

河道内植生に規定される魚類生息環境に関する 河川水理学的研究

要 旨

1. まえがき
2. 河川景観整備の概念と魚類生息環境の位置づけ
3. 河相の河川水理学的記述
4. 河川における魚類生息環境
5. 河川生態環境評価の手法
6. 魚類生息場の典型的なパートと生息環境支援施設
7. 魚類生息環境調査
8. 実河川への水理解析の適用
9. 魚類生態と選好曲線
10. 流量増分式生息環境評価法IFIMによる魚類生息環境評価
- 11.まとめ

名古屋大学 大学院工学研究科地圈環境工学専攻 辻 本 哲 郎

要　旨

本研究では河相という枠組みの中で魚類生息環境の評価について考えた。従来の河相は水流・流砂・地形の相互作用を言うものであったが、今日、河道における植生の意義は極めて高く、河相も「植生」を一つの構成要素とする相互作用系としてとらえざるを得なくなってきた。また、最近の河川整備が、治水、利水、親水、生態系保全機能の多機能を担うと認識された中で「河相」が特に生態環境をどう担っているかを正当にかつ合理的に評価しなければならなくなってきた。河域の生態は必ずしも魚類に限らないが、水流にもっとも影響される、植生と魚類を取り込んで、河川の生態系をとらえて河川水理学的に評価しようとすることが本研究の課題とした。

理念と手法の整理、確立に努めた後、実際にフィールドを求めて研究を行うこととした。すなわち生態環境調査として、河道調査（地形、河床材料、植生）、水理計測（水深、流速）、魚類生息調査、流況調査を実際に森下川で実施しながら、その標準化を考えた。次に、解析法では地形、底質、植生の影響が的確に表現できる水深平均された平面流解析を提案し、その検証を調査対象の森下川で検証した。さらに流砂量計算、河床変動解析なども標準化した。次に、魚類の生態（生活史）を選好曲線で表現するのであるが、ここでは図鑑等により簡単にこれを作成する方法を示した。これらを流量増分式生息環境評価（IFIM）の手法で総合化する。

こうした生息環境評価法を標準化すれば、次のようなシナリオで対象とする河川、河道の自然環境を魚類生息環境という視点で評価できる。

1. 現河道は十分な生息環境を提供しているか？
2. 将来の人的インパクトに対し、生息環境はどのような影響を受けるか？
3. 生息環境改善に効果的な策は？（その評価）

こうした、シナリオを描いての研究が今後の課題である。

1. まえがき

本研究は「河道内植生に規定される魚類生息環境」に関する研究であるが、生息環境整備の河川環境管理、整備における意義づけ、生息環境を含む河川景観が水流、流砂、河道動態に場を提供されるものであるが、それが植生に大きく影響されており、植生に注目することの重要性、魚類生息環境の捉え方などについて、まず検討を行なった。理念に加えて、河川水理学的取り扱い手法をこれまでの研究成果をもとに整理した。さらに、河相の中で魚類生息環境を評価する場合の、調査、評価、予測の手法を、森下川（石川県大野川水系）で実際に実施しながら検討した。

2. 河川景観整備の概念と魚類生息環境の位置づけ

近年の河川整備・管理の理念は表1に示す3つの機能を等しく確保、拡充することにある。

河川は山から海をつなぐ連続した動線、あるいは、固有の性格を持ったセグメント（山本、1988）の連続したものである。セグメントはそれぞれ流況、河床勾配、河床材料、構成単位としての河道形態、水理量分布、さらに植生、生態と固有の相関関係を持っている。この相互関係の保全が、ここのセグメントにおける生態環境を確保することであり、そのつながりが河川全体の生態環境としてのなりたちを確保することである。

流域土地利用の変化、ダムをはじめとする河川構造物の構築などによる流量、流砂量の変化がこの相互作用系を変質させている場合がある。

「河相」は、水流、流砂、河道形態の相互作用系で構成されるものとして考えられていた。ただし、河道内植生を疎外しない理念のもとでは、植生を加えた相互作用系をもって河相を想定する。さらに、さまざまな人工構造物もこのなかに加えたほうが良いだろう。図1は各要素の相互作用関係を矢印で示している。実線矢印に対し破線のそれは副次的な影響を示す。たとえば、植生の河床形態による影響は、新しい陸域形成による群落拡大、埋没あるいは洗掘による流失などによる群落衰退などである。

表1 河川の機能

洪水時の安全性	河川及び河川構造物の構造・機能の安全性の確保
資源としての利用	水資源、舟運、水産
環境機能の確保	親水機能
生態環境保全機能	

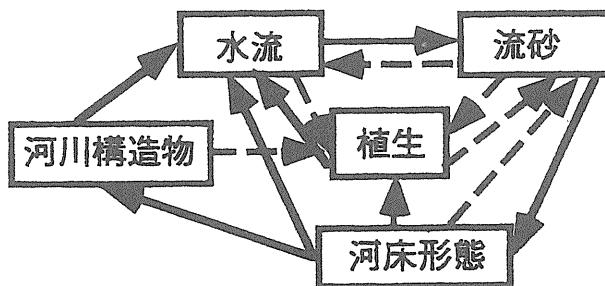


図1 河相を構成する相互作用系

河相を構成する要素のひとつひとつが生息環境を提供している。このような河相の相互系がセグメントごとに固有であり、固有の生息環境とそれが上流から下流への連続したものを見出している。河相が

