

河川の魚類生息環境評価 - 石川県森下川の例 -

Micro habitat evaluation for fish in river

- Case study in the Morimoto river, Ishikawa prefecture -

辻本哲郎*・永禮 大**

Tetsuro TSUJIMOTO and Ohki NAGARE

1. 序 論

河川管理・整備の目的に生態系保全機能が加えられるようになったなかで、その機能評価が重要な河川水文学的課題となっている。これを進める第1歩が「生息環境」という概念で、もう一つは、水流、流砂、河床・流路形状と植生の相互作用系である「河相」がこれを提供するという考え方である。本研究では、魚類を対象に生息環境評価について、こうした考え方を基礎とした調査、予測、評価の仕組みを、石川県森下川を対象にしたケーススタディと並行して検討した。

河川が多機能の一側面としての生態系保全機能整備を行っていくうえでの、生息環境評価の流れ（枠組み）は図1に示すとおりである。図1で現況とするのは、調査を行う時点ということである。流量など自然の変動があるので数回の調査が望ましいが一般にすべてをカバーするのは難しい。とにかく調査時点での調査結果から生息環境の現状を評価するのだが、実際にはその調査は現況評価そのものよりも物理環境（河床・流路形態、河床材料、植生、水理条件など）を予測する手法、生態系の状況を記述する手法を検証、調整あるいは確立することに意義がある。実際の自然では変動が必然で、調査時点での生息環境適性でなく、流況を考慮して、生息環境適性がどのように通年で変化するかがその河道の生息環境評価になる。

一方、近年、ダム建設、砂防、河道浚渫・整正など人的インパクトにより流況や土砂量供給条件が本来のものから偏倚しており、河相が変質している（辻本，1998）。またこれによって河川が担うべきさまざまな機能も変質している。この変質も生息環境評価によってそれを認識できる。また、この変質した機能の回復のためにさまざまな代替案が検討されることになるが、それぞれのシナリオでの生息環境適性の評価することが重要になってくる。

以下では、河道の適当な大きさの区間を対象とした議論に限定した議論とする。河相を特徴付けるユニット（交互砂州、瀬と淵など）を含むリーチを取り上げ、河相がどのように生息環境に貢献しているかに注目した^{注1)}。

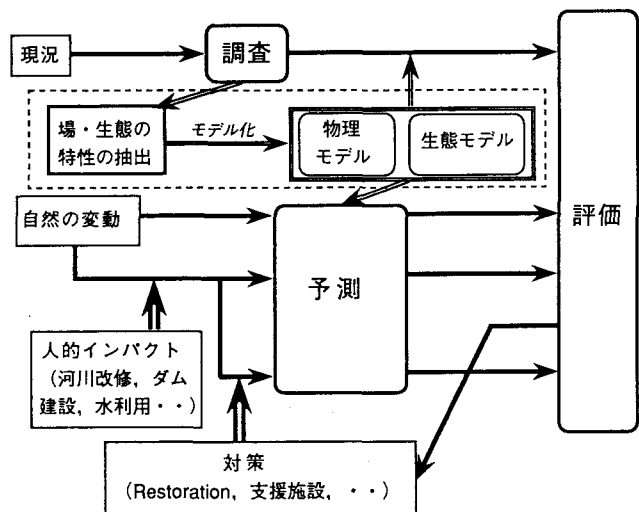


図1 生息環境評価の流れ

キーワード：魚類生息環境，河相，浅水流解析，IFIM，PHABSIM

* 名古屋大学大学院工学研究科助教授（〒464-8603 名古屋市千種区不老町，ttsujimoto@genv.nagoya-u.ac.jp）

**（株）大林組本社設計部

2. 魚類生息環境調査

本研究では、石川県大野川水系（二級河川）森下川（もりもとがわ）中流域河道区間（写真1）をとりあげた。この河川では、上流に医王ダム（農林水産省）が計画されており、将来ダムによる土砂供給停止、流況変化などにより川相の変化を通して魚類生息環境が変化することが予想され、将来のモニタリング、変質が認められた場合の復元シナリオの評価などへの展開を考えている。

