

①技術研究開発テーマ名	河道内ガタ土の堆積メカニズムと水際植生管理に関する調査研究	
②研究代表者		
氏名	所属・役職	
山西 博幸	佐賀大学低平地沿岸海域研究センター・教授	
③共同研究者		
氏名	所属・役職	
④背景・課題		
<p>有明海湾奥部に位置する流入河川の多くは、有明海の大きな干満差の影響から、河川上流域まで海水が遡上する。その際、上げ潮時に巻き上げられた大量の懸濁物が河道内に流入する。また、非常に緩やかな河床勾配を有する低平地で、これらの流入懸濁物が、長い汽水域の河岸部に“ガタ土”と呼ばれる粘着性堆積物として堆積しやすい。さらに、これらガタ土とともに、河道内高水敷にはヨシ原が繁茂し、「長い汽水域」、「ガタ土（干潟）」とともに、本水域の原風景を形成している。しかしながら、これらガタ土堆積や広大なヨシ原の形成は、洪水時の流水能低下を引き起こす要因として、河川管理上の大きな問題となっている。</p>		
<p>現在まで河川の流下能向上対策として、ガタ土掘削による河道断面の確保やヨシ原の定期的な伐採が主たる管理として実施されているものの、これら作業にかかる経費は非常に大きく、また、河川環境への配慮はほとんどなされていないのが実状である。さらに、これまでの河川整備計画を上回るような突発的な強降雨による洪水が頻発する中で、治水安全度の早急な対策が望まれる状況にある。河川管理上の施策としては、堤防高の嵩上げ・拡幅、部分的な引堤などの対策も考えられる中、ここでは「ガタ土」堆積と「ヨシ」繁茂に着目し、これらの維持・管理の可能性について検討するものである。</p>		
⑤技術研究開発の目的		
<p>本研究は、河川管理上、重要な課題である治水と環境を加味しながら、六角川水系の河道管理で特に重要な感潮区間のガタ土堆積とその進行に伴うヨシ等の植生状況を把握し、適切な河道断面確保と河川生態系維持を実現するため、環境生態工学の視点から新たな方策の提案を目指すものである。</p>		
<p>本研究の設定期間は3年で、九州地方整備局・武雄河川事務所の全面的な協力を得ながら、牛津川感潮域河岸部を対象としたガタ土堆積のモニタリングとその堆積メカニズムの解明を進める。また、ガタ土堆積と連鎖しながら繁茂するヨシの植生調査からその生長特性を把握し、適正な植生管理についての考え方をまとめる。</p>		
<p>主な課題は、次のとおりである。</p>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>①ガタ土の堆積状況と長期的な変動モニタリング</li> <li>②対象水域の流況と河道内の懸濁物輸送に関する調査</li> <li>③河岸ガタ土斜面上での懸濁物輸送と底質環境に関する調査</li> <li>④ヨシ等の植生繁茂の長期モニタリング</li> <li>⑤河道断面維持のためのガタ土堆積抑制策と適正な植生管理に向けた方策の提案</li> </ol>		
<p>有明海に河口を持つ河川には、六角川同様にガタ土堆積による河道管理上の課題を抱える河川が多数存在するため、本研究における成果は本水系のみならず、広く他河川においても有用な情報を提供し、かつ活用が可能と考えられる。</p>		



河岸部に堆積するガタ土  
(牛津川 4.0km 右岸付近)



高水敷に繁茂するヨシ原  
(牛津川 4.0km 左岸)

⑥技術研究開発の内容・成果

【1年目（平成22年度）の成果概要】

1-1 ガタ土掘削前後における河道断面形状の変化とガタ土堆積の長期モニタリング

1-1-1 調査方法

(1) 傾斜ガタ土面の長期変動に関する調査

図1-1は有明海湾奥部に位置する六角川水系牛津川0~7km地点の平面図である。牛津川の感潮域は約12kmで、その流路河岸は主としてガタ土とヨシ群落からなっている。ガタ土の長期堆積モニタリングはこの感潮区間にある4.5km地点で実施した。ガタ土面の高さ変化量の測定には現地に固定した標尺を用い、これをガタ土斜面上に設置した(図1-2参照)。標尺は4.5kmを中心に岸側から流心側に5m間隔でP1~P5の測点を設け、また流れ方向±5mにも同様の測線を定め、計3測線(L1~L3)とし、標尺設置は計15地点とした。2010年5月26日に標尺を設置し、標尺の読み取りは、大潮前後でガタ土が干出した後速やかに読み取るようにした。なお、標尺周りの洗掘の影響を避けるため、読み取り時は周辺ガタ土面を延長して読み取った。

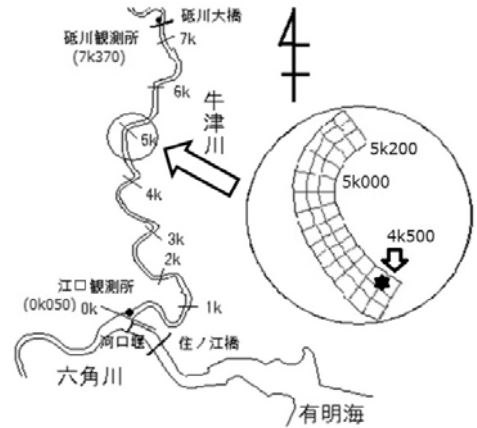


図1-1 調査対象地点

(2) 傾斜ガタ土面上の流れとSSの挙動に関する現地実験

河道内のガタ土堆積は、平常時の影響や出水等によるイベント時の影響が加味された結果として変化する。したがって、各イベント下でのガタ土堆積の効果を評価するには、その前後を含めたモニタリングが必要である。例えば、年間を通じたガタ土堆積は、標尺の読みによってこれを演繹的に知ることができる。一方、対象域は大潮~小潮~大潮といった半月周期の変化とともに、満潮~干潮~満潮といった半日周期の水面変動の特徴を有している。ここでは、ガタ土面上を日々流動する浮泥や懸濁物の挙動特性の理解を第一義とし、平常時でのガタ土堆積メカニズムの理解とその後のモデル構築・検証に引き続くと考えた。

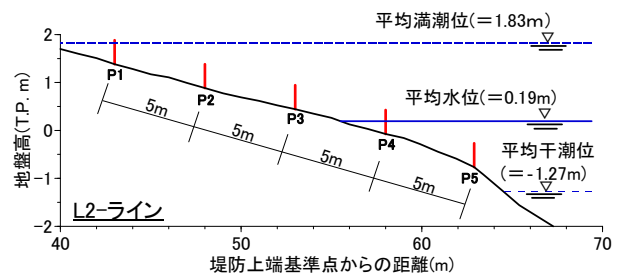


図1-2 調査地点のガタ土地形と標尺設置状況

調査地点はガタ土堆積の長期モニタリングと同じとした。また、同地点に図1-3で示すように水位計(旧アレック電子社製, COMPACT-TD)、流速計(旧アレック電子社製, COMPACT-EM)及びクロロフィル・濁度計(旧アレック電子社製, COMPACT-CLW)を設置した。水位計の測定間隔は1分毎、流速計及び濁度計のそれは2分毎としてデータを収集するよう設定した。なお、調査期間を2011年1月19日~27日(大潮~小潮)とした。

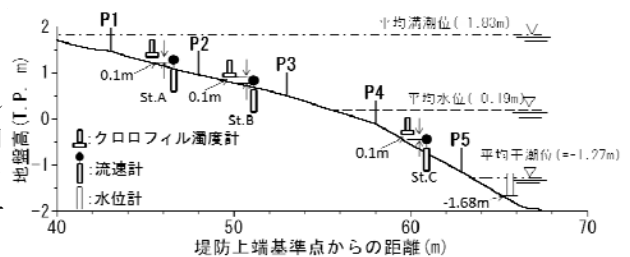


図1-3 各種センサー設置場所(L2測線)

1-1-2 結果及び考察

(1) 牛津川ガタ土の長期変動特性について

図1-4は4.5km地点の測線L2における測点(P1~P5)毎のガタ土面の標高変化を示したものである。当初、2010年5月26日をガタ土基準面としてモニタリングを開始したものの、観測期間中、降水量の増大した洪水期に多くの標尺が流出したため、改めて2010年8月20日に標尺を設置し直している。そのため、図1-4は再設置後の変化を示している。図より、2010年8月から

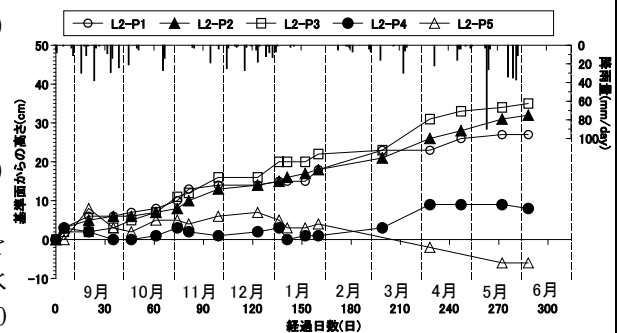


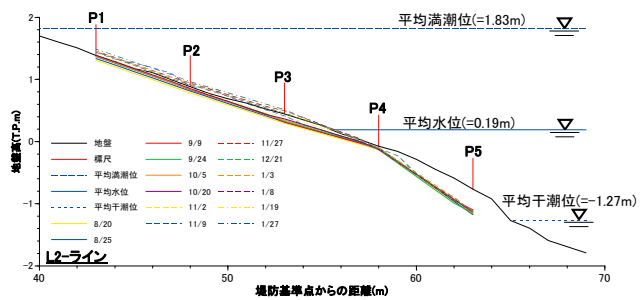
図1-4 L2測線のガタ土面堆積高さの長期変化(2010.8.20-2011.6.8)

2011年6月のモニタリング期間中、標尺の設置場所の違いによって、その堆積速度に異なる傾向が見られた。その変化傾向は明瞭で、2009年6月から2010年5月の年平均とした年平均水位を境に、地盤高が高くなると堆積傾向で、その逆では平衡あるいは減少傾向にあることがわかる。冠水時間の観点からすれば、地盤高のより高い地点ほど滞留時間は短いため、水中懸濁物の沈積総量は少なくなると考えられた。しかしながら、本調査結果ではその逆の結果となった。

すなわち、上げ潮から下げ潮に転じる憩流期に水際で高濃度の懸濁物がガタ土斜面上に沈積したと考えられる。本結果は後述のセンサーによるSS輸送特性とも合致した。なお、測線L1~L3での年平均水位を境としたガタ土堆積速度は、岸側で+1.0~+1.5mm/day、流心側で-0.2~-0.1mm/dayであった。

図1-5は、標尺の読みからガタ土断面の変化を示したものである。図より、ここでも年平均水位よりも高い位置でのガタ土堆積が読み取れる。一方、平均水位以下でのガタ土堆積はさほど進んでおらず、むしろ流心側ではやや低下する傾向にあり、流れによるガタ土堆積の抑制と洗掘が生じると言える。

