

# 河道内における移動阻害要因が魚類に及ぼす影響の評価に関する研究

研究予算：運営費交付金  
研究期間：平 22～平 25  
担当チーム：河川生態チーム  
研究担当者：萱場祐一、村岡敬子、  
中西哲

## 【要旨】

本研究では、河川に設置されている様々な横断工作物のうち、落差が 50cm 程度の低落差の構造物が魚類の移動にどのような影響を与えているのかを明らかとするとともに、その改善方策について検討を行った。検討の結果、特に底生魚であるカジカは、上下流の水面落差 15cm の構造物であっても構造物の遡上が困難であるとともに、出水時などの堰上げ時であっても遡上環境は改善がされないと推定された。底生魚の移動を可能とさせるためには、高密度の粗度を設置し、堰堤表面の流速を低減させるなど、改善を行う必要があることが明らかとなった。また、堰堤以外の濁水・水温変化などが魚類の移動の阻害になっている可能性を示した。

キーワード：低落差構造物、移動環境、底生魚、床固

## 1. はじめに

河川に生息する魚類等の生物は、生活史に応じて必要な空間を移動しながら利用する。魚類らの移動環境を改善するために、河川事業者は河道横断工作物に対する魚道の整備を積極的に展開している。一方、河道内には堰堤以外にも床止め工のような小規模落差や人間活動に起因する水質問題（水温・濁り）など、魚類の移動を阻害すると考えられる要因があり、この影響が大きい場合には必要に応じた対応・対策を講じる必要がある。このような河道内の移動阻害要因に対しては、アユに関する研究実績やこれを踏まえた指針類があるものの、他の魚種の移動阻害要因の実態把握や知見は十分ではない。生態系保全の視点に立ち、移動阻害要因に対して効果的な対応・対策を講じるためには、アユ以外の魚種を含めた移動阻害の現状を客観的に把握し、その影響を評価することが必要である。

本研究では、水域の生物の移動を阻害する要因と影響レベルを明らかにし、河川において必要な対策を講じるため、以下の達成目標を提示し研究を行った。

達成目標 1：河道内における魚類の移動阻害の実態解明

達成目標 2：移動阻害要因が魚類に及ぼす影響の評価

達成目標 3：移動阻害状況改善手法の提案

## 2. 研究方法

### 2. 1 河道内における魚類の移動阻害の実態解明

構造物の現状は、平成 21 年度に国土交通省が直轄管理区間の堰堤実施した「河川の連続性実態調査」のうち、河川の上下流の水面落差、越流水深等が明らかな 1074 施設のデータを使用し、魚道の有無や水面落差などについて整理するとともに、堰堤の構造つおよび写真をもとに、下流面の形状を整理した。達成目標 2 の結果を踏まえ、河道内の低落差構造物における魚類の移動環境の実態を整理した。

