

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

Evaluation of fish habitat in Oto river by IFIM

金 亨烈*、玉井信行**

Hyeong Ryeol KIM* and Nobuyuki TAMAI**

ABSTRACT : Recently, the request for ecological aspect in river improvement works becomes gradually stronger in order to offer higher quality of natural space to people. We adopted the Instream Flow Incremental Methodology(IFIM) to determine a conservation flow for freshwater fishes. Habitat variables(velocity, depth, and substrate) are utilized to derive a habitat suitability criteria for pale chub, dark club, and river lizard goby observed in 1994 in Oto River. And we surveyed macro-habitat variables, that are water temperature and cover(i.e. shadowed area on water surface by trees along the riverside), during the summer in 1995 to enhance the IFIM model by introducing the relation with target fishes. To apply the IFIM to a study reach, we developed a one-dimensional mathematical model for a gradually varied flow. We derived accurate and objective habitat suitability criteria between target fishes and habitat variables and found that density of fish species was related to cover according to each fish's food pattern. However, water temperature data during one day were not sufficient to explain a relation with target fishes. Variation in WUA, which shows a quantitative estimate of fish habitat, is found out to be closely related to density of target fishes and a conservation flow for pale chub in summer in Oto river is evaluated about $4\text{m}^3/\text{sec}$.

KEYWORDS : IFIM, Conservation flow, habitat suitability criteria, macro-habitat variables, WUA

1. はじめに

従来の河川改修は、主として治水と利水を中心に行われて来たが、河川の生態環境を保全する河川管理への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、河川の生態環境を定量的に論じるにはまだ至らないでいる。アメリカの Fish and Wildlife Cooperative Instream Flow Service Group によって開発された流量増分式生息域評価法(Instream Flow Incremental Methodology : IFIM)は、河川の魚類資源に悪影響を及ぼさず、どのくらい水資源を活用することができるのかを定量的に評価する河川の生態環境評価手法である^{[1],[2]}。本研究では IFIM を用いて乙川における魚類の生息域を評価する。

また、今までは魚の生息域変数としての水温、カバーと河畔の土地利用との関係^[3]、魚の生長と水温の関係^[4]、魚の避難場所を把握するための淵における水温の成層分布などに関する研究^[5]が行われたが、魚に対する最適流量を算定する IFIM においては、魚と水温及びカバー（河畔林の影の面積）に関する研究が行われていないため（著者達が知る限り、河道指標としてのカバーの指標がある^[6]が、河畔林の影の面積としてのカバーと水温の指標に対しては具体的な指標の分布などが得られている例はない）、本研究では水温とカバーを生息域変数として取り上げ、魚類資源との関係を調査・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社会基盤工学専攻 (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、愛知県岡崎市を東西に貫流し、矢作川に合流する乙川(34° 75' N, 137° 10' E)である。乙川の流域面積は 271.1km² で、流路延長は約 34km である。最近 5 年間の年平均降水量は 1,219 mm/年であり、St.1(乙川頭首工地点)の平水流量は 8.74m³/sec である。乙川の水質を BOD でみると、St.4(岡崎市水道取入口付近)では 1983 年から環境基準 (2.0 mg/l) とほぼ同じ程度であるが、これより下流では 5.2 mg/l で環境基準 (5.0 mg/l) を若干越える値となっている⁷⁾。図 1 に乙川と乙川における対象区間を示している。

