

魚類の迷入防止対策について

THE WAY TO PREVENT FISH FROM STRAY

関谷 明¹・漆山敬二²・福井吉孝³・鈴木辰規⁴

Akira SEKIYA, Keiji URUSHIYAMA, Yoshitaka FUKUI and Tatsunori SUZUKI

¹正会員 建設技術研究所 水理部 (〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪 1047-27)

²正会員 建設技術研究所 水理部 (〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪 1047-27)

³正会員 工博 東洋大学教授 工学部環境建設学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100)

⁴学生員 東洋大学大学院 土木工学専攻 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100)

Sometimes fish go into the intake or outlet of facilities and move to another river where the fish do not live originally. This kind of behavior is called stray of fish. Recently, in Japan, to prevent economical loss of loosing fish and to maintain good environment for fish in the river, preventing fish from such stray becomes popular. In this research, the best way to prevent fish from stray is investigated by experiments. At first, the electric screen method is applied for the experiment. As a result, this method is suitable for carp and crucian, but it is unsuitable for ayu. Since it is supposed that fish react on the change of water temperature, another method based on the local difference of water temperature in the channel is tested.

Key Words : Behavior of Fish, stray fish, electric screen, water temperature in a river

1. はじめに

近年、水資源の確保のためダムや放水路を用いた流域間の取水、放水事業が計画されている。この場合、既存の生物の生息環境の維持、保全が重要な課題であり、魚類の他流域への移動をどう制御するかがその中の一つにある。

魚類が取排水口等へ流入（迷入）することは、単に水産資源上の問題としてだけではなく、水域全体の生物環境保全上の問題となる。

魚類の迷入防止対策は、取排水口に近づけない方法、取排水口前面で忌避させる方法、迷入した魚を元の流域に戻す方法が考えられ、その具体的な方策としては、次の2つに大分類され、その中で様々な方式が提案、実施されている。

①物理的に防止する方法

スクリーン等により迷入を遮断する方法など

②魚の行動特性を利用する方法

光、電気などによりその場から忌避させる方法等があり、平成8年の時点で国内の設置例は、①の方策

が27件、②の方策が31件あることが報告されている¹⁾。

しかし、国内での設置事例をみると明確な効果を挙げている例は、ほとんどないのが現状である²⁾。

海外では、「電気スクリーン」による防止方法を用いるケースが多くみられ、近年では、従来の交流電圧に対し、直流電圧を与える方法を用いることで成果を上げている。

ここでは、国内において検討事例の少ない、直流電圧方式を用いた電気スクリーンについての実験結果および新たな試みとして水温差を利用する方法についての検討結果を報告する。

2. 研究目的

本研究は、先ず直流方式を用いた電気スクリーンについて水理模型実験を通じた検討を行い、迷入防止効果を確認するとともに、電圧値などの運用諸元について調査することを目的とした。併せて交流方式についてもその効果をみるため実験を行った。

