

河川における魚類生息場の評価法に関する研究

Study on The Evaluation Method of Fish Habitat in Japanese Rivers

中村 宇一\*      玉井 信行\*  
Uichi NAKAMURA   Nobuyuki TAMAI

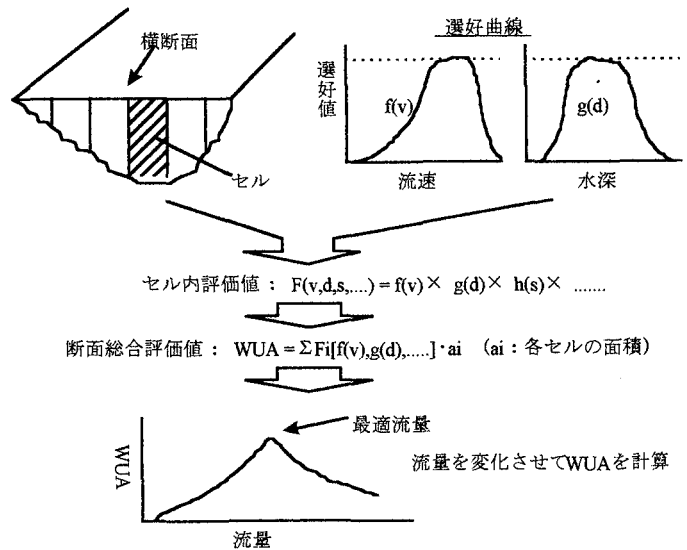
**ABSTRACT :** This study proposes a new method to evaluate fish habitat in rivers. IFIM established in the United States is the most popular method but there are some problems in its application to rivers in Japan. The problems are owing to the difference of river environments between Japan and the United States. Compared to the United States, rivers are short, river environments change rapidly, and river ecosystem is complicated in Japan. So the evaluation method of fish habitat must be different. Proposed new method includes two main processes. The first is to make bar graphs from fish preference curves . The second is to evaluate the river environment not for only one species but for several species of fish . At the end of this study, one concept is proposed about how to take the river ecosystem in consideration in river planning.

**KEYWORDS :** fish habitat, IFIM, preference curve, environmental factor, evaluation

1. はじめに

河川の自然環境としての価値に社会的関心が向けられるに従い、河川事業において河川の生態系を考慮する動きが高まって来ている。「多自然型川づくり」に代表される様に、生態系に配慮した河川事業がすでに全国で実施されている。これを受けて河川における生態系の実態を把握し、生態系に配慮した河川事業を行うための方法論が必要とされている。

本研究は、河川生態系の上に位置する魚類に着目し、魚類と河川の物理環境との関係をもとに、河川環境を魚類に対して評価する方法の提案を行う。魚類の生息環境を評価する手法としては IFIM が知られているが、多様な魚種の混在する日本の河川に適用するにはいくつかの問題点が挙げられる。



【図1】 PHABSIMの概要

\*東京大学 工学系研究科 社会基盤工学専攻 Department of Civil Engineering, University of Tokyo

まず、魚類の生息密度と河川の物理環境（流速や水深など）を関係づける選好曲線は、日本では河川によってかなり変動が見られるが、これに対する考慮が不十分である。また基本的に個々の魚種（特にサケ科魚類）に対して評価を行うため、複数の魚種の生息する河川において、魚類全体の総合的な評価に結びつきにくいと言う点が挙げられる。

これらの点を考慮し、本研究では複数の魚種の生息する河川において、河川環境を総合的に評価する方法を提案する。

2. 魚類生息場評価

魚類生息場とは魚類が生活に利用する空間を言う。この空間の特性を表す因子—流速、水深、底質、カバーなど—と魚類の生息密度との関係を定量的に表現し、河川の魚類生息域の条件から魚類の生息状況を予測し、評価する事を目的としたのが魚類生息場評価法である。

