

(16) 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

山西 博幸^{1*}・山下 拓²・北岡 嵩規³・白濱 祐樹⁴

¹佐賀大学低平地沿岸海域研究センター (〒840-8502 佐賀市本庄町1)

²高崎総合コンサルタント (〒839-0809 久留米市東合川3-7-5)

³中島工業(株) (〒532-0011 大阪市淀川区西中島1-9-20)

⁴鹿島市役所 (〒849-1391 鹿島市大字納富分2643-1)

* E-mail: yamanisi@ilt.saga-u.ac.jp

本研究では六角川水系牛津川感潮域を対象とした水際環境の現状把握とともに、ヨシの植生調査を実施した。また、ヨシの生息空間分布を表記する数理モデルを構築し、その動態解析を実施した。その結果、近年の気候変動の影響と思われる水位上昇から水際環境変化として最大で6%の高水敷消失率が算定された。また、牛津川河岸に繁茂するヨシ群落の長期観測から、ヨシの繁茂域が平均満潮位を水際端とし、水際境界の位置に応じて密度分布の形状が遷移することを示した。さらに、現地データから数理モデルの各パラメータを概算し、ヨシの空間分布と植生密度を再現した。最後に、数理モデルを用いた水際境界の変化によるヨシ群落のレジュームシフトの可能性を示した。

Key Words : tidal river, habitat, *Phragmites australis*, population dynamics, mathematical modeling

1. はじめに

気候変動に伴う地球温暖化は今や緊急性の高い問題として様々な形で報告がなされ、一過性の対応ではなく、長期的な施策の必要性が訴えられている¹⁾。温暖化による水環境への影響には、洪水頻度の増加、降水パターンの変化、水資源不足、脆弱生物への影響、温度上昇および海面上昇による水域生態系への影響等が挙げられる。有明海湾奥部では干満差が大きく、また河床勾配の緩やかな低平地を流れる河川も多く、数十cmの海面上昇でも海水遡上や水際生態系へのインパクトは大きくなる。佐賀県六角川水系牛津川は、低平地流域を流れる強混合型の感潮河川で、六角川同様、常時多量の懸濁物が河道内を行き来している²⁾。そのため、河岸には粘着性堆積物、いわゆる、ガタ土が大量に堆積し、ヨシの繁茂とともに河道断面の狭小化や流水能低下の原因として河川管理上の課題となっている。現在、洪水対策の一環として国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所直轄区間の河岸掘削が計画的になされ、外水氾濫対策がなされているが、河川管理上、適切な河道断面確保と河川生態系維持を実

現するため、感潮区間のガタ土堆積とヨシを中心とした植生繁茂の相互作用について、河川環境保全の視点から新たな方策の検討も進みつつある³⁾。特に、ヨシ群落は牛津川感潮域で広く分布するとともに、河川水際域の生態系を規定する上で重要な役割を担っている。例えば、河岸のヨシ群落は局所的な環境場とした生物の生息・生育場であり、そこでは動植物の食物連鎖が形成される。また、ヨシ地下茎部での土壤環境の改善あるいは水中の栄養塩類の吸収といった水質浄化機能を有することも知られている⁴⁾。さらに、ヨシの生育に関する既往研究は多く、Fiala⁵⁾はヨシにかかわる多くの調査研究を整理するとともに、ヨシ地上部と地下部を8つの器官に分類し、ヨシの周期的な生長特性を見出した。また、その生長に関わる影響因子とともにヨシの生長モデルも構築されている。例えば、Asaeda and Karunaratne⁶⁾はヨシの生長に関する5つの器官を基礎とした支配方程式からなる動態モデルによって、年間を通したヨシのバイオマス収支を求めている。さらに、田中ら⁷⁾は、水分状態、土壤の栄養状態、浸水頻度、有機物割合、など様々な観点からのヨシの生長要因を整理するとともに、これらの視点を取

り入れたモデル構築に成功している。いずれも、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の大きさを示しているといえる。多自然型川づくりで多用されるヨシ群落の復元でも地下茎移植が主となっているのはその良い例である¹⁰⁾。一方、ヨシの生長拡大は詳細な観察のもとで構築された支配方程式群によってモデル化されるものの、煩雑な式や多数のパラメータが必要で、実務上有用かつ簡単なモデルによってヨシの動態を河川管理の立場で論じたものはない。

本論文では、ヨシの植生調査にもとづく、ヨシ群落の空間分布特性から、その分布域の拡大あるいは縮小を数理モデルで表現し、水際環境の変化による植生の生息空間への影響について検討する。また、調査結果から水際であたえられる短期的あるいは中長期的なインパクトが水際域の生態系遷移、いわゆるレギュームシフトをもたらす可能性について検討する。

