

## I-16 河川環境におけるインパクト・レスポンスに関する調査

研究予算：運営費交付金（治水勘定）  
 研究期間：平 13～平 17  
 担当チーム：河川生態チーム、自然共生センター  
 研究担当者：天野邦彦、萱場祐一、皆川朋子、  
 村岡敬子、中村圭吾、傳田正利、大石哲也

### 【要旨】

自然環境の保全に対する関心が高まる中、河川事業においても事業に伴う自然環境へのインパクトの回避・低減および劣化した自然環境の復元に対する要請が高まっている。本研究は、河川管理に伴う物理的なインパクトの影響を最小限に抑えるために、河川事業が自然環境に与える影響の予測手法を得ることを目標に実施しているものである。①捷水路が魚類・河道植生に与える影響の解明および回避・低減手法の提案、②減水区間における維持流量の増加が魚類生息環境に及ぼす影響の解明、③河道改修などに起因する濁水の発生が魚類に与える影響の解明、④高水敷切り下げによる生息環境予測手法の提案について検討した。

キーワード：インパクトレスポンス、国土技術研究会、自然再生事業、河川

### 1. はじめに

自然環境の保全に対する関心が高まる中、河川事業においても事業に伴う自然環境へのインパクトの回避・低減および劣化した自然環境の復元に対する要請が高まっている。河川管理に伴う物理的なインパクトは、河川に生息する生物に直接的または間接的に影響を及ぼす。例えば、捷水路の工事に伴う河道勾配の変化は、工事を及ぼした区間のみならず、水の流れが急変するため、河床材料・瀬や淵などの河床の構造を変化させ、そこに生息する魚類相や個体数にも影響を及ぼす。このような影響を最小限に抑えるためには、工事による影響を正確に予測し、的確な低減手法を講じることが不可欠である。

本課題は、国土交通省河川局河川環境課、北海道

開発局・8 地方整備局と協力し、全国の河川事業の事例をもとにインパクト・レスポンスに関する検討を進めている。それぞれの事例研究に関しては、国土交通省国土技術研究会（直技）において、事例研究を進めている（表-1）。研究会では、平成 13 年度からの 2 ケ年は、「河川事業における影響軽減手法に関する研究」、平成 15 年度からの 3 ケ年は、「河川事業における環境影響分析手法の高度化に関する研究」と題して継続してきている。

いずれの河川事業においても①河川特性、河川の物理的環境、河川の化学的環境の現況及び変化の把握、②生物の生息場の現況及び変化の把握、③生物群集の現況及び変化の把握（図-1）、の把握解明に努めている。また、達成目標以外にも必要に応じ、表-1 に関わる事業について、事業実施のそれぞれ

表-1 インパクトの種類と事業の進捗状況からみた事例研究の位置づけ

主要インパクトの種類		事業の進捗状況				
		現況把握・分析	計画	事前調査 (インパクト前)	事業実施中	事後調査 (インパクト後)
流量・水位の変化	中国(斐伊川・神戸川)	○	○			
	北海道(永山新川(牛朱別川))	○	○	○		●
	近畿(淀川)	○	○	○		
ショートカット	北陸(早出川)	○	○	○		●
	東北(砂鉄川)	○	○	○		●
低水路拡幅	中国(斐伊川・神戸川)	○	○			
	九州(加勢川)	○	○	○		
土砂バイパス	中部(三峰川)	●				
	近畿(淀川)	○	○	○		●
高水敷切り下げ	関東(多摩川)*1	○	○	●		●
	四国(四万十川)※	—	—	—	—	●(樹林伐採)
	四国(四万十川)*2	●				
高水敷化、樹林化等* (レスポンスの分析)	四国(四万十川)*2	●				
	中部(三峰川)*2	●				

●：検討中(2005.9現在) ○：検討終了

\*1 多摩川は今後予定されている事業を対象として整理している。

\*2 四万十川および三峰川は、高水敷化、樹林化した現在のレスポンス状況をインパクトに置き換え、その分析にIRの考え方をを用いている。

※四万十川(高水敷切り下げ)は、2005.3に高水敷の樹木伐採及び高水敷切り下げを試験的に実施しており、現在はモニタリング中なので、事後調査の欄に記入している。

の段階に応じて技術提供をしている。本課題は、実際の事業と密に関連しており、事業の進行状況の情報を収集するとともに、河道改修計画にあたり、計画、工事、モニタリングといったそれぞれの事業段階における予測手法の確立を目的としている。

本研究は当初、国土技術研究会における指定課題の研究をリードするために設定されたものであり、このため達成目標間の関連性が必ずしも明確ではないこと、現実の河川管理において人為的改変や攪乱が河川生態系に及ぼす影響の評価をどのように行うかについての検討から開始することを要望された研究であるという特殊性を有している。この特殊性のために、個別達成目標の設定に無理があり（達成目標①、②）、研究成果の一般性を十分検証しきれなかった点は反省点である。しかし、何れの達成目標とも既往研究が数少ないものであり、達成目標④については、自然再生事業の目的としてあげられる件数が今後も増加すると考えられ、今後、発展的研究を継続していく予定である。

## 2. 捷水路が魚類・河道植生に与える影響の解明および回避・低減手法の提案

### 2.1 予測の考え方

捷水路建設は近年も実施事例が多く、河道の直線化や拡幅に伴う河川生態系への定量的な影響予測手法の確立は急務となっている。

捷水路建設に伴う環境影響分析は、今まで魚介類等の水生生物の生息場所（以下、ハビタット）を対象とし、消失する淵の個数や淵の最大水深等で評価されることが多かった。しかしこの方法では、淵以外のハビタットが検討対象とならないため、対象区間全体の各ハビタットの増減と各ハビタットに依存する水生生物への影響を適切に評価できないという問題があった。一方、既往の研究報告からセグメント1や2-1といった中流域におけるハビタットは、湾曲か直線かといった平面形状の違い、交互砂州等の中規模河床形態の発生の有無によって影響を受けることが解っている。中規模河床形態は、川幅水深比、無次元掃流力等の河道特性によって発生領域が支配されることを考慮すると、中流域におけるハビタットの分布は、これら河道特性との関係から概ね説明できることになる。このように水域におけるハビタットと河道特性については、理論的に一定の関係性が予見できると考えられるが、両者の関係性を

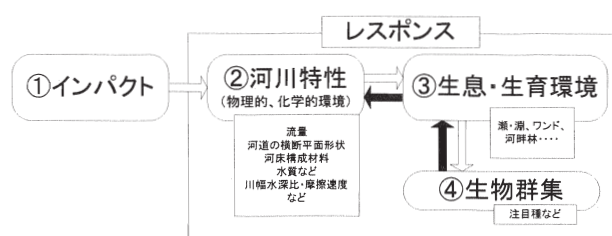


図-1 インパクト→レスポンスの過程

分析した事例は少なく、捷水路建設時にハビタットの分布や構造を定量的かつ簡便に予測することは難しいのが現状である。

本課題では、このような状況を踏まえ、捷水路（直線河道）における交互砂州上に形成されるハビタットの量的比率（例えば、面積比率）の変化を河道特性と関連付けることにより、捷水路建設時の流心部に見られるハビタットの量を簡便に予測し、魚介類等の水生生物に対するレスポンスを適切に評価する手法の確立の提案を目的とする。

また、河道を直線化した場合には砂州の発生・非発生に拘わらず、流心部のハビタット、特に、淵のような低流速域の消失が問題となることが多い。このため、代替的にハビタットを水際域に保全することが多いが、水際域のハビタット、特に、河畔林や草本植物帯の魚類の生息に対する効果は明らかになっていない。そこで、本研究では水際域に流心部で消失したハビタットを代替する場合を想定し、中流域の水際に見られるハビタットを取り上げ、魚類の生息場所としての機能を明確にする。

### 2.2 水域における生息場所の量的比率

#### 2.2.1 目的

中流域直線区間では交互砂州の発達が見られる場合が多い。交互砂州の発生については河道特性に基づく領域区分が理論的に導出され、実務で利用されている<sup>1)</sup>。また、交互砂州の形状については長谷川らが一定流量下で形成された交互砂州の形状をFourier解析し、その形状を比較的精度よく再現できることを示している<sup>2)</sup>。しかし、実際の河川においては、洪水時に砂州が形成された後流量が減少すると砂州形状が変形することが指摘されている<sup>3)、4)</sup>。また、竹林らは川幅水深比が大きい場合には、交互砂州同様1本の流路を有するが、交互砂州とは異なる形態である自己形成流路が形成されることを示している<sup>5)</sup>。従って、理論的に導かれた河道形状とこれを境界条件として再現された流況からハビタット

の分布を明確にすることは難しい状況にある。また、水域における景観的区分に基づくハビタット（例えば、瀬や淵）を水量と関連付けが不完全であること、また、淡水魚類の生息場所の記述が景観的区分に基づき行われていること、から本研究では瀬・淵を単位として、交互砂州上に見られるこれらのハビタットの縦断河床勾配の変化に伴う量的変化の実態把握を行うこととする。

## 2.2.2 研究方法

### (1) 対象河川と対象区間

交互砂州と推定される河床形状が発達した河川を対象として、RHA (Ratio of Habitat : ハビタットの量的比率) の算出を行う。

対象河川の選定は土木研究所が所有する概ね 100 河川 200 組の空中写真から、河道法線形状が直線状で、交互砂州が比較的明瞭であり、対象区間となる 1~2 リーチ程度の区間内において縦断勾配が一定であることを条件として選定した。抽出したのは 10 河川 11 区間である。

空中写真からの判読精度が不明であることから、別途岐阜県・三重県を流れる中小河川（それぞれ、牧田川と朝明川）において地形測量とハビタットの区分を行い、縦断勾配と各ハビタットの面積比率を算定した。

