

# 河川の樹林化課題に対する 研究の現状と将来展望

## CURRENT STATUS AND FUTURE PROSPECTS FOR RESEARCH ON RIVERINE FOREST ISSUES

宮本仁志<sup>1</sup>・赤松良久<sup>2</sup>・戸田祐嗣<sup>3</sup>

Hitoshi MIYAMOTO, Yoshihisa AKAMATSU and Yuji TODA

<sup>1</sup>正会員 博(工) 神戸大学准教授 工学研究科市民工学専攻(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 山口大学准教授 理工学研究科社会建設工学専攻(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

<sup>3</sup>正会員 博(工) 名古屋大学准教授 工学研究科社会基盤工学専攻(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

This paper reviews current status and discusses future prospects for the research on vegetation overgrowth phenomena and riverine forest management within river channels in Japan. The review is based on the research workshop, which was held on November 22<sup>nd</sup>, 2012 at Kobe for discussing the riverine forest issues. The workshop summarized the research history from 1970's and presented 6 lectures on the state-of-the-art research topics with respect to the channel design and river basin management. The discussion revealed that current researches have much variety on their perspectives, e.g., river engineering, fluvial geomorphology, plant ecology, biogeophysics and so forth. The diversity of the perspectives makes us difficult to understand the key mechanisms governing the plant dynamics in river channels. The review and discussion strongly suggest a future research direction that datasets of plant status with hydrological and geomorphological settings in many rivers in Japan and around the world should be necessary to analyze and classify the key mechanisms of plant dynamics in river channels.

**Key Words:** a review paper, riparian vegetation, forest expansion, channel design, river basin management and phenomenological classification

### 1. 序 論

わが国の多くの河川において経年進行する河道の樹林化は、河川を管理するうえでさまざまな問題を引き起こす。洪水流下能力の低下、河川生態系の変質、下流での流木被害などはその代表例といえる。この過剰な樹木繁茂へ至るシナリオのひとつとして、たとえば土砂動態の観点からは礫床への細砂堆積、草本の侵入、木本への遷移といったプロセスが提示される。しかしながら、その原因は対象とする流域や河道によって諸説さまざまである。上流ダムによる洪水規模や土砂量の減少、河川改修・砂利採取による滞筋の固定化と砂州比高の拡大、河道の富栄養化の進行などが例示されるが、樹林化の統一的な現象理解はなされておらず、抜本的な問題解決には至っていない。

この問題解決の糸口のひとつには河川流域における水・エネルギー・物質の循環と生態系代謝の観点からの考察が重要と考えられる。これは、上述の原因例示から

も推量されるが、上流域でのさまざまな環境変化が河川ネットワークの繋がりを介して下流の河道環境に大きく影響するためである。しかしながら、この流域一貫の観点からのアプローチについても現状では得られる学術知見は限られるようである。

このような河道樹林化の課題を対象にして、昨年秋に土木学会水工学委員会河川部会・環境水理部会共催のジョイントワークショップ「河川の樹林化とは何か：樹林化現象の統合理解と今後の河川流域管理にむけて」(以下；樹林化JWSと略記)が行われた。この樹林化JWSでは、河川植生・樹林化現象の研究史が整理され、6篇の研究事例を中心にこれまで得られた主な学術成果と現在の研究トレンドがとりまとめられるとともに、未解決課題の洗いだしが試みられた。特に、この樹林化JWSのプログラムでは、河川地先における河道設計と流域一貫の環境管理の対軸をもとにさまざまな観点から現象の整理が指向され、今後の研究・技術開発のあるべき方向性が議論された。

本論文ではこの樹林化JWSでの議論に関して、河川植

表-1 樹林化ジョイントワークショップのプログラム概要

セッション名・講演題目など	司会・講演者など
開会の挨拶	河川部会長 泉 典洋(北海道大学)
趣旨説明	宮本仁志(神戸大学)
【セッション① 河川からみた樹林化】	司会 戸田祐嗣(名古屋大学)
河川技術に関するシンポジウムOPS「河道の植生管理に関する技術の課題」の紹介	戸田祐嗣(名古屋大学)
樹林化過程における河道地形変化、土砂動態、洪水擾乱、生物過程の絡まり合い方と河道設計への道のり 一多摩川永田地区研究から学んだことを起点に	藤田光一(国土交通省)
河川樹林化の実態と対策	大石哲也(土木研究所)
砂州上の基本・木本の破壊・流失限界と土砂堆積特性に基づく植生動態予測の可能性	田中規夫(埼玉大学)
【セッション② 流域からみた樹林化】	司会: 重枝未希(九州工業大学)
砂州の富栄養化現象と植生遷移/樹林化-栄養塩循環とその管理	浅枝 隆(埼玉大学)
砂州の安定化と樹林化-相互作用系としてのプロセスと影響	鎌田磨人(徳島大学)
河川流域のメタボリズム-河川水系における樹林化傾向の確率診断	宮本仁志(神戸大学)
【セッション③ 総合討論】	司会: 赤松良久(山口大学)
開会の挨拶	環境水理部会長 二瓶泰雄(東京理科大学)

