

遡河魚類通路におけるアユの遡上効果—Ⅱ

藤岡康弘・伏木省三・中 賢治・大野喜弘・田沢 茂・里井晋一

はじめに

1978年に既設の階段式魚道を用いて行った調査¹⁾では、通路の構造や位置の点で多くの問題があることを指適し、また、標識アユを用いた遡上試験においても通路の遡上率が1%以下と非常に効果が悪いことが判明した。1979年には、異なる魚類通路を用いてアユの遡上効果を中心に調査し、また、通路模型を用いてアユの遡上力についても若干の調査を行ったのでその結果を報告する。

本調査を実施するに際して便宜をいただいた草野川漁業協同組合の方々と滋賀県河川漁業協同組合連合会に対し厚くお礼を申し上げます。なお、本調査費の一部は水産庁委託費によった。

材料および方法

調査を行った魚類通路は姉川水系上流の草野川に設置されているもので、河口より約15km上流にある(図1)。草野川上流には内水面第5種共同漁業権漁場があり、アユの他にニジマス・ウナギ・イ

ワナ等も放流している。草野川漁協によれば今年度は455kgのアユ種苗が放流された。草野川には図2に示した大塚井堰より上流には天然アユの遡上はなく、全て湖産アユの放流にたよっている。草野川には図2に示したように堰堤等の河川工作物が数百メートル毎に設置されており、魚類通路がないか設置されていてもほとんど効果がないため、アユの放流は各堰堤の区間毎に分けて放流されている。

遡河性魚類通路の効果判定は、従来から標識放流魚²⁾の再捕率や天然遡上魚³⁾の遡上状況の観察、模型⁴⁾を使つての遡上実験などで行われており、特に確立された方法はなく調査対象となる通路に合わせた方法が適時とられているようである。今回調査対象となった通路は下流からの天然アユの遡上がなく、また、前報同様にヤナによる通路遡上アユの再捕が可能であったので、アユの遡上効果の判定を標識放流アユの再捕率によった。その他の調査項目については通路内流速の分布状況および堰堤下における流速の分布状況の調査を行うと

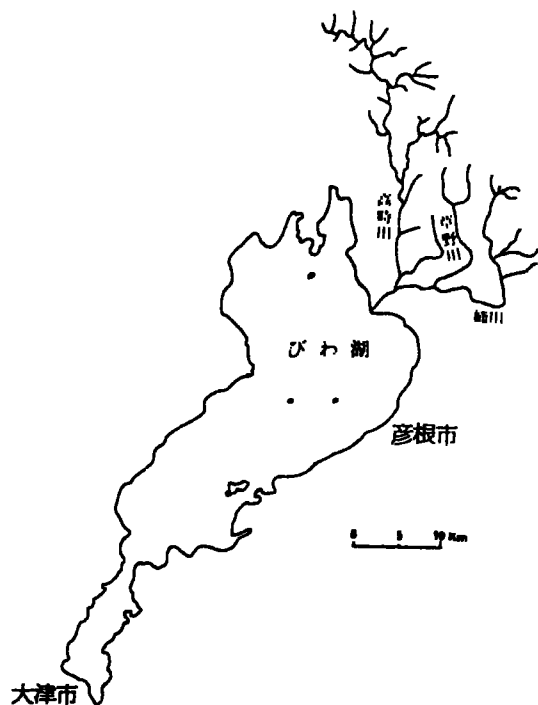


図1 姉川水系および草野川の位置

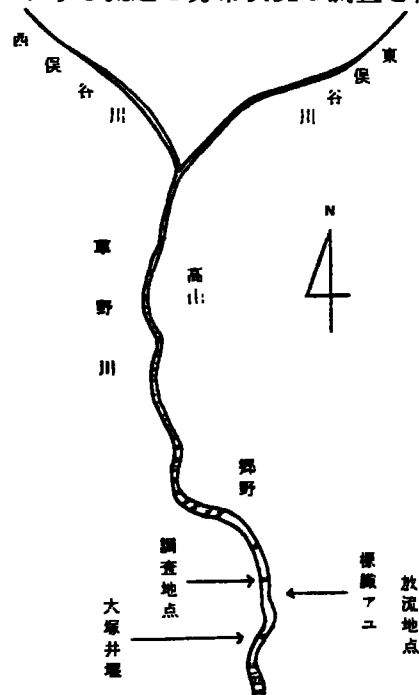


図2 調査地点および第5種共同漁業権漁場
(大塚井堰より上流)

もに、前報¹⁾で標識放流アユの分散状況調査と基礎調査として通路模型を用いてコアユの斜面遡上距離を測定し通路の遡上効果および問題点について考察した。標識に用いたアユは姉川に遡上したものを築四ツ手網で捕獲されたものを使用した。標識は前報同様脂鰭切除⁵⁾が最も適当と思われたので今回もこの方法で行った。標識放流アユの体型は、平均標準体長 7.5 cm、平均体重 5.0 gであった(図 3)。また、標識アユ 5,206 尾を堰堤より下流 27 m の瀬に放流した(図 2)。

