

実測データによる有明・八代海海域の底質環境分布特性

Distribution characteristics of sedimentary environment in the Ariake and Yatsushiro Seas based on observed data

園田吉弘¹・滝川 清²・山口信司³・福留雄二⁴
高木克己⁵・荒川浩成⁶・川岸 寛⁷

Yoshihiro SONODA, Kiyoshi TAKIKAWA, Shinji YAMAGUCHI, Yuji FUKUDOME
Katsumi TAKAGI, Hironari ARAKAWA and Hiroshi KAWAGISHI

We have collected and organized the bottom sediment data that has been recently investigated in the Ariake and Yatsushiro Seas and have divided sea area of the Ariake and Yatsushiro Seas by cluster analysis using physical and chemical properties of sediments. As a result of consideration, It was suggested that in the mid-bay and mouth of the Ariake Sea, the suspension carried by the tidal residual current toward the mouth of the bay from the inner part of bay is deposited. According to distribution characteristics of total phosphorus concentration, we have found that deterioration of sediment environment is not only due to progress of siltation in the Yatsushiro Sea.

1. はじめに

近年、有明海の北部、諫早湾、熊本市沖、および八代海の北部の海域では底質環境の悪化が顕著になっている(環境省, 2006; 園田ら, 2009など). 他方、有明・八代海海域の湾奥から湾口にかけての底質環境は、熊本市沖を除くと知見は殆ど得られていない. 有明海における最近の底質調査は、湾奥を対象にした藤崎ら(2007)、(公社)日本水産資源保護協会(2009)などがあり、全域を対象にした九州農政局(2005~2012)、秋元ら(2004)、伊豫丘ら(2009)などがある. また、九州農政局・佐賀県(2010)、九州農政局・熊本県(2010)、長崎県・(一社)水産土木建設技術センター(2009)等、数多くの調査が行われている. 八代海では、全域を対象に、秋元ら(2005)、増田ら(2012)、環境省(2004~2012)、国土交通省(2005~2012)の調査が行われているが、調査地点の密度は有明海に比べ圧倒的に少ない. このため、底質環境の分布特性に関する研究は有明海に比べ遅れている. とりわけ、有明海、八代海における底質調査は、調査の時期(季節)、底質の物理・化学的特性の分析項目と分析方法等が調査機関により異なることが少なくないため、広域の底質環境の分布特性を検討する上で、底質データが有効に活用されているとはいいがたい. このた

め、有明・八代海海域における底質環境悪化の全容が、未だ把握されていない現状にある. そこで、これまで各機関で観測された実測データを集積・整理して、有明・八代海海域の全域にわたる底質環境の分布特性を明らかにすることを本研究の目的とした.

2. 調査概要

底質環境の最新の状況を把握することができ、かつ、底質環境の全容把握に必要な底質データの分布密度を確保するために、2004年以降の底質データを対象にした. 底質環境特性の季節変動については、梅雨期における河川由来有機物の増加、貧酸素水塊の発生に伴う硫化物生成の影響等を考慮に入れ、有明海では6~10月の時期の底質データを対象にした. 底質データが少ない八代海は、有明海と同じ時期に揃えたとすると、底質データ数がさらに少なくなり分布密度が粗くなるため、5~11月の時期を対象にした. 以上により選別した底質地点数は有明海が412点、八代海が33点である. 図-1に有明海、図-2に八代海の底質調査地点を示す. 図-1において地点が近接し、図上に表示できないものは間引いて表示した. 表-1には、底質調査の実施時期、地点数、分析項目、分析・試験方法を示した. 分析・試験方法のうち、含泥率は0.074mm以下(JIS A 1204)と0.063mm以下(漁場環境保全調査推進事業調査指針, 水産庁1997)の二通りで行われている. 強熱減量は550℃で1時間強熱(漁場環境保全調査推進事業調査指針, 水産庁1997)、600℃で1時間強熱(底質調査方法II 4.2, 環境省)、650℃で1時間強熱の三種類で行われている. ここで、既往の浅海堆積物の強熱減量実験についてみると、新城ら(2003)は炭酸カル

