

資料

## 京橋川の河岸干潟における泥分・有機物集積域の形成要因

後田 俊直

### Formation Mechanism of Accumulated Area of Mud Content and Organic Matter in the Estuarine Tidal Flats in Kyobashigawa

USHIRODA Toshinao

(Received: November 13, 2023)

京橋川の中～下流域に泥分・有機物集積域が形成される要因について、塩分遡上・高濁度水塊の現地観測と干潟底質の横断分布調査の結果から考察した。京橋川は緩混合型の塩分分布を示し、塩水遡上に伴う塩淡混合により凝集が起こり、フロック化した粒子が河道内の広範囲に堆積しているものと推察された。潮位差の大きい大潮や河川流量が増加した場合の干潮時に中～下流域で高濁度水塊が観測された。掃流力の増加により上流で再懸濁した堆積物が移送され中～下流域で堆積し、泥分・有機物集積域が形成されるものと推察された。一方、泥分・有機物の集積は上流域の護岸沿いにおいてもみられた。上流域の護岸沿いは、掃流力の大きくなる低水時に干出するため堆積物は残留し、泥化すると推察された。

Key words : 高濁度水塊, 感潮河川, 塩分, 太田川

### 結 言

広島県の西部に位置する一級河川の太田川は、下流デルタ域で太田川放水路と旧太田川（市内派川）に分派し、市内派川はさらに5つの河川に分派し、広島湾に注いでいる。瀬戸内海特有の大きな干満差（大潮時最大約4m）の影響を受け、潮位変動に伴い海水が遡上する感潮河川となっている。河川感潮域（汽水域）は河口から放水路と市内派川との分派点を超えて約12kmの区間に及んでいる[1]。

このような河川感潮域は、陸と海の接点に位置し、比重等性格の異なる淡水と海水が混合し、かつ周期的に発生する潮汐と海から吹く波浪などの影響を受け、常に変動する特殊な環境を有している[2]。河川感潮域における懸濁粒子の分布に関する特徴の一つはTurbidity Maximumと称される高濁度域が出現することであり、懸濁物質の移動や巻き上げ、堆積が顕著になることが知られている。上流からの河川の流れは海水の遡上の影響を受けて弱まり、時には逆流する。この流量の低下によって河川水中の懸濁物の沈降、堆積が起きる。また、河川水中の粘土粒子等が海水と接

触すると生化学的な反応（凝集作用）で沈降しやすくなり、河川感潮域に堆積することもよく知られている。一方、潮汐により遡上してきた海水中の懸濁物質も淡水と接触し、流れが遮られると堆積する。河川水には懸濁態の有機物や栄養塩が豊富に含まれているため、これらの供給は河口干潟の生態環境の形成に重要であるが、過度の集積は水質・底質環境の劣化をもたらす恐れがある[3]。実際、太田川の市内派川では有機泥が堆積し、においや見た目など水辺を利用する上での支障になっている場所もみられ、河川底質の改善や生物生息環境の保全が望まれている[4]。こうしたことから、太田川河口干潟の保全・再生のためには河川感潮域における底質の形成機構を把握することは重要である。

既報[5]では、太田川市内派川の一つである京橋川で調査を行った結果、中～下流域に泥分・有機物が極度に堆積した集積域が存在することを報告した。本研究では、このような集積域が形成される要因について、京橋川における塩分遡上・高濁度水塊の現地観測と干潟底質の横断分布調査の結果から考察した。

## 方 法

### 1 京橋川の概要

京橋川は、太田川水系の分流であり、太田川が形成する広島デルタの6河川のうちの1つである。京橋川は、旧太田川から分岐し、下流で元安川に合流するまでの流路6.2kmの区間である。広島市街地東部を蛇行して流れる都市河川であるが、上流には自然護岸やアシ原がみられる。干潟土壌の物理化学特性については既報[5]にて報告したとおりであり、その調査地点を図1、各地点の泥分率及びIL（強熱減量）の縦断分布を図2に示す。干潟土壌の特徴は、上流では砂質であるが、下流に向かうほど泥分が増加し、中～下流域（K-2地点）で泥分・有機物が極大となる集積域がみられた。

### 2 調査地点及び調査方法

#### (1) 河岸干潟の底質調査

底質調査は下流域の泥干潟（K-2）及び上流域の砂干潟（K-5）の2地点で、2017年11月15日の大潮の干潮時に行った。いずれの地点も両岸は護岸となっており、干潮時には護岸沿いに干潟が干出し、満潮時には護岸まで冠水する。底質の横断分布を調べるために、護岸から汀線に向かって5m間隔でサンプリングを行った。調査はK-2地点では右岸、K-5地点では左岸の干潟で行い、護岸から汀線までの距離は、K-2地点は約20m、K-5地点は約55mであった。干潟の表層（約5cm層）を採取し、均等に混合して試料とした。泥温及び酸化還元電位（ORP）は現地で干潟表面から5cm深の位置で測定した。なお、ORPは、標準水素電極を基準とした電位（Eh）に換算したものを測定値とした。

