

## - 内水面放流資源等利用向上対策事業（迷入防止） -

向井哲也・後藤悦郎・藤川祐司・三浦常廣・森山勝・大北晋也・常盤保

「迷入」とは、魚が取水口や放水路などの本来の生息域ではない場所に入り込むことを言い、河川を遡上・降下する魚類資源に少なからず影響を与えていることが知られている。本事業では平成9年度より斐伊川水系三刀屋川の天神頭首工において、降下期のアユを対象としたバースクリーンによる取水口への迷入防止についての実験を行っている。

事業の最終年度である平成12年度においては昨年までと同様アユを降下させるためのパイパス（迂回路）設置の効果、及びその設置条件、パイパスと取水口の流量比などについて試験を行った。また、取水口付近での水の流況やアユの行動にも着目し、アユをより効率的にパイパスに導く方法についてこれまでの結果と合わせて総合的な検討を行った。なお、試験と考察にあたっては豊橋技術科学大学の中村俊六教授に種々のご助言をいただいた。

### 材料及び方法

#### 1．実験日時

平成12年10月16日～28日

#### 2．供試魚

アユ（降下期）

アユは10月12日～20日にかけて江川下流のアユ産卵場付近で漁獲されたアユを用いた。提供されたアユはすべて雄であり、総数は512尾であった。アユは斐伊川漁協のコンクリート水槽で飼育し、試験時に必要数量を水槽から取り上げて使用した。

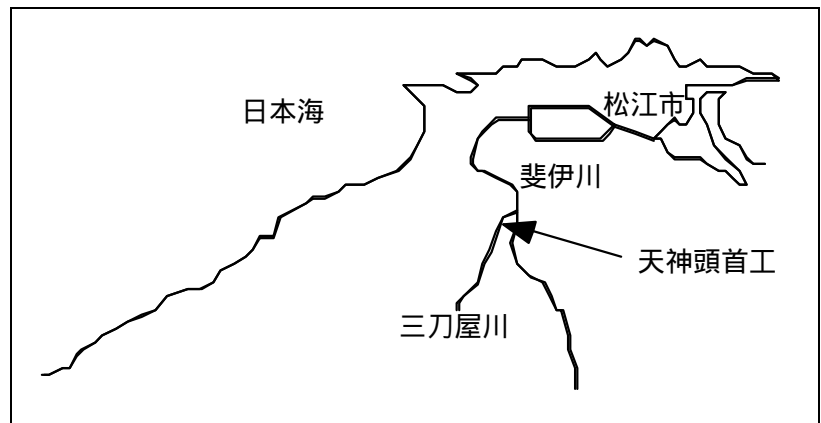


図1 天神頭首工の位置

#### 3．試験場所

試験は昨年度と同様、図1に示す斐伊川水系三刀屋川の天神頭首工左岸側の取水口周辺で実施した。

#### 4．実験方法

実験用施設の概要は図2に示す通りである。今年度は昨年度とほぼ同様の方法でパイパス・取水口の流量比に関する試験を行うと同時に、施設内の流況とアユの行動に着目し、誘導板の設置等によりアユをパイパス入り口に効率的に誘導する方法について検討した。そのため、施設内の流況やアユの水中での行動についても調査を行った。

##### （1） 実験用施設の設置

長さ20m、高さ1mの仕切り網2組を用い、天神頭首工左岸側から上流に向かって、縦30m×横8mの試験区を設定した。そして、迷入防止スクリーンとして、幅160cm、高さ100cm、バーの間隔3cmのバースクリーンを取水口直前に設置した。パイパスは内径16cm、長さ10mのビニール製蛇腹ホースにパイパスの入り口として鉄製のアタッチメントを装着した。アタッチメントの大きさは入り口側が高さ35cm、幅55cm

で、取水口に対し直角となるように3個並べて配置した。各バイパスはサイホンを効かすことによって試験区内の水が天神頭首工の堰堤を越えて堰堤下流に流れるようにした。設置したバイパスは取水口に近い側からそれぞれバイパスA.B.Cとした。ちなみに取水口に設置したスクリーンから3本のバイパス入り口アタッチメントまでの距離は、取水口に設置したスクリーンを起点としてバイパスAが85～140cm、バイパスBが141～196cm、バイパスCが200～255cmであった。バイパスC入り口の端から試験区外側の仕切り網に向かってさらに仕切り網を設置した。これは降下しようとするアユは全て取水口又はバイパスに向かう様にするためである。

