木津川下流部における砂州地形の特徴と植生域の変遷シナリオ

TRANSITION OF BAR MORPHOLOGY AND VEGETATED AREA IN THE DOWNSTREAM OF THE KIZU RIVER

寺本敦子[1]・宮脇真二郎[2]・辻本哲郎[3]
Atsuko TERAMOTO, Shinjiro MIYAWAKI and Tetsuro TSUJIMOTO

[1]正会員　博(工)　松江工業高等専門学校　環境・建設工学科　助手
（〒690-0865 島根県松江市西生馬町14-4）
[2]学生会員　学士　名古屋大学大学院　工学研究科社会基盤工学専攻
（〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町）
[3]正会員　工博　名古屋大学大学院工学研究科　教授　社会基盤工学専攻（同上）

In the downstream segment of the Kizu river (0-20km) where sandy bars are formed alternately, vegetated area on the bars have grown. The bar-morphology in this area has also been affected by impacts such as extensive dredging in the downstream (the Yodo river), gravel mining and so on in the past decades. In this paper, we focused on the relationship between the transitional change in bar morphology and that in vegetated area. By using the aerial photo and the records of cross sectional survey, we investigated the change in the character of vegetated area on a bar, as well as the change in the plane and vertical characteristics of bar morphology. As a results, we found the 6 patterns of changing the bar morphology and vegetated area. And we also clarified that the differences in the threshold discharge for flushing out the pioneering vegetation, bring about various patterns in it.

Key Words : *Transition of bar, vegetated area, bar morphology*

1．はじめに

近年，河道内の樹林化や砂州モード数の減少など河道の変質が著しい．こうした変化は，ダム建設による流況の変化と土砂供給の減少など人為的インパクトによるものが多い．本研究で取り扱う木津川下流部においても，高山ダム建設による流況の変化に加え，1960年代までの活発な採取，1970年以降の淀川本川掘削による下流からの河床低下など人為的インパクトが加わり，1970年代から劇的に河道内物理環境が変化している．

対象区間においては，1970年代より18個の明確な交互砂州が形成されており，砂州に対し**図-1**に示すようなナンバリングを行うこととした．この区間の植生域変遷に関する研究の中には，鷲見ら[1]による砂州上の一植生域に着目した研究と，辻本ら[2]の区間全体の砂州上の植生を取り扱ったものがある．こうした研究が行われる中で，手取川など礫床区間の植生域の変遷（辻本ら[3]）とは異なり，砂床区間である木津川の下流域には，植生繁茂状況の異なる砂州が混在していることが明らかになっている．辻本ら[2]は，礫床区間と砂床区間の植生変遷過程の

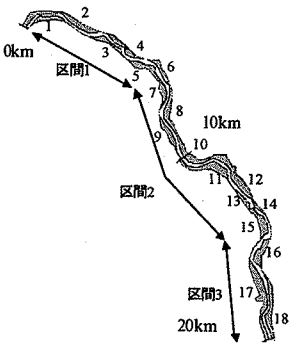


図-1　木津川下流部に存在する砂州とその番号付け

違いに着目し，その混在理由の一つとして，現地地形を用いた数値解析により，植生がほとんど見られない砂州と植生域が拡大している砂州では，1970年代後半から1980年代前半の水際域の乱され方が異なったことを挙げている．こうしたこれまでの研究成果を踏まえて，本研究においては，木津川下流域における砂州地形と植生域の変遷に着目し，その相互の関連や特徴的な変化パターンを明らかにする．

