

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。

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

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

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	潮位	平均潮差 cm	大潮差 cm	小潮差 cm
浦	岡	190	273	206
口	之	208	290	226
郷	ノ	228	328	238
三	角	258	354	240
島	宮	294	408	282
大	浦	318	453	279
竹	崎	318	454	278
三	浦	318	456	280
若	津	322	458	286
住	ノ	344	484	294

表 3.5.2 主要分潮の潮汐調和定数(振幅)

地名	$M_2$		$S_2$		$K_1$		$O_1$		
	Hms	K'	Hms	K'	Hms	K'	Hms	K'	
浦	岡	96	239	43	252	27	208	20	190
口	之	104	254	41	290	28	216	21	192
郷	ノ	119	262	50	287	28	220	20	197
三	角	125	254	52	295	28	220	19	201
島	宮	147	258	56	299	23	219	20	204
大	浦	156	266	60	282	28	222	22	201
竹	崎	156	259	60	299	28	220	22	202
三	浦	159	259	60	299	27	219	21	198
若	津	161	262	68	301	25	228	20	193
住	ノ	172	267	75	304	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）。

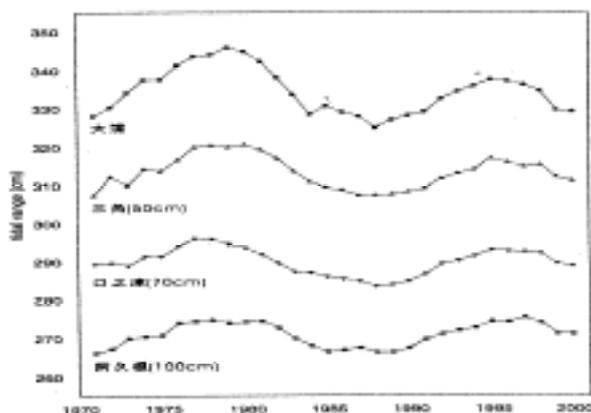


図 3.5.1 有明海内外の観測点における年平均潮位差の経年変化

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)

