

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

Development of Utilization Criteria of Habitat Variables in Instream Flow Incremental Methodology

金 亨烈*、玉井信行**、松崎浩憲***

By Hyeong Ryeol KIM, Nobuyuki TAMAI, and Hironori MATUZAKI

The main objectives of this study is to develop utilization criteria of habitat variables in IFIM based on several methods. We utilized habitat variables such as velocity, depth, and substrate for pale chub, dark club, and river lizard goby in Oto River observed in 1994. We measured water temperature during the summer in 1995 to improve the IFIM by introducing the relationship between this and number of captured fishes. The major conclusions are as follows: (1) Utilization criteria of velocity for pale chub in summer is best developed by UPA, and (2) Water temperature (during one day) data are not sufficient at present to explain the relationship between this and number of captured fishes.

Keywords: IFIM, Utilization Criteria, Habitat variables, Habitat(fish).

1. はじめに

従来、河川改修は、主として治水と利水との観点から行われて来たが、河川と水辺空間をもっと積極的に整備して地域住民の福祉に役立つように河川管理をしようという要求が強まってきている。これに伴い、「多自然川づくり」という概念が建設省により導入されているが、このための手法の一つとして魚類の生息域を中心に河川の生息域を評価する流量増分生息域評価法という手法が活発に討議されている。

流量増分生息域評価法(Instream Flow Incremental Methodology)は、1976年に、発足した US Fish and Wildlife Cooperative Instream Flow Service Group(現在、Aquatic System Branch of the National Ecology Research Center)によって開発された生息域評価手法で、河川の魚類資源に悪影響を及ぼさず、どのくらいの水資源を活用することができるのかを評価するものである。今日、アメリカの一部の州ではこの手法が実用化されている。この手法を用いれば、魚類資源に及ぼす河川改修の影響を予測することや、いろいろな河川改修の効果を比較・検討することができる[2,4,5,6]。この手法には二つの重要な改良すべき点があるが、それらは生息域変数に対する生息域適正基準をより正確なものにすることと、水理量(流速と水深)をより正確に予測するモデルを開発することである。

本研究では生息域変数に対する生息数基準を作成する手法を検討するとともに、今まで考慮されなかった水温を生息域変数として取り上げ、水温と魚類資源がどのような関係にあるのかを調査・検討する。

* 学生会員 東京大学大学院工学系研究科博士課程 (〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)

** フェロ-会員 工博 東京大学教授 大学院工学系研究科土木工学専攻 (同上)

*** 正会員 工修 東京大学助手 大学院工学系研究科土木工学専攻 (同上)

2. 対象地域及び魚類

2.1 対象地域

本研究の対象地域は、愛知県額田郡と南設楽郡界の巴山に源を発し、岡崎市を東西に貫流し、支流男川を含む 10 余りの支流を合わせて矢作川に合流する乙川である。この流域面積は 271.1km^2 で、三河山地の南西部に位置し、流路延長は約 34km である。

乙川の河床勾配は大平橋より下流では $1/2000$ - $1/900$ と緩いが、これより上流の男川との合流点までは約 $1/400$ 、合流点より上流は $1/100$ - $1/150$ と急勾配で不連続になっている。平面形状は各所で屈曲を繰り返し、その水衝部には淵が形成されている。河床材料は、岡崎市中心部の平野部では河川の運搬能力が低く砂の堆積が著しい。これより上流部に向かうに従い、礫の粒径が大きくなる。最近 5 年間の年平均降水量は $1219\text{mm}/\text{年}$ であり、乙川頭首工地点の平水流量は $8.74\text{m}^3/\text{sec}$ である。乙川の水質を BOD でみると、上流（岡崎市水道取入口）では 1983 年から環境基準 ($2.0\text{mg}/\ell$) とほぼ同じ程度であるが、これより下流では $5.2\text{mg}/\ell$ で環境基準 ($5.0\text{mg}/\ell$) を越える値となっている^[8]。

