

## 流域レベルでの河川環境修復評価手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 16～平 18

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：天野邦彦、傳田正利

### 【要旨】

流域の中で整合がとれ効果的な河川環境修復を行うためには、流域レベルでの環境修復事業等の評価を行う手法の開発が必要である。本研究では、河川環境を表す指標やモデルと流量・水質変化過程を流域レベルで表現する水理モデルとを流域 GIS 上で連携させて、河川の物理・化学環境、河川特性→生息場→生物群集という流れで流域レベルでの河川環境修復についての評価を行うシステム開発を目的とした。

その結果、生物データ、物理環境データ、その関係性を GIS 上で評価し、河川事業対象区間の特性を考慮しながら対象区間の河川環境修復を計画・検証するシステムを開発した。信濃川水系千曲川栗佐地区で実施された河川環境修復のための高水敷試験掘削に開発したシステムを適用し、その有用性を確認した。本研究で提案したシステムは、今後、積極的に実施される自然再生事業等において、有用なツールとなると考えられた。

キーワード：流域、河川環境評価、生物群集、空間的階層性、生態系評価手法、水理モデル

### 1. はじめに

河川環境の維持・管理、自然再生事業等の河川改修事業を行う際には、個々の事業が効果的に実行される必要がある。同じ流域で複数の事業が行われる場合には、流域レベルで各事業間の整合性をとることが必要である。また、個々の事業では、対象地区の特性（物理環境、生物群集）を流域の中で位置づけ対象地区の特性に合わせた事業を実施する必要がある。

しかし、実際の河川改修事業では、事業の目標設定・流域レベルでの整合性の検討は行われることが少ない。流域の視点から検討を行っている事例においても、概念的な検討に留まることが多く、具体的な諸元まで検討する事例は少ない。

その背景には、既往研究では、生態系を構成する主要要素（物理環境、生物群集）を流域という広域なスケールで定量的に解析する手法検討がなされていないという問題点があった。これは、技術的な問題点が大きな要因となっていると考えられる。

流域レベルでの物理環境情報取得・解析は大きな困難があった。地形情報を例にとってみても、流域のような広範囲で、地形（標高、傾斜角、土地利用特性等）を表現・解析できる情報は地図が主で空間解析を行うことは困難であった。特定の地先の詳細地形情報は、既存測量成果活用や人力による現地測

量しか方法がなかった。

生物群集情報も技術的問題点があった。河川水辺の国勢調査<sup>1)</sup>のように、広範囲でほぼ同時期に生物調査を行う事例は見られるが、流域に点在する生物群集データを体系的データとしてデータベース化されることは少なく、流域レベルでの比較を行うのは困難であった。生物群集解析では観測地点ごと生物群集データの特性を統計的に分析する手法は数多く検討されているが、それを空間データとして評価する手法の開発は遅れているのが現状である。

しかし、近年の空間データ整備は上記の問題を解決しつつある。国土数値情報の整備、生物群集調査データのデータベース化、地理情報システム（Geographic Information System : GIS）・画像解析・リモートセンシング技術の普及、衛星・航空写真測量技術の発達など流域レベルでの空間データ整備が、流域レベルでの河川環境評価を可能にすると考えられる。

既存研究では、空間データ及びその解析技術を同じ解析環境上にのせ、流域レベルでの河川環境評価に適用した研究は少ないのが現状である。

このような背景から、本研究では流域レベルでの河川環境修復評価手法に関する研究を以下のような流れで進める。2章では、既存の河川生態系評価手法から河川改修事業に適した手法の選択を行う。観

点は、物理環境と生物群集の関係性が評価しやすい手法を選択する。3章では、河川環境評価手法、GIS、レーザプロファイラ、水理計算の利用可能性を検討する。4章では、水理モデル、GIS、河川生態系評価手法を利用した生息空間評価手法を千曲川の一時的水域(ワンド・タマリ)へ適用する。5章では、GIS、水理計算を主に利用した河川環境評価システム(以下、流域システム)を提案する。6章では、千曲川の洪水敷試験掘削事例へ適用し、その可能性を評価する。

最終的には、流域の河川環境評価するシステムの提案を行い、流域レベルでの河川環境修復評価手法に関する研究を行うことを目的とする。

## 2. 生態系評価に関する研究事例の収集と土木事業に適した評価手法の選定

### 2.1 はじめに

河川生態系評価手法は、既存研究において数多く研究・開発されている。しかし、生態系評価手法は様々なものがあり、評価手法の目的、対象生物、対象とする情報は多種多様である。本研究の目的である流域レベルでの河川環境評価、特に物理環境の改変が生物群集に与える影響を評価するには、その目的に合う河川生態系評価手法を選択する必要がある。本章では、既存研究により研究・開発された生態系評価手法特性を整理するために主要な生態系評価手法を整理することを目的とする。

### 2.2 研究方法

生態系評価手法に関する研究事例を整理するために、文献調査を行った。文献調査は既存研究で開発されている生態系評価手法の整理を行った<sup>2)~15)</sup>。

### 2.3 結果

生態系評価手法は、様々なものがあり、その目的、対象生物、対象とする情報は多種多様である。簡便に生態系評価手法の特性を把握するために、主要な生態系評価手法を対象とする情報で分類したものを表1に示す。

対象とする情報により生態系評価手法は大別し

表1 主要な生態系評価手法の分類結果

対象とする情報	河川生態系の評価手法
一つ生物情報	指標生物
種の組合せ	IBI、多様性指数、Ecosystem Health
非生物情報との組合せ	HEP、PHANSIM、IFIM、HQI、WET、HIM、RHS、

て、①一つの生物種の数による指標化、②種の組み合わせ、③流量や水深といった物理情報との組み合わせ、の3つに分類される。

特性を整理すれば、①、②は生物情報だけであるので、対象区間の生物群集の特性を流域内で評価するのに適していると考えられる。③は生物種単独ではなく物理環境との関係を解析する手法であるので、河川改修事業等の物理環境改変により生態系への影響を評価をできるという点で、極めて有効な手法といえる。③の手法は物理環境の側面から単独で評価することもできるため、河川改修事業等による物理環境改変が生態系に与える影響を事前評価できるなど活用が期待される。

③に分類される中でも特に HEP(Habitat Evaluation Procedure)、PHABSIM(Physical Habitat Simulation Model)、有用な手法と考えることができる。

HEP は、1970 年代後半より、US-FWS(内務省魚獣局)により開発された手法である。その考え方の骨子は、ある生物にとっての生息場の価値は、評価対象地域の物理環境がその生物にとってどの程度適しているかという指標(生息場適性度、Habitat Suitability Index : HSI)に、その地域の面積を乗じ生息場面積(Habitat Acreage : HA)を算出するものである。HEP は主に、陸域の生息空間評価に用いることが多く、流域を対象とした評価から特定地域を対象とした評価まで多くの評価事例が実施されている。

PHABSIM は、IFIM(Instream Flow Incremental Methodology)の一部として開発されたモデルである。対象河道内の水深、流速、底質、カバーなどの物理環境に対する対象魚の成長段階ごとの生息場の適性、あるいは選好特性を示す「適性基準」および両者を用いて重みつき利用可能面積(Weighted Usable Area : WUA)を算出し物理環境の生息空間としての利用価値を評価するものである。PHABSIM は主に水域の魚類生息環境評価に用いられることが多い。PHABSIM の特徴は、水理計算結果と組み合わせ流量に対する WUA の変化を求めて流量変化にともなう水生生物に与える影響評価を行おうとすることに特徴がある。

### 2.4 考察

既存の河川生態系評価手法の中で、河川生態系評価に有用であるのは、PHABSIM、HEP と考えることができる。河川改修事業による物理環境の変化が生物

群集に与える影響を評価する場合には、物理環境と生物群集の因果関係を評価する評価手法は有力な手法であると考えられる。

しかし、PHABSIM、HEP には、河川生態系評価を行うのに問題点がある。日本の河川は一般に出水時と平水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、平水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<sup>16)</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>17) 18)</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。

もう一つの観点としては、物質循環に関しての配慮がない点である。河川に棲む生物は、河川が運搬する物質を直接取り込み、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。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。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、②物質移動の観点からは流域特性評価、としてあげられ PHABSIM、HEP の改良が必要と考えられる。

### 3. 河川環境調査手法の事例収集と評価手法の開発

#### 3.1 はじめに

本章では、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3. 2節、3. 3節に述べると共に、河川の流動解析と GIS の結合利用方法も含めて3. 4節に千曲川を対象とした評価事例を紹介する。

### 3.2 流域情報の把握と解析への GIS 利用

#### 3.2.1 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。

#### 3. 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>19)</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。

### 3.3 リモートセンシング技術を用いた河川情報取得

#### 3.3.1 レーザプロファイラによる地形情報取得

航空機搭載レーザ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ている。レーザプロファイラは、レーザーパルスを連続的に地面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>20)</sup>。

レーザ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>21)</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同程度整合していたことが示されている<sup>22)</sup>。