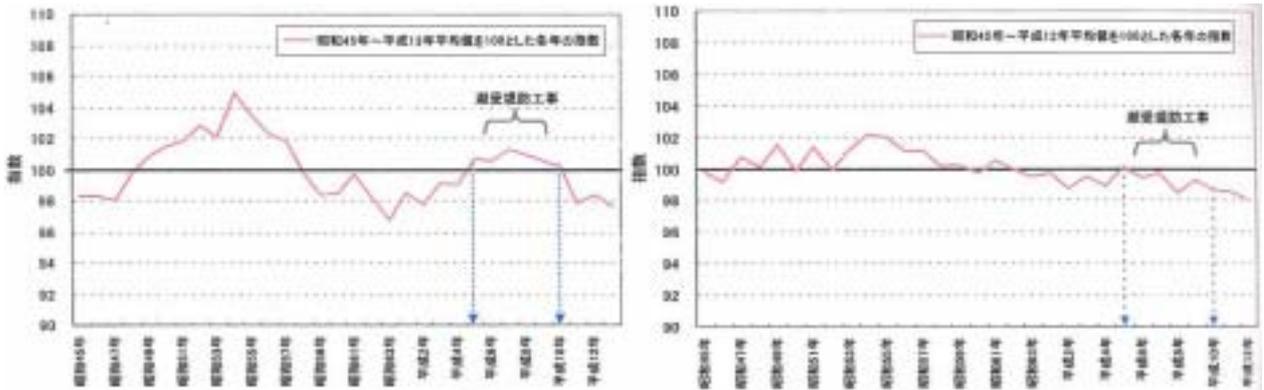


図 3.5.2 大浦検潮所における年平均潮位差と大潮差の推移

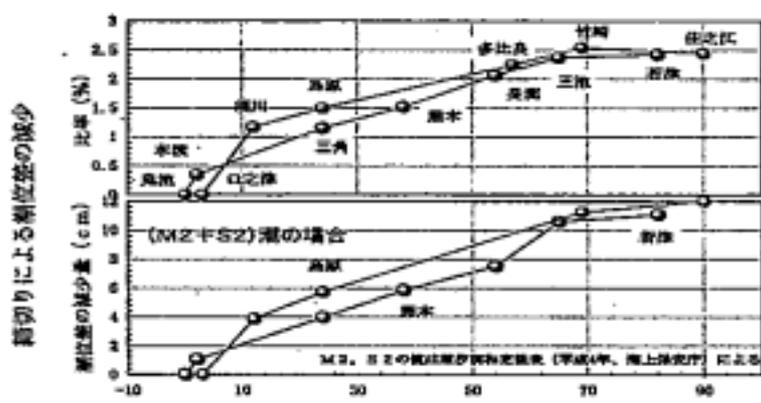


図 3.5.3 諫早湾締め切りの潮位差への影響

#### 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)。

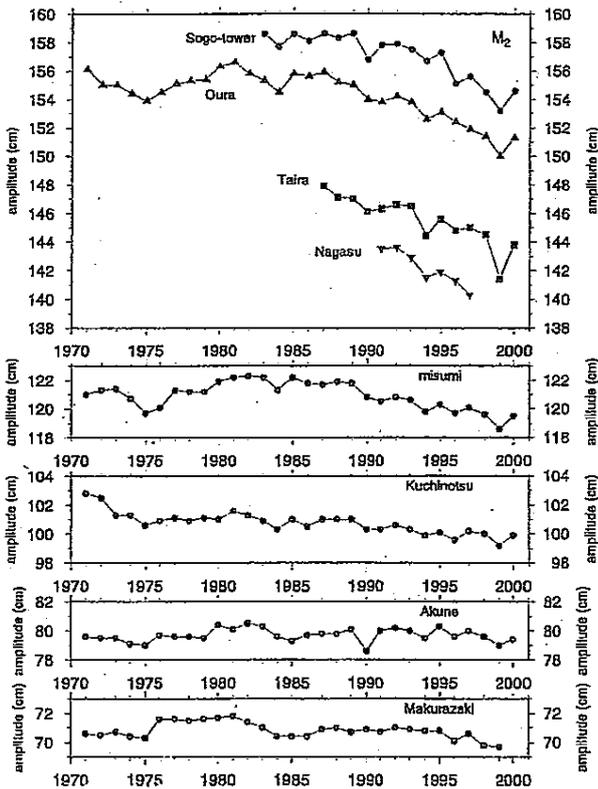
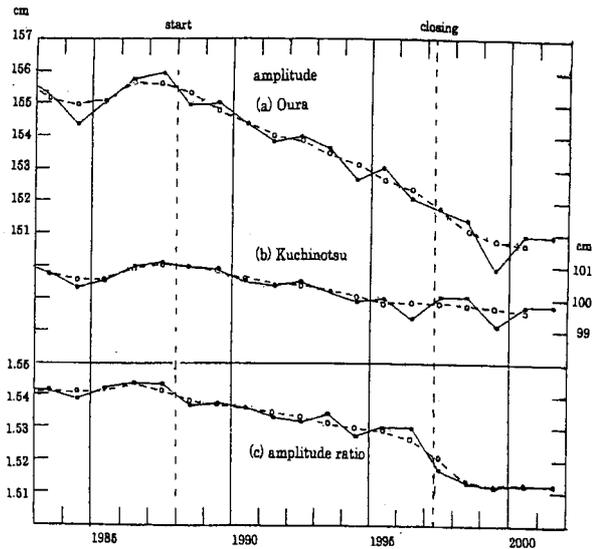


図 3.5.4 M<sub>2</sub>分潮の調和定数（振幅）の経年変化



- 注) 1. (a)は大浦、(b)は口之津のM<sub>2</sub>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M<sub>2</sub>分潮振幅の経年変化

