

有明海奥部における表層底質の分布特性と底質環境の形成要因

山本 浩一¹・速水祐一²・笠置尚史³・宮坂 仁⁴
大串浩一郎⁵・吉野健児⁶・平川隆一⁷

有明海奥部における底質環境形成要因を調べるため高密度な底質調査を実施した。筑後川から有明海に流出した土砂は距離によって分級されている状況が明らかになった。河川から出水時に供給される粗粒シルト径の懸濁物質は湾中央に陸域起源の有機物とともに堆積域を形成していた。この領域では有明海奥部で最も有機炭素の含有量が高く、貧酸素水塊も観察されたことから、好気的分解も抑制されているとみられた。有明海における懸濁態有機物のほとんどは $16\mu\text{m}$ 以下の細粒懸濁物質に含有されており、陸域から流出した細粒シルトおよび粘土粒子は次第に海域由来の有機物を多く含むようになり湾奥西部まで広範囲に運ばれると考えられた。

1. 序 論

有明海奥部はその約 4 分の 1 の面積が泥質・砂泥質の干潟である。これらの干潟には特徴ある生物が生息している。よって生物の生息基盤としての底質環境の形成要因を明らかにすることが重要であるが、これまで浅海域と干潟部の両方を含む調査は少なく、横山ら (2005) による筑後川河口域における調査報告があるのみであり、湾奥全域の底質分布特性や底質環境形成要因を明らかにするまでには至っていない。そこで、本研究では有明海奥部における底質環境の形成要因を明らかにすることを目的とし、有明海奥部の干潟と浅海域を含む高い空間解像度で底質調査を行った。

2. 研究方法

研究対象地域は有明海奥部 (図-1) および有明海流入河川 (筑後川・矢部川・菊地川・白川・緑川) である。有明海奥部は住之江川沖海底水道と塩田川沖海底水道の 2 つの海底水道とこれに挟まれたデルタ地形を有する。このデルタ地形の呼称について特に定まったものがないため本論文では「白石町沖デルタ」とした。調査地点は有明海奥部海域に計 100 地点を設定した。期間は 2005 年 8 月 18 日～23 日のうち計 4 日間で行った。試料採取は 2 隻の漁船を借り上げて 2 班編成で実施した。現地では多項目水質計 (アレック電子 AAQ-1183, Compact-STD, YSI ナノテック YSI-600QS) によって水温、塩分、溶存酸素、濁度、クロロフィル蛍光を測定し、多項目水質計で水深を確認しながらベリスタポンプによって底泥直上 50 cm から採水した。採泥はエクマン・バ

ージ採泥器で行い、採取直後に泥温、酸化還元電位 (Eh) を測定した。

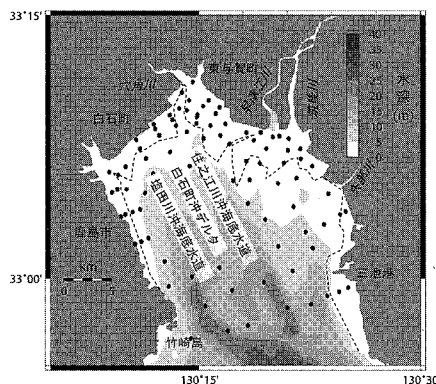


図-1 調査対象地域 (有明海奥部), 破線は低潮線。

底質は採泥器内に内径 4.7 cm のアクリルパイプを差し込み、ゴム栓で底質を押し出して表層 0~1 cm と 1~5 cm に分取した。そのうち表層部分については粒子態窒素・粒子態有機炭素の安定同位体比, 下層の底質については粒子態窒素・有機炭素含有量の分析および粒度分析を行い、一部の底質についてはメッシュやフルイで粒径別の安定同位体比を測定した。

河川からの懸濁物質の寄与を明らかにするため、筑後川水系・白川水系・緑川水系・矢部川水系において出水時 (2004 年 6 月 26 日, 8 月 31 日, 9 月 7 日, 2005 年 7 月 10 日) の河川水を 15 L~30 L 採取し、懸濁物質を遠心分離して真空凍結乾燥し、底質と同様に分析した。

底質中の有機態窒素・有機炭素および安定同位体比の分析の前処理として底質試料は凍結乾燥後メノウ乳鉢で粉碎し、体積比で底質:HCl=1:5 となるよう 1NHCl を添加して 24 時間静置で試料中の炭酸カルシウムを処理した。これを milli-Q 水で洗浄した。塩酸処理は 2 回繰り返す。処理終了後 60℃ で 24 時間乾燥した。間隙水

