

平成 22 年 5 月 10 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2009

課題番号：18560499

研究課題名（和文） 河川感潮域の土砂動態と河岸干潟の底質変動

研究課題名（英文） DYNAMICS OF SUSPENDED SEDIMENT AND VARIABILITY OF TIDAL FLAT SEDIMENT
IN A TIDAL RIVER

研究代表者

川西 澄 (KAWANISHI KIYOSHI)

広島大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40144878

研究成果の概要（和文）：河川感潮域における土砂動態を把握することは、干潟の保全や沿岸環境問題にとって重要である。太田川放水路における流れと水温・塩分、浮遊土砂濃度の多点長期観測から、浮遊土砂輸送に関係している各要因と重要度を明らかにした。特に潮汐にともなう周期的に起こる密度成層の変動が上流方向への土砂輸送を引き起こしている重要な要因であることを示した。さらに、干潟の維持にとって重要な河川横断方向への土砂輸送の存在を実証するとともに、干潟の底質変動を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Suspended sediments in estuaries play a significant role in understanding ecological and engineering problems. To shed light on the effects of river discharge, tidal range and wind on sediment transport, long-duration observations were carried out in the Ota floodway, using acoustic Doppler current profilers. In usually, the direction of the sediment transportation was toward upstream by the tidal straining for the restricted freshwater discharge. Furthermore, transverse sediment transports on tidal flats were demonstrated. In addition, the variability of tidal flat sediment was clarified.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,800,000	0	2,800,000
2007年度	300,000	90,000	390,000
2008年度	400,000	120,000	520,000
2009年度	100,000	30,000	130,000
年度			
総計	3,600,000	240,000	3,840,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：浮遊土砂、沈降速度、干潟、密度成層、河川感潮域、ADCP

1. 研究開始当初の背景

人口の集中した河川感潮域における土砂の動きを把握することは、航路の維持、河口干潟の保全や沿岸環境問題にとって重要である。しかし、流れ場と密度場、土砂濃度場が

時空間スケールの異なる様々な要因と結びついているため、現象が極めて複雑でその実態把握すら不十分な状況にある。

そこで、最先端の観測機器と研究代表者が者が確立した観測方法を用いて、浮遊土砂輸

送の実態把握と輸送メカニズムの解明を目指した。

2. 研究の目的

- (1) 潮差と風、淡水流入量の変動によって引き起こされる密度場と流れ場の変動特性と変動機構の解明

密度と流速分布の多地点同時長期観測により、潮汐に関係する半日、1日、半月周期の変動に加え、梅雨や台風の来襲にともなう出水や風（海陸風、季節風など）による変動および季節変動とそれらのメカニズムを解明する。

- (2) 浮遊砂泥の輸送量とその縦断分布の変動特性と変動機構の解明

ADCPの音響散乱強度と濁度計により、浮遊砂泥濃度分布を測定し、密度場と流れ場の変動にともなう浮遊砂泥輸送量とその変動機構を明らかにする。

- (3) 河岸干潟の底質分布とその変動の実態把握

特に出水による変化と出水後の回復過程を把握する。

- (4) 準3次元土砂輸送モデルの構築

M-Y乱流モデルと粘着性土の輸送モデルからなるECOMSEDをベースに干潟の干出と冠水スキームを組み込んだ土砂輸送モデルを構築し、土砂輸送に対する風の影響などを確認する。

3. 研究の方法

広島市西部に位置する太田川放水路（平均水深約3m、大潮時の潮差4m）を現地観測の対象とした。図1、2に示すSta. A~Sta. Cの3地点で長期連続観測を実施した。Sta. Cでは、図2に示すように水路中央部に加えて河岸沿いに発達している干潟上でも観測を行った。

