

海洋構造、水質環境(海域)、底質環境(海域)、生物生態系の現況について (1)

「底質の泥化と懸濁物の関係について」

環境省

「平成 23 年度有明海懸濁物等長期変動把握調査業務成果報告書」より

1 有明海における底質の泥化について

環境省では、連関図（図 1.1.1）の項目の中で、”底質の泥化”について懸濁物との関係を中心に検討を行ってきた。その結果を紹介する。

連関図の”底質の泥化”は、その要因として以下の 2 つの事象が挙げられている(矢印が結ばれている)。

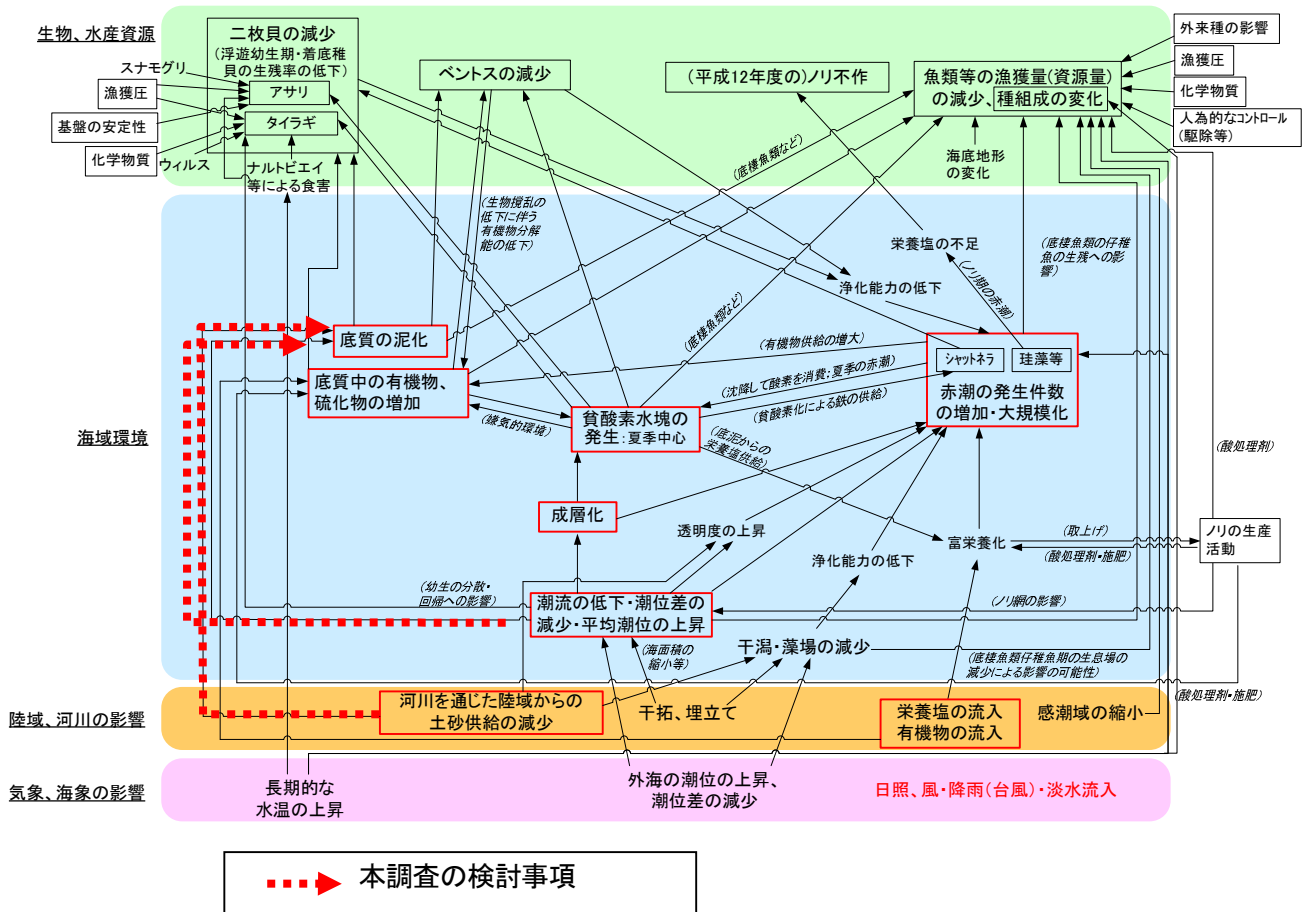


図 1.1.1 問題点と原因・要因との関連の可能性: 有明海

出典：環境省 有明海・八代海総合調査評価委員会(平成 18 年)委員会報告

- ① 河川を通じた陸域からの土砂供給の減少
- ② 潮流の減少・潮位差の低下・平均潮位の上昇

これらの因果関係を確認するために、”底質の泥化”=”底質の細粒化”として、「上記①、②が懸濁物の挙動に影響を与えた結果、底質の粒度分布が変化した。」との仮説を立て、現地調査を中心に検証を行った。

2 有明海湾奥部における懸濁物(SS)の挙動

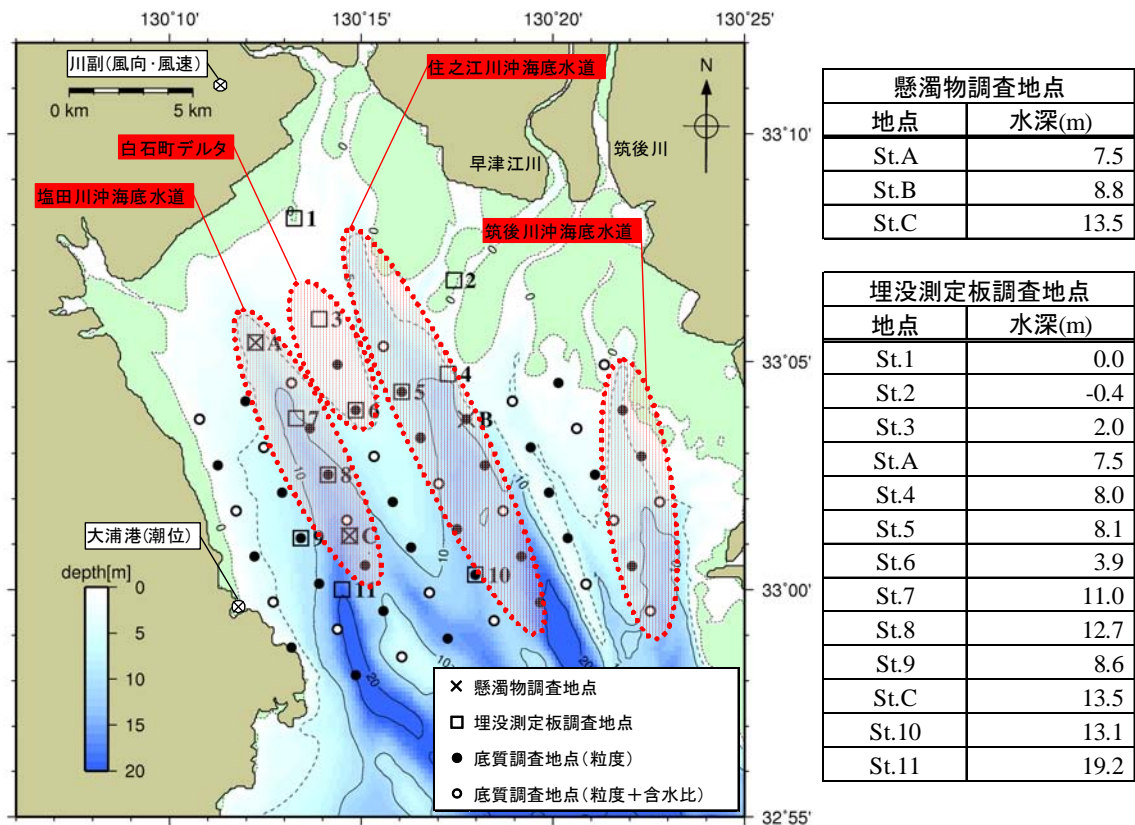
SS の輸送を把握する現地観測を実施した St.A、St.B 及び St.C の 3 地点(図 2.2.1 参照)の内、代表として St.A における結果を図 2.2.2 に示す。