1 正会員 博(工) 佐賀大学講師有明海総合研究プロジェクト
2 農博 佐賀大学助教授有明海総合研究プロジェクト
3 学生員 学(工) 佐賀大学大学院理工学研究科
4 理博 愛媛大学 COE 研究員沿岸環境科学研究センター
5 正会員 工博 佐賀大学助教授理工学部都市工学科
6 博(水) 佐賀大学研究機関研究員有明海総合研究プロジェクト
7 正会員 博(工) 佐賀大学助理工学部都市工学科

中の溶存態有機炭素や無機態窒素成分は1NHCl中に溶出するのでこれらは本法では測定されない。

前処理した底質および懸濁物質は安定同位体質量分析計 (PDZ Europe Ltd 製, ANCA-SL) によって粒子態有機炭素・粒子態窒素濃度およびそれらの安定同位体比を測定した。もっぱら粒子態有機炭素・粒子態窒素濃度を計測するためにはCHNコーダ (ジェイ・サイエンス製 JM-10) を使用した。

粒度分析はフルイ分析とレーザー粒度分析の組み合わせで行った。まず目あい75 μ mのフルイで湿泥をふるい、底質に含まれた貝殻を除去するため1NHClを、CO₂ガスが発生しなくなるまで75 μ m以上の湿泥に添加した。その後JIS1204 1990のフルイ系列 (4250, 2000, 850, 425, 250, 125, 106, 75 μ m) でふるい、75 μ mを通過した残さの土砂溶液は容積とSS濃度を計測して75 μ m通過成分とした。土砂の全乾燥重量は (1) 式で算出した。

$$W_{total} = W_{4250} + W_{2000} + W_{850} + W_{425} + W_{250} + W_{125} + W_{106} + W_{75} + CV \dots \dots (1)$$

ここで W_{total} : 土砂の全乾燥重量 (g), W_d : d μ m メッシュのフルイ上に残留した重量 (g), C : 75 μ m 通過成分の懸濁溶液のSS濃度 (g/l), V : 75 μ m 通過成分の懸濁溶液の容積

細粒分はレーザー回折式粒度分析装置 (島津SALD-3100) で体積粒度分布を測定した。このときの屈折率は1.7-0.2*i*とした。以上より、各粒径の頻度は下記のように得た。

$$a_d = \begin{cases} CVb_d/W_{total} \times 100 & (d \leq 75\mu m) \\ W_d/W_{total} \times 100 & (d > 75\mu m) \end{cases} \dots \dots (2)$$

ここで a_d : 目あい d のフルイ上の残留物の重量割合 (%), b_d : レーザー粒度分析における仮想目あい d (μ m) のフルイ上残留物の重量割合 (%)

底質の分級度合いを示す淘汰度は (3) 式で定義した。

$$S_0 = \sqrt{D_{75}/D_{25}} \dots \dots (3)$$

ここで D_{75} : 75% 粒径, D_{25} : 25% 粒径

3. 有明海奥部底質の分布特性

(1) 粒径集団別の底質分布特性

有明海の底質の粒度分布特性を解析するため、以下の三つの粒径集団を考えた。粒径集団 I: 砂 (0.063 mm 以上), 粒径集団 II: 粗粒シルト (0.016-0.063 mm) そして粒径集団 III: 細粒シルトおよび粘土 (0.016 mm 以下) である。河川の洪水時懸濁物質 (白川 12.6 KP, 2002 年 6 月 24 日 21:45) と有明海西部

(鹿島町沖) の懸濁物質の粒度分布を図-2に示す。有明海の懸濁物質の中央粒径は0.0045 mmであり、粒径集団 III が 88% を占め非常に細粒であるのに対して河川の洪水時懸濁物質は粗粒であり、中央粒径 0.016 mm, 90% 粒径が 0.050 mm であった。よって、粒径集団 I および粒径集団 II は主に出水などによって陸域から供給される土砂であるが海域の懸濁物質にあまり見いだされないのに対し粒径集団 III は有明海の細粒懸濁物質の主構成成分であって、河口から離れた海域を浮遊する懸濁物質の分画である。