河道のセグメントの特徴を示すユニットを一对含むような区間、すなわちおおむねはばの6~10倍程度の区間（この例では幅が15m程度で約90mの延長の中に瀬と淵がある）で地形、水理計測を行う。図2には河床形状の等高線、河床材料分布を示した。河床形状はスタジア測量によって、河床材料は目視によった。同時に植生調査も行ったが、この河道では植生は単調でツルヨシ群落が認められたところについて図に示した。

次に、水深、流速に空間分布を測定した。水深は目盛を刻んだ棒によって、流速は小型電磁流速計を用いて50%水深位置での流速を測定し水深平均流速と見なした（2次元計測で（U, W）はそれぞれ流下方向，横断方向流速成分）。今回の水深・流速測定は対象区間に置いて縦断方向に11測線，横断方向は測線上4~5点とした。この結果が図3に示される。流量は対象区間の中で比較的断面が単純な位置で、断面内流速分布を詳細に測定して求めた。

次に、水深、流速に空間分布を測定した。水深は目盛を刻んだ棒によって、流速は小型電磁流速計を用いて50%水深位置での流速を測定し水深平均流速と見なした（2次元計測で（U, W）はそれぞれ流下方向，横断方向流速成分）。今回の水深・流速測定は対象区間に置いて縦断方向に11測線，横断方向は測線上4~5点とした。この結果が図3に示される。流量は対象区間の中で比較的断面が単純な位置で、断面内流速分布を詳細に測定して求めた。

流量観測所地点では日流量データがまとめられている。流量観測所と対象河道区間の場所が離れていることから、当日対象区間で測定された流量と観測所地点流量の比をを勘案して換算を行って対象地点での流況データを整理した。図4は、日流量データからここでは5年間の平均時系列として森下川の流況を示している。図4では、実線で流況をモデル化して議論した例を示しており、平均年最大時間流量規模で3時間継続



写真1 森下川の調査対象河道区間（下流川から望む）

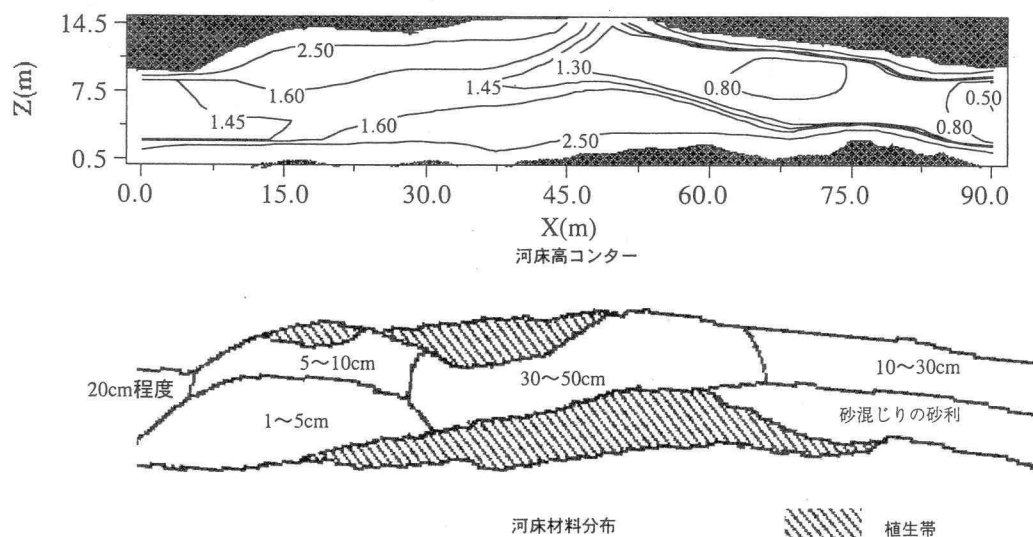


図2 河床地形、底質材料分布の測定例（森下川）

注1) 空間スケールとしてはここで対象とする河相を特徴付けるユニットを含むリーチ程度のスケールのほか、これらが均質にいくつも分布したセグメントでの議論，固有性を有して連続したセグメントからなる水系一貫した観点（コリドー）と評価対象スケールもさまざまである。また，近年の多自然型川づくりでは，魚道，人工的な瀬と淵やワンドなど「生息環境支援施設」の果たす役割も考えなければならない。