2.1 流速と SS の変動の特徴

流速と SS は大潮・小潮の周期に対応して変動しており、大潮期には、海面下 1m(以下、表層)と海底上 5m(以下、中層)の流速は 50cm/s を超える流速がみられ、海底上 0.2m(以下、底層)の流速は最大 40cm/s 程度であった。流速の変動に連動して SS が上昇しており、強い潮流によって底質が巻き上がった際の SS が観測されたものである。

2.2 SS フラックスの変動の特徴

観測期間における表層の累積 SS 通過量は南向き(湾口向き)であり、中層及び底層では北向き(湾奥向き)であった。鉛直積分した累積 SS 通過量は北向きであった。これは、速水ら(2006)、笠置ら(2007)が報告しているように、有明海では河川水と海水の密度差によって上層では湾奥から湾口へ、下層では逆に湾口から湾奥に向かうエスチュアリ循環流が発達しており、上層では湾口側に、下層では湾奥側に SS が輸送されているものと考えられた。



※水深は、負値が海図基準面上、
 正值が基準面下の値を表す。

図 2.2.1 調査地点

有明海では、全淡水流入量の 70%以上を占める筑後川が湾奥部に流入しており、また湾口が南側に位置するため、出水時や北風が連吹するとエスチュアリ循環流が強化される方向に、南風が連吹すると循環が打ち消される方向に働くことが推定される。

そこで、約 3 ヶ月にわたる観測期間の中から平水時、出水時、北風時及び南風時の期間を抽出し、それぞれの期間の SS フラックスを比較した(解析期間は参照)。平水時(期間①)と出水時(期間②)をみると、平水時の SS フラックスは小潮で小さく大潮で大きくなるパターンがみられ、湾奥側へ輸送されていた。一方、出水時は湾口側への SS フラックスとなっており、横山ら(2008)が報告しているように筑後川の感潮域に堆積した粘土・シルトが出水時に流入する淡水とともに SS が拡散していることが影響していると考えられた。

次に、比較的淡水流入量が少なく北風が卓越する期間③と南風が卓越する期間④の SS フラックスに着目した。北風が吹くと、鉛直積分 SS フラックスは北向きであり、南風が吹くと輸送方向はバラついていた。これは、南風によってエスチュアリ循環流が打ち消されたものと考えられる。

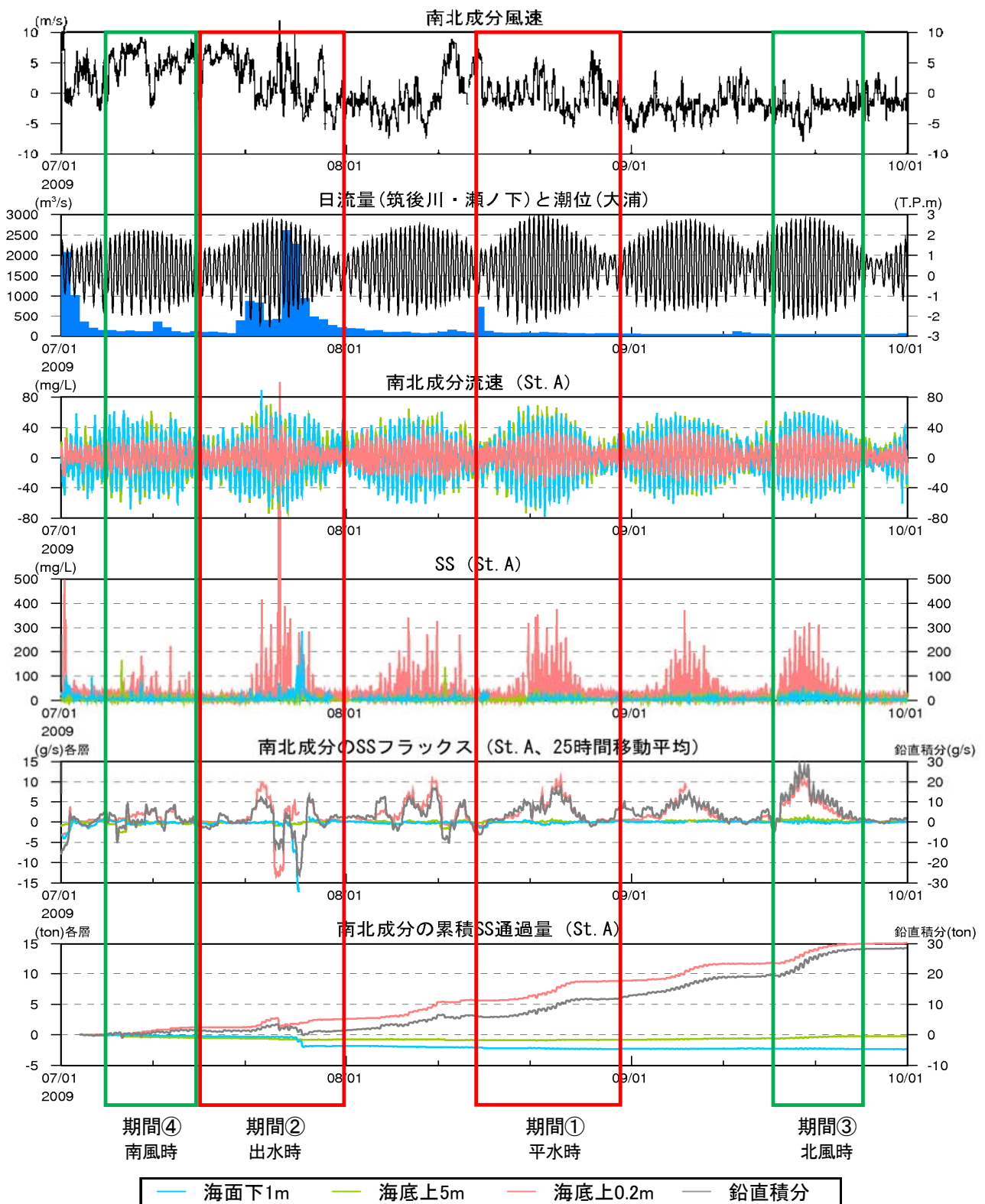


図 2.2.2 2009 年 7 月 1 日～9 月 30 日の St.A における流速(南北成分)、SS および SS フラックス(25 時間移動平均値と累積値)の経時変化。観測地点近傍のアメダス観測地点の川副における風速(南北成分)、筑後川瀬ノ下地点における日流量(速報値)および大浦港における実測潮位を併記した。

2.2.1 SS 輸送と風向の関係

現地調査の結果から、風向がエスチュアリ循環によって輸送されるSSに大きな影響を与えており、風向によってSS輸送が変化していると考えられた。SSの巻き上げフラックスは流速の2乗に比例し、流速は風速に比例することから、風速の2乗の積算値とSSフラックスの相関関係を確認した(図 3.1.1 参照)。積算SSフラックスは各地点ともに積算2乗風速の風向に関わらず概ね北向き(湾奥向き)となっていた。一次回帰直線の傾きをみると、St.AとSt.Bでは北風が吹くと北向きへのSS輸送が促進される傾向がみられ、前述したように風によるエスチュアリ循環流強化の影響を示していると考えられた。