レーザ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。

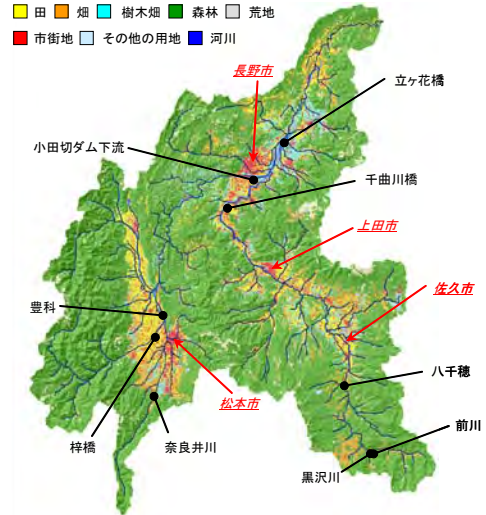
### 3.3.2 高解像度オルソフォトによる河川情報取得

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。

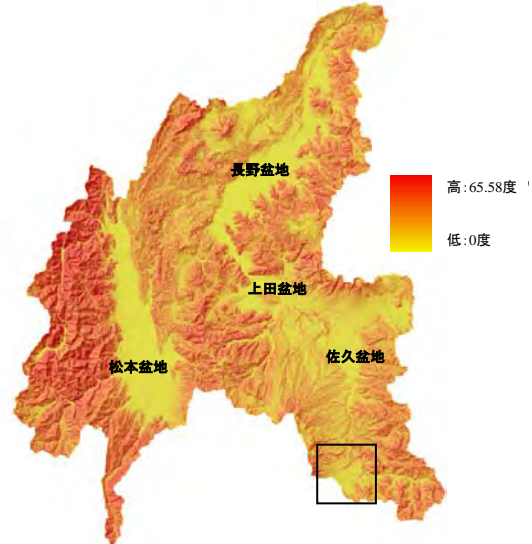
## 3.4 千曲川における適用事例

### 3.4.1 流域土地利用の解析

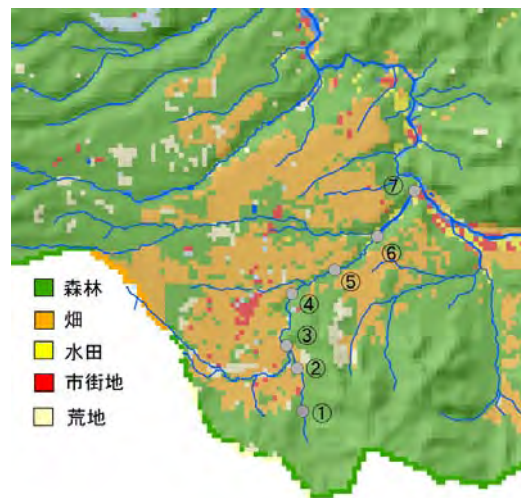
千曲川流域を対象に、国土地理院が提供している数値地図50mメッシュ（標高）データおよび100mメッシュの細分区画土地利用データをGISソフトウェアにより表示した（図—1）。流域の大部分（約72%）を森林が占めていること、水田面積が（9.4%）を占めることなどの定量的な評価もGISを利用することで容易に計算可能である。次節で述べるように流域単位での土地利用の解析は河川水質を考える上で重要な情報を提供する。



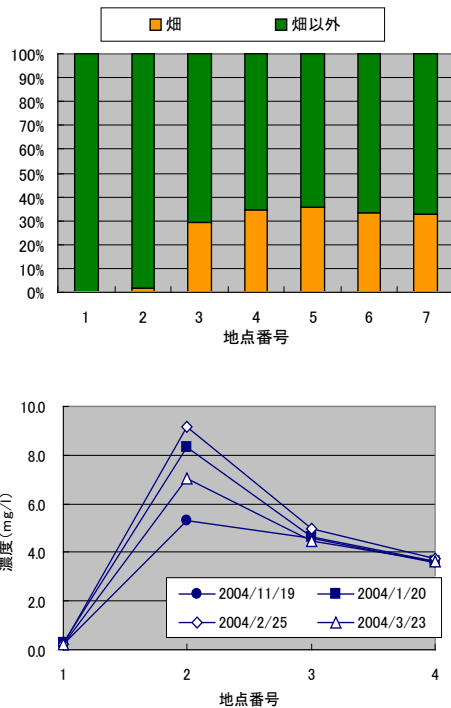
図—1 千曲川流域土地利用分布



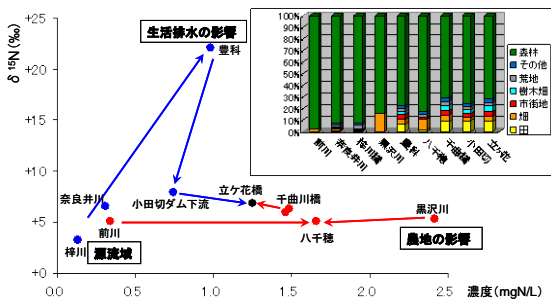
図—2 千曲川流域土地傾斜角分布



図—3 西川流域と評価地点



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

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）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。

### 3. 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—4～6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、化学肥料に多く含まれる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、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、負荷の流出解析の精度向上が進むと考えられる。

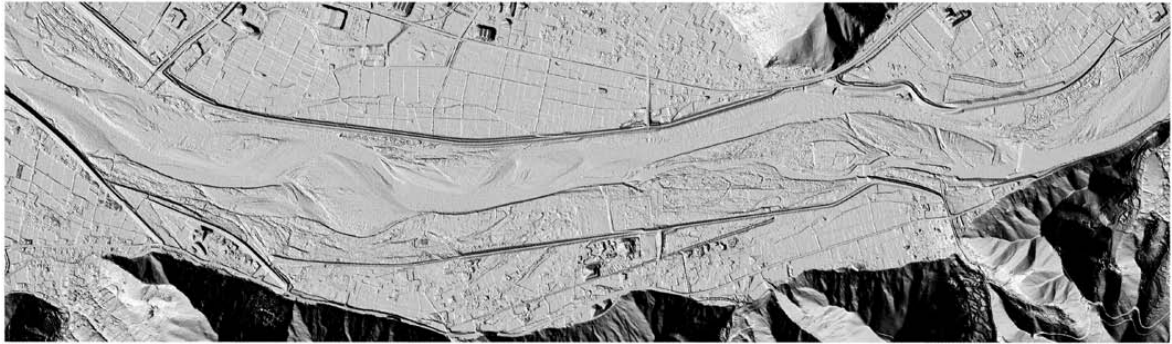
2003年8月に硝酸態窒素濃度と共にその安定同位体比を流域内の9地点（図—1）で測定した結果を図—5に示す。流域のほぼ全域が森林で占められている前川、奈良井川、梓橋の3地点では硝酸態窒素濃度は低レベルで、また安定同位体比も低い値を示



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、合成肥料に含まれる硝酸態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、硝酸態窒素濃度が黒沢川ほどは高くないものの、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。この様な場合でも、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。

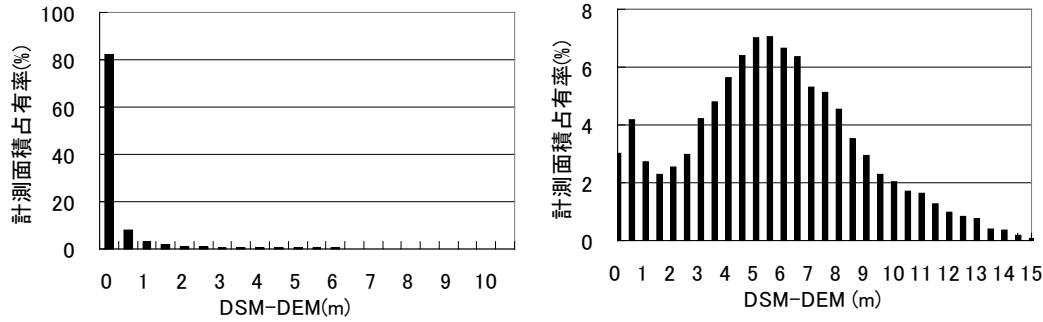
### 3. 4. 3 レーザプロファイラによる地形情報取得



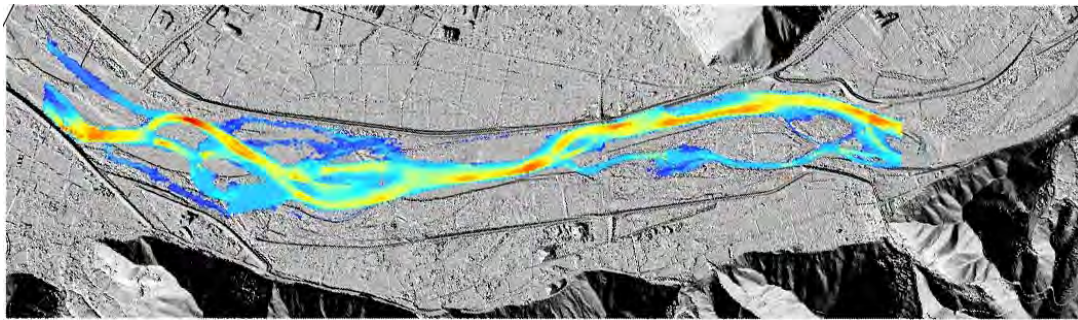
図—6 レーザプロファイラにより作成したDEM（上図）およびDSM（下図）の陰影図



図—7 高解像度デジタルカメラによるオルソフォト画像



図—8 突起物の高さの頻度分布



図—9 流動解析結果の重ね合わせ（流動解析と画像取得時は異なるため、河道とのずれがある）

2004年2月に千曲川中流の上田市近郊の鼠橋地点においてレーザ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、レーザ照射頻度 33、000Hz、スキャン角度±20°、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 (図—7)。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。

### 3. 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>21)</sup>、レーザ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) 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。裸地とハリエンジュ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。

### 3.4.5 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(図-9)、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(図-9)。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する必要がある。

## 4. PHABSIMと水理モデルを利用した一時的水域の生

## 態的機能評価

### 4.1 はじめに

2章では、河川改修事業が河川生態系に与える影響を評価する手法として物理環境と生物の因果関係を利用した河川生態評価手法である、PHABSIM、HEPが適切な手法であると結論づけた。

3章では、国土数値情報、GIS、レーザプロファイラ及び水理モデルの併用は、流域スケールから特定区間の河川環境(物理環境)まで、さまざまな空間スケールを対象に物理環境と生物群集の因果関係を分析する上で非常に有効なツールであることを示した。

2章、3章の議論を受け本章では、PHABSIMを用いて一時的水域の生態的機能(生息場提供サービス)の評価を試みる。現地調査(魚類潜水観察、物理環境)から魚類の空間選好性を評価する。その後、レーザプロファイラによる鼠橋地区の地形測量結果をGIS上で整理した。また、鼠橋地区で高頻度に生じる出水時のWUAの変化から、本流と一時的水域の魚類生息空間量の変化を記述し、本流と比較した一時的水域の生態的機能特性を評価することを目的とする。

