草諸島南部	97.2	144.0 *	-46.8	62%	-25.0	53%	
天草諸島中部	204.4	257.6	-53.2	79%	-28.2	53%	
天草松島東部	263.9	273.5	-9.6	96%	-15.1	157%	
天草松島西部	270.9	320.3	-49.4	85%	-14.0	28%	
全 域	4689.2	5430.2	-753.0	86%	-206.6	27%	

海 域	2003~2005年調査		1977~1978年調査	変化量 面積(ha)	比率 2003-2005/1977-1978
	面積(ha)	面積(ha)*			
八代海北部沿岸	0.0	0.0	0.0	0.0	-
八代海北部沖合	0.0	0.0	0.0	0.0	-
八代海東岸北部	132.1	53.7	78.3	246%	
八代海東岸中部	1.3	23.3	-22.1	5%	
八代海東岸南部	0.1	6.0	-5.9	2%	
天草諸島南部**	7.7	4.8	2.9	161%	
天草諸島中部	6.2	24.0	-17.9	26%	
天草松島東部	16.3	88.5	-72.1	18%	
天草松島西部	27.3***	94.2	-66.9	29%	
全 域	190.9	294.5	-103.6	65%	

注) 海草は沿岸部の砂泥地に自生するアマモ、コアマモ等（なお、岩礁に自生するものは海藻と定義される）

図 3.7.1 調査区分（左図）、干潟面積（右上表）、藻場（海草^注）面積（右下表）

(3) 有明海における干拓の変遷

有明海では、江戸時代以前から干拓が続けられており（図 3.7.2）、これまでに全体で 260km²を超える面積の干拓が行われてきたが、その干拓速度は昭和後期に大きく増加した。

- ・ 江戸時代：415ha/10年
- ・ 明治～昭和10年代：435 ha/10年
- ・ 昭和20年～30年代：650 ha/10年
- ・ 昭和40年～50年代：1,950 ha/10年

有明海のうち佐賀平野沖や白石平野沖の干拓面積をみると、江戸時代 5,928ha (220 ha/10年)、明治時代 924ha (231 ha/10年)、大正時代 272ha (181 ha/10年)、昭和前半 (1955年まで) 730ha (243 ha/10年) と、10年当たり 200ha 前後の干拓が行われてきたが、1955年から1980年の間は 3,209ha (1,284ha/10年) と干拓速度が急増した[※]。

また、1997年には諫早干拓事業により 3,550ha の海域が有明海から失われ、1,550ha の干潟が消失した。

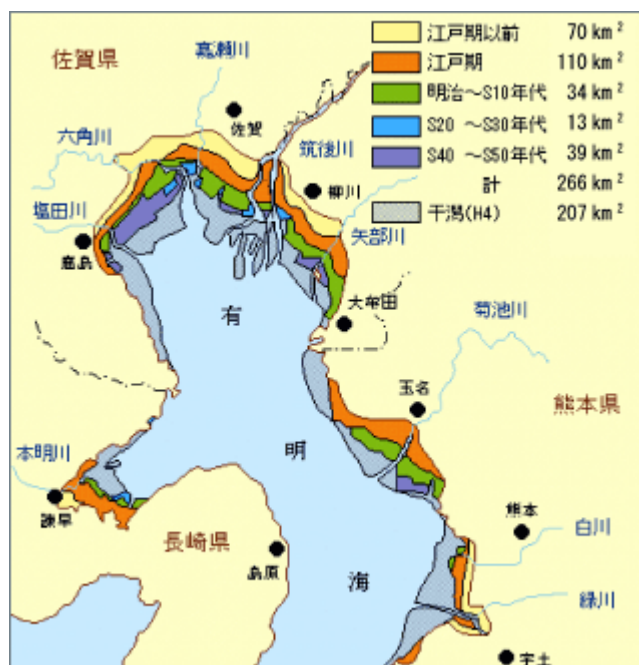


図 3.7.2 有明海における干拓の歴史

※ 研究代表者 中田英昭(2006)「有明海の環境変化が漁業資源に及ぼす影響に関する総合研究」“2. 堆積物から見た中長期的環境変遷:渦鞭毛藻シスト群集に残された有明海湾奥部の中長期的変化” P79