また、水温に着目し、水温の変化に対しての魚の反応

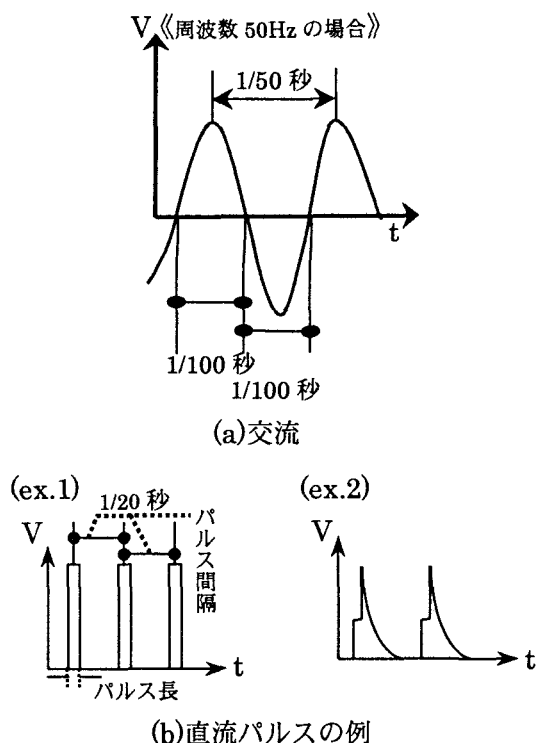


図-1 交流と直流パルスの周波数の概念

を調べ、迷入防止策として水温差を利用することの是非について調査することを目的とした。

3. 電気スクリーンの概要

電気スクリーンは、水中に正負の電極を設置、通電し、電気ショックにより、魚をその場から忌避させるものである。しかし、従来この方法では、交流（図-1(a)）を用いたため、効果が高い反面、魚の骨に与える影響も大きかった。これに対し、直流パルス（図-1(b)）を用いれば、魚への影響が軽減されることが判ってきている¹⁾。図-1(b)の(ex.2)は、本実験で用いたパルスの例で、電圧は徐々に下がる。

4. 電気スクリーンの調査概要

(1) 電気スクリーンの考え方

本研究では、3で示した直流パルスを用いる方式に着目し、迷入防止効果を調査する。

電気ショックは、電気が流れる距離が長いほど大きい。つまり、同一電圧場では、体長が長い魚ほど、また、体の向きが電極の正負方向を向いているほど大きい²⁾。したがって、図-2に示すように、魚が迷入しようとする際に電圧が最大となるように正負電極を流れに平行に設置した³⁾。なお図-2でLは電流が魚の体内を流れる距離であり、このLを大きくすると迷入防止効果が上がる。

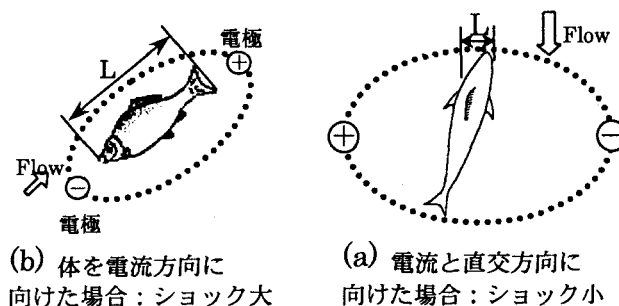


図-2 魚類の感電イメージ

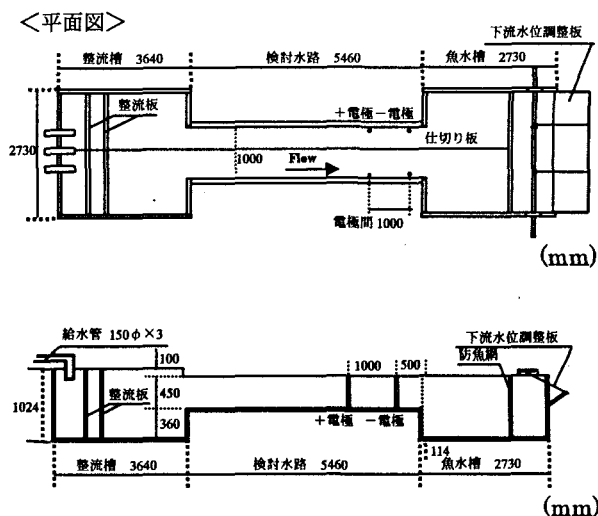


図-3 電気スクリーン実験水路概要図

表-1 電気スクリーン実験条件

水理条件	平均流速	1.0m/s
	水深	0.15m
環境条件	水温	16.5～17.4℃
	電気伝導度	630～634 $\mu\text{S}/\text{cm}$
通電条件	電極設置間隔	1.0m
	電極設置位置	流れに平行
	印加電圧	10から100V
	電位勾配	0.1から1.0V/cm
	パルス長	10ms (=1/100秒)
	パルス間隔	10Hz
対象魚	コイ	平均体長 30cm
	コイ	平均体長 14cm
	フナ	平均体長 24cm
	フナ	平均体長 12cm
	稚アユ	平均体長 10cm