1 正会員 工博 熊本大学特別研究員
2 フェロー 工博 熊本大学特任教授
3 九州農政局農地整備部農地整備課課長補佐
4 九州農政局農地整備部農地整備課係長
5 アジアプランニング(株)統括部長
6 アジアプランニング(株)
7 いであ(株)九州支店 主任研究員

シウム粉末の強熱減量から、炭酸カルシウムは540℃～700℃の間で熱分解を起こし、質量を減じるとした。今川ら(2011)によれば、海底堆積物有機泥に含まれる有機物は500℃までに焼却されるとした。これらの実験結果から、貝殻片を多量に含む底質試料は、600℃以上の温度では貝殻片の熱分解により強熱減量が高めの値になる可能性を否定できない。したがって、底質中の有機物濃度は、強熱減量だけでなく、COD、全窒素を考慮に入れて検討する必要がある。

次に、底質環境の分布特性の検討手法として、クラスター分析を用いた。クラスター分析は、サンプル間の類似度あるいは非類似度に基づき、サンプルの分類を行う手法である。本研究では、分類感度に優れ実用性が高いWard法による凝集型階層的手法とし、底質データは0-1に正規化した。クラスタ数は、疑似F統計量、平方重相関、平方セミパーシャル相関係数による一様性の推移をもとに検討した。ここで、表-1に示すように、有明海では含泥率を除き調査機関ごとに底質項目が異なるため、全地点一括のクラスター分析ができない。そこで、表-2に示すような底質項目の組み合わせによるクラスター分

析を行った。まず、粒度組成の異なるさまざまな地点で調査され、かつ、底質項目の種類が最も多い(a)と(d)のデータ(図-1および表-1参照)をベースデータとしてケース1のクラスター分析を行い、一様性の推移により海域区分を行った。次に、ベースデータと各調査機関に共通の底質項目によりケース2～ケース7のクラスター分析を行い、個別の海域区分をベースデータの海域区分に重ね合わせて比較検討し、有明海全域を海域区分した。なお、ケース7のみ含泥率の代わりに中央粒径を用いた。

八代海は、表-2に示すように、共通の底質項目により全地点一括して2ケースのクラスター分析を行った。海域区分を検討するに当たっては、表-3に示す底質項目間の相関により、有明海では含泥率と栄養塩類、硫化物は密接に関係していることから、含泥率をベースにした。一方、八代海では含泥率と全窒素、全硫化物の間には相関が見られるが、全リンとの間には相関が見られないことから、含泥率、栄養塩の二通りをベースにした。クラスター分析にはOriginLab社のOriginPro9.1、株式会社日本科学技術研修所のJUSE-StatWorksV5.0を用いた。

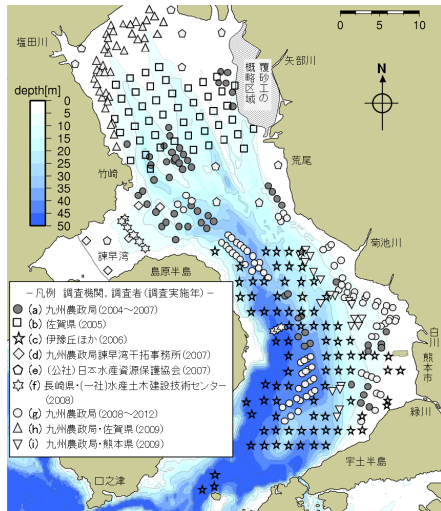


図-1 底質調査地点(有明海)

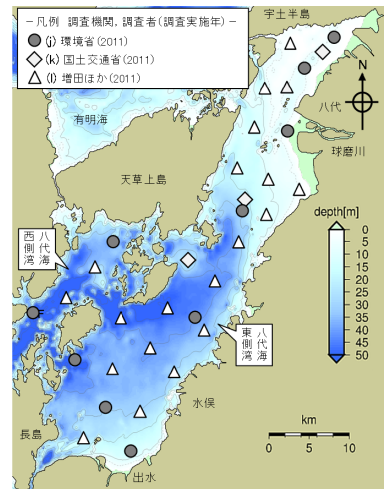


図-2 底質調査地点(八代海)