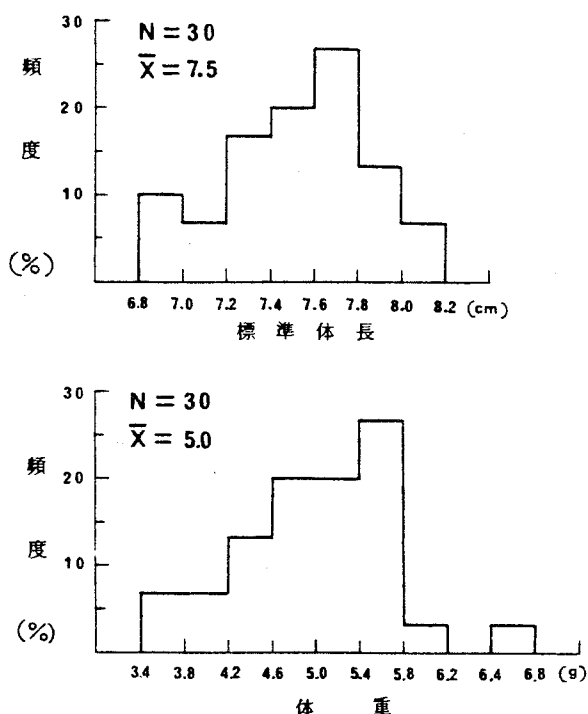


図 3 標識放流アユの体型分布

通路遡上アユの再捕は、前報同様通路上流にヤナを設置することによったが、前報では流下物によるヤナの日詰まり等で通路流量の低さがみられたのでネット等で流下物を取り除き、なるべく自然状態で通路に水が流れ込むように工夫した。標識アユの通路遡上数の調査は 2 時間毎に行い、20 時から翌日の 6 時までの夜間は行わなかった。標識アユ 5,206 尾のうち 487 尾については中(1978 年)⁶⁾の方法により背鰭基部に絵具の Permanent orange を注入することにより標識し、遡上調査終了後直ちに堰堤下流における標識放流アユの分散状況についてノゾキ等を用いて調査を行った。流速の測定には東邦電探機製の CM-1B 型電気流速計を使用した。

結果および考察

1. 堰堤および通路の規格・構造

調査対象堰堤は、堤頂が 44.5 m、越流頂の高さ 2.2 m で、河床の低下防止のために作られたものと思われ、堤頂の高さは右岸が 5.2 m、左岸 4.2 m である(図 4・5)。堰堤の上流部では、右岸側の 21.6 m に土砂が堆積しているために河川水は通常左岸側を流下しており、また、左岸側も護岸堤より 3.5 m は土砂が堆積しているため、流水幅は平水時であればほぼ 16 m～19 m である(図 4・5)。

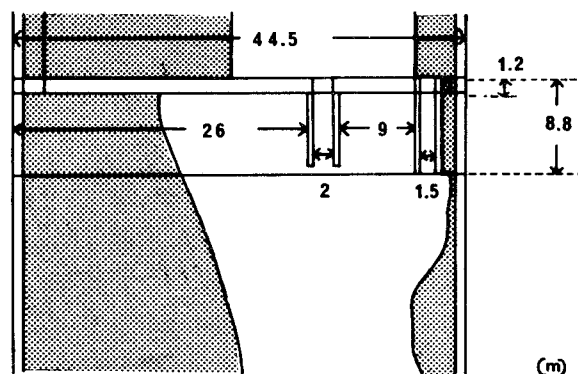


図 4 調査堰堤の平面図

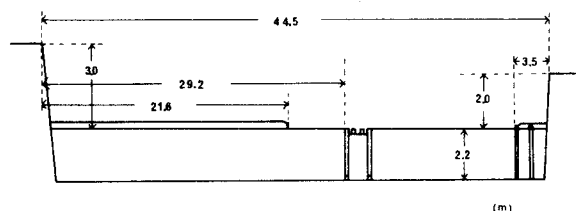


図 5 調査堰堤の正面図

(下流より上流に向かって)

魚類通路は左岸側に 2 ヶ所設置されており、図中右側の通路は土砂が上部に堆積しているため平水時にはまったく通水していない。よって調査は図中左側の通路について行った。通路の様式は小山(1966 年)によれば階段式魚道で隔壁はなく、各段に直径 30～40 cm の石が各段の表面より約 5～10 cm 出してはめ込まれている(図 6)。通路の有効幅は 2.0 m 通路総延長は 8.5 m、総落差は 2.2 m である(図 6・7)。階段は 9 段で各段の長さは 80～100 cm、落差は 8～21 cm と一定しておらず各段はゆるい斜面となっている(図 6・7)。