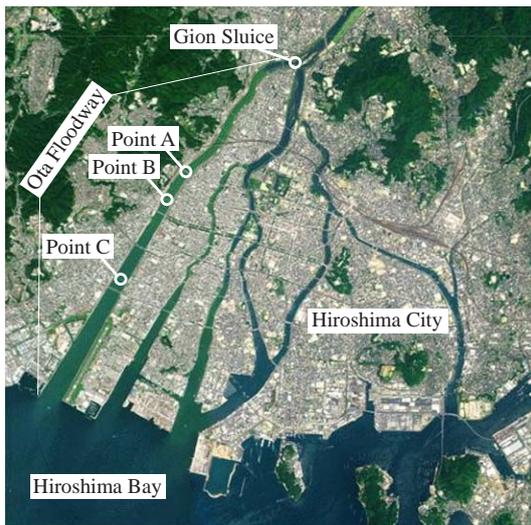


図1 観測地点

本研究では、Nortek社製の2MHz超音波ド

ップラー流速分布計(ADCP)を用いて、流速と後方散乱強度の鉛直分布を測定した。ソナー方程式により補正した散乱強度は、測定領域付近の水を採水ろ過することにより算出した重量濃度を用いてキャリブレーションを行うことにより浮遊土砂濃度(SSC)に変換した。

3地点ともに平均時間は90秒、セル厚10cm、測定間隔は20分、センサー付近の測定不能間隔は15cmである。なお、ADCP観測に加えて、St. Cに気象観測装置を設置して、風速の連続測定も同時に行った。

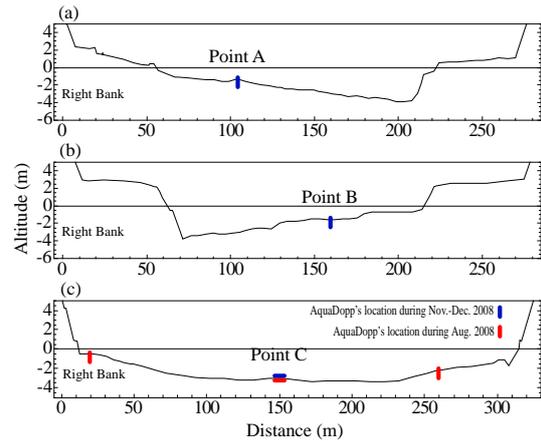


図2 観測地点の横断形とADCPの設置状況

4. 研究成果

- (1) 感潮河道内で起こっている密度場と流れ場の変動と、これらを引き起こしている潮汐と淡水流入量および風（海陸風、季節風など）との関係

太田川放水路ではTidal strainingにより、上げ潮期と下げ潮期では密度成層と流速分布が大きく異なっており、下げ潮期に強い密度成層が形成されることが明らかになった。また、密度成層強度は風の影響も受けており、河口方向に吹く風が密度成層強度を強めること、風は流れの弱い小潮期の密度成層に大きく影響することが明らかとなった。

図3にSta. Bにおける潮汐位相平均した主流方向流速の鉛直分布を示す。下げ潮期の位相平均流速分布は強い密度成層のために、対数分布から大きくずれて、直線的に水面に向かって増加する分布となっている。底層流速は上げ潮期のもものと比較して小さく、底面せん断応力の対称性（下げ潮流より上げ潮流の方が底面せん断応力が大きい）が生じている。このことが、次節で示す上流方向への土砂輸送を引き起こしている主要因となっている。

底面せん断応力は大潮期の上げ潮初期に最大値を示し、同時に浮遊土砂濃度も最大となる。下げ潮期は水深の小さくなる下げ潮末期に浮遊土砂濃度が高くなるが、その他の時間ではほとんど堆積物の巻き上げは見られ

ない。

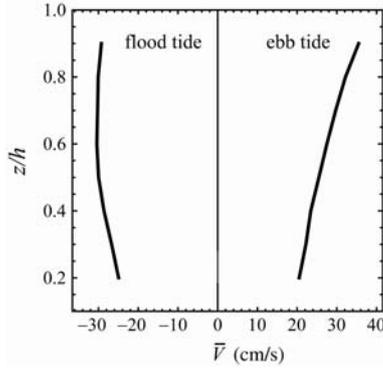


図3 Sta. Bにおける主流方向の潮汐位相平均流速分布

(2) 感潮河道内を輸送される浮遊砂泥輸送量の変動とその分布特性

図4にSta. Cで観測された水深平均浮遊土砂濃度(SSC)の経時変化を水深、水深平均流速(下流方向が正)の経時変化とともに示す。浮遊土砂濃度の変動は非常に大きく、前述したように、大潮期の上げ潮初期に最大値を示している。さらに、大潮-小潮周期でSSCが増減していることもわかる。

