

ウグイ、オイカワおよびカワムツの 流速に関する選好曲線の提案

鬼束 幸樹¹・秋山 壽一郎²・小野 篤志³・竹内 光⁴・西内 教郎⁵

¹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

²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: juichiro@tobata.isc.kyutech.ac.jp

³正会員 (株) 建設技術研究所 大阪本社 (〒541-0045 大阪市中央区道修町1-6-7)
E-mail: as-ono@ctie.co.jp

⁴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)
E-mail: super_miami_baritone_bass@yahoo.co.jp

⁵青年海外協力隊
E-mail: norionishiuchi@gmail.com

河川環境に配慮した川づくりを行うには法律だけでなく、河川環境を評価する手法を確立しなければならない。生息環境評価法として、HEPおよびIFIMの1つのモジュールであるPHABSIMが挙げられる。1978年に公開されたPHABSIMの概略としては、対象領域をセル分割し、水深、流速、底質、カバーなどの選好値の積である合成適正值を計算し、さらに対象領域で面積積分して利用可能面積の時系列を求めるものである。河川に生息する魚類に関する選好曲線は、中村、河村などによって求められているが、同魚種においても異なる形状となっているのが現状である。本研究では、河川水辺の国勢調査に収録されているデータに基づき、ウグイ、オイカワおよびカワムツに関する流速の選好曲線を求めた。

Key Words : PHABSIM, preference curve, velocity, *Tribolodon hakonensis*, *Zacco platypus*

1. はじめに

1990年に「『多自然型川づくり』の推進について」が旧建設省河川局から全国へ通達され¹⁾、1991年から2002年までの工事数は約28,000にも及んだ。1997年には河川法が改正され、「河川環境の整備と保全」が法の目的として明文化された。一方で、1993年には「生物の多様性に関する条約」が採択され、これを受けて「生物多様性国家戦略」やこれを改訂した「新生物多様性国家戦略」が策定された²⁾。また、2003年には「自然再生推進法」が施行され、2006年には多自然型川づくりを見直した「多自然川づくり基本方針」が河川局長より関係機関に通知された³⁾。これによって、「多自然川づくり」はすべての川づくりの基本となり、一級河川、二級河川および準用河川における調査、計画、設計、施工、維持管理等における全ての行為が対象となった。

河川環境に配慮した川づくりを行うには、法律を整備するだけでなく、河川を生息場とする生物にとつての

「すみやすさ」を定量的に評価する手法も確立しなければならない。生息環境評価法として、HEP(Habitat Evaluation Procedure)³⁴⁾およびIFIM(Instream Flow Incremental Methodology)の1つのモジュールであるPHABSIM(Physical Habitat Simulation Model)が主として挙げられる。HEPは1969年に配布された環境アセスメント法であるNEPA(National Environmental Policy Act)を実行するために開発された手法である。対象地域をセルに分割し、餌、水、繁殖地、森林までの距離といった対象セルの環境指標を用いて生息環境を評価するモデルである。我が国でも近年使用され始めている³⁵⁾。

IFIMは1976年に設立されたアメリカ合衆国魚類および野生生物保護局・正常流量共同研究班によって開発され、その1つのモジュールのPHABSIMが1978年に公開された。概略としては、対象領域をセルで分割し、水深、流速、底質、カバーなどの選好値の積である合成適正值CSI(Composite Suitability Index)を計算し、対象領域で面積積分して利用可能面積WUA(Weighted Usable Area)の時系

表-1 我が国に生息する純淡水魚および通し回遊魚に関する既存の水深および流速に関する選好曲線

	アメドジョウ	アブラハヤ	アマゴ	アユ	ウグイ	オイカワ	カジカ	カマツカ	カワムツ	カワヨシノボリ	サケ	タモロコ	ニゴイ	マス	ヨシノボリ	備考	
中村ら(1995) ⁷⁾				◎	◎	◎									△	△	季節別に整理
金ら(1996) ²²⁾						◎			△	△							季節別に整理、一部は複変数局面表示
金・玉井(1996) ¹⁷⁾						○			○								
川本ら(1998) ⁸⁾						◎											季節別に整理
知花ら(1998) ²⁵⁾					○												複変数局面表示
辻本・永禮(1998) ¹⁸⁾		◎			◎		△	△								△	底生魚、遊泳魚でそれぞれ選好曲線が普遍
辻本・永禮(1999) ⁹⁾		◎														△	体長別に整理
中村(1999) ²¹⁾					◎	◎	◎		◎						◎		第1種適正基準、生活史別に整理
川本ら(1999) ²⁰⁾						◎			◎								
知花・玉井(2000) ²⁷⁾					◎												第3種適正基準、複変数局面表示
辻本ら(2000) ¹⁹⁾										◎							第1種適正基準、生活史別に整理
北村ら(2001) ²⁶⁾				○		○											第1種適正基準
原田ら(2001) ²⁸⁾					◎												第3種適正基準(基準を明示していないが明白)
知花・玉井(2002) ¹⁸⁾					◎												第1種適正基準、季節別に整理、複変数局面表示
河村(2003) ¹²⁾	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎	◎	◎		◎	◎			季節別に整理、生活史別に整理
知花ら(2004) ¹⁶⁾					◎												季節別に整理、複変数局面表示
鬼東ら(2005) ¹¹⁾				◎													産卵適正のみ
小出水ら(2005) ⁹⁾												◎					生活史別に整理
鬼東ら(2009) ²⁴⁾			○														第3種適正基準、地方、季節および体長別に整理

