

1. はじめに

広島湾には一級河川である太田川が流れ込んでおり、太田川は広島デルタ扇頂（河口から約 9 km 上流）で太田川放水路と旧太田川に分派している。太田川放水路は最大潮差が 4m と大きく、潮差と平均水深が同程度であり、太田川放水上端に位置する祇園水門の操作によって上流からの流入量が制限されている。太田川放水路では潮汐の影響だけでなく、淡水と海水の密度差によって生じる密度流という現象によっても塩水が上流へ遡上している。感潮河川環境を適切に保全していくためには、時間によって大きく変動している塩分と河口から遡上して来る塩水の流動がどのような要因によって変動しているかを把握する必要がある。太田川放水路では過去に河口から約 5km 上流の 1 地点で河川流速分布、表層と底層の密度・塩分の連続観測から塩水の遡上特性¹⁾や潮汐流の変動特性²⁾、浮遊砂泥の輸送特性³⁾に関する研究が行われている。しかし、密度・塩分の鉛直分布を計測したものや複数点で計測を行ったものではなく、放水路全体の流動がどのような変動特性を示すのかは明らかでない。また 2008 年から祇園水門下流にて行っている河川流量と断面平均塩分の連続観測によって遡上して来る塩水が年々減少傾向にあることも指摘されており、近年の放水路における河川水の流動は変化している可能性がある。

本研究では大潮期と小潮期に行った流速・水質の 25 時間連続観測データから、太田川放水路での密度流による塩水遡上の大潮・小潮での一日の変動特性と河川流量、潮汐、密度成層強度の変化が塩水にどのような影響を与えるかを把握することを目的とする。

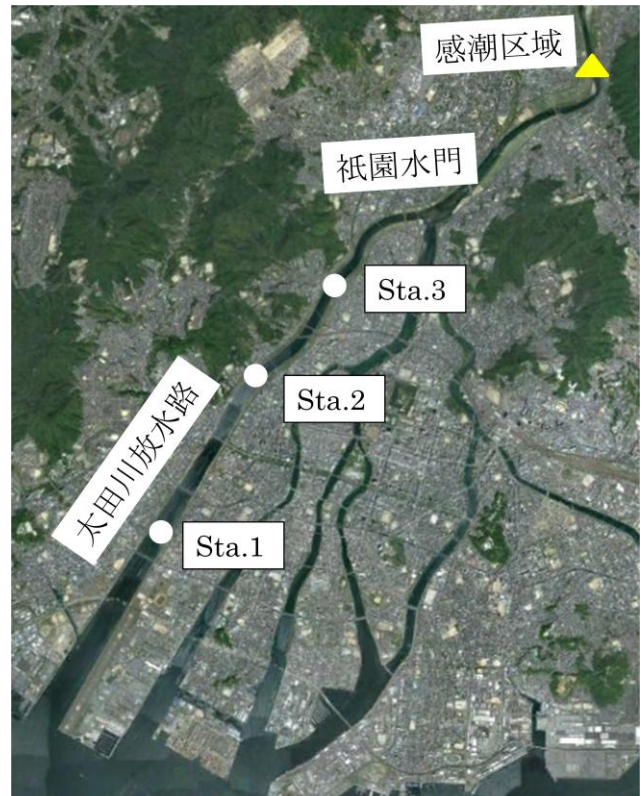
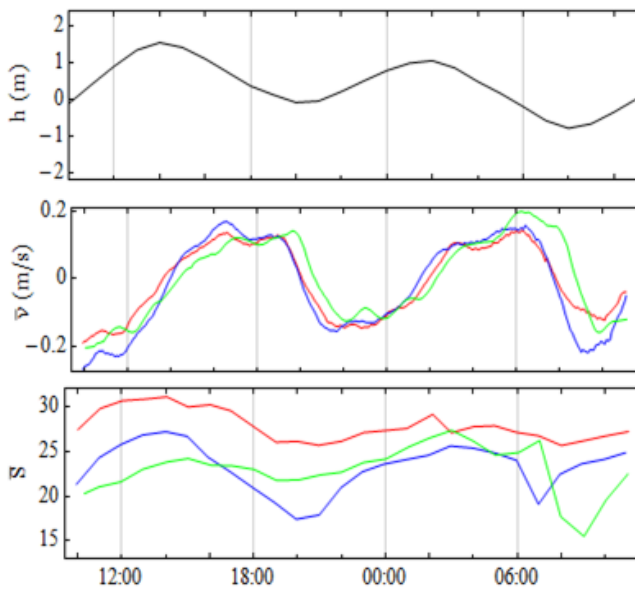


