

13.4 多自然川づくりにおける河岸処理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：水環境研究グループ自然共生研究センター

研究担当者：萱場祐一、佐川志朗

【要旨】

本研究では、様々な河岸 - 水際タイプの生態的機能に関する既往研究結果の整理と新たな実験、調査を行い、その生態的機能を明らかにし、多自然川づくりにおいて河岸 - 水際域を保全する際の留意点の取りまとめ、河岸処理手法の提案を行うことを目的としている。平成 19 年度は 1) 河岸 - 水際域の生息場所として石礫がつくる間隙の機能解明、2) 河岸 - 水際域に設置した木杭群の生息場所修復手法としての評価、3) 環境護岸を中心とした既存護岸の生息場所評価について検討を行った。1) では、大礫および巨礫により創出される個々の間隙の環境特性と魚類定着の特異性を魚種別および昼夜別に統計モデル解析により明らかにし、魚種・昼夜間によって利用する間隙の特性が異なることを示した。2) では、魚類の定着には、断続配置よりも連続配置の方が有効であることを示した。ただし、本実験は小流量時に限定された結果であるため、今後流量の幅を広げて検討し、流量増減に伴う修復手法の効果の変化を明らかにする必要がある。3) では、冬季における解析結果から、大礫 - 巨礫がつくる間隙が越冬場所として機能していることを示した。

キーワード：一般化線形混合モデル、間隙構造、木杭構造物、護岸改修、水際修復

1. はじめに

日本の中小河川の多くは河岸浸食を許容できないため、浸食の恐れがある区間については護岸工による河岸防御が不可欠である。このため、河岸 - 水際域（以下、水際域）が本来有する水生生物の生息場としての機能消失が懸念されている。しかし、1) 水際域の生息場所としての機能を評価した研究、また、2) 劣化した水際域の修復手法の効果に関する研究、3) 環境保全型の護岸工法の評価に関する研究は少なく、水際域の効果的な保全手法は未確立の状態にある。

本研究では、河川中流域における水際域保全の留意点の取りまとめと新しい河岸処理手法の提案を目的とし、平成 19 年度は、1) として、石礫がつくる間隙の生態的機能に関する実験、2) として、木杭群による水際域修復方法に関する実験、3) として実河川の 21 タイプの護岸部における魚類の経時利用変化（多自然型河岸処理手法の類型化と問題点の抽出）を行った。

2. 実験水路における石礫間隙の魚類の利用特性

2.1 方法

地下室から水中部の目視が可能な国土交通省水辺共生体験館の実験水路を用い（<http://www.taikenkan.go.jp/experi.html>）実験水路を幅 1.6m 延長 25m に改修すると共に、水路の左岸側半分に連続して径

20-35cm の礫を敷き詰めた（写真 1）

調査は、実河川から導入した魚類を実験水路に 3 ヶ月間放置し、9 種 159 尾の魚類が安定定着した 2007 年 1 月に、地下室からの目視観察が可能な全 355 箇所の間隙を対象に実施した。魚類調査は、日中 9 時と日没後 18 時に 4 日間連続して、各間隙に生息するオイカワ、タモロコおよびフナ属の個体数を観察室より目視記録した。物理環境調査は全間隙の、a: 水際からの横断距離、b: 相対照度、c: 容積、d: 間隙までの水深、e: 流速、を計測した。設定流量は $0.1\text{m}^3\text{s}^{-1}$ とした。



写真 1 実験水路の状況(地下左岸観察室の状況) は間隙の位置

2.2 結果

目的変数を「魚類の確認、未確認」、説明変数を「上述 a-e の環境因子」とし、ランダムエフェクトを調査回（観測日）として一般化線形混合モデル（GLMM）

のベストモデル (AIC: Akaike Information Criterion が最小になるモデル) を抽出した (表 1)。GLMM は個体差、場所差、観測日差などの効果 (変量効果: ランダムエフェクト) を考慮した統計モデルである¹⁾。ベストモデルはどれも AUC 値 (ROC 曲線下面積値) が 0.7-0.9 であり、良い予測モデルであることを示している。種間および日中、日没後において、統計モデルに選択されたパラメータの効果 (+ -) および変数の重要性 (IOV 値) には違いがみられた (表 1)。すなわちモデルは、次の現象を支持する。オイカワは、昼には流心側の低層の流れのある間隙を利用し、夜には流心側の表層部付近に移動した。タモロコは昼には暗い間隙を利用し、夜には水際の表層の流れのない間隙に移動した。フナ属は、昼には流心側の低層の流れがなく暗い間隙を利用した。