河道内砂州地形は，生物や植生が存在する場として非常に重要な役割を果たしているにも関わらず，これまでの研究においては，砂州地形の変化がどのように植生の

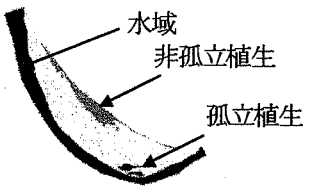


図-2　切り取った砂州域と塗り分けの例

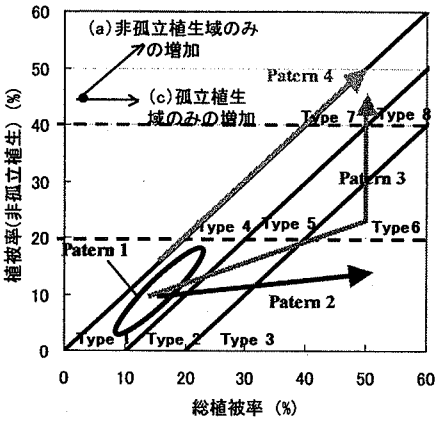


図-3　植生繁茂状況のタイプ分けと変化パターン例

生育環境，生物生息環境と関わっているのかの議論は十分なされてこなかった．木津川下流部の様々な形状，様々な植生繁茂状態となっている砂州を対象に，それらの相互の関係及び変遷傾向を調べ，なぜそのような状況が生まれているのか考察を加えることにより，今後の砂州の変化予測や砂州景観のあり方の議論に，有益な情報を得る．

2．木津川下流部における植生繁茂特性の把握

本研究では，木津川下流部に存在する下流からナンバリングした18個の砂州について，人工的な高水敷を除いた河道内の陸域とそれに接する水域を含む領域を砂州域として切り取る．そして，植生域の把握を，辻本ら[3]の方法に従って，航空写真から砂州域に対する植被率を算出する．

ここでは，植生がその位置により地形や流れなどに与える影響が違うことを考慮し，砂州ごとに孤立植生域（砂州上に孤立して存在している植生域）と非孤立植生域（高水敷き近くの植生域，またはそれにつながって存在している植生域）に分けて植生域の把握を行う（図-2）．

(1) 植生繁茂状況とその変化の把握

砂州上の繁茂状態を把握するために，孤立植生域及び非孤立植生域の植被率により図-3のようなタイプ分けを行う．非孤立植生率20%，40%を境界としてタイプ1-3，4-6，7-9とし，孤立植生率を10%，20%を境界として，タイプ1，4，7とタイプ2，5，8とタイプ3，6，9のグループに分割した．各砂州が，植生繁茂状態のタイプをどのように変化させていくか，植被率の算出結果によって求めると，図-3に示すような4つのパターンの変化をする砂州が存在することがわかった．表-1にその植生繁茂変化パターンの説明とそれに当てはまる砂州を示す．

表-1　植生域の変遷パターンによる砂州の分類

Patern	所属砂州	植生域の変遷の特徴
1	7，10，13，15	植被率が植生繁茂タイプ1の領域内で変化しており，植生域の顕著な拡大が起こらない．
2	8，9，11	非孤立植生は拡大しないが，孤立植生域が拡大する．
3	4，5，16，17	非孤立植生，孤立植生共に増加し，最終的に孤立植生が減少する．
4	1，2，3，6，12，14，18	非孤立植生の拡大が著しく，孤立植生が発達したとしても非孤立植生とつながる．

(2) 植生繁茂状況の変化時期の検討

繁茂状況変遷に関するパターンごとに繁茂タイプが変化する時期を把握するために，図-4に繁茂タイプの経年変化を示す．この図によると，非孤立植生域が拡大していくパターン3，4の変化は，1970年代前半から1990年代前半にかけて繁茂タイプの移行が顕著に起きているが，砂州により繁茂状態が変化していくタイミングが異なっていることがわかる．一方，孤立植生域の拡大を伴うタイプの変化のうち，変遷パターン2では，1980年代前半に，変遷パターン3では，1970年代後半から1980年代前半に主たる変化が起こっていることがわかる．変遷パターン2の砂州においては，植被率の経年変化をより詳細を見ると，孤立植生域の拡大は，1970年代後半から徐々に起こっていることがわかり，どの砂州においても，孤立植生域の拡大は，1970年代後半から1980年代前半にかけて徐々に起きていたことがわかった．

以上の結果から，植生域の拡大は，木津川の砂利採取禁止され，ダム群が建設されて以後の1970年代後半以降に顕著に起こっている．特に，非孤立植生の拡大は，特定の砂州で年々徐々に進行しており，孤立植生の拡大は，特に1970年代後半にきっかけを得て1985年までに顕著に進行していると言える．

