

砂防施設の魚道における 溪流魚の行動と魚道の実態

Fish Migration Behavior in Fishway on Sabo Facilities
and Fishway Condition in Situ

久保田 哲也

Tetsuya KUBOTA

正会員 農博 鳥取大学助教授 農学部生存環境科学講座 (〒680 鳥取市湖山町南4-101)

Fishways are inevitable with Sabo facilities in torrents that have good environment for fishes. However, most of old ones are classic type like "pool fish ladder" and new ones tend to be "slope type", and both of them need discharge control in many cases. In this situation, experiments on fish behavior with various "discharges", "pool lengths", "flow depths" are necessary in order to gain the basic information. Here, the experiments or observations are carried out for mainly Char (*Salvelinus leucomaenis f. pluvius*) which is typical upstream torrent fish, and investigation of actual condition in some fishways was made, consequently next results are acquired; 1) As fishes need stimulation to migrate by flow, too small velocity does not help. 2) Since fishes can not prepare to migrate, adequate length of pool is more than "the length of area effected by nappe plus 2 times of fish length". 3) Pools should have flow velocity under the "prolonged speed (20~40 cm/s here)" as the place of rest. 4) The desirable minimum flow depth is 2 times of the height of fish. 5) Enough pools along slope stream are needed. 6) In some fishways, flow depths or velocity are not adequate.

Key Words : fishway, Sabo facility, torrent, migration, Char

1. はじめに

砂防ダムや床固工などに魚道が設けられるようになって久しいが、従前の魚道には設定流量や対象魚種など様々な検討課題があるとの指摘¹⁾があり、新しいタイプの魚道も含めて、溪流魚を用いた魚道機能の追跡調査や溪流における遡上行動の研究は十分ではない現状である。

本研究では、まず、実際に設置事例が多く、遡上時期の維持管理の強化や改良が望まれる古典式のプール式階段魚道における溪流魚の行動を知り、今後の維持管理と斜路式魚道等におけるプール設置の目安を得る目的で、魚道プール部分を使用した実験・観察を行った。この古典式魚道の機能の是非を議論することは、より優れているとされる近代的魚道²⁾の発展を勘案すると重要な意味がないと思われるが、設置数が多いので、少なくとも流量の調節などによる機能の向上が望まれる。また、対象魚種は、主として、砂防の対象である源流域に棲息する「イワナ」

とし、その「耐久速度」及び「越流流速と遡上行動の関係」「遊泳可能水深」を、また「イワナ」及び比較対象としての「ヤマメ」については「休息に必要なプール長と遡上行動との関係」を研究した。

次に、全面型魚道として数多く設置されるようになった斜路式魚道について、今後の魚道計画・設計条件を得る目的で、平水時水理条件とイワナの遊泳行動・遊泳速度などを検討した。

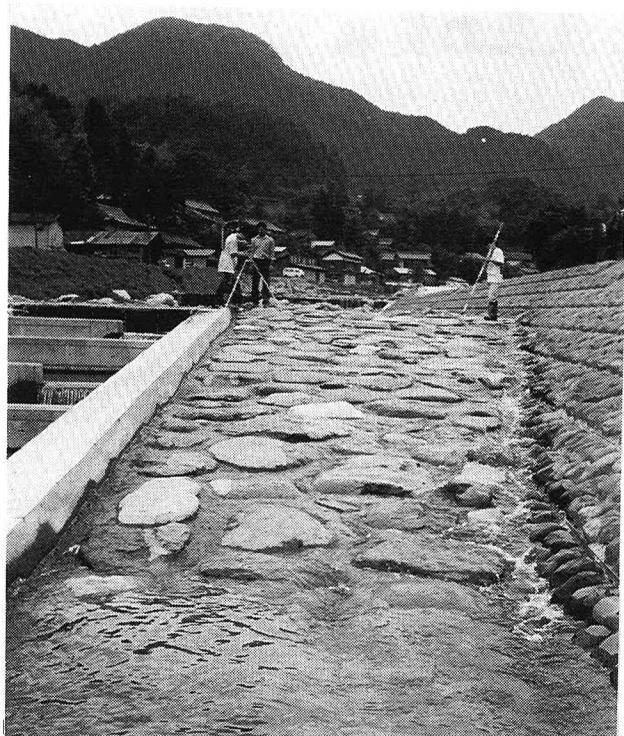
また、2、3の魚道事例について、実測の水理条件と今回の結果を比較し、その機能の適否や改善点についても議論した。

