

アユによる魚道遡上条件の検討

誌名	広島県水産試験場研究報告
ISSN	03876039
著者名	戸井,真一郎
発行元	広島県水産試験場
巻/号	20号
掲載ページ	p. 5-9
発行年月	1999年1月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



アユによる魚道遡上条件の検討

戸井 真一郎

On the design of Denil Fishway for Ayu, *Plecoglossus altivelis*

Shinichirou Toi

アユ (*Plecoglossus altivelis*) に代表される両側回遊魚類は、河川にダム(堰堤)が存在する場合には遡上が妨げられ、生息範囲や再生産を制約されていると考えられる。このような場合に、魚に通路を与えるのが魚道である。しかし、現状の魚道には魚が利用しないものが多くある。この原因は、設置位置や設置環境が悪いために、魚が魚道を認識できないこと、また、魚は魚道を認識しているが、魚道を遡上する動因が足りないことが考えられる。アユの遡上行動は、水温上昇、水位低下、照度変化、密度増加および空腹状態等の環境下で、流水や落水等が動因刺激となり、引き起される。¹⁾そこで、アユが遡上しやすい魚道の設計のため、魚道の設置位置および堰堤からの流水環境、魚道からの流水刺激(流量・流速)量について検討した。

材料および方法

供試魚

供試魚は、広島県で累代化されているアユの人工種苗21代目(F-21)を使用し、その詳細は表1に示した。1995年9月29日~10月10日に(社)広島県栽培漁業センターで採卵し、10月12~23日に孵化、1月31日まで同センターにおいて海水で育成した後、水産試験場の陸上水槽(海水)で中間育成し、4月10日に2日間の淡水馴致を経て淡水魚支場の円形水槽に収容した。4月19日に6

mmおよび8mm角の網目の選別箱を用いて選別を行い、8mm角の選別箱を通り、かつ6mm角の選別箱に残った標準体長(S.L.)が 78.7 ± 3.8 mm(測定日:4月24日)のサイズのものを用いた。

実験魚道の概要と特性

全ての実験は、図1に示す長さ180cm、幅20cm、有効幅10mmの木製のデニール式魚道を使用した。魚道の内部にはデニール式の特徴である将棋の駒を繰り抜いた形状の阻流板を45°の角度で18cm間隔に設置した。阻流板の有効幅は、対象魚の体長の1/2以上になるように設定した。²⁾また、デニール特有の流況となるように阻流板の

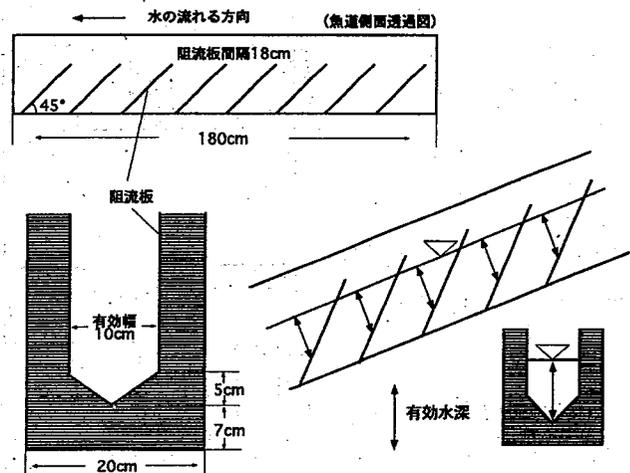


図1. 場内実験に用いたデニール式魚道

表1 実験に用いた供試魚

実験の種類	S.L.(mm)	サンプル数	実験期間
溯上行動に及ぼす魚道突出の影響	100.4±5.5	596	'96年7月下旬
溯上行動に及ぼす魚道以外の落水および流水の影響	94.3±9.1	1,486	'96年6月下旬~7月中旬
溯上行動に及ぼす流水の影響	112.0±5.8	591	'96年8月下旬
溯上行動に及ぼす流速の影響	108.7±7.1	847	'96年8月中旬~9月上旬

S. L. 標準体長

有効水深は、10~15cm（有効幅の1~1.5倍）とした。そこで、魚道の入口は、魚道からの流水レベルが下流の流水レベルと等しく³⁾なるように設定し、10~15cmの有効水深を維持した時の、勾配毎（1/5, 1/4, 1/3, 1/2）の流速および必要な水量を検討した。

