

大型湿地植生の洪水によるダメージと回復過程を考慮した 適正洪水導入規模に関する研究

Appropriate flood intensity to the wetland in old meandering river trace considering the regrowth process of emergent macrophytes

田中規夫*, Das, S.C. **, 武村武**, 八木澤順治**

Norio TANAKA, Das, Shamal Chandra, Takeshi TAKEMURA, Junji YAGISAWA

Field experiment was conducted for elucidating the damage effect on the productivity of wetland species, *Phragmites australis*, and upland species, *Miscanthus sacchariflorus*, in a river-floodplain. River flow was analyzed by two-dimensional depth-averaged Reynolds equation to solve the moment acting on the stems. Regrowth dynamic model considering their stem-breaking was formulated and their growth was analyzed in relation to flood discharge, flood interval and their stem-breaking moment. If their stem breaking is occurred every year, survival of the two species is difficult. However, they can survive with 2-5 years' interval and the superiority of *M. sacchariflorus* is decreased with stem-breaking condition. However, the breaking moment of *M. sacchariflorus* was larger than that of *P. australis* and the decrement in belowground biomass was smaller under bending damage. This indicates that the weak flood does not change their competitive superiority.

Keywords: *Phragmites australis*, *Miscanthus sacchariflorus*, Competition, Bending damage, Regrowth

1.はじめに

埼玉県桶川市太郎衛門橋下流の荒川旧流路群においては、本川の河床低下に伴う攪乱頻度の低下や周辺土地利用の変化による湿地の乾燥化が生じている。そこで、現況の湿地環境の保全と再生を図るための手段・方向性の1つとして、横堤により分断された各池の連結や本川からの洪水の導入による攪乱創出が検討されている。こうした既存湿地に洪水攪乱を導入した場合には、洪水攪乱の規模と頻度というのが重要な視点と

なる。湿地から陸上にかけて生育するヨシとオギはこの旧流路において優占的な種となっているが、乾燥化に伴い陸上系のオギが流路中央においても進出している部分もある。これらは地上部が破壊されても地下器官を使って再生する能力を持っているため、洪水攪乱が与える影響を長期的に評価することが重要となる。

ヨシ¹⁾やヒメガマ²⁾などの抽水植物に対して、刈り取りなどによる地上部損失が再生や地下器官に与える影響という形で基礎的な知見が抽出されつつある。そして、その特性は生長モデル^{3),4),5),6)}という形で定量評価されつつある。茎に働く力のモーメントは洪水時の河川流との関連で評価できることから、水理解析、茎の破壊モーメントと上記生長解析の連動は洪水攪乱が湿地植生の遷移に及ぼす効果という点に対し、定量的な環境影響評価を行えるポテンシャルを有している。

植物と洪水の関係については、A.茎の破断、B.なぎ倒された後に回復、C.なぎ倒された後に枯死、等のパター

*埼玉大学 工学部 建設工学科

Department of Civil & Environmental Engineering,
Faculty of Engineering, Saitama University, 255
Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama, 338-8570, Japan

**埼玉大学大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Saitama
University

ンが存在する。これは、植物の持つ茎の降伏強度と破断強度 (>降伏強度) と外力の大小関係によって決まると考えられる。A による地下茎生産への影響はヨシ、オギの刈取り実験の知見が活用可能であるが、B や C が地下茎動態に与える影響についての知見は不足している。ダメージの程度を刈取り高さの変化により解明しようとする試みも見られるが、実際の自然現象としての「降伏」と「破断」が植物生産に与える影響については不明である。そこで、本研究では、植物の動態と河川による外力ダメージを関連付けるために、B や C を想定した実験を行い、ヨシとオギの生長特性を解明する。その知見を活用し、長期的な動態予測を河川の外力規模と関連付けた解析を行い、導入する場合に要求される条件（洪水規模、洪水導入間隔）についての知見を抽出する。

2.調査および解析方法

2.1 現地観測および現地実験

調査項目それぞれについて実施方法を以下に示す。

(1) ヨシ・オギの強度特性・曲げ剛性調査

ヨシ・オギの茎の期別強度（自然再生対象地とは別途地点：秋が瀬公園内（荒川高水敷上）の湿地（35° 51' N, 139° 39' E））を push-pull ゲージ（AIKOH 9550A）、変位計で観測し、強度特性・曲げ剛性特性を計測した。本調査で得られた値は洪水解析により算出したモーメントと比較するために使用した。

(2) 刈取り・なぎ倒し実験

現地実験も秋が瀬公園内の湿地で実施した。オギはやや比高の高い地点（後述するヨシ湿地より 0.3-0.5m 程度微高地）にある約 500m² の純群落、ヨシは湛水深 0-0.1m 程度の湿地に繁茂する約 1000m² の純群落内に設定した。両群落間の距離は 100m 程度と近接した位置関係にある。

①なぎ倒し実験

ヨシ、オギそれぞれの実験区において、1.0 m x 1.0 m のコドラートを 12 箇所設置した。ヨシには 10N の外力を 659 本の茎に、オギには 20N の外力を 501 本の茎に push-pull ゲージを用いて作用させた。これらの力はそれ

