

出水期における干潟地盤内での水質変動特性

VARIATION CHARACTERISTICS OF GROUNDWATER QUALITY IN TIDAL FLAT DURING FLOOD PERIOD

中下慎也¹・日比野忠史²・福岡捷二³・岡田光正⁴・水野雅光⁵

Shinya NAKASHITA, Tadashi HIBINO, Shoji FUKUOKA, Mitsumasa OKADA
and Masamitsu MIZUNO

¹学生会員 広島大学大学院工学研究科 社会環境システム専攻 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

²正会員 博(工学) 広島大学大学院工学研究科准教授 社会環境システム専攻 (同上)

³フェロー 工博 Ph.D 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

⁴正会員 工博 広島大学大学院工学研究科教授 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

⁵正会員 工修 (独) 水資源機構 関西支社副支社長 (〒540-0005 大阪府大阪市中央区上町A番12号)

Water environment at tidal flat is maintained by the provision of groundwater in Ota River Floodway during a flood. In this paper, variation characteristics of groundwater quality in the tidal flat, located in 5.4 km upstream from Ota River mouth were investigated by river discharge and groundwater level in Ota River Delta. It is considered that salinity of the groundwater in the tidal flat was decreased by outflow of the groundwater in Ota River Delta. The high gradient of water level was formed by high ground water level in the rainy season and small amplitude of the tide under the ground of the delta. As a result, ground water in the delta is easy to flow into the tidal flat.

Key Words : Ota River Delta, groundwater, seasonal variation, neap-spring tide cycle, tide pool

1. はじめに

河道内に発達する汽水性の干潟は海と河川からの自然擾乱を強く受けており、平水時には海水の遡上によって塩性の強い干潟が形成される。汽水域では河川水量によって海水の遡上形態が変わるために河川流量の増大が干潟地盤環境に及ぼす影響は甚大であると考えられる。汽水性の河道に形成される干潟では、自然擾乱に伴って急激に変化する河川水の塩分濃度や地形変動(土砂流出、土壌攪乱等)のため干潟環境が大きく変化し、大型の底生生物が安定した状態で生息できない可能性がある。特に洪水や高潮が継続する場合には地盤内の塩分濃度の長期的な低下や土砂の流出、堆積による土壌攪乱により、生態系に壊滅的なダメージを与えられる可能性が大きいことが予想される。

太田川放水路の計画高水量は4500m³/sとされており、これまでに計画高水量規模の流量を数回経験している。特に、太田川放水路干潟においては2005年に既往最大の洪水(ピーク流量7200m³/s)、2004年には既往最大の高潮(広島湾での偏差2.8m)を経験している。これらの擾乱にも関わらず、放水路では低水路に発達した干潟においても地形の安定性がよく、1980年代から現在まで大きな地形変動は観察されていない¹⁾。また、著者らが調査を開始した1996年以降底生生物種(甲殻綱、二枚貝綱、

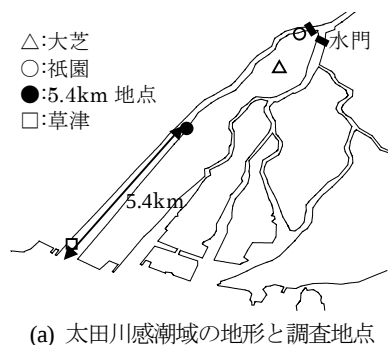
巻貝綱)の種類数は増加傾向、個体数の変動は小さい状態にある²⁾。2005年の既往最大の洪水による60cm以上の土砂堆積によっても洪水前後においてイソシジミ(中流域干潟での優先種)個体数の減少も観測されていない²⁾。放水路において毎年起こる洪水等による河川水の数日間の淡水化や土砂の堆積、流出を経験しているにも関わらず種の変動が顕著でない理由として、地下水の安定した供給によって底生生物が死滅に至るような長期にわたる地盤環境の変化がないことが明らかになってきている³⁾が、そのメカニズムについては明らかにされていない。

本研究では、出水期における太田川放水路中流域に形成された干潟地盤内の塩分変動に対するデルタ地下水の影響、および河川流出量の増大に伴う低水路干潟地盤内での塩分の変動特性を明らかにし、洪水等の自然擾乱に対する太田川放水路干潟の水環境の安定(維持・回復)機構について検討する。このため、干潟地盤内における長期の塩分連続測定を行なった。このデータをもとに河川水量、太田川デルタ地下水位と干潟地盤内での塩分変動との関係について考察を行った。

