

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

EVALUATION METHOD FOR FISHES

FOCUSING ON HIERARCHICAL STRUCTURE OF PHYSICAL HABITAT

知花武佳¹・辻本哲郎²・玉井信行³

Takeyoshi CHIBANA, Tetsuro TSUJIMOTO, Nobuyuki TAMAI

¹正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科 助手 (〒133-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

²正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科 客員教授 (〒133-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

³フェロー会員 工博 金沢大学土木建設工学科 教授 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

PHABSIM is one of the most famous methods to evaluate fish habitat. The structure of this method is quite simple and it is easy to use this model for river management. But because of its simple structure, this model cannot delineate suitable condition for fishes sufficiently. Especially suitability criteria that assign suitable range of depth and velocity for fishes are too simple to be used for habitat evaluation.

In this paper, we propose new suitability criteria. At first, we focused on the interaction between depth and velocity, and proposed new suitability criteria on depth-velocity plane. Next, we focused on the hierarchical structure of physical habitat, and we introduced several suitability criteria on unit scale and subunit scale. Finally, we validated our model with new criteria, and we showed effectiveness of our evaluation method.

Key Words: PHABSIM, Fish Habitat, Hierarchical Structure

1. はじめに

魚類の生息場を水深や流速といった物理環境因子を用いて評価する手法としては、PHABSIM (Physical HABitat SIMulation model) が有名である¹⁾。この手法では、まず評価対象とする魚を選び、その魚がどのような水深と流速を選好するかを決定するところから始まる。ここで、水深や流速に対する魚の選好性を表したものが適性基準と呼ばれるものであり、評価の上で非常に重要な役割を担っている。この適性基準さえ完成すれば、対象とする河道の地形上で二次元不等流計算を行うことで、流量や河道形状が変化した時に、対象魚が選好する領域がどのように変化するかは自ずと求まる。

このように、最終的な評価値を左右する適性基準であるが、その構造は極めて単純である。適性基準の例¹⁾を図-1に示す。今、ある地点の水深が0.25m、流速が0.8m/sの場合、図-1より水深に対するウグイの適性値は0.5、流速に対する適性値は1.0と求まり、これらを掛け合わせた0.5がこの地点におけるウグイの棲みやすさとして算出される。当然、ここに底質や河畔の植生といった様々な要素に対する適性基準を加えることは可能であるが、図

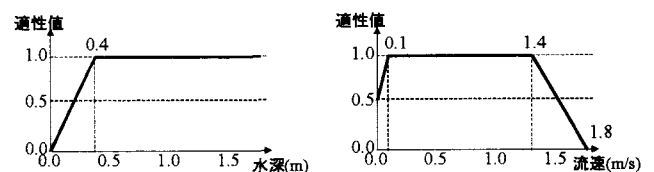


図-1 ウグイ成魚の適性基準 (中村1999)

-1のような適性基準で表現できるのは、ウグイの生息場となり得る水深と流速の範囲に過ぎず、ウグイが選好する場の条件を表現したものとはならない。

本研究ではこうした背景を受け、従来通り河川計画への利用しやすさを保ちつつも、より適切に対象魚の生息条件を表現するには、様々な環境因子に対してどのような適性基準を作成すればよいのかについて検討する。

2. 魚類データの収集と対象地区の概要

本研究で対象とする魚は、関東地方の中流域では、ごく一般的に見られるウグイである。研究の目的がモデルの枠組みを作ることにあるので、豊富なデータが得られるウグイを対象とした。

