

オイカワの突進速度に関する実験的研究

九州工業大学工学部 学生員 山本晃義 渡邊拓也
 九州工業大学大学院 学生員 飯國洋平
 九州工業大学工学部 正会員 鬼束幸樹
 九州工業大学工学部 フェロー会員 秋山壽一郎

1. はじめに

ダムや堰などの河川横断構造物によって困難となった水生生物の遡上および降下を助けるために、魚道が設置される。魚が魚道内を遡上するためには、魚道内の流速が魚の最大遊泳速度、すなわち突進速度以下の必要がある。突進速度とは1秒～数秒間しか維持できない最大の遊泳速度のことであり、長時間にわたって遊泳可能な速度は巡航速度と呼ばれる。突進速度は、既往のデータが極めて少ないことと、同一魚種で同一体長であっても研究者によって提示している突進速度が異なり、魚道の設計に採用すべき突進速度が不明確であるという問題点がある。本研究は多くの河川に生息するオイカワを用いて、流速および体長別の突進速度を解明したものである。

2. 実験装置および実験方法

実験にはコイ科ダニオ亜科オイカワ属のオイカワ(*zacco platypus*)34匹を用いた。魚は突進速度を緊急時しか出さないため、魚に緊急事態が迫っていると認識させる必要がある。そのため突然照明を浴びせる、音を立てる、タモで追いかけるなどの方法を試みたが、いずれの方法も有効ではなかった。そのため、電気ショックを用いた。静止中のアユは30Vで瞬時に忌避行動をとるとの報告¹⁾がある。しかし、オイカワで予備実験を行なった結果、45Vで最も忌避行動が顕著になることが判明したため、本実験では45Vを採用した。

全長1.5m、高さ0.3m、幅0.1mのアクリル製水路において、水深が0.09mの等流状態を設定した。オイカワを1匹ずつ水路に入れ、45Vのパルス波を与えた。流速は後述するように5段階に変化させた。水路の側岸に設置した高速ビデオカメラで魚の軌

表-1 体長別の限界流速

<i>zacco platypus</i>	
5~6 cm	130 cm/s
6~7 cm	130 cm/s
7~8 cm	150 cm/s
8~9 cm	170 cm/s
9~10 cm	170 cm/s

