

# ツルヨシのランナーによる群落拡大が 土砂の移動限界に与える影響

EFFECT OF RUNNER EXPANSION BY *Phragmites japonica*  
ON THE THRESHOLD OF GRAVEL MOVEMENT ON A RIVER BAR

八木澤順治<sup>1</sup>・田中規夫<sup>2</sup>・青木信哉<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 修(工) 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

<sup>2</sup>正会員 工博 埼玉大学工学部助教授 建設工学科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

<sup>3</sup>学生会員 学士 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

The effect of the enlargement of *Phragmites japonica* on the threshold of gravel movement was investigated by field observation at midstream of the Arakawa River. The lateral biomass distribution was simulated by the growth dynamic model of *P. japonica* including their shoot characteristics. The extended width by runner system was about 30 m, almost coincided with the width of the 3 year's plant stand in field. The effect of the plant enlargement on the threshold of gravel movement was evaluated by the lateral distribution of the drag force in relation to the plant biomass. The analysis indicated that the area lower than the threshold of gravel movement becomes exponentially large after 3-5 years with no disturbance even if the initial colonization is scattered.

**Key Words :** *Phragmites japonica*, runner, drag force, biomass distribution, gravel movement

## 1. はじめに

河川に繁茂した植物は洪水時に抵抗となり、流下の阻害や水位上昇に影響を及ぼし、治水的観点から問題となる場合もあるため、過去から数多くの実験や数値解析が行なわれている<sup>1)</sup>。また、植物は流れに与える影響に加え、強い拡大力、繁殖力によって入植した礫河原を占拠し生物多様性を減じるといった問題もある。

礫河原に繁茂するツルヨシ (*Phragmites japonica*) は、洪水時に土砂を捕捉すること、強い群落拡大能力を保有していることにより、砂州の固定化・樹林化促進に大きな影響を与えている。また、ツルヨシなどの草本は、水質浄化機能<sup>2)</sup>や河岸侵食防止機能<sup>3)</sup>を有しているため、盛んに研究が進められている。ツルヨシの特徴として匍匐茎(以後、本研究ではランナーと呼ぶ)によって群落を拡大させるという点がある。群落の拡大によって植物量の平面分布が季節的・経年的に異なるため、粗度状態も大きく異なってくる。

植物と流水抵抗の既往研究において、植物量の時間的変化を考慮して土砂の移動限界を把握している例はあまりない。しかし、ツルヨシのように群落を急激に拡大さ

せるような植物に対しては粗度の時間的変化を考慮することは、砂州の環境の季節変化・中期的変化と洪水攪乱頻度の関係を把握するという観点から重要である。

小川ら<sup>4)</sup>は、ツルヨシのランナーによる群落の拡大に着目し、植物量の季節変化によって平面的な粗度分布の把握を試みているが、拡大によって平面的に分布した植物量が粗度として土砂の移動限界にどの程度影響を及ぼすかに関しては未解明である。また、小川ら<sup>4)</sup>の生長解析は長期的に無攪乱状態で行われており、中州に繁茂するツルヨシが砂被りを受けた場合は想定されていない。しかし、2004年10月に発生した台風23号に起因する洪水により、本研究対象地点において繁茂していたツルヨシは、30 cm程度の砂被りを受け葉茎まで埋没した。

そこで、本研究では、1)砂被り後のツルヨシの再生長特性を把握すること、2)平面的に分布した植物量から相当する粗度を見積もり、ツルヨシの時間的拡大傾向が土砂の移動限界に与える影響を評価することを目的とする。なお、この手法は今後ツルヨシの生理がより一層解明された場合に得られる知見を導入することも同時に目指しているが、早急な利用を考慮し現在までの段階でのまとめという性質を含めたものとする。

## 2. 観測方法および解析方法

### (1) 観測地および観測方法

観測は埼玉県熊谷市の荒川大橋上流約2 km (36°8'N, 139°22'E) の砂礫河原において行った(図-1)．表層，地下50 cm層における砂礫の粒径は，ともに砂質分から粒径20 cm程度の礫であった．また，今回観測を行なったツルヨシ群落内部の平均粒径は1 cm程度であり，土壤栄養状態(T-N)は0.029~0.066 (mg/g)であった．流下方向に20 m，横断方向に7 mのツルヨシ群落で現地観測を行った．本研究では定着から3年以上経過したと考えられる株を群落と呼ぶこととする．