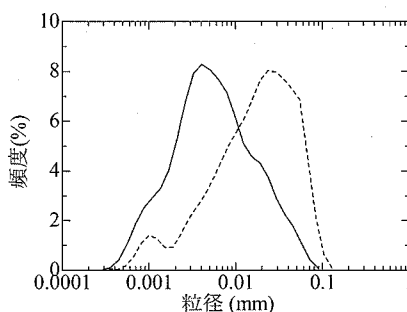


図-2 有明海奥西部の懸濁物質 (2005年8月23日採取, 実線) の粒度分布と白川の洪水時懸濁物質 (2002年6月24日採取, 破線) の粒度分布の比較例。

図-3から図-5に有明海奥部における粒径別の底質分布を示す。粒径集団 I は筑後川河口デルタと三池港沖に分布している。いっぽう住之江川沖海底水道よりも西方では砂分はほとんど認められない。

粒径集団 II の懸濁物質は白石町沖泥質デルタ, 佐賀県大授干潟, 筑後川・矢部川河口付近に集積域を形成している。懸濁物質には粒子状有機物も含まれており, 土砂

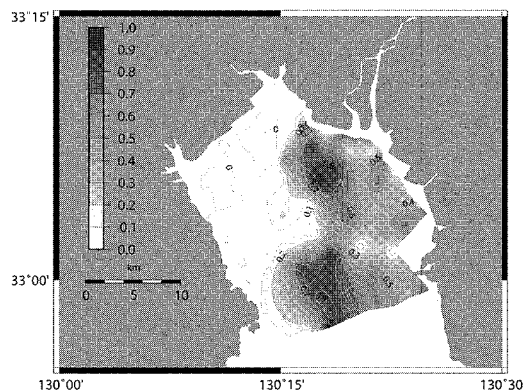


図-3 砂分 (0.063mm 以上) の重量割合 (gDW/gDW). 図中の線は等深線 (2m 間隔).

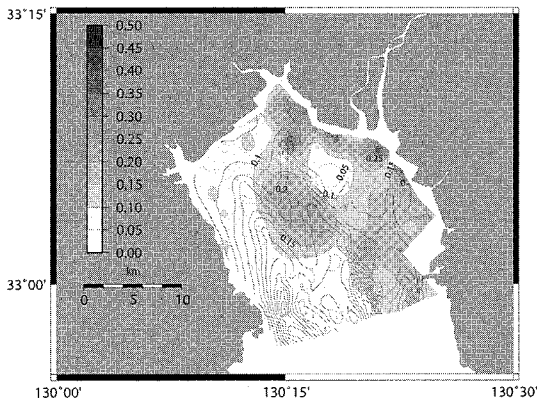


図-4 底質中の粗粒シルト (0.016-0.063mm) の重量割合 (gDW/gDW) 図中の線は等深線 (2m 間隔)。

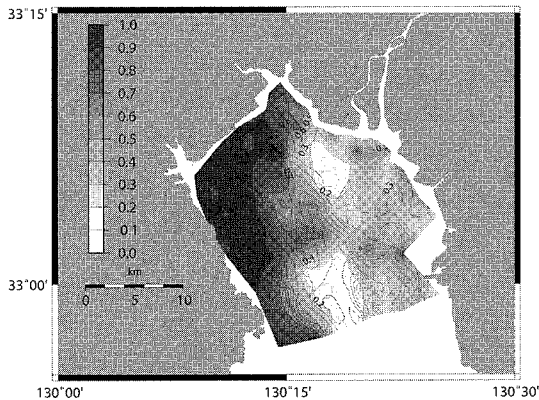


図-5 底質中の細粒シルト・粘土 (0.016mm 以下) の重量割合 (gDW/gDW) 図中の線は等深線 (2m 間隔)。

のうち鉱物質のみの堆積状況を示しているとはいえないが、鉱物質の場合は粗粒シルトの沈降速度は細粒分に比較して格段に大きいので、鉱物質は河川から流出したあと比較的河口に近い領域に堆積すると考えられる。また、粒径集団Ⅲの懸濁物質は有明海北西部において広範な分布が認められる。西方での含有率が高く、長期間海中を浮遊した懸濁物質が終局的に有明海西方に堆積して細粒な底泥を形成していると考えられる。

河口湾筋では砂が底質表面に露出するが河口干潟部ではシルト・粘土が卓越する。局所的に干潟部では泥質の堆積が起こりやすい物理環境になっていると考えられる。

(2) 淘汰度

有明海湾奥部では砂から粘土に至る広範囲の粒径で土砂の分級が起こっており、分級度合いを淘汰度で評価した。図-6に表層底質の淘汰度を示す。砂を主成分とする底質の淘汰度は低く、砂質域は海底において波浪・潮流により分級が進んだ底質であるといえる。一方で白石