### 4.2 研究方法

#### 4.2.1 調査地の概要

調査は信濃川水系千曲川で行った。本河川は流域面積7163km<sup>2</sup>、流路延長214kmの大河川であり甲武信ヶ岳(標高2,475m)から長野盆地を流下し新潟県境に入り信濃川と名前を変える。調査地は千曲川の中流部に位置する鼠橋付近(長野県埴科郡坂城町、E138°10′、N36°25′、以下、調査地とする)で行った(図-10)。調査地の河床は、主に礫で構成され河床波形態は複列砂州である。

調査地上流部には農業頭首工の六ヶ郷用水(取水期間4月~10月、以下、党首工)が設置され毎分2.48(m<sup>3</sup>/s)を取水した後、余水を下流側へ流下させる。その流量は調査地の流量の約20%を流下させ平均流量約10(m<sup>3</sup>/s)である<sup>2)</sup>。

調査地には一時的水域が存在する。調査時には右岸高水敷に2ヶ所、左岸高水敷に1ヶ所の一時的水域(Temporary Water Area、以下、TWA)が存在した。平水時、それぞれの一時的水域は独立しているが増水時には本流との接続が確認された。接続の頻度は左右岸の一時的水域で異なり。右岸側は毎年複数回接続した。左岸側は6年に1回程度、本流と接続し調査期間内には接続しなかった。



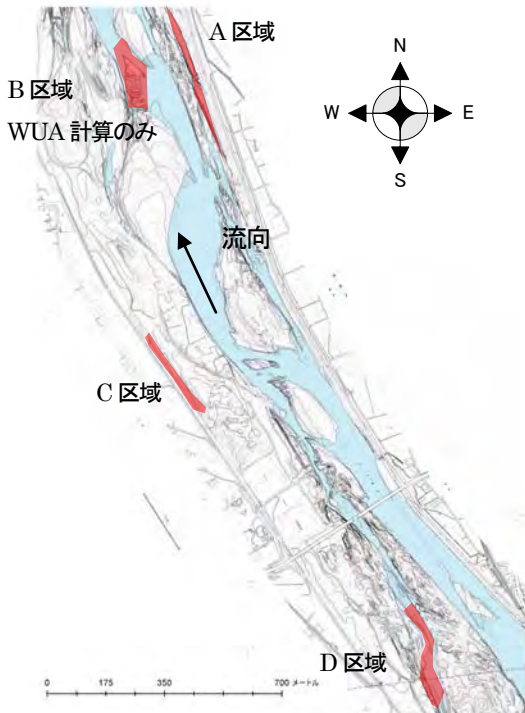


図-10 鼠橋地区の概要と調査区域

調査地内にA～Dの4つの調査区域を設けた(図-10)。A区域は接続頻度の高い右岸高水敷上の一時的水域とした。A区域の一時的水域は景観上タマリに分類される。A区域では伏流水が観測され、A区域には緩やかな水の流下が見られた。底質は礫で構成されている。

C区域は、左岸高水敷上のタマリで水深は約1m、水の流下はなく、底質はシルトで一部嫌気化が生じていた。D区域は、調査地の本流を縮小した状態で小規模な瀬、淵、トロ場がある区域を選定した。D区域は頭首工の影響を受け、調査地の流量変動の影響を受けにくく出水時のWUAが正確に評価できない可能性があった。そのため、D区域と同程度の面積であるB区域をA区域の近傍に設け、出水時のWUAの算出はB区域で行った。

調査地では本流とTWAでウグイ、オイカワ、ギンブナ、アブラハヤ、ニゴイ、モツゴを主とする10科24種の魚類が確認された<sup>23)</sup>。本流ではウグイ、オイカワが優占し、TWAではアブラハヤ、ギンブナ、トウヨシノボリ、ドジョウ、ニゴイが本流よりも多くの生息が確認された。ギンブナは本流、TWAともに生息が多数確認されている

#### 4.2.2 現地調査

魚類の生息状況は2000年7月4～8日、2000年10月10～14日に潜水観察調査により記録した。2

人1組による潜水観察調査を各調査区域内で2回繰り返した。確認した魚類は種名と体長区分別に個体数を記録した体長区分は、①30mm未満、②30～50mm未満、③50～100mm未満、④100～200mm未満、⑤200mm以上の5段階に区分した。魚類確認された地点では番号をつけた錘を置き翌日以降にGPS(Trimble、TDC2、Geo Explorer II)を併用して観察位置を記録しマークし回収した。

調査区域のマイクロスケール物理環境調査を2000年7月10～14日、10月24～27日に行った。水域内のマイクロスケールの物理環境として、水深、流速、底質、水温、及びカバーの4項目を計測した。A～D区域の縦断方向に10m間隔で設置した横断面上で、1m間隔で水深、流速、水温を計測した。流速は電磁流速計を用い計測点の平均水深で計測した。底質とカバーは空中写真判読用の校正データを現地で観測した。底質は、上述した横断面上を5m間隔で底質を観測した。0.5m×0.5m程度のコドラードを河床面上に設置し底質の構成比率を、①砂泥：2mm以下のシルト・砂、②小中礫：300mm未満の礫および③大礫：300mm以上の3つに分類し記録した。カバーは、①水中の倒流木、②河岸から張り出した樹木の根茎、その他の植生、河岸部のオーバーハングをカバーとみなし記録した。

調査区域内の底質、カバーの状況を把握するため低高度空中写真を撮影した。低高度空中写真は気球を用い、気球下部に遠隔制御可能なカメラをジャイロで固定し撮影した。撮影時期は物理環境調査時期の前後約1週間以内とし、流量の増加があった場合には撮影を取りやめ流量が安定した時期に撮影した。

#### 4.2.3 現地データの整理及びデータ解析

潜水観察調査結果(観察位置のGPSデータ)は誤差1m以下まで精度を向上させポイントデータとしてGISに格納した。ポイントデータの属性値は観測地点における魚種、個体数のデータを格納した。潜水観察結果は魚種、体長区分別に集計した。物理環境データは、流速、水温、水深、底質及びカバーを集計した。物理環境データは、流速、水温、水深、底質及びカバーでは異なる方法でGISデータを作成した。

流速、水温、水深データは、現地調査時に使用した測線及び測線上の点に座標値(世界測地系平面直角座標系8系)を与え、ポイントデータとしてGIS(ESRI社、ArcGISVer.9.0)に取り込んだ。その後、TIN(triangulated irregular network)による内挿

計算を行い面的な流速、水深分布を作成した。底質、カバーは、GIS 上に格納した低高度空中写真判読と現地校正データの併用により解析を行った。底質は、低高度空中写真上から同一のテクスチャと判読される部分をポリゴンとして記録した。判読結果は現地調査結果と比較して判読結果の妥当性を検証した。カバーは、GIS 上で低高度空中写真上を判読し、水際と判断される部分をラインで記録し水際線データを作成した。

その後、GIS で各調査区域をオーバーレイする 2m グリッドのタイルポリゴンを作成し、タイルポリゴン内の水深、流速、底質、カバー面積比率を算出した。2m グリッドの内の平均値、底質に関しては各類別の構成比率とした。カバーは 2m グリッド内の植生比率とした。

ポイントデータ化した魚類観測（魚種、体長区分、個体数）をタイルポリゴンに格納し、各タイルポリゴン上の魚類生息密度を魚種・体長別に算出した。GIS で空間解析を行い魚類生息密度と物理環境情報（水深、流速、底質、カバー）と関連付け選好曲線を作成した。物理環境情報は、流速：0.15m、水深：0.1m、底質、カバーは 10%刻みで関連づけた。魚種・体長別の魚類生息密度の最大値で各物理環境区分の密度を除し正規化し（以下、正規化魚類生息密度）、物理環境区分の密度と正規化魚類生息密度の関係を選好曲線とした。

#### 4. 2. 4 平水及び出水時の WUA の算出

(3)の b)で求めた水深、流速、底質、カバーの選好曲線をもとに、平水時の CSI (Composite Suitability Index: 合成適性値)、WUA を A、C、D 区域ごとに算出した。算出に関しては式(1a)、(1b)を用いた。

$$CSI = (SI(v) \times SI(d) \times SI(s1) \times SI(s2) \times SI(s3) \times SI(c))^{1/6} \quad (1a)$$

ここに

SI(v) : 流速に関する選好度

SI(d) : 水深に関する選好度

SI(s1) : 底質分類 1 (砂泥) に関する選好度

SI(s2) : 底質分類 2 (小中礫) に関する選好度

SI(s3) : 底質分類 3 (大礫) に関する選好度

SI(c) : 流速に関する選好度

$$WUA = \sum_i a_i (CSI)_i \quad (2a)$$

ここに

ai : 各セルの水表面積

また、各区域とも、各魚種の体長区分ごと WUA を算出した。算出した全ての WUA からレーダチャートを作成し、各魚種の体長区分ごとに WUA 変化を A、C、D 区域間で比較した。

#### 4. 2. 5 出水時の WUA の算出

調査地の出水時の流況再現を行う目的で調査地内の水理計算を行った。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、水際部の境界条件設定の自由度が高い平面 2 次元流解析プログラム<sup>26)</sup>を用いた。河床形状データは調査地の測量成果を基に内挿し流下・横断方向ともに 6m ピッチの河床高データとして整備した。

流量については、以下の条件を設定した。上流端からの供給流量データは、調査地周辺の流量観測データがないため、土木研究所が開発した流出解析モデル（以下、WEP モデル）を用い、流域の降雨量データより千曲川鼠橋地点における 1999 年 1 月 1 日～2000 年 12 月 31 日（以下、対象期間）の毎正時における流量時系列（以下、算定時系列）を計算した。計算に使用した WEP モデルは積雪・融雪による流出を考慮していないため 1 月～5 月中旬まで流量計算の精度が低い。このため流量データとしては 5 月～12 月の期間はそのまま、WEP モデルの計算結果をそのまま用いた。計算精度が低い 1 月～5 月は、調査地から最も近い生田流量観測所の実測データに生田流量観測所と調査地の流域面積比を乗じ流量を算出した。その後 WEP モデルの期間と実測データをつなぎ合わせ流量時系列を算出し、流量の発生特性を分析した。