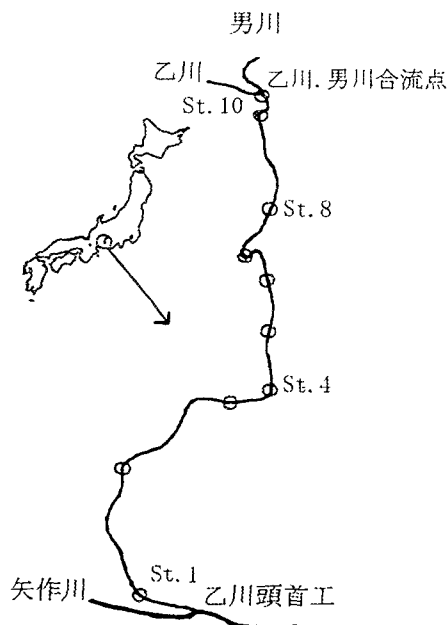


図-1 乙川の調査区間に対する概略図。

2.2 対象魚類

対象魚類の選定には、既往の乙川の魚類生息状況調査結果^[7]を利用する。魚類生息状況調査は、上流の乙川と男川の合流点から下流の矢作川と乙川との合流点までの約 11km の調査区間の中で、淵と瀬を組み合わせ 10 箇所の観測点を選定し、1994 年の冬、春、夏、及び秋に実施した。投網、タモ網、すくい網、簗、定置網を用いる採捕調査と淵においてはスキューバダイビング、瀬においてはスキンドайビングを用いる潜水調査、及び標識調査が行われ、これによって、調査区間で確認された魚類は 13 科 29 種である。冬季の場合は、採捕された尾数が少ないので、本研究では、春、夏、及び秋に、全観測点で確認されたオイカワ (*Zacco platypus*)、カワムツ (*Zacco temminckii*)、及びカワヨシノボリ (*Rhinogobius flumineus*) の 3 種に対して検討を行う。

3. 生息域変数に対する生息数基準の作成

生息域適正基準 (Habitat Suitability Criteria) は、生息域変数を適正指標に変換する基準として、対象河川における生息域変数の特定の範囲に対して魚がどのくらい出現するのを示す。ここで、生息域変数 (Habitat variables) は魚の生息に影響を及ぼす因子であり、縦横断方向に変化する流速、水深及び底質などと、主に縦断方向に変化する水温、カバー、及び水質などがある。適正指標 (Suitability Index) は、生息域変数に対する魚の出現頻度で、最大 1.0、最小 0.0 である。

この生息域適正基準は、流量増分生息域評価法において最も基本的で重要なもので、生息数基準と選好性基準がある。生息数基準 (Utilization Criteria) は、生息域変数毎の魚の出現頻度で、これを作成するためには魚の出現頻度を調査する時に、その場所での生息域変数を同時に知る必要がある。選好性基準 (Preference Criteria) は、生息数基準を利用可能基準で割って定義される生息域変数単位面積当たりの魚の出現頻度である。生息数基準より一般性が高い。これを作成するためには生息域変数に対する魚の出現頻度を調査する時、生息域変数の出現頻度も調査する必要がある。ここで、利用可能基準 (Availability Criteria) は、生息域変数の出現頻度である^[1]。

本研究では生息数基準に対して検討を行う。この生息数基準を作成する方法には、頻度分布分析^[1,3]、Tolerance Limits 分析^[1]、Univariate Polynomial 分析^[1,3]、及び Bivariate Exponential Polynomial 分析^[1,3]の 4 種がある。

3.1 頻度分布分析

頻度分布分析は、最も簡単に生息数基準を求める方法として中村ら⁴⁾に紹介されたように、対象河川における生息域変数毎の魚の観測資料で作られる頻度分布を用いて、頻度分布の各バーの中間点を滑らかに繋げるという簡単な方法である。図-2に頻度分布分析による夏のオイカワに対する流速の生息数基準を示す。

3.2 Tolerance Limits 分析

1982年 Gosse によって開発された方法⁴⁾で、生息域変数毎の魚の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ものである。例えば、50%の魚の観測値の頻度に対しては1.0、75%に対しては0.5、90%に対しては0.2、95%に対しては0.1を割り当てる。図-3にTolerance Limits 分析による夏のオイカワに対する流速の生息数基準を示す。

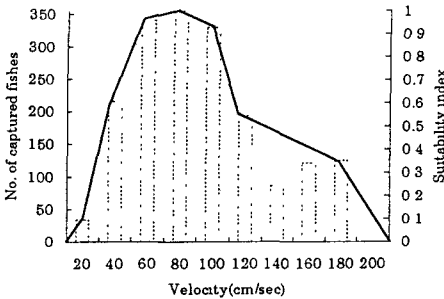


図-2 頻度分布分析によるオイカワに対する流速の生息数基準。

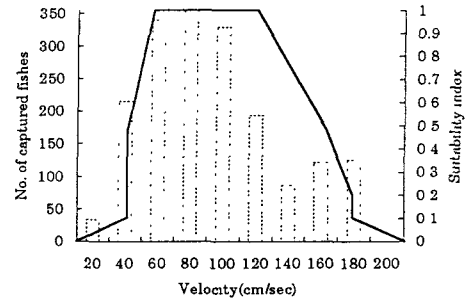


図-3 Tolerance Limits 分析によるオイカワに対する流速の生息数基準。

3.3 Univariate Polynomial 分析

Univariate Polynomial 分析は、頻度分布分析と類似しているが、頻度分布分析は目で曲線を当てはめるのに対し、Univariate Polynomial 分析は方程式を用いて曲線を当てはめる。この分析では、式(1)のような基本方程式を用いて、最小2乗法及び試行錯誤法で自由度2重調整済み決定係数を最大にする方程式を求める。

