

＜河川～干潟～海域へ＞

## 土嚢を使用した簡易魚道の設置方法と 魚介類の遡上環境改善効果の検証（続報）

藤原 直（技術研究部）

### 1. はじめに

2010年に多摩川の日野用水堰において、土嚢を用いた簡易魚道によるアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* の遡上環境改善実験を実施した（藤原，2011）。実験では堰左岸側に設置されたハーフコーン型魚道に比べ、より多くのアユが簡易魚道を利用して堰上流へ遡上したと推定され、作成した簡易魚道がアユの遡上環境改善に効果的であることが示された。しかし、この実験はアユを対象として実施したため、多摩川に生息している回遊性魚介類のウグイ *Tribolodon hakonensis*、トウヨシノボリ *Rhinogobius kurodai*、モクズガニ *Eriocheir japonicus* など（国土交通省，2001）の遡上は確認していない。また、アユ遡上数の調査方法が目視観察であったため、簡易魚道を遡上するアユのサイズについては把握できなかった。

以上を踏まえ、本実験では、2010年と同様の簡易魚道を日野用水堰に設置し、定置網による捕獲調査を実施することで魚介類の利用状況を把握することを目的とした。また、アユについては簡易魚道を遡上した個体の全長組成を調査し、遡上可能な体サイズの把握に努めた。

なお、本実験は東京都島しょ農林水産総合センターと共同で実施した。

### 2. 実験の概要

#### 2.1 実験場所

実験は、多摩川河口から45.2km上流に位置する日野用水堰において、昨年度と同じ箇所で行った（図1、2）。日野用水堰は堰全体の幅の約80%が固定堰であり、その下流にアユが大量に滞留すること

が確認されている。堰の左右岸にはハーフコーン型魚道が1基ずつ設置されており、魚道以外にアユが遡上できる場所はない。

#### 2.2 実験日程

実験は以下の日程で実施した。

- ・簡易魚道設置：平成23年6月21日
- ・簡易魚道機能調査：平成23年6月22、23、28、29、30日（計5日）
- ・簡易魚道撤去：平成22年6月30日（設置から9日後）

