

手取川における樹林化と大出水時の植生破壊

GROWTH OF VEGETATION AND ITS DESTRUCTION DUE TO MAJOR FLOOD IN THE TEDORI RIVER

辻本哲郎¹・村上陽子²・安井辰弥²

Tetsuro TSUJIMOTO, Yoko MURAKAMI and Tatsuya YASUI

¹正会員 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科地圏環境工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²学生会員 名古屋大学大学院工学研究科博士課程前期課程学生

Vegetation in rivers plays an important role not only from the view point of flood control but also from ecological view point. Most rivers in Japan are influenced by regulated discharge and no sediment supply because of dam construction and are exposed on river degradation. Vegetation in a stream retards the flow and causes sediment deposition. Vegetation grows on newly deposited area. In streams under degradation, such a newly deposited and vegetated area has few chances to be submerged during medium size of flood, and most of such rivers, vegetation has become rich. However, a major flood, which happens rarely, destroys the vegetation. Combination of probabilistic major flood and repetition of medium or small size of floods with dry seasons determine the riparian landscape. In this study, a simple method is proposed to understand such a landscape change by analyzing aerial photos. The Tedori River has been taken as an example and the followings have been recognized. The growth of vegetation accompanied to the bed degradation was obvious during 95-97, but the major flood in 1998 changed the landscape drastically.

Key Words : *Growth of vegetation, aerial photo analysis, destruction of vegetation by flood, the Tedori River*

1. はじめに

手取川では平成9年度まで多くの扇状地河道と同じように河川敷や中州の樹林化が発達してきた。著者らは、その素過程を抽出し、樹林化を伴う砂州・中州の発達を検討してきた^{1)・2)}が、本論文では航空写真の解析によってより巨視的に河道の樹林化の様相を検討しようとした。

手取川は、白山(2,702m)を源とし、尾添川、大日川その他の支川を合流して石川郡鶴来町に至り、扇状地を形成して石川郡美川町で日本海の注ぐ幹川流路延長72km、流域面積809km²の一級河川で、下流直轄部(鶴来~美川、図参照)においてすら平均勾配1/145の急流河川である。昭和9年(1934)の大洪水(4,080m³/s)を契機に直轄河川改修事業が着手され、基本高水流量6,000m³/s、計画高水流量5,000m³/sで改修が進められている(1,000m³/sを上流ダム群でピークカットする)。本川には手取川ダム(建設省)が1980年に完成した(それ以前、1967年に支川の大日川に大日ダム(石川県)が完成している)。

手取川上流部白山周辺での砂防事業は、河道土砂動態という観点からは、主として砂防ダム群での土砂扞止と捉えられる。砂防ダム群の拡充によって下流への流下土砂量は相当減少してきた。また昭和40年頃までは砂利採取が盛んに行われ、河床低下が一気に進んだ。さらに、昭和55年に手取ダムが完成して後はほとんどすべての土砂が貯水池に堆積し、下流扇状地区間への供給土砂は激減している。洪水前後の測量結果から直轄扇状地区間での河床変動状況を概観すると、扇状地部上流が洗掘、下流が堆積傾向を示し、扇状地堆積物が河道流送土砂となって、上流から土砂供給のない状況が認められる。洗掘区間は出水を重ねる度に下流へ移行し(現在9km付近まで)、洗掘の進んだ区間の河道はアーマー化して比較的粒のそろった礫が表層を覆っており、細砂分は植生周辺などを除いてほとんどない。アーマーコートの破壊限界流量は2,000m³/s程度とされ、一方、平均年最大流量は1,500m³/s程度であるが、手取ダム完成(1980年)後は、約900m³/s程度と2/3程度に減少していた(図2に示す