取水口に迷入したアユ及びバイパスを降下したアユを回収するため、取水口には用水路に、バイパスにはバイパスA.B.Cそれぞれの出口にトラップを設置した。取水口側トラップは用水路幅に合わせた鉄製枠に目合い12cmの網を張った物を使用した。設置場所については、取水口直後から約10m程度が暗渠となっており、取水口直後にトラップを設置することが不可能なことから暗渠の出口にトラップを設置した。バイパス用トラップは、アルミ製の枠に網目1cmの網を張った物をバイパスホースの末端にそれぞれ接続した。

さらに、前年度試験の結果アユの行動に着目することが重要であると考えられたため、今年度の試験では、取水口側へと移動してくるアユをバイパス側に誘導するための誘導板を設置する試みを行った。誘導板は取水口の上流側に図のように設置し、左岸側を取水口へと移動してくるアユを直接取水口付近へ行かせず、いったん仕切り網側へと移動させてバイパスの前を通過する機会を増加させるようにした。誘導板は工事用の矢板を用いて作成した。なお、誘導板は取り外し可能とし、誘導板がある場合と誘導板が無い場合と両方試験を行った。

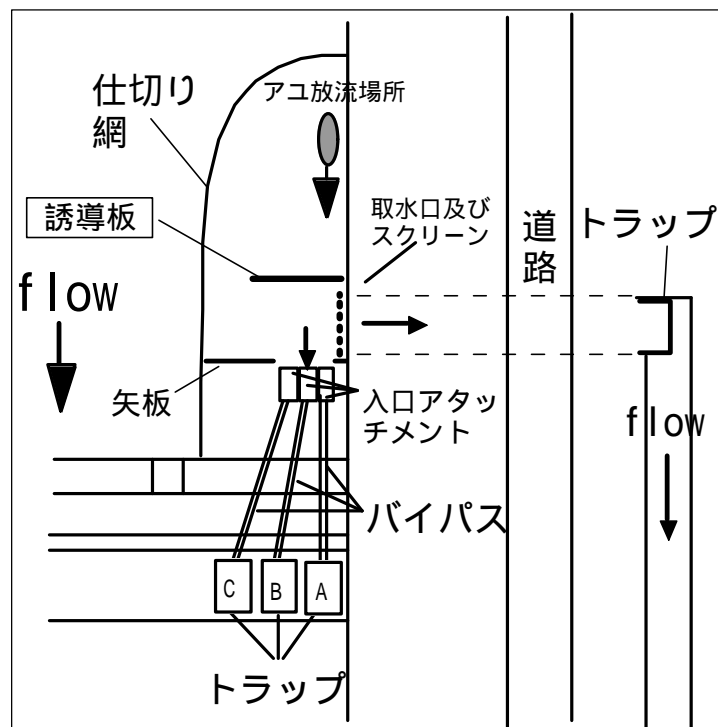


図2 実験施設の概要

## (2) 実験方法

平成9～11年度の実験結果から、バイパス・取水口の流量比（バイパス流量 / 取水口流量）が0.27から0.19の間に取水口に迷入するアユの割合が増加する流量比があると考えられ、この前後の範囲の流量比で試験を行う予定であったが、施設の都合上流量比を0.3以下にすることが出来なかった。そのため、0.3および0.5の2つの流量比を設定して試験を実施した。そして、流量比0.3では、誘導板のある場合とない場合について試験を行った。実験の手順は以下に示すとおりである。なお、流量比0.5でも誘導板を設置した状態で試験を実施したが増水のため実験を途中で中止した。

バイパスの流量を測定した後、取水口の取水ゲート操作し想定した流量比に取水口流量を設定した。

供試魚であるアユを搬入し、カゴの中でしばらく落ち着かせ、図2に示す試験区域最上流部に放流した。2回目以降の実験では、搬入の際に鱭カットによるマーキングを行った。ちなみに2回目の実験では左尻鱭を、3回目の実験では右尻鱭、4回目の試験では脂鱭をカットして標識とした。

放流から30分後、約24時間後、約48時間後に取水口水路及び3本のバイパスについて流量の計測を行った後、トラップで採捕したアユの計数を行った。1回あたりの実験期間を2日としたのは、飼育池からの取り上げから放流までのハンドリングがアユの降下に与える影響を考慮したためである。ただし、今年度の試験においては施設の構造上用水路の水を完全に抜くことが出来ず、用水路側のトラップに入らずに用水路内に残ったアユが若干あり、その場合可能な限りタモ網で採捕し、残ったアユは目視で残存数を数えた。採捕したアユは持ち帰って全長・重量・生殖腺重量を測定した。