図1-5 ガタ土面の変化 (L2 測線, 2010.8.20-2011.1.27)



## (2) 傾斜ガタ土面上の流れとSSの挙動に関する現地実験

図1-6は、2011年1月19日~27日(大潮~小潮)においてガタ土斜面上に設置した各種センサーより得られたデータのうち、水位、SSおよび岸-流心方向の流速成分(岸方向を正)の一部を示したものである。図より、高濃度の懸濁物が上げ潮時に流入し、憩流時前後での急激なSS低下が観測された。

図1-7は、水位と垂直な方向のSSフラックス(岸側を正)の時系列変化である。また、岸に対して垂直な方向については、各断面間の差し引きから正味のSSフラックスを算出した。その結果、図から河岸方向に向かう正味のSSフラックスが観測された。特に、St.B地点での値が大きく、結果として岸側に懸濁物が輸送され、St.B~St.C間は堆積しにくい状況にあると言える。これら一連の結果は、上げ潮時に大量の懸濁物が岸側に輸送され、流速減衰が生じる転流時に懸濁物が岸側に沈積することを意味しており、ガタ土堆積が汀線・水際側で促進されるという実測結果とも一致する。つまり、汀線・水際を基点とした懸濁物の沈積促進と流心方向へのガタ土堆積進行を裏付ける結果といえる。なお、ガタ土堆積の流心方向への進行は、後述するヨシの水際生息境界端の拡大助長とともに大きく関係することとなる。

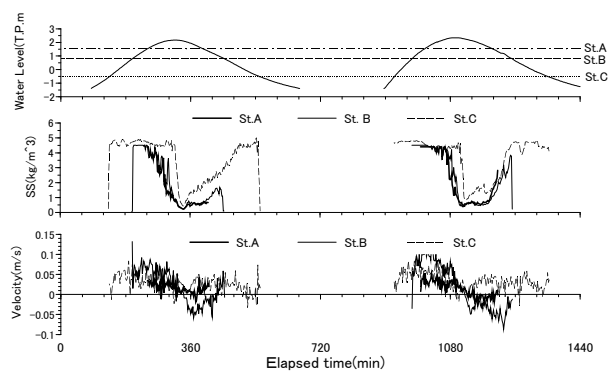


図1-6 水位、SSおよび岸-流心方向の流速変動 (2011.1.19, 16:00~2011.1.20, 16:00)

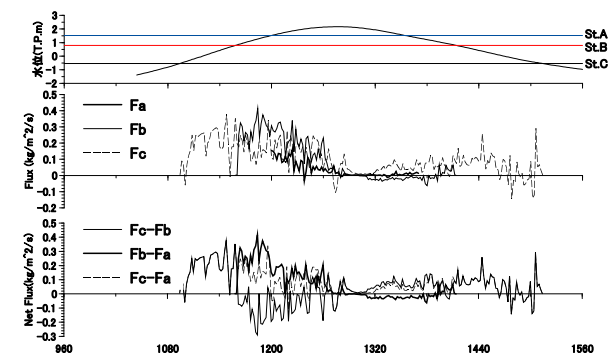


図1-7 岸に垂直方向のSSフラックスの時間変化 (2011.1.19, 16:00~2011.1.20, 2:00)

## 1-2 ガタ土堆積に伴う植生分布の進行と変遷に関する長期モニタリング

### 1-2-1 河岸ヨシ群落の分布調査

河岸におけるヨシ群落の長期的な生長とその分布特性を明らかにするため、対象区間25mごとにヨシの植生密度を河岸横断方向に測定した。測定には0.5m×0.5m(=0.25m²)のコドラートを用い、コドラート内のヨシの地上茎(葉茎)の本数を計測した。また、測定より算出された植生密度を所定の階層に区分し、これらの経月変化やヨシ群落面積の拡大速度等を算出した。さらに、対象区間50mごとにヨシの地表面からの高さを定期的に測定した。植生分布調査は2010年6月から2011年1月まで毎月実施した。そのほか、2010年11月30日(小潮)には、4.475km左岸のヨシ群落の水際端から堤防側へ15mにわたって、幅1m、深さ1.5m程度を重機で掘削し、ヨシの根入れ深さやその分布状況を観察した。

### 1-2-2 調査結果及び考察

**(1) ヨシ群落の分布状況とその季節変化**

図 1-8 は、2010 年 8 月 18 日の 4.55km~4.70km 区間におけるヨシ群落の繁茂状況を密度分布として示したものである。調査当初、ヨシの背丈は 1m 弱程度で、その密度は 4~6(本/0.25m<sup>2</sup>)前後の階層区分が最も多かった。その後、ヨシの生長とともに河岸平面内のヨシの分布は平均満潮位を水際端として、堤防側及び流路縦断方向に生長進行していることがわかる。その拡大速度は、季節、土壤環境および高水敷の境界条件に依存するものの、今回の対象区 4.50km~5.15km 左岸の 6~9 月のヨシの成長期で 19.8m<sup>2</sup>/day となった。また、測定期間内で鉛直地下茎から伸びる葉茎の最大密度は 24 本/0.25m<sup>2</sup>であった。なお、ヨシが全く繁茂していない部分は河岸ガタ土掘削工事時に行われた地盤改良土の残土や砂利敷設による地盤強度の増加、あるいは pH の上昇等でヨシの生長が阻害されていたと思われる。

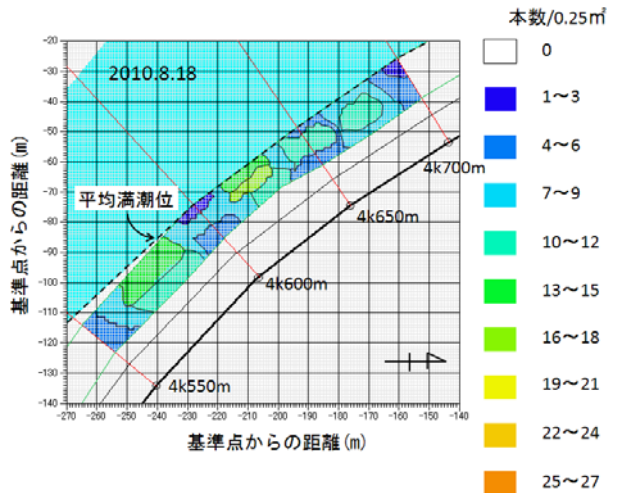


図 1-8 4.55km~4.70km の植生分布(8月18日)

図 1-9 は対象全域の植生密度と葉茎高の経月変化を示している。図より、植生密度は 9~10 月頃まで増加し、0.0481(本/0.25 m<sup>2</sup>/日)の速度であった。また、平衡時の植生密度は 13~14(本/0.25 m<sup>2</sup>)と推定される。さらに、葉茎高は月を追うごとに増していたが、その平均値は 10 月で 1.9m に到達したのち、ほぼ一定となった。これらの結果より、牛津川におけるヨシは、10 月頃までその葉茎高を生長させ、それ以降は葉茎の生長がほぼ終了することがかる。その後、ヨシは先端に穂を形成し、種子を飛散させ、光合成生産物の地下茎輸送と貯蔵及び新地下茎形成に移行する。

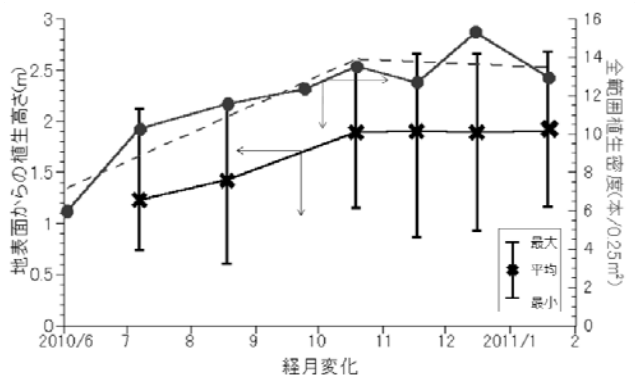
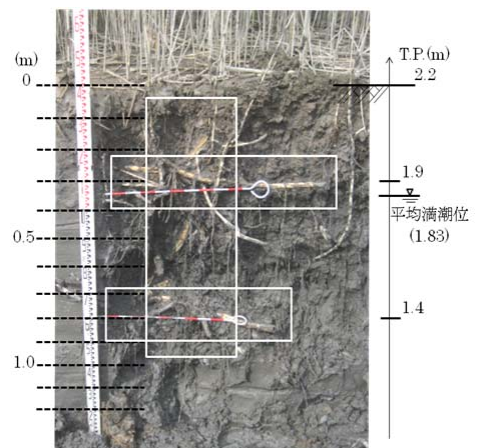


図 1-9 ヨシ葉茎高さ及び全範囲植生密度の経月変化(2010.6~2011.1)

**(2) ヨシの地下茎分布特性**

写 1-1 は、ヨシ群落端水際から 5m 堤防側におけるヨシ地上部と地下茎分布の階層化状況を撮影したものである。写真より、地下茎の枝分かれや水平地下茎の分布状況が確認される。すなわち、地上部のヨシの葉茎は鉛直地下茎からの枝分かれによって派生した地下茎よりなり、前項のヨシの密度はこれらを計測していることになる。また、水平地下茎の階層構造が形成され、写真より第一層の水平地下茎が地表面下 0.3m (1.90T.P.m) 付近に、第二層が 0.8m (1.40T.P.m) 付近となることが確認された。このことは、栄養繁殖が主体となるヨシの生長を今後制御する上での有用な知見となった。



写 1-1 水平地下茎の階層化状況(2010.11.30)

**1-3 平成 22 年度実施内容のまとめ**

**(1) ガタ土掘削前後における河道断面形状の変化とガタ土堆積の長期モニタリング**

a) 長期にわたるガタ土堆積のモニタリングより、平均水位を境に岸側で堆積傾向、流心側でわずかに堆積もしくは洗掘傾向で、年平均水位を境としたガタ土堆積速度は、岸側で+1.0~+1.5mm/day、流心側で-0.2~-0.1mm/dayであった。

b) 河岸斜面上での流れ場と SS の測定から、上げ潮・下げ潮での流れ場の非対称性や転流時前後での急激な SS 低下などを明らかにした。

c) 斜面各測点間での SS フラックスを算出し、河岸方向に向かう正味の SS フラックスを求め、転流・憩流時に地盤高の高い地点の水際で高濃度の懸濁物が集積・沈降しやすくなっているとの仮説を導いた。