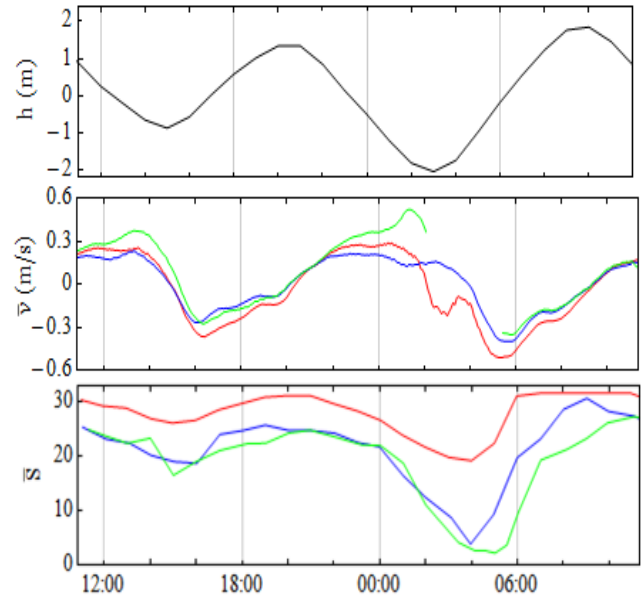
図-1 観測地点図

2. 観測地点と測定方法

太田川放水路における大潮期・小潮期の密度流による塩水遡上の変動特性を明らかにするため、広島デルタの最西部に位置する太田川放水路の河口からそれぞれ河口から 2.8 km, 5.5 km, 6.8 km 上流の 3 地点の橋（以下では、それぞれ下流側から Sta.1, Sta.2, Sta.3 と呼ぶ）で一時間毎の塩分・密度の鉛直分布観測と流速の鉛直分布の連続観測を行った。観測地点を図-1 に示す。太田川放水路は河口から 9 km 上流で市内派川と分派しており、放水上端には祇園水門、市内派川側には大芝水門が設置され、太田川放水路と市内派川に流入する流量配分が調整さ



(a) 小潮期(10/21~10/22)



(b) 大潮期(12/12~12/13)

図-2 小潮期と大潮期における経時変化； h ：河口の水位， \bar{v} ：それぞれの観測地点での深度平均された主流方向の流速， \bar{S} ：それぞれの観測地点での深度平均塩分(赤線：Sta.1，青線：Sta.2，緑線：Sta.3)

れている。平常時の祇園水門は3門のうち右岸側スルースゲート1門のみが開度0.3m，大芝水門は全開になっており流量比は1:9と計画されている。

観測期間は2012年10月21日から22日にかけての小潮期と2012年12月12日から13日にかけての大潮期のそれぞれ25時間である。Sta.1, 2では、小型軽量水温・塩分・深度計（アレック電子社製 Compact-CTD）を河岸から等間隔に3か所の点からロープで投下し、1時間毎の塩分と濁度の鉛直分布の計測を行った。それとともに、ブイに係留した音響ドップラー流速分布計（Nortek社製 Aquadopp ADCP）により測定層厚0.1m，平均時間1分測定時間間隔5分で深さ0.1m以深の流速分布を計測した。Sta.3では投込式携帯型CTD計（YSI社製 CastAway-CTD）を河岸から等間隔に3か所の点からロープで投下し、1時間毎の塩分と濁度の鉛直分布の計測を行った。流速分布の計測は小潮期にはブイに係留したTRDI社製StreamPro ADCPを用いて、大潮期には河床にNortek社製Side-look ADCPを設置して行った。小潮期と大潮期で計測機器を変更した理由としては、大潮時は小潮時に比べて水深の変