### 2. 2 移動阻害要因が魚類に及ぼす影響の評価

#### 2. 2. 1 低落差構造物周辺における流況と魚類の遡上行動

土木研究所内の屋外実験水路に、河道横断工作物の二次元模型（幅 40cm）を製作し、水面落下部周辺におけるイワナ・アユおよびカジカの遊泳行動を高

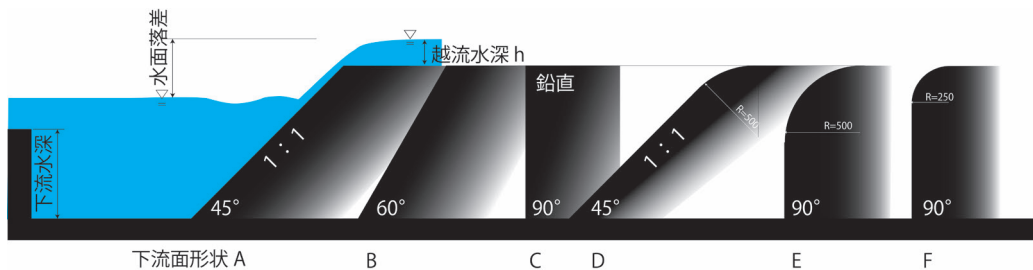


図-1 模型概要

表-1 実験ケース

実施年度	下流面形状※	下流水深 (cm)	水面落差 (cm)	越流水深 (cm)	検討項目	対象魚	水理条件
H22	C 鉛直	30,60	10,15	5,15	構造物表面粗度有・無	イワナ・カジカ	6
	B 60°	30,45,60	15	5,10,15	構造物表面粗度有無、水叩き材料	イワナ・カジカ(一部)	9
	A 45°	15,30,45,60	10,15,20,60 (15cm を中心)	5,10,15,20	構造物表面の粗度の有無、水叩き材料、補助構造物形状	イワナ・カジカ	38
H23	A 45°	45,60	15,30	5	表面の粗度形状	アユ・カジカ・イワナ	4
H24	D 45°	35,45,50,75,80,85,90,95	5,10,15,20,25,50	5,10,15,20,25,30	堰上げ時の頂部付近・下流の流況変化	-	29
	C,E,F 鉛直	85,95	5,15	20		-	6
H25	D 45°	50,100	5,10,15	10,20,30	流況変化と遡上経路	アユ・イワナ	10

※下流水深・水面落差・越流水深および下流面形状は、下記による



速ビデオカメラを用いて観察した。各年度の実験ケースを表-1 に示す。流況は、高速ビデオカメラを映像を用いた二次元 PIV 解析により得た。

## 2. 2 魚類の移動阻害の分子化学的評価

### (1) 移動性の評価

遺伝子情報に基づき得られる個体間の遺伝的距離や位置情報を用いて、魚類の移動阻害位置の推定を試みた。堰堤などの移動阻害要因が存在している場合であっても、魚は上流から下流への移動が可能であるため、その差異は、通常の生態学研究分野で使われている遺伝的差異に比較して非常に小さいことが推定される。そこで、本研究では、ターゲットの数が多く、検出感度を上げることができる AFLP 解析手法を用いた。調査では、堰堤は無いが3本の河川が合流したエリアに生息するカワムツを対象とした。

### (2) 濁水の影響

河川における水質環境の悪化は、そこに生息する生物に対して要因物質やその濃度・継続時間等に応じたさまざまな影響を引き起こす。このような影響を評価するための手法のひとつとして、ストレスタンパク等々の生体反応の適用が試みられているが、実

際の河川管理にどの程度応用可能であるかが不明であった。そこで本研究では、濁水に曝露した脳内のストレス応答物質の発現量と魚の行動を比較することにより、生体反応の実地への適用性について基礎検討を行った。暴露実験では、実河川の高水敷き上に造成した二股の水路の合流部下流にヤマメを8個体放した後、上流側の片側の水路に濁水を、別の水路に清水を流し、10分経過後の各個体の位置を記録した。濁水の濃度は投入する濁水の量により調整を

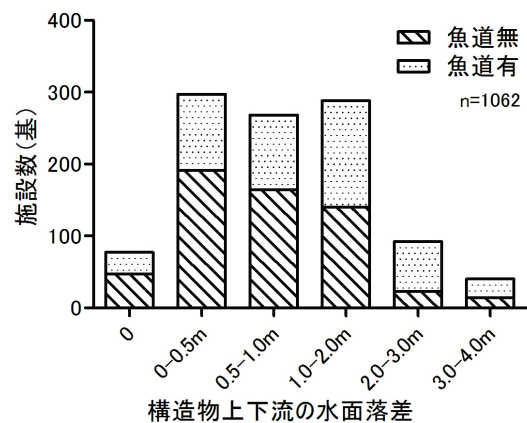


図-2 構造物上下流の水面落差の分布

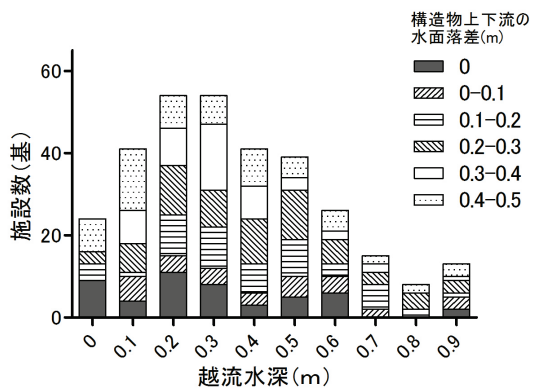


図-3 構造物越流水深の分布

行った。また、上記とは別に生体反応計測用のヤマメを各5個体、タモ網に入れた状態で濁水および清水に曝露した後、液体窒素で凍結し、実験室に持ち帰った。これらのサンプルより脳内の Total RNA を抽出し、HSP70 および GAPDH を Q-PCR により定量した。