生研究史, 6篇の代表講演および総合討論の内容を報告する。さらに, それをもとにして河道樹林化に関する研究の現状と将来課題を総説する。

## 2. 樹林化ジョイントワークショップ

### (1) 概要

樹林化JWSは2012年11月22日午後15時に神戸大学にて開催された。参加者総数は110名であり, その産官学の内訳はそれぞれ61, 13, 36名であった。

表-1に樹林化JWSのプログラム概要を示す。プログラムは3部構成である。最初にワークショップの趣旨が説明され, 河川植生・樹林化現象の研究史が報告された。セッション①【河川からみた樹林化】では, 2012年の河川技術シンポジウムオーガナイズドポスターセッション(OPS)「河道の植生管理に関する技術の課題」の紹介とともに, 河川地先における河道の設計・管理に関する3つの研究成果が紹介された。一方, セッション②【流域からみた樹林化】では, おもに流域・水系といった広域スケールもしくは長期視点からの3つの話題が提供された。さらに, セッション③【総合討論】では, これら研究史と講演をもとに樹林化JWSのテーマ「河川の樹林化とは何か」の問いかけに対する議論や, 今後の研究・技術開発のあるべき方向性が検討された。

### (2) 河川植生研究史

河川植生研究に関して1970年代から現在までの研究史が整理された。レビューされた論文は土木学会水工学委員会が関わる邦文論文293篇である。その内訳は土木学会論文集29篇, 水工学論文集185篇, 河川技術論文集79篇となる。

ここではまず樹林化JWSで報告された大まかな研究の流れを示す。図-1は河川植生に関する研究の変遷である。扱われたテーマを分析したところ研究史は以下のように4分割された: 萌芽期(1977-1987), 醸成期(1988-1995), 開花期(1996-2003), 多様期(2004-現在)。1970年代後半からはじまる水理学的視点のみの萌芽期から, 時間の経過とともに着目点と論文数がふえる。そして2004年から

河川植生研究史(土論:29, 水工:185, 河川技術:79)

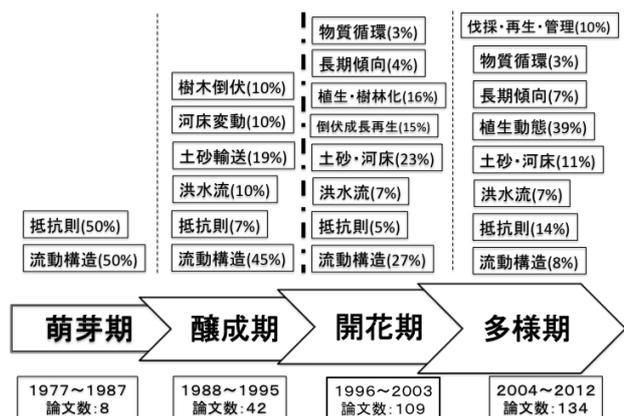


図-1 河川植生に関する研究の変遷

現在の多様期になると, 当初の水理学的視点に加えて河床変動, 植生動態, 物質循環, および河川管理的視点まで研究が非常に多様化される。

各時期で用いられた研究方法として, 萌芽期では室内実験が主流となり, 流体力学的な基礎研究の様相が強い。それに加えて, 醸成期では乱流モデルなどを用いた数値解析が, 開花期では現地観測が, そして多様期では航空写真などの解析や資料分析がその比率を大きくする。これより, 時間とともに実際の河川における植生動態・樹林化現象の解明や植生管理技術の確立を目的とした研究にトレンドが移行していったことがわかる。

以下では, 図-1の各期において主に新規性の観点から代表論文を参照し, 国内での河川植生研究史を概観する。

萌芽期(1977-1987)では, 流水中の水草が流動構造に及ぼす影響の評価と流れの抵抗則の確立を主題にした河川植生の研究が萌芽した。日野・歌原<sup>1)</sup>は従来の流体力学・水理学的アプローチのなかに生物学的視点をはじめて導入した。それから10年後の萌芽期末期において, 石川・田中<sup>2)</sup>や福岡ら<sup>3)</sup>により低水路河岸の樹木や樹木群に対象がうつされ, 洪水時における流体抵抗が主題となる。