### (2) ハビタットの判読及び測定方法

ハビタットの分布の把握は以下の方法で行った。

- ①空中写真上で交互砂州の発生状況を確認し、砂州 1 波長~2 波長分を調査対象区間として設定する。
- ②空中写真上に砂州の前縁線を記載する。
- ③対象区間内の横断測量図で最深河床となる位置を把握し、空中写真上におみ筋のラインを記載する。
- ④空中写真上から一つのハビタットと認識できる領域を抽出し、空中写真上にその境界を記載する。
- ⑤個々のハビタットを早瀬、平瀬、とろ、淵の 4 つのハビタットに割り当てる。
- ⑥4 つのハビタットの面積をプランメーターにより読みとる。なお、早瀬、平瀬、とろ、淵といったハビタットの区分は景観的な特徴と交互砂州上の位置を参考にしながら行った(表-2)。

### 2.2.3 結果と考察

図-2 に牧田川、朝明川におけるハビタットの面積比率を示す。グラフは横軸に当該区間の河床勾配を縦軸にハビタットの当該区間全体に占める面積割合を示した。

表-2 対象河川と対象区間の概要

河川名	対象区間(k)	撮影日	河床勾配
藁科川	4.0-5.2	H7.2	1/162
庄川	17.0-19.6	H7.12	1/183
天竜川	144.2-147.0	H8.1	1/250
天竜川	144.2-147.0	H8.1	1/250
鈴鹿川	19.8-21.0	H58.10	1/276
多摩川	51.8-53.3	H14	1/310
野洲川	8.4-9.7	H7.1	1/400
小矢部川	28.0-29.6	H7.12	1/524
早出川	-0.4-1.0	H8.9	1/1060
吉野川	16.0-22.5	H7.2	1/1100
肱川	10.2-12.8	H7.11	1/1400

表-3 各ハビタットタイプの判読キー

ハビタットタイプ	判読キー
早瀬	空中写真で白波が立っているのが判別できる河床が一面に良く見える区間
平瀬	早瀬の上流側で、色が若干薄くなっている区間
とろ	早瀬の下で空中写真で色が比較的濃い区間
淵	早瀬直下で、空中写真で特に色が濃い区間

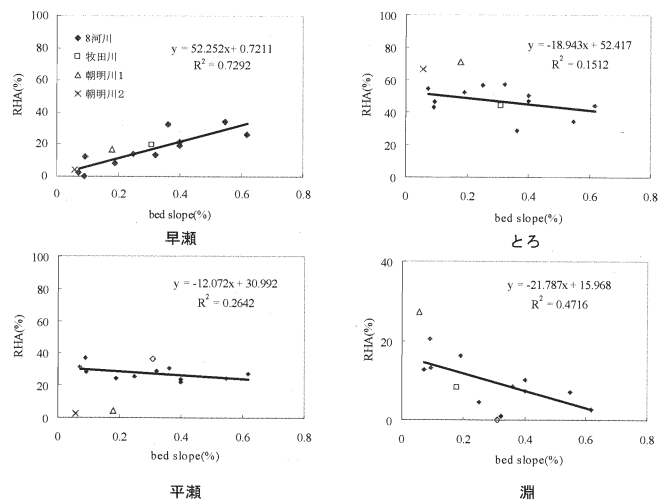


図-2 各ハビタットの面積比率

早瀬の面積割合は河床勾配と相関が高く、決定係数は 0.8 程度となった。河床勾配が緩やかになると早瀬の比率は低下し、中小河川である牧田川、朝明川との大きな差は見られなかった。早瀬以外のハビタットの近似直線の傾きはどれもマイナスとなり、河床勾配の増加とともに減少する傾向を示したが、



平瀬ととろの傾きは小さく、この2つは河床勾配に寄らず面積比率が一定に保たれていることが解った。しかし、中小河川の平瀬ととろは河床勾配が小さい場合に比率が高く、大きいと比率が小さくなる傾向が見られ、平瀬の傾きは正を示しているように見える。淵の比率はマイナス側で小さく、河床勾配の増加に伴い比率が減少する。中小河川における傾向は平瀬、とろ同様河床勾配の増加に伴い淵の面積比率が急激に減少するようである。

水域におけるハビタットの中で最も判読が容易な早瀬については河床勾配との相関係数も高く、中小河川における現地観測結果との整合も高いことが解った。11区間の交互砂州の形状を見ると、流路が2つに分岐しクリークが低水路内を流れ複列的な状態を呈しているケースや河道内樹林化が進み、低水路部が狭くなりみお筋が直線的になっているケース等河床形状の自由度は高かった。早瀬の面積比率が当該区間の河床勾配と相関が高いのは、当該区間の落差のほとんどを早瀬が占めていること、そして、早瀬の勾配そのものは河床形状が変化した場合においても大きく変化しないことが理由であろう。一方、重要なハビタットと認識される淵の面積割合はばらつきが大きく、中小河川の結果とも差が見られた。淵は現地においても区別することが多く、特に、とろと淵の区分は調査員によって差が生じることが多い。実際空中写真で淵と判定された場合に現地でもとろとなるケースは非常に多い。中小河川において淵の比率は、河床勾配が小さい場合に相対的に大きく、河床勾配が大きい場合に相対的に小さいのも、現地における判断が早瀬との位置関係だけでなく、淵そのものの流速を加味し、流速が遅い領域を淵と判断しているからであろう。

以上から、幾つかの課題はあるものの、交互砂州が発生している場合に限定すれば、各ハビタットの面積比率は概ね河床勾配と関係があり、捷水路の河床勾配から比率の推定は概ね可能と判断できる。各ハビタットの具体的な物理特性については、各河川の平常時流量や河床材料等の情報が必要となる。実際の事業においてはまず比率の推定を行い、レスポンスの簡易判定を行う、次に、平常時流量等の情報を用い各ハビタットの物理特性を推定し、推定精度を高めていくことが必要であろう。

## 2.3 水際域における生息場所と魚類生息状況

### 2.3.1 目的

水際は河川改修等の人為的インパクトを受けやすいにも拘わらず、水際に見られるハビタットタイプの魚類の生息に対する効果を評価した研究例は少なく、優先的に保全・修復すべきハビタットに関する知見は十分ではない。ここでは実河川の水際に見られる代表的なハビタットを対象として魚類調査を行い、各ハビタットと魚類の生息密度との関係について得られた知見を整理して示す。

### 2.3.2 方法

#### 1) 砂鉄川の概要

対象とした北上川水系左支川砂鉄川は、流域面積375.1km<sup>2</sup>、流路延長46kmの1級河川である。砂鉄川では、平成16年度完成を目指して床上浸水対策特別緊急事業が行われ、この方策の一貫として、蛇行流路約1km(河床勾配1/885)を直線化し、約600mの新たなショートカット(河床勾配1/500)区間が出現した(図-3)。本報告は、河道のショートカットに伴う生物相への影響の把握を目的として行ったハビタット調査及び魚類調査を取りまとめたものである。

#### 2) 調査方法

##### a) 調査地点と調査時期

調査は、ショートカット区間に1区間(St.1)、この上流に2区間(St.2、St.3)を選定した(図-3)。各調査区間の平均河床勾配はSt.1で1/500、St.2、3で1/850程度である。いずれの調査区間も水域を横断方向に水域(本調査では以下、流水部)と水際域(本調査では以下に分け、水際部)に分け、それぞれ流水部3×3m、水際部1×5mを標準的な大きさとするコドラートを数個設置した。調査は7月2~5日、8月2~5日、10月14~17日の3時期に行った。各調査時期の流量は平水流量~豊水流量の範囲内にあり、各調査時期間で大きな変化はなかった。

##### b) 魚類調査

現地調査は、魚類調査と物理環境調査からなる。魚類調査では、流水部を潜水観察により、水際部を電気ショッカーにより実施した。潜水観察では、ある程度水深のあるコドラートでは、コドラートの上流側から観察者が自然に流下し生息する魚類の種、個体数、体長を確認した。水深が小さく流下が困難なコドラートについては、下流側から静かに近づき同様の調査を実施した。電気ショッカーを用いた調査では、まずコドラートを囲い網で仕切り、魚類が逃げられないようにしてから、電気ショッカーのオ

ペレーター1名、魚類採捕者数名で捕獲を行った。調査はコドラート内の魚類が全て捕獲するまで行うこととした。捕獲した魚類は種の同定、個体数、体長を確認した。なお、体長の確認は体長を5つに区分し（I：～3cm、II：3～5cm、III：5～10cm、IV：10～20cm、V：20cm～）、これを記録した<sup>6)</sup>。

### c) 物理環境調査

物理環境の調査では、流水部については早瀬、平瀬、とろ、淵の別を、水際部については水際部の状態を記録した。また、1つのコドラートに9地点測点をなるべく等間隔になるよう設置し、各地点において流速、水深、河床材料を調査した。流速については6割水深で1cm/s単位まで、水深についてはスタッフを用い1cm単位まで読みとった。河床材料については、河床材料の粒径を10に区分し（粘土から巨礫までを10段階）、これを記録した他、浮き石・沈み石の状況を記録した。流水部の早瀬～淵の区分は個々のハビタットタイプの景観の特徴から目視により区別した。また、水際部の状態については、水際の植生の繁茂状態を草本、木本を区別して記録した。これらの植生の繁茂状態は水中より繁茂している場合と、陸上より繁茂している場合に分けて記録した。また、河畔林がある場合には、河畔林を構成する木本類の張り出し長ささと張り出し高さを記録した。更に、水際部が庇状にオーバーハングのある場合には、底部の突端から河岸がえぐれた部分の最も深い地点までの水平距離を測定した。なお、僅かでも河岸上部が張り出し庇状を呈している場合には「庇有りの水際」と判断した。

