

水理特性に着目した河川微地形の 生態的機能評価の試み

AN ATTEMPT TO ASSESS HABITAT FUNCTION OF REACH SCALE RIVER
MORPHOLOGY LED BY HYDRAULIC CHARACTERISTICS DURING FLOODS

天野 邦彦¹・傳田 正利²・時岡 利和³・大石 哲也²
Kunihiko AMANO, Masatoshi DENDA, Toshikazu TOKIOKA and Tetsuya OHISHI

¹正会員 博(工) 土木研究所 水循環研究グループ 河川生態チーム (〒305-8516 つくば市南原1-6)

²正会員 工修 土木研究所 水循環研究グループ 河川生態チーム (同上)

³正会員 土木研究所 水循環研究グループ 河川生態チーム (同上)

Reach scale river morphology affects hydrodynamics which controls the magnitude of physical disturbances distribution during floods. The distribution of physical disturbances distribution is one of the most important factors to characterize habitat in rivers. Therefore, river morphology seems to play important roles in river ecosystem. If we can measure the reach scale river morphology in detail and analyze the hydrodynamics during floods based on it, we can understand the diverse and heterogeneous habitat function of it. We have developed a simple procedure to assess the habitat function of river morphology by using GIS and hydrodynamics analysis. Case study was conducted and a method to estimate the potential of vegetation on banks was proposed.

Key Words : Reach, morphology, river plants, GIS, physical disturbance

1. はじめに

河川に存在する生物は、それらが生息していく中で必要な機能を河川から得ている。河川が提供する生物生息に必要な機能の一つに、生息のための場所の提供がある。このため、生物の生息場としての視点から河川地形を見ると、河川地形そのものが、生態的機能を有しているとも見られる。

生物の生息場を規定する河川地形については、流域スケールから、リーチスケール、さらに微細なスケールの規模での議論が提案されているが¹⁾、河川改修を含む河川管理を行う中では、リーチスケールレベルでの微地形が持つ生物への影響を評価することに対する要求が高いと考えられる。この様な規模での河川微地形は、流速分布を規定し、さらに地先レベルでの河床材料特性や、流下物の動態の平面的分布を決定することになる。また、ある流量に対する水深は地形に応じて決定されるため、リーチスケールレベルでの微地形は、水深分布を決めることになり、このため河川の流量変動に伴う攪乱の分布も、この微地形に応じたものとなると考えられる。このことは、河川の微地形が規定する水深や流速などの水理

特性の分布に着目することで、リーチスケールレベルの河川微地形が有する生態的機能を評価できることを示している。本研究は、上記の視点からレーザープロファイラ、GISといった新しい技術を利用して河川微地形が有する生態的機能の評価手法について検討を加えるものである。

リーチスケールレベルの微地形が持つこれらの特徴や、河川改修を含む河川管理のスケールとしての重要性や捉えやすさから、このスケールでの微地形が持つ生物生息場としての意味を議論した研究事例は多く存在する。特にリーチスケールレベルでの地形に着目した植物群落の消長や分布の解析などはこの好例である^{2) 3) 4) 5)}。

これらの研究に共通する考え方として、河川微地形により駆動される出水時の河川流の流体力の分布を捉えて植物群落の破壊や微地形の変動を評価すると共に、出水後期の土砂堆積、その後の植生繁茂について評価することで、結果的に微地形と植物群落との関連性を定量的に理解しようとしている点が挙げられる。上記に挙げた研究事例以外にも河川植物群落の消長や分布に関する研究は、枚挙に暇が無く、機構の解明について概念的には相当程度確立されていると考えられる。

しかし、蛇行を生じているような河川の微地形は3次

元的であるため、実際植物群落分布は非常に複雑に入り組んでいる場合が多い。このような場所において、植物群落の消長や分布について予測するためには、非常に詳細な現地調査を行う必要がある。定量的かつ正確な現象解明に基づく予測を行うためには、このような詳細な現地調査が不可欠であるが、数多くの現場で詳細な現地調査を行うことは、予算の限界もあり困難である。