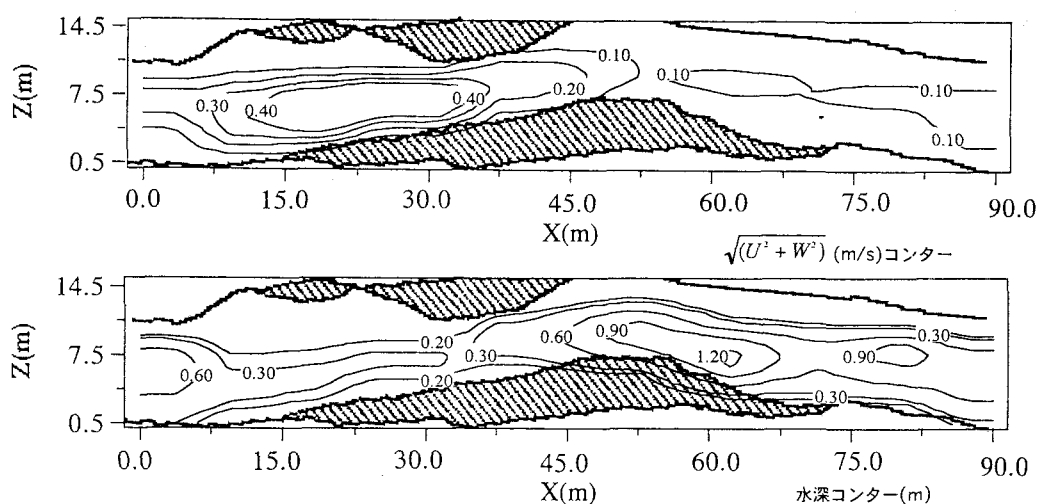


図3 流速・水深の空間分布測定例（森下川）

するモデル洪水を考慮している^{注2)}。

次に魚類について上方からの目視（遊泳魚）、潜水目視（底生魚）によって生息位置の空間分布を観察した。現地観測に当たっては、最近の魚類調査結果などを参照し、調査対象魚種を絞り込む。森下川では佐野・山本（1996）によって魚類調査が最近なされており、その結果に基づいて調査対象魚を決め、かつ図鑑によってその生息場の一般的特性を知った。遊泳魚としてアブラハヤ（*Phoxinus lagowskii steindachneri*）、ウグイ（*Leuciscus hakonensis*）、底生魚としてヨシノボリ（*Rhinogobius* sp.）、カマツカ（*Pseudogobio esocinus*）、カジカ（*Cottus pollux*）を選定した。このように対象魚をあらかじめ設定して調査することにより、種の同定の困難さを克服した。なお、それぞれの種についてサイズによる分類もしておくことが望ましい。図5に森下川での実測例を示す。