生息環境を提供しそれに生態が根付いている状況が河川の固有の「景観」である（辻本、1997）。植生の生息環境に果たす役割は極めて大きい。

3. 河相の河川水理学的記述

河川水理学的側面として重要なシナリオは、図1の相互作用系の数学的記述で、最近の著者らの研究をまとめると次のようで、これに基づいた数値解析が可能となっている。

まず、植生、地形を伴う場での流れの記述には、 $k-\varepsilon$ モデルを用いた平面2次元解析が用いられ、その基礎式を示すと次のとおりである。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x}(hU) + \frac{\partial}{\partial z}(hW) &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial x}\left(hU^2 - h\nu_T \frac{\partial U}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(hWU - h\nu_T \frac{\partial U}{\partial z}\right) &= -gh \frac{\partial(h+y_b)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(h\nu_T \frac{\partial U}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(h\nu_T \frac{\partial W}{\partial x}\right) - F_x - \tau_{bx} \\ \frac{\partial}{\partial x}\left(hWU - h\nu_T \frac{\partial W}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(hW^2 - h\nu_T \frac{\partial W}{\partial z}\right) &= -gh \frac{\partial(h+y_b)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}\left(h\nu_T \frac{\partial U}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(h\nu_T \frac{\partial W}{\partial z}\right) - F_z - \tau_{bz} \\ \frac{\partial}{\partial x}\left(hUk - h \frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(hWk - h \frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z}\right) &= P_k + P_{kv} + P_{kb} - h\varepsilon \\ \frac{\partial}{\partial x}\left(hU\varepsilon - h \frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(hW\varepsilon - h \frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z}\right) &= C_1 \frac{\varepsilon}{k} (P_k + C_{ve} P_{kv} + C_{be} P_{kb}) - C_2 h \frac{\varepsilon^2}{k} \\ \nu_T = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} &\quad ; \quad P_k \equiv h\nu_T \left\{ 2\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x}\right)^2 \right\} \\ F_x \equiv \frac{1}{2} C_D \lambda hU \sqrt{U^2 + W^2} &\quad ; \quad F_z \equiv \frac{1}{2} C_D \lambda hW \sqrt{U^2 + W^2} \\ \tau_{bx} \equiv C_f U \sqrt{U^2 + W^2} &\quad ; \quad \tau_{bz} \equiv C_f W \sqrt{U^2 + W^2} ; \quad P_{kv} \equiv F_x U + F_z W ; \quad P_{kb} \equiv \tau_{bx} U + \tau_{bz} W \\ C_{be} \equiv 3.6 \frac{C_2}{C_1} \frac{k}{\varepsilon} \frac{C_\mu^{1/2}}{C_f^{3/4}} \sqrt{U^2 + W^2} & \end{aligned}$$

ここで、 (x, z) ：流下方向・横断方向座標、 (U, W) ：流下・横断方向の水深平均流速、 h ：水深、 y_b ：基準面からの路床高、 (F_x, F_z) ：植生の抗力から流体が単位質量あたり受ける反力の流下・横断方向成分、 ν_T ：渦動粘性係数、 k ：乱れエネルギー、 ε ：乱れエネルギーの逸散率、 C_f ：路床の摩擦抵抗係数、 C_D ：植生要素の抗力係数、 λ ：流体の単位体積あたりの植生要素による遮蔽面積である。乱流モデルのモデル定数 C_μ 、 C_1 、 C_2 、 σ_k 、 σ_ε については標準値を用い、さらに植生の形状抵抗に関わる係数 C_{ve} については鉛直2次元の植生層を伴う流れ場の実測から決められた1.3を用いる（辻本・北村、1996）。この手法は $k-\varepsilon$ 乱流モデルの採用し、Rastogi & Rodi(1978)の方法で、清水・辻本・中川(1992)の方法で植生の効果を取り込んだ（辻本・北村、1996）。

たとえば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。

掃流砂については、芦田・道上式(1972)を採用し、次のように掃流砂量 q_B の流下・横断方向成分(q_{Bx}, q_{By})に分ける(たとえば、中川・辻本(1986):「移動床流れの水理」参照)。

$$q_{B*} \equiv \frac{q_B}{\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}} = 17 \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right) \tau_*^{3/2}$$

$$q_{Bx} = q_B \sin \varphi; \quad q_{Bz} = q_B \cos \varphi$$

$$\tan \varphi = \tan \gamma - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\mu_d \mu_f \tau_*}} \tan \theta$$

ここに、 d : 砂粒径、 σ, ρ : 砂、水の密度、 φ, γ : 流砂及び水流の方向(主流方向からの偏角)、 θ : 河床横断勾配、 τ_*, τ_{*c} : 無次元掃流力(Shieldsパラメータ)およびその移動限界での値、 μ_r, μ_d : 砂の静的及び動的摩擦係数である。流砂に伴う河床高さの変化(y_b)は次式で計算される。

$$\frac{\partial y_b}{\partial t} = -\frac{1}{1-\rho_0} \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{Bz}}{\partial z} \right)$$

ここに、 ρ_0 : 砂の空隙率である。

一方浮遊砂についてはその挙動は次式に支配される。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(hUC - h\varepsilon_s \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(hWC - h\varepsilon_s \frac{\partial C}{\partial z} \right) = S_c$$

$$S_c = w_0 C_{ae} - \gamma_s w_0 C$$

ここで、 C : 水深平均された浮遊砂濃度、 C_0 : 砂の沈降速度で、基準面濃度については次式で与える(辻本、1992)。

$$C_{ae} = 0.002 \left(\frac{u_*}{w_0} \right)^2 \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right)^{1.5}; \quad \gamma_s \approx \frac{15w_0}{u_*}$$

