

太田川河口における有機泥の挙動に関する研究

STUDY ON THE TRANSPORTATION OF ORGANIC MUD IN OHTAGAWA ESTUARY

富田 智¹・長戸宏樹²・日比野忠史³・西牧 均⁴・松本英雄⁵
Satoshi TOMIDA, Hiroki NAGATO, Tadashi HIBINO, Hitoshi NISHIMAKI,
and Hideo MATSUMOTO

¹正会員 日本ミクニヤ㈱ (〒734-0015 広島市南区宇品御幸四丁目4-7)

²学生会員 広島大学大学院 工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山一丁目4-1)

³正会員 博(工学) 広島大学大学院助教授 工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山一丁目4-1)

⁴正会員 国土交通省中国地方整備局 太田川河川工事事務所 (〒730-0013 広島市中区八丁堀3-30)

⁵正会員 国土交通省中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 (〒730-0029 広島市中区三川町2-10)

This paper deals with a transportation of the organic matter in Ohtagawa estuary connecting to Hiroshima bay. The samples of the organic mud were obtained from the sediment trap net installed in this area. The movement of the organic mud is estimated by the variations of the trapped organic mud among the observation points in quality and quantity. The most essential ingredients were particles of 75 micrometers or less. The C/N ratio in the sea area is different from that in the river. It tends to rise with the soil grain fraction increasing. There was a sharp contrast between Ohtagawa River and Tenmaga River in terms of the different source of the organic mud from September to October because of the different transportation systems between two rivers.

Key Words : Ohtagawa estuary, sediment trap, organic mud, tidal flat, POC/PON ratio

1. はじめに

内湾河口域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微細土粒子と栄養塩によって形成される有機泥(懸濁物質)が挙げられる。有機泥は周囲の環境によって様々な形を変えるために、その挙動を明らかにすることは極めて難しい。特に、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の混合、懸濁粒子の巻き上げや流動、底層の貧酸素化等の物理現象や有機物の凝集・離脱、酸化・還元等の化学的な過程が複雑に絡み合っており、有機泥の挙動については定量化されていないのが現状である。

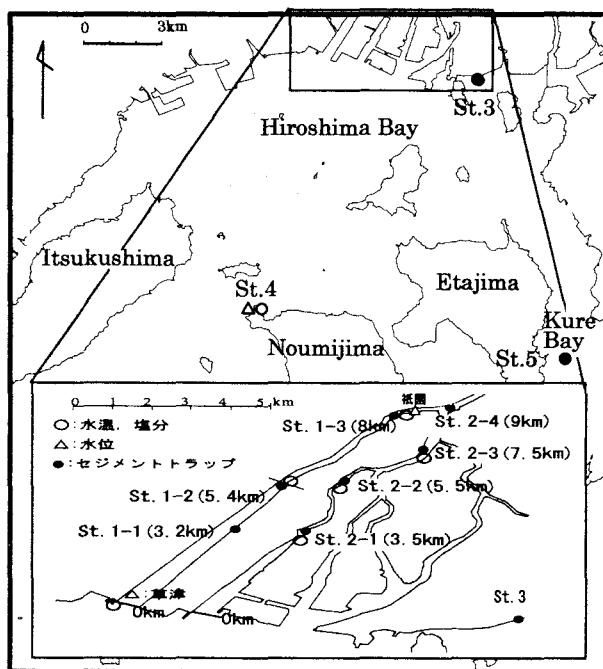
清木ら(1985)¹⁾は広島湾において懸濁物質の量、有機物濃度を四季に渡り測定し、濃度は夏季において最大となり、量は夏季に少なく、成層崩壊に伴って秋季に集中して増大することを示している。河口域における物質循環に関する研究では流れ場や水質変動に重点をおいた現地観測やシミュレーション²⁾、あるいは、実験室レベルでの巻き上げ実験³⁾等が主に行われてきたが、最近で

は、有機泥の化学的性状や巻き上げ機構について現地調査結果から検討するものも行われている。山下ら(2002)^{4, 5)}は洪水による河口域への栄養塩の拡散機構を懸濁物質(SS)の経時的な採取調査や懸濁物質の凝集実験と現地調査によって検討している。この中で、栄養塩がSSに凝集され海域に運搬されていることを示している。