4) 有明海・八代海における自然海岸

有明海、八代海の自然海岸の延長は、1978年度調査時は各々100km、350kmであったが、1996～1997年度調査では89km、316kmに減少している（別添資料21）。有明海、八代海は人工海岸の比率が各々55%、45%と高く（全国平均33%）、特に熊本県の人工海岸線は59%に達し、大規模な港湾、臨海工業地帯を有する福岡県（同61%）とほぼ同じであり、人工海岸の占める比率の高さが指摘されている（別添資料22）。

8. 赤潮

赤潮生物は、種類によってその生理的・生態的性質は異なり、水産生物への影響も違うことから、各々の特徴を記した上で、赤潮発生の状況、赤潮による漁業被害の概況を以下のとおり整理した。

(1) 赤潮（種類別）の特徴について

ア) 小型珪藻（年中発生）

基礎生産者として重要であり、食物連鎖の根幹をなすので、これらの赤潮はある程度やむを得ないであろう。これらの種は、河川から栄養塩が供給されて塩分が減少し、強い照度を与える晴天が続くと底泥中の休眠期細胞が発芽、繁茂して赤潮となる。（図 3.8.1）。透明度の上昇は発芽機会の増加につながり、赤潮の増加の原因になると考えられる。

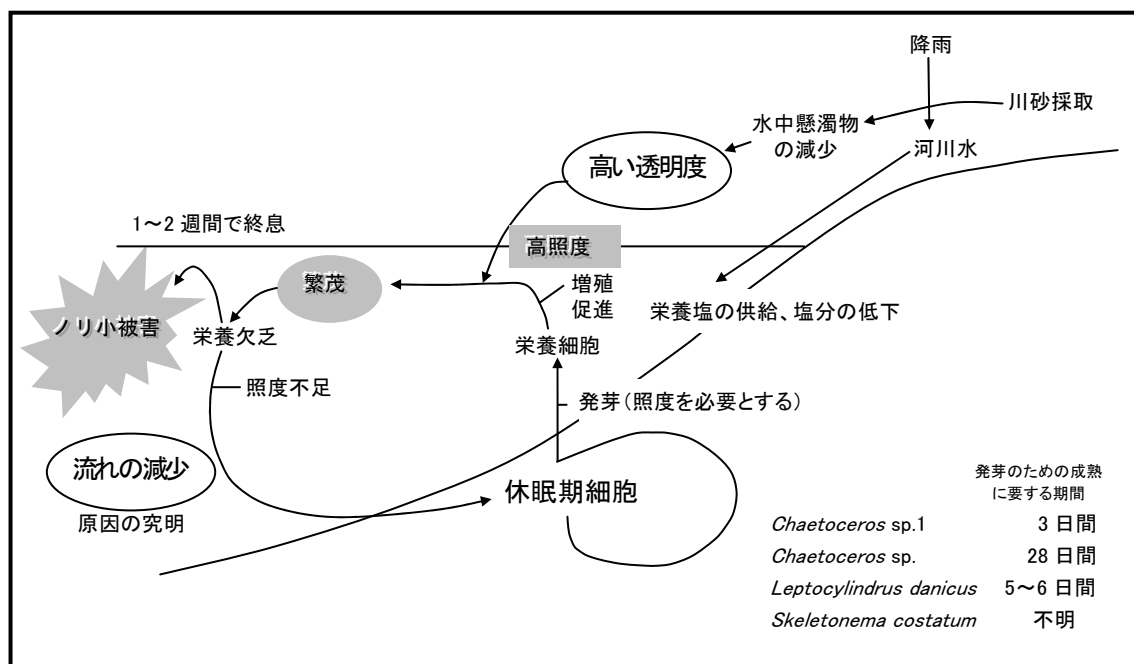


図 3.8.1 小型珪藻類の発生機構

イ) 大型珪藻 (秋季～冬季発生)

大型珪藻の *Rhizosolenia* 属は有明海において 1958 年、1965 年、1980 年、1996 年、2000 年に赤潮を形成してノリに被害を与えた。2000 年に有明海で大発生した *Rhizosolenia imbricata* は毎年観察され、2000 年前にも赤潮レベルに達した。*Rhizosolenia imbricata* は外海に生息し (休眠期細胞が発見されていない)、低塩分の夏季には湾内への進入が阻まれるが、高塩分状態 (30～35) になるときに湾内へ進入して高い日照条件下で大発生する。大型珪藻は特殊な環境条件が整った時に大発生する赤潮である (図 3.8.2)。