また、 S_c は $(1-\rho_0)(\partial y_b / \partial t)$ を表すのでこれより、河床変化が計算される。

4. 河川における魚類生息環境

とくに水域利用者として魚類を対象とすることは、河川環境を考えるうえでわかりやすい。魚類生息環境の整備を表1と同様に整理すると、次のようである。

生息環境を考えるうえでのさかなは表3のような要因で分類される。分類されたさかなのそれぞれの生活・行動様式に生息場が想定できる。もともと、固有の河相にそれが具備されていて、そのため固有的種が生息したり、生活ステージの一部にそれを使っていた。

表2 魚類生息環境整備

洪水時の安全性	洪水時の生息環境構造の確保
資源としての利用	水産資源の確保
環境機能の確保	親水機能（さかなのいる川、フィッシング）
	生態環境保全

表3 さかなの分類要因

生活様式	習性による移動、食餌、産卵、休息、洪水時の避難その他
行動様式	遊泳、匍行
サイズ	体長、体高
形態	紡錘型
餌	植物 動物
能力	巡航速度、突進速度

また、上記のように考えるとき、魚類生息環境には2つの捉え方がある。1つはいくつかの生活様式の生息場が適宜組み合わされた環境で、もうひとつはそれぞれの生活様式に対する個別の生息場をさす場合である。個別の生息場の典型例は魚道で前者の意味での生息環境が堰などで分断されていて遡河、降河が妨げられているのを助けるパートである。このような個々のパートとしての生息環境の条件は水理条件、物理条件に対応付けをうまくできれば設計対象となりうる。

5. 河川生態環境評価の手法

生息場の評価の方法論としてIFIM (Instream Flow Incremental Methodology) が注目を浴びている (Nestler *et al.*, 1989)。これを要約すると以下の通りである。まず、生息場を評価する指標、たとえば流速、水深、底質に対する生息場としての評価値 (HSI : habitat suitability index、0~1の値で評価される) の関数形を経験的にあるいは調査によって得る。いまこれを $\eta_j(\xi_j)$ で表す。ここで j は指標の種類、 ξ_j はその指標のとる値を表す。各指標から得られる評価の総合は簡単にしばしばその積によって表す。

対象とする河道区間において流量 Q が与えられれば (たとえば水理計算によって) 河道区間の微小面積 ΔA_k の領域ごとに各指標の空間分布が知られ (ξ_{jk})、それに応じた評価値 η_{jk} が推定される。このとき、この河道全体の評価値 Ξ は次式で与えられる (原論文では式(1)の分母 (河道総面積) で除していく、評価値は面積の次元を持ちWUA : weighted usable areaと呼ばれる。ここでは総面積で除し、河道区間全体で 0 ~ 1 の値として評価されるように改めた)。 (ξ_{jk}) が流量 Q の関数であるから η_{jk} さらには Ξ も流量 Q の関数となる。

$$\Xi(Q) = \frac{\sum_k (\prod_j \eta_{jk}) \Delta A_k}{\sum_k \Delta A_k}$$

さらに流況（流量時系列）を評価値（あるいはWUA）の時系列に変換し、対象とする種について重要な時期において生息評価値が高くなる状況を高く評価する。

6. 魚類生息場の典型的なパートと生息環境支援施設

河川の魚類生息環境と言うことになれば、河川内の様々な空間のそして様々な主の様々なステージの生息場を総合したものである。本研究ではこうした総合的な生息環境を対象としているが、現実には河川に対する人間活動のインパクトを軽減する目的で、魚道や「わんど」など生息環境のパートとも言うべきものが多自然型川づくりのシナリオなどのなかで、魚類生息環境支援施設として検討されている。このような機能が明確で単純なもの検討は、生息場の科学的、工学的取り扱いを進める準備段階として重要であり、本研究の初年度はこれの検討を行った（辻本・堀川、1997）。

7. 魚類生息環境調査

調査は石川県森下川（もりもとがわ）で行った（辻本・永禮、1998）。森下川は金沢市北部を流れる2級河川大野川水系の1支川で、上流に医王ダムが計画されており、魚類生息環境の現状把握、将来予測などが必要となるだろうところである（図2参照）。

河道のセグメントの特徴を示すユニットを一対含むような区間、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3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（植生調査については、辻本ら（1993）がすでに開発した方法に準拠した）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。植生密生度については単位面積あたりの本数程度を調べておくのが良い（流れの数値計算に用いる）。流量はもっとも近い流量観測所のデータを入手し、流域面積比で修正した。さらに、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4に示される。

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。この河川では佐野・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、ウグイ、底生魚としてヨシノボリ、カマツカ、カジカを選定した。このように対象魚をあらかじめ選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。この結果を図5に示す。