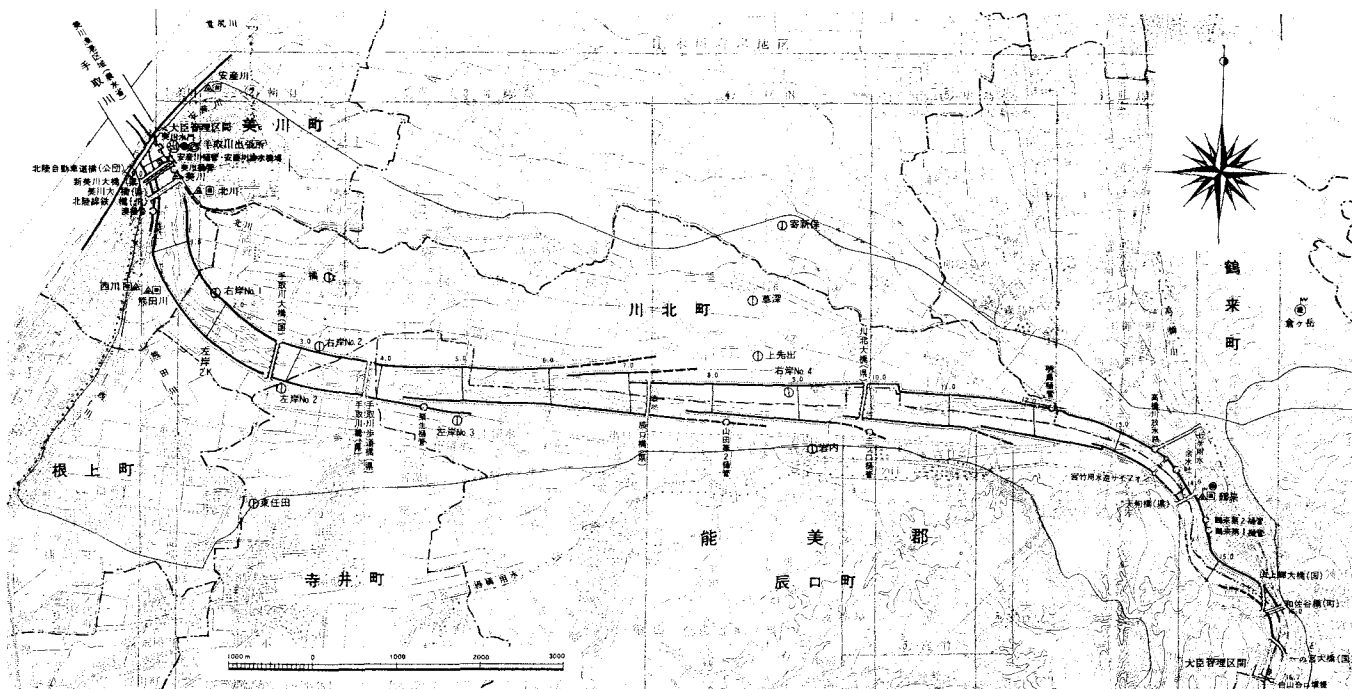


図1 手取川直轄区間平面図

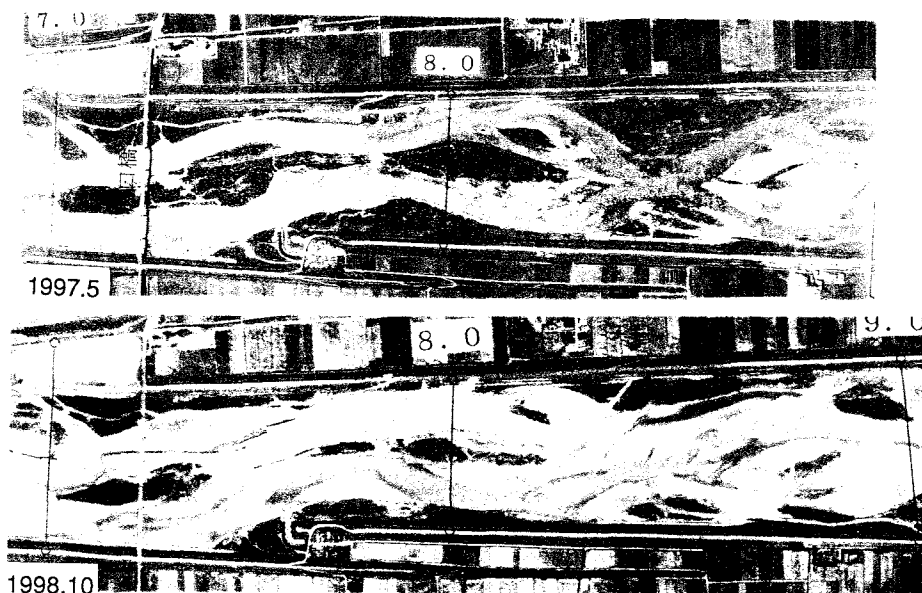


写真1 手取川扇状地区間の1998年9月洪水での植生破壊状況（97年5月、98年10月薩英航空写真の比較）

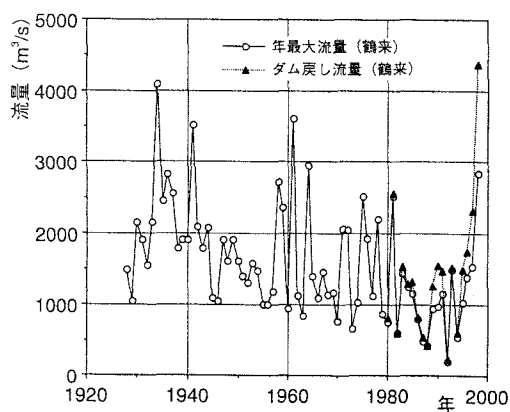


図2 手取川鶴来地点年最大流量

年最大流量（鶴来地点）の経年変化を参照，図2の一部にはダム建設後についてダム調節が無かったとした場合の換算流量も示した。これによると，ダム建設後も年平均最大流量は建設以前とさほど変化が無く，ダム建設後の年最大流量の平均値の減少はダム調節の影響と推測される）。そのため，扇状地河道はアーマー化河道と未アーマー化河道に分類でき，著者ら^{1), 2)}はそのそれぞれでの特徴的な植生繁茂を伴う中州発達機構を基礎実験と数値解析で議論している。本研究では，こうした基礎研究で検討された抽象化されたメカニズムに基づいて現地の景観変化がどの程度説明されるかを航空写真の解析によって検証することを目的の一つとした。本論文では1995年6

月、1997年5月撮影の航空写真をもとにして河道内樹林化の進行を把握することとした。

