

アユに対する体長の異なるオイカワの 忌避行動特性

BEHAVIOR CHARACTERISTICS OF *ZACCO PLATYPUS* THAT HAVE
DIFFERENT BODY LENGTH AGAINST *PLECOGLOSSUS ALTIVELIS ALTIVELIS*

鬼束幸樹¹・秋山壽一郎²・三原和也³・鏝敬介⁴・松田直樹⁴
Kouki ONITSUKA, Juichiro AKIYAMA, Kazuya MIHARA, Keisuke KASUGAI
and Naoki MATSUDA

¹ 正会員 博(工) 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)

² フェロー会員 Ph.D. 九州工業大学大学院教授 建設社会工学研究系

³ 学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻博士前期課程

⁴ 学生会員 九州工業大学 工学部建設社会工学科

Katano pointed out that smaller individuals of *Zacco platypus* and *Nipponocypris temminckii* occasionally leave the region where *Zacco platypus* and *Nipponocypris temminckii* swim in order to avoid attacks by larger individuals of *Zacco platypus* and *Nipponocypris temminckii*. Onitsuka pointed out that *Zacco platypus* avoid *Carassius auratus langsdorffii* and also that *Nipponocypris temminckii* avoid *Carassius auratus langsdorffii* besides *Zacco platypus* which is larger than 80 mm of body length. However, there are few numbers of the study of the behavior characteristic of the fish to another fish different in the body length. In this study, the behavior characteristics of *Zacco platypus* that have different body length against *Plecoglossus altivelis altivelis* in static water was analyzed. It was found that *Zacco platypus* avoid action against *Plecoglossus altivelis altivelis* becomes small as *Zacco platypus* body length becomes large.

Key Words : avoid action, *Zacco platypus*, *Plecoglossus altivelis altivelis*, body length

1. はじめに

2006年に国土交通省河川局が「多自然型川づくり」から「多自然川づくり」に基本指針を変更した。そのため、河川が本来有している生物の生息・育成・繁殖環境の保全・創出を行うことが明文化された。河川が本来有している生物を完全に把握することは困難であるが、河川水辺の国勢調査のデータを参照すると、河川の有する水理特性や規模に応じて魚種数および尾数が決定していると推測される。そのため、魚類の生息環境を把握する上で、単一の魚種¹⁾だけでなく、複数の魚種が河川に存在する場合も対象としなければならない。

伊藤・水野²⁾は仁淀川の魚類調査を行った。その結果、アマゴ、カワムツおよびタカハヤが生息している場合、まずアマゴが生息領域を選択し、続いてカワムツが生息領域を選択し、最後に残った空間をタカハヤが利用する

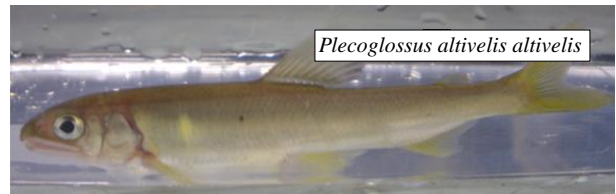
ことを解明した。上野ら³⁾は利根川水系喜怒川においてヤマメ成魚とイワナの稚魚が生息する水域を観察した結果、イワナの稚魚がヤマメの生息領域を避けて生息していることを明らかにした。長谷川・前川⁴⁾はアメマスの生息領域にブラウントラウトが移入すると、アメマスの生息領域が制限されることを示した。Katano⁵⁾は鴨川においてオイカワとカワムツの生息状況を観察した。その結果、両魚種とも大型個体が水表面付近を占有し、小型個体は大型個体からの攻撃を避けるため他の領域に忌避していることを明らかにした。鬼束ら⁶⁾は二級河川板櫃川で魚類調査を行った結果、オイカワはギンブナを、カワムツはギンブナおよび体長が80mm以上のオイカワを忌避することを統計的に証明した。

