

交互砂州上の植生と河状履歴の相互関係－吉野川における現地調査－

Relationship between Vegetation on Alternating Bar and Alluvial Process
- Field Observation in the Yoshino River -

岡部健士*・鎌田磨人**・湯城豊勝***・林雅隆****

By Takeshi OKABE, Mahito KAMADA, Toyokatsu YUUKI and Masataka HAYASHI

The purpose of this study is to clarify the mutual relationship between river vegetation and river conditions. On the basis of a full vegetation survey performed on an alternating bar formed in the Yoshino River, Tokushima, Japan, some findings are presented with regard to the interaction between plant communities and alluvial process of the bar. A regression analysis is carried out to formulate local covering rates of some kinds of plant communities and bare lands with some parameters representing flood properties and morphological process of the bar. Resultant equations show significant correlation with the observations.

Keywords: river vegetation, alternating bar, alluvial process, regression analysis

1. まえがき

植生を伴う河道では、その代表的因子である植物の種類、個体の大きさ、空間分布、分布密度などに対応した2次元、3次元の流況が形成されるとともに、河道形状や河床土砂の質に特徴的な変動が生じる。一方、植物にとっては、河道の形状や底質の変動および河川水の流況は重要な物理的攪乱要因であり、これと植生相互の競争など生物的な要因とが相俟って、群落の状態がかなり激しく変動する。すなわち、河道の形状と底質および流況を総合した河川の状態を「河状」と呼ぶとき、植生と河状は相互に干渉しつつ、一つの動的システムを構成している。

近年、河川が持つ治水、利水および環境保全の機能をバランスよく向上させる河川事業が指向されている中で、河道内植生の評価や管理が河川計画上の重要な課題となっている。しかし、その基礎となる植生と河状の相互関係に関する知見は十分とはいえない。植物生態学の分野では、河道内植生について多様な調査資料が集積されているものの^{1) 2)}、河川水理と河道変動に関する詳細な情報が伴っていないので、既存の資料だけでは河状と植生の相互関係を定量的に分析することが困難である。一方、河川工学の分野においては、植生の条件が既知の場合における河状特性とその変動の予測法がかなり明らかにされてきている³⁾。し

* 正会員 工博 徳島大学助教授 工学部建設工学科 (〒770 徳島市南常三島町2-1)

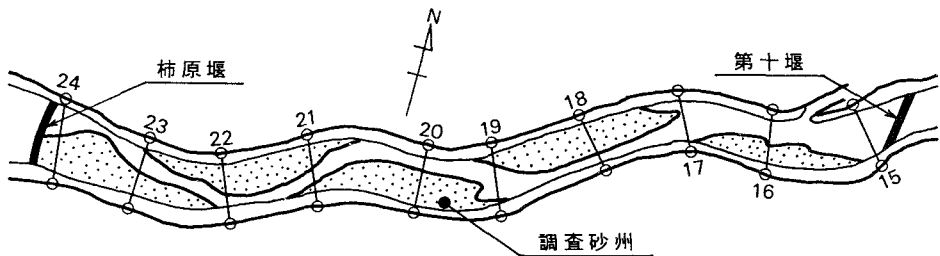
** 学博 徳島県立博物館学芸員 (〒770 徳島市八万町向寺山)

*** 正会員 工修 阿南高専助教授 建設システム工学科 (〒774 阿南市見能林町青木265)

**** 学生員 徳島大学大学院工学研究科 (〒770 徳島市南常三島町2-1)

かしながら、植生動態の予測がほとんど不可能に近い現状においては、その成果を存分に活用することができない。このような状況を鑑み、最近、河川工学分野においても植生の実態調査ならびに植生と河状の相互関係のモデル化に向けた研究^{4) 5)}が盛んに行われている。本研究はこの種の研究の範疇に属するものであって、一級河川・吉野川の下流部に発達した交互砂州の一つに着目し、植物群落の分布状況を詳細かつ精密に計測した結果を紹介するとともに、物理的攪乱要因として過去12年間の河状履歴を取り上げ、これと植生との相互関係を種々の角度より考察する。また、植生と河状の相互関係を数理モデル化するための第一歩として、砂州の部分区画における植物群落の地被面積率と局所的な河状履歴との関係の回帰分析も試みる。