(3) 植生繁茂位置の変化

著者ら[2]のこれまでの研究により，下流部中流区間の砂州のうち，植生域拡大が顕著に起こっている砂州では，植生域拡大のきっかけとして水際に近い陸域が乱されにくい傾向にあったことが示されている．そこで，孤立植生域の拡大が見られる変遷パターン2に属する砂州8，9，11，変遷パターン3に属する砂州4，5，16，17の孤立植生域の拡大が顕著になる1983年付近の植生域の分布傾向を調べると，以下のことがわかる．

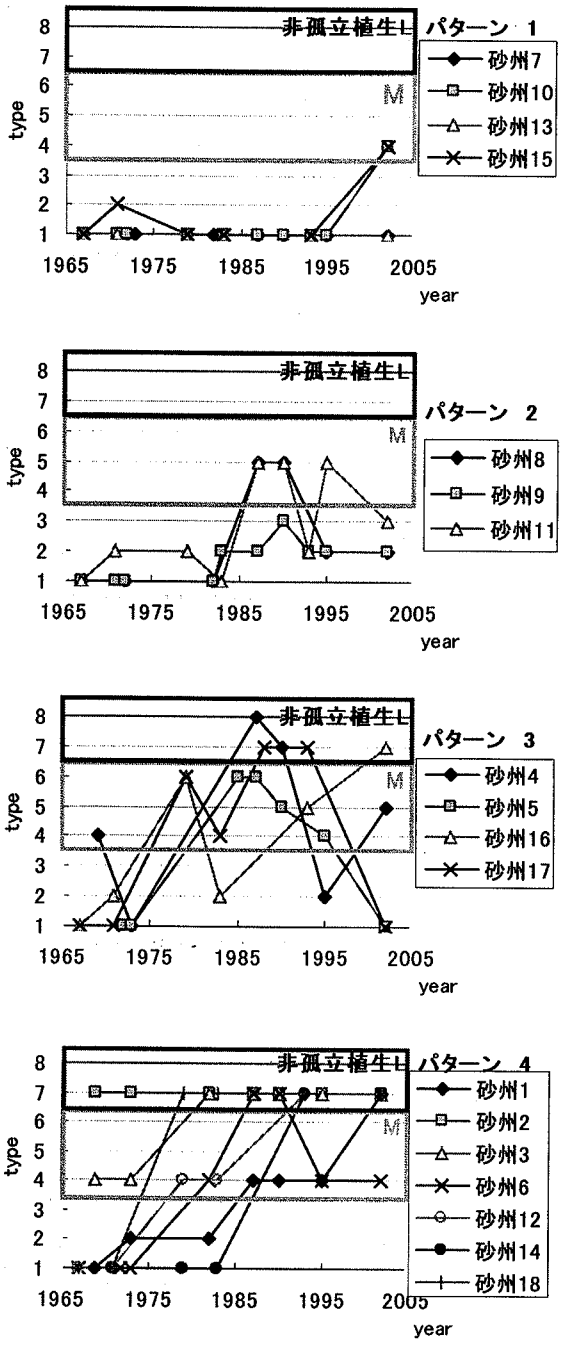


図-4　変化パターン毎の植生繁茂タイプの経年変化

・植生遷移パターン2における植生繁茂位置の変化

まず，砂州の水際線に沿って点在する植生が現れる．その後，植生域は拡大を続け，植生密生度も高くなり，大きな塊として植生域が存在するようになる．砂州の進行が顕著な場合には，砂州の進行に伴い，最初は砂州全体の水際に位置していた植生域が残留した状態で砂州の上流部分に位置するようになる．

・植生遷移パターン3における植生繁茂位置の変化

パターン2と同様に砂州の水際線沿いに，そして，砂州上の広範囲に植生が現れる．その後，植生域は密生度を高めて拡大し，最終的には，水際に近い部分の植生域が消滅したりまたは対岸へ分離する傾向にある．