以上のように異魚種の個体群が遭遇した際の魚群の挙動は若干解明されているものの、魚類の体長を系統的に変化させてその挙動を解明した研究は皆無である。本研

究は、静止流体中においてアユの体長を固定した状態でオイカワの体長を系統的に変化させ、両者の行動特性の変化を解明したものである。

2. 実験装置および実験条件

直径1.83mの円形プールを実験に用い、水深を0.05mにした。図-1(a), (b)および表-1に示すように、平均体長 $\overline{B_{LP}}$ が80mmの養殖アユ(*Plecoglossus altivelis altivelis*)を1尾と、平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ が60, 80, 100, 120あるいは140mmのいずれかのオイカワ(*Zacco platypus*)1尾を実験に用いた。以下では、アユの諸量にはP, オイカワの諸量にはZの添字を用いる。プール内にアユ1尾を遊泳させた状態で、1尾のオイカワ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。オイカワが馴致したことを確認した後に金網を取り上げ、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10分間撮影した。各ケースで20回、合計100回の実験を行った。撮影後、0.2s刻みで両魚種の位置を読み取り、遊泳軌跡を直線(branch)と屈折(node)で表現した。図-2のように全アユおよびオイカワの遊泳軌跡における、全ての屈折位置と時刻を読み取り、連続する屈折位置から遊泳距離 L 、屈折角度 θ を求めた。 θ は上方から観察した時の右回転を正、左回転を負と定義した。一方、遊泳距離 L と遊泳に要した時間から、遊泳速度 v が算出される。



(a) アユ



(b) オイカワ

図-1 実験に用いたアユとオイカワ

表-1 実験条件

case name	$\overline{B_{LZ}}$ (mm)	$\overline{B_{LP}}$ (mm)
C6	60	80
C8	80	
C10	100	
C12	120	
C14	140	

3. 実験結果および考察

(1) アユとオイカワの遊泳距離

図-3(a), (b)にアユおよびオイカワの遊泳距離 L_p , L_z を、それぞれの平均体長 $\overline{B_{LP}}$, $\overline{B_{LZ}}$ で除した値 $L_p/\overline{B_{LP}}$, $L_z/\overline{B_{LZ}}$ の頻度分布をケース別に示す。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した。

$$f(L_p/\overline{B_{LP}}) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \alpha^\lambda (L_p/\overline{B_{LP}})^{\lambda-1} e^{-\alpha L_p/\overline{B_{LP}}} \quad (1)$$

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

係数 α , λ は最小二乗法より算出した。また、オイカワに関しては式(1), (2)において L_p を L_z , B_{LP} を B_{LZ} に置き換えて求めたガンマ分布を曲線で示した。オイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ の増加に伴い、アユの遊泳距離 $L_p/\overline{B_{LP}}$ に大きな変化は観察されないのに対し、オイカワの遊泳距離 $L_z/\overline{B_{LZ}}$ は減少している。

図-4にオイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ とアユおよびオイカワの遊泳距離の最頻値 $\hat{L}_p/\overline{B_{LP}}$, $\hat{L}_z/\overline{B_{LZ}}$ との関係を示すと共に、両者の関係を最小二乗法で求めて直線で示した。

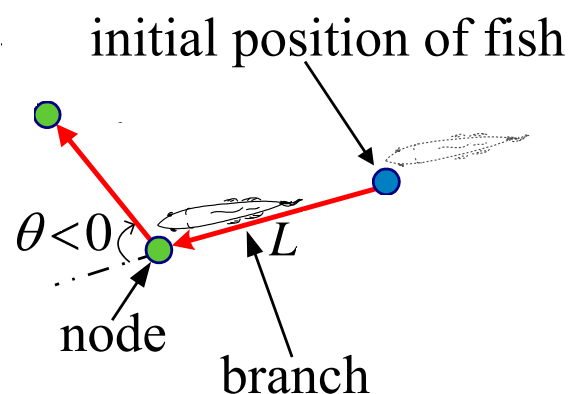


図-2 遊泳軌跡の模式図

オイカワの体長の増加に伴い、アユの遊泳距離 $\hat{L}_p/\overline{B_{LP}}$ は変化が観察されないのに対し、オイカワの遊泳距離 $\hat{L}_z/\overline{B_{LZ}}$ は減少している。このことから、オイカワの体長の変化が、アユに対する忌避行動に影響を及ぼすことが明らかとなった。

