

河口感潮域における浮遊土砂の濃度と輸送量の測定技術の開発



所属名：広島大学大学院
工学研究科
発表者：川西 澄

1. はじめに

太田川は、中国地方の大河川であり、その流量は、瀬戸内海に注ぐ河川の中で3番目の大きさである。河川から広島湾への土砂堆積負荷量は、瀬戸内海に注ぐ最大河川である淀川が流入する大阪湾の堆積負荷量をも上回っている。埋め立てにより浅場・干潟の大部分が失われた広島湾にとって、太田川感潮域は、水質浄化や生物多様性の観点から貴重な場となっていると考えられる。また、太田川から広島湾に流入する土砂量とその分布を把握することは港湾・航路維持や水産業に関して重要であることは言うまでもない。

こうした背景を考えると、太田川感潮域における土砂動態を把握することが、広島沿岸が抱える問題を解決する上で必須であるが、淡水と海水が混合し、潮汐や波浪の影響を受けるなど特殊な環境を有する河口感潮域は、非定常性、非一様性が著しく、通常の方法で浮遊土砂の動態や輸送量を把握するには多大な労力と費用を要する。

河口感潮域では潮汐と河川流の相互作用により塩水密度流が遡上後退を繰り返しており、また塩水楔の先端付近には高濁度水塊 (Turbidity Maximum) が発生するため、流れや土砂濃度の時間分布が複雑になっている。例えば多摩川、白川では通常の土砂濃度が10mg/l前後であるが、高濁度水塊の遡上時にはそれぞれ100mg/l、500mg/lに達する。またその継続時間は30分から1時間程度であり、一潮汐の間でわずかな時間帯にしか生じない²⁾。

従来の採水による方法では、現地採水と実験室での分析という一連の作業には多大な労力がかかるだけでなく、高濁度水塊のような時間スケールの小さい現象を捉えることが非常に困難である。また、Pilailar³⁾らのように七北田川の3地点で携帯自動採水器を用いて30分間隔で洪水時の採水を行っている例もあるが、洪水時には現場作業が危険を伴うために、現象の急激な変化に対応した時間スケールでSSの連続データを取ることは困難である。

本研究では、浮遊土砂の濃度と輸送量を測定する新たな方法として、高周波超音波ドップラー流速分布計の音響散乱を利用した技術開発を行う。本技術は、船に取り付けて移動測定を行えば、短時間で広範囲の土砂濃度が測定でき、沿岸での種々の工事で発生する濁りのモニタリングにも活用できると考えられる。本研究で用いるノルウェーのNortek社製アクアドッププロファイラー (AqPr) は、流速分布計の一種であるが、浅海用に2MHzの高周波数の超音波を用いているため、空間分解能が高い上に、細かな浮遊土砂に対しても高い感度で浮遊土砂濃度の測定に必要な後方散乱強度を得ることができると考えられる。

2. 後方散乱強度から浮遊土砂濃度への変換

図 2-1 のように AqPr の一つのビームが水路に平行になるように設置して散乱実験を行った。また AqPr 測定層に TPM クロロテックの濁度センサーを向けて濁度を同時に測定した。AqPr と TPM クロロテックの測定ポイントに土粒子を徐々に投入する。土粒子は太田川放水路の底質材料を攪拌し、すぐに沈降しないものをサンプルとした。

TPM クロロテックで濁度値をリアルタイムで確認し、測定ポイントがほぼ定常になってからの AqPr の散乱強度を測定し、同時に手動ポンプで採水を行った。採水したサンプルは WattmanGF/C でろ過し、浮遊粒子の重量濃度を求めた。土粒子投入の濃度や測定位置を変えて数タイプ実験を行った。

AqPr のエコーレベルからノイズレベルを除き、伝播損失を補正して後方散乱エネルギーを求めた。後方散乱エネルギーと浮遊粒子濃度の関係を図 2-2 に示す。実線は最小二乗直線である。本研究ではデシベルで表した散乱強度は用いない。なぜなら、散乱強度 (dB) が散乱体の数密度に線形に比例する量ではないからである。ただし、AqPr のトランスデューサーに固有なソースレベル・受信感度が不明なので、