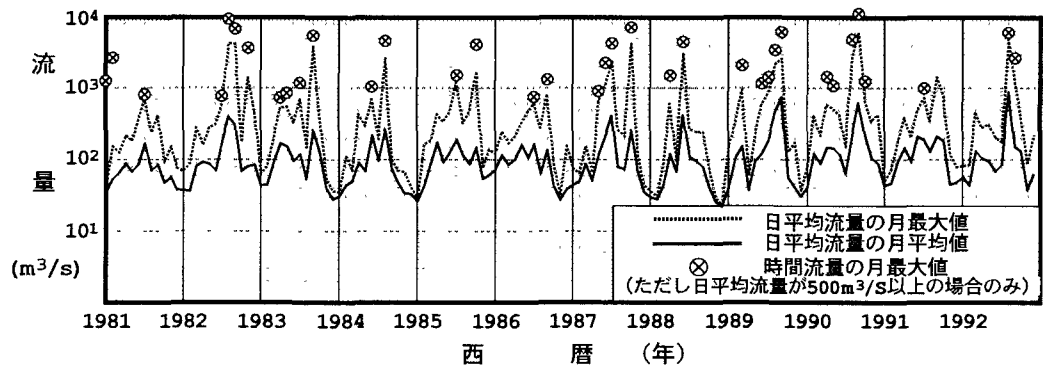
2. 植生の現地調査とその結果



図－1 吉野川の第十堰・柿原堰区間と調査対象の砂州

2.1 調査砂州の概要

調査対象砂州は、徳島県・吉野川の下流部にある2個の固定堰、第十堰(14.6km)および柿原堰(24.2km)の間にある4個の交互砂州の内、下流から3番目に位置するものである(図－1)。当該砂州の大きさは他のものとほぼ同等で、全長および最大幅は、それぞれ約2kmおよび500mである。また、植物群落の分布状況も4個の砂州の間で大きくは異なっていない。上記の固定堰の間の河床平均勾配は1/1100、平均河幅は約800m、河床砂礫の平均粒径は約25mmである。これらの条件とManningの粗度係数 $n=0.035$ の仮定に基づき、河床砂礫が全幅にわたって移動するための限界流量 Q_c を概算すると約 $3,500\text{m}^3/\text{sec}$ となる。図－2に、過去12年間の月平均日流量、月最大日流量および主要洪水の最大時間流量の時系列変化を示している。 Q_c を越える流量は、この間において年1～3回程度の頻度で、しかも比較的短い時間にしか発生していないことが分かる。このため、過去12年間に限る限り、砂州の顕著な移動や変形は認められていない。なお、調査対象砂州の表面の約50%およびその全てが水没するための流量は、それぞれ $1,000\text{m}^3/\text{sec}$ および $1,500\text{m}^3/\text{sec}$ 程度と見積もられている。



図－2 過去12年間における流量変化と主要洪水の最大流量

2.2 調査方法

植生の現況調査は1994年8月25日から同9月25日までの間に、次の手順で実施された。まず、砂州全域を縦断方向長が約200m（定期測量断面の間隔）、横断方向長が約100mの四角形区画27個に分割し、各区画の4隅の位置を精密測量したのち、それぞれに約4m角の標識を置いて150mの高度から各区画の写真撮影を行った。撮影には、写角調整とシャッターが遠隔操作でき、ビデオカメラにより地上でのフレーム確認も可能な特製の撮影装置を用いた。この装置の上空への吊り上げには飛行船型の係留式ヘリウム気球（容積24m³）を用いた。つぎに、空撮写真も参考にしながら、砂州上の74地点でBraun-Blanquet⁹⁾法による植生調査を行った。

2.3 植生分布状況

植生の調査結果から森下⁷⁾の類似度指数を求め、さらに群平均法によるクラスター分析を通して群落を区分した。最終的に13の群落区分されたが、その内の3群落（ギョウギシバ群落、ヤダケ群落、メダケ群落）は極めて狭い範囲にしか出現しなかったため除外し、残りの10群落を凡例とした植生図を描くと図-3のようである。なお、本図の群落種ならびに裸地の凡例に付記された番号（○印中の数字）は、後に示す図-4および5においても共通して用いられていることに留意されたい。