表 1 各種、昼夜別の GLMM のベストモデルの抽出パラメータの効果

		AUC*	距離	水深	流速	照度	容積	AIC***
オイカワ	日中	0.7	(+)0.9**	(+)0.8	(+)0.5			274.5 (272.3)
	日没後	0.7	(+)0.8	(-)0.9				262.3 (259.6)
タモロコ	日中	0.7				(-)1.0		219.3 (212.4)
	日没後	0.8	(-)0.8	(-)0.7	(-)0.5			93.66 (93.22)
フナ属	日中	0.9	(+)0.9	(+)0.9	(-)0.5	(-)0.6		86.94 (86.17)
	日没後	エラー						error

*: AUC: Area Under the Curve (ROC 曲線下面積)
 **: () の右肩に付いている数字は IOV 値: relative Importance Of Variable (説明変数の相対的な重要性)
 ***: AIC: Akaike Information Criterion (赤池情報量基準); 上段がフルモデルの値で、() 内がベストモデルの値。

2.3 考察

本研究の結果から、魚種ごとに選択する間隙の位置や環境は異なり、さらに、昼夜では利用する間隙を変化させることが明らかとなった。従って、様々な魚種の昼夜の生息場所を保全するためには、多様な間隙環境が必要となる。本研究で抽出された統計モデルを用いれば、石礫の設置幅、設置水深、間隙流速および間隙内の照度をコントロールすることによる各種の生息確率が予測できる。従って、以上の環境因子を操作して実証実験を行い、モデルの検証を行う必要がある。また、礫のサイズによっても群集構造レベルで定着する魚類が異なること²⁾、魚種によっては流量の増減少時に間隙を避難場所として利用すること³⁾が示されている。今後、これらの知見を統合し、多自然川づくりにおける河岸処理手法の評価手法の開発が必要である。

3. 実験河川における木杭配置と魚類の関係

3.1 方法

自然共生研究センターの施設である実験河川 A (<http://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/index.htm>)

に、2007年6月に4ケースの調査地 (縦断距離 20m、横断距離 2.5m) を2箇所ずつ造成した (図 1、写真 2)。木杭群は 70cm×70cm 四方内に直径 60mm、長さ 50cm の木杭が 12 本千鳥配置したものを基本単位とした。木杭群を配置しない調査地をケース A、木杭群を連続配置した調査地をケース D とした。また、木杭群の断続配置は 1.4m 間隔のものをケース B、0.7m 間隔のものをケース C とした。流量は河川中流域の実河川の低流量時の流量を勘案し (自然共生研究センター未発表データ) 0.25m³s⁻¹ (単位幅流量 0.1 m³s⁻¹m⁻¹) とした。

2007年10月に、物理環境調査と遊泳魚類の捕獲調査を実施した。前者は各調査地に等間隔に設定した 84 測点において、水深、河床部と 6 割深度部の流速、優占河床材料 (直径区分: 1. 泥、2. 砂: <2mm、3. 小礫: 2-16mm、4. 中礫: 17-64mm、5. 大礫: 65-256mm) を計測した。後者は、各調査地を網で仕切りエレクトリックショッカーを用いて 2 回の反復採捕を行い (除去法) 各調査地の生息個体数を推定した。

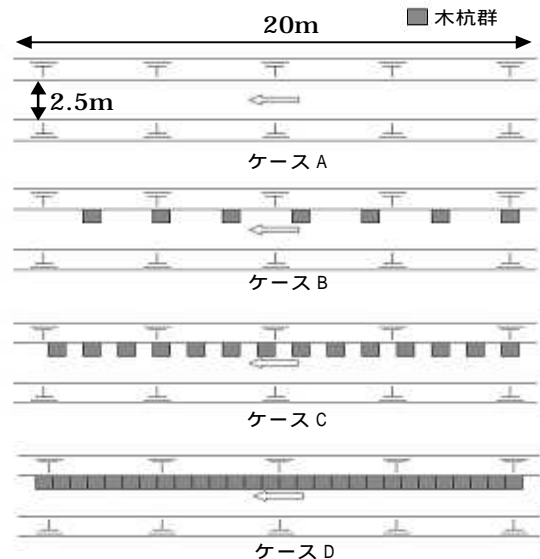


図 1 木杭群の設置ケース (平面図)