調査を行ったのは多摩川本川の中流、及びその支川の平井川である。解析には、多摩川の定点において1997年

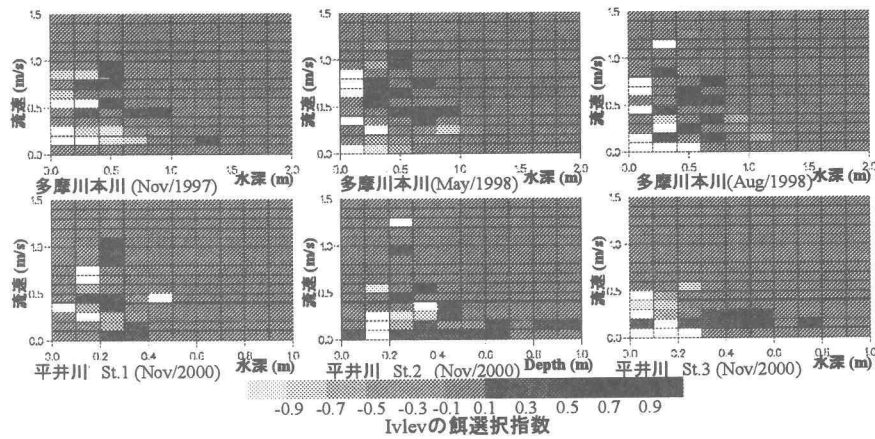


図-2 各観測地点におけるウグイの水深—流速に対する選好度

11月7日, 1998年5月23日, 8月24日の3回実施した調査結果と, 平井川で河岸の状態が異なる3カ所において2000年11月28-30日に実施した調査結果を使用した。環境調査は, 測量, 水理量計測, 魚類の目視観測から成り立っており, 調査後これらの結果を重ね合わせ, ウグイが選好する場所の条件について考察を進める。

3. 水深と流速に対するウグイの選好性

まず, ウグイが選好する水深と流速の条件について検討する。ここで注意しなければならないのは, 場を表現するには単独ではなく様々な環境因子を複合的に扱わなければならない点である。そうした中, 特に分けて扱えない因子が水深と流速である。例えば, ある地点の流速が30cm/sであったとしても, それは水深方向の平均流速であるため, 水深によって魚が受けるストレスは大きく異なってくる。水深が1mあれば, 遊泳力のない魚でも底層付近は泳ぎやすい環境にあるが, 水深が20cmしかなければ, あまり遊泳力のない魚は泳げない。これが, 図-1のように水深と流速を個別に扱う適性基準では, 生息条件を十分表現できない理由である。

そこで, 筆者らは水深—流速平面上で適性基準を表現するという手法を用いている²⁾。ここで, まずは観測データをもとにどの程度の水深, 流速を選好しているかを判断するが, 得られるデータには限りがあるため, 後に生息場の条件となる水深と流速の範囲を推定しなければならない。この推定方法については次章で述べる。

通常, 魚類がどのような水深, 流速を選好していたかは, 水深ごとにその生息密度を求め, 比較するという方法を用いる。すなわち, ある水深*i*に対する魚の選好度 E_i は, 次式(1)で求められる。

$$E_i = \frac{U_i}{A_i} \quad (1)$$

ここで, E_i : 魚の水深*i*に対する選好度, U_i : 水深*i*という環境を利用していた個体数が全個体数に占める割合, A_i : 水深*i*という環境が対象区間内で占めている面積比率,

である。しかしながら, この指標を用いた場合, E_i が0でなければ魚が生息できるということはわかるが, いくら以上が魚にとって適切なかが判断しづらい。そこで, 魚類の選好性, 忌避性を明確にするため, Ivlevの餌選択指数³⁾を用いて, 選好度を表現することとする。Ivlevの餌選択指数は次式(2)で表される。

$$E_i = \frac{(U_i - A_i)}{(U_i + A_i)} \quad (2)$$

この指標を用いた場合, ある環境(例えば水深30cm)が全体に占める割合と, そこを利用していた魚の数が全個体数に占める割合が等しい場合, 魚は特に選好性を示さずランダムな分布をしているということで, 選好度は0となる。一方, 少ししかない環境に多くの魚が集まった時には, 選好度は正の値, 逆の場合に負の値となる。

