

流水能に及ぼす河岸ガタ土堆積と ヨシ繁茂への対策に関する研究

STUDY ON THE COUNTERMEASURE AGAINST MUD SEDIMENTATION IN
RIVERBANK AND SPREADING OF *PHRAGMITES AUSTRALIS* AFFECTING ON
A RIVER FLOW

山西博幸¹・松岡由泰²・蓮尾直志³・酒井史⁴

山崎勉⁵・高木耕太郎⁶・川崎裕之⁶

YAMANISHI Hiroyuki, MATSUOKA Yoshiyasu, HASUO Naoshi, SAKAI Fumito,
YAMASAKI Tsutomu, TAKAGI Kotaro and KAWASAKI Hiroyuki

¹正会員 博(工) 佐賀大学教授 低平地沿岸海域研究センター(〒840-8502 佐賀市本庄町1)

²非会員 国土交通省九州地方整備局関門航路事務所工務課(〒802-0001 北九州市小倉北区浅野3-7-38)

³非会員 林野庁東北森林管理局森林整備部(〒010-8550 秋田市中通5-9-16)

⁴非会員 相模原市役所(〒252-5277 相模原市中央区中央2-11-15)

⁵非会員 工修 国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所(〒849-0918 佐賀市兵庫南2-1-34)

⁶非会員 国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所(〒843-0023 武雄市武雄町昭和745)

In the Ushizu river, high suspended sediment concentrations can be often realized under normal conditions because of a strong tidal difference. Such a high concentration sediment transport causes a large mud accumulation in the riverbank. It will make a big problem of a river cross-section closure and prevention of river flowing. Also, the mud sedimentation may be accelerating the growth of a wide spreading of *Phragmites australis* in the river bank.

The purpose of this study is to survey suspended sediment transport, the behaviors of fluid mud, sediment flux and try to control the growth of *Phragmites australis* in the Ushizu river. As a result of field surveys, mud sedimentation rate was about 1mm/day during non-flooding term. In addition, sedimentation near the waterline is strongly related to acceleration to waterside intrusion of *Phragmites australis* and the average rate of intrusion progress was about 2.6cm/day though it depends on the step of the growth of *Phragmites australis*. Finally, the effectiveness of a new vegetation control system for the spreading of *Phragmites australis* was shown.

Key Words: Tidal river, Field survey, Fluid mud, Settling flux, Vegetation control

1. はじめに

有明海湾奥部に位置する流入河川の多くは、河道内に“ガタ土”と呼ばれる粘着性堆積物が広く堆積するため、河道断面確保に苦慮している。また、ガタ土とともに、高水敷に広く繁茂するヨシも流水能の低下やガタ土堆積促進を引き起こすと考えられている。

著者らは、昨年度から牛津川感潮域の一部河岸にてガタ土堆積のモニタリングを開始し、その結果、水際で特に懸濁物の集積と沈降が促進されやすいとの仮説を導いた¹⁾。また同地点で実施した地下茎分布調査から、ヨシ群落の生長拡大にとって地下茎の果たす役割やその拡大制御にヨシの根入れ深さを考慮する重要性を示した。

本研究では、昨年度の調査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、①ガタ土堆積の長期かつ広域的な観測、②傾斜面上での懸濁物輸送、浮泥流動および沈降フラックスの観測、③ガタ土堆積とヨシの水際進行について検討した。これらの結果から、ガタ土堆積メカニズムについての知見を得るとともに、ヨシの生長も加味した両者の相互作用について検討する。さらに、昨年度の考察に基づくヨシ植生の拡がりを抑制する方策の実証試験とその効果を示す。