### 2. 3 移動阻害状況改善手法の提案

2.2.1 において検討を行った3魚種のうち、最も移動能力に乏しく、かつ水位堰上げ時にも遡上行動がほとんど見られなかったカジカを中心に、低落差構造物の移動を可能ならしめる構造について、実験による検討を行った。

## 3. 研究結果

### 3. 1 河道内における魚類の移動阻害の実態解明

構造物上下流の水面落差（以下水面落差）は1.23 ± 1.62m, 2m 未満の施設が 83%, 0.5m 未満の施設が 31%を占めるとともに、水面落差が小さくなるほど魚道の整備率は低くなる傾向を示した（図-2）。水面落差が 1m 未満の構造物における越流水深は 0.2-0.3m をピークに、幅広く分布していた（図-3）。魚の遊泳能力や跳躍力高の情報に基づき、アユでは上下流の水面落差が 0.3m 以下、マス類では 0.5m 以下の構造物であれば、移動が可能と判断されている。これらのことから、本研究では水面落差 0.5m 未満の構造物を低落差構造物と定義し、整理を行った。

これら構造物の移動環境には、構造物上下流の水面落差、構造物下流面の構造が大きく関与するとともに、構造物が鉛直の場合には、イワナ、アユ、カジカいずれにおいても構造物へのアプローチがほとんど観察されなかった(3.2 参照)。

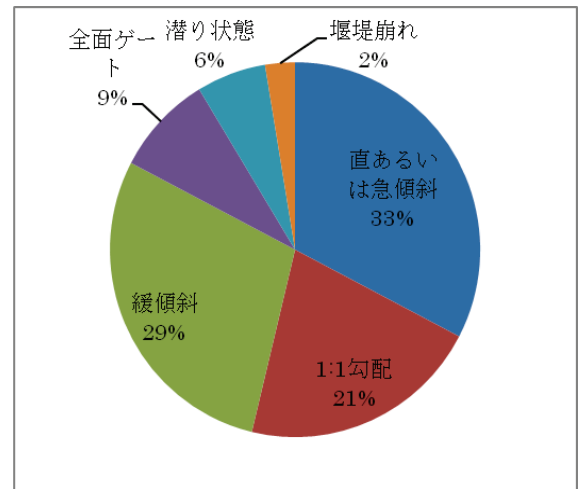


図-4 堰堤下流面の状況

水面落差 50 cm 以下の構造物のうち、写真もしくは図面で下流面の状況を判断できた 369 施設のうち、半数以上は堰堤の下流面が直から 1:1 勾配であった（図-4）。また、2割近い 75 施設では、堰堤下流の河床低下により、堰堤直下に鉛直の落差が生じていた。これらの構造物は特にカジカのような底生魚に対する移動阻害環境となっていることが推定される。これらの情報を統合した結果、カジカにおいては水面落差 50cm 以下の構造物であっても6割以上が移動の妨げとなっていると考えられた。

### 3. 2 移動阻害要因が魚類に及ぼす影響の評価

#### 3. 2. 1 低落差構造物周辺における流況と魚類の遡上行動

構造物下流面が垂直となる模型 1-3 では、越流水脈は構造物下流に沿ってほぼ垂直方向に落下し、水面落差が 15cm と小さい場合であってもイワナ・アユ・カジカのいずれにおいても構造物に対しアプローチする個体は少なかった。水面落差が小さくなっ

