

# 体長の異なる同魚種に対するオイカワの行動特性

鬼東 幸樹<sup>1</sup>・秋山 壽一郎<sup>2</sup>・野口 翔平<sup>3</sup>・  
三原 和也<sup>4</sup>・内田 和馬<sup>5</sup>・武田 知秀<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 九州工業大学大学院教授 建設社会工学研究系 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)  
E-mail: onitsuka@civil.kyutech.ac.jp

<sup>2</sup>フェロー会員 九州工業大学教授 建設社会工学研究系 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

<sup>3</sup>(株)建設技術研究所 大阪本社 水工部 (〒541-0045 大阪市中央区道修町 1-6-7)

<sup>4</sup>(株)トヨタプロダクションエンジニアリング プレス・内外装エンジニアリング部  
(〒811-4157 宗像市アスティ 1-6)

<sup>5</sup>北九州市建設局 河川部 水環境課 (〒803-8501 北九州市小倉北区内 1-1)

<sup>6</sup>学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

各魚種の遊泳挙動を予測できれば、河川構造物を合理的に設計することが可能になる。しかし、魚の遊泳挙動に関する研究は同一体長の同魚種のみを対象とした解析がほとんどで、極めて限られた条件下でしか魚の遊泳挙動を評価できないと言える。河川には体長の異なる同魚種が生息しているため、それらの存在が魚の遊泳挙動に及ぼす影響について検討する必要がある。本研究は静止流体中において小型のオイカワの尾数を固定し、大型のオイカワの尾数を変化させ、遊泳位置および魚向を解析した。その結果、魚群としての遊泳挙動は大型魚の遊泳挙動の影響を受けやすく、大型魚の尾数の増加に伴いその傾向は顕著になることが示唆された。

**Key Words:** avoid action, conspecific fishes, *Opsariichthys platypus*, body length

## 1. はじめに

魚がすみやすい川づくりを推進するために、魚の遊泳特性の把握が進められている。各魚種の遊泳挙動を予測できれば、魚道<sup>1)</sup>や迷入防止装置<sup>2)</sup>といった河川構造物を合理的に設計することが可能になる。

近年、魚の遊泳挙動をモデル化する試みが行われてきた。Sannomiya & Matsuda<sup>3)</sup>は魚群内の魚の相対位置を個体間引力や成群力などをパラメータとするモデルを提案した。橋本ら<sup>4)</sup>は Reynolds<sup>5)</sup>によって提案された群れ行動モデルを用いて魚の遊泳挙動を計算した。鬼東ら<sup>6,7)</sup>は1尾および2尾で遊泳するアユの遊泳軌跡を直線と屈折でモデル化し、遊泳速度や遊泳距離を定量的に評価した。

また、各モデルを構成するパラメータの定量把握が進んでいる。個体間引力を検討した研究として、兼廣ら<sup>8)</sup>の研究が挙げられる。彼らは体長が約46mmのタイリクバラタナゴ(*Rhodeus ocellatus ocellatus*)を2, 3および5尾に変化させて静止流体中での遊泳挙動を観察し、尾数と無関係に平均個体間距離が体長の約1.4~1.7倍という結果を得た。鬼東ら<sup>9,10)</sup>は2および3尾のアユ(*Plecoglossus*

*altivelis altivelis*)を開水路内に放流し、体長倍流速を0~10(1/s)の範囲で変化させて遊泳挙動を観察した。その結果、魚群である3尾のアユでは成群力が働くため、2尾に比べ最寄りのアユとの個体間距離を保持しようとする傾向が強いことを解明した。

以上のように、魚の遊泳挙動に関する研究が進められているが、これらの研究は同一体長の同魚種のみを対象とした解析がほとんどである。そのため、現在までに集積されている知見では極めて限られた条件下でしか魚の遊泳挙動を評価できないと言える。魚の遊泳挙動を正確に予測するにはさらに多くのパラメータについて定性的・定量的に検討する必要がある。河川には体長の異なる同魚種や他魚種が生息しており、それらの存在が魚の遊泳挙動に影響を及ぼすと推定される。

周囲に存在する他魚種による魚の遊泳挙動への影響を取り扱ったものとして、川那部<sup>11)</sup>の研究が挙げられる。川那部はアユが瀬で摂食を始めると、瀬にいたオイカワ(*Opsariichthys platypus*)が淵へ忌避し、淵にいたカワムツ(*Candidia temminckii*)が瀬に忌避することを報告した。鬼東ら<sup>12)</sup>は、潜水艦模型と超小型ワイヤレルカメラを用い