### d) 水際タイプの区分方法について

水際の生息場所としての区分については定まった方法がないが、既往の研究から水中に没している植物と水上から繁茂する植物には異なる機能があることが報告されている<sup>7)</sup>。そこで、本研究では、水際に繁茂する草本類については水中部に繁茂している場合と陸上から繁茂している場合の2つを識別することとした。また、中流域における河畔林の生態的機能を把握するため、木本類が水中から繁茂しコドラートの流れに影響を与えている場合、陸上から繁茂し流れには影響を与えないがコドラート上空を覆っている場合の2つを識別した。なお、木本類が水中、陸上の双方から繁茂している場合は、水中から繁茂する木本類と機能が同等と考えた。

## 2.3.3 結果

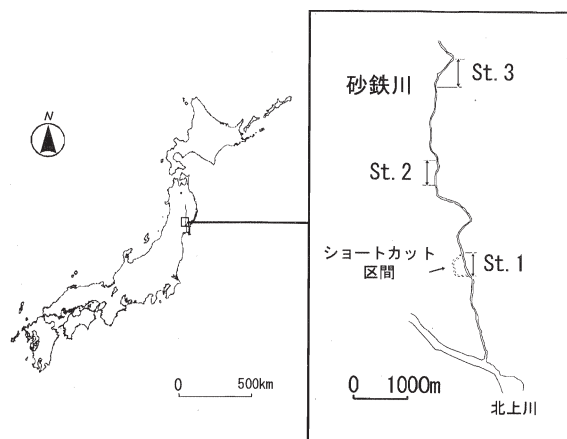


図-3 調査箇所位置図

表-4 確認魚種と個体数

種名 (学名)	確認個体数
スナヤツメ ( <i>Lethenteron reissneri</i> )	4
ヤツメウナギ科の一種 (幼生) ( <i>Petromyzontidae sp.</i> )	25
ウナギ ( <i>Anguilla japonica</i> )	1
オイカワ ( <i>Zacco platypus</i> )	45
アブラハヤ ( <i>Phoxinus lagowskii steindachneri</i> )	1,414
ウグイ ( <i>Tribolodon hakonensis</i> )	187
モツゴ ( <i>Pseudorasbora parva</i> )	2
タモロコ ( <i>Gnathopogen elongatus elongatus</i> )	10
カマツカ ( <i>Pseudogobio esocinus esocinus</i> )	30
ニゴイ ( <i>Hemibarbus barbus</i> )	109
コイ科の一種 (稚魚) ( <i>Cyprinidae sp.</i> )	107
ドジョウ ( <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> )	3
ギバチ ( <i>Pseudobagrus tokiensis</i> )	34
アユ ( <i>Plecoglossus altivelis altivelis</i> )	12
メダカ ( <i>Oryzias latipes</i> )	7
シマヨシノボリ ( <i>Rhinogobius sp.CB</i> )	3
オオヨシノボリ ( <i>Rhinogobius sp.LD</i> )	4
トウヨシノボリ ( <i>Rhinogobius sp.OR</i> )	3
ヨシノボリ属の一種 ( <i>Rhinogobius sp.</i> )	5
スマチチブ ( <i>Tridentiger brevispinis</i> )	1
合計個体数	2,026

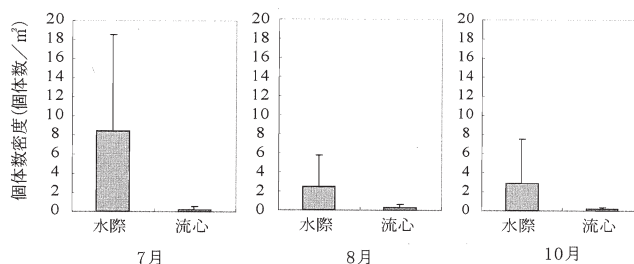


図-4 水際部と流心部における生息密度の平均値及び標準偏差の季節変化

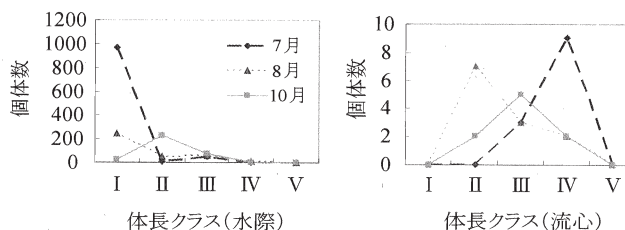


図-5 水際部・流心部での体長クラス季節変化

### 1) 確認魚種及び個体数について

全期間、全区間において確認された魚種及び各魚種の個体数を示す(表-4)。最も多く確認された魚種はアブラハヤ(Phoxinus lagowskii steindachneri)で全確認個体数2006個体の内1414個体を占めた。ウグイ(Tribolodon hakonensis)、ニゴイ(Hemibarbus barbus)が次いだが、その個体数はそれぞれ187個体、109個体とその数はアブラハヤと比較して少ない。

### 2) 流心部と水際部の魚類生息密度と物理量

流心部と水際部における魚類生息状況の違いを明らかにするため、各調査期における両部の生息密度を示す(図-4)。ここで生息密度とはコドラートで確認もしくは採捕された個体数をそのコドラートの面積で除した値を示す。7月は水際部で生息密度が高く、8月、10月になると水際での生息密度が低下することが解る。次に、両部における体長クラスを見ると(図-5)、水際部では7月にクラスIに該当する個体が多く、総確認個体数は1,000個体に達した。この傾向は8月になると弱まり、更に10月になるとクラスIIに該当する個体が増加している。一方、流心部においてはクラスIに該当する個体数はほぼゼロであり、クラスII~IVに該当する個体数が多いが、その個体数は水際部に比べると著しく小さく、ほとんどの個体が水際部に集中していた。次に、両部に設置したコドラートにおける流速と水深の平均値を見ると、流心及び水際における水深の平均値はそれぞれ63cmと25cm、流速の平均値は76cm/sと10cm/sを示し、水際における流速、水深は流心と比較して非常に小さかった。

### 3) 水際の区分について

前述した水際の区分方法に基づき各コドラートの水際タイプ及び各タイプに対応するコドラート数を示した(図-6)。図中には水中部から繁茂している植物のタイプ、底の有無、陸上部から繁茂している植物のタイプを示し、この3つの状態の組み合わせを階層的に示した。なお、植物の繁茂が無い状態を「裸地」として示してある。また、水際に人工構造物が設置してあったタイプは検討から除外した。全タイプの中で、1つ以上のコドラートを確認できたタイプ数は9で、その中で解析対象とした3つ以上のコドラート数を確保できた水際タイプ数は5つだった。コドラート数が最も多い水際タイプは、「裸地タイプ」でコドラート数は35であった。次いで、水中、陸上とも草本が繁茂している「草本-草本タイプ」でコドラート数8、水中が裸地で陸上から木本類が繁茂し、コドラートの上空を覆っている「裸地-木本タイプ」のコドラート数が6であった。河岸が底状となる草本(庇)-草本タイプ、木本(庇)タイプのコドラート数は3だった。

水中部	底	陸上部	N	解析	水際タイプ
裸地	無	裸地	35	○	裸地
		草本	1		
		木本	6	○	
		草本+木本	1		
	有	0			
草本	無	裸地	1		草本-草本
		草本	8	○	
		木本	0		
		草本+木本	2		
	有	裸地	0		
		草本	3	○	
		木本	0		
木本	無	裸地	0		草本(庇)-草本
		有	3	○	
	草本+木本	0			

図-6 水際タイプとコドラート数

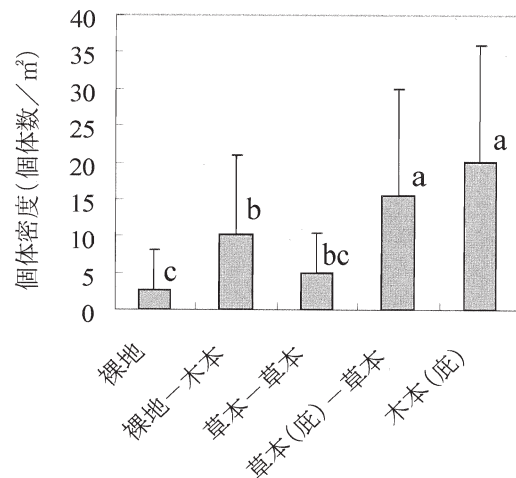


図-7 水際タイプ別魚類生息密度

表-5 各水際タイプの物理量 (同一添字は有意性なし)

	裸地	裸地-木本	草本-草本	草本(庇)-草本	木本(庇)
流速(cm/s)	13.6±15.3	9.0±8.3	12.3±7.9	7.38±6.6	16.0±13.9
水深(cm)	18.4±11.2 <sup>b</sup>	30.1±17.1 <sup>ab</sup>	28.8±11.8 <sup>a</sup>	35.4±5.4 <sup>a</sup>	37.7±13.0 <sup>a</sup>

プ」でコドラート数8、水中が裸地で陸上から木本類が繁茂し、コドラートの上空を覆っている「裸地-木本タイプ」のコドラート数が6であった。河岸が底状となる草本(庇)-草本タイプ、木本(庇)タイプのコドラート数は3だった。

### 4) 水際部タイプ別魚類生息密度



各水際タイプにおける魚類生息密度を示す(図-7)。植物が全く繁茂していないタイプ(裸地)における生息密度が最も小さく、次いで、植物が水中・陸上に繁茂しているタイプ(草本-草本)で生息密度が小さかった。ただし、裸地タイプとの有意な差は見られなかった。水中は裸地、陸上に木本類が繁茂するタイプ(裸地-木本)は比較的生息密度が大きく、裸地タイプと差が見られた( $P < 0.05$ )。植物が水中・水上から繁茂する場合で河岸が庇状に張り出しているタイプ(草本(庇)-草本)、木本類が水中から張り出し河岸が庇状になっているタイプ(木本(庇))では生息密度が大きくなり、裸地タイプ及び草本タイプと比べて有意な差が見られ( $P < 0.05$ )、河岸が庇状になり水際を覆うことによる一定の効果が認められた。次に、各タイプの物理量を示す(表-5)。流速については各タイプで差が見られなかったが、水深については、裸地と草本-草本、裸地と草本-草本(庇)、裸地-木本(庇)と有意な差が見られた( $P < 0.05$ )。