(2) 調査概要

調査は、実魚を用いた2次元の水理模型実験によるものとした。

実験は、図-3に示すような幅1.0mの2次元水路の下

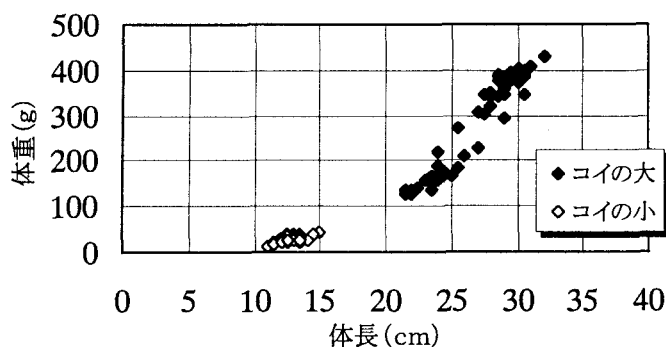


図-4 コイの体重と体長

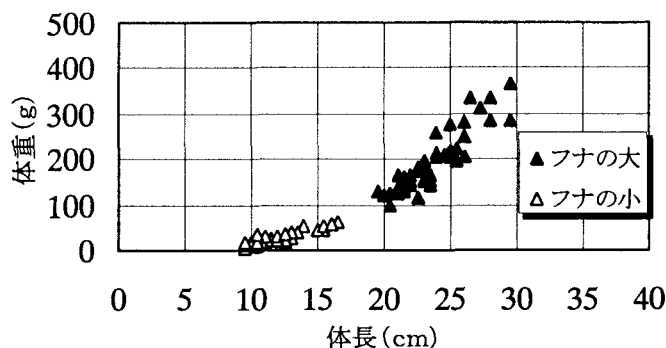


図-5 フナの体重と体長

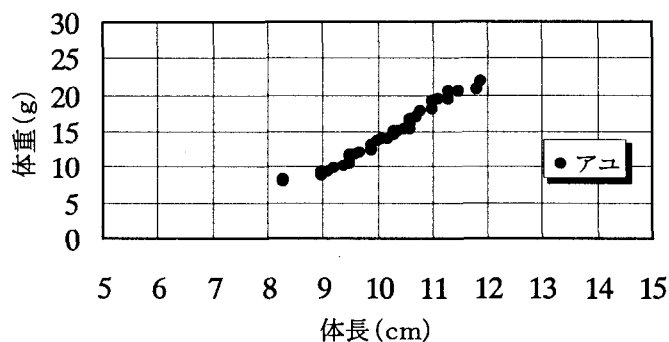


図-6 アユの体重と体長

流側側壁に正負電極を設置して行った。

実験施設が屋外のため実験時間に応じ、水路片側壁沿いに日陰が生じる。そこで、各実験で日陰の影響が少なくなるよう、水路を中央で仕切り、同一実験条件下で交互に水路を使用した。

実験では、表-1 に示す条件下において、忌避率が最も顕著となる電圧値(電位勾配)(V/cm)を求めた。パルス長、パルス間隔は、1/100 秒、10 Hz とした。

実験では、水路上流(或は下流)に実魚を放流し、流下(或は遡上)した魚が電極付近で泳ぐ向きを変えて逃げていく、即ち、忌避行動を示すかどうかを観察した。放流数に対する忌避数の割合をパーセントで表して忌避率として電位勾配と比較整理した。

