

板櫃川における魚類生息域の季節変化の調査

FIELD SURVEYS OF SEASONAL CHANGE OF FISH HABITAT IN ITABITSUGAWA

鬼東幸樹¹・秋山壽一郎²・松田孝一郎³・臼杵幸平⁴・竹内光⁵
Kouki ONITSUKA, Juichiro AKIYAMA, Koichiro MATSUDA, Kohei USUKI and Hikaru TAKEUCHI

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学生員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻

⁴学生員 九州工業大学 工学部建設社会工学科

⁵五洋建設株式会社 東京土木支店

It is important to make clear seasonal changes of fish habitat quality in rivers. There are still many unsolved question in fish habitat quality, because this consists of quite complex system. In this study, field surveys of seasonal changes of fish habitat quality were conducted through nine months in Itabitsugawa river which belongs to class B river. It was found that *Carassius langsdorfi* moves from pool to riffle through winter to summer. *Zacco temminckii* and *Zacco platypus* evade *Carassius langsdorfi* in all seasons, because the body length of *Carassius langsdorfi* is larger than that of *Zacco temminckii* and *Zacco platypus*. Further, *Zacco temminckii* evades *Zacco platypus* which is larger than 8cm of body length.

Key Words : survey, fish habitat, seasonal changes, preference curve, *Zacco platypus*, *Zacco temminckii*

1. はじめに

魚のすみやすい川を設計する上で、各種生物の生活史の把握が求められる。魚類の生息調査法として、まず点計測に相当する電気ショッカー¹⁾、投網²⁾³⁾、タモ⁴⁾、セルビン⁵⁾が挙げられる。点計測では任意の測定点における魚類の生息状況は解明できるものの、各魚種の生息場全体を把握するには膨大な測定点を配置する必要があり、多大なコストが必要となる。

テレメトリー法はラグランジュ的な計測であるため、対象魚の生息場全体を把握できる。東ら⁶⁾はテレメトリー法を用いて夜明け前と日没直後のウグイの移動距離が夜間や日中に比べて増加することを示し、佐々木ら⁷⁾は平水時にカワムツが瀬とその近傍に存在することを示した。傳田ら⁸⁾はテレメトリー法を改良したATSを用いて、コイおよびギンブナの挙動が流速だけでなく加速度の影響も受けることを解明した。また、傳田ら⁹⁾はATSを用いてニゴイの河川における挙動を約165日間観測し、平水時と出水時における流速および水深に対する選好値が異なることを証明した。

魚種間には生息場所の獲得競争があり、同時に複数の

魚種の生息場所を把握する必要がある。そのため、対象区域内に離散的に存在する魚類の位置を同時進行で調査する必要がある。こうした調査は投網やテレメトリー法よりも潜水調査の方が適している。藤田・道上¹⁰⁾は千代川支流の淵で潜水調査を行い、各魚種の利用形態を図示した。齋藤ら¹¹⁾は各魚種の生息環境の分類とその縦断方向の利用特性を示した。ただし、魚種間の生息場獲得競争には言及していない。こうした点に着目した研究として、川那部¹²⁾の研究が挙げられる。川那部¹²⁾はアユが瀬で摂食を始めると瀬にいたオイカワは淵へと移動し、続いて、淵にいたカワムツは瀬に忌避することを報告した。

潜水調査は魚類調査に有用な手段であるが、結果にバイアスが生じる可能性がある。なぜなら、一般に魚は自分の体長以上の他魚種を嫌って避ける忌避の傾向があるが¹³⁾、この感度は魚種によって異なる。そのため、潜水中に、対象領域に元来生息している魚種の全てを確認できる保証はない。本研究では、二級河川板櫃川の瀬と淵を含む約30m区間を対象とし、2台のカメラを用いて魚種間の生息場の相違およびその季節変化を調査した。

