

## ◆ 河川環境の評価 ◆

河川環境評価における流域特性や河川地形からの  
視点と新技術の適用

天野邦彦\* 傳田正利\*\* 時岡利和\*\*\* 対馬孝治\*\*\*\*

## 1. はじめに

河川に棲む生物は、河川が運搬する物質を直接取り込んだり、他の生物を捕食することで必要な物質やエネルギーを得ており、この物質移動と食物連鎖とを通して生態系が成り立っている。また、河川を流れる水自体が水域として水生生物に生息の場を提供している。このため、河川生態系から見た河川環境は、食物連鎖も含めた物質移動と、生息域としての河川の物理的特性により評価する必要があると考えられる。

しかし、生態系中には極めて複雑な相互関係が多数存在するため、その構造を全て把握し評価することは不可能と言っても良い。このため、河川における植物、動物、生態系の状況評価については、生息場の評価を通して行う手法に関する研究が多く行われている。例えば河川の中上流域では、瀬や淵といった構造的特性が生物に提供する生息域としての評価について調査する研究が多く行われており、そこに生息する生物を保全しようとする際には、まず瀬や淵と言った河川の物理的構造を保全するという考えが現在のところ支配的な様である<sup>1)</sup>。

日本の河川は一般に出水時と平時での流量が大きく異なるため、河川の物理的構造という空間的特性と共に流量変動という時間的変動特性が生態系に与える影響も大きいと考えられ、これについても着目した研究が多く行われている。流量変動の時間的スケールとしては、1年程度のスケールから河床形状が大きく変わる様な規模の出水が発生する再帰時間スケールまで種々のものが研究対象となっている。

流量変動に伴う水位変動は、河道内での冠水頻度の多寡を縦横断方向に生じさせる。また、河床におけるせん断応力の変動は、平時時に堆積した土砂や付着藻類が出水時に剥離、流送されるといった現象を引き起こしたり<sup>2)</sup>、砂州上や高水敷上の植生分布に影響を及ぼしている<sup>3) 4)</sup>。これらの観点から、流量変動も河川生態系から見て河川環境を評価する上で重要な視点である。流量変動が

生態系に与える影響を評価するために必要となる冠水頻度の多寡やせん断応力分布を把握するためには、河川地形の正確な把握や流量変動に伴う流速分布などの流動特性の評価が必要となる。

以上述べたように、河川生態系を保全するために把握すべき物理的な河川環境評価の視点として、①物質移動の観点からは流域特性評価、②生息域の物理的環境や、流量変動の影響特性把握の観点からは河川地形評価や流動解析が重要な項目としてあげられる。

本稿では、上記の2つの視点から河川環境の評価を行うために、地理情報システム (GIS) 及びリモートセンシング技術の利用について議論する。流域特性情報の整理手法としてのGISの利用、河川形状や高水敷の高低を把握しリーチスケールで河川の生息場としての評価を行うためのリモートセンシング技術やGISの利用についての考察を2、3章に述べると共に、河川の流動解析とGISの結合利用方法も含めて4章に千曲川を対象とした評価事例を紹介する。

## 2. 流域情報の把握と解析へのGIS利用

## 2.1 流域土地利用の解析

河川環境と流域との結びつきについて考察する際には、流域の土地利用を正確に把握する必要がある。現在、国土地理院が100mメッシュの土地利用データを提供している。GISを利用することで、次に記述するように河川の任意地点への集水域が求められ、この集水域での土地利用特性が解析可能となる他、土地利用と地形の両者を総合的に解析できることから、流域土地利用特性についての理解が行いやすくなる。

## 2.2 集水域特性の解析

GISの優れた機能の一つに標高情報を利用した流域界と河道網の抽出機能がある。GISでは流域地形を表すのに流域をメッシュに分割して、それぞれの平均標高と平面座標系上の位置を収納し、地形情報として整理している。この情報を利用して流域界と河道網を抽出することができる(この様にして作成された河道網は落水線と呼ばれている)。落水線の作成方法については、すでに確立されており<sup>5)</sup>、GISソフトウェアの解析ツールとして市販もされている。このように作成された落

Evaluation of River Environment Considering Its Watershed Characteristics and Morphological Features by Employing New Techniques