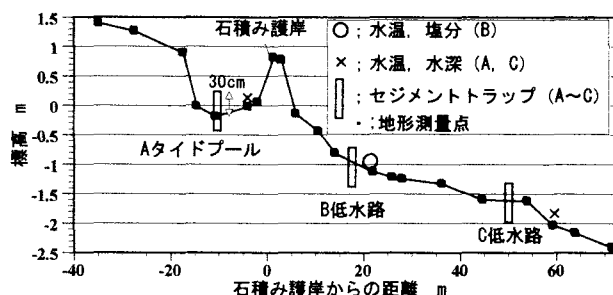
本研究では、流出量の異なる河川に形成された干潟堆積物、海水の遡上量や海域～河川感潮域に沈降する有機泥の質と量を把握することによって、河川～海域間での有機泥の挙動について述べている。

2. 有機泥の挙動把握のための調査手法

有機泥の挙動は広島湾奥部と太田川放水路、市内派川内に設置されたセジメントトラップ(河川、海岸域:φ10cm, 高さ1mを地面から30cmになるように設置, 海域:φ7cm, 長さ20cmを表層5mと海底0cmに設置)網から得られた沈降泥および、セジメントトラップ周辺の堆積泥の土質特性、含有成分と周辺水域の塩分水温の変動特性を



(a) 広島湾・太田川感潮域での観測点と項目



(b) St.1-2 断面の地形と観測位置

図-1 広島湾、太田川感潮域の地形と観測概要

検討することによって把握された。図-1には太田川感潮域の地形および本論文で使用したデータの調査地点 (St.1~5) とセジメントトラップの設置概要が示されている。

広島湾内では、セジメントトラップおよび水温、水深計が設置されている。セジメントトラップは海岸域 (St.3, 宇品) では水際 (8月までは水深5mに設置)、海域 (St.5) は海底、海面-5mに設置された。海底ではセジメントトラップの上端が海底から数cmになるように埋設、されている。

河川感潮域として、太田川放水路と市内派川を対象とした。放水路内では、河口から約3.2km (St.1-1)、約5.4km (St.1-2; A~C) 約8km (St.1-3)、市内派川では、天満川約3.5km (St.2-1)、約5.5km (St.2-2)、旧太田川約7.5km (St.2-3)、旧太田川約9km (St.2-4) の干潟面において、セジメントトラップは塩分・水温計とともに設置された (図-1(a))。放水路のSt.1-2では、河口 (草津、測定間隔:1時間) での平均水位を基準として-1.5m, -1m (B, C; 低水路), 0m (A; タイドプール) に設置した。干潟における埋設型セジメントトラップは、

トラップ上端が底面上約30cmになるように埋設されている (図-1(b))。水位 (水深) は海域 (St.4; 美能)、放水路5.4km, 草津, 祇園 (国土交通省) の4地点で測定されている。水温・塩分の設置標高はセジメントトラップの設置位置に準じている。セジメントトラップの設置期間は海域 (St.5) では15日間、海岸 (St.3) と放水路 (St.1), 市内派川 (St.2) では15日, 30日間を基準としている。回収された有機泥では、粒度分布, クロロフィル-a, フェオフィチン, POC, PON, POP, SSが測定されている。さらに、放水路では河口0kmから4.5kmまでの7地点で堆積泥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) が測定されている。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ている。

3. 太田川河口干潟の特性

広島湾における潮差は年間を通じて約4mあり、年変動成分は0.5m程度で9~10月に高く、2~3月に低くなっており、この潮差と河川の緩やかな地形勾配によって河道内に干潟地形が形成されている。

太田川感潮域には洪水を流下させるために、放水路が構築されており、河口から約10kmで放水路と市内派川 (放水路分流後の天満川, 本川, 元安川, 京橋川の総称) に分岐している。平水時、流量は、水門操作により、概ね放水路へ1割、市内派川に9割が分派されている。このため、放水路と市内派川では河床材料、水質等が異なるために、各々特有の干潟が形成されている。

図-2には、放水路内低水路干潟と市内派川護岸干潟河床材料の粒度分布および海水の遡上頻度の比較がされている^{6,7)}。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。放水路での粒度は3.2, 5.4, 8.0km, 地点は低水路干潟, 5.4km地点はタイドプール, 市内派川では護岸干潟での表層泥を対象としている。海水の遡上頻度はSt.1-2とSt.2-2に遡上する水塊の塩分からなる頻度 (2003年8~10月上旬の総浸水時間372時間に対する百分率) が示されている。