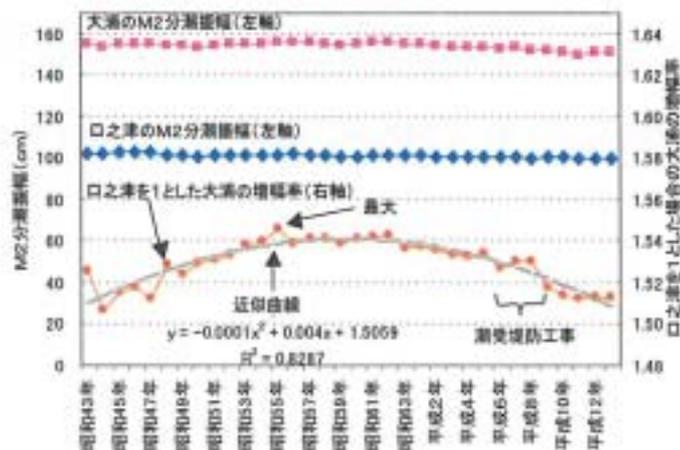


図 3.5.6 口之津検潮所と大浦検潮所のM<sub>2</sub>分潮増幅率の経年変化

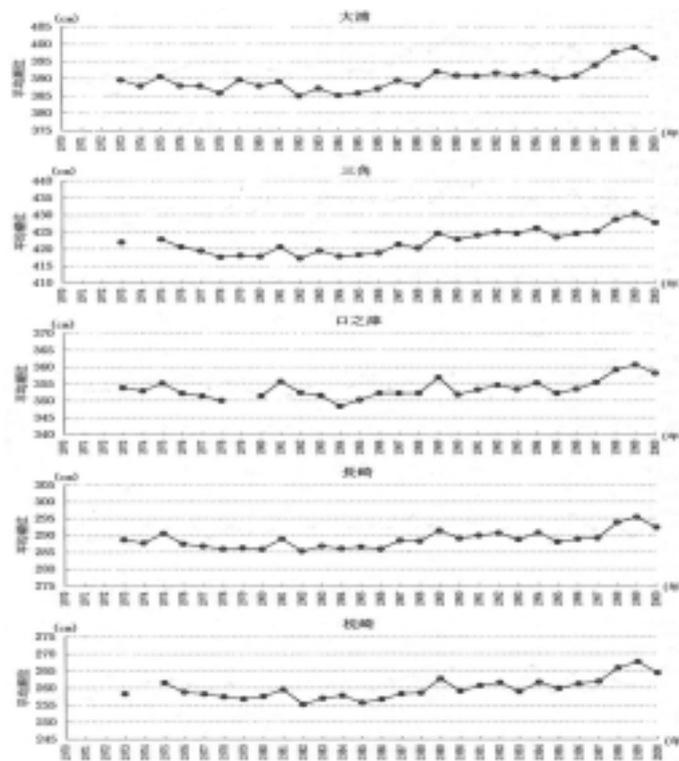
M<sub>2</sub>分潮振幅減少の要因としては、有明海内の海水面積の減少（内部効果）、平均水位の上昇（外部効果）、外洋潮汐振幅の減少（外部効果）などが挙げられているが、その影響度合いに関する見解は異なる（表 3.5.3）。

表 3.5.3 M<sub>2</sub>分潮振幅減少に関する各要因の寄与率に関する見解

見解 要因	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、潮汐観況・潮汐観測記録・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)