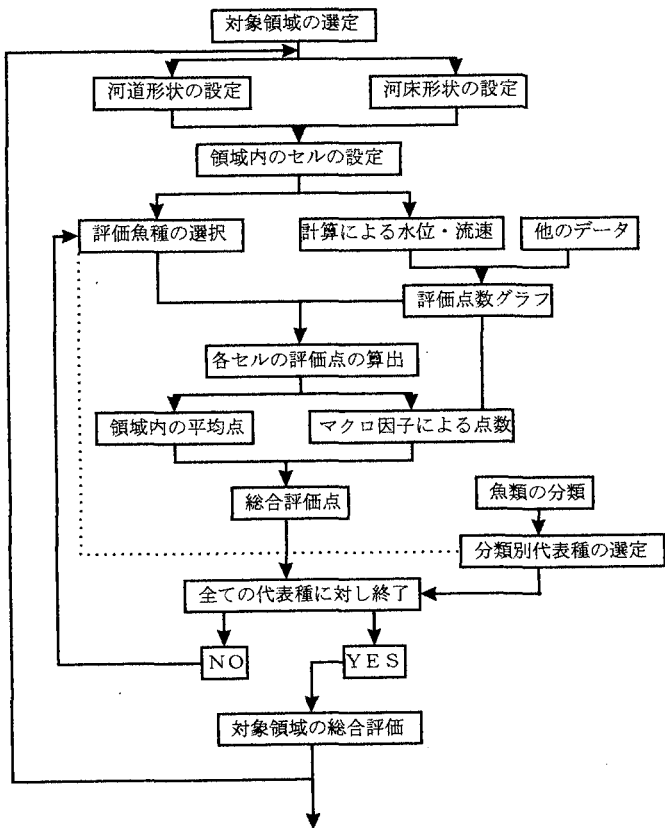
2.1 既存の評価法

先に述べたように、魚類生息場評価法として最も広く知られ、実用化されている IFIM の中で、根幹とも言える PHABSIM という方法がある。この方法は、図 I に示すように、河川断面をセルに区切り、それぞれのセルで計算される値を足し合せて評価値を算出する方法である。この方法でもっとも重要なのは、選好曲線である。選好曲線とは、図に示されているように、魚の生息密度と環境因子（流速、水深、底質など）との関係を曲線で表したものである。日本の河川のように川による魚種の数や種類の変化が比較的激しい場合、選好曲線の川による変動も大きなものとなる。従って、PHABSIM のやり方をそのまま適用するわけにはいかない。また、この方法の欠点として、生息場の評価として最終的に流量と評価値という関係で表す点、環境因子がそれぞれ魚に対して持つ重要性を全て等価に評価している点が挙げられる。

2.2 改良された評価法

評価法の主な改良点は、変動する選好曲線を評価点数グラフに置き換える事で処理した点、環境因子として面的な情報を取り入れた点、複数の代表種に対して評価を行う事で総合的な評価に結び付けている点である。図 II に評価法の概要をフローチャートで示す。

まず、対象領域の選定では評価を行う領域を選定する。この規模は、一組の瀬と淵を含む程度のものとする。次のステップとして、河道形状の設定・河床形状の設定であるが、河川の



【図 II】 評価法フローチャート

改修計画の場合、対象領域の横断面の形や河道の形状（蛇行など）を設計する。この設計に沿って評価法を通して魚類に対する評価を行う。この計画断面や形状は、流速・水深を求めるために重要となる。

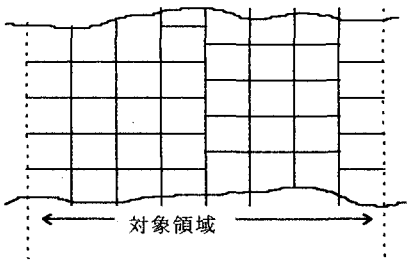
領域内セルの設定では、対象領域の評価を行うための細かいセルに区分する（図Ⅲ）。この分割に従って次の段階として設定した流量に対し、各セル内の平均流速・水深を求める。また、他の環境因子（底質、水生植物など）の値も求める。一方この段階で評価を行う対象魚種も選定する。この選定方法については後述する。