水線は、実際の河道網とずれる可能性があるため、実際の河道網と比較して修正を行う必要があるが、落水線が修正の上作成されて流域界が一旦抽出されると、河川の任意地点における集水域をGISにより切り出すことが可能になる。流域での水循環システムに対して取排水といった人為的な影響が大きい場所では、人為的な水循環系を別途設定する必要があるが、河川の任意地点と集水域とを結びつけるこの機能を用いることで、河川環境の縦断的な変化と流域との関わりについての解析が容易に行えるようになる。

### 3. リモートセンシング技術を用いた河川情報取得

#### 3.1 レーザープロファイラによる地形情報取得

航空機搭載レーザープロファイラの開発により、詳細な河川地形情報を面的に取得することが可能となってきた。レーザープロファイラは、レーザーパルスを連続的に地面に向けて照射することで、1パルス毎に地上測点を設定し、それぞれの測点に緯度、経度、標高の位置情報を付与する仕組みになっている<sup>6)</sup>。

レーザープロファイラで計測できる位置の精度は、水平位置精度が概ね数m(飛行高度の1/2000)、垂直位置精度が概ね15cmとされているが、実際の河川敷において地上測量により求めた地盤高との比較を行った研究<sup>6)</sup>からも、植生のない箇所では地上測量との誤差は10~20cm程度であったことが示されている。同時に植生が密生しているところでは誤差が約30~60cmであったことが報告されているが、樹木の場合は、この差が樹木の高さと概ね整合していたことが示されている<sup>6)</sup>。

レーザープロファイラによる地形測定は、面的に詳細な情報が取得できることから、堤外地における少なくとも水面上の凹凸の把握が可能になる。詳細地形が把握されることで、冠水頻度分布が算定可能になるし、魚類が産卵に使用したり、出水時に避難する場所として使用可能な地形の分布を評価することにもつながる。植生分布についても冠水頻度分布と密接に関わりがあるので、詳細な地形情報は、その遷移予測にも役立つと考えられる。

#### 3.2 高解像度オルソフォトによる河川情報取得

高解像度のカラーデジタルカメラが実用化されたことから、幾何補正して歪みをなくした写真地図(オルソフォト)の細密化が可能となっている。また、デジタルデータとして取り扱えるため、レーザープロファイラにより取得した地形情報をGISを利用して重ね合わせることで、地形と地面の被覆との間の関連性について解析することが可

能となるため、今後河川環境情報取得のための強力な道具となることが期待される。

## 4. 千曲川における適用事例

### 4.1 流域土地利用の解析

千曲川流域を対象に、国土地理院が提供している数値地図50mメッシュ(標高)データおよび100mメッシュの細分区分土地利用データをGISソフトウェアにより表示した(図-1及びグラビア参照)。流域の大部分(約72%)を森林が占めていること、水田面積が9.4%を占めることなどの定量的な評価もGISを利用することで容易に計算可能である。次節で述べるように流域単位での土地利用の解析は河川水質を考える上で重要な情報を提供する。

GISを利用することで、土地利用形態の分布と地形情報とを組み合わせて考察することも容易になる。千曲川流域における標高、傾斜角度(図-2)とを比較すると長野、松本、上田、佐久盆地といったまとまった平地の他に上流部(図-2中の右下の部分)の高標高地区に傾斜の緩い場所が存在することがわかる。土地利用分布情報(図-1及びグラビア参照)と比較すると、この場所は畑地としての利用が進んでいることが示される。実際、この地域においては高原野菜の栽培が大規模に行われている。また、上述の4盆地の分布と市街地、田畑の分布とはほぼ一致しており、流域における土地利用が地形と密接に関連していることが示されている。地形を無視した土地利用改変が行われることは少ないと考えられるため、現在の土地利用と地形情報とを比較検討することで、現在の土地利用解析が行えるだけでなく、将来の土地利用変化がどのようなものになる可能性があるかについても地形情報に基づき予測することが可能と考えられる。

### 4.2 集水域特性の解析

2章で述べたように、落水線を作成した後は、流域内の各メッシュに落下した降水が下流に向かって流れる経路がGIS上に展開されるため、河川の任意地点を指定すれば、そこから上流にさかのぼることで、その地点へと水が流出する流域を切り出すことができる。この機能を使用すれば、河川中の任意地点における集水域の特性を解析することが可能になる。千曲川流域についてこの手法を適用した例を図-3~5に示す。

