

河口干潟で形成される土壤環境と底生生物の棲息要件

日比野忠史¹・中下慎也²・花畑成志²・水野雅光³

1996～2005 年に太田川放水路河口～祇園水門で調査した生物の生息数、種類数と生物が棲息する場での泥質・水質および河口域での流動特性（水位、水温、塩分等）を検討することで生物数の変動と棲息環境（土壌）との関連について検討した。この結果、砂で構成される干潟においても湿潤密度が $1.4\sim 1.6\text{ g/cm}^3$ 程度に維持されており、イソシジミ、アサリ等の二枚貝は湿潤密度が小さい場で棲息していること、細粒分が少ない場においても湿潤密度が小さい場合には間隙内にクロロフィル-a を多く含むことができることが明らかにされた。

1. はじめに

太田川が河口から約 10 km 地点で放水路と市内派川に分派し、太田川デルタでは河川網が形成されている。太田川デルタに形成された干潟では放水路と市内派川で材料、水質等が異なり、各々特有の生物相が形成されている。本研究は太田川河口域に形成された干潟に棲む生物、干潟材料、海水の遡上量や海域～河川感潮域に沈降・堆積した細泥質を把握して干潟土壤環境の形成と底生生物の棲息との関係を明らかにすることを目的としている。太田川へは海水の遡上とともに、有機懸濁物質（有機泥）が輸送されている。有機泥は通常、シルト～粘土の土粒子に有機物が結合して、形成されている。有機泥は感潮域に生息する動植物の栄養源、あるいは干潟の構成材料となっており、生物による有機泥の消費が少ない場合には、干潟の泥化が懸念される。

デルタ河口干潟において生物の棲息環境を決定付ける重要な要因として海水の遡上、河川流量や地下水流れが挙げられる。デルタ河口域においては、潮汐等によって遡上する海水と河川流出水との混合があるために、懸濁粒子の巻き上げ・輸送、地下水流入による干潟土壌の膨張等の物理現象および底層の貧酸素化、有機物の凝集・離脱、酸化・還元等の化学的な現象が複雑に絡み合っており、干潟環境が形成されている。このため、底生生物の棲息環境については定量化されていないのが現状である。

本研究では、放水路河口域に形成された干潟の土壤環境が生物の棲息を助長するメカニズムを明らかにするために、太田川放水路河口～祇園水門までの区間で調査した生物の棲息状況と生物の棲息が確認できた干潟土壤環境を検討することで生物の棲息にとって良好な環境について検討した。

2. 太田川デルタでの水干潟の地形と材料

太田川デルタ河川（太田川）において水質・セジメントトラップ網を構築した（図-1）。測定・採取された水質、底泥を分析し、有機泥の挙動（移流、沈降、堆積過程）および有機泥の性状について検討した。これらの観測に併せて生物の棲息状態を考慮することで、生物が棲息するために必要な土壤環境について考察した。

（1）河口干潟の特性

図-2 には、放水路と市内派川への海水の遡上状態が比較されている。キロ数は調査地点を示しており、河口からの距離をとっている。

太田川河口には土砂が堆積し良好な干潟地形が発達している。放水路と市内派川では河川流量の違いから海水の遡上形態が異なっている（図-2）が、平水時には河口から約 5 km 上流にある干潟帯では満潮時になると 30 psu を超える海水が流入し、満潮時には海域から流入する有機泥を沈降・堆積させている。

放水路には主に砂分で構成される材料とシルト分を 50 % 程度含む材料からなる 2 つのタイプの干潟が形成されている。低水路に発達する干潟は主に砂分で構成され、イソシジミ等の二枚貝が優先している。放水路 5.4 km 地点の高水敷にあるタイドプールにはシルト分が多く、イワガニ、スナガニ科のカニ類が優先しており、ゴカイ等の生物棲息密度も高い。

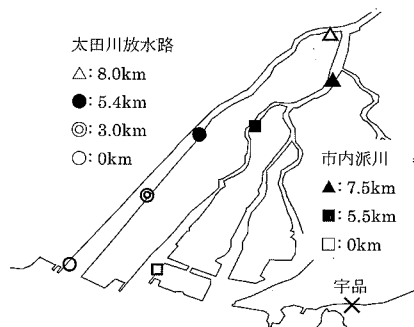


図-1 太田川感潮域の地形と観測点

1 正 会 員 博(工) 広島大学助教授大学院工学研究科
2 学生会員 広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻
3 正 会 員 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所長