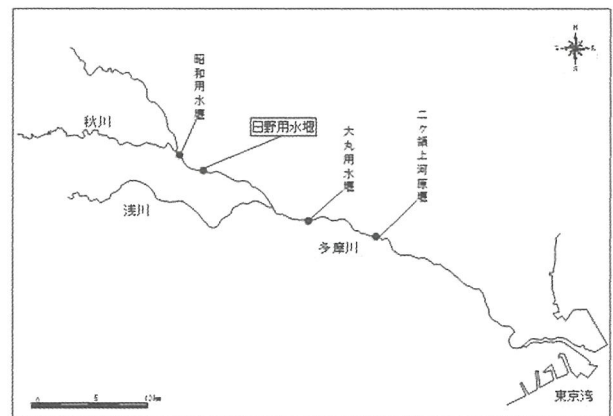


図1 調査地点



図2 調査地点詳細

### 3. 簡易魚道の設置

簡易魚道の模式図を図3と図4に、使用した材料を表1に示した。

簡易魚道は2010年と同様に、土嚢とガラ袋を用い

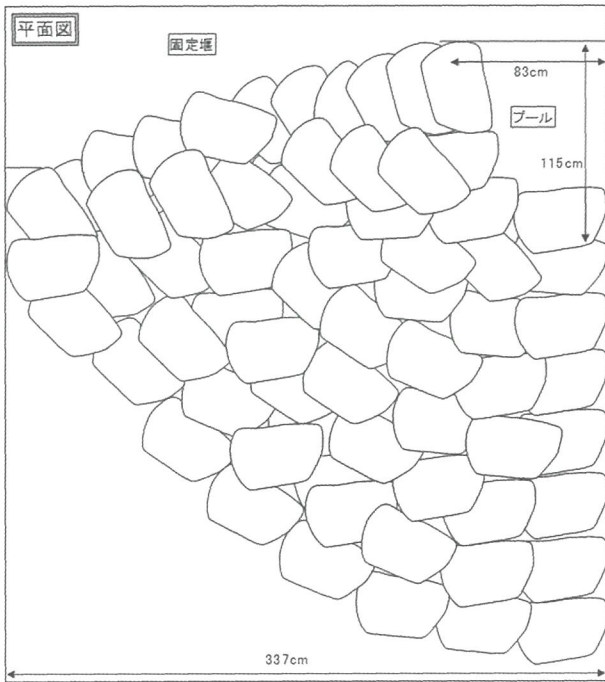


図3 簡易魚道の平面図

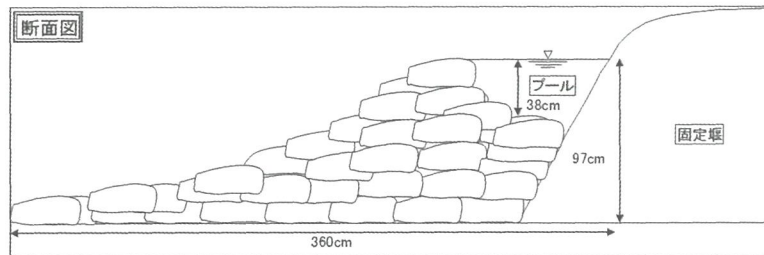


図4 簡易魚道の断面図

て作成した（藤原，2011）。土嚢には、左岸側魚道の上流部付近に堆積した礫径5～10cm程度の礫を充填し、385個の土嚢を使用して、幅3.37m、長さ3.60m、高さ0.97mの簡易魚道を作成した。また簡易魚道の外側の土嚢178個は、アユの嫌う白色を避け耐久性を強化する目的で、ガラ袋に2個ずつ入れて積み上げた。

簡易魚道の形状は2010年と同様に扇形とし、上流部に水深38cmのプールを作成した。流路は平時用の流路A、増水時用の流路BとCを作成した（図5）。主な遡上経路となる流路Aでは、簡易魚道がほぼ完成した状態で流況やアユの遡上状況を見な

表1 使用した材料

	写真	仕様	価格
土嚢袋		ポリエチレン製 幅48cm 長さ68cm 耐加重20kg	単価： 9.45円×385枚 = 3,638円
ガラ袋		ポリプロピレン製 幅58cm 長さ88cm 耐加重40kg	単価： 17.9円×89枚 = 1,593円



図5 作成した簡易魚道

がら微調整を行った。

簡易魚道作成に要した努力量は、7名で約4時間であった。

#### 4. 簡易魚道機能調査

##### 4.1 調査方法および調査項目

###### 4.1.1 物理環境調査

設置した簡易魚道の物理的状況を把握するため、遡上経路となる流路（AからC）と流路上流のプール（図5）、および簡易魚道下流のそれぞれで、魚道設置時の水深、流速を測定した。流路Aの測点は上流端から下流端まで10cm間隔で設定した25測点とし、流路BとCでは流路全体を1つの測点とした。また簡易魚道下流では流路Aの下流端を起点とし、流向に沿って下流方向に10、50、100、200、300cmの距離で測点を設定した。なお、プール直上部の固定堤の流速と傾斜角は実測できなかったため、固定堰天端付近で限界水深を測定し、そこから水理計算を用いて算出した。

###### (1) 流速

流速は電磁流速計（AEM1-D：JFEアドバンテック社製）を用いて測定した。測定箇所は簡易魚道下流では1/2水深とし、簡易魚道内の流路では測点内の複数箇所でも測定を行い、流速が最も速い箇所と最も遅い箇所の値をそれぞれ最大流速、最小流速として記録した。

###### (2) 水深

水深は測深棒を用いて測定した。簡易魚道内の水深は測点内で最も水深が深い箇所の値とした。

##### 4.1.2 簡易魚道利用状況調査

全魚介類を対象として簡易魚道の利用状況を把握するため、簡易魚道上流での捕獲調査を実施した。調査では小型定置網（網丈：40cm、目合い：6mm）を、簡易魚道を設置した固定堰の上流に設置し（写真1）、簡易魚道を通過して固定堰を遡上した魚介類を捕獲した。定置網の設置期間は夕方から翌日の夕方までの一昼夜とし、6月21日（調査前日夕方）から6月23日夕方までの2日間と、6月27日（調査前日夕方）から6月30日までの3日間設置した（6月30日は簡易魚道撤去のため、9：30で調査を終



写真1 小型定置網の設置状況

表2 調査時間帯の区分

調査日	夕方(前日)～朝	午前	午後
6月22日	16:00～7:30	7:30～13:30	13:30～16:00
6月23日	16:00～7:30	7:30～12:00	12:00～15:00
6月28日	16:00～10:00	10:00～13:00	13:00～15:00
6月29日	15:00～8:30	8:30～16:00(データ使用せず)	
6月30日	16:00～7:30	7:30～9:30	-