◎は流速、水深共に選好曲線が存在、○は水深の選好曲線がなく流速のそれが存在、△は流速の選好曲線がなく水深のそれが存在

列を求めるものである。中村ら⁷⁾は5つの河川において魚類の生息調査を行い、7魚種の選好曲線を求めた。なお、「選好曲線」^{7,13)}については、「評価曲線」⁷⁾、「評価関数」⁹⁾、「適正基準」^{14,16)}と様々な呼称が存在するが、本研究では「選好曲線」を採用する。金・玉井¹⁷⁾は愛知県の乙川を対象として、1次元水面形計算を行うと共に現地河川で得られたオイカワ、カワムツおよびカワヨシノボリの選好曲線を用いてWUAと生息数を比較し、PHABSIMの有効性を裏付けた。辻本・永禮¹⁸⁾は川那部・水野^{19,20)}の図鑑に基づきアブラハヤ、ウグイ、ヨシノボリ、カマツカおよびカジカの選好曲線を求め、森下川を対象としてそれらの魚種のWUAを算出し、総面積で除した値で生息環境を評価した。砂田ら¹⁵⁾は富士川本川の1次元不等流計算結果に中村²¹⁾の提案したウグイの選好曲線を適用し、現地計測結果と一致することを述べた。これは、河川が異なっても同一魚種であれば同一の選好曲線を示すという「選好曲線の普遍性」が成立することを示唆している。中村ら⁷⁾もアユの選好曲線に普遍性があると推定している。ところが、金ら²²⁾が愛知県の乙川で得たオイカワ選好曲線を用いて山口県の中津川におけるオイカワの選好値を川本ら⁸⁾が求めたところ、現地計測結果と一致しなかった。このような相違が生じた原因として、現地調査を行う際に必ずしも生息している全ての魚を捕獲できないために生じる調査結果の誤差や^{23,24)}、検証に用いた選好曲線の精度が必ずしも高くないことが

挙げられる。現在、河川に生息する魚類に関する選好曲線は、中村²¹⁾、河村¹²⁾などによって求められているが、同魚種においても異なる形状となっているのが現状である。

一般に、魚の生息に影響を与える諸量として、流速、水深、底質、カバーが挙げられる。魚の生息している河川における水理データを最も多く含むデータベースとして、「河川水辺の国勢調査」が挙げられる。しかし、このデータベースにおいても、底質、カバーのデータはほとんどなく、水深に関しても総データ数が僅か496である。一方、流速の総データ数は約20万にも及ぶ。本研究では、全国的に広く分布しているウグイ、オイカワおよびカワムツを対象とし、河川水辺の国勢調査のデータに基づいて流速に関する選好曲線を求めた。

2. 純淡水魚および通し回遊魚の既存の選好曲線

(1) 選好曲線の作成方法

選好曲線の作成方法は3種類存在する²¹⁾。第1種適正基準は専門家の意見に基づいて作成されるものである。選好曲線を求める過程で何ら数学的手法を用いないために、専門知識に裏付けられた正しい判断が求められる。第2種適正基準は現地調査で得られた物理データ数をヒストグラムにし、最小値を0、最大値を1とするものである。この場合、例えば水深の低いデータばかりを収集すると、

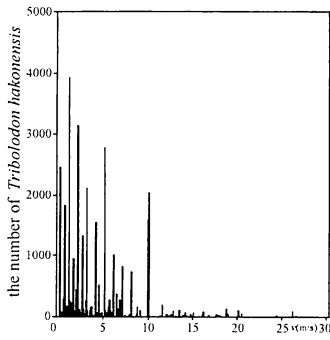


図-1 ウグイの流速別総個体数

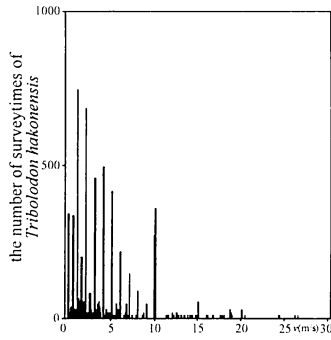


図-2 ウグイの流速別観測点数

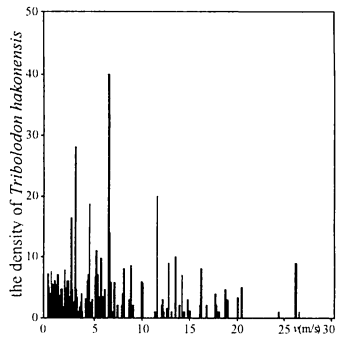


図-3 ウグイの流速別平均個体数

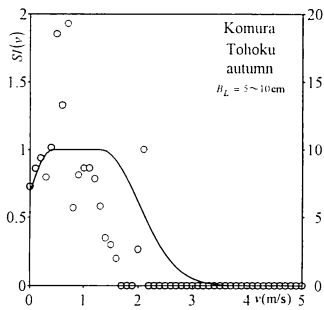


図-4(a) 選好曲線:河村の方法

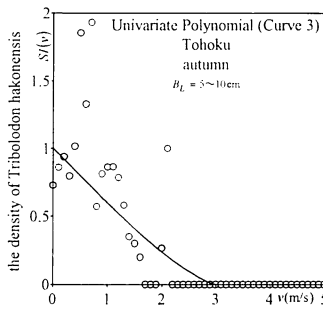


図-4(b) 選好曲線:Univariate
Polynomial分析(3次曲線)

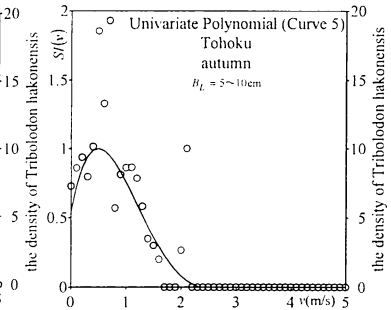


図-4(c) 選好曲線:Univariate
Polynomial分析(5次曲線)