ぞれの種における平均的な破断強度よりも低めに設定した。さらに、なぎ倒し実験に用いた全ての茎の直径を計測した。

②破断実験

ヨシやオギの破断実験は既往研究において実施されているが、なぎ倒し実験との比較を行なうために、それぞれに種に対し、1.0 m x 1.0 m のコドラートを 4 箇所、5.0 m x 2.5 m のコドラートを 1 箇所設置した。茎は地上高さ 0.2m で切断した（以後、100%破断実験とする）。同様に、1.0 m x 1.0 m のコドラートを 4 箇所、5.0 m x 2.5 m のコドラートを 1 箇所、茎高さの中央で切断した（50%破断実験）。さらに、比較区として、1.0 m x 1.0 m のコドラートを 2 箇所設置した。

2.2 流れの解析

(1) 解析モデル

旧流路の流況を解析するに当たっては、細田ら¹⁰⁾による一般座標系の平面 2 次元非定常流れのモデルに Struve et al.¹¹⁾による植生を考慮した直交座標系モデルを一般座標系に変換し取り込んだものを使用した。一般座標系 (ξ, η) の基礎式を以下に示す。

連続式

$$\lambda \frac{\partial (h)}{\partial t} + \frac{\partial (Uh)}{\partial \xi} + \frac{\partial (Vh)}{\partial \eta} = 0 \quad (1)$$

運動方程式

$$\frac{\partial (Q_x)}{\partial t} + \frac{\partial (UQ_x)}{\partial \xi} + \frac{\partial (VQ_y)}{\partial \eta} = -gh \left(\frac{\xi_x}{J} \frac{\partial Z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial Z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_x}{\rho J} - \frac{f_x}{\rho J} + (2)$$

$$\frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-\overline{u^2}h) + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-\overline{u'v}h) + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-\overline{u^2}h) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-\overline{u'v}h)$$

$$\frac{\partial (Q_y)}{\partial t} + \frac{\partial (UQ_y)}{\partial \xi} + \frac{\partial (VQ_y)}{\partial \eta} = -gh \left(\frac{\xi_y}{J} \frac{\partial Z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial Z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_y}{\rho J} - \frac{f_y}{\rho J} + (3)$$

$$\frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-\overline{u'v}h) + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-\overline{v^2}h) + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-\overline{u'v}h) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-\overline{v^2}h)$$

ここに、 λ : 間隙率、 t : 時間、 J : ヤコビアン、 $(\xi_x, \xi_y, \eta_x, \eta_y)$: 変換のマトリクス、 (u, v) : 水深平均流速、 (U, V) : 流速ベクトル (u, v) の反変成分、 (Q_x, Q_y) : 流量フラックス、 g : 重力加速度、 h : 水深、 ρ : 水の密度、 Z_s : 水位、 (τ_x, τ_y) : $x - y$ 座標系の底面せん断応力の成分、 $-\overline{u^2}, -\overline{u'v}, -\overline{v^2}$: $x - y$ 座標系の水深平均レイノルズ応力、 (f_x, f_y) : 植生抵抗である。

水深平均レイノルズ応力は Nezu & Nakagawa¹²⁾ によ

水深平均乱れエネルギーの実験式から算出する。この式は、植物破断前の流れ場を解くのに使用した。破断した茎が浮遊物として流水中に存在する条件、あるいは他の茎に付着している条件は、本研究の適用外とする。底面せん断応力は Manning 則より算出し、間隙率及び植生抵抗 (f_x, f_y) は以下のように算出する。

$$\lambda = 1 - \pi \frac{D_t m_t^2}{4} \left[1 + n_t \frac{h_s}{h} \right] \quad (4)$$

$$\begin{cases} f_x = \frac{1}{2} C_d \rho m_t h u \sqrt{u^2 + v^2} \\ f_y = \frac{1}{2} C_d \rho m_t h v \sqrt{u^2 + v^2} \end{cases} \quad (5)$$

ここに、 D_t : 植生密度、 m_t : 直径、 n_t : リター率 (= リターバイオマス/地上部バイオマス)、 h_s : 植生高、 C_d : 抵抗係数である。

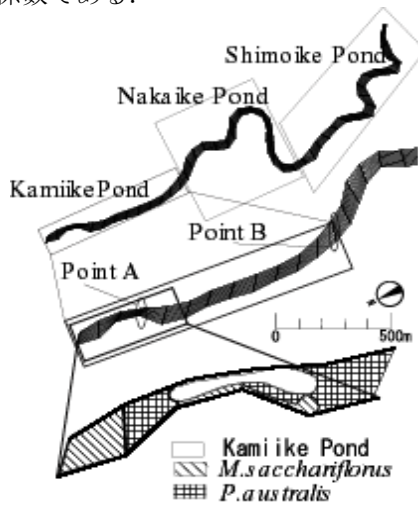


Fig.1 Grid generation

(2) 平面流況解析条件

対象とした河川は、Fig.1 に示す荒川旧流路 (全長約 5 km, 川幅 30~100 m) である。河床高データは国土交通省荒川上流河川事務所による測量データ (20~50 m ピッチでの横断測量) を使用した。横断データは一般座標系のグリッドデータとして 100 m ピッチに変換して使用した。旧流路の格子点数は流下方向 50×横断面方向 10 とした。また、荒川旧流路のうち、オギ及びヨシの繁茂する場所として上流部 (上流から約 1.3 km 地点まで)、その中でも洪水時における流速・水深状況の大きく異なる 2 点、すなわち、上流から 400 m 地点 (Point A) と 1300 m 地点 (Point B) に着目した。