動が大きく、StreamPro ADCPの計測限界深度を超える可能性があったためである。

3. 観測結果・考察

(1) 塩分・流速の時間変動

図-2に太田川放水路3地点に設置した流速計と塩分・濁度計によって求められた深度平均の河川流速と断面平均の塩分の経時変化を示す。赤線がSta.1，青線がSta.2，緑線がSta.3の値をそれぞれ示している。また、潮差の影響を見るために河口の水位の経時変化もともに示している。大潮期のSta.3の流速が一部欠測しているのは流速計が干出したためであり、断面平均塩分の値は計測が可能であった地点のみの値を使用している。流速の値は正の場合が上流から下流へ、負の場合は下流から上流方向への流れを示している。流速は水位が上昇するときに負の値、水位が下降するときに正の値を示しており、また断面平均塩分も満潮時に高い値、干潮時に低い値を示しており水位の変動とよく合った変動を示している。

塩分の値は3地点共に小潮期の方が高い値を示し

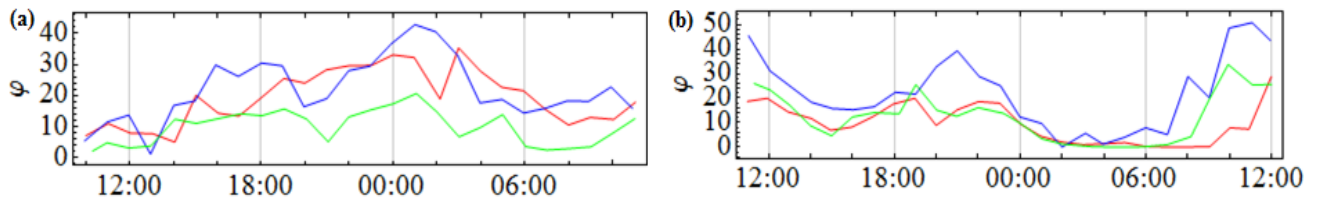


図-3 小潮期(a)と大潮期(b)における成層強度 ϕ の経時変化(赤線 : Sta.1, 青線 : Sta.2, 緑線 : Sta.3)

ており、一日の変動幅は大潮期の方が大きくなっている。また 3 地点の塩分差も小潮期に比べて大潮期が大きくなっている。Sta.2, 3 の塩分値は大潮期においてはほぼ同程度であるが、小潮期には塩分値の大小が逆転している期間もある。これは Sta.3 には砂州などの浅瀬があり、淡水は浅いところを塩水は深い所を流れたために今回の計測点である 3 点では正確な断面平均塩分を測ることが出来なかったためではないかと思われる。

流速は 3 地点共に大潮期の方が大きな値を取っており、一日の変動幅も大潮期の方が大きくなっている。大潮期の流速の経時変化は正弦曲線から歪んでおり、水深が大きく減少する場合には歪みが大きくなっている。25 時間平均した流速の値を見ると小潮期は負の値を示しており、大潮期は正の値を示している。このことから、河川水は小潮期に上流に向かって遡上し、大潮期に河口に流出していることが分かる。

(2)密度成層の時間変動

Simpson and Hunter⁴⁾は密度成層の強さを表す指標として、水柱のポテンシャルエネルギーに着目し、成層状態にある水柱を一様な、すなわち鉛直方向に混合した状態にするのに要する単位体積当たりのエネルギー ϕ を以下の式で表すことが出来るのではないかと考えた。

$$\phi = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 (\hat{\rho} - \rho) g z dz \quad (1)$$

ここで h は水深、 ρ は密度、 $\hat{\rho}$ は水深平均密度、 z は水面を 0 としたときの鉛直座標である。相対深さ $\zeta = z/h$ を用いてこの式を表すと

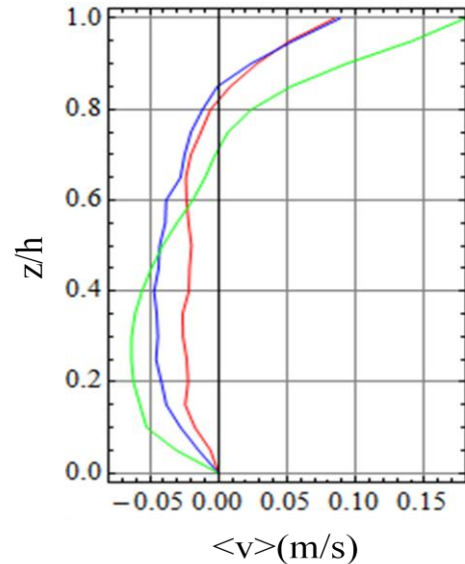


図-4 25 時間平均された小潮期の流速鉛直分布 (赤線 : Sta.1, 青線 : Sta.2, 緑線 : Sta.3)