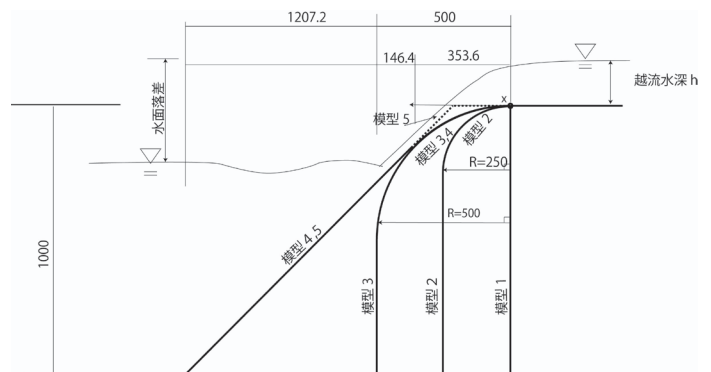


図-5 実験模型断面図

遡上実験は模型1（イワナ・カジカ）, 4（アユ・イワナ）, 5（イワナ・アユ・カジカ） 流況観察は模型1~4で実施

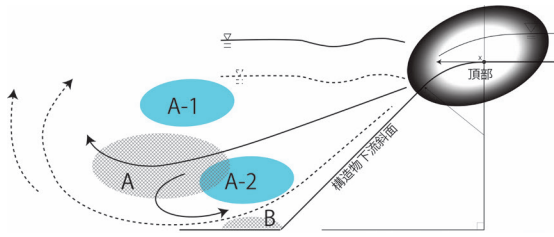


図-6 流況の変化と魚類の定位位置

てくるとイワナやアユにおいては頂部へアプローチする個体が観察されるものの、カジカにおいてはほとんど遡上行動が観察されなかった。

構造物下流側が斜面となっている模型 4・5(図-5)では、水面落差が越流水深より大きい場合には頂部からの主流は構造物に沿って流下する(図-6 破線)。この時、浮遊魚であるイワナやアユは主流を避けた領域 A 周辺に定位するとともに、主流付近の流れに沿って、あるいは水表面付近から頂部に向かって遡上した。一方底生魚であるカジカは領域 B あるいは主流の影響を受けないさらに下流域の底面に定位し構造物下流斜面に沿って遡上するが、遡上個体の大部分は、水面落差が 10cm と小さい場合であっても頂部付近の流れの境界部においてバランスを崩した後、下流に流された

越流水深に対する水面落差が小さくなると越流水脈の突入角度は徐々に浅くなり(図-6 実線)、イワナ・アユの定位地は A-1 から A-2 へと変化する。A-2 ではイワナ・アユは模型の下流に頭部を向け定位するが、主流の流れに近づき向きを変えて遡上する個体も観察された。一方、カジカは、A-2 の領域が形成された全てのケースにおいて、領域 B に模型下流向きに定位し、構造物下流斜面を遡上しようとする行動は観察されなかった。

越流水深が 25 cm の時の構造物に沿った流速を図-7 に示す。水面落差 25cm のケース以外では構造物の高さ以上に下流の水位が高い状態であるにもかかわらず、水面落差が 5cm のケースを除き頂部付近(X=0~30cm)では、流速値に変化がみられなかった。

カジカが遡上しにくい理由として、①水面落差が小さい場合に生じる底面沿いの逆流がカジカを下流向きに定位させ、構造物下流斜面沿いの移動経路が見つけにくくなること、②構造物斜面を遡上した場合においても、頂部の流れの境界部で遡上に失敗するが、この部分の流速値は下流の堰上げがあった場合においても減少せず、出水時であってもカジカの堰堤上の遡上環境は改善されないこと、の2点が推

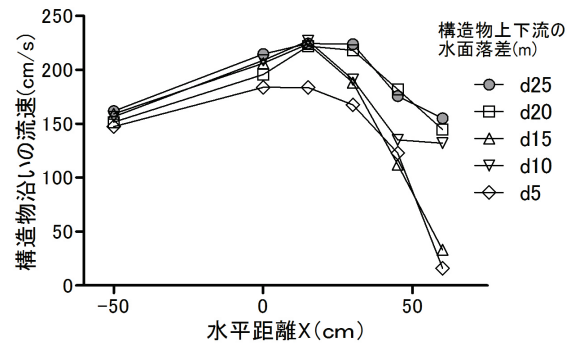


図-7 底生魚の遡上経路となる構造物上の流速値の比較 (下流面勾配 1:1 越流水深 25cm)

察された。一方、イワナやアユといった浮遊魚は高い遊泳能力と水深方向への移動能力を有するため、完全に遡上行動が妨げられる状態では無かった。これまで上下流の水面落差が小さい構造物や出水時に堰上げが期待できる構造物に対しては、魚類の移動阻害とならないと考えられてきたが、そのような場合であっても底生魚にとっては移動の妨げとなっている可能性が高いことが示唆された。