2. 河岸域における植生の空間分布とその拡がりに関する数理モデル

ここでは簡単化のため、対象空間内をヨシ群落が拡散して拡がるモデルとして取り扱う。いま、一次元の空間を考え、植生密度を $N(x, t)$ 、空間軸を x 、拡散係数を D （一定）とする。また、ヨシは増殖しながら高水敷に広がるが、植生密度の増加とともにその増殖速度は抑制されると予想されるため、これをロジスティック増殖として表した。さらに、ヨシが様々な方向へ分散する過程で、地下茎が最適な生息環境場を求め、選択的に移動すると考えた。なお、ここでは移流効果を関数化した選好性の評価はせず、単に一方方向を有する速度としている。このような個体群の空間分布特性の考え方は、密度が時間とともに連続的に変化する場合に適用可能である¹¹⁾。ただし、種子繁殖を主体とする植物の個体群動態解析は移動や拡散の影響が限定されるため、異なる数理モデルを必要とする（例えば、文献10））。

したがって、植生密度 N の時間変化は、拡散項、移流項および増殖項によって次のように表せる。

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} - u \frac{\partial N}{\partial x} + rN \left(1 - \frac{N}{K} \right) \quad (1)$$

ここで、 u ：地下茎の環境場選好性による移動速度（m/日）、 K ：ヨシの環境収容力（本/0.25m²）、 r ：内的自然増加率（1/日）である。式(1)の右辺第3項を除く線形同次偏微分方程式は一樣流れに乗った座標変換を用いて解けば、その解として次式が得られる（例えば、参考文献11））。

$$N(x, t) = \frac{n_0}{2\sqrt{\pi Dt}} \exp \left[-\frac{\{(x-x_0)-ut\}^2}{4Dt} \right] \quad (2)$$

ここで、 n_0 は $t=0$ で $x=x_0$ の地点での単位長さ当たりの植生密度である。実際には式(1)を解く必要がある。しかし、式(1)の右辺第3項に N に関する非線形項が加わるため、厳密解を得るのが容易でない。したがって、ここでは式(1)を差分化することで植生密度の時間変化について数値的に解くこととした。式(1)の差分化に際し、時間項については前進差分、拡散項については中央差分、移流項については解の安定性の観点からラックス・ベンドロフ法を適用すると、次のようになる。

$$N_i^{n+1} = N_i^n + \frac{\Delta t^2}{\Delta x^2} \left(\frac{D}{\Delta t} + u^2 \right) (N_{i+1}^n - 2N_i^n + N_{i-1}^n) - \frac{u\Delta t}{2\Delta x} (N_{i+1}^n - N_{i-1}^n) + rN_i^n \left(1 - \frac{N_i^n}{K} \right) \Delta t \quad (3)$$

ここに、 Δt ：時間刻み、 Δx ：格子間隔、 i ：格子点の空間位置、 n ：時間軸上のステップ位置（時刻）である。以下、第5章にて式(3)の差分式を用いて、調査結果との比較によるパラメータの検討とともに、水際境界の変化がヨシ群落に及ぼす影響について調べる。

3. 牛津川水際環境の実態

(1) 牛津川の概要

図-1は本研究で対象とした六角川水系牛津川0～8km地点の概略地図である。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。また、有明海湾奥部は干満の差が非常に大きく、六角川水系の河口部付近で干満差が最大で5～6mに達すると言われている。そのため、強い潮流が発生し、常に泥の巻き上げが生じ、比較的高濁度の状態にある。この潮位変動の影響を受ける牛津川の感潮域は約12kmで、この区間において遡上する高濃度の浮遊懸濁物が低水路や河岸にガタ土として堆積する。ガタ土に加えて河岸には大型のイネ科植物であるヨシを中心とした植物群落が形成されている。そのほか、六角川水系の周辺は海面よりも標高が低い低平地であることや長い感潮区間のため、外水氾濫と内水氾濫が複合的に発生しやすく、河道断面管理と併せた流域管理が重要な課題となっている。

(2) 水位上昇に伴う河川水際環境への影響評価

牛津川調査対象域での水際環境を評価する上で、基準となる水面高さとして、平均水位、平均満潮位、平均干潮位を求めた。ここでは、現状での環境評価のため、水

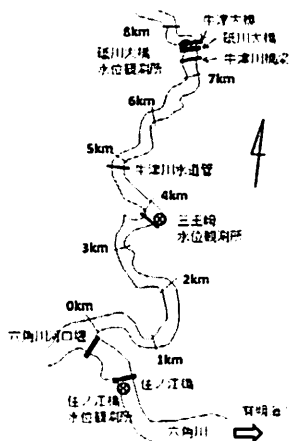


図-1 牛津川(0km-8km 区間)

位データとしては直近となる2009年6月～2010年5月までの1年間を対象に、国土交通省武雄河川事務所管理の三王崎水位観測所(3750m地点)と砥川大橋水位観測所(7370m地点)の水位データ(1時間毎)を用いた。各時間毎の水位から対象地点での水位を直線回帰によって求めた。

図-2はこのようにして求めた調査対象水域4500m地点における各基準水位と断面形状である。同様に他地点も含めた結果をもとに、仮想的に水位を増加させた場合に生じるであろう高水敷の消失率を求めたところ図-3のようになった。ここで消失率とは、断面ラインの消失割合である。牛津川における水位の長期変化率に基づけば、100年間で対象区間内の水位はおよそ5～20cm程度上昇することとなるが、高水敷の消失率は平均満潮位で最大6%である。わずかな水位上昇でも冠水面積の増加によって高水敷のヨシの植生拡大あるいは縮小の生じる可能性が高まる。この影響については第5章にて検討する。