この指標を用いて, ウグイ(体長6-10cm)の水深, 流速に対する選好度をまとめたものが図-2である。この図からわかるとおり, 水深が30cmに満たない場所は, 多摩川, 平井川共に忌避されている様子が見て取れる。また, 多摩川における結果より, 季節による変化はあまり明確でないことがわかる。そして, 流速の速い領域は遅い領域に比べ選好度が高いという様子も見えて取れるが, 水深の浅い領域に対する忌避ほど顕著ではない。一方, 本川に比して規模の小さな平井川においては, 本川のように多様な水深と流速が利用できない。そのため, St.2やSt.3では, 本川では忌避していた深くて遅い領域を利用し, 全体的に浅いSt.1では, 可能な限り深い方を利用している様子が見て取れる。また, 結果の図は省略したが, これより体長の小さなウグイは図-2よりやや遅い領域を選好し, 体長の大きなものはやや速い領域を選好するという程度で, 大きな差は見られなかった。

4. 水深と流速に対するウグイの適性基準

前章の結果だけでは, ウグイの選好する範囲を断定できないため, いくつかの仮定をもとにウグイの選好条件を推定し, 汎用性の高い適性基準を作成する。

まず、最低限必要な水深はウグイ成魚の場合 30cm 程度であることが、図-2 から判断できる。

次に、選好する流速の上限値と下限値に関しては、図-2 からだけでは明確な境界を読み取ることはできないので、水理学的な仮定を基に設定することとする。図-2 において流速の遅い領域はあまり利用されていなかったが、これは、水深平均流速の話であるため、水深方向の流速分布次第では、表層付近の流速は速いものの底層付近の流速が遅い場と、表層から底層まで全体的に遅い場が存在する。人為的な影響を受けていない場合でも、規模の小さい中流河川の淵では、前者のパターンが見られるが、取水により流量が減少している大河川では、中流部でも後者のパターンがよく見られる。このように淀んだ淵は、ウグイやアユが忌避するという現象はこれまでも報告されている⁴⁾。そこで、水深方向の流速分布として、対数則分布を仮定しエネルギー勾配に閾値を設定することとした。これは、エネルギー勾配が水深方向の流速勾配とある程度対応していることによる⁵⁾。なお、対数則分布は次式で与えられる。

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = 5.75 \log_{10} (H / ks) + 6.0 \quad (3)$$

$$u_* = \sqrt{gHI} \quad (4)$$

ここで、 $\bar{u}$ ：平均流速、 H ：水深、 ks ：相当粗度、 u_* ：摩擦速度、 I ：エネルギー勾配である。

対象としている状態は、淵でよく見られることを考慮して、 ks は小さめの 0.3m と仮定した。また、図-2 に様々な曲線をフィッティングしたところ、 $I=1/10000$ 程度が下限値として妥当であると判断した。よって、式 (4) において $I=1/10000$ としたときの、平均流速と水深の関係が選好域と忌避域を分ける境界となる。

次に、流速の上限値であるが、どの程度の流速が魚にとって速いのかも水深に依存して変わる。ここでも、水深方向の流速分布として対数則分布を仮定し、魚が流速の速い条件下で定位できる場所として、底層付近の流速に対し上限値を設定することで、水深平均流速と水深の関係を求めることとした。この場合、水深方向の流速分布は次式で与えられる。

$$\frac{u}{u_*} = 5.75 \log_{10} (h / ks) + 8.5 \quad (5)$$

ここで、 h ：河床からの高さ、 u ：その位置での流速である。また、ここで対象とするのは早瀬であることを考慮して、 ks は大きめの 0.5m を用いた。さらに、対象としているウグイ成魚のサイズを考慮して、河床から 10 cm の所で最大流速を設定することとし、 $h=0.1m$ を代入し、魚が直接感じる流速（吻端流速）の限界値を u で与えれば u_* が求まり、式 (3) から水深平均流速と水深の関係を求めることができる。ここでも、図-2 に様々なカーブをフィッティングしたところ、最適な吻端流速は 70cm/s～1m/s の間で変化し、体サイズによっても違いが