計算条件について、初期水深は実際に水が溜まっている部分に水深を、フラッシュの流量規模は 3 ケース

(10, 20, 30 m³/s) の一定流量を与えた。また、旧流路最下流は急勾配であるため下流端水深は等流計算による水位-流量関係より求めた。また、Manning の粗度係数を 0.032, 抵抗係数 C_d を 1.0 とし、植生密度、直径は現地観測より、それぞれ 50 本/m², 8 mm とした。

なお、本論文における 2 年に 1 回の洪水導入は本川の確率規模 1/2 に対応するものではない (越流部の形状に依存する)。ここで検討する洪水流量規模や導入間隔は自然再生事業に直結するような意味はもたない。

2.3 生長解析

本研究においては植物の洪水による茎の破壊を植物の刈り取りと同義として扱う。そこで、オギ・ヨシの刈り取りモデルを作成し検証を行った。植物の純群落の生長解析に関しては、Asaeda & Karunaratne³⁾はヨシのモデルを提案し、Tanaka et al.⁴⁾は、ヨシとの鉛直方向の生産構造の違いを表現することにより、ガマ・ヒメガマのモデルを提案している。オギの生活史、各器官のバイオマス変化の値は異なるものの、器官間のエネルギー輸送という観点では類似している。そこで、田中ら⁸⁾は、Asaeda & Karunaratne³⁾, Tanaka et al.⁴⁾と同じ基礎方程式系を使用したオギモデルを見沼たんぼ (本観測地とは異なる) にて作成し、陸上の植物に対しても

Table1 Modeling the phenology of *P.australis* and *M.sacchariflorus*

Parameter	<i>M. sacchariflorus</i>	<i>P. australis</i>
start of growth (<i>idayb</i>)	105 day (<i>idayb I</i>)	91 day (<i>idayb II</i>)
appearance of panicles (<i>idayf</i>)	<i>idayb I</i> + 135 day	<i>idayb II</i> + 105 day
start of translocation of current photosynthate to belowground plant organs (<i>idaye</i>)	<i>idayb I</i> + 65 day	<i>idayb II</i> + 0.14(<i>idayf II</i> - <i>idayb II</i>) ^{1,27}
start of shoot senescence (<i>idays</i>)	<i>idayb I</i> + 160 day	<i>idayb II</i> + 0.22(<i>idayf II</i> - <i>idayb II</i>) ^{1,36}
formation of new roots (<i>idayr</i>)	<i>idayb I</i> + 35 day	<i>idayb II</i> + 21 day
commencement of translocation of current photosynthate to belowground plant organs (<i>idaypp</i>)	<i>idayb I</i> + 75 day	<i>idayb II</i> + 75 day

Table2 Parameter list (For other parameters, see Asaeda & Karunaratne³⁾)

Notation	Parameter	<i>M. sacchariflorus</i>	<i>P. australis</i>
k	Extinction coefficient	91~120day	0.3 ^d
		121~151day	0.4 ^d
		152~180day	1.05 ^d
		181~212day	0.965 ^d
		213~242day	0.88 ^d
		243~273day	0.78 ^d
	274~365day	0.6 ^d	
a_{LAI}	Fraction of biomass-leaf area relation	0.0069 ^a	0.01352 ^{c1}
b_{LAI}	Fraction of biomass-leaf area relation	0.986 ^a	1.0179 ^{c1}
P_m	Maximum specific net daily photosynthesis rate at 20°C (gCO ₂ /g/day)	38 ^e	30 ^e
K_{age}	Half-saturation constant of age for shoot photosynthesis (day)	200 ^{e2}	125 ^e
K_{water}	Half-saturation constant of water level effect for shoot photosynthesis (m)	1 ^{c3}	0.75 ^{c3}
w_m	water level at maximum growth (m)	0.3 ^{c3}	-0.3 ^{c3}

a : Observation, c : Calibrated based on observation data
 c1 : Kvet et al.²⁾
 c2 : Calibrated based on Mutoh et al.¹⁰⁾
 c3 : Calibrated based on Yamasaki & Tange¹³⁾
 d : Kvet¹⁴⁾

本手法・支配方程式群の有効性を示している。なお、日射・気温のモデル化については、田中ら⁵⁾のモデルと同様とした。なおヨシモデルは田中ら⁵⁾を基本とした。

(1) オギモデル

再生長特性・戦略を評価するため、オギの生長モデル（刈り取り再生長を含む）を作成し、刈り取りが地下茎バイオマスに与える影響を定量評価した。刈り取りがある場合のオギモデルは現地観測⁸⁾をもとに刈り取り後の生活史とモデル定数の設定を行った。生活史とモデル定数は既往観測¹³⁾と本現地観測をもとに Table1, Table2 のように設定した（比較のためヨシとともに示す）。