計算流量に関しては、上流端から 10～200m<sup>3</sup>/s までは 10 m<sup>3</sup>/s 刻み、200～1800 m<sup>3</sup>/s までは 100m<sup>3</sup>/s 刻みの定常流入量を与えた。下流端水位条件に関しては、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。精度の検証に関しては、2000 年 6 月 10 日に出水時の状況を現地観測し検証した。

計算した出水時の平面流況の水深、流速から A、B 区域の WUA を各魚種の体長区分ごとに算出した。算出した全ての WUA からレーダチャートを作成し A、B 区域で比較した。

また、出水時の調査地全体の WUA を算出し、各区域内及び周辺に形成される WUA の分布及び特徴を検証

した。

### 4.3 結果

#### 4.3.1 潜水観察による魚類調査結果

表-2に潜水観察調査の結果を示す。A、C、D区域は異なる魚類群集であった。A区域は、オイカワ、アブラハヤ、ニゴイ、ギンブナが優占する魚類群集で他の種も多く確認され多様な魚類群集を形成した。C区域はドジョウ、トウヨシノボリだけの群集であった。D区域はウグイ、オイカワが圧倒的に優占する魚類群集であった。これらの魚類調査結果は、筆者らの研究による直接採捕による魚類調査結果と良好に一致した。

#### 4.3.2 マイクロスケール物理場調査結果

表-3に物理環境調査の結果を示す。A、C、D区域は異なる物理環境特性を示した。A区域は、水深は約0.35mと浅く、微流速があり、底質は主に小中礫で構成され、カバー面積は全面積の約10%であった。7、10月の間の物理環境に底質以外は大きな差がなく安定した空間であった。C区域はA区域と比較して底質が砂泥で構成されカバー面積が多いのが特徴であった。また、伏流水の影響を受け10月には水位が変動したD区域はA、C区域と比較して流速が早いのが特徴であった。A、C区域の流速がほぼ0なの

表-2 物理環境調査結果

物理環境	A		C		D		
	7月	10月	7月	10月	7月	10月	
水深(m)	0.35±0.32	0.34±0.31	0.62±0.35	0.36±0.22	0.29±0.18	0.18±0.12	
水温(°C)	21.23±0.54	21.23±0.54	22.79±2.07	18.8±0.69	21.14±0.12	17.56±0.09	
流速(m/s)	0.02±0.04	0.01±0.03	0	0	0.64±0.39	0.30±0.21	
底質(m <sup>2</sup> )	砂泥	1644.68	919.75	2892.41	1927.18	352.76	104.52
	小中礫	2794.28	3369.27	37.26	18.07	2515.61	2899.17
	大礫	237.61	252.44	3.84	11.64	778.34	349.81
カバー面積(m <sup>2</sup> )	346.76	424.35	1715.71	1346.37	70.87	81	
総面積(m <sup>2</sup> )	4676.58	4542.29	2933.52	1956.89	3461.71	3325.08	

平均値±標準偏差

に対してD区域は流速が0.3m/s以上と早いのが特徴であった。底質は、小中礫で主に構成され面積も安定していた。また、A、C区域と比較してカバー面積も少なかった。

#### 4.3.3 選好曲線の作成及びWUAの精度検証

作成した選好曲線の一例として、顕著な特徴を示したウグイ (TH)、ギンブナ (CA) の各成長段階における流速、水深に関する選好曲線を図-12、13に示す。なお、図-12、13の凡例中の数字は対象魚種の体長サイズを示す。

ウグイとギンブナは、流速に関して異なる選好性を示した。ウグイは体長区分が50以上~100mm未満までは高流速域を選好しないが、体長区分100mm以上では流速の早い空間でも選好した。ギンブナは各成長段階を通じて流速が約0.5m/s以上は選好しなかった。水深に関してウグイとギンブナは異なる

表-3 魚類の潜水観察結果

種名	記号	A					C					D					合計				
		<30	30≤BL<50	50≤BL<100	100≤BL<200	≥200	A区域合計	<30	30≤BL<50	50≤BL<100	100≤BL<200	≥200	C区域合計	<30	30≤BL<50	50≤BL<100		100≤BL<200	≥200	D区域合計	
ウナギ	AJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ギンブナ	CA	211	100	343	421	47	1122	0	0	0	0	1	0	1	1	3	3	2	0	9	1132
シマドジョウ	CB	0	14	28	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42
コイ	CC	0	0	0	2	20	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
タモロコ	GE	0	4	4	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
ニゴイ	HB	780	134	1776	24	92	2806	0	0	0	0	0	0	0	50	6	0	0	1	57	2863
ブルーギル	LM	0	0	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
アカザ	LR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ドジョウ	MA	21	15	0	1	0	37	1297	366	64	0	0	0	1727	0	0	0	0	0	0	1764
ブラックバス	MS	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
アユ	PA	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	5	1	0	8	11	
カマツカ	PE	11	21	25	12	0	69	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	5	74	
アブラハヤ	PL	1000	1560	283	62	0	2905	0	0	0	0	0	0	0	10	11	0	0	21	2926	
モツゴ	PP	20	65	63	2	0	150	0	1	0	0	0	0	1	0	0	4	0	4	155	
タイリクバラタナゴ	RO	2	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
トウヨシノボリ	RS	0	7	1	0	0	8	8658	769	3	0	0	0	9430	0	0	0	0	0	9438	
ナマズ	SA	0	0	0	1	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
ビワヒガイ	SV	0	0	18	11	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	
ウグイ	TH	20	214	462	250	19	965	0	0	0	0	0	0	0	51	606	834	69	2	1562	2527
オイカワ	ZP	17888	3645	2011	617	0	24161	0	0	0	0	0	0	0	635	5	4	6	0	650	24811
合計		19953	5781	5015	1412	183	32344	9955	1136	67	1	0	11159	741	632	861	79	3	2316	45819	

※BL: 体長 (BODY LENGTH)を示す  
※表中の数字は個体数を示す

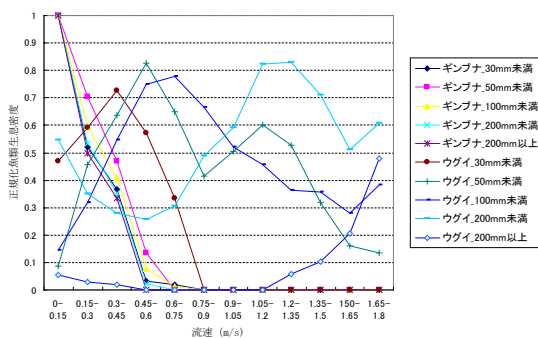


図-12 ウグイとギンブナの流速選好曲線

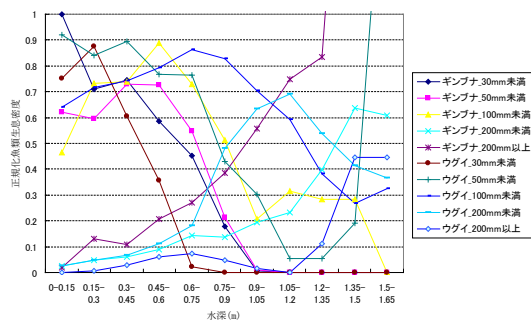


図-13 ウグイとギンブナの水深選好曲線



選好性を示した。ウグイは成長段階を通じて水深が深い箇所を選好する傾向が見られた。ギンブナは成長段階の進展とともに水深が深い場所を選好する傾向が見られた。

また、物理生息場モデルによる生息空間評価は、魚類の生息空間利用を高確率で予測し、WUA 値の大小は魚類の利用の有無と合致した結果となった。

#### 4. 3. 4 A、C、D 区域の WUA レーダチャートの比較

図-14 に A、C、D 区域の WUA レーダチャートの比較を示す。A、C 区域と D 区域では、WUA に大きな差が見られた。A、C 区域の WUA はギンブナ (CA)、ニゴイ (HB)、アブラハヤ (PL)、モツゴ (PP)、ウグイ (TH)、オイカワ (ZP)、ドジョウ (MA)、トウヨシノボリ (RS) の各体長区分で WUA 値が高かった。特に、A 区域は複数種の体長区分で WUA 値は安定して大きかった。

A 区域では、特に、ギンブナ、アブラハヤ、モツゴの体長が小さい区分まで WUA 値が大きかった。C 区域では、ドジョウ、トウヨシノボリの WUA 値が大きかった。D 区域ではウグイ、オイカワの WUA 値が他の区域と比較して大きかった。

#### 4. 3. 5 出水時の A、B 区域の WUA 比較

図-15、16 に A、B 区域の WUA レーダチャートの比較を示す。A 区域は B 区域と比較し出水時でも WUA は大きな値を示した。A 区域は、小規模な出水ならば本流と比較して多くの魚種・各体長サイズに生息可能な面積を提供していると考えられる。

#### 4. 3. 6 流量時系列と流量発生特性

図-17 に調査地の 1997 年～2000 年の流量時系列を示す。平均流量は約 66m<sup>3</sup>/s であった。200m<sup>3</sup>/s を超える回数は少なく出水時の WUA に大きな変化を示す 150 m<sup>3</sup>/s 前後の出水は、4～6 月には発生頻度が低かった。

### 4. 4 考察

#### 4. 4. 1 平水時 TWA のマイクロスケール物理場の特性が魚類生息に与える影響

WUA レーダチャートの結果は、A 区域が魚種・体長サイズ (成長段階) を問わず多くの魚類が利用できる空間が大きいことを示している。D 区域でウグイ (TH)、オイカワ (ZP) の WUA 値の大きさが目立つのに対し、A 区域の WUA は、ウグイ (TH)、オイカワ (ZP) の WUA 値が高いだけでなく、(ギンブナ)、ニゴイ (HB)、アブラハヤ (PL) の 30mm 以下、50mm 以下、モツゴ (PP) など大きな面積を示している。A、C 区域は本流との接続、干上がり等のマイクロスケ