放流直後30分は陸上からの観察によってアユの群れの全体的な動きを把握した。

同時に取水口脇に水中カメラ（アイボールカメラ）を設置し、取水口及びバイパスの付近におけるアユの行動を観察した。

誘導板による水流の変化を確かめるため、実験1と実験2において実験区内に水性ペンキとティッシュペーパー片を流してビデオカメラで記録し、その映像を解析して実験区内の水の流れを明らかにした。

## 結果

### (1) 流量比

実験毎の流量比は以下の表1.1～表1.3に示した。バイパスの平均流量は、平成9年度の $0.07\text{m}^3$ 、平成11年度の $0.166\text{m}^3$ に対し今年度は約 $0.12\text{m}^3$ であった。今年度は施設の都合上取水口流量を大きくすることができなかったため、バイパスの流量比を約0.3、約0.5の二通りに設定して試験を行った。

表1.1 実験1（流量比0.3を想定、誘導板あり）

月日	測定時刻	流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )		流量比
		取水口	バイパス	
10月16日	16:00	0.395	0.119	0.30
10月17日	13:00	0.367	0.119	0.32
10月18日	15:00	0.364	0.119	0.33
平均		0.375	0.119	0.32

表1.2 実験2（流量比0.3を想定、誘導板なし）

月日	測定時刻	流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )		流量比
		取水口	バイパス	
10月18日	16:00	0.384	0.119	0.31
10月19日	14:00	0.367	0.118	0.32
10月20日	15:00	0.400	0.125	0.31
平均		0.384	0.121	0.32

表1.3 実験3（流量比0.5を想定、誘導板あり）

月日	測定時刻	流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )		流量比
		取水口	バイパス	
10月23日	12:40	0.226	0.120	0.53
10月24日	14:00	0.233	0.120	0.51
10月25日	11:30	0.250	0.127	0.51
平均		0.236	0.122	0.52

注：流量比 バイパス流量 / 取水口流量

## (2) 降下尾数

1回目から3回目までの降下尾数を表2.1～表2.3に示す。

表2.1 実験1 (実施期間：10月16日15:30～18日15:00)

月日	計数時刻	天候	流量比	放流尾数 (尾)	降下尾数			降下率 (%)	迷入率 (%)	バイパス 降下率 (%)	バイパス降下尾 数/放流尾数 (%)	備考			
					取水口	バイパス							降下尾 数合計		
						A	B							C	
10月16日	16:00	晴れ	0.30	100	5	1	6	11	23	23.0	21.7	78.3	誘導壁なし		
10月17日	13:00	晴れ	0.32		0	1	1	13	15	15.0	0.0	100.0		15.0	
10月18日	15:00	晴れ	0.33		1	1	1	7	10	10.0	10.0	90.0		9.0	
平均				0.32	総計	6	3	8	31	48	48.0	12.5	87.5	42.0	

表2.2 実験2 (実施期間：10月18日15:30～12日15:00)

月日	計数時刻	天候	流量比	放流尾数 (尾)	降下尾数			降下率 (%)	迷入率 (%)	バイパス 降下率 (%)	バイパス降下尾 数/放流尾数 (%)	備考			
					取水口	バイパス							降下尾 数合計		
						A	B							C	
10月18日	16:00	晴れ	0.31	95	0	3	0	19	22	23.2	0.0	100.0	23.2	誘導壁あり	
10月19日	14:00	晴れ	0.32		0	3	7	12	22	23.2	0.0	100.0	23.2		
10月20日	15:00	曇り	0.31		4	2	2	6	14	14.7	28.6	71.4	10.5		
平均				0.32	総計	4	8	9	37	58	61.1	6.9	93.1	56.8	

表2.3 実験3 (実施期間：10月23日12:10～24日11:30)

月日	計数時刻	天候	流量比	放流尾数 (尾)	降下尾数			降下率 (%)	迷入率 (%)	バイパス 降下率 (%)	バイパス降下尾 数/放流尾数 (%)	備考			
					取水口	バイパス							降下尾 数合計		
						A	B							C	
10月23日	12:40	曇り	0.53	94	2	4	7	16	29	30.9	6.9	93.1	28.7	誘導壁なし	
10月24日	14:00	晴れ	0.51		0	3	6	8	17	18.1	0.0	100.0	18.1		
10月25日	11:30	雨	0.51		2	3	3	2	10	10.6	20.0	80.0	8.5		
平均				0.52	総計	4	10	16	26	56	59.6	7.1	92.9	55.3	