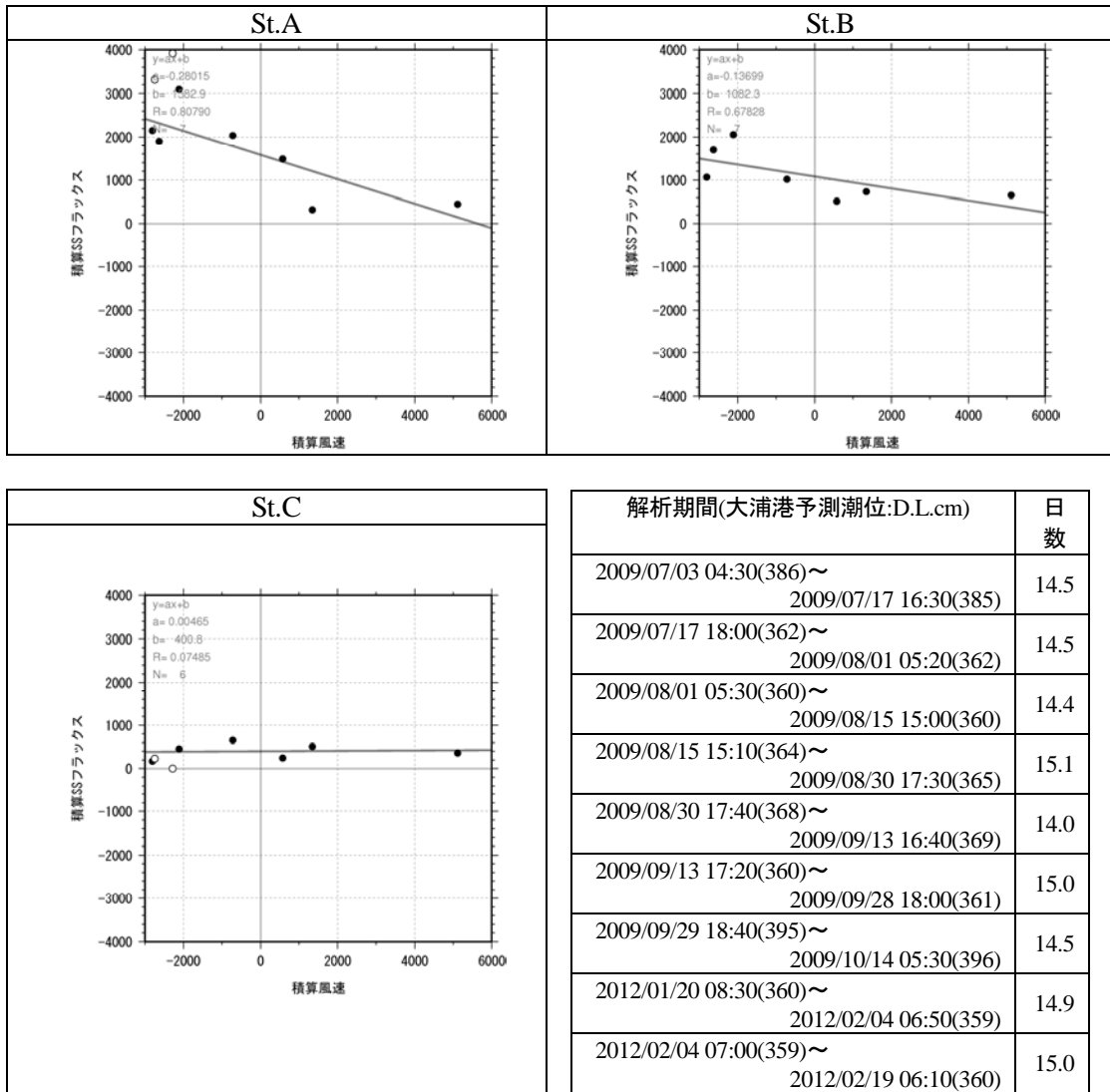


図 2.2.3 積算風速と積算 SS フラックスの相関関係。現地調査結果の中から開始時刻と終了時刻の潮位が小潮の満潮時でほぼ同じとなる約 15 昼夜を積算期間とした。積算 2 乗風速は湾軸方向:338° 成分風速絶対値の 2 乗とし、積算風速が正の時は南風、負の時は北風が卓越していることを表す。図中の●は 2009/07/01~09/30 のデータ、○は 2012/01/20~2012/02/20 のデータを表し、一次回帰直線は“●”のデータのみで算出した。

2.2.2 SS 輸送変化の要因

有明海におけるSS輸送については、エスチュアリ循環流によって上層では湾口側に、下層では湾奥側にSSが輸送されていることが現地調査結果によって確認された。これは、有明海の平常時におけるSS輸送プロセスと考えられる。また、現地観測結果から風向によってSS輸送が変化することが示唆された。

そこで、風によるSS輸送への影響を竹内ら(2012)が開発したモデルを用いていくつかの風条件で感度解析を行った。数値シミュレーションモデルによる結果概要を表 2.2.1 に示す。有明海湾奥部では、風によって吹送流が発生し、SSフラックスの向きと大きさが変化し、風と直接的な関係にある流速や、流速と関係があるSSフラックスは風との関連性は強いことがわかった。

表 2.2.1 数値シミュレーションモデルによる計算結果概要

計算条件	計算結果	
	エスチュアリ循環流	SSフラックス
① 北風卓越時	・強化される	・湾奥向き（強）
② 南風卓越時	・弱化される	・湾奥向き（弱）
③ 北風台風時	・強化される	・沖神瀬西以北で湾奥向き（強）
④ 南風台風時	・解析断面では強い湾口向きの流れ ・鉛直一様な水平循環流が形成	・解析断面では湾口向き（強） ・鉛直一様な水平循環流が形成

これまでの結果から、有明海湾奥西部に位置する塩田川沖海底水道の縦断面(以下、解析断面)における流速、SSフラックスおよび浸食堆積状況の風による応答性を模式化したものを図 2.2.4 に示す。

流速に着目すると、南風が卓越するとエスチュアリ循環が弱化、北風が卓越すると強化される。南風の台風接近時は鉛直一様な水平循環流が発生し、解析断面では湾口向きの強い流れとなる。SSフラックスに着目すると、南風がある程度卓越してもフラックスの向きは湾奥向きであり、北風が卓越すると湾奥向きのフラックスが強化される。南風の台風接近時は湾口方向へ大量のフラックスが発生する。北風の台風接近時は、SSフラックスが複雑であり、場所によって異なる(解析断面では湾奥方向、断面西側では湾口方向)。