群落頂部から i cm の高さにおける光合成量 $Ph_{sh}(i)$ は、Tanaka et al.⁴⁾ をもとに、水位が生長に及ぼす影響を考慮し、

$$Ph_{sh}(i) = P_m \cdot K_{co} \cdot K_{NP} \cdot K_{level} \cdot \theta^{(T-20)} \times \frac{I_{PAR}(i)}{K_{PAR} + I_{PAR}(i)} \times \frac{K_{age}}{K_{age} + Age_{sh}} \cdot LAI(i) \quad (6)$$

$$K_{level} = \frac{K_{water}^2}{K_{water}^2 + (w_l - w_m)^2} \quad (7)$$

とした。ここに、 P_m ：最大光合成率、 K_{CO} ：二酸化炭素の乾燥重量への変換定数、 K_{NP} ：地中のリン酸濃度、窒素濃度が生長に与える影響を表す変数（0 ~ 1）、 K_{level} ：水位影響¹⁵⁾を表す関数、 θ ：アレニウス定数、 T ：日平均気温、 $I_{PAR}(i)$ ： i 層の高さにおける有効日射量、 Age_{sh} ：光合成開始日からの日齢、 K_{PAR} 、 K_{age} 、 K_{water} ：半飽和定数、 w_l ：開水面を基準とした水位、 w_m ：生長が最大となる水位、 $LAI(i)$ ：各層の葉面積指数（生葉面積/土地面積）である。

群落内日射量分布は、ある高さでの有効日射量 $I_{PAR}(i)$ を Lambert-Beer の法則を用い、植物頂 ($j = 1$) からその高さ ($j = i$) までの葉面積指数の積分値の関数 F_i として、

$$I_{PAR}(i) = I_{PAR} \cdot e^{-\kappa \cdot F_i} \quad (8)$$

$$F_i = \sum_{j=1}^{j=i} LAI(j) \quad (9)$$

と表現した。ここに、 κ は吸光係数、 I_{PAR} は光合成に利

用可能な日射量¹⁷⁾である。

(2) 群落競合モデル

競合解析の場合には、他種の葉の作る陰も考慮する必要があることから、

$$I_{PAR}(i) = I_{PAR} \cdot e^{-(k_I \cdot F_{II} + k_{II} \cdot F_{III})} \quad (10)$$

とした（田中ら⁸⁾、¹⁸⁾と同様）。ここに、添え字 I、II は種 I（オギ）、種 II（ヨシ）を表す。

$LAI(j)$ (m^2/m^2) は Asaeda & Karunaratne³⁾ と同様の式形

$$LAI(j) = a_{LAI} \cdot [b_{leaf}(j)]^{b_{LAI}} = a_{LAI} \cdot [a_{fr} \cdot b_{sh}(j)]^{b_{LAI}} \quad (11)$$

で表現した。ここに、 $b_{leaf}(j)$ 、 $b_{sh}(j)$ はそれぞれ、第 j 層の葉のバイオマス、葉茎のバイオマス、 a_{fr} は葉茎のうち葉に利用される割合、 a_{LAI} 、 b_{LAI} は観測データより求まる定数である。

3. 実験および解析結果

3.2 現地観測及び現地実験結果

(1) オギ・ヨシの破壊強度

Fig.2 にオギ・ヨシの直径と降伏強度・破壊強度の分布を示す。この図からも明らかなように、ヨシに比べてオギのほうが茎の強度が高い結果となった。この Fig.2 より近似式を作成した上で、上池のオギ・ヨシの平均直径を用いて上池におけるオギとヨシの破壊強度を求めた。また流体力によるモーメントと比較するため、実験結果より破壊モーメント Mb ($N \cdot m$) を求めた。

(2) なぎ倒し実験・破断実験結果

Fig.3 にオギ・ヨシのなぎ倒し実験・破断実験（100%破断、50%破断）結果を刈り取り後の地下部バイオマス（BGB）に対して示す。この図より、なぎ倒しが冬季の地下部バイオマスの減少に与える影響はヨシ、オギともに 10%程度で 100%破断の場合には両種とも比較区に対し、ヒメガマの刈り取り実験¹⁹⁾と同様に 30-40%の減少を示した。従来の 100%破断実験結果は、弱いダメージにおける地下部バイオマスの減少量を過大評価するおそれのあることがわかる。また、50%破断の場合に、オギとヨシでは若干異なる傾向を示した。オギの場合は残存する茎から多くの分岐枝を出した