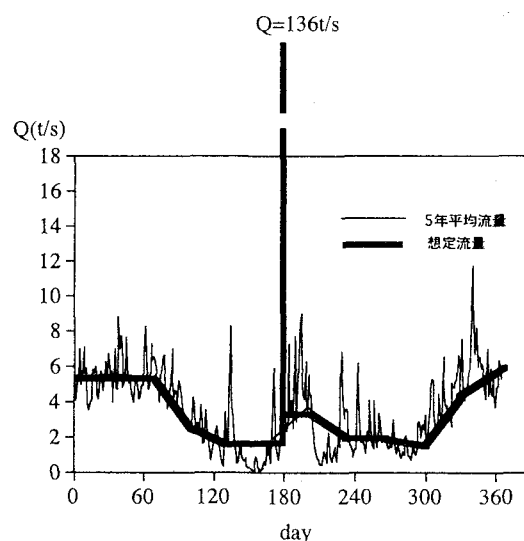


図4 調査地点換算された流量時系列

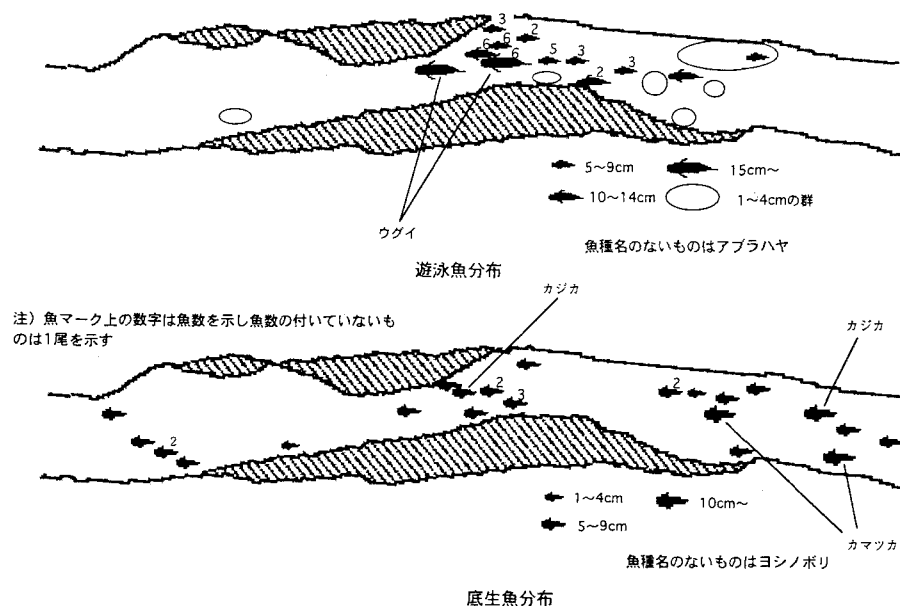


図5 対象生息生息分布（森下川）

3. 魚類生息環境評価の手法

生息環境評価手法としてIFIM (Instream Flow Incremental Methodology, Nestler *et al.*, 1989)を採用した。これは、しばしば流量増分式生息環境評価と呼ばれる。すなわち河道内流量を変化させたとき生息環境がどのように変化するかを見ようとするところに主眼がある。したがって季節的な生息環境状況の変化に着目したり、あるいは上流にダムなど流量調節施設があるような場合、放流量（したがって河道流量）の変化によって生息環境がどのように変わるかに注目したものと言える。

ある流量条件で、対象空間内でのその流量に対する生息環境要素たとえば水理量（流速、水深などでここでは ξ_j であらわす）などの空間分布 ξ_{jk} （微小空間 ΔA_k での値）を知り、一方、局所的な水理量などと注目種のそれに対する適性が関係付けられていると（ $\eta_j=f_j(\xi_j)$ ：しばしば選好曲線 preference curveと呼ばれる）、対象空間全体としての生息環境適性が定量評価される（ Ξ_k ）。たとえば、

$$\Xi_k = \prod_j \eta_{jk} = \prod_j f_j(\xi_{jk})$$

である。この評価法の部分はPHABSIM (physical habitat simulation) と呼ばれる。PHABSIM部分はさまざまな代替案があるので枠組みの部分のみIFIMと呼ぶことがある。

対象空間全体での議論にする場合は、評価値 Ξ は、

$$\Xi = \frac{\sum_k \Xi_k \Delta A_k}{\sum_k \Delta A_k}$$

のようになる^{注3)}。IFIMでは流量の変化によって河道区間の評価値 Ξ がどのように変化するかをみて、生息環境の適性を評価する（適正流量や適正流況を判断する）。

河川水理学的側面として重要なシナリオは、河相の数学的記述で、ここでは表層粗度、植生の効果を取りこみ、乱流モデルにk-εモデルを用いた平面二次元解析を採用した（辻本・北村, 1995）。こうした計算が植生を伴う流れの流速（ U, W ）、底面摩擦速度 u_* 、しばしば浮遊砂の乱流拡散係数 ϵ_s と同一視される渦動粘性係数 ν_T を明かにし、植生周辺の流砂状況を明かにする。掃流砂は流れの計算で知られた摩擦速度から芦田・道上式（1972）によって求め、流砂の方向角を河床横断形状と流れの解析で知られる流向によって表し、縦・横断方向成分にわけて用いた。浮遊砂については浮遊砂の乱流拡散係数 ϵ_s を流れの計算で評価される渦動粘性係数 ν_T と同一視して、水深平均された二次元移流拡散方程式から推定した。平衡基準面濃度には辻本（1992）による実験式を用い底面濃度と水深平均濃度はLane-Kalinske型の平衡濃度分布式で関係づけた。