表-1 底質調査の諸元

海域(地点数)	調査機関または調査者(調査実施年)	調査月	使用地点数	含泥率	全硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	AVS
有明海 (412地点)	(a) 九州農政局(2004～2007)	7～9月上旬	68	0.074mm以下	底質調査方法Ⅱ 4.6	600℃で1時間強熱	底質調査方法Ⅱ 4.7	底質調査方法Ⅱ 4.8.1	底質調査方法Ⅱ 4.9.1	-
	(b) 佐賀県(2005)	10月	55	0.063mm以下	-	550℃で1時間強熱	-	-	-	検知管法
	(c) 伊豫丘ほか(2006)	7～9月上旬	135	0.074mm以下	-	650℃で1時間強熱	-	-	-	-
	(d) 九州農政局諫早湾干拓事務所(2007)	8月	5	0.074mm以下	底質調査方法Ⅱ 4.6	600℃で1時間強熱	底質調査方法Ⅱ 4.7	底質調査方法Ⅱ 4.8.1	底質調査方法Ⅱ 4.9.1	-
	(e) (公社)日本水産資源保護協会(2007)	7～8月	10	-	-	-	-	有機元素分析装置	-	検知管法
	(f) 長崎県(一社)水産土木建設技術センター(2008)	8月	9	0.074mm以下	底質調査方法Ⅱ 4.6	-	底質調査方法Ⅱ 4.7	-	-	-
	(g) 九州農政局(2008～2012)	7～9月上旬	80	0.074mm以下	底質調査方法Ⅱ 4.6	600℃で1時間強熱	-	-	-	-
	(h) 九州農政局・佐賀県(2009)	7月	40	0.063mm以下	-	550℃で1時間強熱	水質汚濁調査指針	-	-	検知管法
	(i) 九州農政局・熊本県(2009)	8月	10	0.074mm以下	水質汚濁調査指針	550℃で1時間強熱	水質汚濁調査指針	-	-	-
	(j) 国土交通省熊本港湾・空港整備事務所(2011)	5月	3	0.074mm以下	底質調査方法Ⅱ 4.6	600℃で1時間強熱	底質調査方法Ⅱ 4.7	底質調査方法Ⅱ 4.8.1	底質調査方法Ⅱ 4.9.1	-
八代海 (33地点)	(k) 環境省(2011)	8月	10	0.074mm以下	底質調査方法Ⅱ 4.6	600℃で1時間強熱	底質調査方法Ⅱ 4.7	底質調査方法Ⅱ 4.8.1	底質調査方法Ⅱ 4.9.1	-
	(l) 増田ほか(2011)	10～11月上旬	20	0.074mm以下	底質調査方法Ⅱ 4.6	-	-	有機元素分析装置	底質調査方法Ⅱ 4.9.1	-

表-2 クラスター分析のケース別諸元((a) ~ (i) は、表-1の (a) ~ (i) と同じ)

海域	ケース	クラスター分析の組合せ	地点数	中央粒径	含泥率	全硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	項目数
有明海	ケース1	(a) と (d)	73		○	○	○	○	○	○	6項目
	ケース2	(a) と (g)	148		○	○	○				3項目
	ケース3	(a) と (f)	77		○	○		○			3項目
	ケース4	(a) と (h)	108		○		○	○			3項目
	ケース5	(a) と (b), (c)	258		○		○				2項目
	ケース6	(a) と (i)	78		○	○	○	○			4項目
	ケース7	(a) と (e)	78	○					○		2項目
八代海	ケース1	(j) ~ (l)一括	33		○	○			○		3項目
	ケース2	(j) ~ (l)一括	33						○	○	2項目

表-3 底質項目の相関係数

海域	底質項目	含泥率	全硫化物	全窒素	全リン
有明海 (データ数 64)	含泥率	1.000			
	全硫化物	0.643	1.000		
	全窒素	0.916	0.658	1.000	
	全リン	0.637	0.660	0.662	1.000
八代海 (データ数 33)	含泥率	1.000			
	全硫化物	0.758	1.000		
	全窒素	0.526	0.556	1.000	
	全リン	0.082	0.333	0.491	1.000