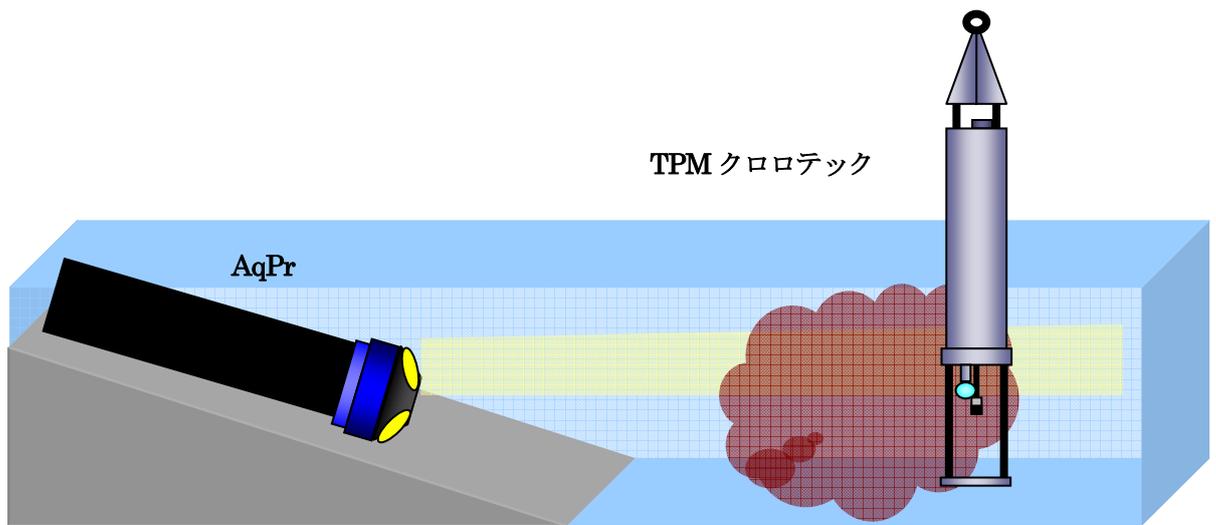


図 2-1 実験概要

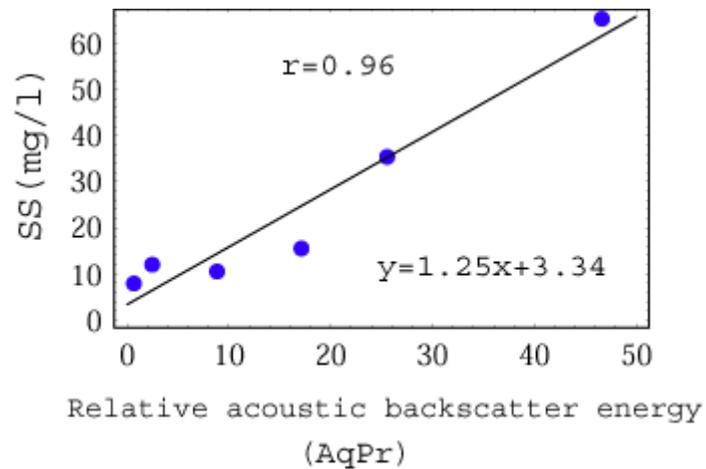


図 2-2 後方散乱エネルギーと浮遊土砂濃度の関係

図 2-2 に示した値は体積後方散乱係数に比例する散乱エネルギーを意味している⁴⁾。散乱エネルギーはほぼ SS に比例しており、AqPr の後方散乱データを適切に処理すれば、浮遊土砂濃度分布を測定できることが分かる。

