

自然河川流下水を用いたスタミナトンネルによる オイカワの突進速度に関する現地実験

ON-SITE SWIMMING EXPERIMENT OF BURST SPEED OF PALE CHUB WITH A
STAMINA TUNNEL USING NATURAL RIVER DOWN-FLOW WATER

泉 完¹・矢田谷健一²・東 信行³・工藤 明⁴・加藤 幸⁵

Mattashi IZUMI, Kenichi YATAYA, Nobuyuki AZUMA, Akira KUDO and Koh KATO

¹正会員 農博 弘前大学・助教授 農学生命科学部 地域環境科学科 (〒036-8561 弘前市文京町3)

²正会員 農修 建設技術研究所東北支社 (〒980-0014 仙台市青葉区本町2-15-1)

³正会員 農博 弘前大学・助教授 農学生命科学部 生物生産科学科 (〒036-8561 弘前市文京町3)

⁴正会員 農博 弘前大学・教授 農学生命科学部 地域環境科学科 (〒036-8561 弘前市文京町3)

⁵正会員 農博 弘前大学・助手 農学生命科学部 地域環境科学科 (〒036-8561 弘前市文京町3)

Swimming experiments of wild pale chub (*Zacco platypus*) were carried out by installing a stamina tunnel in a fishway in the river. The burst speed of individual fish that swam for 1-5 seconds and the maximum instantaneous burst speed of individual fish that swam 50 cm distance at a maximum speed were investigated. The results show: (1) the average burst speed of a pale chub, which is when the fish swims at a speed of at least 10 times its own body length per second for a period of one to five seconds, was 27 times body length per second on average; (2) the burst speed and the maximum instantaneous burst speed were calculated for fish with a body length of about 6 cm to about 10 cm in conditions of a high velocity (185cm/s), and the results were: mean burst speed: 230 cm/sec ($\sigma=\pm 15$ cm/s), mean swimming time: 4.86 s ($\sigma=\pm 1.60$ s), maximum instantaneous burst speed: 268cm/s ($\sigma=\pm 37$ cm/s), mean swimming time: 0.80s ($\sigma=\pm 0.50$ s).

Key Words : Stamina tunnel, Wild pale chub (*Zacco platypus*), Burst speed, Maximum instantaneous burst speed, Field swimming experiment, On-site fishway

1. はじめに

取水堰や頭首工など河川横断構造物に設けられる魚道の水理設計では、対象魚種ごとの突進速度(Burst speed)が設計流速の指標¹⁾になっており、Blaxter²⁾はこの突進速度を1~5秒間持続できる最大遊泳速度と定義し、その速度は体長の10倍程度が目安とされている。また、突進速度に関する研究は、おもにBlaxter et al³⁾、Bainbridge⁴⁾、塚本ら⁵⁾⁶⁾などによって行われており、Beamish⁷⁾やVideler⁸⁾にまとめられている。また、最近では大熊ら⁹⁾によるサケ稚魚を対象にした瞬発遊泳速度(突進速度)の実験も行われている。

一方、最近の隔壁部を有する魚道での遊泳魚の遡上特性に関する調査研究事例¹⁰⁾¹¹⁾では、最大流速が生じる魚道隔壁部の短い距離を遊泳する遊泳速度は体長の小さ

い遊泳魚ほど目安の10倍よりかなり大きく、また、その距離を1秒以下という極めて瞬間的時間で遊泳していくことが明らかにされており、魚道を遡上する際の突進速度を把握することは、今後の魚道設計を行う上で極めて大きな意義がある。

本報告は、現地河川の魚道中にスタミナトンネル(円筒パイプ)を設置したウグイの遊泳実験¹²⁾と同時に行われた魚道を遡上する淡水魚であるコイ科のオイカワ(*Zacco platypus*)について、突進速度と瞬間的突進速度(瞬間的時間で発揮できる最大遊泳速度と称する)について考察を加えたものである。

2. 実験装置と供試魚および実験方法・項目

遊泳速度の計測方法については、魚道内を流下する河

表-1 実験条件と供試魚(オイカワ)

