

旧流路湿地における自然再生を目的とした 適正洪水導入間隔の検討

田中規夫¹・北上裕規²・小川友浩³・浅枝 隆⁴

¹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)

²正会員 工修 新潟県佐渡地域振興局 地域整備部 (〒952-1555 新潟県佐渡市相川二町目浜町 20-1)

³学生会員 工学士 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)

⁴正会員 工博 埼玉大学大学院教授 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

河川内の自然再生湿地の湿地植物ヨシと陸上植物オギの競合が洪水規模・洪水間隔、茎の破壊によって受ける影響を評価した。二次元の水深平均レイノルズ方程式を用いて河川流を解析し、茎に働くモーメントを算定した。ヨシ・オギへのダメージの1種である茎の破断に限定し、その影響を想定した生長モデルを作成した。モデル解析により、洪水規模・洪水間隔の影響を単独生長の場合と競合生長の場合についてバイオマス減少量で評価した。その結果、両種の茎が折れる洪水規模で洪水間隔が1年であれば両種とも群落の維持が危うくなること、洪水間隔が2~5年程度であれば混成群落が続くがオギの優位性が減少するため、湿地植物から陸上植物への遷移を遅らせることが可能であること、等が評価できた。

Key Words : *Miscanthus sacchariflorus*, *Phragmites australis*, breaking moment, competitive superiority, flood interval

1. はじめに

荒川旧流路群(埼玉県桶川市太郎衛門橋下流)においては、湿地を主体とした良好かつ多様性のある自然環境が形成されていたものの、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、自然再生推進法にもとづき現況の湿地環境の保全と再生が検討されている。そうした自然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、攪乱の規模が大きい場合には既存湿地植生がダメージを受けるものの、頻度が少ない場合には再生されるため、洪水攪乱の規模と頻度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(特に上池)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存在する。すなわち、乾燥化に伴いヨシからオギへの遷移が進行する可能性を有している。これらは多年生草本で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、洪水攪乱が地下器官に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長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の生長解析と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⁷⁾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⁸⁾、オギ⁹⁾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¹⁾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。また、Cの場合のなぎ倒された茎の堆積がその後の生長に与える影響も不明の点が多い。そこで、将来的にはBやCに関する知見も生長モデルに取り込んでいく必要があるが、早急な利用を考慮し本研究ではAの破断(破断した茎は流出)を想定した解析を行う。

植物の生育段階と洪水の生起時期によって地下茎への影響は異なることが、刈り取り実験の結果⁸⁾から想定される。そうした組み合わせを考慮した上での長期解析は事実上困難であることから、植物の地下茎生産への影響

の大きい7月下旬を洪水時期（旧流路への導水時期）と想定した。この時期には、両種とも茎がやや硬くなって折れやすく、前述の破断の条件に近いものとなる。

また、植生があることによる植生地土壌の栄養条件や粒径の経年変化、乾陸化も重要な条件である。しかし、現地には栄養が豊富で粘性をもつ有機土壌が厚く堆積し、透水係数・拡散係数ともに低いため、それらの経年変化が植生動態に与える影響感度は茎の破断よりも小さいと判断し、今回は考慮しないこととした。

そこで本研究では、前述の制約条件のもとで既存湿地（上池）にて競合している代表的な河川植生「オギ」・「ヨシ」に着目し、環境影響を①洪水攪乱規模、②洪水導入間隔、③ヨシ・オギの茎の破壊強度、④ダメージを受けたヨシやオギの生長解析の4点から分析を行った。

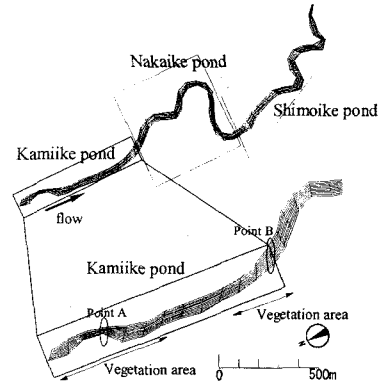


図-1 荒川旧流路の計算格子

2. 解析方法

2-1 旧流路の河川流の解析

(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

$$\lambda \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{U_h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{V_h}{J} \right) = 0 \quad (1)$$