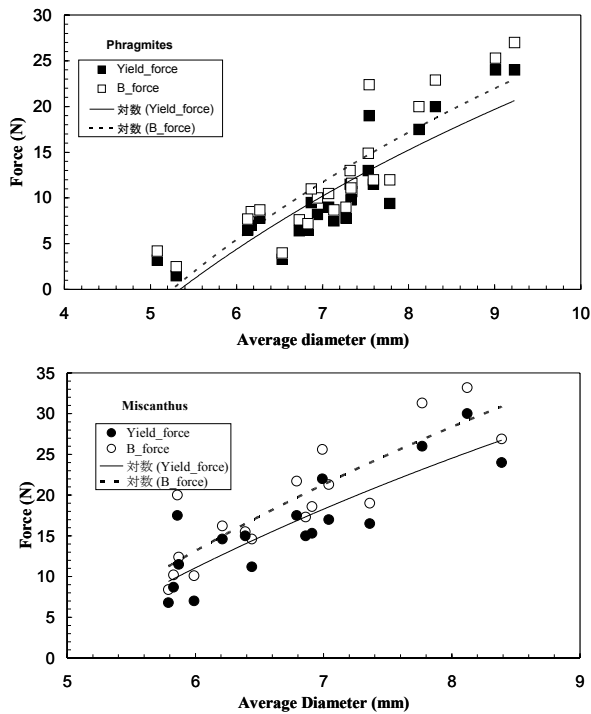


Fig. 2 Relationship between force (yield force and breaking force) and average diameter of (a) *Phragmites australis* and (b) *Miscanthus sacchariflorus*

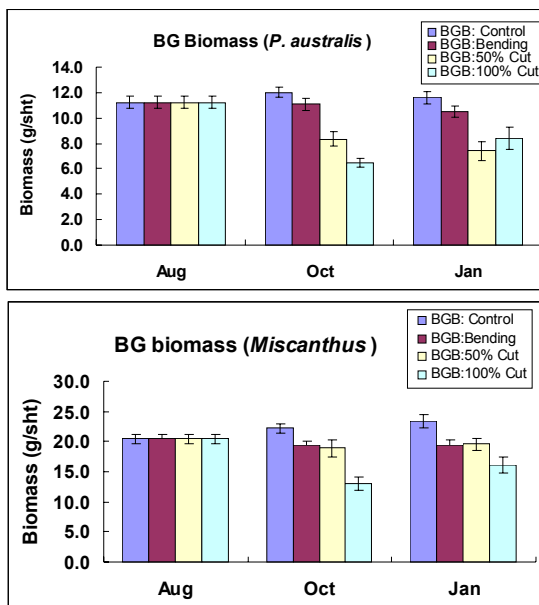


Fig. 3 Seasonal change of belowground(BG) biomass in *P. australis* and *M. sacchariflorus*

(180 branches/m²)のに対し、ヨシの分岐枝は極めて少なく (2-3 branches/m²), 再生長は主に地下部から出芽したもの (2-3 shoots/m²) であった。すなわち、オギはなぎ倒しや 50%破断において地上部を分岐枝によって再生させ、地上部を冬季まで維持し、地下部の減少を

極力少なくしたと考えられ、これが 50%実験におけるオギの減少量の少なさに現れていると考えることができる。

3.2 流況解析結果

10, 20, 30m³/s の規模の洪水を与えたときの最大流速, 最大水深は, Point A において約 1.17~1.98 m/s, 0.66~0.96 m, Point B において 1.25~1.69 m/s, 0.38~0.68 m となった。この流況解析結果を用いて, 流れがヨシ及びオギに与える抗力を算出し, その抗力から茎に働く最大モーメント(土壌面地点)を求めた結果を, オギ・ヨシの破壊モーメントとともに Fig.4 に示す。この図より, 3 ケースが想定された。すなわち, 流量 10 m³/s (Case1): オギ・ヨシともに破壊モーメントに非到達, 流量 20m³/s (Case2): ヨシのみが破壊モーメントに到達, 流量 30 m³/s (Case3): オギ・ヨシともに破壊モーメントに到達, の 3 ケースである。

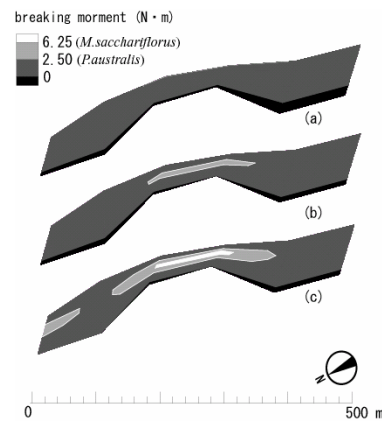


Fig. 4 Comparison of simulated moment by drag force and breaking moment of *P. australis* and *M. sacchariflorus*. a. 10m³/s, b. 20m³/s, c. 30m³/s

3.3 生長解析結果

(1) 刈り取りモデルの検証

埼玉県川口市見沼田んぼ (35° 52'N, 139° 43'E) における観測結果・実験結果⁸⁾を元に, モデルの検証を行ったものを Fig.5 (a), (b) に示す。両モデルともに観測結果を十分に表現しうるものであり, この結果をもとに以下の解析に用いるものとする。