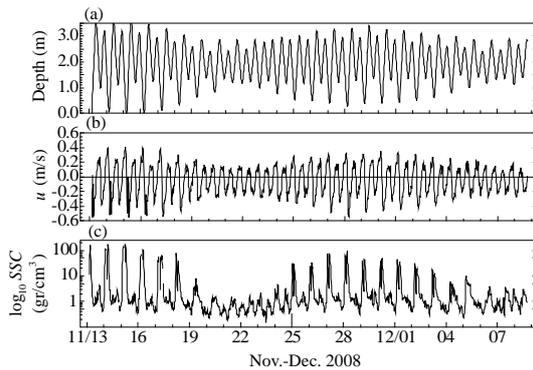


図4 Sta. Cにおける水深(a)、水深平均流速(b)、水深平均の浮遊土砂濃度(c)の経時変化

図5に示す浮遊土砂フラックス(下流方向が正)の累積量からわかるように、潮流によって引き起こされている河道に沿った浮遊砂泥輸送の方向は、日平均すれば上流向きである。この上流方向への輸送を引き起こしている主メカニズムは、密度流であるエスチャラー循環ではなく、Tidal straining によって起こる密度成層強度の変動であることを世界で初めて示した。すなわち、前述したようにTidal straining による密度成層強度の周期的な変動が上げ潮と下げ潮流の流速分布の非対称性を生み出し、潮流による上流方向への浮遊土砂輸送を引き起こす主なメカニズムである。

図5に示すように、浮遊砂泥輸送量は河口

からの距離と共に減少していることから、河口付近から運ばれてくる砂泥は河道内に堆積していることがわかる。堆積した砂泥はフ出水時にラッシュされる。

浮遊土砂フラックスに対する潮差や風などの影響度合いを調べるためにSta. Bで得られた大潮期(平均潮差2.5m以上)のデータに対し、(1)式の線形回帰式を用いて重回帰分析を行った結果を表1に示す。

$$\overline{SSF}_y = \beta_0 + \beta_1 \overline{R_G} + \beta_2 \overline{W} + \beta_3 \overline{TR} + \beta_4 \overline{WL} \quad (1)$$

ここで、 $\overline{R_G}$ は平均河川流量、 \overline{W} は河道方向の平均風速、 \overline{TR} は平均潮差、 \overline{WL} は平均水位である。

回帰推定値と観測値の関係を図6に示す。両者の関係はほぼ線形となり、寄与率は0.78である。

平均潮差が浮遊土砂フラックスに及ぼす影響が最も大きい。また、風に対する偏回帰係数は負となり、下流方向風が浮遊土砂の遡

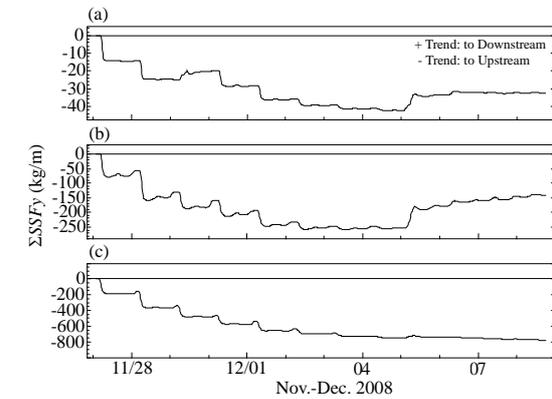


図5 河道方向浮遊土砂フラックスの累積量の経時変化: (a) Sta. A, (b) Sta. B, (c) Sta. C

表1 浮遊土砂フラックスに対する重回帰分析結果

β_1	β_2	β_3	β_4	r^2
0.66	-0.31	-5.32	0.37	0.78

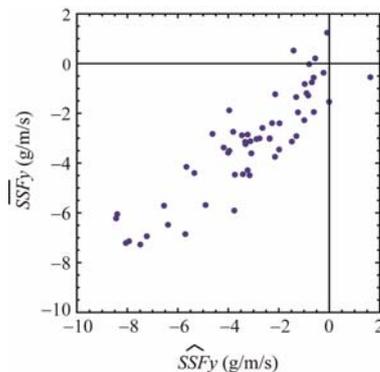


図6 河道方向浮遊土砂フラックスの回帰推定値と観測値の関係

上を助長することを示している。

平均潮差と浮遊土砂フラックスの関係を図7に示す。平均潮差が2.5 mを超えると、潮差とともに上流方向への浮遊土砂フラックスが増加しているのがはっきりわかる。

図8に示すように、Sta. Cの堤防に沿って発達している干潟上では潮位変動にともなう横断方向の流れが発生しており、潮汐によって堤防方向に輸送された浮遊砂泥が、干潟地盤を維持している。平水時、干潟上の流れは弱く、干潟堆積物の巻き上げはほとんど観測されなかった。したがって、上げ潮初期に河道中央領域で巻き上げられた堆積物が、水