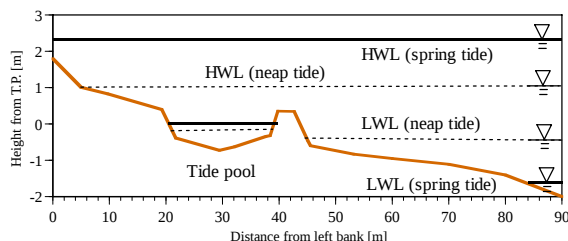
2. 太田川放水路周辺地形と調査の概要

(1) 太田川デルタでの河川の状況

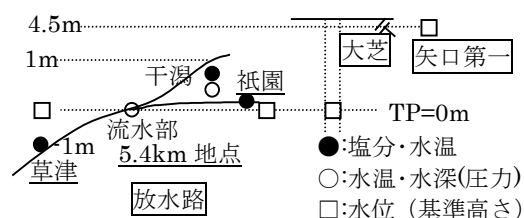
太田川デルタ(図-1(a))は太田川河口への砂礫の堆積



(a) 太田川感潮域の地形と調査地点



(b) 5.4km地点の左岸断面地形



(c) センサー設置の標高

図-1 観測地域の地形と調査概要

の後、約4千年前からの海面の低下により河口に堆積した礫層が現れたことにより形成された。太田川は広島湾奥部海域北側に河口部をもち、昭和初期には海岸線が1.5km程度北側に位置していた、その当時、海岸前面には干潟が広がっていたが、現在、干潟のほとんどは河道内に発達するのみとなっている。

広島湾における潮差は年間を通じて約4mあり（年変動は0.5m程度で9～10月に高く、2～3月に低い）、この潮差と河川の緩やかな地形勾配によって太田川放水路河道内には干潟地形が形成された。放水路上、中、河口域には安定した砂干潟が維持されている。低水路に形成された干潟は、断面方向に河道の約1/2を占めており、河口域に形成される干潟よりも地形勾配が大きく、1/50程度ある。

(2) 対象地点の干潟の構造

本調査では放水路中流域（河口から上流5.4km地点）に発達した15000m²程度の低水路干潟とその背後地に形成されたタイドプールを対象とした。5.4km地点においては高水敷に緊急道路、湿地帯、タイドプールがあり、タイドプールと低水路は石積護岸によって区切られている（図-1(b)）。石積護岸の天端高はT.P.+0.35mであり、河川水位は概ねT.P.-2m～+2mの範囲で変動しているた

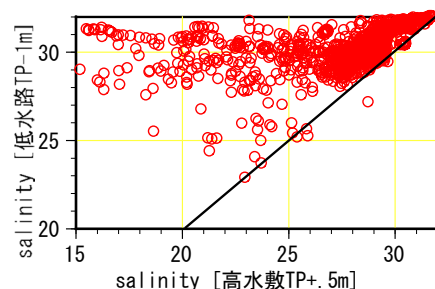


図-2 高水敷に流入する河川水の塩分

め、タイドプール内に流入する河川水は低水路に比較して低塩分となっている（図-2）。干潮時にはタイドプールに河川水が残留し、低水路との間に水頭差が生じるため、干潟地盤では大潮最干時においても地下水面が地表面付近に維持されている。

(3) 調査の概要

広島湾奥海域、太田川放水路感潮域および太田川デルタにおいて、水温、塩分、水位等が測定された（図-1(c)）。水位（水深）は矢口第一（放水路分派前約5km非感潮域）、祇園（水門下流）、5.4km地点（流水部と干潟地盤内）、草津（放水路河口）の4地点、および地下水位が太田川デルタ（大芝）で測定されている。矢口第一の0点はT.P.+4.5m、その他の全ての地点での0点はT.P.+0mである。矢口第一、祇園、草津水位は太田川河川事務所によって測定されており、HPによって公開されている⁴⁾。

