

# 減水時の加速度と流速がカワムツの行動特性に及ぼす影響

九州工業大学工学部 学生会員 ○武田知秀  
九州工業大学大学院 正会員 鬼東幸樹

九州工業大学大学院 学生会員 宍戸陽  
九州工業大学大学院 フェロー会員 秋山壽一郎

## 1. はじめに

河川の流れは非定常流れであるため、水中に生息する魚類はその流況変動を常に受けている。そのため、非定常流れにおける魚類の行動特性の解明は重要である。傳田ら<sup>1)</sup>は実験河川において増水時間、ピーク流量、ピーク持続時間を変化させた実験を行った。その結果、流量の小さい出水では供試魚の移動を誘発しないが、流量の大きい出水では上流への移動を誘発することを解明した。しかし、傳田らは流速および加速度の両者を同時に変化させたため、得られた魚の挙動が流速あるいは加速度の影響によるものかを容易には判断できない。

本研究は、ピーク流速を固定し、減水の加速度と減水後の流速を変化させた流況において、カワムツの行動特性に及ぼす減水の影響を解明したものである。

## 2. 実験装置および実験条件

図-1に本実験で用いた横断方向幅 $B=0.8\text{m}$ の開水路の概要を示す。流下方向に $x$ 軸、水路底面から鉛直上向きに $y$ 軸、横断方向に $z$ 軸をとる。開水路中において、流れが一樣になっていることを確認できる地点から $x$ 軸方向に長さ $L=2.0\text{m}$ の領域をSwimming Areaと設定する。実験開始時のピーク流速を水深 $h=0.07\text{m}$ で体長倍流速 $U_p/\bar{B}_L=10(1/s)$ となるように流量を設定し、Swimming Area中央に設置した直径 $0.2\text{m}$ の円形金網に平均体長 $\bar{B}_L=60\text{mm}$ のカワムツ1尾を挿入する。カワムツが馴染んだと判断できた後、金網を取り上げ開水路上部に設置した撮影速度 $30\text{fps}$ のビデオカメラを用いて、Swimming Areaにおけるカワムツの遊泳を1分間撮影した。表-1に実験条件を示す。減水の加速度 $a$ を $-1, -0.5, -0.2(1/s^2)$ の3通り、減水後の体長倍流速 $U_A/\bar{B}_L$ を $2, 4, 6(1/s)$ の3通りに変化させた合計9ケースの実験を行った。上記の実験を各ケース30回行った。撮影後、 $0.5\text{s}$ ごとにカワムツの遊泳位置を特定し、行動特性の解明を試みた。

## 3. 実験結果および考察

### (1) カワムツの遊泳軌跡の分類

実験中にカワムツがSwimming Areaの上流境界に到達した場合を遡上、Swimming Areaの下流境界に到達した場合を降下、Swimming Area内を遊泳し続けた場合を停滞と定義する。図-2に示すように、本実験中に観察された遊泳軌跡は大きく分けて遡上(Route1 および2)、降下(Route3 および4)、停滞(Route5 および6)の3つに分類できる。遡上経路Route1 および2に着目する。Route1は実験開始後勢よく遡上した個体のものであり、Route2は比較的ゆっくりと遡上した個体のものである。Route1は加速度が最も小さいケースa1において比較的多く観察された。Route2は全ケースにおいて観察された。降下経路Route3 および4に着目する。Route3は実験開始後上流に向いていたが流下方向に方向転換して降下した個体のものであり、Route4は押し流されるように降下した個体のものである。Route3は加速度の減少に伴って比較的多く観察された。Route4は全ケースにおいて観察された。停滞経路Route5 および6に着目する。Route5はSwimming Area内をランダムに遊泳し続けた個体のものであり、Route6はほとんど遊泳せずその場に留まろうとした個体のものである。Route5 および6は全ケースにおいて観察された。

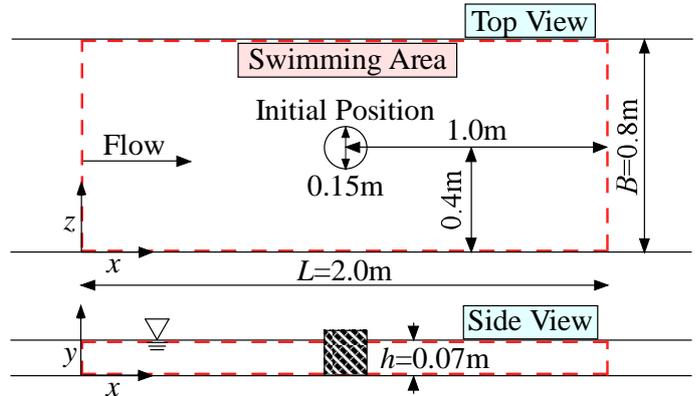


図-1 実験装置

表-1 実験条件

Peak Velocity $U_p/\bar{B}_L(1/s)$	Acceleration $a(1/s^2)$	After Velocity $U_A/\bar{B}_L(1/s)$		
10	-1	a1U2	a1U4	a1U6
	-0.5	a05U2	a05U4	a05U6
	-0.2	a02U2	a02U4	a02U6