各器官(葉茎，ランナー，地下部)の乾燥重量の変化を把握するために，植物サンプルを採取した．2004年10月に発生した洪水による砂被り以前の植物サンプルは，ランナーの定点観測を実施し，平均的な長さのランナーを有するC3株を1つとC3-2-A株(図-2に経過年数に応じたツルヨシの定義図を示す)を2つの計3つを採取した．定着からの経過年数はその年に定着した株からランナーを辿ることによって把握した．砂被り以後は完全に土砂に埋没した群落内においてサンプリングを行なった．また，ツルヨシ群落内と拡大域において洪水攪乱前後の表層における粒度分布を把握した．

### (2) ツルヨシ生長モデル

図-3に示すように，生活史を表わす生長開始日，従属生長終了日，老化開始日はツルヨシの生活史<sup>4)</sup>や，Kang et al.<sup>2)</sup>によるツルヨシの地上部バイオマス観測値をもとに決定した．また，ランナーの生長開始日および伸張停止日は，2004年の現地観測において，ランナーは5月上旬(127 day)に伸び始め，7月上旬(188 day)にその伸びが止まったことからそれぞれ決定した．また，各器官間の同化産物輸送の概念図を図-4に示す．初期生長期において，同化産物は地下部から葉茎に輸送され，この期間はほとんどの栄養を地下部に頼っている．光合成生長期において，同化産物は葉茎から地下部へ，地下部から葉茎へ輸送される(株における葉茎密度の増加)．ランナー生長期において，同化産物は地下部からランナーへ輸送される．老化期には，地上部に固定されていた同化産物が葉茎から地下部に転流される．

以上のように，各器官(葉茎，地下部，ランナー)間の同化産物の輸送を考慮して，各器官に対してそれぞれ支配方程式を導いた．そして，その支配方程式をもとにツルヨシの生長モデルを構築した．葉茎は粗度特性として，地下部は再生長において，ランナーは拡大に関して，それぞれ重要であると考え，この3種類に分類した．生長モデルは，田中ら<sup>5)</sup>によって提案されたコウボウム平面拡大モデルを基本とする．田中ら<sup>5)</sup>はコウボウムギの生長過程を日当たりのエネルギー収支による常微分方程

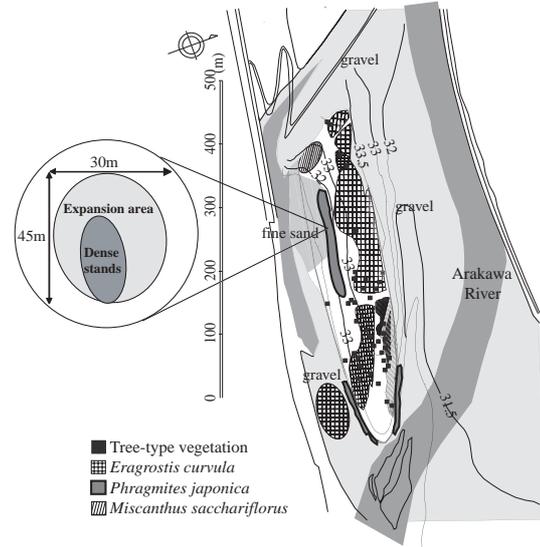
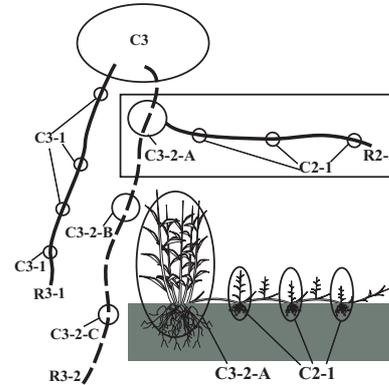
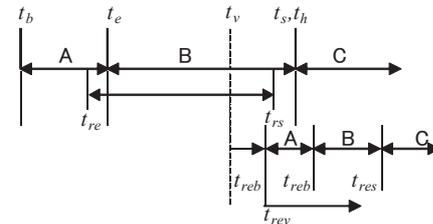


図-1 ツルヨシ群落(36°8'N, 139°22'E)の状況



Notation	Explanation
C3	Older than 3 years, dense stands=DS
Rn-m	m-year-old runner from n-year-old colony (n=2 or 3, m=1 or 2)
Cn-m	colony on the Rn-m runner
C3-2-J	C3-2 means colony on R3-2. For J, A means the runner extended this year, B means no runner expansion this year, C denotes the last year's runner. (there was no expansion this year)