2. 研究に使用した魚道と研究方法

(1) 研究に使用した魚道

使用した魚道は、鳥取県天神川水系小泉谷川流路工の床固工魚道(コンクリート製プール式階段魚道、階段各段の落差40cm、プール長110cm、プール深30cm、幅200cm)及び鳥取県東部鹿野町の河内川上流部に

ある床固工の粗石付斜路式魚道（幅 3～4.5m、長さ 18m、勾配 1/10）である。前者の最下段部と後者の下流半分（写真－1）を遡上の実験に用いた。



写真－1 使用した斜路式魚道(河内川)

また、実際に設置されている魚道の機能や水力条件を知る目的には、前述の天神川水系小泉谷川に設置された階段式魚道と河内川の全面斜路式魚道を数箇所選んで、遡上期（10月～11月）に調査を行った。

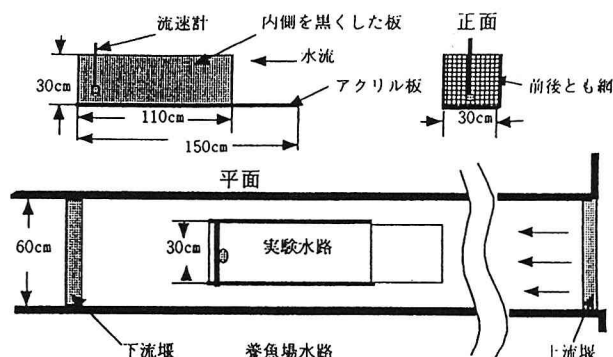
（2）実験装置と研究方法

a) イワナの耐久速度

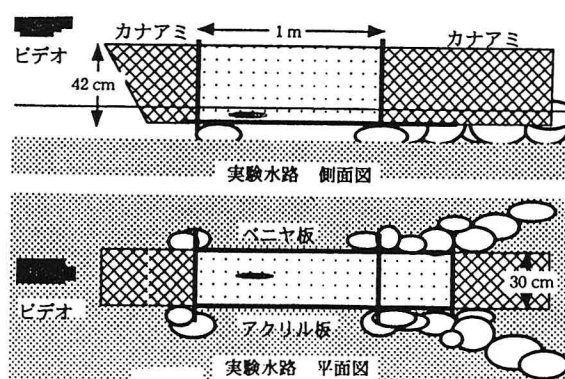
イワナの耐久速度の測定には上記小泉川上流にある養魚場の水路（幅 60 cm）を借用し、その中に実験装置（幅 30 cm、高さ 30 cm、長さ 110 cm）を設置した上、流速を装置の上下流に設けた堰で調節して行った。実験装置は、長さ 150 cm のアクリル板の上に高さ 30 cm、長さ 110 cm の板とアクリル板を立てたもので（図 1）、板の内側は観測がしやすいように黒く塗装した。この上下流の出入り口には逃避防止用の金網を設置した。

時期は遡上実験に合わせて 10 月下旬とした。この時の水温は概ね 14℃であった。天然魚は保管並びに水路への運搬が困難なため、実験に用いたイワナは体長 6～24 cm の養殖魚 30 尾とした。これを一尾ずつ装置内に入れて流速を増加させ、下流に流されてしまう、又は、突進速度で上流へ逃れてしまう限界の流速を小型プロペラ流速計で測定した。こ

