植生域を伴う砂州の地形変化 -木津川下流域を例として-

TRANSFORMATION OF BARS WITH GROWTH OF VEGETATED AREA IN KIZU RIVER

寺本敦子[1]・辻本哲郎[2]
Atsuko TERAMOTO 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- 8518 島根県松江市西生馬町14-4）
[2]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
（〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町）

The recent change of river landscape has been brought by expansion of vegetated areas and transformation of bars because of human impacts such as dam construction. Therefore, in order to manage river landscape properly, it is important to estimate morphological change quantitatively. We have continued to study the downstream segment of the Kizu river (0-20km) to identify the extent of morphological change and have found special patterns in the changes of vegetated areas and the change of bar morphology. In this paper, we postulate a fundamental pattern of transformation of bars with growth of vegetated areas in the Kizu river. Then, numerical simulation is conducted to clarify the influence of vegetated areas on the migration and transformation of bars. The result suggests that the relationship between local speed of bar migration and expansion rate of vegetated areas is a key to bring the typical pattern of morphological change in the Kizu river.

Key Words : *Kizu river, bar morphology, growth of vegetation area, bed degradation, transformation of bars*

1. はじめに

日本の多くの河川では，ダム建設など様々な人為的インパクトを受け，河道内の環境変化が顕著に現れている．なかでも，河道内に樹木が繁茂する樹林化現象など植生の河道への進入が多くの河川で確認され，河川景観は大きく変化している．こういった河道の状況を受け，1980年後半から植生が流れに及ぼす影響[1]，植生による地形変化などを対象とした研究[2]が活発に行われるようになり，また，実河川でのデータの集積に伴い実河川を対象とした植生域の拡大を伴う河道変遷に関する研究[3]も活発に行われるようになった．

著者らは，航空写真や横断測量データなど実河川データを用いて，淀川支川木津川下流域における1960年代頃からの河道変遷について研究を行ってきた[4), 5), 6)]．木津川下流域では高山ダムをはじめとする上流ダム群の建設による流況の変化に加え，1960年代までの活発な砂利採取，1970年以降の淀川本川掘削による下流からの河床低下の遡上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．研究対象区間には，以前は網状流路も見られ複雑な形状の砂州が存在していたが，1970年代より18個の明確な交互砂州が形成されている（図-1）．これまでの研究ではこれらの砂州域を対象に植生域の動態について検討してきた．その結果，植生域の動向が明らかになるとともに，砂州の形状の特徴も大きく変化していることが明らかになっている[5]．

河道内植生は，陸域の植生などと異なり洪水による攪

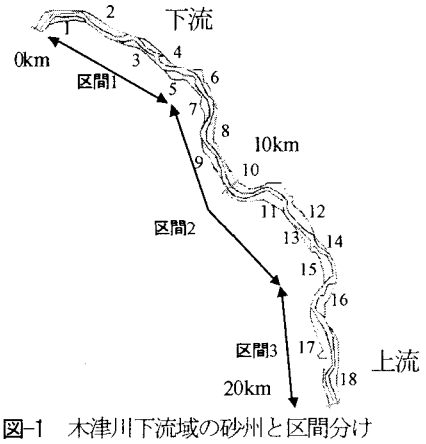


図-1　木津川下流域の砂州と区間分け

乱を受ける．そのため，河道内植生は，水分や栄養分の供給状態などで決定される生育条件が良好な場所に多く生育しているとは限らず，これに加え洪水時の攪乱の有無に影響を及ぼされ生育している．さらに植生は洪水時の流れに影響を与えるため，植生周辺の地形を変化させ，時には植生の繁茂可能領域を広げる方向へ地形を変化させる[2]．このようなシステムを考えると，河道内砂州上に形成されている植生域は，砂州地形とともにあるパターンを呈して変化することが考えられ，その段階により砂州の物理的環境が異なることが予測される．砂州地形とそれによって決定される河道の物理的特徴は，河道内に生息する生物の生活場として重要な役割を担っており，河道内砂州域の今後の動向を予測することは，生物生息環境を知る上でも非常に重要な問題となる．