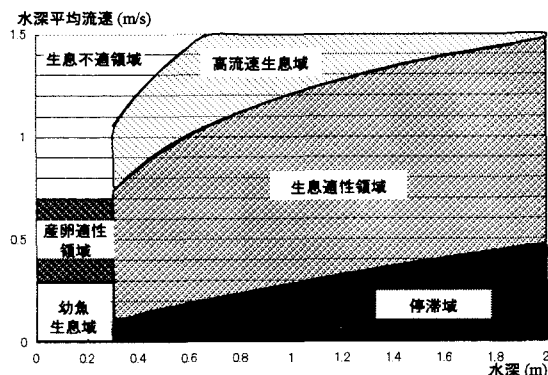


図-3 水深—流速に対するウグイの適性基準

見られた。この値は、体長の 6～10 倍程度であり、妥当な値であると考えられる⁶⁾。

ただし、これらは成魚の生息条件であり、生活史を通して評価するには、仔魚～未成魚（以下、幼魚とする。）が利用する岸寄りの浅くて流れのない場や、産卵場として利用可能な適度に流れがある浅い礫底といった条件も設定しなければならない。そこで、水深—流速平面での表しやすさから、幼魚の生息条件として、水深 30cm、流速 30cm/s 以下を設定した。次に、産卵場の条件のうち、水深は同じく 30cm、流速は幼魚より速めの流速 30cm/s～70cm/s を設定した。底質の条件はここでは触れない。実際、多摩川で造成されたウグイの生息場は 50cm/s～80cm/s 程度に保たれており、妥当であると考えられる。

これらを踏まえ、作成された適性基準が図-3 である。このように水深—流速平面が各領域に分割されているが、それぞれの意味は以下の通りである。

生息適性領域：ウグイ未成魚～成魚にとって問題なく生息場となりうる領域。

停滞域：基本的には忌避されるが、渇水時や冬場は利用される領域。

高流速生息域：体サイズの大きいものの生息場や、一時的な採餌の場としては使われる可能性のある領域。

産卵適性領域：産卵場に必要水深と流速。

幼魚生息域：幼魚が生活するうえで最適な領域。

生息不適領域：いかなる条件下でも用いられる可能性が少ない領域。

これまでの適性基準とは異なり、一つのグラフで生活史を通して必要となる条件をまとめているため、扱いやすくなっている。

5. 物理環境に見られる階層構造

当然ながら、水深と流速の他にも生息場の質を左右する因子は多く存在するので、これらについても適性基準を設定しなければならない。ただし、河川における物理環境を扱うには、図-4 に示す様な階層構造に注意しなければならない⁷⁾。

水深や流速といった因子は、対象とする位置が少しで

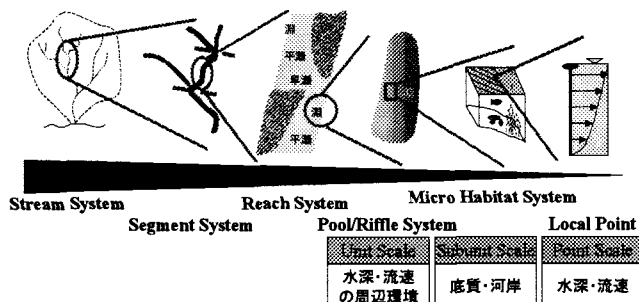


図-4 河川における物理環境の階層構造
(Frissell et al. 1986 を元に作成)

も変われば大きく変化する。これは、水深や流速を規定する要素が、流量や地形といったマクロな要因から礫一つといったミクロな要因まで多様に存在することによる。しかし、底質構造には面的な広がりがあり、河岸の状態も縦断方向にしばらく同じ状態が続く。これらは、洪水時の掃流力の違い等により規定されており、やや時空間スケールの大きな要素に支配されている。また、場所によって水深と流速が変化するとはいえ、淵や瀬という単位で見れば、水深や流速のオーダーは同程度であり、全体的に深い淵か、流れの速い瀬かといった状態も、魚の選好と忌避を分ける重要な要素である。こうした状況は砂州の形状、すなわち河道や洪水の規模等に規定されており、さらに大きなスケールに支配されている。