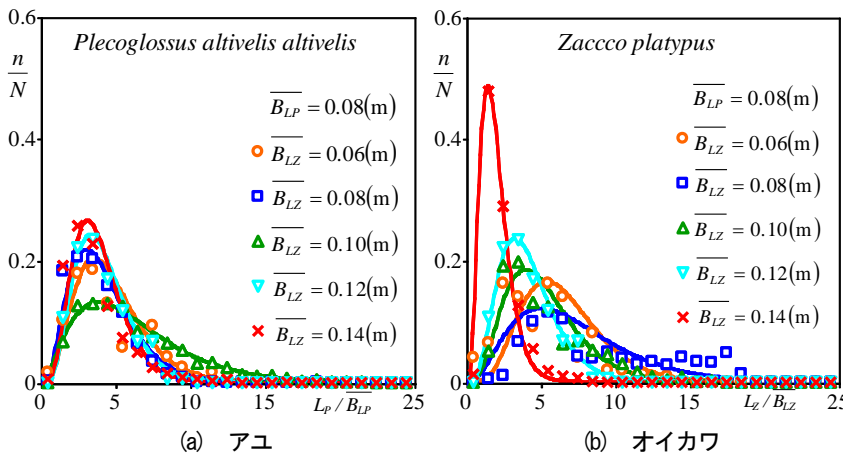


図-3 オイカワの体長変化に伴う遊泳距離の変化

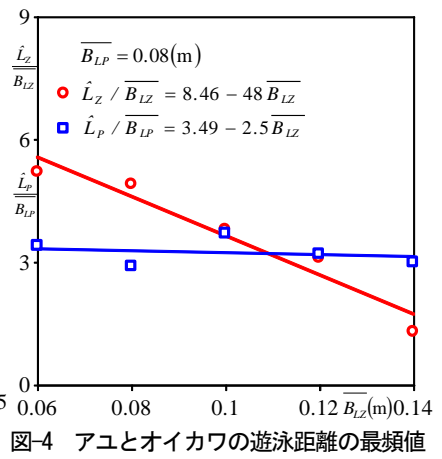


図-4 Ayuとオイカワの遊泳距離の最頻値

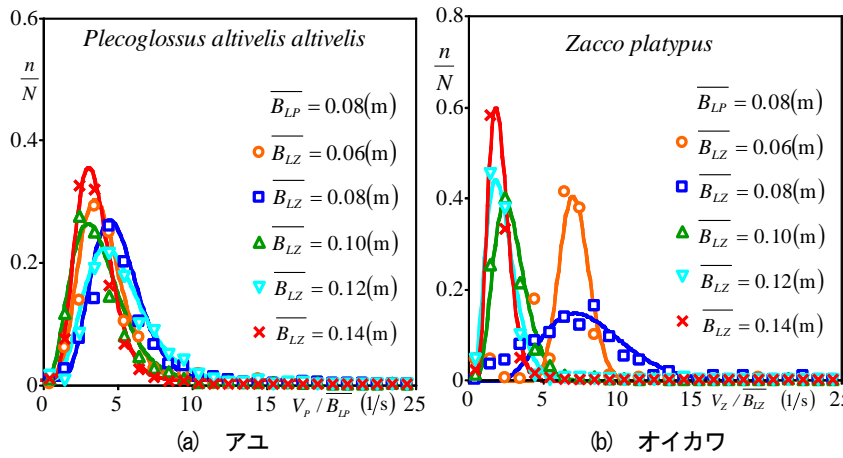


図-5 オイカワの体長変化に伴う遊泳速度の変化

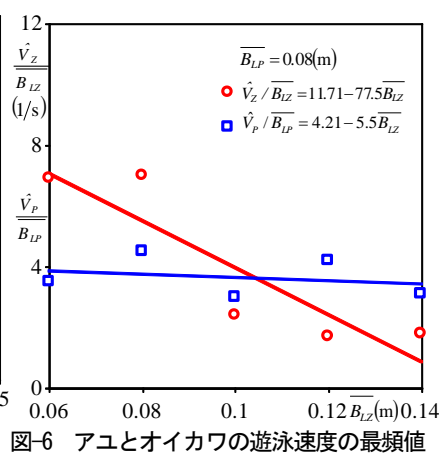


図-6 Ayuとオイカワの遊泳速度の最頻値

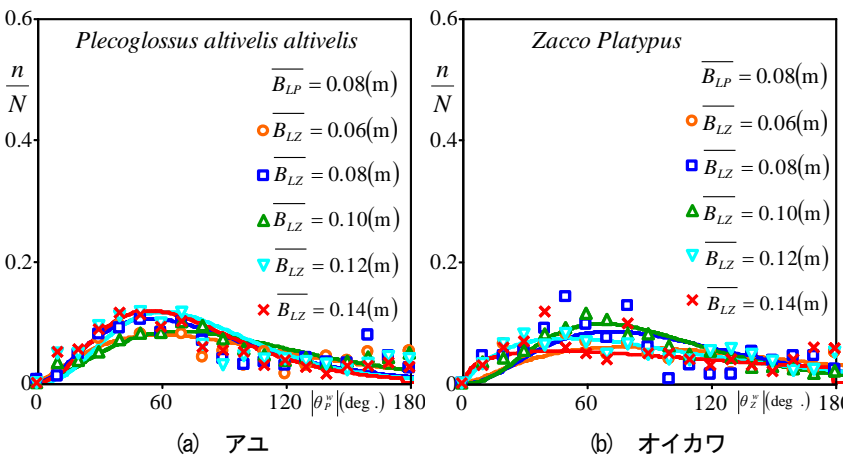


図-7 オイカワの体長変化に伴う屈折角度の変化

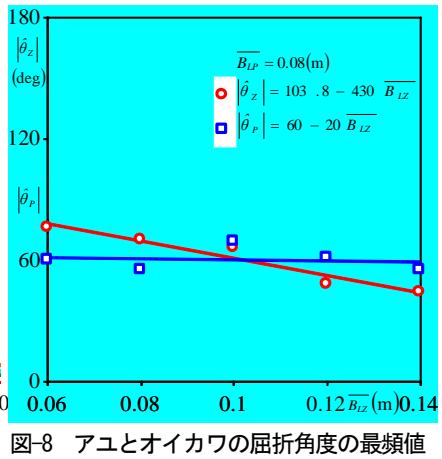


図-8 Ayuとオイカワの屈折角度の最頻値

(2) Ayuとオイカワの遊泳速度

図-5(a), (b)にAyuおよびオイカワの遊泳速度 V_p , V_z を、それぞれの平均体長 $\overline{B_{Lp}}$, $\overline{B_{Lz}}$ で除した値 $V_p/\overline{B_{Lp}}$ と $V_z/\overline{B_{Lz}}$ の頻度分布をケース別に示す。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、Ayuは式(1), (2)において L_p を V_p に置き換え、オイカワは式(1), (2)において L_p を V_z に、 B_{Lp} を

B_{Lz} 置き換えて求めたガンマ分布を曲線で示した。オイカワの平均体長 $\overline{B_{Lz}}$ の増加に伴い、Ayuの遊泳速度 $V_p/\overline{B_{Lp}}$ に顕著な変化は観察されないのに対し、オイカワの遊泳速度 $V_z/\overline{B_{Lz}}$ は減少している。

図-6 にオイカワの平均体長 $\overline{B_{Lz}}$ とAyuおよびオイカワの遊泳速度の最頻値 $\hat{V}_p/\overline{B_{Lp}}$, $\hat{V}_z/\overline{B_{Lz}}$ との関係を示すと共に、両者の関係を最小二乗法で求めて直線で示した。