まず、千曲川支川の一つである西川についての流域解析例を取り上げる。西川流域(図-2の四角枠)では、先述のように高原野菜生産が盛んに行われており、西川の水質もこの土地利用による影響を強く受けていると考えられる。そこで、西川の上流から下流における本川との合流点までを

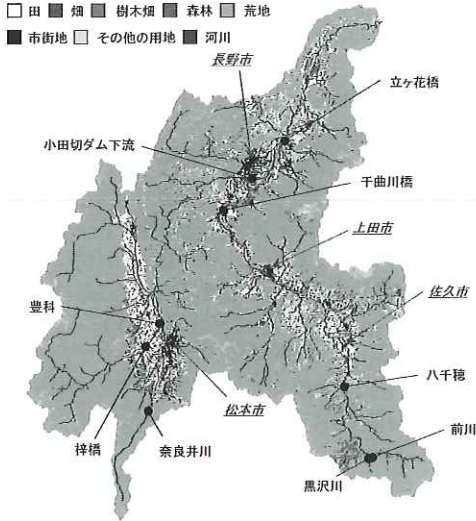


図-1 千曲川流域土地利用分布



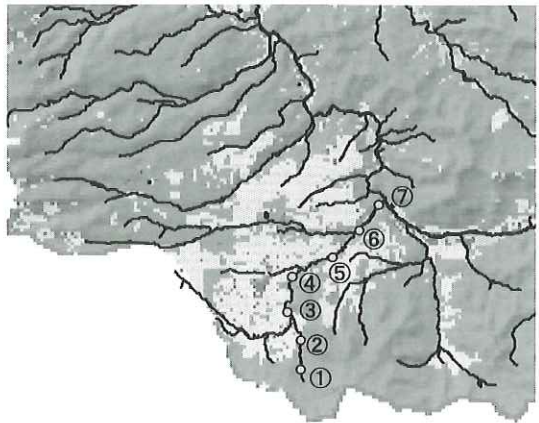
図-2 千曲川流域土地傾斜角分布

対象に縦断的に流域土地利用と水質分布との比較を行った。西川において縦断的に合計7地点を設定し(図-3)、それぞれの地点における流域土地利用面積比率をGISにより求めた結果が図-4に示されている。地点番号③から流域に占める野菜畑の比率が急激に増加し、3割を超えていることが示されている。これら7地点から1地点おきに合計4地点を対象に河川水を採取し、硝酸態窒素濃度を測定した結果も図-4に示す。硝酸態窒素濃度の急激な上昇が地点番号③より下流で認められる。畑地からの流出の影響を受けていない地点①での濃度に比べて農地からの流出の影響を受ける地点③では、化学肥料由来と考えられる硝酸態

窒素濃度が一気に30倍の濃度にまで上昇している。ここで示されるとおり、西川における硝酸態窒素濃度変化は、土地利用変化に強く規定されていることが分かる。河川環境を考える上で、流域土地利用の評価が重要である所以である。また、このように土地利用が極端な流域を利用すれば、面源負荷の流出解析の精度向上が進むと考えられる。

2003年8月に硝酸態窒素濃度と共にその安定同位体比を流域内の9地点(図-1)で測定した結果を図-5に示す。流域のほぼ全域が森林で占められている前川、奈良井川、梓橋の3地点では硝酸態窒素濃度は低レベルで、また安定同位体比も低い値を示している。西川同様に流域で高原野菜栽培が盛んに行われている黒沢川では、化学肥料由来と考えられる高濃度の硝酸態窒素が検出されているが、化学肥料に含まれる窒素の安定同位体比は低いため、森林からの流出成分に比べて安定同位体比は大きな違いは認められない。

市街地の影響が最も大きい豊科地点では、硝酸態窒素濃度は黒沢川ほど高くないものの、安定同位体比は+20%以上と高い値を示した。これは、この地点での硝酸態窒素の多くが、人間を含めた動物からの排泄物成分に由来していることが示されていると考えられる。河川生態系に対する影響が大きい窒素や燐などの栄養塩類濃度の変化は、河川環境を把握する上で重要な観点であるが、河川水の栄養塩類濃度は一般的に流量変動に伴い大きく変化する。ただし、河川流量と栄養塩類濃度との関係は、負荷量と流量との単純相関で表されるL-Q式を用いた簡易な手法で取り扱われることが多く、変化の機構までを検討することはあまり行われていない。安定同位体比を水質濃度と同時