そこで，本研究においては，木津川下流域における植生域拡大とともに変化する砂州地形の特徴を捉え，そのパターンを見出し，植生域拡大の特徴と起こりうる砂州地形変化について検討する．砂州地形変化では，特にこれまで扱われていない平水時に現れる砂州陸域の平面的特徴に着目する．平面的特徴の違いは，砂州形状の特性から現れていると考えられ，砂州上の物理基盤環境(冠水頻度や比高の分布や有機物の堆積場所など)や，生物生息環境で重要とされる水際環境，低水路内に形成される瀬淵構造の違いと強く関係しているものと考えられる．

2．木津川下流域の特徴と植生域の拡大パターンの概要

現在対象区間の河道内には著しい植生の繁茂が見られ，形成されている砂州の多くで植生域の拡大が多く見られる．こうした現象は，すでに1960年代後半から顕著に見られていることから，高山ダムなどのダム群建設による年最大流量の減少，流況の変化や砂利採取の禁止，下流からの河床低下が密接に絡み合っていることが考えられるが，図-2に示すように各砂州で植生域の拡大傾向は異なり，礫床河川の手取川の事例(図-3)のようにダム建設に伴う流況の変化とともに植被率(グラウンドなどの人工的高水敷を除いた河道（堤防内で水域を含む領域）における植生繁茂率)が全体で増大するケース[7]とは大きく異なっている．そのため，木津川では，年最大流量程度の洪水の規模と頻度から単純に全ての砂州における植被率の増減を説明することはできない．

これまで著者らが行ってきた検討[4]から，以下のことが明らかになっている．

木津川下流域は，河床低下の伝播状況と砂利採取時の影響から更に3つの区間に分けることができ，各区間で現在の植生域の繁茂状況も大きく異なっている (表-1)．区間2における植生砂州と裸地砂州の混在は，砂床河川における植生の遷移過程[8]から考えると各砂州での草本類群落から木本群落への遷移の有無が関係していると言える．1970年代後半から1980年代前半に大出水だけでなく中小出水の回数が少ない年が存在しており，この期間に植生群落の遷移が起こり，植被率拡大へつながったと考えられる．そこで，中小出水による水際（草本類が生えやすい場所）の攪乱が植生の遷移に関係すると仮定し，数値解析により攪乱状況を調べた結果，中小出水時に水際が乱されにくかった砂州においてのみ植生域拡大が起きていた．なお，対象区間における砂州の水際の攪乱傾向は，湾曲など流路形状や砂州形状からの説明が困難であることもわかっている．

表-1　木津川下流域における各区間の特徴

区間	物理的特徴	植生域の特徴
1	下流からの河床低下が進行している区間．低水路は未だ河床低下を続け，低水路内に新たな砂州が形成，進行している．	砂州域が高水敷化し，植生が砂州全面に繁茂している．
2	砂利採取禁止以降，河床低下の進行は見られない区間．	孤立植生が大きくして存在している砂州と裸地砂州が混在．
3	砂利採取禁止までに砂州が高水敷化した区間．	以前の砂州域が高水敷化し堤防側からの植生が目立つ．また，低水路内で砂州が形成され，孤立植生域が存在する砂州と裸地砂州が混在．

表-2　木津川下流域に見られる植生域の変遷パターン

Patern	植生域の変遷の特徴
1	植生域の顕著な拡大が起こらない．
2	孤立植生域が優先して拡大する．
3	非孤立植生，孤立植生ともに増加し，最終的に孤立植生が減少する．
4	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．