町沖デルタや筑後川・矢部川河口近傍では淘汰度の高い (= 淘汰されていない) 底質が存在している。この底質は砂質に粗粒シルト径の懸濁物質が混入したものであり、2峰性の粒度分布を有する。淘汰度は粒径集団Ⅱとほぼ同一の分布をしており、淘汰度の高い領域は短期的に河川からの土砂の流入があったことを意味しているとみられる。

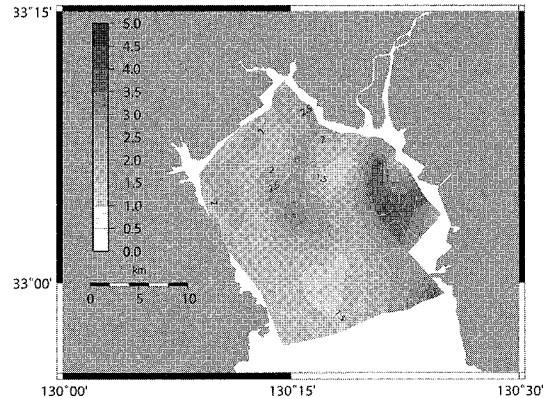


図-6 底質の淘汰度 図中の線は等深線 (2m 間隔)。

4. 有明海奥部の底質中の有機物

図-7に底質中の有機炭素濃度を示す。有機炭素濃度は西方で高い濃度になる傾向があるほか、局所的に濃度が3%以上になる領域が存在する。底質中の有機物の起源として河川から出水に伴い供給される陸域起源の懸濁態有機物やプランクトンの遺骸をはじめとする海域由来の有機懸濁物質が混入していると考えられる。陸域を起源とする懸濁態有機物と海域で生産された有機物の安定同位体比は異なるのでそれぞれのエンドメンバーを設定することにより炭素安定同位体比から炭素の起源を推定することが可能である (Wada, 1987)。そこで、(4)式で陸域起源の有機物の寄与率 f を算出した。

$$f = \frac{\delta^{13}C_{\text{marine}} - \delta^{13}C_{\text{sample}}}{\delta^{13}C_{\text{marine}} - \delta^{13}C_{\text{terr}}} \quad (4)$$

ここで $\delta^{13}C_{\text{marine}}$ については海域由来懸濁物質として2005年7月20日に有明海奥部の表層から採取した植物プランクトンを主構成物とする有機懸濁物質の -18.7% 、 $\delta^{13}C_{\text{terr}}$ については陸域由来懸濁物質として2004年6月と2005年7月に採取した有明海流入河川の出水時懸濁物質の $\delta^{13}C$ の平均値である -24.5% を採用した。図-8に表層底質の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}C$) を示す。 $\delta^{13}C$ は湾奥部東岸および白石町沖デルタで低く、海底水道や湾奥西部では $\delta^{13}C$ はやや高い。

図-9に(4)式で計算した寄与率 f を示した。白石

町沖デルタ・筑後川河口・矢部川河口では陸域起源の有機炭素が卓越し、湾奥南部では海域起源の有機炭素が卓越していることがわかる。表-1に算出した f を含めて相関マトリクスを示した。細粒シルトおよび粘土含有量とC、N含有量は良い相関があった。これは底質中の有

機物の多くが海域を起源とする細粒シルトおよび粘土粒子径の粒状有機物であるか、粘土粒子に吸着した状態の有機物であることを示している。

表-1 有明海底質における各粒径集団の含有量と有機物の相関マトリクス(n = 81)

	粘土	細粒 シルト	粗粒 シルト	砂	C	N	f
細粒シルト	0.796						
粗粒シルト	-0.149	-0.199					
砂	-0.836	-0.939	-0.119				
C	0.452	0.462	-0.052	-0.466			
N	0.632	0.636	-0.161	-0.616	0.900		
f	-0.129	-0.071	0.486	-0.066	0.140	0.014	
淘汰係数	-0.037	-0.223	0.554	0.015	-0.068	-0.101	0.375