醸成期(1988-1995)では, 木本を中心にした河道内植生を対象に流動構造や流体抵抗が引き続き検討されるとともに, 清水ら<sup>4)</sup>による浮遊砂濃度をはじめとした土砂動態や, 泉・池田<sup>5)</sup>による礫床河道の安定横断河床形状など, 河川地形学的観点からの研究が見られるようになる。

開花期(1996-2003)では, これまでの流体力学・河川地形学的アプローチをベースにして, 植生動態や栄養塩循環などの新しい観点をとり入れた多くの研究課題が展開される。それらの多くは開花期前半に集中し, 非常に華やかな印象さえある。具体的には以下のような論文が例示される: ○藤田ら<sup>6)</sup>による川幅縮小に対するウォッシュロードと植生の役割評価, ○岡部・鎌田ら<sup>7)</sup>による砂州上植生と河状履歴の詳細現地調査, ○辻本・北村<sup>8)</sup>による浮遊砂堆積と植生域拡大過程の評価, ○砂田ら<sup>9)</sup>による航空写真を用いた植生域の長期変動傾向の抽出,

○清水ら<sup>10)</sup>による河道特性と樹林化の関係性に関する資料分析, ○藤田ら<sup>11)</sup>による植物の繁茂に及ぼす土砂堆積作用の重要度評価, ○戸田ら<sup>12)</sup>による高水敷植生と栄養塩・有機物輸送に関する現地観測, ○清水ら<sup>13)</sup>による礫床河川の河道内樹林化にシナリオ解析, ○李ら<sup>14)</sup>による礫床河道の安定植生域拡大のシナリオ分析. この開花期前半ではじめて「樹林化」というキーワードが使用され<sup>10)</sup>, 土砂動態を絡めたかたちで安定植生域拡大から樹林化にいたる河道内植生の遷移過程に関するひとつのシナリオが提出される<sup>11,13,14)</sup>. 開花期の後半にはこのシナリオで整理された素過程をとり入れて, 藤田ら<sup>15)</sup>により植生消長の長期シミュレーションが提案される.

多様期(2004-現在)では, 開花期までのおおくの研究課題が継続的に検討されるとともに, 砂州・高水敷におけるヒトの直接的関与や河川管理技術の観点からの研究が加えられる. この時期の論文としては以下のようなものが例示される: ○大石ら<sup>16)</sup>による河道特性と地被の長期変動分析, ○大石・天野<sup>17)</sup>による人的利用が高水敷地被状態に及ぼす影響評価, ○前野ら<sup>18)</sup>による河川管理技術としての樹木伐採の効果検証, ○戸田ら<sup>19)</sup>による礫河川での植生域長期変化解析, ○田中ら<sup>20)</sup>による樹木の破壊・流失指標を考慮した砂礫州上樹林地の動態評価, ○浅枝ら<sup>21)</sup>による樹林化が砂州上の栄養塩循環に与える影響と樹林化促進機構, ○宮本ら<sup>22)</sup>による流量変動のインパクトを考慮した河道内樹林動態の確率過程モデル, ○戸田ら<sup>23)</sup>による航空写真を用いた広域・長期的な河道内植生動態把握, ○木村・宮本ら<sup>24)</sup>による確率過程モデルを用いた河川流域での樹林化傾向の動態評価. 特に, この多様期の後半では, 河川流域における水・エネルギー・物質の循環と生態系代謝の観点から樹林化現象を広域的・長期的に捉え, 河道設計や河川管理技術に結びようとする研究課題がみられはじめた<sup>19, 21-24)</sup>.

以上より, 樹林化JWSでは開花期・多様期における6つの研究トピックスが講演として選定された.

### (3) 講演

国土技術政策総合研究所の藤田光一からは「樹林化過程における河道地形変化, 土砂動態, 洪水攪乱, 生物過程の絡まり合い方と河道設計への道のり~多摩川永田地区研究から学んだことを起点に~」という演題で講演があった. 研究対象地での調査結果を総合的に考察し, 表層に細粒土砂を堆積させる先駆的植物の存在, その後の適度な規模・タイミングでの洪水発生と洪水による十分な細粒土砂の供給, 滲筋の河床低下による適度な段差の形成などが, 当該地区での樹林化に至るシナリオ(およびそれを可能にした条件)の中で重要な役割を果たしたことが述べられた. また, 数値解析・モデリングでは, 複雑なプロセスを全部組み込むのではなく, 河川管理上の目的や操作可能な項目との関係から, 現象をどのように切り取り, 何に重点を置いて記述するかを十分に検討する必要があることが指摘された. その他, 河床場の特

性を判断するための道具として, 1000年間の数値解析(ミレニアム計算)結果を活用する事例が報告された. 樹林化現象は, 空間スケール, 時間スケールが大きく異なる事象が共存し, それらが相互に影響し合っているため, 問題毎に事象間の関連を丁寧にひも解き, 問題の構造をきちんと把握したうえで戦略を立てることが重要であることが指摘された.