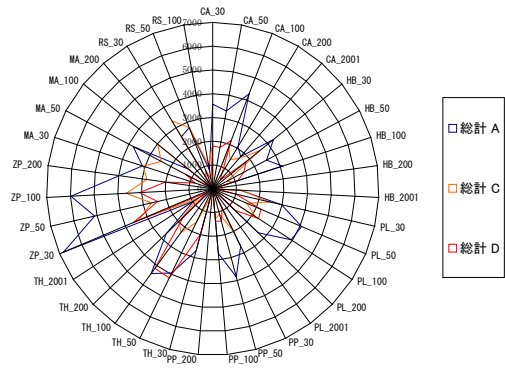


図-14 調査地全体の WUA レーダチャート

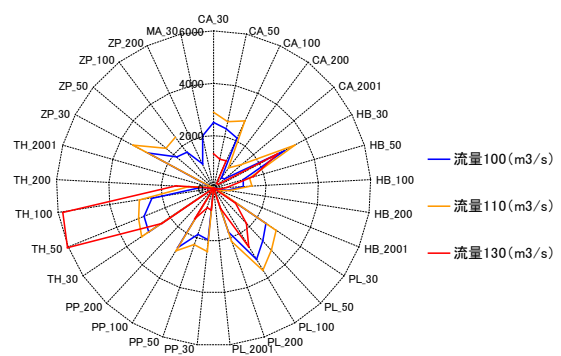


図-15 A 区域の WUA レーダチャート

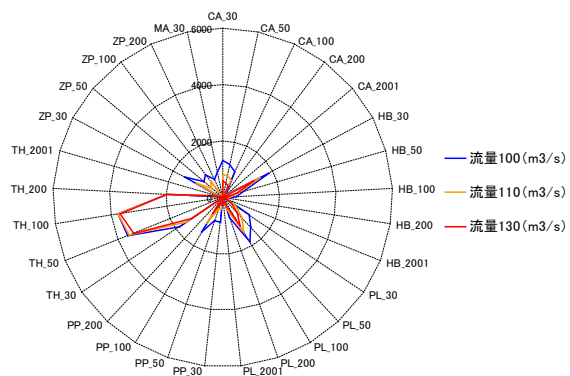
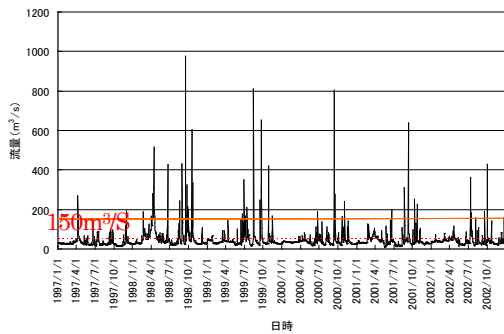


図-16 B 区域の WUA レーダチャート

レーダチャートの軸は

種名\_体長サイズで表記 種名は表-1 の記号参照

ール物理場以外の物理環境の影響を受けていると考えられるが、WUA は良好に調査区域の物理環境特性を示していると考えられる。これは、WUA の算出結果と確認される魚類は潜水観察結果 (表-3) や調査地における既往研究と良好に合致することで実証される。



図—17 調査地における流量時系列

例えば、A 区域は、ウグイ、オイカワだけでなくモツゴ、アブラハヤのような流速が遅い場所を選好する種や各種の体長区分が小さい魚類が多く確認され A 区域は魚種の定着、仔魚・稚魚の再生産の場としてバランスのとれた物理環境特性を持つといえる。A 区域の物理環境特性のうち、魚種の定着には大きな影響を与えているのは流速であると考えられる。

図—12のように、ウグイ・オイカワ以外の魚種の流速に対する選好曲線は、流速の増加とともに正規化個体密度が急激に減少する特性があり、流速が大きい空間は選好しない傾向となった。この選好性の違いが A 区域と D 区域の WUA レーダチャートに大きな差が生じさせ WUA レーダチャートに違いとなったと考えられる。

また、A 区域では、水深・水温が長期間安定している点も魚類生息に大きな影響を与えたと考えられる(表—3)。A 区域では、砂州からの伏流水により安定した水深・水温が保たれている。水域の急激な変化がなく水温が長期間を通して一定であることは移動能力が小さく成長段階にある仔魚・稚魚にとって有利に働く。水位が安定していれば、突然の水位低下で干上がる場所に仔魚・稚魚が取り残される可能性も低く、水温が安定していれば仔魚・稚魚の成長も安定すると考えられる。この点でも A 区域は幅広い魚種・成長段階)に生息空間を提供する特性を持っているといえる。それに対し、C・D 区域では水深・水温ともに変動が激しく C・D 区域の物理環境特性に適応できる魚種だけが生存できる空間と考えることができる。

A 区域のような一時的な水域に多様な魚種の多様な体長サイズの個体が定着できるのは、流速が遅い空間が形成され安定した水域が、適度な伏流水の涵養により維持されるためと考えられる。

#### 4. 4. 2 出水時マイクロスケール物理場の特性が魚類生息に与える影響

A, B 区域の WUA レーダチャートは大きな違いを示

した。A 区域は流量 130m<sup>3</sup>/s まで流量を増加しても安定した WUA 値を示すのに対し B 区域では 130m<sup>3</sup>/s で WUA 値がほぼゼロになる種も存在する。つまり、A 区域は、B 区域と比較して流量変動が生じても少なくとも 130m<sup>3</sup>/s までは安定して WUA を提供できる機能を持ち、多様な魚種・成長段階の魚類生息環境とし安定した状態を保つと考えられる。

流量の発生頻度からも、A 区域の生息空間としての安定性を把握することが出来る。調査地では 150m<sup>3</sup>/s 以上の流量発生頻度は低いことがわかる(図—17)。特に 4~6 月の魚類の再生産に重要な時期には 200m<sup>3</sup>/s 以上の出水時が発生することは 7~10 月以降に比べて少ない。A 区域を仔魚・稚魚の生育場として考えた場合、A 区域は極めて安定した魚類の生育場として機能することが期待される。

## 5. 河川環境評価のための流域 GIS の提案

### 5. 1 はじめに

2、3、4 章では、既存河川生態系評価手法の整理、河川環境評価手法の事例収集、水理モデルを利用した PHABSIM の適用を行い、流域システムを構成するサブシステムの概要を整理した。本章では、各章で取り上げた事例を整理し、流域システムの概要を提案する。

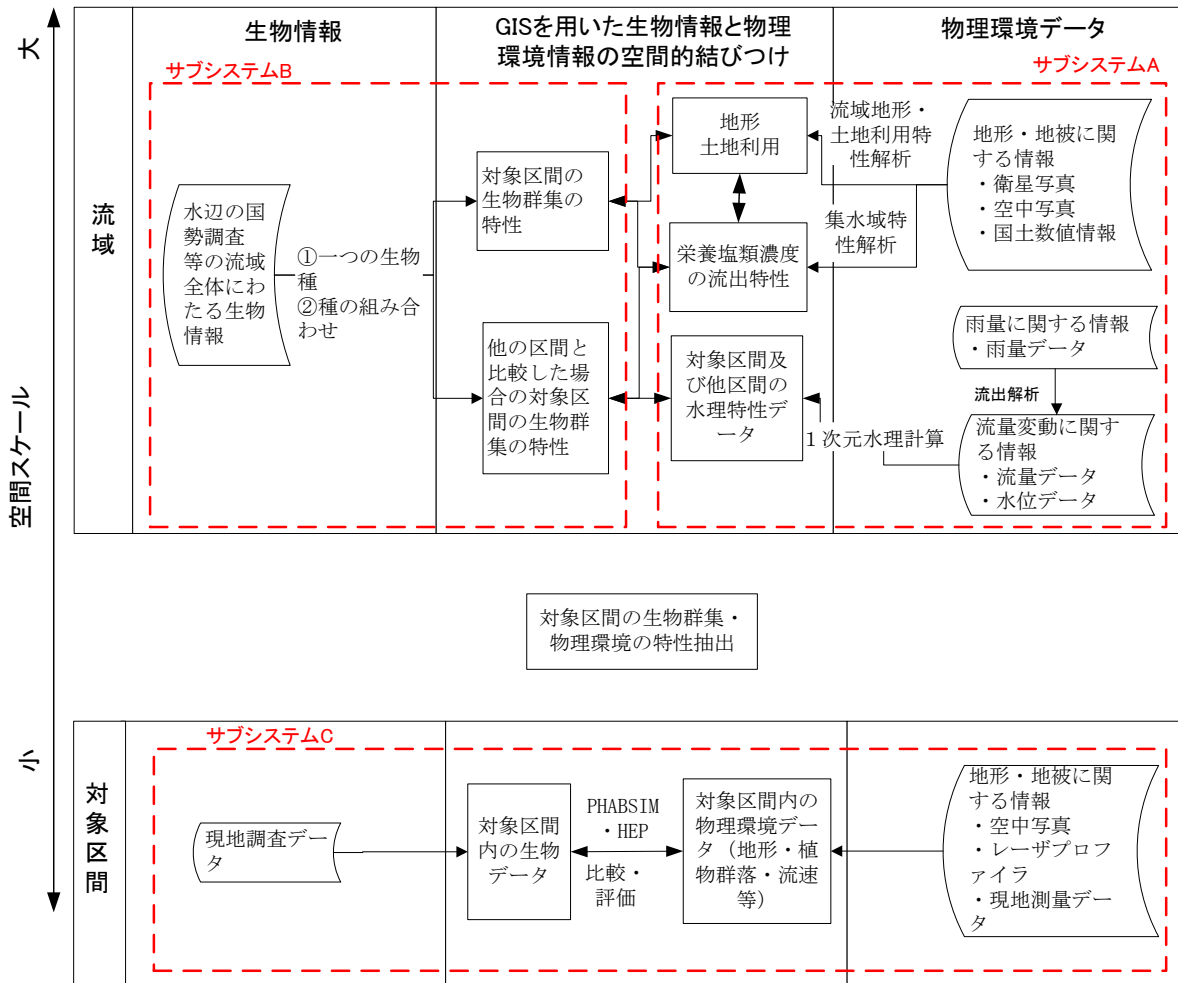
### 5. 2 流域システムの提案

図—18に本研究で提案する流域 GIS を示す。流域 GIS は、生物情報、物理環境情報を図—18 中央部の GIS 部分で空間情報として結びつけるシステムとなっている。異なる空間スケールのデータを同一のプラットフォーム上で扱える GIS の利点を最大限に活かすのが特徴である。解析の流れに従いシステムの概要を説明する。