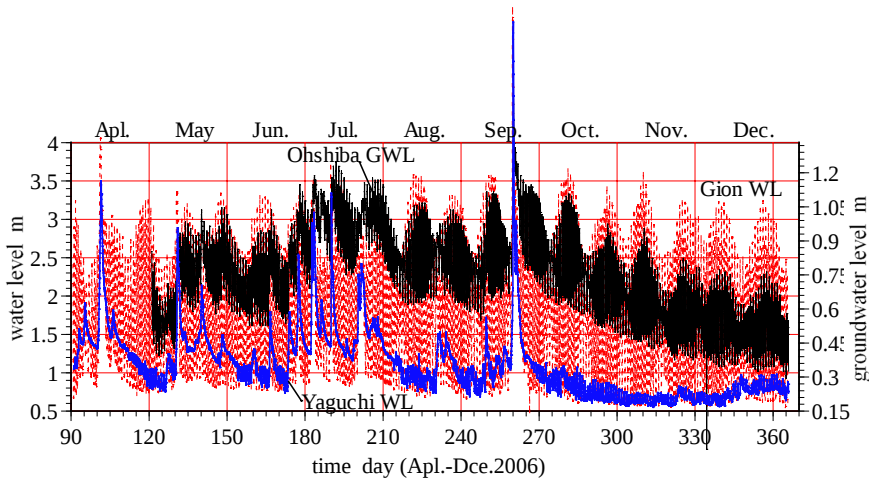
センサーは図-1(c)に示されるように河口（草津）での平均水位（T.P.+0m）を基準として5.4km地点では、+0m（低水路床、流水部）と+0.5m、+0.75m（干潟地盤下GL-50cm、GL-25cm）に設置された。大芝の地盤高はT.P.+4.756mである。太田川河川事務所の観測では1時間、その他は10分間隔でデータが取得されている。なお、低水路干潟ではセンサーの設置後にTY0416（8/30-31）とTY0418（9/7）に伴う洪水・高潮により観測対象区間の干潟地盤高は約20cmの上昇があった（この結果、GL-50cmは-70cm、GL-25cmは-45cm地盤下に位置された）。

3. 干潟地盤内塩分の変動機構（要因）

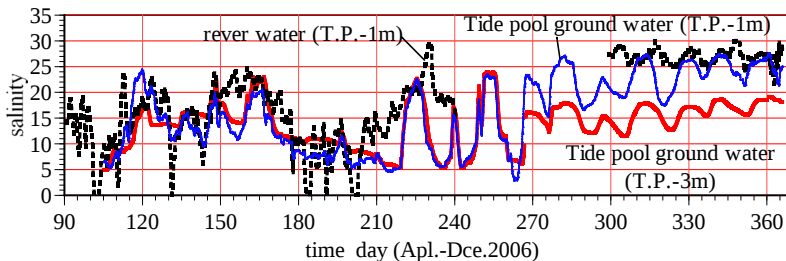
放水路干潟地盤内の水質は地盤表面からの河川水の浸入、タイドプールあるいは上流からの地下水浸透によって変動すると考えられる。本章では干潟地盤内の塩分を低下させる要因として河川流出（非感潮域水位、放水路内水位）、地下水流出（デルタ地下水位）と、それらの流れによって変わる河川水塩分、干潟地盤およびタイドプール地盤内の塩分との関係を明らかにし、干潟地盤内の塩分変動機構について検討する。

(1) 放水路に分派される河川水量（水位）の特性

河川水の塩分量は上流からの淡水流出、潮流による海



(a) 分派前河川（矢口第一），放水路（祇園）とデルタ地下（大芝，右軸，軸のスケールは左軸の3倍）での水位関係（矢口第一はT.P.+4.5m，祇園はT.P.+1.4m，大芝はT.P.0m基準，祇園と矢口第一は河川床が0m）



(b) タイドプール地盤内地下塩分（T.P.-1mと-3m）と河川水塩分（25時間の移動平均値）

図-3 太田川デルタと河川干潟での水位と流れの関係（2006年5-12月）

水の遡上等によって変化しますが，地下水の河道への流出によっても起こる可能性もある．図-3に2006年5～12月に測定された(a)分派前非感潮河川（矢口第一），放水路祇園水門下流（祇園）とデルタ地下（大芝，スケールは右軸）での水位関係，(b)5.4km地点での河川水（T.P.-1m）とタイドプール地下水（T.P.-1mと-3m，T.P.-1mは地表面下0.35m）の塩分関係が示されている．大芝地下水のスケール（右軸）は3倍，河川水塩分は25時間移動平均した値である．図-4には祇園水門において潮汐の影響のない干潮時と洪水時の祇園水位と大芝地下水位の矢口第一水位に対する応答が示されている．水位基準は矢口第一では河床（T.P.+4.5m），大芝地下ではT.P.0m，祇園での基準は図-3では河床（T.P.+1.4m），図-4ではT.P.0mとしている．

