

洪水攪乱影響の違いがツルヨシの形態的特徴と 繁茂量・拡大幅に与える影響

EFFECTS OF FLOOD DISTURBANCE ON THE MORPHOLOGY,
PRODUCTIVITY AND RUNNER-EXPANSION OF *Phragmites japonica*

青木信哉¹・田中規夫²・八木澤順治³

Shinya AOKI, Norio TANAKA and Junji YAGISAWA

¹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)

²正会員 工博 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)

³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)

The effect of flood disturbance on the morphology of runners, plant productivity and runner-expansion characteristics of *Phragmites japonica* was investigated at midstream of the Arakawa River. The dynamic growth model of *P. japonica* was developed considering the effect of disturbance, i.e., the difference of runner morphology and shoot productivity in the parent colony. The aboveground biomass distribution along the distance from the parent colony was well represented by the model. For analyzing the effect of flood disturbance interval, maximum water levels at three flood events were calculated and evaluated whether the habitat of *P. japonica* were inundated or not. In addition, the threshold friction velocity of the average grain diameter was compared with the friction velocity at the flood event. Although the gravel movement possibility has a little different tendency with the damaged situation of *P. japonica*, the clear relationship between the flood interval and the productivity in each habitat is found. The analysis indicates the possibility to calculate the plant productivity under the effect of flood disturbance.

Key Words : flood disturbance, threshold friction velocity of gravel, *Phragmites japonica*, plant morphology, runner-expansion

1. はじめに

河川上流域に設置されたダム・堰等によって洪水攪乱頻度の低下した高水敷や中州は乾燥化・陸地化し、樹林化が生じている。高水敷や中州が樹林化していく過程の初期段階において、草本類の役割は大きいと考えられている¹⁾。草本類が中州に入植すると、小規模出水時に土砂を捕捉する役割を果たし、中州と低水路の比高差を拡大させる要因となる。

ツルヨシ (*Phragmites japonica*) は洪水時における土砂捕捉能力、強い群落拡大能力を有しており、樹林化進行のパイオニア的植生である。河川に繁茂した植物は洪水時に、侵食・土砂堆積、地上器官の損失などの攪乱を受ける。小川ら²⁾はツルヨシの匍匐茎(以下ランナーとする)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した。八木澤ら³⁾は砂被り後のツルヨシの再生長特性を把握することと、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した。内田ら⁴⁾は攪乱影響を評価するために、異なる

高さでツルヨシの地上部を刈り取る人為的攪乱を与え、ツルヨシが地上部損失を受けた場合の戦略的特性を把握している。その結果、地上部損失が大きい場合にランナーを多く再生させ、新たな群落を形成する傾向にあるとしている。

このように攪乱を受けたツルヨシの生長の相違に関してはある程度知見が得られているものの、自然の洪水規模の違いをツルヨシの生長量に与える影響と関連付けた研究はあまりない。ツルヨシ等の植生に与える洪水攪乱影響は、河道特性等の違いによって場所毎に変化する。そのため、自然の洪水規模の違いがツルヨシの生長量に与える影響を評価することは、各地点の土砂の移動限界に与える影響や、ツルヨシの入植が関連する樹林化等の将来動向を把握するという面で重要である。

そこで、本研究では、荒川扇状地区間において水理的に特徴のある3地点に注目し、各地点の水理的特性の違い(洪水攪乱規模の違い)と、ツルヨシの繁茂・形態特性に与える影響を把握することで、両者を関連づけることを目的とする。