た魚類生息調査に基づき、魚は体長の大きな他魚種を忌避する傾向があると報告した。また、鬼束ら<sup>13)</sup>は北九州市を貫流する二級河川板櫃川を対象として、2台のカメラを用いて一定区間を撮影することにより、魚類生息場の魚種間の棲み分けおよびその季節変化を観察した。その結果、オイカワはギンブナ(*Carassius auratus langsdorffii*)を一定の季節のみ忌避し、カワムツはギンブナおよび体長が80mm以上のオイカワを全季節で忌避することを統計的に証明した。

以上のように、体長の異なる他魚種に対する行動特性の報告はいくつか存在するが、体長の異なる同魚種に対する行動特性に関する研究はほとんどなされていない。本研究は、静止流体中において体長の異なる同魚種に対するオイカワの行動特性を解明したものである。

## 2. 実験装置および実験条件

図-1に示す直径1.83mの円形プールに注水し、水深を0.05mにした。水深を浅く設定した理由は、3次元での魚の挙動を解析することは困難を伴うからである。既往の研究でも水深方向の変化を排除するため、水深を浅くして実験が行われていることを踏まえた。図-2および表-1に示すように、平均体長 $\bar{B}_s$ が30mmのオイカワの尾数 $N_s$ を5尾に固定し、平均体長 $\bar{B}_l$ が70mmのオイカワの尾数 $N_l$ を0~10尾の間で6通りに変化させた。以下では前者を「小魚」、後者を「大魚」と呼称し、それぞれが形成する魚群を「小魚群」および「大魚群」と呼称する。また、それぞれの諸量を表す添字として、S(Small), L(Large)を用いる。

各ケースにおいてプール内に大魚が存在しない状態あるいは、大魚が1~10尾で遊泳している状態で、5尾の小魚をプール中心に設置した直径0.25mの円筒状金網内で遊泳させる。なお、水温が実験に与える影響を排除するため、実験時の水温はオイカワを採取した河川の水温と一致するように20℃とした。小魚が馴致したことを確認した後、金網を取り上げ、プール上部に設置した画素数1440×1080、撮影速度30fpsのビデオカメラで30分間撮影した。撮影した動画を1s刻みに分割し、各魚の遊泳位置および魚向を得るとともに、大魚群と小魚群の魚群重心位置、魚群半径、個体間距離、魚向偏差について考察した。

## 3. 実験結果および考察

### (1) 大魚群と小魚群の魚群重心間距離

図-3に大魚群と小魚群との魚群重心間距離 $L_G$ を小魚

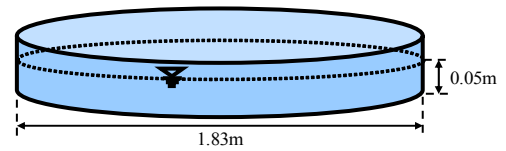


図-1 実験装置の概要

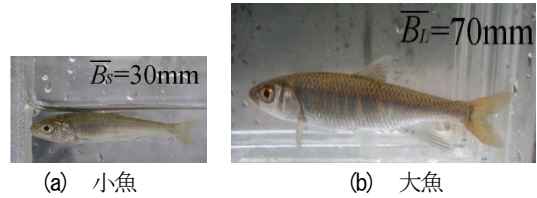


図-2 実験に用いたオイカワ

表-1 実験条件

case name	C0	C1	C2	C3	C5	C10
$N_L$ (尾)	0	1	2	3	5	10
$N_S$ (尾)	5					

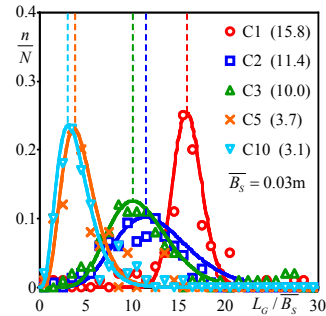


図-3 魚群重心間距離の頻度分布

表-2 計算に用いた係数

case name	$f(L_G/\bar{B}_s)$	
	$\alpha$	$\gamma$
C1	102	0.16
C2	9.5	1.3
C3	11	1.0
C5	6.1	0.75
C10	4.7	0.85

の平均体長 $\bar{B}_s$ で除した体長倍魚群重心間距離 $L_G/\bar{B}_s$ の頻度分布をケース別に示す。体長倍魚群重心間距離 $L_G/\bar{B}_s$ はいずれのケースも低値が高頻度で高値方向に裾を持つ形状を示す。そこで、式(1)、(2)に示すガンマ分布を採用し図中に曲線で示す。

$$f(L_G/\bar{B}_s) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \alpha^\lambda (L_G/\bar{B}_s)^{\lambda-1} e^{-\alpha L_G/\bar{B}_s} \quad (1)$$

$$\Gamma(\lambda) = \int_0^\infty e^{-x} x^{\lambda-1} dx \quad (2)$$

凡例横の( )内の数値および点線は最頻値を示している。表-2に最小二乗法より算出した係数 $\alpha$ および $\lambda$ を示す。大魚の尾数 $N_L$ の増加に伴い体長倍魚群重心間距離 $L_G/\bar{B}_s$ の最頻値は減少している。