2. 計測場所および計測方法

北九州市を貫流する二級河川板櫃川の河口から1.1km付近の瀬と淵を含む約30m区間を対象として、表-1に示すように2009年12月から2010年8月の期間に約1ヶ月ごとに定時刻に9回の撮影を行った。本河川を対象とした理由は、比較的小規模な河川なため任意の縦断および横断区間全体を同時に撮影できるためである。また、上記の区間を対象とした理由は、比較的魚種や尾数が多いからである。図-1に示すようにカメラの位置が水面から約10mとなる両岸に、広角レンズおよび偏光レンズを装着した2台のフルハイビジョンカメラをそれぞれ設置し、左岸カメラで河川中央から右岸側を、右岸カメラで河川中央から左岸側を撮影した。調査区間全体を流下方向に4分割し、右岸側および左岸側で構成される各1区間を約5分間で撮影した。撮影中はカメラの視野が約0.9m×0.5mとなるようにズームアップし、カメラアングルを等速で回転させた。なお、撮影中に魚類の一部は移動しているが、解析メッシュサイズを1m×1mとしたため、魚類の移動による個体識別の重複はほとんどない。また、被写体を実寸に変換できるように、カメラの視野内の数カ所にスタッフを設置した様子も撮影した。計測後、魚種、存在位置、体長を解析した。同定された魚種はオイカワ(*Zacco platypus*)、カワムツ(*Zacco temminckii*)およびギンブナ(*Carassius langsdorfi*)であった。表-2に月および魚種別の観測尾数を示す。

2010年4月8日に調査対象の30m区間において、流下方向に30点、横断方向に16点の合計480点の格子点において、レベルおよびスタッフを用いた河床高および水位計測を行った。また、3次元電磁流速計によって同様の格子点において底面から水深の4割の位置で測定間隔0.05s、測定時間26.2sで流速測定を行った。以上の計測は常に平水時において行った。

3. 計測結果および考察

(1) 計測区間の流速および水深

図-2(a), (b)に2010年4月8日に得られた流速および水深のコンターを示す。図-2(a)より、計測区間中央部で流速の速い領域が見られ、その上下流の流速は遅いことがわかる。図-2(b)より、右岸上流側で局所的に水深が深く、ここから下流方向に徐々に水深が減少していることがわかる。そのため、各水深および流速の組み合わせの領域を各魚は利用することができる。

(2) 個体数密度の分布

図-3(a)~(d)に、12月、3月、6月および8月における

表-1 計測条件

year	month	day	time
2009	12	7	13:00~13:20
2010	1	26	
	2	24	
	3	30	
	4	28	
	5	31	
	6	28	
	7	26	
	8	25	

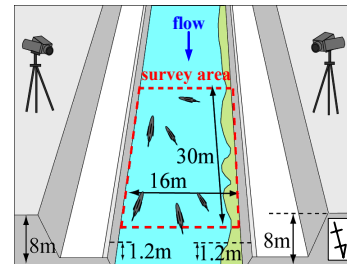


図-1 計測状況模式図

表-2 月および魚種別の観測尾数

2009-2010	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	total
<i>Z. platypus</i>	103	106	30	25	59	127	70	44	46	610
<i>Z. temminckii</i>	59	28	13	46	69	208	77	103	99	702
<i>C. langsdorfi</i>	129	0	57	150	50	161	111	126	161	945
total	291	134	100	221	178	496	258	273	306	2257