一方、1998年9月22～23日に台風17号による大洪水（ $2,883\text{m}^3/\text{s}$ ）があり、その直後の踏査によると手取川扇状地河道でヤナギ群落が洪水によって相当破壊されているところが見られ、10月の航空写真を入手、1997年5月撮影のものと比較することとした。河道内樹林化については、著者ら^{1)・2)}は植生が捕捉した微細砂の堆積域が低水状態で陸化して植物がこの部分に侵攻することを想定した研究を進めているが、洪水時の破壊過程についてはこれまで研究が十分行われていず、今回の解析を今後の研究進展の契機としたい。

2. 航空写真の解析手法

植生調査については、河川水辺の国勢調査などで実施されているが、著者ら³⁾が手取川をフィールドに河川工学・水理学的観点から微地形と植生の同時調査の必要性をその手法を検討して以来、各地で活発な詳細調査がなされ（たとえば岡部ら⁴⁾）、また調査法として整理されつつある⁵⁾。ところが調査は空間的な広がりとともに時間的な広がりをも要求されるため、これまでに撮影された航空写真を利用する方法も検討されている^{5)・6)}。しかし、航空写真からの判読は一般に膨大な作業を伴う。そこで、本研究では、まずその作業をパソコンを用いてまずある程度ルーチン化することを試みた。