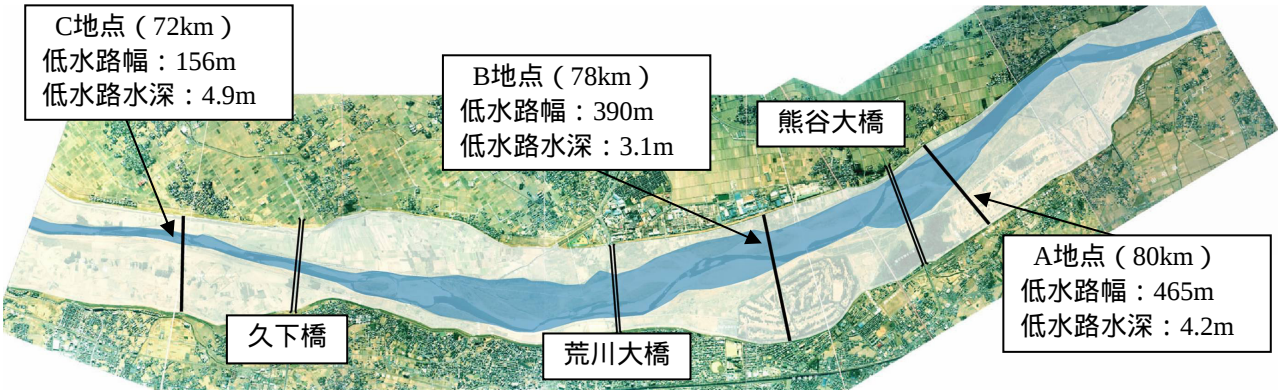


図-1 対象地点の概要（各地点の河口からの距離，低水路幅，低水路水深（低水路満杯時の川幅，最大水深）を示す）

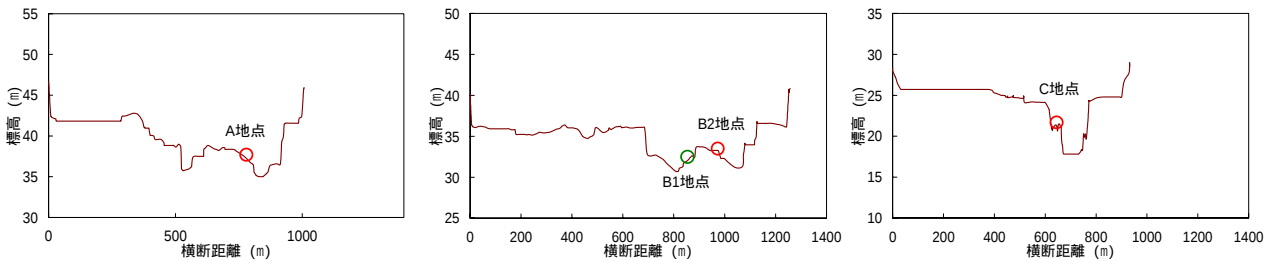


図-2 対象地点の横断面図（左から(a) A断面，(b) B断面，(c) C断面）

2. 観測方法および解析方法

(1) 対象地点概要

荒川は埼玉県・東京都を流れる流域面積2,940km²，幹線流路延長173kmの一級河川である．航空写真と現地調査から解析地点として荒川扇状地区間のA断面：熊谷大橋地点，B断面：荒川大橋地点，C断面：久下橋下流地点を選定した．研究対象植物（ツルヨシ）は低水路に繁茂し，研究対象区間は5～10年確率洪水で高水敷に乗り上げるような区間である．図-1は対象地点の概要（各地点の河口からの距離，低水路幅，低水路水深を示す）を示す．図中の白色は高水敷を，青色は低水路を示す．A断面，B断面，C断面は河口からそれぞれ80km，78km，72km，河床勾配1/375の扇状地区間に位置する．

図-2は対象地点の横断面図で，赤丸はツルヨシ観測と粒度分布採取地点を示す（A，B，C断面における観測地点をそれぞれ，A,B,C地点とする）．B断面に関しては粒度分布を低水路付近（ツルヨシ繁茂域下岸）とツルヨシランナー域で取っているため，それぞれ緑丸（左丸：B1地点とする），赤丸（右丸：B2地点とする）で示している．

(2) 各対象地点における粒度分布調査

各対象地点においてツルヨシの繁茂していた低水路沿いにツルヨシ群落横を基準としてそれぞれ，A断面付近（群落横，200m上流の2点），B断面付近（群落横，200m上流，200m下流の3点），C断面付近（群落横，200m下流の2点）で粒径を2.83，5.66，9.52，19.1，31.7，50，100mmの7つに分類し，各重量を測定して粒径加積曲線をもとめた．また，B2地点ではツルヨシが繁茂している付近は他の地点と