採取した試料は実験室に持ち帰り、含水率、強熱減量（IL）、粒度分布、硫化物（AVS）、全有機炭素（TOC）、全窒素（TN）、全有機窒素（TON）及び全りん（TP）を測定した。

含水率、IL、TOC、TN及びTONは底質調査方法[6]に従い測定した。TOC、TN及びTONは柳本製CHNコーダMT-3を用い、TOCは試料を塩酸で前処理して測定した。C/N比の算出には、CN同時測定した窒素の値をTONとし、TOC/TON（モル比）として求めた。硫化物は、検知管法（㈱ガステック製、ヘドロテックS）により測定した。粒度分布は、JIS A 1204のふるい分析及び沈降分析により測定した。TPは、灰化・塩酸抽出法[7]により前処理を行い、オートアナライザー（ピーエルテック㈱製、AACS）で測定した。

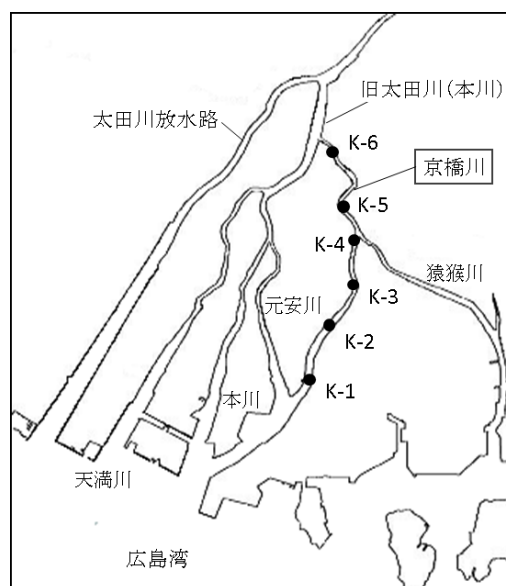


図1 太田川感潮域の地形と調査地点

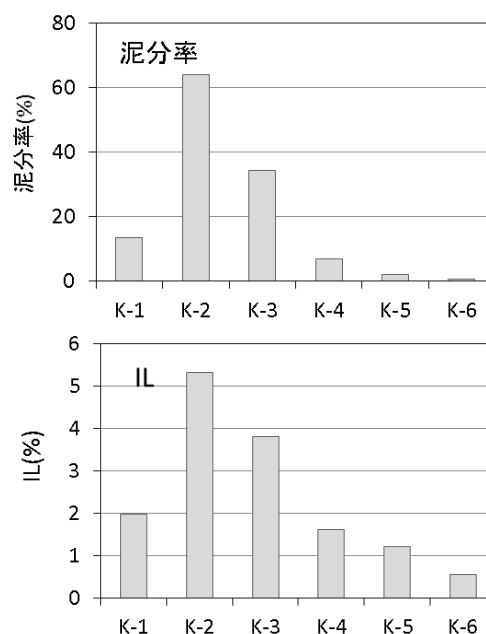


図2 京橋川の泥分率及びILの縦断分布

#### (2) 河川水質の移動観測

塩分及び濁度について空間分布（縦断分布）を調査するための移動観測を行った。測定機器には多項目水質計（環境システム㈱製、Quanta）を用いた。測定は橋上から行い、橋脚の近くの渦を巻くような場所を避け、流心に近い場所で水質計を下ろし、塩分及び濁度を鉛直方向に任意の間隔（10～50cm）で測定した。調査地点は京橋川の上流から下流にかけての8地点であり、その地点と京橋川の断面図を図3に示す。なお、

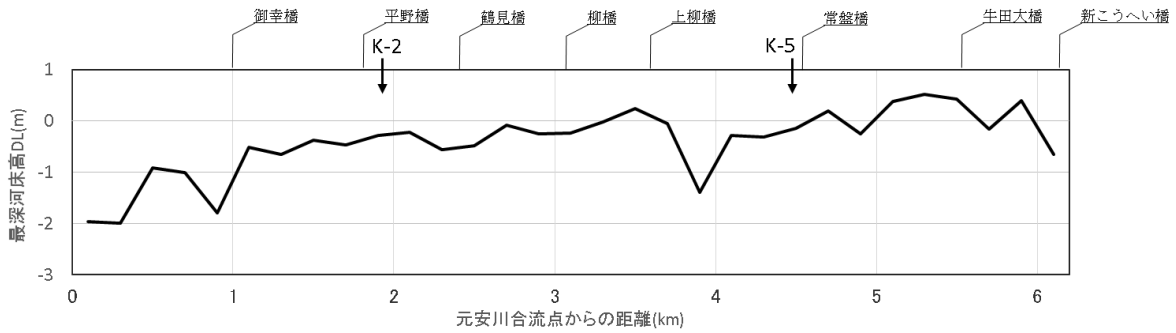


図3 京橋川の縦断図と調査地点

表1 観測日と河川流量及び潮位の状況

	観測日	干満差 (cm)	河川日流量 (m <sup>3</sup> /s)	潮汐, 河川の相対的状況	
				干満差	河川流量
CASE1	2015年9月15日	288	71	大	小
CASE2	2015年9月21日	110	46	小	小
CASE3	2015年8月28日	293	119	大	大