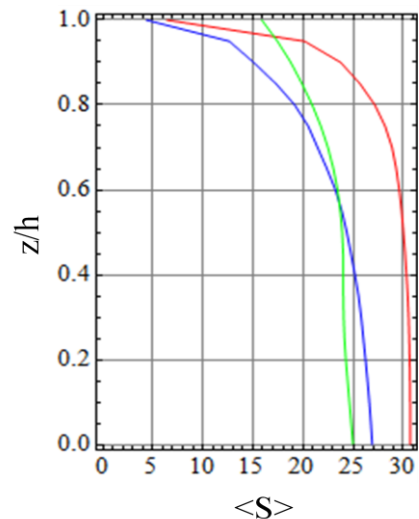


図-5 25 時間平均された小潮期の塩分鉛直分布 (赤線 : Sta.1, 青線 : Sta.2, 緑線 : Sta.3)

$$\phi = h \int_{-1}^0 (\hat{\rho} - \rho) g \zeta d\zeta \quad (2)$$

と表すことができる。この ϕ が大きな値をとると強く成層した状態であると言える。本論文ではこのポテンシ

サルエネルギー ρ を成層の強さの指標として成層強度と呼ぶこととする。

小潮期と大潮期における成層密度の計測結果図-3に示す。成層強度の値は小潮では高低潮で最大値を取っており、大潮では高高潮で最大値を取っている。小潮期と大潮期の値をそれぞれ比べると、最大値は大潮時の方が大きくなっているが、平均値は小潮期の方が大きくなっている。成層強度が大きな値となっているのは小潮期と大潮期ともに Sta.2 である。

以上のことから大潮期に比べて小潮期の方が成層状態が強く、密度流によって多くの塩水が運ばれていることが分かる。

(3)密度流の変動特性

次に小潮期における密度流の変動特性を把握する。図-4 と図-5 に小潮期における 25 時間平均した河川流速と断面平均塩分の鉛直分布を示す。縦軸は z/h で示しており、河床が 0 で水面が 1 となっている。

これら 2 つの鉛直分布を見ると上層と下層の流速差は河口からの距離が遠くなるほど大きくなっており、流速分布を鉛直に積分したところ、Sta.2 が負の値となり Sta.1 がほとんど 0、一番上流側の Sta.3 が正の値となった。また、逆に上層と下層の塩分差は河口からの距離が近いほど大きくなっている。これは上流の観測地点では連行と呼ばれる現象が起き、密度流によって遡上する塩水が流下する河川水によって下流方向に連れ戻されていることで上層と下層の塩分差が小さくなったものと考えられる。

4. 結論

密度流によって放水路を遡上する塩水の変動特性を調べるために、広島デルタを流れる太田川放水路の 3 地点にて ADCP による流速分布データと塩分計による塩分・密度の鉛直分布データから太田川放水路の河川水の流動がどのような動きをしているかを把握した。

成層強度の最大値は大潮期に発生するが、1 日平均の成層強度は小潮期の方が大きく成層が持続している期間も小潮期の方が長かった。

25 時間平均の流速・塩分の鉛直分布を見ると一番河口から距離のある地点で上層と下層の流速差が大きくなり、逆に塩分差は小さくなっていることから密度流によって塩水が遡上していることが確認できた。

参考文献

- 1) 川西澄・胡桃田哲也・Mahdi RAZAZ・水野雅光・福岡捷二：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，Vol.52，2008
- 2) 川西澄・中村智史・西牧均：太田川放水路における潮汐流と底面せん断応力の変動特性，水工学論文集，Vol.49，2005
- 3) 川西澄・筒井孝典・中村智史・西牧均：太田川放水路における河川流量と潮差変動に伴う浮遊砂泥の輸送特性，水工学論文集，Vol.49，2005
- 4) Simpson, J.H. and Hunter, J.R.: Fronts in the Irish Sea, Nature, Vol.250, pp.404-406, 1974.