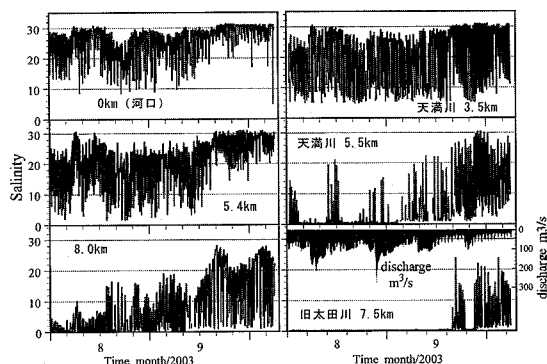


図-2 放水路と市内派川に遡上する海水の状況比較 (2003.8.1-10.8)

市内派川の断面形状は主に単断面であるが、干潮時には横断面形状の5割程度が干潟地形となっている。干潟表層土にはシルト・粘土以下の土粒子が7割程度含まれており、泥干潟に分類される。海水の遡上量は放水路に比較して少なく(図-2)、一般的な河口汽水域の特性を有している。生物棲息特性にも汽水域の特性が河口域付近まで現れている。天満川 5.5 km 地点においてはカワザンショウガイ、イトメ等が現れており、淡水域の生物棲息特性が現れている。

(2) 海水の遡上特性

放水路に遡上する海水は、海水の遡上量が河川流量に関係して塩分の最大値が変動している。河川流量(分派前)が $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度になると、己斐橋付近(5.4 km)では満潮時でも 20 psu を超える程度の海水状態になっており、祇園大橋下流(8.0 km)では 10 psu に満たない場合が多いことがわかる(図-2)。放水路では海水の遡上状態は季節によって変化しているが、底生生物の出現数、個体数に季節変動よりも年変動が大きいこと、また、己斐橋上流の低水路干潟では地盤下 25 cm において約 22 psu の塩分状態が保たれており、平水時の干潟地盤内での塩分変動は小さいことがわかっている(日比野ら, 2006)。

己斐橋と祇園水門下流の海水の変動を比較すると、己斐橋での最低塩分が祇園下流での最大塩分となっている。この現象が起こるためには、満潮時に祇園水門下流にあった水塊が干潮時に己斐橋まで流下、上げ潮期には逆に遡上していくことが必要である(平均流速は約 0.5 m/s)。さらに、9 月後半の河川流量が減少する季節には、河口と己斐橋で満潮時の場合が同程度であることから、中流域までは強混合せずに海水が遡上していることがわかる。

天満川～旧太田川では河川水量(分派前)が $100 \text{ m}^3/\text{s}$ を越える期間には旧太田川 7.5 km 地点まで海水が遡上しておらず、天満川 5.5 km 地点は放水路の 8.0 km 地点と同様な海水遡上状態にある。

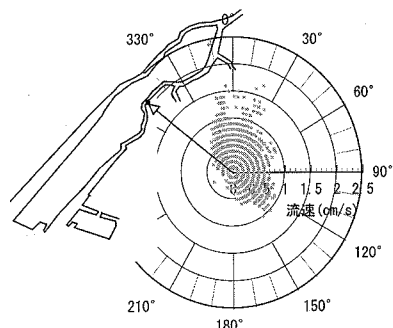


図-3 調査地点および河岸干潟地盤内での地下水の流動(流向・流速, 0° が N)

(3) デルタ干潟地盤内での地下水流れ

図-3 には地下流水の調査地点および 2006 年 3 月 4 日からの 12 日に測定された河岸干潟地盤内 (-60 cm) での地下水の流動(流向・流速)が示されている。地下水の浸透調査から①地下水の流れは河道に直交した成分が卓越していること、②河岸に向かう成分よりも水路に向かう成分が卓越していること、③潮汐に伴って流向が変化している(高潮位時に河岸方向、低潮位時に流水部方向の傾向)こと、④上げ潮に伴って流速が大きくなる傾向にあること、⑤大潮期に流速が大きくなっていることがわかった(富田ら, 2005)。干潟地下では流速 1 cm 程度の地下水流れが生じており、地下水が干潟土壌の環境に大きな影響を与えていることが予想される。