図-2 ツルヨシ各器官の名称分類



項目	記号	値/説明
生長開始日	$t_b$	90 (day)
光合成生長開始日	$t_e$	130 (day)
老化開始日	$t_s$	240 (day)
ランナー生長開始日	$t_{re}$	120 (day)
ランナー生長終了日	$t_{rs}$	220 (day)
再生長後の生長開始日	$t_{reb}$	解析により算出
光合成生長開始日	$t_{rev}$	再生長開始日に依存
老化開始日	$t_{res}$	再生長開始日に依存
芽生長開始日	$t_{reb}$	再生長開始日に依存
砂被り攪乱発生日	$t_v$	条件により設定

図-3 砂被り攪乱を考慮したツルヨシの生活史

式で表現し，横走地下茎による拡大能力を評価した．本研究では，コウボウムギの横走地下茎をランナーに置き換えモデルを構築した．

### (3) ツルヨシの拡大モデル

ツルヨシのランナーによる群落の拡大は小川ら<sup>4)</sup>を参考にした．ツルヨシは2004年4月下旬から2004年7月上旬にかけて，ランナーにより平均7 m程度拡大した（観測地点における平均値）．そのランナー上に約40 cm間隔で地下部を持つ株を形成し，その間に地上部のみの葉茎を生長させた．拡大モデルでは生長モデルで計算されたランナーバイオマス（ランナー上の株のバイオマスを含む）からランナーの本数と長さを計算し，拡大する方向は乱数を発生させることにより表現した．

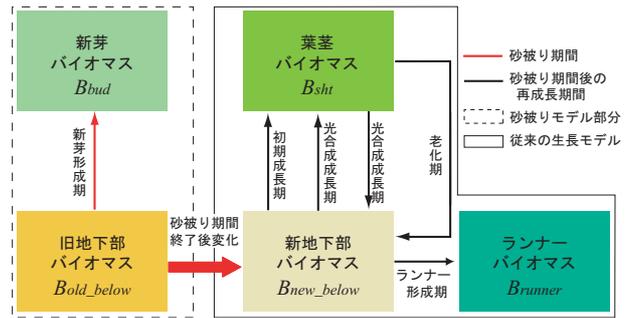


図-4 砂被り攪乱を含めたツルヨシモデルの概要

### (4) ツルヨシの砂被りモデル

2004年10月の洪水により砂被り攪乱を受け埋没したツルヨシは，約30 cmの砂被りを受けた後，埋没した葉茎（旧地上部）や地下部（旧地下部）から出芽し葉茎を形成する．その葉茎は翌年までに枯れ，翌年にはまた新たに葉茎を生長させることが確認されている（図-5）．解析では，砂被り後の再生長によってバイオマスを減少させた旧地下部を，翌年の地下部とすることで砂被りが翌年の生長量に及ぼす影響を表現している．また，砂被りを受けた段階で葉茎バイオマスはゼロとし，新たに芽に関する方程式を式(1)～(3)のように表現した．

$$\frac{dB_{old\_below}}{dt} = -R_{old\_below} - D_{old\_below} - f_{vrhi} \cdot TP_{bud} \quad (1)$$

$$\frac{dB_{bud}}{dt} = -R_{bud} - D_{bud} + f_{bud} \cdot TP_{bud} \quad (2)$$

$$TP_{bud} = k_8 \cdot B_{old\_below} \quad (3)$$

ここに， $B_{old\_below}$ ：旧地下部バイオマス ( $g/0.16m^2$ )， $D_{old\_below}$ ：旧地下部の枯死量 ( $g/0.16m^2/day$ )， $R_{old\_below}$ ：旧地下部の呼吸量 ( $g/0.16m^2/day$ )， $B_{bud}$ ：新芽バイオマス ( $g/0.16m^2$ )， $R_{bud}$ ：新芽の呼吸量 ( $g/0.16m^2/day$ )， $D_{bud}$ ：新芽の枯死量 ( $g/0.16m^2/day$ )， $f_{bud}$ ：新芽のモデルパラメータ， $TP_{bud}$ ：旧地下部から新芽への輸送量 ( $g/0.16m^2/day$ )， $k_8$ ：旧地下部から新芽への輸送率である．図-4は砂被り攪乱を受けた場合の各器官の輸送方向と時期を表している．図-4において，赤線，黒線はそれぞれ砂被り期間中の輸送方向，砂被り期間後の再生長期間の輸送方向を表している．また，旧地下部は砂被りを受ける前の地下部であり，新地下部は解析上では砂被り期間中に呼吸や枯死，出芽を行なった後に残った旧地下部としている．砂被り期間中の旧地下部から芽への輸送率は，砂被りが発生した日(2004年10月21日)以降の計2回(2004年11月17日,12月9日)のサンプリングから算定した．また，老化期の葉茎の枯死率 $\gamma_{sh}$ は葉茎バイオマスの減少分から把握した．芽の生長限界は12月9日の観測において，再生長した葉茎がほぼ枯れている状態であったため12月上旬とした．