#### 2.3.4 考察

流心部と水際部の比較から水際部では有意に生息密度が高く、特に、7月の結果は体長クラスI(体長:2cm以下)のアブラハヤが水際部に集中的に分布した。一方、流心部の生息密度は水際部と比較して1/10~1/50程度に留まり、体長クラスI(3cm以下)の個体は全く確認できず、体長クラスII(3~5cm)、III(5~10cm)、IV(10~20cm)の個体のみが確認された。魚種は異なるがオイカワ(*Zacco Platytus*)に関する選好流速と体長の関係に関する研究によると<sup>8)</sup>、オイカワで20mm以上になると選好流速を増大させることが報告されている。体長30mm以下の個体が水際に多く、流心における個体サイズが大きいのも、このような成長段階における遊泳能力の違いを反映したものと考えられる。

本研究で対象とした区間は平均河床勾配1/500~1/900程度の中流域に当たる。流心の平均流速(76cm/s)は水際のそれ(10cm/s)と比較して著しく大きいことから、本流程においても水際部は相対的な低流速域として機能し、稚仔魚にとって重要な生息場所となっている。より緩勾配区間においては、流水部と水際部の流速差は減少すると考えられ、水際の生態的機能は本研究で扱った流程とは異なる可能性がある。水際タイプ別の生息密度は、裸地で少なく、植物が水中、陸上から繁茂するタイプで大きく

なった。ただし、水中・陸上から草本類が繁茂する草本-草本タイプにおける生息密度は裸地タイプと有意差は見られなかった。(独)土木研究所自然共生研究センターにおいて水際の植物を刈り取った裸地と草本-草本タイプにおける魚類生息量を比較した実験結果では、裸地と草本-草本間で有意な差が確認されている<sup>7)</sup>。この実験は直線状の河道において水際植物を刈り取るにより裸地タイプを造成したため、水際近傍の流速が増大し、生息量が減少したと考えられる。しかし、砂鉄川では入り江状の場所や湾曲部内岸側の堆積域の裸地にもコドラートを設置したため、裸地においても流速が遅く、稚仔魚の生息場として機能したために、結果として生息密度を押し上げたものと考えられた。事実、水際タイプ間における流速差は今回の調査結果からは認められなかった。今後、裸地タイプをより細かく分類し、生息場所としての機能を詳細に把握していく必要がある。木本類が繁茂する場合は、裸地タイプと比較して有意に生息量が大きくなった。今回報告できなかったが、木本類の張り出し高さが小さく枝葉が水中に没している場合の方が、生息密度が高くなる傾向が見られたことから、水中に没した木本類が流速を低下させ、生息環境を改善させた可能性もある。ただし、物理環境調査結果では流速に差が生じていない。これは、没している枝葉周辺に形成される低流速域が局所的であり、今回の調査方法(1コドラート9点の平均値)では、このような効果を把握できなかった可能性もある。草本、木本に拘わらず河岸が庇状になっている場合の生息密度は大きかった。サケ科魚類についてはオーバーハングした河岸の生息場としての重要性が指摘されていたが、砂鉄川の結果はコイ科魚類についても同様の結果が得られた。また、庇を形成している河岸において生息密度が著しく高くなる傾向は、今後の水際処理の方法を考える上で極めて重要な点と言える。

#### 2.4 まとめ

本課題では主として捷水路建設に伴う魚類相へのレスポンスを把握することを目的として調査結果を取りまとめた。現在のところ、ハビタットと魚類相との関係を明瞭に示す調査結果が乏しいため、本調査結果のみから魚類相を定量的に予測することはできない。しかし、水域、水際域に見られる個々のハビタットと魚類の生息量及び個体サイズについては定性的な関係のある程度示すことができたため、ハ

ビタットの变化に伴う生息量の増減については予測可能な水準に達したと考えられる。特に、水際域のタイプ別に生息量が大きく異なる点については、捷水路建設時の魚類相の予測だけでなく、今後の捷水路建設時の水際処理の仕方について有益な情報を提供するものと考えられる。

### 参考文献

- 1) 岸力・黒木幹男：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究、土木学会論文集第 363 号/II-3, pp. 87-96, 1985.
- 2) 長谷川和義・山岡勲：発達した交互砂州の性状に関する実験と解析、第 26 回水理講演会論文集, pp. 31-38, 1982.
- 3) 石井千万太郎・黒木幹男・岸力：低水流による単列交互砂州の変形実験、土木学会第 41 回年次学術講演会, pp. 431-432, 1986.
- 4) 内島邦秀・早川博：流量が減少した場合の交互砂州の変形特性、第 31 回水理講演会論文集, pp. 683-688, 1987.
- 5) 竹林洋史・江頭進治・中川博次：直線水路における自己形成流路の形成条件と形成機構、水工学論文集第 44 巻, pp. 771-776, 2000.
- 6) 建設省河川局河川環境課：河川水辺の国勢調査マニュアル河川版（生物調査編）、（財）リバーフロント整備センター, p. 25, 1997.
- 7) 河口洋一：水辺の植物が河川性魚類の生態に及ぼす影響、海洋と生物 149(25-6), 2003.
- 8) 駒田格知・山田久美子・鈴木興道：オイカワの仔・稚魚の生息場所と成長について、成長(33), pp. 113-119, 1994.

### 3. 減水区間における維持流量の増加が魚類生息環境に及ぼす影響の解明

分水路の事業実施後流量の減少が生じた牛朱別川を対象に、流量変化による環境予測手法の検討を行った。物理環境の変化から見た魚種の生息環境評価モデルの 1 つである PHABSIM を用い、流量変化に伴う魚類（フナ、ウグイなど）の生息可能面積の予測を行った。

#### 3.1 牛朱別川と分水路計画の概要

牛朱別川は、流路延長 36.8km、流域面積 481.4km<sup>2</sup> であり、北海道旭川市街地を流下する一級河川である。分水路は、市街地の治水安全度を高めるため計画されたものである（図-8）。分水路の大きさは、幅 200m、延長約 6km で、計画流量 1,000m<sup>3</sup>/s を石

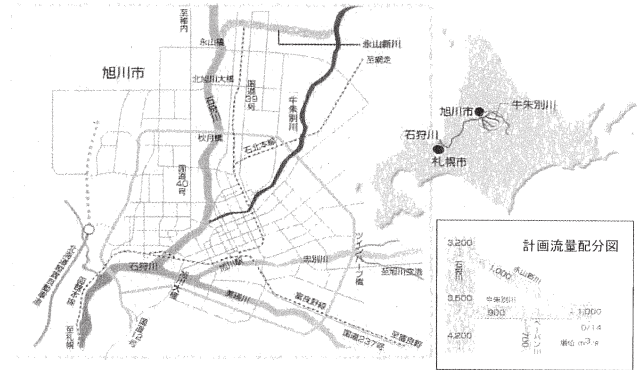


図-8 牛朱別川事業の概要

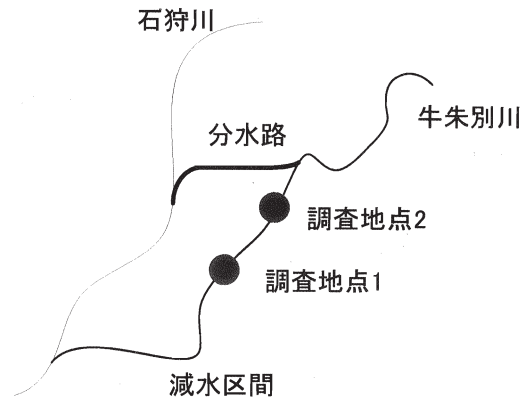


図-9 調査地点

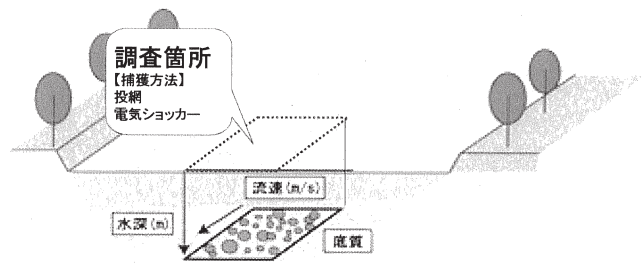


図-10 現地調査地区の設定

狩川へ分流する計画である。本計画では、流量変動が大きいため、魚類の生息環境に大きく影響を及ぼすものと考えられる。そこで、分水路建設後に流量の変化が生じる区間において、PHABSIM (Physical Habitat Simulation System) を用い流量変化に伴う魚類生息可能面積を予測した。

本検討は、現況の魚類調査に基づく河川の水利的な条件（流速、水深、底質、カバー）と魚類の生息量との関係より、分水路通水による魚類生息環境の変化について定量評価を行うものである。

#### 3.2 方法

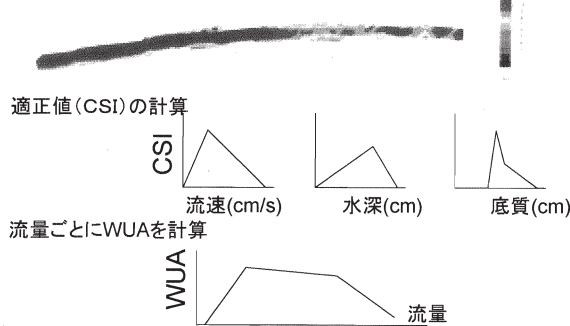
分水路通水後に流量変化が及ぶ区間のうち調査区間 1 (600m)、調査区間 2 (300m) を設定し、