表-4 海域区分別の底質名, 底質環境特性(平均値)

海域区分	底質名	図-3の凡例	含泥率 (%)	全硫化物 (mg/g)	強熱減量 (%)	COD (mg/g)	全窒素 (mg/g)	全リン (mg/g)
A	S(砂)	●■▲★◆	20.9	0.05	4.1	4.4	0.46	0.42
B	SM(泥混じり砂)	●■▼★◆◇	40.4	0.17	6.9	8.3	0.86	0.52
C	MS(砂混じり泥)	●▼★◆	80.0	0.14	9.6	14.5	1.51	0.48
D	M(泥)	●■▲▼★◆◇	91.8	0.42	10.5	15.7	1.85	0.71

表-5 海域区分別の細区分

A	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7
B	B1, B2, B3, B4
C	C1
D	D1, D2, D3, D4

3. 調査結果

(1) 有明海

ベースデータのクラスター分析(表-2のケース1)の、一様性の推移における平方セミパーシャル相関係数は小さいほど各クラスターの類似性が良く、回帰分析の寄与率に相当する平方重相関は大きいほど各クラスターの類似性が良い。また、疑似F統計量はクラスター数が3と5で変化点が見られることから、クラスター数の目安は3~5となる。ここで、泥が広範囲に分布する湾奥と熊本市沖の底質試料を比較すると、熊本市沖は湾奥に比べ砂分を含む不均質な泥であることが粒度試験結果に示されていることから、泥を「砂混じり泥」と「泥」の二つに細分する必要がある。以上の検討を踏まえ、表-4に示すようにA(砂, 以下Sと呼ぶ), B(泥混じり砂, 以下SMと呼ぶ), C(砂混じり泥, 以下MSと呼ぶ), D(泥, 以下Mと呼ぶ)の四つに区分した。さらに、流入河川との位置関係, 物質輸送に大きな役割を果たす潮汐残差流(滝川ら, 2004), 潮汐残差流を規制する海底地形及び海底に露出する基盤の分布(地学団体研究会, 1985)を検討し、海域区分を表-5, 図-3に示すように細区分した。細区分ごとの底質環境特性は図-4に示すとおりである。

図-3の細区分についてみると、河口デルタはSの分布域(A1, A2, A4, A5)であり、ミオ筋にM(D3)が分布する。河口デルタの沖側はMの分布域(D1, D3, D4)である。海底砂州のA6(地学団体研究会, 1985)はS, その周辺はSMの分布域(B1)である。湾奥北部~西部と諫早湾はMの分布域(D1, D2)である。島原半島東岸沖の海底谷はSの分布域(A7)であり、その外側はA7を縁どるようにSMの分布域(B2, B3, B4)が広がる。他方、熊本市沖は、島原半島側に向かってM分布域(D4), MS分

布域(C1), SM分布域(B2, B3)の順に配列する。図-4から、A1~A7の硫化物濃度, 栄養塩濃度は低く、底質環境の悪化が問題になるレベルにはない。

B2~B4では強熱減量が比較的高い。前述のように、強熱減量については貝殻片の熱分解の影響を考慮する必要がある。貝殻片を多量に混入する海域区分B, Cにおいて、強熱減量, COD, 全窒素の相関を調べた結果、強熱減量とCODの相関係数は0.737, 強熱減量と全窒素の相関係数は0.654であった。このことから、強熱減量の大部分は有機物に由来することが推定される。さらに、B2, B3では、秋元ら(2004)により、貝殻を多く含む砂の表面が厚さ2cm程度のオリーブ色の泥で覆われるサンプルが多く、採取されている。したがって、B2~B4の比較的高い強熱減量は、砂の表面を覆う泥に含まれる有機物に由来することが示唆される。D1~D4では、底質の嫌気性の指標である硫化物, 富栄養化の指標である強熱減量, CODのいずれも高い。また、熊本市沖のD4における有機物量は、有明海で最も底質環境の悪化が進行している湾奥北部のD2のそれとほとんど変わらない。