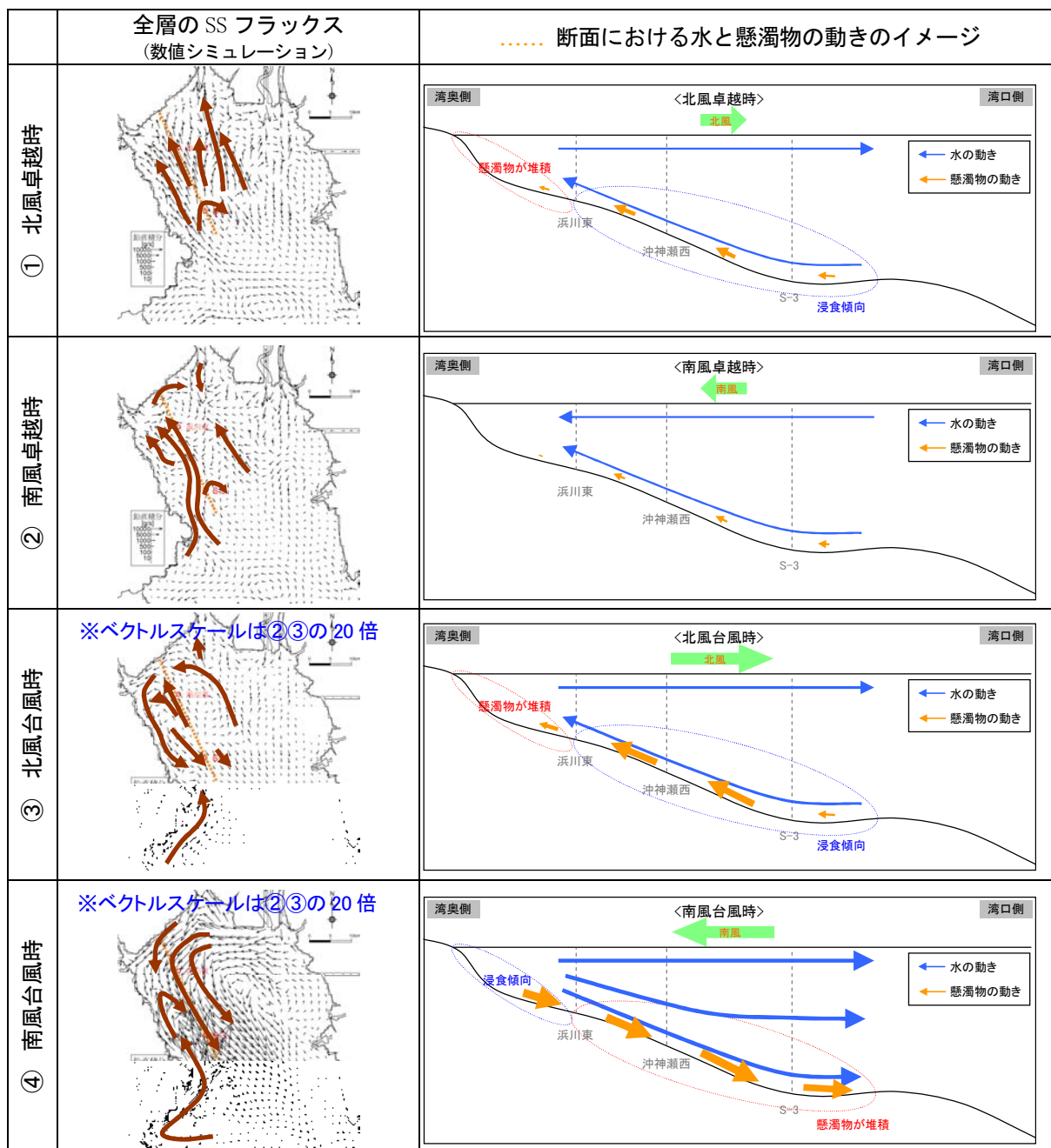


図 2.2.4 有明海湾奥西側の断面におけるSS輸送のイメージ。左列の図は数値シミュレーションモデルによるSSフラックスの平面図であり、右列の図は塩田川沖海底水道の縦断面における水と懸濁物の動きのイメージ。

3 有明海湾奥部における底質変化

3.1 底質の経年変化

1989年から2009年までの有明海湾奥部の底質の粒径分布を図 3.1.1 に示す。経年的に住之江川沖海底水道の西側法面を境に西側と東側に分かれている傾向は大きく変化していない。前節に示したように有明海湾奥部の底質の中央粒径が底層の流速の影響を大きく受けているとすれば、1989年から2009年までは底層の流速に大きな変化はなかったものと考えられる。しかしながら、湾奥部西側では中央粒径が1989年～2000年は細くなっており、2000年以降は粗くなっている。湾奥部西側のみ流速が変化することは考えにくいことから、これは流速以外の要因によって底質の粒度分布が変化したものと考えられる。

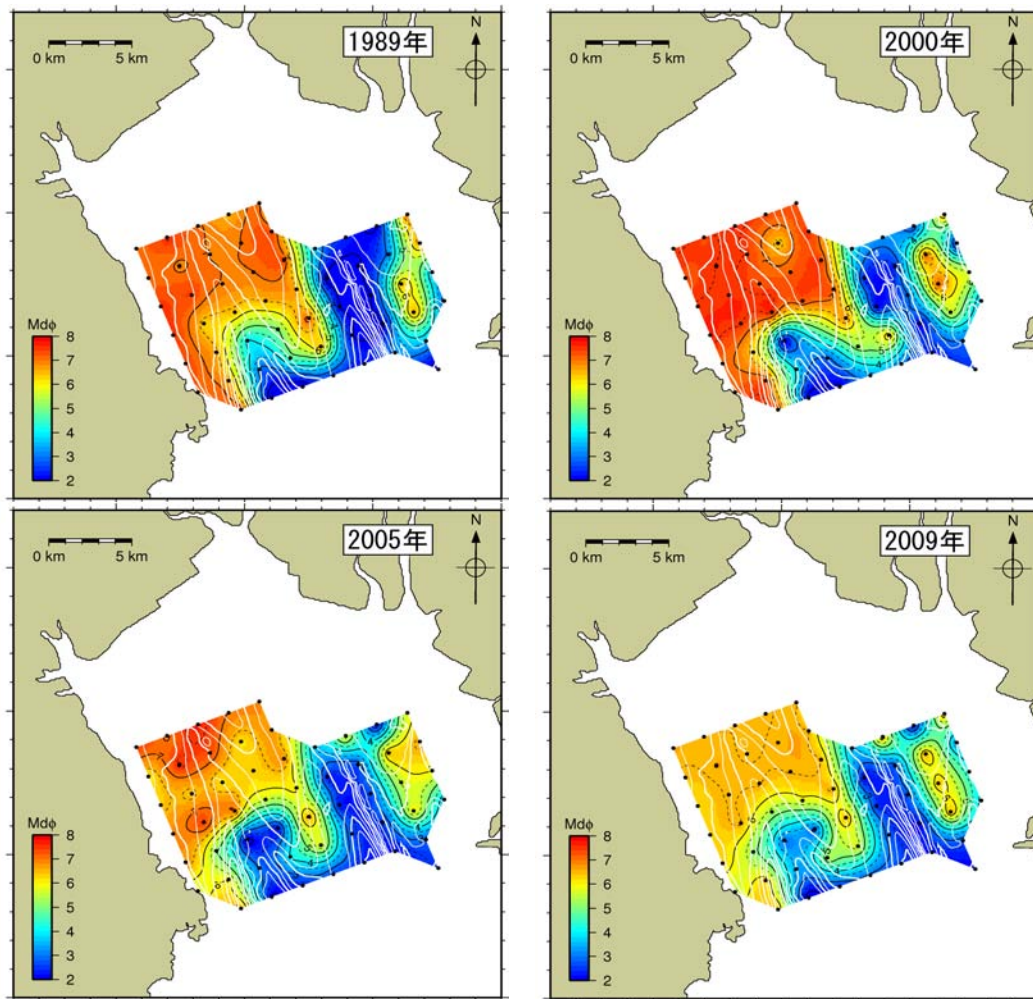


図 3.1.1 古賀(1991)、大隈ら(2001)及び藤崎ら(2005)の報告結果(1989年・2000年・2005年)と現地調査結果(2009年)から作図した有明海湾奥部の底質の粒径分布

