

# 増水時のオイカワの避難行動に及ぼす わんど開口部長さの影響

鬼東 幸樹<sup>1</sup>・秋山 壽一郎<sup>2</sup>・宍戸 陽<sup>3</sup>・武田 知秀<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 九州工業大学大学院准教授 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)

<sup>3</sup>非会員 日鉄住金テックスエンジ株式会社 (〒100-0005 千代田区丸の内2丁目5-2)

<sup>4</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)

環境に配慮した河川整備において、現在の河川では洪水時に魚類の避難場となりうる空間が乏しいという問題点が挙げられる。既往の研究によって、洪水時に魚類は比較的流速の遅い場所に避難することが知られているが、避難行動と河川構造物との関連性の解明は十分になされていない。本研究の目的は魚類の避難場所として重要視されているわんどがその効力を発揮する幾何学的構造の解明である。開水路側壁に開口部を設け、その長さを系統的に変化させていった。流速を次第に増加させていったときのオイカワの行動をビデオカメラで撮影し、開口部長さの違いによる行動の変化を調べた。結果として、開口部長さがオイカワの体長の8倍以上のときわんど部への避難行動が積極的になった。

**Key Words :** *Zacco Platypus, open channel flow, flood, evacuation behaviour, wando*

## 1. はじめに

一生を河川で生息する魚類にとって洪水による増水は、彼らの生活を大きく変化させる要因となる。魚類は産卵や摂餌のために河川を移動するが、増水が始まると彼らの意図しない降下を強いられる場合がある。本来の生息場から離れた場所は水深や流速といった水理量や、水温、BOD、DOといった水質および生息している生物種が元の生息場のものと異なる。そのため、流下後に環境に適応できなかった魚類は、個体数を減少させる可能性がある。したがって、洪水が発生した場合でも流下しないように避難場所が確保されることが望ましい。ところが、かつての河川整備では水害を防ぐことを重視して河道断面の確保を優先したため、河川生物にとって良好な生息環境を保全・創出することが必ずしもなされていない。コンクリートなどで補強された河川では、洪水時に緩流域となりうる空間が乏しいことが問題視されている<sup>1)</sup>。

洪水時の魚類行動特性の現地調査が行われてきた。Agostinho *et al.*<sup>2)</sup>は洪水時における高水敷上の生物層を調査し、種多様性の増加を確認した。Lyon *et al.*<sup>3)</sup>は本川と湿地帯との接合部でサデ網を用いて魚類調査を行った結果、魚類は増水期に本川から側岸部へ、減水期に側岸部から本川に移動することを示唆した。以上のように、洪

水時に魚類は、高水敷上や水際部といった比較的流速の遅い場所に避難することが解明されている。

一方、河川内の構造物が魚類の避難場として利用されているか否かの研究もなされている。青木ら<sup>4)</sup>は複断面開水路内に杭水制を設置し、その水理特性を明らかにすると共に、杭水制が魚類の行動に及ぼす影響を調査した。その結果、杭水制は2次流の規模を大きくし河岸侵食や河床洗掘を促す恐れがあるが、魚類が水制内に避難すればその場に留まることができることを解明した。小野田ら<sup>5)</sup>は実験水路の側壁から横幅の1/3の領域のみに棧粗度を設置し、流速とオイカワの空間利用状況を調べた。その結果、非棧粗度領域の流速が巡航速度<sup>6)</sup>以上になると棧粗度内にオイカワが頻繁に進入し、流速の増加に伴いその利用頻度が増加することを解明した。中村ら<sup>7)</sup>は堤防法面に設置される魚巣ブロックが魚類の避難場所となりうることを述べた。傳田ら<sup>8)</sup>は千曲川中流において出水時に本川とわんどとの間で魚類を採取し、本川との接続頻度の高いわんどでは魚類の移動が活発であることを明らかにした。これは出水時に魚類はわんどを避難場として頻繁に利用していることを示唆している。ただし、単一のわんどを研究対象としているため、幾何学形状が変化した場合の魚類の避難行動については検討されておらず、わんど開口部長さによる影響が明確ではない。