3. 現地観測

3. 1 観測地点

太田川放水路は広島デルタの最西部に位置しており、図 3-1 (a) に示すように太田川放水路は河口から約 9km 上流で市内派川と分派している。放水路上流端には祇園水門があり、市内派川側には大芝水門がある。平常時の祇園水門は、2004 年 3 月まではすべてのスルースゲートが開度 0.1m に固定されていたが、2004 年 3 月中旬からは 3 つのゲートの内、右岸側の 1 つだけを開度 0.3m とし、残りのゲートは閉じられている。図 3-1 (b) は音響データから求めた底面形状の縦断変化と観測地点を示している。河床の縦断地形は河口部から広島湾に向かって急激に深くなっているが、放水路内の河床勾配は非常に緩やかである。観測地点は、河口より 2.8km 上流の Sta. A と 5.8 km 上流の Sta. B である。

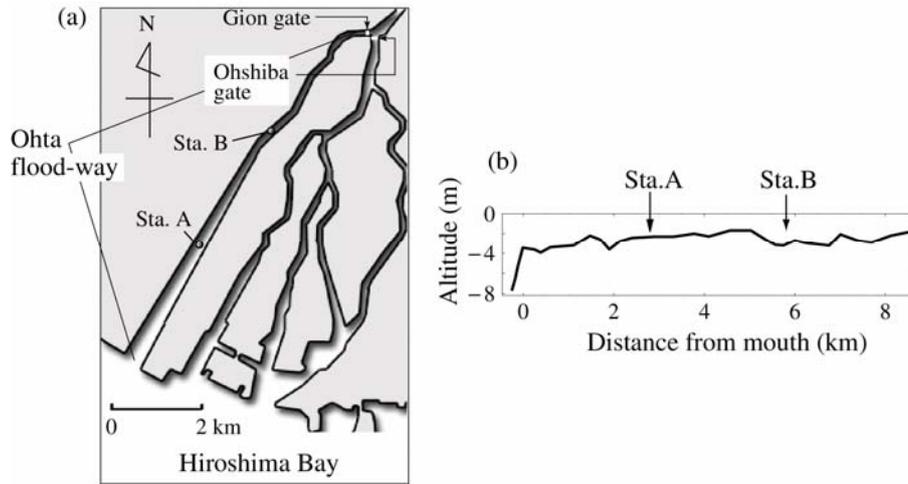


図3-1 観測地点 (a) と河床の縦断形状 (b)

3. 2 観測方法

超音波ドップラー分布計 (AqPr) を救命浮環を利用して水面に浮かぶ様にし、橋に係留した。AqPr は測定層厚 0.15m, 平均時間 5 分, 測定時間間隔 30 分で設定し, 0.35m 以深の流速・散乱強度の鉛直分布を測定した。