水理量空間分布の計算を図6に示すが、調査結果（図3）の再現性が認められる。また図7は、平均年最大流量クラスの流量を3時間導入して年間の河床変動量も検討した結果である。

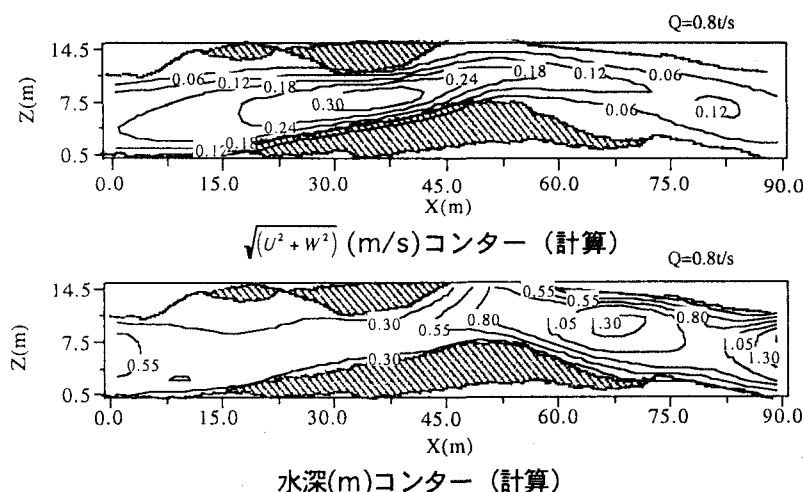


図6 水理量空間分布の数値計算による再現

注2) 本河道の河床勾配、河床材料の関係から日流量の最大値では河床はほとんど変化しない。そこで、時間最大流量を調べ、その程度のモデル洪水を年間流況で考慮したものである。

注3) 原論文では対象空間で除せずWUA (weighted usable area) と呼んでいるが、ここでは0~1の数値に規格化して表すことにした（辻本・堀川, 1997）。

魚類の水理諸量に対する選好性についてここでは図鑑（川那部・水野，1988, 1990）の記載から選好曲線を作成した。図8に泳泳魚，底生魚別にまとめた。図中の表に図鑑の記載事項をまとめそれを反映させた形で，泳泳魚については流速と水深，底生魚については摩擦速度，水深，底質粒径について選好曲線を設定した。図中の B はさかなの体長で，突進速度が体長の10倍程度であるとの従来の知見を認めている。