次に、物質輸送に大きな役割を果たす潮汐残差流と細区分の関係を図-5により検討すると、D1, D2は停滞性水域に分布する。一方、南下する潮汐残差流が顕著なB2, B3, B4では、前述のように表層は懸濁物で覆われていることから、含泥率が40%未満であるにもかかわらず、強熱減量は8~10%を示す。このことは、南下する潮汐残差流によって運ばれた湾奥側からの懸濁物の分布を反映した結果とみることができる。他方、熊本市沖は泥質堆積物(D4, C4)が広範囲に分布する。このことは、熊本市沖は外海水と沿岸水の明瞭な境界(潮目)が認められ、そこでは栄養塩類が蓄積し(滝川ら, 2005), 厚さ2cmの泥が表層を覆う(秋元ら, 2004)ことを報告した既往知

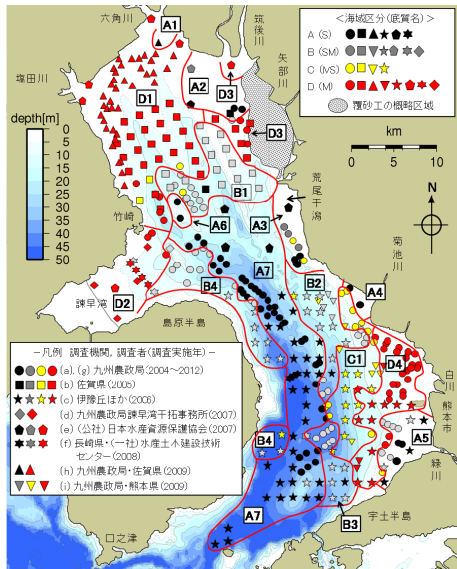


図-3 底質環境特性による海域区分と細区分(有明海)

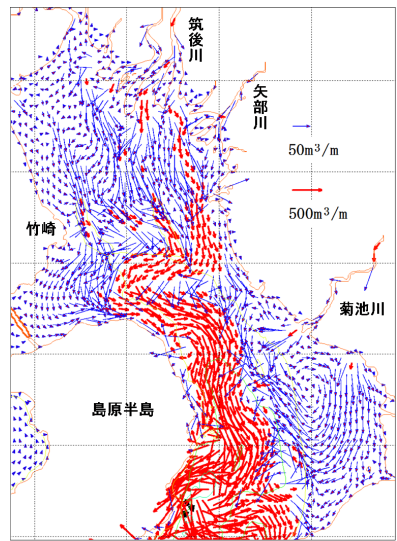


図-5 有明海の潮汐残差流(滝川ら, 2004)の線流量

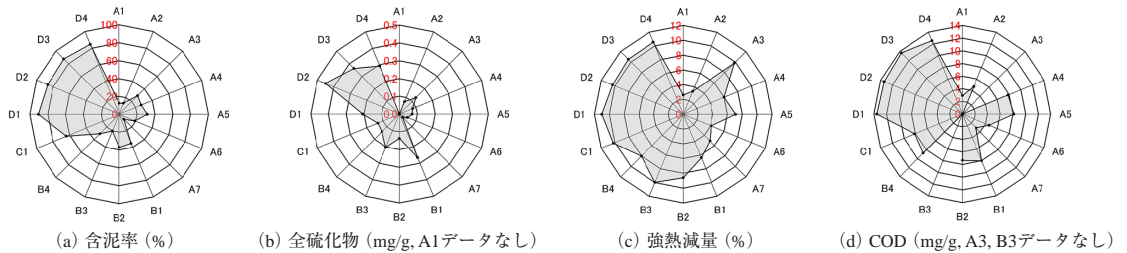


図-4 図-3における細区分の底質環境特性(平均値)

