

(4) 放水が河口域干潟生態系の構造に与える影響

坂本 和隆¹・今井 剛^{1*}・中野 陽一²・中井 智司³・西嶋 渉⁴・岡田 光正³

¹山口大学大学院理工学研究科環境共生系専攻(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

²宇部工業高等専門学校物質工学科(〒755-8555 山口県宇部市常盤台 2-14-1)

³広島大学大学院工学研究科(〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

⁴広島大学環境安全センター(〒739-8511 広島県東広島市鏡山 1-5-3)

* E-mail: imai@yamaguchi-u.ac.jp

太田川放水路の河口域に広がる自然干潟は放水による攪乱作用を受ける。本研究では、太田川放水路の河口干潟を月一回の頻度で調査することにより、放水が干潟生態系に及ぼす影響について長期的に検討した。2005年～2006年は頻繁に放水が起こったが、2007年～2008年は放水がほとんどない状況となり、放水の影響を把握することが可能であった。この二つの期間のマクロベントスの個体数、種類数を比較したところ、放水の多い時期から少ない安定した時期に移行する際に、日和見種である多毛類のイトゴカイ科の個体数が減少すること、貝類の個体数が増加することが確認された。また放水の有無により多毛類と貝類の種構成が変化することも認められた。こうした現象は、塩分の変化や放水の時期に起因していると考えられた。

Key Words : Ohtagawa flood way, river discharge, estuarine tidal flat, macro-benthos, soil environment

1. 背景および目的

太田川は広島市を流れる一級河川であり、中流域で市街地を流れる旧太田川と太田川放水路に分岐している。この分岐点では太田川放水路側に祇園水門が設けられており(図1)、太田川が放水した時は水門を開け放水した水を放水路に流す仕組みになっている。このように、太田川放水路は広島市内を洪水から守る働きを持つが、それ故に太田川放水路の流動環境の変化は他の河川よりも大きい。

一方、太田川放水路の河口付近から祇園水門にかけた汽水域に干潟が点在しているが、放水による大きな流動変化があるにもかかわらず、汽水干潟は存続している¹⁾。これは、放水により干潟が攪乱されても、自律的に回復していることを示している。そこで本研究では、持続的な干潟生態系の構造を理解するため、太田川放水路の汽水干潟に着目した。

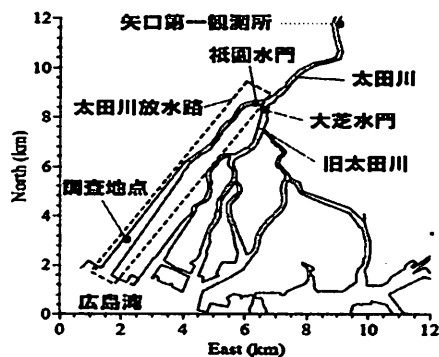


図1 太田川放水路及び調査地点の概要

太田川放水路において、放水は土壌の流出やマクロベントス生息数の一時的な減少を引き起こすこと、その程度は放水の規模やパターンによって異なることが報告されている。また、土壌の流出が生じても、干潟の地形は回復・維持されることも明らかにされた²⁾。しかしながら、放水が全くないケースでの干

潟生態系については把握できておらず、放水が干潟生態系に与えるインパクトを評価するには至っていない。こうした状況で、近年、放水路での放水が全く生じなかった期間が約2年間あり、攪乱がない場合の干潟生態系を把握することができた。

本報では、放水がある年、ない年での干潟生態系を比較し、放水による干潟が生態系へのインパクトを評価する。

2. 調査地点概要

(1) 調査対象干潟および調査期間

調査対象には、太田川放水路の河口より1.5 km上流の護岸の右岸から60 m（東京湾平均海面 TP-124 cm）付近の汽水干潟を選定した（図1）。調査は2005年4月より2009年12月まで月1回の頻度で、大潮の干潮時に行った。

(2) 放水時、平常時の定義

太田川本川の祇園水門から上流5 kmにある矢口第一観測所で水位が2.1 m以上に達すると、祇園水門のゲートを開放し、河川水が放水路に流される。この状態を放水時と定義した。一方、同観測所での水位が2.1 m未満であれば、ゲートが30 cm程度開放され、河川生態系の維持管理を目的とした維持流量が流れるようになっている。この状態を平常時と定義した。なお、ゲートの開放日時、流量のデータは国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所から提供を受けた。