そこで、本研究においては、最近現場においても利用されることが多くなっているレーザープロファイラにより取得可能な地盤高データ(Digital Elevation Model, 以下DEM)を水理計算と合わせて利用することで植物群落分布に影響する出水による冠水頻度や攪乱の程度についてリーチスケールでの面的な分布を知ると共に、レーザープロファイラにより同時に取得可能な植生高の推定に利用が可能と考えられる地表高データ(Digital Surface Model, 以下DSM)を利用して植生繁茂状況を解析することで、比較的簡易にリーチスケールにおける河川微地形と植生繁茂との関連性を評価する手法について検討を行う。

面的分布を考慮した河川微地形の生態的機能評価を行うことで、より高レベルでの河川管理が可能となると思われる。本研究は、植生分布を対象にして、河川微地形の生態的機能の一部を水理特性から評価する手法の検討を目的とするものである。

2. 研究方法

(1) 研究対象地域

上田市近郊で千曲川中流の鼠橋付近(長野県埴科郡坂城町)を研究対象地域(以下、調査地域)として取り上げた。調査地域は、長野県境から95.6~97km区間で、流域面積2,560km²、河道幅約100m、河床勾配1/200、河道兩岸に築堤が行われている河道区間である。調査地域の河床は、主に礫で構成され河床波形態は複列砂州である。礫の主要構成材料は20~200mm、 d_{50} =100mm、最大粒径は200~300mm程度である。右岸側には本流と比高差が少なく年に複数回冠水する高水敷、左岸側には本流と比高差が約3m程度あり2~3年に1回程度一部が冠水する高水敷が形成されている。

(2) レーザープロファイラによる地形情報取得

2004年2月および2005年2月にレーザープロファイラによる地形情報取得を行った。2004年の調査においては、飛行速度60m/s、対地高度約900m、レーザー照射頻度33,000Hz、平均計測密度約1点/1m四方(データ取得後に調節)の設定で2回飛行を行い計測した。また、2005年の調査では飛行速度60m/s、対地高度約1,200m、レーザー照射頻度74,800Hz、平均計測密度約1点/1m四方の設定で地形情報を取得している。測定結果に関しては、発射されたレーザーパルスに対する反射のファーストパル

スとラストパルスとを比較することで、地盤高(DEM)と樹木や建物の頂上を含んだ地表高(DSM)の2つが作成される。

(3) 画像情報取得

レーザープロファイラによる地形情報取得と同じ時期に、ナチュラルカラー画像と近赤外カラー画像を高精度デジタルカメラにより取得した。地上解像度は16cmである。高解像度の画像を取得することで、調査地域の景観的分布(水域、陸域の区別や、中州、高水敷の分布や植生分布)を知ることができる。また、近赤外カラー画像を取得することで、植生分布を把握することが可能である。

(4) 水理計算による流量規模別流動の推定

調査地域の流量規模別の流況再現を行うことで、冠水域の流速を算定する目的で水理計算を行った。平水時から出水時までの幅広い流量を条件として計算を行うことから、一般座標系の使用が可能で、水際部の境界条件の自由度が高く一般座標系を用いた平面2次元流解析プログラム⁶⁾を用いて定常計算を行った。

河床形状データは調査地のレーザープロファイラによる測量結果、水域内の河床高現地測量データを基に内挿し流下・横断方向ともに6mピッチの河床高データを整備した。計算は、上流端流量として100m³/sから1,000m³/sまで100m³/s刻み毎に増加させたものと、1,500m³/s、2,000m³/sの合計12ケース執り行った。下流端水位データの整備に関しては、上流端から与える流量に対応してManning式による等流水深を下流端水位として設定した。初期水位データの整備は、各計算横断面においてManning式による等流水深を初期水位条件として設定した。等流公式におけるエネルギー勾配 I_e は、対象横断面の上下流断面(流下方向に±6m)の最深河床勾配とした。Manningの粗度係数 n (以下、 n)については、一般的な河床粗度として良く使用される数値である $n=0.032$ とした。計算時間ステップ Δt は、 $\Delta t=0.1$ [sec]を基本とし、数値振動が発生する場合は $\Delta t=0.05$ [sec]とした。水理計算の妥当性は、2005年7月27日の現地調査時に40~50m³/sの出水状態を現地観測した。現地観測の結果、冠水域は水理計算結果と良好に合致し、水理計算結果は冠水域、冠水状態を良好に再現していると考えられた。