実験月日	実験番号	天気	供試魚 (オイカワ)			V (cm/s)	σ	水温 (°C)	Do (mg/l)	pH	EC (μS/cm)	SS (mg/l)	照度 (lx)
			(尾)	平均体長 (cm)	σ (cm)								
2004年				(cm)	(cm)								
10月13日	Run.1	くもり	15	8.7	0.9	140	4	14.5	10.4	7.4	151	22	36600
2005年													
6月14日	Run.2	くもり	2	10.5	-	91	3	15.1	8.8	7.6	142	5	28725
7月26日	Run.3	あめ	16	8.0	2.0	124	5	19.4	8.7	7.3	196	10	12725
8月9日	Run.4	晴れ	31	7.8	1.0	144	3	23.4	8.6	7.4	218	8	79450
9月6日	Run.5	くもり	28	8.2	0.7	184	3	18.9	8.5	7.4	196	6	43915
10月4日	Run.6	あめ	11	8.4	0.9	195	7	13.2	10.5	7.5	187	9	11175
計			103										

注) 流速値Vのσは管内流速値の標準偏差。

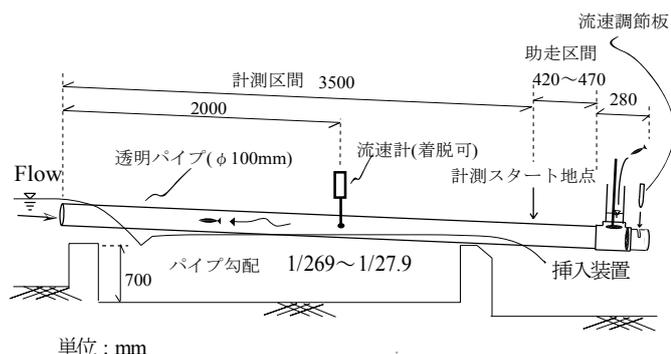


図-1 実験装置の概要

川水を用い、短時間の最大遊泳速度の計測が可能な円筒管内に流速を与えた一定距離の遊泳時間を計測する方法を採用した。

(1) 実験場所と実験装置

実験場所とした魚道は、青森県一級河川の岩木川に設置されている岩木川取水堰の全面越流型魚道(幅4.0m, 隔壁間隔3.0m, 勾配1:16.5, プール間落差0.20m)である。実験は2004年の10月から2005年の10月にかけて6回昼から午後にかけて行った(表-1)。

実験装置は図-1に示すように内径10cm, 長さ4mの透明塩化ビニール製の円筒パイプで組み立てたの上に固定され、円筒下流部には魚を円筒内に魚を挿入するT型スタンドパイプ(以後、挿入装置と呼ぶ)と流速調節用のソケットがそれぞれ取付けられている。また、円筒パイプの下半分を魚が識別しやすいように白色にし、上面には10cm間隔ごとに目印が付されている。さらに円筒パイプの中央部には円筒内の流速測定用の孔(φ=3cm)が設けられており、流速測定以外は閉じた状態である。なお、円筒の勾配は1:27.9~1:296である。

(2) 供試魚

実験に用いた供試魚は当該河川に生息している野生のオイカワである。オイカワは実験前日に当該魚道で採捕されたものを用い、河川内に設置された生簀内で24時間育養した。実験に用いた供試魚の総数は103尾、実験日ごとの平均体長は7.8cm~10.5cmの範囲で、時期によ

て平均体長にばらつきがあるものの10cm以下の小型のものが多い(表-1参照)。

オイカワの成長段階は7段階^{1,3)}あり、体長6cm~6.5cmは遊泳の活発な未成魚期、体長8.5cm~11cmは成熟期に分類されている。したがって、本実験で供されたオイカワは遊泳の活発な未成魚期から成熟期に相当する個体である。また、供試魚の円筒パイプ直径に対する供試魚の尾びれの振れ幅の影響については、供試魚の最大体幅が円筒パイプの直径10cmの1/3以下⁵⁾であり、尾びれの振れ幅の影響がない条件である。

(3) 実験方法・項目

実験時の水理条件として、円筒パイプ入口を水中に没し、円筒管内に気泡が混入しないよう満流状態にし、円筒末端部は大気放出で自由水面を持った流れとした。また、円筒パイプ入口部の流入水位は実験中一定とし、管内流速は円筒パイプ上・下流の動水勾配を変化させ調節した。