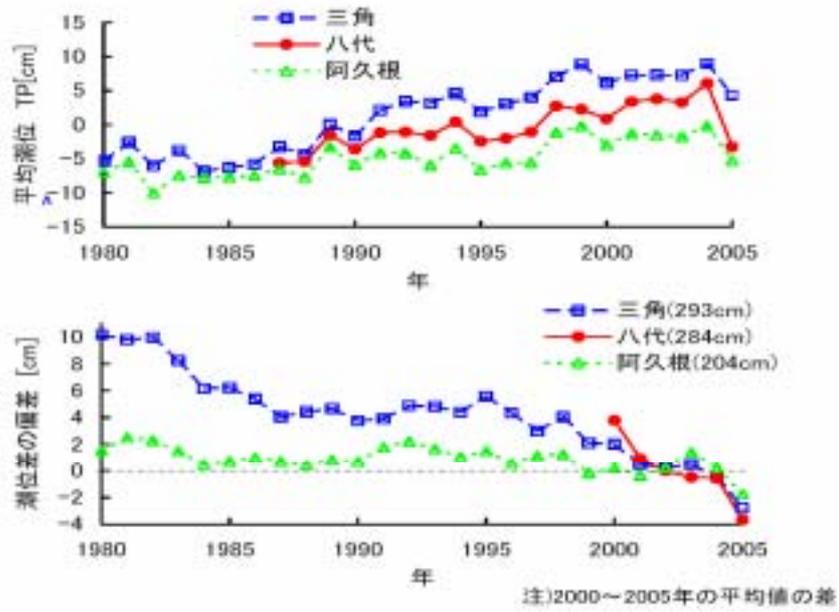


図 3.5.8 八代海における平均潮位及び潮位差の年変動

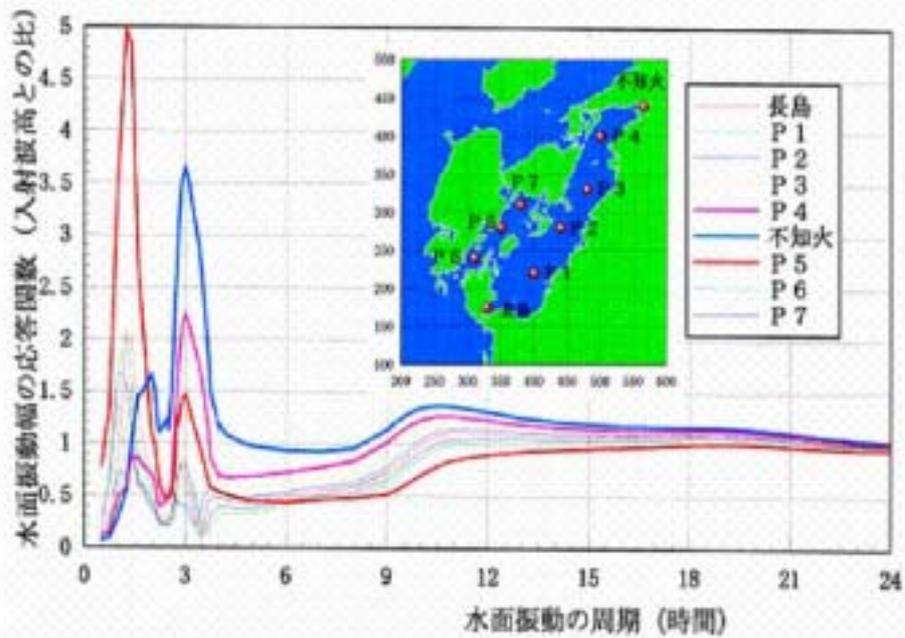


図 3.5.9 八代海における水面振動幅の応答関数

## 【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が、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澇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、湾奥河口域では澇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。

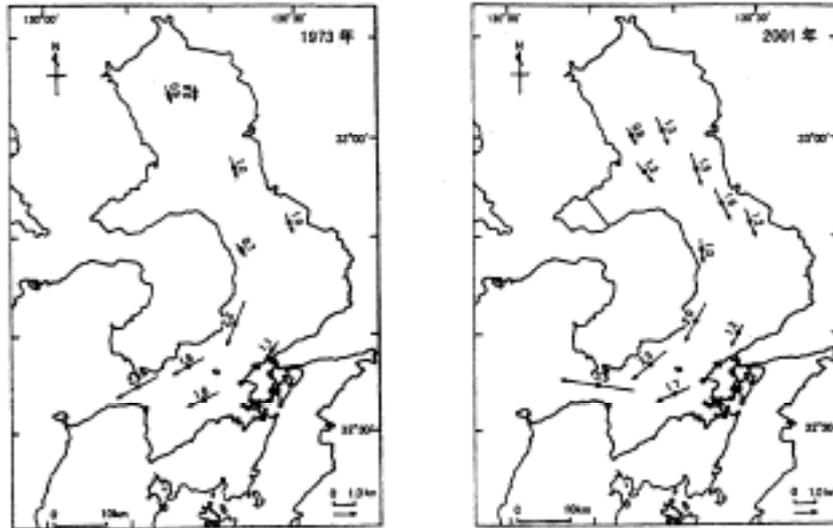
#### イ) 潮流の一斉調査

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<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>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。