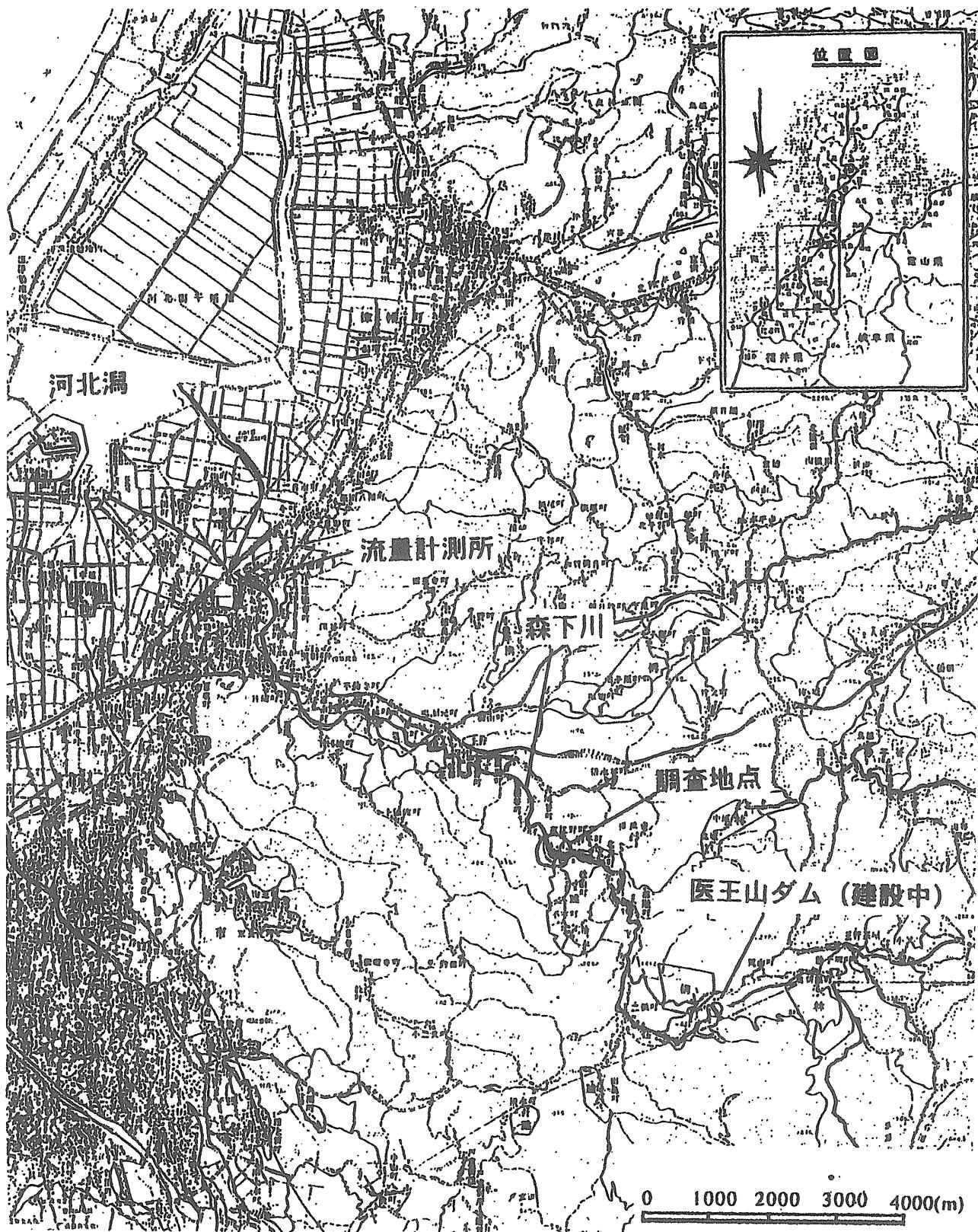
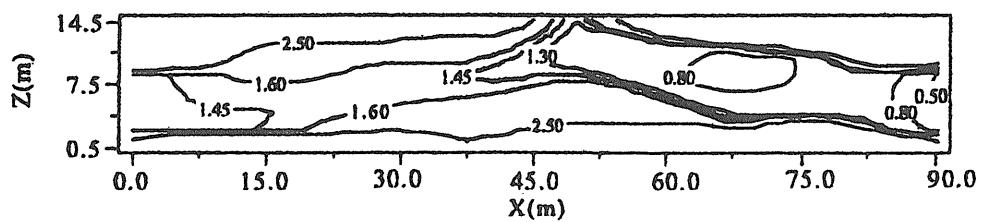
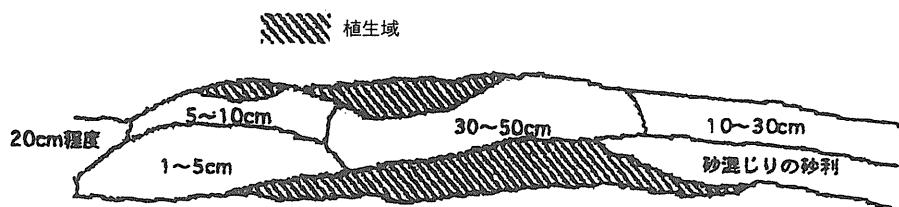


図2 大野川水系森下川

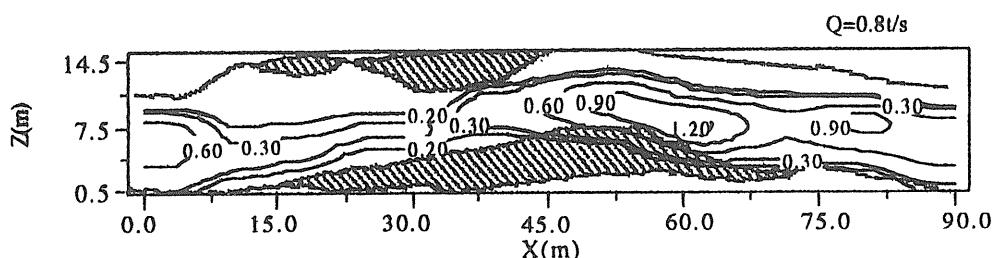


河床高コンター (m)