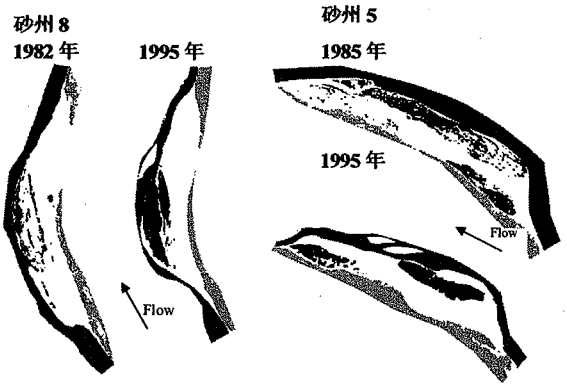


図-5　変遷Patern2，3の孤立植生域の変化

3．木津川下流部における砂州地形変化の把握

現在，木津川には波長が1km程度の砂州が18個存在しているが，様々な形状を有している．ここでは，それぞれの砂州における砂州形状の変遷を調べる．

第2章において調べた植生域の拡大状況は，平水時の植生繁茂と出水時の破壊が繰り返された結果であり，そのため，流況と地形に依存している．従って，砂州形状の特性によって砂州上の植生繁茂可能位置や破壊領域の傾向が異なり，様々な形状を持つ砂州ごとに異なる植生繁茂遷移パターンが現れたと考えられる．そこで，本章では，植生変遷パターンごとに砂州地形の特徴を捉え，砂州地形と植生変遷パターンとの関わりを調べる．

(1) 砂州平面地形の変化

(a) 平面地形の把握方法

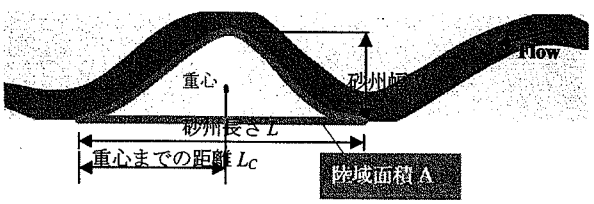


図-6　砂州平面地形の記号の定義

砂州平面地形は，航空写真から得られる砂州陸域の平面形状の特徴により把握する．図-6に示す記号に従い，砂州長さLや陸域面積A，重心位置などを，画像解析ソフトSigmaScan（SYSTAT製）を用いて航空写真上の砂州陸域を縁取ることにより算出する．算出したそれぞれの値から，砂州の平面地を以下の式で定義する平面形状パラメータにより把握する．