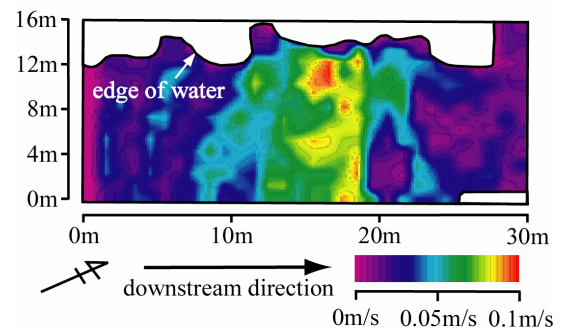


図-2(a) 調査区域の流速コンター

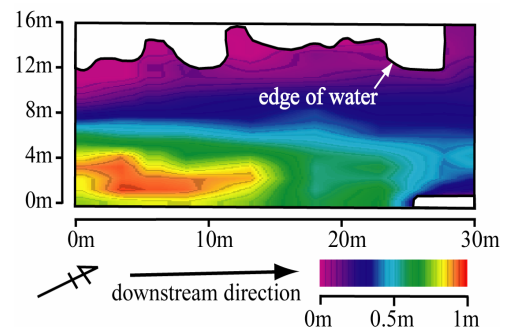


図-2(b) 調査区間の水深コンター

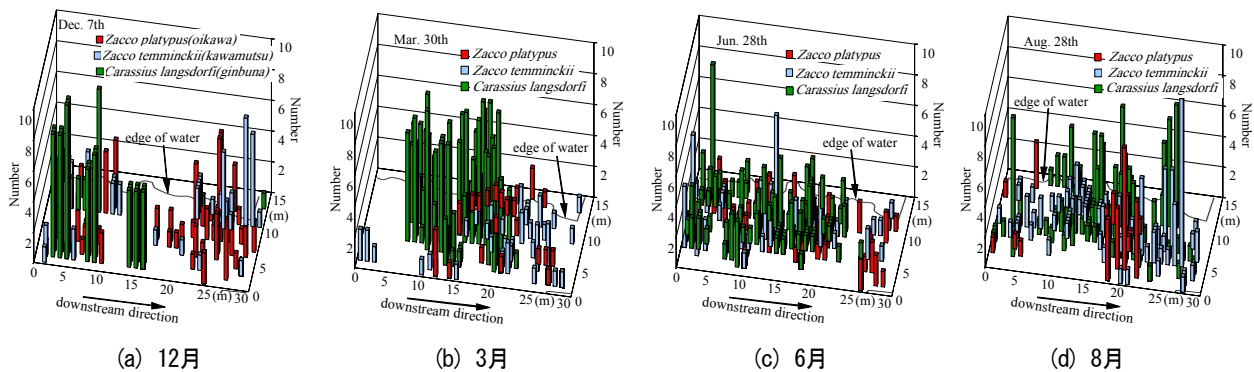


図-3 各魚種の個体数密度の分布

オイカワ、カワムツおよびギンブナの1m×1mごとの個体数密度の分布を示す。全ての魚種において個体数密度の分布は8~10尾/m²に達する領域が存在するが、0尾/m²の領域がむしろ多い。これは上記の魚が単体ではなく、個体群で行動する習性があることに起因する。また、各魚種の生息域は季節変化に伴い移動している。例えば、オイカワは12月に観測区間の上流域および下流域に主として分布するが、8月は中間域に多く分布する。カワムツは12月にやや左岸よりに分布しているが、8月は調査区間全体に分布する。ギンブナは12月にほとんどの個体が右岸上流域に分布するが、8月は中間域に分布する。また、繁殖時期ではない12月および3月ではギンブナの生息域にオイカワおよびカワムツがあまり存在しない。

図-4に1m×1mごとの総個体数 S に対するギンブナの個体数 n_i と、総個体数 S に対するオイカワおよびカワムツの個体数 n_p および n_t をそれぞれ示した。ギンブナの個体数密度比 n_i/S の増加に伴い、オイカワおよびカワムツの個体数密度比が減少している。よって、オイカワおよびカワムツがギンブナを忌避し、この傾向がギンブナの密度の増加に伴い顕著になることが示唆された。

(3) 魚種間の棲み分けの統計的証明

オイカワとカワムツがギンブナを忌避することを統計的に証明するために、体長別 ($B_L = 5\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$, $6\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$, $7\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$, $8\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$) のオイカワおよびカワムツとギンブナの個体数分布の重複度をウィルスの Λ 統計量¹⁴⁾によって検定した。ここに、 $B_{L,\text{max}}$ は最大体長であり、オイカワ、カワムツ共に約100mmであった。