<sup>1)</sup>流速は15日間の平均流速(恒流)である。

<sup>2)</sup>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

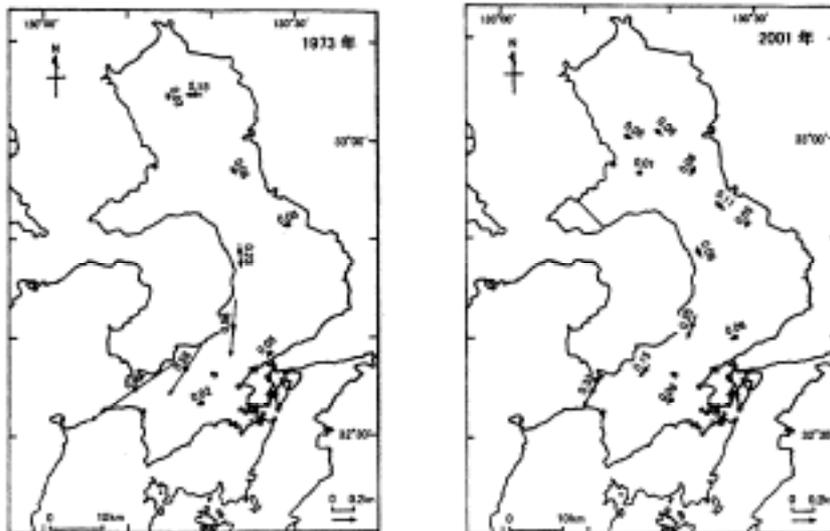


図 3.5.11 1973 年と 2001 年の 15 昼夜観測の平均流の比較

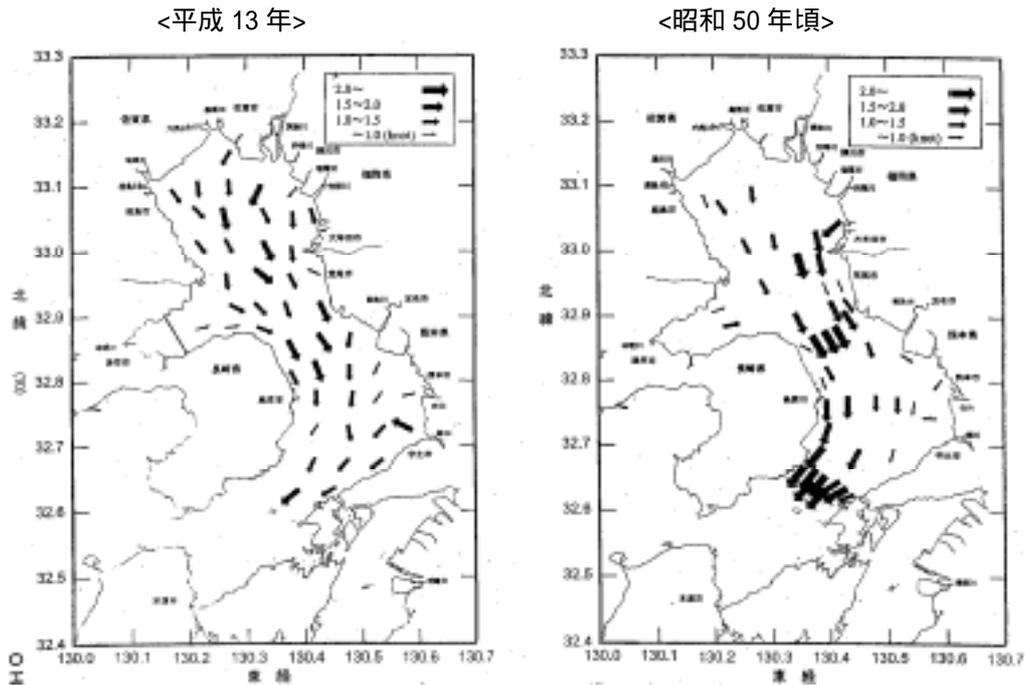


図 3.5.12 平成 13 年と昭和 50 年頃の下げ潮時の流速水平分布図

## ウ) 潮流流速の変化要因とその影響

### 