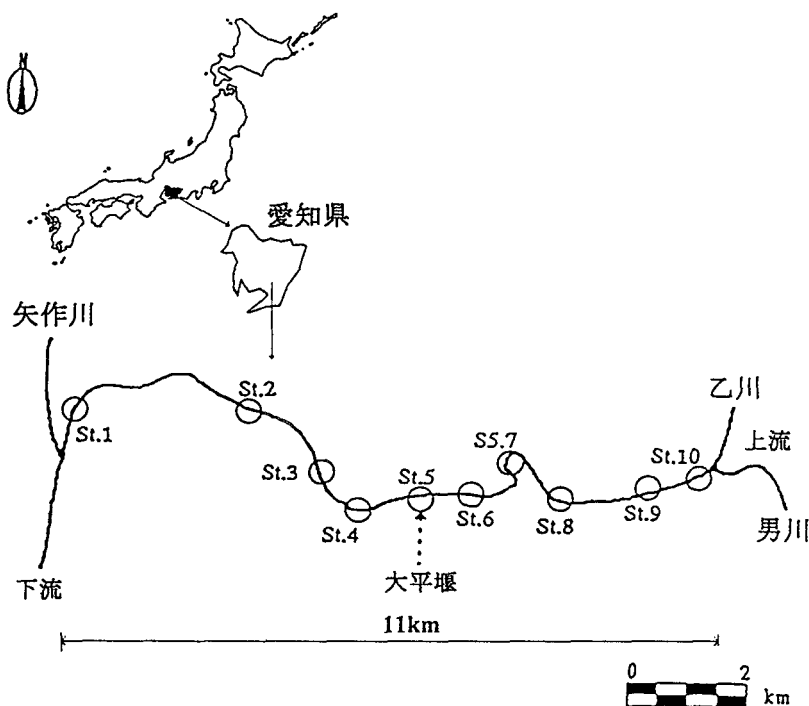


図 1 乙川と乙川における対象区間

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⁸⁾を利用する。乙川の魚類生息状況調査は、上流の男川の合流点から下流の矢作川との合流点までの約 11 km 区間の中で、淵と瀬を組み合わせ 10 箇所の観測地点を選定し、1994 年投網、定置網等で実施した。乙川では 29 種の様々な魚類が生息しているが、本研究では、春、夏、及び秋に、全区間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. 生息域変数と魚類資源

3. 1 マイクロ生息域変数と魚類資源

IFIM において主に利用されている生息域変数は、河川の縦横断方向で大きく変化する流速、水深、及び底質等のマイクロ生息域変数 (Micro-habitat variables) である。

まず、この生息域変数を魚に対する分析の変数として安定的に取り上げることができるのかを一元配置法(one-way analysis of variance)を用いて有意水準 $\alpha=0.05$ で分析する。帰無仮説(null hypothesis) H_0 は生息域変数に対して魚毎にあまり差がないというものである。表1に分析の結果を示しているが、流速、水深、及び底質毎のp-値が有意水準以上ので帰無仮説を棄却することができない。それゆえ、乙川の夏の場合、生息域変数に対する魚毎の選好する範囲がおおむね類似していることが分かる。

IFIMにおいて最も基本的で重要なものが生息域変数に対する生息域適正基準(Habitat Suitability Criteria)を作成することであるが、この基準は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かを示すものである。この基準を作成する方法には頻度分布法(HM)、Tolerance Limits 法(TLM)、Univariate Polynomial 法(UPM)、及び Bivariate Exponential Polynomial 法(BEPM)などがある^{[9],[10]}が、乙川で、夏の流速の場合、オイカワに対してはUPMで、カワムツに対してはHMで、カワヨシノボリに対してはUPMで求めるのが一番適合する^[10]。図2にこれらの生息域適正基準を示している。

表1 一元配置法による魚に対する生息域変数の類似性 (魚；オイカワ、カワムツ、カワヨシノボリ、乙川の夏)

生息数変数	対象	F-比	p-値
流速	魚	1.11	0.344
水深	魚	0.87	0.434
底質	魚	0.14	0.871

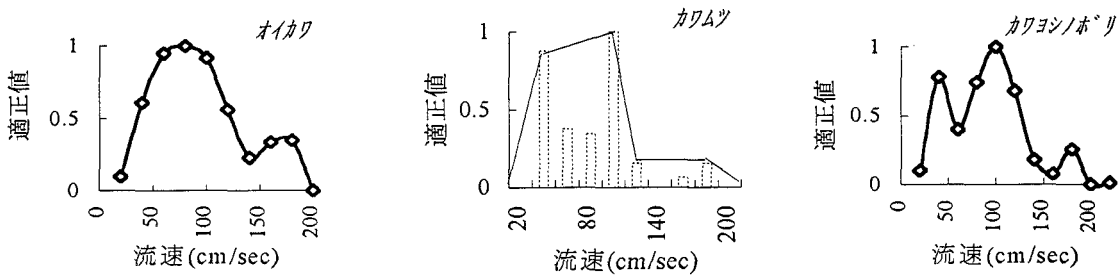


図2 流速に対する魚毎の生息域適正基準 (乙川、夏)

