

有明海における水質・底質の実測データに基づく海域環境の変動特性

Characteristics of environmental changing in Ariake Sea based on surveying the data of water quality and bottom sediment

園田吉弘¹・滝川 清²・床次武富³・早田 功⁴・齋藤 孝⁵

Yoshihiro SONODA, Kiyoshi TAKIKAWA, Taketomi TOKONAMI, Isao SODA and Takashi SAITO

This study presents attribute analysis of environmental change in Ariake Sea with the use of data in relation to the water quality and bottom sediment. As a result of cluster analysis for water quality data, Ariake Sea is classified into six areas. and as a result of cluster analysis for water quality data of recent years, Head of Ariake Sea is classified into five areas. The surface of sea bottom was stirred in several places of Ariake Sea with the device of the rake type as approach of Ariake Sea reproduction. Effect of the stir of sea bottom appears in the decrease of ignition loss etc. and nutrient salt etc. It was clarified that the effect of the stir of sea bottom was influenced from the sea area environmental characteristic of the water quality, bottom quality, tidal current etc.

1. はじめに

有明海における底質の泥化, 貧酸素水塊や赤潮発生の頻発化など生物生息環境の悪化が著しいものの, 環境悪化の要因・原因についての知見に乏しい状況にある. 海域環境の支配要因は物理・化学的要因や, これに生物系の要素が加わる複雑系であり, 総合的な視点からの調査・分析が重要であるが, いまだ総合的・科学的視点からの研究成果が十分に得られていない. 本研究は, 底質調査データと過去からの水質調査データの変動特性から, 有明海における底質環境特性と水質環境変動との関連性を調べ, 総合的な視点から有明海海域の環境変動特性を明らかにしようとするものである.

また, 有明海再生の取り組みとして, 数カ所にわたって海底攪拌を行い, 攪拌前後の底質調査データから攪拌の効果を, 海域環境特性との関連で検討した. 海底攪拌の効果のメカニズムは, 必ずしも解明されていないが, 泥化, 富栄養化, 嫌気化など底質環境の悪化が著しい有明海において, 海底を強制的に攪拌することにより, 浮泥層を水中に飛散させ, 海底表層部の有機物の減少を促進させるとともに, 浮泥層に酸素を供給して, 還元的な底質環境を改善し, 有機物の分解を促進させる等の効果が考えられる.

2. 有明海海域における水質の変動特性

有明海の全域について, 有明海での赤潮増大の傾向が

顕著になった1996年から2004年の8年間の有明海浅海定線調査データ(熊本, 福岡, 佐賀の3県)をもとに, 水質特性を調べた. 調査地点は, 図-1に示すように, 34点である. また, 湾奥部について, 海底攪拌に伴う底質調査の調査年に合わせて, 2005年から2007年の3年間の有明海浅海定線調査データ(熊本, 佐賀の2県)をもとに, 水質特性を調べた. 調査地点は, 図-2に示すように, 20点である. 調査項目は, 全域では, 浅海定線調査データの中から調査項目の揃っている水深5mのデータとし, 水温, 塩分, 透明度, DO, COD, NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, DIN, PO₄-Pである. また, 湾奥部では, 調査項目の揃っている底層(海底上1m)のデータとし, 調査項目は, 全域の水深5mのデータと同一である.

(1) 解析方法

浅海定線調査データによる水質項目の分布特性を明らかにするために, 水温, 塩分, 透明度, DO, COD, DIN, PO₄-Pの7項目の毎月観測値を用いてクラスター分析を行い, クラスター分析による海域区分ごとに, 水質項目の月別平均値の年変動特性を調査した. クラスター分析は, 全域については, 1996年から2004年の8年間の水深5m層のデータをもとに, 湾奥部については, 2005年から2007年の3年間の底層(海底上1m)のデータをもとに, Ward法による階層型の手法で行った.

(2) 水質データのクラスター分析による海域特性

全域のクラスター分析の結果, 図-1に示すように, 湾奥北部A, 筑後川河口沖B, 湾奥東部C, 湾奥西部D, 湾央東部E, 湾央西部・湾口部Fの6グループに分類された. また, 湾奥部のクラスター分析の結果, 図-2に示すように, G~Kの5グループに分類された.