本研究は開水路の側壁の開口部長さを系統的に変化させ、増水時におけるオイカワの避難行動に及ぼす影響について解明したものである。

## 2. 実験装置および実験条件

図-1 に実験に用いた長さ  $L=2.0\text{m}$ 、幅  $0.80\text{m}$  の開水路の概要を示す。流下方向に  $x$  軸、鉛直上向きに  $y$  軸、横断方向に  $z$  軸をとる。水路は幅  $B=0.60\text{m}$  の本流部(Main Flow)と幅  $B_w=0.20\text{m}$  のわんど部(Wando)に分割された。表-1 に実験条件を示す。わんど開口部を除いた流下方向の長さ  $L_w$  を  $0.40\text{m}$  で固定し、わんど開口部の流下方向の長さ  $L_E$  を実験に用いたオイカワの平均体長  $\overline{B_L}=60\text{mm}$  で除した値( $L_E/\overline{B_L}$ )を 5 通りに変化させた。ケース名は  $L_E/\overline{B_L}=1$  を E-1 としその他のケース名も同様に命名した。

各実験ケースにおいて、体長倍流速  $U_m/\overline{B_L}$  が  $2.0(1/s)$  となるように通水させた。水深は約  $0.04\text{m}$  であった。定常状態を確認した後に、オイカワ( $N=20$ )尾をわんど部よりも下流側の領域( $1.0\text{m}<x<2.0\text{m}$ )に挿入して 60s 間馴致させた。その後、30s 間通水(ベース流速)した後に、ピーク流速が  $U_m/\overline{B_L}=10(1/s)$  になるように 30s かけて線形的に流速を増加させた。ピーク流速における水深は約  $0.10\text{m}$  であった。水深を低くした理由は次の通りである。避難場として効果的なわんどの形状は十分に解明されておらず、断片的な知見となっている。3 次元の魚の挙動を解析することが望ましいが、解析が極めて困難となる。既往の研究でも 2 次元解析にとどまっていることから、本研究においても、水深方向の遊泳を排除するために  $0.04\text{--}0.10\text{m}$  と水深を浅く設定した。ピーク流速の状態を 120s 間継続させた。上記のベース時間(30s)、増水時間(30s)およびピーク時間(120s)の合計 180s 間、水路上部に設置した画素数  $1440\times 1080$ 、撮影速度  $30\text{fps}$  のビデオカメラを用いて水路内のオイカワの挙動を撮影した。撮影後、 $0.2\text{s}$  ごとにキャプチャされた画像を基に、オイカワの遊泳位置、対地速度を算出した。

3 次元電磁流速計を用いて流速 3 成分を  $0.05\text{s}$  間隔で  $25.6\text{s}$  計測した。計測後  $x, y, z$  軸方向の時間平均流速  $U, V, W$  および合成流速  $V_r=\sqrt{U^2+V^2+W^2}$  を算出した。

## 3. 実験結果および考察

### (1) ピーク時間における開水路内の流況

図-2 にピーク時間における開水路内の流速ベクトルの例(E-2, E-8)を示す。本流部における流速ベクトルはすべてのケースで類似しており、本流中央付近で  $U_m/\overline{B_L}=10(1/s)$  程度の最大流速を示し、壁面に近づくにつれて流速が減少している。一方、わんど部の流速は本流の流速よりも著しく小さく、 $U_m/\overline{B_L}=1.0(1/s)$  以

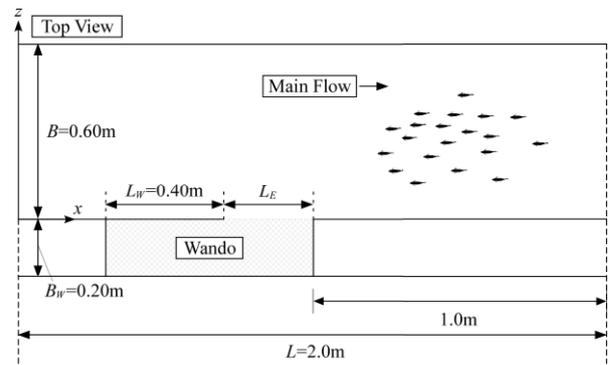


図-1 実験に用いた開水路の概要

表-1 実験条件

Case Name	E-1	E-2	E-4	E-8	E-10	
Length of Entrance	$L_E/\overline{B_L}$	1	2	4	8	10
Base Velocity	$U_m/\overline{B_L} (1/s)$					
Peak Velocity	2.0					
Duration Time	$T_D(s)$					
	10					
	30					