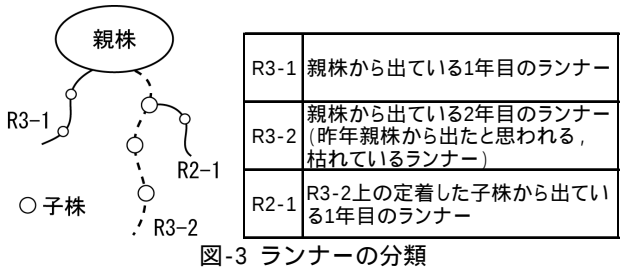


図-3 ランナーの分類

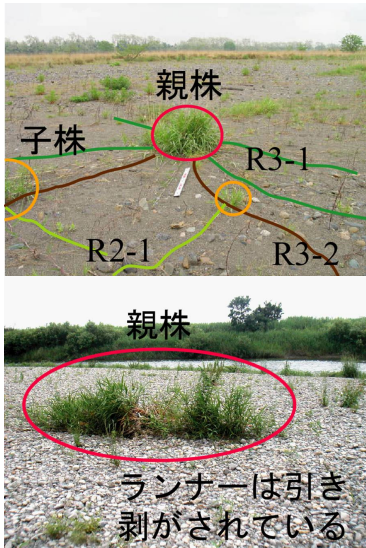


図-4 ツルヨシの繁茂状況（(a) B2地点，(b) C地点）

異なり，河道横断方向の分級が進んでおり，河道沿いよりも細砂分が溜まっている．そのため，ツルヨシのランナー域においても粒度分布を測定した．ここでは，粒径が小さかったため，粒径を0.074，0.105，0.25，0.59，0.84，1.19，2.83，5.66，15mmの9つに分類して測定した．

(3) 対象地点におけるツルヨシの観測

図-3にランナーの分類を、図-4に現地でのツルヨシの繁茂状況を示す。ツルヨシの観測を行うにあたり、各対象地点で繁茂状況やランナーの連結情報に違いが見られた。(図-4(a)のB2地点では洪水後もランナーが流失せず、ランナー上の子株からもランナーを出し繁茂域を拡大している。図-4(b)のC地点では洪水でランナーが剥がれランナー上の子株がなくなっていた。)そこで、親株から出た1年目のランナーをR3-1, 2年目のランナー(昨年親株から出たと思われる、枯れているランナー)をR3-2, R3-2上の定着した子株から出ている1年目のランナーをR2-1と分類した。そして、各地点の拡大の特徴を把握するため、定着から3年以上経過したツルヨシ群落を対象として、全体に占める各ランナーの割合とR3-2上の子株の数を計測した。また、群落中心位置からランナー域の端部までを横断方向に1m間隔で葉茎密度(本数/m²)、葉茎高さ(m)を計測しバイオマスに変換した。3年以上経過した親株のツルヨシの生長の違いを見るため親株の葉茎高さ(m)・葉茎密度、ランナー(R3-1)の長さ(m)・本数(本)を計測した。その際、群落中心位置からランナー域の端部までを横断方向に1m間隔で測定した。

また、以上の観測結果から洪水攪乱影響を受けやすい地点を推定した。

(4) 一次元不定流計算

一次元不定流の連続方程式と運動方程式を以下に示す。

連続方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gA(I_f - i) = 0 \quad (2)$$

ここに、 A : 流水断面積, Q : 流量, h : 水深, i : 水路の底勾配, I_f : 摩擦勾配, 摩擦勾配はManningの式より,

$$I_f = \frac{n^2 Q |Q|}{A^2 R^{4/3}} \quad (3)$$

とした。ここに、 R : 径深とし、Manningの粗度係数 n は山本⁵⁾による荒川の河道特性をまとめた知見から、セグメント1(扇状地)における $n=0.035$ を全断面に与えた。