図-4に大魚の尾数 $N_L$ と魚群重心間距離の最頻値 $\hat{L}_G$ を小魚の平均体長 $\bar{B}_s$ で除した値 $\hat{L}_G/\bar{B}_s$ との関係を示す。 $\hat{L}_G/\bar{B}_s$ は高値方向に減少量が小さくなっていることから両者の関係を最小二乗法より算出した累乗曲線で示す。なお、図中の $R^2$ は決定係数である。大魚の尾数 $N_L$ の増加に伴い $\hat{L}_G/\bar{B}_s$ は減少している。しかし、大魚の尾数 $N_L$ が1尾( $\hat{L}_G/\bar{B}_s=15.8$ )から5尾( $\hat{L}_G/\bar{B}_s=3.7$ )に増加

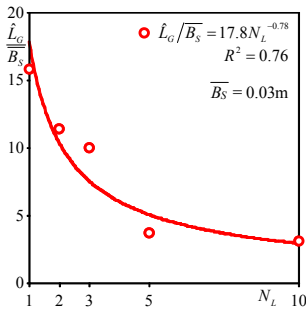


図-4 魚群重心間距離の最頻値

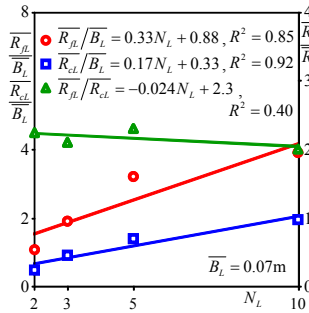


図-5 大魚群の魚群半径

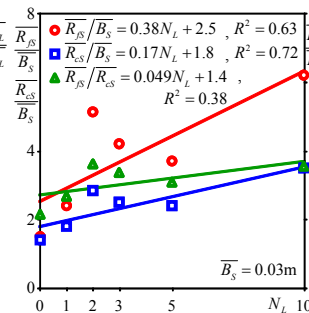


図-6 小魚群の魚群半径

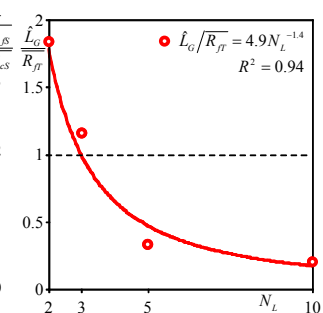


図-7 魚群重心間距離と魚群半径との比

するときと比較して、大魚の尾数  $N_L$  が 5 尾から 10 尾 ( $\hat{L}_G/\bar{B}_S=3.1$ ) に増加するときの  $\hat{L}_G/\bar{B}_S$  の減少量は小さくなり、 $\hat{L}_G/\bar{B}_S$  の値は約 3 に近づいている。以上のことから、大魚の尾数  $N_L$  が増加すると小魚群と大魚群は接近し、魚群間距離は小魚の平均体長  $\bar{B}_S$  の約 3 倍に近づくことが判明した。

## (2) 大魚群と小魚群の魚群半径

大魚群および小魚群の両者の形状は進行方向に長軸を有する楕円のような形をしていた。そこで、魚群の長軸および短軸方向の魚群半径を算出し、それらの平均値  $\bar{R}_r$  および  $\bar{R}_c$  を求めた。

図-5 に大魚の尾数  $N_L$  と大魚群の進行方向魚群半径の平均値  $\bar{R}_r$  を大魚の平均体長  $\bar{B}_L$  で除した体長倍進行方向魚群半径  $\bar{R}_r/\bar{B}_L$ 、進行方向に直角方向の魚群半径の平均値  $\bar{R}_{cl}$  を大魚の平均体長  $\bar{B}_L$  で除した体長倍横断方向魚群半径  $\bar{R}_{cl}/\bar{B}_L$  および両魚群半径比  $\bar{R}_r/\bar{R}_{cl}$  との関係を示すとともに、それぞれの関係を最小二乗法で求めて直線で示す。大魚の尾数  $N_L$  の増加に伴い体長倍進行方向魚群半径  $\bar{R}_r/\bar{B}_L$  および体長倍横断方向魚群半径  $\bar{R}_{cl}/\bar{B}_L$  の両者ともに増加しており、増加率は類似している。そのため、大魚の尾数  $N_L$  が増加しても魚群半径比  $\bar{R}_r/\bar{R}_{cl}$  の値は約 2 で、ほぼ一定値を示している。したがって、大魚の尾数  $N_L$  が増加すると大魚群の大きさが増加するが、その形状は変化しないことが判明した。