3.2 有明海湾奥部の堆積・浸食状況

有明海湾奥部に設置した埋没測定板による現地調査結果によると、約 3 ヶ年間では湾奥の St.1 を除く全ての地点で負の値となっており、ほぼ全域で浸食傾向となっていた(図 3.2.1、図 3.2.2 参照)。これは、底質が巻き上げられて北向き(湾奥向き)に輸送されているためと考えられ、前述の短期間(数ヶ月程度)の SS 輸送状況と一致する現象であり、長期的にみても有明海湾奥部における SS 輸送プロセスは前述のとおりであることの傍証ともなっている。

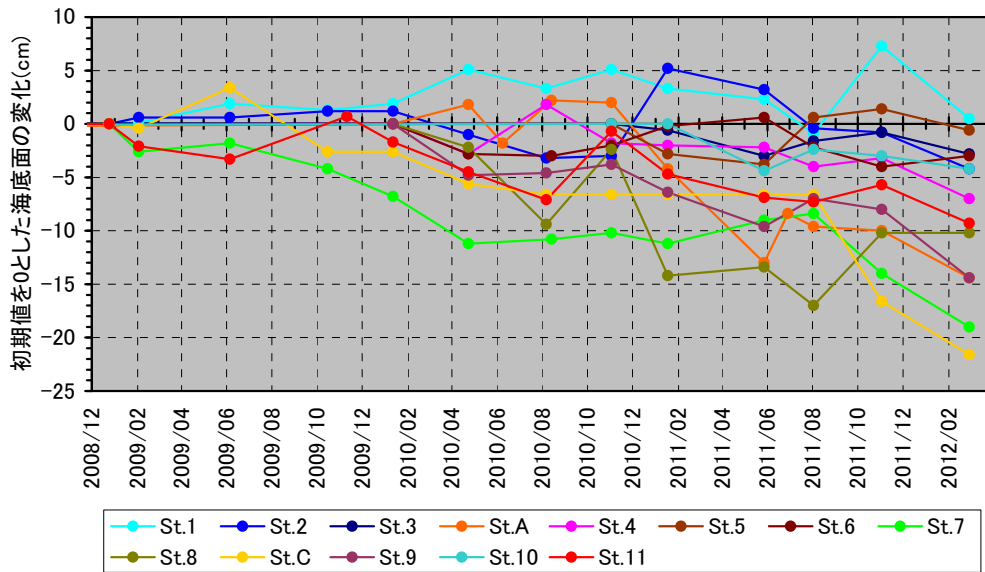


図 3.2.1 簡易計測による堆積厚の経時変化。設置後 3 ヶ月を初期値(=0)とした変化の相対値である。浸食が確認された地点では、ダイバーが周辺海底面を観察して、埋没測定板設置による洗掘、吸い出し等の影響がないことを確認している。

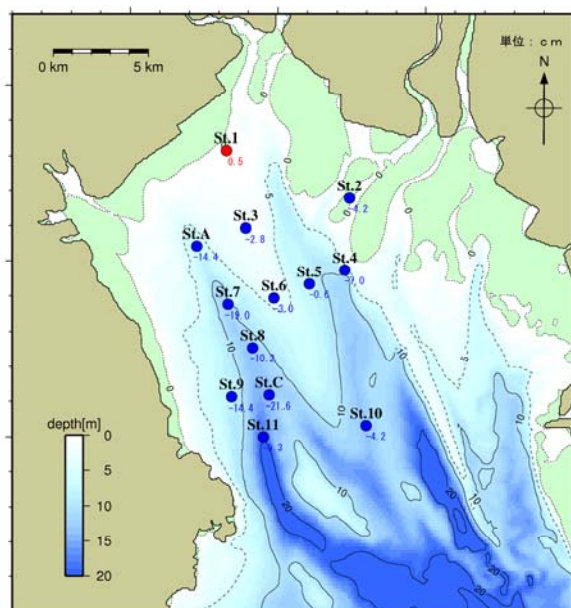


図 3.2.2 海底面高の変化の水平分布 (図 3.2.1 の 2012 年 2 月の変化値を平面図に展開した。)

そこで、底質が堆積・浸食傾向となるプロセスを考察するために、まず、移動している粒子の粒径に着目した。経年的な底質の $Md\phi$ の数値別コンター(図 3.2.3 参照)をみると、 $Md\phi=5\sim6(\approx 31\sim 16\mu m)$ のコンターは大きな変動がみられないものの、 $Md\phi=7(\approx 8\mu m)$ のコンターは年ごとに大きく変動している。これは、現地調査結果から得られた含水比と中央粒径($Md\phi$)の関係(図 3.2.4 参照)からみて、 $Md\phi=6$ より大きい底質の含水比は 200%以上であり、流動しやすいと考えられた。また、底泥表面から 0.1m までの直上水中の SS の時間変化(図 3.2.5 参照)をみると、潮時に関わらず $16\mu m(\phi=6)$ より粒径が小さな粒子が 90%以上を占めていることから有明海湾奥部における堆積・浸食傾向は、直上水の $16\mu m$ 以下の粒子の挙動によって変動していると考えられる。