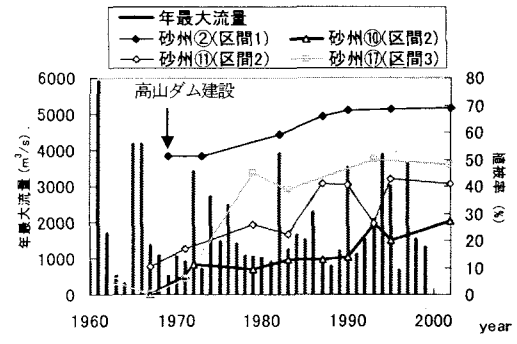


図-2　木津川における植生域の変遷

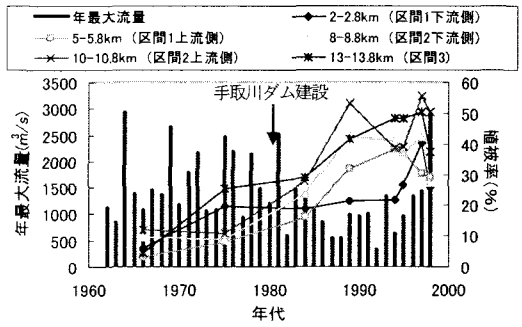


図-3　手取川における植生域の変遷[7]

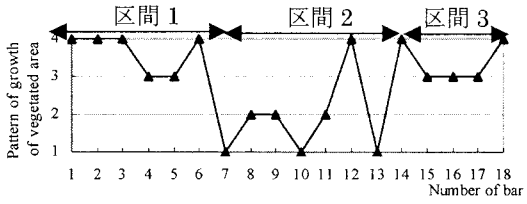


図-4　各砂州の植生域変遷パターン

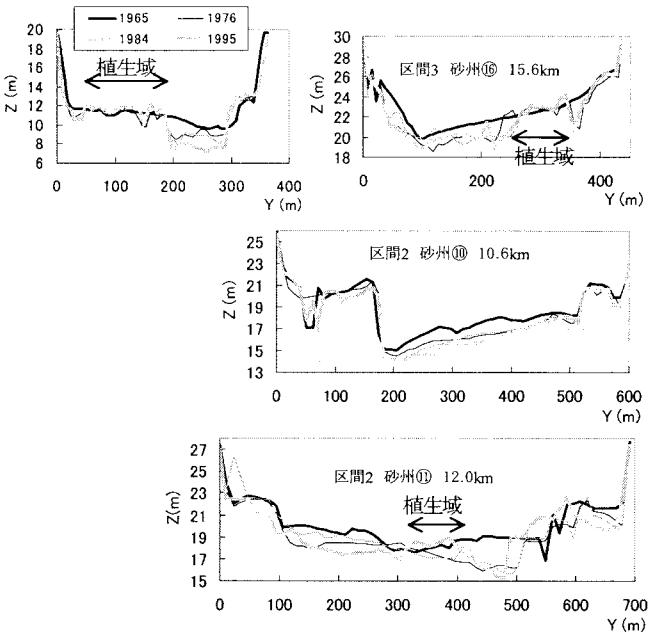


図-5　各区間の横断地形変化

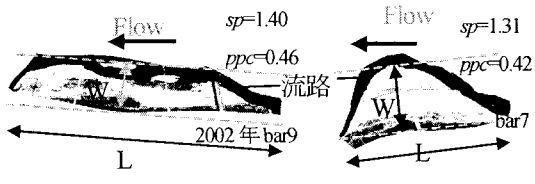


図-6　平面形状パラメータ算出例

河道内植生域を，砂州上に点在または孤立した塊として存在している孤立植生域と，孤立せずに堤防際から拡大または高水敷寄りに存在している植生域（非孤立植生域）に区別し変遷を調べると，表-2のようにその変遷は大きく4つのパターンに分かれる．ここで図-4の各砂州の植生域変遷パターンを見ると，配列の特徴としてパターン3，4は上下流部に偏って存在し，中流部に存在するパターン1は連続して存在しない傾向にある．

3．植生域拡大を伴う砂州地形変化

(1) 砂州地形の把握

航空写真を用いて平面地形変化及び，横断地形測量データを用いて砂州横断地形変化を検討した結果，第2章で述べた植生域の変遷とともに地形が大きく変化していることが明らかになった[5]．研究対象領域では，例えば，図-5に示すような横断地形の変化が起こっている．同様に植生域の拡大が起きている砂州でも区間1では低