a) デルタ地下水位の変動特性⁵⁾

太田川デルタでの地下水位は海水位の季節変動に分派前の上流河川水位変動の約1/3を加えた季節変動成分と海域での日周潮以下の変動成分の約1/10がたしあわされて構成されていることがわかっている（図-3）．このため，出水期には河川増水による上昇分がデルタ地下で高くなるためにデルタ地下から放水路に向かって水位勾配ができる．さらに，デルタ地下での潮汐応答が小さいことで半日周潮に伴った水位差が生じる．

b) 祇園水門と大芝水門による河川水量の分派

矢口第一を通過した流量は太田川デルタで放水路と市内内派川へ分派し，分派量は2つの水門（祇園，大芝水門

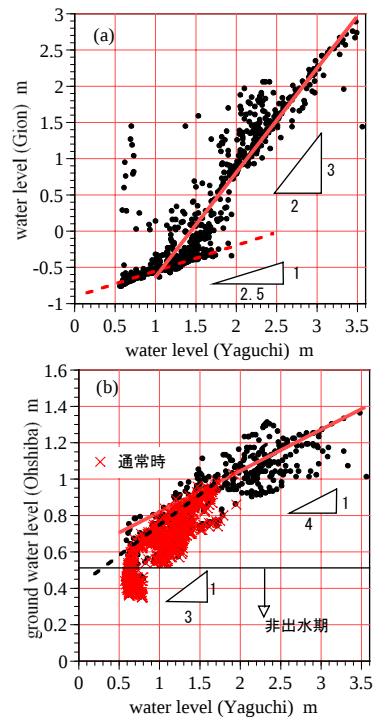


図-4 干潮時および洪水時の矢口第一水位に対する祇園と大芝地下水位の応答（祇園，大芝はT.P.0m基準）

とも3基の水門）の開閉状態に依存している．通常時，祇園水門は1基のみ0.3mが開放されているのに対し，大芝水門は3基が全開状態にある．干潮時には祇園水門を通過する時には潮汐に依存しない流れが形成されている（水門通過水深は0.3m）．洪水時（矢口第一水位が2.1m以上）に祇園水門3基が全開される．この水門操作によって祇園での水位には図-4(a)に示すように通常時には破線，洪水時には実線で示される上流（矢口第一）水位との関係が現れている．

c) 太田川デルタへ流出する河川水量（水位）に対する放水路水位とデルタ地下水位の応答

矢口第一水位に対する祇園水位の応答は，通常時は約0.4倍で，洪水時には1.5倍程度になっている（図-4）．

デルタ地下水位の矢口第一水位に対する応答は，放水路の水位伝播とは異なり，通常時に比較して洪水時に小さく（通常時の1/3に対し，洪水時は1/4），洪水時には水門操作等によってデルタ地下への分配量が減少していることがわかる．また，洪水量の増加に伴って地下水位はT.P.+1.3m程度に収束する傾向がある．

図-4(a)と(b)から通常時には矢口第一水位に対する大芝地下水位の応答は，祇園水位の0.8（2.5/3）倍程度であり，上流河川水がデルタ地下にも流入しやすい機構が形成されていると考えられる．水位関係から判断すれば河川水は放水路に流下する以前にデルタ地下に流入していることが推定できる．

(2) 河川水位～デルタ地下水位関係と干潟地盤内塩分

デルタ地下水位は海水位の季節変動（夏期に高い）成分を含むため、出水期には祇園水位に比較して相対的に地下水位が高くなっている（干潮時の地下水位は約0.5 mより高く、干潮時の祇園水位に比較して約1m高い状態にある、図-4）。さらに、デルタ地下への日周潮以下の潮汐成分の伝播が1/10程度である⁵⁾ために、河床面が大潮干潮位より低い標高にある放水路中流域河床では大潮干潮時の水位はデルタ地下水位より約1.5～2m低くなっている。また、図-3から出水期と非出水期で放水路（祇園）水位～デルタ地下水位関係が異なる結果、非出水期には河川水よりもタイドプール地下水で塩分が低くなっていることがわかる。ただしタイドプール地下水（T.P.-3m）の塩分が非出水期にも低いのはデルタ地下水が地下数m深で河道内に流入しているためである⁶⁾。