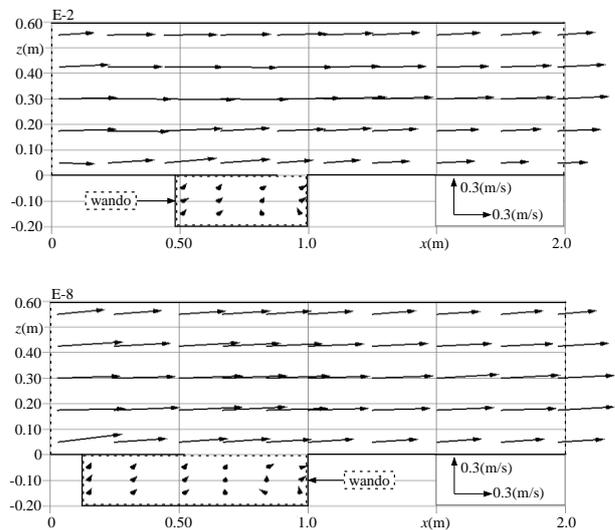


図-2 ピーク時間における開水路の流速ベクトル

下であった。以上のように、わんど開口部長さが変化してもピーク時における本流の流況は類似している。

### (2) オイカワの瞬間遊泳位置

図-3 にオイカワの  $2\text{s}$  ごとの瞬間遊泳位置をケース別に示す。増水時間(30~60s)およびピーク時間(60~180s)のオイカワの瞬間遊泳位置をそれぞれ○, ×で示した。E-1 では増水時間において本流部全体にわたって遊泳している。ピーク時間においては水路の側壁付近を集中して遊泳し、一部のオイカワはわんど部に進入している。E-2 では増水時間において E-1 よりは遊泳範囲が狭くなっているものの、本流部の上流側で広範囲に遊泳している。ピーク時間では E-1 と同様に水路壁面付近を主として遊泳するが、わんど部への進入数が増加している。E-4 では、増水時間