次にこの評価法の一つの柱となる評価点数グラフを作成する。

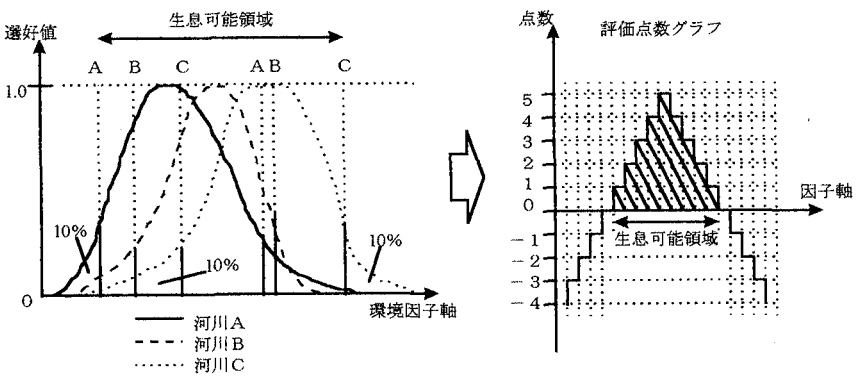
これは選好曲線の代わりとなるもので、選好曲線をもとに作成する。作成方法は図Ⅳに示すように、まず評価の対象となる魚種について様々な河川の調査から得られた選好曲線を用意する。図Ⅳは例として流速を用いている。これらの複数の曲線は共存する魚種の違い、種間競争の有無、河川環境の違いなど様々な違いによって一致したものとはならない（参考文献3、4）。

このような選好曲線の変動の要因を明確にすることは非常に困難であり、従って例えば魚種の組み合わせによって選好曲線の変動を予測すると言ったことは難しい。また、北米の河川のようにサケ科魚類が生息すると分かっているような河川ならサケ科魚類に対する評価を行えば問題はないが、どのような魚種が生息するとはっきり特定できないような場合、魚種を決めて評価を行うだけの方法では問題がある。例えば、目的として多様な魚種の生息が可能な河川環境の創出を掲げて河川改修し、改修後の河川を評価する場合、対象魚種は特定できていないため、これから述べる方法のように多様な種に対し評価値を求め、その結果から評価を行うことになる。そこでこの方法は PHABSIM の様に選好曲線をそのまま使うのではなく、複数の選好曲線をもとに生息可能領域を求め、それを用いて評価点数グラフを作成する。

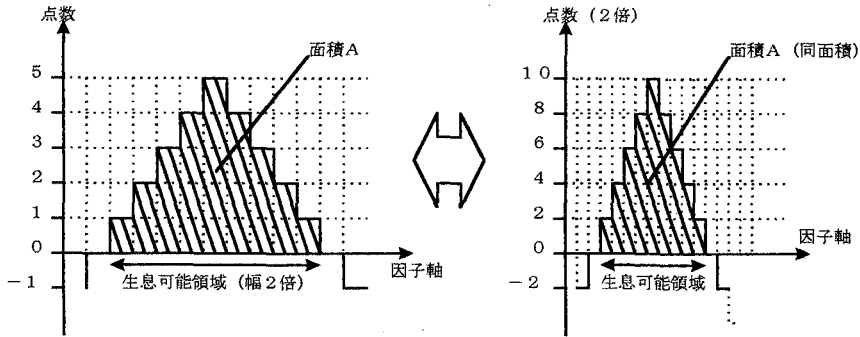
生息可能領域は文字どおり生息が可能な範囲を意味し、選好曲線の変動は魚の選好が変化したのではなく、選好は変わらないが周りの環境によってやむなく最良ではない状態で生息しているものとする。図Ⅳに示すように各選好曲線の外側 10% を含む領域を切り取る線を引き、その左右もっとも外側に位置する線の間に含まれる部分を生息可能領域とする。図の場合は左側は河川A、右側は河川Cとなる。次に評価点数グラフを作成する。この例では5段階評価としている。図に示すように、生息可能領域の中心が最高得点となるように得点ピラミッドを作り、生息可能領域外についてはこのピラミッドを延長し離れるほど評価点がマイナスに大きくなっていくようにする。