遊泳実験は、設定流速を維持できる調節用ソケットの調節板をわずかに開放してあらかじめ円筒管内に流れを与えておき、その後供試魚を1尾ずつ挿入装置に入れ、供試魚がその流れに定位置し自発的に上流へと泳ぎはじめるのを見計らって一気に調節用ソケットを全開にし、円筒管内が一定流速になるような操作を行った。

魚の遊泳速度の測定については、円筒パイプの上方約2.5mの高さにビデオカメラ(DCR-HC90; CCD-TRV66K, SONY)を2台設置して、円筒パイプ内を遊泳していく魚の遊泳動態を撮影・録画した。

供試魚の体長は遊泳の際のストレスを考慮して、遊泳に供した後に挿入装置から取り出し測定した。したがって、表-1の供試魚の体長は1尾ごとの実験後に測定されたものである。

また、実験時の気象条件として気温、水温、照度、水質(濁度・EC・pH・DO)を、円筒パイプ内の流速測定には三軸電磁流速計(ACM-300, アレック電子)とデータレコーダ(DR-F1; TEAC製)を用い、図-1に示す円筒パイプ中心部鉛直方向に底から2.5cm, 5.0cm, 7.5cmの3箇所をサンプリング間隔10Hzで各三軸方向成分(横断方

向、流下方向、深さ方向)の平均流速と流速変動(標準偏差)を100個のデータから求めた。さらに、円筒パイプ中心部鉛直方向の流速分布を調べるため外径6mmのピトー管を用い1cm間隔で詳細に測定した。

3. 突進速度の整理方法

供試魚の遊泳動態を観察すると、ウグイの実験^{1,2)}と同様にある距離を一気に遊泳するケース、ある距離まで遊泳するが一時後退し定位あるいは上流へとさらに遊泳するケースが見られたが、突進速度の整理方法については、いずれの場合も供試魚が円筒パイプ内を流れに逆らい遊泳し、力尽きて流されたときの距離とその間の遊泳時間を計測した。また、距離の計測開始地点は、供試魚が泳ぎはじめる際の流れの影響を考慮し、挿入装置から50cmの地点とした。したがって、挿入装置から50cm以上遊泳した供試魚を計測個体としてカウントした。さらに加えて、魚道隔壁の厚さが30cm程度の切り欠き部の最大流速が生じる流れ場を遊泳する瞬間的遊泳速度の調査研究事例があるので、ここでは50cmごとの距離を遊泳する時間も計測し、そのうち最も速い速度を瞬間的突進速度としてこれを調べた。各供試魚の遊泳時間の計測は1/5倍速再生で5回行い、最大・最小を除く3回の平均値をその供試魚の遊泳時間とした。また、供試魚の突進速度は遊泳距離を遊泳時間で除した速度に円筒パイプ内の代表流速を加え算出した。

4. 実験結果と考察

表-2は実験に用いた供試魚のうち計測された体長ごとの個体数を管内流速とともに示したものである。6回の実験で計測された個体数は体長5cm台~13cm台までの87個体で、実験日ごとの計測率は供試魚の遊泳意欲の個体差もありばらついている。全体の計測率は84%である。

(1) 水温・水質・管内流速条件

実験時の水温と河川流下水の水質は表-1に示されるように、水温：13.2℃~23.4℃、照度：11175lx~79450lx、pH：7.3~7.6、濁度：5~22(mg/l)、DO：8.5~10.5(mg/l)、EC：187~218(μS/cm)で、突進速度は水温の影響を受けないとされている²⁾。

また、図-2は円筒パイプ中心断面の鉛直流速分布の1例である。図の縦軸は底からの測定距離xとパイプ直径Dとの比、横軸は任意測点の流速値Uと最大流速値Umaxとの比でそれぞれ無次元化したものである。鉛直流速分布は中心部で一様な流れを形成するが、側壁近傍1cm前後で壁面粗度の影響を受け最大流速に比べ約10~20%遅いことがわかる。また、供試魚の遊泳動態から比較的側壁に近い領域を泳ぐ傾向が見られたので、供試魚の遊泳

表-2 体長ごとの計測数と管内流速

体長 (cm)	管内流速(cm/s)と尾数						合計
	91	124	140	144	184	195	
5				1			1
6		4		3	1		8
7		6	1	11	12	3	33
8			5	5	9	4	23
9		1	4	4	5		14
10	2	1	2			1	6
11		1					1
12							0
13		1					1
合計	2	14	12	24	27	8	87
計測率	100	88	80	77	96	73	84

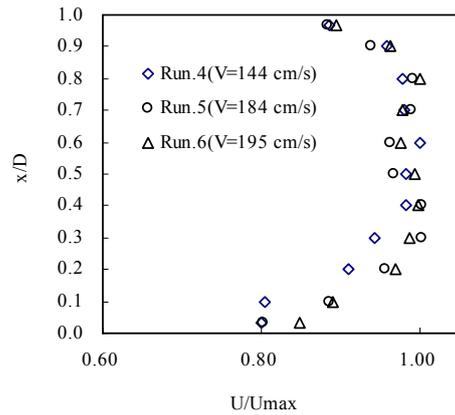


図-2 パイプ内の鉛直流速分布

速度に用いる管内流速Vについては、パイプ内の電磁流速計測定位置の3箇所のうち側壁に近い底から2.5cm、7.5cmの位置のどちらか小さい値を代表として採用した。表-1に示すように各実験における管内流速は91cm/s~195cm/sの範囲で、表-1の流速変動σは±3cm/s~±7cm/sである。

(2) 突進速度について

図-3は、管内流速ごとの突進速度と遊泳時間の関係を示したもので、全個体の突進速度と遊泳時間は94cm/s~308cm/s、0.14s~27.88sの範囲である。図から遊泳時間が長いほど突進速度は遅くなる傾向がわかる。

また、Blaxter²⁾による突進速度は1~5秒間持続できる最大遊泳速度と定義されているので、1~5秒間遊泳した個体の割合と平均遊泳時間、突進速度を調べた。その結果、全体の44%の38個体が1~5秒間遊泳し、その平均遊泳時間および突進速度は3.28s・215cm/sであった。さらに、5秒以上遊泳した個体は、48個体(55%)で平均遊泳時間と突進速度は9.07s・185cm/sであった。図-4にオイカワの体長ごとの突進速度を体長で割った値と遊泳時間の関係調べると、体長の10倍以上の速さで1~5秒間遊泳した個体は38個体(44%)で体長の平均27倍の速さであり、さらに体長の10倍以上の速さで5秒以上遊泳した個体は47個体(54%)で、これらを合わせるとほとんどの個体(98%)が体長の10倍以上の速さで1秒以上遊泳し

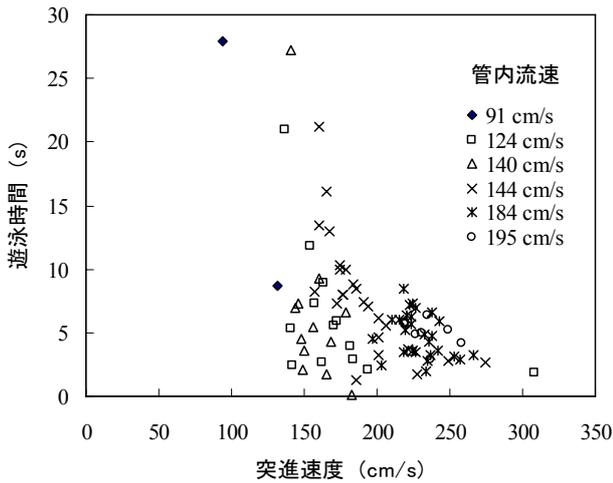


図-3 突進速度と遊泳時間の関係

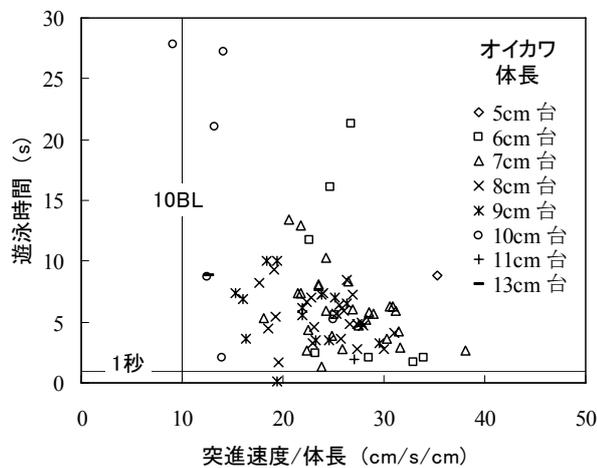


図-4 突進速度/体長と遊泳時間の関係

ている (表-3 参照).