航空写真から植生の発達状況を読み取るため、(1)水域、(2)裸地域、(3)植生域の占有率及びパターン類型としてとらえ解析する手法を検討した。まず、航空写真をスキャナーによってコンピューター内にデジタル画像として取り込む。航空写真の色調等が撮影フィルムやプリントによって異なることを考慮し、また本研究では扇状地区間の樹林化特性の縦断方向変化にも着目したいため、河道は1kmごとに区切って解析することとした。ここで河道とは両側堤防で囲まれる部分と定義した。

デジタル化された画像は市販ソフト（photoshop）を用いて1km河道区間ごとに切り出して、解析に使う。図3の例（7.0～8.0km河道区間）ではその画像は約229,000ピクセルからなり、その輝度のヒストグラムの概要は図4（横軸は黒から白までの輝度のフルレンジ）に示すとおりである。輝度の高い部分には裸地、低い部分には植生域が貢献しており、中間値域が水面域に対応している。輝度値に対し各領域を区分する閾値を設定できるものと期待したが、各領域の輝度値の範囲のオーバーラップが激しく閾値の決定は容易でない。そこで、植生域、水面域、裸地域ごとに数1000ピクセル程度の代表的な領域を選択し、そこでの輝度のヒストグラムを調べたものが図

5である。それぞれ、輝度レベルで34～175、126～214、186～222と分布しており、典型例ですら、オーバーラップは大きい。それでも閾値を、植生域・水面域について150、水面域・裸地域で200程度に設定してそれぞれの範囲の頻度を読み取る（ソフトウェアで自動的にやれる）のは簡便法として可能であろう。