【図Ⅲ】対象領域のセル分割



【図Ⅳ】評価点数グラフの作成方法



【図V】点数の決め方

評価点数グラフは、各魚種について作成するが、その際それぞれの生活史を反映させ、例えば年間、一生を通じて、生息する環境の余り変化しないカワムツのような魚に対しては一つ、オイカワのように産卵期や夏期と冬期では生息場所の異なる魚種に対しては、稚魚、夏期の成魚、冬期の成魚について一つずつと言うように与える。

この評価点数グラフでもっとも重要な点は、評価点数の決め方である。これは環境因子間の重みの問題とつながる。すなわち、流速、水深、底質、植生など環境因子には様々なものがあるが、ある魚種にとってその中のどの因子が一番重要なのか、という問題である。PHABSIMでは等価に評価されている。ここでは、その重みの問題を評価点数グラフの評価点数に反映させて扱うことにする。

先ほど求めた生息可能領域は、同じ環境因子に注目した場合、魚種によって位置や幅が異なる。

重要なのは幅である。この幅が広いということはこの因子の変化に対する適応性が高い、すなわちこの因子の変化による影響は比較的小さいと考えることができ、重みは小さいと判断できる。反対に幅が小さい場合は環境の変化によっては生息可能領域を容易に外れてしまい、その魚種にとっては条件の厳しい因子、重みの大きい因子だと判断できる。そこで、図Vに示すように、幅の小さい場合は高い得点を、幅の大きい場合は低い得点を割り当てる。この方法として、評価点数グラフの正の部分の合計点数が一定になるようにする。図Vのように幅が半分ならば点数は2倍になる。この一定に定める合計点数は他の因子に対しても同じ点数を用いることで、因子間の不均衡を防ぐことが出来る。

以上を用いて評価得点を算出する。この方法では環境因子を2種類に分けている。セルごとの値を求めるマイクロ因子と領域全体で求めるマクロ因子である。前者としては、流速、水深、底質、水生植物（存在面積率）など、後者としてはカバー（河岸植生によるカバー）、河岸植生（植生の種類）、領域内の流速・水深・底質の分散などである。これらについては詳しくは後述するが、まずセルごとに評価得点を算出し、その後領域全体にわたる因子（マクロ因子）による得点を付加するという流れになる。

まずプロセスとしてセル内の評価得点を求める。評価得点を計算する際注意すべき点は、魚種間の不均衡である。より後のプロセスで総合的な評価を行う際、魚種によって評価得点の基準が異なっていては不都合が生じる。そこで、すべての因子に関して最高得点をとった場合に、その評価得点がすべての魚種で等しくなるように和の形で求める。

$$\text{評価得点: } S_T = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_i + \dots}{M_1 + M_2 + \dots + M_i + \dots}$$

$S_T$ : セル内評価得点  $S_i$ : セル内の因子  $i$  に対する点数  $M_i$ : セル内の因子  $i$  に対する最高点数

上式を見れば分かるように、すべての因子に対して最高得点をとった場合はどの魚種でも最高の評価得点の1という値が得られる。こうして得られるセル内の評価得点を領域全体で平均値を求める。この平均値は、後のステップでマクロ因子による評価得点を組み合わせて総合評価値を求める際に用いる。