了)。なお捕獲魚介類の回収は不定期的に実施したため、捕獲時間帯を夕方～朝、午前、午後の3つに区分し(表2)、時間帯別の捕獲データとして整理した。

捕獲した魚介類は種名と個体数を記録し、また魚類のみ60個体を上限に全長を計測した。

##### 4.2 調査結果

###### 4.2.1 物理環境調査

実験時の天候は簡易魚道設置時、遡上状況調査時ともにおおむね晴天であり、水温は21.4～24.6℃と全日で20℃を超えた。また、実験時には大きな増水はみられず、流量は安定していた。

###### (1) 流路Aの物理環境

流路Aの物理環境を図6と表3に示した。

流路Aの流路長は240cmで、流路勾配は1/3程度であった。最大流速はプール直下以外では1.5～2.0m/s付近で推移し、最大流速の平均値は1.64m/sであった。最小流速はすべての箇所で1.0m/sを超えず、平均値は0.50m/sであった。水深は流路の下流側が平均16.0cm、上流側が平均13.8cmであり、下流のほうがやや深くなる傾向がみられた。

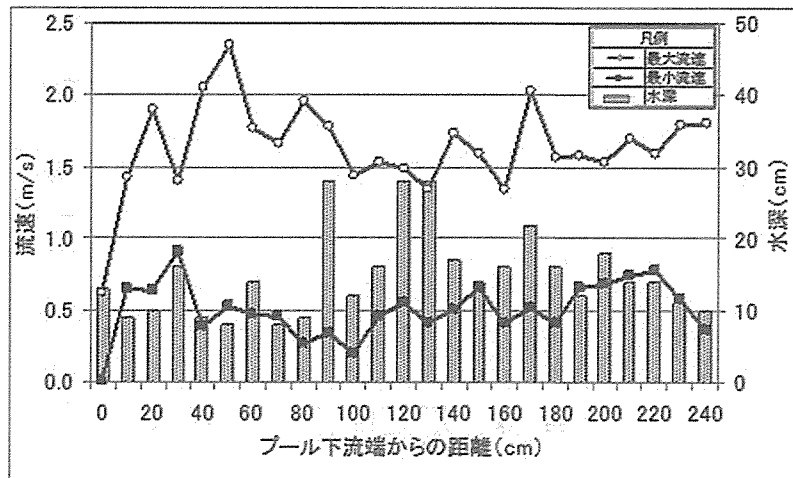


図6 流路Aの詳細な物理環境

表3 流路Aの物理環境

	最大流速(m/s)	最小流速(m/s)	水深(cm)
平均値	1.64	0.50	14.9
最大値	2.34	0.91	28
最小値	0.62	0.01	8

表4 流路BとCの物理環境

	流路B	流路C
最大流速(m/s)	1.5	1.2
最小流速(m/s)	-0.1	0.0
水深(cm)	2~8	1~11
流路長(m)	2.6	2.57

(2) 流路BとCの物理環境

流路BとCの物理環境を表4に示した。

流路BとCは流路Aより流量が少なく、最大流速は流路Bが1.5 m/s、流路Cが1.2 m/sと両水路ともに流路Aの半分程度の流速であった。また水深は浅く、水深1 cm程度の場所が広い範囲で存在した。

流路BとCは増水時用の水路として設計したが、実験中に増水はなく、両水路が効果的に機能している様子は確認できなかった。

(3) プール内の物理環境

プール内の水深は38 cmで、流速はプール中央の表層付近で25 cm/sであった。

(4) 簡易魚道下流の物理環境

流路A下流の物理環境を表5に示した。

流路A下流の流速は、流路下流端から100 cm下流までは1.0 m/sを超えた。簡易魚道を設置していない固定堰直下の流速は0.5 m/sであったが、流路Aの200 cm下流まではこの流速を上回っていた。水深は流路A下流端から10 cmまでは5 cmとやや浅く、50 cm下流では8~9 cmと大きな変化はみられなかった。

表5 流路A下流の物理環境

距離(cm)	流速(m/s)	水深(cm)
10	1.6	5
50	1.3	8
100	1.2	9
200	0.7	9
300	0.4	8

(5) 簡易魚道上流固定堰の物理環境

プール直上から固定堰天端までの斜面距離は110 cmであった。

固定堰のプール直上部分は水深が浅く、今回使用した電磁流速計では流速を測定することができなかった。そこで、以下の水理計算により流速を算出した。また、プール直上の傾斜角度も計算により求めた。

・プール直上の傾斜角度

プール直上の傾斜角度は、固定堰越流面の形状を二次元標準越流頂と仮定して傾斜部の傾きを①式により算定し、①式より求めた  $\tan \theta$  の値から算定した。なお、①式における設計水頭 ( $Hd$ ) は2010年に算出した1.982 mを使用し、プール直上流部から