4. 河岸ヨシ群落の生長に関する長期モニタリングとその分布特性

(1) ヨシ植生調査

調査対象域として牛津川河口より4500mから5150mの650m間の左岸とした。本区間は2009年度末に流水能の維持管理のため、河道掘削とヨシの刈取りが行われている。なお、高水敷は切り下げのみが行われ、水際ガタ土は1/10勾配で施工されている。

河岸対象区間におけるヨシ群落の長期的な生長とその分布特性を明らかにするため、対象区間25mごとにヨシの植生密度を河岸横断方向に測定した。測定には0.5m×0.5m(=0.25㎡)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。また、植生密度を所定の階層に区分し、これらの経月変化やヨシ群落面積の

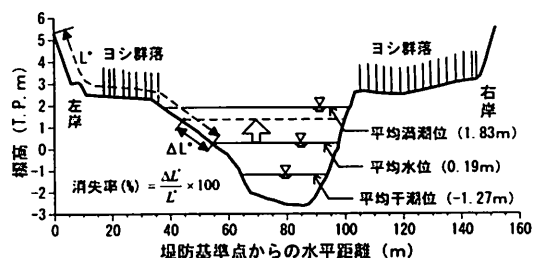


図-2 4500m 地点における断面形状と各基準水位

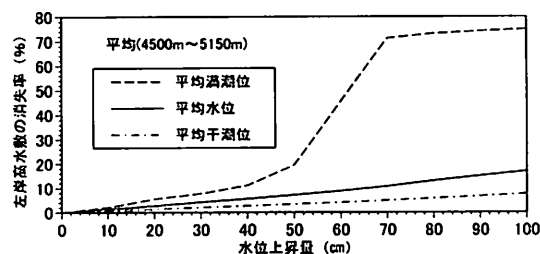


図-3 水位上昇による高水敷消失率(4500m-5150mの平均)

拡大速度等を算出した。さらに、流路対象区間を50mピッチでヨシの地表面からの高さを定期的に測定した。

(2) ヨシ群落の分布特性とその季節変化

図-4(a)～(d)は、2010年6月2日、9月24日におけるヨシ群落の繁茂状況を密度分布として示したもので、とくに4500mから4700mまでの植生密度を拡大して表記したものである。一連の図より、河岸平面内のヨシの分布は平均満潮位を水際端として、堤防側及び流路縦断方向に生長進行していることがわかる。調査当初、ヨシの背丈は1m程度で、その密度は4～6(本/0.25㎡)前後の階層区分が最も多かった。その拡大速度は、季節、土壌環境および高水敷の境界条件に依存するものの、今回の対象区間4500m～5150m左岸の6～9月のヨシの成長期で19.8㎡/dayとなった(図-5参照)。また、測定期間内で鉛直地下茎から伸びる葉茎の最大密度は24本/0.25㎡であった。さらに、一部、ヨシが全く繁茂していない部分が見られる。これは河岸ガタ土掘削工事時の際に行われた地盤改良土の残土や砂利敷設による地盤強度の増加、もしくはpHの上昇等がヨシの生長を阻害していると思われる。一方、図から必ずしもヨシの水際境界が平均満潮位になっていないところもある。そこで、平均満潮位を水際端とする場(4600m)とそうでない場(4500m)のヨシの植生密度を左岸基準点からの距離xの分布として整理した(図-6(a), (b))。一般に個体群の空間分布はガウス分布に従うことが多いため、ここでもガウス分布に当てはめた曲線回帰を行っている。図-6(a)は平均満潮位の水際端までヨシが進行している場合で、調査当初、x=22mあたりまで植生域が見られた。その後、x=20m地