図-6 に大魚の尾数  $N_L$  と小魚群の進行方向魚群半径の平均値  $\bar{R}_s$  を小魚の平均体長  $\bar{B}_S$  で除した体長倍進行方向魚群半径  $\bar{R}_s/\bar{B}_S$ 、進行方向に直角方向の魚群半径の平均値  $\bar{R}_{cs}$  を小魚の平均体長  $\bar{B}_S$  で除した体長倍横断方向魚群半径  $\bar{R}_{cs}/\bar{B}_S$  および両魚群半径比  $\bar{R}_s/\bar{R}_{cs}$  との関係を示すとともに、それぞれの関係を最小二乗法で求めて直線で示す。大魚の尾数  $N_L$  の増加に伴い体長倍進行方向魚群半径  $\bar{R}_s/\bar{B}_S$  および体長倍横断方向魚群半径  $\bar{R}_{cs}/\bar{B}_S$  の両者ともに増加するが、増加率は前者のほうが大きい。そのため、大魚の尾数  $N_L$  が増加すると魚群半径比  $\bar{R}_s/\bar{R}_{cs}$  は増加している。小魚群の尾数は 5 尾で固定しているため、魚群形状の変化は大魚の尾数変化に

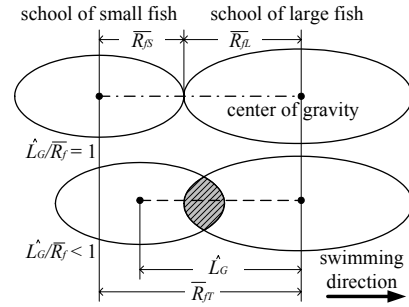


図-8 魚群重複の様子

よって生じたと言える。

## (3) 大魚群と小魚群の重複状況

魚群重心間距離の最頻値  $\hat{L}_G$  と大魚群および小魚群それぞれの進行方向魚群半径の平均値  $\bar{R}_r$  および  $\bar{R}_s$  の和  $\bar{R}_r$  との比  $\hat{L}_G/\bar{R}_r$  を算出した。図-7 に大魚の尾数  $N_L$  と  $\hat{L}_G/\bar{R}_r$  との関係を示す。 $\hat{L}_G/\bar{R}_r$  は高値方向に減少量が小さくなっていることから両者の関係を最小二乗法より算出した累乗曲線で示す。大魚の尾数  $N_L$  が 2 および 3 尾では  $\hat{L}_G/\bar{R}_r$  が 1 よりも大きな値を示している。これは大魚群と小魚群が重複していないことを意味している。しかし、大魚の尾数  $N_L$  が 3 尾以上では  $\hat{L}_G/\bar{R}_r$  が 1 以下の値を示している。これは図-8 に示すように、両魚群が重複していることを意味している。また、大魚の尾数  $N_L$  の増加に伴い  $\hat{L}_G/\bar{R}_r$  は減少している。しかし、大魚の尾数  $N_L$  が 2 尾 ( $\hat{L}_G/\bar{R}_r=1.8$ ) から 5 尾 ( $\hat{L}_G/\bar{B}_S=0.33$ ) に増加するときと比較して、大魚の尾数  $N_L$  が 5 尾から 10 尾 ( $\hat{L}_G/\bar{R}_r=0.23$ ) に増加するときの  $\hat{L}_G/\bar{R}_r$  の減少量は小さく、 $\hat{L}_G/\bar{R}_r$  の値は約 0.2 に近づいている。以上のことから、大魚の尾数  $N_L$  が増加すると両魚群は接近し、重複領域が増加することが判明した。

## (4) 魚群内における大魚と小魚の遊泳位置

図-9 に大魚の尾数  $N_L$  と大魚群の先頭魚から大魚群および小魚群の魚群重心までの平均距離  $\bar{L}_L$ 、 $\bar{L}_S$  を小魚の平均体長  $\bar{B}_S$  で除した体長倍距離  $\bar{L}_L/\bar{B}_S$ 、 $\bar{L}_S/\bar{B}_S$  との関係を示すとともに、それぞれの関係を最小二乗法で