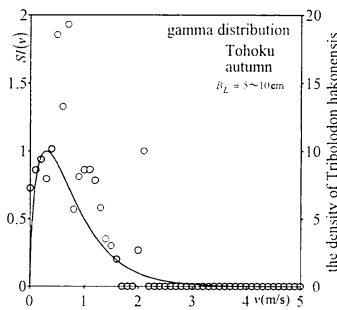


図-4(d) 選好曲線:ガンマ分布

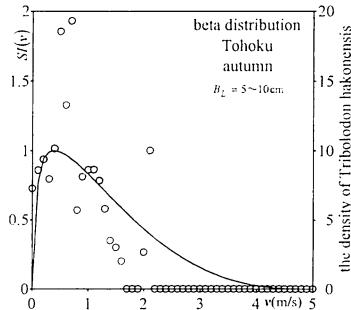


図-4(e) 選好曲線:ベータ分布

バイアスを含む結果となる。第3種適正基準は重みを用いるなどしてバイアスを取り除く手法である。したがって、バイアスを数学的に取り除く手法が第3種適正基準で、経験的に取り除く手法が第1種適正基準と換言できる。そのため、専門的な知識がない場合は第3種適正基準を採用すべきと判断される。本研究では第3種適正基準を採用する。

(2) 既存の選好曲線の比較

表-1に我が国に生息する純淡水魚および通し回遊魚に関する既存の水深および流速に関する選好曲線の有無を示す。論文中に適正基準の種類が明示されている場合は備考にその旨を示した。また、複変数局面表示とは、水

深と流速で構成される平面上に選好値の等値線を表示したものである。選好曲線を策定するに当たって、以下の配慮が必要と考えられる。

- a) 生活史別整理 (体長別に整理)
- b) 季節別整理
- c) 地方別整理

a)については、仔魚、稚魚、成魚、成熟魚といった成長に応じて生息域が変化することを考慮したものである³³⁾。b)については、季節ごとに水温が変化することを考慮したものである。c)については、北緯に応じて水温が異なることや地域に応じて雨量や降雨パターンが異なることを考慮したものである。Nishida³³⁾はアユに遺伝的な形態的変異が地域ごとに生じていることを示しており、地域

ごとに魚の選好曲線が相違する可能性があることを示唆している。近年、鬼束ら³⁾は地方、季節および体長の3因子がアユの選好流速に及ぼす影響を検討した結果、地方変化による影響は微小で、季節および体長による影響を受けるが後者の影響が支配的であることを示した。ところが、アユ以外の魚種については同様な検討はほとんどなされていない。

3. 対象データおよびデータ処理方法

(1) 対象データ

1990年度から2005年度までの河川水辺の国勢調査には全国112河川で延べ約20万の魚種別個体数データと、その魚種の体長別個体数、観測日時、観測地点の流速、水深、河床勾配、セグメントの種類、河床形態、水温、緯度、経度が記録されている。ただし、水深データは1990年度～1991年度に74河川で計測されたものしか存在しない。本研究が対象としたウグイ、オイカワおよびカワムツの流速に関する個体数のデータ数はそれぞれ10694、12803、2278であり、流速データの刻み幅は測定区間によって異なり、0.01 m/s、0.05 m/s、0.1 m/sのいずれかとなっている。

(2) データ処理方法

図-1に0.1m/sごとに分類された流速別のウグイの総個体数を、図-2に観測点数を示した。図-1より流速の増加に伴いウグイの個体数が減少することが確認される。一見、流速の増加に伴い選好性が減少するよう見受けられるが、図-2よりその原因の一つに観測点数の減少が挙げられることが理解される。オイカワおよびカワムツにおいても、同様の傾向が見られた。したがって、観測点数の偏りを考慮した解析が必要と判断される。そこで、対象魚種全てに対して、流速別総個体数を各流速の調査回数で除した値、すなわち、流速別平均個体数を算出し用いることとした。図-3にウグイの流速別平均個体数を示した。

(3) 選好曲線の選定

第3種適正基準の代表的な手法として、Tolerance Limits分析²⁾、Bivariate Polynomial分析²⁾、河村の方法¹⁾、Univariate Polynomial分析およびその他の様々な関数が挙げられる。Tolerance Limits分析は観測値の頻度に対して特定の範囲を決め、これに適正指標を割り当てる方法であるから、数学的に選好値を算出することができない。また、Bivariate Polynomial分析は2つの生息域変数を対象とした解析をする必要があるため、流速のみを生息域変数とする場合は用いることができない。そこで、Tolerance

表-2(a) 東北地方における選好曲線の誤差 (ウグイ, 春)

	河村の方法	Univariate Polynomial分析		ガンマ分布	ベータ分布
		3次曲線	5次曲線		
0~3cm (%)	40.46	25.08	28.78	29.02	46.69
3~5cm (%)	35.33	22.59	25.26	25.12	41.66
5~10cm (%)	57.58	44.32	43.37	37.86	44.97
10~20cm (%)	46.59	36.48	36.22	25.31	47.30
20~ cm (%)	53.40	38.13	38.83	28.76	38.39
Average	46.67	33.32	34.49	29.21	43.80

表-2(b) 東北地方における選好曲線の誤差 (ウグイ, 夏)