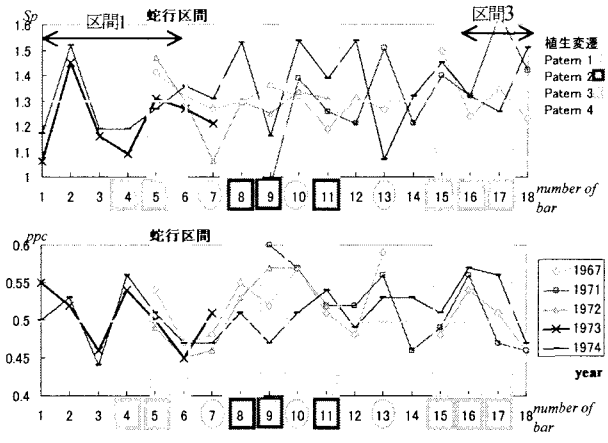


図-7a　1980年以前の平面形状特性パラメータ

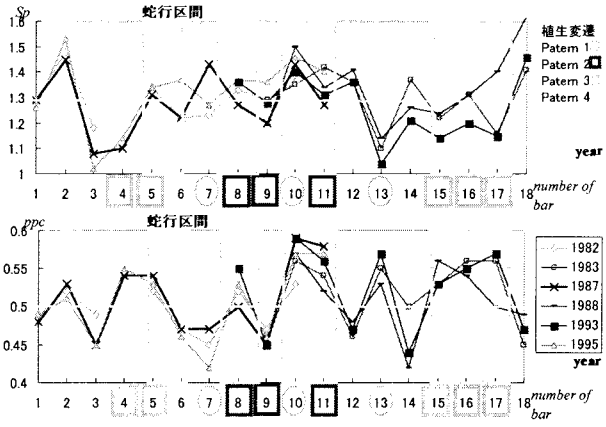


図-7b　1980年以降の平面形状特性パラメータ

水路の河床低下を伴い，区間2では植生域への土砂の堆積を伴い，区間3ではその両者を伴い砂州波高の増大が起こっていることがわかる．さらに，砂州の地形変化は波高の増大だけなく平水時に現れる砂州域の平面的特性にも現れている．そこで，砂州域の平面的特徴に着目し，その変化を以下のように検討した．

航空写真より算出する砂州長さLや陸域面積A，砂州域下流端位置からの重心までの距離Lc，砂州幅Wを用いて以下に定義するパラメータにより砂州陸域の平面的特徴を把握する．

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

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

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．図-6にその算出例を示す．

このように分析した結果を図-7a，図-7b に示す．こ

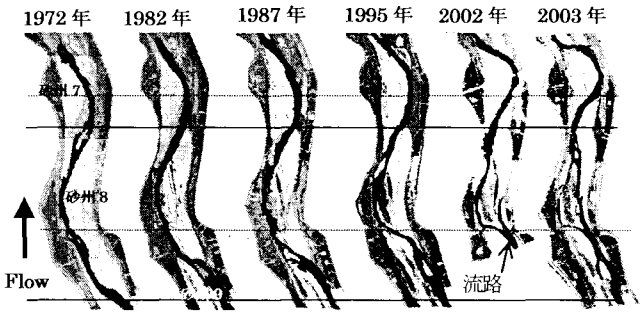
れらの図より植生域の傾向が大きく変化する1980年以前では，*sp*，*ppc*ともに目立った傾向はなく形状を多少変動させながらも丸みを帯びた三角形の砂州が多く存在し，上下流へ重心を変化させていたことがわかる．しかし，1980年以降では，*sp*，*ppc*の値がそれ以前のように変動せず，区間3では三角形に近い砂州が存在するようになり，区間2，3では湾曲が続く区間を除けば上下流に偏った砂州が交互に現れる傾向にあることがわかる．なお，区間1については，早くから*sp*，*ppc*ともに値が固定されており，**図-5**の横断地形の変化からも明確であるように，低水路の河床低下の影響が大きく砂州域の高水敷化が進んでいるため砂州が固定化されている．