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家表面積の減少、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。

### 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入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)。

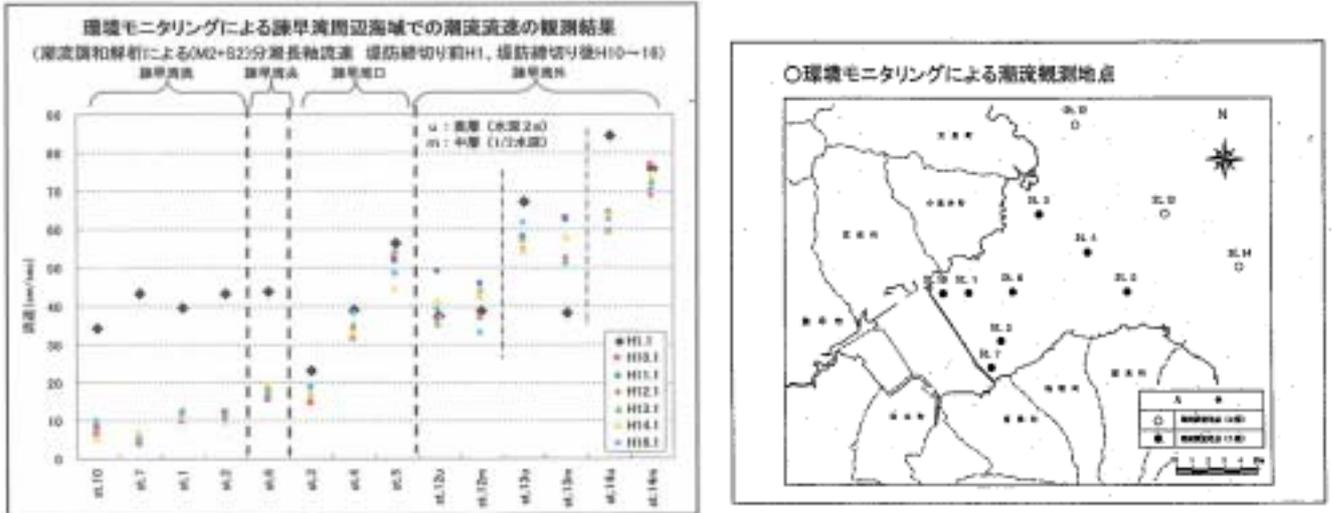


図 3.5.13 環境モニタリングによる諫早湾周辺海域での潮流流速の観測結果

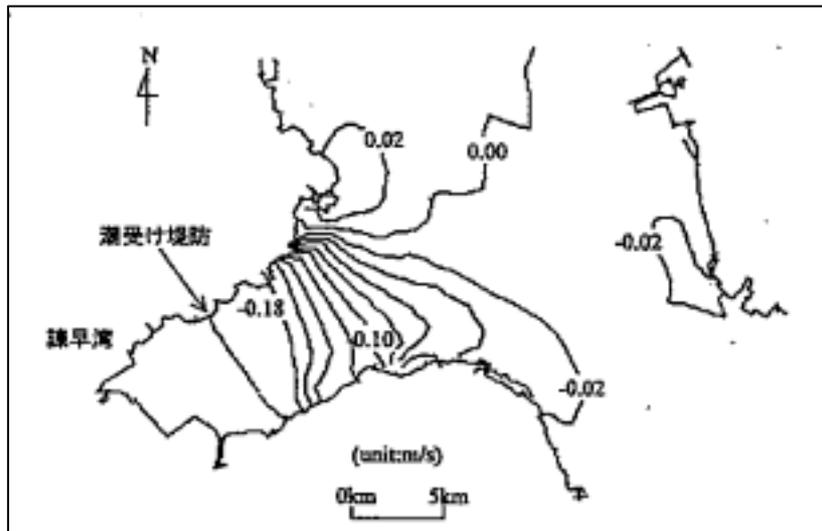
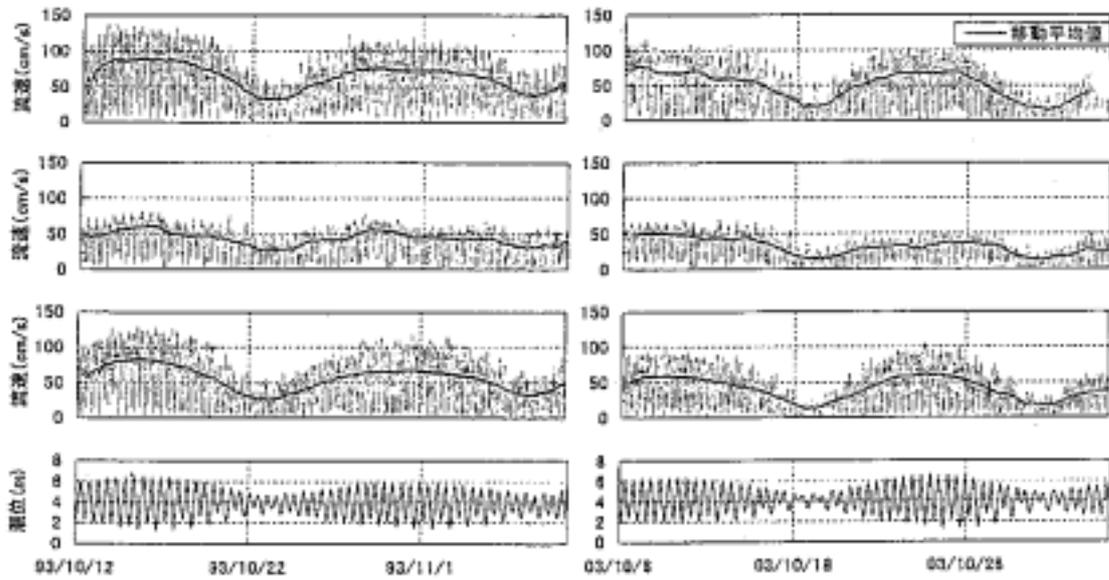