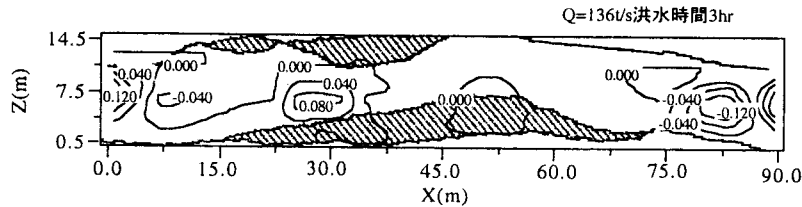


図7 洪水時の河床変動量（m）計算

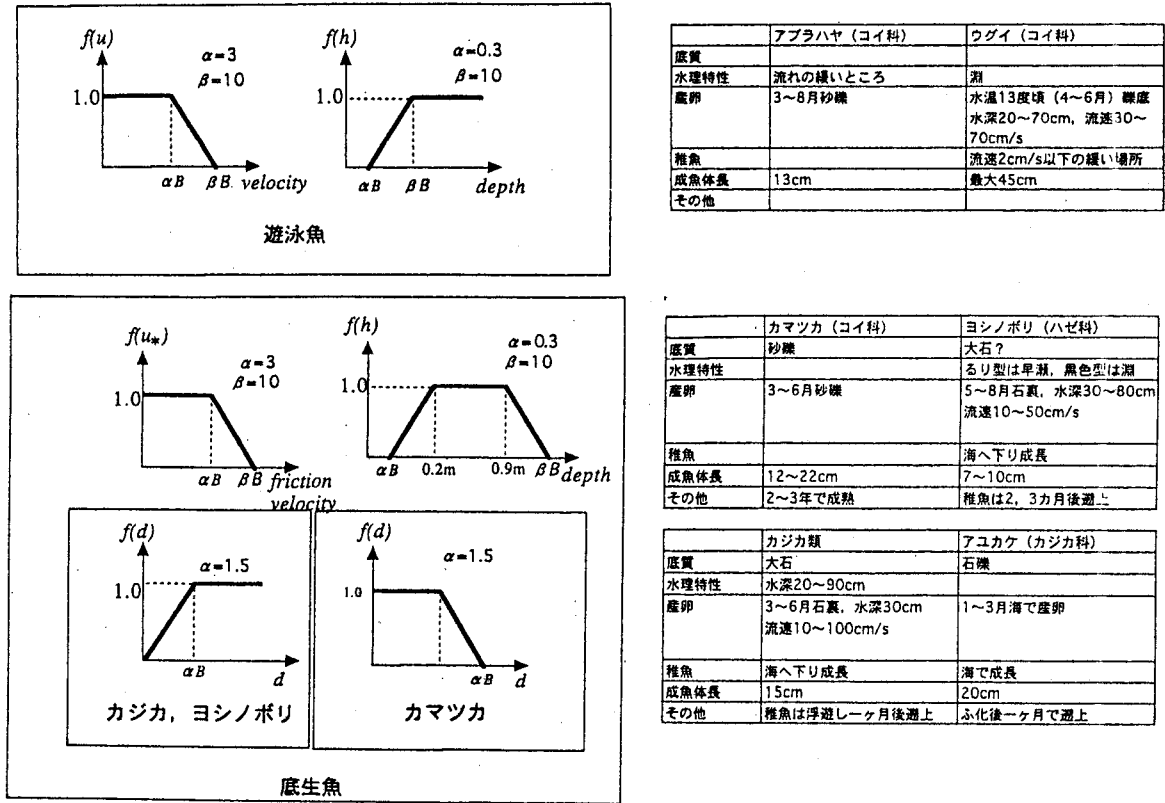
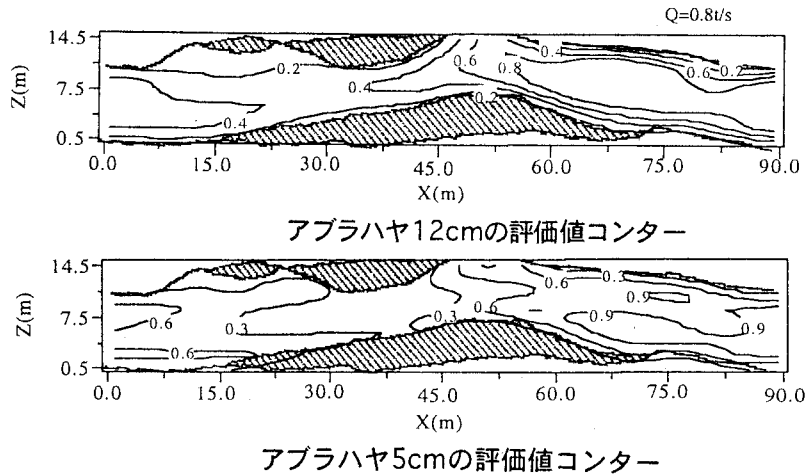


図8 遊泳魚・底生魚の選好曲線

5. 生息環境評価例

水理計算結果とこれらの選好曲線を組み合わせによって得た空間分布 E_k を図9に示す。これは図6の生息位置分布と比較して，選好曲線や各要素の組み合わせについて検討するためのデータともなる。