固定堰天端までの水平距離 (x) は簡易魚道設定時に測定した実測値 (x = 110 cm) を使用した。

$$\frac{dy}{dx} \tan \theta = \frac{Hd}{2} \frac{1}{Hd^{1.85}} 1.85x^{0.85} = \frac{1.85}{2Hd^{0.85}} x^{0.85} \dots \textcircled{1}$$

x = 110 cm、Hd = 1.982 m より  $\frac{dy}{dx} \doteq 0.5577$

$\theta = \tan^{-1} 0.5577$  なので  $\theta = 29.2^\circ$

以上からプール直上部の傾斜角度  $\theta$  は  $29.2^\circ$  と算定された。

・ プール直上流部での流速と水深

プール上流部での流速と水深は、固定堰天端で生じる支配断面での物理量を求め、次のような手順により算定した。

まず、実測した限界水深 ( $hc$ ) = 2.4 cm および限界流の条件式 (②式、ただしエネルギー補正係数  $\alpha$  を 1 とする) から単位幅流量 ( $q$ ) を算定した。

$$1 = \frac{\alpha BQ^2}{gB^3hc^3} \dots \textcircled{2}$$

$\alpha$ : エネルギー補正計数、B: 水面幅、Q: 流量、  
g: 重力加速度

単位幅流量 ( $q$ ) =  $\frac{Q}{B}$  なので、

$$1 = \frac{q^2}{ghc^3}$$

$$q = \sqrt{ghc^3}$$

次に、②式から求めた単位幅流量  $q$  を③式に代入して限界流速 ( $Vc$ ) を算定した。

$$Vc = \frac{q}{hc} \dots \textcircled{3}$$

ここで、限界流が生じている支配断面 (固定堰天端) とプール直上流部の断面との間でベルヌーイの定理を適用し、④式にプール直上流部 (基準面) から固定堰天端までの高さ (H)、①式で求めた傾斜角度 ( $\theta$ )、限界水深 ( $hc$ ) および単位幅流量 ( $q$ ) を代入し、これらの値に対するプール直上流部での水深 ( $d$ ) を求めた (図 7)。

$$H + hc + \frac{Vc^2}{2g} = d \cos \theta + \frac{V^2}{2g} \dots \textcircled{4}$$

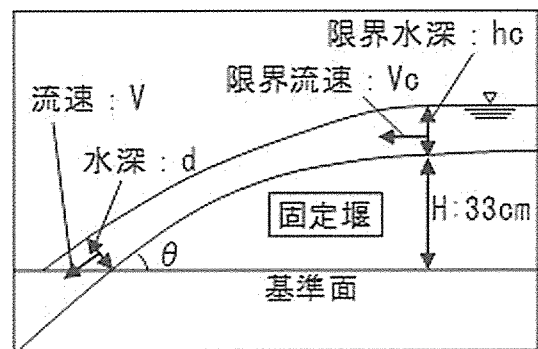


図 7 プール上流の物理環境①

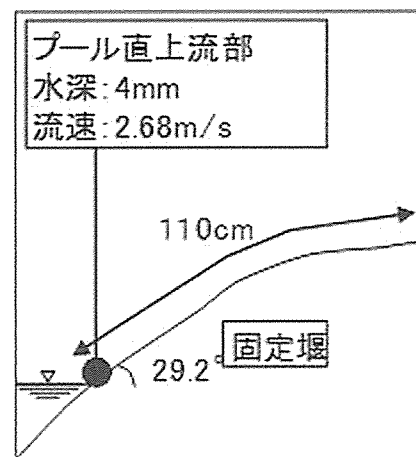


図 8 プール上流の物理環境②

(ただし、 $V = \frac{q}{d}$  とする。)

プール直上流部の流速は、④式より求めた  $d$  を  $V = \frac{q}{d}$  に代入して算定した。

以上から、簡易魚道設定時のプール直上流部の水深 ( $d$ ) は 4 mm、流速 ( $V$ ) は 2.68 m/s と算定された (図 8)。

#### 4. 2. 2 簡易魚道利用状況調査

##### (1) アユの利用状況

・ 日別捕獲状況

調査を実施した 6 月 22 ~ 30 日のアユの日別捕獲状況を図 9 に示した。

アユは 5 日間の調査で 2,425 個体が捕獲された。日別の捕獲数を調査時間が短かった 6 月 30 日を除いた 4 日間で比較すると、最も捕獲数が多かったのは 6 月 23 日で、868 個体が捕獲された。次いで捕獲数が多かったのは 6 月 22 日で、この 2 日間での捕獲数