### (5) ツルヨシ群落周辺の土砂移動限界

ツルヨシの生長解析から得られる各平面計算格子(グ

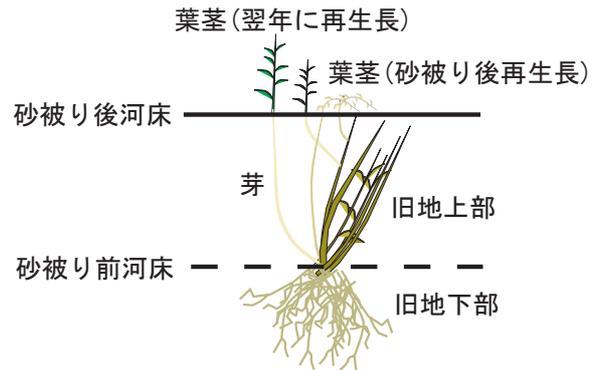


図-5 ツルヨシ器官のイメージ図

表-1 砂被りモデルパラメータ

パラメータ	パラメータの意味	値	単位	備考
$k_8$	地下部から芽への輸送率	0.0024	-	a
$\gamma_{sh}$	老化期の葉茎の枯死率(20)	0.037	$gg^{-1}day^{-1}$	a

a: 実測データを用いて算定

リッド)の地上部バイオマスから1  $m^2$ 当たりの株の個数  $m$  (個/ $m^2$ )を把握した．その際，観測によって経過年数に応じたツルヨシの株直径 $D_c$ ，葉茎高さ $h$ を把握し，それらを用いて1株当たりの体積 $V$ を式(4)より求め，地上部バイオマスと関連付けた．(決定係数 $r^2=0.99$ )

$$V = h\lambda\pi\left(\frac{D_c}{2}\right)^2 \quad (4)$$

ここに， $\lambda$ はツルヨシの体積空隙率であり，現地観測結果から決定した( $\lambda = 0.9$ )．また，ツルヨシの投影面積 $A$ ，ツルヨシが流体に与える単位面積当たりの抗力 $F$ は以下のように算出した．

$$A = D_c h \lambda \sin \theta \quad (5)$$

$$F = m C_d \frac{1}{2} \rho u^2 A \quad (6)$$

ここに， $\rho$ は水の密度( $kg/m^3$ )， $u$ は接近流速( $m/s$ )， $C_d$ は抗力係数であり， $C_d$ は水理実験<sup>6)</sup>より決定し( $C_d = 0.4$ )，その値に葉の影響を考慮すると抗力係数が2.3割増加すること<sup>7)</sup>から0.5とした．また，式(5)の洪水によるツルヨシ

の倒伏角 $\theta$ は、現地において、水深10 cmから1 mの場合にかかる流体力に相当する荷重をプッシュプルゲージ(AIKOH9550A)を用いてツルヨシにかけた結果、およそ $40^\circ \sim 80^\circ$ であったため、平均値である $\theta = 60^\circ$ とした。以上のようにツルヨシの粗度特性を把握し、 $1 \text{ m}^2$ 当りの力のつり合い式を(7)式で与えることによって、各グリッドの底面摩擦速度を算出した。

$$\rho u_*^2 A_0 + F = \rho g H I_e \quad (7)$$

ここに、 $A_0$ は植生を除いた底面積( $=1-m (D_c/2)^2$ ) ( $\text{m}^2$ )、 $g$ は重力加速度( $\text{m/s}^2$ )、 $H$ は水深( $\text{m}$ )、 $I_e$ はエネルギー勾配である。ここで用いた水深 $H$ 、エネルギー勾配 $I_e$ 及び接近流速 $u$ は、細田ら<sup>8)</sup>による一般座標系の平面2次元非定常流れのモデルに植物による抗力項を加え<sup>9)</sup>、荒川の距離標76.0~80.0 kmまでの範囲を解析した結果を用いている。接近流速 $u$ は植生を設定した直上流のグリッドでの計算結果、エネルギー勾配 $I_e$ は植生を設定した直上流及び直下流のグリッドの水面勾配から算出した。 $(H = 0.68 \sim 0.80 \text{ m}, u = 0.90 \sim 1.99 \text{ m/s})$