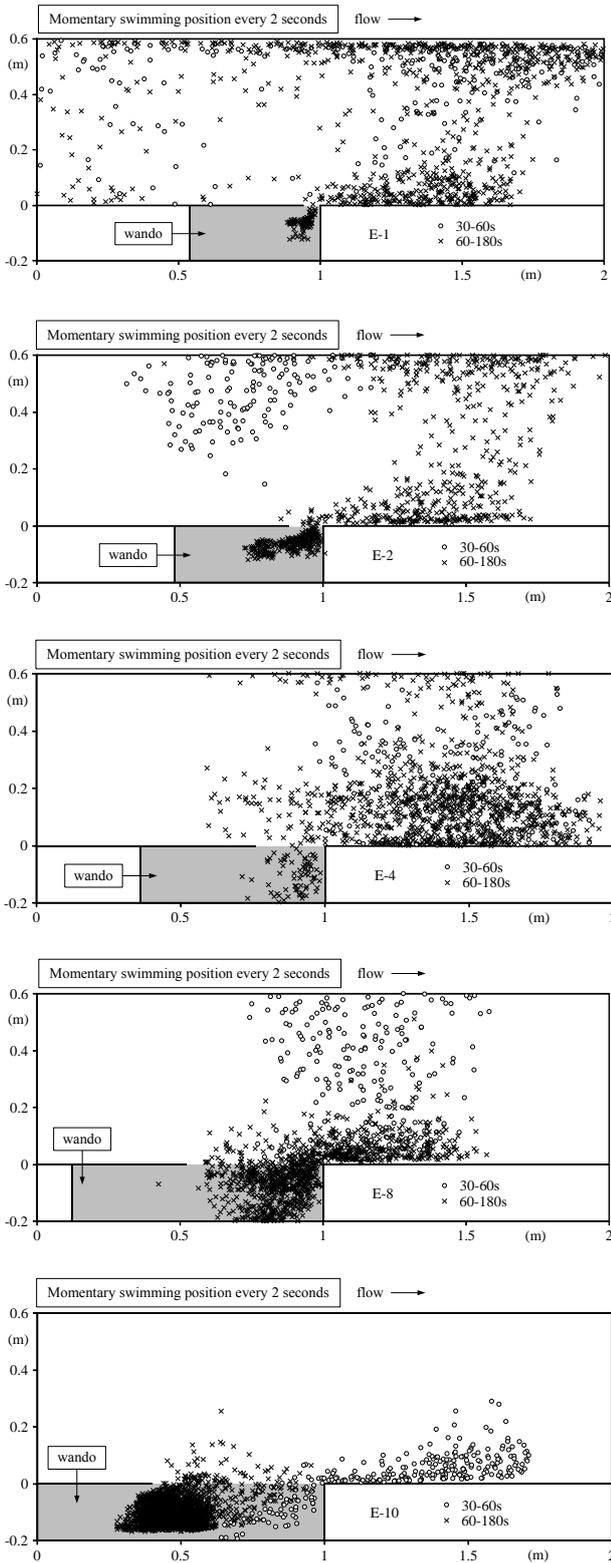


図-3 オイカワの瞬間遊泳位置

およびピーク時間の全てにおいて、わんど部の存在する右岸側を多く利用している。この傾向は E-8 のピーク時間でさらに顕著となる。E-10 では増水時間およびピーク時間のいずれにおいても、わんど部の存在しない左岸側付近の利用は見られない。また、ピーク時間におけるわんど部の利用頻度が顕著に高く

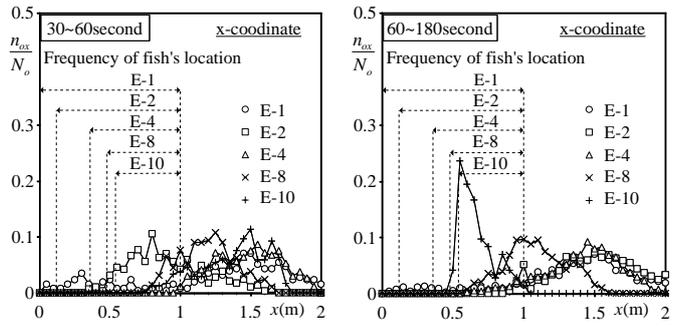


図-4(a) x座標

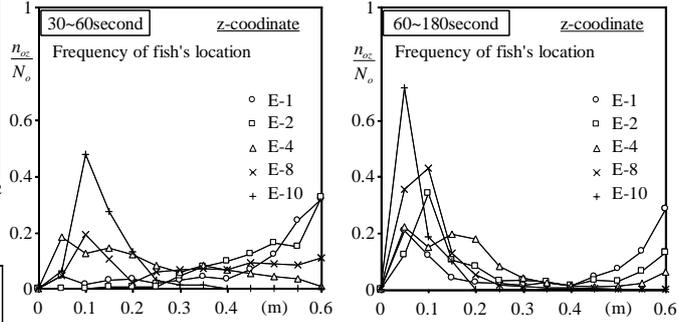


図-4(b) z座標

図-4 オイカワの遊泳位置の頻度分布

なっている。わんど開口部長さが変化してもピーク流速時の流速分布に差異が生じていなかったことから、上記で示した各ケース間の遊泳位置の変化はわんど開口部長さによる影響と考えられる。

### (3) 本流部におけるオイカワの遊泳位置の頻度分布

図-4 に本流部における増水時間およびピーク時間のオイカワの遊泳位置(x, z)の頻度分布を示す。x 軸、z 軸方向ともに 0.05m に区切り、任意の区間に存在する尾数をそれぞれ  $n_{ox}$ 、 $n_{oz}$  としてそれらを総数の  $N_o$  で除したもの ( $n_{ox}/N_o$ 、 $n_{oz}/N_o$ ) を頻度とした。

図-4(a) の x 座標の頻度分布に着目する。ここで、図面中の破線矢印は各ケースにおけるわんど部の領域を示している。増水時間(30~60s)ではケースによって分布にばらつきがあり、明確な傾向は見られない。一方、ピーク時間(60~180s)においては、E-1、E-2、E-4 ではわんど部よりも下流側の 1~2m の間に分布しているのに対して、E-8 ではわんど部内の比較的下流域およびわんど下流側の 0.5~1.5m に分布し、E-10 ではわんど部の 0.5~1m の間に分布が集中している。

図-4(b) の z 座標の頻度分布に着目すると、増水時間(30~60s)における E-1 および E-2 では横断方向にほぼ均等に分布している。E-4 および E-8 ではわんど部付近を若干多くのオイカワが遊泳している。E-10 では多くのオイカワがわんど部付近を遊泳していることがわかる。ピーク時間に着目すると、全ケースに