の際、イワナが定位する傾向のあった水路床から 2 cm の位置をプロペラ中心とし、魚に視覚的影響を与えないように、魚体下流において測定を実行した。



図－1 イワナ耐久速度実験装置



図－2 イワナの遊泳可能水深実験装置

b) イワナの遊泳可能水深

河内川斜路式魚道の上流溪床に設置した小型水路（図－2）下流側に、20匹のイワナを一匹ずつ水路に入れて、遊泳または遡上可能な流速（最大 1 m/sec）及び水深（1 cm～8 cm）と遡上率を計測するとともに、その行動をビデオに記録した。遊泳速度はビデオから解析した。イワナについては、平均体長 17 cm 平均体高 3 cm のもの 20 匹を近隣の養魚場から溪流内の生けすに運搬し、一日放置した後実験に供した。

c) プール式魚道の遡上実験及び行動の観察

先に述べた魚道最下段をアクリル板で仕切って図－3のような実験装置を設置した。この上下流にはトラップをかけイワナの逃泳を避けた。流速は上流に堰を設けて調節し、落差は 42 cm と 32 cm の 2 種類設定した。実験時期はイワナの遡上時期であり天候や流量も安定している 10 月中旬の 2 週間を選んだ。イワナは、天然イワナ 50 尾と養殖イワナ約 50 尾を用意し、その中から天然・養殖別に 20 尾ずつ実験装置に入れ、24 時間放置後の上流プールへの遡上率を計測した。また、アクリル板の側方よりイワ

ナの行動をビデオ撮影した。同時に、水温・流速・水深・流量の測定を行った。さらに、5匹程度のイワナをプールに入れて、魚密度が大きくない場合の行動の観察も行った。

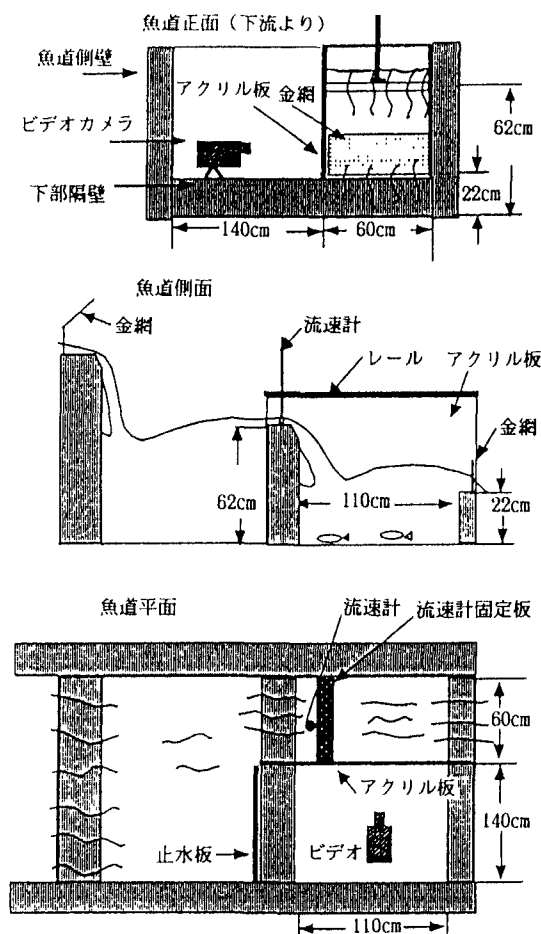


図-3 プール式魚道のイワナ遡上実験・観測装置

次に、遡上に必要なプール長を推定する目的で、プール長を変化させた場合の行動を検討する。魚道プール内の落下水脈下流における比較的流速の遅い部分で、魚が遡上のための定位を行い、休息する場所をここでは「休息域」と呼び、図-4中の“a”のように休息域を変化させた場合の魚の遡上可能最小プール長を検討した。

そのため、仕切板を用いてプール長を60、70、80、90、110cmの5段階に区切り、休息域を変化させた実験を行った(図-4)。越流流速は、遡上実験の結果からイワナの遡上率が最も良かった約70cm/sに調節した。比較のためヤマメでの実験も行った。しかし、この実験は前述の遡上実験翌年の遡上期に行なわれ、濁水で天然魚の捕獲が困難であったので、遡上率の劣る養殖魚(ほぼ体長18cmのイワナ、同じく15cmのヤマメ)を使用せざるを得なかった。従って、落差は遡上を促す意味で、天然魚を用いた前研究より