(1) 放水路干潟

太田川放水路内には高水敷があり、高水敷と低水路の間には石積み護岸が残っている。このため、高水敷側にはタイドプール、低水路側には砂干潟等、良好な干潟地形が発達している。平水時には河口から約5km上流にある干潟帯では干潮時においても、海水が溜められる状況 (地形, 潮差) となっており、高水敷に石積み護岸によってできた窪地には、満潮時になると30psuを超える海水が流入し、塩性の強いタイドプールが形成されている。St.1-2にあるタイドプールにはシルト分が多く

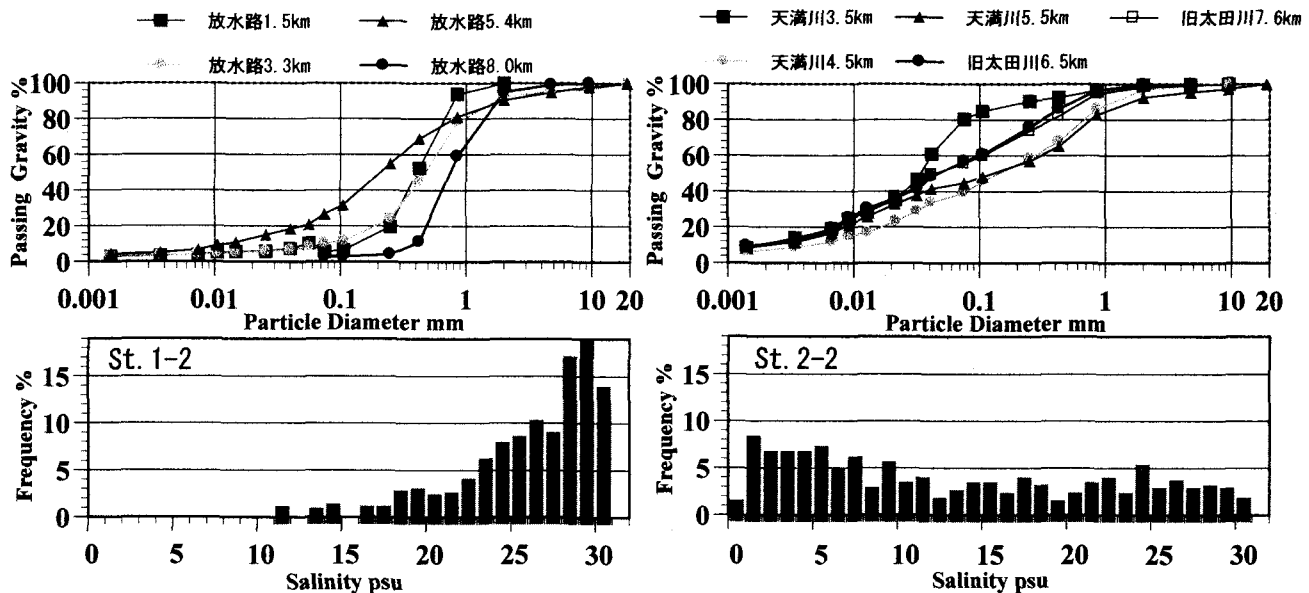


図-2 放水路低水路干潟と市内派川干潟河床材料、海水遡上頻度の比較
(キロ数は調査地点を示しており、河口からの距離をとっている。)

(図-2 粒度分布)，タイドプールでは満潮時に海域から流入する有機泥を沈降・堆積させることによって干潟に栄養塩の供給がされ、生物の摂餌によって栄養塩の循環が活性化している。さらに、複雑な干潟地形や植物の繁茂、生物活動によって、放水路内干潟には停滞域が形成されること等により、粒度の異なる土粒子の分布域が生じている。

放水路干潟は図-2の粒度分布、海水の遡上頻度からわかるように、海域の塩分状態を有する砂干潟に位置つけられる。放水路には主に砂分で構成される干潟とシルト分を50%程度含む干潟の2つのタイプの干潟が形成しており、シルト分を多く含む泥は高水敷にできたタイドプール内や低水路護岸の捨石付近に多く堆積している。