次のステップはマクロ因子による評価である。マクロ因子は、領域全体にわたる規模の大きい環境因子である。この例としてあげられるのは先にも挙げたとおり、カバー、河岸植生、流速などの分散、などである。カバーは河岸の樹木などによって水面が覆われている部分のことで、領域の面積中何%を占めるかという割合で数値化する。また河岸植生は図VIに示すように、植生なしを0、草を1、樹木を2と単純に数値化し、横断面沿いの長さの流れ方向の長さから下の式によって算出する。河岸植生は物質循環や餌としての昆虫などの水中への流入などの点で、重要と思われる河岸の状態を表す一つの指標と考えられる。

$$\text{植生値} = \frac{1}{l} \left( \sum_i^m a_{Ti} \times a_{Yi} \times t_{a_i} + \sum_j^n b_{Tj} \times b_{Yj} \times t_{b_j} \right)$$

$a_{Ti}, b_{Tj}$  :  $A_i, B_j$  の流れ方向の長さ (m)

$a_{Yi}, b_{Yj}$  :  $A_i, B_j$  の横断方向の長さ (m)

$t_{a_i}, t_{b_j}$  :  $A_i, B_j$  の数値化された値 (0,1,2)

$l$  : 対象領域の流れ方向の長さ (m)

$A_i, B_j$  : 各河岸の植生の種類別に区分けされた各区分

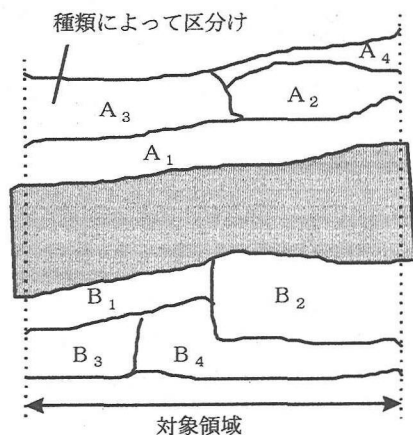
また、流速・水深・底質の分散とは、各セルで得られたそれぞれの値を用いて領域全体でその分散を求めたものである。この分散を用いる理由は、面的な情報—すなわち水深で言えば河床がどの程度起伏に富んでいるのか、流速ならどのくらいばらけているのか—ということを表す一つの指標となると考えられる (図VII)。

$$\text{流速分散} = \frac{1}{m \cdot n} \sum_i^n \sum_j^m (V_{ij} - \bar{V})^2$$

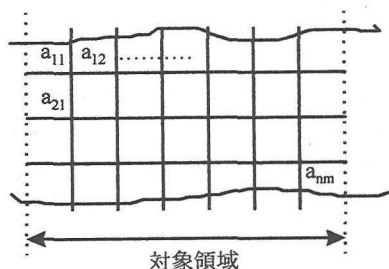
$$\text{水深分散} = \frac{1}{m \cdot n} \sum_i^n \sum_j^m (H_{ij} - \bar{H})^2$$