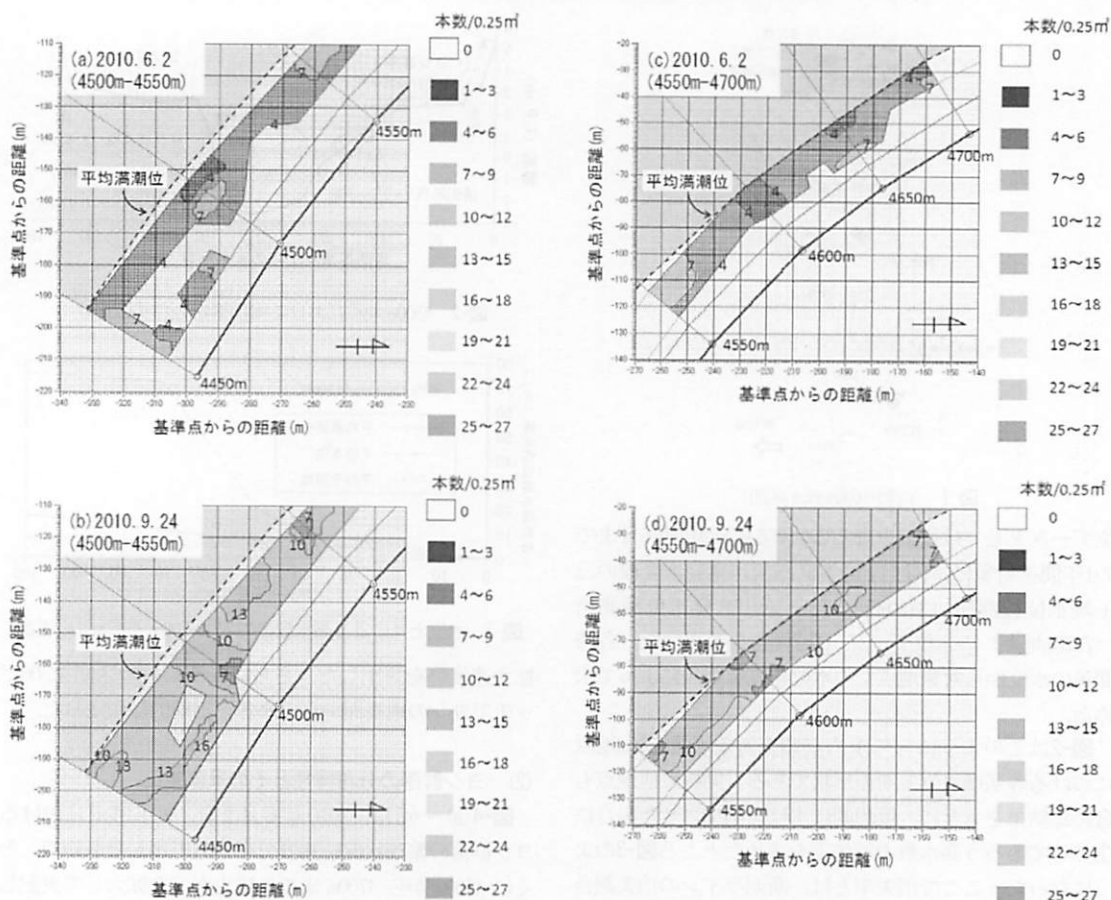


図-4(a)~(d) 牛津川 4500m~4700m 左岸部でのヨシ密度分布の変化

点に後退し、それと同時にヨシの密度分布も $x_0=14m$ あたりにピークを持つ分布形に変化し、結果、陸域側に群落分布のピークが移動している。一方、図-6(b)は平均満潮位の水際端までヨシが進行していない場合である。植生の水際端 ($x=25m$ 付近) は調査期間を通じてほとんど変化しなかったものの、ヨシ密度のピーク位置 x_0 が当初 $14m$ 付近であったものが、最大 $x_0=19m$ 付近まで移動し、その後 $x_0=16\sim 17m$ で落ちついた。紙面の都合上、他地点の傾向を示していないが、傾向は全く同じであった。つまり、ヨシ群落密度の分布形が水際に移動する場合とそうでない場合があり、植生の環境指向性あるいは環境選好性が存在することや植生の広がりやを阻害する水際境界の存在を示している。植生の指向性としてヨシ群落の移動方向を規定する大きなものに地下茎の発達上げられる。一般に地下茎の生長を規定するものには、水分、栄養、温度があり、ここでは同じ場所でも同時期の変化を考えれば、時々変化する土壤中の水分が律速となっていると思われる。したがって、地下茎の指向性としてはより適切な土壌水分場への進行と考えれば、4500m 地点のヨシ群落の移動特性は説明できる。このことについては、

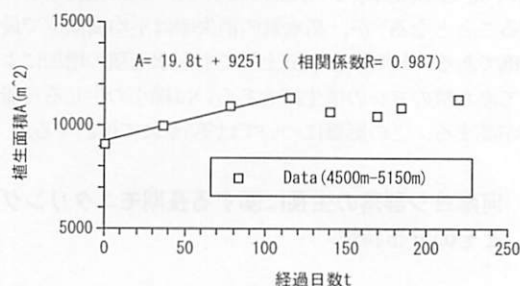


図-5 4500m~5150m 左岸での植生面積の経月変化

湛水深の観点から田中ら⁷⁾も同様の指摘をしている。一方、すでに水際に到達した環境場では、それ以上の地下茎進行は逆に生長障害となって現れるため、陸域側へ分布形が移動したと言える。これらの観測事実は、第2章の数値モデル構築の際に仮定した地下茎の選択的な移動とも合致する。

図-7 は対象全域の植生密度と葉茎高の経月変化を示している。図より、植生密度は9~10月頃まで増加し、 $0.048(\text{本}/0.25 \text{ m}^2/\text{日})$ の速度で生長している。また、平衡時の植生密度は $13\sim 14(\text{本}/0.25 \text{ m}^2)$ と推定される。言