$$sp = \frac{A}{(W \cdot L)/2} \tag{1}$$

$$ppc = \frac{L_c}{L} \tag{2}$$

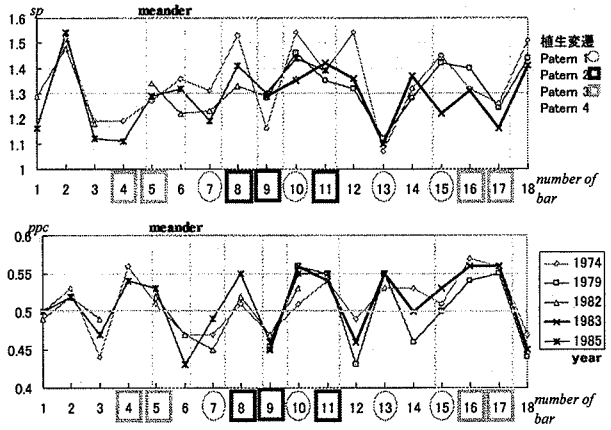


図-7　各砂州の平面形状パラメータの動向

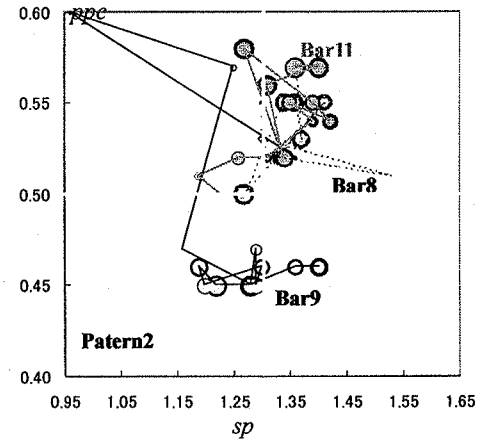


図-8　パターン2の平面形状パラメータと植生繁茂状況

ここに，平面形状パラメータ*sp*は，1に近ければ陸域の平面形状が三角形に近い形をしていることを表し，2に近くなればより四角形に近いことを表す．また，平面形パラメータ*ppc*は，0.5で重心が流下方向に対して真中にあることを表し，0に近くなれば，下流側に重心があり砂州は下流へ傾いた形となる．逆に，1に近くなれば上流側に重心があり，陸域が上流へ傾いた形であることを表す．

(b) 平面地形の特徴とその変化

各砂州の植生繁茂するきっかけとなるであろう期間，1973年から1983年にかけての平面形状パラメータ*sp*，*ppc*の値を図-7に示す．

この図から，蛇行部以外では*ppc*が0.5以上の砂州と0.5以下の砂州が交互に現れており，これにより直線に近い河道では，上流側に偏った平面形状を持つ砂州と下流側に偏った砂州が交互に現れる傾向にあることがわかる．

次に，図-8の例のように平面パラメータの変化と植生繁茂状況を点の大きさ（薄い色：孤立植生植被率，濃い色：総植被率）で表した図を描き，各パターンの砂州がどのように変化しているか調べた結果，以下のことがわかった．

・常に植生が過剰繁茂せずに裸地域が保たれている植生変遷パターン1に属する砂州の平面形状は，様々な形状をとり，かつ形状の変化に一定の傾向がない．

・孤立植生域の拡大が顕著に起こる植生変遷パターン2に属する砂州は，*sp*が1.2から1.4の値で移動しており，上流または下流のどちらかに偏いた形状を取っている．

・孤立植生の拡大が起こると同時に非孤立植生の繁茂が顕著となる植生変遷パターン3に属する砂州は，*sp*が1.3付近で*pcc*が0.56付近の値を取っており，植生が繁茂するにつれその傾向が強くなる．つまり，上，下流側に偏いた形状を取りやすい．

・非孤立植生域が顕著に拡大する植生変遷パターン4に属する砂州のうち，下流側の砂州は，平面形状に特に目立った傾向がなく，植生がついてから形状が変化しない．一方で上流側の砂州bar12，14，18は，植生域が拡大していく過程で，尖りが少なく下流側に偏りがある形になる傾向にあった．

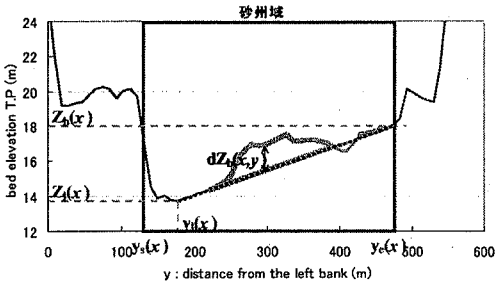


図-9　横断形状の把握に使用する記号の定義

(2) 砂州横断地形の変化

(a) 横断地形の把握方法

砂州横断地形は，200mごとの横断測量データを用いて把握を行った．ここでは，図-9の定義に従った記号を用いて，式(3)，(4)で定義する砂州ごとに高低差の最大値として算出する波高*dZ*と横断地形の変動を表すパラメータ*VR*を算出する．

$$dZ = \max\left[Z_h(x) - Z_l(x)\right]_{bararea} \tag{3}$$

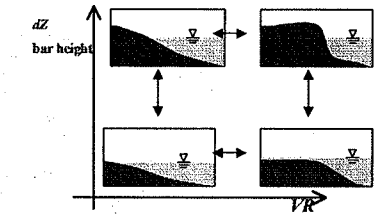
$$VR = \max\left[\frac{\int_{ya_{min}}^{ya_e} \left|dZ_b(x,y)\right| dy}{(y_h - y_l)\cdot dZ}\right]_{bararea} \tag{4}$$

