

出水履歴と河道特性が植生域の長期変動に及ぼす影響に関する基礎的研究

BASIC STUDY ON EFFECT OF FLOOD HISTORY ON VARIATION OF AREA OF VEGETATION IN RIVER

砂田憲吾¹・岩本 尚²・渡辺勝彦³

Kengo SUNADA, Hisashi IWAMOTO and Katsuhiko WATANABE

¹正会員 工博 山梨大学教授 工学部土木環境工学科 (〒400甲府市武田四丁目3-11)

²正会員 工修 東京電力株式会社 葛野川水力建設所 (〒409-06大月市七保町瀬戸1646)

³建設省 関東地方建設局甲府工事事務所 (〒400甲府市緑が丘一丁目10-1)

In order to assess long term trend of vegetation in river, a preliminary study has been carried out. At first, areas covered with vegetation at seven sections in the main channel and the tributary of the Fuji River were measured by using aerial photographs in 22 years, then characteristics of the areas of vegetation were examined with the flow hydrograph during the period. In the next, "control discharge" was defined for discussing change of the vegetated areas, and a simple mathematical expression of the relation between the area and the amount of flow rate over the control discharge was developed. At last, two parameters governing sensitivity of vegetation to flood discharge were compared with the hydraulic properties at each section. The results showed that the mathematical expression has possibility to assess the characteristics of long term trend of vegetation in river.

Key Words : river planning, vegetation in river, aerial photograph, long term trend

1. はじめに

河川植生は流況や河床に直接影響を及ぼす一方、逆に植生はその河床や出水履歴さらには気候の影響を受けながら繁茂と衰退を繰り返して遷移していく。すなわち、河道への物理的作用の形態も植生及び植生域の変動と共に変化していく。こうした点を考慮して、最近では単なる植生実態調査の他に河道特性との関連からの新たな視点に立つ調査も進められている^{1), 2), 3), 4)}。いうまでもなく、河川植生は多様な生物の棲息場を提供するなど、河川環境に関わる基本的な条件を構成しており、生態学的な見地からもその状態変化の傾向が明らかにされなければならない。河川の計画規模が例えば100年、200年であるならば、河川植生についてもそのような時間スケールで起こる植生の変動の範囲について、総括的に把握することも新しい河川の計画と管理のために重要である。

河川植生の領域変化や遷移にはこれまでいくつかの研究がなされている。まず、流水による植生の流出・破壊については曾根ら⁵⁾により出水後の詳細な現地調査結果が提示されているが、長期的な変動については触れられていない。一方、萱場ら⁶⁾は上流で

のダム建設による人為的なインパクトが河道地被状態にどのような長期的な変化をもたらすかについて検討しているが、対象期間内の定量的な出水履歴とは直接関連して考察されていないので、結果を一般化するのには困難である。

本研究では、河川環境の管理に関わる将来の計画についての基礎的な資料を提供するために、中長期的な河川植生の存在状態を予測・評価する手法の開発を目的とした。対象河川(富士川)における代表地点での植生域面積の変化と洪水履歴との関係を抽出し、その特徴を規定するパラメータと河道の水理学的特性との関係を考察し、植生域の将来予測にも応用可能な定量的な評価方法について検討した。

2. 流量時系列と植生域の変化

(1) 航空写真による富士川の植生域

一般に植生の繁殖方法には毎年種子によって世代交代を行う種子繁殖、地下茎の発達で地下部から多数出芽する根茎繁殖、枝先や植物体の一部から発芽や発根し繁殖する栄養繁殖がある。一方、河川植生の破壊には直接的な流水の作用による変形、倒伏、流亡があり、沈水状態による植物体の生理的活性度

への悪影響による破壊がある。さらに土砂移動による河床・河岸の変形、衝撃による物理的な破壊もある。あらゆる河床状況における多くの植生を対象として、詳細な繁茂と破壊の傾向を把握することは容易ではない。ここでは、過去に撮影された航空写真を利用することを念頭に、まず長期の包括的な植生の変動傾向を端的に捉えるために、植生繁茂の領域を考察の対象とする。モノクロを含む写真判読の実際からは、残念ながら植生の種類のみならず草本類か木本類かの判別も困難であるため、最も基本的な植生面積のみを扱わざるを得ないからである。