土木研究所の大石哲也からは「河川樹林化の実態と対策」という演題で, 全国の河川での樹林化の状況を包括的に整理した結果や樹木管理対策の現状について報告があった. 全国の河川での樹林化の傾向として, 存在する植物種としては, ヤナギ類, ハリエンジュ, タケ・ササ類(厳密には草本だが, 草丈が高く水理学的挙動が木本に近いので, ここでは木本類として扱う)で樹木面積の6割程度を占めていること, 樹木管理対策として最も広く行われているのは伐採, 除根であるが, 除根まで行ってもその効果は伐採と大きな差は無く, 伐採段階で再萌芽を抑制する何らかの対策を行う必要があることが報告された. 再萌芽抑制手法の例として, まき枯らし, 薬剤散布が紹介された. また, 人為的な河原の利用がある場所で植物が生えていない事例が報告され, 河川空間の人的利用が樹林化抑制に繋がる可能性があることが述べられた. さらに, 樹林化対策の一つとして行われている高水敷の切り下げについて, 切り下げ後に種子散布期が訪れると発芽・定着によって再繁茂へと繋がる可能性があるため, 切り下げ時期を適切に設定することが重要であることが指摘された.

埼玉大学の田中規夫からは「砂州上の草本・木本の破壊・流失限界と土砂堆積特性に基づく植生動態予測の可能性」と題して講演があった. 樹林化対策として実施されている高水敷や砂州の切り下げは, 洪水攪乱の規模・頻度を増加させるメリットがあると同時に, 洪水減衰期に細粒土壌成分が堆積しやすくなるというデメリットもある. その両面を適切に把握するため, 洪水外力による樹木の破壊・流失を判断する指標に加え, 細粒成分の堆積に関する指標を導入して再侵入し易い箇所を予測する試みが紹介された. 樹木の破壊については, 洪水流によるモーメントによる指標(BOI)で評価可能であり, 樹木の流失については, 河床せん断力を用いた指標(WOI)で評価可能であることが示された. また, BOI, WOIを軸としたダイアグラムを活用し, 砂州上の各地点や砂州切り下げを行った地点の樹木の破壊・流出特性を把握する手法が紹介された. また, 土砂堆積指標を導入することによって, 木本が侵入し易い場所を特定できる可能性があることが示された.

埼玉大学の浅枝隆からは「砂州の富栄養化現象と植生遷移/樹林化: 栄養塩循環とその管理」の演題で講演があった. 全国の一級水系の河川について, 樹林化の全体傾向と河道, 流況, 土砂生産量, 河川水中栄養塩濃度との相関関係の分析結果が示され, 洪水規模との相関はあ

まり見られなかったこと、ダムや堰の影響は下流側の限られた区間（ダムの場合、下流側10km程度まで。堰の場合、下流側3km程度まで）でしか見られなかったこと、全窒素（TN）濃度とは一定の相関がみられ、TN濃度が高い河川で植被面積率が高くなる傾向が見られたことが紹介された。また、砂州上の植物の生息制限要因として土壌水分量が律速因子となっており、微細土砂の堆積は砂州の保水能を増加させ、草本類の増加を引き起こすことが指摘された。また、栄養塩が成長の律速となる場合は、砂州上では窒素が不足する傾向にあること、草本類のバイオマスは土壌窒素濃度と高い相関があることが示された。

