

試験湛水時のダム下流河道の生息環境の変質と その復元のためのフラッシュの効果の評価

DEGENERATION OF HABITAT SUITABILITY IN DOWNSTREAM REACH OF A DAM DURING FILLING RESERVOIR AND ITS RESTORATION BY FLUSHING

辻本哲郎¹・増田健一²・寺本敦子³・田代 喬³

Tetsuro TSUJIMOTO, Ken-ichi MASUDA, Atsuko TERAMOTO and Takashi TASHIRO

¹正会員 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科地圏環境工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²正会員 工修 三重県土木部

³学生会員 名古屋大学大学院工学研究科博士課程前期課程学生

Dam construction gives various types of effects on habitat conditions in the downstream reach of a river, and it is important to evaluate the degeneration of habitat conditions and find a method how to restore them. In this study, the degeneration of habitat conditions during low-stage water for filling water in the reservoir and the possibility of its restoration by flushing just after the test filling are studied based on the field survey conducted at the currently constructed dam. Particularly, a scenario how to evaluate the degeneration and restoration of habitat conditions for fish and benthos along the IFIM is proposed, and some technical aspects in that scenario are investigated.

Key Words : *Habitat suitability, IFIM/PHABSIM, downstream reach of dam, flushing, habitat restoration*

1. はじめに

本研究は、ダムの建設によってもたらされる下流河道の生息環境の変質を把握し、その復元手法を探るための基礎をなすものである。ダムがもたらす生息環境の変質は、ダム建設後の経過時間によって、(1)ダム貯水池の湛水の際の下流河道の極端な低水量によるもの、(2)ダム運用後の砂成分の扞止によって下流河道での砂が構成するハビタートの減少することによるもの、(3)河床低下・アーマーコートの下流への伝播に伴うものと分けて考えるのが良い。本研究ではこのうち(1)について、生息環境の変質及び何らかの回復措置をとった場合その効果を評価する方法論を議論するものである。

1998年春完成し試験湛水を行った比奈知ダム(木津川水系名張川)において、ダム完成前とダム完成後の湛水期間、とくに試験湛水後に、地形、水理諸量、生息環境調査が試みられ、また試験湛水後ただちに人工出水が企画され、その出水後においてもこうした調査が行われ

た^{1)・2)}。著者の一人は水源生態環境研究会・流況変動研究会(委員長:池淵周一(京都大学))の活動の中でその調査資料の一部に触れること、またそれを米国コロラド川でのグレンキャニオンダムの人工洪水実験³⁾と対照させて紹介する機会を得た⁴⁾。この資料に基づいて生息環境の試験湛水とそれに続くフラッシュ洪水への応答性について検討したものである。

こうした流況の変化への生息場適性の応答の解析にはIFIM(Instream Flow Incremental Methodology)⁵⁾が恰好の手法である。著者ら⁶⁾はすでに石川県森下川で地形、水理、魚類生息調査を行うとともに地形・底質、植生の存在を合理的に考慮することのできる平面2次元水理解析(水深平均k-εモデル)と流砂・河床変動解析⁷⁾を適用して、選好曲線(preference curve)を適当に作成することによって局所的な物理環境と生息環境を関連づけ、また流況に応じた生息環境適性の変化を記述できることを示した。またこの手法が河道環境へのインパクトが与えられた場合の生息場の応答にも応用できる可能性を示し

表1 四間橋付近河道での調査実績

	97.9.11-12	97.9.19	97.9.20	97.10.7	97.10.9	98.4.16	98.5.21	98.5.22
流量(m ³ /s)	2.3	5.59	4.36	2.77	2.62	7.73	4.02	3.91
地形	○				○	○		○
水理量	○				○	○		○
魚類				○				○
底生動物		○				○	○	

湛水を経験しその後のフラッシュ洪水の影響も受けており、これらのデータからはインパクト・レスポンスを把握できない。また、底生動物についても本来試験湛水直後のデータであるべきだったが、すでに出水時の水理量とともにデータとしてとられた。こうしたデータをどのように理解して検討するかも検討課題である。