1 正 会 員 熊本大学自然科学研究科
2 フェロー 工博 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター教授
3 九州農政局整備部農地整備科 課長補佐
4 九州農政局整備部農地整備科 係長
5 熊本大学自然科学研究科



図-1 クラスタ分布による有明海全域の海域区分 (水深5mデータ, 1996/4~2004/3)

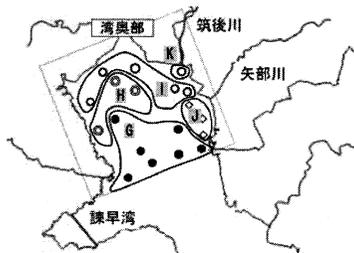


図-2 クラスタ分布による湾奥部の海域区分 (海底上1mデータ, 2005/1~2007/2)

a) 水深5mデータによる有明海全域の海域特性

分類グループの水質項目ごとに、図-3に示すような月平均値の年変動特性が明らかになった。図-3(a)の塩分は、湾奥側ほど低くなっており、特に7月の梅雨と4月の菜種梅雨の降水による河川流入量の増加時に、著しい低下がみられる。この傾向は筑後川河口沖のB海域で顕著である。図-3(b)の透明度の年変動は、外海からの潮汐流入量が大きく水深が深い湾口部のF海域で高く、その他の海域では低くなる傾向がみられる。図-3(c)のDINの濃度は、 $B > A > C$, $D > E > F$ の順になっており、筑後川から流入した高いDINが、筑後川河口沖のB海域から湾口側のF海域に向かって次第に希釈されていく。図-3(d)のPO4-Pは、湾奥北部A海域と湾奥西部D海域で高く、富栄養化が顕著な海域になっている。PO4-Pが高いこれらの海域では、底質の泥化、富栄養化と嫌気化が進行している。図-3(e)の $(NO_3-N+NO_2-N)/NH_4-N$ 比が小さくなると、アンモニウム態窒素 (NH_4-N) が亜硝酸態窒素 (NO_2-N) を経て硝酸態窒素 (NO_3-N) に変化する過程において、硝化細菌による硝化能力が十分発揮されなくなっている状態であることが推察される。この比は10月

~1月にかけて少し高くなるものの、それ以外の時期は、ほぼ全域で低く、有明海の全域で硝化による浄化能力の減衰傾向がみられる (園田, 滝川, 齋藤, 2008)。図-3 (f)のDIN/PO4-P比は、窒素とリンの濃度バランスを表しており、この比がA, D海域で低いのは、図-3(d)に示すように、PO4-P濃度が他の海域に比べ突出して高いことが影響している。また、C海域で高いのは、筑後川から流入した高いDINが影響していることが考えられる。

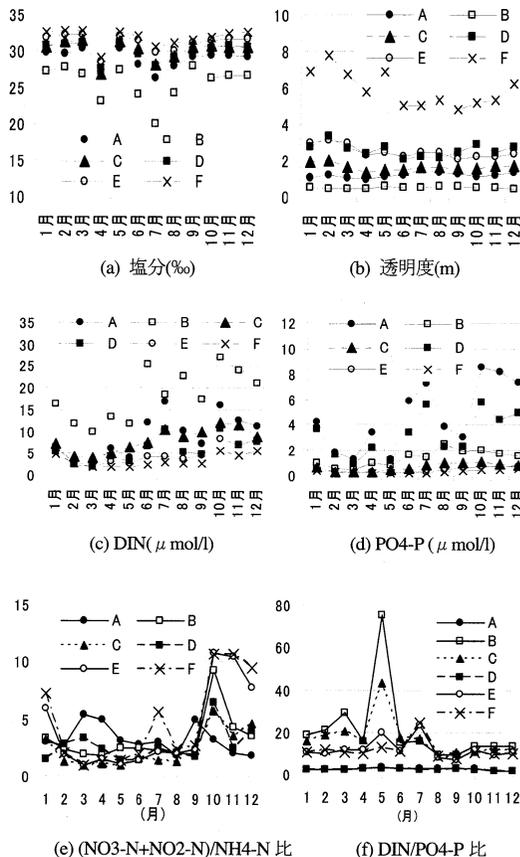


図-3 有明海全域での水質項目の年変動特性(水深5m)

b) 底層データ (海底上1m) による湾奥部の水質特性

分類グループの水質項目ごとに、図-4に示すような月平均値の年変動特性が明らかになった。図-4(a)の塩分は、7月の梅雨の降水による河川流入量の増大時に著しい低下がみられる。図-4(c)のDIN濃度は、7月の梅雨の降水による筑後川からの河川流入量の増加に伴い著しく高くなり、図-4(a)の塩分の低下とよく対応している。図-4(b)のDOについてみると、G, H海域の7, 8月には、水産業にとって生産の基盤となる重要な環境要素である水産用水基準値6mg/l (底層においては4.3mg/lが目安)