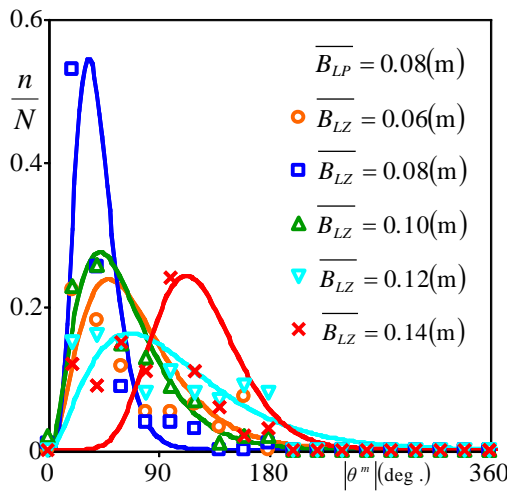


図-9 アユとオイカワの魚向差の変化

オイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ の増加に伴い、アユの遊泳速度 $\hat{V}_p / \overline{B_{LP}}$ の変化は観察されないのに対し、オイカワの遊泳速度 $\hat{V}_z / \overline{B_{LZ}}$ は減少している。これは、オイカワがアユの接近に対して、アユとの距離を一定以上に保とうとする遊泳行動が緩慢になったためと考えられる。

(3) アユとオイカワの屈折角度

図-7(a), (b)にアユおよびオイカワの屈折角度 $|\theta_p^w|$ の頻度分布をケース別に示す。いずれのケースも比較的低い値に頻度が高く、高値方向に裾を持つ形状を示している。アユは式(1), (2)において $L_p / \overline{B_{LP}}$ を $|\theta_p^w|$ に置き換え、オイカワは式(1), (2)において $L_p / \overline{B_{LP}}$ を $|\theta_z^w|$ に置き換えて求めたガンマ分布を曲線で示した。オイカワの体長 $\overline{B_{LZ}}$ が増加してもアユの屈折角度 $|\theta_p^w|$ には変化が観察されないのに対し、オイカワの屈折角度 $|\theta_z^w|$ は減少している。

図-8 にオイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ とオイカワおよびアユの屈折角度の最頻値 $|\hat{\theta}_z|$, $|\hat{\theta}_p|$ との関係を示すと共に、両者の関係を最小二乗法で求めて直線で示した。オイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ の増加に伴い、アユの屈折角度 $|\hat{\theta}_p|$ には変化は観察されないのに対し、オイカワの屈折角度 $|\hat{\theta}_z|$ は減少してアユの屈折角度を下回っている。これは、オイカワの体長がアユの体長を上回ることにより、アユに対するオイカワの忌避行動が緩慢になったためと考えられる。

(4) アユとオイカワの魚向差

アユとオイカワが遊泳する際の進行方向の交差角を魚向差と定義する。

図-9 にアユとオイカワの魚向差 $|\theta^m|$ の頻度分布をケース別に示す。魚向差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 $L_p / \overline{B_{LP}}$ を $|\theta^m|$ に置き換え求めたガンマ分布を