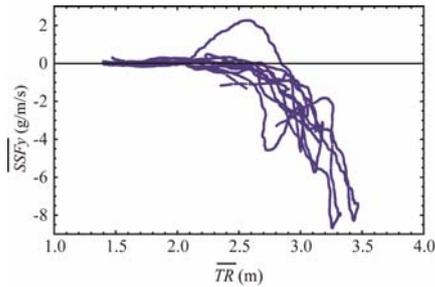


図7 平均潮差と河道方向の平均浮遊土砂フラックスの関係 (Sta. B)

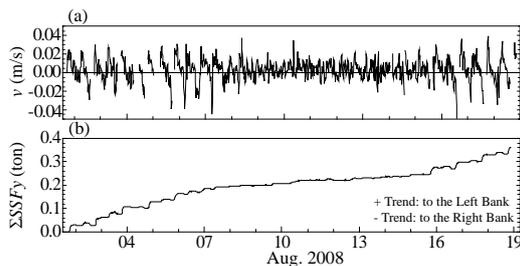


図8 干潟上の横断方向浮遊土砂フラックスの累積量の経時変化 (Sta. C)

位上昇にともなって発生する河岸方向の流れにより干潟上に運ばれて堆積することが明らかとなった。

(3) 河川干潟の底質変動

太田川放水路の底質は河口から4km上流付近までは粘土・シルト・細砂で構成され、4km以上では粗砂から構成されている。

下流域では、平常時、河口付近から潮汐によって輸送されるシルト・粘土といった微細粒子が干潟に堆積していることを示している。洪水時にはその大部分がフラッシュされ、河口から4km上流までの干潟地盤の表面は上流から運ばれてきた砂で覆われるため、干潟の底質変動が比較的大きい。

一方、放水路上流域の干潟底質は潮流による微細粒子の輸送量が小さいため、出水がないときでも粗砂が大部分を占めており、干潟底質の変動は小さいことが明となった。

(4) 準3次元土砂輸送モデルによる風の影響の再現計算

現地観測で明らかになった流動と浮遊土砂輸送に対する風の影響を数値モデルで再現するため、土砂輸送モデルである ECOMSED に干潟の冠水・干出モデルを組み込んで数値計算を行った。上流方向の風と下流方向の風を吹かせた計算を行い、無風状態における計算結果と比較した。

下流方向風を与えた場合、無風時に比べ小潮期における上流に向かう底層残差流速が卓越している。これは成層強度が強く、風の影響を受けやすい小潮期に、下流方向への風が淡水流下を促すことで密度成層を強め、鉛直渦動粘性係数を小さくし、密度流に対する抵抗を小さくしたためである。また、表層残差流は風の影響で下流方向へ強められている。

上流方向の風を吹かせた条件下では、底層残差流速は下流方向風を与えたとき同様に流速が増加しているが、中層残差流速をみると流向が反転し下流に向いている。また、下流方向への表層残差流速は上流方向風により弱められている (特に小潮期に顕著)。

大潮期と小潮期を比較すると、大潮期は風を与えても表層から底層まで残差流速値に大きな変動は見られなかった。一方で小潮期は風の影響を顕著に受け、流速値だけでなく流向さえも変化することがわかった。

大潮期の塩分分布は風の影響をほとんど受けませんが、小潮期は、下流方向風を与えると塩分の遡上が促進される。これは小潮期に上流方向への中・底層残差流速が卓越していることから明らかである。しかし、上流方向風を与えたときは下流方向風を与えたときと同様に上流方向底層残差流速は増加していたにも関わらず、河道内の成層は破壊され、塩分の遡上は抑制されている。