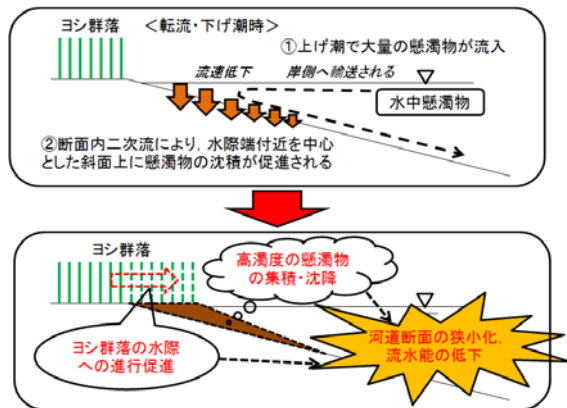


図 1-10 調査結果に基づくガタ土堆積のメカニズムのイメージ

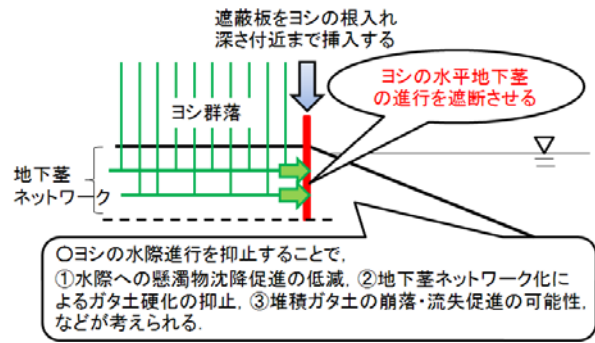


図 1-11 ヨシの進行抑制策一案とその効果の予想

(図 1-10 参照). 一連の調査結果は、ガタ土面上での懸濁物の挙動を明らかにするとともに、ガタ土堆積モデル構築の上で重要な知見となった。

## (2) ガタ土堆積に伴う植生分布の進行と変遷に関するモニタリング

- a) ヨシの繁茂域は、平均満潮位を水際端として広く高水敷で生長した。ただし、土壌改良を実施した場所では、ヨシの生長が阻害されていた。
- b) ヨシの植生密度は、9～10 月頃まで生長し、平衡時の植生密度は 13～14(本/0.25 m<sup>2</sup>)で、その生長速度は 0.0481 (本/0.25 m<sup>2</sup>/day)であった。
- c) 牛津川のヨシ群落の植生密度は、10 月以降やや低下しながら、地下茎形成に移行すると考えられる。
- d) ヨシの地下茎は、ガタ土内に鉛直方向に階層化されたネットワークを形成し、第一層の水平地下茎は 0.3m、第二層は 0.8m であった。なお、地下茎分布調査より、ヨシ群落の生長を制御する 1 つの方策として、ヨシの根入れ深さを考慮した河岸管理として図 1-11 のような試みが考えられた。

## 【2 年目 (平成 23 年度) の成果概要】

調査研究 2 年目となる平成 23 年度は、前年度の結果に基づく推論をより確実な現象として把握することに重点を置きながら、継続的な調査を実施した。

### 2-1 ガタ土堆積の長期モニタリングとその堆積メカニズム解明のための調査

#### 2-1-1 調査方法

##### (1) 河道内ガタ土堆積の長期変動調査

ここでは、ガタ土堆積変動の広域的な視点と局所的な視点から調査を行った。広域的な視点では、牛津川 0～10km の河岸両岸 1km おきに標尺を設置し、これを月 2 回の大潮・干潮時に読み取った。標尺は、ガタ土堆積が促進されやすい平均水位と平均満潮位の中位の位置を目安に設置した。局所的な視点では、4.5km 左岸部でのガタ土堆積調査を前年に引き続き実施した (図 2-1 参照)。

##### (2) 傾斜面上での懸濁物質の挙動に関する現地調査

ガタ土面上の懸濁物 (SS) の挙動を把握するため、4.5km 地点に 2 次元電磁流速計、クロロフィル濁度計、水位計を設置した。流速計と濁度計の測定間隔は 2 分毎、水位計の測定間隔は 1 分毎とした。また、斜面上への SS 沈降フラックスを算出するため、セジメントトラップ (6.9mm $\phi$ ) を設置した (図 2-1 参照)。設置にあたり、セジメントトラップ内に流入する懸濁物のうち、上層水中からの SS 沈降と斜面上を流下する浮泥の効果を検討するため、セジメントトラップの開口部の位置を調査毎に変化させた。設置期間は 2 潮汐とした。セジメントトラップを回収後、容器内の懸濁物量を計測し、これを設置開口部の高さに応じた水没時間と開口面積 (37.39cm<sup>2</sup>) で除して SS 沈降フラックスを求めた。なお、セジメントトラップにはあらかじめ 0.45 $\mu$ m のメンブレンフィルターでろ過した河

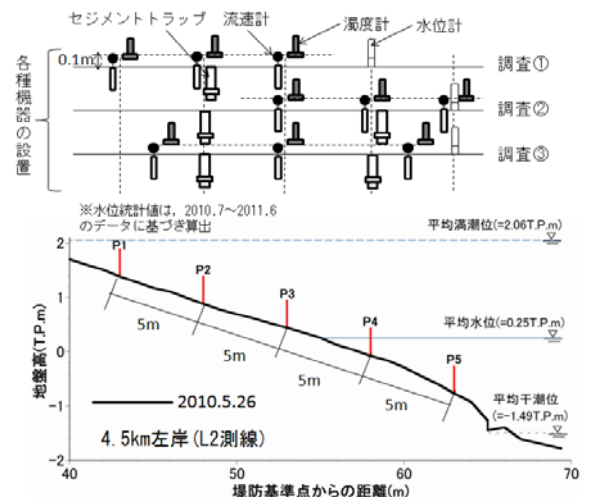


図 2-1 ガタ土斜面上における標尺および観測機器の設置位置

川水を満たし、上層水からの沈降フラックスと見なされない上げ潮初期の高濃度の水塊が直接流入するのを防いだ。

## 2-1-2 結果及び考察

### (1) 広域ガタ土堆積の分布状況

図 2-2 は、2011 年 9 月から 2012 年 1 月までの牛津川 0~10km の左岸・右岸に設置した標尺値の時系列データから各地点のガタ土の堆積速度を示したものである。図中に付された丸の大きさがガタ土の堆積速度もしくは洗掘速度の大きさを表している。図より、ほぼ測定全域にてガタ土の堆積が観測され、特に 4km 右岸 (④背景・課題の写真参照) の湾曲部内側で 2.8mm/day の最大値を示し、測定全平均で 0.8mm/day の値を示した。いずれにせよ、感潮域広範にわたるガタ土堆積の現状を把握することができた。また、広域でのガタ土堆積の数値計算の際の比較データとしても有用な知見となった。

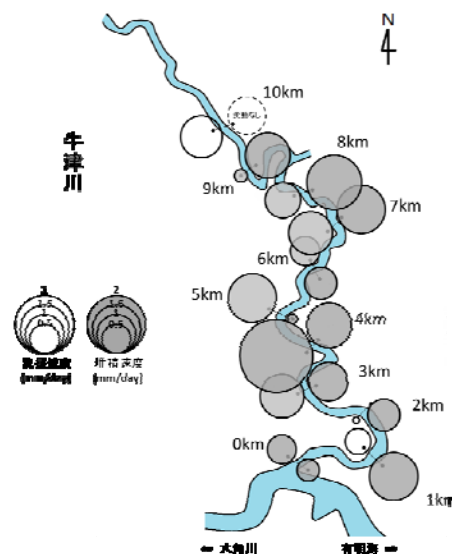


図 2-2 牛津川広域ガタ土堆積速度分布

### (2) 傾斜ガタ土面の堆積特性と斜面上における懸濁物輸送

図 2-3 は、前年に引き続く 4.5km 左岸 L2 測線における P1~P5 のガタ土面の高さ変化を示したものである。基本的には、前年同様、年平均水位より地盤高の高い位置で堆積傾向、低い位置で平衡あるいは減少傾向にある。調査結果から、非洪水期における堆積速度は、平均水位より標高が高い P1~P3 平均で 1.13(mm/day)、平均水位より標高が低い P4~P5 平均で 0.06(mm/day)であった。先に述べた広域調査の全平均値が 0.8mm/day であったことから、対象域の河道内ではほぼ 1mm/day 程の堆積速度でガタ土が堆積していると言える。一方、洪水期での最大洗掘速度は-0.6mm/day でおおよそ 2 ヶ月で 30~40cm のガタ土が流出している。本調査結果は、洪水期のガタ土流出にも依存するが、年間を通したガタ土堆積の進行を明らかにしている。

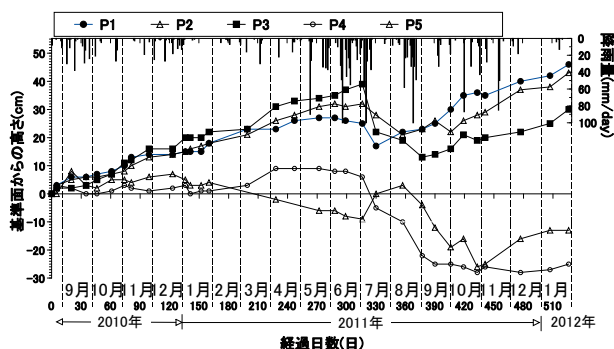


図 2-3 L2 測線でのガタ土堆積変化

図 2-4 は、斜面上の水位、SS および流速の時系列変化である。図より、上げ潮時に高濃度の SS が水際部に流入し、流速減衰期に SS が急激に低下することがわかる。この結果、水際付近に流入してきた高濃度の SS の沈降によって、傾斜底面上に高濃度の流動泥が形成されると考えられる。その後、下げ潮に転じて、上げ潮と同等の高濃度の SS は観測されなかった。これは、水際底面付近に沈降した SS の一部が底面に沈積残留し、残部が水の流れとともに拡散しながら流下したためと思われる。また、調査結果から急激な SS 沈降が生じる限界流速としておおよそ 0.13~0.15m/s であることを確認している。

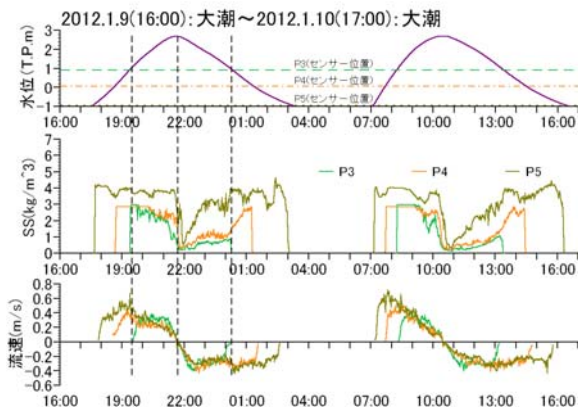


図 2-4 水位、SS、および流速の経時変化

図 2-5 は、傾斜面上に設置したセジメントトラップによる調査結果である。いずれの調査も底面部が最大値を示し、大潮時にあたる調査①(2011.10.26-27)、②(2012.1.9-1.10)ともに平均水位よりも地盤高の高い P2 地点での沈降フラックスが 20.5kg/m<sup>2</sup>/day で、底面より 10cm 高い場合 (12.1 kg/m<sup>2</sup>/day) のおおよそ 2 倍となった。調査③(2012.1.27-28)は中潮にあたり、P2 よりも P4 地点の沈降フラックスが大きく、底面部で 11.5kg/m<sup>2</sup>/day となった。つまり、潮時に依存した SS 沈降特性を有し、特に大潮での水際への SS 輸送負荷は大きい。また、高さ毎の沈降フラックスの比較から、底面での沈降フラックスが大きくなることから、傾斜底面部に形成された高濃度の浮泥層の存在とその流入による影響が示唆される。