2. 調査方法

(1) 河道内ガタ土堆積の長期変動調査

牛津川は、佐賀県のほぼ中央に位置し、低平地である佐賀平野を蛇行・南下しながら、河口の住ノ江で六角川と合流し有明海へと流れ込んでいる。ここでは、ガタ土堆積の変動状況を把握するため、広域的な視点と局所的な視点のもとで調査を行った。まず、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、これらを月2回の大潮・干潮時に読み取った。標尺設置は昨年度の成果¹⁾に基づいて、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とした。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。次に、局所的な視点では、昨年度に引き続き、4.5km左岸部でのガタ土堆積を長期的にモニタリングした。モニタリングは広域調査と同様に標尺を用い、これを4.5km左岸斜面上に設置した(図-1参照)。本調査は昨年から引き続くものであり、2010年8月20日の初期設置時の標尺値を0としている。

(2) 傾斜面上での懸濁物質の挙動に関する現地調査

ガタ土斜面上を流動する懸濁物の挙動を把握するため、ガタ土堆積の長期モニタリングとともに、同地点のL2測線上に2次元電磁流速計(旧アレック電子社製、COMPACT-EM)、クロロフィル濁度計(旧アレック電子社製、COMPACT-CLW)、水位計(旧アレック電子社製、COMPACT-TD)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。調査①(2011年10月26日(大潮)～10月27日(大潮))ではP1～P3に、調査②(2012年1月9日(大潮)～1月10日(大潮))ではP3～P5に、調査③(2012年1月27日(中潮)～2012年1月28日(中潮))ではP1-2間～P4-5間にそれぞれ各センサーを設置した。また、傾斜面上への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^φ)を設置した。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設置高さを調査毎に変化させた。具体的には、調査①では、P2地点の底面と底面から10cmの位置に設置し、調査②ではP2地点に加えてP4地点の底面と底面から10cm、20cm、30cmの位置に設置し、調査③では、P2地点の底面と底面から10cm、20cm、30cmの位置、P4地点の底面と底面から10cm、20cm、30cmの位置に設置した。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(37.39cm²)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0.45μmのメンブレンフィルターでろ過した河川水を満たし、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を防いだ。

(3) 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

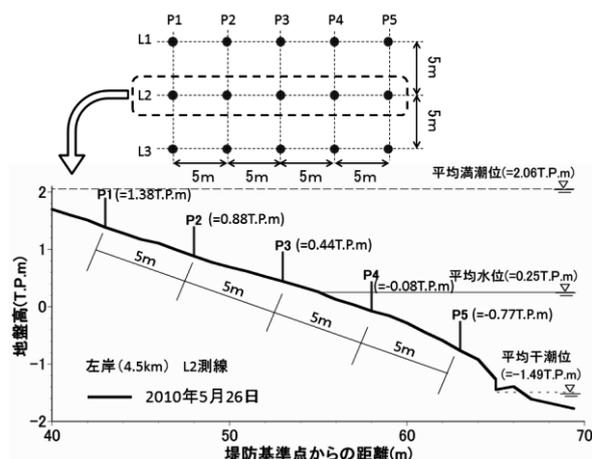


図-1 ガタ土斜面上における標尺設置位置

調査対象域とし、昨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。そのため、昨年同様4.5km～5.15kmの左岸の対象区間を流路方向25m毎に河岸横断方向の測線を設定し、植生密度を測定した。調査は2011年2月よりほぼ毎月行われた。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。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。

(4) ヨシの拡がりとその抑制策に関する調査

ここでは、ヨシの拡がりとその抑制策の検討を行うため、前節とは異なる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ている。対象域でのヨシの拡がりを評価するため、ヨシの植生密度を長期にわたって観測した。調査は、ヨシ伐採完了1カ月後の2011年4月から概ね1ヶ月毎に行われた。また前節同様、河川縦断方向25mおきに測線を設定し、横断方向に4～5か所の植生密度を測定した。植生密度およびヨシの水際境界位置も前節同様の手法で測定した。さらに、昨年度の成果¹⁾より、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。