デルタ地下水位が放水路水位よりも低い状態が長時間ある非出水期には、河川水およびタイドプール地下水の塩分は出水期に比較して低い状態にある。

非出水期にはデルタ地下水位が低下することによって河道への地下水（淡水）の流出が抑制され、その結果、干潟地盤内の塩分が上昇すると考えられる。これに対し、出水期には高いデルタ地下水位によって、地下に蓄えられた地下水が放水路地下に流出し、河道内の低い塩分状態が保持されることが推定できる。

4. 洪水時の干潟地盤内での水温・塩分変動

(1) 潮位～デルタ地下水位関係と地下水流れ

放水路干潟地盤内の塩分状態は放水路とデルタ地下での水位差によって起こるデルタ地下水の干潟地盤への流出に依存していることが示唆された。本節では河川水および低水路干潟地盤内とタイドプール地盤内の地下水塩分の変動から洪水時の干潟地盤内表層地下水流れについて検討する。なお、以下で言う地盤表層は大潮最干時の地下水位（地表面下25cm程度）付近を示す。

図-5には2004年8月29日～10月27日の流水部河床と低水路干潟地盤内、タイドプール地盤内での水温・塩分変化が矢口第一水位、低水路干潟地盤上水位とともに示されている。図には(a)低水路床、低水路干潟地盤下（GL-25cm）とタイドプール地盤下（GL-25cm）での水温、(b)矢口第一での河川水位、(c)河床塩分、低水路干潟とタイドプールでの地盤内（GL-25cm）における塩分、および(d)低水路干潟地盤内GL-50cmに設置したセンサー上の水深が示されている。水位は矢口第一では河床を基準（T.P.+4.5m）、低水路干潟ではTY0418による洪水後の地盤高を基準（T.P.+1.2m）としている。

a) 低水路干潟地下水の塩分変動

図-5から①：低水路干潟地下水塩分はタイドプール地下水塩分よりも高い状態に維持されており、小潮期の洪水時にのみタイドプール地下水よりも塩分が低い状態が形成されていること、また、②-1：干潟地下水塩分は満

潮時の河川水の塩分変動にともなった変化をしていること、②-2：河川水および干潟地盤内の塩分は朔望周期の変動があり、小潮期に塩分が高くなる傾向にあることがわかる。

①：低水路干潟地盤内に比較してタイドプール地盤内で塩分が低いのは図-2に示したように表層の低塩分河川水がタイドプールに浸透するためであり、淡水化しないのは洪水中には低水路とタイドプール間に水頭差ができず、河川水が地盤内に浸入していないためである。水位が低下して低水路との間に水位差ができると淡水化した表層水が土壌内に浸入し、タイドプール地盤表層で洪水に遅れて塩分が低下する（図-5）。

②：塩分状態が朔望周期で変動するのは、デルタ地下水位の潮汐変動によって生じる河川と太田川デルタ地下での水面勾配が大潮、小潮期で異なるためである。潮汐変動に対するデルタ地下水位の応答は約1/10（大潮期では潮差4mに対し0.4m）であり⁵⁾、大潮期の干潮時にはデルタ地下から河川に向かって最大の水面勾配が形成される。この水面勾配によって、大潮期の下げ潮時にはデルタ地下からの河道への地下水（淡水）の流出量が最も大きくなると考えられる。すなわち、河道に流出する地下水量が多い大潮期に、塩分濃度が低下すると考えられる。ただし、河川水の塩分濃度は海水の遡上形態によっても変化するため、大潮、小潮に伴う海水の混合形態と河川水塩分の関係について検討することが必要である。

b) 服断面水路干潟でのタイドプールの役割

河道内の塩分状態がデルタ地下水位に依存した変動傾向（地下水位が高い時期に塩分が低い）にあることを図-3で示した。タイドプール地盤内では、潮汐によって形成されるタイドプールと低水路間の水頭差によって生じる表層での流れ、およびデルタ地下水位と河川水位との関係で生じる地下数mでの流れがあり、潮汐および出水に依存した流れ場が形成されている⁶⁾。タイドプールが存在することによってタイドプール～低水路干潟間の地盤表層流れ（地表面に沿った地下水面）が形成されており、対象とした低水路干潟では地盤内の塩分状態が河床からの河川水流入量とともに、タイドプールからの流出する地下水の影響が顕著に現れている。