(2) 市内派川干潟

太田川市内派川での断面形状は単断面であるが、護岸付近には干潟地形が発達して、干潮時には流水部が5割程度干出する横断面形状となっている。河床の表層土にはシルト・粘土が多く含まれており(図-2 粒度分布)、泥干潟に分類される。海水の遡上は放水路に比較して弱く(図-2 海水遡上頻度)、海水と低塩分水が干潟とともに流出入している。図-2に示した塩分遡上から、河口からの距離が同程度(約5.5km)である放水路では淡水の影響が弱いのにに対し、天満川には淡水の影響が強く現れていることがわかる。

4. 太田川に遡上する水塊の変動特性

(1) 放水路への流入水塊の季節変動特性

広島湾奥部海域は図-1(a)に示されるように、厳島～

能美島を開口部として、北側に太田川河口、西側に厳島、東側に呉湾が位置している。図-3に放水路0km(河口)、5.4km(St.1-2)、8.0km(St.1-3)での水温・塩分、放水路河口(草津)での水位および放水路、市内派川に分岐する前の河川流量(矢口第一)が示されている。塩分計は平均潮位面下の位置(干潮時露出)に固定されており、満潮時には海域側の塩分、干潮に向かって河川水の塩分を測定している。

図-3から、①河口域での塩分濃度は広島湾での成層期⁶⁾に低くなっていること、②-1放水路上流では小潮期に塩分の遡上が活発化し、さらに成層が壊れた後の小潮期には大潮期よりも高塩分、高水温の水塊が上流まで遡上していること、②-2これとは逆に成層期には河口で塩分が高くなるのは大潮期であること、③海域側で塩分が低くなる6月後半以降に海水温と河口水温が逆転して(河口水温が低くなって)いるが、この状態は2004年以降も継続的に続いていることがわかる。

(2) 夏期の放水路、市内派川への海水の遡上

図-4には2003年8～10月上旬に放水路と市内派川(天満川、旧太田川)の河口から上流で測定された塩分の経時変化が比較されている。St.2-3では、塩分とともに河川流出量(矢口第一)が示されている。図-4から放水路と市内派川では海水の遡上距離が異なることがわかる。天満川3.5kmでの満潮時の塩分は、放水路河口と同程度の塩分濃度を有しており、3.5km地点までは満潮時に海水が淡水との混合が少ない状態で遡上していることから、天満川にはくさび型の海水遡上(放水路へは混合型)が推測できる。また、河口～中流域で干潮時に塩分の低下が観測されているときには、上流への海水の遡上が制限される(放水路で顕著である)ことがわかる。河川流量