注：降下率 = 全降下尾数 / 放流尾数

迷入率 = 取水口降下尾数 / 全降下尾数

バイパス降下率 = バイパス降下尾数 / 全降下尾数

3回の実験における、降下率、迷入率、バイパス降下率、降下したバイパスについての結果は以下の通りであった。

降下率： 各実験毎の総降下率は、実験1が48.0%、実験2が61.1%、実験3が59.6%であった。流量比が0.32で同条件の実験1と実験2では、誘導板を設けた実験2が高い降下率を示した。また、誘導板なしという条件下では、流量比が0.52と大きい実験3が流量比0.32の実験1に比べて高い降下率を示した。時間的には実験開始直後に降下するアユが多く、どの実験においても実験開始後30分までに2～3割のアユが降下した。

迷入率： どの実験でも取水口側に迷入したアユは数尾と少なく、取水口への総迷入率は実験1が12.5%、実験2が6.9%、実験3が7.1%といずれも低い値であった。敢えて比較するならば降下率と同様、同じ流量比の条件下では誘導板がある実験2の迷入率が低く、誘導板のない同条件かでは流量比の大きい実験3の迷入率が低かった。

バイパス降下率： バイパスの総降下率は実験1が87.5%、実験2が93.1%、実験3が92.9%であり、いずれも高い値を示した。各実験について計数時毎のバイパスに降下した尾数について見ると、実験開始30分後が最も多かった。また、どの実験でも翌日、2日目と時間が経過すると共に降下尾数が減少することが多かった。

また、放流尾数全体に対するバイパス降下尾数の割合について見ると、実験2と実験3が高い値を示した。

降下したバイパス： A、B、Cの各バイパスに降下した尾数についてみると、3回の実験ともバイパスCが圧倒的に多く、取水口から離れたバイパス程、降下尾数が多い結果となった。バイパス降下尾数中でバイパスCから降下した割合は実験1では74%、実験2では69%、実験3では50%に達した。どの実験でも次に多いのはバイパスBであり、そして最も降下尾数が少なかったのがバイパスAであった。

降下した供試魚の状態： 実験において取水口およびバイパスを降下してトラップで採捕されたアユの全長、重量、生殖腺指数の平均値はそれぞれ201.5mm、69.3g、7.7であった。各試験におけるアユ供試魚の全長・体重・生殖腺指数には統計的に有意な差は見いだされなかった。

### (3) 実験区内の流況について

実験1（流量比0.32、誘導板なし）と実験2（流量比0.32、誘導板あり）において、ビデオカメラの映像記録から推定された実験区内の流況は図3.1、図3.2のとおりである。

#### 実験1（誘導板がない場合）

水流は上流側から取水口へ向って平均的に流れている。水流は左岸側で最も強く、反対に仕切り網付近の水深の浅い部分では極めて弱い。取水口へと向う水流の最下流側はバイパス入り口前を通り、その一部がバイパスへと流れて行く。

#### 実験2（誘導板がある場合）

上流側からの水流は左岸側では誘導板に阻止される。その分誘導板と仕切り網の間部分に水流が集中し、また仕切り網側から施設内へ流れ込む水流も実験1に比較して強い。誘導板の後ろ側では水が乱流を起こして流れが弱くなっている。流れが集中する分、バイパス前で取水口側へと向う水流は実験1の場合に比較してはるかに強い。