調査した砂州の代表的な群落としては、ヤナギ群落、ヨモギーオオアレチノギク群落およびセイバンモロコシ群落（多年性の外来種で、高水敷で耕作されていたものが侵入してきた）が挙げられる。これらは、砂州の水際から上記の順に出現し、砂州のほぼ全長にわたって帯状に分布している。河原植生の典型的な群落であるツルヨシ群落は、ヤナギ群落の背後に分布するものを除いて、ヨモギーオオアレチノギク群落あるいはセイバンモロコシ群落の中にパッチ状に分布している。このうちセイバンモロコシ群落の中に分布するツルヨシ群落は衰退する途上にあるようにも思われる。オギ群落は、砂州の下流端のほぼ全域に密に分布している。このほか、ヤブガラシーアレチウリ群落および一年生草本群落のチョウジタデアメリカセンダングサ群落も存在しているが、これらは砂州のそれぞれ高水敷側および低水路側の縁線に沿って細く帯状に分布しているにすぎない。裸地は、砂州の上流側半領域の低水路側の大部分を占めるとともにその下流側では、ヤナギ群落およびヨモギ群落の間を通ったのち、ヤナギ群落帯の一部（19.6km断面付近）を突き抜けて低水路河床に繋がっている。そして、比較的細粒の底質を好むシナダレスズメガヤ群落が、そのような裸地の中で、ヤナギ群落の流水遮蔽効果が顕著と思われる場所に点在している。

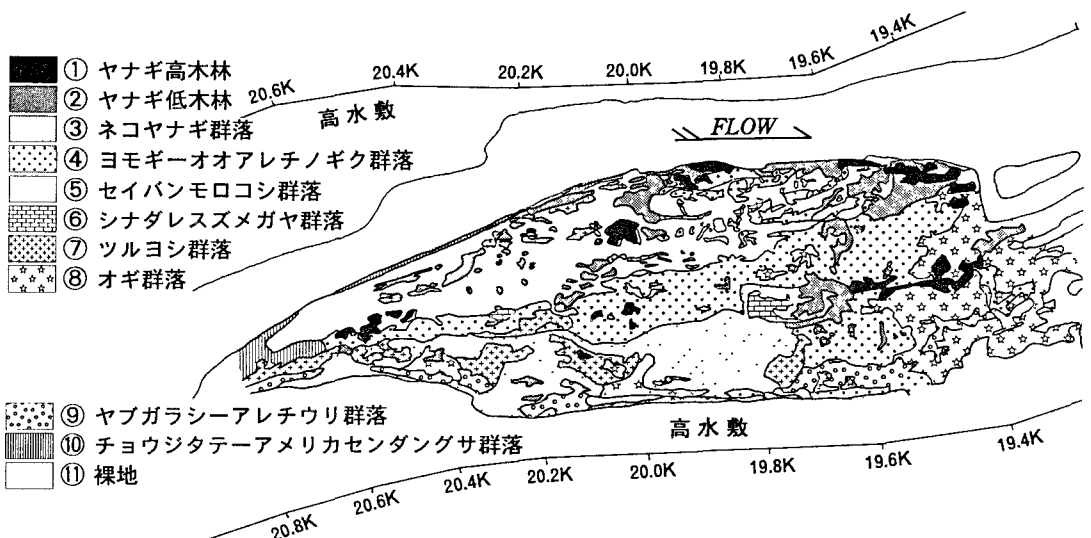
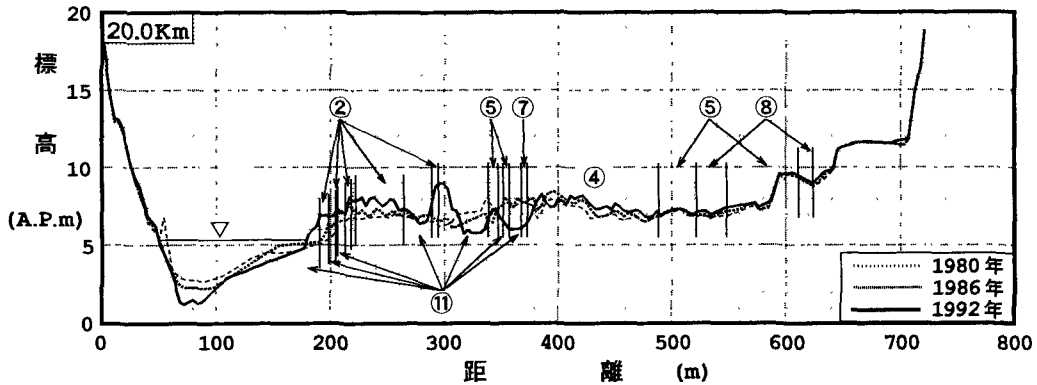