遡上行動に及ぼす魚道突出の影響

2つのコンクリート池（縦4.0m×横3.0m）を注水側から縦2.5mの線で仕切って模擬堰堤とし、一方は、模擬堰堤の中央から突出していない魚道（図2-A）を他方は、下流側に1m突出した魚道（図2-B）を設置した。模擬堰堤の下流側は、縦1.5m、横30m、水深15

cmの供試魚収容場所とした。図2のA, Bそれぞれの池の収容場所に、供試魚を100尾ずつ同時に収容し（以後の模擬堰堤下の実験の供試尾数は、全て100尾とした）、流水刺激を与えない条件で1時間馴致（以後の実験も通水前に必ず1時間馴致）させた後、1時間魚道に通水した時の遡上率から、魚道の突出による影響を比較した。実験中の収容場所でのアユの行動は、目視により観察した。実験は7月22日、7月23日、7月26日に実施した。実験時の魚道流速は、0.9m/s（勾配1/5:S.L.100mmのアユに対して10S.L.(m/s)未満）と設定した。

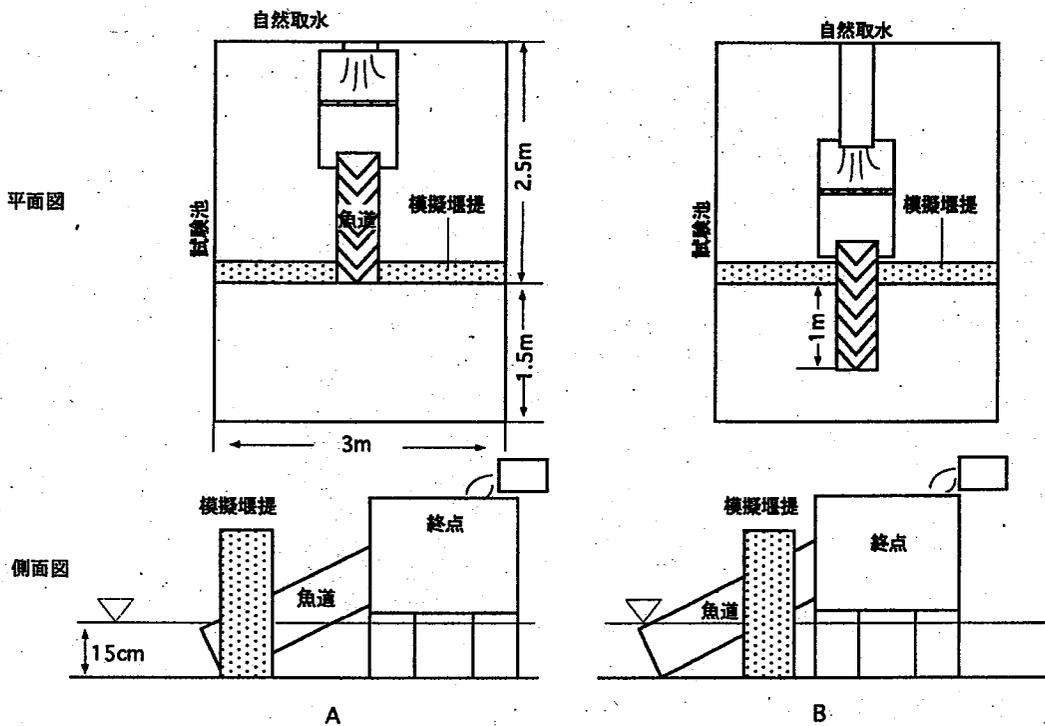
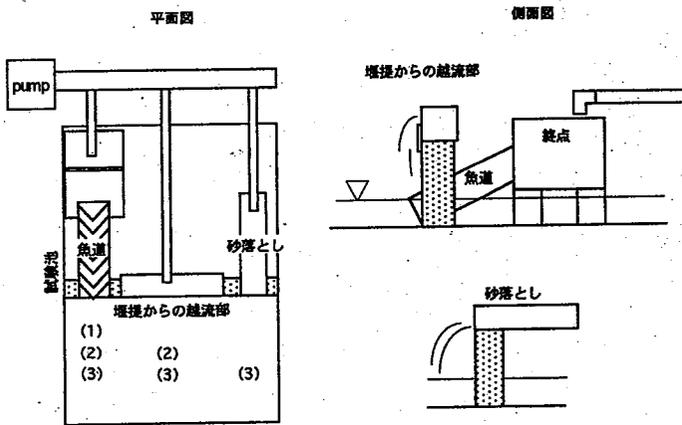