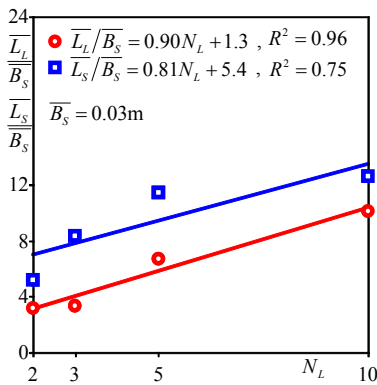


図-9 先頭魚から各魚群重心までの距離

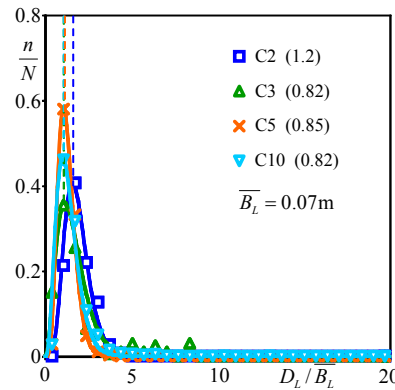


図-10 大魚同士の個体間距離の頻度分布

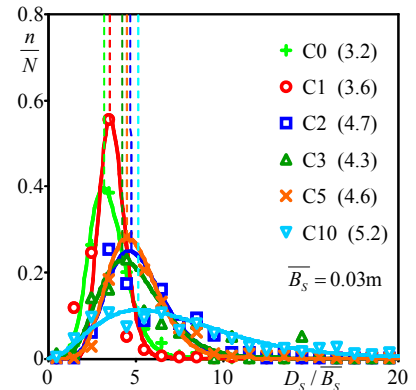


図-11 小魚同士の個体間距離の頻度分布

求めて直線で示す。いずれの尾数においても先頭魚から大魚群重心までの体長倍距離  $\overline{L_L/B_S}$  の値は小魚群までの体長倍距離  $\overline{L_S/B_S}$  の値より小魚の平均体長  $\overline{B_S}$  の約 4 倍小さい。したがって、いずれの尾数においても大魚群が小魚群よりも進行方向の前方に位置していることが判明した。

### (5) 個体間距離の変化

図-10 に大魚同士の個体間距離  $D_L$  を大魚の平均体長  $\overline{B_L}$  で除した体長倍個体間距離  $D_L/\overline{B_L}$  の頻度分布をケース別に示す。大魚同士の体長倍個体間距離  $D_L/\overline{B_L}$  はいずれのケースも低値が高頻度で高値方向に裾を持つ形状を示す。そこで、式(1)、(2)において  $L_G$  を  $D_L$  に、 $\overline{B_S}$  を  $\overline{B_L}$  に置き換えたガンマ分布を採用し図中に曲線で示すとともに、凡例横の ( ) および点線を用いて最頻値を示す。表-3 に最小二乗法より算出した係数  $\alpha$  および  $\lambda$  を示す。大魚の尾数  $N_L$  が増加しても大魚同士の体長倍個体間距離  $D_L/\overline{B_L}$  の最頻値は 1.2~0.8 で、ほぼ一定値を示している。

図-11 に小魚同士の個体間距離  $D_S$  を小魚の平均体長  $\overline{B_S}$  で除した体長倍個体間距離  $D_S/\overline{B_S}$  の頻度分布をケース別に示す。小魚同士の体長倍個体間距離  $D_S/\overline{B_S}$  はいずれのケースも低値が高頻度で高値方向に裾を持つ形状を示す。そこで、式(1)、(2)において  $L_G$  を  $D_S$  に置き換えたガンマ分布を採用し図中に曲線で示すとともに、凡例横の ( ) および点線を用いて最頻値を示す。表-3 に最小二乗法より算出した係数  $\alpha$  および  $\lambda$  を示す。大魚の尾数  $N_L$  の増加に伴い小魚同士の体長倍個体間距離  $D_S/\overline{B_S}$  の最頻値は増加している。この結果は大魚同士の個体間距離  $D_L/\overline{B_L}$  の結果と異なる。

図-12 に大魚の尾数  $N_L$  と大魚および小魚同士の個体間距離の最頻値  $\hat{D}_L$ 、 $\hat{D}_S$  を大魚の平均体長  $\overline{B_L}$ 、小魚の平均体長  $\overline{B_S}$  でそれぞれ除した値  $\hat{D}_L/\overline{B_L}$ 、 $\hat{D}_S/\overline{B_S}$  との関係を示すとともに、それぞれの関係を最小二乗法で求めて直線で示す。大魚同士の個体間距離に着目すると、

表-3 計算に用いた係数

case name	$f(D_L/\overline{B_L})$		$f(D_S/\overline{B_S})$	
	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$
C0			10.9	0.32
C1			26.1	0.14
C2	7.3	0.38	10	0.52
C3	3.6	0.66	7.2	0.69
C5	6.8	0.28	11	0.44
C10	4.8	0.42	3.3	2.3