解析条件は、境界条件として上流端で植松橋水位・流量観測所(85.6km)での出水時の実績流量ハイドロを、下流端では大芦橋水位・流量観測所(68.4km)での実績水位ハイドロを与えた。水位の初期条件は、植松橋水位・流量観測所、熊谷水位・流量観測所(76.4km)、大芦橋水位・流量観測所に対応する断面に、初期設定水位(境界条件で設定した開始時刻における各断面の実績水位)を与え、他の断面には3地点の初期設定水位から線形補間で与

表-1 寄居水位観測所における各年確率洪水の流量

3年確率洪水	1150 (m ³ /s)
5年確率洪水	1900 (m ³ /s)
10年確率洪水	3000 (m ³ /s)
20年確率洪水	5000 (m ³ /s)
50年確率洪水	9000 (m ³ /s)

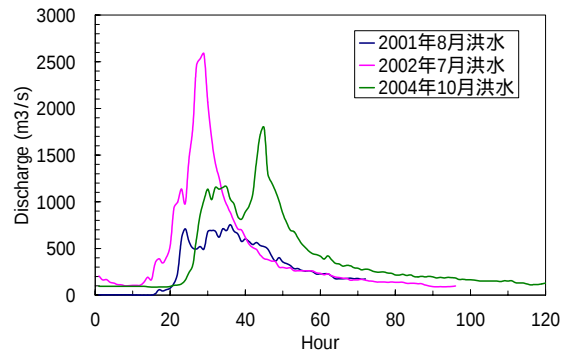


図-5 洪水時流量観測値(植松橋観測所)

えた。各断面は上流端から下流端までを400mピッチで与えた。

解析対象洪水は3年未満確率、3~5年確率、5~10年確率に相当する洪水を選定した。計算上流端である植松橋水位・流量観測所地点での確率洪水流量は、寄居地点での確率洪水流量(表-1)⁶⁾と同等であるとした(寄居観測所と植松橋観測所の流域面積にあまり違いがないことより)。その上で、図-5に示すように、流量ハイドログラフの特徴(洪水継続期間、洪水ピーク流量)が異なる3洪水(2001年8月21~23日洪水, 2002年7月10~13日洪水, 2004年10月8~12日洪水)を解析対象洪水として選定した。

計算精度は熊谷水位・流量観測所における上記3洪水の実績水位ハイドログラフと比較することにより検証した。

(5) 水理計算による洪水攪乱影響の推定

対象地点の最大摩擦速度が中央粒径の限界摩擦速度 u_{*c} を上回る場合、土砂が移動するとした。ツルヨシの植生基盤の土砂が移動したとき、ツルヨシが攪乱を受けると考えた。中央粒径土砂が移動する洪水が何年確率洪水かにより、洪水攪乱頻度を推定した。移動限界を推定する際に使用した摩擦速度 u_* (本研究ではランナー上の子株の流失を考えているため、摩擦速度 u_* に植生の影響を考慮していない。)の式を以下に示す。

$$u_* = \sqrt{gh_i e} \quad (4)$$

ここに、 i_e : エネルギー勾配であり、研究対象地点の砂州の波長が1.2~3km程度だったため、対象地点を中心とした2.4kmの区間でエネルギー勾配をとった。限界摩擦速度 u_{*c} は、岩垣の式⁸⁾における粒径が0.303 cm以上の場合の以下に示す式より求めた。

$$u_{*c}^2 = 80.9d \quad (5)$$

ここに、 u_{*c} : 限界摩擦速度 (cm/s), d : 粒径 (cm) である。

(6) ツルヨシの生長・拡大モデル

ツルヨシの生長およびランナーによる拡大モデルは小川ら²⁾を参考とした。

a) 生長モデル

ツルヨシの生活史²⁾や、Kang et al.⁸⁾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された生長開始日、従属生長終了日、老化開始日に基づく、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た、各器官に対する支配方程式²⁾を基本とし、後述するc)の改良を行った。

b) 拡大モデル

洪水攪乱の影響を受けなかった時期に、現地観測地点のツルヨシは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、そのランナー上に約40cm間隔で地下部を持つ株を形成した²⁾。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²⁾されている。