(2) 洪水・高潮に伴う干潟地盤内の塩分低下

図-5では洪水時の河川水の淡水化に伴って干潟地盤内で塩分低下があるが、洪水毎に地盤内地下水塩分の低下量が異なっている。図に示した5回の洪水では低水路とタイドプールの地盤内での河川水の淡水化に伴う塩分の応答が異なっていることから、地盤内間隙水の塩分低下量は洪水に伴う河川水の浸透のみに依らず、潮位にも依存していることが予想される。本節では大潮期と小潮期に起こった2つの洪水に対する低水路干潟地盤内の塩分変動から干満差の干潟地盤内塩分状態に及ぼす影響を検討する。

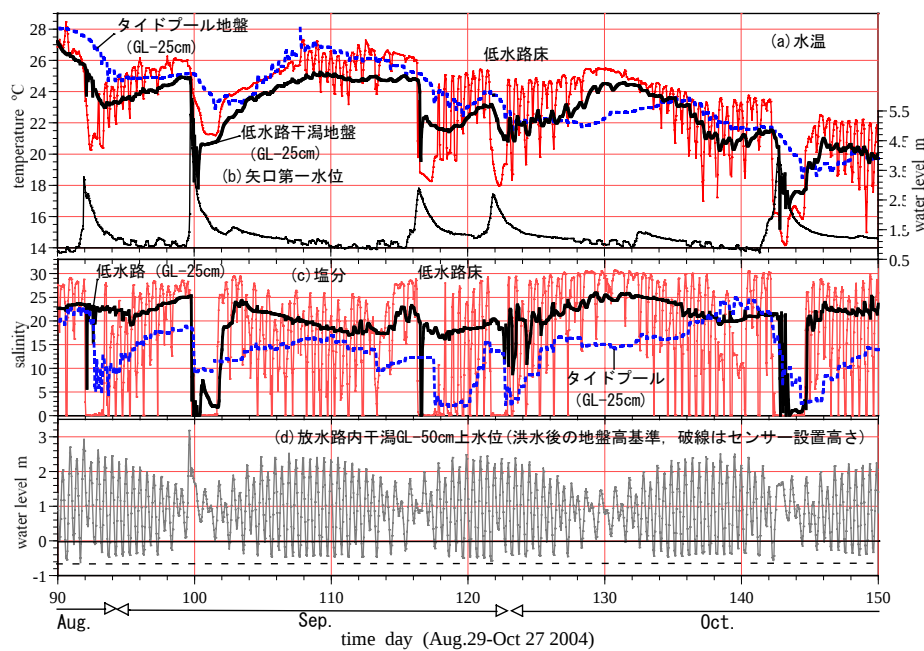


図-5 洪水時における低水路河床（流水部）と低水路干潟地盤下、タイドプール地盤下での(a)水温と(c)塩分変化、および(b)矢口第一水位、(d)低水路干潟地盤上水位の経時変化