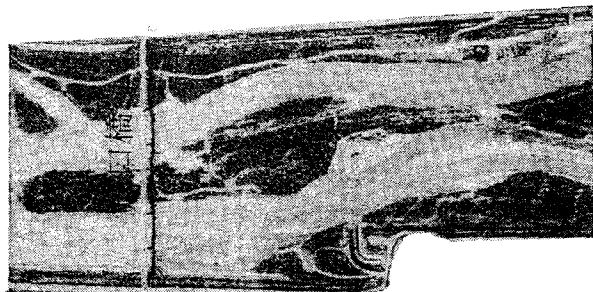


図3 手取川7.0～8.0km河道区間（1997）のデジタル画像

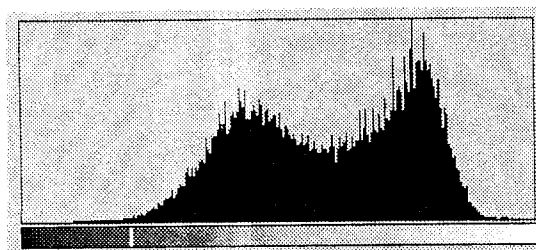


図4 河道画像の輝度のヒストグラムの概略

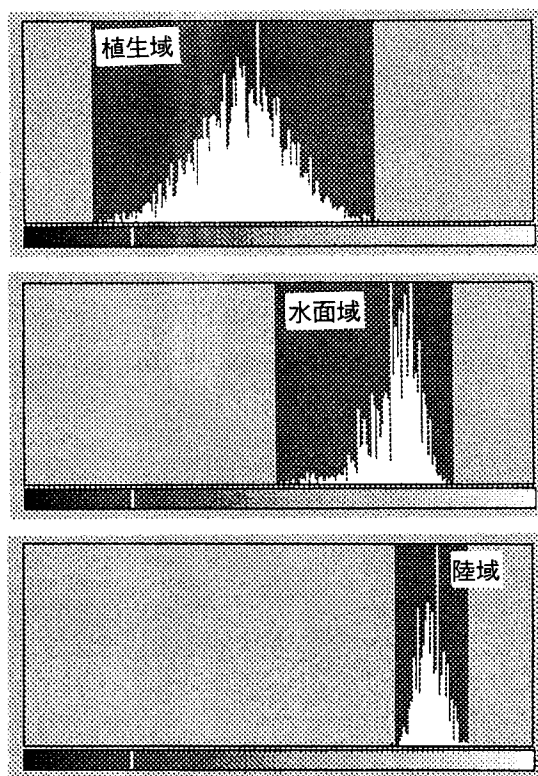


図5 代表的な植生域、水面域、裸地域の輝度



図6 植生域、水面域、裸地域に区分された河道区間

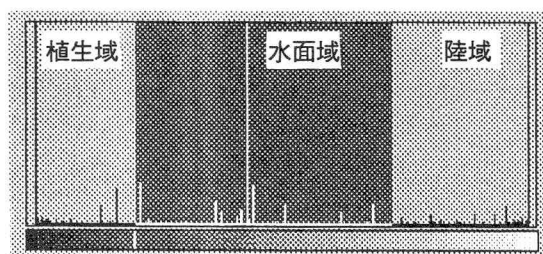


図7 3領域に区分された画像の輝度分布

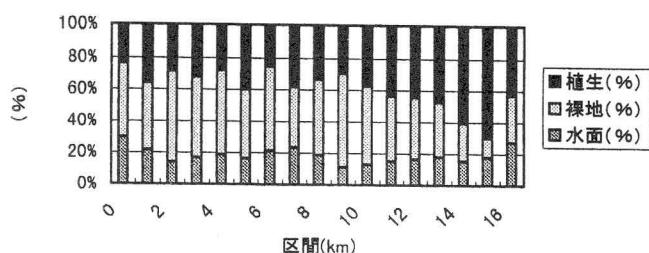


図8 植生域、裸地域、水面域の占有率の縦断方向変化 (1995年6月)

各領域の画像の輝度値の範囲が確率的であることから閾値を確定値として設定することが難しく、ここでは次の方法を採用した。すなわち、デジタル画像画面上で目視によって植生域、水面域、裸地域の3領域に区分し、ソフトウェアによってそれぞれ黒、灰色、白の3色に塗り替えした(図6)後、輝度分布ヒストグラムを作成する(図7)。図7の画面では水面域占有率が調べられている。この状態で各領域の占有率を読み取るのはたやすい。図7に、A、B、Cで示す棒線以外のヒストグラムへ占める割合は極めて小さく、閾値の設定はおおまかでもよい。この例では、植生域、水面域、裸地域の占有率はそれぞれ、0.467、0.326、0.167と求められた。これらの占有率比については、先の連続したヒストグラムに対して閾値を設定して読み取った方法(このほうが能率的である)でも十分な近似値を与えるようであるが、すべての河道区間で確認しているわけではない。

なお、次に切り取られた河道区間の面積を求めると、それぞれの河道での植生域、水面域、裸地域の面積が算定される。

図8は1995年6月の航空写真の解析によって得られた植

生域、裸地域(これらの合計が陸域)と水面域の占有率の縦断方向変化を示したもので、12kmより上流では河道の陸域の50%以上が植生に覆われている。上流に向かって植生占有率が極めて高い値へ増加している。一方、河口部も若干植生占有率が高い。

3. 河道内樹林化の傾向

手取川では他の扇状地河川と同様、近年の樹林化傾向が指摘されている⁷⁾(ここでは、1989年、1995年の航空写真が比較され、とくに1.2~1.8km、7.0~7.6km区間の樹林化が注目されている)。これのひとつの原因として、手取川ダムがあげられる。ダム完成(1980年)後は前述したように洪水の規模が調整され、年最大流量は $1,500\text{m}^3/\text{s}$ から $1,000\text{m}^3/\text{s}$ 規模に減少した。河道は年最大流量規模で概成されるのため高水敷(実際には交互砂州の名残)に冠水する流量は $1,500\text{m}^3/\text{s}$ 程度であるので、高水敷が陸化していることが樹林化の一要因であることは間違いないだろう。1,000 m^3/s 規模の洪水では局所的に河床低下(滲筋固定)を促し、これも高水敷陸化に拍車をかけている。