c) ツルヨシ単体の形態的特性の反映

本研究では、各3地点の生長・拡大の特徴を表現するため、現地観測により得られたツルヨシの全体に占める各ランナーの割合と親株の生長量を生長・拡大モデルに組み込んだ。モデルにおいて、定着した子株が翌年ランナーを出す割合は、R3-2（前年度に親株から出たランナー）上に定着した子株のうちR2-1（定着した子株が翌年ランナー）を出している割合から求めた。現地観測においてC地点ではR3-2が出ていなかったため、毎年子株をリセットすることとした（以下、ツルヨシの生長・拡大モデル改良版と呼ぶことにする）。

d) 解析条件

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×0.4m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。

3. 結果

(1) 各対象地点における粒度分布調査

図-6に対象3地点の粒径加積曲線を示す（B2地点のツルヨシ繁茂域でのデータも参考として示す）。

A地点は主に1.5～9cmの礫で構成されている。中央粒径は6cmと他の地点に比べて大きい。A地点は渓谷部から扇状地区間へと移行する扇頂部分に位置する地点で、流速が速く、上流部から流れてきた粒径の大きい土砂が溜まりやすい地点に位置する。また、A断面は藤田・村本⁹⁾による流路形態の分類によると蛇行流路に分類に分類される区間に位置する断面である。

B1地点は主に1.5～7cmの礫で構成されている。

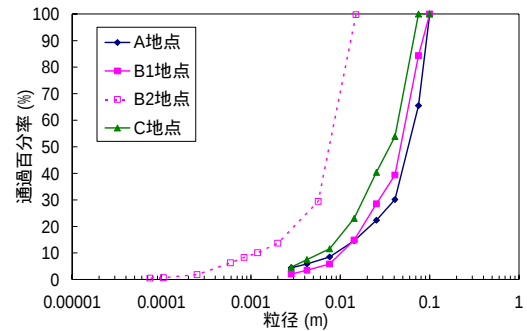


図-6 対象3地点の粒径加積曲線

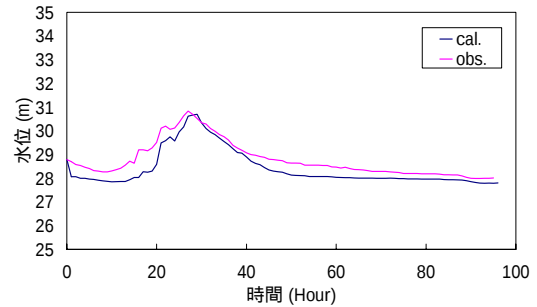


図-7 熊谷水位・流量観測所の水位ハイドロと計算結果（2002年7月10～13日洪水）

表-2 各対象地点のツルヨシの形態的特長（親株の葉茎密度・高さ、R3-1の本数・長さ、3種類のランナーの本数割合、洪水発生頻度を示す）

		A地点	B2地点	C地点
親株の葉茎	密度(本/株)	66.0±21.7	53.3±17.1	22.3±7.2
	高さ(m)	0.65±0.12	0.98±0.02	0.72±0.15
ランナー(R3-1)	本数(本)	2.5±1.7	1.7±2.1	1.6±0.8
	長さ(m)	5.9±2.9	4.7±3.7	5.5±1.8
3種類のランナーの本数割合	R3-1	53%	50%	100%
	R3-2	42%	30%	0%
	R2-1	5%	20%	0%

しかし、ツルヨシが繁茂している付近(B2地点)は河道横断方向の分級が進んでおり、細砂分が堆積していた。中央粒径はそれぞれ、4.9cm、0.8cmである。このB2地点は、洪水時に流速が遅いことと、ツルヨシの繁茂域に水が乗り上げても水位・摩擦速度が低い場合植物が流失するには至らず、減衰期にツルヨシが細砂分を補足しやすい地点と考えられる。また、B断面はA断面と同様に蛇行流路に分類される区間の河道断面である。