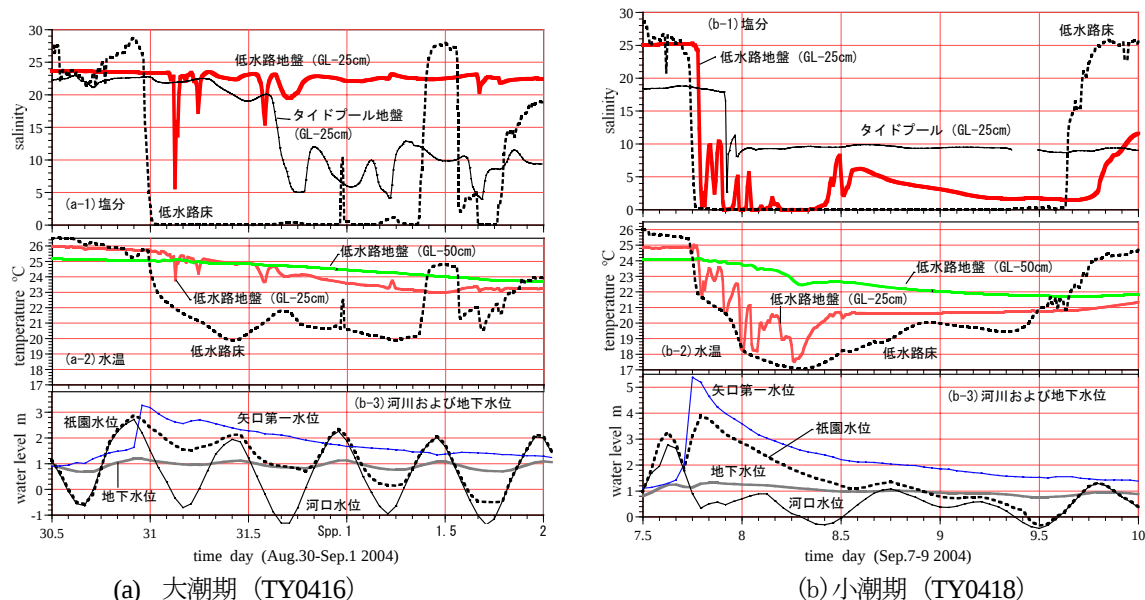


図-6 洪水・高潮に伴う干潟地盤内の塩分・水温変動（センサーの設置位置は流水部河床上、低水路干潟地盤では地表面下25cm(GL-25cm)と地表面下50cm(GL-50cm)、タイドプール地盤では地表面下25cm(GL-25cm)）

図-6は8月31日と9月7日に来襲したTY0416とTY0418によって引き起こされた洪水または高潮に伴う干潟地盤内の塩分・水温変動が示されている。16号は大潮期、18号は小潮期に襲来しており、それぞれの擾乱に対する地盤内の水温、塩分変動が図-6(a)と図-6(b)に示されている。両図とも塩分、水温変化にあわせて、祇園水門下流（祇園）、河口（草津）、デルタ地下（大芝）および矢口第一（非感潮域）での水位が比較されている。

a) 干潟地盤内表層の淡水化

9月7日(TY0418)には洪水（矢口第一でのピーク流量 $2795\text{m}^3/\text{s}$ ）と高潮（偏差 2.8m ）によって低水路干潟地盤表層（GL-25cm）が淡水で満たされた期間がある。これ

に対し、8月31日(TY0416)の出水（ピーク流量 $1110\text{m}^3/\text{s}$ ）と高潮（偏差 1.8m ）では数10分程度の塩分低下はあるが淡水化は起こっていない。

図-5では8月31日の出水量は $1000\text{m}^3/\text{s}$ 程度であるが、これよりも規模の小さい出水があった小潮期（116日）では低水路干潟での地下水が 0psu になる時がある。また、大潮期に起こった122日洪水（ $743\text{m}^3/\text{s}$ ）においては低水路干潟地盤内塩分の低下は観測されていない。

b) 河川水の淡水化と洪水時の水位変動（図-6）

河床塩分が急激に低下するタイミングは両期ともピーク流量の出現時である。矢口第一での水位は 1.5m 程度で、祇園水位（約T.P.- 0.7m が河床）が河口水位よりも 10cm

程度高い状態まで河川水の淡水化が継続している。

TY0418による洪水（小潮期）では潮汐変動が洪水波に隠されており、水位変動が祇園において潮位で現されるまで淡水化が継続している。これに対し、TY0416（大潮期）では高潮位は祇園まで伝播しているが、河川水は淡水化している。ただし、下げ潮（干潮）時の水位上昇は顕著に現れている。

c) 低水路干潟地盤内表層の淡水化

図-5に示した5回の洪水では小潮期にのみ地下水の淡水化が起こっている。矢口第一での出水量 $850\text{m}^3/\text{s}$ （水位3m）を超える92日洪水（8月31日、 $1110\text{m}^3/\text{s}$ ）と116日洪水（9月24日、 $861\text{m}^3/\text{s}$ ）では、小潮期に起こった流量の小さい116日洪水でのみ地盤内地下水塩分が淡水化している。地盤内の淡水化は河川水の地盤内への浸入によって生じることから、小潮期と大潮期で河川水の浸入の起こりやすさが異なることが考えられる。