$$SI=A0+A1*X+A2*X^2+A3*X^3+... \quad (1)$$

ここで、SIは適正指標、Xは生息域変数、A0、A1、...は定数である。

図-4にUnivariate Polynomial 分析による夏のオイカワに対する流速の生息数基準を示す。この基準は、自由度2重調整済み決定係数0.969の8乗方程式である。

3.4 Bivariate Exponential Polynomial 分析

Bivariate Exponential Polynomial 分析は、Univariate Polynomial 分析と類似しているが、この分析では、式(2)のように二つの生息域変数を同時に計算するとともに、生息域変数の相互作用も考える。方程式を求める過程はUnivariate Polynomial 分析と同じである。

$$SI=\exp(A0+A1*X+A2*Y+A3*X^2+A4*Y^2+A5*X*Y) \quad (2)$$

ここで、X,Yは生息域変数である。

図-5 に Bivariate Exponential Polynomial 分析による夏のオイカワに対する流速と水深の生息数基準を示す。この基準は、自由度 2 重調整済み決定係数 0.517 で、流速と水深の相互作用も考える方程式である。

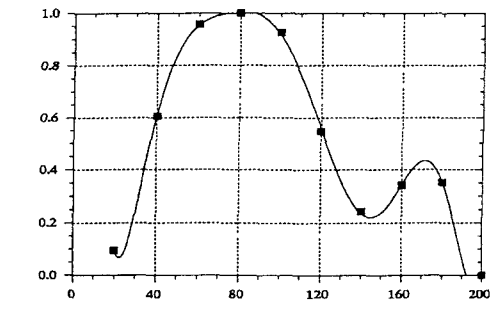


図-4 Univariate Polynomial 分析によるオイカワに対する流速の生息数基準。

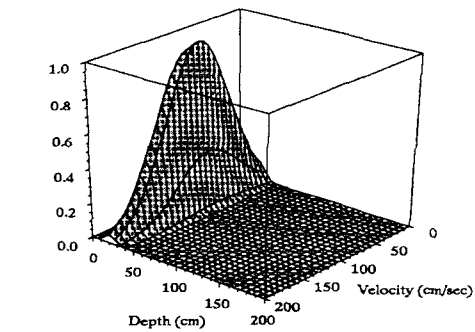


図-5 Bivariate Exponential Polynomial 分析によるオイカワに対する流速と水深の生息数基準。

3.5 比較検討

(1) 魚類及び季節による生息域変数の生息数基準の変化

魚類や季節による生息域変数の生息数基準の変化を見るため、頻度分布分析によるこの結果を図-6 と 7 に示す。図-6 はオイカワ、カワムツ、及びカワヨシノボリに対する夏の水深の生息数基準の変化である。3 種の魚が大抵水深 70cm までの区間で生息しているが、カワムツの場合には三つのピークがあることが分かる。図-7 はオイカワに対する季節別、水深の生息数基準の変化である。図-6 と同じように大抵水深 70cm までの区間で生息しているが、夏の場合には水面の付近に上がって生息するのが分かる。