(3) 開門状況

調査期間において13回の開門が確認された（図2）。2005年9月の放水は台風14号によるもので、矢口第一水位観測所での水位が8 m以上に至る、突発的で大規模な放水であった。2006年6月～7月には集中的な降雨が多く、最高水位は小さいものの、短期間に何度も開門した。2007年7月には水位2.12 mの非常に小規模な放水が認められていたが、その後2009年6月まで開門はなかった。放水が起こっていない2007年8月～2009年6月までの期間において、長期間攪乱を受けていなかったことにより、干潟環境に変化があることが予想された。2009年6月～7

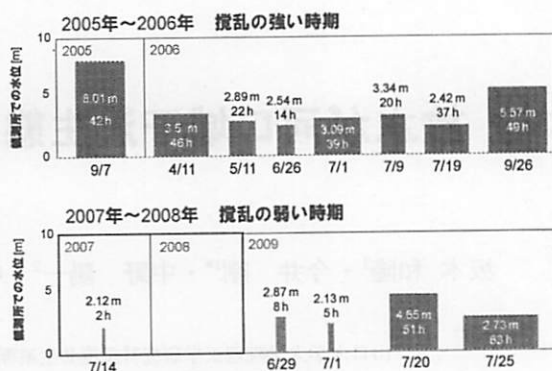


図2 調査期間に確認された放水の頻度

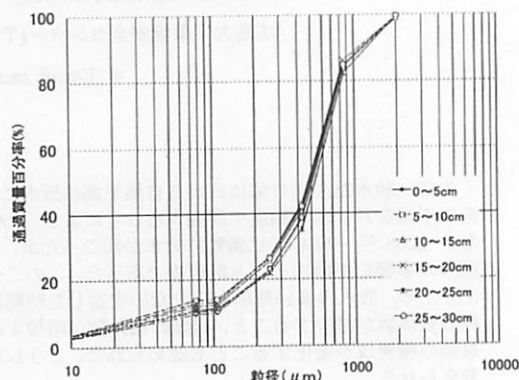


図3 深さ5 cm ごとの粒度分布(2009年6月)

月の放水はおおよそ2年ぶりの放水であり、水位は4.65 m程度であったが、短期間に何度も開門している点で、2006年6月～7月に起こった放水と同じパターンの放水に分類できた。

3. 物理化学的特性

(1) 調査方法

調査地点では物理化学的特性と生物学的特性を調査した。前者の評価では、直径10 cmのカラムを使用して土壌コアサンプルを3本採取し、深さ30 cmまで5 cm毎の粒度分布、有機物含有量を表す強熱減量を調査した。粒度分布と強熱減量は土壌試験法(JISA1226)³⁾によって3つの試料の平均値を求めた。さらに、放水に伴う砂面の流出状況を把握するため、2006年より砂面変動計(光電式砂面計 SPM-VII, 三洋測機社製)を設置し、砂面変動を計測するとともに、測量法によって傾斜勾配を求めた。

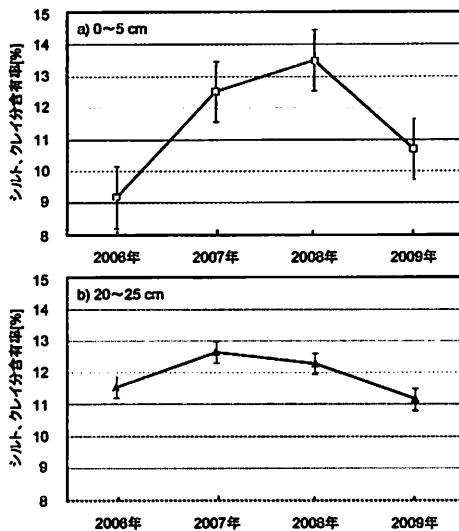


図 4 シルト、クレイ含有率の変化 [a) 0~5 cm, b) 20~25 cm, バーは標準偏差 n=8, 2006; n=7, 2007, 2008; n=5, 2009]