表-3(a), (b)にギンブナと体長別のカワムツおよび体長別のオイカワとの間の Λ 統計検定量とその理論値との比を示した。ここで、理論値とは、各データの0.05水準における各データの自由値から出される値である。また、検定量と理論値を比べる事で結果が有意であるか判定する。この比が表中に黄色で示した1以上であれば、両魚種が0.05水準で生息域を有意に棲み分けていることを意味する。表-3(a)より、ほとんどの体長のカワムツは季

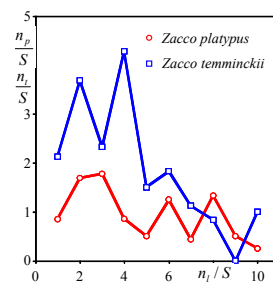


図-4 ギンブナの個体密度の増加に伴う他魚種の存在する尾数

表-3 ウィルスの Λ 統計量を用いた検定量の比率

(a) ギンブナと体長別のカワムツの

Λ 統計検定量とその理論値との比

	Body length of <i>Zacco temminckii</i> ($B_{L,\text{max}}=10\text{cm}$)			
	$5\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$	$6\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$	$7\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$	$8\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$
Dec.	5.54	3.92	4.97	4.97
Jan.	-	-	-	-
Feb.	23.42	49.91	22.62	23.31
Mar.	1.14	1.14	1.14	1.00
Apr.	0.68	0.64	1.43	1.10
May	0.76	2.90	1.99	1.23
Jun.	0.91	5.85	0.30	0.29
Jul.	0.15	0.19	0.79	0.50
Aug.	1.22	1.66	2.22	1.44

(b) ギンブナと体長別のオイカワの

Λ 統計検定量とその理論値との比

	Body length of <i>Zacco platypus</i> ($B_{L,\text{max}}=10\text{cm}$)			
	$5\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$	$6\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$	$7\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$	$8\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$
Dec.	3.58	3.93	1.51	0.92
Jan.	-	-	-	-
Feb.	2.64	2.64	1.22	1.13
Mar.	0.82	13.92	14.02	0.70
Apr.	0.20	0.20	0.30	0.14
May	0.63	1.14	0.37	0.21
Jun.	0.97	0.70	0.95	0.98
Jul.	0.61	0.91	0.74	0.64
Aug.	1.63	1.24	1.11	0.91

(c) カワムツと体長別のオイカワの

Λ 統計検定量とその理論値との比

	Body length of <i>Zacco platypus</i> ($B_{L,\text{max}}=10\text{cm}$)			
	$5\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$	$6\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$	$7\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$	$8\text{cm} \sim B_{L,\text{max}}$
Dec.	0.99	0.93	1.51	14.03
Jan.	0.69	0.81	0.85	1.33
Feb.	3.43	0.92	2.88	3.08
Mar.	-0.17	-0.17	0.40	7.40
Apr.	0.78	0.78	0.59	2.52
May	0.04	0.12	0.10	0.36
Jun.	-0.61	0.13	0.35	38.21
Jul.	0.34	0.28	0.25	0.36
Aug.	0.43	0.30	0.36	0.26

節を通してギンブナを忌避することが理解される。表-3(b)より、オイカワもギンブナを忌避するが、季節によって忌避傾向が変化し、春から夏の間はあまりギンブナを忌避しないことが理解される。

目視の結果、カワムツが体長の大きなオイカワを忌避する傾向が観察された。表-3(c)にカワムツと体長別のオイカワとの間の Λ 統計検定量とその理論値との比を示した。表-3(c)より、カワムツは7cm以上のオイカワを忌避する傾向にあり、特に8cm以上のオイカワに対して季節を通して忌避していると判断される。