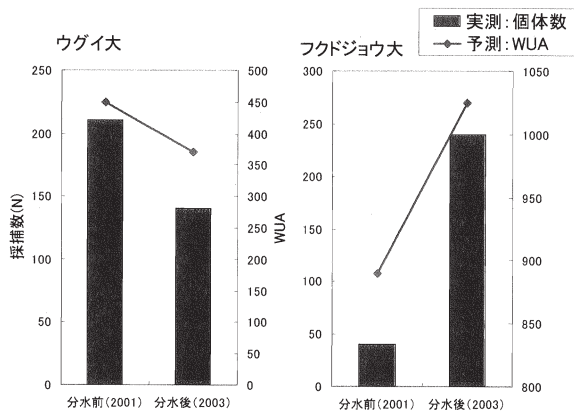
表一六 調査地点1、2における事業前後における流量変化(単位 m<sup>3</sup>/s)

調査地点	濁水流量	低水流量	平水流量	豊水流量	年最大流量
調査地点1					
分水路完成前	3.36	6.07	11.95	18.67	217.1
分水路完成後	3.03	4.73	7.9	12.32	109.79
調査地点2					
分水路完成前	1.33	2.64	5.48	8.17	112.11
分水路完成後	1.13	1.3	1.88	2.65	4.85

数値解析(水深、流速の予測)



図一11 解析によるWUAの算出方法



図一12 調査流量時におけるWUAと捕獲個体数(調査地区1)

5m×20m(1メッシュ)おきに、魚類データ(魚種、サイズ、個体数)、環境データ(水深、流速、底質、カバーの有無)を計測した(図-9、10)。得られたデータから式-1に示すWUA(重み付き利用可能生息場面積)を求めた。

$$WUA(k) = \sum_{i=1}^N [Sd(i) \cdot Sv(i) \cdot Ss(i) \cdot So(i) \cdot a(i)] \quad (式-1)$$

$$CSI = Sd \cdot Sv \cdot Ss \cdot So \cdot a$$

ここに、k:成長段階、i:メッシュ番号、N:メッシュの総数、a:メッシュ面積、Sd:水深に関する適正值、Sv:流速に関する適正值、Ss:底質(巨礫、礫、砂利、砂、泥などの違い)に関する適正值、So:その他の物理量(カバーなど)に関

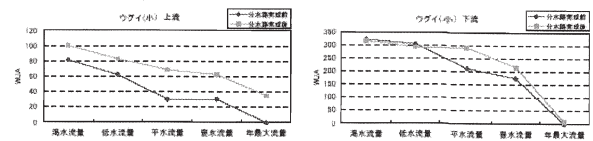


図 4-4-1 ウグイ 小におけるWUA

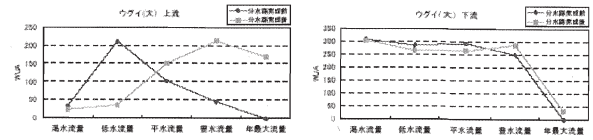


図 4-4-2 ウグイ 大におけるWUA

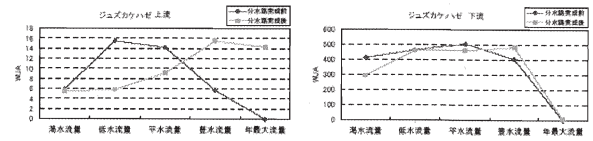


図 4-4-3 ジュズカケハゼにおけるWUA

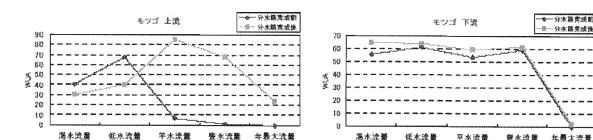


図 4-4-4 モツゴにおけるWUA

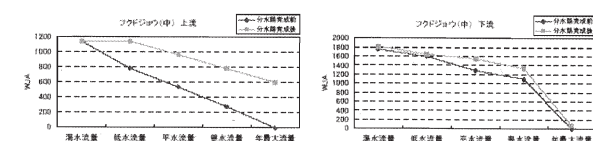


図 4-4-5 フクドジョウ 中におけるWUA

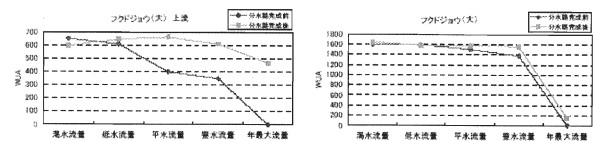


図 4-4-6 フクドジョウ 大におけるWUA

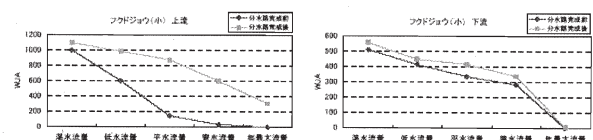


図 4-4-7 フクドジョウ 小におけるWUA

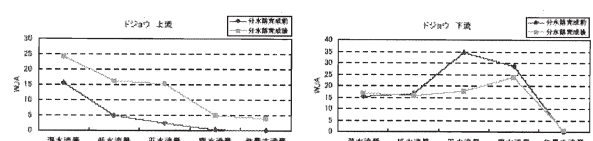


図 4-4-8 ドジョウにおけるWUA

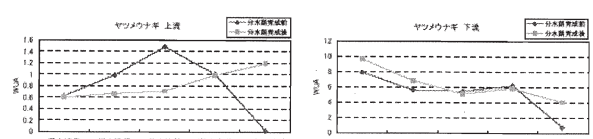


図 4-4-9 ヤツメウナギにおけるWUA

調査地区2

調査地区1

図一13 解析によって得られる流量別のWUA<sup>1)</sup>

する適正值

ただし、WUAは、流量ごとに計算されるため、現地調査から得られるデータのみでは実証性に乏しい。そこで、平面的に流速分布が算定できる数値解析を別途実施し、水深、流速から、濁水、平常、低水、豊水および最大流量時のWUAを計算した（表-6、図-11）。

### 3.3 結果および考察

図-12に調査流量時におけるWUAの分水前後予測と採捕個体数の変化について示す。図は、ウグイとフクドジョウについて示したものであるが、他の魚種も同じく、WUAの予測結果と採捕個体数との間に相関がみられた。さらに、魚種により分水前後で、WUAが変化することが分かった。

図-13に環境に流量の違いからWUAの予測地の変化を示す。この結果により、調査区間1では、通水前に生息している魚類は、通水後も継続して生息するものと考えられる。また、WUAについては、通水前後によるWUAの増減についてはあまり大きくないものと予測される。また、調査区間2では、通水前に生息している魚類は、通水後も継続して生息は可能である。しかし、流速の減少、水深の減少に伴い、遊泳力の大きくない魚類を中心に生息に適した環境が増加すると予測される。

以上より河川の流速、水深、底質といった物理環境の変化から魚種の生息可能域を評価することで、魚種への影響評価がある程度可能となることがわかった。また、遊泳魚の生息数には、流速が強く影響し、底性魚の生息数には、底質の粒径が強く影響することが考えられた。

### 参考文献

1) 北海道開発局：国土交通省技術研究会（2005）

## 4. 河道改修などに起因する濁水の発生が魚類に与える影響の解明

### 4.1 方法

河川における濁水は、降雨や土砂災害などの自然現象によっても発生するが、河道改修やダム排砂設備の操作などによっても発生し、その濃度の大きさや継続時間によっては魚類の成長などに影響を及ぼすといわれている<sup>1)</sup>。本研究では、人為的に発生する高濃度の濁水が魚類に与える影響を明らかにすることを目的に、室内において暴露実験を実施した。

実験対象魚としては、生活スタイルの異なるアユ (*Plecoglossus altivelis*)、カジカ (*Cottus plux*)、ヤマメ (*Oncorhynchus masou*)の3種を選定し、実験期間を通じてばらつきの少ない個体を確保するために、3種共に養殖魚とし、成長や成熟による影響を排除するために成熟前の成魚とした。

実験装置となる水槽は幅61cm、奥行き41cm、高さ31.5cmのポリプロピレン製で、各タンクには溶存酸素(DO)を保つためのエアレーションと、粘土を攪拌するための小型ポンプ3台が取り付けられている。

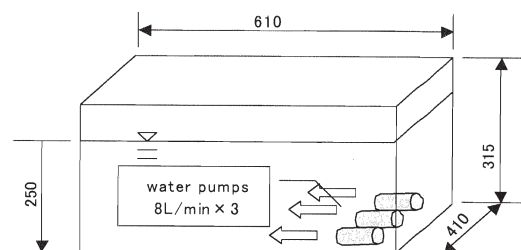


図-14 実験装置

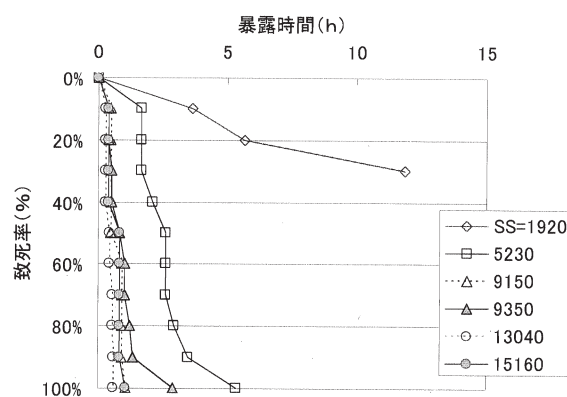


図-15 暴露時間と致死率の関係 (濁質 Kao A)

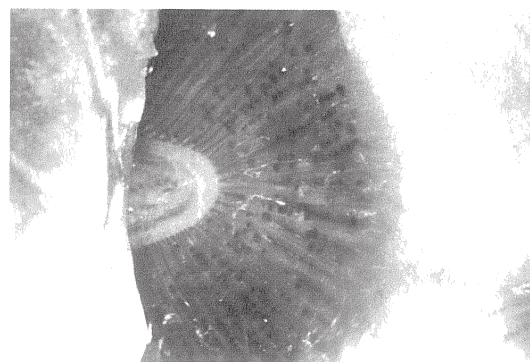


写真-1 長時間濁水に暴露されたアユのエラ (Kao C: 7522ppm, T24h)