(5) 流量規模別冠水範囲の算定

上記の条件で行った水理計算結果をGIS(ESRI社 ArcGIS Ver8.3)にインポートし、ケース毎(流量規模別)に調査地域における冠水域を把握した。手法としては、調査地域全体をカバーする6m×6mタイルポリゴン(以下、ポリゴン)を作成し、冠水時の水深データを格納後、各ポリゴンの水深データの平均値を算出した。次に、計算ケースごと(流量規模別)の冠水域の差(以下、

差分冠水域)を抽出した。差分冠水域は、対象とする流量ケースとその一つ上の流量ケースの差分とし、全流量ケース分抽出した。

また、設定した流量ケースの生起確率を求めるために、近傍流量観測所の1975年から1998年分までの年最大日流量を図上推定法によりプロットして流量の再帰時間を算定した⁷⁾。その後、流量観測所と鼠橋地点の流域面積比率から鼠橋地点における流量生起確率を算出した。この処理を行うことで、調査地域の冠水頻度を統計的に求めることが可能となる。

(6) 植生高分布の推定と冠水頻度との比較

取得したDSMとDEMの標高差分をとることで、植生高の推定が可能である。この方法により、調査地域の中州や高水敷上に分布する植生高の分布について算出した。さらに、上記(5)で算定した差分冠水域毎に植生高分布を集計して、冠水頻度と植生高との比較を行った。また、2001年に作成された植生図より判読したハリエンジュ群落の位置において、植生高分布と冠水頻度を比較し、繁茂が問題となっているハリエンジュがどの程度の冠水頻度を持つ区域で繁茂しているのかについて調べた。

3. 結果

(1) 調査地域のDEM、DSMおよびナチュラルカラー画像

調査地域において取得された地形データを陰影図として図-1に示す。河川は右から左向きに流れている。図-1(2)の中心付近に鼠橋が確認できる。レーザープロファイラにより取得された地形データから詳細なDEMが作成されることが分かる(DEMの作成には、周辺地形を利用した平滑化を行っているため、橋の除去等が可能となっている。この際には、写真情報を考慮した手作業も含んでいる。)。DEMとDSMの陰影図を並べて比較した場合、異なって見える箇所について、明らかに人工構造物と見なせるものの他のほとんどは、植生を示していると考えられる。植生が密に生育している場所としては、図の上下に見える山地上と、河川左岸に広がる高水敷、鼠橋上流に存在する大きな中州上であることが分かる。堤内地の平野部の殆どは水田であることから、建物を除いてDEMとDSMとの間には大きな差は見られない。

今回の研究対象とする堤外地については、水面ではもちろん差が見られない。また、比高差が小さい砂州上でもDEMとDSMとの間には大きな差が見られない。このことは、比高差が小さい場所ほど植被率が小さいと言う常識的な状況を反映したものと考えられる。また、図-2は、デジタルカメラで撮影されたナチュラルカラー画像である(印刷では白黒)。

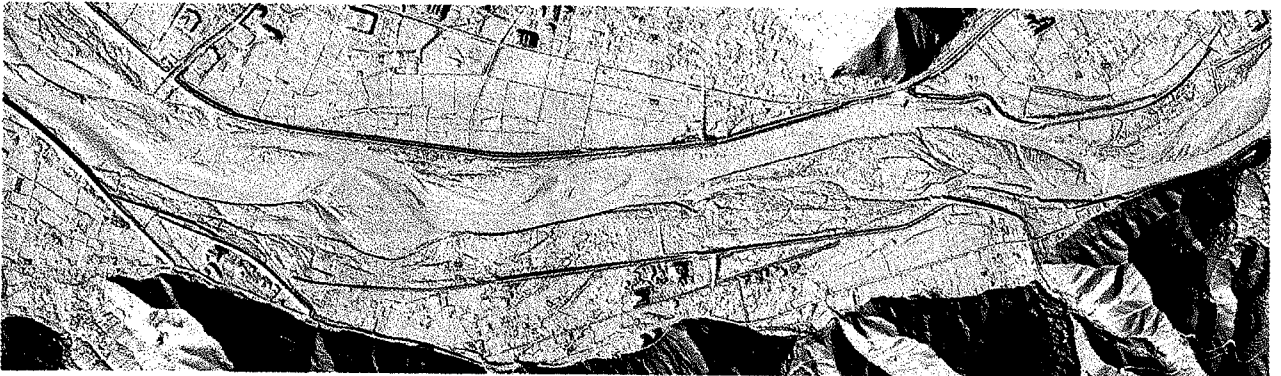


図-1(1) 調査地域のDEMの陰影画像(2004年2月取得分)