解析対象とした河川は筆者らが植生調査と解析を進めてきた^{3), 7), 8), 9)}富士川上流部本川（釜無川）と支川笛吹川である。合計51kmの区間であるが、急流・緩流区間からなる種々の流況が河道特性と植生との関係を検討するのに格好な対象河川である。1964年から1981年までに存在するほぼ同一形式の航空写真（1964年、66年、68年、70年、71年、72年、74年、75年、78年、79年、80年建設省撮影）を用いて、図-1に示される対象区間内の代表地点・富士川（釜無川）：（清水端K20～K30、浅原橋K100～K110、信玄橋K170～K180、船山橋K230～K240）、笛吹川：（桃林橋F40～F50、石和F170～F180、万力林F230～F240）の各約1km区間の河道全面積（ A_c ）、植生域の面積（ A_v ）を判読する。ただし、上述のように植生域に関しては木本類、草本類の区別は付けず同じ植生域とみなす。さらに、いくつかの年の渇水期の写真から最小の流水水面の面積を決める。以上をもとに、植生面積率（ A ：単位河道長当たりの河道面積に対する植生繁茂域面積の割合）、および A から流水面積率を差し引いて得られる最大植生面積率（ A_s ：河道内に植生が繁茂できると考えられる最大の植生面積率）を求める。

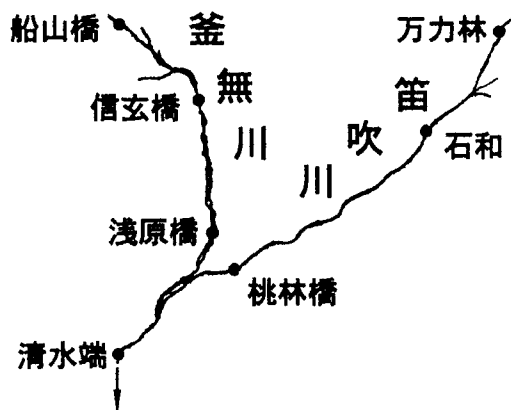


図-1 富士川対象流域区間位置関係

を釜無川区間地点の代表流量、桃林橋の流量を笛吹川区間地点の代表流量とし、それぞれ指標として用いる。図-2には清水端の流量時系列と共に浅原橋地点で得られた植生面積率がプロット（◆印）されている。笛吹川における同様の図では、低水路固定の区間のため流量変化と植生域の繁茂・破壊の関係が不明瞭な場合もみられたが、それ以外では図-2のような植生域の変化が顕著に見られた。同図からは例えば1965年～1967年にかけて大きな出水が多く植生域面積の増加が制限され、1967年～1968年にかけては大きな出水がないため植生域が再生繁茂する傾向が確認できる。

3. 植生域の繁茂・破壊特性の抽出

(1) 超過流量と植生域の変化量

流量データに設定流量を設け、これを超過する流量が植生に影響をもたらすと考え、以下のパラメータを用いて植生の繁茂と破壊を検討する。

図-3のように航空写真撮影時から次の航空写真撮影までの間の期間を T （年）とするとき、その期間に設定流量値を超える洪水ごとに各個超過流量を q_n （ m^3/s ）とし、 $Q_s = (q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n)/T$ として