最上段の通路取水口は堤頂面より 20～25 cm 低く

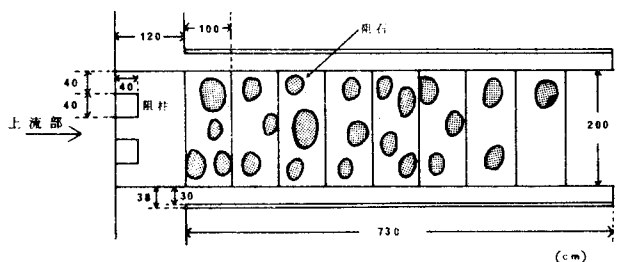


図6 調査魚類通路の平面図

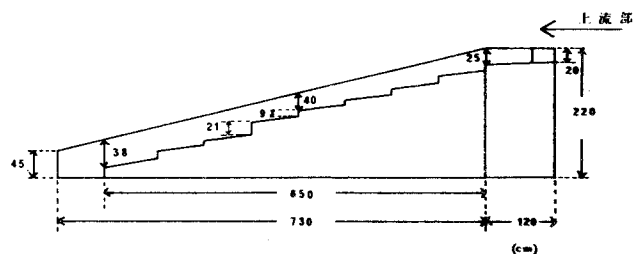


図7 調査魚類通路の側面図

ており、高さ20cmの阻柱が2本設置されている。また前述のように、各段には石がはめ込まれているので阻柱の役割をはたしている。側壁の高さは通路入口で45cm、途中30～45cmである。側壁頂の幅は30cm、側壁の低部では幅が38cmであった。以上の測定結果より、幅員率は4.5%、勾配は1/3.86であった。

2. 標識放流アユの遡上

標識放流アユおよび天然アユの遡上状況等を一括して表1に示した。また、標識放流アユの遡上数変化と水温変化を図8に示した。標識アユは6月11日11時20分に放流し、16時頃から堰堤下に集まりだしたのが観察された。通路への遡上は11日16時から18時に始めて遡上し、18時から20時、20時から6時（12日）に各1尾が遡上した。前報で20時から4時の夜間におけるアユの遡上が数尾認められたことを報告したが、一般的にはアユは夜間ほとんど活動しないといわれており、前報でも夜間は少なく日出時に遡上を開始される傾向があったので、今回の調査においては20時から翌日の6時の間に遡上したものは翌日の遡上数とすると、12日には標識アユ14尾、天然アユ1尾が遡上した。これ以後、13日18尾、14日5尾、15日50尾、16日14尾（14尾のうち3尾はヤナにまだ入っていなか

た。）で合計103尾の標識アユが通路を遡上した。アユ以外の魚種は16日にヨシノボリ1尾がヤナに入っただけであった。

アユの時間的遡上活動 図8よりアユの時間的遡上活動を検討すると、12日から13日にかけての夜間（20時から6時）に14尾の遡上があったものの、他の調査日には夜間の遡上はまったくないか遡上してもわずかな数であった。また、午前と午後とに分けてアユの遡上数を見ると、5日間で午前中に遡上したものが28尾、午後に遡上したものが72尾で、アユの遡上は午前中少なく午後に多くなるパターンを示している。特に15日の調査では、午前中まったく遡上がないが、14時以後に遡上数が増加し16時から18時の時間帯に25尾が遡上してピークとなっている。前報では遡上のピークが明らかに14時前後の時間帯に現われており、今回は調査期間も長く同様な結果が予想されたが、遡上のピークが特定の時間帯に一定して現われる傾向はみられなかった。なお、調査期間中の河川水温は14.4℃から21.4℃まで変化し、2時間の計測によれば16時または14時に最高水温になり、6時に最低水温となった。天候は曇りの日が多く、14日については午前中は雨、午後は晴れであった。気温は14℃（13日6時）から28.4℃（16日12時）まで大きな変動を示した。