3. 生物の棲息と干潟土壌の特性

(1) 調査地点と分析方法

二枚貝、カニ類等の生物の棲息が多数確認できた土壤材料の粒度分布および栄養塩(土粒子と間隙水に分けて、窒素、リン、クロロフィル-a、フェオフィチン、塩化物量等)、原素量(C, H, N, S)、土の酸素消費量(速度)が測定された。堆積泥は放水路では河口 0 km から 8.0 km までの 4 地点、天満川河口と 5.5 km の 2 地点、本川(天満川上流)の 7.6 km および広島湾海底で採取された(図-1)。さらに、堆積泥に加えて河口域に設置したセジメントトラップ網によって捕捉された有機懸濁物質についても堆積泥と同様の分析を行った。これらを比較することによって放水路に沈降する有機泥の栄養塩状態を検討し、干潟土壌の形成について考察した。

堆積泥の栄養塩は底質調査法 II, SS は沿岸環境マニュアル、水質は JIS 規格に基づいて分析された。元素分析は、 100°C で炉乾燥した試料を CHNS/O 分析装置(各元素を燃焼させ気体に変え、熱伝導度を定量)によって含有量を測定している。土の酸素消費量(速度)、残留塩分、クロロフィル-a は、室内実験により、乾燥重量 100 g になるように含水比から求められた試料(堆