図-5(a)～(d)にカワムツとギンブナ、オイカワとギンブナ、オイカワとカワムツ、および8cm以上のオイカワとカワムツの分布をそれぞれ示す。図-5(a), (b)より、カワムツおよびオイカワとギンブナの生息域がほとんど重複していないことから、カワムツおよびオイカワがギンブナを忌避していることが理解される。一方、図-5(c)より全体長のカワムツと全体長のオイカワの生息域は重複しているが、図-5(d)よりカワムツと体長が8cm以上のオイカワの生息域は分かれていることが理解される。したがって、カワムツはギンブナおよび体長が8cm以上のオイカワを、オイカワはギンブナの生息領域を忌避することが理解される。

これまで魚種間の棲み分けについて指摘した研究¹²⁾は存在したが、いずれも目視に基づく印象であった。各魚種の忌避傾向を統計的に検定して、それを棲み分けとして結論づけた例は本研究が恐らく初めてである。

(4) 多様性指数の季節変化

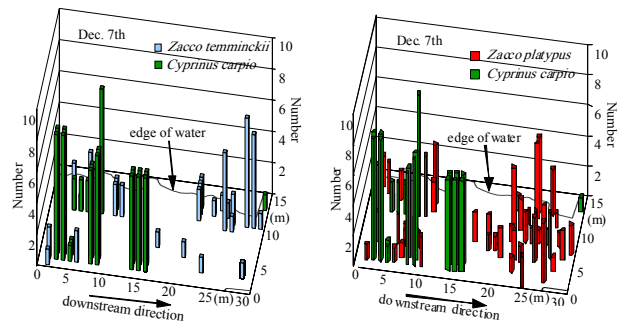
図-6にSimpsonの多様性指数 D の季節変化を示す。

$$D = 1 - \sum_{i=1}^K p_i^2 \quad (1)$$

ここに、 K は全魚種数、 p_i は全尾数の中で魚種 i が占める尾数である。冬季から夏期に向けて多様性指数 D が増加しており、冬季から夏期にかけて種組成が均等になったことを意味する。これは、表-2に示されるように、12月から3月までのカワムツの尾数が減少すること、2月から3月までのオイカワの尾数が減少すること、および1月にギンブナが1尾も観察されないことによる。オイカワおよびカワムツの冬季における減少は、両魚種が冬季は草陰に留まる傾向があるために計測領域よりも上流側の樹木エリアに移動したことや、夏季の産卵後に弱った個体が越冬できなかったことで生じたと推測される¹⁵⁾。

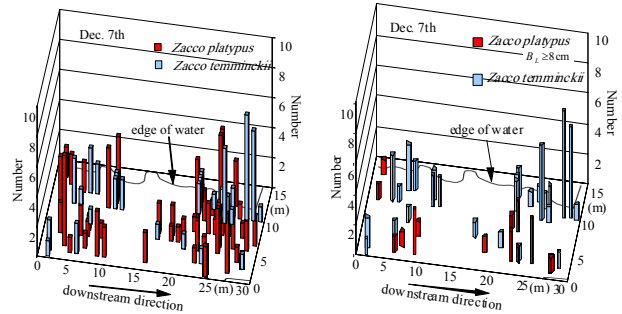
(5) 体長、季節別の水深と流速に関する選好曲線

魚類の生息場が季節変化することが図-3から示唆された。生息場の変化は選好する水深と流速が変化することを示唆する。また、既往の研究より選好曲線が体長に依存することも解明されている。そこで、体長を3種(B_L



(a) 全体長のカワムツと全体長のギンブナ

(b) 全体長のオイカワと全体長のギンブナ



(c) 全体長のオイカワと全体長のカワムツ

(d) 8cm以上オイカワと全体長カワムツ

図-5 12月における個体数密度の分布

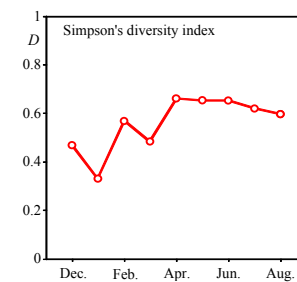
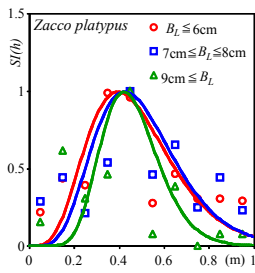