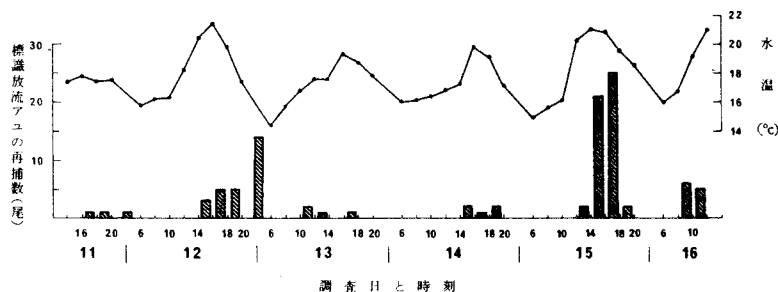


図8 標識放流アユの通路遡上状況と河川水温の変化

表1 標識放流アユの再捕数と自然環境

調査月日	時刻	天候	気温(℃)	水温(℃)	標識アユ の再捕数	他魚類の 遡上数	備 考
6月11日	11:00~14:00	曇り	22.6	17.4	0	0	・堰堤下に標識アユ が集まりだした
	14:00~16:00	〃	22.6	17.8	0	0	
	16:00~18:00	〃	22.4	17.4	1	0	
	18:00~20:00	〃	19.1	17.5	1	0	
6月12日	20:00~06:00	小雨	17.1	15.8	1	0	
	06:00~08:00	曇り	19.6	16.2	0	0	
	08:00~10:00	〃	21.8	16.3	0	0	
	10:00~12:00	〃	21.8	18.2	0	0	
	12:00~14:00	晴れ	22.0	20.4	0	0	
	14:00~16:00	〃	26.6	21.4	3	0	
	16:00~18:00	曇り	21.6	19.8	5	0	
	18:00~20:00	〃	19.0	17.4	5	アユ1	
	20:00~06:00	〃	14.0	14.4	14	0	
	06:00~08:00	〃	18.0	15.7	0	0	
6月13日	08:00~10:00	〃	23.0	16.8	0	0	
	10:00~12:00	〃	22.7	17.6	2	0	
	12:00~14:00	〃	23.8	17.6	1	0	
	14:00~16:00	〃	25.0	19.3	0	0	
	16:00~18:00	〃	21.6	18.7	1	0	
	18:00~20:00	〃	19.3	17.8	0	0	
	20:00~06:00	雨	18.1	16.0	0	0	
	06:00~08:00	〃	18.2	16.1	0	0	
	08:00~10:00	〃	19.6	16.4	0	0	
	10:00~12:00	小雨	21.8	16.8	0	0	
6月14日	12:00~14:00	晴れ	24.4	17.2	0	0	
	14:00~16:00	〃	25.9	19.7	2	0	
	16:00~18:00	〃	22.7	19.1	1	0	
	18:00~20:00	〃	19.8	17.1	2	0	
	20:00~06:00	曇り	16.9	14.9	0	0	
	06:00~08:00	〃	23.1	15.6	0	0	
	08:00~10:00	〃	24.2	16.1	0	0	
	10:00~12:00	〃	28.3	20.2	0	0	
	12:00~14:00	〃	25.2	21.0	2	0	
	14:00~16:00	〃	26.0	20.8	21	0	
6月15日	16:00~18:00	小雨	22.4	19.5	25	0	
	18:00~20:00	曇り	22.2	18.5	2	0	
	20:00~06:00	〃	20.6	16.0	0	ヨシノボリ 1	
	06:00~08:00	〃	24.3	16.8	0	0	
	08:00~10:00	〃	27.2	19.2	6	0	
	10:00~12:00	〃	28.4	21.0	5	0	
6月16日	20:00~06:00	〃	20.6	16.0	0	ヨシノボリ 1	・築下に標識アユ3尾
	06:00~08:00	〃	24.3	16.8	0	0	
	08:00~10:00	〃	27.2	19.2	6	0	
	10:00~12:00	〃	28.4	21.0	5	0	
合 計					100	2	

標識放流アユの通路遡上率 6月11日11時20分に標識アユを放流し、6月16日12時までの約120時間に通路を遡上した標識アユは103尾であった。標識アユの放流数は5,206尾であったが、調査期間中における標識放流アユの死亡率を推定するため、標識アユの一部をコントロールとして飼育池に畜養しておいたアユの死亡率2.74%から放流数を補正すると5,063尾となる。この値より放流後、

120時間中における通路の遡上率は2.03%であった。前報の放流後48時間中の遡上率0.13%および0.74%と比較するために今回の調査における放流後48時間中の遡上率を算出すると0.63%であり、前報とは堰堤の構造や規模、通路数等の調査条件がまったく違うものの遡上率には大きな差はみられなかった。

表2 調査時における河川流量および通路内流量

月 日	測定時刻	河 川 流 量 (m^3/S)	通路内流域 (m^3/S)	通路内流量 河川流量 $\times 100$ (%)
6月11日	12時	0.81978	0.07830	9.55
	18時	0.86545	0.15615	18.04
6月12日	06時	0.72304	0.13914	19.24
	18時	0.71477	0.12480	17.46
6月13日	06時	0.72005	0.09638	13.38
	18時	0.69516	0.15340	22.07
6月14日	06時	0.70739	0.12759	18.04
	18時	0.69641	0.12417	17.83
6月15日	06時	0.70643	0.09715	13.75
	18時	0.61667	0.10607	17.20
6月16日	06時	0.66923	0.10487	15.67
	12時	0.57485	0.11954	20.79
平 均		0.70910	0.11896	

3. 河川流量および通路内流量

調査期間中の河川流量および通路内流量を表2に、また、その変化を図9に示した。

河川流量は6月11日18時の約 $0.87\text{m}^3/\text{s}$ を最高値に、翌12日6時には約 $0.72\text{m}^3/\text{s}$ に減少し、15日6時までほぼ $0.7\text{m}^3/\text{s}$ の値で推移した。