(7)式より算出した各グリッドの底面摩擦速度 $u_*$ (無植生の場合の $u_* = 0.14 \text{ (m/s)}$ )と、現地の平均粒径1 cmの場合の限界摩擦速度 $u_{*c}$ を比較し、 $u_*$ が $u_{*c}$ を下回る面積を算出した。ここで、ツルヨシ群落内における平均粒径1 cmの場合の限界摩擦速度 $u_{*c}$ は岩垣の式<sup>10)</sup>における粒径が0.303 cm以上の場合の式

$$u_{*c}^2 = 80.9d \quad (8)$$

より求めた。ここに、 $u_{*c}$ : 限界摩擦速度 ( $\text{cm/s}$ )、 $d$ : 粒径 ( $\text{cm}$ ) である。

### 3. 解析結果及び考察

#### (1) 現地観測結果

表 - 2に株の経過年数に応じた葉茎高さ、株直径を示す。葉茎高さ、株直径ともに経過年数が大きくなるにつれて増加していることがわかる。

また、図 - 6に洪水前後のツルヨシ群落内部及びランナー域の粒度分布を示す。洪水前のツルヨシ群落内部、洪水後のツルヨシ群落内部、ランナー拡大域の平均粒径 $D_{50}$ はそれぞれ、1.10 mm, 0.12 mm, 0.26 mmであった。このことから洪水後にツルヨシ群落内部及びランナー拡大域に粒径の細かい土砂が堆積されていることがわかる。また、洪水後のツルヨシ群落内部とランナー拡大域の $D_{50}$ を比較すると密度が高い群落内部にはより細かい粒径が堆積していることがわかる。

#### (2) 砂被り攪乱の有無による生長解析

図 - 7に2年目の株の生長解析結果と現地観測結果を比較して示す。生長期における解析結果は、現地観測結果と比較して妥当な結果が得られたと考えられる。2004年

表-2 ツルヨシ群落の経過年数による各株の特性 (2004年8月10日観測値)

経過年	葉茎高さ $h$ (m)	株直径 $D_c$ (m)	備考
1	$0.25 \pm 0.07$	$0.13 \pm 0.01$	Cn-m
2	$0.51 \pm 0.18$	$0.19 \pm 0.02$	C3-2-J
3	$0.89 \pm 0.08$	$0.29 \pm 0.02$	C3

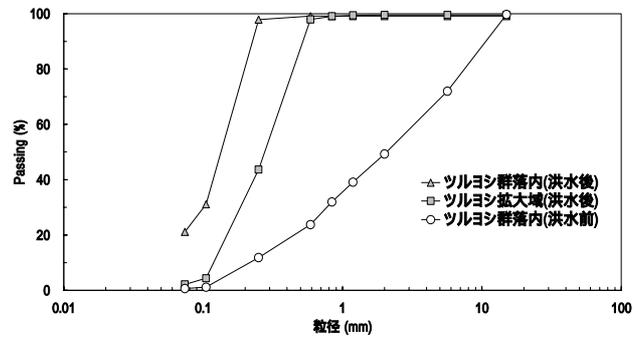


図-6 洪水前後のツルヨシ群落周辺の粒度分布

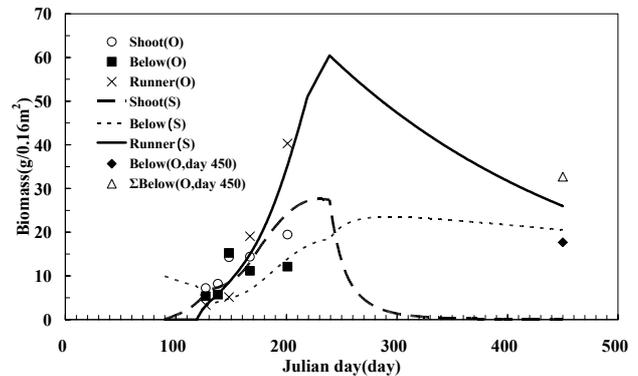


図-7 現地観測と解析結果の比較(無攪乱)