	河村の方法	Univariate Polynomial分析		ガンマ分布	ベータ分布
		3次曲線	5次曲線		
0~3cm (%)	133.91	61.31	53.70	57.65	71.65
3~5cm (%)	32.18	19.10	21.53	22.95	41.62
5~10cm (%)	22.10	17.56	16.36	21.32	50.47
10~20cm (%)	26.61	18.71	15.49	19.26	61.96
20~ cm (%)	143.95	51.94	51.88	26.54	32.08
Average	71.75	33.73	31.79	29.54	51.56

表-2(c) 東北地方における選好曲線の誤差 (ウグイ, 秋)

	河村の方法	Univariate Polynomial分析		ガンマ分布	ベータ分布
		3次曲線	5次曲線		
0~3cm (%)	36.85	21.16	26.57	20.60	28.26
3~5cm (%)	39.94	12.35	13.26	16.73	18.42
5~10cm (%)	38.51	22.64	18.74	16.89	28.14
10~20cm (%)	30.42	22.29	18.44	16.42	29.67
20~ cm (%)	44.66	20.60	23.78	21.77	36.36
Average	38.07	19.81	20.16	18.48	28.17

Limits分析およびBivariate Polynomial分析を除く、河村の方法、Univariate Polynomial分析、およびその他の関数の精度を検証する。本研究ではその他の関数として、ガンマ分布およびベータ分布を取り上げた。a)~d)に、河村の方法、Univariate Polynomial分析、ガンマ分布、ベータ分布に用いられる関数を示す共に、選好曲線の作成方法を示す。変数を x 、選好値を $SI(x)$ としている。

a) 河村の方法

式(1)に河村の方法で採用された選好曲線の関数を示す。

$$SI(x) = \exp \left[-C_3(x - C_1)^2 \right] \left(x \leq C_1 \right) \left. \begin{array}{l} SI(x) = 1 \quad (C_1 < x \leq C_2) \\ SI(x) = \exp \left[-C_4(x - C_2)^2 \right] \left(x \geq C_2 \right) \end{array} \right\} \quad (1)$$

ここに、 $C_1 \sim C_4$ は定数であり、流速別平均個体数データに従い $C_1 \sim C_4$ を決定する。

b) Univariate Polynomial分析

式(2)にUnivariate Polynomial分析で用いられる選好曲線の関数を示す。

$$SI(x) = A_0 + A_1x + A_2x^2 + A_3x^3 + \dots \quad (2)$$

ここに、 A_0, A_1, \dots は定数である。流速別平均個体数を式(2)に与えて最小二乗法を用いて定数 A_0, A_1, \dots を求め、選好曲線の形状を決定する。通常は3次または5次関数が用いられる。

c) ガンマ分布

式(3)にガンマ分布で用いられる選好曲線の関数を示す。

$$SI(x) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \alpha^\lambda x^{\lambda-1} e^{-\alpha x} \quad (3)$$

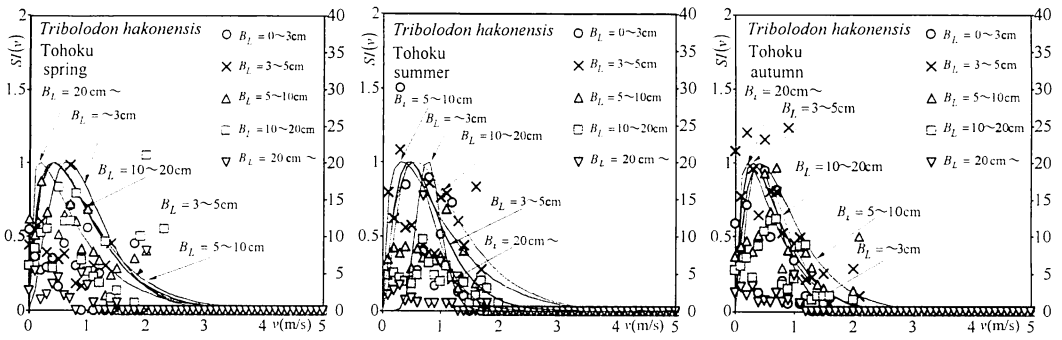


図-5(a) ウグイの選好曲線(東北地方:春) 図-5(b) ウグイの選好曲線(東北地方:夏) 図-5(c) ウグイの選好曲線(東北地方:秋)

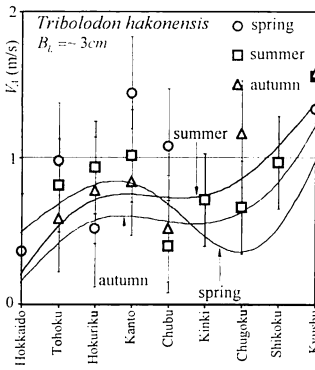


図-6(a) ウグイの体長別の平均値
($B_L = \sim 3\text{cm}$)

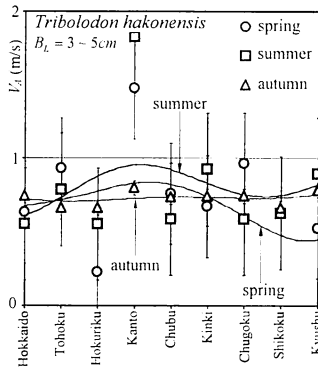


図-6(b) ウグイの体長別の平均値
($B_L = 3\sim 5\text{cm}$)

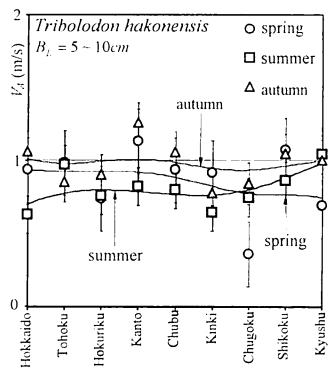


図-6(c) ウグイの体長別の平均値
($B_L = 5\sim 10\text{cm}$)