このように、対象とする因子のスケールが変われば、それを規定する因子のスケールも変わるために、同じ空間スケールですべての評価を行わず、対象とする因子のスケールごとに評価を分けた方が生息場の質を規定する要素との関係で議論しやすく、河川管理には有用である。そこで、筆者らは評価対象に応じて、ポイントスケールとサブユニットスケールという二段階のスケールで評価する手法を提案してきたが⁸⁾、今回は上述した空間スケールに対応させ、水深、流速をポイントスケール、底質や河岸の状態をサブユニットスケール、早瀬や淵の平均的な状況をユニットスケールという三段階で評価することとする⁹⁾。これまで述べてきたのがポイントスケールの評価に対応する。

6. ユニットスケールにおける評価

これまでの水深と流速に基づく評価では、対象区間を機械的にメッシュ切りし、メッシュごとに評価をすれば良かったが、ユニットスケールで評価するには、その境界が問題となる。ここで言うユニットとは瀬と淵にあたるため、瀬・淵区分を定量的に行わなければならないこととなる。この瀬と淵を定量的に区分する際には、Fr数など水深と流速の状態に着目することが多い¹⁰⁾。しかし、水深と流速から求まる指標はすでにポイントスケールの評価で取り扱っており、一つのユニット内でも瀬脇

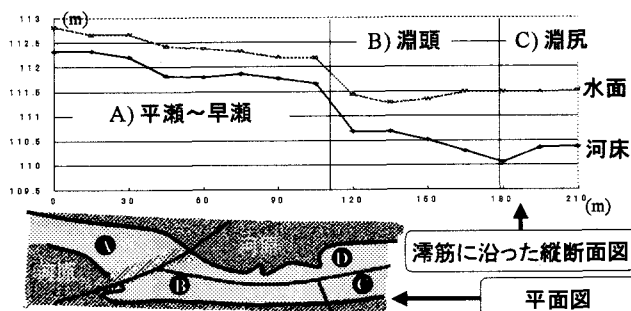


図-5 ユニット分割の例 (多摩川本川)

表-1 ユニット単位で見たウグイの選好性

	Ivlevの餌 選択指数	平均 水深	流速標準 偏差	生息適性領域 の面積支配率
97秋	A 0.30	0.34	0.27	0.19
	B -0.19	0.53	0.05	0.15
	C -0.22	0.89	0.02	0.02
	D -0.67	0.29	0.06	0.09
98春	A 0.10	0.31	0.28	0.14
	B 0.22	0.73	0.13	0.14
	C -0.14	0.77	0.04	0.04
	D -0.59	0.36	0.05	0.07
98夏	A 0.23	0.34	0.30	0.16
	B -0.04	0.81	0.13	0.13
	C -0.07	0.69	0.04	0.02
	D -0.65	0.27	0.07	0.05
St1	A 0.13	0.19	0.21	0.02
	B -0.06	0.22	0.23	0.02
	C -0.04	0.24	0.14	0.11
St2	A 0.23	0.40	0.36	0.07
	B 0.36	0.57	0.06	0.02
	C -0.16	0.24	0.06	0.05
	D -1.00	0.19	0.06	0.00
St3	A -0.19	0.20	0.22	0.03
	B 0.36	0.43	0.05	0.22
	C -1.00	0.14	0.03	0.00
	D -0.17	0.19	0.06	0.03
	E -1.00	0.11	0.14	0.00
	F -0.41	0.08	0.25	0.00

と流心や巨礫の上下流では値が大きく異なるため、ユニットというまとまりの境界を表現するには適切でないと考えられる。

そこで、本研究では河床勾配の変曲点において縦横断にユニット分割する手法を用いることとした¹¹⁾。この分割方法によれば、評価対象とするユニットの境界線は、地形が変化するほどの出水でない限り、流量変動に伴い大きく移動することはない。この方法を用いてユニットに分割した例を図-5に示す。このように、各対象区間を3~6のユニットに分割することができた。