図-3 低空からの写真撮影と現地踏査の併用により得られた植生図



図－4 20.0km断面における植生分布と河床変動状況

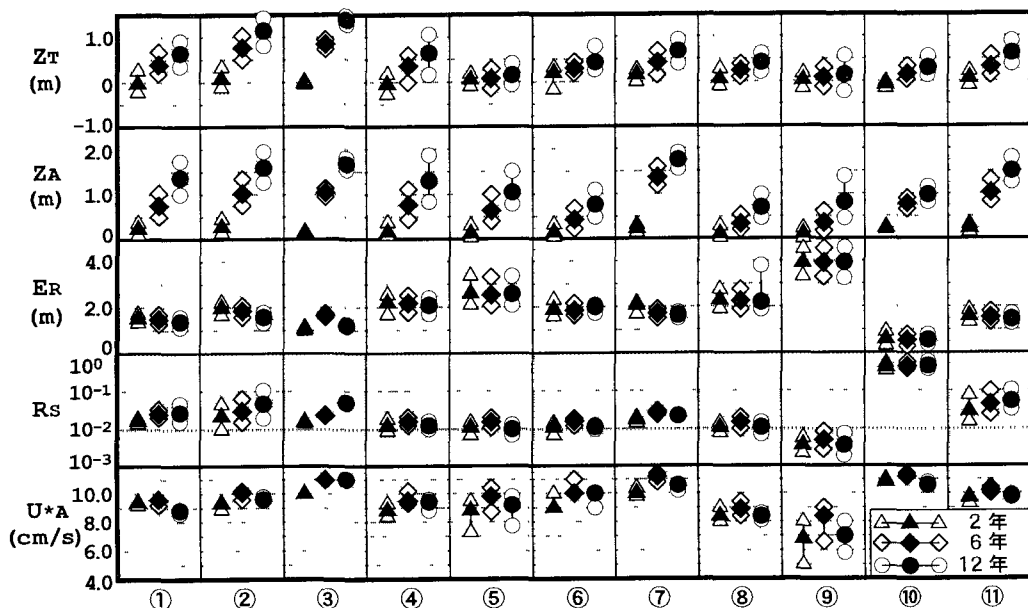
図－4では、代表横断面として砂州区間のほぼ中間点にあたる20.0km断面を選び、植物群落の横断分布を示すとともに、1980、1986および1992年の河道横断測量結果と対比している。砂州上においては、低水路の水際に沿って分布するヤナギ群落の領域で土砂堆積の傾向が顕著であり、この12年間についてみると、最大約3mの河床上昇が生じている（横距が300～380mの範囲に見られる河床の溝状の低下は砂利採取による）。また、低水路から遠く離れたヨモギ・オオアレチノギク群落、セイバンモロコシ群落の領域でもわずかではあるが河床は上昇の傾向にある。これに対して、低水路部においては、河床が総じて低下し、結果として断面内における河床の高低差が3～5m増大している。

3. 群落立地の河状履歴

図－3に示された植物群落の分布は河状履歴の影響を強く受けていることは言うまでもないが、河状履歴のうち、とくに河床変動履歴などには植生の影響が反映されている。そこで、このような植生と河状履歴の相互関係の一端を窺うために、植生との関係が深いと考えられる河状履歴指標を後述のように幾つか定義し、これらの指標がそれぞれの植物群落の領域ごとにどのような特性を示すかを調べてみた。

河状履歴に係わる資料としては、1980年から1992年までの12年間における定期横断測量の内から2年ごとの測量資料ならびに同期間内における日平均の流量（25.4km，中央橋地点）と水位（17.8km，高瀬橋地点）の観測資料、さらには日平均流量が500m³/secを越える出水については時間流量の時系列資料を収集した。ついで、調査対象砂州を通る全ての定期横断測量断面ごとに200点の検査点を等間隔（4～5m）で設定し、全点について、過去2、6および12年の期間を対象に、次のような5種類の河状履歴指標を計算した。