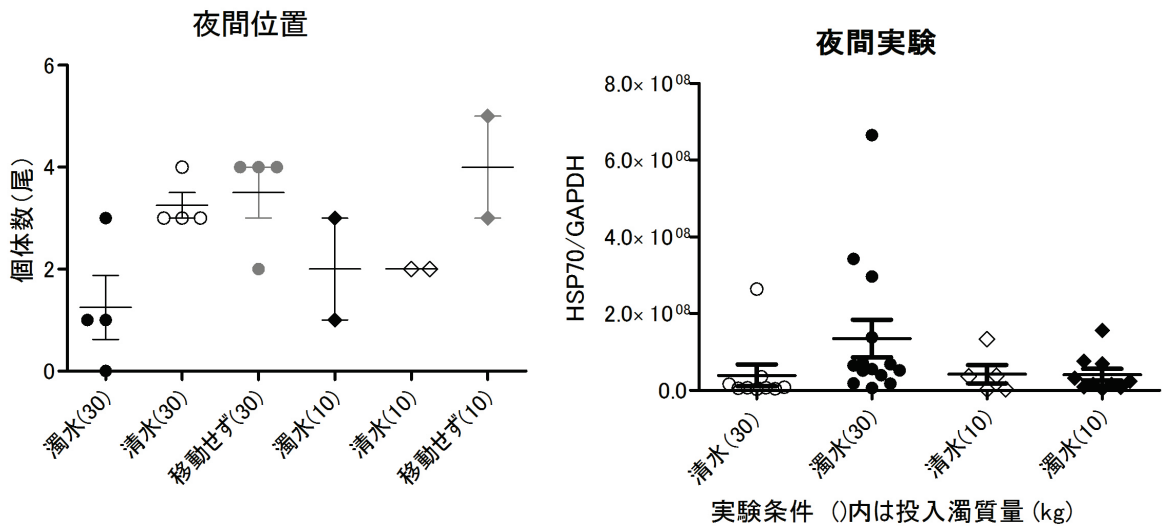
### 3. 2. 2 魚類の移動阻害の分子化学的評価

#### (1) 移動性の評価

各魚種の遺伝情報に基づく個体間距離や要素解析の結果から、特定の堰堤あるいは本川と支川間での差異が検出され狭い範囲に生息する集団に対しても、遺伝情報が魚類の移動環境の評価に適用できる可能性が示唆された。いくつかのケーススタディの中には、人工的な低水温の放流が、連続した河川区間の上下流における移動を妨げている可能性が指摘されたケースもあった。一方、いずれの魚種においても、遺伝子構造解析の結果得られる要素が分析時期の違いにより異なる結果となった。これは集団内の多型の検出に AFLP の再現性が影響を与えているためと推察され、当該調査地のように遺伝的に近い集団を対象に AFLP 手法を適用する場合には、分析・データの比較において配慮が必要と考えられた。

#### (2) 濁水の影響

高濃度、中濃度のいずれのケースにおいても、半数の個体が実験開始時の放流場所と同じ場所に留まっていた。高濃度濁水のケースでは、清水側に移動した個体数は濁水側に移動した個体数よりも有意に高かったが、中程度のケースでは清水側と濁水側の個体に有意な差はみられなかった。脳内の HSP 70



a) 実験後の個体の位置

b) HSP70 の発現量

図-8 HSP70 を指標とした、濁水への影響の検出結果

の発現量は、高濃度のケースでは曝露個体と非曝露個体の間には有意な差があったが、中程度のケースでは有意差はなかった。曝露実験自体のストレスへの配慮や忌避行動を起こすために必要な曝露時間の検討など今後改善すべき点はあるが、忌避個体数の結果と脳内のストレス応答の結果が同じ傾向を示すことから、HSP70 の発現を利用した影響評価手法の現地適用の可能性が示された (図-8)。

込み後構造物に沿って生じる流れの速い領域の2つの領域が確認された。このうち、②の流れは構造物の下流側が傾斜している場合に流れ込み直後から構造物に沿って連続的に形成されるため、構造物に近づくことができないカジカも多く観察された。高速ビデオカメラの画像解析などを踏まえ、カジカの移動環境の改善のためには、①底面付近の流速の低減と連続性の確保、②底面からやや離れた部分の流速の低減が、移動の失敗を回避するうえで効果的であると考えられた。これらを総合的に考えると、移動経路上の底面に連続して細かい粗度を配置し底面付近の流速を連続的に低減するとともに、バランスを崩し流下しかかった際に速やかにバランスを立て直すことができる何らかの工夫が必要と考えられた。①・②の流れは共に、構造物に沿って、面的な粗度