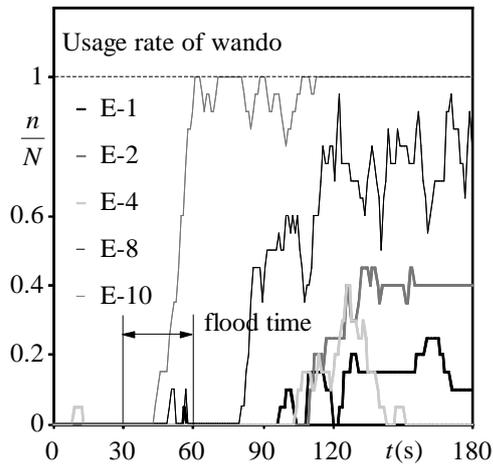


図-5 オイカワのわんど使用率

おいてわんど部付近の利用率が高くなっている。

#### (4) オイカワのわんど使用率

図-5 にオイカワのわんど使用率( $n/N$ )の時間変化を示す。わんど内に存在する尾数を  $n$  として総数の  $N$  で除したものをわんど使用率( $n/N$ )としている。

ベース時間(0~30s)ではわんど部へのオイカワの進入はほとんど見られない。増水時間(30~60s)ではわんど開口部長さが最も大きい E-10 においてわんど使用率が増加している。ピーク時間(60s~180s)ではすべてのケースにおいてわんど使用率が増加している。

#### (5) オイカワの遊泳軌跡

図-6 にわんどを使用したオイカワのうち、最も平均的な挙動を示した個体の 0.2s ごとの増水時間(30s~60s)およびピーク時間(60s~180s)の軌跡をそれぞれ  $\circ$ ,  $\times$  で示した。E-1, E-2, E-4 に着目すると、オイカワがわんどに進入する前に左岸側壁面付近を遊泳し、ピーク時間(60s)に達してから、わんどのある右岸側へ移動している様子が観察される。さらに、オイカワはわんどに進入しても開口部付近で停滞し、わんど外に戻る挙動を示している。一方、E-8, E-10 に着目すると、オイカワは左岸側壁面付近を遊泳する挙動を示さず、増水時間(30~60s)に右岸側へ移動している。E-1, E-2, E-4 で示された挙動と異なり、オイカワはわんどに進入してからも遊泳を続けている。

図-7 に図-6 で示した遊泳軌跡の時間変化を座標別に示す。図-7(a)の  $x$  座標の遊泳軌跡に着目すると、すべてのケースで増水時間(30~60s)の間に座標の位置が変動している。E-1, E-2, E-4 は小さい値から大きな値へと変動している。これはオイカワが下流側へと移動していることを意味しており、増水による流速増加に伴いオイカワが一時的に下流側に流された結果と考えられる。一方、E-8, E-10 は大きな値から