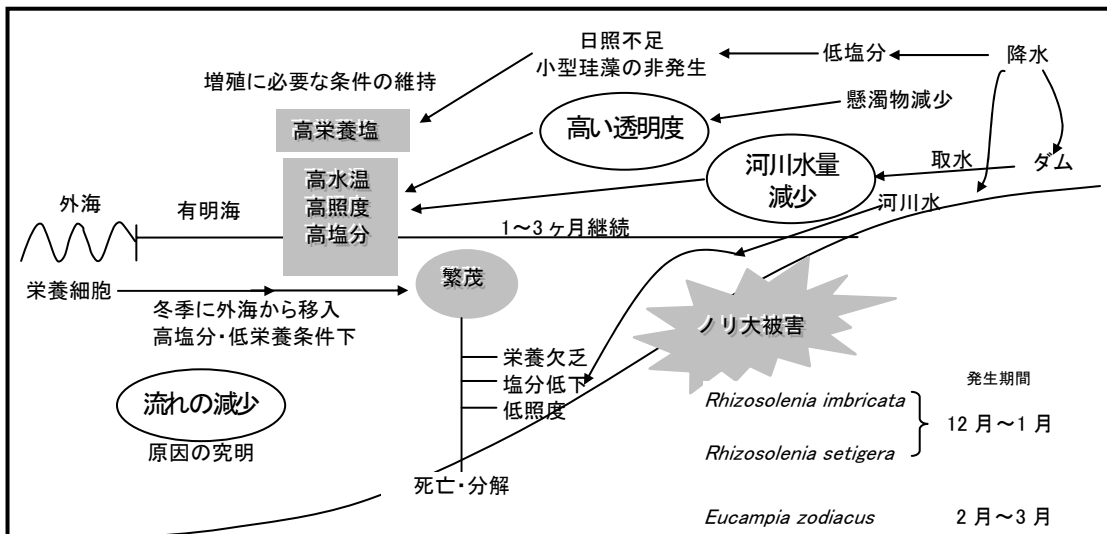


図 3.8.2 大型珪藻類の発生機構

ウ) ラフィド藻 (夏発生)

Chattonella 赤潮は、魚類と貝類に被害を与える。*Chattonella* 赤潮は有明海湾奥西部海域や諫早湾での発生が顕著であり、富栄養化や貧酸素水塊と関係している。1989 年に諫早湾で最初の *Chattonella* 赤潮が確認されたが、工事による人為的な底泥の攪拌が関係した可能性がある。貧酸素水塊の形成により底泥から鉄が溶解し、貧酸素水塊の崩壊で窒素やリンと一緒に鉄が供給されると、*Chattonella* 属の増殖が促進される (貧酸素水塊の解消のための底泥の攪拌についてはこの点への配慮が必要である)。*Chattonella* 赤潮による漁業被害を減少させるためには貧酸素水塊の形成を抑えることが重要である。

また、八代海での *Chattonella* 赤潮は 1988 年に初めて記録されたが、この頃は熊本県の宮野河内湾などの底質の COD が水産用水準を超え、養殖場の底質の硫化物濃度と水質の DIN と DIP が最高値を示した時期に当たり (別添資料 23)、富栄養化の進行時期に本属が定着した可能性を示唆している。