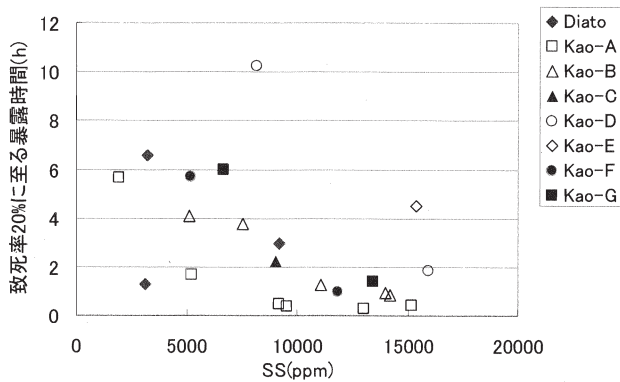


図-16 濁質濃度と致死率 20%に至る暴露時間

る(図-14)。濁りの成分としては粒径や産地の異なる粘土5種類と珪藻土の計6種を用いるとともに、実験中は1時間ごとに水温、Ph、DOを測定した。さらに、必要に応じて冷却するなどすることによって実験中の水温が一定となるよう配慮した。

暴露実験は12時間を基本とし、各水槽の個体が暴露により死亡した時刻を記録すると共に、死亡個体を直ちに持ち上げエラの観察を行った。実験終了後は、表層および中間層の濁水を採水しSSを測定すると共に、死亡個体のエラに付着していた濁質および濁水の粒度分布を島津SALD-3000Sを用いて分析した。

#### 4.2 結果

死亡したアユのエラの表面には実験条件や死亡までの継続時間に関わらず、粘膜と濁りの粒子が付着していた。一方、同じ実験条件下であっても実験終了時に生存していた個体のエラには、粒子は少量しか付着しておらず、さらに清水中に戻すと速やかにエラの汚れが輩出されることが観察された。これらのことから、濁りの粒子によるエラの閉塞は魚類の死亡に大きく関係していること、閉塞はアユの死亡する直前の短時間に生じているものと考えられる。また、写真-1に示すように、生存個体であっても長時間濁りに晒されることによりエラ斑紋状の内出血が観察されるものがあり、濁質成分によっては死に至らないまでも濁水がエラ内部に生体的な影響を与える場合があることが示された。

図-15に暴露時間とアユの致死率の関係を示す。暴露時間が長いほど致死率は高くなり、同じ暴露時間であっても濁質濃度が高くなるほど短時間で死に至ることがわかる。尚、このような濁質濃度と致死時間の関係は同じ濁質成分・濁質濃度では再現

性があることが確認されている。

図-16は、濁質濃度と致死率20%となる暴露時間を複数の濁質成分の間で比較したものである。同じ濁質では、ある一定の濃度を超えると致死率20%に至る時間に変化はみられなくなり、濁質濃度に閾値が存在することが推察される。一方、同じ濁質濃度であっても、濁質の成分の違いにより致死率20%に至る暴露時間にはばらつきがあった。これらのことから、高濃度の濁りによる影響は、従来いわれていた濁質の濃度、継続時間だけでなく濁質の成分の違いも関与していることがわかる。

Newcombe<sup>2)</sup>らはサケ科の魚類を対象に行った実験結果(N=120)を元に、濁水によって受ける影響のレベルを「呼吸数の増加」から「80%以上の致死率」までの14段階の「SI(ストレスインデックス)」として分類し、それと濁質濃度C(mg/L)と継続時間T(h)の積の自然対数値を用いた一次式( $r^2=0.638$ )で表現している。

$$\cdot SI = \log_e(C \cdot T) \quad \dots \text{式-2}$$

C: 濁質の濃度(mg/L)

T: 継続時間

$$\cdot R = 0.738 \times SI + 2.179$$

N=120,  $r^2=0.638$

R: 影響度レベル

図-17は式-2を用いて計算されたインパクトのレベルと本研究で行った結果に基づくインパクトのレベルを比較したものである。Newcombeによる計算値よりも左上にあるアユの実験値は、Newcombeの計算値より小さいインパクトレベルで影響を受けることを示す。また、データ数は少ないもののサケ科魚種であるヤマメの致死状況は、Newcombeの予測値と一致し、カジカでは予測値よりも大きなインパクトレベルまで耐えられる傾向を示し、魚種によっても濁水による影響が異なる結果となった。また、

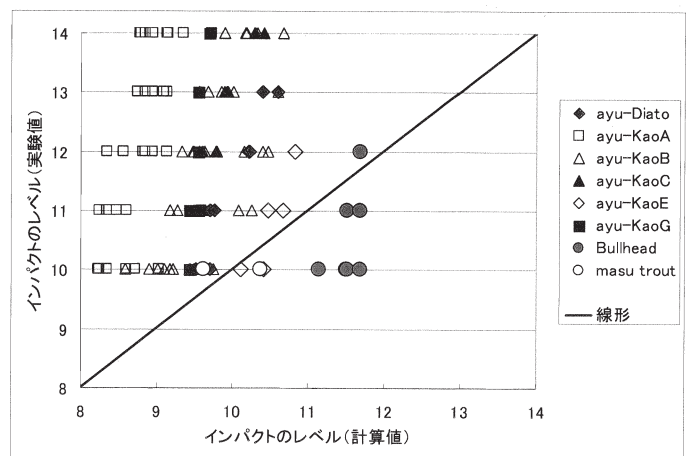


図-17 Newcombe によるインパクトレベルの実験値・計算値



濁質別のアユのインパクトレベルを比較すると、多少のばらつきはあるものの概ね濁質によってグループ分けができ、グループ間を比較すると濁質の粒径が小さいほど影響を受けにくい傾向がみられた。

#### 4.3 考察

室内実験の結果を通じて、濁水に暴露された魚類の死因は濁質成分のエラへの付着による窒息死であり、エラの閉塞は死亡する直前の短時間に生じていること、エラへの濁質の付着は一時的であることが明らかとなった。また、これらの影響には、濁質濃度、継続時間、濁質成分が関与していることが明らかとなった。さらに、魚種によってもその影響が異なることが示唆された

これらのことから、濁質の成分に応じた適切な濁質の濃度や継続時間をコントロールすることにより、魚類に与える影響を最小限に留めることが可能であると考えられる。また、濁りによる影響を評価していくためには、当該河川において最も影響を受けやすいと考えられる魚種を選定していくことも重要である。

#### 参考文献

- 1) 水産庁 漁業公害調査報告書 (ダム等河川工作物設置による漁業への影響調査) 昭和61年3月
- 2) C. P. Newcombe and D. D. MacDonald: . Effects of Suspended Sediments on Aquatic Ecosystems: North American Journal of Fisheries Management 11. 72-82, 1991
- 3) Muraoka K, Ozawa T: Effects of Suspended Sediments on Japanese Fish, International Symposium on Fishway and Toropical River Eco-hydraulics, 225-262, Sep. 4-5, 2001

## 5. 高水敷切り下げによる生息環境予測手法

### 5.1 高水敷の樹林化の経年変化

#### 5.1.1 方法

手取川、大井川、木曾川、猪名川、九頭竜川、天神川、菊池川において、1960年代以降の地被状態の経年的変化を知るために、空中写真より、対象区間の堤間幅内の地被状態(4分類)を判読した<sup>1)</sup>(表-7、8)。

次に、各河川において年代ごとに不等流計算を行い、平均年最大流量時の川幅水深比を求め、地被状態との関係をみた。

#### 5.1.2 結果

図-18に地被状態の面積割合について、その経年変化を示す。無植生地の減少、草地、樹林地の増加がみられ、人工地は耕作地からグラウンド、建造物、護岸などに変化していた。

図-19に、各河川の川幅水深比と各地被状態の占める割合との関係について示す。川幅水深比が小さくなるにつれて、無植生地が減少し、樹林地が増大する傾向にある。しかし、川幅水深比が260より小さくなる辺りから樹林地は減少し、人工地が急激に増える結果となった。これは、本来、樹林地であった箇所が人為改変により人工地へ変化していると考

表-7 地被状態の分類

分類項目	分類項目の定義	
無植生地	(水域)	空中写真撮影時に水面であった場所
	(自然裸地)	空中写真撮影時に植物の繁茂がなく、人工的利用でない場所、主に砂州。
草地	空中写真撮影時に草本植物が繁茂している場所	
樹林地	空中写真撮影時に木本植物が繁茂している場所	
人工地	グラウンド、田畑、河川構造物のある場所	

表-8 対象河川と資料使用の河道年

河川名	使用資料	使用資料の河道年				
		1980	1981	1991*	1998	2003*
手取川	横断測量	1980	1981	1991*	1998	2003*
	空中写真	1977	1984	1997*	1998	—
大井川	横断測量	—	1968	1979	1982*	2001
	空中写真	1956*	1968	1979	1995*	2001
木曾川	横断測量	—	1972	1982	1997	2000
	空中写真	1959*	1970	1981	1994	2002
	横断測量	—	1972	1982	1997*	2000
	空中写真	1959*	1970	1981	1993*	2002
猪名川	横断測量	1959	1967	1976	1983*	—
	空中写真	1959	1967	1976	—	2000*
九頭竜川	横断測量	1981	1983*	1989	1997*	2001
	空中写真	1981	—	1989	—	2000
天神川	横断測量	1963	1971	1979*	1990	1997
	空中写真	1963	1971	—	1990	1997
菊池川	横断測量	1960*	1967	1982	2002	—
	空中写真	1947*	1967	1982	2002	—

えられる。実際に、多くの場所でグラウンドの整備などが進んでいた。

以上より、とくに1990年以降、樹林化の傾向にあることが推察された。樹林化が進行し、礫河原が減少したということは各地で言われていたが、7河川のもとにデータを比較、分析することで、それらの傾向を定量的に示すことができた。