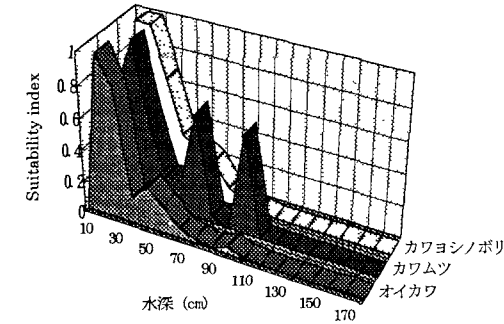


図-6 魚類に対する夏の水深の生息数基準の変化。

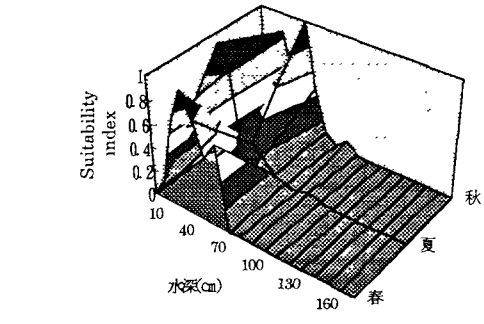


図-7 オイカワに対する季節別、水深の生息数基準の変化。

(2) 魚類及び季節別、生息域変数の生息数基準の比較

3.1 から 3.4 ままで記述した四つの方法で、魚類及び季節別の生息域変数の生息数基準を比較・検討して、最も適合する生息数基準を決める。採捕された魚の数の相対頻度(RF)と、頻度分布分析(HA)、Tolerance Limits 分析(TLA)、Univariate Polynomial 分析(UPA)、及び Bivariate Exponential Polynomial 分析(BEPA)で求められる適正指標との相関係数を用いて、特定の魚と特定の季節に対する特定の生息域変数の生息数基準を決める。

図-8 では夏のオイカワに対して各分析で求められた流速の生息数基準を比較している。図-9 には夏のオイカワに対して RF と各分析による求められた流速の生息数基準の適正指標との相関を示している。この図より RF と UPA による適正指標との相関係数(0.999)が最大なので (BEPA の場合、水深 20cm 区間での流速の生息数基準)、UPA で求められたものを流速の生息数基準として用いるものとする (図-4)。

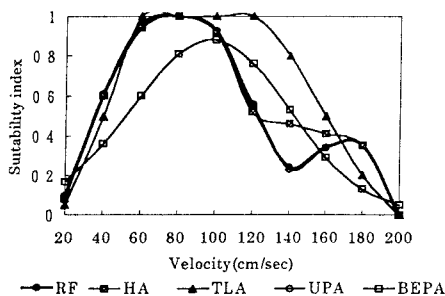


図-8 夏のオイカワに対して各分析による流速の生息数基準の比較。

夏のオイカワに対する水深の生息数基準の場合は、RFとHAによる適正指標との相関係数は0.944、TLAの場合は0.437、UPAの場合は0.977、BEPAの場合（流速80cm/sec区間での水深の生息数基準）は0.985である。BEPAの場合、相関係数が最大なので、BEPAで求められたものを水深の生息数基準として用いるものとする（図-5）。

一方、夏のオイカワに対する底質の生息数基準の場合は、RFとHAによる適正指標との相関係数は0.999、TLAの場合は0.949、UPAの場合は0.995、BEPAの場合（流速80 cm/sec区間での底質の生息数基準）は0.998である。この場合にはHAで求められたものを底質の生息数基準として用いるものとする（図-10）。この結果は中村ら⁹⁾が頻度分布を用いて得た結果と一致する。

4. 魚類資源と水温との関係

今まで検討した流速、水深、及び底質は河川の縦横断方向に非常に大きく変化する生息域変数であるが、水温は、主に縦断方向に変化して横断方向にはそれほど変化しない生息域変数である。我々は乙川の同じ調査区間の中で7箇所の観測点を選んで、各観測点別に二つの地点（一つは水深10cm位の瀬、もう一つは淵で水面から100cmくらいの深さ）で水温を観測した。