次に、各ユニットに対するウグイの選好性を把握するため、Ivlevの餌選択指数をユニット単位で算出する。ここでの選択指数は式(2)において、 U_i にユニット*i*を利用していた個体数が全個体数に占める割合を、 A_i にユニット*i*が対象区間内で占めている面積比率を代入したものである。もしも、図-3の生息適性領域に該当する水深、流速が広がっているユニットほどウグイの選好性が高ければ、水深と流速だけで十分評価できることとなる。そこで、ユニットに対するウグイの選好性と、ユニット内における生息適性領域が全対象区間内に占める割合を比較したものが表-1である。

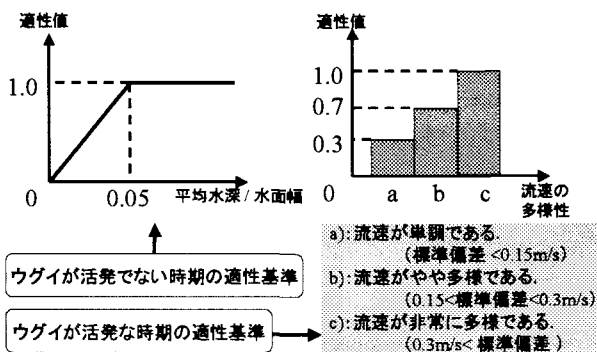


図-6 ユニットスケールにおけるウグイの適性基準

表から見て取れる通り、ユニットに対する選好性と生息適性領域の割合は必ずしも一致していない。様々な環境因子を比較した結果、この不一致の原因として、ユニット内の平均水深、流速の標準偏差（多様性）の二つが考えられたので、これらの値も表-1に記している。

表中、濃い灰色で示したユニットは、生息適性領域が多いにもかかわらず、選択指数の低い領域である。これらに共通する要素として、流速の標準偏差が低いことが上げられる。しかしながら、薄い灰色で示したユニットでは、流速の標準偏差が低くとも、生息適性領域の割合に応じて高い選好性を示している。これらの違いは、前者は平均水深が浅いか、深くても魚が活発な時期（夏と11月初め）であるのに対し、後者は平均水深が深く、魚が活発な時期ではない（5月、11月末）と見ることができる。すなわち、水温が高くウグイが活発な時期は多様な流速を有する瀬を広く泳ぎ回りながら活動しているが、活発でない時は深い淵で生活している様子を表している。とはいえ、停滞域が多い淵尻（ユニット C）は、あまり利用されていない。

そこで、ユニットスケールの評価基準として、平均水深が十分深いか否か、と流速が十分多様化否かの二種類を設定する。しかし、これらの定量的な基準は未だ充分ではないため、ここでは定性的なものにとどめる。まず、淵の平均水深としては、水野（1996）を参考に、水面幅の5%程度を目標値とすることとした¹²⁾。一方、流速の多様性は、流速の標準偏差を基に三段階に分類することとしたが、標準偏差のオーダーは河川の規模によっても異なってくるはずであるので、その場その場で閾値を変更する必要がある。このようにして、作成されたユニットスケールの評価基準を図-6に示す。

7. サブユニットスケールにおける評価

サブユニットスケールについてもユニットスケールと同様に解析する。前述した通り、サブユニットの境界は、底質の状態か河岸の状態が変化する所に設けることになるが、現段階では底質構造や河岸の状態の評価が十分できておらず、河岸沿いか滞筋沿いか、若干底質の状態を