のレベルまで低下し、特に、H海域の8月には4.3mg/l以下に低下し、貧酸素水塊が発生したことを示している。

図-4(d)のPO4-Pの年間変動は、冬季から春季にかけて低濃度となり、夏季から秋季にかけて高濃度となる傾向がある。PO4-Pの濃度が低濃度となる時期は、潮汐の年間変動において平均潮位が低くなって干潟干出面積の広がる時期とほぼ一致する(滝川, 田中, 外村他, 2003)。また、図-4(c)と図-4(d)に示すように、筑後川河口沖のK海域は、筑後川から流入した高いDINとPO4-Pが影響しているが、G, H, I, J海域の7月にもDINとPO4-Pの高い濃度のピークがみられる。これらの海域における7月のDO濃度は、図-4(b)に示すように6mg/l未満に低下していることから、海底および底層付近の嫌気化が進行し、底泥から窒素とリンが溶出している可能性が示唆される。有明海の湾奥部では、底質の泥化、富栄養化と嫌気化が進行し、特に湾奥北部から湾北西部にかけては含泥率が80%を越えている。図-5の九州農政局が2005年から2007年にかけて行った底質調査によれば、湾奥部の泥中には高い濃度の窒素とリンが含まれていることが明らかになった。このことから、底泥から窒素とリンが溶出している可能性が示唆される。

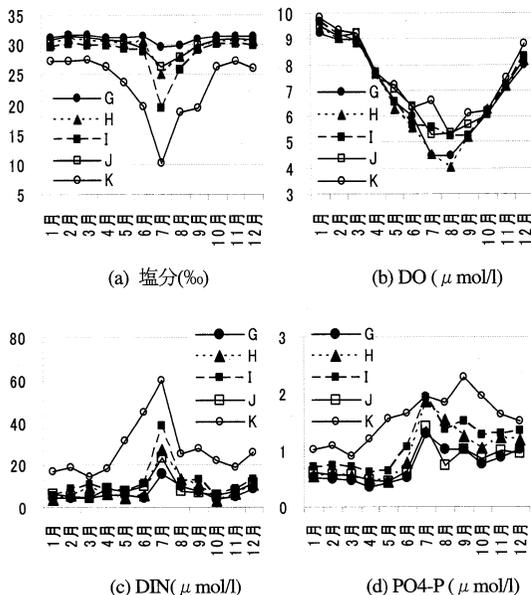


図-4 湾奥部での水質項目の年変動特性(海底上1mの底層)

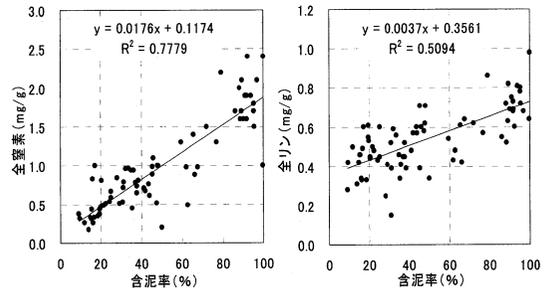


図-5 湾奥部の底質の含泥率と全窒素, 全リンとの関係 (底質調査データ:九州農政局, 2005, 2006, 2007)

3. 海底攪拌に伴う底質環境の変動特性

海底攪拌は、かいけた状の熊手を漁船の船尾から海底に降ろし、ゆっくり曳航して行われた。熊手は、写真-1に示すように、横幅1.5m程度の大きさで、5cm間隔に長さ30cm程度のつめが30本程度並んだ形状をしている。