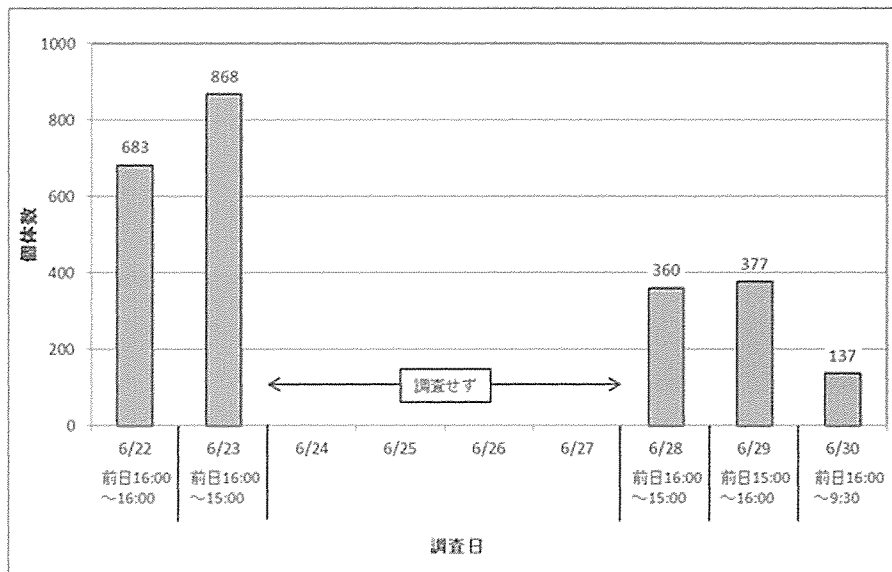


図9 調査日別のアユの捕獲状況

は4日間全体の68%を占めた。

・時間帯別の捕獲状況

アユの時間帯別捕獲状況を図10に示した。なお、各時間帯での定置網の設置時間は調査日により異なるため、時間帯ごとの捕獲結果は各時間帯の1時間当たりの捕獲数を示している。アユの捕獲数は午後の時間帯で最も多く、1時間当たり81.3個体と全体の70%が捕獲された。稚アユの遊泳活動が活発になるのは14～16時ごろであることが知られており(小山, 1978)、今回の結果はこの知見と一致した。夕方～朝と午前の間には特に大きな差はみられず、1時間当たりの捕獲数はそれぞれ17.6個体、18.0個体と午後の時間帯の1/4程度であった。

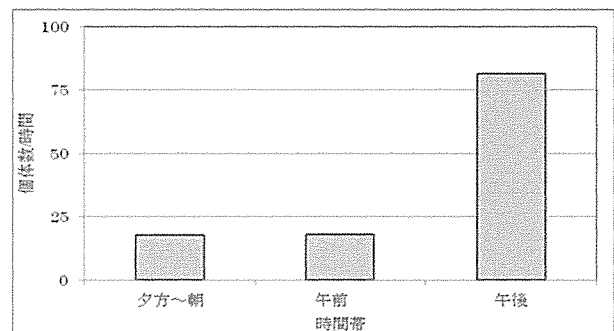


図10 調査時間帯別のアユの捕獲状況

・捕獲個体の全長頻度分布

捕獲されたアユの全長頻度分布を図11に示した。捕獲されたアユの全長分布は91～100mmをピークに正規分布に近い形となった。最大値は194mm、最小値は61mm、平均値は96.0mmであった。出現頻度が最も高かった91～100mmの個体数は全体の22%を占めた。

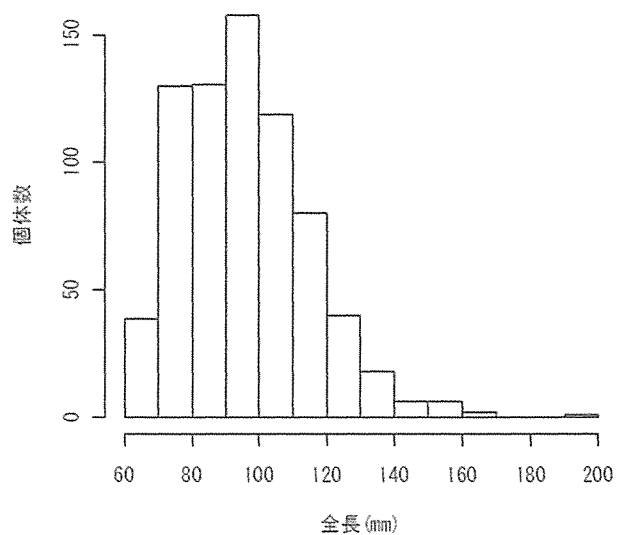


図11 アユの全長組成

・アユの遡上経路

簡易魚道の通過を確認できたアユは、すべて経路Aから遡上していた。経路Aには土囊の段差により形成された休憩場所が2ヶ所あり、この部分に遡上途中のアユが一時滞留する様子が確認された(図12)。