(2) 植生域の拡大とそれに伴う砂州地形変化

ここで，上述した区間2，3の砂州平面特性の変化が，実際どのように現れているかを航空写真によって示す(**図-8**)．この変化過程を見ると，孤立植生域の拡大と砂州の進行がともに起こることによって，偏った砂州形状が現れていることがわかる．孤立植生域が発生し，拡大した砂州8は1995，2002年の段階で上流へ偏った形状，その上流側の砂州9，下流の砂州7は比較的下流へ偏った形状となっている．こうした変化が対象区間内の砂州平面形状特性の配列パターンを生み出したと考えられる．

航空写真を用いて砂州の経年変化を追うことにより，砂州8，11，15，16，17で同様な変遷が確認された．ただし，砂州16では，植生の孤立植生の拡大時期が他の砂州より早く，変遷もより早い時期に変化が起こっている(**図-9**)．これらの砂州は非孤立植生域の拡大の有無に関わらず孤立植生域が拡大する植生変遷パターン2，3に該当する．

各砂州での変化を単純化すると**図-9**のような遷移段階が描ける．ただし，堤防線の蛇行区間では植生域や砂州の偏りが上下流へ及ぼす影響が異なるため現象が多少複雑になる．直線から蛇行へ移行する区間の砂州では**図-9**のように直線区間と同様に上流砂州に影響を与え共に変化する遷移段階が考えられるが，下流砂州への影響は異なる．また，連続蛇行区間では上流砂州へ与える影響も異なり上流砂州が下流へ偏る形になりにくい．しかし，孤立植生が発生した砂州自身の形状の変化は直線区間と同様である．そのため，孤立植生砂州の変遷が，蛇行区間にある砂州15から17では連続して現れている．段階毎に低水路形状は変化し，それによって低水路内に形成される瀬淵構造も変化することが考えられるため，こうした遷移を解明することは非常に重要な課題となる．



各砂州の　*sp*　*ppc*　の変化

year	1972		1982		1987		1995		2002		2002	
bar7	1.06	0.46	1.23	0.45	1.43	0.47	1.27	0.42	1.31	0.42	1.35	0.44
bar8	1.3	0.53	1.33	0.52	1.27	0.5	1.37	0.53	1.36	0.57	1.37	0.56
bar9	1.25	0.57	1.29	0.47	1.2	0.45	1.36	0.46	1.4	0.46	1.4	0.46