図2. 模擬堰堤の概要

遡上行動に及ぼす魚道以外の落水および流水の影響

実験は魚道の他に堰堤からの越流落水や砂落としからの落要を加えて3ケースで行った(図3)。ケース1は魚道からのみ流水させた場合、ケース2は魚道流水の他に、模擬堰堤から越流落水している場合、ケース3は魚道流水、堰堤からの越流落水に加えて、砂落としから落水がある場合とした。実験開始1時間後の供試魚の遡上率から、魚道以外の落水の影響を検討した。実験中の収容場所でのアユの行動は、目視により観察した。魚道の流速は、突出の影響と同様に、0.9m/s(勾配1/5:S.L.94mmのアユに対して、10S.L.(m/s)未滿)とした。



(1) ケース1 (2) ケース2 (3) ケース3 の流落水箇所

図3. 模擬堰堤を構成するパーツおよび実験ケース

遡上行動に及ぼす流量の影響

模擬堰堤の中央に突出しない魚道を有する実験池(図2のA)を2つ並列に設定した。実験池のうち、一方は魚道流量 $7.2 \pm 0.61/s$ 、他方は $13.7 \pm 0.81/s$ とし、1時間後の遡上率を比較した。実験は3回行い、1回目(8月26日)の勾配を1/5、2回目(8月29日)は1/3、3回目(9月3日)は1/4とした。

遡上行動に及ぼす流速の影響

模擬堰堤の中央に突出しない魚道を有する実験池(図2のA)を用いて、異なる魚道流速下での4時間後の遡上率から、魚道流速の影響を検討した。魚道の流速は、魚道の勾配と流量を変化させて調整したが、流量による影響を小さくするために、流量の範囲は $8.0 \pm 0.81/s$ とした。

統計解析

結果の分析には、Stat View 4.5 (Abacus社)を用いた。魚道突出の影響、魚道流量の影響は、Mantel-Haenzel検定⁹⁾を、魚道以外の落水および流水の影響には、分散分析を、魚道流速の影響には、回帰分析をそれぞれ用いた。いずれの場合も有意水準は5%とした。

結果

実験魚道の概要と特性

勾配と流量を変化させた場合に生じた魚道流速と流量の関係を図4に示した。流量が同じならば、勾配の大きい方が流速が速かった。また、同じ有効水深を維持する場合、勾配の大きい方が多くの流量を必要とした。

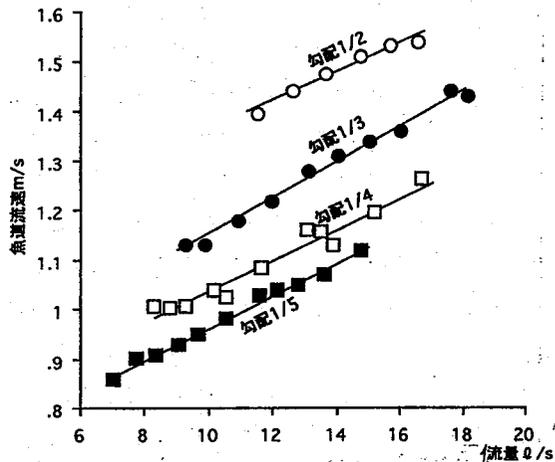


図4. 有効水深10~15cmでの流量・流速関係

注) 流量が限られたため、1/2は有効水深13.5、1/3は有効水深は14.5cmまでのデータである。

遡上行動に及ぼす魚道突出の影響

遡上率は突出なしの場合は19.6~39.3%、突出1mの場合は0~17.0%の範囲になった(図5)。3回の繰り返し実験結果から、いずれの実験日の遡上率も、突出のない方が、突出がある場合よりも高く、しかも、実験日毎の遡上率は、突出の有無にかかわらず、高い方から順に、7月23日、7月22日、7月26日となった。平均遡上率は、突出のない場合が29.6%、突出がある場合が8.9%で、有意差が検出された(突出なし vs 突出1m, $X^2 = 5.983$, d.f. = 1, $p = 0.014$, Mantel-Haenzel)。なお、それぞれの実験時の平均水温は、7月22日は24.2℃、7月23日は22.4℃、7月26日は24.8℃であった。実験開始直後のアユは、収容場所の壁面伝いに旋回していたが、5分程度で落ち着き、突出がない場合は魚道流水下に集群し、突出がある場合は魚道の左右に2群に分かれて集群した。