3. 2 マクロ生息域変数と魚類資源

マクロ生息域変数(Macro-habitat variables)は主に縦断方向に変化して横断方向にはあまり変化しない生息域変数で水温、カバーなどがある。

水温の場合、1995年8月6日、魚類生息状況調査区間の中で7箇所の観測地点を選んで、各観測地点毎に二つの点(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。表2に水温と魚との密度の相関係数を示している。相関係数が $-0.855 < \gamma < -0.215$ で全体に負の相関が強い。図3に観測地点毎の水温と魚の密度の変動を示しているが、観測地点10は、乙川の調査区間の最上流に位置し、観測地点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ていない。淵の場合、観測地点毎の水温の差が 1.1°C 、瀬の場合も、観測地点毎の水温の変動(水温の差は 2.8°C)と魚の密度の変動があまり関係がないので、1日間の水温の観測資料で魚類資源と水温の

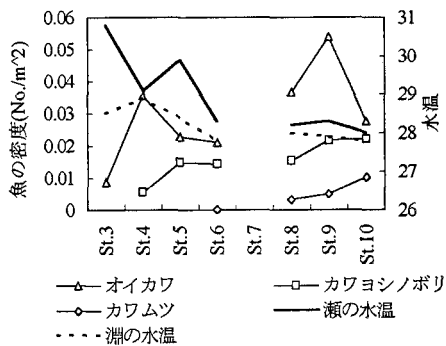


図3 観測地点毎の水温と魚の密度の変動 (乙川、夏)

関係を定量的に論ずるには資料が不十分だと思われる。

カバー（河川の水面上における河畔の木の影の面積）場合も1995年8月、水温の観測地点と同じ地点で2台のカメラを用いてカバーを観測した。表3に観測地点毎の水面の面積とカバー率を示している。

表2 水温と魚の密度の相関係数（乙川、夏）

	淵の水温	瀬の水温
オイカワ	-0.221	-0.639
カワムツ	-0.215	-0.855
カワヨシノボリ	-0.836	-0.514

表3 観測地点毎の水面の面積とカバー率（乙川、夏）

観測地	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10
面積(m ²)	11,550	11,570	11,880	9,970	-	11,290	3,950	3,400
カバー率(%)	1.69	0.0	0.78	3.84	-	0.74	3.04	6.59

夏の場合、オイカワは平瀬で生息しながら、日光のよく当たる場所に存在する付着藻類を主に食べている。反面、カワムツは平野より山間部で生息しながら、上流から流れて来る水生昆虫や水辺の木から落ちる陸上性昆虫などを主食としている。カワヨシノボリの場合も、礫に付着している藻類や小動物を食べて生活している^[11]。表4にカバー率と魚の密度との相関係数を示し、図4に観測地点毎のカバー率と魚の密度の変動を示す。表4と図4よりカワヨシノボリと主に上流部で生息しているカワムツの場合、カバーとの関係が強いが、オイカワの場合、相関関係が低い。このように魚とカバーとの相関は、魚の摂餌行動の特徴を反映していると考えられる。