- (1) 累加河床変動量 (Z_T) : 注目する期間内において結果的に生じた河床の変位で、上昇を正とする。
- (2) 累加河床絶対変動量 (Z_A) : 2年間隔で得られている横断測量結果ごとに直前の測量結果との比較により求まる河床変位の絶対値を注目する期間内について累加したもので、河床変動の激しさの指標。
- (3) 平均比高 (E_R) : 日単位あるいは時間単位で変化する水位を基準にした河床の相対高さを、注目する期間について時間平均したもの。なお、各検査点の水位は1次元不等流計算により求められた。
- (4) 冠水時間率 (R_s) : 注目する期間の全時間長に対する検査点の冠水時間長の比率で、冠水の頻度と冠水継続時間長を一括評価した指標。
- (5) 冠水時平均摩擦速度 (U_{*A}) : 検査点が冠水している期間のみについて、局所水深 h と全断面の平均エネルギー勾配 I_E より、 $u^* = (gh I_E)^{1/2}$ のように求められる摩擦速度 u^* を時間平均したもの。



図－５ 植物群落ごとにみた河状履歴指標の特性

図－５は、区分された群落ごとに、これによって被覆された領域に含まれる全検査点群の河状履歴指標の単純平均値（黒塗り）と検査点の相違による指標値の変動幅（白抜き）を示したものである。

まず、河床の変動履歴を表す Z_r と Z_A に注目する。 Z_r は、一部の例外を除き、正值をとっているとともに、注目期間の年数にほぼ比例して増大しており、砂州の河床は概ね単調な上昇を続けてきたことが分かる。ただし、 Z_r の値は一樣でなく、ヤナギ低木群落、ネコヤナギ群落において特に大きく、ついでヤナギ高木群落、ヨモギ・オオアレチノギク群落、ツルヨシ群落において大きくなっているが、これら以外の群落では、 Z_r の平均値は12年間についてみても、数cm～十数cm程度と小さい。なお、ヤナギ低木群落は、見かけの高さから同高木群落と区別されたが、現地調査においては、その大半が埋没した径の大きい樹幹から萌芽した樹体であることが認められている。一方、 Z_A についてみると、その傾向は Z_r と類似しているが、ツルヨシ群落におけるものが例外的である。すなわち、この群落の領域では、 Z_r にくらべて Z_A がかなり大きく示されており、ツルヨシは年平均で10～20cm程度とかなり激しく上昇・低下を繰り返す河床上でも生き延びて来ることが分かる。

つぎに、流況の履歴指標である E_R 、 R_s および $U \cdot A$ について述べる。まず、一部に例外はあるものの、これらの指標の群落ごとの平均値や変動幅は、注目する期間の長さが変わっても大きくは変化していない。これは、図－２に示された各年の流量変化が互いに極めてよく似た形態を呈していることに対応している。しかし、これらの流況履歴指標は群落種の相違によりそれぞれ特徴ある変化を示している。 E_R は、木本群落、多年草群落、多年草・一年草混在群落、一年草群落および裸地のグループによって数値の範囲が異なるが、それぞれのグループ内では、群落の種類が変化しても大きくは変化していない。この傾向は、 E_R との相関が強い R_s についても同様であって、本調査砂州に関する限り、植物は上記のグループ単位で流況に応じた住み分けをしてきたことがうかがえる。すなわち、ヤナギなどの木本群落は $E_R = 1.0 \sim 2.0$ m で $R_s = 2 \sim 8\%$ の低水路水際近くに、多年生草本群落は $E_R = 1.8 \sim 2.6$ m で $R_s = 1.0 \sim 2.0\%$ の比較的高い場所に、一年草群落は $E_R = 0.5$ m で $R_s = 70 \sim 80\%$ の水際沿い、あるいは逆に $E_R = 4$ m で $R_s = 0.2 \sim 0.5\%$ の高水敷の縁部斜面沿いに存在している。今後、周辺の砂州の調査結果を総合して、これらの住み分け条件の一般性を検討してみたい。

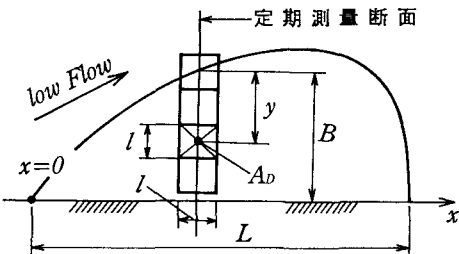
最後に U_{*A} に着目する。 U_{*A} は、その全体としての数値範囲は狭いものの、 E_R や R_S の場合に比較して、群落の種類の相違に対する変化がかなり明瞭化している。このことは、その特性がもっぱら地形条件に支配される E_R や R_S を参照するだけでは困難な群落種による立地条件の相違の評価が、摩擦速度という流体運動の力学指標の導入により、かなり程度まで可能になることを示唆している。ただし、 U_{*A} と群落の種類との間に一価的な関係があるわけではないという点には留意しておく必要がある。