本研究では、1997年5月の航空写真についても図8と同じ解析を行った結果、図9を得た。これらを比較すると、まず、水面域が中流域で大きいことがわかる。これはこの時期(代かき末期)、白山合口堰堤で大量に取水し、12km付近右岸から放流していることと対応している。中流域は微妙な河道地形でわずかな流量増加による水面幅の増加が顕著な区間である一方、下流部は高水敷比高が大きく、流量変化に対する水面幅変化がほとんど無い。

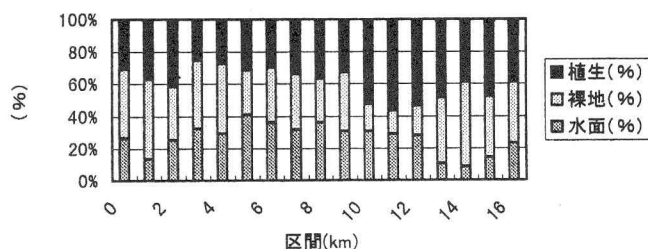


図9 植生域、裸地域、水面域の占有率の縦断方向変化 (1997年5月)

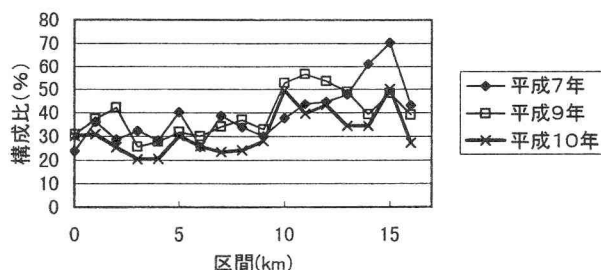


図10 植生域占有率の縦断方向変化

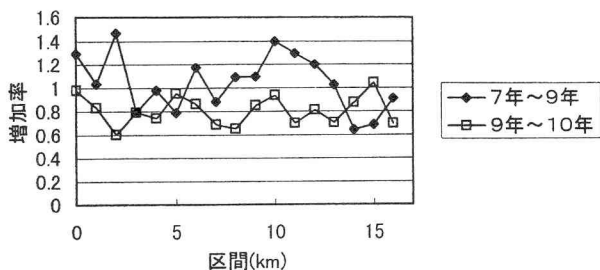


図11 1995～1997年及び1997～1998年での植生域増加率の縦断方向変化

このように、手取川のように特に平常時の流量時に流量によって水面幅が大きく変化する河道では航空写真撮影時の流量状態で水面域と裸地域の配分は大きく変化し、滞筋の集中などについては判読しがたい。ここでは、河道に占める植生域の変化に限定する。あるいは、とくに1997年の航空写真では、上述のように対象とする河道で流量が一定でない特別な状況と判断されること、1995年航空写真の水面域占有率と後述の1998年航空写真のそれがほぼ変化が無いいため、とくに裸地、水面域の配分状況に差が認められないものと想定することとした。

図10は植生域占有率の縦断方向変化を1995年と1997年で比較したもの（その後の大洪水後の1998年の解析結果も併示）、また図11には植生域増加率の縦断方向変化を示した。これらによると、1995年～1997年での植生域の増加は（1989～1995年の航空写真で検討された結果⁷⁾に比べると）著しくないとはいえ、図11からわかるように、2～3km区間、8～14km区間で樹林化が顕著であると言える。7～8km区間での植生（樹林）域占有率は1989～1995年にかけて18%～30%程度へと増加している（2%/年⁷⁾と比べて、半分程度となっている。これは、これまでの著者らの基礎研究^{1), 2)} 想定されたように、植生に影響された洪水流による地形変化が植生侵攻の基盤であるという視点では、基盤更新となる（植生が破壊されない程度の）中規模の洪水の頻度が低かったことが原因となっているものと考えられる。