これらのデータ中、底生動物の生息分布状況(25cmx25cm当りの生息個体数)は図2に示すように試験湛水前(1997年9月)、試験湛水直後(1998年4月)、フラッシュ洪水後(1998年5月)で興味ある変化が認められる。ここでは、カゲロウ目、イトミミズ目など目で整理して表示した。生活様式による分類(匍匐型、掘潜型などの分類)が適切であるとも考えられたが、今回のデータの検討では、むしろ目による相違が際立っていた。図によると、試験湛水によってカゲロウ目の生息は大きなダメージを受けたが、イトミミズ目にとって恰好な生息場となった。こうした変質は、フラッシュ洪水によって試験湛水以前の生息環境に回復しつつあることがうかがえる。ただし、生物ごとの季節的生息特性が考慮されていないため、個体数そのものについては吟味が必要であろう。

3. 河道と水理量分布

河道地形については詳細測量がなされており、その資料をもとに等高線図を作成した例が図3で、散在した人頭大の石に影響されて不自然な形状を呈する。このような複雑な地形の場合k-εモデルを用いた平面2次元解析では安定して解を得るのが難しいことが多い。さまざまな流量条件での水理量の空間分布は、水理計測と生息調査の時期が一致しない場合にもこれらの相関を議論しなければならないことから必須であるし、また異なる流況での生息環境適性をIFIMの手法で議論する場合にも必要となる。そこで、2つの代替案を用意した。すなわち(i) 渦動粘性係数を一定とし一般座標系を用いたプログラム⁸⁾と(ii) 河床形状を、それが有する基本パターンで大胆に近似して植生の効果なども組み込めるkεモデルを採用した平面2次元プログラムとを使い分けた。本研究では、基本調査のそろっているところで(i)によって選好曲線の議論をおこなった。生物調査のコドラート内平均データは、(局所的に)点計測された流速値をもとにした流速空間分布より、むしろ散在する個々の石を無視して粗度効果に置き換えられた場で計算された流速の空間分布と対応するものと考えた。図4はこの方法で計算された試験湛水時、フラッシュ洪水時の流速ベクトル分布で、図5に示す実測結果と良く対応している。一方、等流速線表示したものを実測と計算結果で比較したものが図6で、コンターの形状を見比べると計結果の方が連続した

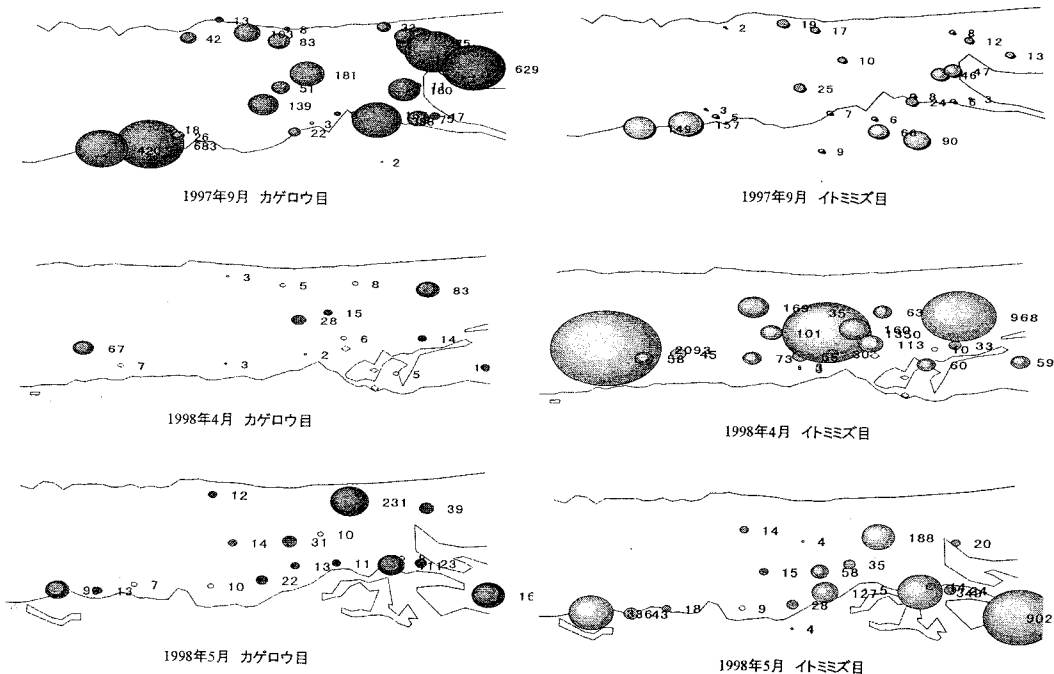


図2 試験湛水・フラッシュ洪水による底生動物の生息状況の変化
(図中の数値は25cmx25cmコドラート内個体数)