小さい20cmに設定した。

d) 斜路式魚道の水理条件測定と遡上実験・観察
斜路式魚道では、水理条件(流量、水深、流速、水温)計測及びイワナの遡上行動の観察を行った。実験・観測時期は、イワナの遡上時期にあたる10月(水温11.2~15.4℃)とした。斜路での行動観測は、斜路下端にネットトラップを設けた後、前出の実験と同じ20匹のイワナを一匹づつ斜路下端右

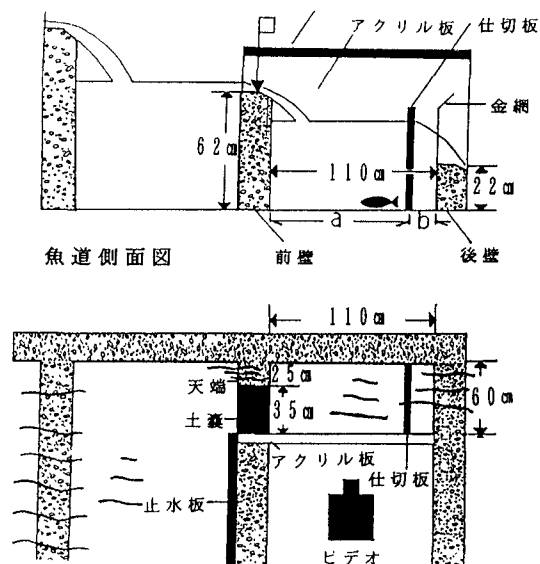


図-4 プール長(休息域)の変化実験装置

岸側の流れの最も穏やかな水脈に投入した。その時の水理条件を計測すると共に、遊泳・遡上行動をビデオで記録した。

3. 結果

(1) 耐久速度

ここで言う耐久速度とは、長時間に定位可能な血合筋による巡航速度(cruising speed)、攻撃・回避などに短時間に見せる普通筋を使う突進速度(burst speed)の中間に当たる速度(prolonged speed)であり、時折普通筋も用いるので乳酸の蓄積が生じ、いつかは遊泳不可能になる速度である³⁾この耐久速度はイワナが魚道内で突進速度による遡上行動に移る直前に見られる速度である。これは魚の体長と明確な相関があるとされる。ここでも、体長と prolonged speedとは明確な関係(相関係数 $R=0.935$)をもち、体長10cmで20~25cm/s、20cmで30~40cm/sぐらいである。天然イワナの prolonged speed はもう少し大きいと思われる。

(2) 魚道での遡上率と魚道内の行動

遡上率と越流流速の関係について図-5に示した。

落差による遡上率の差は見られない一方、天然・養殖別では天然魚の遡上率がよいことが分かる。また、遡上率のピークは流速 70cm/s に見られ、80cm/s 以上で遡上率は良くない。ただし、イワナの行動観察とビデオ解析によれば、流速の小さい時にイワナは遡上に対する反応を全く示さなかった。ところが、60cm/s 以上となりプール内に盛んに気泡が連行されるようになると、落水により生じた渦や気泡に向かって遡上行動を起こすようになるので、遡上率が良くなって行く。このような行動パターンは5尾と少数のイワナだけを入れて見たときと20尾入れたときでほとんど差が見られなかった。

この状態の時にイワナが定位している位置のプール内流速は36cm/sと prolonged speed に近いものとなっている。さらに、越流流速が80cm/s以上となるとプール内が気泡と渦で満たされ、気泡周辺の流速も prolonged speed を越えるようになることから、イワナの定位する場所がなくなってしまう。ビデオの解析によると、前述のように水流の刺激による遡上行動の促進が見られる。このことは従来の研究でも指摘されているが、連行された気泡が多すぎると障害になるとも言われている⁴⁾。また、遡上にはプール内における落下水脈周辺の渦に伴う上昇流を利用していることが分かった。