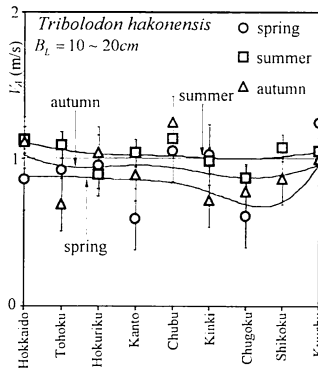


図-6(d) ウグイの体長別の平均値
($B_L = 10\sim 20\text{cm}$)

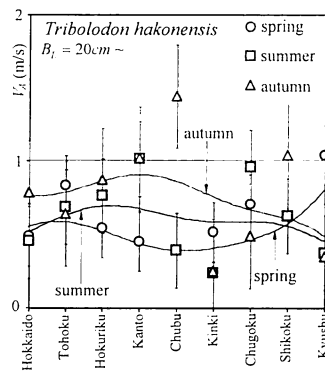


図-6(e) ウグイの体長別の平均値
($B_L = 20\text{cm} \sim$)

ここに、 $\Gamma(\lambda)$ は次式で示されるガンマ関数である。

$$\Gamma(\lambda) = \int_0^{\infty} x^{\lambda-1} e^{-x} dx \quad (4)$$

流速別平均個体数を式(3)に与えて最小二乗法を用いて平均値 λ/α 、分散 λ/α^2 を算出し、選好曲線の形状を決定する。

d) ベータ分布

式(5)にベータ分布を示す。

$$SI(x) = \frac{x^{\lambda_1-1} (1-x)^{\lambda_2-1}}{B(\lambda_1, \lambda_2)} \quad (5)$$

ここに、 $B(\lambda_1, \lambda_2)$ は次式で示されるベータ関数である。

$$B(\lambda_1, \lambda_2) = \int_0^1 x^{\lambda_1-1} (1-x)^{\lambda_2-1} dx \quad (6)$$

流速別平均個体数を式(5)に与えて最小二乗法を用いて平均値 $\lambda_1/(\lambda_1 + \lambda_2)$ 、分散 $\lambda_1 \lambda_2 / \{(\lambda_1 + \lambda_2)^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + 1)\}$ を

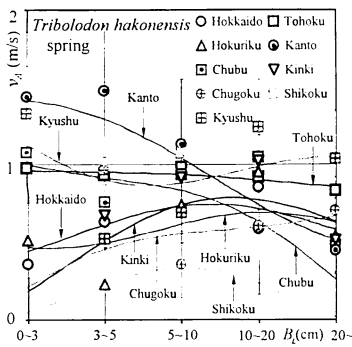


図-7 ウグイの季節別の平均値(春)

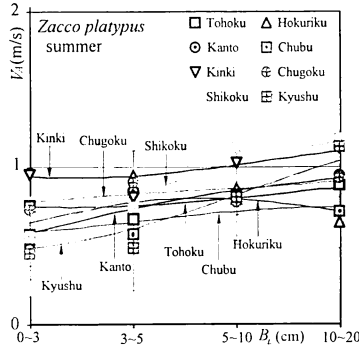


図-8 オイカワの季節別の平均値(夏)

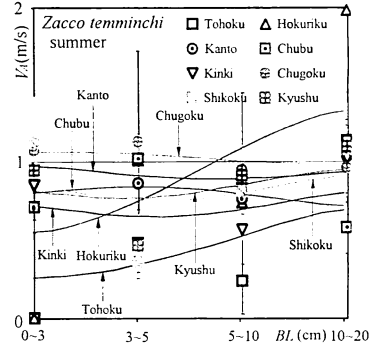


図-9 カワムツの季節別の平均値(夏)

算出し、選好曲線の形状を決定する。

以上の4つの方法を用いて、ウグイのデータ数が最も多い東北地方における、体長、季節および地方別に整理された流速別平均個体数を再現した。Univariate Polynomial分析については3次および5次関数を採用した。例として、体長5~10cmのウグイの秋における流速に関する選好曲線を図-4に示す。図中の右軸は流速別観測個体数でありプロットで表されている。また、左軸は選好値を表しており各選好曲線によって示される。ここで、各選好曲線の最大値が選好値 $SI(v)$ の最大値である1.0となるようにしている。

図-4(a)~(e)に関して、 $SI(v)$ と流速別平均個体数に關しての適合度検定を行ったところ、ガンマ分布の適合度が最も良いことがわかった。オイカワおよびカワムツについても同様の結果が得られた。さらに、各選好曲線で得られる $SI(v)$ と観測データとの差の絶対値の平均値を各 $SI(v)$ で割って算出されるウグイの相対誤差を表-2に示した。表-2に示す4つの方法の中で、季節および体長が変化しても相対誤差が概ね小さいのはガンマ分布である。オイカワおよびカワムツについても同様であった。そのため、本研究では流速の選好曲線にガンマ分布を採用する。

4. 解析結果および考察

(1) 体長、季節、地方別の解析

a) 体長、季節、地方別の分類方法

体長 B_L 、季節および地方別に選好曲線を求めるべきであることは既に述べた。本研究では、体長を5種 ($B_L = 0\sim 3\text{cm}$, $3\sim 5\text{cm}$, $5\sim 10\text{cm}$, $10\sim 20\text{cm}$, $20\text{cm}\sim$)、季節を3種(春, 夏, 秋)、地方を9種(北海道, 東北, 北陸, 関東, 中部, 近畿, 中国, 四国, 九州)に分類した。また、オイカワ、カワムツについては、体長が20cm以上の個体数データおよび北海道における個体数データが他の個体数データと比べ著しく少ないため、これらは解析

