

フィールドにおけるスタミナトンネルによるイワナ稚魚の尾部の運動と遊泳速度
Movement of Tail beat and Swimming Speed of Char Fingerlings,
Salvelinus leucomaenis, with Stamina Tunnel in Field

○泉 完* 山村真弘** 加藤 幸*
Izumi Mattashi Yamamura Masahiro Kato koh

1. はじめに 最近、河川に生息する遊泳魚の突進速度について新たな知見が実証的に明らかにされてきている¹⁾。一方、中・高速で泳ぐ魚はアジ型に分類され²⁾、紡錘型の魚体の1/3を振動させて尾ひれによって、遊泳速度を発揮することが古くから知られている³⁾。遊泳魚の尾の運動に関する実験的研究や運動力学的解析も数多く行われている。しかし、魚道のように淡水魚が局所的に速い流れ場を突進速度に近い高速で遊泳する際の尾部の運動能力については、依然として不明な点が多い。本報告は高速度カメラを用い、未だ計測されていない河川溪流魚のイワナ稚魚が高速で遊泳する際の尾部の運動と遊泳速度との関係について考察したものである。

2. 実験装置と方法・項目 実験場所は、青森県南津軽郡西目屋村の三上養殖場の野外である。実験は2008年と2009年の8月～9月の計7回、昼から午後にかけて行った(**Table 1** 参照)。実験装置は**Fig.1**に示すように内径横5.0cm×縦3.0cm・4.0cm(魚の体高に応じて2種類)、長さ80cmの長方形透明アクリルパイプで余水吐と整流板のあるマンメーター付きの貯水槽、供試魚を長方形パイプ内に挿入する傾斜型スタンドパイプとフレキシブルホース、流速調節用コックから構成されている。さらに、長方形パイプの末端部は遊泳後の供試魚を採捕するため脱着式の円形の異形ソケットに連結され、遊泳区間では長方形パイプの底面に目盛付きの白色版が取り付けられている。養殖場の水は直接河川から取水されており、実験水は養殖場内の水路から水中ポンプで貯水槽に給水され、フレキシブルホース末端のコック出口から下流水路へ流下するシステムになっている。

供試魚の遊泳速度の測定は、長方形パイプの上方に高速度カメラ(素子解像度512×480ピクセル)を設置して、遊泳区間内の供試魚の遊泳動態を撮影・録画した。高速度カメラの計測区間は約35cmで、高速度カメラの録画速度は1/250秒である。また、供試魚は遊泳の際のストレスを考慮して遊泳後に脱着式の長方形管水路末端部で採捕し、体幅をノギスで測定・写真撮影した。供試魚の全長・体長・体高は、写真画像から正確に計測した。実験に供した個体は1回限りの遊泳とし、流量を1回ごとに出口部で5回実測した。また、気象条件も測定した。

供試魚の魚体運動の追跡は、高速度カメラの計測区間を流れが定常状態に移行したと判断された時点での供試魚の遊泳地点を計測開始地点とし、その地点から前進していった動画を1/250秒間隔で1コマずつ再生した。供試魚の尾ひれの先端と吻端の2点をトレースした。魚の対地速度は、高速度カメラで計測した遊泳距離とそれに要した時間から求めた。遊泳速度は、実測流量と、管の通水断面積から魚体の最大横断面積を差し引いた面積を用いて断面平均流速を求め、これに魚の対地速度を加えて算出した。

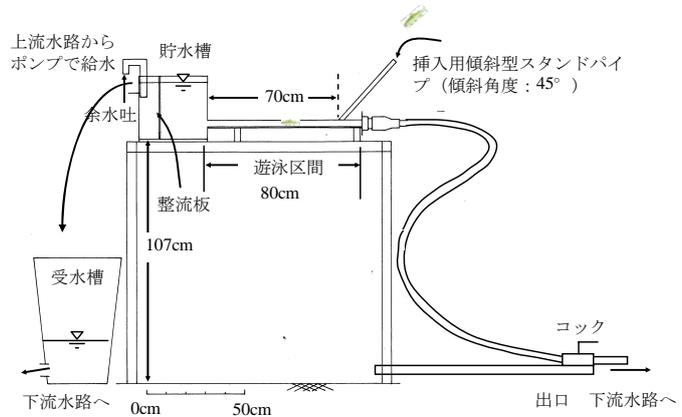


Fig.1 The side view of experimental apparatus

*弘前大学農学生命科学部 Hirosaki Univ. Faculty of Agriculture and Life Science

**弘前大学大学院農学生命科学研究科 Hirosaki Univ. Agriculture and Life Science graduate course

Table.1 Experimental days, conditions and measured Fishes

実験月日	天気	計 測 イ ワ ナ				管内流速		水温
		(尾)	平均全長 S.D.	平均体長 S.D.	V S.D.			
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	($^{\circ}\text{C}$)	
2008年								
8月6日	晴れ	1	7.9 -	7.0 -	89 -	15.2		
9月5日	晴れ	1	7.9 -	7.1 -	89 -	14.7		
9月8日	晴れ	2	8.6 0.6	7.5 0.5	102 0	14.2		
	計	4						
2009年								
9月7日	曇り	1	7.5 -	6.2 -	79 -	13.9		
9月8日	曇り	2	9.5 0.2	8.2 0.1	95 7	13.3		
9月9日	曇り	4	7.7 0.4	6.7 0.4	66 16	12.2		
9月10日	雨	2	8.5 0.6	7.4 0.8	69 5	12.6		
	計	9						
合 計		13	8.2 0.7	7.2 0.7				

3. 実験結果と考察

実験に用いた供試魚は、当養殖場のイワナ稚魚で、計測したイワナ稚魚はTable 1に示すように13尾、平均全長8.2cm、平均体長7.2cmで、実験時間中の平均水温は12.2°C~15.2°Cである。