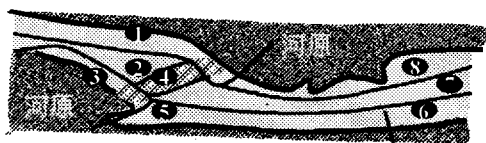


図-7 サブユニット分割の例（多摩川本川）

表-2 サブユニット単位で見たウグイの選好性

	Unit	Sub unit	Ulevの選好指数	河岸の状態	底質	生息適性領域の面積支配率
97秋	A	1	-0.08	ツルヨシ	玉石	0.08
	C	6	0.08	洪積層の露出	粗礫	0.00
	BCD	7	-0.78	滞筋	細礫	0.15
98春	A	3	-0.11	礫河床	玉石	0.04
	BCD	7	-0.32	滞筋	細礫	0.12
98夏	C	6	0.06	洪積層の露出	粗礫	0.00
	BCD	7	-0.48	滞筋	細礫	0.11
St1	B	5	0.25	滞筋	玉石	0.02
St2	C	8	0.31	ブロックの水割	玉石	0.00
St3	A	1	-0.01	礫河床	粗礫	0.03
	C	8	-0.28	コンクリート護岸	粗礫	0.03
	F	14	0.06	ツルヨシ	粗礫	0.00

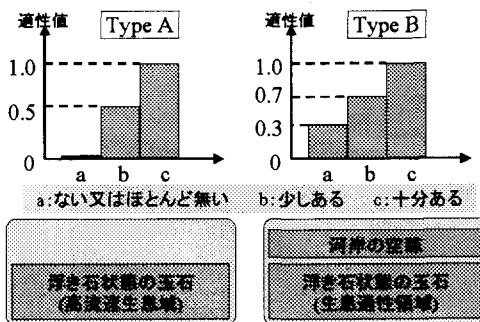


図-8 サブユニットスケールにおけるウグイの適性基準

加味して区分したに過ぎない。より詳細なサブユニット区分の方法は今後の課題である。こうして、サブユニットに分割された一例を図-7に示す。この結果、各対象区間は8～14のサブユニットに分割することができた。

次に、表-1と同様の解析を行い、各サブユニットに対するウグイの選好性とユニット内における生息適性領域が全対象区間に占める割合を比較する。ここでは、生息適性領域の面積支配率の高さと選好性の高さが一致しておらず、かつユニットスケールの状況では説明がつかないもののみを抜粋し表-2に示した。

表中、濃い灰色で示した列は、生息適性領域が多いにもかかわらず、選好性の低いサブユニットであるが、共通している点として、礫サイズの小さな滞筋か、瀬脇の河岸付近である様子が見て取れる。礫サイズが小さいということは、その背後に定位することもできなければ、外的から追われた時に逃げ込む隙間も無いからだと考えられる。とはいえ、河岸の植生帯はあまり利用せず、滞筋の浮き石帯を利用する傾向がある。また、薄い灰色で示した列は、生息適性領域が少ないにもかかわらず、選好性の高いサブユニットであり、淵の最も河岸よりの部分と早瀬の滞筋付近であることがわかる。また、淵の河岸沿いでも St3 の C の様に単調な河岸は選好されず、洪積層やブロックといった身を隠すことのできる隙間のある河岸を選好している様子が見て取れる。

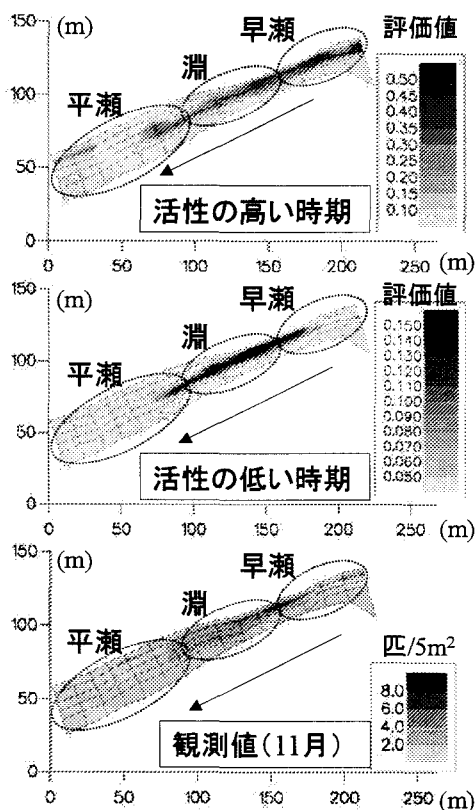


図-9 評価結果と観測されたウグイスの分布の比較

こうした結果を踏まえて、サブユニットに対する適性基準を作成したものが図-8である。ここでも、定性的な基準とした。底質に関しては、適性基準を二種類設定しているのは、生息適性領域に於いて浮き石状態の玉石が存在しなくても、生息することはできるが、高流速生息域に於いては定位する場が無くなり定位が不可能になると判断したためである。