4. 太田川放水路における浮遊土砂濃度と輸送量

4. 1 浮遊土砂濃度の変動特性

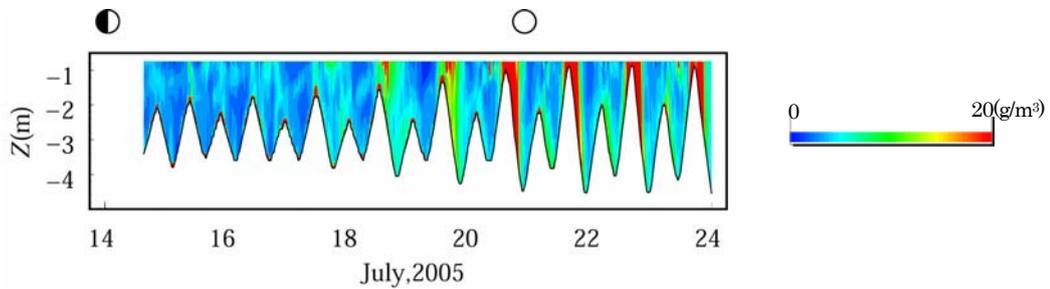


図4-1 観測地点における浮遊土砂濃度の時間-空間分布

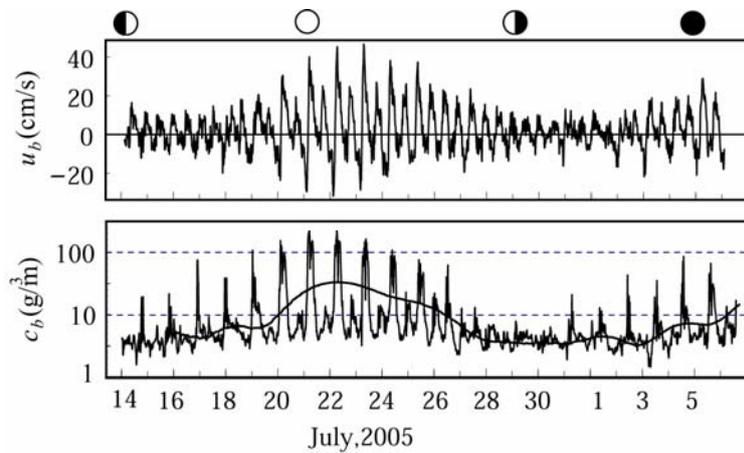


図4-2 2005年夏季の底層における流速・浮遊土砂濃度の経時変化

図 4-1 に観測地点における浮遊土砂濃度の時間-空間分布を、図 4-2 に底層流速 u_b と底層濃度 c_b の経時変化を示す。図 4-1 と 4-2 からわかるように、濃度の上昇は大潮期に顕著であり、大潮期でも日潮不等の影響を強く受けて低低潮前後に濃度は急激に増加し、高低潮時付近では濃度の増加が小さい。浮遊土砂濃度のピーク発生時間は流速のピーク発生時間と一致しており、濃度の変動は主に河床堆積物の再懸濁によって引き起こされていることが分かる。

図 4-2 からわかるように、浮遊土砂濃度の日平均値は潮差に対応して変動しており、大潮期に最大値、小潮期に最小値をとるという半月周期の変動を示している。

4. 2 浮遊土砂輸送率の変動特性

図 4-3 に各観測期間における浮遊土砂輸送率とその日平均値の経時変化を示す。浮遊土砂輸送率は以下の(1)式により評価しており、上流向きを正としている。

$$Q_s = B \int_{z_0}^{z_1} u(z)C(z)dz \quad (1)$$

ここで B : 川幅, z_0 : 測定第 1 層目水深, z_1 : $0.8h$ (m)である。

いずれの観測期間においても、輸送率の変動には、大潮期の低低潮前後の濃度ピークに対応したピークが見られる。この時間帯以外の輸送率の値は非常に小さく、浮遊土砂輸送は間欠的に発生していることが分かる。また、大潮期における上げ潮の輸送率は下げ潮のものよりも大きく、日平均輸送率の値が正になっていることから浮遊土砂は 1 潮汐間で上流方向へ輸送されていることが分かる。

4. 3 累積浮遊土砂輸送量の変動特性

図 4-4 に Sta. A と B における累積浮遊土砂輸送量の経時変化を示す。累積浮遊土砂輸送量は以下の(2)式により評価しており、上流向きを正としている。

$$\sum Q_s = \sum \int_0^{t_1} B \int_{z_0}^{z_1} u(z)C(z)dzdt \quad (2)$$

ここで t_1 : 測定間隔 1200(s), B : 川幅, z_0 : 測定第 1 層目水深, z_1 : $0.8h$ (m)である。

図 4-4 より、下流域の Sta. A における浮遊土砂は平水時、累積すると観測地点より上流方向へと輸送されていることが分かる。一方、上流側の Sta. B ではわずかながら下流方向に輸送されている。Sta. A と B の収支から、平水時は Sta. A と B 間は堆積傾向にあり、大潮期を中心とした 10 日間に約 500 ton の堆積があったことが分かる。24 日の出水により大量の浮遊土砂が下流方向に輸送されているが、輸送量は Sta. A の方が大きく、およそ 1500 ton の河道堆積物が浸食されている。