4. 群落分布と河状履歴の回帰モデル

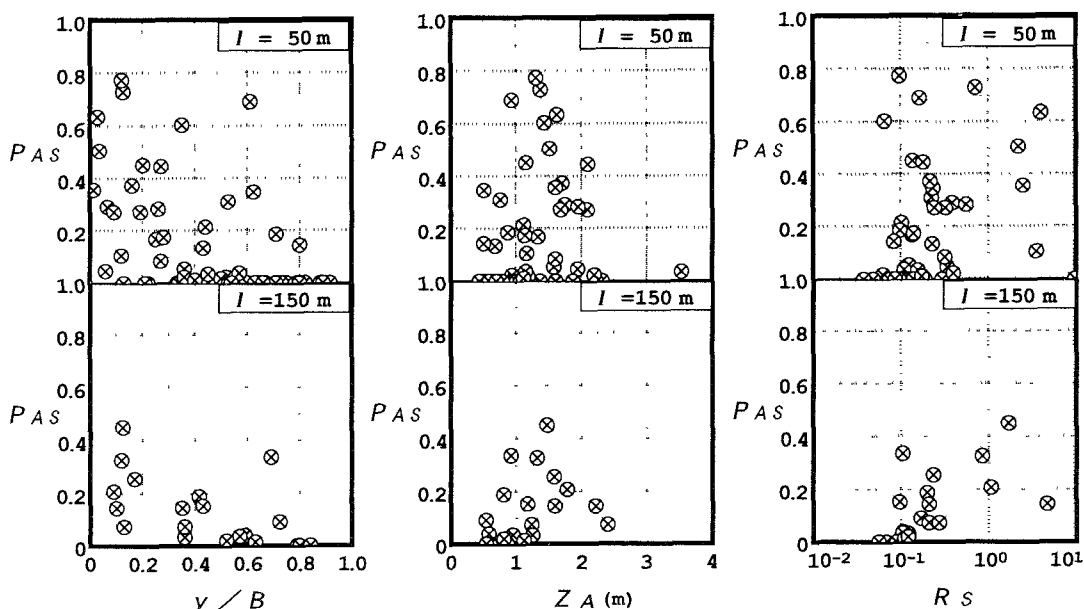
前節では、河状履歴指標のそれぞれが各種の植物群落の分布領域ごとに特徴ある傾向を呈することが明らかにされた。このことは、河状履歴指標の情報から逆に植物群落の特性を説明できる可能性を裏付けるものである。ところで、植生の立地では一般に、植物の成長ならびにそれに伴う競争と環境形成作用のもとでの遷移（自動遷移）と外因的な環境攪乱のもとでの遷移（他動遷移）とが同時進行し、最終的には植生がその地域の気候特性に対応した極相に近づく。これは、河状履歴指標のみに注目した説明には限界があることを示唆しているが、石川²⁾によれば、河道内の砂礫堆や砂州では、自動遷移が進行するための環境条件や機会が乏しいため、観察される植生動態の大部分が他動遷移に相当している。したがって、砂礫堆や砂州のような立地に関する限り、河状履歴指標によるだけでも植物群落の特性をかなり詳細に説明し得るものと思われる。以上のような観点より、本研究では、植物群落の特性のモデル化の第一歩として、砂州の任意の点を中心とした、ある面積 A_D の部分区画における各種植物群落の地被面積率 P_A に着目し、これと注目する部分区画の代表河状履歴指標との関係の回帰モデル化を試みた。なお、 P_A は、植物の分布密度や個体の形状・スケールとともに、植生の水理学的・土砂水理学的機能を規定する代表因子の一つである。

P_A の取り扱いにおいてまず問題となるのは A_D の設定方法である。植物群落の分布形態は多分にフラクタル的性格を有しているので、観察の基準スケールの大小により P_A の評価値が変化するためである。植生を伴う河道の流況や河床変動の予測を行う立場からは、 A_D をできる限り小さくすることが望まれよう。しかし、それをある程度以上に小さくすれば、 P_A の観測値に植生分布の局所的なバラツキやここでは無視している植生の自動遷移の影響が大きく現れて收拾がつかなくなる。また、説明変数として入手できる河状履歴指標の種類やその評価の基準スケールとのバランスにも十分に配慮する必要がある。これらはモデルの一般性や信頼性に係わる問題であるが、現段階において適正な A_D の決定基準はない。そこで、本研究では、説明変数として使用する河状履歴指標をいくつか適当に選定し、 A_D を数通りに変化させながら各指標と P_A の相関の強さを検討した結果に基づいて、選定された指標群に対する A_D の最適値を決定することにした。