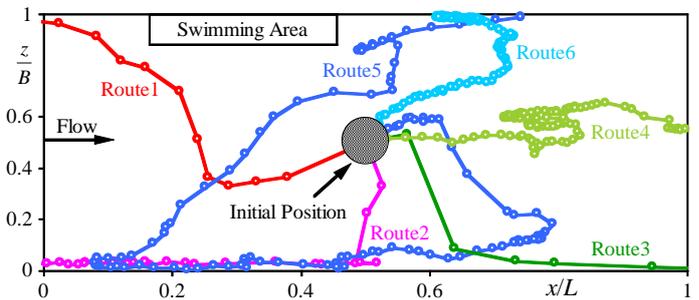


図-2 カワムツの遊泳軌跡の分類

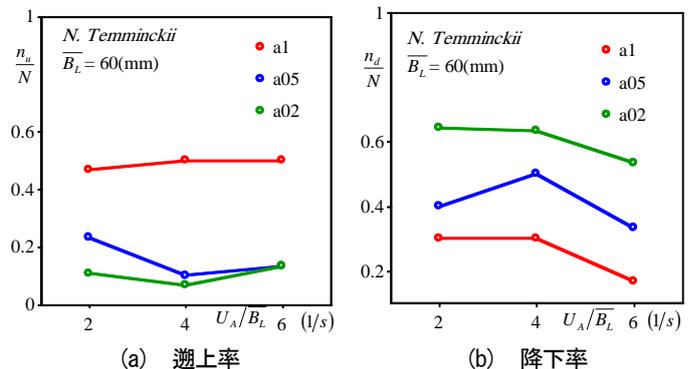


図-3 各ケースにおけるカワムツの遡上率および降下率

## (2) カワムツの遡上率および降下率

図-3 に減水後の各体長倍流速  $U_A/\overline{B_L}$  における遡上率および降下率を加速度ごとに示す。図-3(a)の遡上率は加速度の減少に伴って高くなっている。ここで、魚の最大遊泳速度である突進速度( $10B_L$ )付近での遊泳は普通筋の使用割合が高く、疲労が蓄積<sup>2)</sup>するため数秒間しか維持できない。負の加速度  $a$  の絶対値が増加するにつれて、カワムツが突進速度に近い流速中を遊泳する時間は短くなることを考慮すると、疲労は蓄積しにくくなり、遡上のための遊泳力を失いにくくなる。そのため、加速度の減少に伴って遡上率が高くなったと考えられる。本実験中において、実験開始後上流へ移動したが途中で遡上を止める個体が加速度の大きいケースほど多く観察された。一方、減水後の各体長倍流速  $U_A/\overline{B_L}$  の違いによる一様な傾向は見られない。

図-3(b)の降下率は加速度の増加に伴って高くなっている。ここで、負の加速度  $a$  が  $0(1/s^2)$  に近づくにつれてカワムツが突進速度に近い速流中を遊泳する時間が長くなることを考慮すると、疲労が蓄積し遊泳困難となり、下流に流されやすくなる。そのため、加速度の増加に伴って降下率が高くなったと考えられる一方、減水後の各体長倍流速  $U_A/\overline{B_L}$  に着目すると、 $U_A/\overline{B_L}=2, 4(1/s)$  と比べて  $U_A/\overline{B_L}=6(1/s)$  のとき降下率が最も低下している。これは、巡航速度 ( $2\sim 4B_L$ ) ではランダムに遊泳することができ、意図的に降下する個体が増えたためだと考えられる。しかし、加速度あるいは流速のいずれかが影響しているかはより詳細な調査が必要である。

## (3) 遡上および降下時間の頻度分布

図-4 に 2s 間ごとの遡上尾数および降下尾数を各ケースに用いた尾数  $N=30$  で除した値  $n/N$  の頻度分布を示す。ここで、加速度による影響を考察するため、減水後の体長倍流速を一定  $U_A/\overline{B_L}=4(1/s)$  としたケース間で頻度分布を比較する。図-4(a)の a1U4 に着目すると、遡上率は減水中および減水直後で高くなっている。一方、降下率に偏った分布は見られない。図-4(b)の a05U4 に着目すると、減水中に遡上する個体はいるもののその数は減少している。一方、降下率は減水中で高くなっている。図-4(c)の a02U4 に着目すると、遡上率は減水中に遡上する個体はいるが、やはりその数は少ない。一方、降下率は減水中でさらに高くなっている。