(b) 横断地形の変化

波高dZ_{max}と横断地形変動パラメータ*VR*を軸とした図（図-10）を描くことにより，砂州地形の特徴の変化を把握した結果，ほとんどの砂州で年々波高が高くなっているが若干増加の仕方に特徴があることわかった．また，裸地域が保たれる砂州においては，横断地形変動パラメータ*VR*の値を大きく増減させ定まらない，非孤立植生の発達を伴う砂州では，波高の発達と共に変動パラメータの増加が著しいなど，それぞれ特徴が見られた．

(3) 砂州地形の変化のまとめ

(1) (2)の検討から得られた砂州地形の変化をまとめると，表-2のように砂州を分類することができる．



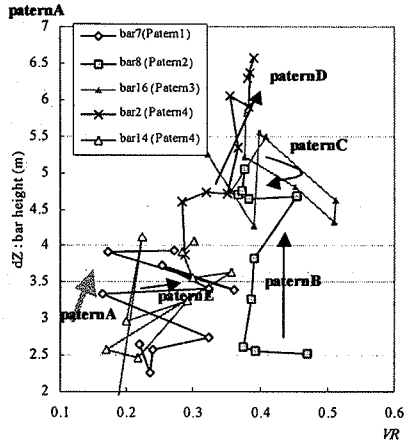


図-10　波高と横断地形変動パラメータの関係

表-2　砂州地形の変遷特徴による砂州の分類

変遷	植生変遷Patern：砂州番号	特徴
A	Patern1：7, 10, 13, 15	平面形状や横断形状の変動パラメータは，変動が激しく，砂州波高が徐々に増加していく．
B	Patern2：8, 9, 11	平面形状はある程度尖った形をしており，上下流どちらかに偏っている傾向にある．また，砂州波高が急に増加する時期があり，その後徐々に増加する．横断形状の変動パラメータは高い値を示す．
C	Patern3：4, 16, 17	1970年には波高が高い値を示し，その後減少して一定値を保つようになるが，横断形状変動パラメータは増加または変動する．
D	Patern3：5 Patern4：1, 2, 3, 6	植生の拡大と共に砂州平面地形は安定しており，波高は急激に増加していく．また，横断形状の変動パラメータは変化しないか，徐々に増加していく．
E	Patern4：12, 14, 18	平面形状は，丸みを帯び上下流どちらかに偏っている．波高は1980年以降ほぼ一定の値で，横断形状変動パラメータは増加する．

4．植生変遷と砂州地形変化との関わり

これまでの植生に関する様々な研究（例えば，山本[4]，岡部ら[5]）により，植生の繁茂は，繁茂と破壊により決定されており，砂州形成河道の場合，繁茂しやすい場所，破壊されやすい場所の関係でほぼ植生の存在位置が決まると考えられる．逆に，植生の繁茂は洪水時の流れに影響を与え，砂州地形にも影響を与えるため（例えば，辻本ら[6]），地形，植生はお互い影響し合い，何らかの関係を保ちながら変化する可能性が高い．こうした関係が，第2，3章の結果を生み出し，植生，砂州地形の変遷パターンは，木津川では6つに分類できる結果となった．