4. 洪水時の植生破壊

手取川では1998年9月ピーク流量（2,883m³/s）の大洪水を経験した。これは、手取川ダム、大日ダムでの洪水調節がなければ4,375m³/sと昭和9年大洪水を上回る洪水となったと推定されている。

図2によれば、2,000m³/sを超える規模の洪水は1928年以来72年間で19回足らず（2,500m³/sを超える規模ではその半分程度）であるが、ダム建設前では約50年で17回（3年に1度）、ダム建設後は20年で2度（20年間の

最初と最後なので、むしろ再帰確率年では20年に1度）と大洪水の頻度はダム建設によって極めて減少したと見てよい。2,000m³/sはアーモアコートの破壊流量であり、また顕著な植生破壊が生じる流量といえる。高水敷、中州が冠水する（ある程度の植生破壊が想定される）のは1,500m³/s程度でこの規模の洪水もダム建設後は数度しか経験していない。すなわち、ダム建設後は数度の洪水（たとえば、1981, 93, 97）しか樹林の破壊をもたらす機会はなかったと考えられ、航空写真の撮影頻度から見て、これまでの航空写真の検討から植生破壊を統計的に検討することは難しい。

1998年洪水では、交互砂州の名残の砂州や中州は冠水し、洪水流に洗われ、樹木がかなり破壊された（写真2）。その年の10月に航空写真が撮影され、これについても、上記と同様な解析を行った結果、図12が得られた。図8、図9と比較して、また図10、11から、1998年洪水によって植生域占有率が減少していることすなわち樹木林の破壊が求められる。特に流路変動の激しい（3章の検討で流量変化に対して水面幅変化が著しい）中流部での破壊率が大きく、流路変動を素過程とした植生破壊のモデル化が興味深いと思われる。

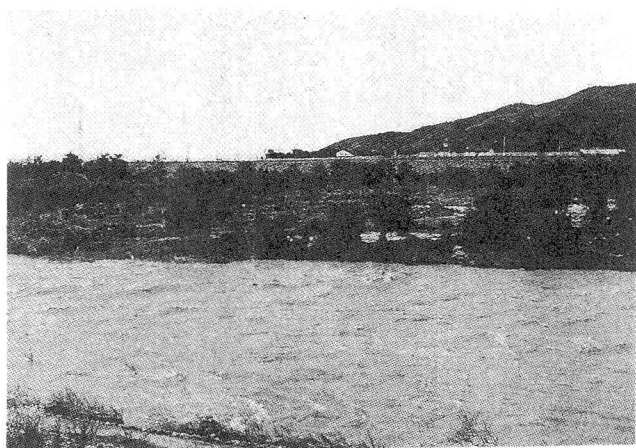


写真2 水没した高水敷・中州と樹木林

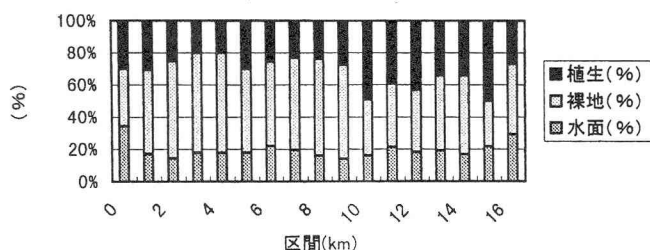


図12 植生域、裸地域、水面域の占有率の縦断方向変化（1998年10月）

5. あとがき

本研究では、航空写真から植生域を簡便に読み取り、河道に沿った植生占有率の縦断変化や、異なる直に撮影された航空写真から植生の時間的盛衰を把握する方法を検討した。ここでは、航空写真をスキャナーでデジタル化し、輝度分析で容易にその基礎資料を得た。とくに手取川の1995、1997、1998年の航空写真を解析し、95～97（この間に大洪水は含まれない）での植生域拡大、97～98（この間既往6位の大洪水を含む）での植生域破壊に着目した。本研究では、植生域占有率に限って議論したため、どのように植生域拡大や破壊が生じたかは把握されていない。しかし、デジタル画像の取り扱いで、これらが可能になると思われる。たとえば、