以上より、遡上率は加速度の減少に伴って高くなり、減水中および減水直後で遡上している。ここで、加速度が負であれば遡上しにくい突進速度から遡上可能な速度に近づいていくため、減水はカワムツの遡上ができる流況に変化していくことを示唆している。そのため、負の加速度がきっかけとなり遡上を誘発したと考えられる。しかし、実験開始後上流へ移動したが、途中で遡上を止める個体が加速度の大きいケースほど多く観察された。一方、降下率は加速度の増加に伴って高くなり、実験を開始してから比較的早い時間帯での降下が増加している。これは高速流中を遊泳する時間が長くなり疲労が蓄積し、早い時間からも押し流される個体が増えたためと考えられる。

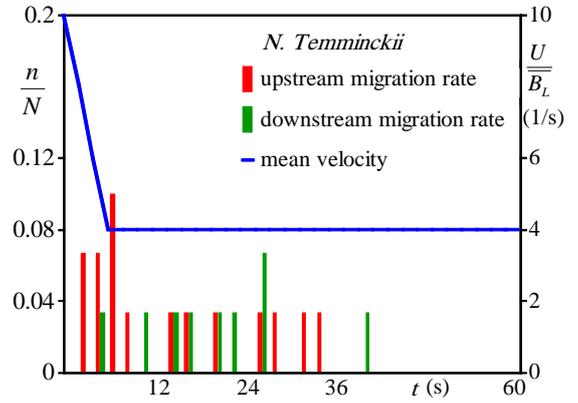
## 4. おわりに

本研究は、ピーク流速を固定し、減水の加速度と減水後の流速とを変化させた流況において、カワムツの行動特性に及ぼす減水の影響を解明したものである。得られた知見は以下の通りである。

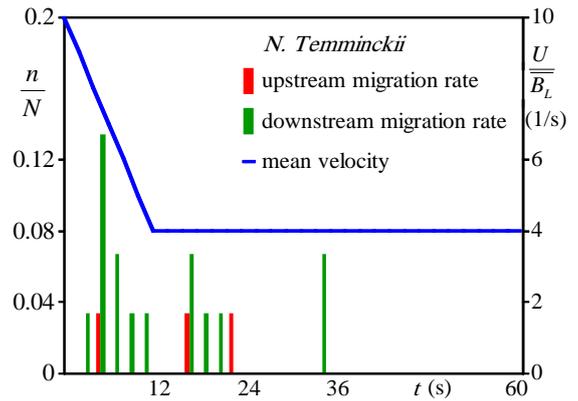
- (1) 減水時のカワムツの遡上率は加速度の減少に伴って高くなることが判明した。
- (2) 減水時のカワムツの降下率は加速度の増加に伴って高くなることが判明した。
- (3) 減水はカワムツの遡上を誘発するが、加速度が大きくなるにつれて降下を招くことが判明した。
- (4) 減水中のオイカワの遊泳に及ぼす影響は流速よりも加速度の影響が支配的であることが判明した。

## 参考文献

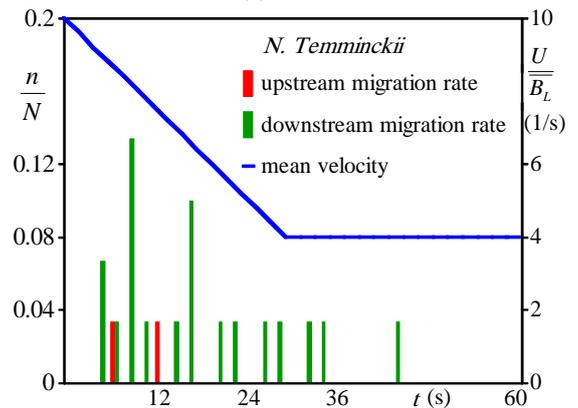
- 1) 傅田正利, 天野邦彦, 萱場祐一: 出水の水理特性が魚類行動に与える影響, 水工学論文集, Vol.149, pp.1465-1470, 2005.
- 2) Webb, P.W.: Hydrodynamics and energetics of fish propulsion, *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, Vol.190, pp.1-159, 1975.



(a) a1U4



(b) a05U4



(c) a02U4

図-4 遡上および降下時間の頻度分布