海底攪拌は、数十隻の漁船により、1箇所あたり2km程度四方の海域を、1週間程度かけて行われた。

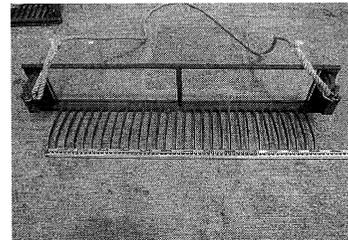


写真-1 海底攪拌に使用した、かいけた状の熊手

(1) 解析方法

2007年8月から12月にかけて行った海底攪拌による底質改善効果の地域特性を明らかにするために、海底攪拌の直前, 直後, 3ヶ月後の3時期における, 中央粒径, 含泥率, 含水率, 全硫化物, 強熱減量, COD, 全窒素, 全リンの8項目の底質調査データをもとに, クラスタ分析を行った。まず, 底質環境の全体的な特性を明らかにするために, クラスタ分析により調査地点をグループに分類し, 各グループの上記8項目の平均値をもとに, 攪拌前後の変動特性を調べた。次に, 底質環境の地域特性を明らかにするために, さらに, グループごとに, 地域別に区分し, 区分した地域別に上記8項目の平均値をもとに, 攪拌前後の変動特性を調べた。クラスタ分析の結果, 図-6に示すように, 調査地点はA, B, Cの3グループに分類された。さらに, 各グループは, その分布位置から, 図-6に示すように地区別に区分された。

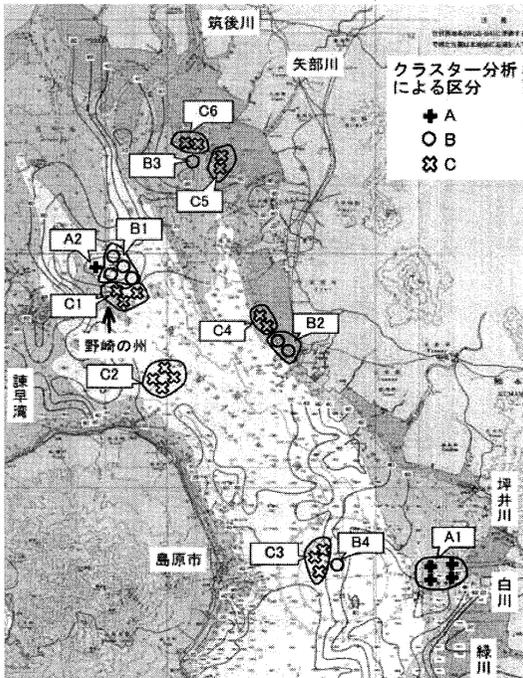


図-6 クラスタ分析による底質調査地点の分類

(2) クラスタ分析による底質環境の全体的特性

攪拌前～攪拌3ヶ月後の期間における変化をみると、図-7(a)の含泥率に示されるように、Aグループは泥、Bグループは泥と砂をほぼ等量を含む砂泥、Cグループは砂質であり、攪拌前後において、著しい粒度組成の変化はみられない。図-7(b)の全硫化物は、いずれのグループとも、増加または、やや増加の傾向であるが、図-7(c)の強熱減量は、Bグループの直後を除き、減少または、やや減少傾向である。図-7(d)のCODと図-7(e)の全窒素には目立った傾向はなく、図-7(f)の全リンはA、Cグルー

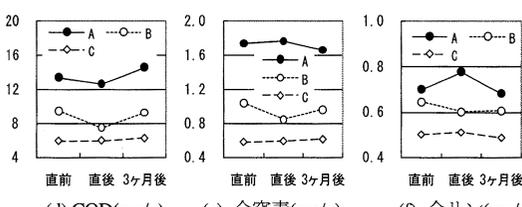
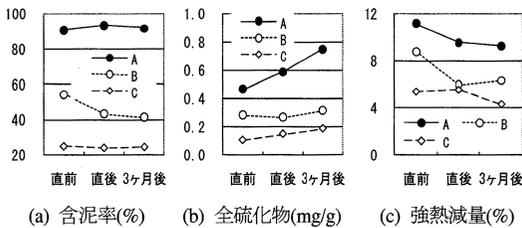