の対象から除外した。また、3魚種の冬におけるデータがほとんどないため、解析の対象から除外した。

b) 体長、季節、地方別の選好曲線

体長、季節および地方別の選好曲線をガンマ分布を用いて求めた。一例として、図-5にウグイの各季節における流速 v と $SI(v)$ との關係の体長別変化を東北地方について示す。同図からは選好曲線の体長および季節に対する変化については明確には判断できない。そこで、体長、季節および地方別にガンマ曲線の平均値を用いた平均選好曲線 v_A を求めた。以下では、 v_A に及ぼす体長、季節および地方別の影響を検討する。

c) 平均値を用いた体長、季節、地方の影響検討

図-6にウグイの地方および季節変化に伴う v_A の変化を各体長別にプロットした。図中の曲線については後述する。横軸の地方の順番については、その地方の最北端および最南端の緯度の平均値を求め、その降順とした。図-6に示されたプロットのばらつきが極めて大きいため、全体の傾向を把握することが困難である。突出したデータの影響を比較的受けにくい関数としてベジェ関数が挙げられる。ベジェ関数は各プロットを必ずしも通過せずに緩やかな変化を示すことが特徴で、プロットのばらつきが極めて大きな場合に傾向を捉えることができる関数である。なお、ベジェ関数は両端に位置するプロットを必ず通るため、曲線の形状が両端の2つのデータに強く影響を受ける。そのため、本研究では両端に系列ごとのデータの平均値をそれぞれ1つずつ外挿する方法³⁾を採用した。図-6に示されたベジェ関数に関して季節による影響を統計的に解析するためKruskal-Wallis検定を行った。その結果、それぞれの曲線間に5%の危険率で有意な差は見られず、季節による差異はないことがわかった。また、地方による差異の検定として、一次回帰分析を行い曲線の上昇、下降傾向を見た。さらに、Mann-Kendall検定による解析を行い、曲線の上昇、下降傾向を5%の危険率で統計的に有意であるか検討した。その結果、図-6(a)以外のデータにおいては、5%の危険率で曲線に上

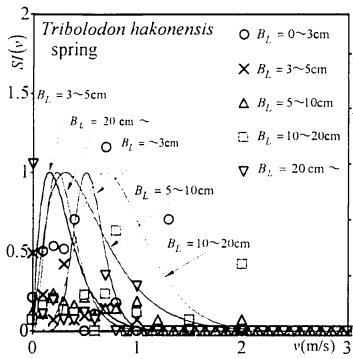


図-10 ウグイの季節別の選好流速(春)

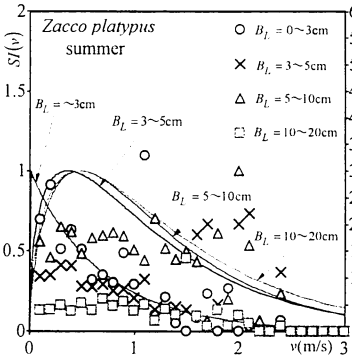


図-11 オイカワの季節別の選好流速(夏)

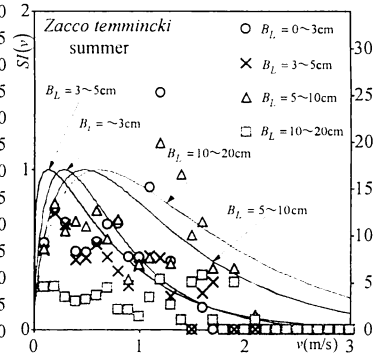


図-12 カワムツの季節別の選好流速(夏)

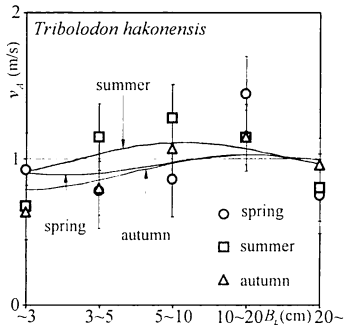


図-13 ウグイの季節別平均選好流速

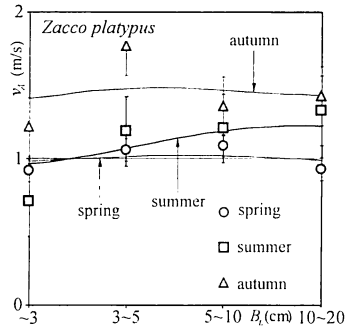


図-14 オイカワの季節別平均選好流速

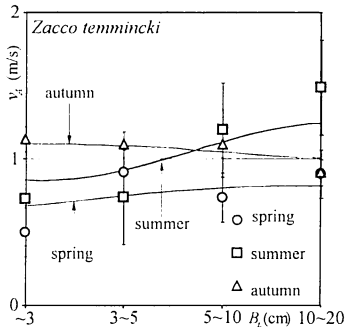


図-15 カワムツの季節別平均選好流速

昇, 下降傾向は見られないことがわかった. したがって, 地方による差異もないことがわかった. オイカワ, カワムツについても同様の傾向が見られた.