#### 5. 2. 1 流域スケールからみた対象区間の特性抽出機能

河川事業等の対象となる対象区間が決まったときに、図—18の流域の空間スケールのシステムが対象区間の特性(物理環境、生物)を抽出する役割を担う。

物理環境情報の特性は、サブシステム A が解析を行う。対象区間が属する河川流域(以下、流域)をサブシステム A で解析し、最終的には特定区間が属する流域の地形・土地利用特性、栄養塩類濃度の流出特性、対象区間周辺の水理特性データを出力することになる。サブシステム A は、主に 3 章で説明した流域地形の土地利用特性の解析を行うことができ、



図一18 本研究で提案する流域システム図の概要

流域の特定、流域内地形形状、土地利用特性等の解析が行える。流域の特定後、流域内にある雨量観測所の位置・観測情報の空間データをGIS上で解析し流出解析を行う。土地利用特性と併用をすれば、概略の栄養塩類量を予測することができると考えられる。更に流出解析により、特定区間周辺の流量時系列データを推定することができる。このことにより、直轄区間以外では十分なデータがそろわない区間の流量時系列データを得ることが可能になる。流量データは、流域レベルでの1次元水理計算（不等流・不定流計算）の流入量データ等として活用され、流域スケールでみた場合の、対象区間の水理特性を把握することが可能となる。

サブシステムBは、対象区間の特性を生物群集の面から解析する。2章で整理した指標のうち、一つの種による指標である指標生物やIBI、多様性指数などを利用し対象区間の生物群集特性、他の区間と比較した場合の生物群集特性の解析を行う。

サブシステムA、Bの解析結果を対応させ、対象区

間の物理環境特性（地形・水理）、栄養塩類濃度の流出特性と対象区間の生物群集の特性を抽出し、河川改修・河川生態系保全の方針を概略で決めていく機能を持つ上位システムとなる。

### 5.2.2 対象区間における物理環境変化と生物群集の応答評価・予測機能

サブシステムA、Bによる抽出された対象区間の特性から、サブシステムCではレーザープロファイラや現地測量から得た対象区間内の物理環境特性が対象区間内の生物群集の生息状況の関係性を評価する。この解析により得られた因果関係（例えば、PHABSIMの選考曲線）を用いて、対象区間の物理環境特性の変化が生物群集の生息環境にどのような影響を与えるかを評価する予測が可能となると考えられる。

更にサブシステムCで予測した物理環境変化と生物群集の応答の予測・検証結果を流域という空間スケールで検証しなおし、流域内での位置づけとして妥当な物理環境・生物群集に維持されるかを検証しなおすことも可能になると考えられる。



## 6. HEP を用いた粟佐地区の試験掘削が植物群落に与えた影響評価

### 6. 1 はじめに

5章では、河川環境評価のための流域システムの提案を行った。本研究で提案する流域システムが、真に河川環境評価に適用されるためには、3～4章までで対象とした鼠橋地区・魚類群集だけでなく、他の事例に流域システムを適用し、その有用性を検証することが必要である。

このような背景から本章では、鼠橋地区の下流、約15kmに位置する粟佐地区(長野県千曲市近郊粟佐地先、以下、調査地)の高水敷掘削事業に流域システムを適用し、その有用性を検証する。特に、問題が顕在化している外来種、特に、高水敷切り下げがオオブタクサの生与える影響をHEPで評価した事例を通じて流域システムの有用性を検証することを目的とする。

### 6. 2 研究の方法

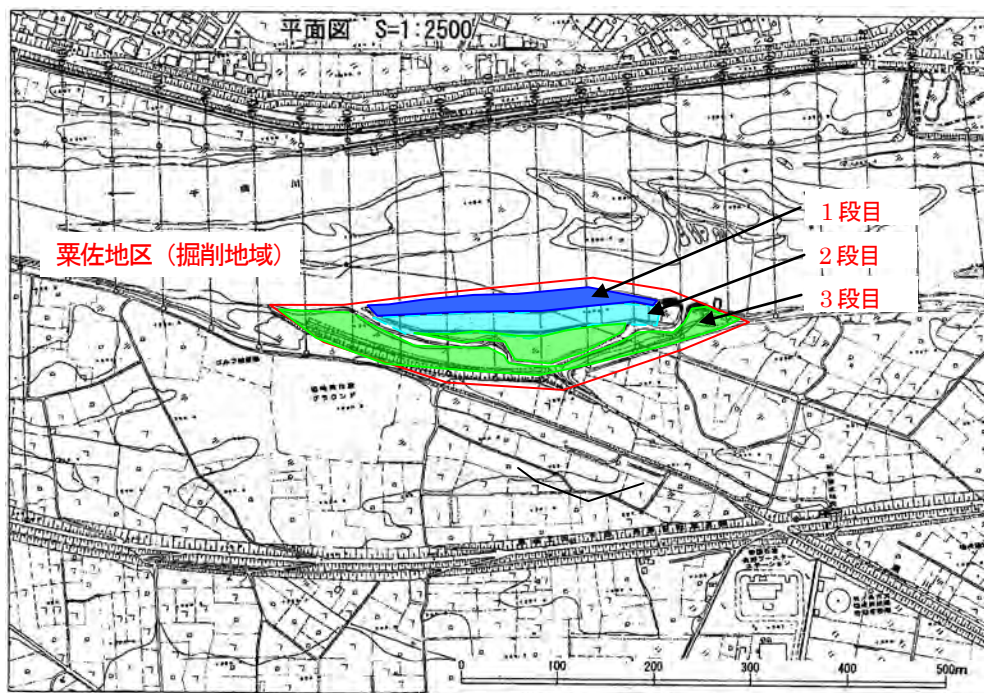
#### 6. 2. 1 粟佐地区と試験掘削の概要

調査地は千曲川中下流部に位置する粟佐橋付近(長野県千曲市、E 138° 07′、N36° 32′、以下、粟佐地区とする)で行った(図一19)。調査地の平均河床勾配は1/1000程度、河床材料は主に小礫・砂・泥(代表粒径40mm)で構成される。河床波形態は複列砂州と交互砂州の混在領域である。



図一19 粟佐地区の概要

平均河床高、最新河床高の経年変化は小さく安定した区間といえる。近年の空中写真からも調査地及び周辺の砂州平面形状は大規模な変化はない。そのため、河川の滞筋が固定化し、複数年に1回生じる大規模な



図一20 試験掘削の概要

洪水時しか高水敷上に冠水はない。冠水頻度の減少とともに、河道内の植物群落繁茂が進行し、植物群落の多様性の低下が指摘されている。また、外来種（アレチウリ・オオブタクサ等）の侵入が著しい地区で、良好な河川環境を保全する上では多くの問題を抱える地域である。治水面では、調査地から下流15km区間では、土砂堆積が進み流下能力が不足し、大規模な出水時には氾濫が危惧される地区である。

このため、北陸地方整備局千曲川河川事務所及び河川生態学術研究会千曲川グループでは、調査地周辺の環境・治水問題を改善するために、河道内掘削を計画・実施している。環境・治水両面の問題を解決するには、河道内の土砂堆積により冠水頻度が著しく減少した高水敷を切り下げ、出水時の流下能力不足を解消すると同時に、河川生態系の特徴である出水時の攪乱を取り戻すという計画である。

図一20に調査地の掘削の概要を示す。調査区内を3段に切り下げた。1段目は、主に礫河原、湿潤環境の形成・維持を期待した常に冠水する高さとした。2段目は、年間の約185日が冠水する高さ（平水位）とした。3段目は、外来種の侵入・繁茂を防止を目的として、最低年1回は、冠水する高さとした。

### 6. 2. 2 流域内での粟佐地区の水理特性抽出

千曲川流域内での調査地の水理特性を把握することを目的に、準2次元不等流計算を実施した。平成17年度測量横断面図をもとに0.5kmごとに計算断面を作成し千曲川直轄区間70～109kmまでを計算区間とした。杭瀬下流量観測所で、流量、500、1000、1500、2000、4000、6000、8000 (m<sup>3</sup>/s) となる流量を千曲川計算領域の上流端から流し、出水時の水面勾配、断面平均流速を算出した。また、調査地の特性を評価するために、鼠橋地区の計算結果と比較し、その特性を把握した。

### 6. 2. 3 試験掘削後の粟佐地区の平面流況の推定

調査区の出水時の流況を再現し、調査区内の冠水頻度、冠水時の流速、水深、底面せん断力の算定を行う目的で水理計算を行った。使用したプログラムに関しては、4. 2. 4 の水理計算部と同じ方法を用いた。ただし、上流端の流入流量は、杭瀬下流量観測所の水位流量曲線から流量時系列データを計算し、その流量時系列データを用いた。

### 6. 2. 4 現地データの GIS への格納

調査地の掘削前後、大規模出水後の植物群落の変化を把握する目的で、信州大学理学部物質循環学科島野助教授が現地調査で取得したデータ及び解析結果を参考にした。島野助教授の植物群落調査は、2007年4