断面図は河川定期縦横断測量データ（国土交通省太田川河川事務所提供）を基に作成した。測定は満潮及び干潮前後1時間の潮止まりの時間帯に各地点を速やかに移動しながら行った。観測は2015年8月～9月に3回行った。観測日と当日の流量及び潮位の状況を表1に示す。河川流量は、河口から約15km上流の矢口第一観測所（国土交通省）のデータ[8]，潮位は、広島港の観測データ[9]を用いた。なお、河川流量は京橋川分岐点より上流の太田川の流量である。2015年の平水流量は59.85m<sup>3</sup>/s, 豊水流量は88.40 m<sup>3</sup>/s, 低水流量は38.58 m<sup>3</sup>/sであった。潮汐は、CASE1及びCASE3は大潮, CASE2は小潮であったため、相対的にCASE1は「干満差：大, 河川流量：小」, CASE2は「干満差：小, 河川流量：小」, CASE3は「干満差：大, 河川流量：大」の条件として考察を行った。

## 結果及び考察

### 1 干潟底質の横断分布

各調査地点における干潟土壌の粒度分布を図4に示す。K-2地点では護岸から汀線にかけて全体的に泥分（75μm以下の粒子, 粘土・シルト分）の割合が高く、泥分率は48～71%であった。汀線に向かうほど泥分は若干高くなる傾向がみられた。一方、上流側のK-5地点では、干潟の大部分が礫と砂で構成された砂質干潟で泥分率は1%以下であったが、護岸から10mまでの範囲では泥分率が26～39%と極端に高くなっていた。

次に各調査地点におけるEh, AVS, IL, TOC, TN及びTPを図5～10に示す。干潟のEhは、泥干潟のK-2

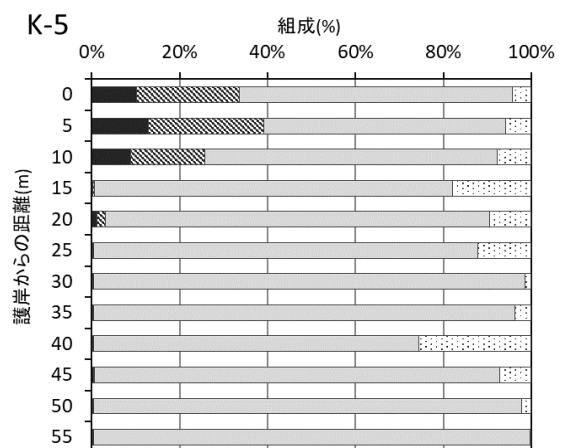
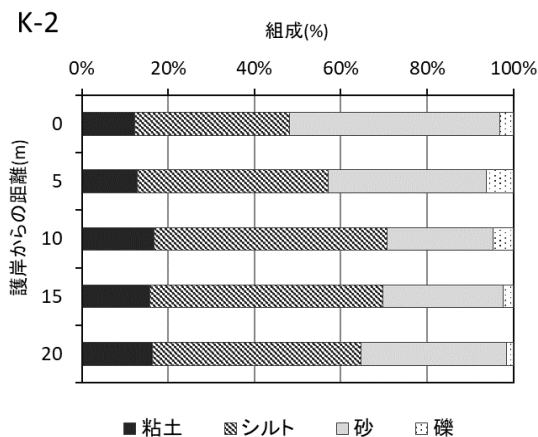


図4 京橋川K-2及びK-5地点における粒度組成の横断分布

地点で低くなった。一方、砂干潟のK-5地点では高くなったが、泥分率の高い護岸側及び20mの地点では若干低くなった。20mの地点は局所的に地盤が低くタイドプールとなっていたため、周囲より還元的になっているものと推察された。AVSはEhに対応しており、Ehの低いK-2地点では全体的に高くなり、水産用水基準[10]の0.2mgS/gを超える濃度もみられた。Ehの高いK-5地点では干潟の大部分でAVSは検出されなかったが、護岸から10mまでは高くなっており、護岸から5m

では0.41 mgS/gと高濃度であった。

IL, TOC, TN及びTPの横断分布は同様の傾向を示し、K-2地点では全体的に高く、護岸から汀線に向かって高くなる傾向がみられた。一方、K-5地点では護岸から10mまでは高く、そこから汀線にかけては低濃度となった。このような傾向は泥分の横断分布と同様であった。そこで泥分率とILの関係を図11に示す。両者には相関関係（K-2地点： $r=0.99$ ,  $p<0.01$ , K-5地点： $r=0.99$ ,  $p<0.01$ ）が認められた。また、TOC, TN