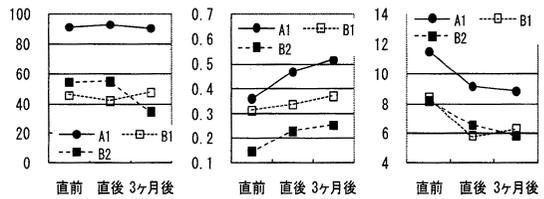
図-7 海底攪拌前後におけるグループ別の底質特性の変化

プの直後を除き、やや減少傾向である。

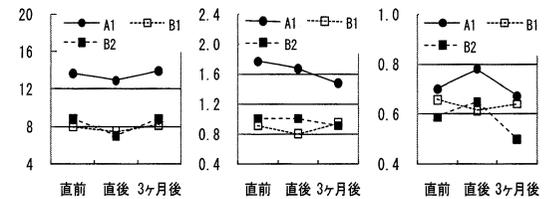
このように海底攪拌の効果は、泥化、富栄養化、嫌気化等の程度の差によって表れ方が異なり、それぞれの攪拌区域の地域特性が影響していることが考えられる。

(3) 各グループごとの地区別特性

図-8と図-9には、図-6に示す各グループの区別別に、攪拌前～攪拌3ヶ月後の期間における底質項目の変化を示した。また、表-1には、攪拌前を基準とした各底質項目の変化量を示した。表-1および図-8、図-9から、強熱減量の減少がA2を除く全区域に共通してみられ、少なくとも3ヶ月後まで、その傾向が持続することおよび、減少傾向の大きさには地域差があることが明らかになった。また、COD、全窒素、全リンについては、減少する地域とそうでない地域があることが明らかになった。

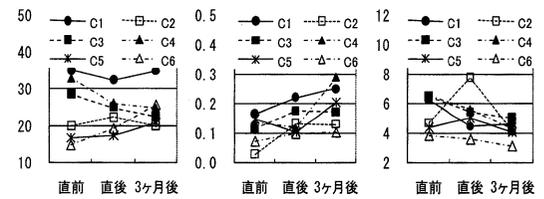


(a) 含泥率(%) (b) 全硫化物(mg/g) (c) 強熱減量(%)

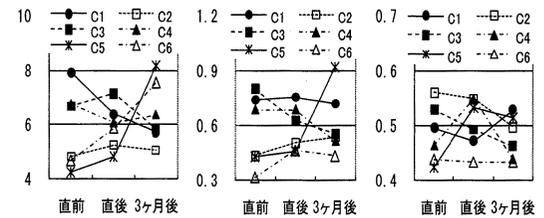


(d) COD(mg/g) (e) 全窒素(mg/g) (f) 全リン(mg/g)

図-8 海底攪拌前後における底質特性の変化(A1, B1, B2)



(a) 含泥率(%) (b) 全硫化物(mg/g) (c) 強熱減量(%)



(d) COD(mg/g) (e) 全窒素(mg/g) (f) 全リン(mg/g)

図-9 海底攪拌前後における底質特性の変化(C1～C6)

表-1 攪拌前を基準とした各分析項目の変化量(区分別)

攪拌 区域	調査 時期	含泥	強熱	COD	全窒	全リン
		率 %	減量 %	mg/g	素 mg/g	mg/g
A1	直前	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
	直後	2.0	-2.3	-0.80	-0.10	0.08
	3ヶ月後	-0.6	-2.6	0.23	-0.30	-0.03
B1	直前	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
	直後	-4.0	-2.7	-0.48	-0.11	-0.05
	3ヶ月後	2.1	-2.2	0.23	0.04	-0.02
B2	直前	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
	直後	0.5	-1.7	-1.80	0.01	0.06
	3ヶ月後	-20.0	-2.4	0.05	-0.10	-0.09
C1	直前	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
	直後	-2.7	-1.8	-1.53	0.01	-0.02
	3ヶ月後	-0.2	-1.6	-2.20	-0.02	0.03
C2	直前	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
	直後	2.3	3.1	0.43	0.07	-0.01
	3ヶ月後	-0.1	-0.5	0.25	0.11	-0.07
C3	直前	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
	直後	-3.6	-1.1	0.47	-0.18	-0.04
	3ヶ月後	-6.0	-1.4	-0.87	-0.25	-0.07
C4	直前	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
	直後	-6.8	-1.0	-0.70	0.00	0.09
	3ヶ月後	-8.2	-2.2	-0.40	-0.17	-0.03
C5	直前	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
	直後	0.7	0.6	0.60	0.03	0.11
	3ヶ月後	4.2	-0.4	3.95	0.50	0.09
C6	直前	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
	直後	4.5	-0.3	1.20	0.15	-0.01
	3ヶ月後	10.9	-0.7	2.85	0.12	-0.01