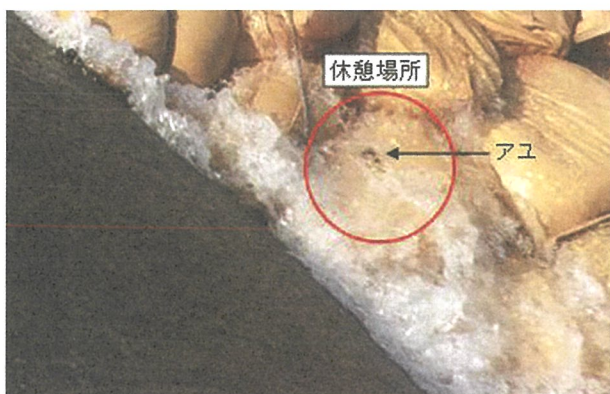


図 12 土囊上の休憩場所

表 6 捕獲された魚介類

種名	個体数
オイカワ	1
アブラハヤ	2
ウグイ	8
カマツカ	1
シマドジョウ	4
アユ	2425
カジカ	1
ウキゴリ	1
ジュズカケハゼ	1
トウヨシノボリ	45
スジエビ	265
モクズガニ	11
総計	2765

簡易魚道の頂上まで遡上したアユはいったんプール内に入り、そこから助走をつけてその上流の固定堰を遡上していた。

(2) 全魚介類の利用状況

・全魚介類の捕獲結果

アユを含めた魚介類の捕獲結果を表 6 に、全体に占める個体数の割合を図 13 に示した。

調査では魚類が 10 種、甲殻類が 2 種の計 12 種、2,765 個体が捕獲された。そのうちアユが 2,425 個体と最も多く、全体の 88% を占めた。次いで多かったのがスジエビ *Palaemon paucidens* の 265 個体 (10%)、トウヨシノボリの 45 個体 (2%) で、それ以外の出現種の個体数は全体の 1% 以下であった。

・時間帯別の捕獲状況

定置網による捕獲を実施した時間帯ごとの捕獲結

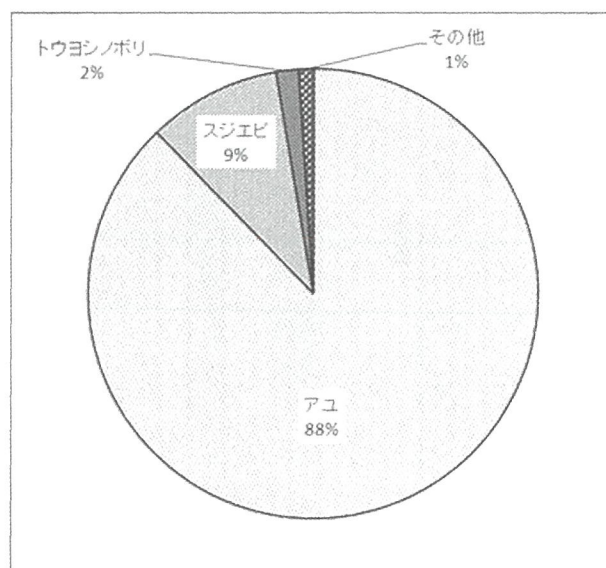


図 13 捕獲された魚介類の個体数比率

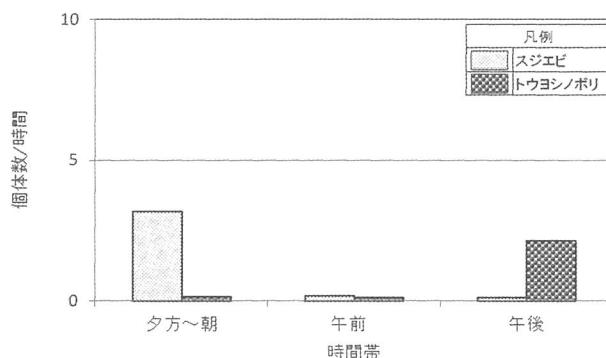


図 14 スジエビとトウヨシノボリの時間帯別捕獲数

果のうち、スジエビとトウヨシノボリについて図 14 に示した。図に示した個体数はアユと同様に各時間帯での 1 時間当たりの捕獲数である。なお、それ以外の種は捕獲数が数個体であったため表示しなかった。