見と整合する。さらに、熊本市沖における泥質堆積物の分布域は、図-5の熊本市沖の循環流の形成場所(滝川ら, 2004)と一致する。

(2) 八代海

含泥率をベースにしたクラスター分析では、一様性の推移における疑似F統計量等から、A (S), B (SM), C (MS), D (M) の四つのグループに区分され、分布する海域により表-6、図-6に示すような細区分に区分される。表-6、図-6から、Sの分布域(A1)は西側湾の湾口部に分布し、全硫化合物と全窒素は極めて低い。SMの分布域(B1)は西側湾の湾中央部から東側湾の南部にかけて分布し、全硫化合物は低く、全窒素は1.5mg/g程度を示しやや高い。MSの分布域(C1, C2, C3)は、東側湾の球磨川河口沖合等に分布し、全硫化合物は1.0~1.5mg/g、全窒素は1.5~2.0mg/g程度を示す。Mの分布域(D1, D2)は東側湾の北部と湾中央部に分布し、全硫化合物は2.5mg/g以上、全窒素は2.0mg/g程度を示し、底質環境の悪化が進んでいる。

次に、全窒素と全リンによるクラスター分析では、一様性の推移における疑似F統計量等から、表-7に示すように、A~Eの五つのグループに区分される。図-7に全窒素、

表-6 海域区分別の底質質, 細区分, 底質環境特性(平均値)

海域区分	図-6の凡例	含窒素 (mg/g)	全硫化合物 (mg/g)	全窒素 (mg/g)
A	●▲	4.40	0.02	0.64
B	●▲	36.7	0.04	1.55
C	●▲	69.1	0.14	1.53
		56.5	0.10	1.50
		56.1	0.13	2.02
D	●▲◆	99.0	0.28	1.81
		81.7	0.25	2.18

図-8に全リンの分布を示した。これらの図は、表-7に示すグループごとの平均値を、該当する調査地点上にプロットしている。図-7から全窒素が高い地点は全リンも高くなる傾向が見られるが、図-8から全リンが高いC, Eグループの地点は八代海のほぼ全域に広がり、図-9に示す秋元ら(2005)による含泥率の分布と対応しているとは言えない。このことは、八代海では海面養殖に由来するリン等の底質中への蓄積の関与が推察され、有明海の場合の含泥率による海域区分の考え方が八代海にそのまま適用できないことを示しており、八代海の底質環境の悪化が泥化に伴うことだけではないことを示唆している。

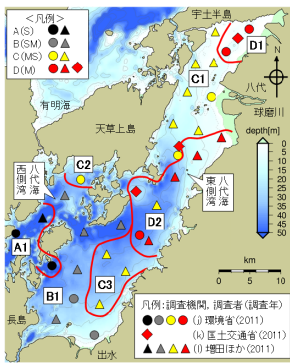


図-6 底質環境特性による海域区分と細区分(八代海)

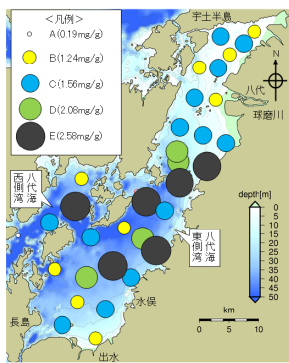


図-7 全窒素・全リンによるグループ区分のうち全窒素の分布(八代海)

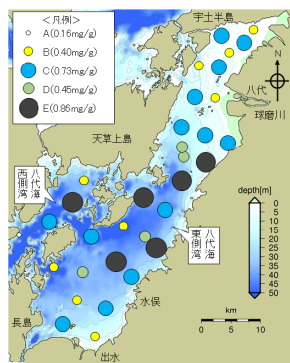


図-8 全窒素・全リンによるグループ区分のうち全リンの分布(八代海)

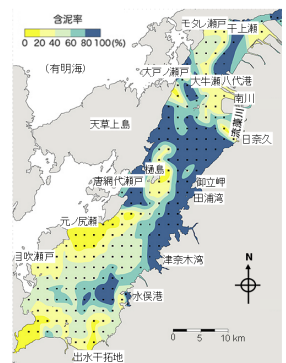


図-9 八代海東側湾の含泥率分布(秋元ら, 2005)

表-7 全窒素・全リンのクラスター分析による各グループの底質環境特性(平均値)

グループ	図-7, 8の凡例	全窒素 (mg/g)	全リン (mg/g)
A	○	0.19	0.16
B	●	1.24	0.40
C	●	1.56	0.73
D	●	2.08	0.45
E	●	2.58	0.86