### (4) アユの行動について

#### (1) 陸上からの観察

陸上からの観察によってアユの群れの全体的な動きを把握した。放流したアユは大抵数尾～十数尾の群れで行動した。アユの行動を実験1の場合と実験2の場合で比較してみた。

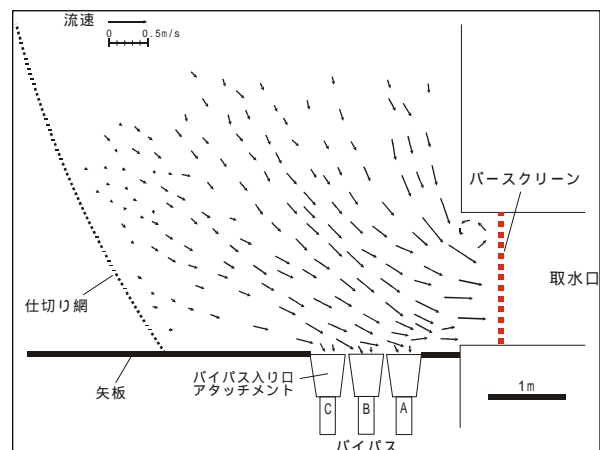


図3.1 取水口・バイパス付近の流況（実験1、誘導板がない場合）

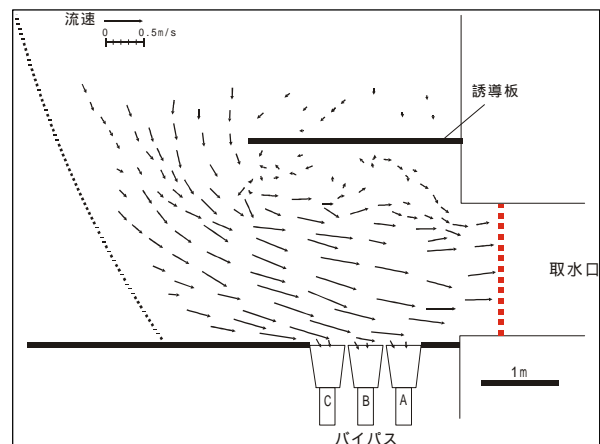


図3.2 取水口・バイパス付近の流況（実験2、誘導板がある場合）

### 実験1 (誘導板がない場合)

放流されたアユは水流に乗って降下してくるが、大きく分けると誘導用仕切り網に沿って降下してくる場合(図4.1 A)と左岸側に沿って降下してくる場合(図4.1 B)とがある。Aの場合はしばらく取水口スクリーンの前に留まっているが、その後バイパス前を通過して仕切り網側へと移動する場合と再び右岸側に沿って上流側へ去って行く場合と2とおりあった。Bの場合は流れに乗ってバイパス入り口前を通過して取水口の前で降下した後、左岸側を上流へと移動してゆくことが多かった。そして、仕切り網から取水口前に移動する途中でバイパスに入り込むケースがかなりあった。この場合一番最初に遭遇するバイパスCに入ることが多かった。また、仕切り網沿いに移動してきたアユは流れの弱い仕切り網最下流部近くに長時間留まることも多かった。

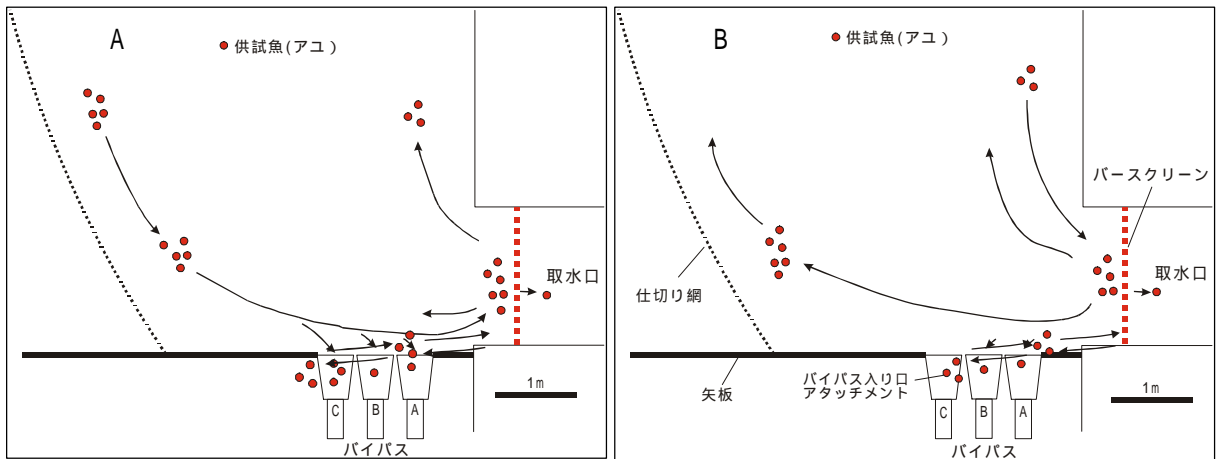


図4.1 アユの行動パターン(実験1、誘導板なし)

### 実験2 (誘導板がある場合)

放流されたアユは誘導用仕切り網に沿って移動してくる場合(図4.2 A)と誘導板の近くから降下してくる場合(図4.2 B)とがあったが、実験2の場合Bの場合は比較的少なく、実験1の場合に比較してAの場合が多かった。実験2の場合、仕切り網に近い部分での水流が強いためと考えられる。Bの場合、流れに乗ってきたアユは誘導板付近を越えると、誘導板の後ろ側の流れの弱い部分に身を隠し水流に乗って徐々に取水口へと近づいて行く。Aの場合、誘導用仕切り網側から移動してきたアユは強い水流に乗って降下してくる。その流れの中心はバイパス入り口付近にあるため、流れに乗ってきたアユが途中でバイパスに入るケースが