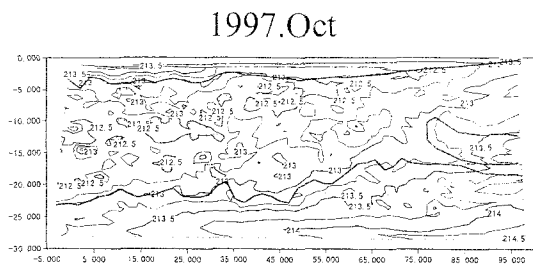
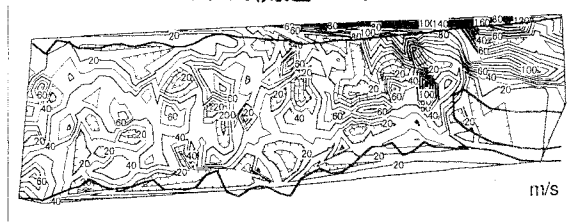


図3 河道地形の等高線図 (標高: m)

97.10流速コンター



97.10流速コンター(計算)

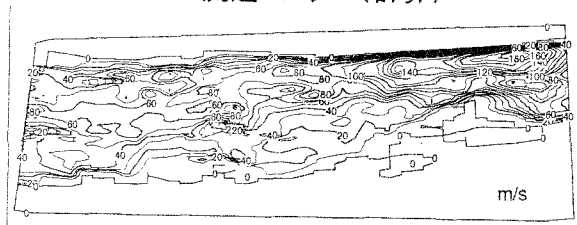


図6 流速コンター (実測に基づくものと計算結果)

97.10流速ベクトル



98.4流速ベクトル

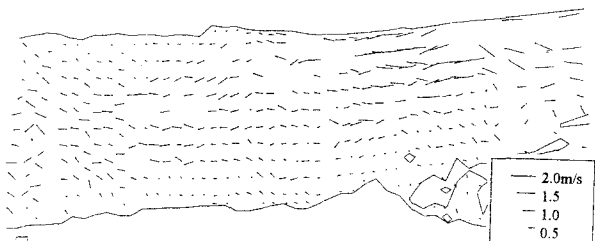
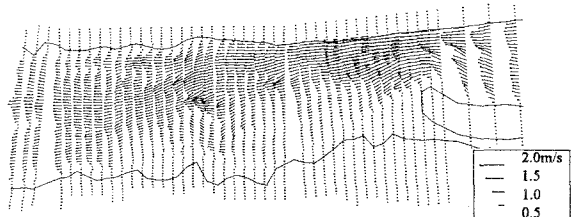


図4 実測された流速ベクトル

97.10流速ベクトル(計算)



98.4流速ベクトル(計算)

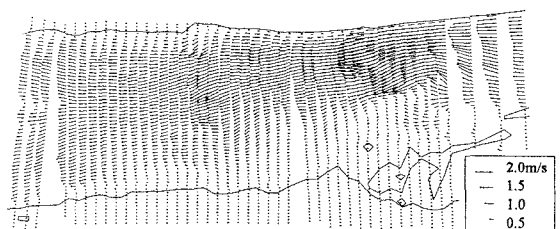


図5 計算された流速ベクトル図

流れの状況をよく表している。

さらに、生息適性場所の空間分布を、平面流況や後述するウォッシュロードの堆積との関係で議論するような場合 (さらには将来的に植生繁茂の効果なども議論に組み込むには)、(ii)の方法が適切であると判断してそれを採用することとした。この場合、河床形状を計算が実行できる程度まで近似することのほか、特徴だけ (たとえば1せつとの州や瀬・淵構造) を抽出する場合もある。

ここでは、後者の例を示す。たとえば、今回の対象河道では一対の砂州を含むほぼ直線河道であることから、次式で表されるモデル河床をもつ河道に簡略化した。

$$z_b = -i_b x + A \cos \frac{\pi y}{B} \sin \frac{2\pi x}{L}$$

ここに、 z_b :河床高さ、 x :縦断方向距離、 y :横断方向距離、 B :河道幅 (15m)、 L :砂州波長 (80m)、 A :砂州の半波高 (0.3m)、 i_b :平均河床勾配 (1/200) で、括弧内の数値は、今回の対象河道に対応させて決めた値である。たとえば、平常流量時、試験湛水時の流量、フラッシュ洪水時の水深平均流速の平面分布はこのモデル河道では図7のように計算される。