徳島大学の鎌田磨人からは「砂州の安定化と樹林化—相互作用系としてのプロセスと影響—」という演題で、吉野川での調査・研究成果について講演があった。吉野川の河床変動履歴を「累加河床変動量」と「累加河床絶対変動量」を用いて分類し、その分類と植生の立地選好性の関係性が示された。分析の結果、吉野川中流部から下流部にかけて外来種のポテンシャルハビタット面積が増加し、在来種のポテンシャルハビタットは失われつつあることが示された。また、吉野川でのヤナギ群落の定着・発達過程について、ヤナギ類の種子発芽が水分条件に強く支配されることから、砂州の横断地形と河川の水位条件によって定着・発達場所が決定されてきたことが紹介された。ヤナギ類の侵入後の砂州地形の変化として、砂州上に土砂が堆積し、砂州のボリュームが増えてきており、それに伴う砂州冠水面積減少、草本の生息可能域の増加が生じていることが指摘された。現在、吉野川では、砂州内の植生遷移の二極化（砂州上の低水敷側では洪水攪乱でもとの裸地に戻る回復力が残されているが、高水敷側では失われている）が進んでおり、土壌窒素量から見ても砂州上の高水敷側で窒素量が高くなる傾向にあることが報告された。

本論文の第一著者である神戸大学の宮本仁志は「河川流域のメタボリズム—河川水系における樹林化傾向の確率診断—」と題して加古川をフィールドとした研究成果を話題提供した。対象河川では、全体的にみるとヤナギ類による樹林化が進行しているが、その中でも裸地が維持されている砂州も混在する。このように河川水系中の様々な砂州について、流域一貫で樹林化診断が可能となる流量の不確実性を考慮した植生動態確率モデルが提示された。提案されたモデルを用いて、加古川内の複数の砂州河道区間での植生消長解析を実施し、流量規模や河道横断形状の違いによる樹林動態特性を確率評価した結果が示された。樹林の遷移傾向に対する切り下げの効果は、裸地形成のみではなく、出水インパクトと新規参入圧力のバランス関係から決まることなどが指摘された。また、開発された植生動態確率モデルを用いて、治水安全面と環境面のバランスに配慮し最適な樹林状態を実現するための「好適樹木管理指標」の試案が紹介された。

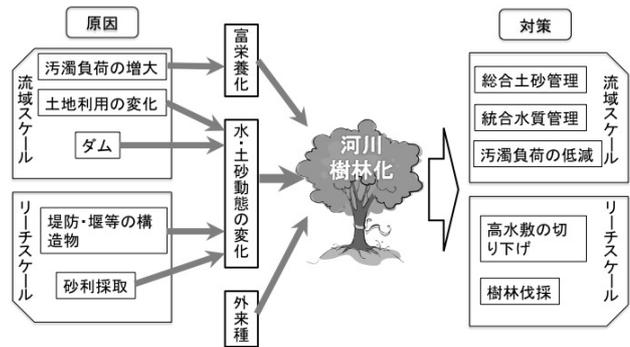


図-2 河川樹林化の要因と対策

#### (4) 総合討論

総合討論では、樹林化の定義・要因、過去の個別研究の整理、現場の取り組みに関する横断的連携の必要性などが議論された。

樹林化の定義に関しては、水工学あるいは生態学的な視点からどういう河川にどういう植物が入っていくことを対象にしているのかを明確にする必要があることが指摘された。今回の講演においても草本を対象とした研究と木本を対象とした研究が混在しており、藪化と樹林化を明確に区別した樹林化の定義が必要である。

樹林化の要因として図-2のような考え方が提示された。蓄積されたフィールド研究をベースに、樹林化現象（安定植生域の拡大を含めて）について一定レベル以上で実証されたシナリオを抽出・整理し、河床変動特性、粒度分布、植物種などを軸として類型化する必要がある。その上で、樹林化の要因に関する議論が可能となることが指摘された。

このような樹林化のメカニズムに関する検討が必要とされる一方で、樹林化は河川管理上の喫緊の課題である。事実、現場では樹林化防止のための切り下げや伐採等が行われている。これらの現場で行われている樹林化の対応策についても個々の現場での事象の水工学的解釈や、全国レベルでの情報の共有化が必要不可欠であることも議論された。

### 3. 研究の現状と将来展望

#### (1) 研究課題の多様性

前章の河川植生研究史からわかるように、醸成期と開花期のあいだの1995-96年頃を境にして研究テーマの多様性および論文数が劇的に変化する。この劇的な変化のあと、開花期・多様期を特徴づけるのは「樹林化」や「シナリオ」といったキーワードであろう。これは洪水や土砂動態との関連性のなかで新規参入や成長、死亡といった植生の遷移過程を考え、複合的・動的に樹林化を捉えるものである。一方、それまでの萌芽期・醸成期では、水理実験における疑似植生に代表されるように、河川植生は流れの構造を変化させ、土砂を補足し、流体抵抗と