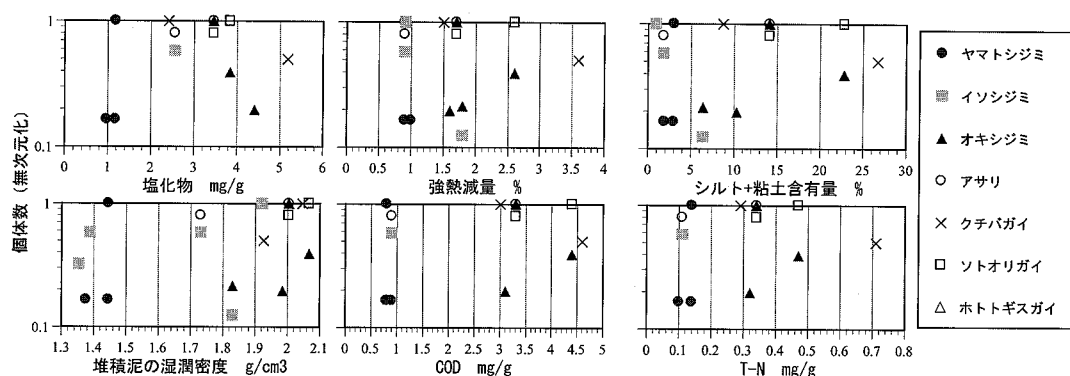


図-4 太田川放水路に棲息する二枚貝と棲息地点の堆積泥の栄養塩等との関係

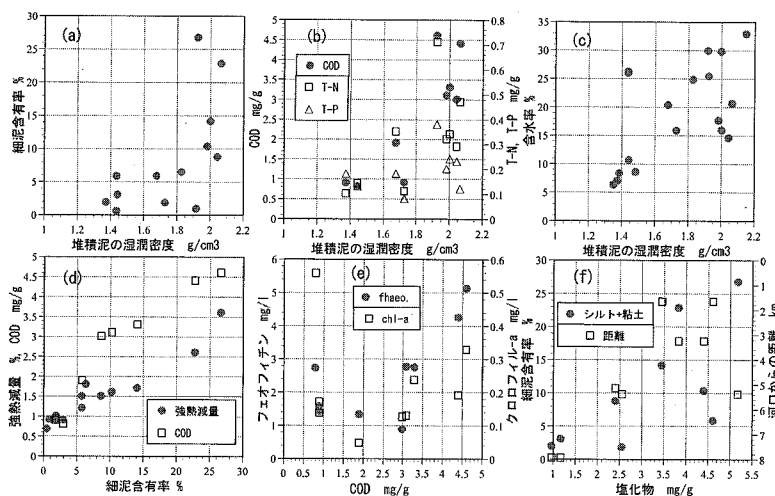


図-5 太田川放水路堆積泥の物理特性と栄養塩状態

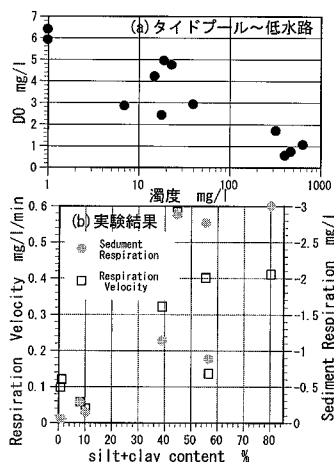


図-6 (a)現地濁度, (b)細粒分に対する酸素消費量(速度)の関係

(2) 二枚貝の棲息と堆積泥の栄養塩

図-4～6には太田川放水路に棲息する二枚貝と棲息地点の堆積泥の栄養塩等との関係および土壌特性を示した。図-4の縦軸は出現した二枚貝の個体数/m²の最大値(ヤマトシジミ 200, イソシジミ 96, オキシジミ 56, アサリ 11, クチバガイ 44, ソトオリガイ 11, ホトトギスガイ 44)で各地点での出現数を無次元化している。クロロフィル-a, フェオフィチンは土壌間隙水内に含有される量である。図-6には現地と実験室で行った細粒分による酸素消費結果を示している。

二枚貝の種は塩化物残留量によって概ね棲み分けがされている(図-4)。堆積泥への塩化物残留量は河口からの距離と細粒分(シルト+粘土)含有量によって決まっており(図-5(f)), 細粒分には有機物や栄養塩の含有量が多い(図-5(d))ことがわかる。細泥含有率が高いと、湿潤密度は大きくなる傾向にあるが、砂干潟においては含水比状態によって湿潤密度が変化する傾向にある(図-5(a), (c))。さらに、図-6から放水路に堆積する材料に含まれる細粒分の酸素消費能力が高いことがわかる。溶解酸素

積泥)を湿潤状態のまま、蒸留水 10l に混入し、一定速度(50 tpm)で 30 分間攪拌させることで求められた。

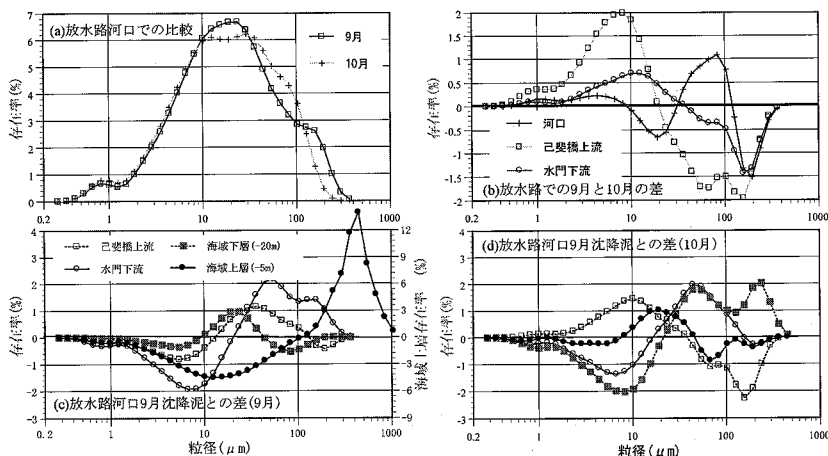
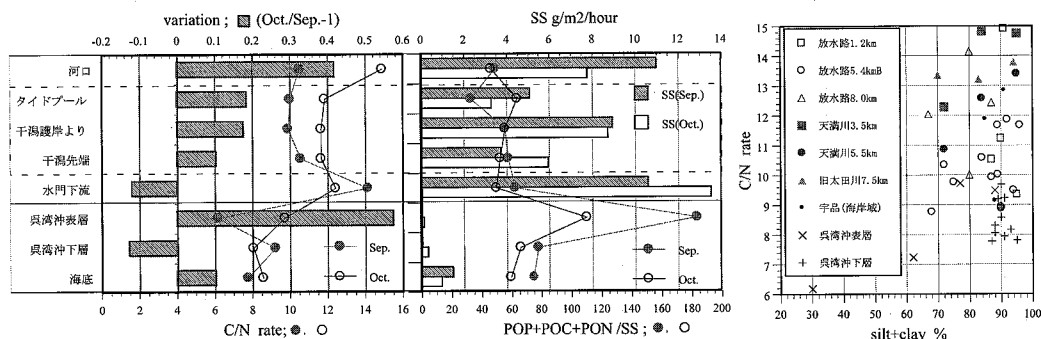