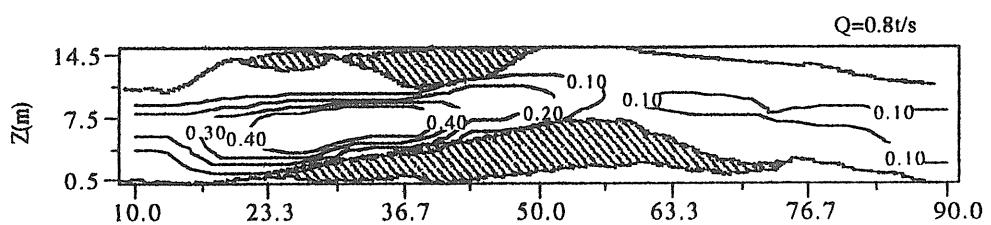


河床材料分布

図 3 河床地形、底質材料分布の測定例



水深(m)コンター(実測)



$\sqrt{U^2 + W^2}$ (m/s) コンター(実測)

図 4 水深・流速の空間分布測定例

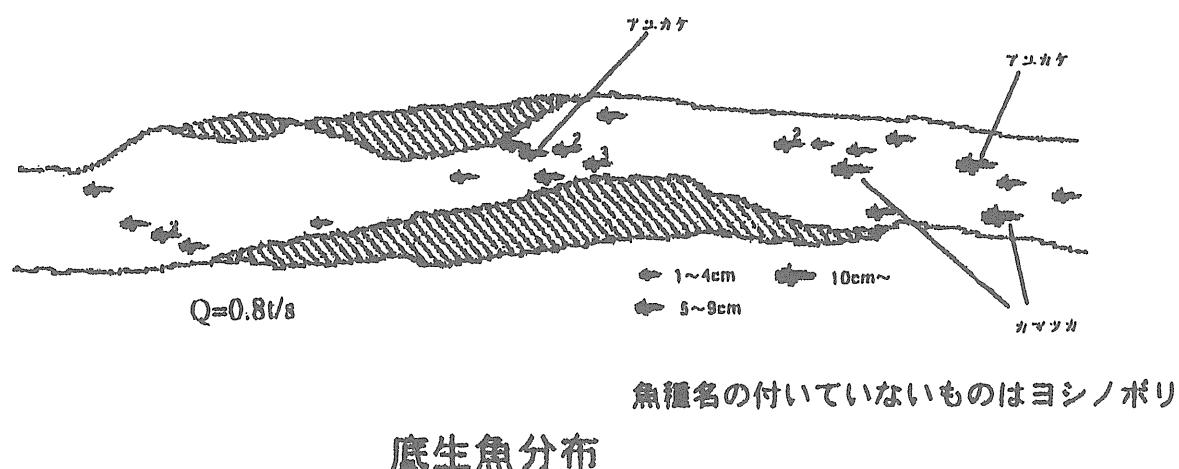
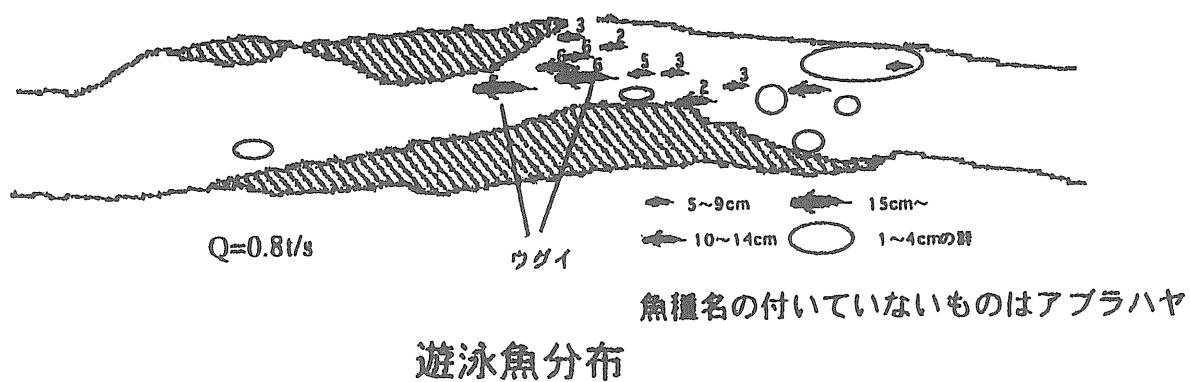


図5 調査対象魚の生息分布

8. 実河川への水理解析の適用

図3に示された森下川の河道に、調査当時の流量を導入した場合の流れの解析を行い、図4に示す水理計測と比較して、ハビタートシミュレーションの重要な部分を占める水理解析（第3章で内容を説明）の検証を行った。