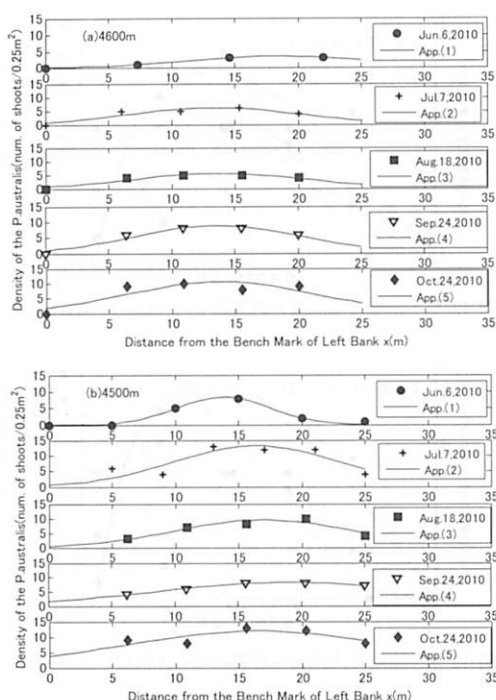


図-6 ヨシ植生密度の分布特性とガウス分布の当てはめ
(a) 4600m 左岸部, (b) 4500m 左岸部)

い換えれば、これはヨシの増殖速度が植生密度の増加とともに減少することを意味している。したがって、式(1)の増殖項としてロジスティックモデルを用いたことに問題はなかったと言える。さらに、葉茎高は月を追うごとに増していたが、その平均値は10月で1.9mに到達したのち、ほぼ一定となった。これらの結果より、牛津川におけるヨシは、10月頃までその葉茎高を生長させ、それ以降は葉茎の生長がほぼ終了することがわかる。その後、ヨシは先端に穂を形成し、種子を飛散させ、光合成生産物の地下茎輸送と貯蔵及び新地下茎形成に移行すると考えられる¹³⁾。

5. 数理モデルによるヨシ群落の時空間変化と水際境界の影響評価

ここでは、先に示した植生モデルの妥当性の検証とともに、前節までの調査結果に基づき、河岸ヨシ群落の空間分布とその動態について検討を行う。計算には式(1)を差分化した式(3)を用いた。また、ヨシ群落の生息域は区間(0, L)内に限られる境界条件を課した。すなわち、生息限界地点ではヨシは全く生長できないとし、そこでの植生密度 N は0となる。

$$N(0, t) = N(L, t) = 0 \quad (4)$$

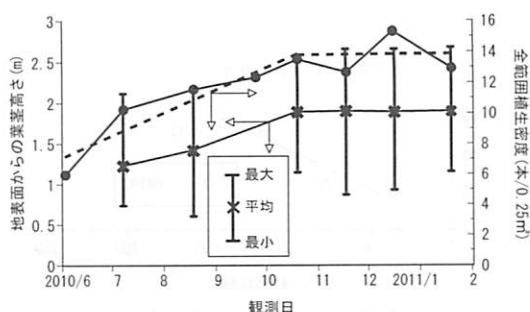


図-7 ヨシ葉茎高さ及び全範囲植生密度の経月変化 (2010. 6~2011. 1)

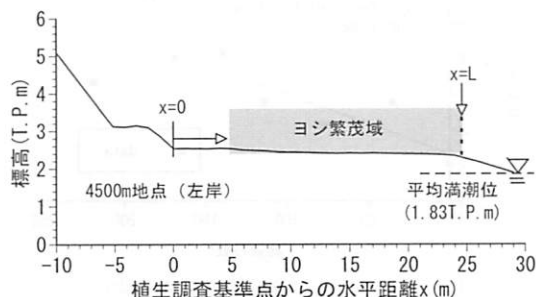


図-8 モデル計算の際の座標軸 (4500m 地点)

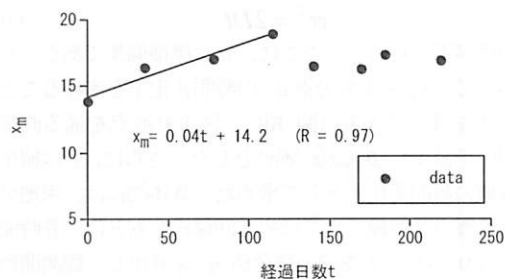


図-9 x_m の時間変化 (4500m 左岸)

ここに、 $x=0$ は左岸堤防下端とし、 $x=L$ はヨシの水際での生育限界地点で、 $x=0 \sim x=L$ が計算の対象範囲である (図-8参照)。

まず、式(1)での計算に必要な各パラメータ値の概算を行った。必要なパラメータは、拡散係数 D 、移流速度 u 、内的自然増加率 r および環境収容力 K の4つである。式(2)は式(1)の完全解ではないものの、調査結果に基づく密度分布を大凡近似できるため、式(2)のガウス分布式を調査データに当てはめた近似曲線から平均的なヨシ群落の中央値 $x_c = x_0 + ut$ を求めた。 x_c の時間変化率には x_0 の時間変化も含まれるが、ここでの x_0 はヨシの基軸となる地下茎の位置と考えれば、 x_0 自体の移動速度は無視できるとした。そこで、 x_c の時間変化率を求めたところ、0.04(m/day)を得た (図-9参照)。この値は図-5から求めた植生面積の拡大速度を区間長650mで除した0.03(m/day)