図-7 放水路、海域（呉湾沖）での沈降泥の粒度分布の2003年9月、10月での変化



(a) 9月と10月沈降泥の栄養塩状態と沈降量の比較（破線内は放水路5.4km地点）

(b) 細泥分含有量とC/N比の比較

図-8 放水路、海域（呉湾沖南奥）での栄養塩状態と沈降量（2003年）

は細粒分の混合によって消費されており、細粒分が存在する材料では酸素消費能力が高くなっている。

ヤマトシジミ、イソシジミは細泥分の少ない砂泥内に棲息しているが、棲息可能な場における堆積泥の湿潤密度は 1.8 g/m^3 程度以下となっている。主に砂で構成される材料の湿潤密度が小さいのは間隙率が大きいためである。ヤマトシジミ、イソシジミの棲息する堆積泥には細粒分が含まれていないため、有機物量は少ない。また、クロロフィル-a、フェオフィチンはCODの増加に伴って含有量が大きくなる傾向にあるが、 1 mg/g のCODの堆積泥内にも多く含まれている（図-5(e)）。すなわち、有機物量の少ない砂泥内においても湿潤密度が小さく保たれている堆積泥内にはヤマトシジミ、イソシジミの餌となる藻類が存在し易いことが推定できる。なお、アサリはイソシジミよりも細泥分が多く含まれたクロロフィル-aの少ない有機物が多い場において棲息数が多くなっており、デトライトスを経由した摂餌が行われていることが考えられる。また、クチバガイ、ソトオリガイは泥分の多い高CODに好んで棲息しており、比較的低い間隙率の堆積泥中において棲息することが可能であることがわかる。

以上のことからアサリ等の有用二枚貝の棲息条件として土壌内に十分な間隙が保持されること、CODを多く含有し、酸素消費能力の高い細泥分を多量に含まないことが必要であることがわかる。沿岸域で循環する有機物のほとんどは細粒分と結合していることから、有用二枚貝を生息させるためには、干潟材料は主に砂分で構成されることが必要であるが、砂分で構成された材料では通常湿潤密度を小さく（間隙率を大きく）保つことはできない。しかし、デルタ河口干潟は太田川デルタからの地下水の流出量が潮汐の影響を受けている（日比野ら、2006）ことや放水路ではタイドプールの存在、市内派川では砂層上に有機泥が堆積していることによって干潟地盤内の地下水の浸透能が高くなっている。これらにより干潟地盤内の間隙が大きく保持されていると考えられる。

(3) 放水路に沈降する有機泥の栄養塩状態

図-7には放水路～海域（呉湾沖南奥、水深20m地点）における沈降泥（セジメントトラップによる捕獲泥）の粒度分布、図-8は栄養塩状態と沈降量（9月と10月沈降泥の比較）が示されている。観測期間は放水路では2003年8月18日～9月11日と10月10～25日、

海域（呉湾沖）では9月2～19日と10月3～20日、粒度分布はレーザ回折によって求められている。図-8(b)の細泥分含有量とC/N比関係には比較のための市内派川、海岸（宇品）の結果も併せて示している。

太田川感潮域には年平均で $5\text{ g/m}^2/\text{h}$ 程度の有機泥の沈降があり、この量は、海域での沈降する有機泥の100倍程度になっている（図-8）。放水路河口域ではセジメントトラップに沈降する粒子の8割程度が細粒分（ $75\text{ }\mu\text{m}$ 以下）である。細粒分の含有率は河口と5.4 km地点での差は小さいが、場所毎に構成比に特色がある。8.0 km地点では粒度の大きい粒子の沈降が見られる（図-7(b)）が、この粒子は海域上層で捕捉される粒子と有機物の含有量とまったく異なっている（図-8(a)）。

粒度分布（図-7）から①9月に海域上層で捕捉された有機泥は $300\text{ }\mu\text{m}$ 以上の粒径粒子を多く含んでいるが、海底では粒径の大きい有機泥は存在していないこと、②放水路においては10月に $300\text{ }\mu\text{m}$ 以上の粒径の有機泥が少なくなっていること、③己斐橋上流では10月に粒径が $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒子が増大し、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上の粒子が減少していることがわかる。放水路には海域で捕捉される大粒径の有機泥は捕捉されていないが、海域で行われる一次生産に伴う捕捉泥の粒径変化と同様の傾向が現われている。