図 2-6 は、満潮前のガタ土傾斜部における流速分布を示したものである。なお、いずれの図も右端が

P3 地点である。図より、満潮に向かい左岸水際表層部から流速 0 近くの領域が流心側へ広がっている。また、P1-2 地点の SS 変化から、同時刻 (11:00~12:00) に SS が  $2\text{kg}/\text{m}^3$  から  $1\text{kg}/\text{m}^3$  まで急激に減少することが、濁度センサーおよび採水器による SS 測定から確認できる (図 2-7 参照)。

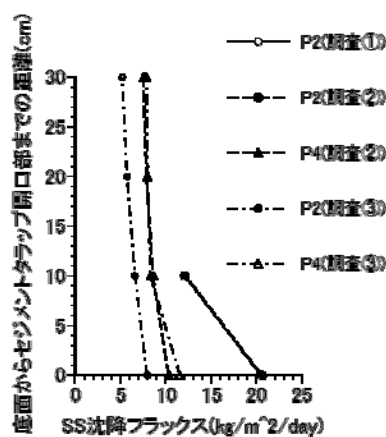


図 2-5 セジメントトラップ設置高による沈降フラックスの比較

以上から、河岸部でのガタ土堆積は、傾斜面上に形成された高濃度の浮泥層が転流前後の遅い流れ場の中で、平均水位よりも地盤高の高い領域で高濃度の浮泥の一部が水の流下に追従できずに沈積することで進行すると考えられる。これらの調査事実及び考察からガタ土堆積メカニズムをまとめると、図 2-8 のようになる。このことから、ガタ土堆積を抑制するには、平均水位よりも地盤高の高い水際域において、水位低下とともに高濃度の SS をいかにして流下水塊とともに河川本川側に流し出すがポイントといえよう。そのためには、流れの緩やかとなった場で高濃度の SS を沈積させないための乱れの生成が必要といえる。

## 2-2 ヨシの分布に関する長期モニタリングとその生長メカニズムに関する調査

### 2-2-1 調査方法

#### (1) ヨシ植生密度と水際への進行に関する調査

ヨシ伐採後 2 年目となる牛津川 4.5km~5.15km の左岸を調査対象域とし、前年度に引き続くモニタリングを通して、多年草としてのヨシの生長とその分布特性を明らかにすることとした。調査域は前年同様 4.5km~5.15km の左岸で、流路方向 25m 毎に河岸横断方向の測線を設定し、コドラート法によって植生密度を測定した。この時、調査開始以前に繁茂していたもの(旧ヨシ)と調査開始後に発芽したもの(新ヨシ)を区別して計測した。さらに、測線 50m 毎にヨシ繁茂域の水際端までの距離を定期的に測定した。

#### (2) ヨシの拡がりとその抑制策に関する調査

ヨシの拡がりとその抑制策の検討は、牛津川 4.0~4.5km 左岸を調査対象域とした。なお、本調査域は 2011 年 3 月にガタ土掘削と高水敷のヨシの刈り取りが行われ、その 1 カ月後の 2011 年 4 月から概ね 1 ヶ月毎に行われた。植生密度およびヨシの水際境界位置は前節同様の手法で測定した。また、前年度の成果から、ヨシの拡がり抑制策として遮蔽板(ベニヤ板)を地中 1.2m の深さまで挿入した実証試験区を設定した。これにより、抑制策を施した区間周辺のヨシ植生密度の変化をモニタリングしながら、これらの効果について検討した。

### 2-2-2 結果及び考察

#### (1) ヨシの分布状況の変遷

図 2-9 は調査全域の植生密度の平均値を経月的に示したものである。調査を開始した 2011 年 2 月頃から 3 月中旬頃までは、旧ヨシのみが繁茂しており、その平均密度は  $11.4$  (本/ $0.25\text{m}^2$ ) であった。4 月には新ヨシが確認され、全体の植生密度は増加し  $16.7$  (本/ $0.25\text{m}^2$ ) (旧ヨシ; $8.2$ (本/ $0.25\text{m}^2$ ), 新ヨシ; $8.5$ (本/ $0.25\text{m}^2$ )) と最大になった。その後、旧ヨシは急速に減少し、8 月には完全に消失してしま

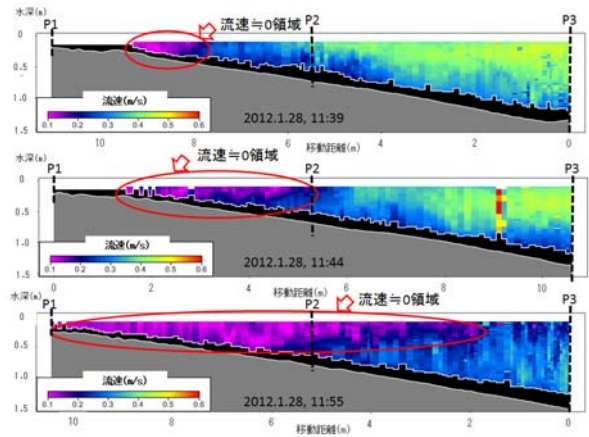


図 2-6 ガタ土斜面上での流速分布(調査③)

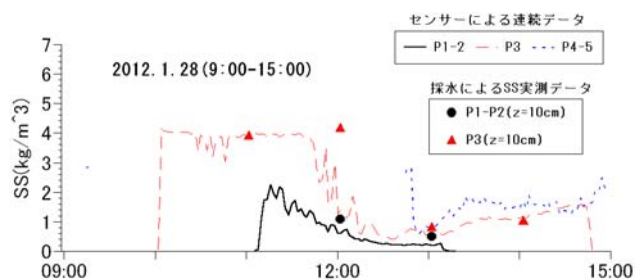


図 2-7 底面付近での SS 変化 (調査③)

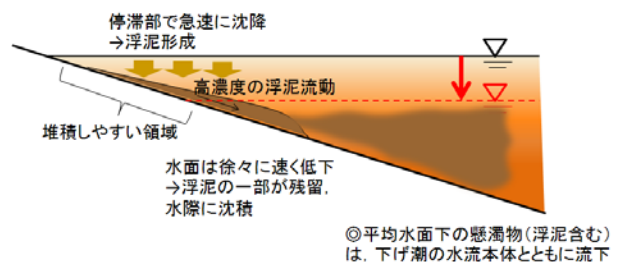


図 2-8 ガタ土堆積メカニズムのイメージ

った。その際の減少速度は0.075 (本/0.25 m<sup>2</sup>/day)であった。なお、6月に新ヨシの密度が一旦減少しているのは“いもち病”と呼ばれるカビが原因の病害のためである。新ヨシの生長のピークは2010年も2011年も9月から10月でその密度は10~11 (本/0.25 m<sup>2</sup>)となった。

以上から、新・旧ヨシの混在するヨシ植生密度は、新ヨシの生長が高まる5~6月にピークを迎えるため、洪水期の流水能阻害を軽減させるためには、この時期のヨシの刈り取りが一つの効率良い期間と言える。ただし、後述するように、ヨシの刈り取りは翌年に植生密度を増加させる可能性もある。

### (2) ヨシの水際進行特性

図2-10は定期的にヨシの水際端の位置を調査したもので、ヨシ水際端の移動速度が期間中一定でないことが分かる。具体的には6月と8月半ばを境に3つの区間に場合分けされ、A【4月~6月のヨシの進行が大きい時期(9.3cm/day)】、B【6月~8月半ばの進行が殆ど無い時期(0.3cm/day)】、C【8月半ばからの進行を再開する時期(4.5cm/day)】となる。また、進行速度2.6cm/dayはこれらの期間の平均的な値といえる。ガタ土堆積とヨシの植生繁茂については後述するが、ガタ土堆積と共にヨシが水際へ進行する大きな要因といえる。さらに、ここで得られた値は後述するヨシの生長を数理モデルで予測する際に用いる。なお、図の横軸は調査中に発芽が確認された時点として0としている。さらに、ヨシの生活史を元に今回の調査結果を照らし合わせると、Aは地下茎に蓄えられた物質を利用して生長する初期成長期、Bは光合成が主な生産手段となり葉茎の生長も盛んとなる光合成成長期、Cは既存の地下茎へ物質を輸送し、新しい地下茎を形成する老化期とほぼ一致した。

### (3) ヨシの広がり抑制策とその効果

栄養繁殖を主体とするヨシの生長拡大で地下茎の果たす役割は重要で、これを制御することが高水敷での植生管理にとって重要である。そこで、前年の成果に基づき、現地地盤1.2mの深さまで遮蔽板(ベニヤ板)を埋設した。なお、施工時に遮蔽板に囲われた内部域のガタ土からはヨシの地下茎を極力排除している。写2-1は、2011年4月24日と2011年6月29日における遮蔽板周りのヨシの繁茂状況を撮影したもので、遮蔽板によるヨシの繁茂抑制がわかる。簡易ではあるものの、このような遮蔽板でも十分にヨシの広がりを抑制することが可能と言える。

### 2-3 河岸域における植生の空間分布とその広がりに関する検討

ここでは、ヨシの植生調査にもとづく、ヨシ群落の空間分布特性から、その分布域の拡大あるいは縮小を数理モデルで表現し、水際環境の変化による植生空間への影響について検討した。

#### 2-3-1 ヨシの広がりに関する数理モデル

ここでは簡単化のため、対象空間内をヨシ群落が拡散して広がるモデルとして取り扱う。いま、一次元の空間を考え、植生密度を $N(x,t)$ 、空間軸を $x$ 、拡散係数を $D$ (一定)とする。また、ヨシは増殖しながら高水敷に広がるが、植生密度の増加とともにその増殖速度は抑制されると予想されるため、これをロジスティック増殖として表す。さらに、ヨシが様々な方向へ分散する過程で、地下茎が最適な生息環境場を求め、選択的に移動すると考えた。なお、ここでは移流効果を関数化した選好性の評価はせず、単に一方向を有する速度とした。

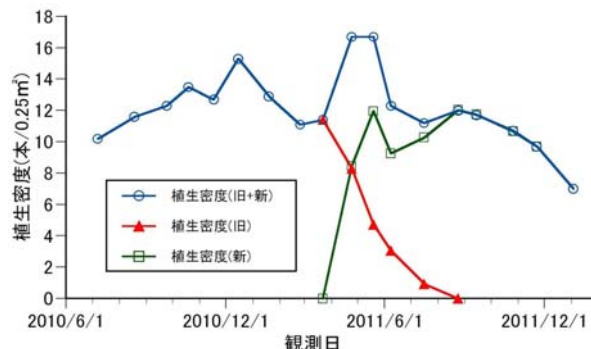


図2-9 ヨシ植生密度の経月変化(4.5~5.15km)