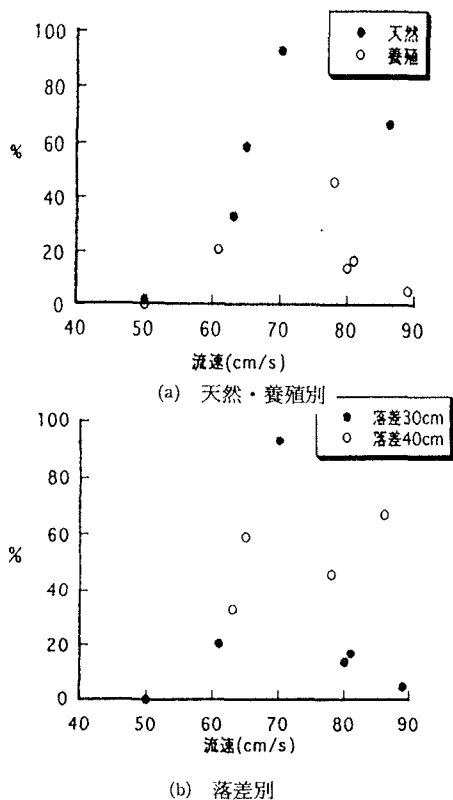


図-5 プール式魚道遡上率と越流流速の関係

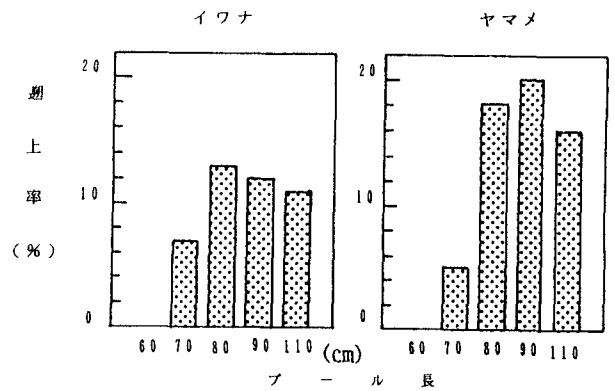


図-6 プール長と遡上率の関係

(3) 休息域と遡上行動

ここでは、プール長（休息域）別の遡上率を調べ、図-6に示した。この図によれば、プール長 60cm では遡上するものはいないことが分かる。イワナ、ヤマメともにプール長 80cm で遡上率が格段に良くなり、それ以上はあまり違いが見られない。

このことは、プール長 60cm ではプールが落下水による気泡と渦で満たされ、プール下流の仕切板で水流が反射されて逆流が生じるために魚が下流を向いて定位するような事態にもなるので、遡上行動に移ることが不可能である、つまり、「休息域」（落下水脈下流）がないためと思われる。当実験条件においては、80cm で定位の場所が確保でき、それ以上のプール長は遡上率の向上にはあまり貢献しないと考えられた。また、プール長 70cm では、行動パターンは 80cm 以上のものと類似してくるが、まだ休息域が小さく、定位が難しいように思われた。

今回用いた魚の平均体長 17cm をプール式階段魚道「休息域長」の想定値²⁾ “2～4×体長” に当てはめると、34～68cm となり、落下水脈がプールに突入して気泡で満たされる部分である約 50cm をこれに加えると 84～118cm となる。遡上行動を取り易くなり、遡上率が上昇するプール長 80cm から考えると、このことは、溪流魚に関する休息域長が体長の2倍程度あればよいことを示唆する。

(4) 遊泳可能水深に関する実験

遡上率は、図7に示されている。水深、流速にかかわらず遡上率は80%以上となっている。従って、イワナは1cmの水深(最大約50cm/s)でも遊泳可能であることが分かる。しかし、ビデオ撮影した行動を観察すると、水深1cmの場合のみは横腹を見せ、体をくねらせながら遡上したり、横転するような行動が見られた。つまり、1cmの水深では遊泳可能ではあるが、かなり困難を伴うことが判明した。