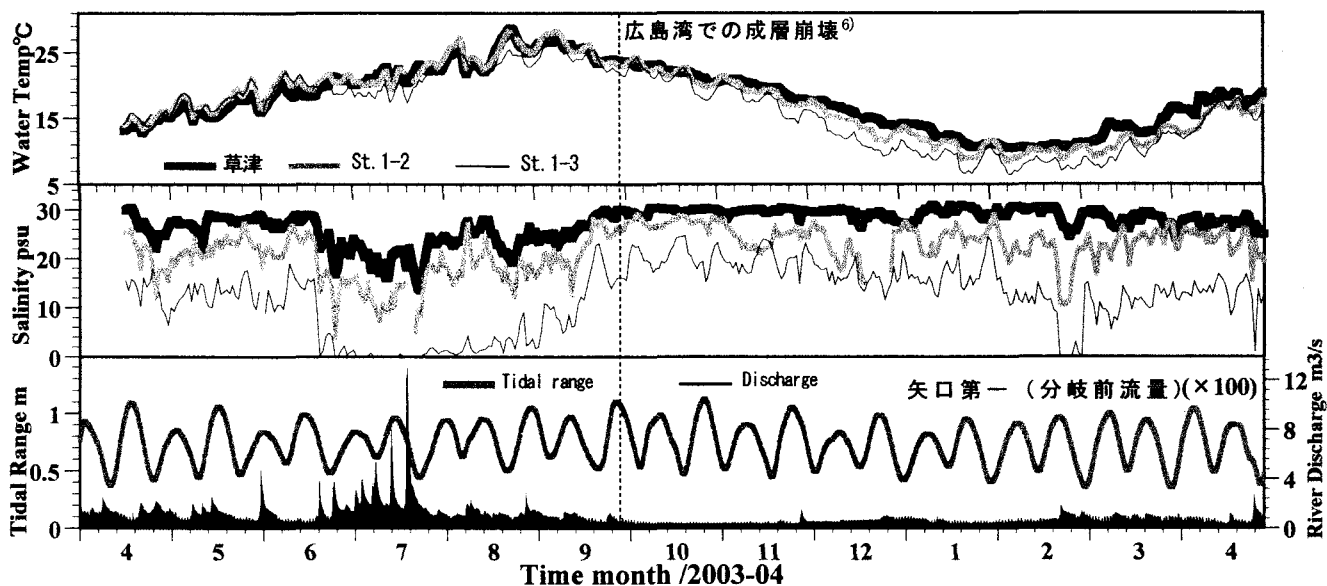


図-3 放水路(St. 1)での水質・塩分(日平均), 草津での潮差および流量(分流量)の経時変化

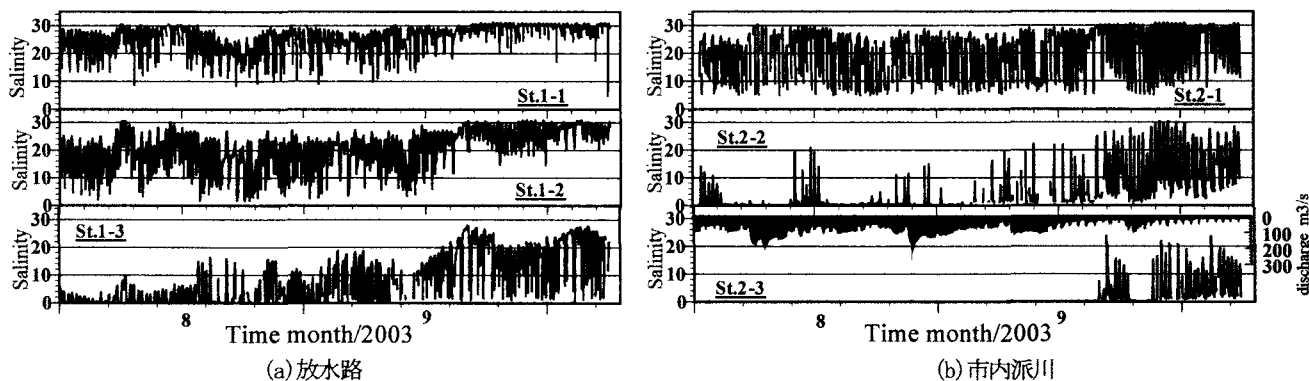


図-4 放水路と市内派川に遡上する海水の状況比較 (2003. 8. 1~10. 8) (右下図中央の棒グラフは河川流量)

と塩分低下の相関は低く、河川流量が塩分の遡上を制限する直接的な要因であるとは言えないが、河川流量が増大時に海水遡上が制限される傾向にある。

5. 有機泥の沈降形態と栄養塩状態

(1) 沈降泥の粒度分布

図-5には(a) 太田川河口周辺域(放水路, 市内派川~海域)における沈降泥(セジメントトラップによる捕獲泥)の粒度分布の比較が示されている。上段には、放水路, 市内派川~海域(海域は水深20m地点でのトラップ結果), 下段には、天満川下流, 宇品, 呉湾沖(水深20mと5m)での比較がされている。観測期間は放水路(St. 1), 市内派川(St. 2), 海岸(St. 3)では(a-1)8月18日~9月11日(市内派川は9/2開始)と(a-2)10月10~25日, 海域(St. 5)では(a-1)9月2~19日と(a-2)10月3~20日, 粒度分布はレーザ回折式粒度分布測定装置: SALD-2000J(島津製作所製)によって求められている。

図-5から①放水路, 天満川下流, 海岸, 海底での粒度は類似の分布を有しており、河川の中, 上流域になるに連れて粒径の大きな有機泥が沈降していること、②海域上層で沈降する有機泥は8~9月に大きな粒径粒子を含んでいるが、10月になると河口域で沈降する有機泥と類似の粒径分布を有していること、③10月に海底で沈降した有機泥には粒径の大きい粒子が含まれており、8~9月期に上層で形成された有機泥の影響が現れていること、④-1河川に沈降する有機泥は上流で粒径が大きくなること、④-2放水路河口での沈降泥の粒度分布が海域下層での沈降泥に最も近い粒度分布を有していること、④-3海水の遡上量が多いSt. 1-2では河口からの距離が等しいSt. 2-2に沈降する有機泥と比較して海域上層に近い粒度分布を有していることがわかる。