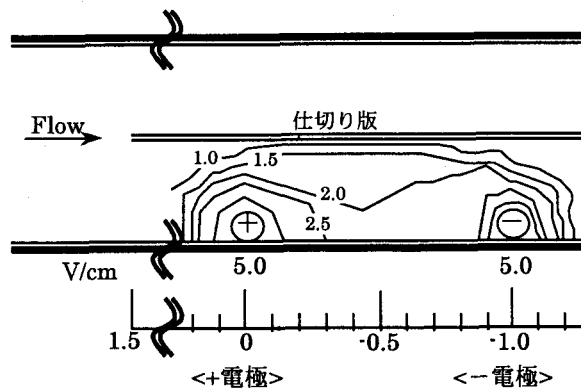


図-7 等電位勾配線図

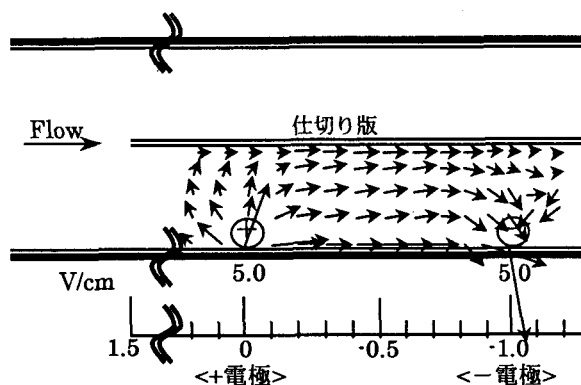


図-8 電気力線図

$$\text{忌避率} = \frac{\text{忌避数}}{\text{放流数}} \times 100(\%) \quad (1)$$

また、実験に使用した後レントゲン撮影を行い、電気ショックが魚の骨に与える影響を調査した。

(3) 対象魚

実験対象魚は、取排水口等への迷入が最も懸念される経済的価値が高い遡上期の稚アユとそして比較検討のためにコイ、フナの淡水魚とした。

実験に使用した対象魚の体長分布を図-4,5,6 に示す。

5. 電気スクリーンの調査結果

(1) 水理条件

水理条件は、実験水路に放流した対象魚が、電極設置位置まで辿り着けること、かつ電気に反応した場合突進速度での忌避が可能な条件として、電極設置区間で水深約 15cm、流速約 1 m/s とした。

(2) 電位勾配分布

電極は、電極間隔 1.0m プラス、マイナスは流れ方向とし、水路側壁に設置した。図-7,8 に 500V を通電した際の電位勾配分布および電気力線図の代表例を示す。

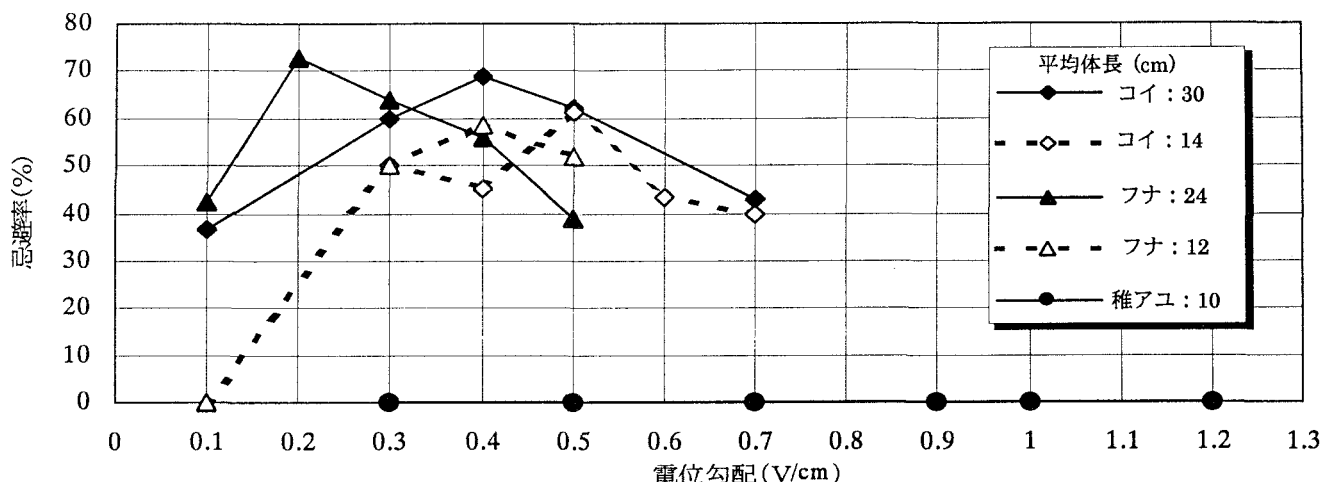


図-9 電位勾配と忌避率の関係

以下、本報告で示す電位勾配とは、通電電圧値を電極間距離で除した値とする。単位は(V/cm)である。

(3) 電位勾配と魚の忌避行動

電位勾配と魚の忌避率の関係を図-9 に示す。

a) コイ (平均体長 30cm)