(2) 洪水導入間隔の検討

オギ・ヨシともに折れる(100%破断)規模の洪水を想定し (Case3), 洪水導入間隔を変化させ 10 年間の単独

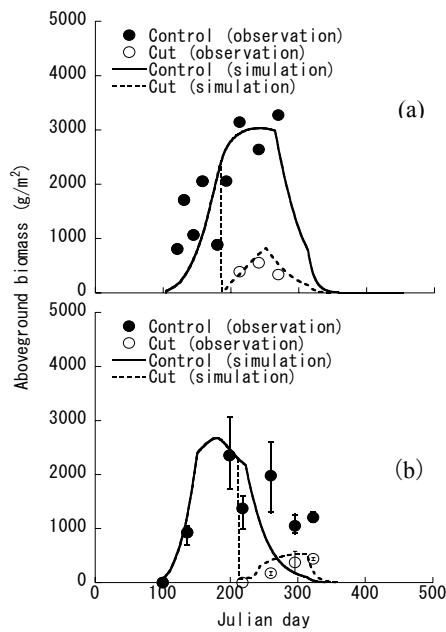


Fig. 5 Seasonal change of the aboveground biomass in two species, (a) *M. sacchariflorus*, (b) *P. australis*

解析と競合解析を行ったものをそれぞれ Fig.6, 7 に示す。なお、図中の矢印は洪水の導入を示す。単独解析 (Fig.6) において、茎が折れる規模の洪水を毎年導入した場合、両種ともに群落の維持が危うくなるため消滅の可能性がある。しかし、洪水間隔が2, 5年においては飽和地上部バイオマスの大小はあるものの、ある一定のバイオマスで長期間群落維持されていくものと考えられる。単独状態においては、オギ・ヨシともに他種の影響を受けない状態を想定している。洪水間隔が大きくなるほどダメージを受けた後の飽和バイオマスが大きいため、単独群落の維持を考えた場合、洪水間隔は大きいほど影響は少ないといえる。またダメージを受けた後の回復速度という点においては、ヨシのほうが早い結果となっており、茎が折れる規模でかつ適正な間隔での洪水導入は、ヨシにとって有利にはたらく可能性がある。競合解析 (Fig.7) においては、毎年洪水を導入した場合は単独解析と同様に、オギ・ヨシともに群落の維持が危うくなる。洪水間隔2年の場合、オギがヨシの影響を受け地上部バイオマスは大きく減少しており、オギ群落からヨシ群落への遷移、または混成群落の維持の可能性が考えられる。しかし洪水間隔5年の場合、初回の洪水導入直後はヨシが優勢となっているが、オギが次第に回復していき、2回目の洪水導入によりオギがやや優勢傾向となっている。

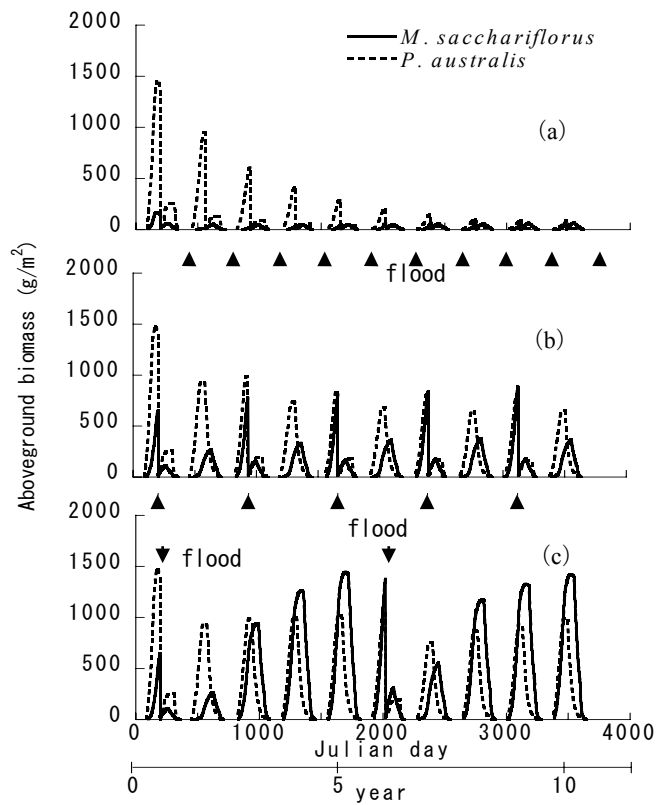


Fig.6 Growth dynamic analyses with different flood interval for monospecific stands (a)1 year, (b)2 years, (c)5 years