図6は水理量空間分布の計算結果でこの程度の再現性が認められた。

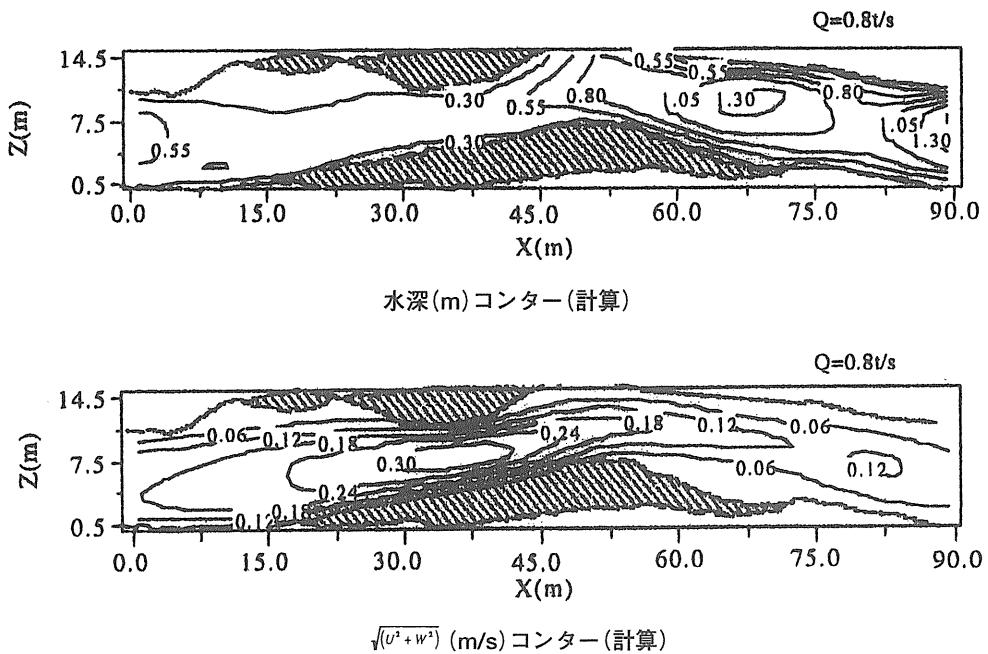
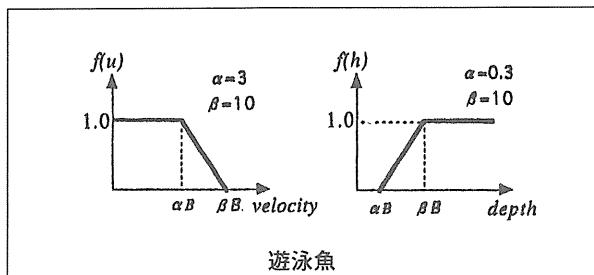


図 6 水理量空間分布の数値計算による再現

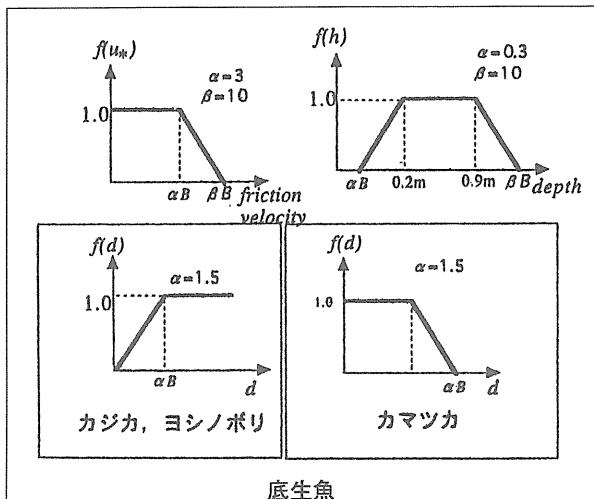
9. 魚類生態と選好曲線

表 4 遊泳魚の選好曲線



	アブラハヤ (コイ科)	ウダイ (コイ科)
底質		
水理特性	流れの緩いところ	淵
産卵	3～8月砂礫	水温13度頃(4～6月)礫底 水深20～70cm、流速30～ 70cm/s
稚魚		流速2cm/s以下の緩い場所
成魚体長	13cm	最大45cm
その他		

表 5 底生魚の選好曲線



	カマツカ (コイ科)	ヨシノボリ (ハゼ科)
底質	砂礫	大石？
水理特性		るり型は早瀬、黒色型は淵
産卵	3～6月砂礫	5～8月石裏 水深30～80cm 流速10～50cm/s
稚魚		海へ下り成長
成魚体長	12～22cm	7～10cm
その他	2～3年で成熟	稚魚は2、3ヶ月後遡上

	カジカ類	アユカケ (カジカ科)
底質	大石	石礫
水理特性		
産卵	3～6月石裏、水深30cm、 流速10～100cm/s	1～3月海で産卵
稚魚	海へ下り成長	海で成長
成魚体長	15cm	20cm
その他	稚魚は浮遊し一ヶ月後遡上	ふ化後一ヶ月で遡上

魚類生態は選好曲線で代表できるとし、調査対象河川における魚種について、表4、5にそれぞれ遊泳魚、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、遊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 f 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。

10. 流量増分式生息環境評価法IFIMによる魚類生息環境評価

第3章に提案した水理解析が、現地で観測時の流れの状態を的確に表現できたので、さまざまな流量条件でのこの河道の水理諸量（水深、流速のほか、流砂量や底面流速に支配的な摩擦速度など）が計算される。

対象河道の流況を、流量観測所での5年間の日流量データの平均から流域比率で修正して想定して評価し、さらに図7のようにモデル化し、これにしたがって水理解析を実施した。また洪水時の河床変動量も検討した。この河道では、日流量では河床材料は移動しないが、年最大時間流量時には掃流移動が認められる。そこで、平均年最大流量が3時間継続するイベントを流況モデルに組み込み（図7参照）、このとき河床変動が生じるとした。このときの変動量の計算結果を図8に示す。