3. 調査結果及び考察

(1) 牛津川河道内広域のガタ土堆積の分布状況

図-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をもとに、各地点のガタ土の堆積速度を示したものである。図中の地図上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。ただし、必ずしも流路湾曲内側の堆積速度が大きくなっていない。ここでは、広域的なガタ土の堆積傾向を把握することを目的としており、これ以上の議論はできないものの、測定区間の牛津川の流路の蛇行特性、潮汐の非対称性など、広域でのガタ土堆積を把握する上で単に標尺の設置位置に依存したためかなど、今後数値計算を含めた検証が必要と言えよう。

(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-3は、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。ガタ土基準面は2010年8月20日とした。降雨等の影響で不規則な挙動を示す期間もあるが、基本的には年平均水位より地盤高の高い位置では堆積傾向、低い位置では平衡あるいは減少傾向であることがわかる。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1.13mm/day、平均水位より標高が低いP4～P5平均で0.06mm/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でおよそ2ヶ月で30～40cmのガタ土が流出されている。ただし、非洪水期に入ると平均水深よりも地盤高の高い位置では、再びガタ土の堆積が進行し、洪水期での堆積高の低下はあるものの、標尺設置の2009年8月末から比較して、正味、堆積高は増加している。また、平均水位以下の堆積高の低下を差し引いても、水際から進むガタ土堆積と断面の狭小化が推測できる。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、河川管理上、ガタ土対策の必要性を示している。

図-4は調査①における水位、SSの時系列変化である。また、図-5は調査②における水位、SSおよび流速の時系列変化である。両図より、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。なお、調査①では流速計データが欠測したものの、調査②、③から急激なSS沈降が生じる限界流速としておよそ0.13～0.15m/sであることを確認している(図-5参照)。

図-6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分が最大値を示し、大潮時にあたる調査①、②ともに平均水位よりも地

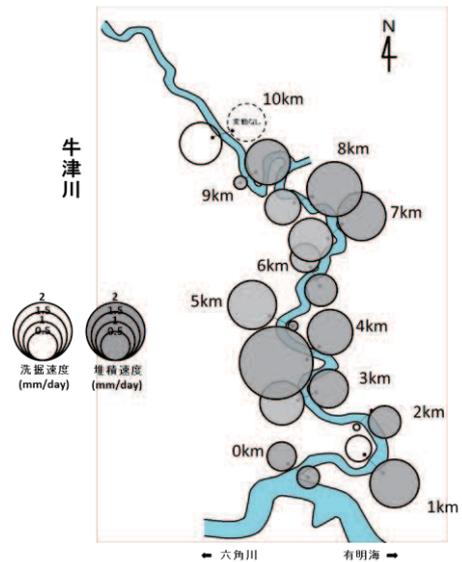


図-2 牛津川広域ガタ土堆積速度分布

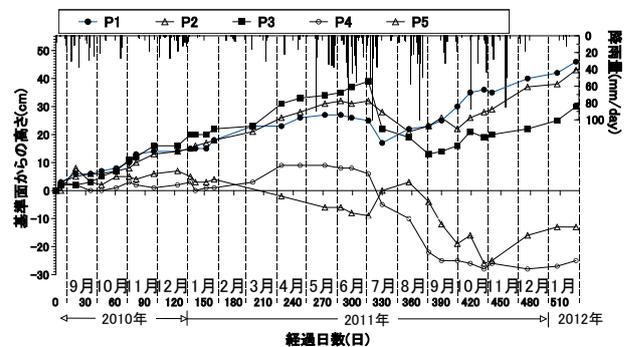


図-3 L2測線でのガタ土堆積変化

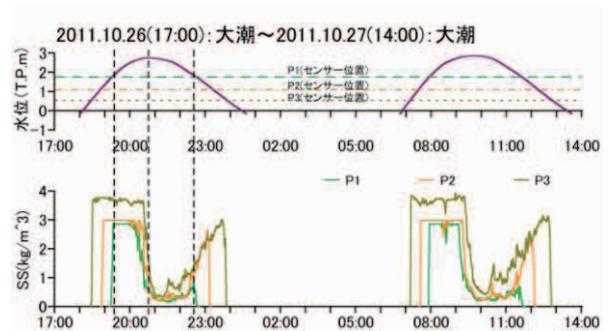


図-4 水位、SSの経時変化 (調査①)