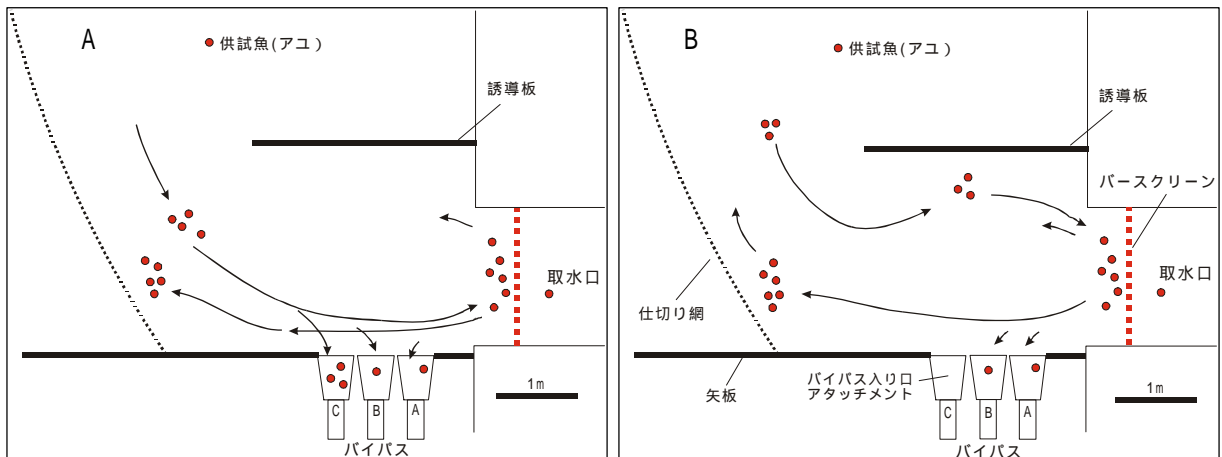


図4.2 アユの行動パターン(実験2、誘導板あり)

なりあった。この場合最初に遭遇するバイパスCに入ることが多かった。いずれの場合も取水口スクリーン前まで達したアユはそこでしばらく留まることが多かった。その後流れに逆らって再びバイパス前を通過して仕切り網側へと移動することが多く、その途中でバイパス入り口に入るアユも散見された。実験1の場合と同じく取水口から遠ざかったアユは流れの弱い仕切り網最下流部近くに長時間留まることが多かった。

## (2) 水中観察

取水口近くに設置した水中カメラにより、取水口・バイパス付近におけるアユの行動を観察した。

### 取水口付近での行動

アユはバースクリーンの通過に対して強い忌避反応を示し、バースクリーンの迷入防止効果が改めて確認できた。水流に乗って取水口付近に移動してきたアユは取水口直前まで来てバースクリーンの直前で群れを成して泳いでいることが多いが、バースクリーンを通過することには強い抵抗を示す。アユは必ずバースクリーン前では流れに逆らう形で遊泳しており、バースクリーンの格子間に尾鰭が入るとそれを忌避して前進し、バースクリーンの前に出る。そして、大抵の場合しばらくして横方向に移動して取水口前から泳ぎ去ってしまう。前述のように取水口には多くのアユが移動してくるが、観察中に取水口に入ったアユは5尾確認されたただけだった。そのうち3個体はバースクリーン下と川底の間わずかの隙間から取水口に入っており、実際にバースクリーンの格子間を通過したのは2個体のみであった。アユが取水口に入ってゆく場合は必ず尾びれ方向を先にして降下していった。



写真1.1 バースクリーン前で遊泳するアユ

### バイパス入り口付近での行動

流れに乗ってバイパス入り口に達したアユはバイパスのアタッチメント（箱状の部分）内にためらいなく入ってゆくことがかなり多かった。流れに逆らいながらという形でなく、むしろアユは暗渠のようになっているアタッチメント内に遊泳して行くようにも見え、アタッチメント部の形状がバイパスへの誘導にかなり重要な役割を果たしていることを伺わせた。