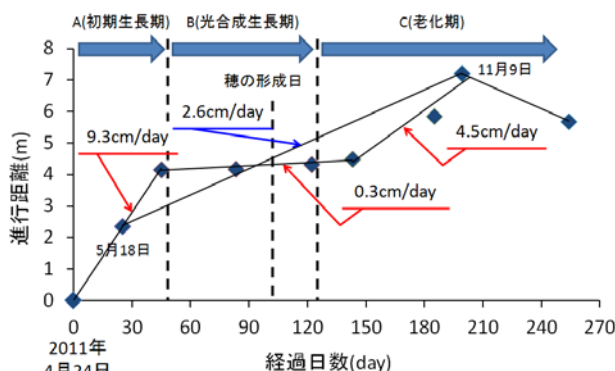


図2-10 5.0km左岸におけるヨシ水際端の移動特性



写2-1 遮蔽板周りのヨシの繁茂変化



このとき、植生密度  $N$  の時間変化は、拡散項、移流項および増殖項によって次のように表せる。

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} - u \frac{\partial N}{\partial x} + rN \left( 1 - \frac{N}{K} \right) \quad (1)$$

ここで、 $u$ ：地下茎の環境場選好性による移動速度 (m/日)、 $K$ ：ヨシの環境収容力 (本/0.25m<sup>2</sup>)、 $r$ ：内的自然増加率 (1/日) である。式(1)の右辺第3項を除く線形同次偏微分方程式は一樣流れに乗った座標変換を用いて解けば、その解として次式が得られる。

$$N(x,t) = \frac{n_0}{2\sqrt{\pi Dt}} \exp \left[ -\frac{\{(x-x_0)-ut\}^2}{4Dt} \right] \quad (2)$$

ここで、 $n_0$  は  $t=0$  で  $x=x_0$  の地点での単位長さ当たりの植生密度である。実際には式(1)を解く必要がある。しかし、式(1)の右辺第3項に  $N$  に関する非線形項が加わるため、厳密解を得るのが容易でない。したがって、ここでは式(1)を差分化することで植生密度の時間変化について数値的に解くこととした。式(1)の差分化に際し、時間項については前進差分、拡散項については中央差分、移流項については解の安定性の観点からラックス・ベンドロフ法を適用すると、次のようになる。

$$N_i^{n+1} = N_i^n + \frac{\Delta t^2}{\Delta x^2} \left( \frac{D}{\Delta t} + u^2 \right) (N_{i+1}^n - 2N_i^n + N_{i-1}^n) - \frac{u\Delta t}{2\Delta x} (N_{i+1}^n - N_{i-1}^n) - rN_i^n \left( 1 - \frac{N_i^n}{K} \right) \Delta t \quad (3)$$

ここに、 $\Delta t$ ：時間刻み、 $\Delta x$ ：格子間隔、 $i$ ：格子点の空間位置、 $n$ ：時間軸上のステップ位置（時刻）である。以下、式(3)の差分式を用いて、調査結果との比較によるパラメータの検討とともに、ヨシの生長特性や水際境界の変化がヨシ群落に及ぼす影響について調べる。

### 2-3-2 数理モデルによるヨシ群落の時空間変化と水際境界の影響評価

ここでは、先に示した植生モデルの妥当性の検証とともに、これまでの調査結果に基づき、河岸ヨシ群落の空間分布とその動態について検討を行う。計算には式(1)を差分化した式(3)を用いた。また、ヨシ群落の生息域は区間  $(0, L)$  内に限られる境界条件を課した。すなわち、生息限界地点ではヨシは全く生長できないとし、そこでの植生密度  $N$  は 0 となる。

$$N(0,t) = N(L,t) = 0 \quad (4)$$

ここに、 $x=0$  は左岸堤防下端とし、 $x=L$  はヨシの水際での生育限界地点で、 $x=0 \sim x=L$  が計算の対象範囲である（図 2-11 参照）。

まず、式(1)での計算に必要となる各パラメータ値の概算を行った。必要なパラメータは、拡散係数  $D$ 、移流速度  $u$ 、内的自然増加率  $r$  および環境収容力  $K$  の 4 つである。式(2)は式(1)の完全解ではないものの、調査結果に基づく密度分布を大凡近似できるため、式(2)のガウス分布を調査データに当てはめた近似曲線から平均的なヨシ群落の中央値  $x_m = x_0 + ut$  を求めた。 $x_m$  の時間変化率には  $x_0$  の時間変化も含まれるが、ここでの  $x_0$  はヨシの基軸となる地下茎の位置と考えれば、 $x_0$  自体の移動速度は無視できるとした。そこで、 $x_m$  の時間変化率を求めたところ、0.04 (m/day) を得た。また、一般に式(2)とガウス分布式の比較から、

$$\sigma^2 = 2Dt \quad (5)$$

の関係が得られる。ここに、 $\sigma$  は標準偏差である。したがって、式(5)より分散  $\sigma^2$  の時間変化率を求め、 $D$  を概算できる（図 2-12）。図より原点を通る直線勾配の半値から  $D=0.2$  (m<sup>2</sup>/day) とした。さらに、 $r$  は植生密度値の時間変化率として求めた。具体的には、ガウス曲線を現地データで当てはめた

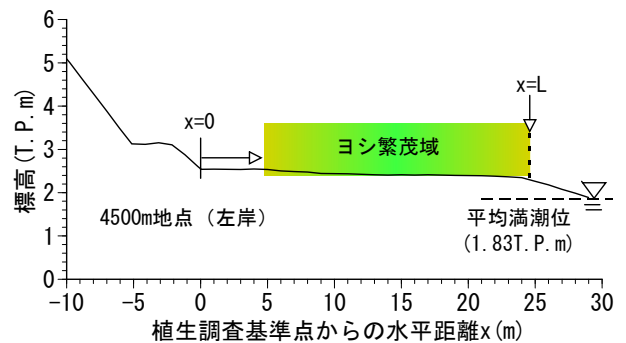


図 2-11 モデル計算の際の座標軸 (4.5km 地点)

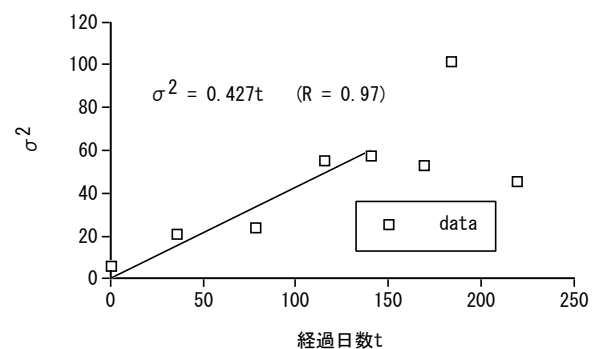


図 2-12  $\sigma^2$  の時間変化 (4.5km 左岸)

回帰式をもとに、各時間毎に  $x=0$  から  $x=L$  までの積分値  $n_{0,t}$  を算出し、観測開始日の  $n_0$  で除した  $(n_{0,t}/n_0)$  の経日変化率から  $r=0.02$  (1/day) とした (図 2-13 参照)。そのほか、環境収容力  $K$  は図 1-9 から植生密度の平衡値を若干上回る 15 (本/0.25  $m^2$ ) とした。

図 2-14 は、4.5km 左岸部での実測値と上記パラメータ値をもとに再度調整した各係数 ( $D=0.2$ ,  $u=0.05$ ,  $r=0.03$ ,  $K=15$ ) による数値計算結果との比較である。水際境界は現地調査に基づき、 $L=25m$  で一定とし、6月2日の実測値から近似したガウス分布形を植生密度分布の初期値形状として与え、 $\Delta t=0.1$  日、 $\Delta x=0.4m$  として計算した。なお、図中の番号 (1) ~ (5) は、それぞれ 2010.6.2, 7.7, 8.18, 9.24, 10.24 と対応した調査日となっている。図より、経日毎の厳密な一致は困難なもの、ヨシの植生密度の高い地点  $x_m$  の水際への移動が表現されるなど、全体として実測値との相関は良い。また、図 2-15 は上記パラメータに基づいて計算した 4.5km 地点における平均植生密度  $N_{ave}$  の経日変化である。なお、 $D=0.2$ ,  $u=0.05$  は一定のまま、 $r$  を 2 通り ( $r=0.02$ ,  $0.03$ ) に変化させて比較した。実測データに基づく算出値の変動がやや大きいものの、 $r=0.02\sim 0.03$  で大凡表現可能といえる。また、 $r=0.03$  の計算結果のうち、0~120日目までを直線回帰してもとめた勾配は 0.05 (本/0.25 $m^2$ /day) となり、図 1-9 の調査対象区間全体の増加速度 0.048 とほぼ一致した。以上の結果から、式(1)に基づく差分式(3)を用いた後のモデル計算には、 $D=0.2$ ,  $u=0.05$ ,  $r=0.03$ ,  $K=15$  を採用した。

図 2-16 は 4.5km 地点を対象としたヨシの植生密度の時空間変化の計算結果である。図より、初期の密度分布から時間の経過とともに水際への群落密度増加とともに、高水敷全体に広がる様子がシミュレーションされている。次に、水際の境界が変化するとき、植生分布に与える影響について検討した。図 2-17 は水際境界値  $L$  を変化させたときの平均密度  $N_{ave}$  の経日変化である。なお、水際境界が陸側へ移行してくるため、 $u$  は  $-0.05m/day$  と反転させている。図より、ヨシが群落として生育できる区間にはある閾値が存在し、いわゆる最小群落長  $L_c$  が存在する。ここで、平均密度が 1 以下の場合、現実的には生息していないと見なしても良いと判断すれば、図より  $L=9\sim 10$  付近にヨシ群落の生長維持か消滅かを規定する限界値の存在がわかる。このことから、生息域の減少とともに、この限界値  $L_c$  以下になると、内的自然増加率以上の外部流出が平均密度の減少を増長させ、ヨシ群落の消滅を引き起こすと予想される。本計算によれば、河岸工事等でヨシの水際生息場が  $L_c=10m$  に相当する 60% の消失・改変に至る場合には、これをきっかけとしたヨシ群落の消失、いわゆるレジュームシフトの生じる可能性が高い。

### 2-3-3 平成 23 年度実施内容のまとめ

1) 河岸部でのガタ土堆積にとって上げ潮流速減衰期と底層部での浮泥が重要であることを示した。すなわち、傾斜面上に形成された高濃度の浮泥層が上げ潮から下げ潮に転流する前後の遅い流れ場の中で、地盤高の高い領域に高濃度の浮泥の一部が水位低下する下げ潮の流れに追従できずに沈積すること