C地点は主に1～6cmの礫で構成されている。中央粒径は対象地点の中で最も小さく3.6cmである。これは縦断方向の分級により、粒径の大きいものは上流に堆積したためと考えられる。C断面が位置する河道の流路形態は直線流路2（流路は直線状で砂州は明確に形成されるが、移動が早い地点）に分類される。また、C断面は川幅が狭窄している箇所であり、ツルヨシが繁茂するC地点は洪水時の水深、流速の速い地点でもある。

(2) 一次元不定流計算

図-7に一例として、2002年7月10～13日洪水における熊谷水位・流量観測所の実績水位ハイドロと計

算結果を比較して示す。洪水初期、ピーク後の水位の精度は良くないが、ピーク付近を20時間の幅でSigmaStat 3.1を用い、3洪水について検定をかけたところ、 $P=0.061 \sim 0.254$ の値で有意な差がないという結果になった。本研究では洪水攪乱影響の推定は、対象洪水における計算最大値を用いるため、ピーク付近の精度はあると判断し、この計算結果を用いた。

(4) 洪水攪乱影響を受けやすい地点の推定

a) ツルヨシの形態的特長による推定

表-2に各対象地点のツルヨシの形態的特長（親株の葉茎密度・高さ、R3-1の本数・長さ、3種類のランナーの本数割合、洪水攪乱影響の大小）を示す。

A地点では群落を形成しているツルヨシは少なく、主に株単位で低水路沿いにライン状に繁茂していた。また、各ランナーの割合に着目すると、B地点に比べて、R2-1（ランナー上に定着した株から出る1年目のランナー）の割合が低かった。親株の葉茎高さは低く、密度は高い。以上のことから、このA地点は洪水攪乱影響を受けやすい地点であると考えられる。

B地点のツルヨシは砂質分の堆積した地点に繁茂していた。これは、洪水時に若干水に浸かるものの、土砂移動攪乱は受けずに細砂分が堆積したからだと考えられる。B地点は群落で生えているものが多く、A地点に比べR2-1の割合が高い。親株の葉茎高さ、密度も大きい。群落を拡大させる傾向が強いことから、洪水攪乱影響を受けにくい地点であると考えられる。

C地点はツルヨシ含め植生があまり繁茂しておらず、ツルヨシの繁茂が見られたのは群落を形成しているものだけであった。ランナーの割合のうちR3-2が0%であった。これは、洪水攪乱影響が大きいことが考えられる。現地観測において、群落内のランナーはすべて流下方向に剥がされていた。そのため、枯れているランナーであるR3-2は流失してしまったためだと考えられる。R2-1はR3-2上の子株から出るランナーのため、R2-1も0%である。

b) 水理計算による推定

表-3に各対象地点における中央粒径の限界摩擦速度と各対象洪水の最大摩擦速度の比較を示す（色付のものは最大摩擦速度が限界摩擦速度を上回っているものである）。

3年未満確率洪水に対しては3地点すべて、ツルヨシの植生基盤の土砂は移動しなかった。

B1地点（低水路付近）とB2地点（ツルヨシ繁茂域）を見ると、B1地点では5～10年確率洪水でも土砂が流失しないが、B2地点では3～5年確率洪水で土砂が流失している。B2地点では表層体積土砂の中央粒径を用いており、洪水攪乱影響を推定する際に過大評価になってしまう。ツルヨシの土砂移動攪乱を考える際には、河床を形成している土砂（ツルヨシの根圏付近）の粒径で考える必要がある。そこで、ツルヨシ繁茂域下岸B1地点の中央粒径による最大摩擦速度で判断することとする。よって、B地

表-3 各対象地点における中央粒径の限界摩擦速度と各対象洪水の最大摩擦速度の比較

限界摩擦速度 (m/s)	A地点	B1地点	B2地点	C地点
2001年8月洪水 (3年未満確率流量)	0.220	0.199	0.080	0.171
2004年10月洪水 (3～5年確率流量)	0.133	0.057	0.057	0.101
2002年7月洪水 (5～10年確率流量)	0.217	0.159	0.159	0.191
	0.244	0.184	0.184	0.200