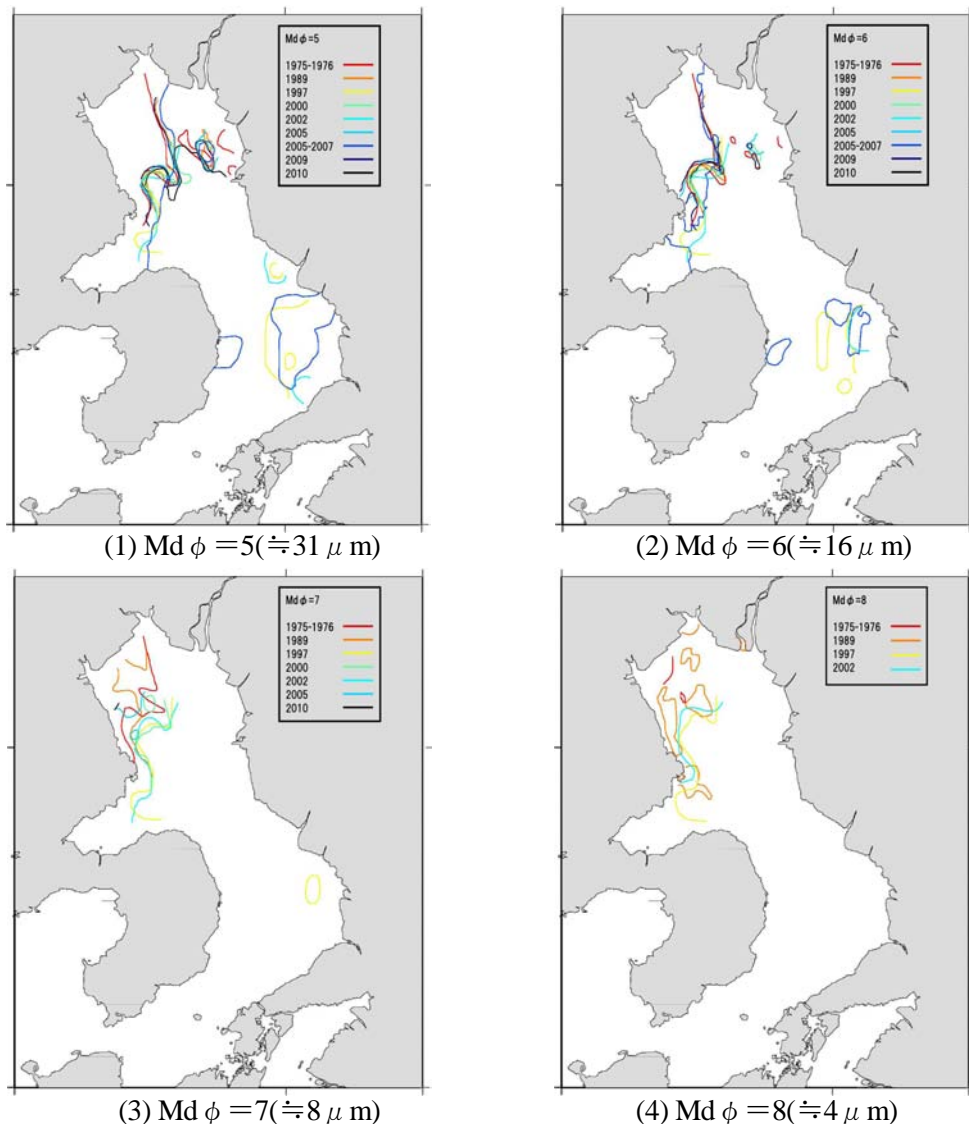


図 3.2.3 経年的な底質の $Md\phi$ の数値別コンター。1975-1976 年のコンターは鎌田(1980)、1989年のコンターは古賀(1991)、1997年のコンターは近藤ら(2003)、2002年のコンターは東(一)の記載図からデータを読み取り作図した。2000年のコンターは大隈ら(2001)、2005年のコンターは藤崎ら(2005)記載値を基に作図した。2010年は現地調査結果である。

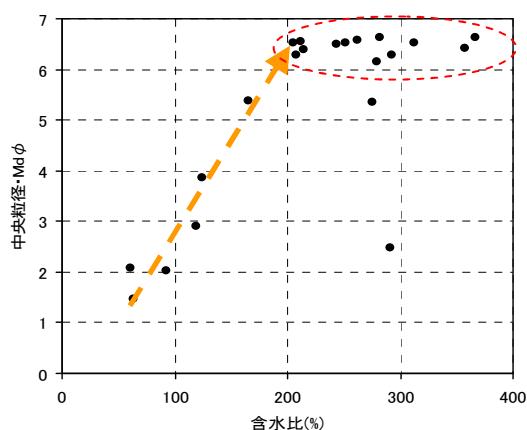


図 3.2.4 現地調査結果から得られた含水比と Md φ の関係

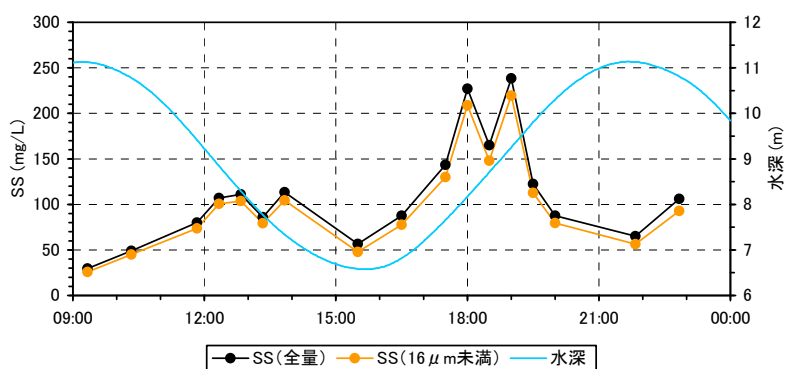


図 3.2.5 底泥表面から 0.1m までの直上水中の SS の時間変化

3.3 底質変化傾向の検証

H.18 報告書及び現在までの底質の粒径変化の判断基準を表 3.3.1 に、判断基準で粗粒化・細粒化を判断した結果を図 3.3.1 に示す。2 つの判断基準でみると、1989～2000 年は細粒化、2005～2009 年は粗粒化の地点が多いものの、2000～2005 年は判断基準によって判定が分かれる結果である。

表 3.3.1 粗粒化・細粒化の判断基準

No.	手法	備考
①	各調査地点毎に粘土・シルト分(泥分率)を比較	藤崎ら(2007)、山本ら(2008)と同一手法
②	各調査地点毎に Md φ を比較	評価委員会報告と同一手法

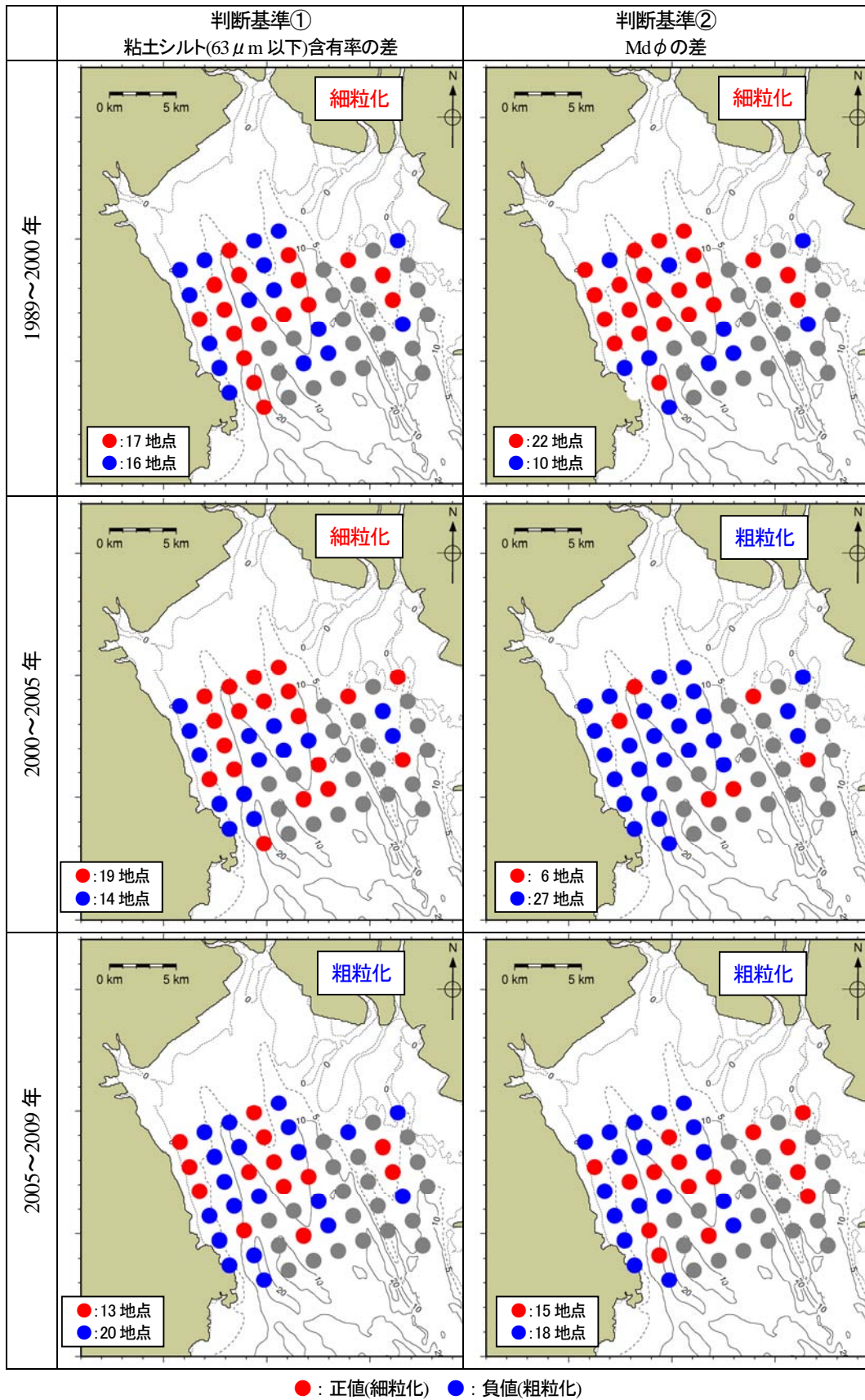


図 3.3.1 底質の粒径変化傾向の分布。粒径加積曲線において、人為的な影響(覆砂)がみられた地点および 63 μ m 以下の重量比が不明の地点は判断から除外した。