スジエビの捕獲数は夕方～朝の時間帯で 1 時間当たり 3.2 個体と最も多く、この時間帯に全体の 91% が捕獲された。他の時間帯では午前中に 6 個体、午後には 3 個体がそれぞれ調査を通して 1 回のみ捕獲された。

トウヨシノボリの捕獲数は午後の時間帯で 2.1 個体と最も多く、この時間帯に全体の 88% が捕獲された。午前の時間帯は捕獲数が特に少なく、調査を通して 2 個体のみが捕獲された。

## 5. 考察

### 5. 1 アユの遡上環境改善に対する評価

#### 5. 1. 1 調査時の環境条件

小山(1978)によると、アユの遊泳活動が旺盛になる水温は21～23°Cで、17°C以下では減衰するとされている。実験時の水温はおおむねこの範囲内に収まり、実験時の水温はアユの遡上に適していたと考えられた。

また、簡易魚道は撤去時まで土囊の崩れや破損などの大きな損傷は確認されず、実験期間中は設置時の機能を保っていたと考えられた。

#### 5. 1. 2 アユの遡上経路の検証

日中に目視で確認したかぎりでは、アユは流路A以外からは遡上しなかった。簡易魚道下流では流路A以外はほぼ止水域になっており、アユがほとんど遊泳していなかった。

稚アユが遡上できる限界流速は1.2～1.3 m/s程度とされているが(小山, 1978)、流路Aは固定堰からの流れとプールからの流れが合流するため、最大流速の平均値が1.64 m/sとアユの遡上に適さない流れとなった。しかし積み上げた土囊の段差付近には流れが緩い場所が存在し、また一部の土囊上に小さな休憩所が形成され(図12)、アユはこれらの場所を利用することで簡易魚道を遡上したと考えられた。土囊を用いて今回のような簡易魚道を作成する際には、これらの流れの緩い場所や遡上中の休憩場所を意識しながら微調整をする必要がある。

また簡易魚道上流の固定堰では、プール直上で流速が2.68 m/sと推定され、上記の限界流速の2倍以上であった。しかし5日間の実験で2,425個体のアユがこの部分を遡上しており、この程度の遡上環境であれば遡上可能であることが示された。なお、現地での観察によると遡上するアユはいったんプールに入ってから固定堰を遡上した。このことからプールが休憩場所および助走場所として機能したことが示唆され、固定堰の遡上状況にプールの存在が大きく寄与した可能性が考えられた。

#### 5. 1. 3 簡易魚道を利用するアユの大きさ

本調査で捕獲されたアユの全長頻度分布に、その平均値と分散から理論的に求められた正規分布を重

ね合わせたものを図15に示した。図ではおおむね両者が近い値を示し、捕獲されたアユの大きさに不自然な偏りがないことが示された。したがって、可動堰下流に滞留していたアユの全長範囲を60～200 mmとすると、アユが体の大きさによる制約を受けることなく簡易魚道を遡上したと考えられた。

なお、実際に滞留していたアユの全長組成は不明であり、全長60 mm以下のアユが存在するものの体が小さいため簡易魚道の流れを越えられず、捕獲されなかった可能性もある。しかし、東京都島しょ農林水産総合センターが2011年5月中旬にガス橋上流(多摩川河口から約11 km)で捕獲したアユでは全長60 mm以下の個体が全体の4%であり(図16)、またアユがガス橋から日野用水堰まで約1ヶ月かけて遡上する(東京都島しょ農林水産総合センター, 2010)際の成長量を考慮すると、可動堰下流に60 mm以下の大きさのアユが存在した可能性は低いと考えられた。

#### 5. 1. 4 その他魚介類の遡上環境改善に対する評価

本実験ではアユを除くと11種、340個体の魚介類の遡上が確認され、アユに次いで個体数が多かったのはスジエビ、トウヨシノボリ、モクズガニであった。トウヨシノボリ、モクズガニは回遊性の魚種であり、簡易魚道がアユ以外の回遊性魚介類の遡上環境改善に寄与したと考えられた。またスジエビや、