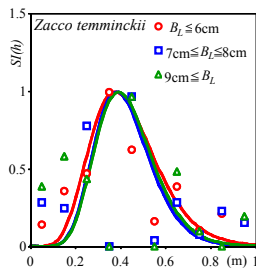
図-6 対象魚種数から算定したSimpsonの多様性指数の季節変化

$\leq 6\text{cm}$, $7\text{cm} \leq B_L \leq 8\text{cm}$, $9\text{cm} \leq B_L$), 季節を3種(冬, 春, 夏)に分類し, 各個体数密度 n を総個体数 N で除した値 n/N を求めた。また, 各季節の計測において雨の後5日以上あけてから計測を行っているため, 流量の変動は少なく流況に大きな変化はない。ただし, 季節および体長を細かく分類するとデータ数が減少するため, 得られる選好曲線に十分な精度が望めない。そこで, 体長あるいは季節のどちらかを統合させ, 第3種適正基準に相当するガンマ分布を採用し, 水深および流速の選好曲線を得た¹⁶⁾。

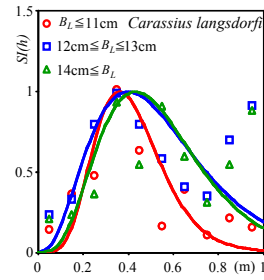
3魚種の水深に関する体長別の選好曲線 $SI(h)$ を図-7(a)～(c)に, 季節別の選好曲線 $SI(h)$ を図-8(a)～(c)に示す。図-9の体長別の選好曲線はいずれも類似し, ピ