干潟地盤内へのデルタ地下水の流出はデルタ地下水と海域間の水位差に依存している。大潮期には、洪水時においても干潮時に河口水位が低くなることから、デルタ地下水の河道への流出があると考えられる。小潮期にはデルタ地下水の流出が少なく、河川での水位が相対的に高くなるために、大潮期よりも洪水による地盤内への河川水の浸透が起こりやすいことが推定される。

d) タイドプール地下での塩分保持と低水路干潟への塩分供給

タイドプール地下水の塩分濃度は矢口第一水位の変動に応じてなだらかに低下している（図-5）ことから、タイドプールへの淡水の供給は洪水に関連して行われていることがわかる。しかし、低水路干潟地盤内の淡水化時にも、タイドプール地盤内の地下水が淡水化することはない。このため、低水路干潟地盤内が淡水化した場合（図-6(b)）にはタイドプールから低水路地盤への塩水の供給が起こり、低水路干潟内の淡水化を長期化させないと考えられる。

(3) 低水路干潟地盤内地下水の塩分回復

河川水の淡水化は図-5に示した $740\text{m}^3/\text{s}$ （水位2.7m）を超える洪水で1.5～2日間継続している。洪水によって低水路干潟地盤内の塩分が低下した場合には河川水の塩分回復後に塩分の上昇があるが、上昇速度は低下速度に比較して遅く（図-6(b)）、この時の地下水温が河川水温に比較して低いことから河川水の直接的な浸入ではないことが予想できる。さらに、116日の洪水下（図-5）では河川水が淡水であるにも関わらず、低水路地盤地下水塩分の上昇があり、河川水の淡水化期にも地下水流によって地盤内塩分が回復することがわかる。

5. おわりに

太田川放水路中流域に発達する干潟では太田川デルタ

からの地下水の流出によって地盤内での水環境が変化している。デルタ地下と放水路での水位差によって生じられる地下水流に伴って起こる干潟地盤内の塩分変動特性について以下にまとめた。

- (1) **デルタ地下水位**: 太田川デルタを流れる放水路には海水が遡上し、海域と同様の潮汐変動を受けている。デルタ地下においても同様に潮汐変動を受ける（年周潮は減衰なく、半日周潮は約 1/10 に減衰）ため、放水路とデルタ地下では季節、朔望等の時間スケールの異なった水位差が生じる。この水位差により河道への地下水の流出量が季節、朔望周期で変化している。
- (2) **干潟地盤内塩分**: 出水期にはデルタ地下に河川水が流入するため、放水路よりも潮汐成分を除いた水位はデルタ地下で高くなる。高いデルタ地下水位が河道内へ地下水を流出させ地盤内塩分を低下させる。
- (3) **干潟地盤内塩分の朔望変動**: 地下水の河道内への流出は、デルタ地下水位と放水路水位の差が最も大きな大潮期に促進される。このため、河道内の塩分は地下水流出の少ない小潮期に大きくなる。
- (4) **洪水に伴う淡水化**: 洪水に伴って河川水が干潟地盤内に浸入するが、地下水の流出は洪水時にも継続している。大潮期と小潮期では河川水の地盤内への浸入量が異なり、地下水流出が少な少なく、河川での水位が相対的に高くなる小潮期に干潟地盤内の淡水化が顕著になる。
- (5) **地盤内塩分の回復**: 中流域では $740\text{m}^3/\text{s}$ 程度以上の出水によって朔望に関わらず河川水は河床まで淡水化する。この淡水化は 1.5～2 日間継続する。干潟地盤内の塩分も同程度の期間低塩分化するが、地盤内塩分の回復は河川水の直接的な浸入ではなく、地下水流に依存することが示唆された。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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環境と生物生息の変化, 河川技術論文集, 第 12 巻, pp.431-436, 2006.
- 3) 日比野忠史, 中下慎也, 花畑成志, 水野雅光: 河口干潟で形成される土壌環境と底生生物の棲息要件, 海岸工学論文集, 第 53 巻(2), pp.1031-1035, 2006.
- 4) 国土交通省: 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>.
- 5) 日比野忠史, 松本英雄, 水野雅光: 太田川デルタ地下水の流動と海底濁度層の形成, 海岸工学論文集, 第 53 巻(2), pp.1146-1150, 2006.
- 6) 日比野忠史, 駒井克昭, 福岡捷二, 水野雅光: 河口干潟地盤内水環境に及ぼす浸透河川水の影響, 水工学論文集第 52 巻, 2008.

(2007. 9. 30受付)