図 3.5.14 下げ潮時の流速強度に関する締切り前後の差



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〕

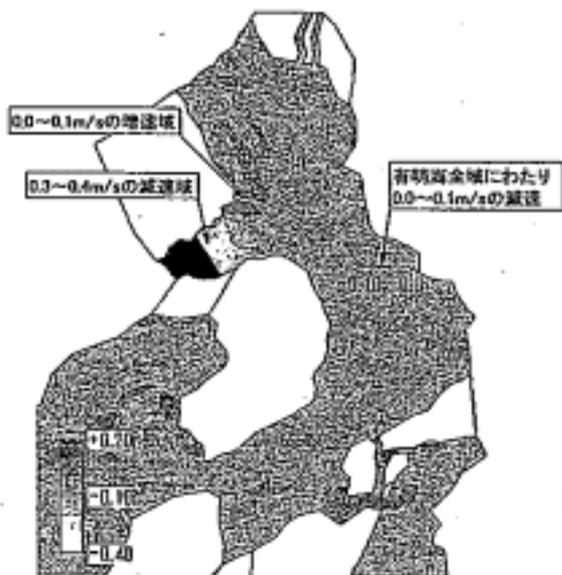


図 3.5.16 最大潮流速度の偏差分布  
 (潮受堤防の影響)

## 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。

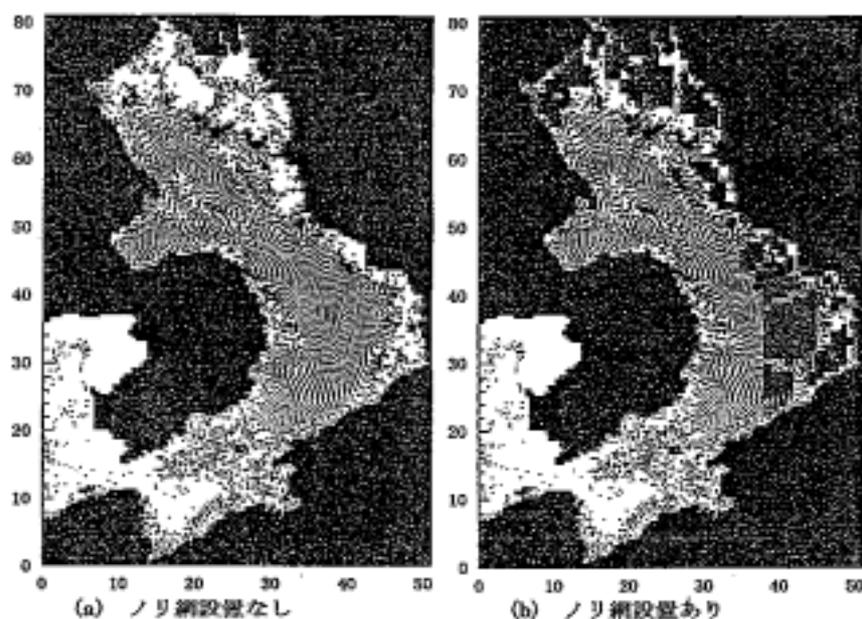


図 3.5.17 ノリ網設置の有無による流況変化（粒子追跡開始 3 潮汐後）

## 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  $\pm 2\text{cm}$  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)