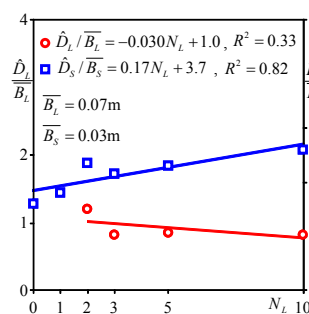


図-12 大魚の尾数と個体間距離

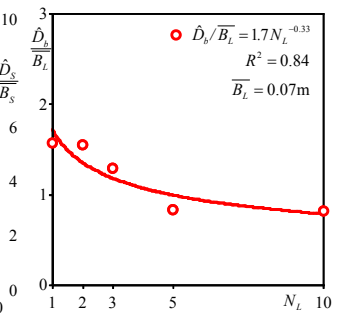


図-13 小魚と最寄りの大魚の個体間距離

大魚の尾数  $N_L$  が増加しても  $\hat{D}_L/\overline{B_L}$  の値は約 1.0 で、ほぼ一定値を示している。一般に、魚は同魚種で同体長の魚群で遊泳する際、最寄りの魚との個体間距離を体長の約 1 倍に保つと言われており<sup>8)</sup>、既往の研究と類似した結果となっている。

一方、小魚同士の個体間距離に着目すると、大魚の尾数  $N_L$  の増加に伴い  $\hat{D}_S/\overline{B_S}$  は増加し、 $N_L$  が 10 尾では  $\hat{D}_S/\overline{B_S}$  の値は約 5 に達する。したがって、大魚の尾数  $N_L$  が増加すると小魚同士の個体間距離が増加することが判明した。図-7 より大魚の尾数  $N_L$  が 3 尾を超えると大魚群と小魚群が重複することから、大魚の尾数  $N_L$  が増加すると小魚間に大魚が存在するようになる。そのため、小魚は大魚との間で一定の距離を保とうとして小魚同士の個体間距離が増加したと考えられる。

図-13 に大魚の尾数  $N_L$  と小魚と最寄りの大魚との個体間距離の最頻値  $\hat{D}_S$  を大魚の平均体長  $\overline{B_L}$  で除した値

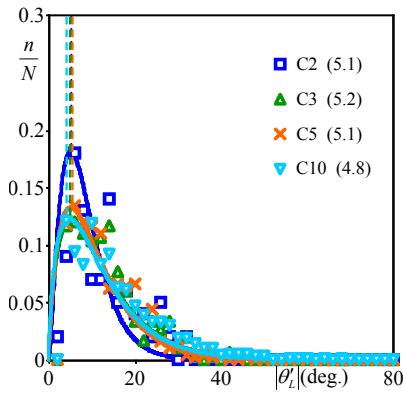


図-14 大魚の魚向偏差の頻度分布

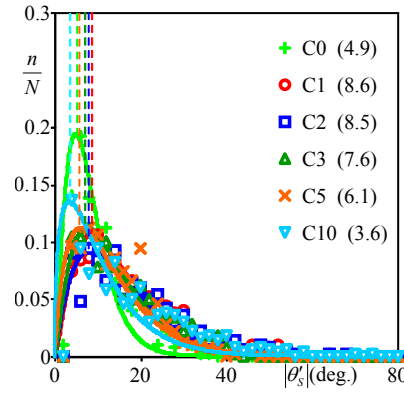


図-15 小魚の魚向偏差の頻度分布

表-4 計算に用いた係数

case name	$f( \theta'_L )$		$f( \theta'_S )$	
	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$
C0			2.6	3.1
C1			2.5	5.8
C2	2.5	3.4	2.1	7.6
C3	1.8	6.7	2.3	5.90
C5	1.9	5.8	1.9	6.8
C10	1.7	6.9	1.5	7.2

$\hat{D}_b / \bar{B}_L$  との関係を示す。  $\hat{D}_b / \bar{B}_L$  は高値方向に減少量が小さくなっていることから両者の関係を最小二乗法より算出した累乗曲線で示す。大魚の尾数  $N_L$  の増加に伴い  $\hat{D}_b / \bar{B}_L$  は減少している。しかし、大魚の尾数  $N_L$  が 1 尾 ( $\hat{D}_b / \bar{B}_L = 1.6$ ) から 5 尾 ( $\hat{D}_b / \bar{B}_L = 0.83$ ) に増加するときと比較して、大魚の尾数  $N_L$  が 5 尾から 10 尾 ( $\hat{D}_b / \bar{B}_L = 0.82$ ) に増加するときの  $\hat{D}_b / \bar{B}_L$  の減少量は小さく、  $\hat{D}_b / \bar{B}_L$  の値は約 0.8 に近づいている。以上のことから、小魚が大魚とともに遊泳する場合、大魚の尾数  $N_L$  が増加すると小魚と最寄りの大魚は接近し、大魚の平均体長  $\bar{B}_L$  の約 0.8 倍に近づくことが判明した。