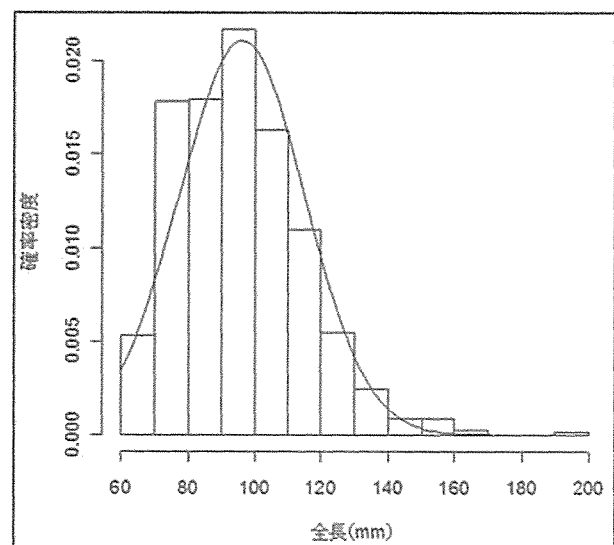


図15 捕獲されたアユの全長頻度分布



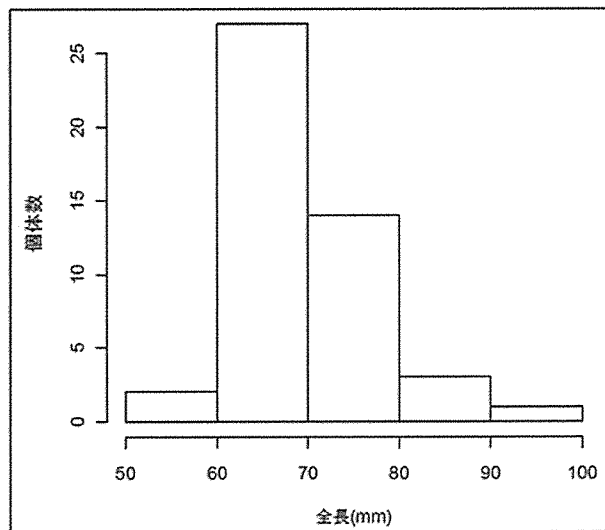


図 16 ガス橋で捕獲されたアユの全長頻度分布

個体数は少ないがアブラハヤ *Phoxinus lagowskii steindachneri*、オイカワ *Zacco platypus*、カマツカ *Pseudogobio esocinus esocinus* などの非回遊性魚類も多種捕獲されており、簡易魚道が回遊だけではなく普段の移動経路としても利用されていたことが示された。

スジエビは 91% が夕方～朝の時間帯に捕獲された。スジエビは夜行性であることが知られており(山崎・秋山, 2001)、本実験でも夜間に簡易魚道の利用頻度が高かったと考えられた。このことから、簡易魚道の運用は夜間も重要であることが示された。

アユに次いで遡上数が多かったスジエビとトウヨシノボリの遡上経路は確認できなかった。これら 2 種が流路 A の激しい流れを遡上するのは難しいが、両種とも体が水面から出ても遡上が可能であり、また垂直面も登れることから各水路の水際や流路以外

の場所を遡上したと推測された。土嚢を用いた簡易魚道にはこのような多様な遡上環境が形成され、この特徴が様々な種の遡上を可能にしていると考えられた。

## 5. 2 今後の課題

本実験では簡易魚道の設置期間が 9 日間と短く、さらに調査中に増水がみられなかったため、簡易魚道の耐久性や増水時の水路として作成した流路 B、C の有用性を検証するには至らなかった。土嚢を用いて作成した簡易魚道を総合的に評価するには、増水期を含めたより長い期間での設置が必要となる。

また、遡上した魚介類にはアユ以外にもスジエビやトウヨシノボリ、モクズガニなどがみられ、多様な種が簡易魚道を利用することが確認された。しかし日野用水堰周辺の魚介類相は把握できておらず、その中には簡易魚道を利用しなかった魚介類も存在すると考えられる。簡易魚道による遡上環境の改善には、その設置場所周辺で魚介類調査を実施して簡易魚道を利用する可能性がある種をリストアップし、その情報を踏まえた上で簡易魚道の形状、設置位置、設置期間などを決定する必要がある。

## 引用文献

- 藤原 直. 2011. 土嚢を使用した簡易魚道の設置方法とアユの遡上環境改善効果の検証. (株)日本海洋生物研究所 2011 年年報, p. 11-22.
- 国土交通省. 2001. 河川環境データベース. [http://www3.river.go.jp/nenkan/search\\_opt4\\_r.asp?chiki=3&suikei=305](http://www3.river.go.jp/nenkan/search_opt4_r.asp?chiki=3&suikei=305)
- 小山長雄. 1978. アユの生態. 中公新書, 176p.
- 東京都島しょ農林水産総合センター. 2010. 平成 22 年度東京都島しょ農林水産総合センター主要成果集, p. 24.
- 山崎浩二・秋山信彦. 2001. シュリンプ&スネイル. ピーシーズ, p. 82.