## 5.2 河原の自然再生事業の現状

平成14年12月、自然再生を総合的に推進し、生物多様性の確保を通じて自然と共生する社会を実現すること等を目的として「自然再生推進法」が成立した。同法では、自然再生を「過去に損なわれた自然を積極的に取り戻すことを目的として、関係行政機関、関係地方公共団体、NPO、専門家等の地域の多様な主体が参加して、自然環境の保全し、再生し、創出し、またはその状態を維持管理すること。」と定義されている。以降、同法を受け、国土交通省河川局も河川の自然再生事業に取り組んでいる。

実事業の現状を知るため、各地方整備局を対象に、自然再生事業に関するアンケートを行った。その結果、自然再生事業の取り組みとして、樹林化が進行した砂礫河原の再生が多く、樹林化などに伴う砂礫河原の再生予定は7地整あった(表-9)。

ほとんどの河川で、砂礫河原が減少した要因の1つに砂利採取をあげている。再生のための対策は、高水敷化した砂州を平水時までの切り下げることが予定されている。その目的は、樹林化の抑制、河原植物の回復、アユなどの産卵場の再生であった。また、ほとんどの河川で、砂礫河原の再生後の評価は行わない予定となっていた。

## 5.3 河原再生後の河原環境(植物)の予測

現地調査、実験より、砂礫構造の違いが、河原植物の生育環境特性に及ぼす影響を確かめた。現地調査では、砂礫構造のタイプの違いにより、植物の生育量(植被率)がどの程度違うかを明らかにした。室内実験では、砂礫構造、灌水頻度を変え、それらが植物の成長に及ぼす影響予測の検討を行った。

### 5.3.1 現地調査と結果

#### 1) 現地調査

現地調査は、茨城県的那珂川、久慈川の砂州上に調査区を設定し、砂礫構造と植生調査を356地点において実施した。それぞれの調査区では、あらかじめ

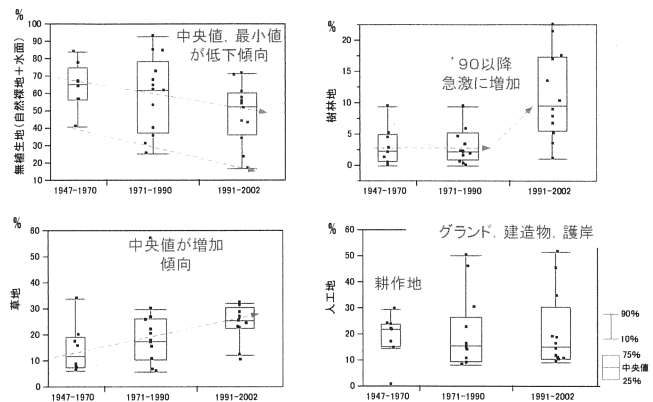


図-18 地被状態の面積割合の経年的変化

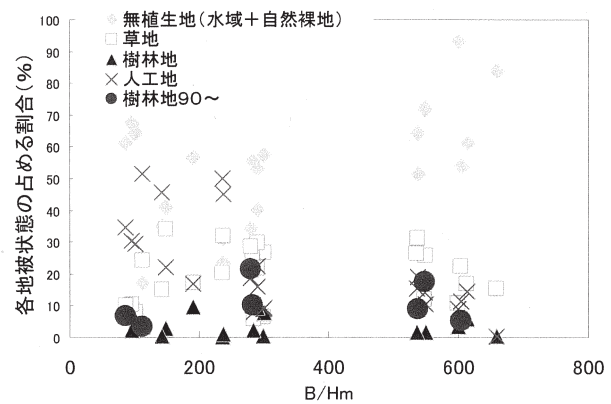


図-19 川幅水深比(B/Hm)と地被状態の面積割合の変化

め5つのタイプに分類した砂礫構造のタイプを記録した。分類した砂礫構造のそれぞれのタイプは、タイプI(表層が礫100%で被覆され、最表層から礫を2層以上除去しても砂成分が確認できない)、タイプII(表層が礫100%で被覆され、最表層を除去すると砂成分が確認できる)、タイプIII(表層が礫と砂から構成され、砂成分による被覆は10%未満)、タイプIV(表層が礫と砂から構成され、砂成分による被覆は10%以上)、タイプV(表層に砂成分が堆積し、礫が全く見えない)とした。また、植生調査は、1m×1mの調査区内の全植被率、種名と植物種ごとの主根長を計測した。

#### 2) 結果

図-20に砂礫構造のタイプ別にみた植被率との関係を示す。図に示されるように、礫が減少するにつれて、植被率が大きくなる傾向がみられた。また、主根長を調べた結果、平均して約6.5cmの長さであった。このことから、河原に生育する多くの植物は浅い場所に主根を伸展させていた。

### 5.3.2 実験方法と結果

#### 1) 実験方法

現地調査で確認された植物および他の河川の河原でも典型的に見られる植物を対象に、植物の発芽・成長実験を行った。実験は恒温室内で行い、砂礫構造のタイプ、灌水頻度を変え、それぞれのタイプの生育状況の違いを確かめた。対象とした種子は、ヤナギタデ、シロザ、メドハギ、ヨモギ、コセンダングサ、セイタカアワダチソウ、ケイヌビエ、アキノエノコログサとした。

プランター（縦 38cm×横 14cm×高さ 20cm）内に、図-21 に示すような砂礫構造を作成した。現地調査時と同様に、礫分の最も多いものをタイプ I とし、全くないものをタイプ V とした。とくに、タイプ I、タイプ II では、隙間ができないように礫を敷き詰め、基礎土に光が届き難い環境を作った。

明暗条件は、明期12時間、暗期12時間に設定した。温度条件は、明期に28℃、暗期に15℃とした。それぞれのタイプの土壌の水分、植物種を確認し、実験を終了した。光量子量の測定には、実験開始前に別途用意したプランター内に光量子計を入れた上にガラス板をはめ込み、さらにガラス板の上に砂礫を敷き詰め、板下へ透過する光量子量をタイプ別に計測（5箇所/タイプ）した。

#### 2) 結果

表-10 に計測したタイプ別の光量子量の平均を示す。タイプ I～タイプ III までは、光量子量は 0～0.21 ( $\mu\text{mol/s/m}^2$ ) であり、砂礫により光量子量が制限されていた。タイプ IV から光量子量が大きくなり、タイプ V では、約 50 ( $\mu\text{mol/s/m}^2$ ) となった。

図-22 にタイプ別の植物の枯死率を示す。灌水頻度が 3 日おきのものは、7 日、14 日おきと比較し、各タイプで枯死率が最も小さかった。一方、灌水 14 日おきでは、タイプ IV、V の枯死率が 90% を超えた。

図-23 に実験終了時におけるタイプ別の生存個体数を示す。タイプ I は、総個体数が最も少なく、タイプ II で約 80 個、タイプ III～タイプ V では 100 個を超えた。その内訳をみると、灌水頻度が 3 日おきのタイプの個体数は、40 個～60 個で増減を繰り返していた。灌水頻度が 7 日おきのタイプの個体数は、タイプ I が最も少なく、タイプ II からタイプ V へ向かうにつれ徐々に多くなった。灌水頻度が 14 日おきのタイプの個体数は、3 日おき、7 日おきと同様にタイプ I が最も少なかったが、タイプ IV、V では、タイプ II、III に比べてむしろ個体数が減少した。この

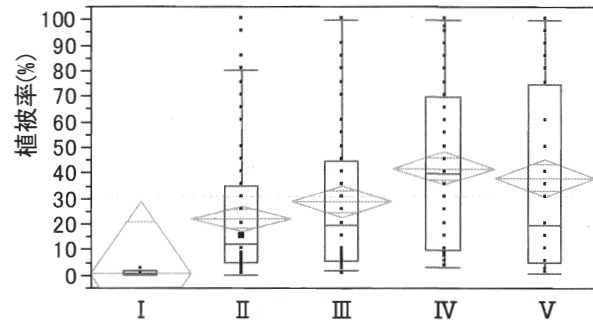


図-20 タイプ別にみた植被率

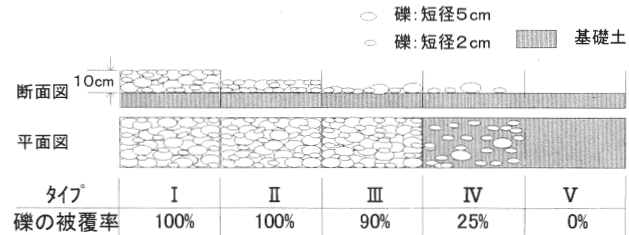


図-21 実験時の砂礫構造のタイプと礫の被覆率

表-10 タイプ別の光量子量

礫層タイプ	I	II	III	IV	V
光量子量 ( $\mu\text{mol/s/m}^2$ )	0.00	0.21	0.35	29.31	49.66

理由として、図-24 に示すように、IV-14、V-14 の体積含水率が低く、どちらのケースも中央値が 0.1 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) を下回っていたため、植物が成長できなかったものと思われる。水分条件が厳しい場合、礫の被覆効果により水分を保持でき、植物の生存を助長する可能性を示す結果となっている。

本研究結果をふまえ、実際、砂礫河原の再生を計画する際には、礫の被覆率だけでなく、礫の厚さにより、植物の生育の度合いが決まることに留意しなければならないことが明らかとなった。とくに、砂礫層が 5cm では、被覆率が 100% であっても、僅かに植物の発芽を制限するのみで、10cm 程度の礫層厚がなければ、短期間で植物が繁茂に至る。

### 5.4 持続的な砂礫河原を形成するための河川高水敷の土砂堆積・浸食の予測システム（北川の野地区を例として）

現在の河道特性に適した砂礫河原を再生するにあたり、改修箇所の変化を簡易に予測できる手法が必要とされる。そこで、空中写真を用いた画像解析



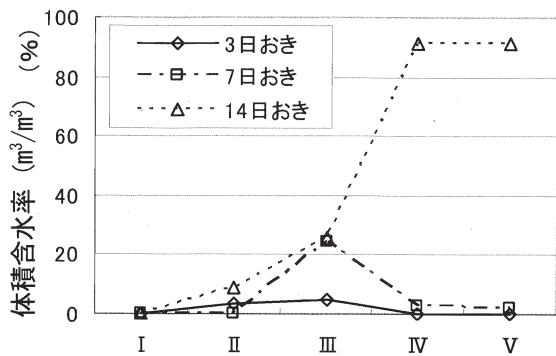


図-22 タイプ別の植物枯死率 (実験終了時)