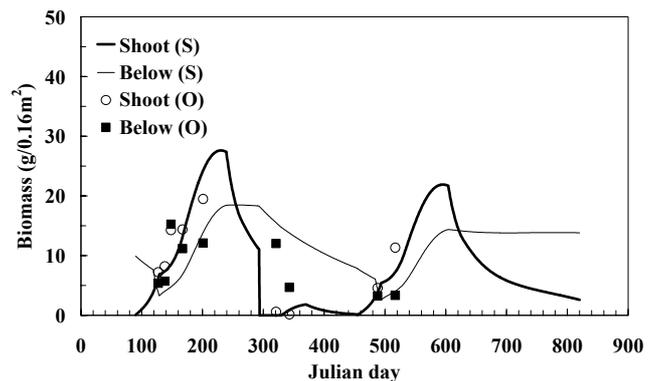


図-8 現地観測と解析結果の比較(砂被り攪乱)

4月12日(102 day)において、3年以上経った株(C3株)の地下部及びランナー上に形成されるすべての株の地下部の乾燥重量がそれぞれ17.7 g, 32.7 gであった。図 - 7において、2年目の株の老化期における地下部乾燥重量は砂被り攪乱によって取得することができなかった。そこで、102 dayにおけるC3株の地下部乾燥重量を2年目の株

の450 day (3年目にあたる)における地下部乾燥重量として示した。また、図-8に砂被り攪乱を受けたツルヨシの生長解析結果と現地観測結果とを比較して示す。砂被り直後の地上部乾燥重量や地下部乾燥重量の評価に課題が残るが、翌年の生長期における解析結果は、現地観測結果を概ね満足していると考えられる。砂被り攪乱が無い場合の解析においても、ある場合においても老化期について、今後、観測結果を加えて、モデルの精度をあげる必要があると考えられる。

### (3) 平面拡大解析

図-9に砂被りなどの攪乱が無い場合の長期的な拡大解析の結果を示す。計算領域は $X, Y$ 方向ともに150グリッドで、1グリッドのサイズは0.4 m×0.4 mである。また、計算条件はツルヨシが水際に沿うように線上に繁茂することを想定し、 $X=70, Y=30-110$ に2グリッド(0.8 m)間隔で10 gの初期地下部バイオマスが入植した場合を想定した。図-9(a), (b)は入植からそれぞれ3年目(200 day)、5年目(200 day)の地下部バイオマスの平面分布を示している。なお、ツルヨシのランナー上の株には、さらにランナーを伸ばすものと伸ばさないものが存在するが、ここではランナーを伸ばす株のみ分布を示してある。図-9より3年目から5年目にかけて、株の密度が急激に増加していることがわかる。また、現地におけるC3株のある群落の拡大域の幅は30 m程度であった。それに対して、平面拡大解析3年目の $X$ 方向の拡大域幅をみると、現地の状況と同様に30 m程度であり、3年目の群落の拡大を概ね表現できていると考えられる。式(7)で示すように株の密度の変化が底面摩擦速度に影響を与えるため、株の密度増加を評価することはツルヨシ群落が土砂堆積に与える影響を把握する際に重要であると考えられる。

### (4) ツルヨシ群落周辺における土砂移動の評価

図-10に砂被りなどの攪乱が無い場合における平面拡大解析結果(図-9)をもとに、入植からの経過年数に応じて土砂移動限界を下回る面積の割合を整理した図を示す。図-10の縦軸に $A_{cri}/A_{con}$ というパラメータを用いているが、 $A_{cri}$ は任意の列の個々のグリッドにおいて、ツルヨシの密度(粗度)変化によって式(6)及び式(7)に記した水理条件から算出される摩擦速度が、現地の平均粒径0.01 mの場合に式(8)によって算出される限界摩擦速度を下回る面積和であり、 $A_{con}$ は各列のコントロールエリア( $X$ 方向グリッド幅× $Y$ 方向対象範囲× $Y$ 方向グリッド幅 = 12.8 m<sup>2</sup>)である。この図より、入植から3年以内のツルヨシのランナーによる拡大域周辺では容易に土砂移動が発生することがわかる。しかし、図-9(a)に示すようにツルヨシ群落は入植3年目でもある程度群落が増大しているにもかかわらず、土砂移動限界を下回る面積が少ない。この理由としては、ランナーによって拡大し定着した株の地上部密度が低いため、限界摩擦速度を下回る程の粗度として働