さて、モデル化の対象とする部分区画としては、図－6 に示すように中心が定期横断測量断面内に位置し、一組の対辺（長さ＝ l ）がその断面に直交する正方形群を選んだ。各区画の中心位置は、砂州の上流端から河道中心線に沿って測った流下方向距離 x と低水路の水際から測量断面に沿って測った距離 y との組み合わせにより特定する。各区画における各群落の P_A は、つぎのようにして求めた。すなわち、まず、植生図に各区画を重ね描きしたのち現地スケールで $5\text{m} \times 5\text{m}$ の正方形メッシュを被せ、ついで群落ごとにその分布領域に含まれるメッシュの節点数をカウントする。最後に、全節点数に対するカウント数の比を求めて P_A の値とした。ただし、この際、木本類のヤナギ高木群落、ヤナギ低木群落およびネコヤナギ群落は、ヤナギ群落として一括的に取り扱った。このような P_A を説明するための河状履歴指標としてはさまざまなものが考えられるが、本研究では手始めとして



図－6 正方形部分区画の定義図



図－7 部分区画におけるヤナギ群落の地被面積率と代表的河状履歴指標の相関

前節において定義した5種だけを取り挙げることにし、各区画の中心に最も近い検査点（前節参照）について過去12年間を対象に算定された値をその区画の代表値とした。

まず、 A_D の決定について述べる。上述した正方形区画の辺長 I を25m, 50m, 100m, 150mおよび200mの5種に変化させながら、裸地を含む各群落の P_A と区画中心位置の指標 x , y ならびに河状履歴指標群との相関を個々に検討した。その結果、これらの指標のみからある程度有意な回帰式を得るには、 I を100～150m程度まで大きくする必要があることが分かった。図－7に、ヤナギ群落の地被面積率 P_{AS} に関する検討の一部を示している。ただし、紙面の関係で、 I が50mと150m、指標が y , Z_A , R_S の場合のみを示した。なお、 I を100mとする場合の相関は150mとした場合と同程度であったが、200mとする場合には、データ数が少なくなることも原因して、各指標と P_{AS} との相関が著しく劣化した。ところで、このように I を砂州の最大幅の1/5～1/4、砂州全長の1/15～1/10程度にまで大きくする必要があるのは、指標として微地形、河床構成材料、流れの2次元流況などに関する情報が含まれていないためと推察される。

以上より I を150m ($A_D=2.25$ ha) と決定し、ついで、調査砂州の大部分を占めるヤナギ群落、ヨモギ群落、ツルヨシ群落および裸地に着目し、それぞれの地被面積率 P_{AS} , P_{AA} , P_{AP} および P_{AB} の回帰式を求めた。このとき回帰式の基本形の与え方が問題となるが、本研究では、 P_A を各指標の寄与分の代数和として表すことにし、各指標値の寄与分は、図－7のような相関図を参考に適宜、簡単な関数でモデル化した。回帰係数の計算には、市販の計算ソフトを用いたが、ほぼ満足できる結果に到達するまでには、一部の指標の棄却あるいは各指標とその寄与分との関係のモデル式に修正を施す必要があった。

最終的に得られた P_{AS} , P_{AA} , P_{AP} および P_{AB} の回帰式はそれぞれ次に示すとおりである。

$$P_{AS} = 0.43X^2 - 0.0047/Y + 0.0086Z_T - 0.11(Z_A - 1.75)^2 + 0.19E_R + 0.33\log_{10}R_S \quad (1)$$

$$P_{AA} = 0.33X^2 - 4.2(Y - 0.4)^2 + 0.066/Z_T - 0.37/Z_A + 0.072E_R^2 + 0.073\log_{10}R_S \quad (2)$$

$$P_{AP} = -0.037/X + 0.58(Y - 0.5)^2 - 0.031Z_T + 0.0037/Z_A + 0.013E_R^2 + 0.0067\log_{10}R_S \quad (3)$$

$$P_{AB} = -0.48X + 0.037/Y - 0.047Z_T + 0.30Z_A - 0.20E_R - 0.25\log_{10}R_S + 2.1U_{*A} \quad (4)$$