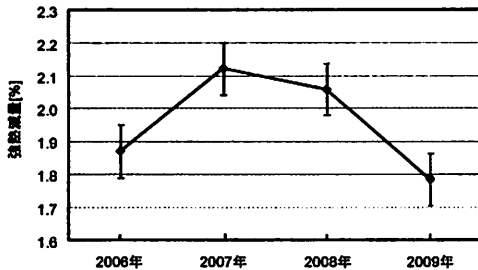


図 5 0~5 cm の強熱減量の変化 (バーは標準偏差 n=8, 2006; n=7, 2007, 2008; n=5, 2009)

(2) 干潟土壌の粒度分布の変化

干潟土壌の粒度分布について、2009年6月を例として図3に示す。放水のあった時期では、深さ方向の粒度分布に大差なかったが、放水が少ない2007年~2008年に表層0~5 cmのシルト、クレイ分が若干増加した(図4)。すなわち、2006年に9.2%であったが、2007年には12.4%、2008年は13.6%まで増大した。しかしながら、2009年は10.6%に減少した。一方、20~25 cmではシルト、クレイ分含有率の変化は表層よりも小さかった。従って、放水による攪乱がなければ微粒子が表層に堆積していくこと、放水の頻度が多くなればシルト、クレイ分含有率は、やや低く維持されることが示された。太田川放水路では、放水時は下流域への浮遊土砂の輸送が増加するが、平常時は潮汐による上流部への輸送量の割合が増加する傾向が報告されている^{4),5)}。これより、放水の少ない時期のシルト、クレイ分の堆積は、上流

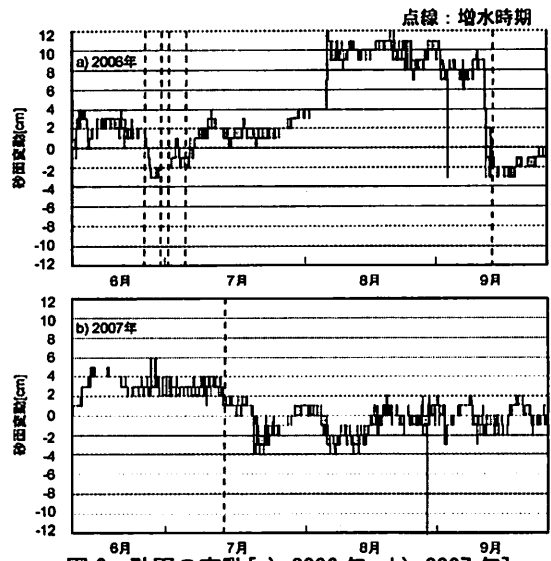


図 6 砂面の変動 [a) 2006 年, b) 2007 年]

部から輸送されてくる土砂よりも、潮汐によって下流部から輸送されてくる微細粒子に起因する可能性が考えられた。

(3) 干潟土壌の強熱減量の変動

有機物含有量は微細粒子含有量と関係があることが知られており、2007年~2008年にわたってのシルト、クレイ分の増加に伴い、強熱減量も増加した可能性が考えられた。実際に深さ0~5 cmの強熱減量を測定した結果、0.3%程度ではあるものの、放水が起らない時期を含む2007年~2008年に増加した。一方、以深の強熱減量には、特に大きな変化はなかった。これより、シルト、クレイ分の増加に伴って強熱減量も増加する傾向が明らかとなった。

(4) 砂面変動

測定例として2006年6月14日~10月7日の60 m地点における砂面変動の経日変化を図6に示す。2006年6~7月の放水前後には約8 cm程度の砂面の低下、2006年9月の放水前後には約12 cmの砂面の低下が認められた。しかしながら、その後、砂面は回復した。一方、放水が起らなかった場合、砂面の変動はほとんど起らなかった(図6)。なお、測量により傾斜勾配を測定したところ、放水が起った2006年や2009年と、放水がほとんど起っていない2007年~2008年と比較しても、10 cm程度の変動が起っているのみで、放水の有無に関わらず、傾斜はほぼ一定であった(図7)。

干潟地形が安定的に維持される要因として、耐浸食力を付与する粘着性の存在、洪水時の浮遊土砂の供給、平常時の潮汐による細粒土砂の堆積が考えられる^{4,9)}。本調査地点において、平常時には潮汐の影響によりほぼ同程度の浸食・堆積が繰り返されていることが報告されている¹⁾。これらのメカニズムにより、放水の有無に関わらず、干潟地形の長期的な地形安定が可能になっているものと考えられた。