電圧 0.3V/cm, 0.5V/cm で約 60% とほぼ同程度の忌避率を示し、0.1V/cm, 0.7V/cm では、忌避率 40% 前後と低下することが判った。0.4V/cm の電位勾配では忌避率約 70% となり、忌避率のピーク値は、0.4V/cm 程度と判断した。

b) コイ (平均体長 14cm)

0.5V/cm を中心に 0.4V/cm, 0.6V/cm で実験を行った。その結果、0.4V/cm で約 45%, 0.5V/cm で約 60%, 0.6V/cm で約 44% の忌避率を示したので、忌避行動を誘発する最適電位勾配は、0.5V/cm と判断した。

c) フナ (平均体長 24cm)

0.3V/cm を中心に 0.2V/cm, 0.4V/cm について実験を行った。その結果、0.2V/cm で約 73%, 0.3V/cm で約 64%, 0.4V/cm で約 56% の忌避率を示した。

以上より、忌避行動を誘発する最適電位勾配は、0.2V/cm と判断した。

d) フナ (平均体長 12cm)

0.3V/cm, 0.5V/cm で約 50% とほぼ同程度の忌避率を示し、0.1V/cm では、電気スクリーンに無反応であることが判った。忌避率のピークを示す電位勾配は、0.4V/cm で忌避率は約 58% となった。

e) 稚アユ (平均体長 10cm)

0.3V/cm では、電極付近でのアユの泳ぎに変化はなく、全て上流に遡上した。0.5V/cm, 0.7V/cm では、魚はダメージを受けているのが観察されたにもかかわらず、下流へと忌避行動をとる個体はみられず、全てが遡上

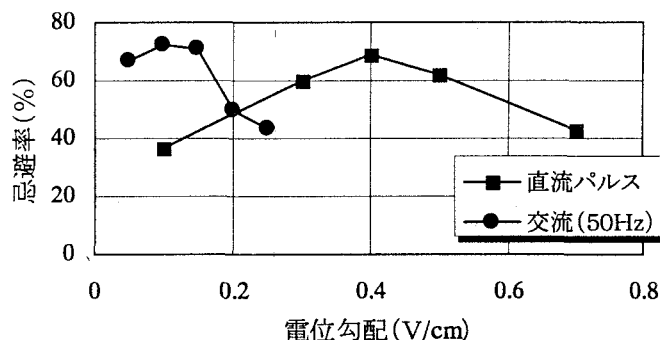


図-10 直流と交流の違いと忌避率の関係
(コイ (30cm) を対象として)

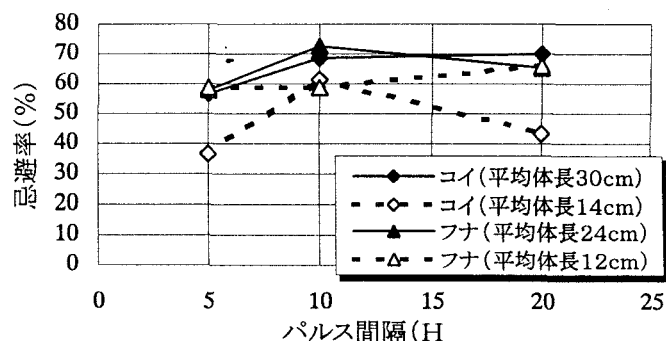


図-11 パルス間隔と忌避率の関係

した。0.9V/cm では、電極間で気絶し下流に流されてしまう個体もみられたが、約 1m 程度流下した後、蘇生し再び、遡上し、最終的に全ての個体が遡上した。1.2V/cm ~ 2.0V/cm については、電極間で気絶する個体、また遊泳が困難になってしまう様子が伺えたが、最終的には、全ての個体が遡上した。

このことより、遡上期のアユは遡上意欲が高く、電気による刺激では、一時的に遡上活動が停止してしまう場合もあるが、忌避行動を期待できないと考える。

f) まとめ

コイ、フナなどの淡水魚については、魚の種類や体長によっても異なる特定の設定電圧、つまり電位勾配を与えることで迷入防止効果が十分期待できることがわかった。今回はフナの方がコイより低い電圧で影響を受けることが判った。また、同じ魚種でもサイズの大きい方が、低い電位勾配で高率の忌避活動をする事が明らかになった。