■ 森林 □ 畑 ■ その他

図-3 西川流域と評価地点

に計測することで、点源負荷と考えられる生活系排水と、面源系負荷である農地からの排水が流量変動に応じて量的にどのような変化を示すかについての情報が得られると考えられる。このような場合でも、GIS情報を援用することで、より正確な評価が可能となると考えられる。

4.3 レーザープロファイラによる地形情報取得  
2004年2月に千曲川中流の上田市近郊の鼠橋

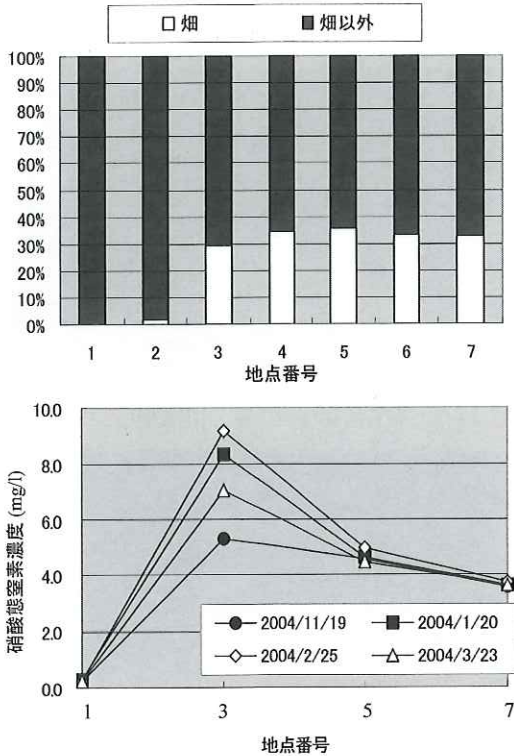


図-4 各評価地点における集水域の土地利用割合(上図)と硝酸態窒素濃度変化(下図)

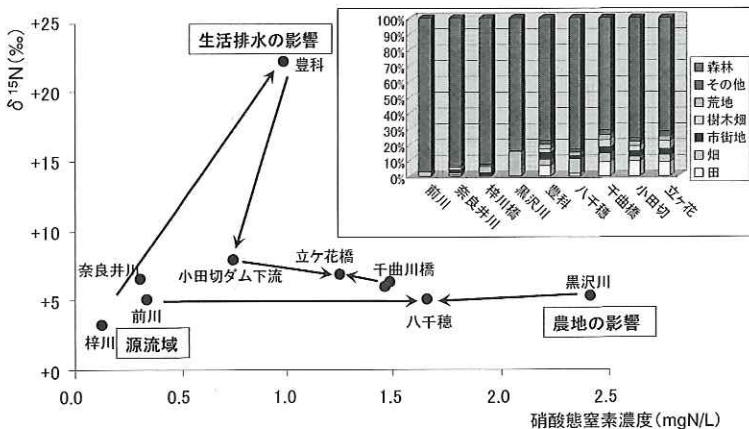


図-5 千曲川流域での硝酸態窒素濃度と安定同位体比の分布

地点においてレーザープロファイラによる地形情報取得を行った。飛行速度60m/s、対地高度約900m、レーザー照射頻度33,000Hz、スキャン角度 $\pm 20^\circ$ 、スキャン頻度28Hz、平均計測密度約1点/1m四方の設定で2回飛行を行い計測した。3つある測線について、1回目と2回目での標高値を比較すると、平均値の差がそれぞれ5cm, 4cm, 1cm、標準偏差が16.4cm, 14cm, 13.4cmであり、精度の高い測定が行われたことが分かる。

測定結果を陰影画像を用いて図-6に示す。測定に関しては、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、地表面だけのデータ(Digital Elevation Model, DEM)と樹木や建物の頂上を含んだデータ(Digital Surface Model, DSM)の2つを作成している(グラビア参照)。画像に関する記述は、次節のオルソフォトに関する項で行う。