土砂濃度縦断面分布を調べた結果、無風時と比較すると、下流方向風を与えると浮遊土砂の遡上が促進され、浮遊土砂濃度も高くなる。逆に上流方向風を与えると浮遊土砂の遡上は抑制され、浮遊土砂濃度も低くなる。これは塩分の遡上距離に対応している。

以上のように、M-Y 乱流モデルを用いている ECOMSED に干潟の冠水・干出モデルを組み込んだモデルを構築し、少なくとも定性的には現地観測結果を良好に説明することができた。今後は新たな計測技術を用いて正確な境界条件を与えるとともに、密度成層の再現性を高めることが河口域の諸問題を取り扱う上での課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計8件)

- ①Mahdi Razaz, Kiyosi Kawanisi, Long-term observations of flow and suspended sediment in a tidally-dominated estuary, *Coastal Dynamics*, 査読有, No. 139 on CD, 2009
- ②川西澄, 横山智弥 (他3名/1番目), 感潮河道に形成された干潟上の流動と浮遊土砂輸送, 水工学論文集, 査読有, 53巻, 2009, pp. 1441-1446
- ③川西澄, 横山智弥 (他3名/1番目), 太田川河口域における風が浮遊土砂輸送に及ぼす影響の現地観測, 海岸工学論文集, 査読有, 55巻, 2008, pp. 386-390
- ④ Kiyosi Kawanisi, Tomoya Yokoyama, Transport characteristics of suspended sediment on mud flat in a tidal channel, Proc. 16th Congress of IAHR-APD, 査読有, Vol. 3, 2008, pp. 810-814
- ⑤ Kiyosi Kawanisi, Ryohei Shiozaki, Turbulent effects on the settling velocity of suspended sediment, J. Hydraulic Eng. ASCE, 査読有, Vol. 134, No. 2, 2008, pp. 261-266
- ⑥川西澄, 横山智弥 (他2名/1番目), 超音波ドップラー流速分布計による干潟上の浮遊堆積物の観測, 水工学論文集, 査読有, 52巻, 2008, pp. 949-954
- ⑦川西澄, 胡桃田哲也 (他3名/1番目), 太田川放水路における塩水遡上と懸濁粒子の輸送特性, 水工学論文集, 査読有, 52巻, 2008, pp. 1321-1326
- ⑧川西澄, 荒木大志, 福岡捷二, 水野雅光, 風が太田川河口域の塩水遡上と土砂輸送に与える影響, 海岸工学論文集, 査読有, 54巻, 2007, pp. 401-405

〔学会発表〕(計7件)

- ①Mahdi Razaz, Kiyosi Kawanisi, Long-term observations of flow and suspended sediment in a tidally-dominated estuary, *Coastal Dynamics 2009*, 2009年9月9日, 虎ノ門パストラルホテル, 東京都
- ②川西澄, 横山智弥 (他3名/1番目), 感潮河道に形成された干潟上の流動と浮遊土砂輸送, 土木学会水工学講演会, 2009年3月6日, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 東京都
- ③川西澄, 横山智弥 (他3名/1番目), 太田川河口域における風が浮遊土砂輸送に及ぼす影響の現地観測, 土木学会海岸工学講演会, 2008年11月14日, 富山コンベンションビューロー, 富山市
- ④ Kiyosi Kawanisi, Tomoya Yokoyama, Transport characteristics of suspended sediment on mud flat in a tidal channel, 16th Congress of IAHR-APD, 2008年10月20日, Nanjing, China

- ⑤川西澄, 横山智弥 (他2名/1番目), 超音波ドップラー流速分布計による干潟上の浮遊堆積物の観測, 土木学会水工学講演会, 2008年3月7日, 広島大学工学部, 東広島市
- ⑥川西澄, 胡桃田哲也 (他3名/1番目), 太田川放水路における塩水遡上と懸濁粒子の輸送特性, 土木学会水工学講演会, 2008年3月5日, 広島大学工学部, 東広島市
- ⑦川西澄, 荒木大志, 福岡捷二, 水野雅光, 風が太田川河口域の塩水遡上と土砂輸送に与える影響, 土木学会海岸工学講演会, 2007年11月9日, 宮崎観光ホテル, 宮崎市

〔その他〕

ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/kiyosi>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川西 澄 (KAWANISHI KIYOSHI)

広島大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 40144878

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: