

高速流条件におけるヤマメ稚魚の遊泳速度と尾ひれの運動
 Movement of Tail beat and Swimming Speed of Masu salmon Fingerlings,
Oncorhynchus masou masou, in high flow velocity

○泉 完* 山村 真弘** 加藤 幸* 東 信行*
 Izumi mattashi, Yamamura masahiro, Kato koh, Azuma nobuyuki

1. はじめに 近年、魚道の設計に用いられる淡水魚の突進速度について、従来考えられてきたよりも高速で遊泳できることが明らかにされている¹⁾。一方、遊泳速度は尾部の振動運動との関係があり、紡錘型の魚種を中心に研究がなされている^{2),3)}。しかし、魚道のような局所的に速い場所を高速で遊泳する際の研究例が少ない。本研究では紡錘型の淡水魚であるヤマメ稚魚の既往の実験⁴⁾⁵⁾を継続し、高速遊泳時の遊泳速度と尾部の振動数の関係について検討したものである。

2. 実験装置と方法 実験場所は、青森県二級河川蟹田川の高石股沢川床固め工内粗石付斜路型魚道地内である。実験は2010年の7月初旬、10時から午後5時半にかけて3回行った。実験装置は内径横4.0cm・縦5.0cm、長さ150cmの透明アクリル製の矩形パイプで下流側には45°の角度で供試魚挿入用のスタンドパイプ、底面には白い目盛板がある (Fig.1)。そして、パイプの上流端を長さ50cm・φ5.4cmの円形パイプに接続し、魚道流入部の堰板に載せて設置してある。河川水を直接パイプに通水させ、パイプ内の流速は勾配を変化させた。流入水位は実験中一定であった。

遊泳した魚の遊泳動態をパイプ上方から高速度カメラ (1/250秒間隔) とビデオカメラで撮影・録画した。個体サイズは供試魚が流れに負けパイプ末端から流出した後に計測した。また、流量を出口部で実測した。

管内代表流速値は、実測流量をパイプの通水断面積から供試魚の流れに直交する最大横断面積を差し引いた面積で除して求めた。遊泳速度は1/250秒間隔で撮影された高速度カメラ (視野約34cm) のコマ数と魚が遊泳した距離から計測し、これに管内代表流速を加えて求めた。

一方、ヤマメ稚魚の最小遊泳速度に関する遊泳実験を岩木川取水堰 (青森県弘前市) の左岸河川敷内で透明アクリル製の小型長方形水路 (幅15cm・高さ15cm・長さ100cm) で2010年6月9日の日中に行った。実験は河川水を直接使い、水路水深13cmで魚が最も遅い流速 (最小遊泳速度) で尾ひれを規則的に振って定位した状態を高速度カメラ (1/250秒間隔) で撮影・個体サイズを計測した。また、そのときの魚の定位地点の流速を電磁流速計・データレコーダで計測した。

3. 実験結果と考察 Table 1は実験日と実験条件である。実験時の水温は平均14.4~16.0°C、計測尾数33尾、魚の平均全長5.8cm、平均体長は4.9cmである。管内代表流速は117~139cm・s⁻¹である。Fig.2は尾ひれの振幅と全長との比と振動数の関係である。この比は尾ひれの振り数が5回以上では一定で、ウグイ・ニジマス・金魚の3魚種平均で0.18²⁾、梨本 (1980)³⁾のニジマスで0.15

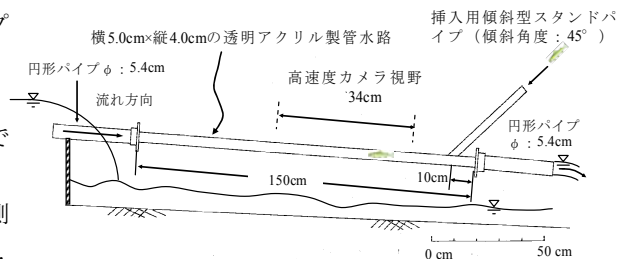


Fig.1 Overview of experimental apparatus

Table 1 Experimental days and conditions

2010年 実験月日	実験 番号	天 気	尾	平均	平均	平均	管内代表		水温 (°C)
				全長 (cm)	体長 (cm)	体高 (cm)	流速 I	S.D.	
6月30日	Run.1	曇・霧雨	2	5.9	5.0	1.2	124	11	14.4
7月1日	Run.2	曇り	20	5.7	4.8	1.2	117	15	14.8
7月2日	Run.3	曇り後晴れ	11	5.9	5.0	1.2	139	2	16.0
			計	33	5.8	4.9	1.2		

*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

の結果が得られている。本実験では尾部の振動数は30~38Hzである。図からばらつきが、既往のヤマメ稚魚データ^{4,5)}とほぼ同様な分布を示す。これらのデータをまとめると平均値は0.13で、梨本(1980)のニジマスに近い値である。