4.4 高解像度オルソフォトによる河川情報取得

1600万画素の高解像度デジタルカメラを用いてナチュラルカラー、赤外カラーの2種類の画像を取得した。画像解像度は約15cmで、レーザープロファイラデータの取得と同様の3測線で4.2秒のシャッター間隔で撮影を行った。図-7に撮影された画像を示す。従来、航空写真を利用することで、砂州形状の変化や、高水敷の変化を解析し、河川環境の変化について検討する研究が行われているが<sup>7)</sup>、レーザープロファイラによる地形情報計測を同時に行うことで、より高度な河川環境情報取得が可能となる。

DEMの陰影画像(図-6)からは、高水敷の詳細な地形が読みとれると共に、河川内の砂州の形状が判読できる。陰影画像では、傾斜角の大きい場所が濃く表示されるが、デジタルカメラによる画像と比較しながら水際域での傾斜を見ると水流が速くなる水当たり部では砂州や高水敷の傾斜が強くなる傾向が見られる。また、浅瀬の部分では、水面形状の傾斜も読みとられており、これらの情報を砂州の移動傾向の予測に利用することが可能となると考えられる他、大規模出水の前後における地形情報を比較することで、砂州の変化を定量的に比較評価できると考えられる。

DSMの立体画像(図-6下)を見ると、砂州上や高水敷上にハリエンジュ群落を示す凸部が見られる。裸地とハ

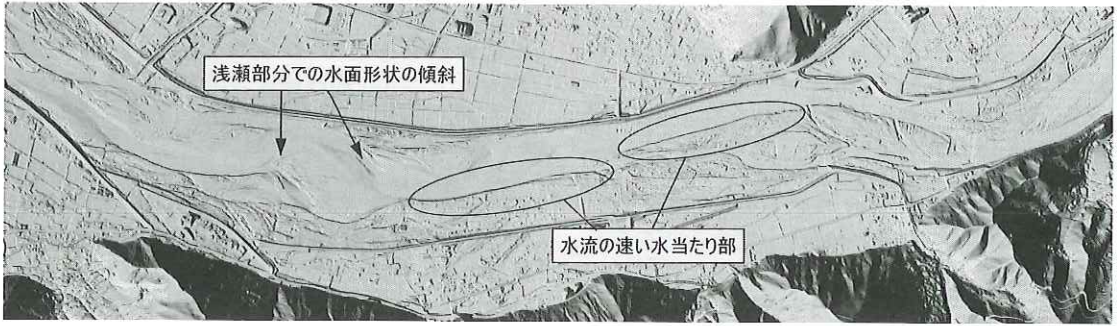


図-6 レーザープロファイラにより作成した DEM (上図) および DSM (下図) の陰影図



図-7 高解像度デジタルカメラによるオルソフォト画像

リエンジユが占めている場所の2ヶ所で DSM と DEM の標高差の分布を調べると、裸地ではほとんど突起が認められない (DSM と DEM の標高差がない、図-8左) のに対して、ハリエンジュが占めている場所での差は 5.5m を中心に 15m までの標高差が認められる (図-8右)。これは、そこに繁茂するハリエンジュの樹高を反映した結果と考えられ、この情報を用いることで植生の規模や生育状況の評価が可能である。

#### 4.5 流動特性解析と地形との比較

高水敷形状の詳細情報は、出水時の流動特性解析と併せて用いることで、ワンドやタマリなど高水敷形状と相まって形成される空間の魚類への生

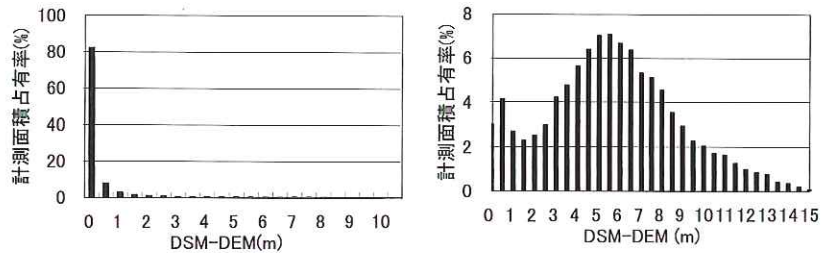


図-8 突起物の高さの頻度分布

態的意義についての解析に使用することが可能である。2000年6月24日に起きた大規模出水時の流速分布の再現計算結果を見ると(グラビア参照)、主流部では2m/s以上の流速が認められ、特に流速の速いところでは6m/sを超える程の速い流速で水が流下しているため、出水前に主流部にいた魚類は、そのままの場所にとどまることはほぼ不可能であったと考えられるが、ワンドが存在する部分などの流速は、比較的緩やかになっており、魚類が出水時の避難場所として利用可能であった可能性が示されている(グラビア中の濃い青色)。