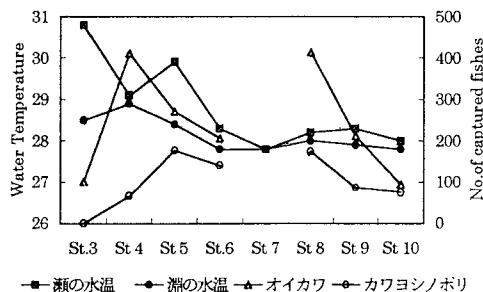


図-11 水温の変動と採捕されたオイカワ及びカワヨシノボリの数の変動。

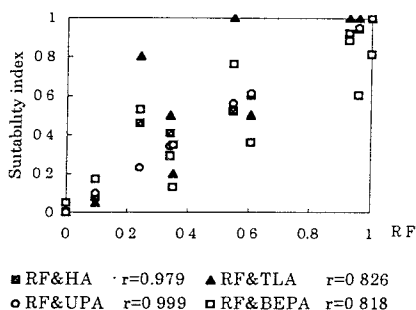


図-9 夏のオイカワに対して RF と各分析による流速の生息数基準の適正指標との相関図。

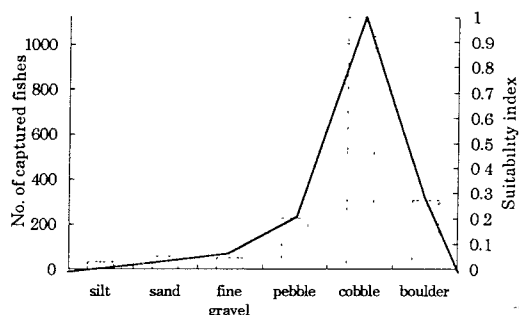


図-10 頻度分析によるオイカワに対する底質の生息数基準。

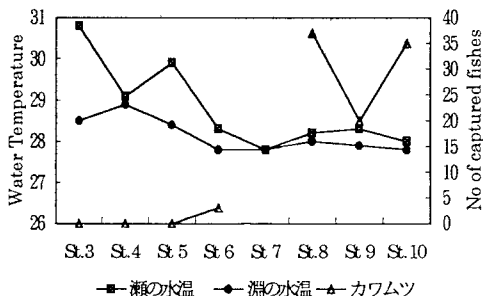


図-12 水温の変動と採捕されたカワムツの数の変動。

図-11 と 12 に観測点別の水温の変動と採捕された魚の数の変動を示す。観測点 10 は、乙川の調査区間の最上流に位置し、淵と瀬における水温の差は上流から下流に向かいだんだん大きくなる。観測点 7 は水深が 6m 以上であるため魚を採捕するのが難しく、魚のデータは得られなかった。図-11 と 12 より、淵の場合は、観測点別の水温の差(1.1°C)がそれほど大きくないし、瀬の場合も、観測点別の水温の変動(水温の差は 2.8°C)と採捕された魚の数の変動があまり関係がないので、乙川の夏の場合、魚の数と水温の間に関係を定量的に論ずるには至らなかった。この理由は、魚の数と水温の間の関係を定量的に論ずるには、1 日間の水温の観測資料では、不十分だと考えられるためである。

5. 結論

本研究では、河川における魚類別及び季節別、生息域変数の生息数基準を求める方法(四つの分析)を確立したとともに、乙川における魚類に対する季節別、生息域変数毎の生息数基準を決めた。また、水温と魚類資源がどのような関係にあるのかを調査・検討した。この結果は次のようにまとめられる。

①生息域変数の生息数基準は、採捕された魚の数の相対頻度と、各分析による求められた生息数基準の適正指標との相関係数が最大になる分析を用いて、生息域変数の生息数基準を決める。

夏のオイカワの場合、生息域変数毎の生息数基準は、流速には、Univariate Polynomial 分析、水深には、Bivariate Exponential Polynomial 分析、底質には、頻度分布分析を用いるのが一番適合する。

②乙川における夏の場合、観測点別の水温の差がそれほど小さくなく、魚の数と水温の間に関係を定量的に論ずるには至っていない。

謝辞

本研究に当り、乙川の調査資料を提供して頂いた愛知県岡崎土木事務所並び(株)フィスコに対して深甚な謝意を表する次第であります。また、現地調査に当り御協力を頂いた東京大学工学部河川/流域環境研究室の森田正人技官、並び中村宇一君に対してここに謝意を表します。

参考文献

- [1]Bovee,K.D.(1986) : Development and Evaluation of Habitat Suitability Criteria for Use in the Instream Flow Incremental Methodology,FWS/OBS-86/7,Office of Biological Services,U.S.Fish and Wildlife Service.
- [2]Brookes,A.(1988) : Channelized Rivers:perspectives for Environmental Management,John Wiley & Sons press.
- [3]Lambert,T.R. and Hanson.D.F.(1989) : Development of Habitat Suitability Criteria for Trout in Small Streams, Regulated Rivers : Research and management,Vol.3,pp291-303.
- [4]Nestler,J.M., Milhous,R.T., and Layzer,J.B.(1989) : Instream Habitat Modeling Technique,Gore,J.A. and Petts,G.E. editors,Alternatives in Regulated River Management,CRC press,Boca Ration,Florida,pp295-315.
- [5]Orth,D.J. and Maughan,O.E.(1982) : Evaluation of the Incremental Methodology for Recommending Instream Flows for Fishes,Transactions of the American Fisheries Society,Vol.3,No.4,pp413-445.
- [6]Petts,G.E. and Maddock,I.(1994) : Flow Allocation for In-river Needs,Calow,P. and Petts,G.E. editors,The River Handbook,Vol.2,pp289-308.
- [7]愛知県岡崎土木事務所(1994):平成 6 年度河川環境対策工事の内乙川河川現況調査業務委託報告書.
- [8]愛知県河川課(1995) : 矢作川水系乙川の概要.
- [9]中村俊六,石川雅朗,築坂正美,東 信行,中村緩徳(1995) : 河川における魚類生息環境評価(IFIM の適用)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,JSCE,pp127-134.