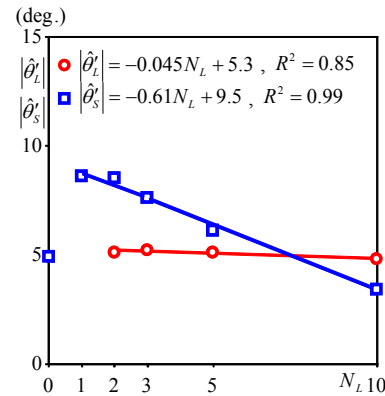


図-16 大魚の尾数と大魚群・小魚群の魚向偏差

## (6) 魚向偏差の変化

各魚の先端部と後端部を結んだ線から魚向を算出した。大魚群および小魚群の魚向の平均値をそれぞれ求め、平均値からの差の絶対値を魚向偏差  $|\theta'|$  (deg.) と定義する。

図-14 に大魚の魚向偏差  $|\theta'_L|$  (deg.) の頻度分布をケース別に示す。大魚の魚向偏差  $|\theta'_L|$  (deg.) はいずれのケースも低値が高頻度で高値方向に裾を持つ形状を示す。そこで、式(1)、(2)において  $L_G / \bar{B}_S$  を  $|\theta'_L|$  に置き換えたガンマ分布を採用し図中に曲線で示すとともに、凡例横の( ) および点線を用いて最頻値を示す。表-4 に最小二乗法より算出した係数  $\alpha$  および  $\gamma$  を示す。大魚の尾数  $N_L$  が増加しても大魚の魚向偏差  $|\theta'_L|$  (deg.) の最頻値は 5.2-4.8(deg.) で、ほぼ一定値を示している。

図-15 に小魚の魚向偏差  $|\theta'_S|$  (deg.) の頻度分布をケース別に示す。小魚の魚向偏差  $|\theta'_S|$  (deg.) はいずれのケースも低値が高頻度で高値方向に裾を持つ形状を示す。そこで、式(1)、(2)において  $L_G / \bar{B}_S$  を  $|\theta'_S|$  に置き換えたガンマ分布を採用し図中に曲線で示すとともに、凡例横の( ) および点線を用いて最頻値を示す。表-4 に最小二乗法より算出した係数  $\alpha$  および  $\gamma$  を示す。大魚の尾数  $N_L$  が 0 の場合を除くと、大魚の尾数  $N_L$  の増加に伴い小魚の魚向偏差  $|\theta'_S|$  (deg.) の最頻値は減少している。

図-16 に大魚の尾数  $N_L$  と大魚および小魚の魚向偏差の最頻値  $|\hat{\theta}'_L|$  (deg.)、  $|\hat{\theta}'_S|$  (deg.) との関係を示すとともに、

それぞれの関係を最小二乗法で求めて直線で示す。ただし、  $|\hat{\theta}'_S|$  (deg.) の回帰直線を算出する際、大魚の尾数  $N_L$  が 0 の場合は除いている。大魚の魚向偏差に着目すると、大魚の尾数  $N_L$  が増加しても  $|\hat{\theta}'_L|$  (deg.) の値は約 5(deg.) で、ほぼ一定を示している。これは大魚の遊泳挙動が尾数変化に依存しないことを示している。

一方、小魚の魚向偏差に着目すると、大魚の尾数  $N_L$  が 0 尾の場合は  $|\hat{\theta}'_S|$  (deg.) の値は 4.9(deg.) と比較的小さいが、大魚の尾数  $N_L$  が 1 尾に増加すると  $|\hat{\theta}'_S|$  は 8.6(deg.) に増加している。ところが、大魚の尾数  $N_L$  のさらなる増加に伴い  $|\hat{\theta}'_S|$  (deg.) の値は 3.6(deg.) まで減少し、大魚の魚向偏差の最頻値  $|\hat{\theta}'_L|$  である約 5(deg.) を下回っている。このことから、小魚は大魚の存在を認識し、魚向が一致していくことが示唆された。これは大魚の尾数  $N_L$  の増加に伴い小魚と大魚の間に働く成群力が大きくなったためと考えられる。

## 4. おわりに

本研究は、静止流体中において体長の異なる同魚種に対するオイカワの行動特性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。ただし、本実験は水深を 0.05m と浅く設定しているため、水深が増加した場合の

結果が本結果に即するかは不明である。また、頻度分布の回帰にガンマ分布を用いて図面上では良好に再現できているが、妥当性の検討までには至っていないことには留意されたい。