運動方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q_x}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{U Q_x}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{V Q_x}{J} \right) = -g h \left(\frac{\xi_x}{J} \frac{\partial Z}{\partial \xi} + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial Z}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_x}{\rho J} - \frac{F_x}{\rho J} + \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\bar{u}^2 h \right) + \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\bar{u}^2 h \right) + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\bar{u}^2 h \right) + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\bar{u}^2 h \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q_y}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{U Q_y}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{V Q_y}{J} \right) = -g h \left(\frac{\xi_y}{J} \frac{\partial Z}{\partial \xi} + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial Z}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_y}{\rho J} - \frac{F_y}{\rho J} + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\bar{v}^2 h \right) + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\bar{v}^2 h \right) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\bar{v}^2 h \right) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\bar{v}^2 h \right) \quad (3)$$

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 : 水位、 (τ_x, τ_y) : $x-y$ 座標系の底面せん断応力の成分、 $-\bar{u}^2, -\bar{u}v, -\bar{v}^2$: $x-y$ 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⁾による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、植物が破断する前の流れ場を解くものとして使用した。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。

$$\lambda = 1 - \pi \frac{D_l m_l}{4} \left(1 + n \frac{h_s}{h} \right) \quad (4)$$

$$F_x = C_d D_l m_l \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{h}, \quad F_y = C_d D_l m_l \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{h} \quad (5)$$

ここに、 D_l : 植生密度、 m_l : 直径、 n : 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。

(2) 平面流況解析条件

対象とした河川は、図-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、上流にそれほど影響しないと考え、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、直径は現地観測から平均し、それぞれ50本/m²、8 mmとした。

なお、対象とした旧流路では、水の導入は洪水だけではなく、低水も含めた様々な形で検討がなされている。洪水を導入する場合には、本川から旧流路に対しある確率規模で越水させるような構造が必要になるが、その高さ・幅ともに未定であり、旧流路に導水する洪水流量とその頻度に関しても定まった関係があるわけではない。

例えば、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)。従って、ここで検討する洪水流量規模や導水間隔は自然再生事業に直結するような意味はもたない。

2-2 オギ・ヨシの解析

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³⁾のモデルと同様とした。なおヨシモデルは田中ら³⁾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表-1、表-2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⁾ を基に、水位が生長に及ぼす影響を考慮し、とした。ここに、 P_m ：最大光合成率、 K_{co} ：二酸化炭素の

$$Ph_{sh}(i) = P_m \cdot K_{co} \cdot K_{NP} \cdot K_{level} \cdot \theta^{(1-20)} \times \frac{I_{PAR}(i)}{K_{PAR} + I_{PAR}(i)} \times \frac{K_{age}}{K_{age} + Age_{sh}} \cdot LAI(i) \quad (6)$$

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

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（以後式(7)を水位モデルと呼ぶ）、 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} ：光合成、葉の日齢、水位に対する半飽和定数、 w_i ：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。表-2に式(6),(7)のモデル定数一覧を示す。

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、

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

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

表-1 オギとヨシの生活史

	オギ	ヨシ
生長開始日 (idayb)	105 day (idayb I)	91 day (idayb II)
穂の形成日 (idayf)	idayb I + 135 day	idayb II + 105 day
光合成生長開始日 (idaye)	idayb I + 65 day	idayb II + 0.14(idayf II - idayb II) ^{1,27}
老化開始日 (idays)	idayb I + 160 day	idayb II + 0.22(idayf II - idayb II) ^{1,36}
根の生長開始日 (idayr)	idayb I + 35 day	idayb II + 21 day
物質輸送開始日 (idayp)	idayb I + 75 day	idayb II + 75 day

表-2 パラメーター一覧

(その他のパラメータは Asaeda & Karunaratne³⁾)

パラメータ	パラメータの意味	オギ	ヨシ
k	吸光係数 (91~120day)		0.3 ^a
	" (121~151day)		0.4 ^a
	" (152~180day)	0.55 ($i > 61$)	1.05 ^a
	" (181~212day)	1.0 ($i < 60$) ^c	0.965 ^a
	" (213~242day)		0.88 ^a
	" (243~273day)		0.78 ^a
	" (274~365day)		0.6 ^a
a_{LAI}	バイオマスと葉面積の関係を表す定数	0.0069 ^a	0.01352 ^{c1}
b_{LAI}	バイオマスと葉面積の関係を表す定数 (指数)	0.986 ^a	1.0179 ^{c1}
P_m	最大光合成率 (gCO ₂ /g/day)	38 ^a	30 ^c
K_{age}	半飽和定数 (day)	200 ^{c2}	125 ^c
K_{water}	半飽和定数 (m)	1 ^{c3}	0.75 ^{c3}
w_m	生長が最大となる水位 (m)	0.3 ^{c3}	-0.3 ^{c3}