(a) オイカワ

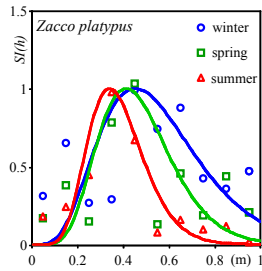


(b) カワムツ

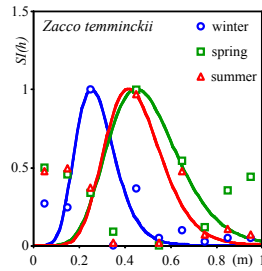


(c) ギンブナ

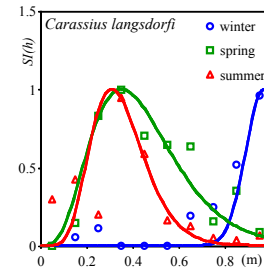
図7 体長別水深選好曲線



(a) オイカワ

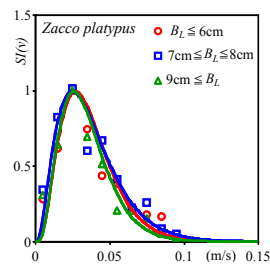


(b) カワムツ

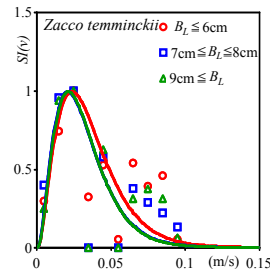


(c) ギンブナ

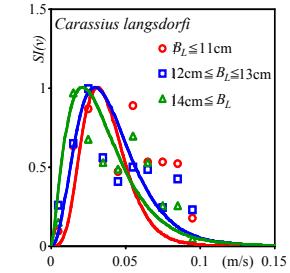
図8 季節別水深選好曲線



(a) オイカワ

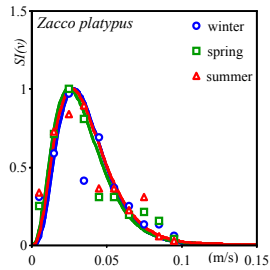


(b) カワムツ

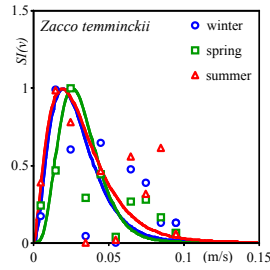


(c) ギンブナ

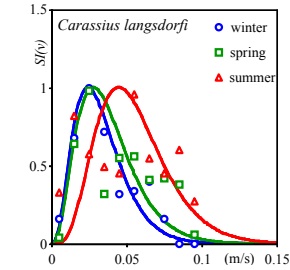
図9 体長別流速選好曲線



(a) オイカワ



(b) カワムツ



(c) ギンブナ

図10 季節別流速選好曲線

ーク位置もほぼ一致している。一方、図-8の季節別の選好曲線は異なる形状をしている。従って、本調査においては、3魚種の水深選好値に及ぼす影響は体長よりも季節の方が支配的である。図-8(a)より、オイカワの選好水深は冬季から夏季にかけて0.5m程度の中水深から0.3m程度の低水深に移行することがわかる。川本ら¹⁷⁾および中村ら¹⁸⁾はオイカワは夏季に低水深を選好すると述べており、本結果は彼らの結果と一致する。図-8(b)より、カワムツの選好水深は冬季から夏季にかけて0.2m程度の低水深から0.5m程度の中水深に移行することがわかる。

これは表-3(a)に示されたように、カワムツが8cm以上のオイカワを忌避するため、オイカワと逆傾向を示したものと考えられる。図-8(c)より、ギンブナは夏季に0.3m程度の低水深を好むが、冬季は他魚種がほとんど利用しない1m程度の高水深を好むことが理解される。この傾向は、図-3(a)および(d)においても認められる。3魚種の流速に関する体長別の選好曲線 $SI(v)$ を図-9(a)~(c)に示し、季節別の選好曲線 $SI(v)$ を図-10(a)~(c)に示す。オイカワとカワムツの選好流速に及ぼす体長および季節による影響はほとんど観察されない。しかし、

図-9(c)よりギンブナの選好流速は体長の増加に伴い減少している。一方、図-10(c)よりギンブナは夏季に高流速を、冬季に低流速を好むことが認められるが、その差は0.04m/s程度であり、これは図-8で確認されたように、水深選好値が季節変化し、生息域が移動するので、結果として流速選好値も変化したと考えられる。

図-11に季節変化による各魚種の生息域の変化を示す。図-8から分かるように、ギンブナは冬季に高水深に生息している。そのため、オイカワが中水深領域を占有している。その結果、カワムツは低水深領域に追いやられている。一方、夏期になるとギンブナは低水深領域に移動する。低水深領域は多く存在するためオイカワはギンブナの生息していない低水深領域に生息する。カワムツはギンブナおよびオイカワを忌避し中水深に生息している。

4. おわりに

本研究では、二級河川板櫃川を対象として魚類生息場の魚種間の棲み分けおよびその季節変化を解明した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 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8cm以上のオイカワを忌避することを統計的に証明した。これまで魚種間の棲み分けについて指摘した研究¹²⁾は存在したが、いずれも目視に基づく印象であった。各魚種の忌避傾向を統計的に検定して、それを棲み分けとして結論づけた例は本研究が恐らく初めてである。また今後は、忌避の定量的な検討が必要である。
- (2) 今回の観測では、オイカワ、カワムツ、ギンブナの選好水深に及ぼす影響は、体長よりも季節の方が支配的であった。これは、季節に応じてギンブナの生息場所が変化し、その結果、他の魚種の生息域が決定するために生じている。そのため、従来から各魚種の選好曲線は水深および流速に影響を受けるとされているが、魚種間で生息域を棲み分けしている場合は、必ずしも適用できないことが明らかとなった。