平常流量時にはウォッシュロードとして河道内に堆積しないで流下していた微細材料が、試験湛水離間中には部分的に堆積する。とくに底生生物では、この微細砂の堆積に規定される河床表層状態が生息環境を支配しているものと考えられる。微細土砂の挙動については、平面流解析で得られた流れの特性量を用いて、水深平均された移流拡散方程式を用いて解析される⁷⁾。本検討では、微細砂としては平常時堆積しない微細材料で初期状態としては河床に存在しないものとし、試験湛水時の堆積過程を検討するほか、フラッシュ洪水時には試験湛水期間中に堆積したもののみが巻き上げられるものとした。上流部からの流入については、これまでの研究成果から、その濃度は流量に比例するものとした。また、移流拡散式で扱うものはこの微細砂成分のみとした。この河道では、ウォッシュロードを粒径0.1mmの微細砂で代表、河床材料は砂 (1mm) と礫 (5cm) 及び移動しない人頭大の石から構成されると見なした。微細砂は平常時の流量では堆積しないが、試験湛水時は堆積する。本モデルでの計算によると、図8のような結果が得られ、砂州周辺水際や下流部への微細砂の堆積が求められる。

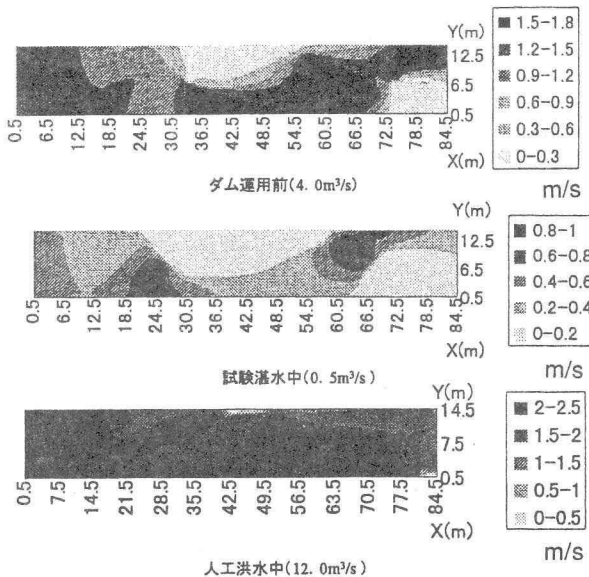


図7 モデル河道での流速の空間分布

4. 選好曲線の作成

本研究では、前章の (i) の水理計算手法で、計測の欠落領域への内・外挿入および生物調査しか行われていないあるいは計測時期にずれのある場合の補正をおこなって、生息状況と物理環境の関連づけをおこなった。

リーチに着目した検討では、リーチ間での生物個体の出入りがあるため、着目生物の個体数そのものより空間分布パターンが有用と考えられる。そこで、生息状況を生息数の相対密度空間分布としてまとめる。河道区間をメッシュ分割し生息密度の相対分布を求め、生息環境物理指標（流速、水深、底質など）との関係を調べた。

図9にはイトミミズ目について水深を物理指標にとりて生息数の累積分布を示したものを例として示した。調査が行われた、1997年9月（試験湛水前の5.0m³/s時）、1998年4月（試験湛水直後の7.8m³/s時）、1998年5月（フラッシュ洪水直後の4.0m³/s時）の結果を見ると、試験湛水直後の調査時において特性が異なる。これは、調査が試験湛水直後の出水時に行われたため、水理量は出水時のそれであるのに、底生生物生息状況は試験湛水のための低水時の水理量に支配されているためと考えられ

る。そこで、このときの水理量を試験湛水時流量に数値解析によって換算した想定水理量と生息状況を比較してみた。それが図9の中で、1998年4月0.5m³/s時として描いたものである。このように、とくに底生動物では、調査時の水理量よりもむしろその前に比較的長く続いた状況の水理量に支配されている場合があり、選好曲線を作成するのに適当でなかったり、流況変化への生息環境適性の応答を議論するとき時間遅れの概念の導入が必要であることがわかる。こうした考慮から、湛水前の調査結果から選好曲線を作成することとした。水理量のほか、砂・泥占有度も指標にした。砂・泥占有度はφスケールでの粒径区分を1~8のランク（泥（0.074mm以下）、砂、細礫、中礫、粗礫、小石、中石、大石（50cm以上））に分けたものである。数値計算では、今回対象とする河道では、対象とする流況での河床変動は著しくなく、ウォッシュロードの堆積厚さクラス（図8に準拠）と関連づけた。図10に試験湛水、フラッシュの影響を受けたカゲロウ目、イトミミズ目について作成した選好曲線を示す。