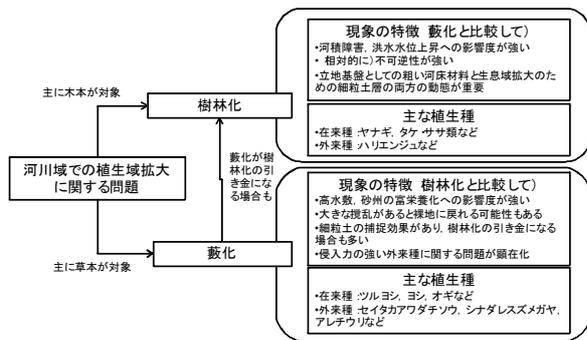


図-3 河川域での植生域拡大に関する問題の分類  
 (「樹林化」と「藪化」)

なる流体力学的要素として、どちらかという静的に扱われてきたといえる。

このように実証されたひとつの「シナリオ」を介して河川の樹林化を遷移過程の枠組みで捉えることにより、河川水文学・水理学、河川地形学、植生生態学など、植生動態に関わる素過程はすべて研究対象になりえた。このことが開花期・多様期において研究課題が非常に多様化した主要因のひとつと考えられる。

一方、わが国以外でも河道樹林化の報告は多い。スペインのEbro川<sup>25)</sup>、アメリカのPlatte川<sup>26,27)</sup>、南アルプスのUnaye川<sup>28)</sup>、ナイジェリアのHadejia-Jama'are高水敷<sup>29)</sup>などが例示される。樹林化の原因は、夏の低水流量<sup>25)</sup>や幼木が参入する時期の流量<sup>26,27)</sup>、人為影響による礫供給と洪水ピークの低減<sup>28)</sup>、ダム建設による地下水位の低下<sup>29)</sup>などが挙げられている。しかしながら、上述のような「シナリオ」を用いて植生の遷移過程を明確にした上で現象がくわしく考察された研究報告は少ない。

また、半乾燥地・乾燥地の河川では地下水位の低下が逆に河川植生の減少につながる研究事例<sup>30)</sup>が報告されている。さらに、カリフォルニア・セントラルバレーの2つの河川高水敷における比較観測では、同じ物理条件を保持しても必ずしも類似の河川植生が再生されるとは限らない事例<sup>31)</sup>が示され、オーストラリアのハンターバレーの河川では、河道地形と洪水・地下水位の兼ね合いで繁茂する植生が変質する事例<sup>32)</sup>も報告されている。これらより、河川植生の消長には、河川流域における水文・物質循環、河道水理、河川地形、植生生態など素過程間における確率過程的な要素も大きいことがわかる。

## (2) 樹林化の定義・必要となる情報・要求される精度

前章の総合討論でも述べられた通り、各人の捉える「樹林化」の定義が曖昧な状況にあり、工学的、生態学的に明確な定義あるいは分類が必要となっている。図-3は、河川域での植生に関わる問題を主に木本類に関わるものと草本類に関わるものに大別した例である。ここで、主に木本類の増加によるものを「樹林化」、草本類の増加によるものを「藪化」と大別した。藪化は樹林化の引き金になる可能性を秘めている。また、樹林化問題、藪化問題で、対象とする植物種はもちろんのことながら、そこで課題となってくる現象の特徴(可逆・不可逆性、

流下能力問題あるいは河川の富栄養化問題の違いなど)が異なっている。このことから、各河川の植生問題がどの課題に相当するかをしっかりと分類し、それぞれの課題の解決に向けて必要となる情報を把握していかなくてはならない。

次に樹林化問題の捉え方の違いによって、要求される精度がどのように異なってくるのかについて検討する。樹林化が治水上の流下能力上の課題となっている箇所では、樹林の存在による河積障害、水位上昇への影響度合いの把握、あるいは伐採、切り下げの効果把握などが必要となる。その場合は、樹林繁茂が河川水位、流量に与える影響を把握するために、抵抗則として要求される精度での各種情報(透過係数、粗度係数、抗力係数、植生密度など)が必要になる。流下能力確保に向けた河道横断面設計へ反映できることなど具体性・詳細性が高く、比較的短期の時間スケールでの情報と精度が要求される。一方、「在来種が生息できるような河原環境の保全」などと言った砂州景観管理の視点から樹林化問題を捉えた場合は、将来的な流量の不確実性や、人為的にコントロール出来るものの限界などを考えると、より長期的時間スケールで確率論的なアプローチが重要である。この場合には、現状の詳細な植生分布や河道地形の情報よりも、長期動態に支配的な現象を如何に切りだして、簡素化できるかが重要となろう。