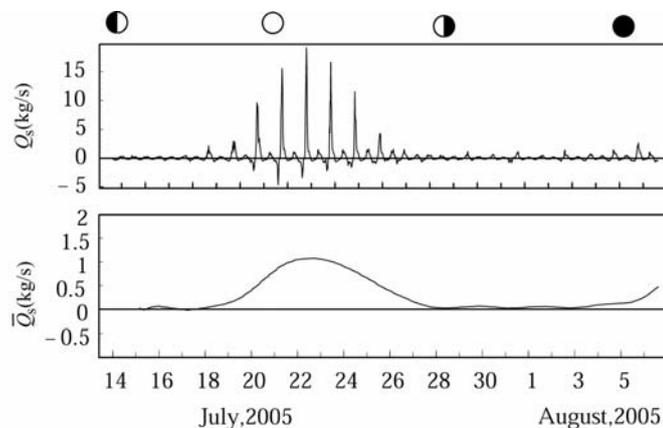


図 4-3 2005 年夏季の浮遊土砂輸送率とその日平均値の経時変化

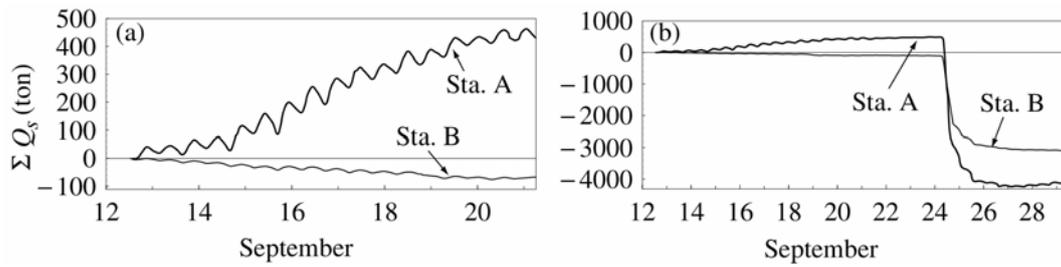


図 4-4 Sta. A と B における累積浮遊土砂輸送量

4. 4 潮差・河川流量と浮遊土砂輸送率の関係

浮遊土砂輸送率の日平均値は潮差と河川流量に対応して変化していると考えられる。そこで、潮差・河川流量と日平均浮遊土砂輸送率の関係を定量的に評価する。浮遊土砂輸送率は季節的にも変化していると考えられるが、冬季はデータ数が夏季と比較して乏しいため、今回は夏季のみの評価を行う。

図 4-5 に、観測地点での、大潮期（潮差約 2.5 m~4 m）における河川流量と日平均輸送率の関係を示す。日平均輸送率は上流向きを正としている。図より日平均輸送率は、河川流量が 40~100 m³/s 程度の際に大きな値を示しており、その最大値は 1.2 kg/s にもなるが、河川流量がそれ以上になると流量の増