表4 カバー率と魚の密度との相関係数（乙川、夏）

	オイカワ	カワムツ	カワヨシノボリ
カバー率	0.0685	0.644	0.651

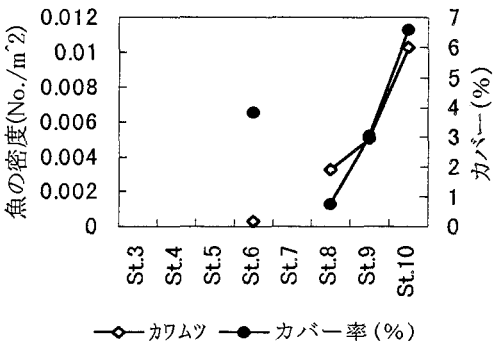
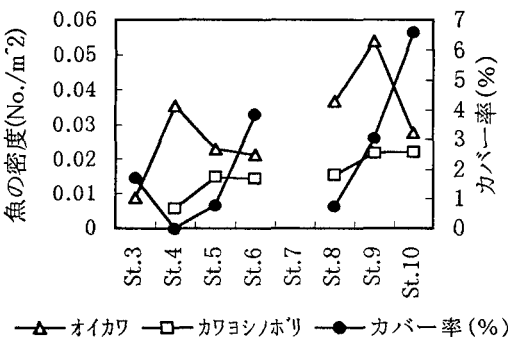


図4 観測地点毎のカバー率と魚の密度の変動(乙川、夏)

4. 魚類の生息域評価のための IFIM の適用

対象河川に対して IFIM を適用するため、まず、水面形を計算する必要がある。本研究での水面形の計算は、ある流量に対して標準逐次計算法を利用する漸変流計算で行なった^[12]。計算された水面形に対して魚の

定量的な推定値を示す WUA(Weighted Usable Area)を算出するため、3.1 で作成された生息域変数毎の生息域適正基準を用いて、式(1)によって各横断面のセル毎の F を求める。これを各横断面に対して式(2)のように積分して横断面に対する WUA を求める^{[1],[6]}。ここで、 v_i は各セル毎に Manning 方程式が成立すると仮定して求める。

$$F[v,d,s] = f(v) * g(d) * h(s) \tag{1}$$

$$WUA = \sum F[f(v_i), g(d_i), h(s_i)] * a_i \tag{2}$$

ここに、 $f(v)$: 対象河川及び季節毎の対象魚に対する流速の生息域適正基準
 $g(d)$: ” ” ” 水深の生息域適正基準
 $h(s)$: ” ” ” 底質の生息域適正基準
 a_i : 各セルの面積

次は、季節及び魚毎に同様の計算を流量を変えて繰り返して、流量の変化に応じた WUA の変動を求める。図 5 に観測地点毎の上流端断面と下流端断面の平均的な WUA で、観測地点を代表する WUA と魚の密度の関係を示している。有意水準 $\alpha=0.05$ での t 検定を行った結果、オイカワの場合、p-値が 0.845 で、相関係数が $\gamma=0.703$ 、カワヨシノボリの場合、p-値が 0.517 で、相関係数が $\gamma=0.755$ となった。したがって、WUA を用いて魚の生息数を定量的に推定することができると思われる。

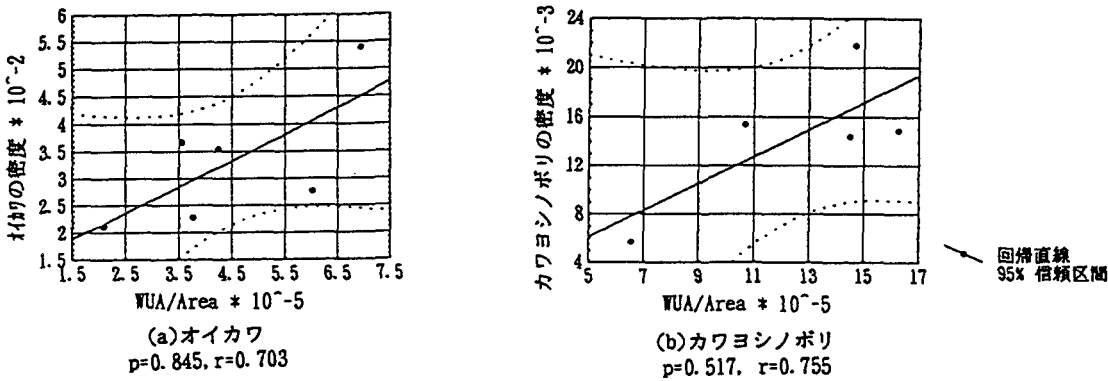


図 5 観測地点を代表する WUA と魚の密度の関係 ; a)オイカワ(密度=1.163+0.485*WUA)、b)カワヨシノボリ(密度=0.746+1.089*WUA)