4. 生物学的特性

(1) 調査方法

生物学的特性としては、マクロベントスに注目した。25 cm×25 cm×25 cm のコドラートを用いて干潟表層の土壌を採取し、これを深さ 5 cm 毎に切り分けた。そして、各層を 1 mm にて篩い、残ったマクロベントスをローズベンガル/ホルマリン水溶液で固定した後に⁶⁾、実体顕微鏡を用いてマクロベントスを観察し、文献^{7,8,9)}に基づきマクロベントスを同定するとともに個体数を計測した。また、マクロベントスのバイオマス量も計測した。さらに、Simpson 多様性指数を次式(a)により求めた。

$$\text{Simpson 多様性指数} = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (\text{a})$$

S : 全体の種類数

p_i : 種類 i の個体数が全個体数に占める割合

(2) マクロベントス個体数経日変化

図 2 に示したように、2005 年～2006 年に 8 回の放水が確認され、翌 2007 年 7 月に水位 2.12 m の小規模な放水があった以降、2009 年 6 月に至るまで放水がない期間が続いた。そして、2009 年 6 月には放水が起こり、これまでの調査の結果から、放水による攪乱がある場合とない場合での干潟生態系の比較ができると考えられた。

マクロベントス個体数の経年変化(図 8)において、放水が全くなかった 2008 年は、それまでの優占種であった多毛類のイトゴカイ科の個体数の減少が確認された。放水が度々あった時期、なかった時期である 2005 年～2007 年 7 月と 2007 年 8 月～2009 年 6 月とを比較すると、イトゴカイ科の平均個体数は 389 個体から 174 個体に減少した。イトゴカイ科は日和見種であり、毎月産卵することができるため^{10,11)}、放水が起こった場合でも、翌月には個体数の回復が可能である。そのため、放水が度々生じた 2005 年～2006 年では他の種類に比べて個体数を増すことができたが、放水に伴う攪乱が長期間起こらなかったことで日和見種であるイトゴカイ科にとって有利な条件ではなくなったことが考えられた。