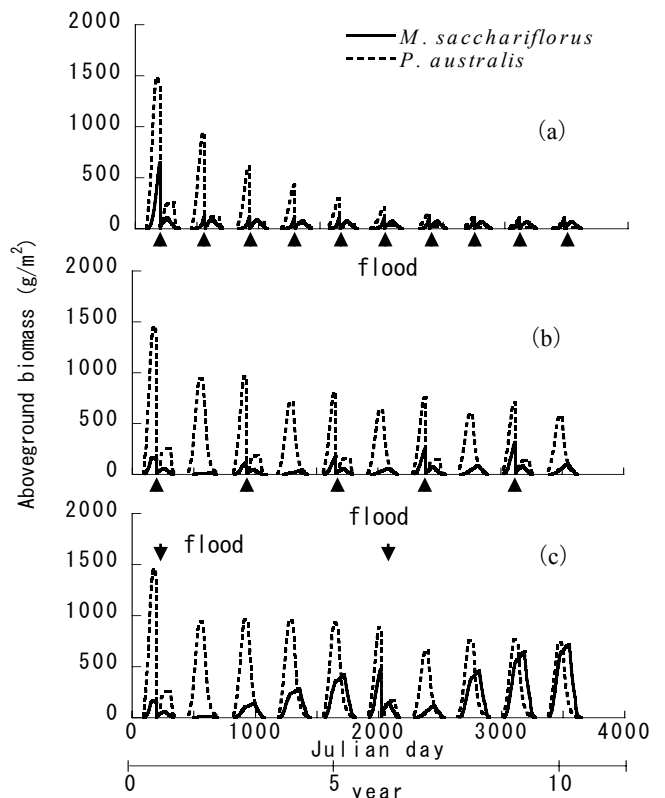


Fig.7 Growth dynamic analyses with different flood interval for competitive stands (a)1 year, (b)2 years, (c)5 years

したがって洪水間隔5年の場合、10年の解析期間においては混成群落がり立っているものの、長期的にはオギが占有していく可能性が大きい。

Fig.2 に示したようにオギの破断強度は、ヨシよりも高いため、洪水時にはヨシよりもオギのほうがなぎ倒し状態になる割合は高いと考えられる。これと Fig.3 の結果を合わせて考えると、100%破断のような大規模洪水を除いて、オギのダメージは、ヨシよりも小さくなる可能性が高い。Fig.6-7 に示した生長解析結果は、100%破断条件において2-5年間隔の洪水はヨシの優位性を若干増大させることを示している。しかし、なぎ倒し実験結果は、小規模洪水の場合にはそれがあてはまらないことを示している。

また両種が折れる流量規模(Case3)、ヨシのみが折れる流量規模 (Case2) において生長解析を行った結果(30年後の飽和バイオマス)を Fig.8 に示す。Case2 では、洪水間隔によらずヨシはオギに駆逐される結果となる。自然再生を図る上で洪水導入を検討するのであれば、ヨシのみが折れる規模の洪水は避けるべきといえ、流量規模とダメージの関係をよく把握しておくことが重要であると考えられる。

4. 結論

本解析手法により茎の破断の有無、破断の頻度によりヨシとオギの優位性が変化することを定量的に表現可能となった。オギ・ヨシともに折れる規模の洪水を導入した場合、洪水導入間隔1年であれば両種とも群落の維持が危うくなる。洪水導入間隔が2~5年程度(本川の確率規模1/2~1/5とは異なる)であれば、混成群落が続く可能性があり、洪水間隔が大きくなると、オギの優位性が回復し、ヨシはオギに駆逐される可能性がある。そして自然再生を図る上で洪水導入を検討するのであれば、洪水間隔2~5年が適当であり、ヨシのみが折れる規模の洪水導入は避けるべきであるといえる。

本論文により、水理モデル、植物強度、生長解析の連動は、ダメージを受けた植物の遷移傾向の評価に対し有効な手法となりうる可能性が示された。しかし、

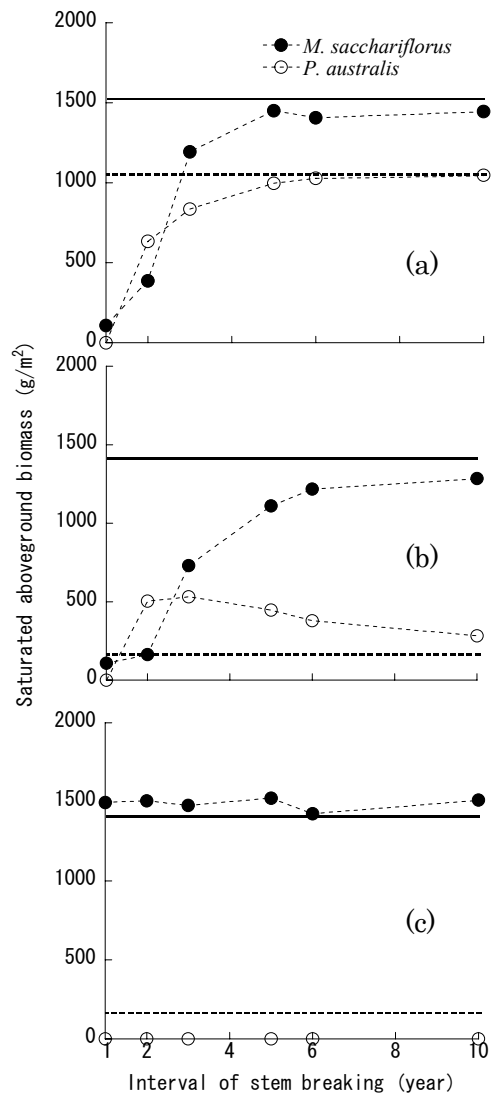


Fig. 8 Effect of stem-breaking interval on the two species' competition; (a) No competition, (b) Competition (Case3), (c) Competition (Case2)