また、図-5は表-3に示す体長7cm台(全33個体)と10cm台(全6個体)の管内流速条件の違いによる突進速度と遊泳時間、図-6、図-7はそれぞれ1~5秒間遊泳した個体、5秒以上遊泳した個体の突進速度と体長の関係をそれぞれ示したものである。図-5には標準偏差の大きさも示した。図-5から同一管内流速でも個体差があり変動する傾向を示すものの、管内流速が速くなるとオイカワの突進速度も速くなっており、ウグイ^{1,2)}と同様に流速に応じて遊泳していることがわかる。また、体長7cm台の体長が小さな個体に見られるように190cm/s前後の高流速の範囲で突進速度の上限値が見受けられ、この場合突進速度は230cm/s程度である。また、図-6に示される突進速度と体長の関係にはばらつきが見られるが、6個体(16%)が250cm/s以上の速い突進速度で遊泳している。また、図-7に示すように5秒以上遊泳した個体でも最大で240cm/s程度の突進速度である。

そこで、5秒以上遊泳した個体の突進速度も速いので、

表-3 突進速度と体長の倍数

	分類	個体数	割合 (%)	平均時間 (s)	倍数	
					平均速度 (cm/s)	標準偏差 (cm/s)
突進速度	全個体	87			198	
	分類 1秒以上	86	99	6.51	—	198
	1~5秒	38	44	3.28	—	215
	5秒以上	48	55	9.07		185
	体長の10倍以上					
	分類 1秒以上	86	99		25	198
1~5秒	38	44	3.28	27	215	
5秒以上	47	54	8.67	23	187	
瞬間的突進速度	184cm/s以上の高流速で1秒以上遊泳した個体の平均突進速度	35	40	4.86	230	$\sigma: \pm 1.60$ $\sigma: \pm 15$
	50cmの遊泳区間分類 全個体	78	90	0.81	31	246
瞬間的突進速度	184cm/s以上の高流速で遊泳した個体の平均突進速度	34	39	0.80	268	$\sigma: \pm 0.50$ $\sigma: \pm 37$

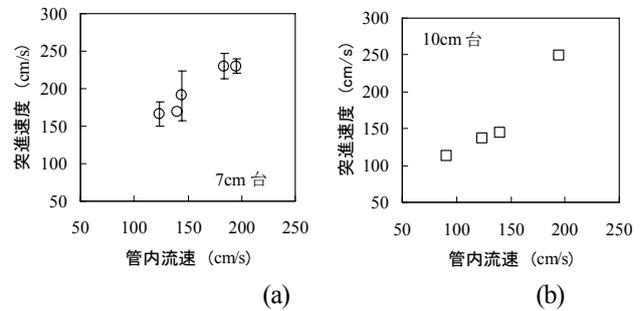


図-5 管内流速と突進速度の関係

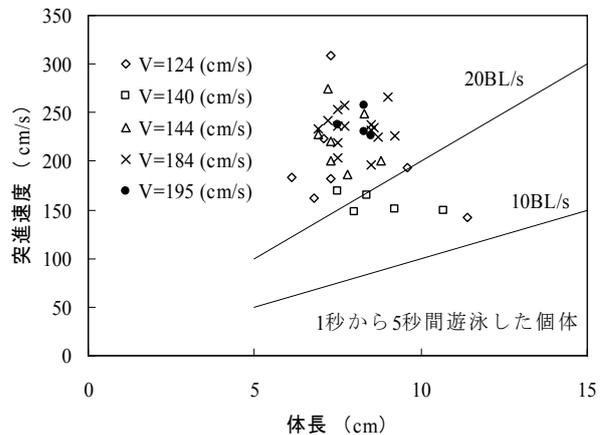


図-6 体長と突進速度の関係

いま仮りに全力で遊泳していると推測される184cm/s以上の高流速の条件で1秒以上遊泳した個体の平均突進速度を求めた。その結果、体長6cm台から10cm台までの35個体で平均突進速度は230cm/s ($\sigma = \pm 15$ cm/s)、平均遊泳時間は4.86s ($\sigma = \pm 1.60$ s)となった。鈴木^{1,4)}は室内の淡水魚の耐久遊泳速度の実験で、ウグイ(体長9cm~16cm, 平均約12cm)やオイカワ(体長9cm~15cm, 平均約10cm)