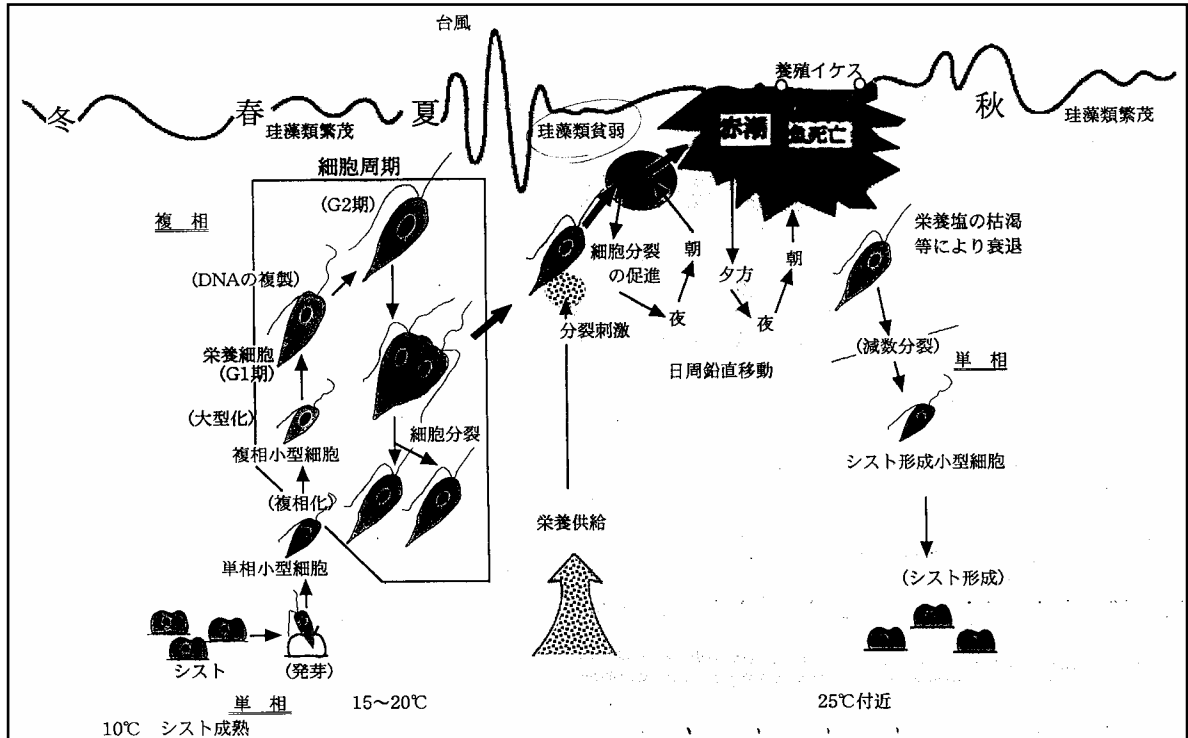


図 3. 8. 3 シャットネラの生活環と赤潮発生機構

エ) 渦鞭毛藻 (夏発生)

渦鞭毛藻類 *Cochlodinium* 属は八代海で大規模な赤潮となって重大な漁業被害を招き、御所浦や津奈木周辺での発生が多い (別添資料 24)。*C. polykrikoides* のシストは八代海では確認できず、冬期に遊泳細胞 (単細胞) の存在が認められている。本種の seed population は越冬栄養細胞である可能性が高く、栄養細胞は水温と日射量の増加とともに高塩分環境下で増殖して赤潮形成すると、1.4~3.6m/h の速い日周鉛直移動により底層の栄養塩を利用して赤潮を持続すると考えられる。赤潮の消滅後、本種は栄養細胞で越冬すると思われる (図 3. 8. 4)。

C. polykrikoides は、塩分変化に敏感 (狭塩分性種) であり、赤潮は渇水年に発生し、降雨年で非発生であることが示唆される (別添資料 25)。八代海では 2000 年夏期に *C. polykrikoides* の赤潮により約 40 億円の漁業被害が生じたが、このときの水温と塩分は 24.5~26.6°C、32.0~33.0psu、増殖速度は 0.37day⁻¹ であり、室内実験の最適増殖速度とほぼ一致した (別添資料 26)。赤潮発達期に水深 10m 付近で水温・塩分躍層が形成され、赤潮衰退期以降は崩壊していた。赤潮形成期の底層水には高濃度の栄養塩が分布していたが、これらは底泥から溶出して貯蔵されたと考えられる。このときの *C. polykrikoides* の赤潮は御所浦、津奈木で初期発生し、その後、分布を拡大させた (別添資料 27)。