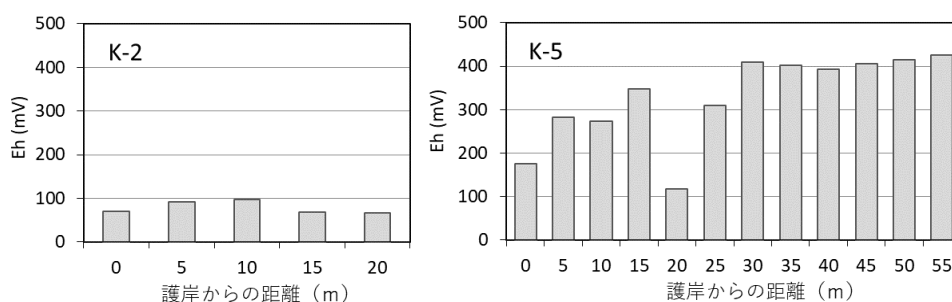


図5 京橋川K-2及びK-5地点におけるEhの横断分布

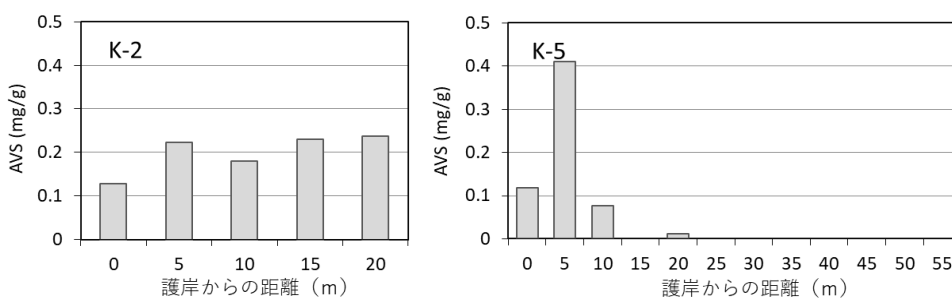


図6 京橋川K-2及びK-5地点におけるAVSの横断分布

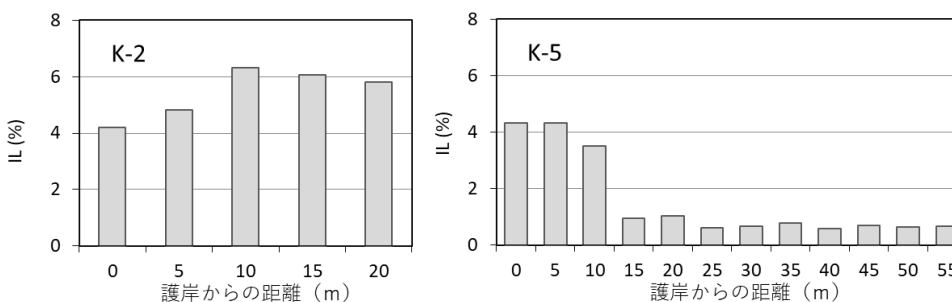


図7 京橋川K-2及びK-5地点におけるILの横断分布

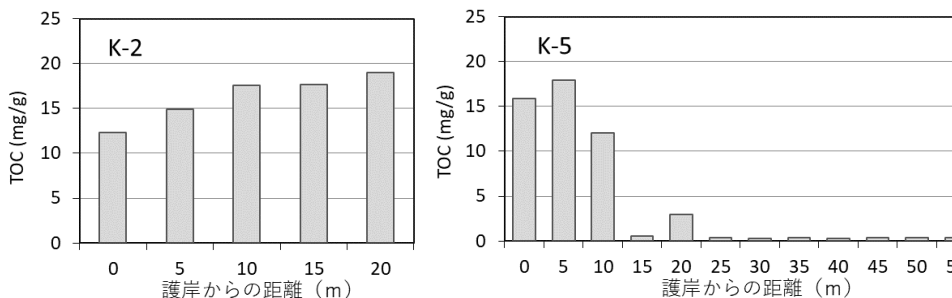


図8 京橋川K-2及びK-5地点におけるTOCの横断分布

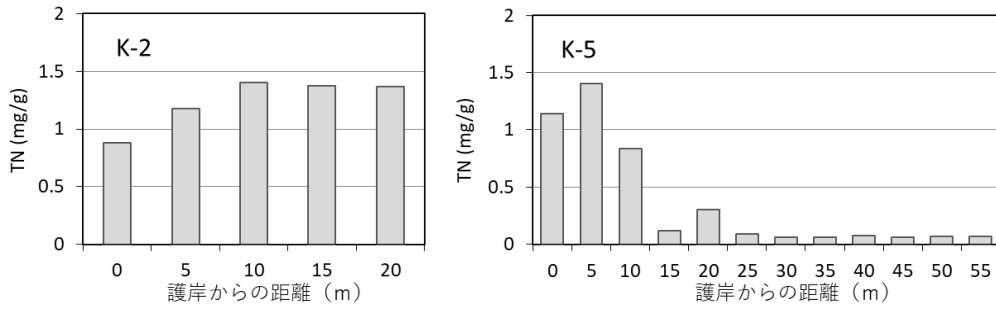


図9 京橋川K-2及びK-5地点におけるTNの横断分布

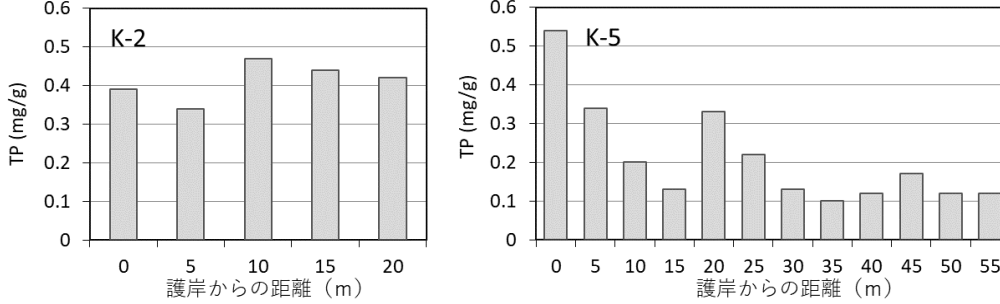


図10 京橋川K-2及びK-5地点におけるTPの横断分布

及びTPについても同様であった(図略)。このことから有機物及び栄養塩類は75 $\mu$ m以下の微細粒子に付着あるいは同様の挙動で干潟に堆積しているものと推察された。

次に各調査地点におけるC/N比の横断分布を図12に示す。C/N比はK-2地点では全域で17~18, K-5地点の護岸付近で14~15の高い値を示した。C/N比は海域プランクトンではモル比で6.6前後, 陸上由来有機物では12以上を示すことが知られている[11]。また, 分解の進行に従ってC/N比は高くなり, 有機物分解の最終形態と考えられるフミン質のC/N比は20~50といわれている[12]。このことから堆積した有機物は陸域起源, あるいは海域起源でも分解の進んだ有機物と考えられ, いずれにしても比較的分解の進んだ難分解有機物が堆積しているものと推察された。