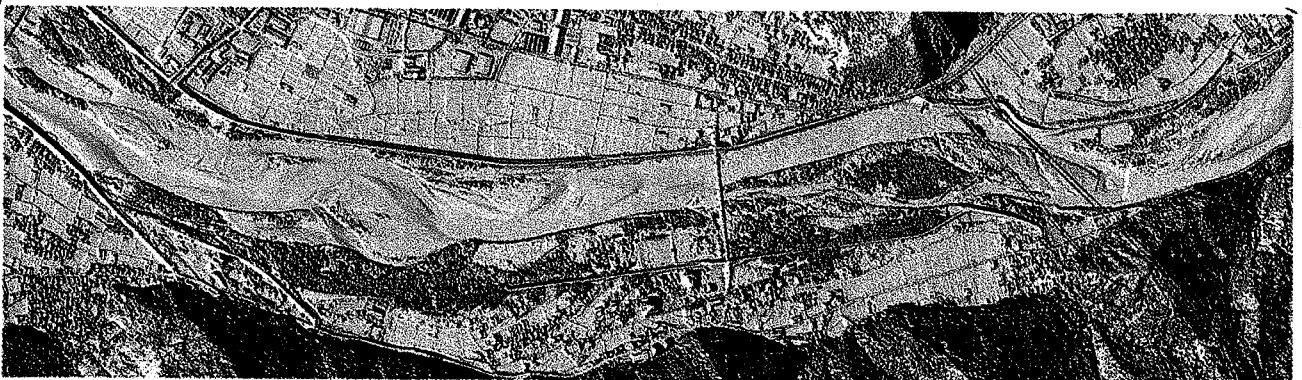


図-1(2) 調査地域のDSMの陰影画像(2004年2月取得分)



図-2 調査地域の画像 (2004年2月取得分)

(2) 水理計算結果

流量を変化させた水理計算結果からは、左岸側の高水敷が冠水するためには、相当流量が増加する必要があることが示された。調査を行う直近において記録された20年に一度相当である $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 流下時の流速分布を図-3に示す。 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 流下時には、左岸側の高水敷も殆どが冠水し、水面上に残存している部分はわずかであったことが示されている。ちなみに鼠橋上流側での残存域はラジコンの飛行場で、下流側での残存域は耕作地であることが分かっている（水没を避けるために地盤を高くしていると思われる）。しかし、左岸高水敷において鼠橋下流では、冠水はするものの高水敷を流下するには至らず、このため流速もせいぜい

$20\text{cm}/\text{s}$ 程度であったことを示す結果となっている。

(3) 流量規模別差分冠水域の算定

上流端での流量を変化させた計算における冠水域（図-3参照）をナチュラルカラー画像上に重ね合わせた結果を図-4に示す。左岸側の高水敷は、 $1,500\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量規模に達しない限り大部分が冠水することがなく、出水による植生への影響が生じる頻度が少ないことが分かる。しかし調査地域に点在する中州や寄州では冠水頻度の分布が地形に応じて変化する結果が得られた。上述したように、冠水したとしても流速が大きくなければ、植生にかかる流体力も大きくはならないので、攪乱強度も強大なものとはならない。このた