図 7 調査地点の傾斜勾配

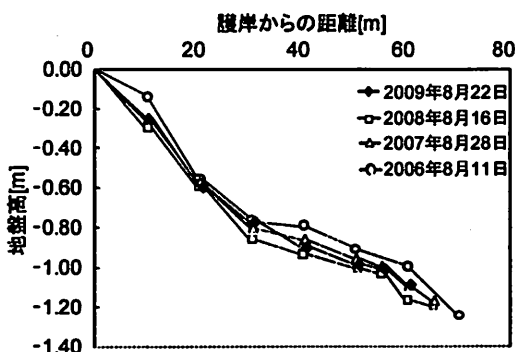


図 7 調査地点の傾斜勾配

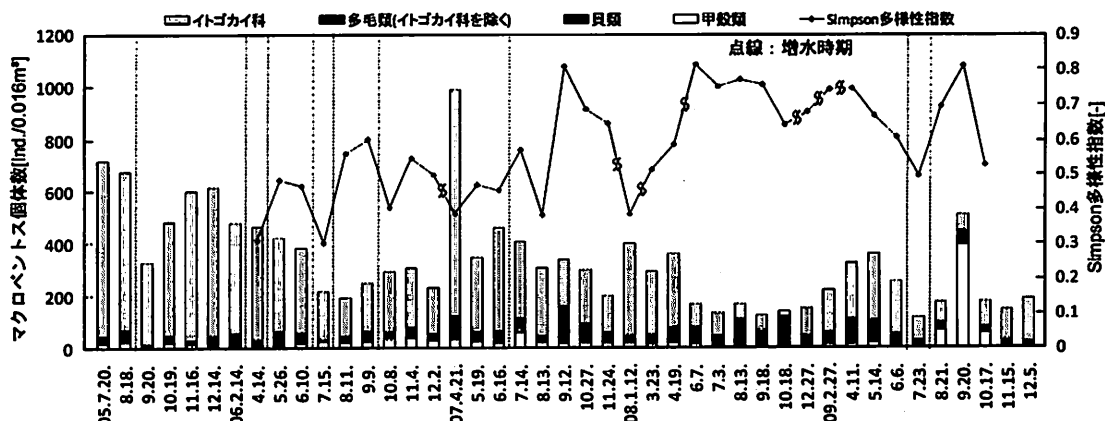


図 8 マクロベントス個体数の経日変化

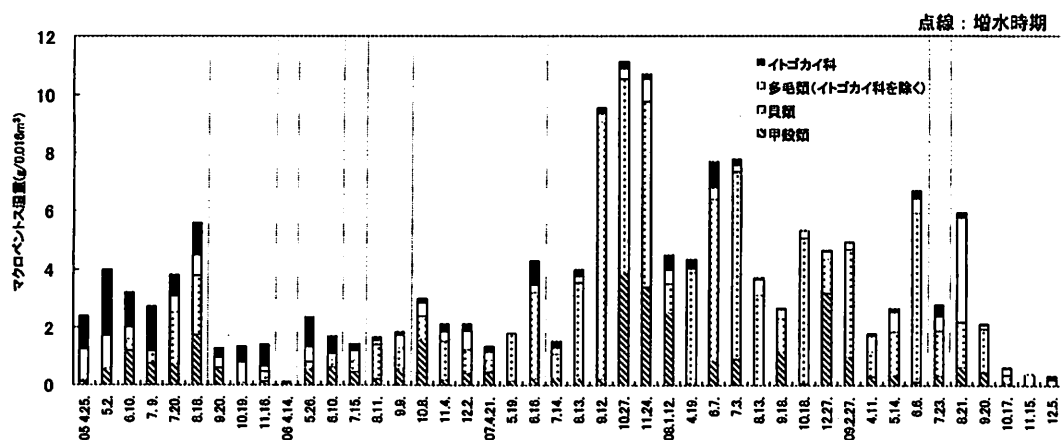


図9 マクロベントスバイオマス(湿重)の経日変化

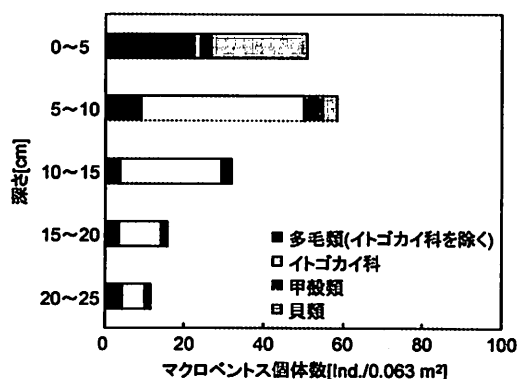


図10 マクロベントス深さ方向の分布(2009年4月)

なお、イトゴカイ科はシルト含有率25%の土壤でも増殖することが確認されており¹²⁾、イトゴカイ科の減少は図4に示す微粒子の増加には起因しないと考えられた。また、他の多毛類については、後述するように2005年～2007年7月と2007年8月～2009年6月とで種の構成は異なったものの、個体数に大きな変動は認められなかった。

これに対して貝類の変化は大きく、2007年7月以降から2009年6月にかけて、個体数が増加する傾向にあった(図8)。特にバイオマスでは、貝類の個体数の変化に伴う増加が著しかった(図9)。貝類は干潟の表層付近にそのほとんどが生息しており(図10)、そのため放水時の砂面流出の影響を受けやすい。しかしながら、放水の起こらなかった期間が長く続いたことによって、定着した貝類の流出がなくなり、個体数の増加につながったと考えられた。

一方、甲殻類では、放水の有無に関わらず個体数の変化は見られなかった。しかし、2007年～2008年にかけて甲殻類のバイオマス量が増加しているこ

とが確認された。なお、2009年6月～7月の放水後に大きく個体数が増加したことが認められたが、その増加量に対して、バイオマス量の増加はほとんど確認されなかった。特にドロソコエビの個体数が増加しているが、ドロソコエビは調査地点より上流に多く生息している種類であることから^{14),15)}、放水により上流部から流れてきたことにより、ドロソコエビが突発的に増加した可能性があると考えられた。

多様性を示すSimpson指数は、放水が度々起こった2006年～2007年7月よりも、放水がなかった2007年8月～2009年6月に高い値を示した(図8)。従って、放水によってマクロベントスの多様性も影響を受けることが示された。なお、放水のない時期のみに出現するマクロベントスは特に確認できなかったことから、Simpson指数の増加は優占種であるイトゴカイ科の個体数が減少したことによると考えられる。日比野らは、洪水や高潮による攪乱によってベントスの絶滅は起こらないことを指摘しており¹³⁾、本調査地点において、放水に伴う影響はあるものの、種の多様性は大きく損なわれていないことが確認された。