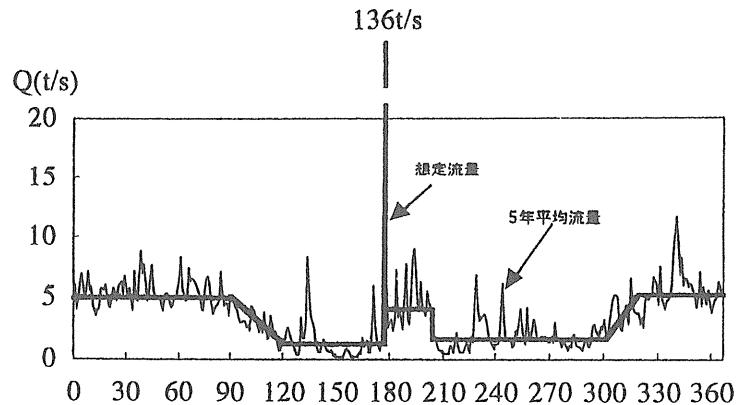


図7 調査対象河道の流況とそのモデル化

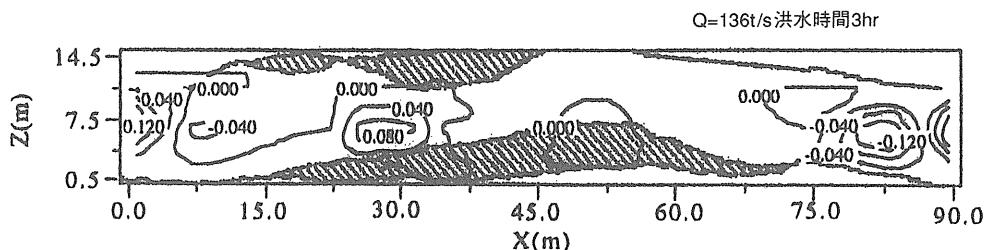


図8 洪水時の河床変動量（m）の計算結果

IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) を採用し、水理モデルによって得られた生息環境指標としての水理諸量 ξ の分布を、選好曲線（第9章）によって次式で生息環境適性指数HSI (Habitat Suitability Index) の分布に置き換えた。