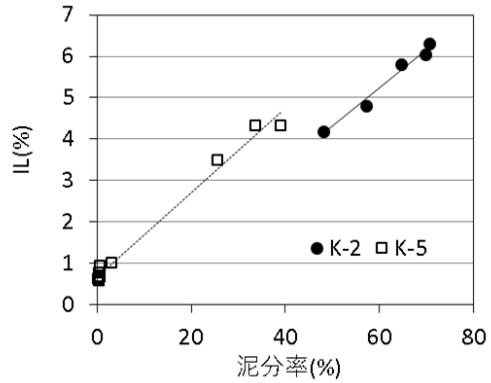


図11 京橋川干潟土壌の泥分率とILの関係

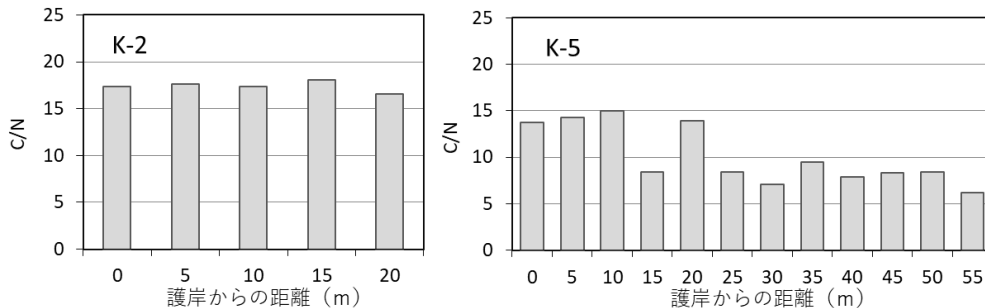


図12 京橋川K-2及びK-5地点におけるC/N比の横断分布

## 2 塩分・濁度の縦断分布

移動観測の測定結果から作成した満潮時及び干潮時の塩分・濁度の縦断分布図をそれぞれ図13及び図14に示す。なお底質の横断調査を行ったK-2地点は本安川合流地点から上流へ1.9km, K-5地点は4.5kmの位置にある。

塩分分布は、満潮時（図13）にはCASE1～3のいずれも上流から下流に向かって河川水が海水の上を流下し、河底上では逆に塩水が遡上する分布を示した。塩水遡上は、CASE1～3のいずれも30psuの塩水では2.5～3km地点まで、5psuの塩水ではCASE1及びCASE2では5.5～6kmの地点、CASE3では5km地点まで遡上していた。CASE3では等塩分線の間隔が狭くなっており、河川流量が大きいため塩水の遡上が抑えられているものと推察された。塩分の混合形態は、等塩分線が斜めに傾き、塩分勾配が水平、鉛直の両方向に存在する緩混合型であった。

干潮時（図14）は、小潮時のCASE2では河道内に高塩分水が残り、満潮時と同様に塩分躍層が維持されていたが、大潮時のCASE1及び河川流量の大きいCASE3では河道内のほぼ全域が河川水となっていた。