(3) マクロベントスの構成

放水が度々起こった2006年4月～7月と全くなかった2007年8月～2009年6月とで比較したところ、多毛類と貝類の種構成に変化が認められた(図11、図12)。まず、多毛類の種類ごとの平均個体数を比較したところ、コケゴカイが2007年10～12月に増加し、2008年では他の3種よりも多い状況であった(図11)。

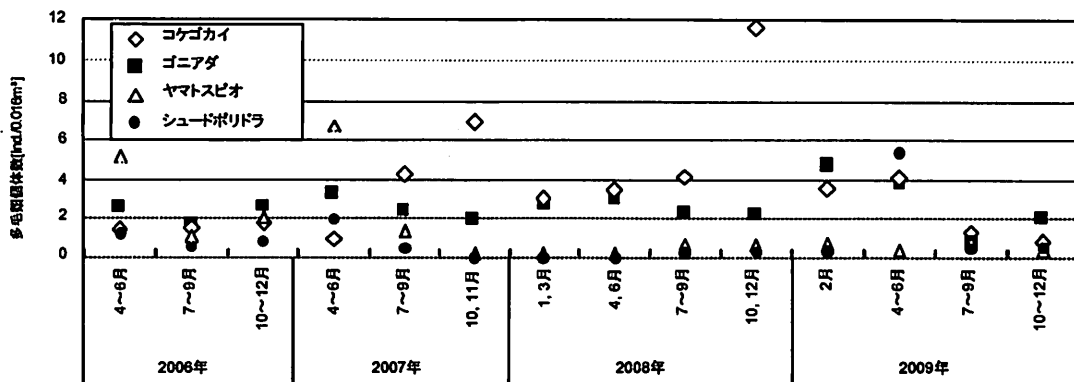


図 11 各年の四半期での多毛類の種構成の比較

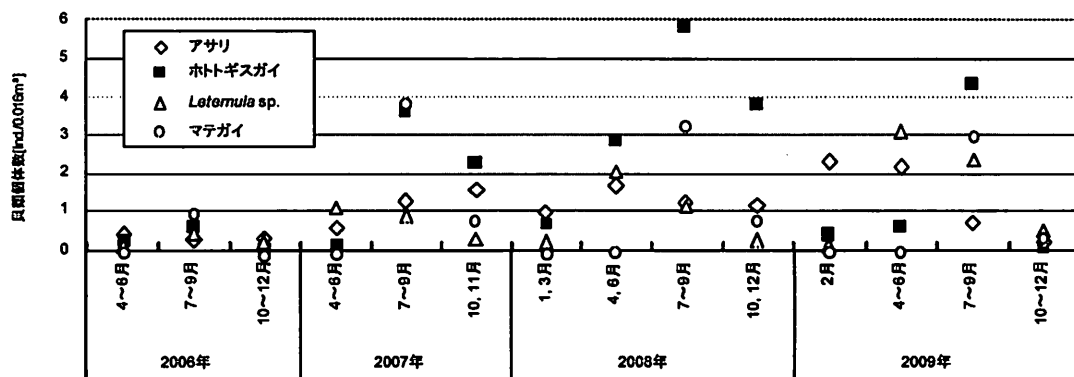


図 12 各年の四半期での貝類種構成の比較

ヤマトスピオは2006年4～6月と2007年4～6月には加入が認められたが、放水の起こらなかった時期の2008年と2009年の同時期では個体数が増加せず、ほとんど生息していなかった。一方、ゴニアダは、放水の有無にかかわらず、ほぼ同じ個体数を維持していた。また、イトゴカイ科以外の多毛類全体の平均個体数については、放水が頻繁であった時期、なかった時期とで大きな差はなかったことから、放水の影響は個体数というよりも、むしろ種構成に現れやすいと考えられた。