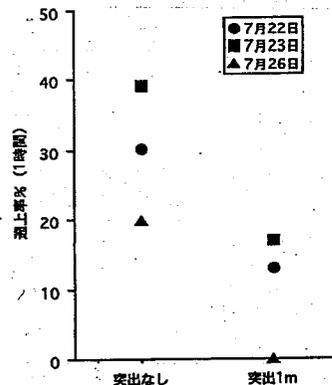


図5. 魚道の突出と遡上率

遡上行動に及ぼす魚道以外の落水および流水の影響

各ケースの遡上率(図6)をみると、ケース1では0~51.5%、ケース2では4.0~21.7%、ケース3では2.1~23.0%の範囲にあり、特にケース1でのバラツキが大きかった。どのケースもバラツキがあり、平均値で比較することは妥当ではないと考えられたが、平均遡上率はケース1が34.0%、ケース2が16.8%、ケース3が13.3%であり、ケース1が他のケースに対して、高い遡上率を示したが、有意の差はなかった($F=2.835$, $d.f.=2$, $p=0.102$)。実験時の目視観察結果を図7に示した。アユは、ケース1では、魚道流水下に集群した。ケース2では、魚道流水下に小さな群を作りつつ、堰堤からの落水の下に定位したり、壁面を時計周りに旋回する行動が見られた。ケース3では、魚道からの流水下と砂落としからの落水下の群に大き分かれた他、堰堤からの落水下に定位するもの、2つの群間を往来するものがいた。ケース3での群の大きさ(尾数)は、魚道の流水下の群よりも砂落としからの落水下の群の方が大きかった。

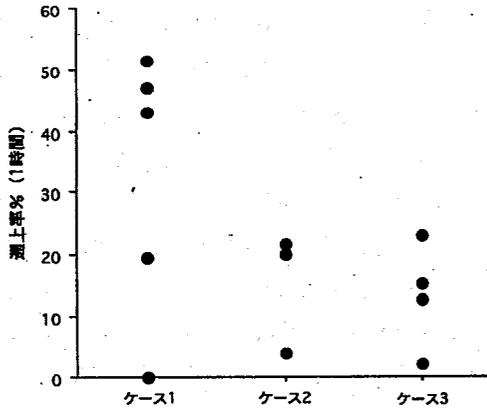


図6. 模擬堰堤での流水ケース別のアユの遡上率

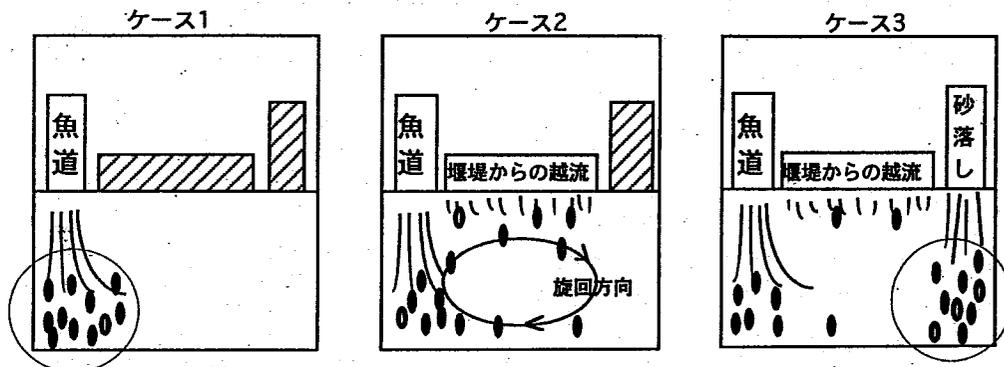


図7. ケース別のアユの集群場所

遡上行動に及ぼす流量の影響

同一勾配間(同一日)の遡上率(図8)は、いずれのケースも流量の多いほうが高く、しかも、勾配毎の遡上率は、どちらの流量の時も、高い方から順に、1/5(8月26日:水温24.6℃), 1/3(8月29日:水温25.3℃), 1/4(9月3日:水温24.1℃)となった。平均遡上率は、流量が多い場合が47.6%、少ない場合が34.5%で、流量が多い方が高かったが、有意差は認められなかった(流量多47.6% vs 流量少34.5%, $X^2=3.331$, $d.f.=1$, $p=0.068$, Mantel-Haenzel)。

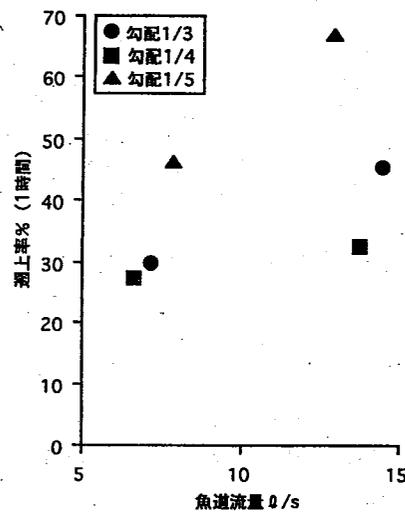


図8. 流量に対するアユの遡上率

遡上行動に及ぼす流速の影響

模擬堰堤での魚道流速 (0.8~1.4m/s) に対する遡上率を図示 (図9) したところ、遡上率は、上に凸型の変化を示していた。2次曲線で近似させたところ、 $y = -740(x-1.12)^2 + 81.0$ ($R^2 = 0.72$) の関係式が得られ、流速1.12m/sで最大値81.0%を持った。