濁度分布は、満潮時にはCASE1及びCASE 2では河川水（塩分5psu以下の部分）と海水（塩分30psu以上の部分）は濁度が低く、河川水と海水が混合する部分で高くなる傾向がみられた。濁度の上昇要因としては、塩淡混合による微細懸濁物質の凝集、流速の増加による底泥の巻き上げが考えられるが、この場合は凝集による濁度上昇と推察された。ここで河川水及び海水の動きが少なく、巻き上げの影響が少ないと考えられるCASE2（小潮の満潮時）について塩分と濁度の関係を示したものを図15に示す。濁度は塩分5psu以下では2NTU前後であるが、5～10psuになると上昇する傾向がみられた。凝集の起こる塩分濃度については、現地底泥を用いた室内実験により、塩分濃度10psuで既に凝集が起こることが報告されており[13]、この結果と一致していた。CASE2の満潮時には、上流域の約5.5km地点から河口までにかけて塩分約15psuの等塩分線に沿って濁度が高くなっており、河道内の広い範囲で凝集が起こっているものと推察された。CASE3では、上流域で濁度が高く、下流ほど濁度が低くなる傾向がみられた。調査の3日前に流域で50mm以上の降雨があり、河川水に濁りがあつたものと考えられた。

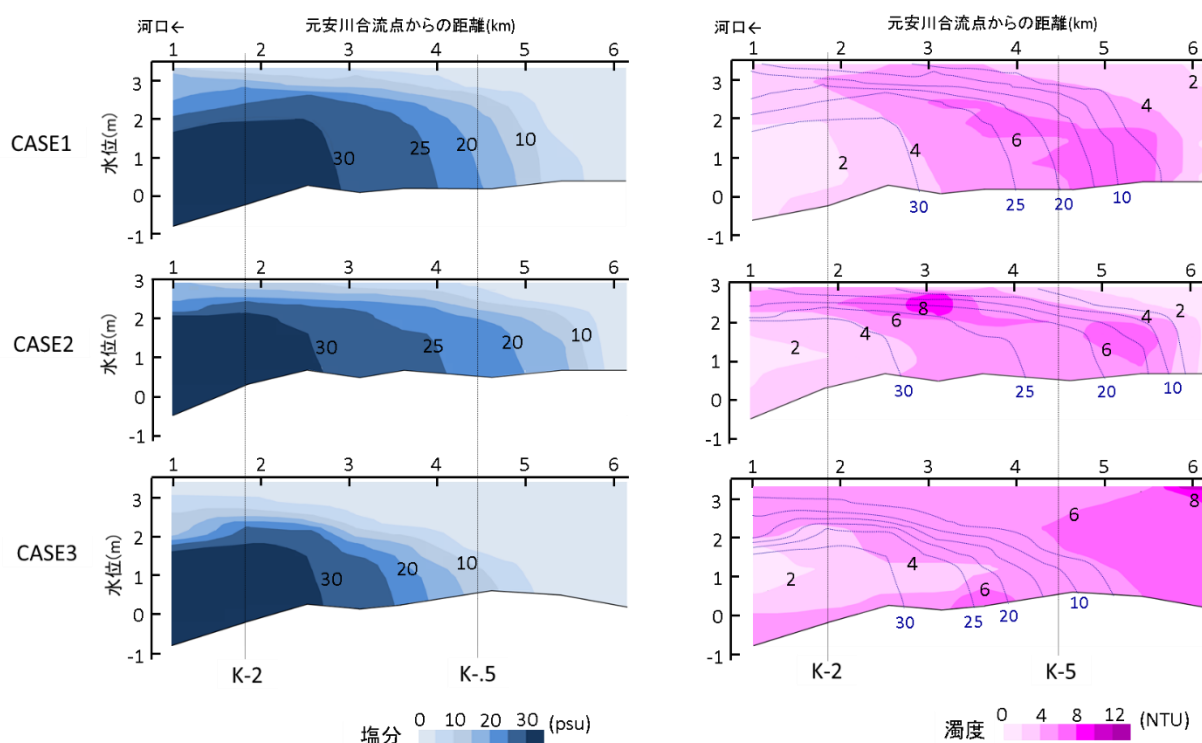


図13 京橋川の塩分・濁度の縦断分布（満潮時）

CASE1 干満差：大，河川流量：小

CASE2 干満差：小，河川流量：小

CASE3 干満差：大，河川流量：大

（濁度分布図中の点線は塩分分布を表す）

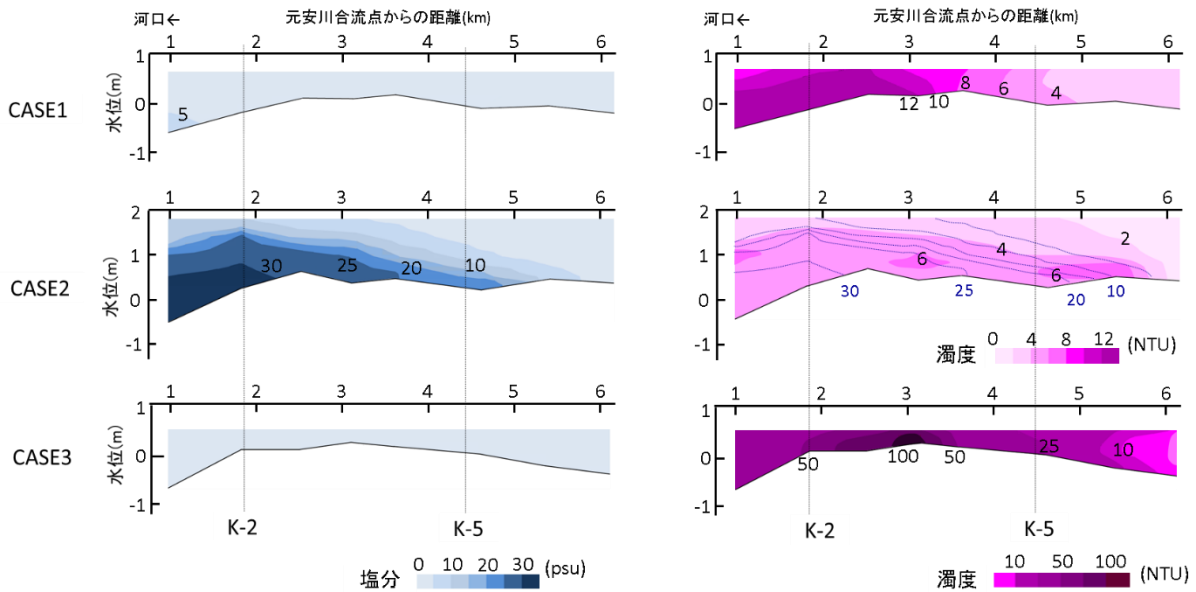


図14 京橋川の塩分・濁度の縦断分布（干潮時）

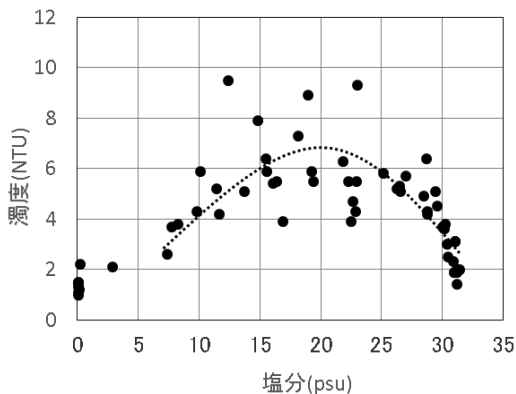


図15 塩分と濁度の関係（CASE2 満潮時）

底層部分でも濁度が若干高くなっていたが、これは巻き上げによるものと考えられた。CASE3では凝集による濁度増加は明確に観測されなかった。