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)23560610(代表：鬼束幸樹)の援助を受けた。

参考文献

- 1) 小出水規行, 竹村武士, 奥島修二, 山本勝利, 蛭原周：魚類の生息分布に影響を及ぼす農業排水路の環境要因, 河川技術に関する論文集, 第10巻, pp.339-344, 2004.
- 2) 真田誠至, 藤田裕一郎：小河水系における魚類生息空間評価に関する研究, 河川技術論文集, 第9巻, pp.97-102, 2003.
- 3) 庄司崇, 福井吉孝, 青木宗之：河川中流部における魚類の生息分布とその評価法について, 河川技術論文集, 第10巻, pp.345-350, 2004.
- 4) 島谷幸宏, 小栗幸雄, 萱場祐一：中小河川改修前後の生物生息空間と魚類相の変化, 水工学論文集, 第38巻, pp.337-

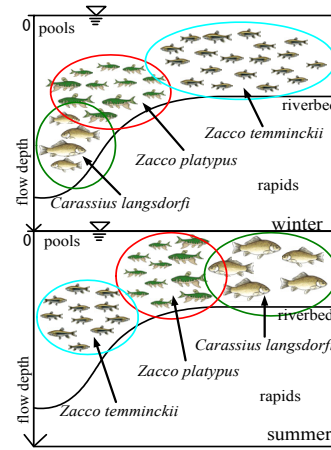


図-11 季節変化による各魚種の水生生息域の変化

342, 1994.

- 5) 竹村武士, 小出水規行, 奥島修二, 山本勝利：農業水路におけるドジョウの行動範囲に関する基礎研究, 河川技術に関する論文集, 第10巻, pp.351-356, 2004.
- 6) 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, 環境システム研究論文集, Vol.27, pp.793-798, 1999.
- 7) 佐々木丞, 関根雅彦, 後藤益慈, 浮田正夫, 今井剛：多自然型川づくりに資するための魚の行動圏調査, 環境工学研究論文集, 第38巻, pp.13-19, 2001.
- 8) 傳田正利, 天野邦彦, 萱場祐一：出水の水理特性が魚類行動に与える影響, 水工学論文集, 第49巻, pp.1465-1470, 2005.
- 9) 傳田正利, 天野邦彦, 辻本哲郎：魚類自動追跡システムの現地実証実験と魚類行動特性の把握, 土木学会論文集B, Vol.65, No.1, pp.1-14, 2009.
- 10) 藤田正治, 道上正規：千代川における淵の構造と魚類の生息環境, 水工学論文集, 第40巻, pp.181-186, 1996.
- 11) 齋藤大作, 渡邊康玄, 妹尾優二, 橋本識秀：後志利別川の魚類調査に基づく生息環境の分類, 水工学論文集, 第43巻, pp.953-958, 1999.
- 12) 川那部浩哉：川と湖の魚たち, 中公新書, 1982.
- 13) 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.
- 14) 高橋良英, 若山博文：判別効率によるソフトウェア品質判別モデルの評価方法, 電子情報通信学会論文誌D - I, Vol.77 - D - I, No.10, pp.663-673, 1994.
- 15) 川那部浩哉, 水野信彦, 細谷和海：山溪カラー名鑑日本の淡水魚, 山と溪谷社, pp.239-243, 2002.
- 16) 鬼束幸樹, 永矢貴之, 白石芳樹, 笠瀨明日香, 東野誠, 高見徹, 横峯正二, 秋山壽一郎, 小野篤志, 芹川泰介：アユに関する流速の選好曲線の提案, 環境工学研究論文集, Vol.46, pp.29-38, 2009.
- 17) 川本泰生, 関根雅彦, 楊継東, 今井崇史, 浮田正夫：IFIMにおける河川生態環境評価法の精度と普遍性に関する一考察, 環境システム研究, pp.447-452, 1998.
- 18) 中村俊六, 石川雅朗, 築坂正美, 東信行, 中村緩徳：河川における魚類生息評価(IFIM適用)のための基礎調査, 河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, pp.127-134, 1995.

(2011. 9. 30受付)