～10月の6ヶ月間実施され、調査地内に約15地点の調査地点を設定している。各調査地点には1×1mのコドロードを設定し、コドロード内の種数、被度、群度を測定した。また、調査地で植物群落の定着状況を把握するために設定された傾斜地上に30地点のコドロードを設置し、コドロード内の種数、被度、群度を測定している。

調査地で得た植物群落データを地理情報システム (ESRI社、ArcGIS Ver9.0、以下、GIS) へ格納した。掘削直後、大規模出水後の調査地の地形を千曲川河川事務所が測量データをもとにGISの内挿計算機能を用いて作成した。調査地内の調査地点にポイントを作成し植物調査データ（種の在不在、被度、群度）をポイントの属性情報として格納した。

また、HEP計算を行うために1つのポリゴンが6×6mの面積のタイルポリゴンを調査地域をカバーするように発生させ、HEPのスコアを各タイルポリゴンに格納した。HEPの計算手順は、6. 2. 5項以降に後述する。

### 6. 2. 5 HEPによる物理環境とオオブタクサ生息に関する関係性の把握

6. 2. 4で作成したGISデータを用いて、オオブタクサが確認された調査地点を抽出した。オオブタクサの確認に関しては、調査地点で1個体でも確認された箇所は、オオブタクサが成育し得る物理環境特性を持っていると考えて抽出した。

オオブタクサが1個体以上確認された地点の物理環境特性から適正指数 (Suitability Index : SI、以下、SI) を算出した。SIはHEPで用いられるパラメータで、物理環境変化と適正指数の関係を図化したものである。本研究では、適正指数としてオオブタクサの確認地点数とした。SIを作成した物理環境は、調査期間内の冠水日数、調査期間中の冠水時の最大流速(以下、流速)、調査期間中の平均水面標高と調査地点の標高差(以下、比高差)を選定した。適正指数と物理環境との関係性を評価するため、物理環境データを一定区間で区切り頻度分布図を作成した。計算上の扱い易さを目的として頻度分布図の最大値で頻度分布図を除外し最大値を1とした。

冠水日数の区間は、0～6日、7～62日、63日以上3区分とした。流速は0.2m区切りとし、5つの区分に分類した。比高は、流速は0.5m区切りとし、9つの区分に分類した。

次に、ハビタット適正指数 HSI (Habitat Suitability Index) 及びHU (Habitat Unit) を作成



した。上記で求めたSIをもとにして、HSIを求めた。HSIはSI同様、HEPで用いられるパラメータで生物の生息に影響を与えると考えられる物理環境の適正指数を掛け合わせ一つのパラメータとした指数である。HSIの計算手法は対象とする生物、研究目的により多くの種類が提案されているが、本研究では以下の計算式を用いる。

$$HSI = (SI(ff) \times SI(h) \times SI(V))^{1/3}$$

ここに

SI(ff) : 冠水頻度に関する適正指数

SI(h) : 比高差に関する適正指数

SI(V) : 流速に関する適正指数

HSIに面積を乗じて各「生息域単位」(Habitat Unit : HU) を算出し(2)項で作成したタイルポリゴンに格納し、オオブタクサの生息状況と比較した。

$$HU = \sum a_i (HSI)_i$$

ここに

ai : 各セルの水表面積

### 6. 3 結果

#### 6. 3. 1 流域内での栗佐地区の特性抽出

準2次元不等流計算の結果、栗佐地区は出水時に水面勾配が急変する区間であった。鼠橋地区と比較すると、栗佐地区は水面勾配が変化する変化点の最上流部

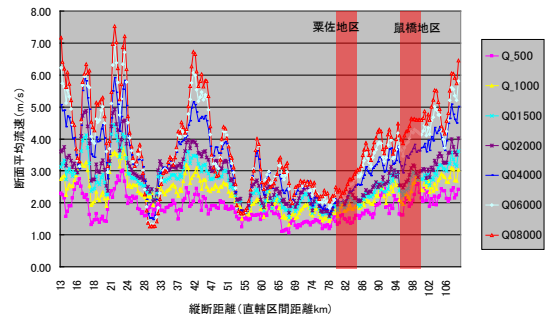
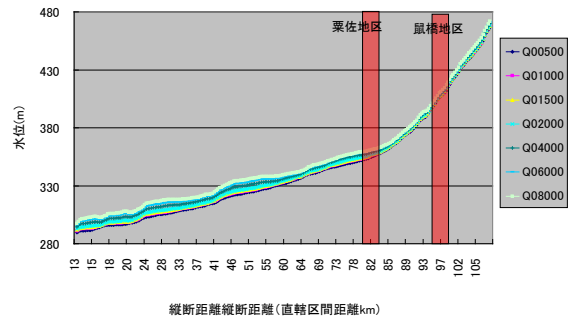


図-2 1 準2次元不等流計算結果の概要

にあたり上流から流下してきた土砂等の流下物が急激な流速減少に伴い堆積する可能性が高いことが明らかとなった(図-2 1)。断面平均流速も同様に全ての流量ケースで栗佐地区周辺で、流速が急激に減少した。特に、流量8000 (m<sup>3</sup>/s) では、鼠橋地区が流速5 (m/s) であるのに対し、栗佐地区では3 (m/s) と急激に流速が減少した。栗佐地区は、出水時、上流から供給された流下物堆積する傾向が強い箇所である

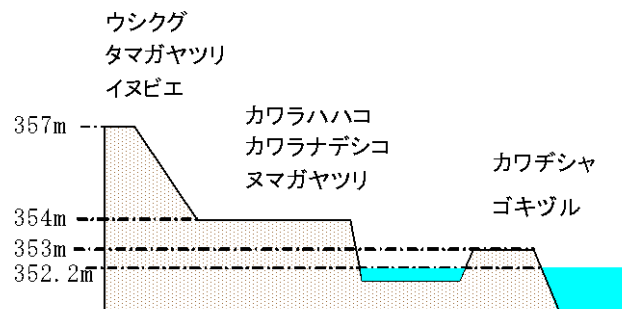
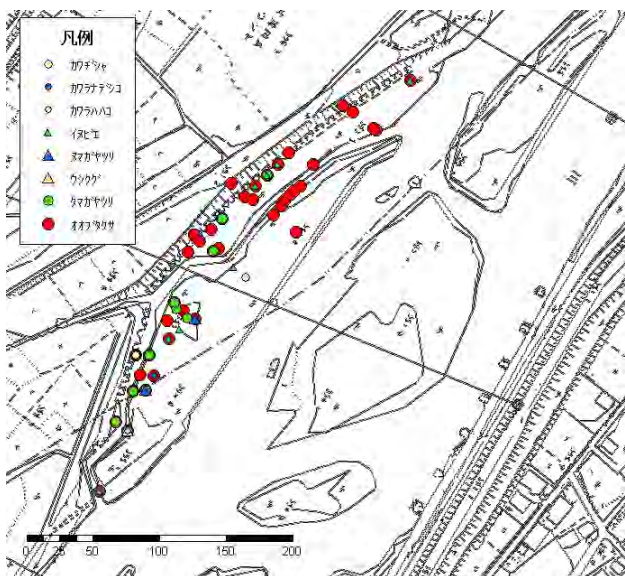


図-2 2 試験掘削後の栗佐地区植物群落変化



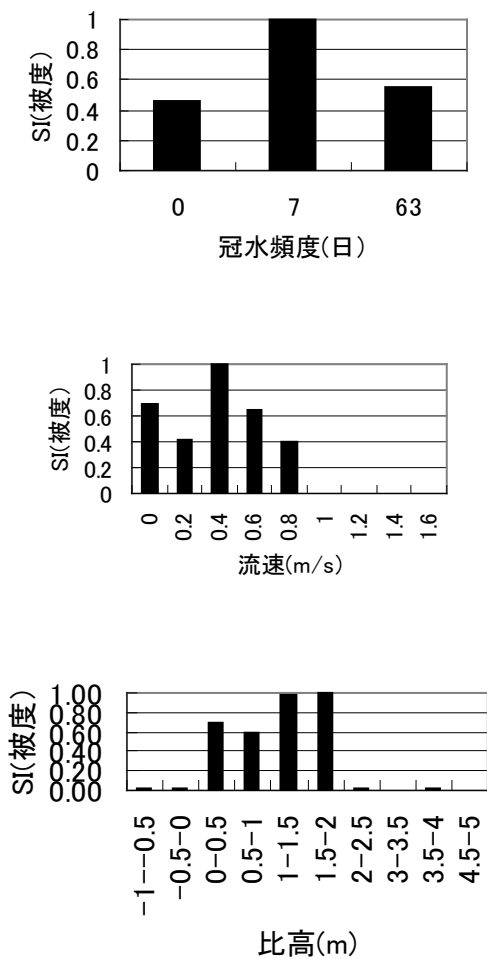


図-23 オオブタクサの選好度

こと、数～十数年の時間スケールでは砂州等の河道内微地形は大きく変化する傾向にない特性を持つと考えられる。

### 6.3.2 HEPを用いた粟佐地区の試験掘削が植物群落に与えた影響評価

試験掘削後、植物群落の構成は大きく変化した。掘削面では埋土種子の発芽により掘削前とほぼ同様の植物組成が回復したものの、水際には河川より流下した種子により水辺本来の植物、失われつつある水田雑草（ウシクグ、イヌビエ、タマガヤツリ）、また、稀少種（カワヂシャ、ゴギゾル）などが確認された（図-22）。さらに、河川特有の植物（カワラナデシコ、カワラハハコ、ヌマガヤツリ等）が数少ないながらも確認された。