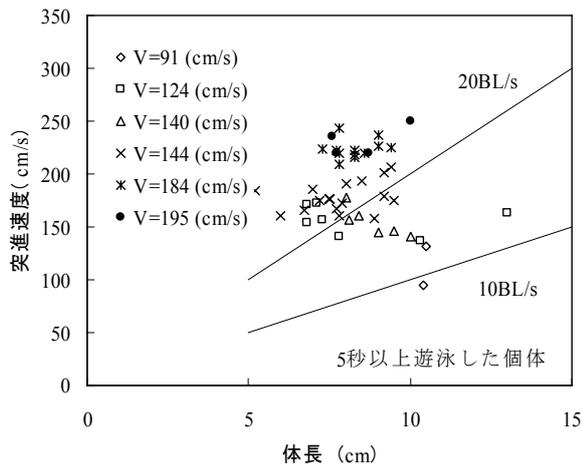


図-7 体長と突進速度の関係

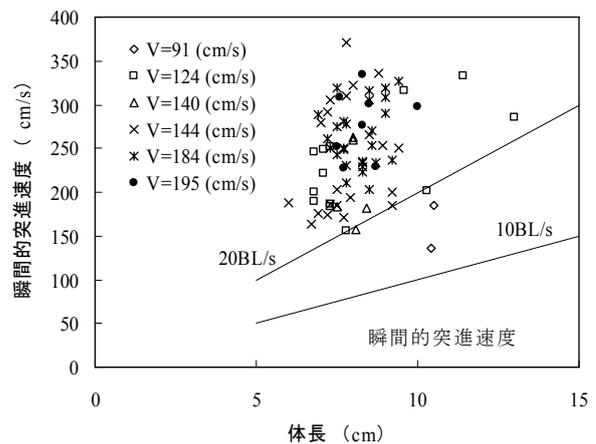


図-9 体長と瞬間的突進速度の関係

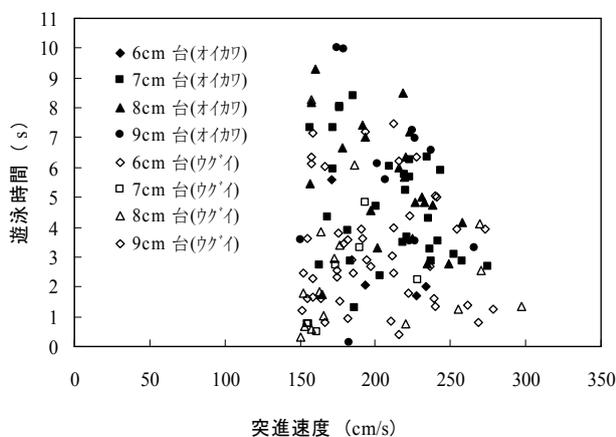


図-8 オイカワとウグイの遊泳時間の比較

の突進速度の限界値(遊泳時間は計測していない)を200 cm/s前後と推察しているが本実験のオイカワはこれよりも速く、遊泳速度の実験ではフィールド実験の方が室内実験に比べて速い傾向にあることもまた指摘されているなど⁵⁾、非常に興味深い結果である。しかしながら、体長が10cm以上の個体や体長が5cm台の小さな個体などについては個体数が少ないので、高流速の条件範囲を広げて今後さらなる実験的検討が必要である。

ここで、同様な方法で同時に実験された野生のウグイ^{1,2)}とオイカワの突進速度と遊泳時間を比較した。比較対象としたのは体長6cm台から9cm台までの小型魚で、150cm/s以上の速さで10秒まで遊泳した個体である。ウグイの管内流速は122cm/s~195cm/sでオイカワの実験と類似の流速条件である。図-8はオイカワとウグイの突進速度と遊泳時間の関係で、オイカワ67個体(平均体長: 8.1cm, 平均遊泳時間: 5.02s($\sigma = \pm 2.21$ s), 平均突進速度: 209cm/s($\sigma = \pm 31$ cm/s)), ウグイ69個体(平均体長: 7.8cm, 平均遊泳時間: 2.96s($\sigma = \pm 1.99$ s), 平均突進速度: 196cm/s($\sigma = \pm 39$ cm/s))である。図に示されるようにオイカワの遊泳時間がウグイに比較して長い傾向にあ