### 3. 3 移動阻害状況改善手法の提案

幅 40cm、最大水深 1m の二次元模型で、水面落差 15cm のケースを中心に、構造物の断面形状・越流水深等を変化させた実験では、構造物表面が滑らかな場合、落差 15cm の流れ場においては、構造物の断面形状によらずカジカは流れに逆らって移動することが困難であった。移動を困難とする流れは、①構造物の頂部～下流の水面への流れ込み部分、②流れ



図-9 カジカを移動可能とするための粗度配列例 (落差 15cm)

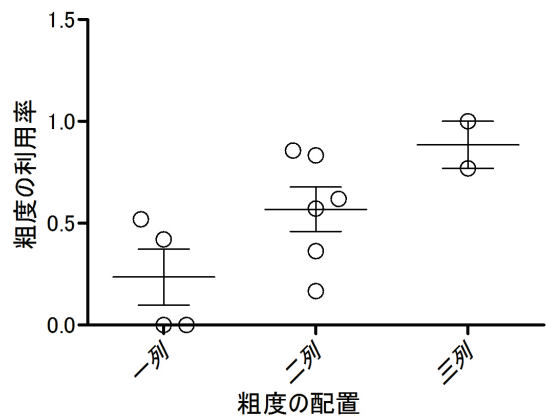


図-10 粗度の配列と粗度の利用率 (カジカ 水深 5cm、水平水路における検討結果)

を設置するとともに高さ 10cm の小規模な粗度を密度高く配することで改善され、カジカの移動を可能とすることができた (図-9)。また、過年度の実験結果の分析により、粗度の配置は複数列あった方が粗度背後を利用しやすいことがわかった (図-10)。実際の現場では階段式魚道も含め、多くの河道横断工作物には粗度が配置されておらず、カジカ等底生魚の移動環境の改善策について検討することが必要であることが示唆された。

イワナでは、下流水深が深いケース、工作物下流に渦が発生するケースのように、越流水脈をみつけにくいケースでは、遡上行動そのものが低下する様子が観察された。また、越流水深が 5cm のケースでは越流水深 10cm 以上のケースに比べ、遡上に失敗する率が有意に高くなる結果が得られた (図-11)。イワナは本実験の範囲においては十分遡上可能な遊泳能力を有しているが、工作物の水理条件によっては移動環境に影響を受ける可能性が示唆された。

#### 4. まとめ

本研究では、低落差構造物の移動環境を中心に実態を整理するとともに、魚を用いた実物大模型実験により魚類の移動性について検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 落差 50cm 以下の河道横断工作物であっても、アユやカジカなどは移動が困難な状況となる。特に底生魚であるカジカは、落差 15cm において構造物へのアプローチが困難であるとともに、落差 10cm の場合においても越流水脈の境界部でバランスを崩し、遡上が困難であった。
- 2) 出水時などの堰上げ時であっても、底生魚の遡上経路である堰堤頂部付近の底面流速は減衰しないため、底生魚の遡上は困難と考えられる。
- 3) 高密度の粗度を設置し、堰堤表面の流速を低減させることにより、底生魚を遡上させることができた。

また、評価手法について、いくつか新しい技術の適用を試みた。そのうち、近年解析技術が急速に発展している遺伝情報の適用により、魚類の移動環境が阻害されている領域の推定や、環境変化に対する魚類への影響の客観的な評価ができた。現地への適用のためには、異なる条件に対して引き続き検討を行っていく必要がある。

#### 参考文献

- 1) Muraoka, K., Shinotsuka, Y., Kubota, H., et al, "Stress responses of

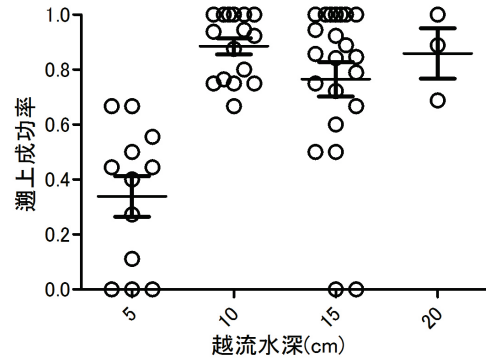


図-11 イワナの遡上成功率と越流水深

$$\text{遡上成功率} = \text{遡上個体数} / \text{遡上行動数}$$

sweetfish (*Plecoglossus altivelis altivelis*) to water quality changes", GIA 2011, 2011.9