なぎ倒し状態に対する両植物の回復戦略を繁榮させ、その条件に応じた遷移の方向性を解析することについては今後の課題である。

謝辞: 本研究を行うにあたっては、(財)埼玉県公園緑地協会戸田公園事務所、荒川上流河川事務所からそれぞれ、観測許可と資料の提供を快諾していただいた。また、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C) (課題番号: 15560440, 研究代表者: 田中規夫), 埼玉大学21世紀総合研究プロジェクト経費の補助を受けた。さらに、埼玉大学大学院・浅枝隆教授から適切な助言を、埼玉大学・湯谷賢太郎助手、2004年度時の大学院生、Thidar Aye氏、小川友浩氏、城野裕介氏に現地観測を手伝っていただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 内田泰三, 田崎冬記, 丸山純孝, 佐藤洋平 : *Phragmites* 属,特にヨシ(*Phragmites 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.
- 2) 湯谷賢太郎, 田中規夫, 武村武, 浅枝隆 : 刈り取り時期の違いがヒメガマ(*Typha angustifolia*)の再成長に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌, Vol.29, No. 1, pp.21-26, 2003.
- 3) Asaeda, T. and Karunaratne, S. : Dynamic modeling of the growth of *Phragmites australis*, Model description, Aquat. Bot., Vol. 67, pp.301-318, 2000.
- 4) Tanaka, N., Asaeda, T., Tanimoto, K. and Hasegawa, A.: An analysis of the growth of *Typha angustifolia* and *Typha latifolia*, J. of Hydrosience and Hydraulic Eng., Vol. 20, pp.197-206, 2002.
- 5) 田中規夫, 浅枝隆, Shiromi Karunaratne : 日射量・気温変化によるアシ *Phragmites australis* の生長予測解析, 土木学会論文集, No.663/II -53, pp.119-129, 2000.
- 6) Coops, H. and van der Velde, G.: Effects of waves on helophyte stands: mechanical characteristics of stems of *Phragmites australis* and *Scirpus lacustris*, Aquat. Bot., Vol. 53, pp.175-185, 1996.
- 7) 湯谷賢太郎, 浅枝隆, 田中規夫, Shiromi Karunaratne : 観測と再生長モデルによる刈り取られたヨシ *Phragmites australis* の回復過程の評価, 応用生態工学, Vol.6, pp.177-190, 2004.
- 8) 田中規夫, 湯谷賢太郎, 北上裕規, 浅枝隆 : 生長期における刈り取りがオギの翌年の生長ならびにセイタカアワダチソウとの競合関係に与える影響について, 土木学会論文集, No.761/II -67, pp. 95-100, 2004.
- 9) 田中規夫, 長谷川敦, 浅枝隆, 渡辺哲広, 岸田明義 : 土壌の栄養状態がガマとヒメガマの競合の優位性に与える影響について, 土木学会論文集, No.719/II -61, pp.93-103, 2002.
- 10) 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/II -34, pp.267-272, 1996
- 11) Struve, J., Falconer, R.A. and Wu, Y. : Influence of model mangrove tree on the hydrodynamics in a flume, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 58, pp.1-9, 2003
- 12) Nezu, I. and Nakagawa, H. : Turbulence in open channel flows, IAHR Monograph Balkema, Rotterdam, pp. 53-56, 1993
- 13) Mutoh, N., Yoshida, K. Yokoi, Y., Kumura, M., and Hogetsu, K. : Studies on the production processes and net production of *Miscanthus Sacchariflorus* community, Jap. J. Bot., Vol. 20, pp.67-92, 1968.
- 14) Květ, J., Svoboda, J. and Fiala, K.: Canopy development in stands of *Typha latifolia* L. and *Phragmites communis* Trin. in South Moravia, Hydrobiologia, Vol. 10, pp.63-75, 1969.
- 15) Yamasaki, S. and Tange, I.: Growth responses of *Zizania latifolia*, *Phragmites australis*, *Miscanthus sacchariflorus* to varying inundation, Aquat. Bot., Vol. 10, pp.229-239, 1981.
- 16) Květ, J. : Growth analysis approach to the production ecology of reedswamp plant communities, Hydrobiologia, Vol. 12, pp.15-40, 1971.
- 17) Dykyjová, D.: Production, vertical structure and light profiles in littoral stands of reed-bed species, Hydrobiologia, Vol. 12, pp.361-376, 1971.
- 18) Tanaka, N., Asaeda, T., Hasegawa, A. and Tanimoto, K., Modelling of the long-term competition between *Typha angustifolia* and *Typha latifolia* in shallow water - Effects of eutrophication, latitude and initial advantage of belowground organs, Aquatic Botany, Vol.79, pp.295-310, 2004.
- 19) Tanaka, N., Watanabe, T., Asaeda, T. and Takemura, T., Management of below-ground biomass of *Typha angustifolia* by harvesting shoots above the water surface on different summer days, Landscape and Ecological Engineering, 2005 (in press).