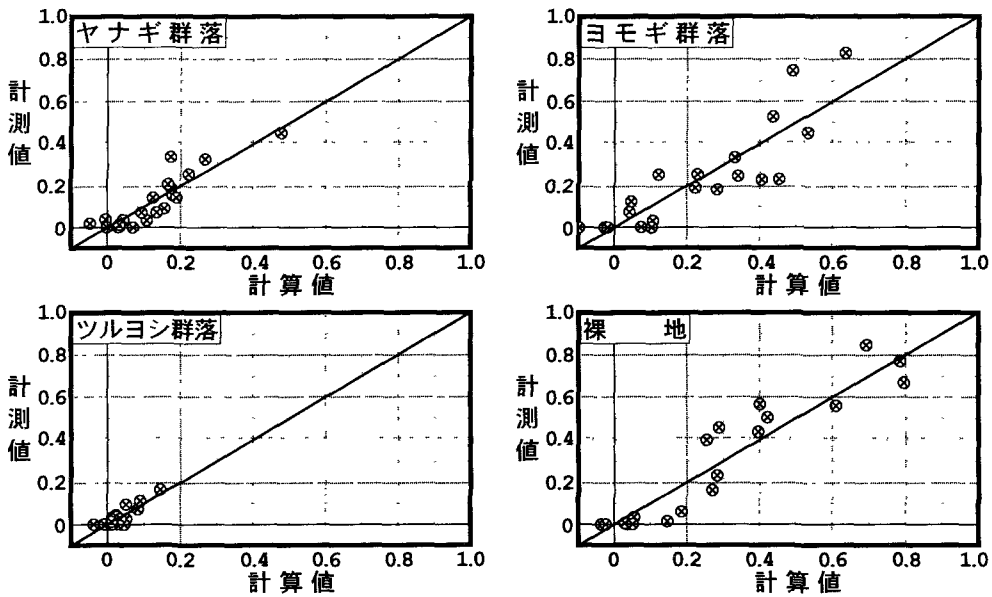


図-8 回帰式による計算値と実測値との適合性の検討

ここに、 $X = x/L$ 、 $Y = y/B$ であり（ L :砂州の全長、 B :区画中心の断面における砂州の幅）、 Z_r と Z_A は(m)単位、 U_{*A} は(m/sec)単位で評価されている。図-8は、これらの式の適合性を検討したものである。(1)~(4)式は、限られた指標を用いて構築されたが、予想以上の適合性が認められる。ただし、これらは機械的に、一般性などには無頓着に導かれているので、回帰係数の一部に実状と矛盾する点があるかもしれない。また、形式に関しては、次元の不整合など問題点を数多く含んでいる。今後は、これらの点を改善するとともに、採用する指標の定義や種類にも検討を加えて、予測式のレベルにまで向上させたいと考えている。

5. あとがき

以上、本研究では、吉野川下流部に発達した交互砂州の一つに着目し、1994年9月の時点における植生分布を詳細に調査した結果を提示するとともに、これと過去12年間の河状履歴との対比を通して得られた植生と河状履歴の相互関係に関する知見を紹介した。また、群落の局所的な地被面積率について、これと数種の河状履歴指標との関係の回帰モデル化を試みた。本研究の段階では、資料の制約などもあって実用可能な成果にまでは到達できていないが、将来における発展の見通しは明るいと判断している。

【参考文献】

- 1) 石川慎吾：揖斐川の川辺植生-I，日本生態学会誌，Vol. 38，No. 2，pp. 73-84，1988.
- 2) 石川慎吾：揖斐川の川辺植生-II，日本生態学会誌，Vol. 41，No. 1，pp. 73-84，1991.
- 3) 河川環境管理財団編：河川の植生と河道特性，第3章，pp. 61-103，1995.
- 4) 辻本哲郎・岡田敏治ほか：水工学論文集，第37巻，pp. 207-214，1993.
- 5) 宇多高明・藤田光一ほか：土木研究所資料，第3249号，1994.
- 6) Braun-Blanquet, J. : Pflanzensozioilogie, Grunguge der Vegetationskunde, Springer, Wien, 1964.
- 7) Morishita, M. : Memrs. Facul. Sci., Kyusyu Univ., Ser. E. (Biol), No. 3, pp. 65-80, 1959.