なお、本種は有明海でも出現海域が拡がり、赤潮を形成するようになっている。

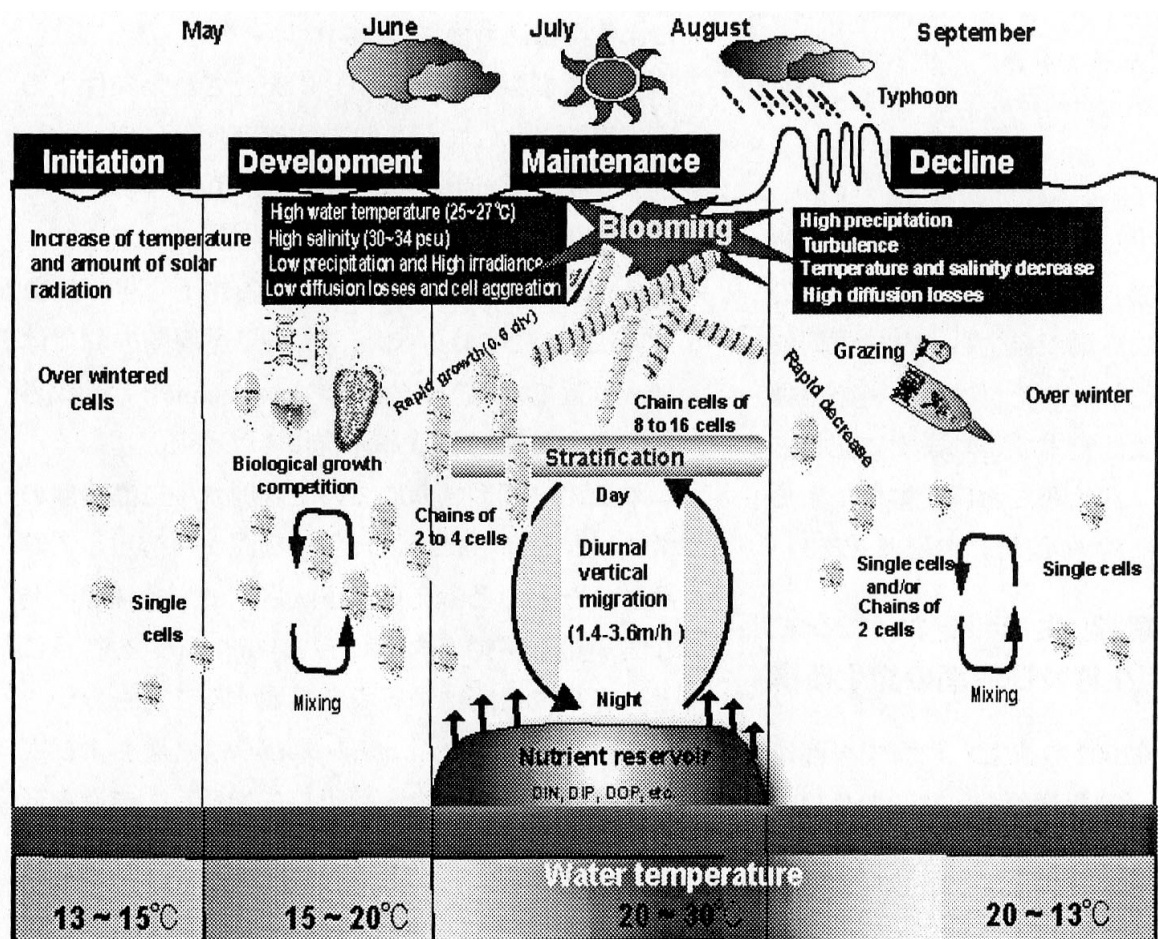


図 3.8.4 八代海における *C. polykrikoides* の赤潮発生機構模式図

(2) 赤潮の発生状況等

ア) 有明海

有明海における赤潮の年間発生件数は福岡県と佐賀県では横ばいであり、長崎県と熊本県では増加傾向である。年間発生期間は各県とも増加傾向である。1件当たりの日数は福岡県、佐賀県では増加傾向である(図 3.8.5)。また、分類群別にみると年間発生件数、年間発生期間、1件当たりの日数について珪藻、渦鞭毛藻及びラフィド藻のいずれも増加傾向である(図 3.8.6)。

イ) 八代海

八代海における赤潮の年間発生件数はC海域及びD海域では1990年代後半からの増加が顕著である。年間発生期間は全海域とも1990年代後半から増加傾向である。1件当たりの日数は全海域とも増加傾向である(図 3.8.7)。また、分類群別にみても、年間発生件数、年間発生期間、1件当たりの日数について珪藻、渦鞭毛藻及びラフィド藻のいずれも増加傾向である(図 3.8.8)。