写真 2 連続配置 (ケース D)

3.2 結果

確認遊泳魚類の推定個体数は、オイカワ 684、ウグ

イ 3、タモロコ 100、モツゴ 31、ニゴイ 16、カネヒラ 2 となり、オイカワおよびタモロコが優占種であった。各ケースの推定生息個体数は連続配置のケース D で多く(図 2) この傾向は優占種ごとにみても同様であった。取得した物理環境から算出される環境要因と遊泳魚の生息個体数との間には木杭群面積と 6 割深度部の低流速地点が占める割合に関して有意な正の相関が認められた(表 2)。

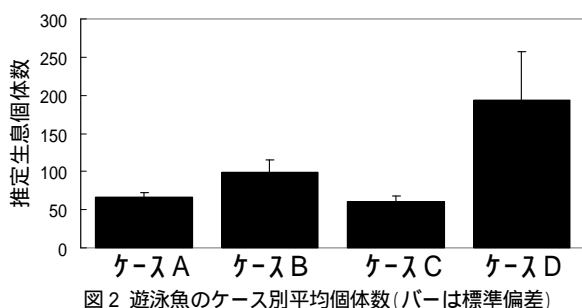


表 2 遊泳魚個体数と物理環境要因の相関係数

因子	遊泳魚
平均水深	0.521
河床流速(平均)	-0.668
6割深度部流速(平均)	-0.388
河床材料(砂)	0.512
河床材料(小礫)	-0.263
河床材料(中礫)	-0.255
河床材料(大礫)	0.180
木杭群が占める面積割合	0.755 *
低流速地点が占める割合(河床流速)	0.569
低流速地点が占める割合(6割深度部流速)	0.711 *

* $P < 0.05$

3.3 考察

本研究の結果から、断続配置よりも連続配置の方が木杭群および低流速域の面積が大きく、魚類の生息数も多くなることが示された。また、断続配置ではケース間の個体数の差異が小さく、杭群の面的な連続性の消失が魚類の定着を減少させている可能性がある。

木杭群を断続配置させて魚類の遊泳行動を観察した結果では、木杭群内では流速の乱れが生じ魚類の定着は困難であり、断続的に配置した木杭群の前縁部(直上流)および後部(下流)に創出される局所的な安定した低流速部にオイカワが定着したことが報告されている⁴⁾。本研究では、木杭群内部における平均流速は相対的に遅く、既存研究と比較して木杭群内部の乱れが小さかった可能性がある。

従って、本研究における木杭群の存在は魚類の定位場所として機能し、面積の広い連続配置が選好された可能性がある。今後、実験流量、木杭群の配置を系統的に変化させて、木杭群内部の流速及び乱れと魚類の生息との関係を明らかにし、水際域の修復工法開発に関する基礎的知見とする必要がある。

4. 実河川護岸部における魚類生息場所の機能評価

4.1 方法

様々な護岸を近接して展示している新境川の自然共生工法展示場(<http://www2.crcr.or.jp/shizenkyousei/>) (木曾川合流点から 300m 直線区間)の水際域を調査地とした。調査地は河床勾配の緩やかなトロ部(調査区 A、B)および河床勾配の急な瀬部(調査区 C、D)に大別され、調査区 A のみが自然河岸となっている(写真 3)。調査区 B、C、D からは形式の異なる 7 タイプの護岸(計 21 箇所)を、調査区 A からは 4 箇所の自然河岸を選定し、計 25 箇所の水際部(水際から横断幅 1m、縦断距離 10m の範囲)を調査地点とした。



写真 3 新境川における調査区の配置(航空写真)