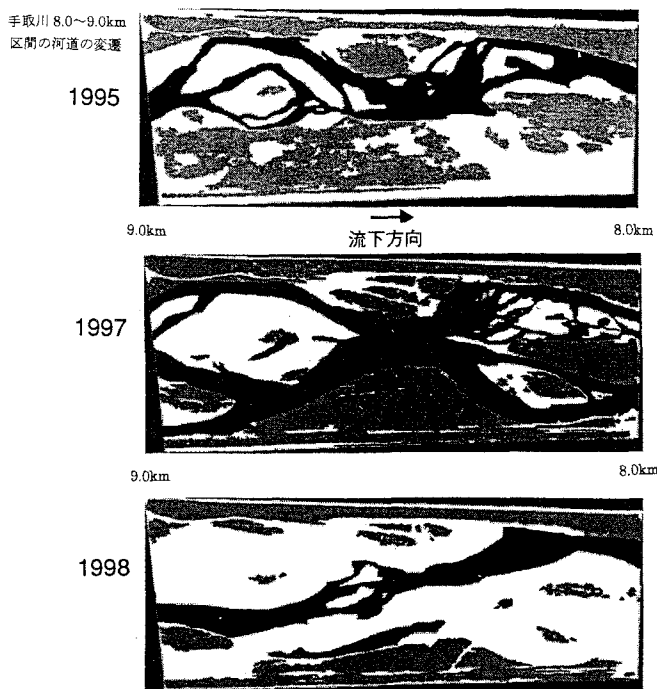


図13 植生域の盛衰のパターン

本論文で示したように、植生域、裸地域、水面域にパターン化を施した画像は図13に示すように、これを直接目視比較しても拡大のパターン、破壊のパターンを見いだせる。たとえば、拡大期では植生域がパッチ状でまばらに領域を増加させた後、全体を埋め尽くしていく傾向や、破壊時には水衝による砂州・中州の河岸侵食、州の中への二次流路（secondary channel）の形成・発達が素過程を担っているものと推測される。今後、画像解析をこうしたパターンとその変化の認識へと進めていきたい。

なお本研究は、河道変遷特性に関する研究会（座長：砂田憲吾（山梨大学））の活動の中で行われ、河川整備基金（河川環境管理財団）の補助を受けた。また、資料収集に当たっては、建設省金沢工事事務所のお世話になった。ともに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 辻本哲郎・北村忠紀：植生周辺での洪水時の浮遊砂堆積と植生域拡大過程，水工学論文集，第40巻，pp.1003-1008，1996.
- 2) 辻本哲郎・辻倉裕喜：植生周辺の掃流過程と中州の発達，水工学論文集，第42巻，pp.457-462，1998.
- 3) 辻本哲郎・岡田敏治・村瀬尚：扇状地河川の植生環境と河道特性 - 手取川における調査，水工学論文集，第37巻，pp.207-214，1993.
- 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道履歴の相互関係 - 吉野川における現地調査，水工学論文集，第40巻，pp.205-212，1996.
- 5) 河川環境管理財団（編）：河川管理のための植生の調査法，52p.，1996.
- 6) 砂田憲吾・岩本尚・渡邊勝彦：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，水工学論文集，第42巻，pp.451-456，1998.
- 7) 河川植生の生育特性に関する研究会：河道内における樹林化実態調査，リバーフロント整備センター，1998.

(1999.4.26受付)