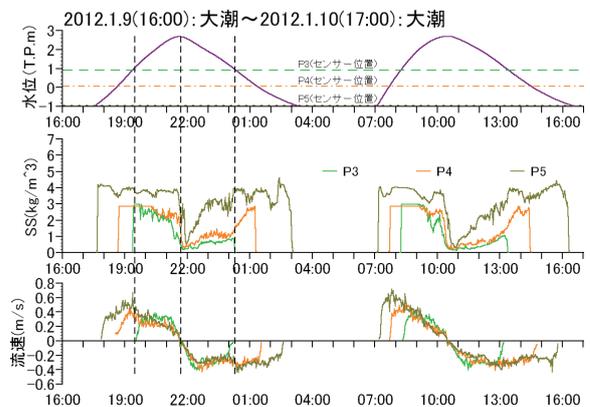


図-5 水位、SS、および流速の経時変化 (調査②)

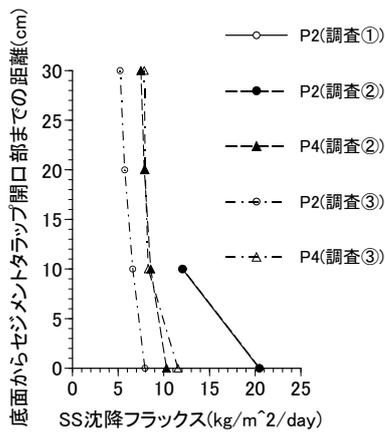


図-6 セジメントトラップ開口部設置高の違いによる沈降フラックスの比較

盤高の高いP2地点での沈降フラックスが $20.5 \text{ kg/m}^2/\text{day}$ で、底面より10cm高い場合 ($12.1 \text{ kg/m}^2/\text{day}$) のおおよそ2倍となった。調査③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 $11.5 \text{ kg/m}^2/\text{day}$ となった。つまり、P2地点では潮時に依存したSS沈降特性を有する。特に、大潮での水際へのSS輸送負荷は大きい。なお、セジメントトラップにより算出された底面での沈降フラックス F_d を見かけ密度 ρ^* で除することで堆積厚を概算することができる²⁾。いま、沈降フラックス F_d として $20.5 \text{ (kg/m}^2/\text{day)}$ を用い、ガタ土表層の含水比を200%とすれば、1日あたり4.9cmの堆積となる。ガタ土斜面上の長期モニタリングから割り出される1日あたりの堆積厚がおおよそ1mmなので、浮泥も含めた沈降フラックス量の2%程度が斜面上に残留・沈積すると言える。ただし、粘土粒子群の圧密を考慮するとその割合はもう少し大きく数十%になるといえる。さらに、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-7は調査③の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。横軸の移動距離は、ADCPを移動させた基点からの距離を示している。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く様子が見て取れる。また、P1-2地点のSS変化から、同時刻(11:00~12:00)にSSが 2 kg/m^3 から 1 kg/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-8参照)。

以上から、水位昇降を有する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形成の重要性が明らかとなった。また、ガタ土堆積メカニズムとして、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を明らかにした。これらの調査事実及び考察からガタ土

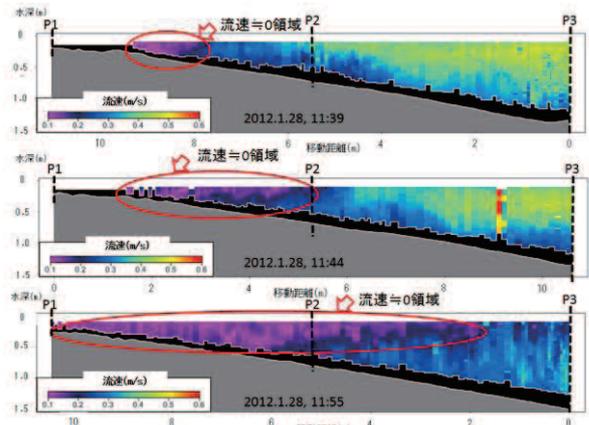


図-7 ガタ土斜面上での流速分布(調査③)