2007 年の 5 月(春季)、8 月(夏季)、11 月(秋季)および 2008 年 2 月(冬季)に、魚類捕獲調査と物理環境調査を行った。魚類捕獲調査では遊泳魚を対象に電気ショッカーを用いて 1 調査地点あたり 10 分間の捕獲を行った。物理環境調査では 1 調査地点あたり規則的に配置した 18 測点(6 横断線×3 点)において、水深および流速を計測した。また、河床材料(泥-砂: 粒径 < 2mm、小礫-中礫: 粒径 2-64mm、大礫-巨礫: 粒径 > 64mm)およびカバー(水中および水上部の植生の有無)を記録し、全測点に対する該当測点の割合(被覆割合)を算出した。また、水際の複雑さを表す指標として、河岸基線(流路と平行の直線を陸域側から水際に接したライン)から水際までの張り出し長を 6 横断測線ごとに計測し、その標準偏差を「水際複雑度」とした。なお本論では、越冬場所の物理環境特性に着目して、冬期の物理環境データを用いて解析を行った。

4.2 結果

遊泳魚の平均個体数は、秋季および冬季に多かった(図 3)。両時季ともトロ護岸の調査区 B が突出し、瀬護岸の調査区 C もしくは D が次に続いた。冬季には自然河岸の調査区 A では魚類の定着はほとんど確認

されなかった。冬季の物理環境を調査区間で比較した結果、流速および水際複雑度について有意な差が確認され、調査区 A では流速が極端に小さく、水際ラインが単調（直線）であった（表 3）。

冬季の遊泳魚の個体数を調査地点間で比較すると、トコ護岸区の B-1 および B-2、瀬護岸区の C-7 および D-4 の個体数が突出した（図 4）。個体数と物理因子（表 3 の 8 因子）との間でピアソンの相関分析を行った結果、小礫-中礫の被度との間に有意な負の相関が確認され、大礫-巨礫の被度との間には有意な相関は認められなかったものの有意確立は $P=0.0501$ と小さく、正の相関が認められた。

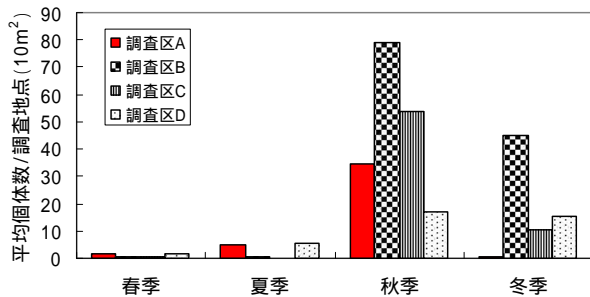


図3 遊泳魚の捕獲個体数の経時変化

表 3 冬季の物理因子の調査区間の多重比較結果（平均値±標準偏差）

	調査区A (N=4)	調査区B (N=7)	調査区C (N=7)	調査区D (N=7)
水深 (cm)	8.6 ± 2.0	16.9 ± 2.3	17.5 ± 16.2	6.8 ± 0.9
流速 (cm/s)	1.8 ± 0.8 ^b	3.6 ± 1.6 ^b	9.2 ± 4.8 ^a	5.2 ± 2.4 ^{ab}
泥-砂の被覆割合 (%)	0 ± 0	6.4 ± 8.1	1.6 ± 4.2	5.6 ± 12.4
小礫-中礫の被覆割合 (%)	51.7 ± 28.0	44.4 ± 36.4	41.3 ± 24.6	27.0 ± 24.3
大礫-巨礫の被覆割合 (%)	48.3 ± 28.0	49.2 ± 39.0	57.1 ± 24.8	67.4 ± 29.9
水中カバーの被覆割合 (%)	5.6 ± 7.9	9.5 ± 4.2	4.8 ± 8.1	17.5 ± 16.2
水上カバーの被覆割合 (%)	32.5 ± 13.1	22.2 ± 13.9	14.3 ± 13.6	31.0 ± 10.1
水際複雑度	0 ± 0 ^b	9.6 ± 12.5 ^b	1.7 ± 4.6 ^b	52.5 ± 31.8 ^a