表-4 3地点の洪水攪乱影響の推定結果（まとめ）

	A地点	B地点	C地点
ツルヨシの形態的特長による推定	葉茎高さや、R2-1の割合から、攪乱規模はB2地点とC地点の間	葉茎高さも大きく、R2-1の割合が高いことから攪乱規模は小さい	葉茎密度も小さく、R2-1がないことから攪乱規模が大きい
水理計算による推定	5～10年確率頻度で攪乱を受ける	5～10年確率頻度でも攪乱を受けない	3～5年確率頻度で攪乱を受ける

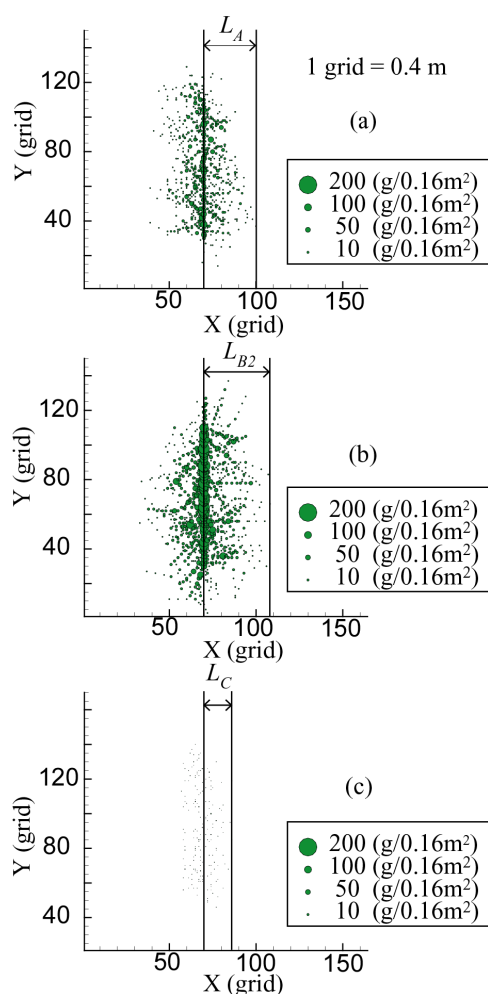


図-8 ツルヨシの繁茂量解析（3年後(930day)）

（(a) A地点、(b) B2地点、(c) C地点）

（ L_A , L_{B2} , L_C は、それぞれA地点、B2地点、C地点の群落中心位置からのツルヨシの最大拡大距離である）

点は5～10年確率でも攪乱を受けない地点であるとした。C地点は3～5年確率洪水のときに攪乱を受けることから、洪水攪乱頻度は3～5年確率とした。A地点は5～10年確率洪水のときに攪乱を受けることから、洪水攪乱頻度は5～10年確率とした。

d) 判定結果のまとめ

表-4に3地点の洪水攪乱影響の推定結果（まとめ）を示す．表-4より，ツルヨシの形態的特長測定による推定と水理計算による推定が符合する結果となった．この様に，洪水攪乱を頻繁に受ける地点では，洪水によりランナーが剥がれ，子株が定着できないため，ツルヨシのランナーの割合に影響を与えることが分かった．また，B2地点のように洪水時に基盤となる土砂が流失しにくいところでは，ツルヨシの繁茂域に細砂が溜まりやすく，比高差の拡大や，砂州の樹林化における次のステップの植生が侵入しやすい基盤を造ることを示している．

(6) ツルヨシの生長・拡大解析

図-8にツルヨシの生長・拡大モデル改良版により，3年後(930 day)のツルヨシ群落の拡大傾向を解析した結果（平面分布）を示す．また，図-9は図-8の平面分布を群落中心位置からの距離に沿って（一次的に）示したものである（群落から同じ距離の地上部バイオマスは平均値を求め表示した）．

観測値は計算値の7～8割程度の値となった．これは，生長・拡大解析における初期入植点間隔と初期バイオマスは，各3地点での分布の傾向を見るため等しく与えており，現地での初期入植条件と異なるからだと考えられる．分布の傾向や繁茂域の拡大幅などは概ね観測データを満足している．