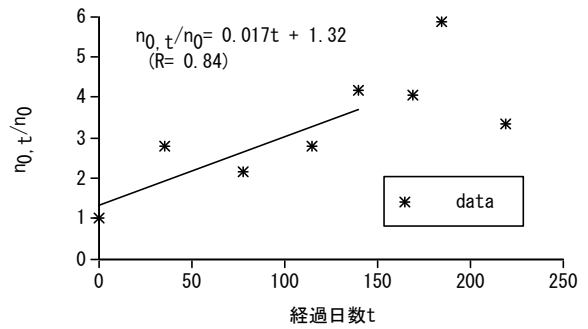


図 2-13  $n_{0,t}/n_0$  の時間変化 (4.5km 左岸)

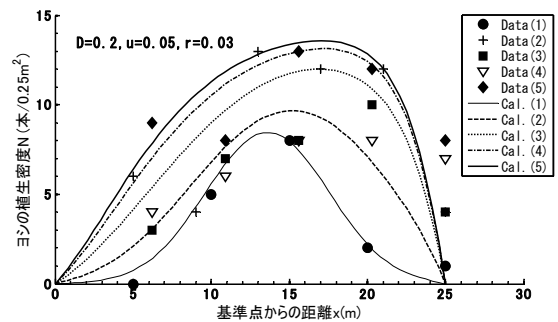


図 2-14 植生密度の実測値と計算結果の比較

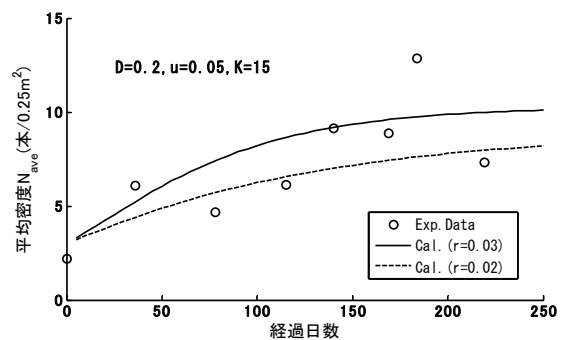


図 2-15 平均植生密度の経日変化

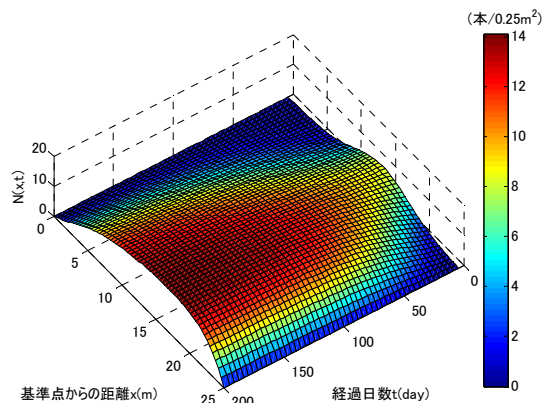


図 2-16 ヨシ植生密度の時空間変化

を明らかにした。

2) ヨシの繁茂域は、平均満潮位を水際端として広く高水敷で生長した。また、ヨシの植生密度は、9～10月頃まで生長し、平衡時の植生密度は13～14(本/0.25 m<sup>2</sup>)で、その生長速度は0.048 (本/0.25 m<sup>2</sup>/day)であった。

3) 遮蔽板によるヨシの生長抑制のための実証実験から、その効果が確かめられた。

4) ヨシ群落の空間的な拡大・縮小に関する数理モデルを構築し、現場データとの比較検討から、拡散係数 $D=0.2$ 、移流速度 $u=0.05$ 、内的自然増加率 $r=0.02$ を決定した。またこれらをもとに、水際境界の影響によるヨシ群落の密度分布を算出し、その生育限界長さが $L=9\sim 10$ mであることを示した。

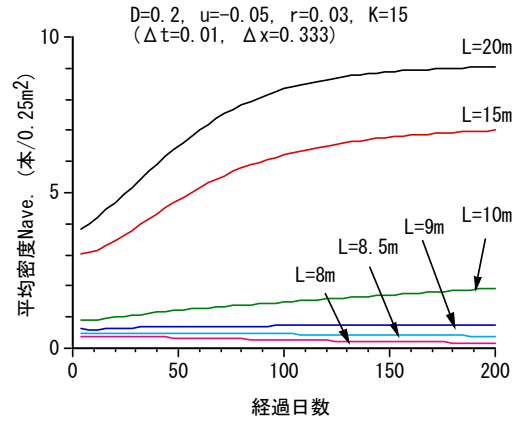


図 2-17 水際境界値 L の変化に伴う平均密度 Nave. の経日変化

### 【最終年（平成 24 年度）の成果概要】

本調査研究の最終年度（平成 24 年度）は、過去 2 年間の調査結果に基づく知見の整理とともに、いくつかの残された課題解決のための調査およびガタ土堆積と植生管理についての考え方をまとめる。

### 3-1 河岸ヨシ群落の生長とガタ土堆積との相互作用について

#### 3-1-1 河岸ヨシ群落の生長とガタ土堆積に関する調査

##### (1) ヨシの植生調査

調査方法は過去 2 年間と同様で、対象区間左岸から堤防沿いに上流側へ 50m おきにライン・トランセクト法によって植生密度を求めた。測定には 0.5m×0.5m (=0.25 m<sup>2</sup>) のコドラートを用い、コドラート内のヨシの地上茎(葉茎)の本数、葉茎径、高さを計測するとともに、ヨシ群落の水際端までの距離を測定した。また、前年度に繁茂していたもの(旧ヨシ)と調査開始後に発芽したもの(新ヨシ)を区別して計測した。

##### (2) ヨシ水際端とガタ土堆積調査

前年度に試みたガタ土堆積とヨシ群落の水際への進行の関係について、定性的な関係を明らかにすることができたものの、十分な観測データの収集ができなかった。これについて、さらなるデータ収集のため、4.5km 左岸と 5.0km 左岸地点のヨシ水際端の位置とガタ土斜面形状を定期的に測定した。また、5.0km 地点では定期的に高所から写真撮影することで、ヨシの水際端の変遷を観察した。

##### (3) ヨシ繁茂域内外の懸濁物捕捉量調査

過去 2 年間の調査では、傾斜面上でのガタ土堆積のメカニズムに主眼を置いた調査であった。最終年度では、さらにガタ土とヨシの相互作用の観点から、より水際での懸濁物輸送に関する挙動把握を試みた。具体的には、高水敷上に繁茂するヨシ群落による懸濁物質の捕捉効果を検討するため、4.5km 左岸部の水際からヨシ群落内数ヶ所にセジメントトラップ(内径:69mm, 全長 620mm)を図 3-1 のように設置した。また、セジメントトラップの開口部は地盤面に合わせた。さらに、水位計データよりセジメントトラップの開口面の冠水時間を求めた。なお、水位計の測定間隔は 1 分とした。調査は、2012 年 12 月 14 日～15 日(大潮)に実施された。設置期間は 2 潮汐とし、前年度同様、セジメントトラップ内の懸濁物量を計測し、これを設置開口部の地盤高に応じた冠水時間と開口面積で除することで SS 沈降フラックスとした。なお、植生の有無による比較検討のため、ヨシ刈り取り域にも同様にセジメントトラップを設置した(図 3-1 参照)。

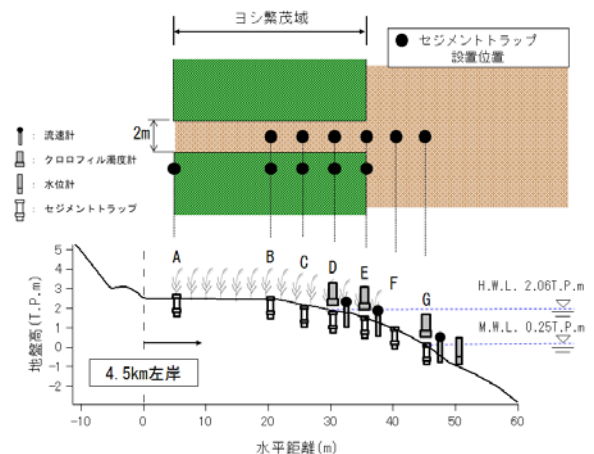


図 3-1 セジメントトラップと各種センサーの設置位置 (2012.12.14～15, 大潮)

#### 3-1-2 調査結果及び考察

##### (1) ヨシの植生密度変化と経年特性

図 3-2 は、測定対象域 (4.5km～5.15km) の植生密度を単純平均した値を過去のデータも含めて経月的に示したものである。図より、ヨシの植生密度は、概して 9～10 月にピークを迎え、その後減少し、

6～8月にかけて消失する。また、1～3月に新芽が徐々に生長するため、生ヨシと枯れヨシが混在する期間は全体としての植生密度が高くなる。なお、2011年はヨシ生長期に「いもち病」が蔓延し、ヨシの植生密度がやや低下した。2012年1月には、調査域のヨシの大半が刈り取られ、さらに植生密度の減少も考えられた。しかし、むしろ4月以降の生長は顕著で9月に平均植生密度 29 本/0.25 m<sup>2</sup>を観測し、過去2年の最大植生密度の2倍近くまでに及んだ。このことは、ヨシ地上茎の刈り取りが地下茎ストレス、あるいは地上茎密度の制約緩和を引き起こしたこと等が考えられ、ヨシ根茎部での植物ホルモンの生理作用を含めた考察が今後必要と思われる。

図3-3は、調査対象とした4.5km～5.15km左岸に繁茂するヨシの総質量を示したものである。なお、ヨシの総質量を算出するにあたり、ヨシの生長のピークとされる9月までのヨシを生ヨシ、それ以降を枯れヨシとした。また、それぞれヨシ1本当りの密度を実測から生ヨシ 0.94 g/cm<sup>3</sup>、枯れヨシ 0.72 g/cm<sup>3</sup>とした。さらに、ヨシ地上茎の平均径、高さおよび植生密度を実測に基づいて算出した。図より、ヨシの総質量は、2012年1月のヨシ刈り取り後に急激に増加していることが分かる。一方で、ヨシ地上茎の平均径と平均高さは刈り取りの有無によって大きな変化はなかったため、この結果はヨシの植生密度に大きく依存すると言える。すなわち、本結果は、定期的なヨシの刈り取りがもたらす有効性とそのトレードオフの関係を示すものであり、高水敷の植生管理を考える上でも重要な結果と言える。

### (2) ガタ土堆積とヨシ群落の水際への進行について

図3-4は、前年度(図2-10)の継続結果で、5.0km左岸地点におけるヨシ群落端の水際への移動距離を示したものである。図より、測定を開始した2011年4月の基準点から更に水際への移動が観測され、2011、2012年ともに10月にヨシ群落の水際への進行が最大となっている。10月以降はヨシ地上茎の生長も低下し、枯れヨシの増加とともに、水際の枯れヨシが流れとともに流出するため、水際進行が見かけ上低下する。また、図3-5は5.0km地点におけるガタ土堆積とヨシの水際端の進行距離の関係を示したものである。なお、単位奥行きあたりの堆積量Sとは、2011年4月24日の地盤高を基準としたガタ土高さの変化から算出される面積量として定義した。これは、前年度調査ではデータ不足のため、その関係性を見いだせなかったものであるが、その後の継続的な調査から、ガタ土堆積に伴うヨシの水際端への進行が明瞭となった。また、ヨシの水際への進行は、ヨシ自身の生長サイクルと相まって10月以降はゆるやかに変化するとともに、水際での流れによる流出や高含水比の地盤による生育困難な環境などから、ヨシの進行距離も平衡に近づくことになる。なお、②→③や⑤→⑥ではガタ土が洗掘されてヨシが進行する期間や⑦→⑧のようにガタ土は堆積してヨシが後退する期間もある。これらは、洪水期のガタ土洗掘やヨシの季節的な生長特性に起因したものである。したがって、このようなトレンドから外れる