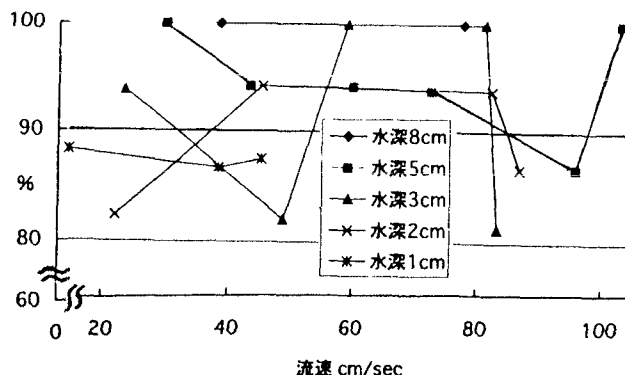


図-7 遊泳可能水深実験における遊上率

さらに、8 cm の水深では 上流に早く逃れようとする要求が強い様子もなく、かなり余裕をもった遊泳行動が見られた。

また、ビデオより計測した遊泳速度と流速の係に、魚の平均突進速度（体長の 10 倍とされている²⁾）ので、この場合、平均体長 17 cm $\times$ 10 = 170 cm/s) を勘案すると突進速度で上流へ逃泳を始める流れの流速は約 7.1 cm/s となった。

(5) 斜路での行動観察

上記で求めた遊泳困難な条件（水深 1 cm 以下、流速 7.1 cm/s 以上のどちらかの条件を満たす、図 8 (1)）と、イワナの遊上経路（黒塗りの水脈）図-8 (2) を比較すれば、イワナが困難な条件に打ち勝って遊上していることが判明する。図 8 中下向きの矢印は流速 (cm/s) を、棒グラフは水深 (cm) を表す。図 8 (2) の流量 0.11 m³/s では概ね水深 2 cm 以上、流速 7.1 cm/s 以下の良好な水理条件の場所を遊上しているが、流量が 0.20 に増すと遊泳困難な条件の個所でも遊上するようになる。水深が 2 cm 以下では、イワナは腹を見せてもだえるような遊上の仕方を見せるようになる。また、流速の約 7.1 cm/s より早い場所では、ジャンプしながら遊上し始める。この際、水の無い石の上を飛び越す場合もある。しかし、このような場合では、イワナは水深と流速が上記の良好な値以下になるプール状の場所で必ず休憩していた。このことから、プールなど休憩できる場所が必要とされる。

(6) 実際の魚道の水理条件

小泉谷川の階段式魚道では、平水時の魚道の出口・入口での水深が 2 cm 以下のものが見かけられたが、洪水時にはすべての部分で流速が 1.05 m/s（魚道内流量 0.735 m³/s）を超えるなど、休息に適した場所もなく、セイシュの生じる乱れた流れになるものが多かった。従って、このような魚道では、出水時期にも平水期にも遊上が困難と思われ、流量や水

深の調節が望まれる。

また、河内川の全面斜路式では平水時に下流水深が 2 cm 以下となるほかプールの越流部では一部で 18.5 cm/s と、突進速度を超える流速が現れたが、入口の水深を除けば、概ね良好な水理条件となっていたので、切欠きの設置など入口部の水深改善が望まれる。

この他、プール内の循環流による迷遊や、入口での迷遊、上下流の大落差による遡上不可能、ボックスカルバート部と帯工部での水深 2 cm 以下の浅水による遊泳困難などの問題点が見られた。

4. 結 語

今回の研究により、次のような結論が得られた。

- ① 遊上率が最大となる流速が存在し、それより小さいと遊上の動機を形成しない。また、この流速より大きいとプール内が気泡と渦で満たされる、流速が prolonged speed を越えるなど遊上ができなくなる。
- ② イワナ、ヤマメとも遊上を始められる限界のプール長は、「体長の 2 倍 + 落下水脈で乱される長さ」程度と考えられる。
- ③ 斜路式魚道におけるイワナの遊上には、水脈に沿って休憩場所となるプールが多数あることが望ましいと思われる。
- ④ イワナは体高の 1/3 という相当浅い水深でも遊泳可能であることは理解できたが、捕食者やストレスのことを考えると平均体高の 2 倍以上の水深が望まれる。
- ⑤ 実際の古典式魚道には流量調節など管理の改善が、そして、全面斜路式には水深の改良が必要である場合が認められた。