栄養塩状態（図-8）から、①沈降泥の有機物含有量（SS 1g当りのPOC, PON, POPの総含有量の百分率）は放水路内では4%程度であるが、海域では約10%、海底では約5%となっていること、②C/N比は放水路で大きく（10～15）、海域では小さく（6～10）になっていること、③放水路においては5.4 km地点で他の2地点に比較して小さい値を示しており、9月に10程度の有機泥が捕捉されているが、10月になると12以上の有機泥が捕捉されていることがわかる。すなわち、海域上層においては一次生産が活発になる8～9月に、粒径の大きな植物プランクトン等のデトリタスが生成されるために、粒径が大きく、C/N比の小さな有機泥が捕捉されていることがわかる（永尾ら、2005）。なお、水門下流で捕捉された $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上の粒径の大きい粒子に含まれる有機物量は海域上層で捕捉された有機泥の1/3以下、C/N比は6～8に対して12から14である。水門下流で捕捉され粒径の大きい粒子は海から遡上したものではないことがわかる。

また、図-2に示された放水路での塩分変動から、9月に放水路にある河川水は10月に比較して陸水の影響が強いことがわかる。放水路全域で、水位変化は潮位とともに変動しており、己斐橋上流干潟地下での塩分は20程度になっている。そのため、放水路干潟へは海域で生成された植物プランクトン起源の有機物が沈降堆積していることが予想されるが、捕捉された有機泥に大粒径の有機物は含まれておらずC/N比は10程度である。した

がって、放水路では海域で異なる形態の一次生産が行われており、放水路へ遡上する海水は分解の進んだ有機物を運んでいると推定できる。

放水路干潟への土粒子の堆積は主に河川上流からの粗粒分の供給（海域に粗粒分は存在しない（田多ら、2004））と海水からの細粒分（有機泥）の沈降によってと考えられる。太田川放水路では、河川からの砂分の供給によって生物の棲息場が形成され、海水から栄養塩の補給が行われ、粒度、栄養塩の供給の点からは良好な棲息環境が形成されていると言える。

4. おわりに

- (1)海水遡上量の違いによって放水路では砂干潟、市内派川では泥干潟が発達している。太田川河口干潟では遡上する海水の塩分状態と棲息生物との関係から塩分に対する生物の棲み分けがなされている。
- (2)二枚貝、カニ類等の生物の棲息が多数確認できた土壤材料の粒径・有機物含有量・栄養塩および酸素消費能力を分析実験した結果、砂で構成される干潟においても湿潤密度が 1.5 g/cm^3 程度に維持されることが可能であり、イソシジミ、アサリ等の二枚貝は湿潤密度が小さい場で棲息していること、細粒分が少ない場においても湿潤密度が小さい場合には間隙内にクロロフィル-aを多く含むことができることが明らかにされた。
- (3)太田川放水路内に運ばれ、沈降・堆積する有機泥の量は、海域で沈降・堆積する有機泥量の約100倍、有機物含有量は約1/2である。放水路干潟へは海域から輸送され、放水路内で沈降する有機泥が多く存在することが考えられる。河川感潮域へは海域から多量の有機泥が運ばれ、河川内の干潟で沈降していることが予想される。沈降泥量の年平均値は河口域では $10\text{ g/m}^2/\text{h}$ 以上、5.4 km地点では約 $7\text{ g/m}^2/\text{h}$ であった。

謝辞：本研究は広島大学自然科学研究支援開発センター物質科学研究支援分野の支援を受けて行われた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 日比野忠史・保光義文・福岡捷二・水野雅光(2006)：洪水に伴う河口干潟環境と生物生息の変化，河川技術論文集，第12巻，pp. 431-436。
- 富田智・日比野忠史・末國光彦・田多一史・水野雅光(2005)：石炭灰造粒物を用いた底質改善技術の検討，海洋開発論文集，第21巻，pp. 743-748。
- 永尾謙太郎・日比野忠史・松本英雄(2005)：広島湾における有機物の変動解析と栄養塩生成形態の把握，海岸工学論文集，第52巻(2)，pp. 916-920。
- 田多一史・日比野忠史・松本英雄・村上和男(2004)：間隙水の流動に伴う底質の性状変化，海岸工学論文集，第51巻(2)，pp. 991-995。