図-8　砂州8周辺の砂州の変遷

4．植生域と砂州地形変化の検討

本章では，上述した現地の状況に鑑み，砂州上に形成

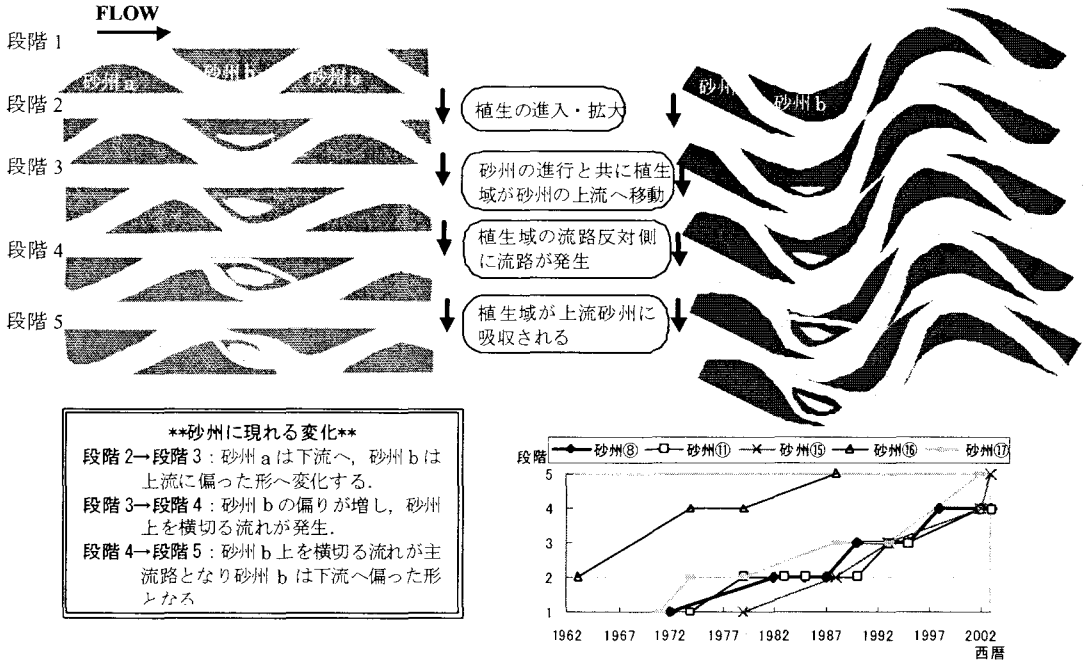


図-9　植生域の拡大と砂州地形変化パターンと該当砂州における遷移段階経年変化

された植生が砂州地形にどのような変化を及ぼすかを，数値解析を用いて検討する．すなわち，**図-9**に示したシナリオを検証することによって，このような変遷が起こりうる条件について調べる．この検討では，木津川下流域の河道条件を参考に以下の条件を設定する．

- 河床勾配は1/1180，川幅は300m，粒径は一様粒径で5mmとし，設定と説明の簡便性から直線河道とする．
- 砂州地形は，年最大流量に大きく支配されていると考え，年最大流量程度の1800m^3/sで砂州を形成させ，豊水流量程度の50m^3/sで陸域を決定した上で植生域を設定する．
- 植生域の形成には浮遊砂も大きな役割を担っているが，計算の簡便性から砂州地形に重要な役割を担うだろう掃流砂のみで河床変動を行う．

なお，数値解析において砂州の形成を記述する手法として，初期河床高に平均値0，分散が河床材料粒径の10%程度となる正規乱数を用いて空間的にランダムな微小擾乱を与え，かつ，上流から与える流量に平均値0，分散が単位幅流量の0.1%程度となる正規乱数を用いて時間的，空間的にランダムな微小擾乱を与え続ける手法[9]を用いる．この手法での数値解析により流量1800m^3/s通水時に形成される砂州は，波長が1km程度，波高が3～4m程度となり，木津川下流域に形成されている砂州の条件に近い値となっている．

(1) 植生域形状と砂州地形変化

ここでは，砂州上の植生域形状により砂州の地形変化がどのように異なるかを検討する．計算に際し，植生域の拡大，破壊は考慮せず，一定の密生度（0.05（m^{-1}）とした）を持つ植生による影響を抗力として取り扱い計算を行う．

図-10に検討した植生域形状とともに，河床時間変化を示す．Case0の植生域を挿入しないケースと比較するとどのケースも挿入した上下流の砂州形状が大きく変化している．ただし，挿入した位置，植生の形状により砂州の変形は大きく異なる．流路に植生が存在すると，植生域前方で水位のせき上げが生じるため流速は減少し堆積が生じ，植生域側方では植生をよける流れが発生するため加速し洗掘が生じる[2]．砂州域に植生が存在する場合にも同様な現象が起こるが，砂州上の流れがどのよう