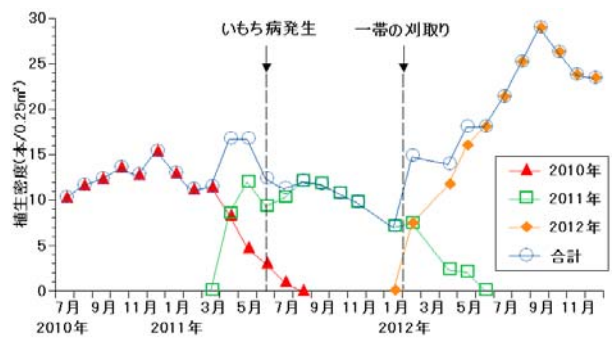


図3-2 牛津川 4.5km～5.15km 左岸部における植生密度の経月変化 (2010.7～2012.12)

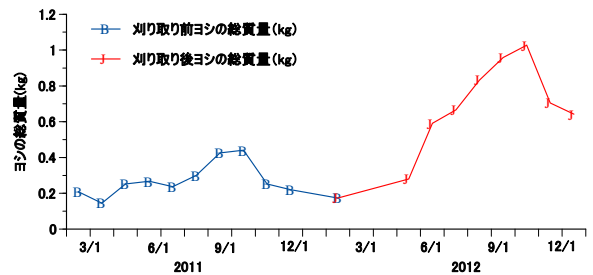


図3-3 牛津川 4.5km～5.15km 左岸部におけるヨシの総質量の経月変化 (2011.2～2012.12)

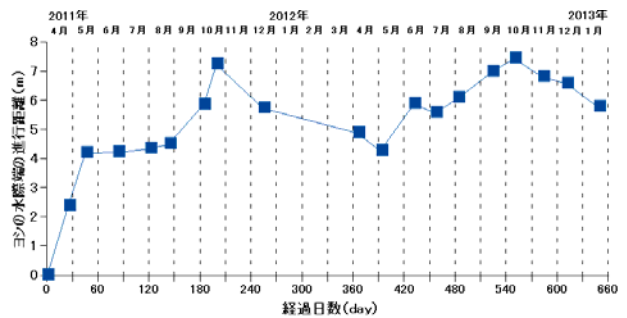


図3-4 牛津川 5.0km 左岸部におけるヨシ群落水際端部の経時変化 (2011.4～2013.1)

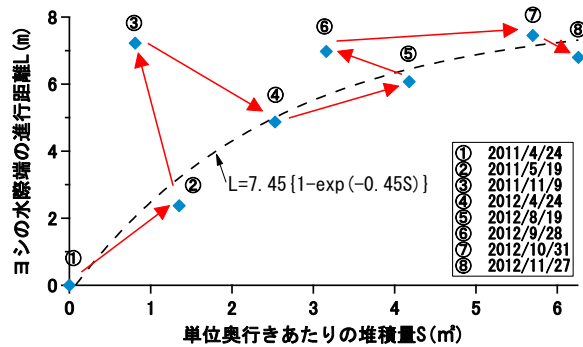


図3-5 牛津川 5.0km 左岸部におけるガタ土堆積とヨシ水際端の進行距離との関係 (2011.4～2012.11)

データを除けば、図中のような傾向でガタ土堆積とヨシの水際進行の関係を示しうる。

### (3) ヨシ繁茂がガタ土堆積に及ぼす影響

図 3-6 は、4.5km 左岸部でガタ土斜面からヨシ群落内に設置したセジメントトラップに収集された懸濁物量から算出された SS 沈降フラックスの結果である。なお、図中の記号は、図 3-1 と対応している。図より、ヨシ水際端に設置した E 地点では、SS 沈降フラックスが  $3.1 \text{ kg/m}^2/\text{day}$  で最大であった。ヨシ群落内部に設置した D 地点では、 $1.8 \text{ kg/m}^2/\text{day}$ 、傾斜面上に設置した F 地点では、 $1.6 \text{ kg/m}^2/\text{day}$  であった。また、ヨシの繁茂していない裸地では、平均満潮位に設置した D 地点が最大となった。従来より、植生による懸濁物捕捉効果は確認されているが、群落内と外縁部において、SS 沈降フラックスの差異を示すことで、水際部でのガタ土堆積が促進する根拠を示す結果といえる。さらに、ヨシ群落の存在による懸濁物の捕捉能を活用し、高水敷への懸濁物流入制御に対する有用な知見を得ることとなった。

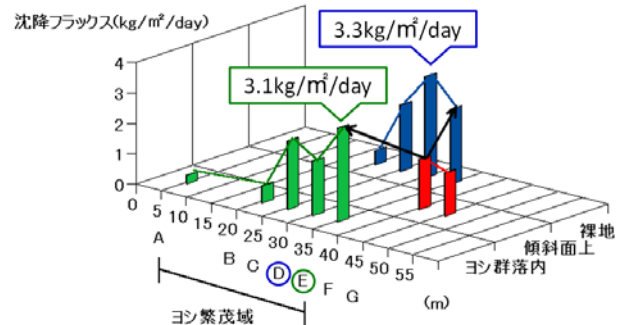


図 3-6 牛津川 4.5km 左岸部における SS 沈降フラックスの測定結果 (2012.12.14~15)

## 3-2 遮蔽板によるヨシ拡大抑制効果の検証

### 3-2-1 調査方法

#### (1) ヨシの生長抑制策と地盤環境調査

栄養繁殖するヨシにとって地下茎の果たす役割は大きい。すでにヨシ地下茎の進行を抑制するため、2011年2月24日に牛津川4.35km左岸高水敷にて、地表から1.2m深さまで挿入した合板材による実証試験区が施工されており(図3-7参照)、今回この一部を撤去し、ヨシの地下茎の生長状況を観察した。用いた合板材は一般にコンクリート型枠(厚み12mm)に用いるものである。

掘削調査は、2012年11月6日に行われ、遮蔽板周辺のガタ土が掘削された。掘削場所は図3-7中の点線で囲った部分で、幅1.5m、長さ10mにわたって深さ1.5m程を重機にて掘削し、ヨシの根入れ深さやその分布状況を観察した。また、掘削横断面2.5m毎に鉛直方向(20cm毎)の土壌温度、塩分、pH、ORPを測定した。また同時に同地点の土試料を採取し、持ち帰った試料から含水比、強熱減量、COD、AVS、全窒素(T-N)、アンモニア態窒素(NH<sub>3</sub>-N)、亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)、硝酸態窒素(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、全リン(T-P)、リン酸態リン(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)を測定した。

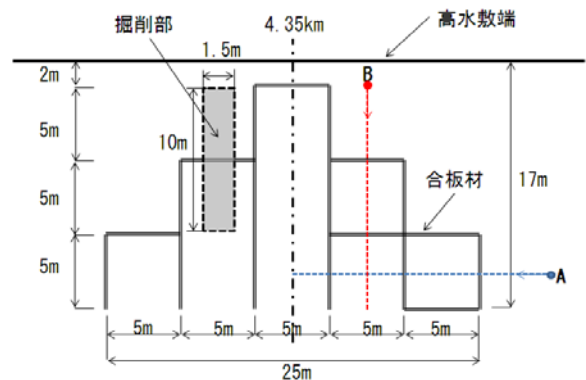


図 3-7 遮蔽板施工区と掘削地点の概略図

#### (2) 貯水トレンチによるヨシの生長抑制調査

遮蔽板設置と同時期に、ヨシの生長抑制策としてヨシが繁茂する高水敷の一部の区域に水深の異なる2つのトレンチ(T1:長さ10m×奥行き5m×深さ0.5m, T2:長さ10m×奥行き5m×深さ1m)を設置した。なお、トレンチによるヨシの生長抑制の検証は、トレンチ内へのヨシの進行状況とトレンチ内の底泥堆積厚等を測定することで判断した。

### 3-2-2 調査結果及び考察

#### (1) 遮蔽板によるヨシ拡大抑制と地盤環境への影響

##### a) ヨシの広域分布とその特性

図 3-8 は、対象域のヨシの植生密度分布を 2012 年 4 月から 12 月まで並べたものである。図より、測定区間内の植生密度は、各測定地点における既往の植生履歴、土壌環境、地盤高等に依存するため、全域が一様な密度変化を示すことはないものの、6 月あたりに植生密度の極大値を示す場所が多かった。また、ヨシの生長期を過ぎると地上茎の生長から地下茎の生長・蓄積に移行するため、植生密度はほぼ

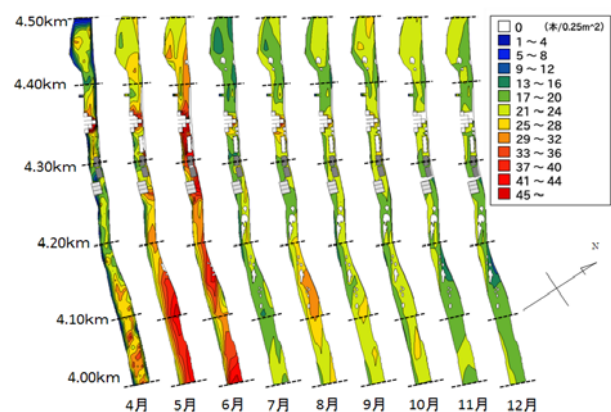


図 3-8 牛津川 4.0~4.5km 左岸におけるヨシ植生密度の経月変化 (2012.4~12)

一定かやや減少傾向となる。

**b) 遮蔽板によるヨシの生長抑制効果**

写 3-1 は、遮蔽板を取り除いた堤防側の鉛直地盤面を撮影したものである。遮蔽板によって、堤防側から水際方向に伸びるヨシ地下茎の進行方向が大きく曲げられている様子がわかる。また、初年度の調査結果同様、水平地下茎は、二層構造で地表から深さ 30cm と 80cm 付近に認められるとともに、この水平地下茎を起点に多数の毛根が鉛直方向に伸びていることも分かった。さらに、地下茎周囲の泥色は褐色で、中空の地下茎が地下深くまで好氣的環境をもたらしていることもわかる。加えて、遮蔽板を突き破るヨシ地下茎は観測されず、むしろ遮蔽板によって強制的に進行方向を変えられ、遮蔽板周辺に集中する傾向にあった。そこで、図 3-7 中の A, B 測線上にて遮蔽板を横断しながら植生密度を測定した。その結果は図 3-9 で、遮蔽板周りでの植生密度の増加が顕著となっている。一般に、水平地下茎は地下茎先端部の茎頂が進行することで広がる「頂芽優勢」状態だが、茎頂が何らかの理由によってその生長を阻害されると地下茎の節に当たる側芽が生長し、地上茎の生長が促進することとなる。したがって、遮蔽板の設置は、茎頂の生長阻害となり、結果としてこの周辺で地上茎密度が高くなったものといえる。そのほか、水際側のヨシの水平地下茎は堤防側に比べて浅く、遮蔽板による分断に起因した地盤環境変化の結果と言える。いずれにせよ、地下茎の延伸方向を遮蔽板により制御・抑制可能であることを示すことができた。