## (3) 樹林化現象の類型化の重要性

これまでの一連の議論からもわかるように、現状では樹林化の原因は一つに限定することはできない。この樹林化現象の理解のためには、水・土砂・栄養塩など河川流域での物質循環との関連性のなかで、ターゲットとする河道が実現する河川植生の消長過程を浮かび上がらせ、それから実証的に抽出されたシナリオ群を類型化することが重要となる。その際には、樹林化の定義や現象解明に必要な情報、要求される精度などを明確にしなければならない。

総合討論の議論からは、この類型化の方針として主に二つのアイデアがあげられた。一つは鎌田により指摘された樹種による分類であり、もう一つは浅枝の講演で紹介されたような樹林化の支配要因による分類である。後者では、樹林化の要因となりうる種々の物理現象について報告されたが、その項目の多くは土砂動態に関連する項目であった。したがって、水・土砂・栄養塩といった流域での物質循環のなかで、土砂動態を軸に現象を類型化する切り口も有効といえよう。これらの土砂動態に関連する項目は様々な時空間スケールで起こっているため、原因となる土砂動態の時空間スケールを把握した上で樹林化の類型化を検討していく必要がある。

また、大石の講演で指摘されたように、河川水辺の国勢調査が行われている日本全国の一級河川ではヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類で高水敷の樹林の6割以上が占められている。複合要因が絡みあう樹林化現象を勘

案すると、まずは、これら3種類の樹木に着目して、それぞれの樹種の繁茂・拡大の支配要因について検討していくのも有効といえる。

以上より樹林化現象がうまく類型化されれば、現象に共通する支配機構が実証的に明らかになる可能性がある。また、その共通機構との比較を介して、特殊な環境における河川やめずらしい樹種での樹林化現象も説明される。これらは、わが国の河川管理の現場で行われている樹林化の対応策に対して、全国レベルでの情報共有化や対策技術の確立に大きな助けとなることが期待される。

#### 4. 結 論

本論文では樹林化JWSでの議論に関して、河川植生研究史、6篇の講演および総合討論の内容を報告した。さらに、それをもとにして河道樹林化に関する研究の現状と将来課題を総説した。その結果、現状では研究課題が多様化しているため「河川の樹林化とは何か」という問いかけに対して直接的・短絡的な解答を得ること以上に、「樹林化現象を類型化する」ことが今後の研究・技術開発のあるべき方向性として重要であることが導かれた。