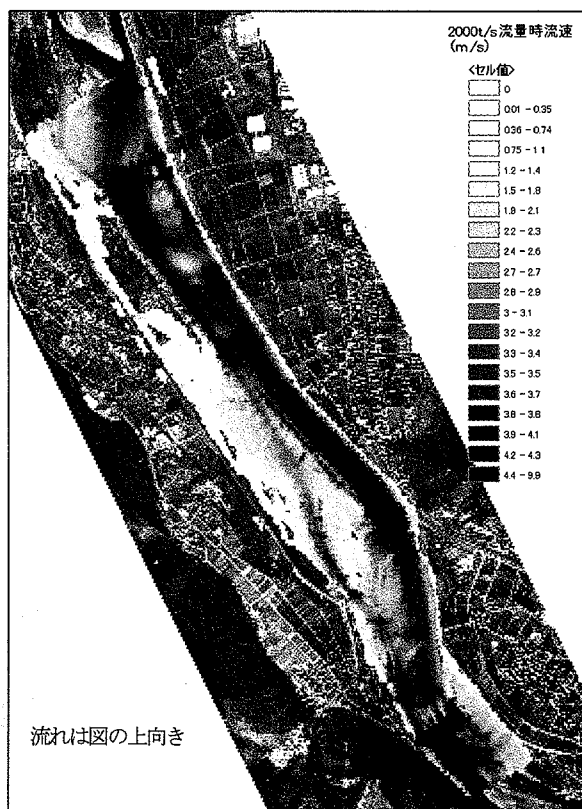


図-3 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 流下時の流速分布

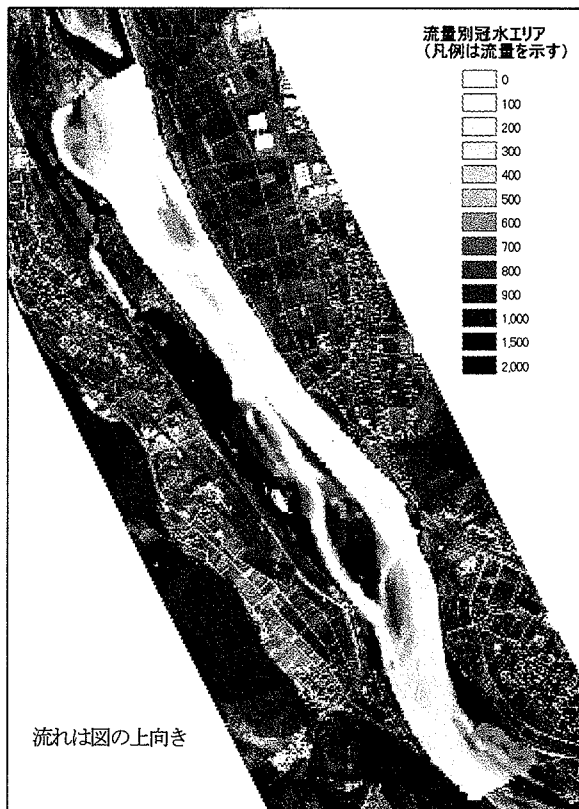


図-4 流量規模別冠水域

め、流量規模別差分冠水域による区分は、出水による攪乱の大小を表すものと考えられ、河川微地形が有する植生の消長や分布への影響という観点からの生態的機能の区分を示していると考えられる。図-4で、冠水頻度が低い場所と図-2、3に見られる植生繁茂域は良く一致している。

(4) 植生高分布の推定と冠水頻度との比較

冠水頻度（流量規模別差分冠水域）により区分された区域毎の植生高推定値（DSM-DEM）の頻度分布を示したものが図-5（図の手前が小流量）である。頻度分布は、各区域中の植生高推定値データの総数に対して、0.5m刻みに分けた植生高推定値をもつデータがどれほどの割合で存在するかを示しており、各区域毎に、ある高さを持つ植生がどれほどの面積割合を占めているかを示すものである。

流量規模400m³/s以下で冠水する区域では、植生高が0.5m未満（ほとんどが裸地と考えられる）の面積が80%以上を占めており、高い値をとる部分は非常に少ないことがわかる。流量規模400m³/s以上で初めて冠水する区域では、植生高が0.5m未満の裸地的な場所の割合が冠水頻度の減少に伴って減少することが示されている。また、流量規模800m³/sまでで冠水する区域では裸地的な部分の面積割合の減少分が植生高3m以下の部分の面積割合の上昇で置き換わっているのに対して、それ以上の流量規模で冠水する区域では、植生高3m以上の部分が占める面積割合が増えている。これは、流量規模800m³/s以上で冠水する区域では、木本類の占める面積割合が増えることを示していると考えられる。

植生図よりハリエンジュ群落の位置を判読し、冠水頻度（流量規模別差分冠水域）毎のハリエンジュ群落が占める面積割合と植生高分布を比較したものが、図-6である。流量規模400m³/s以下で冠水する区域ではハリエンジュ群落が占める割合は5%以下であり、平均植生高も3m以下となっている。また、流量規模400～800m³/sで冠水する区域ではハリエンジュ群落が占める割合と植生高が共に増加していることが見て取れる。さらに流量規模800m³/s以上で初めて冠水する区域ではハリエンジュ群落の占める面積が40%程度を占め、平均植生高も5m程度となっており、安定した群落を形成する区域であることを示唆する結果となっている。