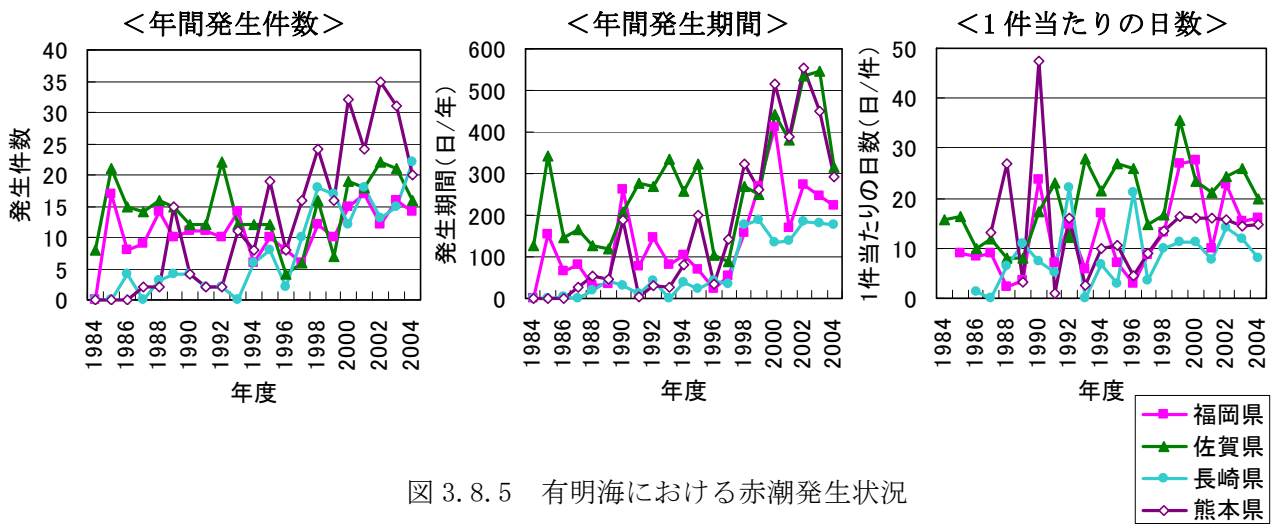


図 3.8.5 有明海における赤潮発生状況

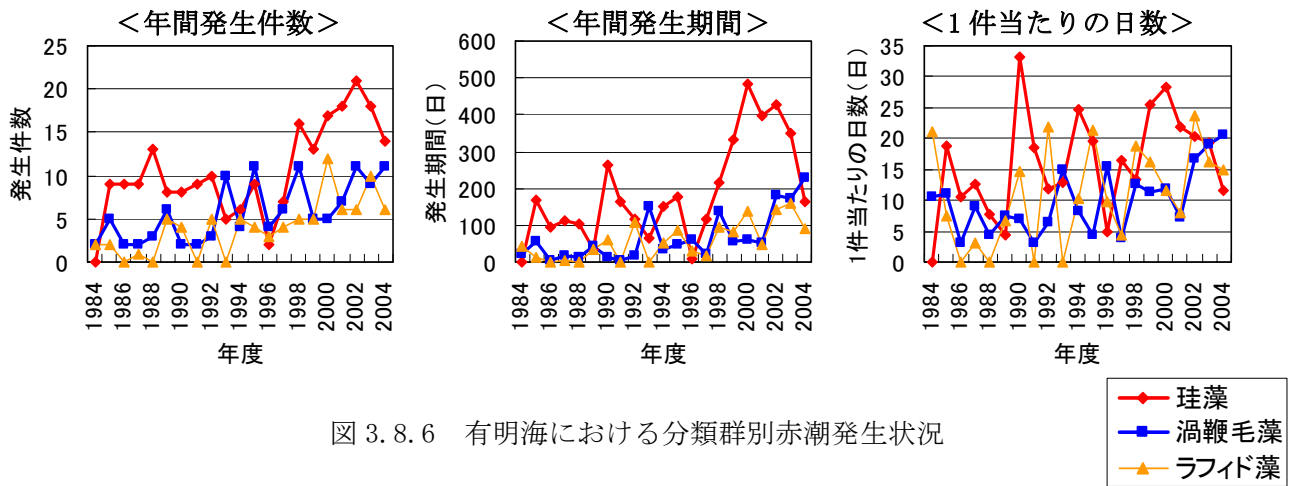


図 3.8.6 有明海における分類群別赤潮発生状況

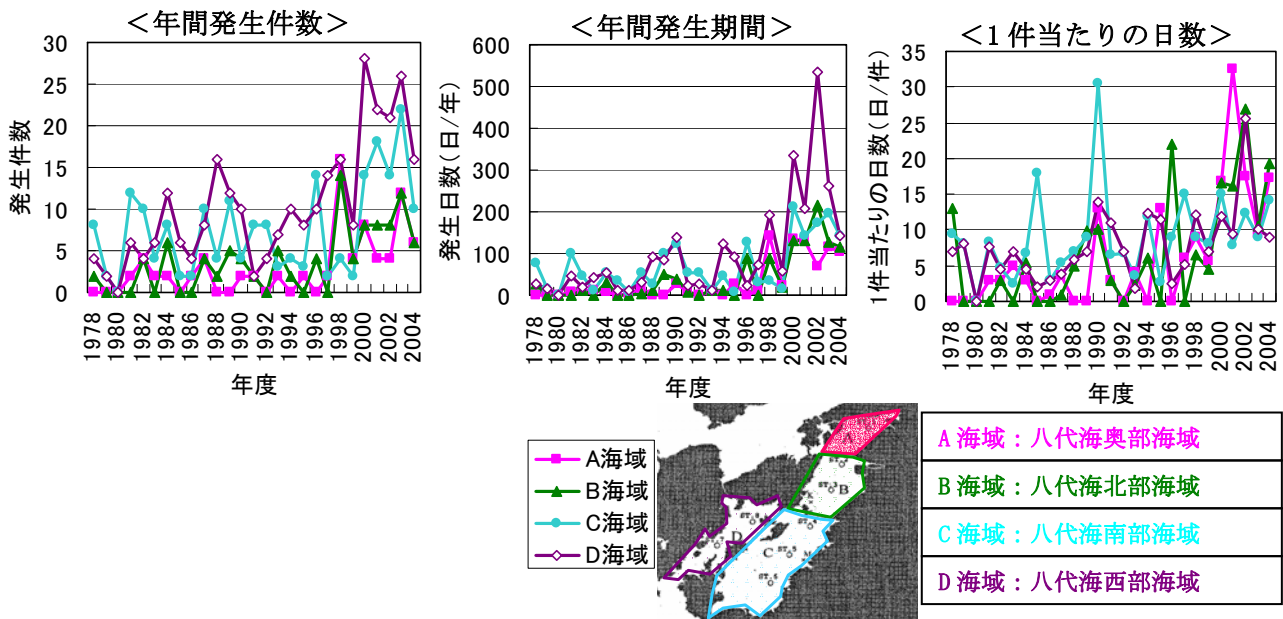


図 3.8.7 八代海における赤潮発生状況

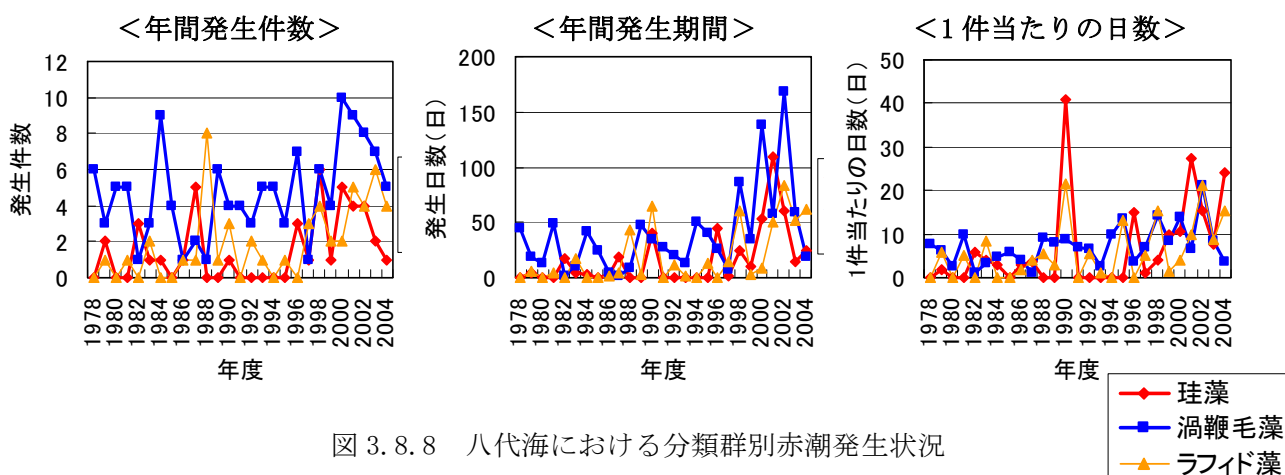


図 3.8.8 八代海における分類群別赤潮発生状況

ウ) 赤潮原因種の休眠期細胞

海底泥表面に存在する休眠期細胞は、赤潮の発生源として重要であり、同細胞の分布調査により赤潮発生履歴に関する情報を得ることも可能である。

有明海における調査結果によると、珪藻類 (*Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp.、*Thalassiosira* spp. が主要珪藻類) の休眠期細胞が優占し、湾奥部から湾中央部の海域において 5×10^5 MPN/cm³ を越える高密度で存在していたが、湾中央部から湾口部の海域では密度は低かった (別添資料 28)。