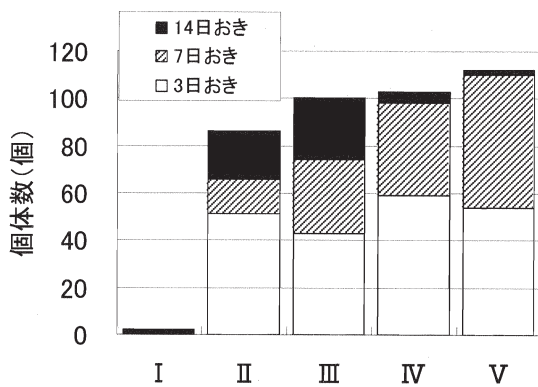


図-23 タイプ別の生存個体数 (実験終了時)

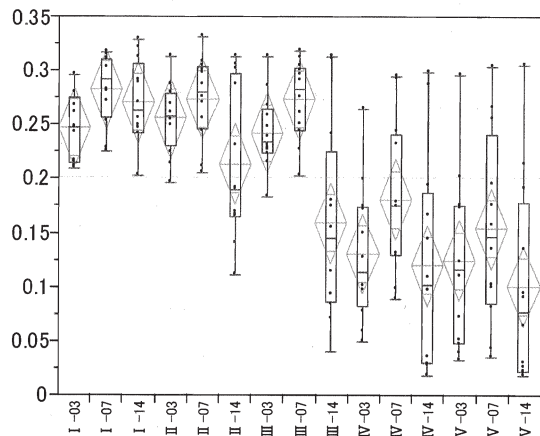


図-24 タイプ-灌水頻度別にみた体積含水率

により河床高を求め、既存の平面2次元流計算を元に、持続的な砂礫河原の形成を予測するシステムの第一案を作成した。

### 1) 方法

対象とした地区は、平成13年に大規模な高水敷切り下げが行われた五ヶ瀬川支川北川の野地区および本村地区(宮崎県東臼杵郡北川町)とした。

まず、空中写真から画像処理を行い、平成13年の

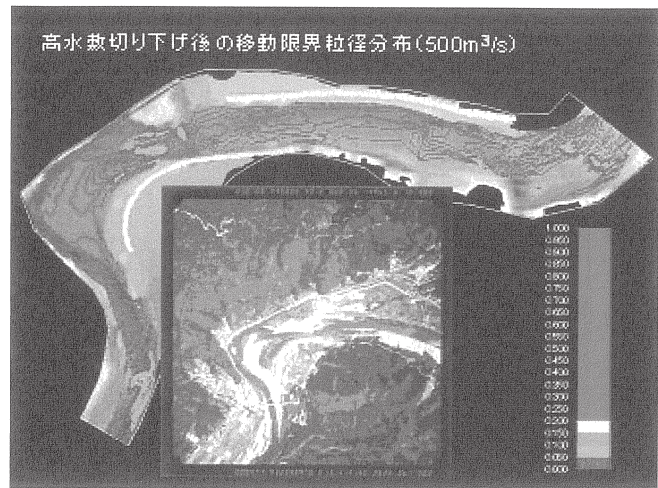


図-24 高水敷切り下げ後の移動限界粒径分布

初期河床の地形データを得た。次に既存の固定床の平面2次元流計算を行い、水深、移動限界粒径を求めた。また、計算時間を短縮するため、対象区間の最寄りの流量データから砂礫の移動に関わる特徴的な流量を複数抽出し、固定床の平面2次元流計算を行った(図-25)。

他方で、精度検証をするため、当該地区の平成13年を最終河床とし、先ほどと同様に空中写真から画像処理をし、平成13年との比較から河床高の変動量を求めた。

### 2) 結果

移動限界粒径のコンターと河床変動量の傾向が概ね一致し、上述の解析手法で土砂の変動箇所を予測することが可能であることが明らかになった。このことは、すなわち、空中写真と流量データさえあれば、土砂の堆積、浸食箇所が特定できることに繋がり、本手法のような簡易な方法でも、砂礫河原を形成するのに適した箇所を選定することが可能となることを示唆する。

以上のように、事業実施前の検討に使用することにより、砂礫河原再生を含めた自然再生事業をより効果的に実施することが可能になることが示された。今後は、上記手法をより発展させ底質マップから、粒径の構造や堆積厚といったより詳細な河道内微地形の形成過程を予測する手法を開発する予定である。

### 5.5 まとめ

樹林化の進行の程度、実事業の状況、砂礫構造を再生するための工学的アプローチの方法について研究を進め、樹林化の進行にともない礫環境の減少や礫河原に依存する生物の減少が著しいことが示唆さ

れた。平成 17 年度現在、自然再生事業計画として砂礫河原の再生を計画している河川は、7 河川(6 地整)あった。しかしながら、砂礫河原の再生に向けた検討は十分とは言えなかった。そこで、実際に砂礫河原のある河川で現地調査、実験を行い、求める砂礫河原を再生するには、砂礫の被覆率や礫層厚が重要であること明らかにした。また、解析検討により、河道計画の段階から、どの場所に砂礫河原を再生すると最も効率がよいかについて、最適解を得るためのシステムを作成した。

#### 参考文献

- 1) 大石哲也、萱場 祐一、天野 邦彦：全国 7 河川の河道特性及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. 8、 pp. 367-362、 2005. 6.





## 6. まとめ

### ①捷水路が魚類・河道植生に与える影響の解明および回避・低減手法の提案

捷水路建設事業の事例として、12 河川で、現地調査および空中写真から直線河道における河道特性を把握した。その結果、まず、捷水路建設後の川幅水深比 (B/H) を利用し、交互砂州ができる場合 ( $B/H > 40$ )、できない場合 ( $B/H \leq 40$ ) に分類して評価する必要があることを明らかにした。さらに、交互砂州ができる場合は、瀬淵の構造が捷水路建設後においても形成される可能性があることから、その構造の変化の割合に着目して影響評価を行う必要があることを示した。そのために、瀬淵構造と河床勾配との関係を明らかにし、瀬淵構造が事業前後でどのように変化するかを河床勾配の変化から予測する手法を提案した。一方、交互砂州ができない場合は、できる場合と比較し、生物の生息場そのものの大きな変化が予測される。この場合は、瀬淵構造が消失するため、影響低減策として水際の改善により、魚類生息場を創出する必要があることを示し、その効果について定量的に評価を行った。

### ②減水区間における維持流量の増加が魚類生息環境に及ぼす影響の解明

分水路の事業実施後流量の減少が生じた牛朱別川を対象に、流量変化による環境予測手法の検討を行った。物理環境の変化から見た魚種の生息環境評価モデルの 1 つである PHABSIM を用い、流量変化に伴う魚類 (フナ、ジョウ、ウグイなど) の生息可能面積の予測と現地調査に基づく検証を行った。この結果、流量変化に伴う魚類生息可能面積の変化と実際の採捕個体数の変化は概ね一致した。遊泳魚の生息数には、流速が強く影響し、底性魚の生息数には、底質の粒径が強く影響する結果がみられた。分水路建設前、牛朱別川は、単位幅流量が大きく、平常時の流速・水深が全体的に大きかった。このため、分水路建設後、流量の減少に伴う流速と水深の低下は遊泳力の小さい魚類の生息域の拡大を引き起こし、結果として生息魚類の個体数が増加することとなった。これらの結果から、河川の流速、水深、底質といった物理環境の変化から魚種の生息可能域を評価することで、魚種への影響評価がある程度可能となることが判明した。

### ③河道改修などに起因する濁水の発生が魚類に与える影響の解明

高濃度の濁りが魚類に及ぼす影響について、日本在来種を対象に濁質の濃度・継続時間の積と致死率の関係を得て当初の目標を達成し、予定通り平成 14 年度で研究を終了した。

この関係は濁水濃度やその継続時間により異なるだけでなく、新たな知見として魚種や濁質 (粒径・成分) によっても異なることが明らかとなった。さらに、同程度の濃度で比較した場合、濁質中の粒子の

粒径が大きいほど生存時間が短くなる傾向がみられた。実験における魚の死因は、濁質の粒子がエラに付着し閉塞することによる窒息と考えられる。実験中、生存している魚には粒子の付着が見られないことから、粒子の付着は、死亡直前の短時間に急に起きると考えられる。またエラに捕捉されない微細粒子であってもエラ内部を損傷することが観察された。

### ④高水敷切り下げによる生息環境予測手法の提案

樹林化に至った河川を対象に、地被状態の変化を調べた結果、とくに礫環境の減少や礫河原に依存する生物の減少が著しいことが示唆された。このため、高水敷切り下げは、樹林化を防止すると共に、砂礫河原の環境が維持できるように実施する必要があることが示された。現地調査・実験から、砂礫河原の成立には、砂礫の被覆率、層厚といった砂礫構造が支配しており、礫厚 10cm、礫被覆率 100% のとき、光制限により植物の生育は抑えられることが明らかとなった。また、比高の高い砂州では、同じ降雨下においても、砂の割合が多くなるにつれて、逆に、表層の土壌が乾きやすくなり、水分条件により発芽後の枯死率が高くなる可能性があることが分かった。上記の検討から、高水敷切り下げに際しては、砂礫構造の違いによる環境変化 (光、水) の予想が必要であり、また、その予測には、切り下げ後の土砂動態を予測する必要があることがわかった。そこで、さらに、GIS とシミュレーションによる水理解析検討により、砂礫河原の持続しやすいつい場所について予測できるシステムを提案した。