15日18時には約 $0.62\text{m}^3/\text{s}$ と減少し、翌16日6時には多少増加したが12時には再び減少して約 $0.57\text{m}^3/\text{s}$ と調査期間中の最低値となった。通路内流量は調査開始時約 $0.08\text{m}^3/\text{s}$ であったが18時には約 $0.16\text{m}^3/\text{s}$ と2倍に増加した。13日6時には約 $0.10\text{m}^3/\text{s}$ に減少したが、18時には再び $0.15\text{m}^3/\text{s}$ に増加したものの15日6時には $0.1\text{m}^3/\text{s}$ となり、16日12時まで $0.10\text{m}^3/\text{s}$ から $0.12\text{m}^3/\text{s}$ の範囲で推移した。このように通路内流量が河川流量とは関係なく大きな変動を示したのは、河川の流下物が多く、前述のようにヤナを設置することによる通路内流量の低下

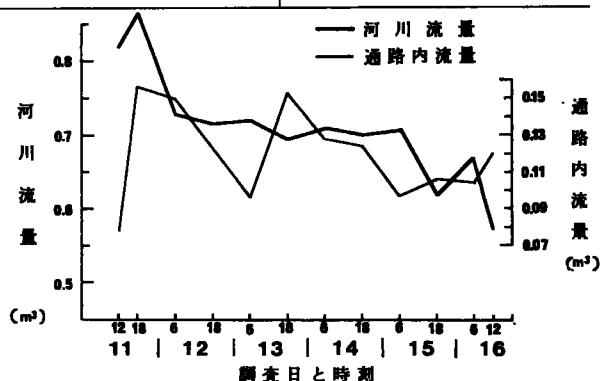


図9 河川流量および通路内流量の変化

を防ぐためにネット等を設置して工夫したもの、ヤナ等に流下物が目詰まりして流量の大きな変動を示したものと考えられる。また、河川流量に占める通路内流量の割合は9.55%から22.07%と変動幅が大きく、ちなみに、ヤナを取りはずした自然状態での値は河川流量 $1.33\text{m}^3/\text{s}$ のとき通路内流量は $0.50\text{m}^3/\text{s}$ であり、その割合は38%であったのでヤナを設置することにより通路内流量がかなり低下していたと思われる。

4. 標識放流アユの分散

放流後の標識アユの行動をみると、放流後4～5時間で通路の両側の堰堤下に多数集まり、河川水落下地点では盛んに飛びはね行動がみられた。これはそこから上流へ遡上しようとする行動の現われと見てさしかえなさそうである。

調査終了時における堰堤下流域への標識放流アユの分散の状況は、現存量を正確に把握することは不可能であるが目視観察による結果を図10に示した。標識放流アユのほとんどは堰堤下流100 m附近までの範囲に分散しているようであり、特に堰堤下の通路両側には60%、通路入口下流附近から放流地点附近に20%が分布しているようであった。また、堰堤下流50 mから60 mにかけての瀬にも多数の標識アユが認められ、堰堤下流110 m附近でも21尾の標識アユが認められた。前報では放流アユの降下が心配されたが、今回の調査では標識アユの下流への分散は少なく、標識アユの遡上活力には問題がなかったと考えられる。

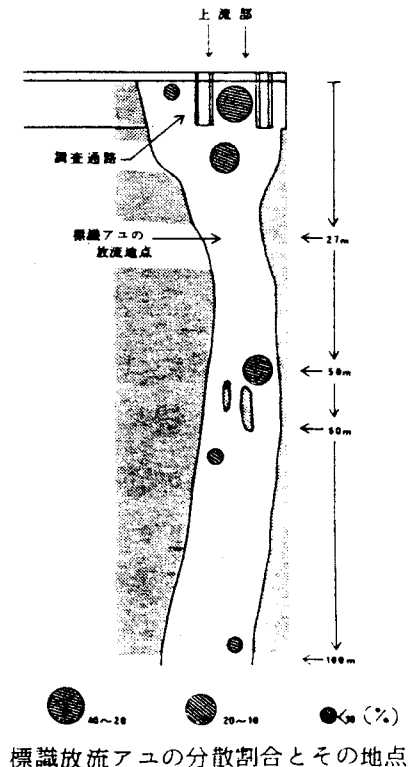


図10 標識放流アユの分散状況

5. 通路内流速および通路入口附近の流速分布

通路内流速の分布を図11に示した。調査時の河川流量は133 m^3/s で通路内流量は0.50 m^3/s であった。この状態は遡上調査時よりは流量がかなり増加しているものの、平水状態であると考えられる範囲であった。流速は各段に阻石があるため一定していないが、通路上段よりしだいに流速は速くなり通路取水口で0.95～1.41 m/s であったものが、入口より3 m附近ではすでに3 m/s 以上の流速となっている。しかし阻石の下流では約1 m/s の流速になっているところもあり、通路内ではかなり流れが乱れているものと考えられる。通路内の流速を全体的にみると通路入口ですでに1.3 m/s 以上の流速があり、遡上稚アユの遊泳力限界流速を越えており、途中ほとんどが2 m/s 以上の流速分布であり、この状態ではアユの遡上は不可能であると思われる。また通路下流における表層流速と水深・流向および底層における流速の分布を示したのが図12・13である。