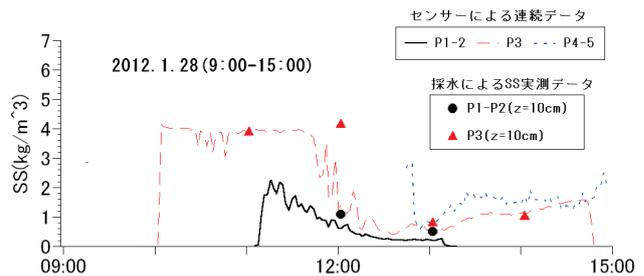


図-8 底面付近でのSS変化(調査③)

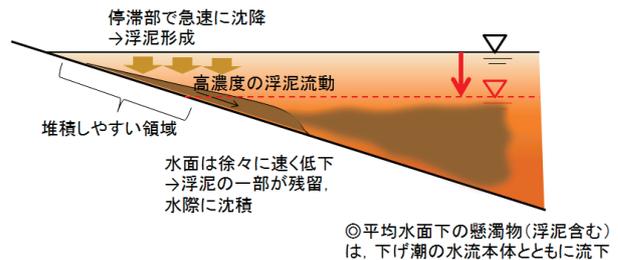


図-9 ガタ土堆積メカニズムのイメージ

堆積メカニズムをまとめると、図-9のようなイメージ図となる。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かがポイントといえよう。よって、高濃度のSSを沈積させないための乱れの生成が必要で、今後、仮想的なモデルケースをいくつか提案し、その有用性について検討する予定である。

(3) ヨシの分布状況の変遷

図-10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 $11.4 \text{ (本/0.25 m}^2)$ 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 $16.7 \text{ (本/0.25 m}^2)$ (旧ヨシ; $8.2 \text{ (本/0.25 m}^2)$, 新ヨシ; $8.5 \text{ (本/0.25 m}^2)$)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った。その際の減少速度は $0.075 \text{ (本/0.25 m}^2/\text{month)}$ であった。

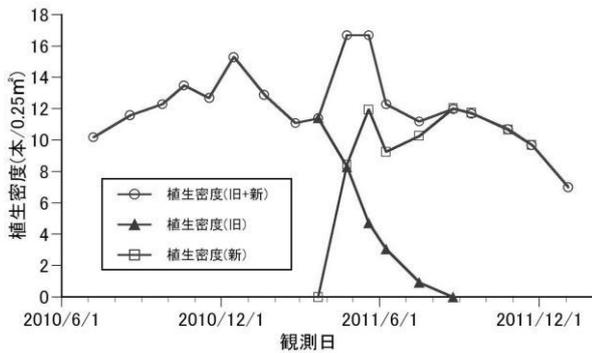


図-10 4.5～5.15kmにおけるヨシの植生密度の経月変化

(本/0.25m²/day)であった。なお、旧ヨシの減少速度は主として河道内流水による影響を強く受けやすく、このような外的要因によっては、ここでの算出値が増減する可能性もある。また、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¹⁾も2011年も9月から10月でその密度は10～11(本/0.25m²)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作業と言えよう。