干潮時の濁度分布は、CASE2では塩淡水混合域で部分的に濁度の高い領域がみられ、凝集によるものと思われた。CASE1では、濁度は約5km地点から上昇し、約3km地点から海側に向けて12NTU以上の高濁度域が続いていた。CASE1は潮位差が大きく、引き潮速度が速いため、河床の懸濁粒子が巻き上げられ、中～下流域に滞留しているものと考えられた。CASE3では濁度は上流の約6km地点から上昇し、約3km地点では最大100NTUとCASE1よりも1桁高くなっていた。CASE3では、潮位差が大きいことに加え、河川流量がCASE1の約1.7倍であったため、堆積物の巻き上げや輸送量が顕著に大きくなったものと推察された。

### 3 泥分・有機物の集積要因

京橋川の河口域では、中～下流域に泥分・有機物が極度に堆積した集積場（泥干潟）がみられたが、上流域の砂干潟においても護岸沿い（護岸から約10mの範囲）には泥分・有機物が極度に堆積していた。

感潮河川における堆積環境を支配する一つの要因に、懸濁粒子の凝集作用がある。平時に河川中を流下する浮遊性の懸濁物質は、粒径は小さく沈降しにくいですが、海水と接触するとフロックを形成して粒径が急激に大きくなり沈降速度を増して堆積するといわれている[14]。

今回の観測では、塩分5～10psuを超えると濁度が上昇しており（図15）、凝集によりフロックが形成されていることが推察された。京橋川の塩分分布は緩混合型であり、満潮時には塩淡水混合域は河口から上流5～6km地点まで及んでいることから、凝集は上流域から始まり、フロック化した粒子は下流までの広範囲で河床に沈降・堆積しているものと推察された。堆積したフロックは、水底の流れに伴い大きなせん断応力（掃流力）を受けると、破壊されて再懸濁して高濁度水塊を形成し、塩水に触れると再び沈降する[14]。今回の観測では、潮位差が大きく引き潮速度が速い大潮（CASE1）、特に河川流量が増加した場合（CASE3）の干潮時に中～下流域で高濃度水塊が観測された。河川水流下に伴う掃流力の増加により上流の堆積物が再懸濁、移送され中～下流域で高濃度水塊が形成されているものと推察された。今回の観測は満潮時及び干潮

時の潮どまりでの観測であり、上げ潮時・下げ潮時の観測を行っていないため高濁度水塊の移動（時間的変動）を捉えられていないが、干潮時に観測された高濁度水塊は中～下流域で沈降し、泥分・有機物の集積場を形成するものと推察された。