4. まとめ

有明・八代海海域の湾央, 湾口の底質環境は, 熊本市沖を除くと知見は殆ど得られていない。また, 底質調査の調査時期, 分析項目等が調査機関により異なるため, 広域の底質環境の分布特性を把握する上で, 底質データが有効に活用されているとはいえない。そこで, 最近有明・八代海海域で行われた底質調査データを集積・整理し, クラスター分析を行って有明・八代海海域の底質環境分布特性の全容を調べた。その結果, 底質環境の悪化は, 有明海では, 北部海域, 諫早湾, 熊本市沖だけにとどまらず, 南下する潮汐残差流によって湾奥側からの懸濁物が湾央から湾口にかけて輸送され堆積し, 底質の富栄養化が進行していることが示唆された。

八代海では, 全リンの濃度分布から底質環境の悪化は泥化の進行だけによるものではないこと, 東側湾の湾央海域の底質環境は八代海の中で最も富栄養化が進行していることが示唆された。

参考文献

秋元和實・滝川 清 (2004) : ガラカブが観た有明海の風景ー環境変化をとらえるための表層堆積物データベースー, 熊本大学沿岸環境科学教育センター出版。
 秋元和實・滝川 清 (2005) : 「くちぞこ」が観た八代海の風景ー環境変化をとらえるための表層堆積物データベースー, 熊本大学沿岸環境科学教育センター出版。
 今川昌孝・TOUCH NARONG・中下慎也・日比野忠史 (2011) : 海底堆積有機物に含まれる有機物の燃焼特性, 土木学会

論文集B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I_1156- I1160。
 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, 46巻7, pp 453- 459。
 株式会社 日本科学技術研修所 (2012) : JUSE-StatWorks V5.0。
 環境省 (2004-2008) : 有明海・八代海水質保全調査報告書 (平成15-19年度)。
 九州農政局 (2005-2012) : 底質環境調査報告書 (平成16年度～平成23年度)。
 環境省, 有明海・八代海総合調査評価委員会: 委員会報告, 2006。
 環境省 (2009-2012) : 有明海・八代海再生フォローアップ調査 (底質環境等調査) 報告書 (平成20-23年度)。
 九州農政局諫早湾干拓事務所 (2008) : 諫早湾干拓事業環境モニタリング結果のとりまとめ。
 九州農政局・佐賀県 (2010) : 平成21年度有明海特産魚介類生息環境調査 (佐賀県沖) 委託事業報告書。
 九州農政局・熊本県 (2010) : 平成21年度有明海特産魚介類生息環境調査 (熊本県沖) 委託事業報告書。
 (公社) 日本水産資源保護協会 (2007) : 平成19年度水産基盤整備調査委託事業報告書 (有明海における覆砂事業等技術開発調査)。
 国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所 (2005-2013) : 環境整備船「海輝」年次報告書 (平成16-23年度)。
 新城俊也・小宮康明・宮城調勝・与那峰盛明 (2003) : 強熱減量試験による石灰質土の炭酸カルシウム含有量の測定, 土と基礎, Vol.51, No.4, pp. 32-34。
 園田吉弘・滝川 清・床波武富・今村義郎・田渕幹修・齋藤孝 (2009) : 有明海における底質環境特性と底生生物の分布特性, 第25回海洋開発論文集, pp. 497-502。
 滝川 清・田渕幹修 (2004) : 有明海の潮汐変動特性と沿岸構造物の影響, 第49回海岸工学論文, pp. 1061-1065。
 滝川 清・秋元和實・平城兼寿他 (2005) : 有明海熊本沖の水塊構造と表層堆積物の分布特性, 第52回海講論文集, pp. 956-960。
 地学団体研究会 (1985) : 有明・不知火海の第四系, 地研専報11。
 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, 第23巻, pp. 37-40。
 長崎県・(一社) 水産土木建設技術センター長崎支所 (2009) : 平成20年度水産基盤整備事業効果調査事業報告書。
 増田龍哉・御園生敏治・田中聖二・森本剣太郎・矢北孝一・滝川 清 (2013) : 八代海における底質および底生生物分布特性の現況把握, 土木学会論文集B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, pp. I_886-I_891。
 OriginLab Corporation (2013) : OriginPro9.1。