(4) ガタ土の堆積とヨシの進行

植生密度の調査結果より5km左岸付近の植生密度が高かったが、この区間は河道の湾曲部の内側にあたるため、流速も遅くなる傾向にあり、ガタ土が堆積しやすい。

図-11は2010年5月21日と11月9日における4.5kmと5.0km左岸の断面変化を示したものである。図より堆積が促進された場所の単位奥行き当りの土量体積を算出した結果、5ヶ月間の土量の増加量は、水路直線区間にあたる4.5km左岸で6.96(m³/m)、5km左岸で11.04(m³/m)となり、5.0km左岸地点は4.5km左岸地点の1.6倍程となった。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。また、写-1は2011年5月18日、11月22日および2012年1月28日の5.0km左岸付近の写真を合成し、比較したものである。これらの写真比較から水際端部でのヨシの進行の様子が読み取れる。とくに、5km測線上において5月18日から11月22日までの約6ヶ月間にヨシ植生繁茂の水際端が4.85mだけ水際へ移動していた。この移動距離から日平均進行速度を計算したところ、2.6cm/dayとなった。なお、2012年1月28日の写真ではヨシの水際端が陸側へ後退していた。これは、ヨシの立ち枯れに伴い、水際の流水に耐えられないヨシが流出した結果である。一方、図-12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

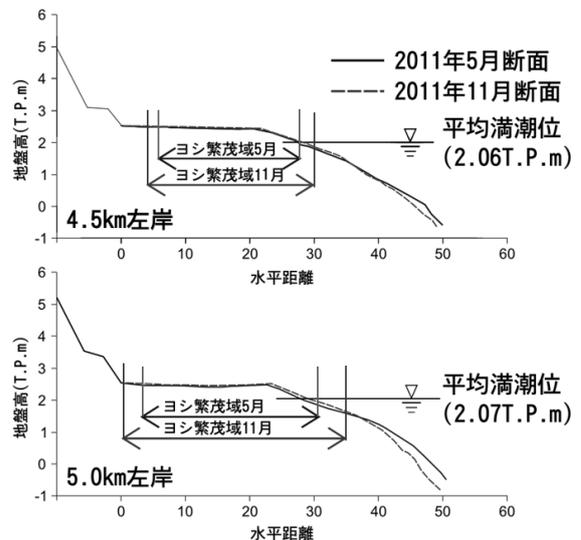


図-11 5.0km左岸部の断面変化とヨシの進行



写-1 ヨシ水際端の変遷(4.95～5.00km 左岸)

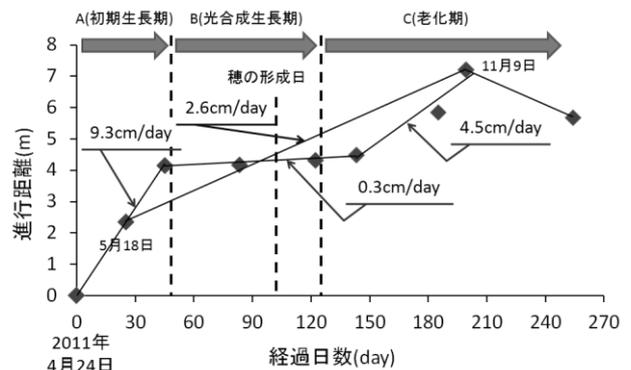


図-12 5.0km 左岸におけるヨシ水際端の移動特性

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。このことから、先に求めた進行速度2.6cm/dayはこれらの期間の平均的な値といえる。今後、ヨシの生長モデル³⁾から高水敷での広がりや数理モデルで予測する際に必要となる地下茎を主体とするヨシの拡がりやを評価する上で貴重なデータとなった。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、田中ら⁴⁾が示した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

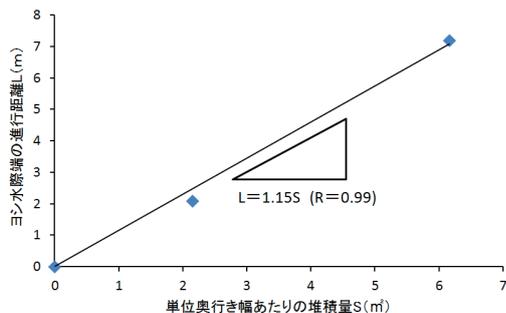


図-13 5.0km 左岸におけるガタ土堆積とヨシ水際端の移動距離との関係

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。

図-13は、5.0km左岸におけるガタ土堆積とヨシ群落端の水際進行距離との関係を示したものである。ガタ土堆積量の指標として2011年4月24日の地盤高を基準として、2011年5月25日と2011年11月9日のガタ土面から堆積増加分の面積量を算出し、これを単位奥行き当たりの堆積量とした。その結果、ガタ土堆積とヨシの水際進行の相関が示された。なお、必ずしも多くのデータとは言えず、今後も継続した調査とその相関の定式化も必要と考える。