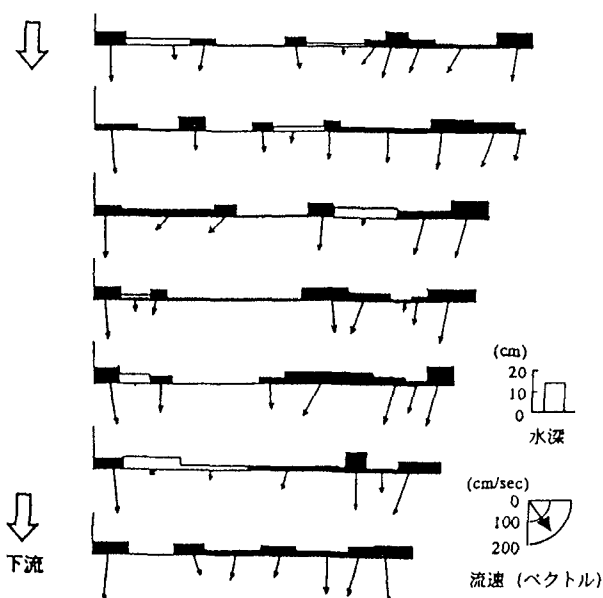
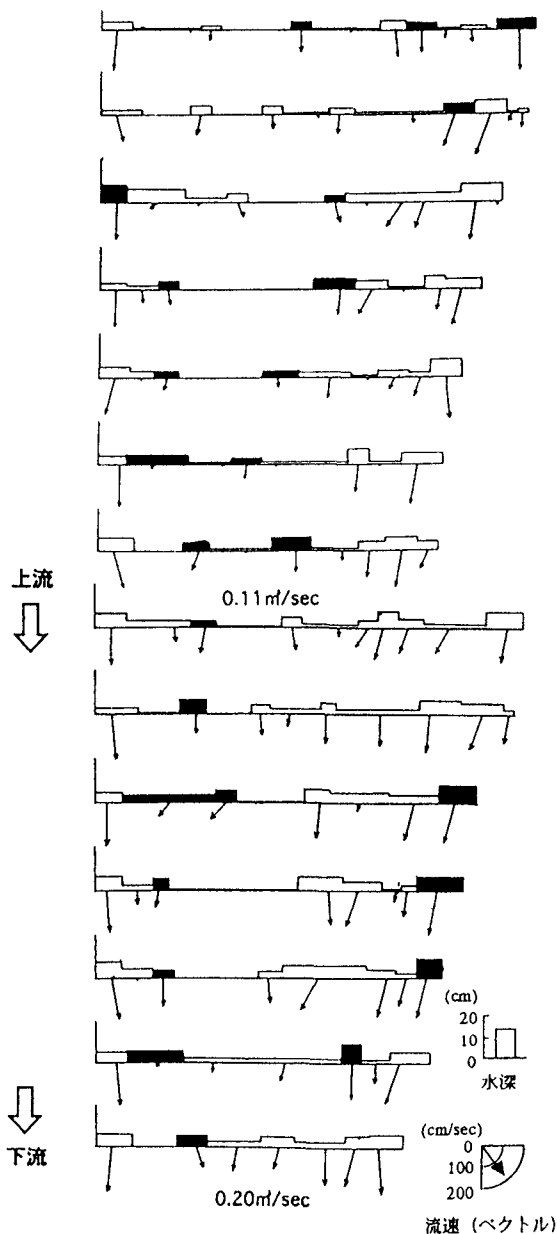


図-8 (1) 遊泳困難な水脈（黒塗り部、0.2 m³/sec）



図－8（2）斜路式の遡上経路と水理条件(水深・流速)

謝辞：最後に、魚道の使用を快諾していただくなど多大なご協力をいただいた建設省倉吉工事事務所ならびに鳥取県鳥取土木事務所砂防係の皆様、養殖イワナの提供と水路の使用を承諾いただいた小泉谷川養魚場の皆様、天然イワナの捕獲に多大なご協力をいただいた天神川漁協の皆様に、それぞれ心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 高橋 剛一郎：砂防ダムの魚道の問題点，砂防学会論文集 No. 2，pp1～4，1991.
- 2) 中村俊六：魚道のはなし，山海堂、1995.
- 3) 塚本勝巳：魚からみた魚道設計，砂防学会論文集 No. 2，pp5～21，1991.
- 4) 篠邊三郎：魚道の水理と魚類の遡上に関する研究，昭和 56～58 年度科学研究費補助金研究成果報告書，弘前大学農学部 pp10～11，1984.

(1997. 9. 30 受付)