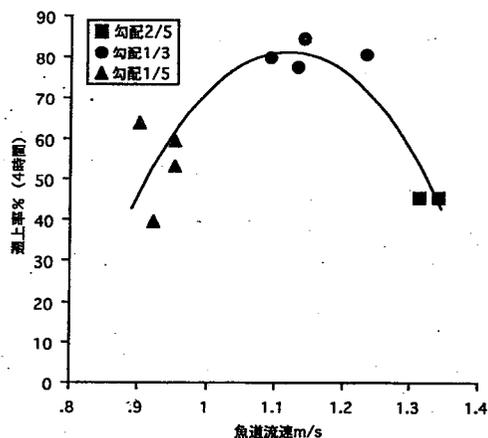


図9. 流速に対するアユの遡上率

考 察

アユが認識しやすい、堰堤に対する魚道の設置位置および環境について検討を行った結果、魚道の入口を堰堤から下流に突出させない方がよいことが確認され、これは統計的にも有意であった。

堰堤からの流落水環境を3つのケースから検討した結果、各ケース毎の魚道下への集群状態が異なり、アユにとって魚道からのみ流水がある場合が、最も魚道を認識しやすいことが推定された。

アユが認識しやすい条件下 (堰堤からは魚道からのみ流水があり、魚道は堰堤から突出しない場合) での魚道遡上動因として、流水刺激 (流量、流速) の大きさについて検討したところ、魚道流量の大きさには、統計的には有意差はなかった。しかし、一般に刺激 (流水、落水、音) を強くすると反応 (遡上行動、とびはね行動) は増大すること。流量の大きさによる実験結果において、3つの勾配いずれの場合も、流量が多い方が遡上率が高かったことから考えると、流量が多い方がアユの遡上を活発にすると推定される。

流速については、アユの反応 (遡上率) が上に凸の2次曲線で示され、遡上率の高い範囲 (最大値つまり遡上率のピーク値) の存在が示唆された。このことは、最適流速からのずれが大きくなると、アユの遡上反応は低下することを示す。一般に刺激 (流水、落水、音) を強くすると、反応 (遡上行動、とびはね行動) は増大する。このことから、流速が増加すれば、遡上行動は活発にな

ると考えられる。しかし、遡上行動に対する制御因子として、魚の遊泳能力があり、流速が速くなれば、魚は魚道を遡上しにくくなる。つまり、流速刺激に対する反応および流速に対するアユの遊泳能力という2つの要因が同時に作用し、遡上率の最大値をとる流速以下では刺激に対する反応が、それ以上では流速に対するアユの遊泳能力が表面化して遡上率の変化を表わしたと考えられた。今回、2次回帰曲線によって求められた最大値をとる流速を、供試魚のサイズで割ると、10.5 S. L. となった。これは、一般的な魚の突進速度と言われる 10.0 B. L.⁴⁾ (Body Length = 体長 = S. L.) とほぼ同じである。他のサイズでの実験を行っていないため、はっきりとしたことは言えないが、アユには遡上に適している魚道流速が存在し、それは、アユの突進速度とほぼ同等のときであると推定された。

以上のことから、魚道設置に関して若干の知見は得られたが、今後は、魚が利用しやすい魚道の条件を、降りやすい魚道の条件を含めて検討し、理想的な魚道設置方法を解明する必要がある。

引用文献

- 1) 塚本勝巳・内田和男：全国湖沼河川養殖研究会アユ放流部会、アユの放流研究 昭和62~平成2年度とりまとめ、9~18 (1992)。
- 2) 中村俊六：廣瀬利雄・中村中六編、魚道の設計、第1版、山海堂、東京、1991、pp.314~317。
- 3) 中村俊六：魚道のはなし、第1版、山海堂、東京、1995、pp.204~206。
- 4) 塚本勝巳：板沢靖男・羽生功編、魚類生理学、第1版、厚生社厚生閣、東京、1991、pp.539~584。
- 5) Suedecor G. W. and W. G. Cochran：スネデガー・コクラン統計的方法原書 (畑村又好・奥野忠一・津村善郎)、第6版、岩波書店、東京、1981、pp.242~245。
- 6) 小山長雄：アユの生態、第1版、中央新書、1978、pp.79~169。