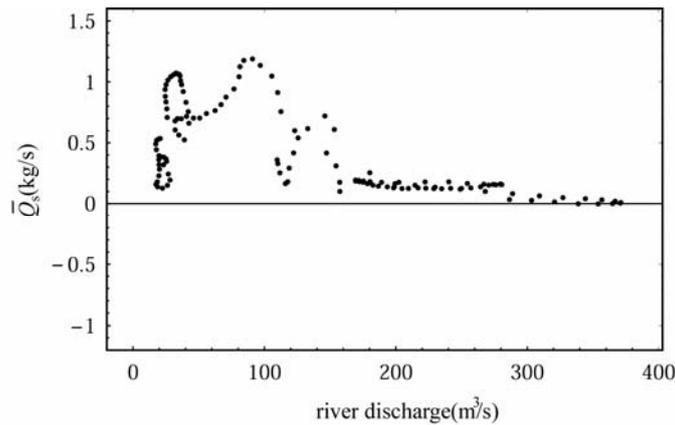


図 4-5 大潮期における河川流量と日平均浮遊土砂輸送率の関係

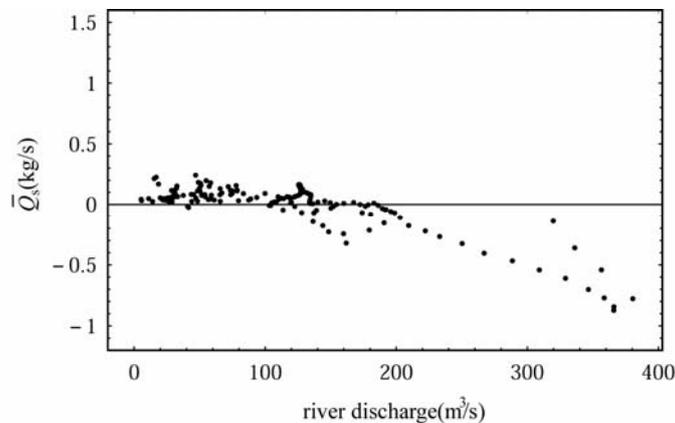


図 4-6 小潮期における河川流量と日平均浮遊土砂輸送率の関係

加に伴い小さくなっていくことが分かる。しかし、大潮期は祇園水門が全開とならない河川流量 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 以内であれば、日平均輸送率が下流向きとなることはない。また、河川流量が $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の時では、日平均輸送率は河川流量の減少とともに減少している。これは、河川水の流入が少なくなりすぎると Tidal straining⁵⁾による密度成層の変動がなくなり、流速分布の非対称性も生じなくなるためであると考えられる。

図 4-6 に小潮期（潮差約 0.5 m ～ 2.0 m ）における河川流量と日平均輸送率の関係を示す。小潮期は日平均輸送率の値は小さく、上流方向への輸送はほとんど生じていない。逆に、河川流量が $140 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度まで増加すると、日平均輸送率は負となり、下流方向へと輸送され始めることが分かる。河川流量が $360 \text{ m}^3/\text{s}$ では日平均輸送率は -0.8 kg/s まで低下している。

5. おわりに

従来測定が困難であった非定常流場に適用できる、超音波分布計を利用した浮遊土砂濃度と輸送量の測定法を開発した。また、海水と河川水の密度差やそれに伴う密度流、気象条件、河川流量の季節変化、非対称な潮汐現象等の諸要因により、河積・流れ場・密度場が短時間に大きく変化する河川感潮域に、本研究で開発した測定法を適用し、以下の主要な結果を得た。

- (1) 高周波数の超音波流速分布計から得られる後方散乱強度（エコー強度）をソナー方程式を用いて処理することにより、光学式濁度計と遜色なく感潮域における浮遊土砂濃度分布を測定でき、同時に得られる流速分布を利用して浮遊土砂輸送量を長期間連続してモニタリングすることが可能である。設置方法も浮きを使って水面に浮かべるだけであり、大変簡便である。
- (2) 浮遊土砂輸送は間欠的に発生し、流速の非対称性により平水時は観測地点（河口より 2.8 km 上流）よりも上流方向へ輸送されている。また、日平均浮遊土砂輸送率は、潮差と河川流量に対応して変化している。大潮期の日平均輸送率は河川流量が約 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ の時に最大となり、流量が $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 以内であれば下流方向への輸送は生じない。小潮期は上流方向輸送がほとんど生じず、河川流量が $140 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上になると観測地点よりも下流方向へ輸送される。

〈参考文献〉

- 1) 奥田八束, 奥田節夫編: 河川感潮域-その自然と変貌-, 名古屋大学出版会, pp2-11, 1996
- 2) 横山勝英・藤田光一: 多摩川感潮域の土砂動態に関する研究, 水工学論文集第 45 巻, pp. 937-942, 2001
- 3) Sitang PILAILAR・Takashi SAKAMAKI・Yuko HARA・Norihiro IZUMI・Hitoshi, TANAKA・Osamu NISHIMURA: Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, VOL. 48, 2004
- 4) 川西澄・水野博史・内田卓志: 1.5MHz 超音波ドップラー分布計を用いた感潮域における懸濁粒子の動態観測, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 1096-1100, 2001
- 5) Simpson, J. H., Brown, J., Matthews, J. and Allen, G.: Tidal straining, density currents, and stirring in the control of estuarine stratification, Estuaries, Vol. 13 (2), pp. 125-132, 1990