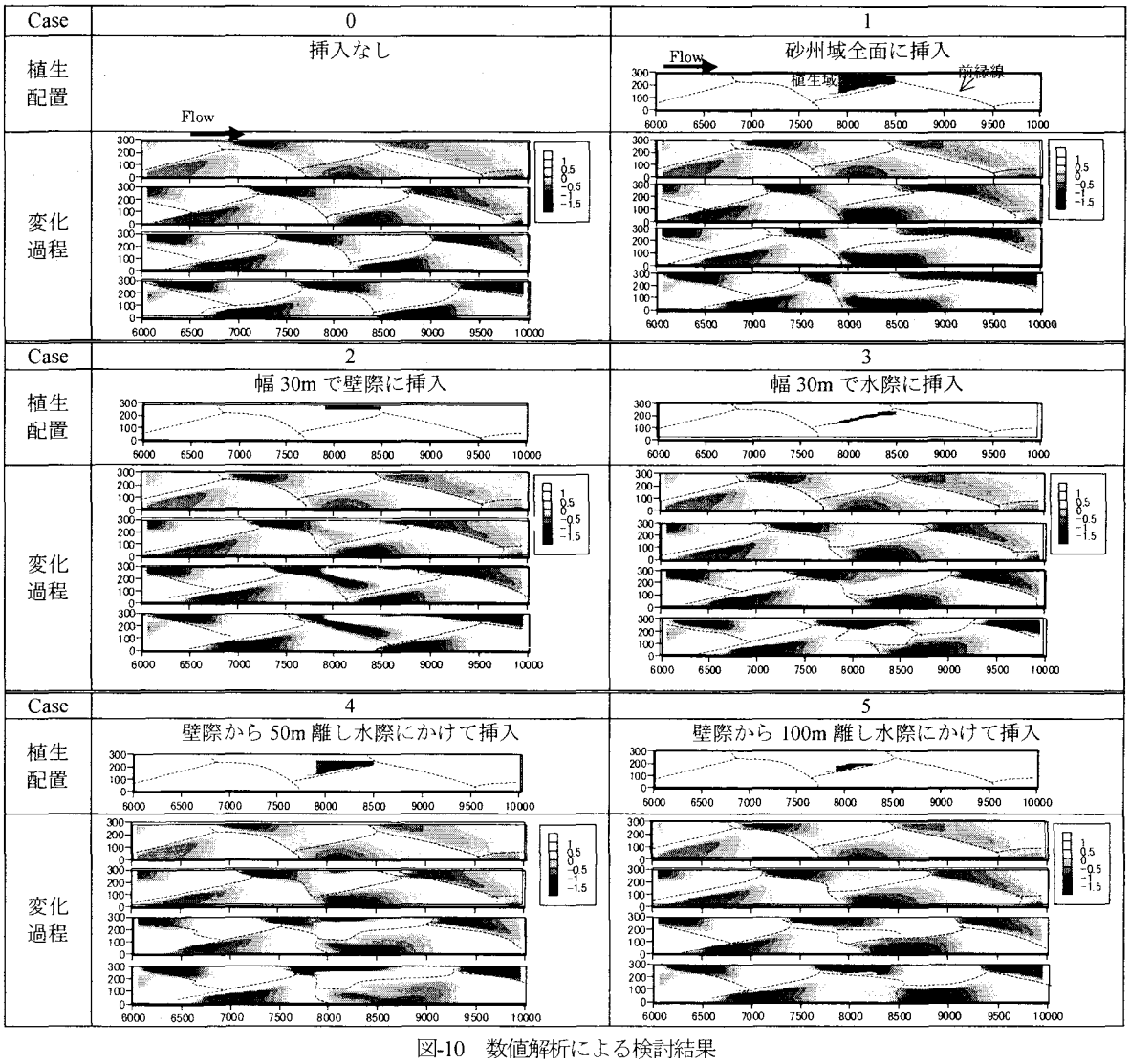


図-10　数値解析による検討結果

に変化するかにより砂州の変形に違いが現れる．

砂州上に比較的幅広く存在する植生（Case1,4）は，上流の流れを減速させ，上流側砂州の進行に影響を与える．そのため，植生砂州の上流側砂州の前縁線は丸みを帯び砂州形状が下流へ偏った形状となり，植生砂州自身は上流へ偏った形状となる．また，壁際に植生域が存在する場合（Case2）は，流れを流路側に集中させ植生域の側方で加速するため，植生砂州の上流側砂州の進行に影響は無いが，前縁線を直線的にし深ぼれ部の形状（低水路形状）を大きく変化させる．逆に壁から孤立して砂州上に植生域が存在する場合（Case3，4，5）は，植生域周辺に堆積領域ができるものの，植生域の両側で加速が生じ，植生砂州の壁側も洗掘するため，上流砂州の進行とともに植生域は上流砂州へ吸収される．