しかし、遡上期のアユについては、電気の刺激では、魚へのダメージを与えるだけで、忌避行動は期待できないことが判った。

(4) 交流と直流パルスでの忌避行動

参考までに従来型の交流電圧での忌避行動についても調査した。対象魚は、コイ（平均体長 30cm）とし、交流電圧（50Hz）を与え、実験を行った。その結果、図-10 に示すように忌避率のピークは、0.15 V/cm で約 70%を示す事が判った。

直流パルスと比較すると

- ①最大の忌避率を生じさせる電圧の値は直流方式より低い。
- ②忌避効果を発揮する電圧の範囲が狭く、0.1 V/cm 程度のずれが、忌避効果に与える影響が大きい。
- ③観察の結果、0.25 V/cm で気絶する個体がみられた。

以上より(3)で判ったように魚種や体長の違いが忌避効果を大きく左右することを考えると、交流電圧を使用する場合、電圧の設定が難しく、かつ電圧設定を間違えると魚に与える影響が少なくないので、特定の魚種、体長の魚を対象にした時以外は効果が薄い。

(5) 電気が魚に与える影響について

外国の例では、電気を与えると魚の骨に異常が生じたと報告されているので、実験で使用したコイ、稚アユを1ヶ月飼育した後、レントゲン撮影を行い、骨の異常の有無を調査した。

20 尾ずつ調べた結果、これらの魚の骨に異常がないことが判った。

それ故、その他の個体についても異常は生じていないと判断する。

しかし、近年電気による影響については、遺伝の面からも危惧されるようになってきている。

6. 電気スクリーンの運用諸元について

以上の結果、稚アユには効果がないが、コイ、フナ等の淡水魚については、電気スクリーンでの迷入防止効果が期待できることが判った。また、忌避効果を上げる最適な電位勾配は、魚種や体長によって異なることが判った(図-9)。

よって、コイ、フナ等の淡水魚を対象とする迷入防止

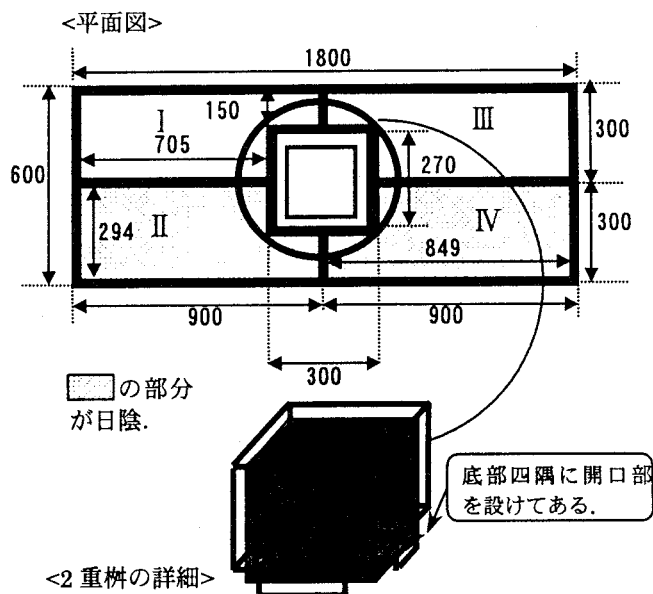


図-12 温度差とアユの挙動実験水槽

表-2 温度差とアユの挙動実験条件

実験ケース	放流時の水温	領域	日照条件	水温(℃)
1	16.0	I	日向	17.0
		II	日陰	16.0
		III	日向	17.0
		IV	日陰	16.0
2	16.0	I	日向	22.0
		II	日陰	22.0
		III	日向	16.0
		IV	日陰	16.0
3	20.5	I	日向	29.5
		II	日陰	30.0
		III	日向	21.5
		IV	日陰	20.5