謝 辞： 樹林化JWSの実施にあたって環境水理部会部会長二瓶泰雄氏、河川部会部会長泉典洋氏をはじめ両部会の関係各位には様々な面からご支援・ご協力いただきました。藤田光一氏、大石哲也氏、田中規夫氏、浅枝隆氏、鎌田磨人氏には樹林化JWSにおいて貴重な研究成果をわかりやすくご講演いただきました。特に、藤田光一氏には樹林化JWS開催ののち、本総説をまとめるのにあたり非常に有益なご助言をいただきました。以上、記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 日野, 歌原: 水草のある流れの水理学的研究, 土木学会論文報告集, vol.266, pp. 87-94, 1977.
- 2) 石川 田中: 開水路流中のかん木の抵抗特性に関する研究, 水理講演会論文集, vol.31, pp.329-333, 1987.
- 3) 福岡, 藤田, 平林, 坂野: 樹木群の流水抵抗について, 水理講演会論文集, vol.31, pp.335-340, 1987.
- 4) 清水, 辻本, 北村: 植生に覆われた砂床上流の浮遊砂濃度分布, 水工学論文集, vol.35, pp.477-482, 1991.
- 5) 泉, 池田: 側岸に樹木を有する直線河道礫床河川の安定横断河床形状, 土木学会論文集, No.411, II-12, pp.151-160, 1989.
- 6) 藤田, Moody J.A., 宇多, 藤井: ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小, 土木学会論文集, No.551, II-37, pp.47-62, 1996.
- 7) 岡部, 鎌田, 湯城, 林: 交互砂州上の植生と河床履歴の相互関係—吉野川における現地調査—, 水工学論文集, vol.40, pp.205-212, 1996.
- 8) 辻本, 北村: 植生周辺での洪水時の浮遊砂堆積と植生域の拡大過程, 水工学論文集, vol.40, pp.1003-1008, 1996.
- 9) 砂田, 岩本, 渡辺: 河川植生域の長期変動傾向抽出の試み, 河川技術論文集, vol.3, pp.167-173, 1997.
- 10) 清水, 小葉竹, 赤羽, 藤田, 小松: 渡良瀬川中流域における河道特性と河道内樹林化について, 河川技術論文集, vol.4, pp.129-134, 1998.
- 11) 藤田, 渡辺, 李, 塚原: 礫床河川の植生繁茂に及ぼす土砂堆積作用の重要度, 河川技術論文集, vol.4, pp.117-122, 1998.
- 12) 戸田, 池田, 熊谷: 礫床河川における洪水前後の高水敷植生の変化和栄養塩・有機物の輸送に関する現地観測, 河川技術論文集, vol.5, pp.71-76, 1999.
- 13) 清水, 小葉竹, 新船, 岡田: 礫床河川の河道内樹林化に関する一考察, 水工学論文集, vol.43, pp.971-976, 1999.
- 14) 李, 藤田, 山本: 礫床河道における安定植生域拡大のシナリオ—多摩川上流部を対象にした事例分析より—, 水工学論文集, vol.43, pp.977-982, 1999.
- 15) 藤田, 李, 渡辺, 塚原, 山本, 望月: 扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション, 土木学会論文集, No.747, II-65, pp.41-60, 2003.
- 16) 大石, 萱場, 天野: 全国7河川の河道特性および地被の長期変動の実態とその関連性, 河川技術論文集, vol.11, pp.357-362, 2005.
- 17) 大石, 天野: 人的利用が河川高水敷の地被状態変化に及ぼす影響の定量的把握方法とその考察, 水工学論文集, vol.52, pp.685-690, 2008.
- 18) 前野, 赤堀, 児子, 藤井: 旭川の玉柏箇所における植生伐採効果の検討, 水工学論文集, vol.54, pp.1225-1230, 2010.
- 19) 戸田, 土屋, 辻本: 砂州移動の活発な礫河川における植生域長期変化解析手法の構築, 水工学論文集, vol.54, pp.1249-1254, 2010.
- 20) 田中, 八木澤, 福岡: 樹木の破壊指標と流失指標を考慮した砂礫州上樹林地の動態評価手法の提案, 土木学会論文集B, vol.66, No.4, pp.359-370, 2010.
- 21) 浅枝, 中村, 坂本, 関根, 平生: 礫床河川の砂州や氾濫原の樹林化が栄養塩循環に与える影響と樹林化促進機構の可能性について, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.67, No.4, pp.I\_1369-I\_1374, 2011.
- 22) 宮本, 盛岡, 神田, 道典, 魚谷, 大地, 阿河: 流量変動のインパクトを考慮した河道内樹林動態の確率モデル, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.67, No.4, pp.I\_1405-I\_1410, 2011.
- 23) 戸田, 古川, 辻本: 広域・長期的な河道内植生動態把握に向けた航空写真の更なる活用方法に関する研究—天竜川下流域を対象として—, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.I\_739-I\_744, 2012.
- 24) 木村, 宮本, 盛岡: 植生動態モデルとリンクマグニチュードによる河川水系複数河道での樹林化傾向の確率評価, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.I\_727-I\_732, 2012.
- 25) Magdaleno, F. and J. A. Fernandez: Hydromorphological Alteration of a Large Mediterranean River: Relative Role of High and Low Flows on the Evolution of Riparian Forests and Channel Morphology, *River Research and Applications*, 27(3), pp.374-387, 2011.
- 26) Johnson, W. C.: Woodland Expansion in the Platte River, Nebraska - Patterns and Causes, *Ecological Monographs*, 64(1), pp.45-84, 1994.
- 27) Johnson, W. C.: Tree recruitment and survival in rivers: influence of hydrological processes, *Hydrological Processes*, 14(16-17), pp.3051-3074, 2000.
- 28) Piegay, H. and P. G. Salvador: Contemporary floodplain forest evolution along the middle Ubaye river, southern Alps, France, *Global Ecology and Biogeography Letters*, 6(5), pp.397-406, 1997.
- 29) Thomas, D. H. L.: Dam construction and ecological change in the riparian forest of the Hadejia-Jama'are floodplain, Nigeria., *Land Degradation & Development*, 7(4), pp.279-295, 1996.
- 30) Stromberg, J. C., et al.: Effects of groundwater decline on riparian vegetation of semiarid regions: The San Pedro, Arizona, *Ecological Applications*, 6(1), pp.113-131, 1996.
- 31) Trowbridge, W. B.: The role of stochasticity and priority effects in floodplain restoration, *Ecological Applications*, 17(5), pp.1312-1324, 2007.
- 32) Chalmers, A. C., et al.: Relationship between vegetation, hydrology and fluvial landforms on an unregulated sand-bed stream in the Hunter Valley, Australia, *Austral Ecology*, 37(2), pp.193-203, 2012.

(2013. 4. 4受付)