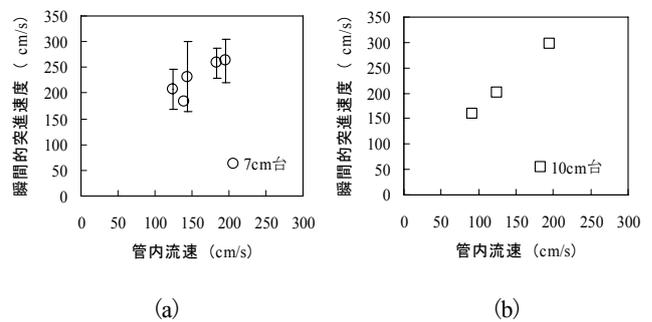


図-10 管内流速と瞬間的突進速度の関係

るので、両魚種の遊泳時間について差があるかどうかを調べた。その結果、遊泳時間は1%水準で有意に差が見られ(t検定, $P < 0.01$)、体長6cm台から9cm台までの小型魚はオイカワの方が突進的遊泳持久力が大きいことを示唆している。

(3) 瞬間的突進速度について

図-9は50cm以上遊泳した個体の瞬間的突進速度と体長の関係を示したものである。計測個体数は78個体、瞬間的突進速度と遊泳時間の平均値はそれぞれ246cm/s、0.81sで、瞬間的突進速度を体長で割った値の平均値は31倍と大きい。また、突進速度と瞬間的突進速度の違いを調べると瞬間的突進速度は図-6の1秒から5秒間遊泳した突進速度より1.14倍速いことがわかった。さらに流速条件の違いで調べると、図-10に示されるように管内流速が速くなると瞬間的突進速度も速くなっており、突進速度と同様流速に応じて遊泳していることがわかる。また、高流速では図-10(a)の体長7cm台の小さな魚に見られるようにウグイ^{1,2)}と同様に瞬間的突進速度についても限界値があると考えられる。したがって、突進速度と同様に瞬間的突進速度についても184cm/s以上の高流速の条件で遊泳した個体の平均瞬間的突進速度を求めた。その結果、体長5cm台から9cm台までの34個体で

平均値は268cm/s ($\sigma = \pm 37$ cm/s), 平均遊泳時間は0.80s ($\sigma = \pm 0.50$ s)となった(表-3参照). 高流速の条件で求めた突進速度の1.17倍である.

ここで, 現地魚道隔壁での遊泳速度に関する調査研究事例¹⁰⁾では, 平均体長8.7cmのアユ・ウグイが距離約20cmの越流部を190cm/s~250cm/sの遊泳速度で0.25sの短時間で遊泳していくことが明らかにされている. これと本実験の瞬間的突進速度を比較すると高流速の条件で瞬間的突進速度268cm/s(0.80s)の遊泳速度を發揮しており, 現地魚道で計測された事例とも酷似している. このように, 50cmの距離を遊泳する瞬間的突進速度が突進速度に比べ1割程度速いことを考えると, 魚道内の流れが速いほど瞬間的突進速度に相当する遊泳速度でごく短時間に遊泳すると推察されるので, 短距離を瞬時に遊泳するような瞬間的突進速度とその遊泳時間の考え方も魚道設計の一つの重要な要因になると考えられる.

5. まとめと今後の課題

現地河川の魚道中に円筒パイプを設置した野生のオイカワ(体長:5cm台~13cm台)の遊泳実験を行い, 1~5秒間遊泳した個体の突進速度と50cmの距離を最大で泳いだ個体の瞬間的突進速度について検討した. 本実験で得られた知見は以下のとおりである.

(1) 管内流速が91cm/s~195cm/sの範囲で体長の10倍以上の速さで1~5秒間遊泳した突進速度は, 体長の平均27倍の速さであった.

(2) 突進速度と瞬間的突進速度ともオイカワは管内流速に応じて遊泳する傾向を示し, ある高流速の条件範囲では突進速度に上限値が見られた. また, 突進速度と体長の関係については本実験の流速条件では体長との関係にばらつきが見られた. 瞬間的突進速度は, 突進速度に比較して1.14倍速いことがわかった.