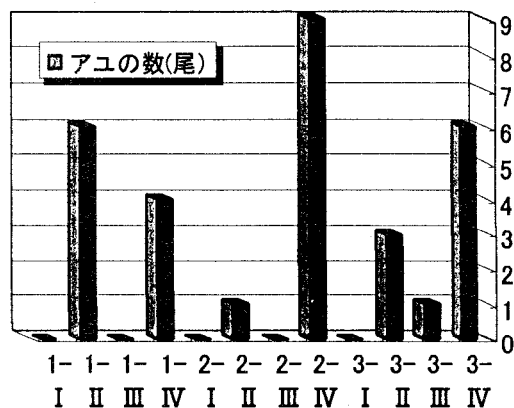


図-13 温度差とアユの関係

対策として直流型の電気スクリーンを使用する場合の運用諸元は、

- ①電極棒の配置：流れに平行に正負電極棒を設置
- ②正負電極の間隔：人が落ちて同時に両電極に触れないだけの間隔
- ③同電極間隔：対象魚の体長の3倍程度
- ④電極列：魚種や体長に対応できるよう河道から取水口に向かい、複数列が望ましい
- ⑤パルス：パルス間隔 10Hz, パルス長 1/100 秒程度が望ましい。
- ⑥電位勾配：0.2~0.7V/cm と考えられる。

7. 魚の温度に対する反応について

電気スクリーンも含め、従来の方法で遡上期のアユを忌避させる方法は未だない。遡上期の稚アユは、個々の河川水温に順応し、急激な温度変化を嫌うことが本田³⁾によって報告されている。そこで本研究では、水温差に着目し、それを用いることによってアユの忌避を誘発できると考えた。

(1) 実験条件

本実験では、図-12 に示す長さ 1.80m、幅 1.71m、高さ 0.60m の水槽を 4 領域に分割し、中央に 2 重の柵を設けた装置を用いた。なお、外側の柵は、魚が自由に動けるように開口部を設けてある。

稚アユの平均体長は、10cm である。

実験条件は、表 2 に示す各領域を①日陰・日向 ②温度高い・温度低い、に設定した。

(2) 実験

実験は、内側の柵に稚アユを放流し、そこでの水温に充分慣れた段階で、内側の柵を取り外す。すると稚アユは残った外側の柵の底部の開口部から自由に領域Ⅰ～Ⅳへ動くことができる。稚アユが照度または温度の違う 4 つの領域のどこに集まるかを調べた。

(3) 結果

実験結果を図-13 に示す。図-13 では、横軸が実験ケース (1~3) とアユが集まった領域 (Ⅰ~Ⅳ) を、縦軸が尾数を表している。

グラフから、

- ①同一水温の条件下でアユは、日陰を好むことが確認できた。
- ②アユは放流場所の水温とほぼ等しい水温を示す領域に移動し、放流水温より高い水温の領域を避けることが判った。

本田³⁾により、アユはより低い温度は忌避することが報告されているが、本実験でより高い水温でも忌避することが判ったので、温度差は有効な迷入防止策となると結論づけられる。

次の段階では、この温度に対し敏感に反応するアユの性向をより深く探るため、流れのある場での検討を

行う必要があると考える。

8. おわりに

以上より、対象魚がコイ、フナ等の淡水魚であるならば、電気スクリーンは、迷入対策として有効であると考えられたが、回遊魚である遡上期の稚アユについては、全く効果が期待できないと判断された。しかし、稚アユについては、水温差を利用した迷入防止策の効果が期待できそうであることが本研究より予測できた。

今後の課題としては、遡上、降下するアユなどの回遊魚の迷入を防止する最適な方法を見出すことである。

謝辞

本研究を進めるに当り東洋大学工学部環境建設学科環境水工研究室の湯目吏吉也、坂本裕嗣の両君の多大な助力を得た。記して謝します。

参考文献

- 1) (財)ダム水源地環境整備センター編：最新魚道の設計
信山社サイテック
- 2) 全国内水面漁業協同組合連合会：魚の迷入の実態とその対策へのアプローチ
- 3) 本田晴朗：アユの遡河行動におよぼす濁りおよび水温低下の影響,月刊海洋,vol.15 ,No.4,pp.223-225, 1983.

(2000. 4. 17受付)