- (1) 大型魚の尾数増加に伴い大型魚が形成する魚群と小型魚が形成する魚群は接近していき、両魚群が重複する。このことから、オイカワは体長の大きな同魚種を忌避しないことが明らかとなった。これは、魚は体長の大きな他魚種を忌避するという既往の結果と対照的である。
- (2) 大型魚および小型魚の魚群形状は進行方向に長軸を有する楕円のような形である。大型魚の尾数増加に伴い大型魚および小型魚の魚群半径は増加するが、その形状は前者は変化しないのに対し後者は進行方向に長くなる。
- (3) 大型魚の魚群と小型魚の魚群が重複し遊泳している場合、進行方向の前方に大型魚の魚群が位置し、小型魚の魚群が大型魚の魚群を追隨する。
- (4) 大型魚の尾数増加に伴い小型魚の魚向が次第に一致していく。

以上の結果より、魚群としての遊泳挙動は大型魚の遊泳挙動の影響を受けやすく、大型魚の尾数の増加に伴いその傾向は顕著になることが示唆される。したがって、同一体長の同魚種のみを解析して提案された遊泳挙動モデルを体長の異なる同魚種からなる魚群にも用いることができ、適用可能範囲が広げられたと考えられる。

謝辞：本研究を実施するに当たり、科学研究費補助金基盤研究(C)17K06580（代表：鬼束幸樹）の援助を受けた。

#### 参考文献

- 1) 高嶋信博, 中村俊六：魚道内のアユの挙動に関する実験的研究, 第 28 回水理講演会論文集, pp.353-358, 1984.
- 2) 関谷明, 福井吉孝, 下村充, 打田剛：魚類の迷入と

その防止方法, 土木学会論文集, No.782/II-70, pp.81-91, 2005.

- 3) Sannomiya, N. and Matsuda, K.: A mathematical model of fish behavior in a water tank, *IEEE Trans. Sys. Man, and Cybernetics*, Vol.14, pp.157-162, 1984.
- 4) 橋本麻未, 後藤仁志, 原田英治, 酒井哲郎：Boid 型魚群行動モデルに基づく数値魚道の開発, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.1477-1482, 2005.
- 5) Reynolds, C.W.: Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model, *SIGGRAPH*, Vol.21, No.4, pp.25-34, 1987.
- 6) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 山本晃義, 脇健樹：静止流体中を単独で遊泳するアユの遊泳特性, 水工学論文集, 第 52 巻, pp.1195-1200, 2008.
- 7) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 山本晃義, 脇健樹：静止流体中を 2 尾で遊泳するアユの遊泳特性, 水工学論文集, 第 53 巻, pp.1219-1224, 2009.
- 8) 兼廣春之, 鈴木誠, 松田皓：タイリクバラタナゴの群サイズによる行動特性, 日本水産学会誌, 第 51 巻, 12 号, pp.1977-1982, 1985.
- 9) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 竹内光, 大西浩史：流速変化が 2 尾のアユの遊泳特性に及ぼす影響, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.67, No.4, pp.I\_1441-I\_1446, 2011.
- 10) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 三原和也, 白岡敏, 臼杵幸平, 福田拓也：流速変化がアユの魚群の挙動に及ぼす影響, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.I\_655-I\_660, 2012.
- 11) 川那部浩哉：川と湖の魚たち, 中公新書, pp.44-46, 1982.
- 12) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 小野篤志, 芹川泰介：潜水艦模型と超小型ワイヤレスカメラを用いた魚類の生息調査, 水工学論文集, 第 53 巻, pp.1255-1260, 2009.
- 13) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 松田孝一郎, 臼杵幸平, 竹内光：板櫃川における魚類生息域の季節変化の調査, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.I\_703-I\_708, 2012.

(2017.9.29 受付)

## STUDY ON BEHAVIORAL CHARACTERISTICS OF *Opsariichthys platypus* TOWARD CONSPECIFIC FISH THAT HAVE DIFFERENT BODY LENGTH

Kouki ONITSUKA, Juichiro AKIYAMA, Shohei NOGUCHI,  
Kazuma MIHARA, Kazuma UCHIDA and Tomohide TAKEDA

Predictions of swimming behaviors of fish make it possible to design river structures reasonably. However, investigations regarding swimming behaviors of fish were conducted by means of conspecific fish that have same body length. Therefore, swimming behaviors of fish can be gauged only under restricted circumstances. It is necessary to consider effects of existences of conspecific fish that have different body length on behavioral characteristics because they live in rivers. In this study, the swimming position and the fish direction are analysed in static water under the condition that the number of small *Opsariichthys platypus* is evened out and the number of large *Opsariichthys platypus* is changed. As a result, swimming behaviors as fish school are susceptible to large fish and it is suggested that this trend become more conspicuous.