掘削後の7日に起きた大規模出水により、粟佐地区の地形・植物群落は変化した、物理環境の多様性等は維持され大きな変化は見られなかった。

### 6.3.3 HEPによる粟佐地区の河道掘削が外来種生

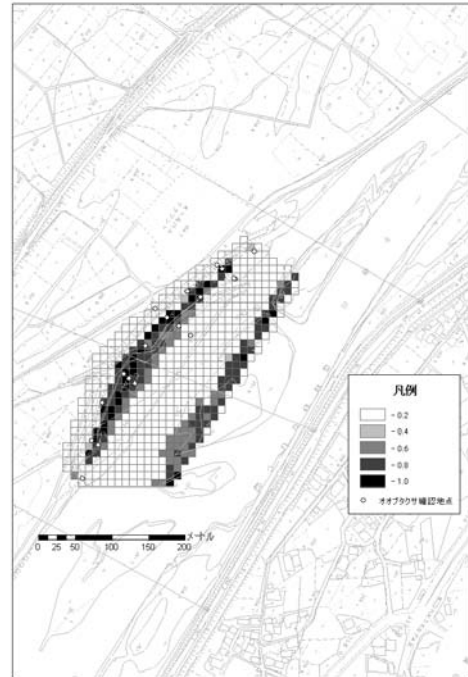


図-24 HUによるオオブタクサの生息適地と実際のオオブタクサの生息状況

### 息に与えた影響評価

SIによるオオブタクサの選好度を下記に示した（図-23）。オオブタクサの生息適地は、冠水頻度が7～62日までの箇所であり、冠水頻度が多くなるに従い生息適地が減少傾向にあった。また、オオブタクサの生息適地は流速0.8m/s以上の箇所では生息適地とならず、0.4m/s程度のところに最適地があった。さらに、オオブタクサの生息適地は、比高差約0～2mの範囲にあり、1～2m程度のところに最適地があった。

HUによるオオブタクサの生息適地と実際のオオブタクサの生息状況との比較を示す（図-24）。HEPによる採点が大きかった箇所とオオブタクサの生息状況は概ね一致し、オオブタクサの選好度をHEPはよくあらわしていることを示している。

## 6.4 考察

### 6.4.1 粟佐地区の河道掘削が植物群落に与えた影響

粟佐地区は、流域の中で考えると土砂を始め多くの物質が堆積する箇所であるといえる（図-20）。また、砂州が固定化し移動しない場所であるといえる。つまり人為的に変化を起こさないと河道内地形等の変化が生じにくい場所と考えることが出来る。

粟佐地区が、高水敷化による生物群集多様性の低

下や外来種進入・定着・繁殖の問題等、河川環境問題を抱えていない場合には、人為的に変化を起こさなくても良いかもしれない。しかし、栗佐地区は他の河川でも問題になっている種々の河川環境問題を抱えているのが現状である。何らかの人為的地形改変を行い、冠水頻度の変化等の変化を生じさせる必要がある場所である。

今回行った試験掘削は、本章で取り扱った植物群落の変化に良い変化傾向が見られる。失われつつある水田雑草、稀少種、河川特有の植物が数少ないながらも確認された(図-22)。これらの変化は、高水敷の掘削により冠水頻度、湿潤な環境等の物理環境変化が大きく作用し、今回の高水敷の切り下げは物理環境のシステムを変更する上で大きな意味を持ったと考えられる。

また、オオブタクサの生息確認箇所の現象と物理環境との関係性がHEPにより確認された。オオブタクサの生息適地の減少は、冠水頻度の増加によるものが大きく(図-23、図-24)、掘削なしでは今回のようなオオブタクサの生息適地の減少は起こりえず、外来種の生息適地減少という面でも高水敷の切り下げは大きな意味を持ったと考えられる。

#### 6.4.2 今後の栗佐地区の植物群落の変化予測

河川生態系を考える上で、物理環境と生物群集の多様性が長期に渡り保たれるかは、言い換えれば「持続可能」であるかは、重要なキーワードとなる。

流域の中での栗佐地区は堆積傾向が顕著になる場所である(図-21)。長期間にわたり何度も冠水した場合、掘削した箇所に土砂が堆積して河道内地形が変化し、再度、試験掘削区間の標高が高くなる等の物理環境変化が生じる可能性がある。また、シルト・細粒分が堆積し、礫河原を選好する河原特有の生物の生息域が減少する可能性もある。物理環境が著しく変化し、生物群集の多様性が維持されないような条件になった場合には、再度掘削を行うなどの処置を施す必要がある。

そのためには、現地測量等の継続的なモニタリングをするとともに、河床変動計算のような地形変化予測技術を開発・適用し、栗佐地区に高頻度で見られる出水で試験掘削区間の地形が変化していくのかを定量的に分析していく必要がある。植物群落に関しては、陸域からの外来種の再進入は不安な要素であり、植物群落に関しても継続的なモニタリングを行う必要がある。また、物理環境と植物群落の因果関係の把握をHEPのような物理環境のパラメータが

入った定量的予測手法を導入し検討すると同時に、試験掘削面の形状・標高がどの程度変化した場合に大きなシステム変更が生じるかを検証し、再掘削を検証し始める閾値を設定するような検討手法が必要になると考えられる。

#### 6.3 流域システムの実用性

本章では、提案した流域システムを用いて、物理環境データ(地形特性、水理特性)を主に用いて対象区間の物理環境特性を抽出した。生物情報は、既存の植物群落データを利用し植物群落の多様性低下、外来生物の侵入の問題を抽出した。このことにより、調査地区は千曲川において出水時の攪乱・冠水が他の地域に比べて低く、外来種であるオオブタクサが繁殖しやすい特性があることが把握できた。また、調査地の高水敷の切り下げによる物理環境変化がオオブタクサの生息適地を減少させることが明らかになった。

多種多様な生物・物理情報を空間データとして扱い、GISという同一プラットフォーム上で検討できることである。環境分野へのGIS利用は進展しているが、生物・物理環境情報を一元的に管理・解析できるシステムは少なかった。流域システムを用いることにより、より、効率的に流域レベルから見た河川環境評価が行われると考えられる。

次に、流域システムは、GISを活用し、「階層」という地図・図面だけでは把握できないシステムを考慮するのに適している。河川改修の対象区間が、流域の生物・物理環境情報からどのような特性持つのかをより、定量的に把握することができる。栗佐地区では、河道内微地形の変化が少なく、土砂堆積の傾向が激しい区間であることが定量的に把握できる。このような特性が明らかになれば、河川改修計画段階から栗佐地区の定期的掘削が必要なこと、上流からの外来種移入の可能性が高いことなどが、事前に予測できる利点がある

#### 参考文献

- 1) 建設省河川局河川環境課：平成9年度版河川水辺の国勢調査マニュアル、財団法人リバーフロント整備センター、1997
- 2) 傳田正利、天野邦彦、辻本哲郎：魚類行動自動追跡システムの開発と実用性の検証、河川技術論文集、第11巻、pp459-464、2005
- 3) 関根雅彦：生物生息環境の影響評価手法、水環境学会誌、Vol. 25、pp379-384、2002

- 4) 矢原顕一・鷺谷いづみ：保全生態学入門、文一総合出版、1996
- 5) リチャード B プリマック・小堀洋美：保全生物学の進め、文一総合出版、1997
- 6) 木元新作：集団生物学概説、共立出版、1993
- 7) 松田裕之：環境生物学概説、共立出版、2000
- 8) Costanza, R. : Toward an operational definition of ecosystem health. In Ecosystem Health : New Goal for Environment Management, eds, R. Constanza, B. G Norton and B. D. Norton and B. D Haskell, pp. 239-256, Island Press, Washington, D. C., 1992
- 9) 田中章：生態系評価システムとしての HEP、「環境アセスメントここが変わる」、pp. 81-96、環境技術研究会、大阪、1998
- 10) Clair Stalnaker, Berton L. Lamb, Jim Henriken, Ken Bovee, Jone Bartholow : The instream flow incremental methodology; A primer of IFIM, National Ecological Research Center, National Biological Service, 1994.
- 11) Karr, J.R. : Assessment of Biotic Integrity (IBI) Using Fish communities, Fisheries, Vol. 6, No. 6, pp. 21-27. 1981.
- 12) Lyons, J. ; Using the Index of Biotic Integrity (IBI) to Measure Environment Quality in Warm water Stream of Wisconsin, North Central Forest Experiment Stations, Forest Service - U.S. Department of Agriculture, 1992
- 13) Steedman, R. J. : Modification and Assessment of Index of Biotic Integrity to Quantify Stream Quality in Southern Ontario, Canadian Journal of fisheries and Aquatic Science, Vol. 45, pp492-501, 1998
- 14) Koizumi, N., Matumiya, Y. and Wada, T. : Statistical Studies on Biological Indices of Japanese Sardine, Nippon Suisan, Gakkaishi: Vol. 59, No. 5, pp753-763, 1993
- 15) 森下郁子・森下雅子・森下依理子：川の H の条件—陸水生生態学からの提言、山海堂、2000
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 清水義彦、長田健吾、金文姫：礫河川における近年の洪水攪乱と植生破壊に規模に関する考察、河川技術論文集、v. 9、pp. 377-382、2003.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) 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.
- 22) 河川生態学術研究会千曲川グループ：千曲川の総合研究—鼠橋地区を中心として—、pp221-225, (財)リバーフロント整備センター、2001
- 23) 傳田正利、天野邦彦、辻本哲郎：一時的水域の魚類群集多様性向上への寄与とそれを支える物理的環境に関する研究、土木学会論文集G Vol. 62 No. 3, 2006



## A STUDY ABOUT EVALUATION METHODS FOR RESTORATION OF RIVER ENVIRONMENT IN RIVER BASIN LEVEL

**Key words:** basin scale, river environment, river environment restoration , assessment methods, GIS

To restore river environment effectively and consentaneously in river basins scale, assessment methods and systems for river environment restoration in basin scale are necessary. In this study, we developed assessment methods and system which connect index of river ecosystem, river hydrodynamics and Geographic Information System (GIS).

We succeeded to develop a system which can analyze biological community characteristic, physical environment characteristic and their relationship using GIS. The system had functions which extract characteristics of environment restoration section and verify restoration plans.

To verify system function, we applied the system to river terrace excavation project which are carried out in Chikuma river. The result of verification indicated the validity of the system. The system which was proposed seems useful tool when river environment restoration were planed and assessed.