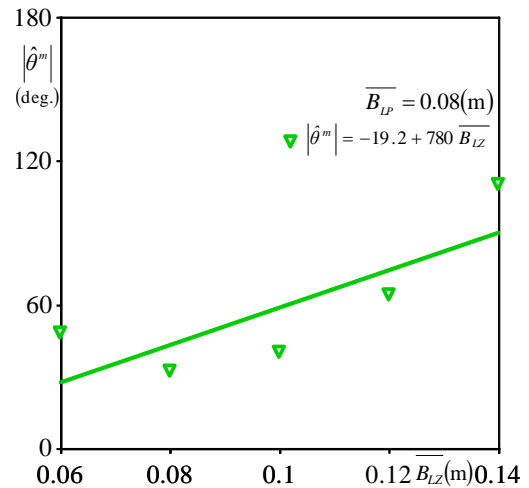


図-10 アユとオイカワの魚向差の最頻値

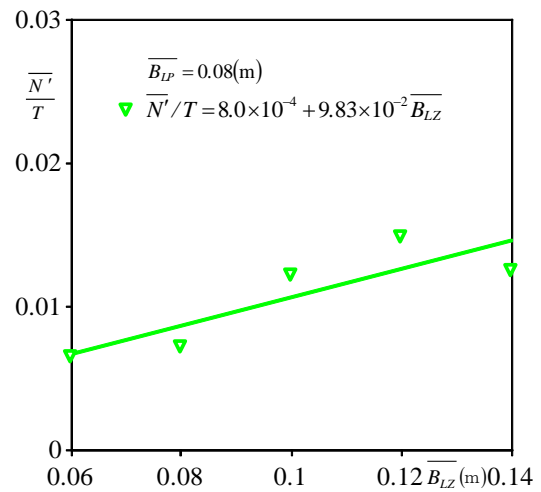


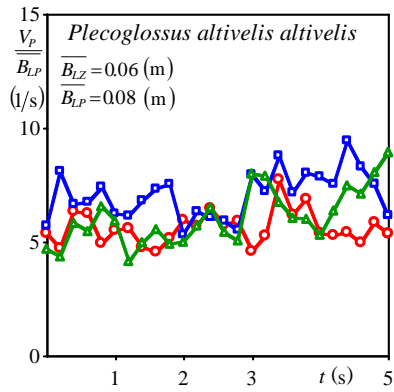
図-11 アユのオイカワへの平均接近率

曲線で示した。オイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ の増加に伴い、魚向差 $|\theta^m|$ の値は増加している。

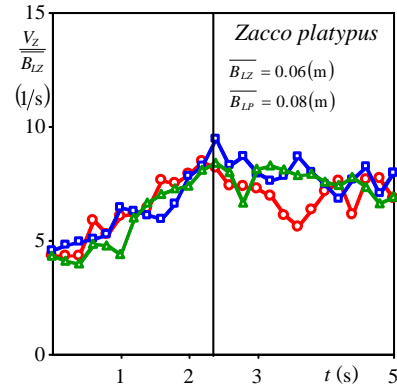
図-10 にオイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ とアユとオイカワの魚向差の最頻値 $|\hat{\theta}^m|$ との関係を示すと共に、両者の関係を最小二乗法で求めて直線で示した。アユがオイカワを追尾していると、オイカワとアユの魚向差は小さくなる。オイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ の増加に伴い、魚向差の最頻値 $|\hat{\theta}^m|$ は増加している。これは、オイカワの体長の増加に伴い、アユがオイカワを追尾しなくなったためと考えられる。

(5) 平均接近率

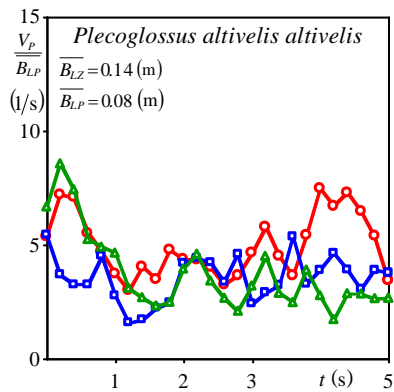
アユはオイカワの存在を確認すると接近し、威嚇する行動がみられた。そこで、アユがオイカワに向かって遊泳し、アユの体長の2倍以下の距離となった時を接近と定義した。アユがオイカワに接近した回数を実験時間で除した値を接近率として、各ケースにおける平均接近率 $\overline{N'} / T$ とした。



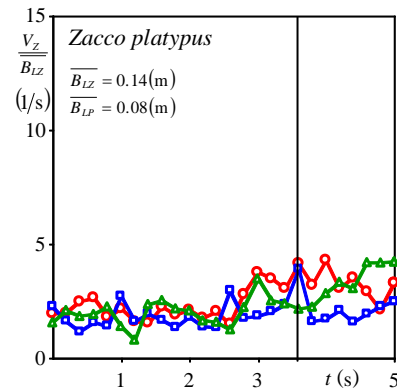
(a) アユ(C6)