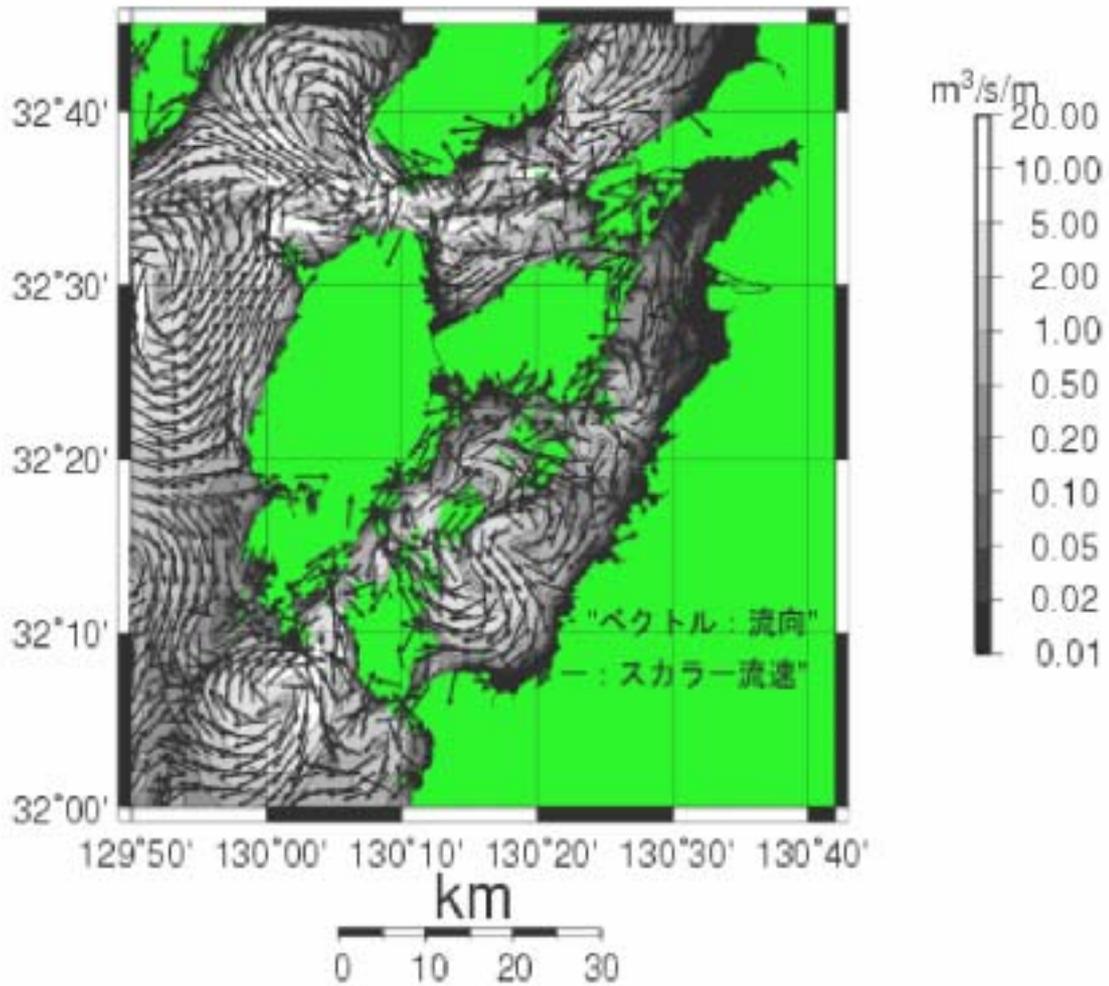


図3.5.18 八代海における潮汐残差流

## 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）。

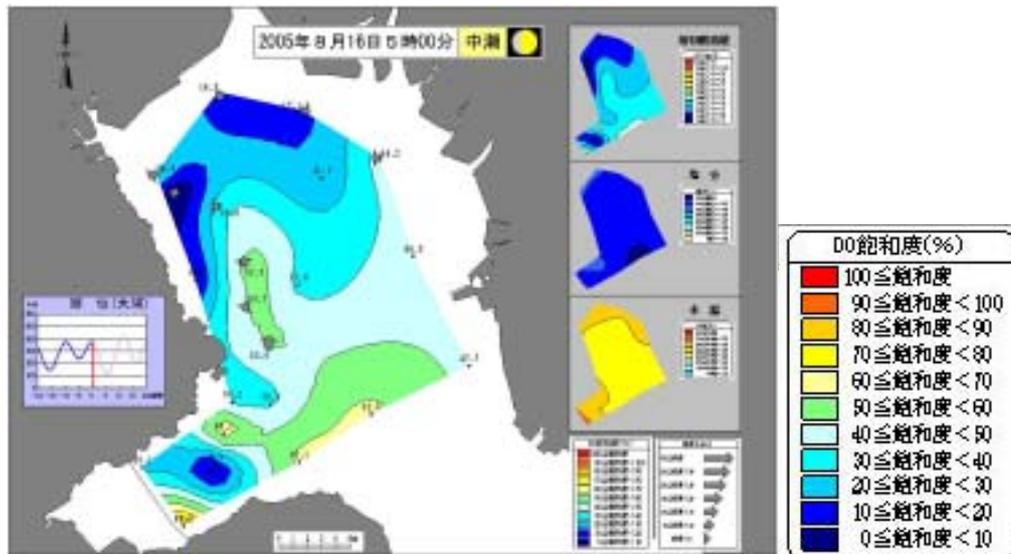


図 3.6.1 貧酸素水塊調査結果：2005年8月16日午前5時

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模式図を図 3.6.3 に示す。