八代海においても有明海と同様に珪藻類の休眠期細胞が優占し (*Skeletonema costatum* が最優占種)、北部から中央部の海域において 10^5 MPN/cm³ を越える高密度で存在していたが、南部海域では密度は低かった。ラフィド藻については、*Chattonella* spp. がほぼ全地点で見られ、特に北部海域での密度が高かった。また、*H. akashiwo* は主に北部海域に分布していた (別添資料 29)。

(3) 赤潮による漁業被害

ア) 有明海

有明海における赤潮被害の年間発生件数は、増加傾向にある (図 3.8.9)。原因プランクトン別にみると、珪藻類による被害件数が多く、ノリの色落ちにより大きな被害が発生している (別添資料 30)。

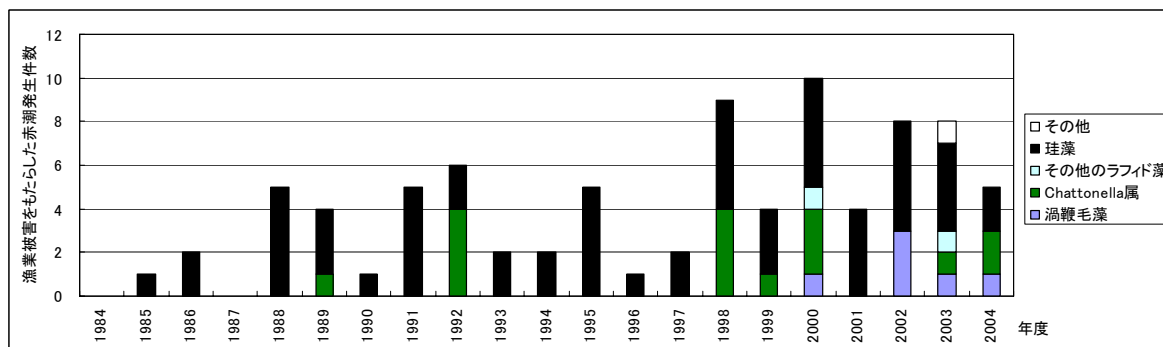


図 3.8.9 有明海において漁業被害をもたらした赤潮発生件数 (年間) の推移

イ) 八代海

八代海における赤潮被害の年間発生件数は、1988～1990年に発生件数が多く、その後、減少傾向が見られたが、近年、再び増加している（図 3.8.10）。原因プランクトン別に見ると、*Cochlodinium polykrikoides* と *Chattonella* 属による被害件数が多く、養殖ブリやトラフグ等の斃死により特に大きな被害が発生している（別添資料 31）。

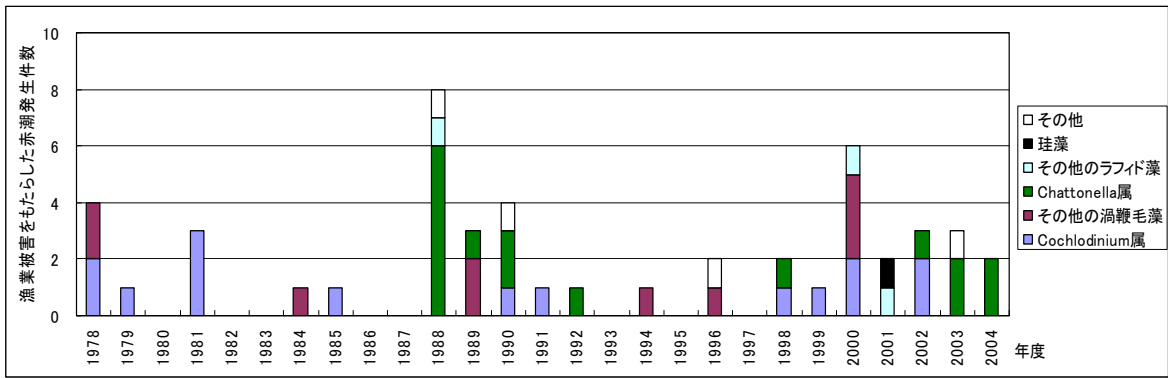


図 3.8.10 八代海において漁業被害をもたらした赤潮発生件数（年間）の推移