$$HSI = \prod_j f_j(\xi_j)$$

調査実施時の状況に対して計算されたHSI分布が、図9に示され、図5の観察された生息分布と良い対応を示している。

河道区間平均の評価値はWUA (weighted usable area) と呼ばれ次式で求められる。

$$WUA^* = \frac{\sum_k \prod_j f_j(\xi_{jk}) \Delta A_k}{\sum_k \Delta A_k}$$

ここでは無次元化されたWUAを用いた。

次に、図7に示した流況モデルに対応して計算されたWUA時系列を図10に示す。こうした結果は生物生活史と比較して生息環境評価がされる。

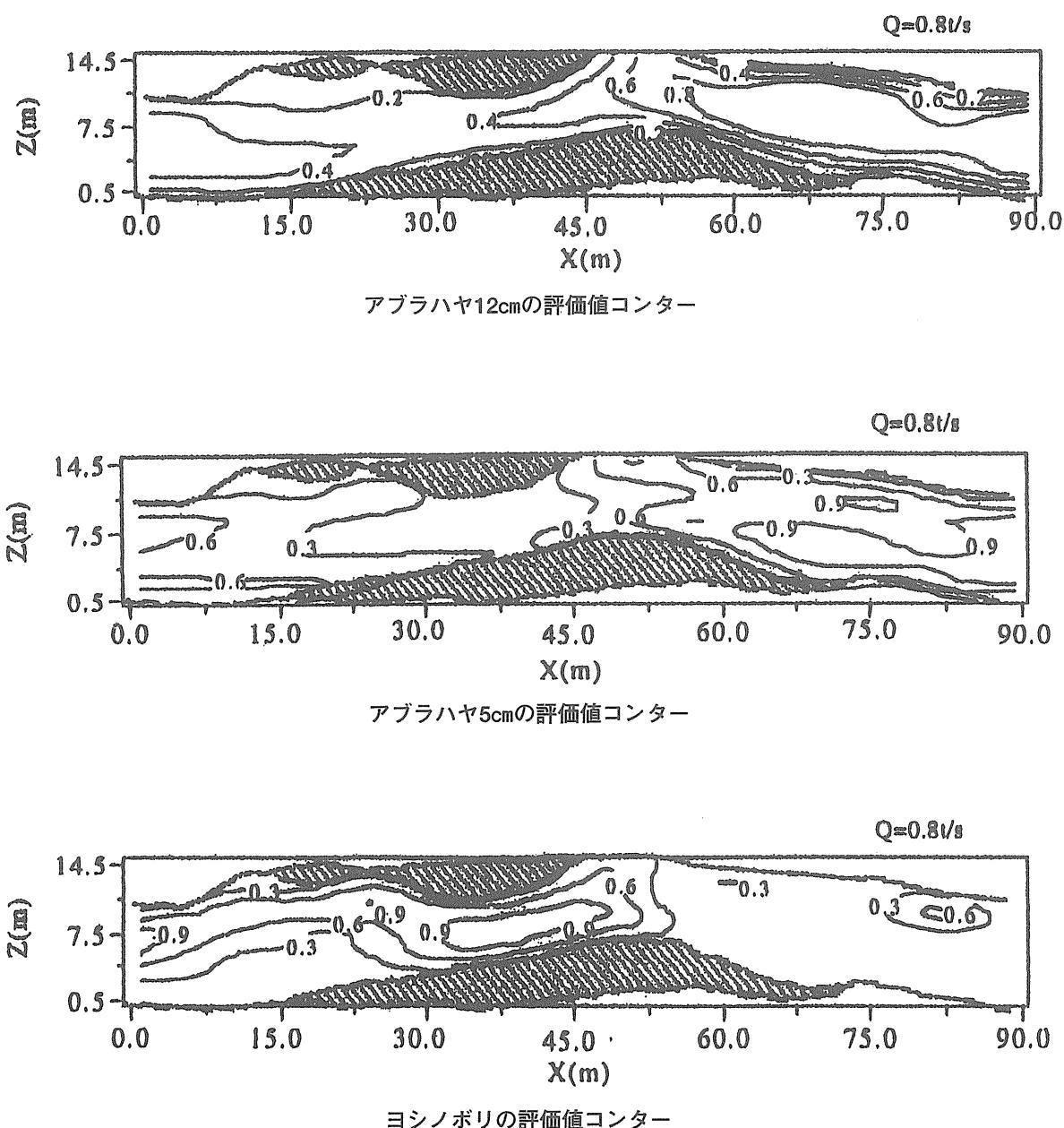


図9 生息環境適性評価値分布の計算例

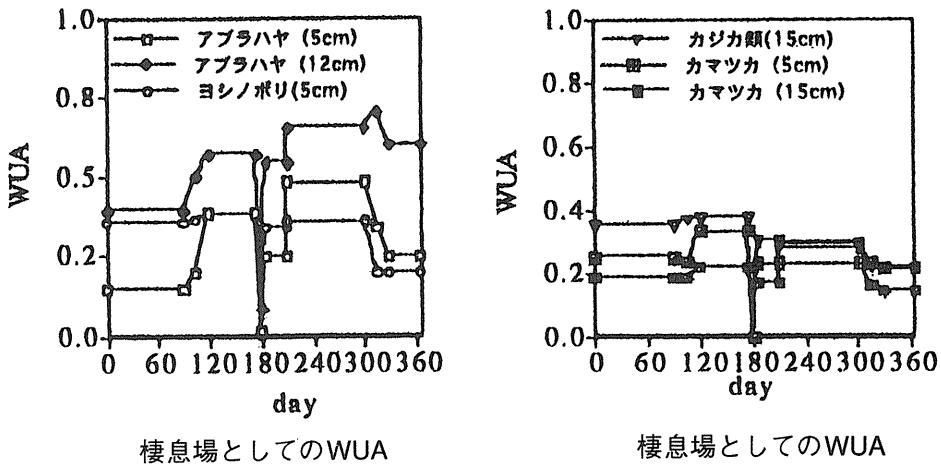


図10 評価値（WUA）の時系列

11. まとめ

本研究では河相という枠組みの中で魚類生息環境の評価について考えた。従来の河相は水流・流砂・地形の相互作用を言うものであったが、今日、河道における植生の意義は極めて高く、河相も「植生」を一つの構成要素とする相互作用系としてとらえざるを得なくなってきた。また、最近の河川整備が、治水、利水、親水、生態系保全機能の多機能を担うと認識された中で「河相」が特に生態環境をどう担っているかを正当にかつ合理的に評価しなければならなくなってきた。河域の生態は必ずしも魚類に限らないが、水流にもっとも影響される、植生と魚類を取り込んで、河川の生態系をとらえて河川水理学的に評価しようとすることが本研究の課題とした。

理念と手法の整理、確立に努めた後、実際にフィールドを求めて研究を行うこととした。すなわち生息環境調査として、河道調査（地形、河床材料、植生）、水理計測（水深、流速）、魚類生息調査、流況調査を実際に森下川で実施しながら、その標準化を考えた。次に、解析法では地形、底質、植生の影響が的確に表現できる水深平均された平面流解析を提案し、その検証を調査対象の森下川で検証した。さらに流砂量計算、河床変動解析なども標準化した。次に、魚類の生態（生活史）を選好曲線で表現するのであるが、ここでは図鑑等により簡単にこれを作成する方法を示した。これらを流量増分式生息環境評価（IFIM）の手法で総合化する。

こうした生息環境評価法を標準化すれば、次のようなシナリオで対象とする河川、河道の自然環境を魚類生息環境という視点で評価できる。

1. 現河道は十分な生息環境を提供しているか？
2. 将来の人的インパクトに対し、生息環境はどのような影響を受けるか？
3. 生息環境改善に効果的な策は？（その評価）

こうした、シナリオを描いての研究が今後の課題もある。

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（1988, 1990）：川と湖の魚 1, 2, 保育社
- 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) 清水義彦・辻本哲郎・中川博次：直立性植生を伴う流れの数値計算に関する研究，土木学会論文集，第447/II-19号, pp.35-44, 1992.
- 5) 中川博次・辻本哲郎：移動床流れの水理，技報堂出版, 350p., 1986.
- 6) 辻本哲郎：掃流砂と浮遊砂，流体の非線形現象，第6.4章，池田駿介編，朝倉書店, pp.147-162, 1992.
- 7) 辻本哲郎：新しい河川景観の概念とその整備，第5回水資源に関するシンポジウム論文集, pp.625-630, 1997.
- 8) 辻本哲郎・岡田敏治・村瀬尚：扇状地河川の川原の植物群落と河道特性－手取川における調査，水工学論文集，第37卷, pp.207-212, 1993.
- 9) 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卷, pp.1003-1008, 1996.
- 10) 辻本哲郎・堀川紀子（1997）：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.
- 11) 辻本哲郎・永禮大（1998）：河川の魚類生息環境評価－石川県森下川の例，第4回河道の水理と河川環境シンポジウム論文集.
- 12) 山本晃一（1988）：河道特性論，土木研究所資料，第2662号, pp.169-185.
- 13) 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.
- 14) Rastogi, A.K. and W. Rodi: Predictions of heat and mass transfer in open channels, *Jour. Hydraul. Eng.*, ASCE, Vol.104, No3, pp.397-420, 1978.