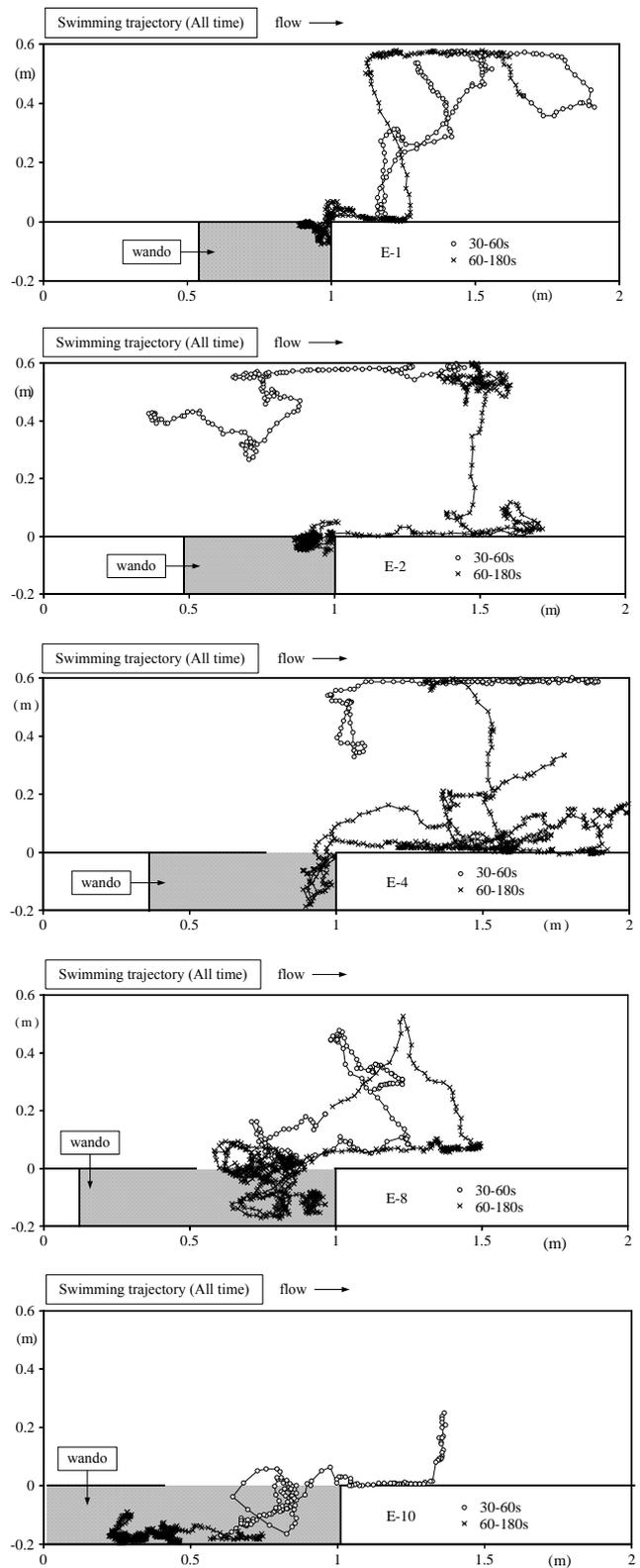


図-6 オイカワの遊泳軌跡(1尾)

小さな値へと変動している。これはオイカワが上流側へ移動していることを意味しており、オイカワが増水中にわんどへの進入を試みた結果と考えられる。

図-7(b)の  $z$  座標の遊泳軌跡に着目すると、E-1, E-2, E-4 では増水時間(30~60s)に 0.6m 付近の値を示している。これはオイカワが開水路左岸側を遊泳している

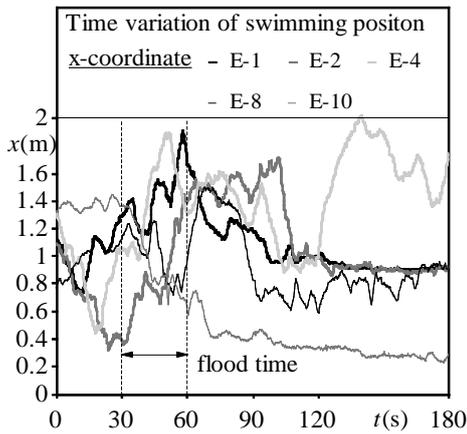


図-7(a) オイカワの座標別遊泳軌跡(x座標)

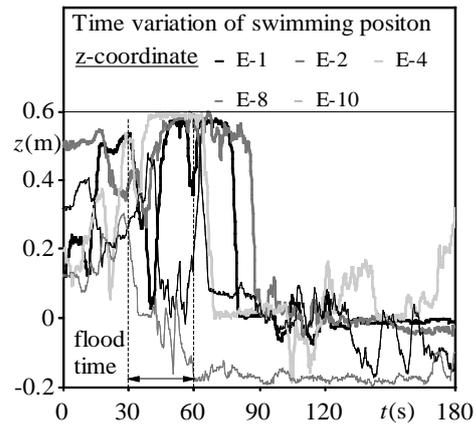


図-7(b) オイカワの座標別遊泳軌跡(z座標)