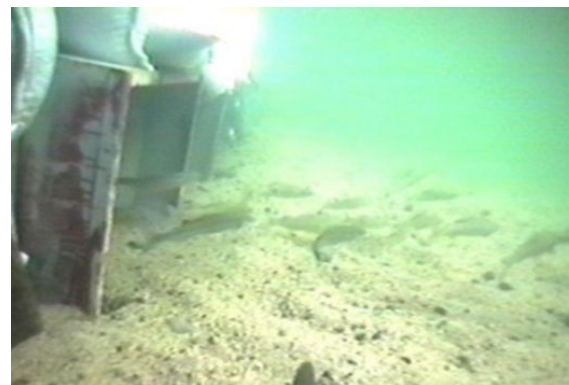


写真1.2 バイパス入り口前で遊泳するアユ

このようなことから、仕切り網側から取水口側へと移動してきたアユは、最初に遭遇するバイパスCに直ぐに入ることが多い。流れに押されてバイパスCに入らなかったアユの多くはそのまま流されて他のバイパスに入ることなく取水口近くまで達してしまう。

ただし、アユはバイパス入り口直前に達しても、アタッチメントの前で流れに逆らってしばらく遊泳し、そのまま去ってしまうこともある。また、アタッチメントの部分に入ったアユの一部はバイパス（管）に入ることなくアタッチメント内に留まり、しばらくして再び入り口から泳いで出てくることも多く観察された。

## 考察

### 1. バイパス/取水口流量比とバイパス降下率

平成9～11年度に実施した実験の結果から、バイパスを設置した場合バイパス降下率に最も大きな影響を与える要素はバイパスと取水口の流量比であることが分かってきた。そして、今年度実施した試験においても平成9年度・11年度に実施した実験結果と同様、バイパス流量/取水口の流量比を増加させると、取水口に迷入するアユが減少する結果となった。そこで今回の実験結果と平成9年度・11年度の実験結果と併せ、バイパス/取水口の流量比が取水口迷入率とバイパス降下率にどのように影響を与えたかを検討した。

図5に示すとおり、今年度の実験結果とこれまでの結果を重ねてみると、今年度結果もこれまでの予想を概ね肯定するものであった。つまり、流量比が小さくなる（バイパス流量が取水口に対して少なくなる）とバイパス降下率は減少する。ただし、流量比が約0.2以上あればバイパス降下率はそれほど変化せず高い値（90%前後）を保つが、流量比が0.2より小さくなるとバイパス降下率は急激に減少する。

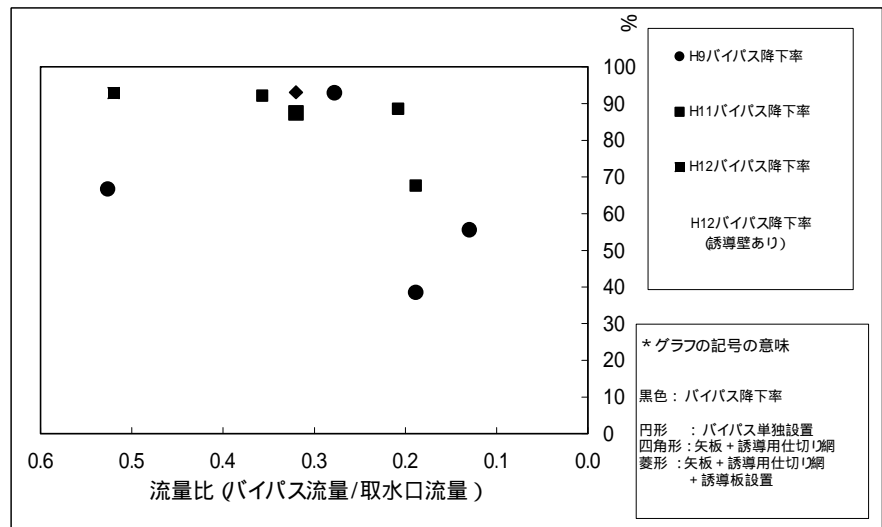


図5 流量比と取水口迷入率及びバイパス降下率の変化

### 2. 試験区の形状とアユの行動

平成11年度の実験結果では、新たに矢板と誘導用の仕切り網を設置したことによりアユがバイパスC近くに誘導され、さらにバイパスC入り口にアユが滞留することによりバイパス降下率が上昇した可能性が示唆された。今年度の実験でのアユの行動観察でもアユが誘導用の仕切り網沿いに取水口側へ移動してきて、最初に出会うバイパスCに入って降下するケースが多いことが改めて確認できた。