網掛け部分：海底攪拌前の値に比べ0.02以上低下を示す。

(4) 海域の環境特性と海底攪拌の効果

A1区域付近は、高塩分の外洋系水と周辺の白川、坪井川、緑川等の河川水に由来する低塩分の沿岸水との境界が認められる海域であり、この境界に形成される潮目の近傍の堆積物には高濃度の栄養塩が蓄積し、堆積物が容易に還元状態になる(滝川, 秋元, 平城他, 2005)。このことから、海底攪拌を行うことにより、潮目周辺の海底に堆積した底泥の表層部が水中に飛散し、強熱減量、全窒素等を低下させたことが考えられる。B1区域とC1区域は、かつてはタイラギの好漁場であった「野崎ノ州」と呼ばれる砂州の東側に位置し、いずれも砂と泥の混合底質である。両海域は、図-2の有明海湾奥部のクラスター分析による海域区分のG海域に含まれ、図-4(c)DINおよび図-4(d)PO4-Pに示されるように、梅雨時を中心に、筑後川から有機物が供給されている海域である。海底攪拌を行うことにより、筑後川等に由来する有機物を吸着した海底表層部の泥分が水中に飛散し、強熱減量等を低下させたことが考えられる。島原市沖の湾奥部に位置するC3区域付近は、含泥率が25%程度を示す。この海域は、

25年前まではほとんど泥を含まない砂が分布していたが、2003年には表面に厚さ1-2cmの泥が覆うようになった(秋元, 滝川, 島崎他, 2004)。海底攪拌を行うことにより、海底表層を覆う泥の薄層が水中に飛散し、強熱減量や有機物等を低下させたことが考えられる。筑後川、矢部川の河口前面に位置するC5, C6区域は、図-2の湾奥部のクラスター分析による海域区分のI海域に含まれ、図-4(c)DINおよび図-4(d)PO4-Pに示されるように、梅雨時などに筑後川から高濃度の有機物が供給されている。このため、海底攪拌による強熱減量の低下が他の攪拌区域に比べて表れにくくなる傾向がみられ、海底攪拌後において増加する全窒素からもこの傾向が示唆される。

4. おわりに

有明海湾奥部の底層付近では、嫌気的環境になる夏季の7月にDINとPO4-Pの高い濃度のピークがみられ、底泥から窒素とリンが溶出している可能性が示唆された。湾奥部の泥中に高い濃度の窒素とリンが含まれていることから、底泥から窒素とリンが溶出している可能性が示唆される。また、有明海の湾奥部から湾奥部の数カ所で行った海底攪拌に伴う底質調査データによると、強熱減量の減少がほぼ全区域に共通してみられ、攪拌3ヶ月後まで、その傾向が持続することおよび、COD、全窒素、全リンについては、減少する地域とそうでない地域があることが明らかになった。攪拌による底質改善効果は、海域によって異なり、底質環境が水質特性、流動特性と密接に関連していることなどが分かった。海底攪拌による底質改善効果として、好気的環境の発現を促し、富栄養の指標種から種数の多い一般種への交代など、生物種の交代、増加の可能性が考えられる。今後、底質調査と同時に行った底生生物調査データをもとに、海底攪拌による底生生物への影響を検討する予定である。

参考文献

- 秋元和實・滝川 清・島崎英行他 (2004)：ガラカブが観た有明海の風景-環境変化をとらえるための表層堆積物データベース-、熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター出版。
- 九州農政局 (2005)：平成17年度有明海底質環境調査報告書
- 九州農政局 (2006)：平成18年度有明海底質環境調査報告書
- 九州農政局 (2007)：平成19年度有明海底質環境調査報告書
- 園田吉弘・滝川 清・齋藤 孝 (2008)：有明海における赤潮発生と海域環境の変動特性、第33回海洋開発シンポジウム論文集。
- 滝川 清・田中健治・外村隆臣・西岡律恵・青山千春 (2003)：有明海の過去25年間における海域環境の変動特性、第50回海講論文集、pp.1001-1005。
- 滝川 清・秋元和實・平城兼寿・田中正和・西村啓介・島崎英行・渡辺 枢 (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。