$$\text{底質分散} = \frac{1}{m \cdot n} \sum_i^n \sum_j^m (D_{ij} - \bar{D})^2$$

$V_{ij}, H_{ij}, D_{ij}$  はそれぞれ  $a_{ij}$  における流速、水深、底質



【図VI】 河岸植生の区分け

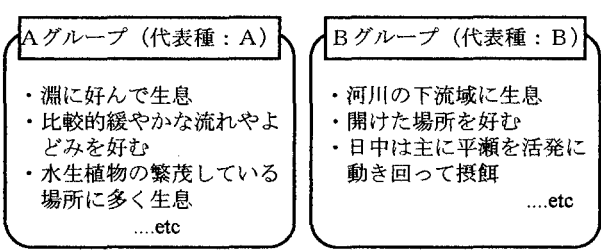


【図VII】 流速・水深・底質の分散

面的な情報として、これら分散に加え瀬と淵の距離 (流れ方向の隔たり) を用いることができる。分散については分散の大きい魚種も均一な環境を好む魚種もいるが、それぞれ好む環境に対し、明確にはないかもしれないがどこかにピークが来るものとする。従って、他の因子同様評価点数グラフを作成する。これらのマクロ因子に対しても、先ほどと同じように選好曲線から生息可能領域を求め、評価点数グラフを作成して評価得点を算出する。注意すべき点は、マクロ因子による得点はセル代表ではなく領域に対して一つ求まるものである。マクロ因子による評価得点を  $S'$ 、ミクロ因子によるセルごとの評価得点の領域平均を  $S_A$  とすれば、<領域総合評価点:  $S_F = S' + S_A$ > によって最終的な評価点を求めることが出来る。

3. 河川環境の総合評価

以上述べてきた方法にしたがって対象魚種に対する対象領域の評価得点を計算することが出来る。ここで重要となるのは、複数の魚種に対する評価である。そこでこの評価法では、あらかじめ日本の河川で確認されている魚種に対し、生活過程の特徴をもとに大まかに分類分けを行う。それは例えば図Ⅷの様になる。そしてそれぞれ分類分けされたグループの代表種を選定する。この作業は、魚類の図鑑や建設省の行っている河川水辺の国勢調査のデータなどから行うことが可能である。こうして選定した代表種全てに対して、上に述べた手順を踏んで評価得点を求める。これは図Ⅱの総合評価点の後の手順になる。



【図Ⅷ】生活特徴による魚種分類例

| 魚種 | 評価得点   |
|----|--------|
| A  | .....点 |
| B  | .....点 |
| C  | .....点 |
| ⋮  | ⋮      |
| ⋮  | ⋮      |
| ⋮  | ⋮      |

【図Ⅸ】評価得点表

こうして求められたすべての代表種に対する評価得点を表にする（図Ⅸ）。この表を用いて最終的に対象とする領域の河川環境の総合的な評価を行う。例えば全ての種に対して高い評価得点が得られている場合には良好な環境だと判断できる。逆に全体的に得点が低い場合、河川の横断面や形状（線形）を変更して計算し直すということも考えられる。また、一部の種には高得点が得られるが、他の種に対しては低い得点しかえられない場合、その河川環境は一部の種にとってのみ良好な環境と判断でき、偏った環境であると考えられる。この様な場合、一部の種による独占状態が生じ、生物の種多様性は乏しくなる可能性がある。

すなわち、魚種の分類作業をきちんと行うことによって、図Ⅸの表から生物の種多様性を保持できる河川環境であるかどうか判断することが出来る。また、河川計画の目的に合わせ、評価結果を判断できる。例えば希少種に対して生息環境を保護したい場合や、ある特定の種のみ数を増やしたい場合などは、その目的の種が特に高い評価得点を得られるような計画を行えばよい。ただ一種に対してのみ評価を行っていると、目的の種にとって高く評価できる環境を創出したとしても、実はその環境が他の種にとってはもっと良好な環境であった場合、目的の種がその種に圧されて生息できなくなってしまうような事も考えられる。

4. おわりに

本研究では、魚類生息場の観点から河川環境を評価する新たな方法の提案を行ったが、残されている課題は多い。最も重要なものとしては、実際の河川への適用と検証である。今回はデータの不足から検証を行うことが出来なかった。また、代表種による評価に問題はないのか、実際の適用による判断が必要である。

<参考文献> 1) 木元新作・武田博清(1989)：群集生態学入門／共立出版  
2) 玉井信行・水野信彦・中村俊六編(1993)：河川生態環境工学／東京大学出版会  
3) 水野信彦・御勢久右衛門 (1993)：河川の生態学／築地書館  
4) 石川雅朗 (1995)：第一回河川生態環境評価セミナー「選好曲線作成例」  
5) 水野信彦 (1995)：魚にやさしい川のかたち／信山社  
6) 川合禎次・川那部浩哉・水野信彦：日本の淡水生物／東海大学出版会