Bainbridge (1958)²⁾は、遊泳速度 V は全長 L と振動数 F との比例関係になるとして、 $V/L=k_1(F-\alpha)$ (k_1, α :係数)で表わし、ウグイ・ニジマス・金魚の3魚種平均で $k_1=0.75$ ・ $\alpha=4/3$ を得ている。Fig.3はBainbridge (1958)の整理にならない、遊泳速度 V/L と尾ひれの振動数 F との関係である。遊泳速度は全長の29~40倍の速さ(120~201cm・s⁻¹)である。図から、個体差のためばらつきが見られるものの V/L と F の間には高遊泳速度・高振動数でも比例関係が認められる。さらに、その傾向は3魚種の結果の延長上に見られている。そこで、すでに得られている既往のデータ^{2,3)}に高振動域の本実験結果を補充して再整理し実験式を求めた。その結果、4魚種の係数として、 $k_1=0.79$ ・ $\alpha=1.14$ を得た。

ここで、Hunter and Zweifel⁶⁾は、魚には規則的に遊泳できる最小遊泳速度 V_0 と最小振動数 F_0 が存在し、その関係は $(V-V_0)/L=k_2(F-F_0)$ で表せるとした。 V_0 と F_0 は L に関係するとしている。梨本(1980a)はニジマス5尾(平均 $L=19.5$ cm, 15.0~25.4cm)の V_0 と F_0 を実測している。これに関する本実験での計測尾数は3尾($L:7.9$ ~ 9.7 cm)で、 V_0 は5.6~6.8cm・s⁻¹、 F_0 は2.9~4.5Hzであった。ヤマメはニジマスと同じ紡錘型でサケ科であるのでニジマスのデータ³⁾と合わせて、 V_0 と F_0 を L との関係で整理した。その結果、 $V_0=0.58L^{1.11}$ 、 $F_0=13.1L^{-0.60}$ となり、これから $(V-V_0)/L=k_2(F-F_0)$ の関係を求めた(Fig.4)。

図からFig.3と同様に比例関係が認められ、ヤマメ稚魚の k_2 は0.89となった。カリフォルニアマアジ⁶⁾では $k_2=0.83$ 、マアジ⁷⁾では $k_2=0.77$ ~ 0.92 が得られており、紡錘型の魚の k_2 値はお互いに近似するものと考えられる。

今後は、尾部を規則的に振動させ得る最大限界振動数が存在することも考えられる。したがって、これらの点については、さらに明らかにする必要がある。

引用文献：1) 泉ら(2009)：農村工論集,261,73-82. 2) Bainbridge,R(1958)：Experimental Biology,35,109-133. 3) 梨本勝昭(1983)：日本水産学会誌, 46(3), 307-312. 4) 泉・加藤(2009)：平成21年度応用水理研究部会講演集,35-43. 5) 泉ら(2010)：平成22年農業農村工学会大会講要, 852-853. 6) Hunter and Zweifel(1971)：Animal behaviour,14,54-67. 7) 徐ら(1988)：日本水産学会誌, 54(9), 1493-1497. 謝辞：本研究に協力して頂いた蟹田川漁協、及び岩木川漁協、関係機関、弘前大学農学生命科学部研究室ゼミの院生、学生には深く感謝します。本研究は科研費(基盤研究c：課題番号 20580259)の補助を受けている。

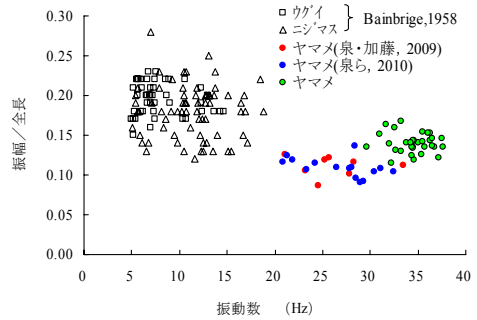


Fig.2 The relationship between amplitude and frequency

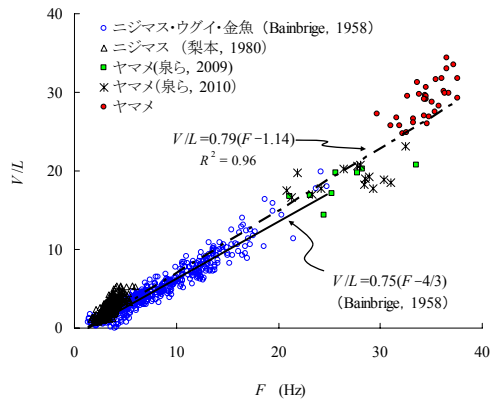


Fig.3 The relationship between frequency of tail beat and swimming speed

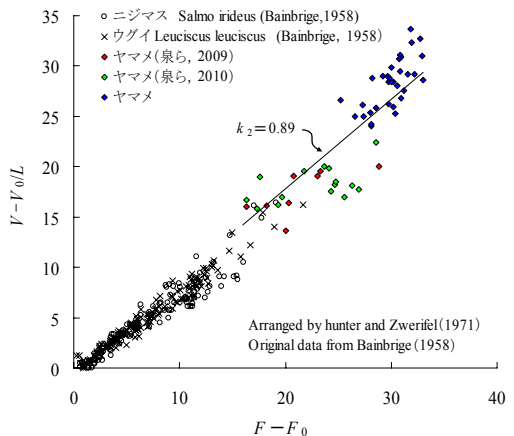


Fig.4 The relationship $F-F_0$ and $(V-V_0)/L$