図-7~9に3魚種のそれぞれ最もデータ数の多い季節における地方および体長変化に伴う v_A の変化をプロットすると共に, ベジエ関数を実線で示した. 図-7中の北海道, 関東, 中部のベジエ関数は減少傾向を示しており, 他の地方とは違った傾向を示している. 一次回帰分析とMann-Kendall検定を行った解析でも有意差5%の危険率で減少傾向であることがわかった. しかし, 他の地方, および図-8, 9で示されるオイカワ, カワムツのベジエ関数は統計的に有意な上昇傾向を示しており, 全体の傾向として v_A は体長の増加とともに増加傾向にあると判断した. 3魚種の他の季節についても同様の傾向が見られた.

以上のことから, 対象の3魚種の流速に関する選好曲線に対して, 地方による影響よりも体長による影響の方が支配的であると判断された. 以下では地方を区別せずに全地方データを統合して解析を行う.

(2) 全地方を統合したデータを用いた体長, 季節別の解析

図-10~12に3魚種のそれぞれ最もデータ数の多い季

表-3(a) 選好曲線の係数 (ウグイ)

season	B_L					
		~3cm	3~5cm	5~10cm	10~20cm	20cm~
spring	α	0.92	0.78	0.86	1.44	0.75
	λ	0.31	0.36	0.39	1.19	0.38
summer	α	0.68	1.15	1.28	1.15	0.81
	λ	0.33	0.92	1.35	0.82	0.21
autumn	α	0.64	0.80	1.07	1.15	0.96
	λ	0.24	0.46	0.71	0.69	0.84

表-3(b) 選好曲線の係数 (オイカワ)

season	B_L					
		~3cm	3~5cm	5~10cm	10~20cm	20cm~
spring	α	0.92	1.06	1.09	0.93	
	λ	0.49	0.52	0.52	0.42	
summer	α	0.71	1.19	1.21	1.33	
	λ	0.51	0.99	0.89	1.15	
autumn	α	1.22	1.77	1.36	1.43	
	λ	0.83	2.21	1.13	1.41	

表-3(c) 選好曲線の係数 (カワムツ)

season	B_L					
		~3cm	3~5cm	5~10cm	10~20cm	20cm~
spring	α	0.50	0.91	0.74	0.90	
	λ	0.09	0.43	0.28	0.59	
summer	α	0.73	0.74	1.20	1.49	
	λ	0.33	0.45	0.87	1.31	
autumn	α	1.13	1.10	1.10	0.91	
	λ	0.75	0.99	0.93	0.58	

節における全地方を統合したデータを用いた流速 v および B_L と $SI(v)$ との関係をそれぞれ示し、表-3に選好曲線の式(3)における係数 α および λ の値を示す。いずれの魚種にしても、体長の増加に伴いガンマ分布の最大値が高流速側に遷移する傾向にある。そこでこの傾向を明確に把握するために、図-13~15に3魚種の全地方を統合したデータを用いて得られた B_L と v_A との関係をそれぞれ季節別に示す。図-13より、ウグイの3つの季節において体長20cm以上を除くと、体長の増加に伴い v_A は増加傾向にある。図-13のベジェ関数に関して一次回帰分析とMann-Kendall検定を行った結果、5%の危険率で統計的に有意な上昇傾向が見られ、 v_A には体長の影響があることがわかった。これは体長の増加に伴い高流速を選好することを意味する。また、図-14、15より、オイカワ、カワムツにおいても同様の傾向が見られる。一般に、遊泳力は体長に比例し、生理運動学的にも裏付けられる。

5. おわりに

本研究は、河川水辺の国勢調査のデータに基づいてウグイ、オイカワおよびカワムツの流速に関する選好曲線を求めたものである。以下に結論を示す。

- (1) 第3種適正基準の作成方法である河村の方法¹³⁾、Univariate Polynomial分析、ガンマ分布およびベータ分布を比較検討した結果、現地データとの誤差が小さいガンマ分布が最適であると判断した。
- (2) 選好曲線の平均値を用いて比較を行った結果、ウグイ、オイカワおよびカワムツの流速に対する選好性は地方の相違による影響をほとんど受けないことが示された。一方、体長の増加に伴い選好する流速が増加することが確認された。その結果、選好曲線を式(3)および表-3のように提案することが出来た。

参考文献

- 1) 多自然型川づくりレビュー委員会：多自然川づくりへの展開、2006。
- 2) 環境省編：新生物多様性国家戦略、ぎょうせい、2002。
- 3) U.S. Fish and Wildlife Service: Habitat Evaluation Procedures (HEP). U.S. Dept. of Interior, Fish and Wildlife Service, Ecological Service Manual 101, 102 and 103. 368p 1980.
- 4) 田中章：何をもって生態系を復元したといえるのか?生態系復元の目標設定とハビタット評価手続き HEP について、ランドスケープ研究, Vol.65, No.4, pp.1-5, 2002.
- 5) 小出水規行, 竹村武士, 奥島修二, 山本勝利, 蛭原周：HEP 法による農業排水路におけるタモロコの適性生息場の評価：千葉県谷津田域を事例として、河川技術論文集, 第11巻, pp.489-494, 2005.
- 6) 風間聡, 松本哲, 沢本正樹, 浜本洋：HSI モデルによる生物生息場推定を利用した流域環境評価, 土木学会論文集 B, Vol.63, No.4, pp.338-350, 2007.