(b) オイカワ(C6)

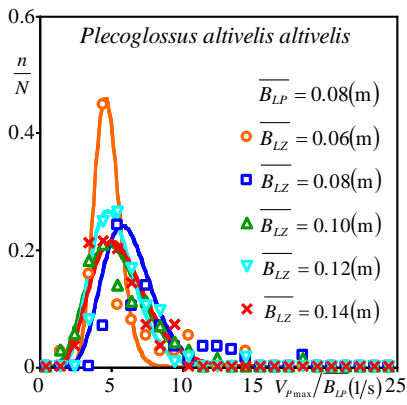


(c) アユ(C14)

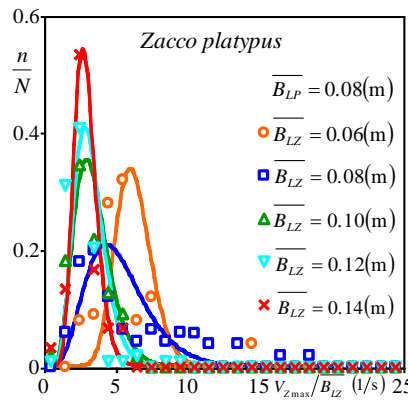


(d) オイカワ(C14)

図-12 5秒間のアユとオイカワの遊泳速度



(a) アユ



(b) オイカワ

図-13 オイカワの体長変化に伴う最高速度の変化

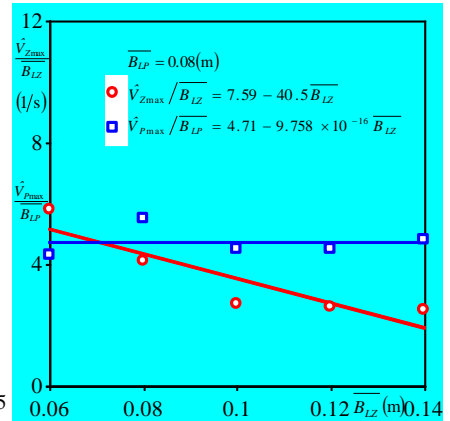


図-14 アユとオイカワの最高速度の最頻値

図-11 にアユとオイカワの平均接近率 \bar{N}'/T をケース別に示す。オイカワの平均体長 \bar{B}_{LZ} の増加に伴い、平均接近率 \bar{N}'/T は増加している。これは、オイカワの体長がアユの体長以下の場合、アユがオイカワを追尾し続けることでアユとオイカワの平均接近率は減少したためと考えられる。

以上のことから、アユはオイカワに対しての威嚇行動を追尾から、接近を繰り返す行動に変えることが判明した。

(6) アユとオイカワの最高速度

図-12(a)～(d)にそれぞれオイカワの平均体長 \bar{B}_{LZ} が 60mm および 140mm において、アユがオイカワに接近を開始してから、5 秒間のアユおよびオイカワの遊泳速度 V_p/\bar{B}_{LP} 、 V_z/\bar{B}_{LZ} を示す。オイカワの体長 60mm と 140mm を比較した場合、アユの遊泳速度に大きな変化が観察されないのに対し、オイカワの遊泳速度と最高速度は減少している。また、C6 においてアユとオイカワの遊泳速度と最高速度に大差はないが、C14 ではアユの遊

泳速度，最高速度はオイカワの値を上回っている。これは，C6 ではアユにオイカワが追尾されて，アユとオイカワが共に遊泳していることを示唆している。C14 においてはオイカワのアユに対する忌避行動が緩慢になったためと考えられる。