図-7に、図-6と同様の冠水頻度毎に分類した区域毎にハリエンジュ群落内の植生高分布を示した。植生高の最大値について見ると、流量規模400m³/sを境にそれ以下では冠水頻度が高いほど最大値が低くなるのに対して、それ以上ではほぼ一定となることを示している。流量規模400m³/sから800m³/sの冠水域で最大値が変化するのは、冠水頻度が高い場所ほど、群落の破壊頻度が高く、若齢の樹木が多いことを示していると考えられる。本調査地域においては、ハリエンジュの繁茂

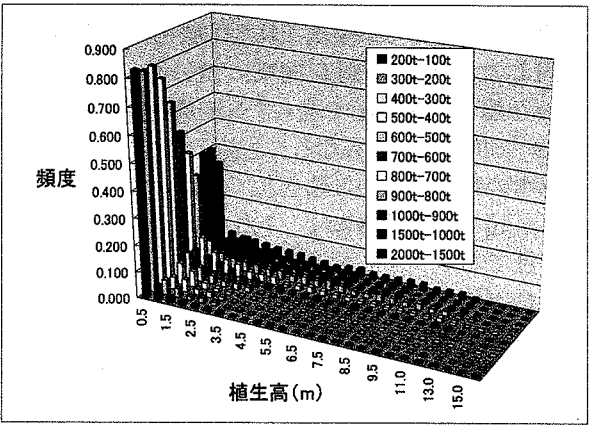


図-5 植生高分布の推定と冠水頻度との比較

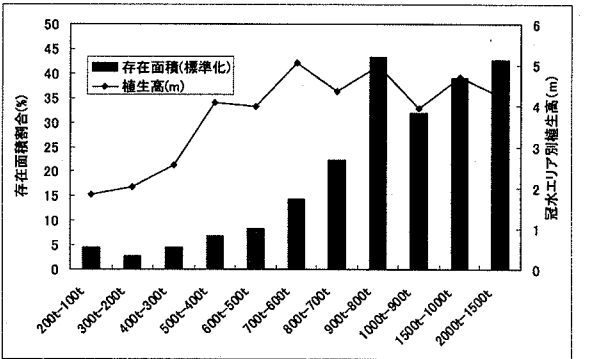


図-6 冠水頻度とハリエンジュ群落が占める面積割合及び平均植生高

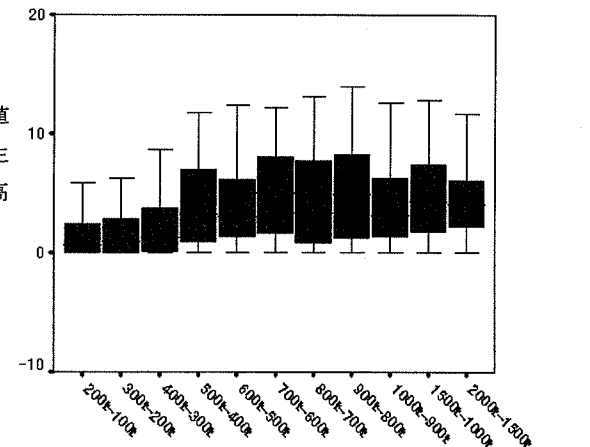


図-7 冠水頻度とハリエンジュ群落内の植生高分布

による樹林化が問題視されているが、これらの結果は、流量規模400m³/s以上で冠水する場所でハリエンジュによる樹林化が始まり、流量規模800m³/s以上で冠水する区域では安定した樹林化が起こることを示唆している。

4. 考察

河川のリーチスケールで詳細な地形情報を取得し、水理計算と組み合わせて、出水による物理的攪乱の程

度により河道を類型化する比較的簡易な手法を提案し、この手法によって類型化された区域毎に植生の状況を検討した結果、本調査地域においては、流量規模400m³/s超と800m³/s超で冠水する流量規模別差分冠水域において植生状況が異なることが示された。

出水の頻度分布から見ると、これらの流量を越える出水が起こる再起確率は、それぞれ2年に一度、5年に一度であり、ここで得られた結果から、調査地域周辺において、ハリエンジュの繁茂を防ぎたい箇所では流量規模400m³/s（2年に一度）程度で冠水する標高まで河床高を切り下げることが必要と推定される。また、800m³/s（5年に一度）程度で冠水する標高より高い場所では、一旦ハリエンジュが侵入すると、放置しておけばその周辺地域へ広く分布することが予想される。