- 7) 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環境評価(IFIM 適用)のための基礎調査, 第2回河道の水理と河川環境シンポジウム, pp.127-134, 1995.
- 8) 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, Vol.26, pp.447-452, 1998.
- 9) 辻本哲郎, 永禮大：魚類生息環境変質の評価のシナリオ, 水工学論文集, 第43巻, pp.947-952, 1999.
- 10) 辻本哲郎, 田代喬, 伊藤壯志：生活圏の連結性に着目した魚類生息環境評価法の提案と河道内微地形の役割評価, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp.167-172, 2000.
- 11) 田代喬, 辻本哲郎：河床攪乱頻度を指標とした生息場評価による瀬・淵構造の変質に関する考察, 水工学論文集, 第46巻, pp.1151-1156, 2002.
- 12) 河村三郎：リバーフロント整備センター, 2003.
- 13) 傳田正利, 天野邦彦, 辻本哲郎：物理生息場モデルを用いた一時的水域内の物理環境特性が魚類生息に与える影響の評価, 水工学論文集, 第51巻, pp.1297-1302, 2007.
- 14) 須藤達美, 永瀬恭一, 道上正規, 檜谷治：PHABSIMを用いた純淡水魚類生息場の定量的評価に関するケーススタディ, 水工学論文集, 第44巻, pp.1203-1208, 2000.
- 15) 砂田憲吾, 熊木明子, 川村和也：河川の流況特性による魚類の生息適性のマクロな評価に関する検討, 水工学論文集, 第47巻, pp.1123-1128, 2003.
- 16) 知花武佳, 辻本哲郎, 玉井信行：物理環境の階層構造を考慮した魚類生息場評価法の開発, 水工学論文集, 第48巻, pp.1567-1572, 2004.
- 17) 金亨烈, 玉井信行：乙川における IFIM を用いた魚類の生息域評価に関する研究, 環境システム研究, Vol.24, pp.77-82, 1996.
- 18) 辻本哲郎, 永禮大：河川の魚類生息環境評価 石川県森下川の例, 第4回河道の水理と河川環境シンポジウム, pp.207-212, 1998.
- 19) 川那部浩哉, 水野信彦：川と湖の魚1, 保育社, 1998.
- 20) 川那部浩哉, 水野信彦：川と湖の魚2, 保育社, 2000.
- 21) アメリカ合衆国内務省・国立生物研究所原著作, 中村俊六・テリー・ワドゥル訳：IFIM 入門, 財団法人リバーフロント整備センター, 1999.
- 22) 金亨烈, 玉井信行, 松崎浩憲：流量増分生息域評価法における生息数基準に関する研究, 水工学論文集, 第40巻, pp.151-156, 1996.
- 23) Mathur, D.: A critique of the instream flow incremental methodology, *Can. J. Fisheries and Aquatic Sci.*, Vol.42, pp.825-831, 1985.
- 24) 黒田直樹, 玉井信行, 知花武佳, 鈴木一平：瀬淵構造を考慮した魚類生息域評価法に関する研究, 河川技術に関する論文集, 第7巻, pp.303-308, 2001.
- 25) 知花武佳, 松崎浩憲, 玉井信行：多自然型河川整備のための魚類生息環境評価, 第4回河道の水理と河川環境シンポジウム, pp.201-206, 1998.
- 26) 川本泰生, 関根雅彦, 楊継東, 小林宏正, 浮田正夫：IFIM における魚の選好曲線の河川間の互換性に関する検討, 環境工学研究論文集, Vol.36, pp.271-276, 1999.
- 27) 知花武佳, 玉井信行：環境傾度を考慮した魚類生息環境評価法に関する研究, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp.161-166, 2000.
- 28) 北村忠紀, 田代喬, 辻本哲郎：生息場評価指標としての河床攪乱頻度について, 河川技術に関する論文集, 第7巻, pp.297-302, 2001.

- 29) 原田守啓, 藤田裕一郎, 深谷治由: 河川の生息環境評価手法に関する一考察, 水工学論文集, 第 45 巻, pp.1129-1134, 2001.
- 30) 知花武佳, 玉井信行: 生息域の季節変動に着目した魚類生息域適性基準に関する研究, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.1145-1150, 2002.
- 31) 鬼東幸樹, 永矢貴之, 東野誠, 高見徹, 大塚法晴, 秋山壽一郎, 尾関弘明, 白石芳樹: アユの産卵に適した水深および流速の選好曲線に関する検討, 河川技術論文集, No.11, pp.483-488, 2005.
- 32) 水野信彦: 魚にやさしい川のかたち, 信山社出版, 1995.
- 33) Nishida, M.: Geographic variation in the molecular, morphological and reproductive characters of the Ayu *Plecoglossus altivelis* (Plecoglossidae) in the Japan-Ryukyu Archipelago, *Japan J. Ichthyol.*, Vol.33, pp.232-248, 1986.
- 34) 鬼東幸樹, 永矢貴之, 白石芳樹, 笠瀬明日香, 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.

A PROPOSAL OF PREFERENCE CURVES OF VELOCITY FOR *TRIBOLODON HAKONENSIS*, *ZACCO PLATYPUS* AND *ZACCO TEMMINCKII*

Kouki ONITSUKA, Juichiro AKIYAMA, Atsushi ONO, Hikaru TAKEUCHI and Norio NISHIUCHI

One of the most famous environmental assessment method for fish habitat in river is PHABSIM which calculate the WUA(Weighted Usable Area) based on CSI(Composite Suitability Index). CSI is calculated with SI(Suitability Index) concerning with flow depth, velocity, substrate, cover and so on. Some researchers suggested SI for several fishes living in Japanese rivers. However, those are not corresponding. In this study, a lot of data of the flow velocity where ayu is living were collected and preference curves are suggested. It was found that the preference curves are the same, irrespective of regional difference and also that the effects of the seasonal climate on the preference curves are small in compared with that of body length. The preference curve of *Tribolodon hakonensis*, *Zacco platypus* and *Zacco temminckii* concerning with velocity is suggested based on seasonal climate and body length.