海域においては、8~9月に一次生産が活発化することにより、植物プランクトン等のデトリタスが上層で捕捉され、粒径の大きな粒径分布を示している。海域下層において大粒径の沈降泥が存在しないのは、沈降中の分解や躍層の存在による⁷⁾。

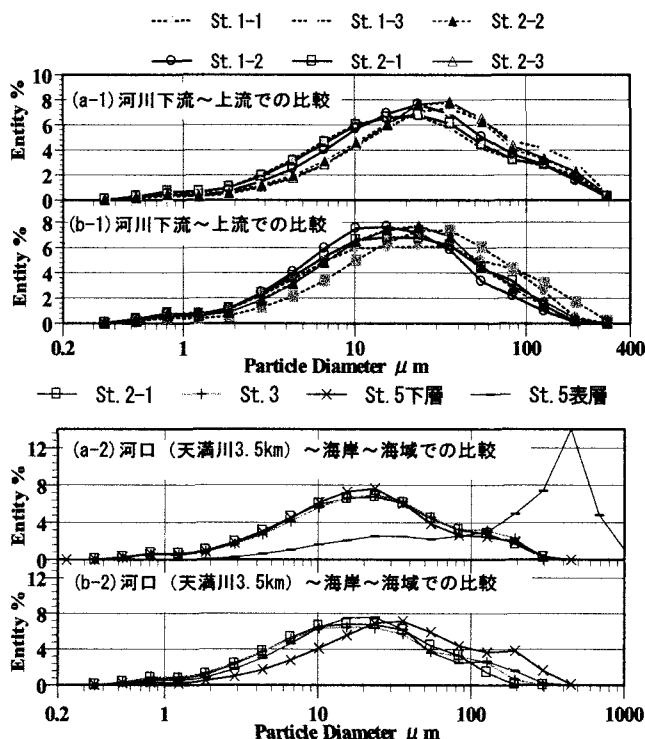
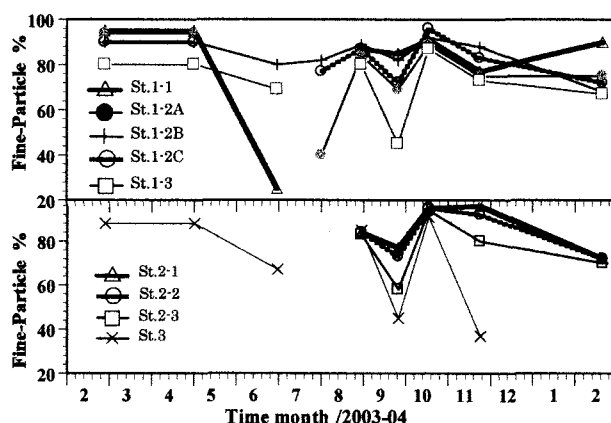
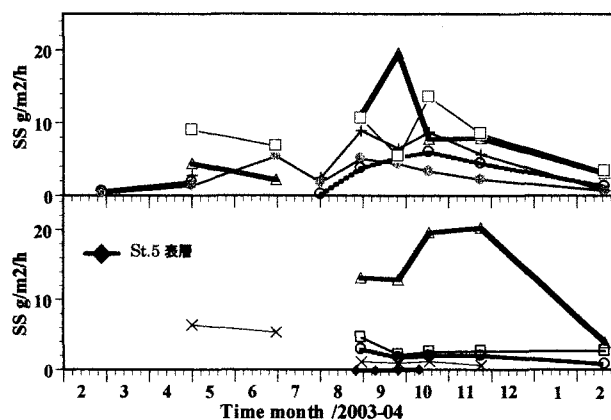


図-5 放水路，市内派川，海岸域，海域での沈降泥の粒度分布
(a) 2003年9月観測結果，(b) 2003年10月観測結果)