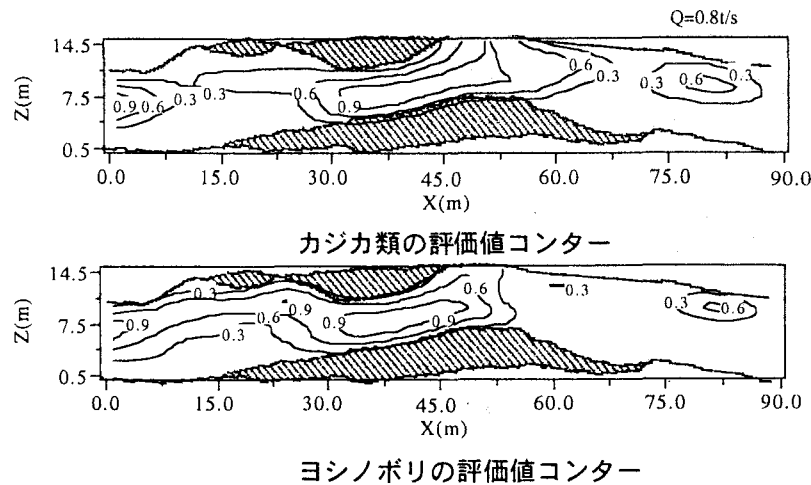


図9 生息環境評価値の空間分布の計算例

対象区間全体での評価値（規格化されたWUA）を図4に太線で示されたモデル化された流況に対して計算を行い、評価値時系列として表したのが図10である。これらは普段の（狭義の）生息環境としての評価であるが、生活史を考えると他のステージでの評価も重要である。とくに持続性を考えると産卵場の適性についての評価が重要で、たとえば礫床条件が確保されることに着目し、浮遊砂の堆積を阻害要因とした考え方を上記のフローに取り入れるのが良い。

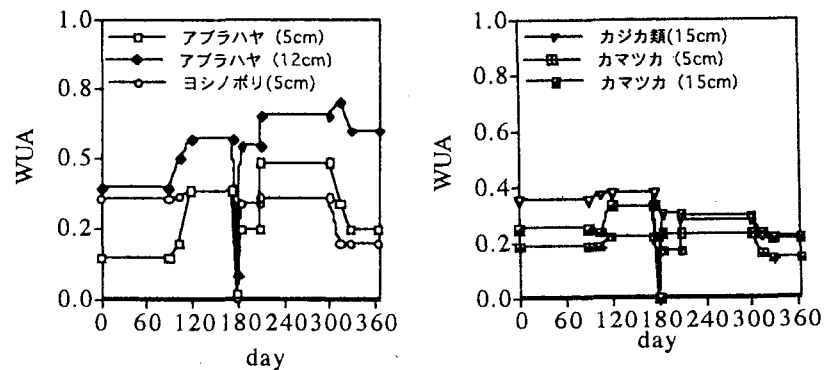


図10 対象区間の平均生息環境評価値の時系列的変化

6. あとがき

魚類生息環境評価法を調査・予測を含めて現地観測と並行して検討した。ここでの評価は単一の種、しかも限定されたステージを対象としている。生態系はさまざまな種のさまざまな生活史から構成されている（それでいて初めて持続性が確保される）。魚類生態系として評価する「総合化」をどのようにするかについては議論が残されている。注目すべき種（セグメントを代表する種、地域性を示す種、当たり前にいるべき種など）の代表的なステージ（通常の生息、採餌、産卵行動など）と有限個の E_k 分布や $E(Q)$ あるいは $E(t)$ が得られる。 E_k 分布からは、いくつかの種が適切に空間をそれぞれでうまく使っているか、 $E(Q)$ あるいは $E(t)$ からは流況と生活ステージが適切に対応しているかなどが議論できる。また、河川改修や支援施設の設置、流況改善などの効果についても、客観的な議論が出来るスタートに立てるようになったと思われる。

参考文献

- 1) 芦田和男・道上正規：混合砂礫の流砂量と河床変動に関する研究，京都大学防災研究所年報，第14号B2，pp.259-273，1971.
- 2) 川那部浩哉・水野信彦：川と湖の魚1，2，保育社，1988，1990.
- 3) 佐野修・山本邦彦：石川県の淡水魚類，石川県の自然環境シリーズ，石川県環境部，74p.，1996.
- 4) 辻本哲郎・北村忠紀：植生周辺での洪水時の浮遊砂堆積と植生域の拡大過程，水工学論文集，第40巻，pp.1003-1008，1996.
- 5) 辻本哲郎・堀川紀子：新しい河川環境の概念に基づく魚道設計の方法論について，水工学論文集，土木学会，第41巻，pp.271-276，1997.
- 6) 中川博次・辻本哲郎：移動床流れの水理，新体系土木工学23，技報堂出版，350p.，1986.
- 7) Nestler, J.M., R.T. Milhaus and J.B. Layzer (1989): Instream habitat modeling techniques, *Alternative in Regulated River Management*, edited by J.A. Gore and G.E. Petts, CDC Press.