a: 観測より同定, c: 実測データによるキャリブレーションにより同定

c1: Kvét et al.¹⁴⁾により同定

c2: Mutoh et al.¹⁶⁾に基づきキャリブレーション

c3: Yamasaki & Tange¹⁷⁾に基づきキャリブレーション

d: Kvét¹⁴⁾により同定

と表現した。ここに、 k 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、

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

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

$LAI(j)$ (m²/m²) 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。なお両植物の地下茎の位置にはすみわけがなされているため¹⁸⁾、水位モデル（式(7)）としてそれぞれの種の土壌水分と生長の関係を反映させるにとどめ、地下空間での競合（栄養塩の量の奪い合い）は考慮しないこととした。なお、日射量の競合と生長速度差に基づき競合作用を解析する手法は Monsi & Sacki¹⁹⁾によって先駆的な研究が行われ、Tanaka et al.²⁰⁾はガマとヒメガマの競合に関する Sweden と USA の相反すると考えられる観測事例に対し、日射量と栄養塩濃度、植物の先取り状態をもとに、その長期的遷移傾向に統一的解釈を与えた。本研究手法はそれに準じるものである。

2-3 現地観測

(1) 植生調査

植生の遷移状況を観測するために、荒川旧流路内上池(35°58'N, 139°30'E)にて調査を行った。上池の横断方向に対して、湛水域でのヨシ群落の端部から1 m 毎に、葉茎高さ、葉茎密度、根元の直径を計測した。また植生の調査とともに、1 m 毎に開水面を基準とした地盤高を計測した。

(2) オギ・ヨシの破壊強度

植物(オギ・ヨシ)の外周直径に対する破壊強度の関係を, Coops & Velde⁹⁾にもとづき, プッシュプルゲージ(AIKOH 9550A)を用いて求めた。

3. 調査結果ならびに考察

(1) オギ・ヨシの破壊強度

図-2 にオギ・ヨシの直径と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。この図-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 M_b (N・m) を求めた。

(2) 平面流況解析結果及び茎に働くモーメント

10, 20, 30 m³/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(それぞれ 6.50 Nm, 2.50 Nm)とともに図-3(b)-(d)に示す(図-3(a)にはヨシ、オギの繁茂域を示す)。図-3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 20 m³/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。

(3) オギ・ヨシモデルの検証

観測時期は秋季であり、葉茎はほぼ枯れているが、枯死葉茎の高さと葉茎密度より地上部バイオマスを推定した(図-4(a), (b))。推定されたバイオマスをその地点の最大バイオマスと考え、解析値の最大バイオマスと比較した。なお、図-4(a), (b)中で、実線は水位モデルを考慮した計算結果、破線は考慮していない結果である。またオギ・ヨシ混在群落と観測された地点では、検証において

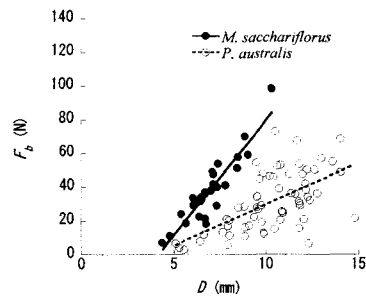


図-2 茎直径 D と破壊強度 F_b との関係

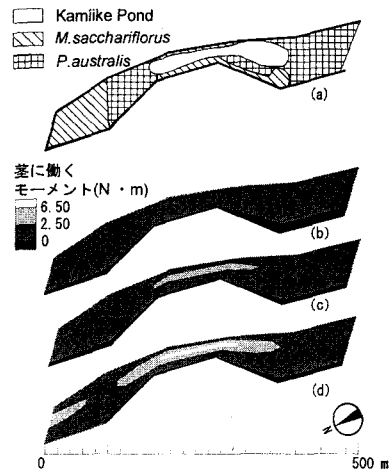


図-3 茎に働くモーメント(解析結果)とオギ・ヨシの茎の破壊モーメント(それぞれ 6.5 Nm, 2.5 Nm)の比較 (a)繁茂域, (b)10 m³/s, (c)20 m³/s, (d)30 m³/s