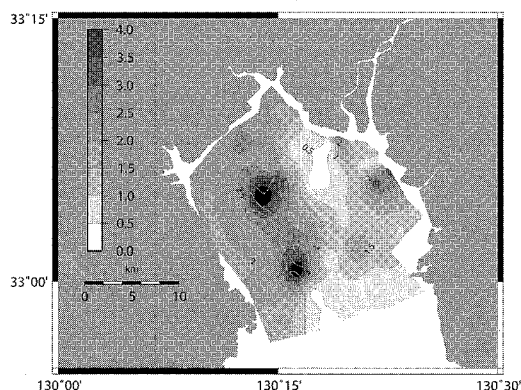


図-7 下層底質 (1-5cm) の有機炭素濃度 (%) 図中の線は等深線 (2m 間隔)。

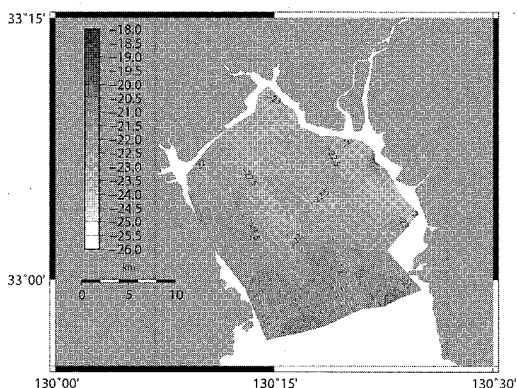


図-8 表層底質の $\delta^{13}\text{C}$ (‰) 図中の線は等深線 (2m 間隔)。

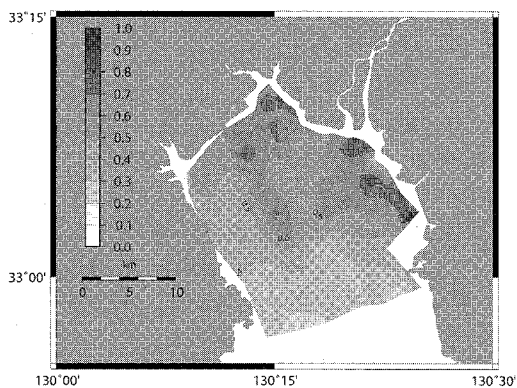


図-9 表層底質の陸域起源割合 f 図中の線は等深線 (2m 間隔)。

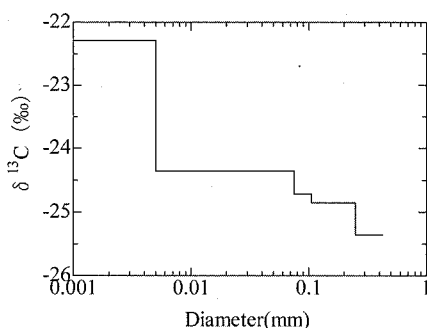


図-10 粒径別の炭素の安定同位体 (筑後川沖底質, 2005年8月)。

さらに底質の一部についてナイロンメッシュおよびフルイでサイズ分画して安定同位体比を測定した結果、シルト分画の $\delta^{13}\text{C}$ は河川の洪水時懸濁物質に近い -24.4% 、粘土の分画はそれよりも重い -22.3% となった (図-10)。これは粘土が海域由来の有機物を多く含有していることを示すものである。有明海奥部底質の有機物は微細な懸濁物質として存在しているか、懸濁物質に吸着しているものが大勢を占める。しかしながら白石町沖デルタや筑後川・矢部川河口域に認められる高い有機炭含有量には局所的には陸域起源の粒径の大きな有機物の寄与も大きい。底質下層 (1-5 cm) でも高い有機炭素濃度になっていることから、陸域由来の有機懸濁物質が、長期的にあまり分解が進まないまま蓄積していることを示している。有明海湾奥部には陸域の粗大な有機物が堆積しやすい領域が存在する。

5. 干潟域・浅海域における酸化還元環境と貧酸素

底質の還元層の酸化還元電位 (Eh) は東側海域干潟

で高く、西側全般で低い傾向にあった。干潟環境では砂泥 ($D_{90} > 75 \mu\text{m}$) およびシルト質泥 (粒径 0.005 mm 以下含有率 $\leq 40\%$) は Eh が顕著に上昇したが粘土質泥 (粒径 0.005 mm 含有率 $> 40\%$) では干潟でも Eh の顕著な上昇はみられない (図-11)。さらに、重回帰分析の結果から、Eh を良く説明するのは海底直上水の溶存酸素濃度 (偏相関係数: -0.350) と粒径 0.005 mm 以下の含有率 (同 -0.258)、SS 濃度 (同 0.239) であり、 0.005 mm 以下含有率は Eh と負の相関、DO 濃度および SS 濃度と Eh は正の相関があった。粘土のような細粒物質は土壌の透水係数を低下させるから、粘土含有率が高いと大気や干潟直上水中の酸素は底質中に輸送されず、還元的な状態が保たれると説明できる。また、SS 濃度は底質再懸濁の指標であって、頻繁に再懸濁が起こることで酸化層が厚くなり底質の Eh が上昇している可能性がある。