一般に河口域の底生生物の分布を決定する最も大きな要因は塩分濃度であることが知られる¹¹⁾。塩分濃度10‰以上の高塩性の汽水には多毛類の海産種（コケゴカイなど）や高塩性汽水種（ヤマトスピオなど）が出現するとされるが、本調査地点で干潟直上の塩分濃度を計測したところ、平常時は20‰～25‰を維持しているが、放水時には潮汐に影響されず10‰以下にまで低下することが判明した（図13）。そのため、2007年8月～2009年6月の放水がない時期においては、海産種であるコケゴカイが増加した

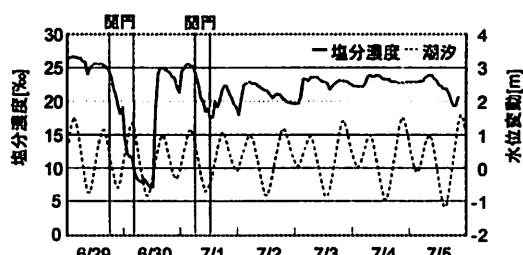


図 13 2009年6月～7月の増水時における干潟直上水の塩分濃度の変化

と考えられた。一方、ヤマトスピオは海産種ではなく高塩性汽水種であり¹¹⁾、本来は塩分濃度が10‰～17‰の環境に生息する種類である。放水がない平常期は、塩分濃度が20‰以上に維持されるため、ヤマトスピオにとって不利な条件になり、加入がほとんど起こらなかったと考えられた。

貝類の種構成も、放水が度々起こった時期とほとんど起こっていない時期とで変化した。放水がなかった2007年7月以降より2008年までは貝類が増加したが、特にホトギス貝の優占が目立った。上述

のように、貝類のほとんどは干潟表層 0~10 cm に生息しているが（図 10）、特にホトトギス貝は底質表面においてマットを形成することが知られる¹⁶⁾。従って、放水によって数 cm 程度であっても、砂面が流出する場合、ホトトギス貝も流出すると考えられた。また、表層が 10 cm 程度まで流出した場合には（図 6）、他の種も含め貝類は概ね流出すると推定された。一方、放水がない場合、シルト、クレイ分含有率と強熱減量が若干増加しているが（図 4）、全体の粒度組成に大きな変化はなかった（図 3）。また、強熱減量の増減も 0.3% 程度であり（図 5）、貝類の種構成の変化は、底質環境の変化ではなく、主に放水に伴う砂面流出によるものと考えられた。

(4) 放水の有無によるベントス生態系の変化

放水がない場合、貝類が増加するとともに、塩分濃度に応じた海産種の多毛類が増加することが認められた。また、甲殻類の個体当たりのバイオマス量も増加した。これに対し、放水がある時期では、日和見種であるイトゴカイ科が優占した。

太田川放水路では、放水によって一時的に表層の土壌が 10 cm 流出するが、長期的には傾斜勾配やシルト・クレイ含有量などの土壌物理学的特性に大きな変化は起こらなかった。従って、放水があった場合、土壌の流出とともに表層近くに生息する貝類（図 10）が特に個体数を減らし、その回復には時間を要することが認められた。また、表層に生息する他のマクロベントスも一部は流出し得るが、比較的深い場所にも生息するイトゴカイ以外の多毛類については、見かけ上個体数の減少というよりもむしろ種構成の変化が認められた。これは、塩分濃度の低下に起因すると考えられた。

なお、イトゴカイ科は日和見種であり、有機物の豊富な基盤中にすばやくコロニーを形成することができる。また、イトゴカイ科は毎月産卵できるため^{10), 11)}、放水直後は他の種よりも速く個体数を増加させられる。しかしながら、放水のない期間が続くと他の種が個体数を増やすため、イトゴカイ科の増殖は不利になると考えられた。これより、多毛類のイトゴカイ科にとっては、放水による攪乱が生じた方が有利であると推定された。

5. まとめ

本研究は、太田川放水路における放水の有無が河口域に発達した干潟環境に与える影響について、放水が頻繁に起こる時期とそうでなかった時期の干潟生態系を比較することにより評価した。

干潟生態系に関しては、この二つの期間を比較して、生息する種類数や構成に変化が認められたことから、同一の干潟でも放水の有無によって、その状況に適合した生物相に変化することが示された。すなわち、主に表層に生息する貝類は、放水によって減少しやすかったが、イトゴカイ科を除く多毛類については、見かけ上、個体数の減少というよりも、むしろ種構成に影響した。この原因として、干潟土壌の物理化学的な変化ではなく、塩分濃度の影響が考えられた。なお、日和見種である多毛類のイトゴカイ科にとっては、放水による攪乱が生じた方が有利であると推定された。