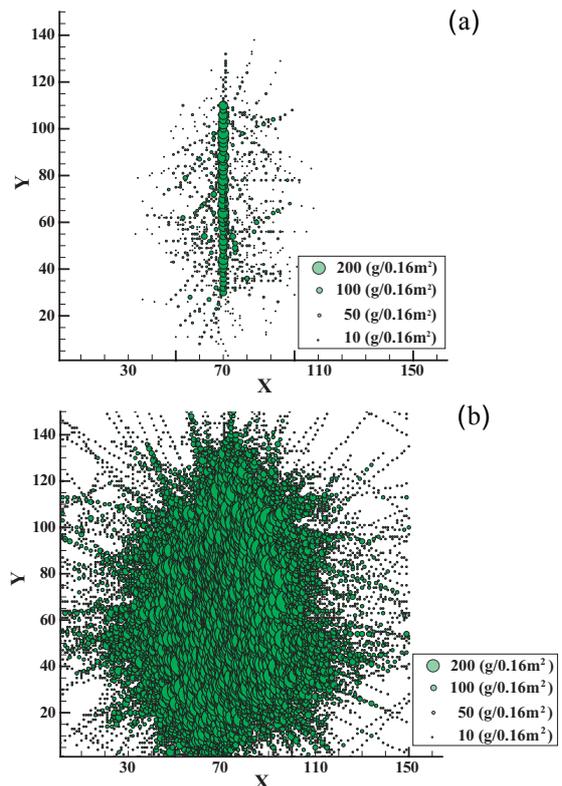


図-9 平面拡大解析結果 (解析初期条件:  $X=70, Y=30-110$ に2グリッド間隔で初期地下部バイオマス 10 g)  
(a)3年目(200 day), (b)5年目(200 day)

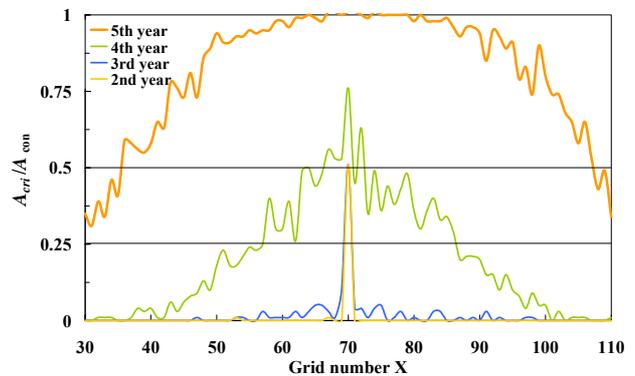


図-10 ツルヨシ群落周辺における限界摩擦速度を下回る面積( $A_{cri}$ )の割合 ( $A_{con}$ はコントロールエリア)

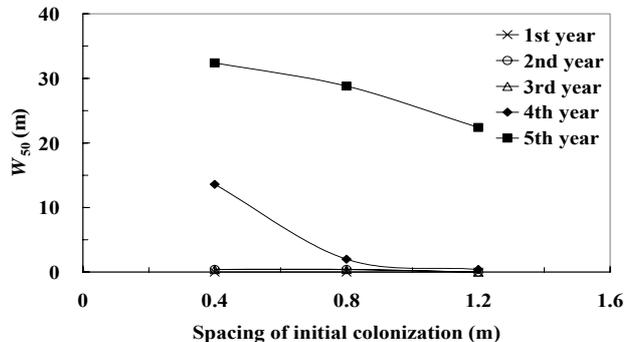


図-11 初期入植間隔の違いによる $W_{50}$ の変化 ( $W_{50}$ は $A_{cri}/A_{con}$ が50%の場合に土砂移動限界を下回る幅)

かないということが考えられる。一方、入植から4年目、5年目に注目すると、ランナーによって拡大し、定着した株の密度が高くなるため移動限界を下回る面積の割合が飛躍的に増加することがわかる。

また、 $A_{cri}/A_{com}$  が25%、50%の場合に土砂移動限界を下回る幅(X方向の距離)を $W_{25}$ 、 $W_{50}$ と定義すると、入植から4年目においてはそれぞれ30グリッド(12 m)、10グリッド(4 m)となる。しかし、入植から5年目の場合、 $W_{25}$ 、 $W_{50}$ はそれぞれ80グリッド(32 m)、60グリッド(24 m)の幅で土砂移動限界を下回ることがわかる。以上より、洪水や砂被りなどの攪乱を受けずにツルヨシが長期間拡大した場合、入植後3年目から5年目にかけて飛躍的に密度が増し土砂の移動限界に大きな影響を及ぼす可能性がある。