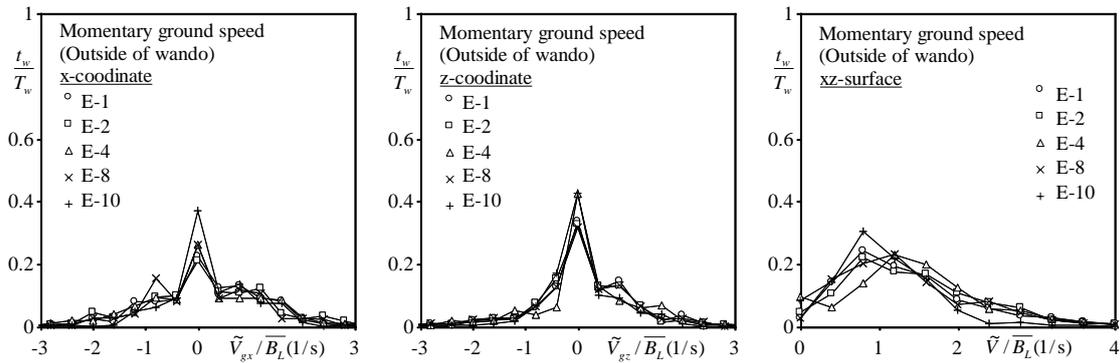


図-8(a) わんど外におけるオイカワの対地速度の頻度分布

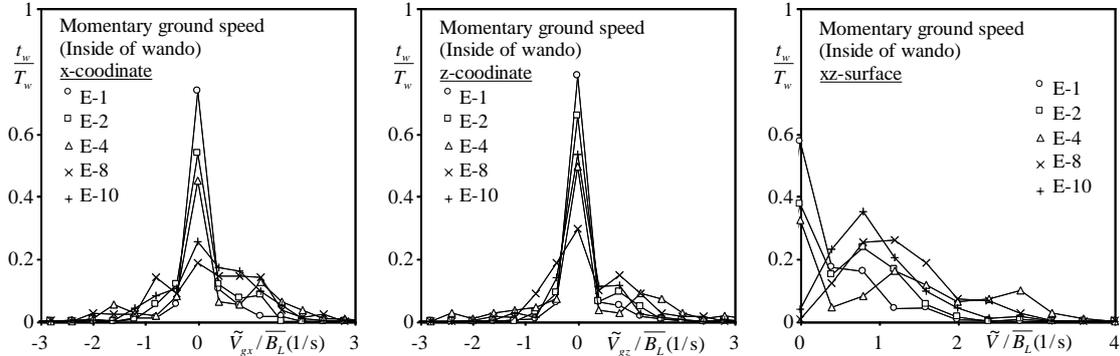


図-8(b) わんど内におけるオイカワの対地速度の頻度分布

ことを意味している。一方、E-8、E-10では増水時間(30~60s)に0.2~0.4m付近の値から0m以下へと変動している。0m以下の値はわんど内であることを意味している。

以上のように、E-8、E-10ではオイカワは増水中に遊泳挙動を変化させて、わんどに進入することがわかった。ここで、魚類は体長相当分しか流れを認識できない<sup>9)</sup>。そのため、オイカワは高速流を避け流速の低下する領域を探索しているうちに流速の低下したわんど開口部付近を遊泳し、わんどの位置を把握した可能性が示唆される。

### (6) わんど内・外におけるオイカワの対地速度

図-8にわんど内・外におけるオイカワの $x$ 、 $z$ 方向の対地速度 $\tilde{v}_{gx}$ 、 $\tilde{v}_{gz}$ および $x$ 、 $z$ 成分の合成対地速度 $\tilde{v}$ をオイカワの平均体長 $\overline{B_L}$ で除した値( $\tilde{v}_{gx}/\overline{B_L}$ 、 $\tilde{v}_{gz}/\overline{B_L}$ 、 $\tilde{v}/\overline{B_L}$ )の頻度分布(1尾)を示す。選定したオイカワは図-6で遊泳軌跡を示すのに用いたものと同様である。対地速度は0.4(1/s)ごとに区切り、任意の区間の対地速度を示した時間の合計を $t_w$ として総時間の $T_w$ で除したもの( $t_w/T_w$ )を頻度とした。

図-8(a)のわんど外での頻度分布に着目すると、対地速度の $x$ 、 $z$ 方向成分はすべてのケースにおいて±2(1/s)の間で分布している。合成対地速度はすべての

ケースで 1(1/s)付近で最頻値をとっている。

図-8(b)のわんど内での頻度分布に着目すると、対地速度の  $x, z$  方向成分は E-1, E-2, E-4 においては 0(1/s)付近の頻度が図-8(a)での頻度よりも大きな値を示している。E-8, E-10 においては、図-8(a)での頻度と同様であり  $\pm 2(1/s)$ の間で分布している。合成対地速度は E-1, E-2, E-4 において 0(1/s)で最頻値をとっており、E-8, E-10 では図-8(a)での頻度と同様に 1(1/s)付近で最頻値をとっていることがわかる。