一方、上流域では、下げ潮時に水位が低下すると護岸側から干出する。流水部では水位の低下に伴い掃流力が大きくなると、堆積物の再懸濁が起こり下流へと輸送される。しかし、この時干出する護岸沿いは堆積物が残留し、泥化が進むものと考えられた。下流側の泥干潟においては、底質調査の結果では、護岸下よりも汀線に向かうほど泥分・有機物は高くなっていたが、上流とは逆に冠水時間の長い方が堆積は多くなるためこのような分布になるものと考えられた。

以上のような要因で京橋川において泥分・有機物の集積域が形成されるものと推察されたが、このような懸濁粒子の集積は京橋川のような長い感潮区間を有する河川の河口域では一般的に起こる現象である。京橋川では「水の都ひろしま」にふさわしい川づくりのため、石炭灰リサイクル材(Hiビーズ) [15]やキレート鉄発生材(キレートマリン) [16]を用いた底質改善の取り組みを行っているが、河川環境を維持管理していくには再堆積等の土砂動態を考慮した管理が必要となる。

浅海域における干潟は、水質浄化、食料供給、レクリエーションといった様々な恵み（生態系サービス）を与えてくれるが、このような有機物等の集積する泥場は親水や景観面ではマイナスと捉えがちである。一方で、京橋川の集積場に堆積している有機物は、C/N比の高い難分解性有機物であることから、陸域から流入するグリーンカーボンや海域で生成されたブルーカーボンを貯留する場として捉えることもでき、CO<sub>2</sub>吸収という新たな恵みとしての評価も必要である。

## 結 語

京橋川における泥分・有機物の集積要因について、塩分・濁度の縦断分布観測と干潟底質の横断分布調査の結果から考察した。

京橋川の塩分分布は緩混合型の分布を示し、満潮時には混合域は河口から上流5～6km地点まで及んでいた。凝集は上流域から始まり、フロック化した粒子は下流までの広範囲で河床に沈降・堆積しているものと推察された。

潮位差の大きい大潮や河川流量が増加した場合の干潮時に中～下流域で高濁度水塊が観測された。掃流力の増加により上流で再懸濁した堆積物が移送され、中～下流域で堆積し、泥分・有機物集積域が形成されるものと推察された。

一方、泥分・有機物の集積は上流域の護岸沿い（護岸～約10mの範囲）においてもみられた。上流域の護岸沿いは、掃流力の大きくなる低水時に干出するため堆積物は残留し、泥化すると推察された。

## 謝 辞

本研究の実施にあたり、国環研と地環研とのⅡ型共同研究「干潟・浅場や藻場が里海里湖流域圏において担う生態系機能と注目生物種との関係」（平成27～29年度）のメンバーには有益な情報・意見をいただいた。ここに謝意を表する。

## 文 献

- [1] 太田川生態工学研究会. 太田川放水路河口干潟における生態工学研究—太田川生態工学研究会報告書—。平成25年3月, p1.
- [2] 汽水域の河川環境の捉え方に関する検討会. 汽水域の河川環境の捉え方に関する手引書。平成16年5月, p1.
- [3] 西條八束・奥田節夫編. 河川感潮域—その自然と変貌—. 財団法人名古屋大学出版会。1996, p87-89.
- [4] 国土交通省中国地方整備局. 太田川水系河川整備計画【大臣管理区間】。令和2年11月, p62
- [5] 後田俊直, 寺内正裕. 太田川市内派川の河川感潮域に形成された干潟環境の特徴. 広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告. 2015, 23, 45-50.
- [6] 環境省水・大気環境局. 底質調査方法。平成24年8月.
- [7] 日本海洋学会編. 沿岸環境調査マニュアル[底質・生物編]. 恒星社厚生閣, 1986, p.59.
- [8] 国土交通省. 水文水質データベース. <http://ww1.river.go.jp/>, 参照2017-9-20.
- [9] 広島県防災Web. <http://www.bousai.pref.hiroshima.jp/hdis/>, 参照2017-9-20.
- [10] 日本水産資源保護協会. 水産用水基準. 第8版, 2



- 018.
- [11] Woo-Seok SHIN, 藤林恵, 野村宗弘, 中野和典, 西村修. 七北田川河口の3つの干潟における堆積有機物の起源とその特徴. 環境工学研究論文集. 2008, 45, 547-552.
- [12] 今井昌孝, 駒井克昭, 日比野忠史, 阿部徹, 西田芳浩. デルタ河川河口部に堆積する有機泥の分布特性. 水工学論文集. 2009, 53, 1447-1452.
- [13] 三村信男, 加藤始, 斉藤淳志, 田切康博. 河口・沿岸海域におけるシルトの凝集と沈降に関する研究. 第33回海岸工学講演会論文集. 1986, 34 7-351.
- [14] 国土技術政策総合研究所編. 流域における物質循環の動態と水域環境への影響に関する研究. 国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告. 2009, 28, 資3-65.
- [15] 中本健二, 廣中伸孝, 樋野和俊, 日比野忠史. ヘドロ堆積干潟での石炭灰造粒物による大規模底質改善施工技術の開発. 土木学会論文集B3 (海洋開発). 2015, 71(2), I\_808-I\_813.
- [16] 広島県. 新たな河川底質改善技術の実証試験調査結果. <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/253540.pdf>, 参照2023-10-16.