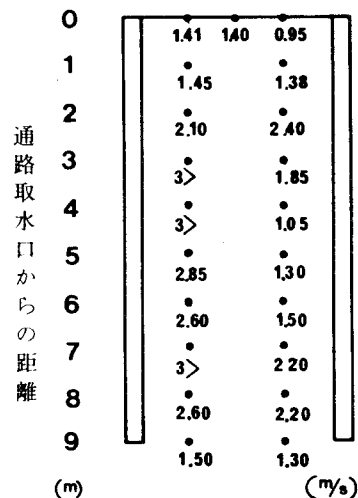


図11 通路の流速分布

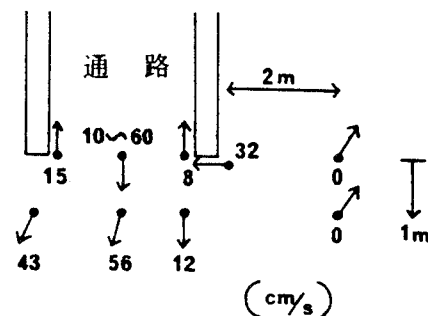


図13 通路入口附近の底層流速と流向

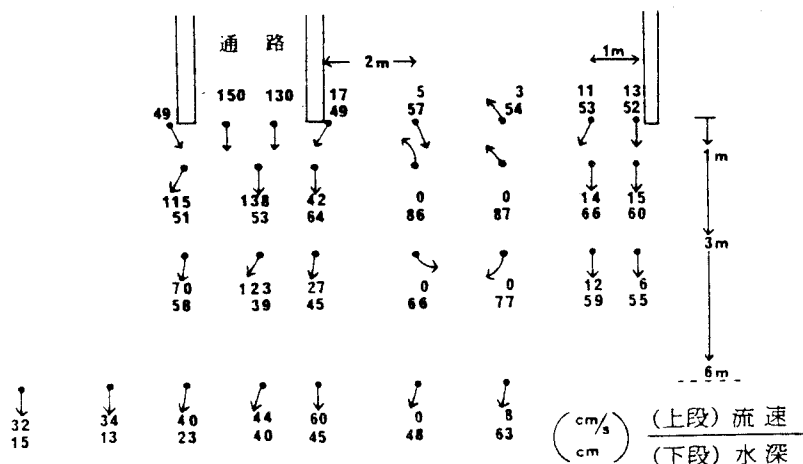


図12 魚類通路下流における流速・流向・水深の分布（表層）

通路から流出する河川水は通路から1 m離れた表層でも1 m/s以上の流速があり、流心部では通路から3 m離れた表層でも1.2 m/s以上の流速があった。また、通路の延長上では、通路から6 m離れたところでも通路からの流水が影響してまわりの流速よりも速くなっている。しかし通路の延長上より外側では流速は極端に遅く、流向から判断すると通路より流出する水流にまわりの水が巻き込まれている状況が伺われる。通路入口の底層における流速は、表層に比べ遅く通路より1 m離れた所でも、表層が138 cm/sであるのに対し、底層では56 cm/sとなっている。また、通路入口の底層では流向が表層と逆になっており、通路が階段状で入口が深くなっているため底層では逆流しているものと思われる。

6. アユの斜面遡上力について

アユの斜面遡上力を測定するために調査通路とほぼ同じ勾配の通路模型を作り、当水試の水路に遡上してきたアユが、そのまま遡上できるようにセットして測定した（図14）。

供試魚の体型は図15に示すとおりであり測定日が8月25日であったので成熟度は雄で5.47～7.58、雌1.89～7.37で、雄ではかなり成熟しているものもみられたが湖中から遡上してきたばかりであり遡上活動は活発であった。測定は流量を変えて2回行い、1回目は平均流速1.62 m/s、2回目は平均流速2.96 m/sであった。なお、測定時刻は10時から11時の間であった。図16は平均流速1.62 m/s

のときのアユの斜面遡上距離を表わしたものである。アユの斜面遡上距離は30～60 cm、70～80 cm、100～110 cmのものが多く、170～180 cm附近までの遡上が限界であった。2回目の平均流速2.96 m/sでは斜面遡上を試みた102尾のうち斜面を遡上したものは17尾（16.7%）で最高到達距離は約30 cmであった。また、10 cm以下の遡上距離のものが多く、残り85尾についてはジャンプしてそのまま下流へ流されていた。1回目の平均流速1.62 m/sでは、個体によって斜面遡上距離に大きな差があ