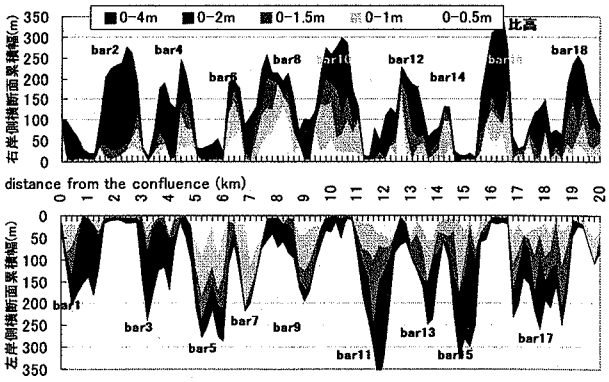


図-11(a)　各比高にある各砂州域内の領域（1976）

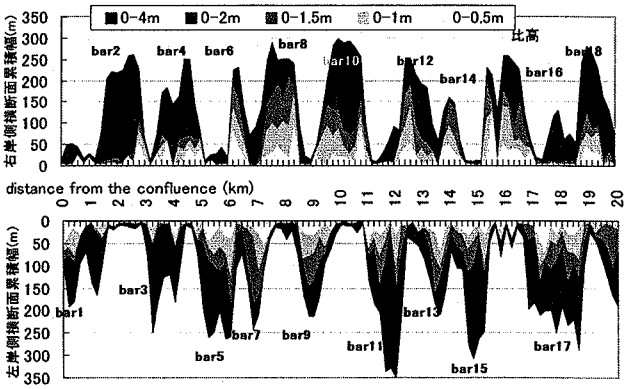


図-11(b)　各比高にある各砂州域内の領域（1984）

第2，3章の結果は，現地地形と植生の状況から想定した分類結果であるが，次に実際に木津川において植生繁茂可能領域と破壊領域がどのようになっていたかを探る．すなわち，現地地形から算出した比高と現地地形を用いた平面二次元解析流れの解析によって得られる破壊領域が，変遷パターンが異なる砂州ごとにどのように違っていたかを検討する．検討に用いるデータは，植生繁茂タイプが大きく変化していく1970年代後半から1980年代前半にかけての横断地形を用いる（**図-4**）．計算方法は，著者ら[2]のこれまでの研究と同様であり，植生の破壊傾向は河床材料最大粒径程度（1cm）の砂礫が移動するかどうかで判断する．

比高は繁茂領域との関係が深いため，各横断の水路左岸側陸地と右岸側陸地に分けた地形データを流量20m^3/sの時（低水程度）の水位を基準とした比高で表し，各比高区分にあたる領域ごとの横断面幅を**図-11**に示した．

これによると，下流側砂州bar1～3では，1976年で既に比高2m以下に存在する砂州域が極端に少なく，1980年にはbar4，5でも比高2m以下の領域が減少している．従って，比高が高い領域が多い砂州形状となる区間が上

流側に徐々に伝播していくと言える．この区間の砂州は，砂州地形の変遷パターンCをたどり，かつ植生繁茂変遷パターン4，3に該当し，非孤立植生の発達が顕著となる．木津川下流部の下流側では淀川本川掘削によって下流からの河床低下が顕著に起きており，この影響が現れている区間の砂州に，このような地形や植生域の変遷パターンが現れていると考えられる．

次に，砂州域内の比高が異なる領域がどの程度の洪水により乱される可能性があるかを検討する．ここでは，**表-1**の植生変遷パターン1と2，つまり孤立植生が繁茂する砂州としない砂州を比較するため，bar8と7を例に検討する．**図-11**によると，1976年から1984年にかけてbar 8，7共に比高0.5m以下の領域が減少しており，両者で大きな差はない．しかし，例えば**図-12**に示すように比高0.5m以下の領域において，bar7は流量500m^3/s程度，bar8では1500m^3/s以上で多くの領域の植生が破壊されることがわかり，bar 8と7では比高が低い領域の植生の破壊に要する流量が大きく異なる．このような傾向は，1980年でも同様であり，1976年から1980年にかけて年最大流量が小さかったこと（**図-13**），50m^3/s以上を超える日数すら極少な年が存在すること（**図-14**）から，孤立植生の発生するきっかけが同じでもbar 8と7で破壊条件が異なったため孤立植生の発達に差がでたと言える．

また，植生変遷パターン3，4に当てはまる砂州においては，**図-12**と同様な図を描くことにより1976年の時点で比高が高い領域(1.5m以上)における植生破壊面積率が高くなる流量が，例えばbar12では3000m^3/s以上必要になるなど比高が高い領域におけるの破壊条件が植生変遷パターン1，2の砂州における破壊に必要な流量よりも大きな値を示し非孤立植生が破壊されにくい条件であることが分かった．しかし植生変遷パターン3，4のうち，孤立植生の発達を伴うパターン3の主な砂州では地形変化はパターンC，孤立植生域が発達しにくいパターン4では，パターン3とは異なる地形変化（パターンD，E）となる．