#### (5) 入植間隔による土砂移動限界の変化

図 - 10は初期地下部バイオマスの入植間隔を2グリッド(0.8m)間隔にして平面拡大解析を行なった結果であるが、図 - 11には入植間隔を変化させ、入植間隔の違いが $W_{50}$ に及ぼす影響を示している。0.8 mより密に入植したパターンとして入植間隔を1グリッド(0.4 m)とし、0.8 mよりも疎らな状態で入植したパターンとして入植間隔を3グリッド(1.2 m)において解析を行なった。その結果、入植から3年目までは入植間隔によらず土砂移動限界を下回る幅はほぼ無いに等しい状態であるが、入植から4年目になると、密な状態で入植した入植間隔0.4 mのパターンで10 mを超える幅の土砂移動が生じない領域を形成してしまうことがわかる。さらに、入植から5年目になると、入植間隔によらず20 m超の土砂移動が生じない領域を形成してしまうことがわかる。この結果からわかるように、洪水や砂被りなどの攪乱が無い場合、ツルヨシが拡大し、入植から4、5年目に土砂の移動が生じない領域を急激に広げる可能性がある。

## 4. おわりに

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 10月に砂被りを受けたツルヨシは12月上旬まで葉茎を再生させるがそのバイオマスは夏場の最大値の10%弱である。
- (2) 2004年10月に起きた洪水によって砂被り攪乱を受けたツルヨシの砂被り直後の再生特性を考慮したモデルを構築し、翌年の生長期の動態を表現した。
- (3) 無攪乱の場合の平面拡大解析結果から、入植後3年目から5年目にかけて、急激に拡大域、密度ともに増加することが示唆された。
- (4) 無攪乱の場合の平面拡大解析結果より得られた地上部バイオマスから、それに相当するツルヨシの粗度を見積もり、群落周辺の土砂の移動限界に与える影響を評価した。

- (5) 初期入植間隔の違いが土砂移動限界の幅に与える影響を解析した結果、ツルヨシは洪水や砂被りなどの攪乱を受けずに拡大した場合、入植後3年目から5年目に拡大域・密度ともに飛躍的に増加させ、5年目には、ある程度疎らな状態で入植したとしても土砂移動が生じない領域を拡大させる可能性があるということが明らかとなった。

本研究により、ツルヨシの拡大と土砂堆積ポテンシャルの変化がある程度表現できたと考えられる。しかし、ツルヨシが繁茂する比高の礫河原において5年間攪乱がない場合は少ない。今回は砂被り攪乱を受けた翌年(2005年)の老化期のデータがまだ取得できていないことから、平面解析においては攪乱がない場合の傾向を分析した。今年の老化期の観測結果も踏まえ、砂被りモデルを含めた長期拡大解析を行なうことは、今後の課題とする。

謝辞：本研究を実施するにあたり、国土交通省荒川上流河川事務所に資料を提供頂いた。日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究C:代表者 田中規夫)、前田記念工学振興財団平成17年度研究助成金(代表者 田中規夫)の一部を使用した。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) Kouwen, N., Li, R. M. and Simons, D. B.: Flow resistance in vegetated waterways, *Trans. ASAE*, Vol. 24, No. 3, pp.684-698, 1981.
- 2) Kang, S., Kang, H., Ko, D., and Lee, D.: Nitrogen removal from a riverine wetland: a field survey and simulation study of *Phragmites japonica*, *Ecological Engineering*, Vol.18, pp. 467-475, 2002.
- 3) 福岡捷二, 福田朝生, 永井慎也, 小谷哲也, 富田紀子: ヨシを用いた水際保護の研究, *水工学論文集*, 第47巻, pp.997-1002, 2003.
- 4) 小川友浩, 田中規夫, 城野裕介: 河川中州上に繁茂するツルヨシのランナーによる拡大長と生産量の評価, *水工学論文集*, 第49巻(2), pp.1441-1446, 2005.
- 5) 田中規夫, 渡辺肇, 谷本勝利, 小松原肇: 海浜植生コウボウムギの生長及び平面解析, *海岸工学論文集*, 第49巻, pp.506-510, 2002.
- 6) Tanaka, N., Takemura, T. and Shirono, Y., Flow structures and sand deposition behind a colony -type grass on a gravel bar, XXXI-IAHR, pp.2094-2103, 2005.
- 7) 福岡捷二, 藤田光一: 洪水流に及ぼす河道内樹林群の水理的影響, *土木研究所報告*, 第180号-3, pp.9-13, 1990.
- 8) 細田尚, 長田信寿, 村本嘉雄: 移動一般座標系による開水路非定常流の数値解析, *土木学会論文集*, No.533/ -34, pp.267-272, 1996
- 9) Takemura, T. and Tanaka, N., Evaluation of expansion threshold for *Typha angustifolia* in river, XXXI-IAHR, pp.1884-1893, 2005
- 10) 土木学会編: 水理公式集 平成11年度版, p.158, 1999.

(2005.9.30受付)