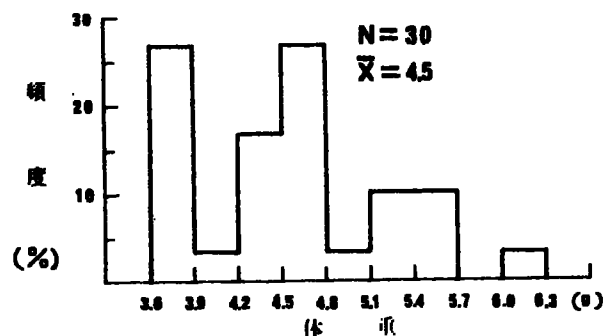
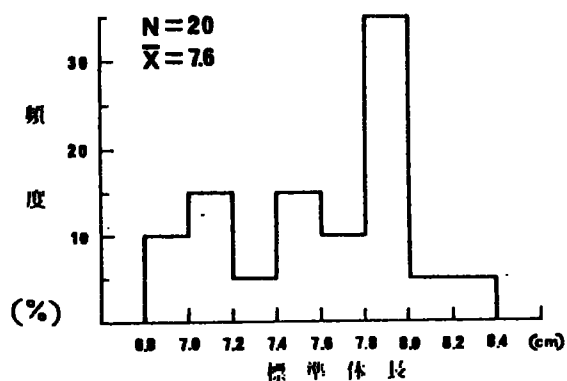


図15 斜面遡上力の測定に用いたアユの体型分布

るがどの個体も何回かの遡上のうちには、50～60cmまでは遡上できるものと思われる。2回目の平均流速2.96m/sでは、明らかに遊泳遡上の限界を越えており、多くの個体がジャンプして遡上しようとする事がわかった。

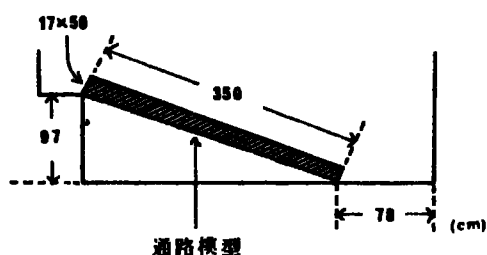
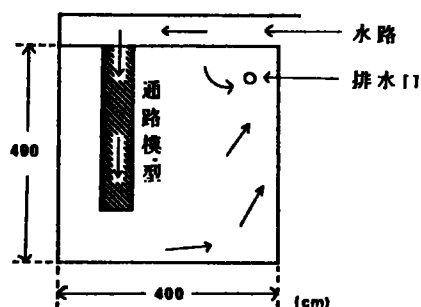


図14 アユの斜面遡上力測定のために用いた通路模型

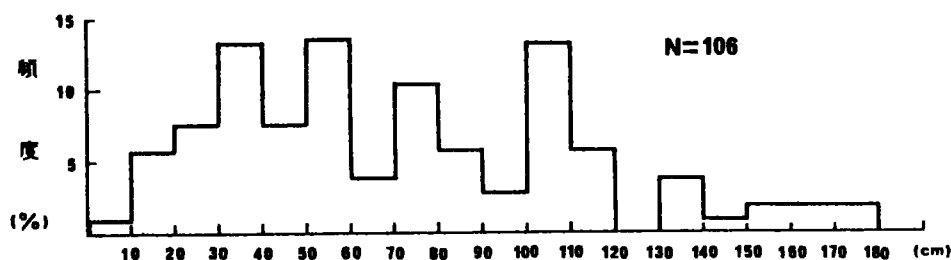


図16 アユの斜面遡上距離の分布

通路の問題点について

上記の調査結果より、この通路の問題点は(1)通路内流速が速すぎて、明らかにアユの遊泳遡上限界を越えている。(2)通路が堰堤より下流に出ているため、堰堤下に集まったアユに対しては遡上効果がない。の2点に集約される。(1)については、通路の構造が隔壁のない階段式で、しかも勾配が

1/3.86でかなり急勾配であるため通路内流速は、アユの適正流速といわれている50～70cm/sからはかけ離れた値となっている。それでも調査中に、100尾以上の遡上をみたのは、阻石をうまく利用して流速の遅い部分を巧みに利用した結果であろうと思われる。この通路の場合やはり隔壁を設けて流速を低下させる必要があり、また、通路の長さが約9mで決して長くはないが、数ヶ所にプールを設けてアユの休憩場所とする必要がある。しかし、通路から流出する水流が速いことにより、上記の通路入口付近の流速分布の項で述べたようにかなり広い範囲によび水効果を及ぼしていると考えられる。このことは放流アユの分散状況の項で述べたように、約20%のアユが通路入口付近から放流地点に分布していたことから伺われる。この事から魚類通路は、隔壁の設置や勾配をゆるやかにして通路内流速を低下させる必要があるが、通路入口付近から下流へは割合速い速度で流出するように工夫する必要がある。この点については、昭和56年度試験予定である。(2)については、魚類通路を通して遡上したアユの尾数よりも、堰堤直下の水の落下地点で飛びはね行動（遡上しようとする行動と考えられる）を示すアユの尾数が極めて多かったことから、本魚類通路施設は、アユの

遡上に対して問題のあることを示している。前報でも問題となった点であり、本県下の魚類通路はほとんどこの形式になっているので、堰堤の施工上問題があるとしても、根本的に改める必要がある。堰堤全体が遡上できる構造でないかぎり遡上魚が通路入口をみつけやすいように、通路入口