また、今年度の実験2では誘導板を設置した状態で試験を実施した。実験2は誘導板があることを除くと実験1とほぼ同条件である。本試験結果では実験1に比べて実験2ではより多くのアユをバイパスから降下させることができた。この理由は、誘導版の設置によって仕切り網に近い側に強い水流が生じ、その結果誘導板がない場合に比べてアユが仕切り網に近い側を通る機会が増加したためと考えられる。ただし、誘導板を用いた試験は1回しか実施していないので、効果の検証にはさらにデータの積み重ねが必要と考えられる。

さらにこれまでの試験を振り返ってみると、この試験の施設は平成9年度試験ではバイパスを取水口脇に設置しただけであったが、平成11年度以降は矢板と誘導用仕切り網を加えてアユをより効率的にバイパスへ誘導する工夫がなされている(図6)。

これがどのようにアユの行動に影響を与えたかを見るために、A,B,Cの各バイパスに入ったアユの数の割合を比較してみた。平成9年度の場合決まったバイパスに降下する傾向が見られないが、矢板と誘導用仕切り網が加えられた平成11年度以降ではどの試験においてもバイパス降下魚の半数以上がバイパスCを通して降下し



ている(図7)。このことから、上記の施設の変更によってアユの降下時の行動パターンが変わり、矢板・誘導用仕切り網に沿って移動したアユがバイパスCから降下するようになったことが明らかである。このことはバイパス降下率の増加に寄与している可能性が高い。図4を見ると、アユを誘導する工夫がされた平成11年度以降のバイパス降下率は平成9年度のそれに比較して高い傾向がある。

また、水中観察の結果からアユはバイパス入り口アタッチメントにそれほど抵抗なく入ってゆく様子が観察された。アタッチメントの形状を工夫することにより、バイパス入り口での流れの変化を自然なものとし、アユをうまくバイパス内へ誘導することでバイパス降下率を向上させることができると考えられる。

以上のように、単に流量比について考慮するだけでなく、施設の形状に工夫を加えて施設内の水の流れを制御し、アユをバイパスに誘導することが極めて重要であると考えられる。

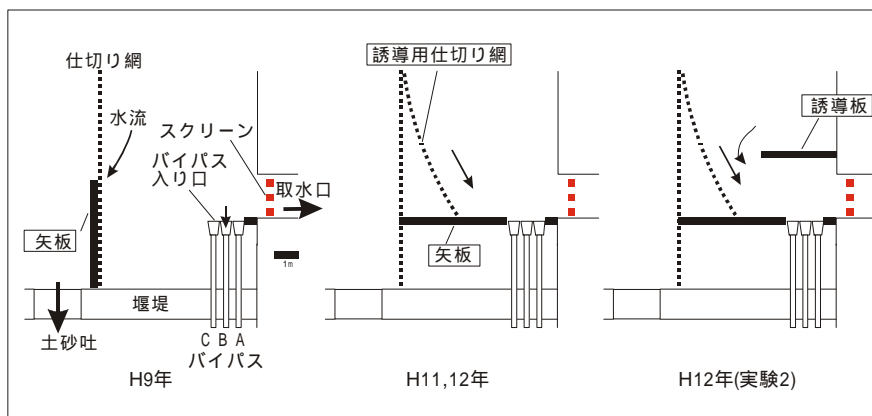


図6 各年度の施設の設置状況

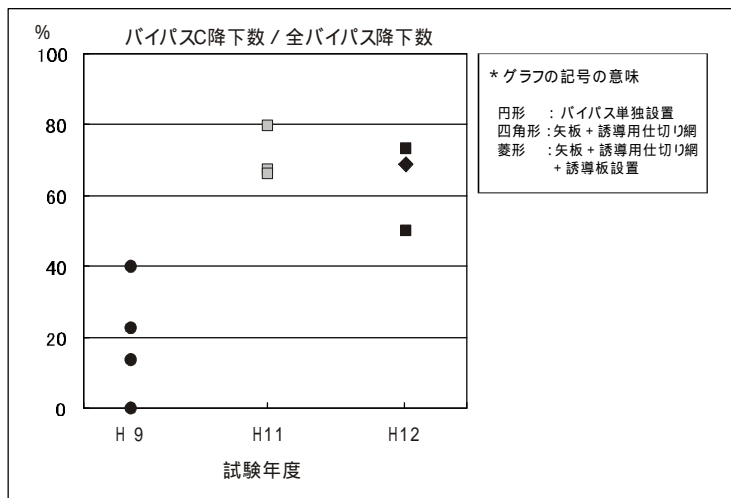


図7 各年度ごとのバイパスC降下魚の割合