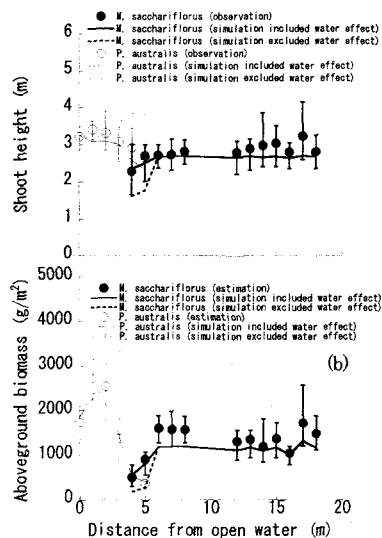


図-4 上池での観測・解析結果

(a)葉茎高さ, (b)バイオマス

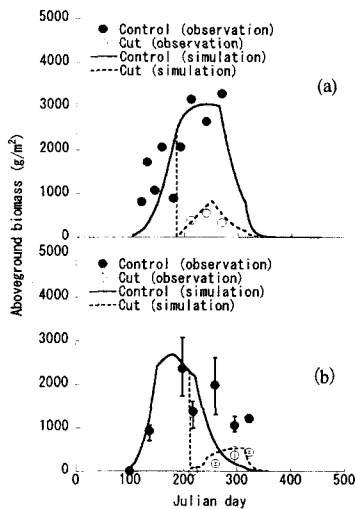


図-5 刈り取りモデルの検証 (a)オギ, (b)ヨシ

も競合解析を行った。また本解析において、 K_{NP} (土壌の栄養を表すパラメータ、 $0 \sim 1$)²⁰⁾ $=0.8$ のときに上池を最もよく表現できた。したがって以下の上池の解析においてはすべて $K_{NP}=0.8$ とする。バイオマスの検証 (図-4(b)) では、水位モデルの導入により、植生の分布をおおむね表現できている。しかし、葉茎高さ (図-4(a)) に関しては、オギはよく表現できているが、水際のヨシについては若干の精度低下が生じている。水際のヨシの生長は様々な環境要因 (外力、酸化還元状態等) が関係してくるため、いまだ不明な点が多く、複雑なメカニズムがあると考えられる。

(4) 刈り取りモデルの検証

埼玉県川口市見沼田んぼ ($35^{\circ} 52'N$, $139^{\circ} 43'E$) 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図-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。

(5) 洪水導入間隔の検討

オギ・ヨシともに折れる規模の洪水を想定し (CASE3)、洪水導入間隔を変化させ 10 年間の単独解析と競合解析を行ったものをそれぞれ図-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 (図-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が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

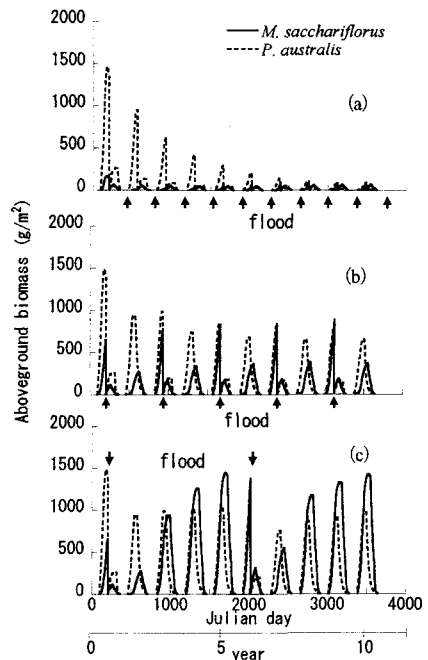


図-6 洪水導入間隔ごとの長期解析 (単独解析)

(a)1 年毎, (b)2 年毎, (c)5 年毎

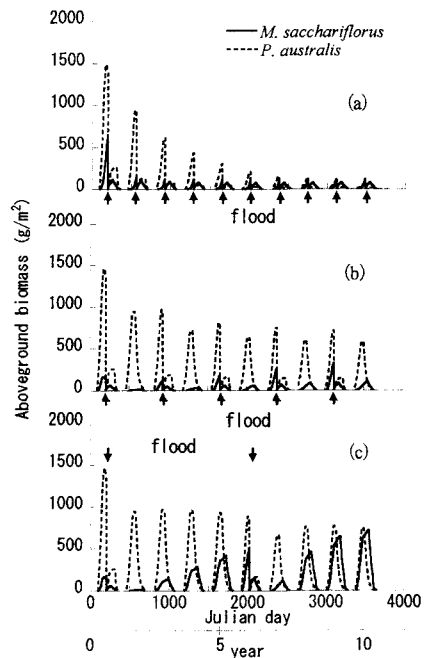


図-7 洪水導入間隔ごとの長期解析 (競合解析)