(a) 75μm以下の粒子の割合



(b) 75μm以下の粒子の沈降量

図-6 放水路，市内派川，海岸域（宇品），海域での細泥分と沈降量の季節変動（凡例は(a)，(b)で共通）

(2) 沈降量の時空間の変動特性

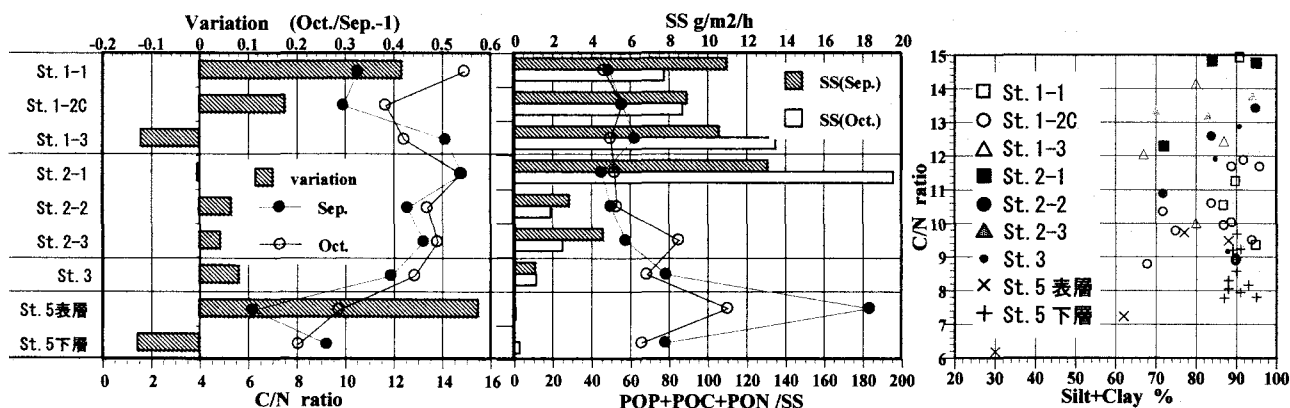
図-6には、放水路、天満川（旧太田川）の上中下流で補足された沈降泥の内、(a) 細泥含有率（沈降泥に対する細粒分の割合）、(b) 粒径75μm以下（シルト・粘土）の沈降量の季節変動が示されている。図-6(a)から、セジメントトラップに沈降する粒子の8割程度が細粒分である（6～7月の含泥率の低下は洪水による砂分の捕捉による）こと、細粒分の含有率は下～中流での差は小さいが、場所毎に構成比に特色があることがわかる。河口付近で構成比が変化しないのは、主に河川に遡上した海水に含まれるSSをトラップしているためと考えられる。

図-6(b)より細粒分の沈降量は両河川の下流域で多くなっており、最も多いのはSt. 2-1で15g/m²/h以上の沈降量がある。St. 2-2より上流でのトラップ量はSt. 2-1の1/3～1/10、St. 1-2の1/2～1/5の値を示しており、図-4との比較により、トラップ量と海水遡上との関連が強いことが示唆される。St. 5表層（海域）での沈降量は0.1g/m²/h程度であり、河口域の1/100のオーダーでしかない。St. 3では河口域の1/2程度（平均海面に設置した場合には1/10程度）であること、放水路（St. 1系）では市内派川（St. 2系）に比較して数倍のトラップ量があることがわかる。

また、捕捉量、細粒分含有率とも夏～秋期に高く、SS量（75μm以下）が多いときには、細粒分の含有率が高く（正の相関に）なる傾向がある。この傾向は、St. 2-1で顕著に現れている。海水の遡上のない8～9月上旬のSt. 2-3（図-4）において約6g/m²/hの沈降量があり（St. 2-1の約1/3）、上流域から有機泥の供給もあることがわかる。

(3) 沈降泥（トラップによる捕獲泥）の栄養塩特性

図-7に放水路、市内派川、海岸域、海域における(a) 栄養塩状態と沈降量（2003年9月と10月POC/PON比；C/N比の変化率、沈降泥の比較）および(b) 各水域で細泥分含有量とC/N比の比較について示した。図-6，7から、①-1河川感潮域には10g/m²/h程度の有機泥の沈降があり、この量はSt. 3で沈降する有機泥の2倍程度、St. 5での沈降泥の100倍程度になっている（2002年度も同様の結果⁷⁾）こと、①-2沈降泥の有機物含有量（SS1g当りのPOC、PON、POPの総含有量mg/SSg）は放水路内では40mg/g程度であり、St. 5表層で大きな値（約100mg/g以上、特に9月に大きい）となっていること、①-3 St. 5下層での有機物含有量は河口域よりも数割程度大きくなっている（50～80mg/g）こと、②-1 C/N比はSt. 5で小さく、市内派川で大きい（POCとPONのC/N比から難分解性分と易分解性分の構成比の情報を知ることができる⁸⁾）こと、②-2 C/N比は細泥分が多くなると大きくなる傾向にあること、②-3 St. 5表層で粒径の大きい有機泥の沈降があった一次生産力が高い9月のC/N比は約6（レッドフィールド比；6.625）を示していること、②-4 St. 5表