8. 総合評価

こうして、設定した三段階のスケールでの評価基準を用いて総合評価値を算出することができる。今、対象としている点の評価値は、スケールごとに各因子の適性値の相乗平均を算出し、最後に各スケールの3つの評価値を掛け合わせることで求める。ただし、活性の高い時期と低い時期ではユニットスケールで用いる指標が異なるため、評価値は異なってくる。また、前者は高流速生息域まで含め、後者は生息適性領域だけを対象とした。

図-9にこのモデルで成魚の生息場を予測した結果と実際のウグイスの分布を比較したものを示す。モデルを適用したのは、多摩川本川で、解析を行ったのと同じ地区ではあるが、数度の出水を経て、生息場の条件を解析した時とは瀬・淵構造が全く異なった形状となったため、検証が可能であると判断した。図-9を見ると、本モデルにより活性の低い時期にウグイスが選好すると判断された箇所が、11月の観測値に極めて一致している様子が見て取

れる。このように、スケールごとに評価する手法により、ウグイの生息場を適切に予測できることがわかった。

9. まとめと今後の課題

本研究では、まず水深と流速を独立に扱わず、相互作用を含めて捉える必要性に論じた。次に、従来の評価法では、すべて並列に扱われてきた環境因子をスケールごとに整理し、魚がどういう場所を選好しているのかを見極めやすくした。今後、ユニット、サブユニットの分割方法についてさらに検討すると共に、それらの形成メカニズムについても解析を進める必要がある。

謝辞：本研究は河川生態学術研究会の研究の一環として行われたものである。魚類データを提供して下さった上に、いろいろとアドバイスをいただいた君塚芳輝氏を始め、関係者の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) アメリカ合衆国内務省／国立生物研究所 原著作・発行 中村俊六、テリーワドゥル訳：IFIM入門、1999。
- 2) 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、pp1145-1150、2002。
- 3) 佐原雄二：魚の採餌行動、東京大学出版会、1987。
- 4) 沼田真 監修、水野信彦、御勢久右衛門：河川の生態学、築地書館、1993。
- 5) 岡滋晃、知花武佳、玉井信行：鉛直流速勾配に着目した生息環境評価方法に関する考察、第5回応用生態工学研究会研究発表会講演集、pp.89-92、2001。
- 6) 中村俊六：魚道の話、山海堂、1995。
- 7) CHRISTOPHER A. FRISSELL, WILLIAM J. LISS, CHARLES E. WARREN, MICHAEL D. HURLEY：A Hierarchical Framework for Stream Habitat Classification, Viewing Streams in a Watershed Context, Environmental Management, Vol.10 No.2, pp199-214, 1986。
- 8) 知花武佳、玉井信行：瀬・淵の質に着目した生息環境評価法の提案、河川技術に関する論文集、第8巻、pp79-84、2002。
- 9) Stanley V. Gregory, Frederick J. Swanson, W. Arthur McKee, and Kenneth W. Cummins: An Ecosystem Perspective of Riparian Zones. Focus on links between land and water, BioScience Vol.41 No.8, pp540-551, 1991。
- 10) 土屋十圓、都市河川の総合親水計画、信山社サイテック、1999。
- 11) 知花武佳、玉井信行、黒田直樹、鈴木一平：河床勾配で区分される小区間に着目した魚類生息環境評価に関する基礎的研究、第56回年次学術講演会講演概要集、2001。
- 12) 水野信彦：淵の水深と魚の生態、第三回応用生態工学シンポジウム講演集、pp35-48、1996。

(2003.9.30 受付)