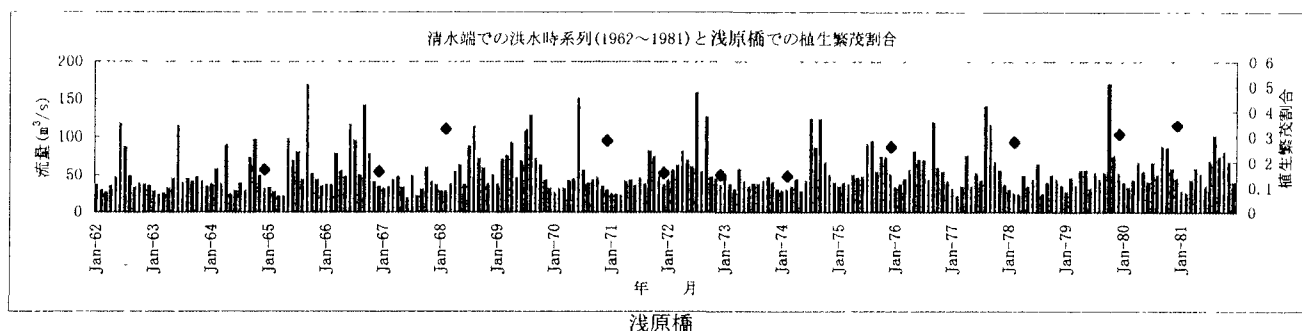


図-2 月流量時系列と植生面積率（植生繁茂割合）の変化

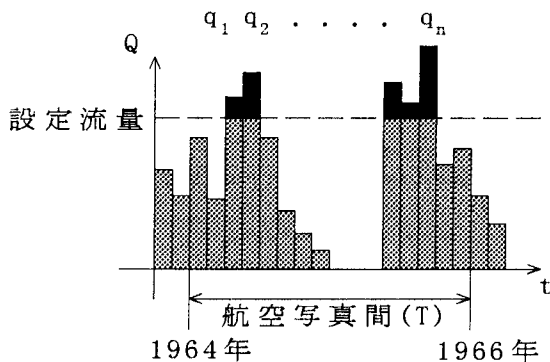


図-3 超過流量の設定

1年間の平均量に換算して与えられる超過流量 Q_s (m^3/s) を定義して検討する。

流量データには月平均流量と日流量の2種類の流量を用いて解析したが、以下では日流量についての場合を示す。

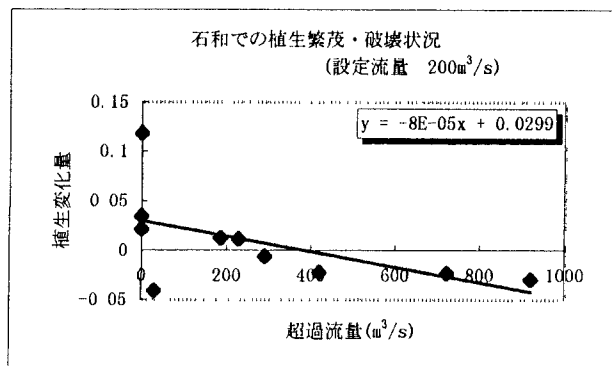
図-4は笛吹川石和地点での各設定流量における超過流量と植生面積率の変化量（それぞれ1年当りに換算された比率）の例を示す。図-4および各地点における同様の図からも、超過流量の増加とともに植生域は減少することが明らかに認められる。

a) 設定流量の決定

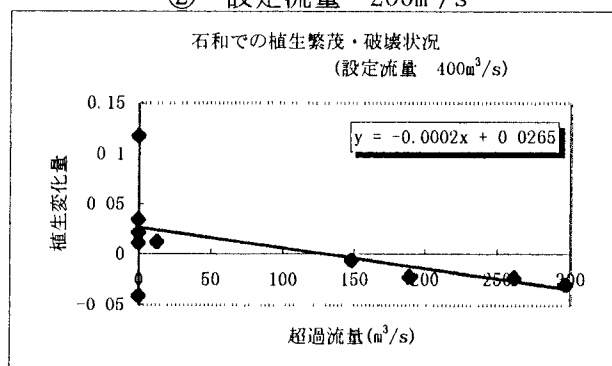
設定流量は植生の繁茂と破壊の現象が生じる流量の閾値パラメータである。図-4のような超過流量～植生変化量のグラフにおいて、測定プロット点と回帰直線の近似度を調べた結果、河川ごとにどの設定流量においても同程度の精度が得られたため最適値が一義的に定まらなかった。このことは超過流量の頻度とその規模とはいわばトレードオフの関係にあり、それらを厳密には区別し難いことを表している。ここでは、各河川毎に大・小2種類の設定流量を併記しながら考察することとし、釜無川で設定流量 $300\text{m}^3/\text{s}$ 、 $700\text{m}^3/\text{s}$ 、笛吹川で $200\text{m}^3/\text{s}$ 、 $400\text{m}^3/\text{s}$ とした。