2) Muraoka, K., Nakanishi, S., Shinotsuka, Y., et al, "Effect of type on fish swimming behavior and water flow characteristics in a fish ladder", IAHR, 2012.9

3) Muraoka, K., Shinotsuka, Y., Suto, Y., et al, "Evaluation of the migration of fishes in rivers by a molecular biological method", IAHR, 2012.9

4) Muraoka, K., Nakanishi, S., Kayaba, Y., "Boulder Arrangement on a Rock Ramp Fishway Based on the Swimming Behavior of Fishes", 10th International Symposium on Eco-hydraulics 2014, 2014.6

5) Muraoka, K., Miwa, J., "Experimental study of boulder arrangements on ramp fish passage based on swimming behaviors of fishes", Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ & The 5th EAFES International Congress, 2012.3

6) MURAOKA, K., MIWA, J., "The swimming physiology of freshwater sculpins (*Cottus pollux*) on ramp fish passage.", ICBF2012, 2012.7

7) Muraoka, K., Nakanishi, S., Kayaba, Y., "Why are sculpin susceptible to the effects of artificial structures? -Proposed method of improvement based on the swimming behavior", 11th International Congress on the Biology of Fish, 2014.8

8) 村岡敬子・中西 哲・三輪準二、階段式魚道隔壁周辺の流れにおける流況と魚類の遊泳行動、2011 年度日本魚類学会年会講演要旨、2011.9

9) 村岡敬子・篠塚由美・須藤勇二他、AFLP を用いた魚類の移動環境評価の試み、日本 DNA 多型学会代 20 回学術集会抄録集、2011.12

10) 村岡敬子・篠塚由美・三輪準二、濁水に対するヤマメの脳内ストレス応答と忌避行動、平成 24 年度日本水産学会春季大会講演要旨集、2012.3

11) 村岡敬子・篠塚由美・中西哲 他、階段式魚道における流況と魚類の遡上経路、平成 24 年度日本水産学会春季大会講演要旨集、2012.3

12) 村岡敬子・篠塚由美・三輪準二 他、AFLP を用いた魚類の移動環境評価の試み、DNA 多型 Vol.20, 2012.6

13) 安形仁宏、瀬口雄一、太田宗宏 他、事業に伴う河川環境調査における整備の遺伝情報活用に関する方向性～生物の遺伝情報を河川事業の影響評価へ活用する計画について～、日本緑化工学会・日本景観生態学会・応用生態工学会 3 学会合同大会 (ELR2012) 講演要旨集、2012.9

14) 村岡敬子・萱場祐一・低落差の工作物における魚類の移動環境に関する一考察、平成 25 年度日本水産学会秋季大会講演要旨集、2013.9

15) 村岡敬子・中西 哲・萱場祐一、人工構造物周辺における淡水カジカの移動環境、2013 年度日本魚類学会年会講演要旨集、2013.10

16) 村岡敬子・中西 哲・萱場祐一、魚類の移動環境からみた河道内低落差構造物に関する一考察、土木学会平成 26 年度全国大会第 69 回年次学術講演会、2014.9

# THE EVALUATION OF FISH MIGRATION INFLUENCED BY OBSTRUCTION IN THE RIVER.

**Budgeted :** Grants for operating expenses  
General account

**Research Period :** FY2010-2013

**Research Team :** Water Environment Research  
Group(River Environment)

**Author :** KAYABA Yuichi  
MURAOKA Keiko  
NAKANISHI Satoru

## **Abstract :**

In the river, a large number of structure were built for vary purpose. When the facility gives some serious damage for fish migration, effective countermeasure will be devised for the facility. But, it is unknown what kind of facilities gives serious damage for fish migration. In this study, fish migration above low height facility, such as low weir or such as bed sill were studied experimentally. Experimental models of facilities were placed in a 3 m-wide concrete flume with one observation windows to facilitate direct observation and filming. The experimental models were set on a level channel, which measured 0.4 m wide. Five portable high-speed video cameras (DITECT Co. Ltd, SportsCorder, Tokyo, Japan) were installed in a darkroom outside of the observation windows, on which three of them were set perpendicularly to the observation window for two-dimensional analysis, and the other two set at a slant to observe the dead angle area. Sculpin (*Cottus pollux*) which is a weak swimmer prevent damage by 10cm drops of weir. They require high density and several linear arrangements of boulder to allow migration.