数値の右肩に付けたアルファベットが異なる(含まれない)場合は有意に差がある(P<0.05)ことを示す。

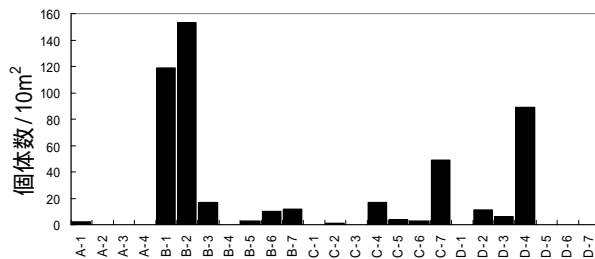


図4 調査地点別の冬季の遊泳魚の個体数

4.3 考察

冬季におけるトコの自然河岸（調査区 A）は捕獲個体数が少なく、越冬場所としてほとんど機能していないと判断された。これは調査区 A が他の調査区 B、C、D と比較して、水際複雑度が小さかったこと、大礫および巨礫の被覆が小さかったこと等が複合的に影響（水辺環境が単調化）していることが要因として考えられる。特に、大礫-巨礫がつくる間隙は冬季の生息量を上昇させる要因として働くことが示されており、水辺域における間隙の多寡は遊泳魚類の越冬場所としての

機能を評価するための有効な指標になると考えられる。以上の結果は、自然河岸か人工河岸かといった差異で水際環境を評価すべきではなく、適切な物理指標を用いて生息場を評価すべきこと、そして、環境保全型護岸を物理指標に沿って効率的に開発できる可能性を示唆している。

今回は冬季における生息場の評価を中心に行ったが、今後は各季において同様の検討を行い、水際域の生息場としての機能を物理指標と関連付けていくことが必要である。

5. まとめ

本研究は、自然河岸 - 水際に見られる水際タイプの生態的機能、修復工法の効果、環境保全型護岸の評価について調査および実験を行った結果を取りまとめた。以下の主要な研究成果を示す。

1. 大礫および巨礫により創出される個々の間隙の環境特性と魚類定着の特異性を魚種別および昼夜別に統計モデル解析により明らかにし、魚種・昼夜間によって利用する間隙の特性が異なることを示した。
2. 木杭群による水際域修復実験では、魚類の定着には、断続配置よりも連続配置の方が有効であることを示した。ただし、本実験は小流量時に限定された結果であるため、今後流量の幅を広げて検討し、流量増減に伴う修復手法の効果の変化を明らかにする必要がある。
3. 21 タイプの護岸水辺部を含む 25 箇所の河岸水辺部を対象に遊泳魚類の季節利用変化を把握した。冬季における解析結果から、大礫 - 巨礫がつくる間隙が越冬場所として機能していることを示した。

参考文献

- 1) 久保拓弥、粕谷英一：「「個体差」の統計モデリング」、日本生態学会誌、56、pp.181-190、2006。
- 2) 自然共生研究センター：「石の間隙を利用する魚たち、知られざる間隙の世界 - 石の間隙のサイエンス -」、ARRC NEWS、9、pp.2-4、2007。
- 3) 佐川志朗、秋野淳一、萱場祐一、矢崎博芳：「石の間隙の微環境特性および魚類利用形態の変化様式 - 実験水路を用いた個々の間隙レベルでの定位置観察 -」、応用生態工学会第 11 回研究発表会講演集、pp.89-92、2007。
- 4) 青木繁幸、佐川志朗、秋野淳一、萱場祐一：「木杭群設置によるオイカワの定着場所特性 - 実験水路を用いた個体レベル観察 -」、応用生態工学会第 11 回研究発表会講演集、pp.97-99、2007。

A STUDY OF RIVER BANK PROTECTION METHODS APPLIED TO RIVER RESTORATION PROJECT

Abstract : The major findings of this study are: 1. Each interstitial space underneath and between boulders functioned as a fish habitat with species-specific preferences for each environmental characteristics. 2. The wood-stake structure, which aimed to preserve edge habitat diversity by low-flow volume, had more positive effects on fish when placed in a continuous manner than intermittent one. 3. Stream edge with boulders provided overwintering fish habitat, whose effects were pronounced in bank protection edge with boulder cluster.

Key words: Bank protection, boulder cluster, GLMM, lateral rehabilitation, wood-stake structure