5．結論

本研究では，木津川下流部の砂州を対象とし，植生および砂州地形の変遷パターンを見出し，植生変遷パターン4つと地形変遷パターン5つ，全体としての変遷パターン6つを見出すことができた（**表-1，2**）．下流からの河床低下の影響がでている区間以外は，砂州地形の変化により，孤立植生が繁茂する砂州と高水敷き寄りの植生域が繁茂する砂州，両方繁茂する砂州，植生が繁茂しない砂州の違いが，特に比高で区分される領域の植生の破壊に必要な流量の差として明確にでていることが分かった．しかし，現状では砂州の変遷パターンの提示に留まっており，今後，砂州地形の平面地形と横断地形との関係，砂州地形，植生変遷パターンが現れる主な原因，植生繁茂タイプの変化スピードなどを調べることによって変遷過程の記述と予測に繋がるものと思われる．

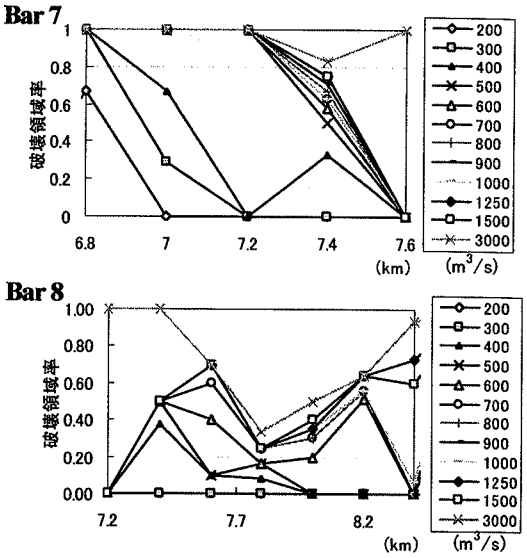


図-12 各流量，各横断での比高0-0.5m領域内の破壊面積率

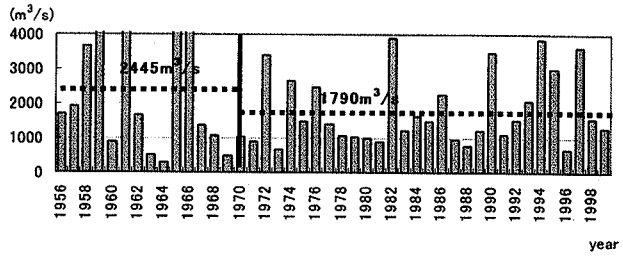


図-13 年最大流量の経年変化

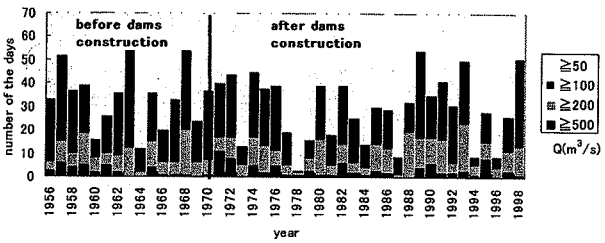


図-14 各（日平均）流量の生起日数

なお，本研究は，河川学術研究木津川グループの共同研究の一環として行われた．

参考文献

1) 鷲見哲也，荻島晃，片貝武史，辻本哲郎：砂州植生域の発達過程と植生の物理環境に関する研究，河川技術に関する論文集，第6巻，pp.65-70，2000.
2) 辻本哲郎・寺井達也・寺本敦子：木津川下流部砂州の植生繁茂と裸地維持の仕組み，河川技術に関する論文集，第8巻，pp307-312，2002.
3) 辻本哲郎，村上陽子，安井辰弥：出水による破壊機会の減少による河道内樹林化，水工学論文集，土木学会，第45巻，pp.1105-1110，2001.
4) 岡部健士，鎌田磨人，湯城豊勝，林雅峰：交互砂州上の植生と河状履歴の相互関係ー吉野川における調査ー，水工学論文集，第40巻，pp.205-210，1996.
5) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，pp. 237-252，1994.
6) 辻本哲郎，北村忠紀：植生周辺での浮遊砂の堆積と植生域の拡大過程，水工学論文集，第40巻，pp.1003-1008，1996.

(2004. 4. 7受付)