が図17のように堰堤と同じ部分にある必要があると思われる。この調査通路は有効幅が2mで、堰堤全体からすれば幅員率は4.5%であったが、通常の状態であれば流水幅がほぼ16～19mで、通路が流心部にあり、しかも通路取水口が堤頂面よりも低いので、河川流量が低下しても通路へは水が流

れるようになっている点は、この通路の長所であるが、河川流量が増加すると通路流量が多くなり過ぎて魚類の遡上を阻害すると思われる。堰堤の一部に通路を設ける場合は、通路内流量の調節が可能な構造にすべきであると思われる。前報で述べたように、本県の堰堤は落差が2 m以下のものが多く、本堰堤でもできれば堰堤全体を魚類が遡上できるような構造にする必要があると思われる。

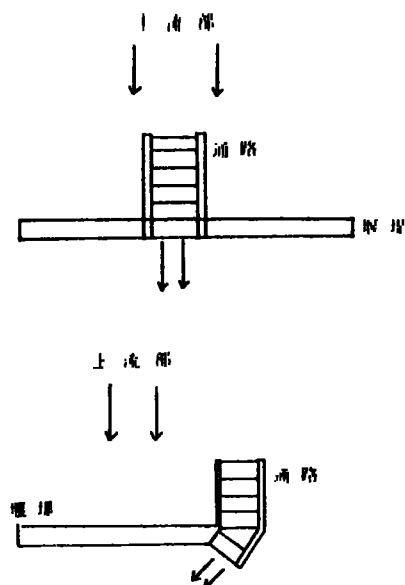


図17 魚類通路の設置位置

要 約

1. 標識放流アユの遡上状況および通路内流速・通路下流の流速の分布状況等から姉川水系草野川の堰堤について、そこに設置されている魚類通路の効果調査を行った。
2. 調査対象通路は階段式で隔壁はなく各段に阻柱の代りに阻石がはめ込まれていた。通路の有効幅は2.0 m、通路総延長は8.5 m、総落差は2.2 mで勾配は1/3.86であった。
3. 標識放流アユは放流後120時間で103尾が遡上し、遡上率は2.74%であった。放流後48時間の遡上率は0.63%で前報の結果と大きな差はみられなかった。
4. 調査中の河川流量は0.87 m³/sから0.57 m³/sであり、通路内流量は0.08 m³/sから0.16 m³/sまで変動した。
5. 標識放流アユは放流後4～5時間で堰堤下に

集まり、さかんに飛びはね行動を起していた。調査終了時における標識アユの分散は堰堤下流100 m附近までで、特に通路両側の堰堤下に60%が分布していると思われた。

6. 平水状態と考えられる河川流量状況での通路内流速の分布は、ほとんどの地点で1 m/sをこえており、中には3 m/s以上の地点もあった。また通路入口附近でも1 m/s以上の流速であった。
7. 勾配1/3.61の通路模型によるアユの斜面遡上距離の測定より、平均流速1.62 m/sではほぼ60 cmまで遡上可能であると思われた。また、平均流速2.96 m/sではほとんどの個体が斜面の遡上が不可能であった。
8. 調査通路の問題点は通路内流速が速すぎて明らかにアユの 上限界を越えていると思われること、および通路が堰堤より突き出ているため遡上アユが通路両側の堰堤下に集まることであった。
9. 通路が河川の流心部にあり、河川流量が低下しても通路へは水が流れるようになっている点など長所がみられるが、通路には隔壁の設置等により通路内流速を低下させる必要があり、また、通路入口は堰堤より突き出さないようにする必要がある。

文 献

- 1) 滋賀県水産試験場研究報告 1978 年 遡河魚類通路におけるアユの遡上効果—I
- 2) 熊 本 県 1952 年 球磨川遡河魚道効果調査書
群馬県水産試験場 1954 年 同場報告12(4) 鮎の魚梯効果調査
富山県水産試験場 1977 年 遡河魚類通路調査報告書
- 3) 滋賀県水産試験場 1927 年 宇治川堰堤附設魚梯浜上調査、滋水業功、その他多数
- 4) 橋 英三郎 1917 年 魚梯浜上試験、水研誌12(1)
- 5) 小山長雄他5名 1967 年 よび水式魚道に関する実験木曾三川河口資源調査報告書(K. S. T)、No. 3
塚本勝己ら 1975 年 アユのヒレ切り標

識法の検討—I、昭和50年秋水産学会講演要旨、
140

- 6) 中 賢 治ら 1978 年 アユの背鰭に色剤
を注入する標識法について 滋水研報(30)
- 7) 小山長雄 1967 年 魚道をめぐる諸問題、
K. S. T P. 11—12
- 8) 小山長雄 1967 年 魚道をめぐる諸問題、
K. S. T P. 45
- 9) 小山長雄 1967 年 魚道をめぐる諸問題、
K. S. T P. 44
- 10) 小山長雄 1967 年 魚道をめぐる諸問題、
K. S. T P. 65—66