(5) ヨシの広がり抑制策とその効果

既往の成果より、栄養繁殖を主体とするヨシの生長拡大にとって、地下茎の果たす役割は大きく、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¹⁾。ここでは4.35km地点に1.2mの深さまで埋設した遮蔽板（ベニヤ板）を設置した結果、図-14のように遮蔽板周りでの植生密度が顕著に大きくなった。これは、ヨシの地下茎進行が遮蔽板により妨げられた結果として、植生密度の集中が生じたためといえる。写-2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、ヨシの進行抑制がよくわかる。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たものの、一部残留した根茎から周辺ヨシの侵入とは別の形でヨシの繁茂が8月以降目立ち始めた。しかしながら、洪水期の数ヶ月の抑制効果のみを対象とするならば、有用な抑制工法といえよう。今後は、効率的な遮蔽板の配置やガタ土堆積抑制策も加味した実用的な運用法について検討を進めたい。

4. おわりに

本研究では、河岸部でのガタ土堆積によ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を明らかにした。

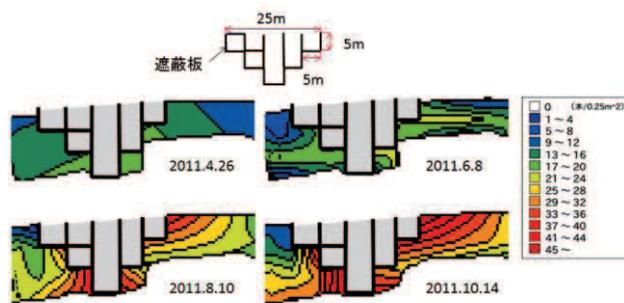


図-14 遮蔽板周りのヨシ植生密度の経月変化



写-2 遮蔽板周りのヨシの繁茂変化

今後は、これらの調査結果に基づくガタ土堆積のモデル化とともに、長期的及び広域的な視点に立った河川整備につなげていきたい。なお、有明海に河口を持つ河川には、六角川水系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六角川水系のみならず、広く他河川においても有用な情報を提供し、かつ活用が可能な知見と考えられる。

謝辞：本研究は、平成23年度河川砂防技術研究開発公募（地域課題分野）および平成23年度河川整備基金の助成のもとで実施された。また現地調査の実施に対し、武雄河川事務所調査課・佐藤課長および牛津出張所・大場所長ほか関係者にご配慮いただいた。さらに、年間を通した現地調査の遂行には、理工学部都市工学科4年・高致晟君および西村健人君（現：大学院工学系研究科1年）に寄与するところが大きい。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 山西博幸, 白濱祐樹, 山下拓, 北岡嵩規, 濱邊竜一, 高瀬智, 山崎勉: 強混合型河川感潮域での河岸ガタ土堆積と水際植生管理に関する研究, 河川技術論文集, 第17巻, pp. 203-208, 2011.
- 2) 黒木圭介, 徳永貴久, 山西博幸, 荒木宏之: 粗朶掘工による干潟域での懸濁物捕捉効果に関する現地調査, 第44回環境工学研究フォーラム講演集, 第44巻, pp. 143-145, 2007.
- 3) 山西博幸, 山下拓, 北岡嵩規, 白濱祐樹: 河川水際環境の変化がヨシ群落の生息空間に及ぼす影響, 土木学会論文集G(環境), Vol. 67, No. 7, III_133-140, 2011.
- 4) 田中規夫, 浅枝隆, KARUNARATNE Shiromi, 谷本 勝利: 土壌条件が陸側のヨシ *Phragmites australis* の生長に与える影響について, 土木学会論文集, No. 698/II-58, pp. 57-68, 2002. (2012. 4. 5受付)