このように判断基準によって粗粒化・細粒化が判定が分かれる結果があり、また、粘土・シルト分及び中央粒径(Md ϕ)の変化だけでは細粒化の判断が困難である地点が多く見られたため、底質の堆積・浸食させる粒径 $16\mu\text{m}$ ($\phi=6$)以下の粒子の含有率を比較した(図 3.3.2 参照)。その結果、細粒化、粗粒化の地点数で評価したところ、底質の粒径変化傾向は期間によって異なっており、経年的に一様の変化傾向ではないことがわかった(表 3.3.2 参照)。

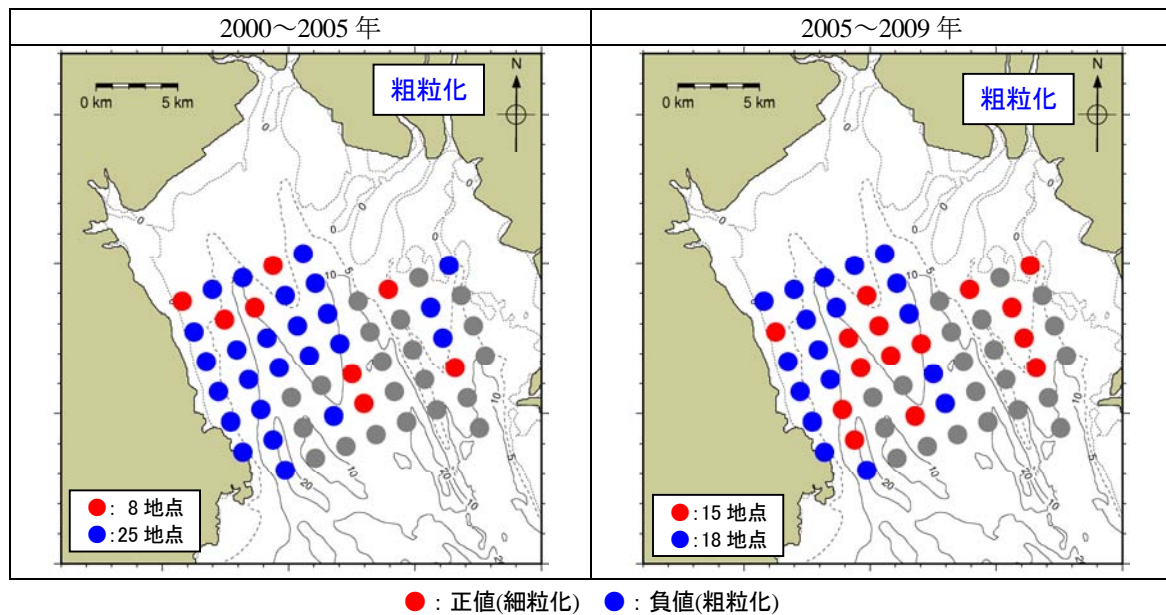


図 3.3.2 底質の堆積・浸食させる粒径 $16\mu\text{m}$ ($\phi=6$)以下の粒子の含有率の変化の分布。底質の粒径変化傾向の新たな検証結果。

表 3.3.2 底質の粒径変化傾向評価結果。評価結果の①と②は表 3.3.1 に示した基準、③は図 3.3.1 に示した基準で判断した結果である。記号の「-」は、1989年の粒径加積曲線データがなかったため判断不可であった。

期間	評価結果		
	①	②	③
1989～2000年	細粒化	細粒化	—
2000～2005年	細粒化	粗粒化	粗粒化
2005～2009年	粗粒化	粗粒化	粗粒化

3.4 有明海湾奥部の底質変化機構

先に述べたように、風とSS輸送との間に関係がみられ、直上水のSSの挙動が底質の粒径、堆積・浸食を決定しているとする、風と底質との間に関係があると考えられる。そこで、収集した底質調査結果及び現地調査における底質採取日以前の積算風速と粒径との関連性について検討した。

底質の採取日と台風接近状況を表 3.4.1 に示す。1989 年と 2005 年は底質採取日直前、あるいは採取期間の間に北風の台風が接近しており、2000 年と 2010 年は南風の台風が接近していた。2009 年には底質採取日前あるいは採取期間中に台風は接近していない。結果として、採取日前に北風の台風が接近すると粗粒化傾向となり、南風の台風が接近すると細粒化傾向となっていることから、採取日前の台風の接近が底質の粒径に大きな影響を与えていると考えた。

表 3.4.1 底質の採取日と台風接近状況

年	底質採取日	台風接近状況		
		名称	最接近日	主風向
1989 年	1989 年 8 月 21 日～9 月 25 日	T198906 号	6 月 24 日	北風
		T198911 号	7 月 28 日	北風
		T198912 号	8 月 3 日	北風
		T198917 号	8 月 26 日	北風
		T198922 号	9 月 19 日	北風
2000 年	2000 年 9 月 7 日～9 月 21 日	T200006 号	7 月 30 日	南風
		T200012 号	8 月 31 日	南風
		T200014 号	9 月 16 日	南風
2005 年	2005 年 10 月 11 日～10 月 26 日	T200514 号	9 月 6 日	北風
2009 年	2009 年 5 月 16 日～5 月 23 日	接近なし	—	—

積算風速と粘土シルト分含有率、Md ϕ の関係をみると図 3.4.1 に示すように、湾奥西部では採取日前 90 日間に南風が卓越すると細粒化する傾向になっていた。

以上のことから、有明海湾奥部の底質の粒径は調査前に南風台風の接近が大きく影響していると考えられ、表 1.1.1 に示した底質粒度の変化は南風台風の接近で説明がすることができる。したがって、有明海湾奥部では、平常時に粒径 16 μ m ($\phi=6$)以下の粒子が岸側に輸送されるため、沖側は長期的には粗粒化傾向にあるものの、南風台風や出水によって岸側(河道内)に堆積した粒子が沖側に拡散し、一時的に細粒化するものと考えられる。