乙川における代表的な地点として大平堰下の瀬の付近（観測地点 5 の瀬）を選択し、オイカワに対する流量の変化に応じた WUA の変動を求めた。図 6 にこの結果を示しており、この関係から特定の魚に対する最適流量を判断することができる。夏のオイカワの場合、単位面積当りの最大生息数を示す最適流量は約 $4\text{m}^3/\text{sec}$ である。

5. まとめ

本研究では、乙川において IFIM を用いて魚類の生息域を評価するとともに、IFIM において今まで考慮されなかった水温とカバーを生息域変数として取り上げ、魚類資源との関係を調査・検討した。この結果は次のようにまとめられる。

1)乙川に IFIM を適用するため、対象魚に対するマイクロ生息域変数（流速、水深、及び底質）のより正確な生息域適正基準を求める手法を見出した。

2)マクロ生息域変数として水温の場合、観測資料の不十分さのため定量的に論ずるには至らなかった。カバーは魚の摂餌行動と関係があり、明るい平瀬を好む魚以外では魚の生息密度はカバー率に比例している。

3)乙川の夏の場合、オイカワに対して最大生息数密度を示す最適流量は $4\text{m}^3/\text{sec}$ である。

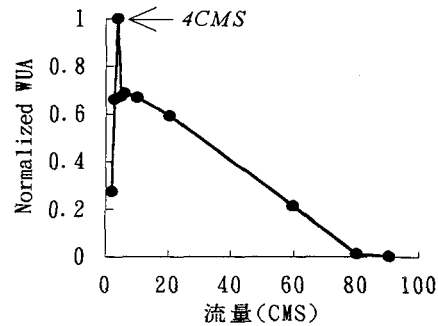


図6 オイカワに対する WUA と流量との関係(乙川、夏)

本研究では魚を用いて対象河川での正常流量を評価する可能性を示した。

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及び(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、数値計算に当り御教示頂いた東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻河原能久助教授、現地調査に当り御協力を頂いた河川/流域環境研究室の関係者各位に対して謝意を表します。

参考文献

- [1]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.
- [2]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.
- [3]D.R.Barton, W.D.Taylor, R.M.Biette,(1985) : Dimensions of Riparian Buffer Strips Required to Maintain Trout Habitat in Southern Ontario Streams, *North American Journal of Fisheries Management*. Vol.5. No.3A. pp364-378.
- [4]R.B.Filbert, C.P.Hawkins(1995) : Variation in Condition of Rainbow Trout in Relation to Food,Temperature and Individual Length in the Green River,Utah, *Transactions of the American Fisheries Society*. Vol.124. pp824-835.
- [5]J.L.Nielsen, T.E.Lisle(1994): Thermally Stratified Pools and Their Use by Steelhead in Northern California Streams, *Transactions of the American Fisheries Society*. Vol.123. pp613-626.
- [6]中村俊六,塚原健一,石川雅朗 (1994) : 河川・水辺における生物生息環境評価のための調査・数量化手法 (翻訳書) , pp1-12.
- [7]愛知県河川課(1995) : 矢作川水系乙川の概要.
- [8]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.
- [9]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.
- [10]金亨烈,玉井信行,河原能久(1996) : 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,JSCE,第 40 巻,pp151-156.
- [11]水野信彦(1995) : 魚にやさしい川のかたち,信山社,pp91-123.
- [12]Chaudhry,M.H.(1993) : Open-Channel Flow. Prentice-Hall. pp133-137.