**c) 遮蔽板挿入による地盤環境への影響について**

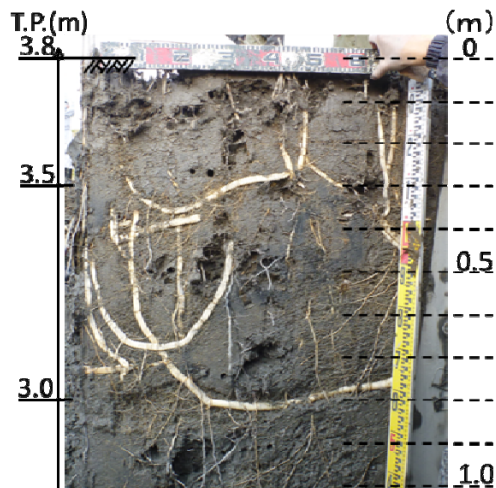
図 3-10~11 は、遮蔽板を境界とした水際側（右側）と堤防側（左側）で測定した物性のうち、ここでは、紙面の都合上、ORP 及び AVS の分布について考察した。

図 3-10 は ORP の分布で、ヨシ地下茎第 1 層が存在する 30cm 深さまで酸化的雰囲気である一方、水際側では表層 10cm 以浅でしかない。地下環境の酸化的雰囲気の維持には、ヨシの地下茎繁茂の維持が重要と言える。したがって、遮蔽板によって分画された地盤環境により、ヨシの生長環境が維持できない場合にはさらに ORP は低下し、好氣的環境はガタ土表層のみとなることが予測される。図 3-11 は AVS の分布で、遮蔽板を境界とする両側とも水産用水基準 0.2 mg/g を超えることはないものの、遮蔽板による海水流入抑制の効果も相まって、堤防側ではかなり低くなっている。

以上のように、遮蔽板によって水際と堤防側で分画されることで、主として海水流入の低下に伴う各種パラメータの変化を引き起こし、それぞれでの底質環境の特性が表れた。今後、海水流入低下に伴う地下水環境の変化、たとえば、K<sup>+</sup>は植物生長の栄養素の 1 つとして重要だが、遮蔽板分画によって陸側への供給が減り、ヨシの生長に影響を及ぼす可能性もある（例えば、図 3-7 中の B 測線上 5-10m 区間の閉区画では、ヨシ密度が明らかに低い）など、水際側の植生密度が遮蔽板によって取り囲まれた区画内外で異なる現象が生じるかについては更なるモニタリングが必要である。

**(2) 貯水トレンチによるヨシの成長抑制効果**

写 3-2 はトレンチ施工後 1 年ほど経過した 2012 年 4 月 5 日に撮影されたトレンチ周りの植生繁茂の



写 3-1 遮蔽板撤去時の様子 (2012. 11. 6)

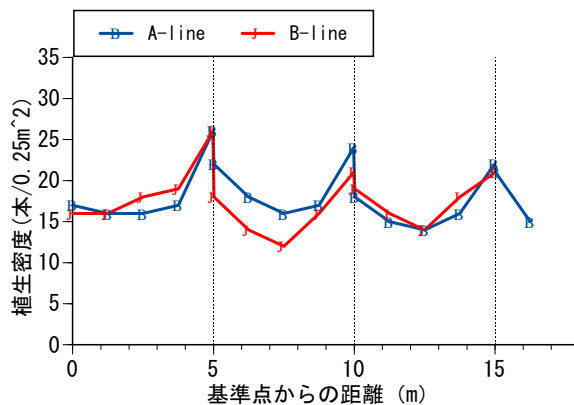


図 3-9 遮蔽板周りの植生密度 (2012. 12. 26)

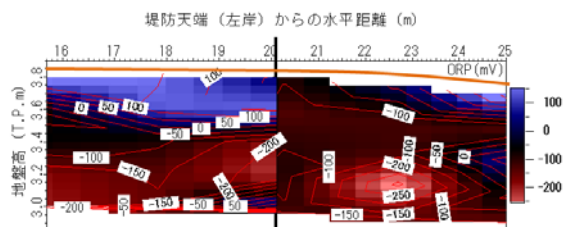


図 3-10 ORP 分布

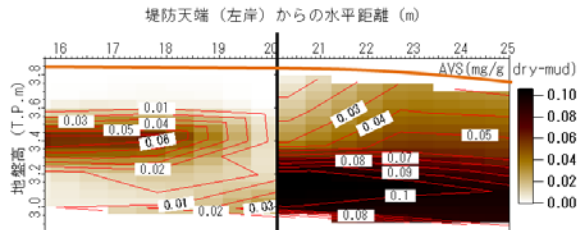


図 3-11 AVS 分布

状況である（左：T1（水深0.5m）、右：T2（水深1m））。水深が0.5mのT1のケースでは、すでに周辺からヨシの侵食が進んでいる。高水敷冠水時に流入するSSは $1\text{kg}/\text{m}^3$ 以上の高濃度で、これが年間を通して何回冠水するかにも依存するが、トレンチ内のガタ土堆積を進行させることとなる。ただし、トレンチ内に流入する懸濁物量はその容積に比例するため、T1とT2の差異はヨシの生長進入を遅延させる点にあるといえる。図3-12はT1とT2での底泥堆積厚を測定したものである。トレンチ内の数点の平均値として求めているが、底面に堆積する浮泥面の検出の困難さも含め、データにばらつきは見られるものの、底泥の堆積する様子がわかる。写3-2の時点でT1は0.1m程度の堆積厚と推測すれば、定性的に0.5m程度の水深の維持がヨシの生長を抑制する一つの目安といえる。



写3-2 トレンチ周辺の様子(2012.4.5, 左：T1, 右：T2)

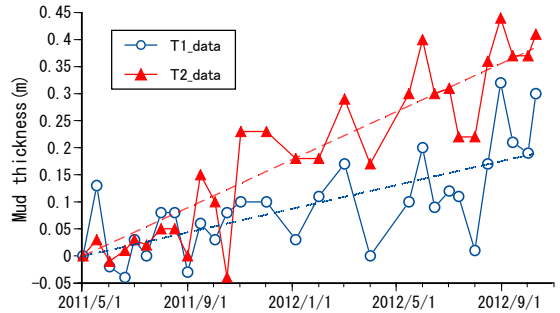


図3-12 トレンチ内の堆積厚変化(2011.5~2012.10)

### 3-3 平成24年度実施内容のまとめ

1) 水際でのガタ土堆積が進行することで、ヨシの水際域への進行も認められた。その結果、ガタ土堆積とヨシの進行距離の関係を明らかにした。また、ヨシ水際部でSS沈降フラックスが極大となるヨシの懸濁物集積特性を示した。

2) ヨシの刈り取りにより、ヨシの植生密度が増加することを明らかにした。この結果は、従来から実施されている定期的なヨシの刈り取りがもたらす流水障害の解消とそのトレードオフの関係を示すものであり、高水敷の植生管理を考える上でも重要な結果と言える。

3) 牛津川高水敷に繁茂するヨシの栄養繁殖の特性から、地下茎拡大抑制策として地盤内に挿入した遮蔽板による効果について検討した。その結果、ヨシの水平地下茎は遮蔽板を突き破ることなく、遮蔽板に沿って生長進行を阻害されていた。水平地下茎の先端部位である茎頂の生長阻害は側芽生長をもたらし、遮蔽板周辺で植生密度が増加することを明らかにした。したがって、遮蔽板はヨシ水平地下茎の制御とともに、植生密度の制御も可能で、これにより懸濁物集積制御としての応用も考えられる。

### ⑦今後の課題・展望

これまでの牛津川感潮域の河岸ガタ土堆積とヨシ生長のモニタリングから得られた成果より、河岸部でのガタ土堆積には水際での高濃度SSの沈降や浮泥流動が重要であることを示した。また、水際に繁茂するヨシがこれらの懸濁物の沈降を促進させる効果を明らかにした。さらに、遮蔽板によるヨシ地下茎および植生密度の制御、そして貯水トレンチによるヨシ生長抑制を示した。これらの結果を踏まえ、高水敷に繁茂するヨシの植生管理の一手法として、図3-13のような遮蔽板とトレンチを組み合わせた現地試験区の施工を提案したい。基本設計は次の通りである。

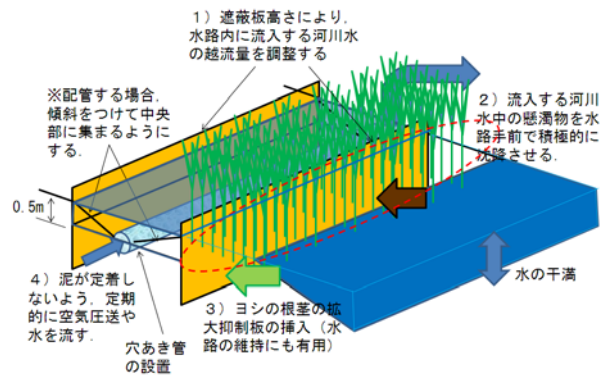


図3-13 ヨシ植生管理のための一提案

①遮蔽板の高さにより水際からの河川水流入量を調整する。②水際にはヨシを植栽し、河川水中の懸濁物をヨシ群落端で沈降させる。③ヨシ後背部に一定深さのトレンチを設置し、ヨシの繁茂を抑制する。この際、トレンチ形状の維持とともにヨシの水平地下茎がトレンチ内に進入しないよう、遮蔽板を地下1.5mほど打ち込む。④トレンチ深さを0.5m~1.0m内で変化させる。また、トレンチ底部に配した穴あき管から、空気あるいは水を圧送してトレンチ内のガタ土沈積を抑制し、浮上懸濁したガタ土を河川本川まで排出させるなどの検討も行う。なお、本施工を行う場合、まず第一に堤防や高水敷の安全性を確保した上で、トレンチの規模を決定する。本提案により、ヨシの植生を制御するとともに、懸濁物の流入を一部残存させたヨシの植生によって制御できる。トレンチ内は独立した生態系も創出可能と言え、河川環境整備としての新たな展開も期待できる。ただし、河川本体と連携した新たな水辺空間創出と河川生態系の保全にも配慮した維持管理については、今後、長期的なモニタリングの必要性もある。