(a)1 年毎, (b)2 年毎, (c)5 年毎

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

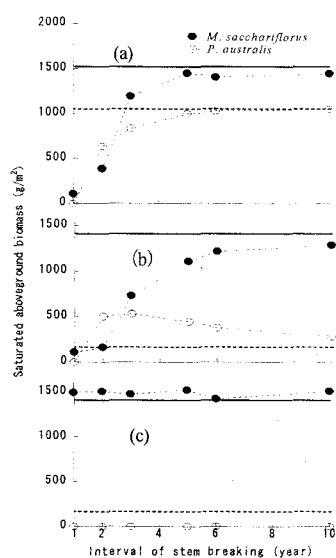


図-8 洪水導入間隔別の地上部飽和バイオマスの変化
(a)単独, (b)競合 (CASE3), (c)競合 (CASE2)
(実践, 破線はそれぞれ茎破断が生じない場合のオギ, ヨシのバイオマスを表す.)

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 (図-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。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成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。

茎が折れる洪水規模における30年後の地上部飽和バイオマスの洪水間隔による変化を図-8に示す。図中の実線・破線は, それぞれオギ・ヨシの洪水によるダメージがない場合の解析結果を示す。単独計算結果 (図-8(a)) によると, オギ・ヨシともに洪水間隔が5年以上であれば, ほぼ完全に回復することができる結果となった。

競合解析 (図-8(b)) によると, 洪水による植物の破壊が無い場合は30年後にヨシがほぼ駆逐されてしまう。また洪水間隔が1年 (毎年洪水により植物が折れる場合)

のときは, 群落の維持自体が危ういために両種とも消滅の可能性がある。しかし洪水間隔が2年以上になるとオギの優位性が減少するため, 30年後のヨシのバイオマス計算値 (白丸) を見るとダメージがない場合の計算値 (破線) に比べて大きな値となっている (図-8(b))。ヨシにとっては洪水間隔が2年程度の場合は有利にはたらく, ヨシ群落が駆逐されてしまうことは回避される可能性がある。しかし洪水間隔が大きくなると, オギの優位性が回復しヨシにとって不利な状況となるといえる。

またヨシのみが折れる流量を想定し同解析を行った結果を図-8(c)に示す。洪水間隔によらずヨシはオギに駆逐される結果となり, 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。バイオマスにより, 繁茂状況の推定が可能なため, 洪水導入間隔とバイオマスの増減を定量値とともに示せたことは大きな成果といえよう。しかし, 様々なダメージ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メカニズムを解明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, 荒川上流河川事務所から断面データを提供していただいた。また, 湯谷賢太郎助手, 大学院生八木澤順治氏, 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, 土木学会論文誌, 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, 土木学会論文誌, 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, 土木学会論文誌, 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, 土木学会論文誌, 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) 沼田 真: 植物生態学, 生態学大系 第1巻, pp.540-549, 1959.
- 19) Monsi, M. and Saeki, T.: Über den lichtfaktor in den pflanzenge-ltschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion, 1953. In: ボイセンイェンセン(門司正三・野本宣夫共訳), 植物の物質生産, 東海大学出版会, pp.185-223, 1982.
- 20) 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, *Aquat. Bot.*, Vol.79, pp.295-310, 2004.

APPROPRIATE FLOOD INTERVAL TO THE WETLAND IN OLD MEANDERING RIVER TRACE FOR NATURAL REHABILITATION

Norio TANAKA, Yuki KITAKAMI, Tomohiro OGAWA and Takashi ASaeda

Competition between wetland species, *Phragmites australis*, and upland species, *Miscanthus sacchariflorus*, in a river-wetland rehabilitation site was analyzed in relation to flood discharge, flood interval and their stem-breaking moment. 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, one of the damage types of the two species, was formulated. The decrease in biomass by flood discharge and interval were analyzed for monospecific stands and competitive stand. If their stem breaking is occurred every year, survival of the two species is difficult. However, if the interval is 2-5 years, they can survive but superiority of *M. sacchariflorus* is decreased. The analysis indicates that stem-breaking of both two species by flood every 2-5 years can delay the transition from wetland to upland species.