b) 破壊流量

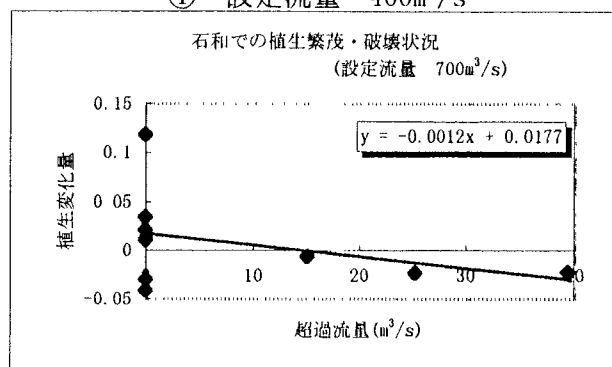
解析では、以下のような方法で植生破壊が生じる「見かけの流量」が各地点で算定される。例えば、笛吹川の石和において設定流量を $200\text{m}^3/\text{s}$ とすると、超過流量が約 $400\text{m}^3/\text{s}$ 以上で植生域の破壊が見られる。図-4から石和では設定流量と超過流量の単純な和は3種の設定流量に対しほぼ一定の $550\sim 700\text{m}^3/\text{s}$ となる。両者は本来、植生破壊の強度と頻度に対応する指標であるが、結果的にこれらが同程度に効くことを示している。この「見かけの流量」（破壊流量と呼ぶ）を超過すると植生変化量は負となり植生域は破壊し、超過しなければ植生は繁茂することが経験的に知れる。同様の傾向は他の地点でも認められ、破壊流量の算定を行うと表-1のようになる。桃林橋地点で破壊流量が得られなかった理由として、前述のように固定的な大断面の低水流路が形成され



② 設定流量 $200\text{m}^3/\text{s}$



④ 設定流量 $400\text{m}^3/\text{s}$



⑥ 設定流量 $700\text{m}^3/\text{s}$

図-4 超過流量と植生変化量

表-1 破壊流量の算定

釜無川 (m^3/s)	笛吹川 (m^3/s)
船山橋 1100	万力林 500
信玄橋 1000	石和 600
浅原橋 1200	桃林橋 —
清水端 900	

ており、高水敷植生域が安定しているためと考えられる。他の地点を見ると釜無川では流量1000m³/s前後の洪水で清水端、浅原橋、信玄橋、船山橋ともに植生破壊が生じ、同様に笛吹川では流量500 m³/s前後で石和、万力林で植生破壊が生じることがわかる。また、各地点の河道断面特性などによって破壊流量は異なり、植生の破壊しやすい地点、しにくい地点がこの結果から簡便に推定できそうである。

(2) 植生の繁茂・破壊関数

航空写真の撮影時点が大・中規模の出水後の状態か、長期の渇水後のものかによって、当然のことながら計測される植生面積率は異なる。以下に関係式を設定し任意時点での植生域の状態、出水規模による破壊の把握を試みる。まず、繁茂・破壊について次の仮定のもとに関係式を示す。

- ① 大・中規模の出水がなく、長期の渇水もなければ植生面積率 (A) は最大植生面積率 (A_e) に漸近する。
- ② 植生面積率の増加率 (dA/dt) は余剰面積 (1-A) に比例する。
- ③ 出水に伴う破壊面積率 (A_d) は、植生面積率 (A) に比例し各個超過流量 (q_n) に関係する。
- ④ 植生繁茂は1年を通して時間 (t) の経過と共に繁茂する (季節変化を無視する)。

dt=1dayにとって、その期間の植生域の変化をdA、設定した流量を超過する流量が流れたとき植生域の破壊面積率をA_dとし、繁茂関数、破壊関数を以下のように設定する。

繁茂関数： $A = A_e \cdot \{1 - \exp(-\alpha \cdot t)\} + A_n$ (1)

破壊関数： $A_d = A \cdot \{1 - \exp(-\beta \cdot q_n)\}$ (2)

ここに、A_e：最大植生面積率 (河道面積率から渇水時流水面面積率を差し引いたもの)、A_d：破壊面積率、α、β：それぞれ繁茂と破壊の程度を示すパラメータ、A_n：初期植生面積率、q_n：各個超過流量 (m³/s)、t：日数 である。

図-5は上記のように表される繁茂・破壊による面

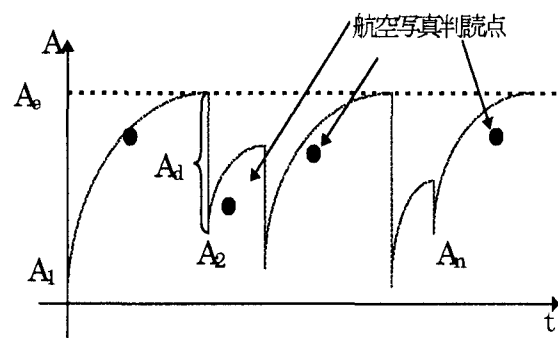


図-5 植生面積の繁茂・破壊の模式図

積率の変化を模式的に表したものである。

(3) 繁茂・破壊に関わるパラメータ (α, β)