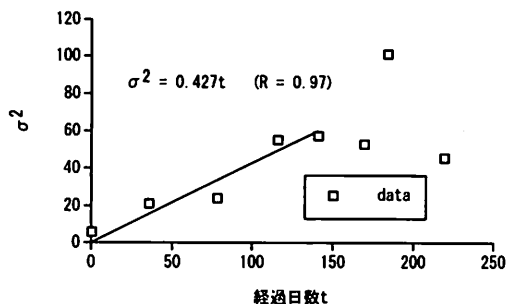


図-10 σ^2 の時間変化 (4500m 左岸)

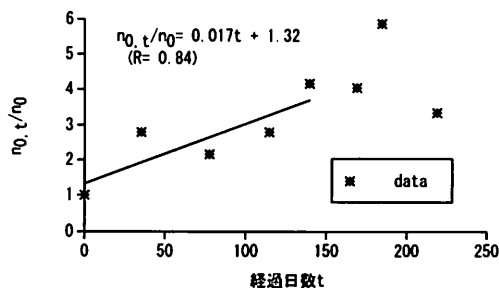


図-11 $n_{0,t}/n_0$ の時間変化 (4500m 左岸)

と大凡一致する。また、一般に式(2)とガウス分布式の比較から、

$$\sigma^2 = 2Dt \quad (5)$$

の関係が得られる¹¹⁾。ここに、 σ は標準偏差である。したがって、式(5)より分散 σ^2 の時間変化率を求めることで、 D を概算できる(図-10)。図より原点を通る直線勾配の半値から $D=0.2(\text{m}^2/\text{day})$ とした。さらに、 r は植生密度値の時間変化率として求めた。具体的には、現地データをガウス曲線で当てはめた回帰式をもとに、各時間毎に $x=0$ から $x=L$ までの積分値 $n_{0,t}$ を算出し、観測開始日の n_0 で除した($n_{0,t}/n_0$)の経日変化率から $r=0.02(1/\text{day})$ とした(図-11 参照)。そのほか、環境収容力 K は図-7から植生密度の平衡値を若干上回る15(本/0.25m²)とした。

図-12は、4500m左岸部でのヨシの植生密度の実測値と上記パラメータ値($D=0.2$, $u=0.04$, $r=0.02$, $K=15$)を用いた数値計算結果との比較である。水際境界は現地調査に基づき、 $L=25\text{m}$ で一定とし、6月2日の実測値から近似したガウス分布形を植生密度分布の初期値形状として与え、 $\Delta t=0.1$ 日、 $\Delta x=0.42\text{m}$ として計算した。なお、図中の番号(1)～(5)は、図-6の番号と対応した調査日となっている。図より、ヨシの植生密度の高い地点 x_0 の水際への移動が表現されているものの、密度自体やや低く、全体として実測値との相関が悪い。そこで、拡散係数 D は0.2のまま、移流速度 u と内的自然増加率 r をそれぞれ0.05、0.03として再計算した。その結果、経日毎の厳密な一致は困難なものの、全体としては実測

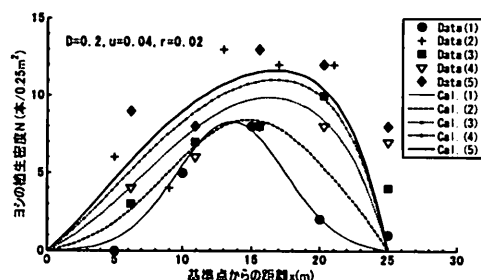


図-12 植生密度の実測値と計算結果の比較(1) (4500m 左岸)

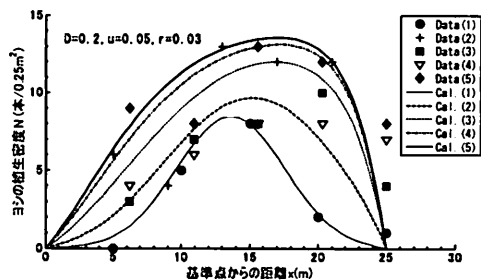


図-13 植生密度の実測値と計算結果の比較(2) (4500m 左岸)

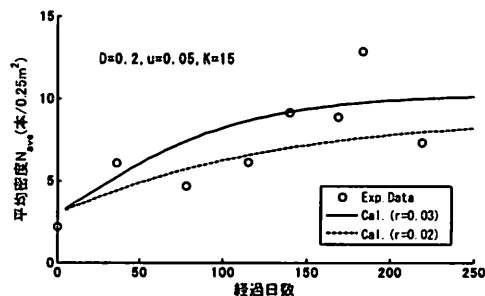


図-14 平均植生密度の経日変化 (4500m 左岸)