(3) 管内流速が185cm/sの高流速の条件で遊泳した体長6cm台から10cm台までの突進速度と瞬間的突進速度は, 平均突進速度230cm/s ($\sigma = \pm 15$ cm/s), 平均遊泳時間4.86s ($\sigma = \pm 1.60$ s), 瞬間的突進速度268cm/s ($\sigma = \pm 37$ cm/s), 平均遊泳時間0.80s ($\sigma = \pm 0.50$ s)であった.

(4) 体長6cm台から9cm台までのオイカワの遊泳時間と既往のウグイの実験のそれと比較したところ有意に差が見られ, 小型魚ではオイカワの方が突進的遊泳持久力が大きいことが示唆された.

今後の課題としては, ウグイ¹²⁾と同様に高流速の条件における体長が小さな個体も含めた実験や, 強制的に泳がせることの魚へのストレスの影響を考えた突進速度の計測方法の工夫, さらにには実際の魚道の複雑な流れ場を想定した実験条件での遊泳実験の検討もまた必要である.

謝辞: 本実験を行うに当たり, 岩木川漁協, 弘前市水道部をはじめとする関係各位, 並びに弘前大学農学生命科学部当時の伊東竜太君, 清水康統君, 伏見佳奈子君, 神山公平君, 福井智彦君, 山本泰之君, 吉崎裕美君の院生, 学生諸氏から多大な協力と援助をいただいた. ここに記して, 心より感謝の意を表します. また, 本研究の一部は文科省科学研究補助金(基盤研究(B)課題番号16380154, 代表:東信行)を受けている.

参考文献

- 1) 廣瀬利雄・中村中六:魚道の設計, 山海堂, pp. 7-8, pp. 170-171, pp. 207, 1991.
- 2) Blaxter, J.H.S.: Swimming Speeds of Fish, *Proceedings of the FAO Conference on Fish Behaviour in relation to Fishing Techniques and Tactics, in Bergen, Norway*, pp.69-100, 1967.
- 3) Blaxter, J.H.S. and W.Dickson: Observations on the Swimming Speeds of Fish, *J. Conseil Permanent International pour Exploration de la mer (Bureau du Conseil)*, 24, pp.472-479, 1959.
- 4) Bainbridge, R.: Speed and Stamina in Three Fish, *J. Experimental Biology*, 37, pp.129-153, 1960.
- 5) 塚本勝巳・梶原 武: 魚類の遊泳速度と遊泳能力, 水産土木, Vol. 10, No. 1, pp. 31-36, 1973.
- 6) T.Tukamoto・T.Kajihara・M.Nishiwaki: Swimming Ability of Fish, *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 41(2), pp. 167-174, 1975.
- 7) Beamish, F.W.H.: Swimming Capacity, *In Fish physiology*, Vol (7) (edited by W.S.Hoar and D.J.Randall), Academic Press, London, pp.101-187, 1978.
- 8) Videler, J.J.: Fish Swimming, *Chapman & Hall, London*, pp.210-217, 1993.
- 9) 大熊一正・佐々木正吾・和田有正・戸嶋忠良: スタミナトンネルを用いて測定したサケ稚魚の瞬発遊泳速度, さけ・ます資源管理センター研究報告, 第1号, pp.45-48, 1998.
- 10) 泉 完・高屋大介・工藤 明・東 信行: アイスハーバー型魚道における魚類の隔壁遡上特性, 一赤石川赤石第2頭首工の魚道を事例にして, 農業土木学会論文集, 217, pp.55-63, 2002.
- 11) 泉 完・菅原賢治・工藤 明・東 信行: パーチカルスロット型魚道におけるアメマスの現地放流実験, 農業土木学会誌, Vol.72-7, pp.45-50, 2004.
- 12) 泉 完・矢田谷健一・東 信行・工藤 明: 河川流下水を用いたスタミナトンネルによるウグイの突進速度について, 農業土木学会論文集, 244, pp.171-178, 2006.
- 13) 駒田格知: オイカワの椎体の成長, 魚類学雑誌, 28巻4号, pp.437-444, 1982.
- 14) 鈴木興道: 魚道の設計に資する淡水魚類の耐久遊泳速度, 土木学会論文集, No. 622/VII-11, pp. 107-115, 1999.