植生の繁茂と破壊は植種、流量履歴を含む気候条件、河道形態などによって異なり、それらの要因が考慮された定数として植生の繁茂・破壊に関わる定数 (α, β) を議論する。

まず、繁茂に関わる定数 α は以下の方法で算定する。例えば図-4を用いて超過流量が30m³/sとなる時の植生変化量 (dA) の平均値を1年間の植生平均繁茂量 (dA_{*}) とする。航空写真で得られた植生面積率の平均値 (A_{*}) から1年間で (A_{*} + dA_{*}) まで繁茂するとして、その2時点で満たすべき式を連立して解く。一方、破壊に関わる定数 β の算定は、得られた α を用いて、航空写真で得られた植生面積率と計算で得られる植生面積率とがより適合するように β を決定する。β は各設定流量に対応して2種の値が得られる。

4. 植生域の変化過程の再現

(1) 繁茂・破壊パラメータと河道特性

前節のようにして求められた各代表地点での α、β の値をこれまでの研究³⁾で用いてきた平均河道水理特性と共に表-2に示す。平均河道水理特性は計画高水流量に対応した各断面での平均水理量から求

表-2 対象地点における河道特性値と α, β

釜無川	清水端	浅原橋	信玄橋	船山橋	笛吹川	石和	万力林
Fr	0.59	0.58	0.68	0.78	Fr	0.66	0.88
B/H	16.49	107.60	193.44	145.94	B/H	84.78	52.42
τ *	1.38	2.30	0.47	0.12	τ *	1.08	0.49
1/r	0.71	0.16	0.12	0.07	1/r	0.21	0.30
α 値	0.000027	0.000091	0.000187	0.000490	α 値	0.000126	0.000037
β 値 (300m ³ /s)	0.00004	0.00007	0.00023	0.00031	β 値 (200m ³ /s)	0.00055	0.00036
β 値 (700m ³ /s)	0.00009	0.00017	0.00064	0.00095	β 値 (400m ³ /s)	0.00165	0.00110