上記の解析と平行して実施した魚類調査(本川、ワンドにおける各月平水時調査、出水時の魚類調査)の結果を分析すると、出水時の魚類調査結果は、通常時の魚類調査と異なる結果を示している。通常、本川でしか採捕できないアユがワンド内で採捕されているのが特徴的である。また、平水時にワンド内で採捕される種に関しても、出水時にワンド内で捕獲される個体サイズの方が平水時よりも大きく、本川に生息する種の個体サイズと類似した結果となっている。これらの結果は、出水時に、ワンドと本川が接続することにより、ワンド内に本川魚類で生息する魚類が一時的に移動してきていることを示唆していると考えられる。

流速分布は、河床形状、河道の縦横断形状等に規定されることから、河川の微地形GISと流動シミュレーションとを利用することで、出水時の待避場所となりうる地点が特定できる。魚類の待避場所等として使用される可能性が高い地点を、GIS上に展開することで、今まであまり考慮されてこなかった、魚類にとってのハビタットとしての高水敷地形の重要性が見えてきた。GISの高い地理情報処理能力を生かすことで、このように河川の物理環境を河川生態系からの視点で評価する手法の開発を今後進展していきたい。

## 5. まとめ

河川生態系との係わりの中で、河川環境を評価する際に重要な要素である流域特性や河川地形を定量的に評価するための、いくつかの新しい情報処理手法の適用について、千曲川における事例を中心に述べた。河川生態系や、河川環境について評価する際には、流域からの視点、河川区域の面的な詳細地形情報、水流や水質といった情報を統合的に取り扱うことで定量的かつ客観的な評価が可能になると考えられるため、今後、これらのための技術の向上が必要である。

## 参考文献

- 1) 玉井信行、奥田重俊、中村俊六編、河川生態環境評価法-潜在自然概念を軸として-、東京大学出版会、2000年
- 2) 皆川朋子、河口洋一、萱場祐一、尾澤卓思、流量変動が河川環境に果たす役割と実験的検討-流量の増加に伴う河床付着藻類の掃流と魚類の遡上について-、土木技術資料、V-44, N10, pp. 32-37, 2002年
- 3) 瀬崎智之、服部 敦、近藤和仁、徳田 真、藤田光一、吉田昌樹：礫河床草本植生の流出機構に関する現地調査と考察、水工学論文集、V-44, pp. 825-830, 2000年
- 4) 清水義彦、長田健吾、金文姫、礫床河川における近年の洪水攪乱と植生破壊の規模に関する考察、河川技術論文集、V-9, pp. 377-382, 2003年
- 5) 朴珍赫、小尻利治、友杉邦雄、流域環境評価のためのGISベース分布型流出モデルの展開、水文・水資源学会誌、V-16, n. 5, pp. 541-555, 2003年
- 6) 廣瀬葉子、深見和彦、金木 誠、リモートセンシングを活用した河川流域情報収集、土木技術資料、V-43, n. 1, pp. 14-19, 2001年
- 7) 皆川朋子、島谷幸宏、住民による自然環境評価と情報の影響-多摩川永田地区における河原の復元に向けて-、土木学会論文集、n.713, VII-24, pp. 115-129, 2002年

天野邦彦\*



独立行政法人土木研究所  
水循環研究グループ河川  
生態チーム上席研究員、  
工博  
Dr. Kunihiko AMANO

傳田正利\*\*



独立行政法人土木研究所  
水循環研究グループ河川  
生態チーム研究員  
Masatoshi DENDA

時岡利和\*\*\*



独立行政法人土木研究所  
水循環研究グループ河川  
生態チーム研究員  
Toshikazu TOKIOKA

対馬孝治\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所  
水循環研究グループ河川  
生態チーム専門研究員、  
農博  
Dr. Koji TSUSHIMA