図-13(a)，(b)にアユおよびオイカワの最高速度 $V_{P_{max}}$ ， $V_{Z_{max}}$ を，それぞれの平均体長， $\overline{B_{LP}}$ ， $\overline{B_{LZ}}$ で除した値 $V_{P_{max}}/\overline{B_{LP}}$ ， $V_{Z_{max}}/\overline{B_{LZ}}$ の頻度分布をケース別に示す。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。アユは式(1)，(2)において L_p を $V_{P_{max}}$ に置き換え，オイカワは式(1)，(2)において L_p を $V_{Z_{max}}$ に， B_{LP} を B_{LZ} に置き換え求めたガンマ分布を曲線で示した。オイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ の増加に伴い，アユの最高速度 $V_{P_{max}}/\overline{B_{LP}}$ 顕著な変化が観察されないのに対し，オイカワの最高速度 $V_{Z_{max}}/\overline{B_{LZ}}$ は減少している。

図-14 にオイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ とアユおよびオイカワの最高速度の最頻値 $\hat{V}_{P_{max}}/\overline{B_{LP}}$ ， $\hat{V}_{Z_{max}}/\overline{B_{LZ}}$ との関係を示す。両者の関係を最小二乗法で求めて直線で示した。オイカワの平均体長 $\overline{B_{LZ}}$ の増加に伴い，アユの最高速度の最頻値 $\hat{V}_{P_{max}}/\overline{B_{LP}}$ に変化は観察されないのに対し，オイカワの最高速度 $\hat{V}_{Z_{max}}/\overline{B_{LZ}}$ は減少している。これは，オイカワのアユの接近に対する忌避意識が緩慢になったためと考えられる。

4. おわりに

本研究は，静止流体中における同一体長のアユに対する体長の異なるオイカワの行動特性を解析したものである。得られた知見は以下の通りである。

- (1) オイカワの体長の増加に伴い，オイカワの遊泳距離，遊泳速度および屈折角度が減少する。このことから，オイカワの体長の変化が，アユに対する忌避行動に影響を及ぼすことが判明した。
- (2) オイカワの体長の増加に伴い，アユはオイカワに対しての威嚇行動を追尾から，接近を繰り返す行動に変えることが判明した。
- (3) アユの接近に対してオイカワは体長の増加に伴い，最高速度を減少させることが判明した。

- (4) オイカワは体長の増加に伴い，アユに対する忌避行動が緩慢になることが判明した。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 三宮信夫，中峯浩，岩崎永弥：魚群行動の群の大きさを推定する自己回帰モデル，システム制御情報学会論文誌，第2巻，第1号，pp.23-31, 1989.
- 3) 三宮信夫，島田亮，中峯浩：魚群行動における自律分散機構のモデリング，計測自動制御学会論文集，Vol.29, No.2, pp.211-219, 1993.
- 4) 鬼束幸樹，秋山壽一郎，竹内光，小野篤志：流速変化が単独アユの遊泳特性に及ぼす影響，水工学論文集，第54巻，pp.1309-1314, 2010.
- 5) 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，水工学論文集，第55巻，pp.1441-1446, 2011.
- 6) 伊藤猛夫，水野信彦：仁淀川水系の河川環境・魚類・漁業実態について，仁淀川水系水産資源調査会，1972.
- 7) 上野岳彦，田中友樹，丸山隆：小支流におけるイワナ，ヤマメ稚魚の定位点，行動圏および摂餌頻度に対する両種成魚の影響，日本水産学会誌，第75巻，第5号，pp.802-809, 2009.
- 8) 長谷川功，前川光司：北海道千歳川支流紋別川で起きた在来種アメマス単独生息域への外来種ブラウントラウトの侵入，日本水産学会誌，第74巻，第3号，pp.432-434, 2008.
- 9) Katano, O.: Aggressive Interactions between the Dark Chub, *Zacco temmincki*, and the Pale Chub, *Z. platypus*, in Relation to Their Feeding Behaviour, *Japan Journal of Ichthyology*, Vol.40, pp.441-449, 1994.
- 10) 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，水工学論文集，第56巻，pp.703-708, 2012.

(2013. 9. 30受付)