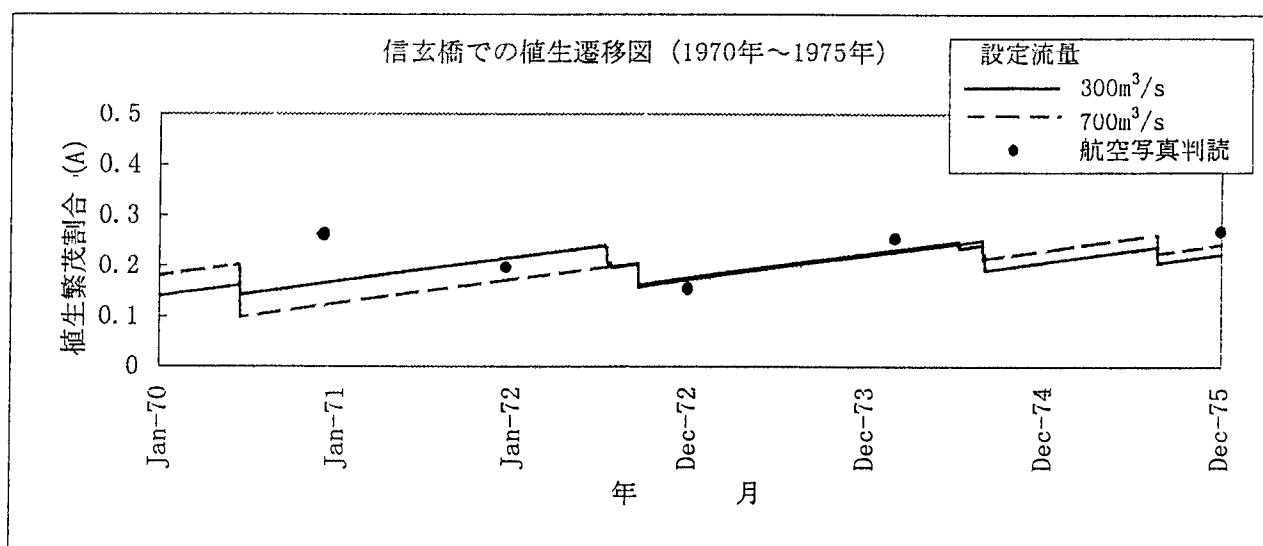


図-6 植生域変化の再現

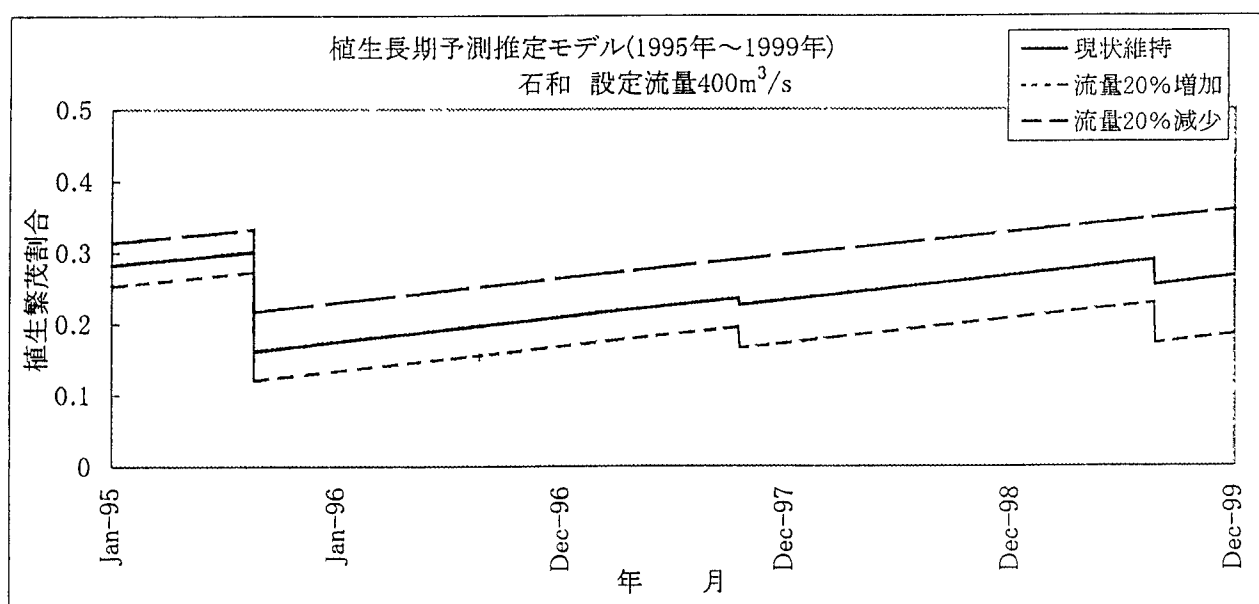


図-7 植生域変化の予測例

められている。恒常的な低水路をもつ桃林橋においては α 、 β の算定ができず、植生域の安定が考えられ、この地が耕作地として多く利用されている理由の一つと考えられる。表-2からは各地点において α 、 β の値は異なり、植生の繁茂のし易さを表す α 、洪水時の植生の破壊のし易さを示す β を考慮すると以下の傾向が分かる。

釜無川においては、相対的に大きい B/H を示す上流の信玄橋、船山橋地点では清水端、浅原橋地点に比較して α 、 β とも大きく繁茂・破壊の変化が顕著である。同様な傾向は笛吹川でも見られ、万力林地点に比べ B/H の大きい石和地点の方が植生域の変化が大きい。これは B/H の増大に伴って、河床形態が単列から複列、多列砂州へと変化し、それ

に応じて流路の変化が激しくなるためと考えられる。富士川本川清水端では特に $1/r$ （河道の曲率の指標：流路の固定に関わるパラメータ、 r は河道の曲率半径）が他の地点に比べかなり大きく、そのために形成される固定砂州では植生域は限定的な場所で繁茂と破壊を繰り返し、植生面積の年変動は小さくなることが考えられる。