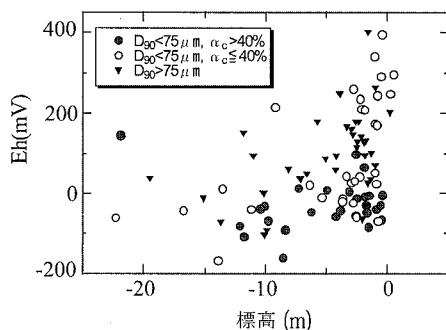


図-11 底質表層下 3cm における Eh (mV) と標高 (m) の関係、低潮線は -2.5m、ただし D_{90} : 90% 粒径, α_c : $5 \mu\text{m}$ 以下粒子含有率 (%)。

6. 結 論

有明海湾奥部の高密度な底質調査を行い、以下の知見を得た。

- 1) 有明海湾奥部において陸域から流出した土砂は、河口からの距離と海底地形によって分級がみられた。
- 2) 有明海湾奥西部の泥干潟・浅海域を構成する底質は中央粒径 $5 \mu\text{m}$ 程度の細粒懸濁物質からなるが、これは海域で生産される有機物を含んでおり、陸域から流出して長期間海域で再懸濁・沈降を繰り返すうちに海域で生産された有機物を含むようになったと考えられる。
- 3) 有明海における懸濁態有機物のほとんどは $16 \mu\text{m}$ 以下の細粒懸濁物質に含有されている。
- 4) 河川から出水時に供給された粗粒シルト径の懸濁物

質および懸濁態有機物が特に堆積しやすい領域が湾中央部の白石町沖デルタ地形に存在する。

- 5) 砂は河口域に堆積域を形成して海底水道による地形的な遮断により西方に輸送されていないとみられるが、粗粒シルト径の懸濁物質は筑後川河口デルタの外縁のほか湾中央部にも堆積域を形成している。
- 6) 底質の淘汰度の分布も粗粒シルトの分布と共通しており、かつ有機炭素が陸域を起源とすることを考慮すると、湾中央部は出水によって河川から供給された土砂および有機物が堆積しやすい環境となっている。
- 7) 湾奥中央部の陸域由来有機物の集積域では底層で低濃度の溶存酸素 (2 mg/L 前後) が観測されており、このような貧酸素環境は陸域由来の有機懸濁物質の分解を遅くする要因となり得る。逆に陸域由来の高濃度の有機懸濁物質は貧酸素水塊の形成にも寄与している可能性がある。八木ら (2006) や速水ら (2006) は夏季有明海湾奥において懸濁物質の集積が岸向きに起こることで底層の懸濁物質の輸送が起こるとしている。このようなプロセスにより河川から流出した有機懸濁物質が湾奥に堆積していると考えられる。
- 8) 粘土粒子を多く含んだ泥質は還元的になりやすく干出によっても底質の深部まで酸化的環境にはならない。加えて貧酸素環境は底質をより還元的にすることがわかった。

今後は底質中の有機物含有量の季節変動について詳細に調査する予定である。

謝辞：本研究の実施に際し佐賀大学理工学部の学生諸氏、佐賀大学理工学部野口剛志氏には現地観測および分析で多大なるご助力をいただいた。また、佐賀県有明海漁業組合連合会および福岡県有明海漁業組合連合会には多大なるご助力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 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 53，(印刷中)。
- 八木宏・井瀬肇・松村航裕・木元克則 (2006)：有明海奥部干潟前縁域の流動構造と懸濁態物質輸送特性に関する現地観測，水工学論文集 50，pp. 1465-1470。
- 横山勝英・河野史郎・山本浩一 (2005)：有明海湾奥部の地形・底質分布に関する現地調査，海岸工学論文集 52，pp. 936-940。
- Wada, E., M. Minagawa, H. Mizutani, T. Tsuji, R. Imaizumi and K. Karasawa (1987)：Biogeochemical studies on the transport of organic matter along the Otsuchi River watershed, Japan, Estuarine Coastal and Shelf Science, 25, pp. 321-336。