値との相関が良くなった(図-13 参照)。また、図-14は上記パラメータに基づいて計算した4500m地点における平均植生密度 N_{ave} の経日変化である。なお、 $D=0.2$, $u=0.05$ は一定のまま、 r を2通り($r=0.02, 0.03$)に変化させて比較した。実測データに基づく算出値の変動がやや大きいものの、 $r=0.02\sim 0.03$ で大凡表現可能といえる。また、 $r=0.03$ の計算結果のうち、0～120日目までを直線回帰してもとめた勾配は0.05(本/0.25m²/day)となり、図-7の調査対象区間全体の増加速度0.048とほぼ一致した。

以上の結果から、式(1)に基づく差分式(3)を用いた以後のモデル計算には、 $D=0.2$, $u=0.05$, $r=0.03$, $K=15$ を採用した。図-15は4500m地点を対象としたヨシの植生密度の時空間変化の計算結果である。図より、初期の密度分布から時間の経過に伴う水際への群落密度の増加や高水敷全体に広がる様子がシミュレーションされている。次に、水際の境界が変化するとき、植生分布に与える影響

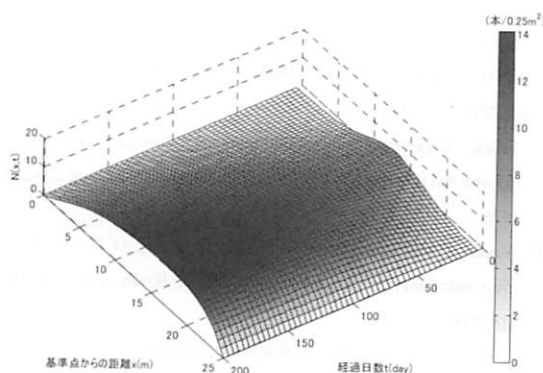


図-15 ヨシ植生密度の時空間変化 (4500m 左岸)

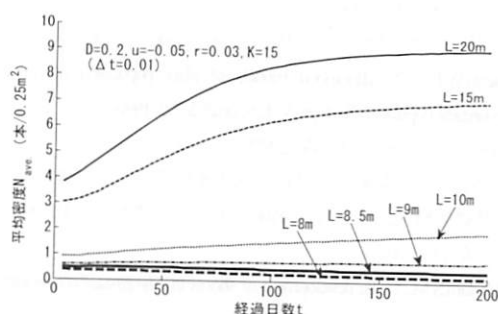


図-16 水際境界値 L の変化に伴う平均密度 N_{ave} の経日変化 (4500m 左岸)

について検討した。図-16 は水際境界値 L を変化させたときの平均密度 N_{ave} の経日変化である。なお、水際境界が陸側へ移行してくるため、 u は -0.05m/day と反転させている。図より、ヨシが群落として生育できる区間にはある閾値が存在し、いわゆる最小群落長 L_c が存在する。ここで、平均密度が 1 以下の場合、現実的には生息していないと見なしでも良いと判断すれば、図より $L=9\sim 10$ 付近にヨシ群落の生長維持か消滅かを規定する限界値の存在がわかる。このことから、生息域の減少とともに、この限界値 L_c 以下になると、内的自然増加率以上の外部流出が平均密度の減少を増長させ、ヨシ群落の消滅を引き起こすと予想される。先に示した牛津川での近年の気候変動による水位変化では 100 年で最大 6% 程度の河岸消滅が算出された。4500m 地点の場合、長さにして 1.5m 程度の水際後退であり、前述の結果からヨシの生育への影響はほとんどないと言えよう。ただし、河岸工事等でヨシの水際生息場が $L_c=10\text{m}$ に相当する 60% の消失・変位に至る場合には、これをきっかけとしたヨシ群落の消失、いわゆるレジュームシフトの生じる可能性が高い。図-17 は $L=8\text{m}$ とした場合の植生密度の時空間変化で、 N は 1 を下回り、減少の一途をたどる。なお、高水

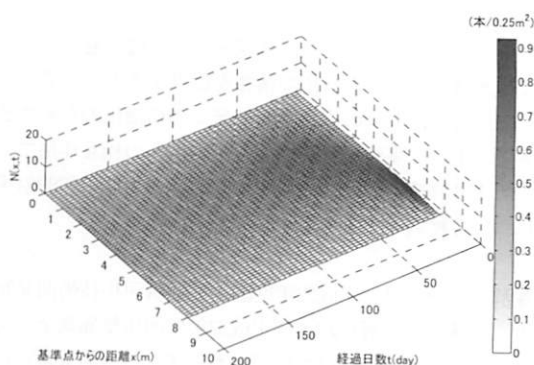


図-17 ヨシ植生密度の時空間変化 (4500m 左岸)

※ $L=8\text{m}$ (L_c) の計算結果 ($\Delta t=0.01$ 日, $\Delta x=0.13\text{m}$)

敷削削といった比較的短期に生じるインパクトの影響ではなく、温暖化による中長期的変化とそのレスポンスについては、図-16 中の $x=L$ が時間経過とともに変化するものと読み替えれば、結果として生息域へのインパクトを評価するといえる。