4. おわりに

本研究で得られた結果を以下に示す．

- (1) 異なる洪水攪乱を受ける地点において，ツルヨシの全体に占める各ランナーの割合や親株の生長量に違いがあることが見られた．
- (2) 各対象洪水の計算により得られた最大摩擦速度と限界摩擦速度の比較による洪水攪乱頻度と，ツルヨシの形態的特長から推定した攪乱影響の関係は同じ傾向を示した．
- (3) 土砂移動を議論する際，ツルヨシ繁茂域表層に細砂が堆積しているような地点では，河床を形成している土砂の粒径で考える必要がある．
- (4) 洪水攪乱影響をうけて変化する各ランナーの割合と親株の生長量変化を組み込んだツルヨシ生長・拡大モデル改良版を構築した．ツルヨシ群落（入植後3年）の親株からの距離ごとの地上部バイオマス観測値分布は，モデルにより概ね表現することが出来た．

本研究により，水理計算により得られた摩擦速度からツルヨシに与える洪水攪乱頻度とツルヨシの形態的特長，繁茂量・拡大幅とを関連付けられることが判明した．今後，ツルヨシが土砂堆積傾向に与える影響や土砂移動限界に与える影響だけではなく，洪水攪乱頻度・強度がツルヨシの生長に与える影響も加味した相互解析が可能となると考えられる．ま

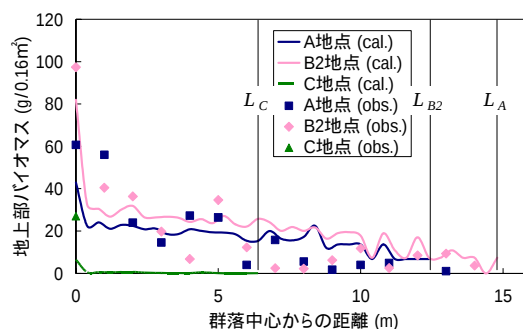


図-9 群落中心位置からの距離とツルヨシの地上部バイオマスの関係（3年後(930day)）
（ L_A ， L_{B2} ， L_C については図-8参照）

た，今回は中央粒径でツルヨシに与える洪水攪乱の影響を検討したが，混合粒径や冠水時間などを考慮すること，及び水理条件の異なる地点での解析を行うことで，より詳細に検討し一般化を図ることを今後の課題とする．

謝辞：中央大学研究開発機構福岡捷二教授には，本研究を取りまとめる際に多大な御助言を賜りました．また，河川環境管理財団 河川美化・緑化調査研究助成(助成番号：2005-1(口) 代表者 田中規夫)，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）の一部を使用した．ここに記して謝意を表します．

参考文献

- 1) 末次忠司・藤田光一・服部敦・瀬崎智之・伊藤政彦・榎本真二：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答，遷移および群落拡大の特性 - 多摩川と千曲川の礫河原を対象として -，国土技術政策総合研究所資料，第161号，pp.1-6，2004．
- 2) 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．
- 3) 八木澤順治，田中規夫，青木信哉：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，水工学論文集，第50巻，pp.1189-1194，2006．
- 4) 内田泰三，田崎冬記，丸山純孝，佐藤洋平：Phragmites 属，特にヨシ(*P. australis*(Cav.)Trin.)およびツルヨシ(*P. japonica* Steud.)群落の地上部損失に対する反応，日本緑化工学会誌，Vol.29，No.1，pp.74-79，2003．
- 5) 山本晃一：構造沖積河川学，山海堂，pp.141-142，2004．
- 6) 建設省土木研究所：土木研究所資料 昭和56年11月，p.51-57，1981
- 7) 土木学会編：水理公式集 平成11年度版，p.158，1999．
- 8) 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.
- 9) 藤田裕一郎，村本嘉雄：流路形態の形成過程に関する研究，京都大学防災研究所年報，第23号B-2，1980．

（2006.9.30受付）