尾ひれの振動数 F と遊泳速度 V との間には魚の全長 L との関係で比例関係があることが知られている³⁾。遊泳速度と尾ひれの振動数との関係をFig.2・Fig.3に示す。図には、Bainbridge³⁾、梨本⁴⁾、泉ら⁵⁾の結果も示した。図のように一気に遊泳したイワナ稚魚の遊泳速度は、ニジマスより速い $105\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}\sim 166\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、振動数はマスより多い18Hz~29Hzである。遊泳速度と振動数との間には個体差のためばらつきが見られるものの、既往の結果より大きなデータ範囲で比例関係が認められる。ここで、魚が尾ひれを振って泳ぐことができる最小振動数 F_0 と最小遊泳速度 V_0 の考え方⁵⁾の(1)式に即して、 $(V-V_0)/L=k(F-F_0)$ --(1) (k : 係数)これらの関係をFig.4に示す。 V_0 と F_0 はイワナと同じサケ科マスの $V_0=0.52L^{2/3}$ 、 $F_0=2.81L^{-1/3}$ の実験式⁶⁾を援用して計算した。Hunter and Zweifel⁵⁾は、Bainbridge³⁾のマスを再整理して $k=0.64$ を得ている。

図からイワナ稚魚はヤマメ稚魚⁵⁾と同様にマスのFig.2・Fig.3の結果より大きい範囲で比例関係が認められる。 k の平均値は、上述したマスの k 値0.64に比べ大きく、ヤマメ稚魚の0.73とほぼ同じ0.75となった。

今後とも水理条件の範囲を広げてデータを蓄積し、他魚種との比較検討も行う予定である。

謝辞：本研究に協力して頂いた三上養殖場の三上氏、弘前大学農業水理学研究室の水沢君、佐伯君、瀬川君、野原君、太田君、川村君に深く感謝する。本研究の一部は科研費補助金（代表：泉完）を受けている。

参考文献 1) 泉ら(2009a)：河川における自然誘導式スタミナトンネルを用いた高速流条件での野生魚の突進速度，農村工学論集，261：73-82. 2) Breder ,C.M.. (1926)：The locomotion of Fishes, Zoologica (scientific contributions of the New York Zoological Society) , 4 (5), 159-297. 3) Bainbridge,R (1958)：The Speed of Swimming of Fish as related to Size and to the Frequency and Amplitude of the Tail Beat, Experimental Biology, 35, 109-1333, 4) 梨本勝昭(1980)：魚の尾の動きと遊泳速度との関係,日本水産学会誌, 46(3), 307-312. 5) 泉ら(2009b)：河川におけるスタミナトンネルを用いたヤマメ稚魚の尾ひれの動きと遊泳速度,平成21年度農村工学学会応用水理研究部会講演集, 34-43, 6) Hunter,J.R. and Zweifel,J.R. (1971)：Courtship,Locomotion,Feeding,And Miscellaneous Behaviour og Pacific Bonito (SARDA CHILIENSIS) , Animal behaviour, 14, 54-67

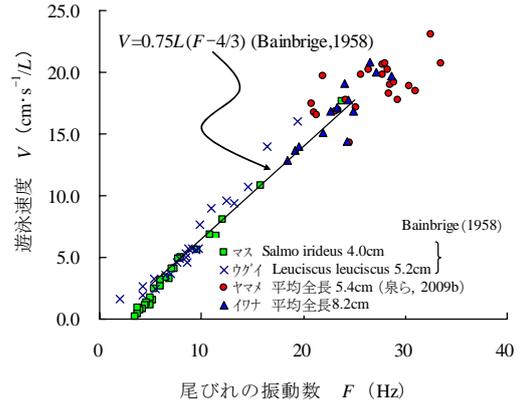


Fig.2 The relationship between frequency of tail beat and swimming

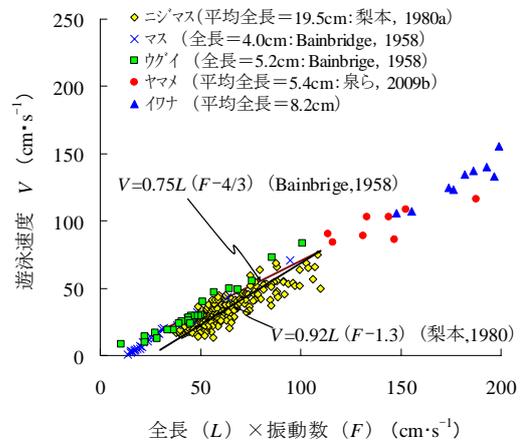


Fig.3 The relationship between $L \cdot F$ and V

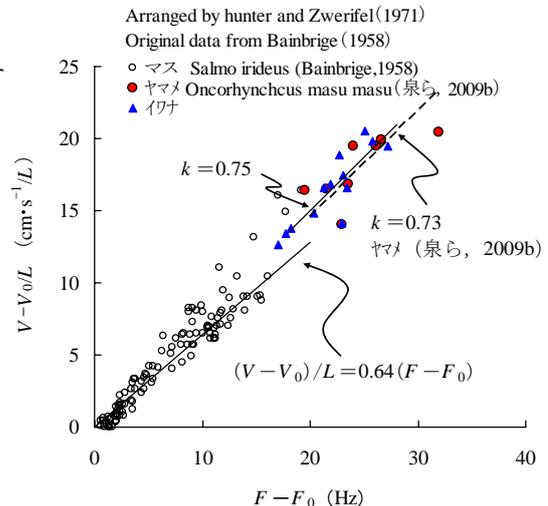


Fig 4 The relationship between of $(F-F_0)$ and $(V-V_0)/L$