第 2 章でのヨシ群落の生息空間モデルの構築では、単純化のために、移動速度 u や拡散係数 D を一定としてモデル化した。今後は二次元空間への解析拡張とともに、現地調査に基づくヨシ地下茎の選好速度 $b(x)$ や密度依存性を有する拡散係数 $D(x)$ の導入等について検討する必要もあろう。

6. まとめ

本研究では、水際の水位上昇に伴うインパクトに着目しながら、河川感潮域での水際生態系に与える影響の現状把握とともに、ヨシの植生調査および数理モデルにもとづき考察を加えた。以下、結果をとりまとめると次のようになる。

- 1) 現状での断面形状を基に水位上昇による高水敷消失率を求めたところ、100 年で 6% であった。なお、冠水面積の増加は、ガタ土堆積を促進させるなど、他の物理環境への影響も示唆される。
- 2) ヨシの繁茂域は、平均満潮位を水際端として広く高水敷で生長した。また、ヨシの植生密度は、9~10 月頃まで生長し、平衡時の植生密度は $13\sim 14$ (本/0.25 m^2) で、その生長速度は 0.048 (本/0.25 m^2/day) であった。
- 3) ヨシ群落の空間的な拡大・縮小に関する数理モデルを構築し、現場データとの比較検討から、拡散係数 $D=0.2$ 、移流速度 $u=0.05$ 、内的自然増加率 $r=0.02$ を決定した。またこれらをもとに、水際境界の影響によるヨシ群落の密度分布を算出し、その生育限界長さが $L=9\sim 10\text{m}$ であることを示した。

本研究成果は、水位変化の影響を強く受けやすい水際

生態系について評価するもので、成果の一部は河川生態のみならず、水に面した生態環境への影響評価として広く他水域においても有用な情報を提供するものと考えられる。今後はヨシの生息空間モデルの精緻化のための改善とともに、牛津川特有のガタ土堆積との相互作用についてより詳細に評価し、河川水際環境の生態工学的対策について検討をすすめる予定である。

謝辞：本研究は、平成22年度国土交通省河川技術開発制度（地域課題分野）および平成22年度河川整備基金の助成のもとで実施されたものである。また、本研究遂行に当たり、国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所より各種データの提供を受けるとともに、現地調査に際して格別の便宜を図っていただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 気象庁：IPCC第4次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約, 22p, 2010. (<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/index.html>)
- 2) 二渡了, 楠田哲也：強混合河川感潮部における懸濁物質輸送過程のシミュレーション, 土木学会論文集, No. 452/II-20, pp. 61-70, 1992.
- 3) 山西博幸ら：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, 土木学会河川技術論文集, 第17巻, pp. 203-208, 2011.
- 4) 楠田哲也編著：自然の浄化機構の強化と制御, 技報堂出版, pp. 229-230, 1991.
- 5) Fialak : Underground Organs of *Phragmites australis* , their growth, biomass and net production, Folia Geobot. Phytotax, Vol.11, pp.225-259, 1976.
- 6) Asaeda, T. and Karunaratne, S :Dynamic modeling of the growth of *Phragmites australis*: model description, *Aquatic Botany*, Vol.67, pp.301-318, 2000.
- 7) 田中規夫ら：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.
- 8) 落合直文：鋤き込みによるヨシ復元試験の紹介, 多自然研究, No. 128, pp. 3-6, 2006.
- 9) 巖佐庸：数理生物学入門, 日刊出版局, 350p., 1990.
- 10) Pacala, W.P. : Neighborhood models of plant population dynamics, *Theoretical Population Biology*, Vol.29, pp.262-292, 1986.
- 11) 椿東一郎：水理学II, 森北出版, pp. 186-187, 1974.
- 12) 山西博幸ら：気候変動に伴う河川水際環境への影響に関する基礎的研究, 土木学会第66回年次学術講演会, VII-094, pp. 187-188, 2011.
- 13) Haslam, S.M. : The development of shoots in *Phragmites communis*, *Trim. Bot.*, 33, pp.695-709, 1969.

(2011. 5. 30 受付)

Influence of Changing of Waterline Environment on the Habitat of *Phragmites australis*

Hiroyuki YAMANISHI¹, Hiromu YAMASHITA², Kouki KITAOKA³
and Yuki SMIRAHAMA⁴

¹Institute of Lowland and Marine Research, Saga University

²Takasaki Company Limited

³Nakajima Industrial Company Limited

⁴Kashima City Office

The purpose of this study is to examine the effect of the change of waterline environment in a tidal river on the habitat of *Phragmites australis*. Also, a mathematical model to describe the population dynamics of *P. australis* is defined and compared with survey data. Field survey to investigate the distribution of *P. australis* were carried out in the Ushizu River. The results indicated that the waterline zone of a maximum of about 6% disappears in the riverbank under the global warming. In addition, it was shown that the distribution of population density changes in response to the change of waterline as the habitat boundary. Though the field survey data regarding to the distribution of *P. australis* is scattered, the numerical results agree with the data roughly. Further, the simulation showed the possibility of regime shift of *P. P. australis* in the riverbank by the change of upward waterline.