(a) 2003年9月と10月沈降泥の栄養塩状態と沈降量の比較

(b) 細粒分含有率とC/N比の比較

図-7 放水路、市内派川、海岸域、海域での栄養塩状態と沈降量 (2003年)

層では10月になるとC/N比が増大し、逆にSt. 5下層でのC/N比が低下していること、②-5 St. 5表層でのC/N比の逆転は、St. 1-1とSt. 1-2でも観測されている (9月のC/N比は約10) こと、②-6市内派川では、C/N比の顕著な逆転は観測されていないことがわかる。

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。ちなみに、沈降泥量の年平均値は河口域では10g/m²/h以上、St. 1-2では約7g/m²/h、St. 2-2では約2g/m²/hであった。河口域に運ばれ、沈降する有機泥は海域に比較して100倍程度の沈下量があり、SS1gあたりの有機物量は1/2程度であることから、河川感潮域～河口域では海域の50倍程度の有機物をトラップしていることになる。

C/N比の比較から、放水路内で沈降する有機泥の多くは沿岸域から輸送されていることが考えられる。放水路干潟には、海域から運ばれた有機泥が多く沈降しているのに対し、天満川河口で沈降する有機泥は河口海底付近に浮遊するヘドロを起源とするものが多く含まれていると考えられる。天満川河口域は上流側への有機泥の供給源となっていることが示唆され、有機泥濃度は河口域付近で高くなっていることが考えられる。

6. 結論

海域～河口域～河川感潮域における有機泥の挙動について検討を行った。以下に本論文で明らかにした点についてまとめる。

- (1) 太田川感潮域の干潟材料は主に河川上流からの粗粒分の流送と海水からの細粒分 (有機泥) の沈降・再懸濁によっていると考えられる。河川流量の大小により、海水遡上形態が変化し、感潮域に形成される干潟材料が異なる。
- (2) 太田川放水路における沈降泥の粒径分布は、河口から等距離の市内派川の地点と比較して海域上層に近い

- 粒径分布を有している。細粒分 (有機泥の堆積量) は、河口ほど多く、海水遡上との関連が強いと示唆される。
- (3) 細粒分が多くなると、C/N比は大きくなる傾向にあるが、C/N比の値は海域と市内派川では大きく異なる。
- (4) 9月と10月のC/N比の比較から、太田川放水路と市内派川では、起源とする有機泥が異なり、放水路では主に海域から、市内派川では主に河口海底付近に浮遊するヘドロ起源であると考えられる。

参考文献

- 1) 清木徹, 伊達悦二, 伊澤博文: 広島湾におけるセディメント・トラップ捕集物から推定した水中懸濁物の沈降フラックス, 水質汚濁研究 第8巻 第5号, pp. 304-313, 1985.
- 2) 村上和男, 鶴谷広一, 入江功: 熊本港のシルテーション機構に関する現地調査および数値計算による検討, 第7回沿岸域及び海洋の利用に関するシンポジウム, 1991.
- 3) 鶴谷広一, 江口秀二, 鷹濱潤: 流れと波による底泥の巻き上げに関する実験的研究, 海岸工学論文集第35巻, pp. 357-361, 1988.
- 4) 山下俊彦, 梅林司, 菅沼剛, 斎藤大作, 山崎真一: 石狩川の物質輸送特性と河口沿岸域での水質の周年変動, 海岸工学論文集第49巻(2), pp. 1011-1015, 2002.
- 5) 山下俊彦, 森田真郷, 杉原幸樹, 斎藤大作, 山崎真一: 石狩川河川水中の懸濁粒子の海水混合による凝集過程に関する研究, 海岸工学論文集第49巻(2), pp. 1016-1020, 2002.
- 6) 国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所: 平成13～15年度浮泥汚濁検討調査報告書, 2002-4.
- 7) 日比野忠史, 松本英雄, 西牧均, 村上和男: 干潟浄化能力の定量的評価手法の提案, 海岸工学論文集第50巻(2), pp. 1071-1075, 2003.
- 8) 小島勲夫, 向井宏, 菊池永祐, 中田喜三郎, 鷺見栄一: 海底境界層における底質評価に関する研究 (その3), 第16回衛生工学研究会討論会講演論文集, pp. 147-152, 1981.

(2004. 9. 30 受付)