(2) 植生域の拡大を伴う地形変化シナリオへの考察

(1) の結果を受けて，図-9の各段階を経るための条件として，次のことが必要となることがわかる．

① 非孤立植生ではなく孤立植生が発生，ある程度発達する必要ある．また，段階4，5へ達するまでに孤立植生域が壁際まで達して非孤立植生とならないことも必要とされる．

なぜならば，非孤立植生が発達した場合，川幅が縮小した場合と同様な砂州の変化傾向となり植生砂州の壁側が洗掘されることが無いため段階4，5への変遷が起こらない．

② 孤立植生域が発達するためには，水際付近に植生が発生する必要がある．

なぜならば，水際付近に発生した植生域は，砂州前縁線付近に微高地の形成を促すため，孤立植生域の発達に繋がる．

③ 段階2から段階3へ変遷していくためには，上流砂州の下流端が植生域まで達しないうちに植生域がある程度の幅がある塊となる必要がある．

なぜならば，孤立植生域が塊として存在していれば，植生による上流側の水位上昇や流速の変化が広範囲に影響を及ぼし，直上流の砂州は流下を妨げられ下流へ偏った形状，植生砂州は上流へ偏った形状となる．

上記の遷移条件から，図-9に示す変遷過程を経るためには，砂州の進行と植生域の拡大速度のバランスが必要とされることがわかる．図-8に示す砂州の変遷は，上記の条件満たして植生域が拡大しているため，木津川においては，現在の流況における砂州の進行速度と孤立植生域の拡大速度の関係がパターンを生み出したと言える．

ところで，今回の数値解析による検討では，現象の起こりうる速度や植生域の拡大，破壊については考えていない．今後，木津川の流況，砂州における破壊条件，生育条件を考慮した検討を行い，この変遷が流況による偶然的なものなのか，通常の流況でも起こりうる必然的なものなのかについて検討する必要がある．

5．結論

本研究では，木津川下流域における植生域の拡大と砂州地形変化を調べることにより，その変化に図-9のようなパターンを見出した．植生域形状と砂州地形変化を数値解析にて簡易に検討することにより，この変遷パターンを得るための条件が明らかになった．この条件は孤立植生の発生，拡大の速度と砂州の進行の関係を示すもので，この相関関係が変遷パターンを生み出したと言える．

今後，植生の繁茂，拡大を考慮した検討を行うことにより，より一般的な条件での変遷パターンとそれが生起する変遷が起こるための流況条件などを明らかにする予定である．

謝辞：本研究は，河川生態学術研究・木津川グループの一環として行なわれた．資料収集にあたって協力いただいた国土交通省近畿地方整備局淀川工事事務所，調査の便宜を図っていただいた(財)リバーフロント整備センターに謝意を表す．

参考文献

1) 例えば，辻本哲郎：植生を伴う流れの水理，水工学シリーズ，91-A-5，土木学会水理委員会，1991.
池田駿介，太田賢一，長谷川洋：側岸部植生境界の周期渦の発生機構，土木学会論文集，No.443/II-18，pp.47-54，1991.

2) 例えば，Tsujimoto, T. : Fluvial processes in streams with vegetation, *J. of Hydraul. Res.*, IAHR, Vol.4, No.6, pp.789-803, 1999.
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.

3) 例えば，河道変遷特性に関する研究，河川環境管理財団, 1999.

4) 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.

5) 寺本敦子，宮脇真二郎，辻本哲郎：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，河川技術論文集，第10巻，土木学会，pp375-380，2004.

6) 辻本哲郎：河道植生と流路変動，水工学に関する夏期研修会，A-6，2001.

7) 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，第45巻，pp.1105-1110，2001.

8) 河道変遷特性に関する研究-適切な河川環境管理をめざして-（4.6　植生から見た河道特性　佐々木寧著 pp.106.），河川環境管理財団, 1999.

9) 寺本敦子，辻本哲郎：砂州の形成過程に関する数値計算手法，応用力学論文集，第7巻，土木学会，pp.975-982，2003.

(2004.9.30 受付)