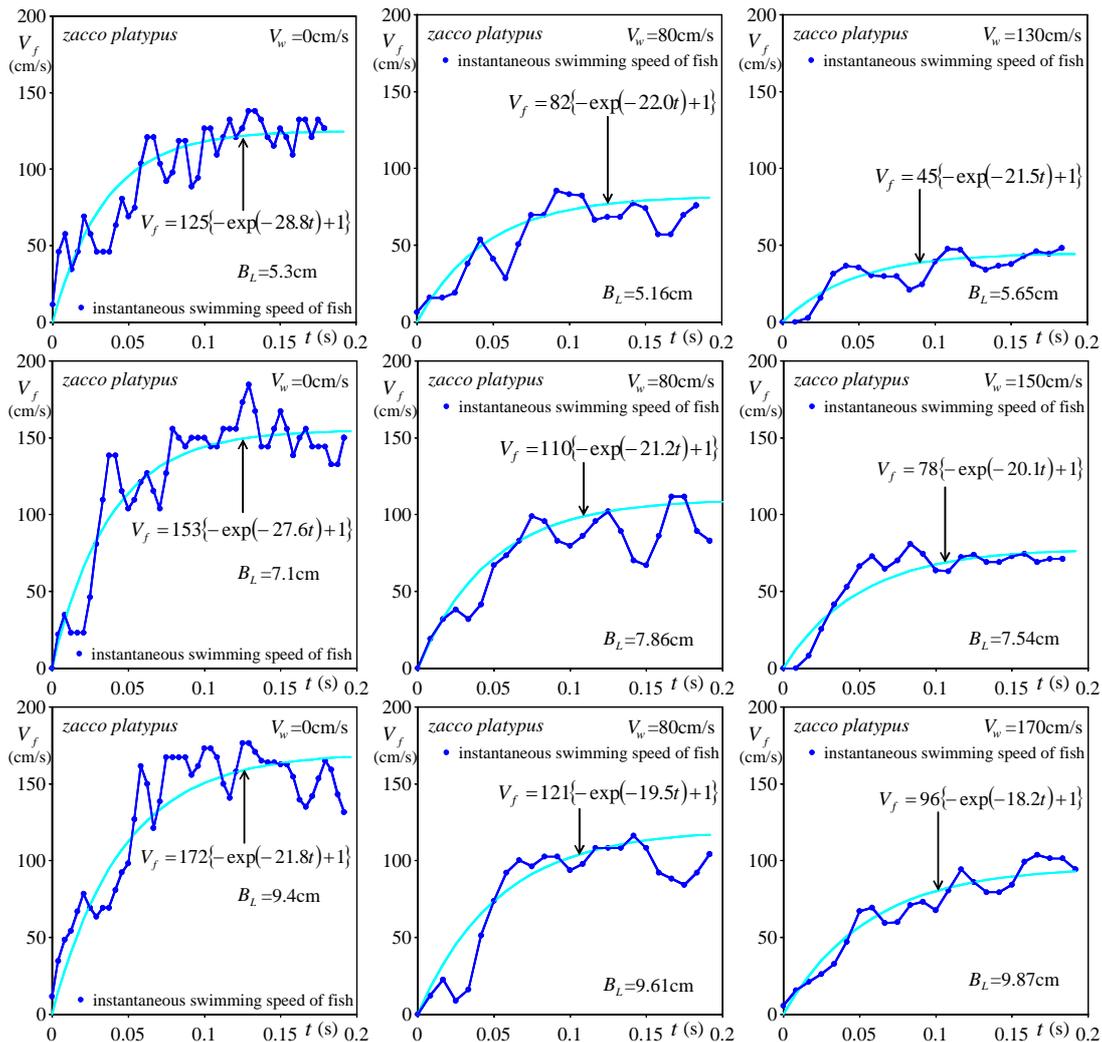


図-1 体長および流速別に示した遊泳速度の変化

表-2 体長別流速別の α , β の値

zacco platypus	$V_w=0(\text{cm/s})$		$V_w=40(\text{cm/s})$		$V_w=80(\text{cm/s})$		$V_w=120(\text{cm/s})$		$V_w=\text{限界流速}$	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
5~6 cm	24.4	126	23.2	116.7	22.1	96.6	20.6	79.2	19.6	58.7
6~7 cm	25.1	146.3	22.2	120	21.8	116.6	20.4	88.6	19.2	72.0
7~8 cm	26.4	146.5	23.1	126.2	21.7	117.3	20.2	101.8	18.9	77.2
8~9 cm	23.6	154.3	22.2	127	21.3	125.6	19.6	107.6	18.4	80.2
9~10cm	22.5	159.4	21.1	146.4	20.8	126.4	19.3	103.6	18.3	87.6

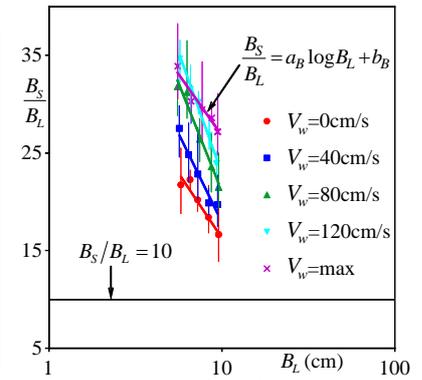


図-2 体長と突進速度の関係

表-3 体長と突進速度の関係に関する係数

	$V_f=0(\text{cm/s})$		$V_f=40(\text{cm/s})$		$V_f=80(\text{cm/s})$		$V_f=120(\text{cm/s})$		$V_f=\text{限界流速}$	
	a_B	b_B	a_B	b_B	a_B	b_B	a_B	b_B	a_B	b_B
zacco platypus	-26.4	42.7	-36.4	54.3	-44.4	65.5	-50.0	72.9	-25.2	52.0

跡を撮影した。録画速度は 120 フレーム/s で、画素数は 720 × 240 ピクセルである。撮影後に動画をコマ送りしてオイカワの口の先端の軌跡をトレースし、対地速度 V_f を算出した。当然、遊泳速度は対地速度 V_f に断面平均流速 V_w を加算したものである。

3. 実験結果および考察

(1) 突進速度測定時の流速

突進速度を測定する際の流速は 0cm/s, 40cm/s, 80cm/s, 120cm/s, 限界流速の 5 パターンである。限界流速とは各体長のオイカワが、遊泳が可能な限界の流速のことである。各体長の限界流速を表-1 に示した。

(2) 魚の加速特性および定式化

図-1 に体長別、流速別に対地速度 V_f の変化の例を示す。多くのケースで、遊泳開始直後に速度が上下している。これは加速する際に尾を左右に大きく振るため、それに伴い頭部の速度が上下しているからである。ただし、巨視的に見ると速度が急激に上昇し、その後、次第に速度変化が緩やかになり、ついには定常状態、すなわち、突進速度に達している様子が窺える。そこで、対地速度 V_f の変化を次式で表現する。

$$V_f = \beta \{- \exp(-\alpha t) + 1\} \tag{1}$$

ここに、対地速度 V_f の単位は cm/s とし、 t は遊泳開始からの時間で単位は s とし、 α , β は係数である。当然、式(1)において時間 t を無限大にすれば、突進速度から断面平均流速を減じた値に漸近する。実測された対地速度 V_f に式(1)が最もフィットするように係数 α , β を算出し、図-1 中に式(1)を示した。体長および断面平均流速 V_w に関わらず、式(1)によって遊泳挙動が再現されていると判断される。同様の解析を全てのデータに対して行い、得られた係数 α および β について、体長 1cm ごとの平均値を求めて表-2 に示した。

(3) 魚の突進速度

突進速度 B_s は式(1)の時間 t を無限大にして得られる最大対地速度 $V_{f\infty}$ と断面平均流速 V_w を加算したものである。

$$B_s = V_{f\infty} + V_w \tag{2}$$

図-2 に突進速度 B_s を体長 B_L で除した値と体長 B_L との関係を、流速別に片対数表示した。一般に魚の突進速度は体長の 10 倍²⁾として知られているが、各流速でそれより遥かに大きな値であることが解明された。また、体長の増加に伴い B_s/B_L の値が低下している。 B_s/B_L と体長 B_L との関係を次式より求めた。

$$B_s/B_L = a_B \log B_L + b_B \tag{3}$$

表-3 に得られた係数 a_B および b_B を示す。式(3)および表-3 を利用することで、少なくともオイカワに関しては体長および流速別の突進速度が予測可能となった。

4. おわりに

本研究では、オイカワの体長および流速の変化に伴う突進速度の予測式を、式(1)および式(3)のように提案した。ただし、これらの結果はオイカワのみであるため、他の魚種の突進速度を解明する必要がある。

参考文献

- 1) 全国内水面漁業共同組合連合会：魚を取水施設に迷入させないための試み，2001。
- 2) 中村俊六：魚道のはなし，山海堂，1995。