上述の代表地点で得られた α 、 β に関しては Fr 数、 τ_* とも明瞭な関係は認められなかった。この点について、釜無川で信玄橋地点と河道特性が τ_* のみ異なる地点を探して補足的な解析を行った結果、流砂量の増加に対応する τ_* の増大につれて、 α の値が小さくすなわち植生が繁茂しにくい傾向にあることも判った。

以上より、植生の繁茂・破壊を表すパラメータ (α, β) の算定結果から、各地点で得られた α, β の値は各地点の平均河道水理特性を反映し得るものと考えられる。

(2) 植生域の変動と予測

植生繁茂・破壊式で得られた結果をもとに、例えば信玄橋における1970年～1975年間の植生面積率の変化と航空写真で得られる植生面積率 (A) をプロットしたものが図-6である。2種類の設定流量に対して、植生域の変動をある程度良好に再現している。他の地点でもほぼ同様な結果を示した。

航空写真判読と計算結果とを平均二乗誤差を用いて再現精度の比較を行った結果、航空写真と比較して精度がよいと考えられる対象地点として、釜無川で清水端、信玄橋、笛吹川で石和、万力林の4カ所が挙げられること、これに対して釜無川の船山橋では他の地点に比べて精度が悪いことなどが知れた。船山橋で十分な精度が得られなかった理由として、各対象地点に存在する植種は異なっているにもかかわらず草本類、木本類を同じ植生域として扱ったため、木本類が他の地点に比べて多く存在するこの地点では α の決定の段階で誤差が生じたと考えられる。

図-7は石和地点を想定しての植生面積の予測結果の例である。流量変動の将来シナリオは不明であるが、解析で用いた既往の20年間 (1962年～1981年) の流量時系列をそのまま使い、1982年以降の20年間に流量が漸変 ($\pm 20\%$) するとした場合の植生面積率を求めたものである。植生は増減を繰り返しながら、全体として減少または繁茂に向かう様子が理解できる。

5. おわりに

解析に用いられた資料は必ずしも十分な期間の長さ、区間数に基づいていないが、植生域の長期変動傾向の把握のための基本的な枠組みが得られたと考えている。本研究で進められるように、有効な河道特性パラメータと所与の流量時系列とにより植生分布の長期傾向が説明できれば、植生を考慮した河川計画の資料とするための将来の植生分布を予測推定するという従来にない新たな方法を得ることにな

る。より多断面でのより長期な資料により結果の一般性を検証していきたい。

航空写真判読の制約により、植生の種を区別することなく平面的な面積で扱うことしかできなかった。河畔樹林など比較的剛性の大きい“立体的”な植生の場合は、経年的な遷移の法則を導入する必要がある。この点についても今後の検討課題としたい。

謝辞：本研究の一部は平成8、9年度 (財) 河川環境管理財団「河川整備基金」研究助成金の支給を受けて行われたもので、ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (財) 河川環境管理財団：河川の植生と河道特性、河川環境総合研究所資料第1号、1995。
- 2) 辻本哲郎・岡田敏治・村瀬 尚：扇状地河川の川原の植物群落と河道特性―手取川における調査、水工学論文集、Vol. 37, pp207-214, 1993。
- 3) 砂田憲吾・岩本 尚・松崎 実：河川植生の水平・鉛直分布と河道特性に関する調査解析、水工学論文集、Vol. 40, pp. 193-198, 1996。
- 4) 岡部健士・鎌田磨人・湯城豊勝・林 雅隆：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、水工学論文集、Vol. 40, pp. 205-212, 1996。
- 5) 曾根伸典：増水による河辺植生および立地変化と復元に関する研究、自然環境科学研究所報告、p. 139, 1984。
- 6) 萱場祐一・島谷幸宏：扇状地河川における地被状の長期的変化とその要因に関する基礎的研究、土木学会年講、No. 50-II, pp. 200-201, 1995。
- 7) 久下 敦・砂田憲吾：河川植生の繁茂機会と河道性に関する基礎的研究、土木学会年講、No. 49-II, pp. 206-207, 1994。
- 8) 柴田高教・砂田憲吾・岩本 尚・松崎 実：河川植生の繁茂に及ぼす水面からの比高と河道特性の影響、土木学会年講、No. 51-II, pp. 218-219, 1996。
- 9) 岩本 尚・砂田憲吾・松崎 実：河川植生の分布と河道水理特性について、土木学会年講、No. 50-II, pp. 218-219, 1995。

(1997. 9. 30受付)