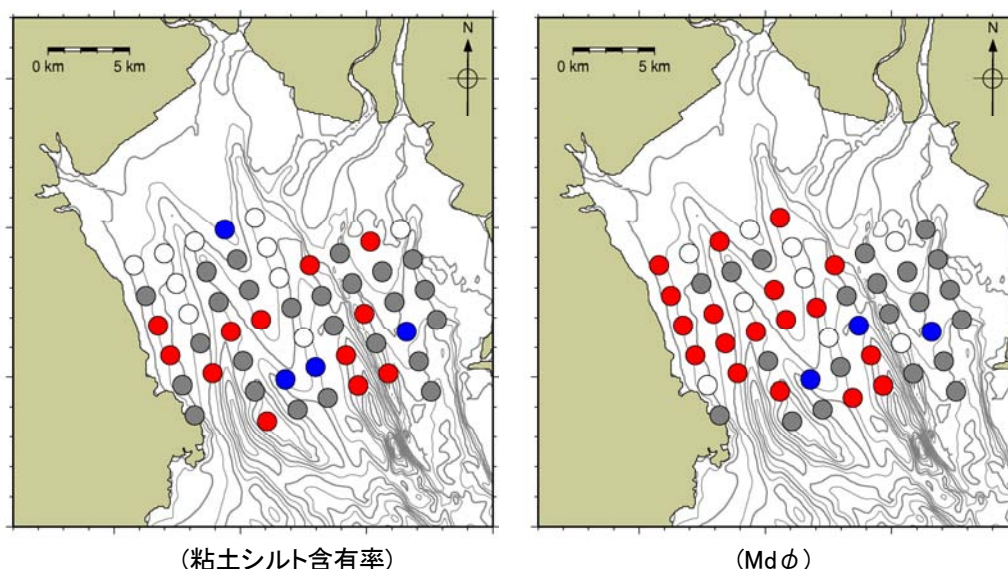


図 3.4.1 積算風速と底質の応答性の分布。用いた底質データは、古賀(1991)、大隈ら(2001)、藤崎ら(2005)及び現地調査である。底質採取日から 90 日前(台風シーズンが入る期間として設定)までの積算風速と底質(粘土シルト含有率及びMdφ)の相関図を作成し、それぞれの一次相関係数を地点毎に求めた。相関係数が 0.6 以上の地点の内、近似式の傾きが正の地点を赤色、近似式の傾きが負の地点を青色で表示した。風向に関わらず底質が一定の地点は白色、相関係数が 0.6 未満で、関係性が不明瞭な地点は灰色で表示した。

4 有明海湾奥部における懸濁物と底質の関係

有明海湾奥部では、底質の粒度は経年的に一様に変化しているのではなく、細粒化、粗粒化を繰り返しており、その辺りは底泥表面の粒径 $16\mu\text{m}$ 以下の粒子の移動によるものと考えられた。

粒子は、基本としてエスチュアリ循環流によって輸送されており、風の影響によってエスチュアリ循環流が強化、あるいは弱化されていると考えられた。粒子のフラックスは、有明海湾奥部では北風時には岸側へのフラックスが強化され、南風時にはそれが弱化され、南風台風や出水時には沖側へのフラックスとなると考えられる。

有明海湾奥部では年間を通じて北西～北東の風が卓越(図 4.1.1 参照)していることを考慮すると、エスチュアリ循環流は強化される方向にある。

したがって、有明海湾奥部では粒子のフラックスは岸側向きが卓越しており、有明海湾奥部沖側の底質の変化傾向は、基本的には粗粒化傾向と考えられる。これは、近年3カ年の堆積・浸食状況からみても明らかであり、また、長期的には湾奥部に泥質干潟が発達してきたことと一致する。一方、岸側に堆積した粒子は南風台風や出水時に沖側に輸送され、これらによって、有明海湾奥部沖側の底質の細粒化が一時的に引き起こされていると考えられた。

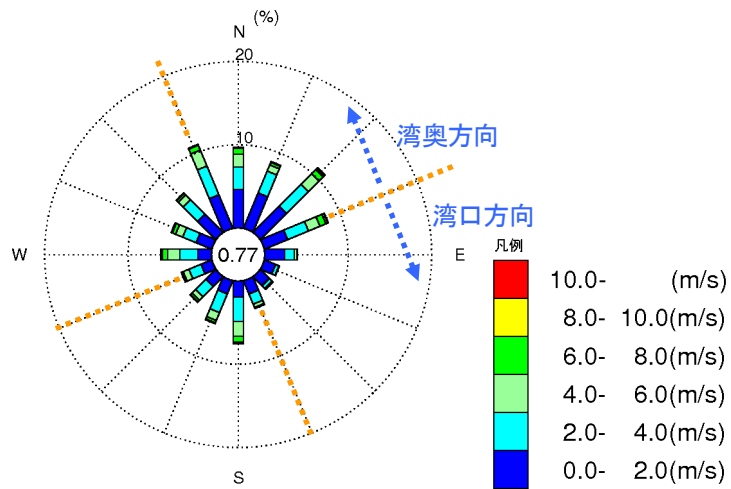


図 4.1.1 佐賀地方気象台における風向風速の出現頻度分布（解析期間：1962 年から 2011 年までの 50 年間）

これらの結果から、“底質の泥化”は長期的な変化傾向ではなく、海域も限定されていると考えられることから、連関図の表記は、海域別に作成すべきであり、有明海湾奥部の連関図では“底質の泥化”は削除すべきと考えられる。また、潮流に関しては田井(2010)によると、有明海湾奥部の潮汐振幅の減少は外海での長期的な振幅が最も大きく影響しており海岸線の変化による減少量は小さい。2000 年台前半は過去一世紀の間で最も小さい潮流速が生じていた期間と報告している。しかしながら、今回の調査によって潮流速が小さくなったことと“底質の泥化”には直接的な関係はみられなかった。この点でも連関図を修正する必要がある。

5 引用文献

- 環境省、有明海・八代海総合調査評価委員会(2006)委員会報告、85pp.
- 横山勝英・宇野誠高・森下和志・河野史郎(2002)超音波流速計による浮遊土砂移動量の推定方法：海岸工学論文集、第49巻、pp.1486-1490.
- 鎌田泰彦(1980)有明海の沿岸地質・海底地形と底質：月刊海洋科学、VOL.12,NO.2、pp.88-96.
- 古賀秀昭(1991)有明海北西海域の底質及び底生生物：佐賀県有明水産振興センター研究報告書、第13号、pp.57-79.
- 近藤寛・東幹夫・西ノ首英之(2003)有明海における海底堆積物の粒度分布とCN組成：長崎大学教育学部紀要 自然科学、NO.68、pp.1-14.
- 東幹夫(一)有明海の底質および底生生物の変化と諫早湾干拓事業との関係についての意見：公害等調整委員会・参考人陳述資料、28pp.
- 大隈斉・江口泰蔵・川原逸朗・伊藤史郎(2001)有明海湾奥部の底質及びマクロベントス：佐賀県有明水産振興センター研究報告書、第20号、pp.55-62.
- 藤崎博・大隈斉・山口忠則・有吉敏和(2007)有明海湾奥部の底質：佐賀県有明水産振興センター研究報告書、第23号、pp.37~40.
- 伊豫岡宏樹・楠田哲也・門上希和夫・上田晋也・土屋大輔(2009)有明海における底質の物理的・化学的分布特性：環境工学研究論文集、Vol.46、pp.453-459.
- 笠置尚史・山本浩一・吉野健児・速水祐一・濱田孝治・大串浩一郎(2007)有明海湾奥部における底泥の物性の変動特性に関する研究：海洋開発論文集、VOL.23、pp.531-536.
- 速水祐一・山本浩一・大串浩一郎・濱田孝治・平川隆一・宮坂仁・大森浩二(2006)夏季の有明海奥部における懸濁物輸送とその水質への影響：海岸工学論文集、VOL.53、pp.956-960.
- 横山勝英・山本浩一・河野史郎(2008)有明海北東部及び筑後川感潮河道における地形・底質・形態別リンの季節変動と土砂移動経路に関する考察：土木学会論文集 B、VOL.64, No.2、pp.83-98.
- 竹内一浩・永尾謙太郎・水野博史・河野史郎・川岸寛・楠田哲也・岡田光正・中川康之・速水祐一(2012)有明海における懸濁物輸送モデルの開発：平成24年度海洋理工学会発表資料