謝辞：本研究を行うにあたり、綿谷慎一氏（山口大学大学院博士前期課程（当時））に多大なる協力を得た。また、本研究は、太田川生態工学研究会ならびに河川環境管理財団の助成により行われた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 太田川生態工学研究会：太田川放水路における生態工学研究—太田が生態工学研究会 中間とりまとめ一, pp. 81-144, 2009.
- 2) 綿谷慎一, 中野陽一, 今井剛, 中井智司, 西嶋渉, 岡田光正：太田川放水路における汽水干潟生態系に及ぼす放水の影響, 環境工学研究会論文集, Vol. 45, pp. 49-59, 2008.
- 3) 社団法人地盤工学会：土質試験—基本と手引き—（第一回改訂版）, p. 251, 2001.
- 4) 川西澄, 胡桃田哲也, Mahadai 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, pp. 1321-1326, 2008.
- 5) 川西澄, 中村智史, 荒木大志, 水野雅光：潮差と河川流量が河口域の成層強度と浮遊泥輸送量に与える影響, 海岸工学論文集, Vol. 53, pp. 321-325,

- 2006.
- 6) 日本海洋学会:沿岸環境調査マニュアル(底質・生物篇), p. 266, 恒星社恒星閣, 1986.
 - 7) 今島実:環形動物 多毛類, p.530,生物研究社, 1998.
 - 8) 今島実:環形動物 多毛類Ⅱ, p. 542, 生物研究社, 1998.
 - 9) 西村三郎:原色検索日本海岸動物図鑑〔Ⅱ〕 p. 663, 保育社, 1998.
 - 10) 須田有輔・早川康博:砂浜海岸の生態学, 東海大学出版会, 2002.
 - 11) 山室真澄:感潮域の底生動物, pp. 151-172, 名古屋大学出版会, 1996.
 - 12) 中野陽一, 石井亮, 中井智司, 西嶋渉, 岡田光正:浚渫土を活用して造成した干潟生態系の評価, 水環境学会誌, Vol. 31(10), 33-37, 2008.
 - 13) 日比野忠史, 保光義文, 福岡捷二, 水野雅光:洪水に伴う河口干潟化環境と生物棲生の変化, 河川技術論文, Vol. 12, pp. 431-436, 2006.
 - 14) 稲葉明彦, 平野義明, 新川英明:太田川河口域におけるベントスの分布と環境,「環境科学」研究報告書, B-304-R01-2, pp. 135-148, 1984.
 - 15) 平野義明, 藤岡義三, 北島芳郎, 小松茂美, 川本中, 稲葉明彦:太田川河口域の底生生物, 日本ベントス研究会誌, Vol. 28, pp. 12-19, 1985.
 - 16) 中村由行, 村上春通, 細川真也:尼崎港に造成された人工干潟における順応管理手法の適用性に関する研究, 港湾空港技術研究所飼料, No. 1127, p. 34, 2006.

(2010.5.21 受付)

Influence of flushing on the estuarine tidal flat ecosystem structure

Kazutaka SAKAMOTO¹, Tsuyoshi IMAI^{1*}, Yoichi NAKANO²
Satoshi NAKAI³, Wataru NISHIJIMA⁴ and Mitsumasa OKADA³

¹Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

²Department of Chemical and Biological Engineering, Ube National College of Technology

³Graduate School of Engineering, Hiroshima University

⁴Environmental Safety Center, Hiroshima University

The estuarine tidal flat developed in the mouth of Ohtagawa flood way is inevitable to be disturbed due to the flushing. This research was carried out to investigate the influences of flushing on the estuarine tidal flat ecosystem developed in the mouth of Ohtagawa flood way. From 2005 to 2006, flushing was carried out 8 times, whereas small scale flushing was observed once in 2007~2008. This allowed us to compare the macrobenthic populations between 2005~2006 and 2007~2008 to accomplish the investigation of flushing influences. In 2007~2008, the population of an opportunistic species Capitellidae decreased, whereas the shellfish's population increased. Furthermore, the variation in components of polychaetes and shellfish was observed. Finally, this paper revealed the influences of flushing on the macrobenthic ecosystem and proposed the mechanisms.