以上より、E-1, E-2, E-4 ではオイカワはわんどに進入すると対地速度を減少させて遊泳するのに対して、E-8, E-10 ではオイカワはわんど内、外で対地速度をほとんど変化させずに遊泳することがわかった。

#### 4. おわりに

本研究は開水路の側壁の開口部長さを系統的に変化させ、増水時におけるオイカワの避難行動に及ぼす影響について解明した。得られた知見は以下の通りである。

- (1) わんど開口部長さ  $L_E/\overline{B_L}$  が大きいほどオイカワはわんどに進入しやすい。これはオイカワは高速流を避け低速流を探索しながら遊泳するが、わんど開口部長さが大きいほどわんど開口部付近の低速流を認識しやすくなるためだと考えられる。
- (2) オイカワは増水を認識してからわんどへ進入している。その傾向は  $L_E/\overline{B_L} = 8$ 以上で顕著になる。
- (3) オイカワはわんど開口部長さが小さい場合、本流部で 1(1/s)であった対地速度をわんど内では 0(1/s)近くまで減少させる。一方で、わんど開口部長さが大きくなるとオイカワは本流部とわんど内で対地速度をほとんど変化させない。
- (4) わんど開口部長さを  $L_E/\overline{B_L} = 8$ 以上にすると、わんどが避難場所として利用される。
- (5) 水深を 0.04~0.10m と浅く設定しているため、水深が大きくなった場合の影響および結果は本研究に即する

かは明らかではない。

- (6) 増水開始時の初期遊泳位置は各ケースによって異なるため、遊泳初期位置が異なっても同様の結果が得られるか検討する必要がある。

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)26420500(代表：鬼束幸樹)の援助を受けた。

#### 参考文献

- 1) 東信行, 鴨下真吾, 佐原雄二, 関泰夫, 渡辺勝栄: 増水時における河川魚類の挙動と河川構造, 環境システム研究, Vol.27, pp.793-798, 1999.
- 2) Agostinho, A.A., Gomes, L.C. and Zalewski, M.: The importance of floodplains for the dynamics of fish communities of the upper river Paraná, *Ecology & Hydrobiology*, Vol.1, pp.209-217, 2001.
- 3) Lyon, J., Stuart, I., Ramsey, D. and O'Mahony, J.: The effect of water level on lateral movements of fish between river and off-channel habitats and implications for management, *Marine and Freshwater Research*, Vol.61, pp.271-278, 2010.
- 4) 青木宗之, 瀬崎薫貴, 福井吉孝: 複断面水路における流況変化と魚の行動に関する実験的研究, 環境システム研究, Vol.69, pp.166-182, 2013.
- 5) 小野田幸生, 佐川志朗, 上野公彦, 尾崎正樹, 久米学, 相川隆生, 森照貴, 萱場祐一: 流速の増大がオイカワによる水際の緩流域利用頻度に及ぼす影響, 河川技術論文集, Vol.17, pp.197-202, 2011.
- 6) 中村俊六: 魚道のはなし, 山海堂, 1995.
- 7) 中村俊六, 高嶋信博, 木村博: 実物の魚を用いた河川構造物の模型実験手法について, 第 31 回水理講演会論文集, pp.783-788, 1987.
- 8) 傳田正利, 山下慎吾, 尾澤卓思, 島谷幸宏: ワンドと魚類群集, 日本生態学会誌, Vol.52, pp.287-294, 2002.

(2016. 3. 22 受付)

## EFFECTS OF ENTRANCE LENGTH OF SIDE-POCKET IN OPEN CHANNEL FLOW ON EVACUATION BEHAVIOUR OF *ZACCO PLATYPUS* IN FLOODS

Kouki ONITSUKA, Juichiro AKIYAMA, Akira SHISHIDO and Tomohide TAKEDA

In the environmental field of river, there is a problem that evacuation space for fish is scant. By previous investigation, it is figured out that fish evacuate to the low velocity zone. But the relationship between evacuation behavior and river structure is not fully elucidated. The purpose of this study is to make clear that geometric structure of effective wando which is important as a evacuation space. Side-pocket was set up and the entrance length of it was methodically changed. The swimming behaviors of *Zacco Platypus* (*Oikawa*) in floods were recorded with digital video camera. Changes in behavior due to the difference of the entrance length were investigated. It is found that *Zacco Platypus* aggressively evacuated when the entrance length was 8 times longer than *Zacco Platypus*.