治水上の要請から河道の疎通能力確保のための樹林化の抑制と近年減少傾向にある砂礫河原の再生を図った高水敷の切り下げが事業として行われることが多いが、今回提案した手法を利用すれば、物理的環境が調査地域と著しく異なることのない河川区間であれば、その河川区間における河道を調査地域で得られた類型を参考にして区分することで、どの程度の高さまで切り下げべきかという問いに対する評価が可能になると考えられる。ただし、高水敷の切り下げは、河積の拡大による水位低下や流速の減少を招くことから、切り下げ後の状況で再度計算を行うなどして、効果についての評価を行う必要がある。

河川における植物群落の消長や分布を規定する要因として、出水による攪乱と細粒土砂分の有無が特に重要であることが指摘されている³⁾。その他にも種々の要因が影響することで河川植生の特徴を決定している。また、植生の状況は時間的に遷移しているため、今回提案したような簡易な方法で河川の微地形が持つ植生消長や分布への影響を評価しきれものではない。しかし、今後の河川管理においてレーザープロファイラを用いた測量が進展する可能性を考えると、詳細な地形データを取得できる利点をより活かすためにも水理計算と結合すると共に、GISの強力なデータ処理能力を利用することで、このような簡易な方法でも河床の環境についていくつかの視点から評価することが望まれる。

一旦、システムとして作成すれば、例えば今回の調査地域で河道改修を行おうとした場合、いくつかの対案（河道形状）について統計的に流量を変化させた出水時の流動計算を行うことで、冠水頻度分布の変化や、流動特性の変化が予測でき、改修後の環境変化について簡便な予測が可能となると考えられる。流動特性の変化は、植生分布だけでなく、他の水生生物の生息環

境にも影響を与えるものであり、その予測は発展性を持つものであると考えられる。

これからの河川管理においては、順応的管理が重要であるが、何らかの人為的インパクトを加える際には、事前に上記のような予測を行い、事後のモニタリングを行うことで、予測精度の向上が可能となるので、予測技術とモニタリングを有機的に結合した調査が必要である。このような流れの中で、今回の検討で用いた手法は利用価値が高いと思われる。

5. まとめ

レーザープロファイラにより取得された詳細地形情報と水理計算を組み合わせ、河川のリーチスケールの地形がもつ生態的意味（機能）の評価のための手順の提案を行った。今回は、植生分布と出水による攪乱との関係について地形を通して評価を行った。

本検討は緒に就いたばかりで本稿の内容については、不十分なものではあるが、システムとして発展させて、今後河川地形が持つ生態的機能の評価に利用できるようにしたい。

参考文献

- 1) Frissell, C. A., W. J. Liss, C. E. Warren, and M. D. Hurley, A hierarchical framework for stream classification: Viewing streams in a watershed context, *Environmental Management*, 10, pp.199-214, 1986.
- 2) 辻本哲郎, 北村忠紀, 河床低下に及ぼす植生繁茂の影響, 水工学論文集, 第40巻, pp. 199-204, 1996.
- 3) 藤田光一, 李参熙, 渡辺敏, 塚原隆夫, 山本晃一, 望月達也, 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.747Ⅱ-65, pp. 41-60, 2003.
- 4) 清水義彦, 小葉竹重機, 新船隆行, 岡田理志, 礫床河川の河道内樹林化に関する一考察, 水工学論文集, 第43巻, pp. 971-976, 1999.
- 5) 服部敦, 瀬崎智之, 吉田昌樹, 礫床河道におけるハリエンジュ群落の出水による破壊機構と倒伏発生予測の試み, 河川技術論文集, 第7巻, pp. 321-326, 2001.
- 6) 土木学会水理委員会, 水理公式集改定委員会, 水理公式集例題プログラム集編集部: 水理公式集例題プログラム集, pp18-pp19, 社団法人土木学会, 2002.
- 7) 傳田正利, 萱場祐一, 島谷宏幸, 千曲川における後背水域の冠水頻度推定方法, 応用生態工学, 2(1), pp. 63-72, 1999.

(2006. 4. 6 受付)