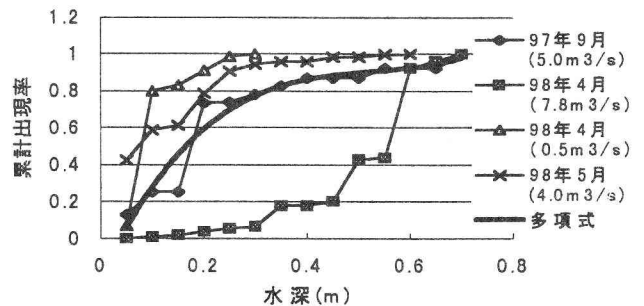


図9 イトミミズ目の水深ごとの生息密度の累積分布

5. 試験湛水・フラッシュへの生息環境適性の応答

IFIM/PHABSIM (Physical Habitat Simulation) の手法は、(1) 適正な生息環境指標の選定、(2) 精度のよい物理環境（水理・地形変化）の記述・予測、(3) 適正な選好曲線の作成をもとに、なんらかのインパクトに対する生息環境適性の応答の記述・予測という点に極めて有効である。

図11はカゲロウ目とイトミミズ目について次式で

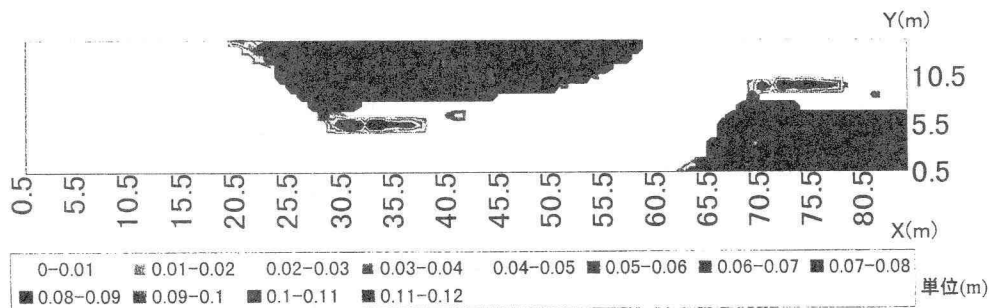


図8 試験湛水期間中の微細砂の堆積厚さ (m)

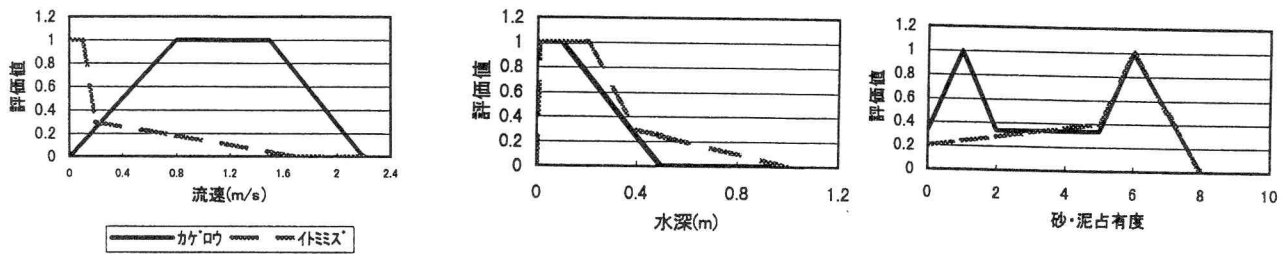


図10 カゲロウ目、イトミズ目の選好曲線

6. あとがき

本研究では底生動物の生息場が河床の細砂混入率に大きく依存していることに注目、微細砂の挙動の解析を重要視した。試験湛水期間中の極端に流量の少ない時期に、通常では堆積しないようなウォッシュロードが堆積し、フラッシュ洪水によってそれを除去できることが数値シミュレーションで示され、生息環境の劣化と回復を説明できることがわかった。こうした研究成果から、湛水期間の長短やフラッシュ洪水の規模と継続時間の管理によって、ダム建設初期の河道生態系への影響をかなり軽減することが出来るものと思われる。

本研究を進めるに当たって、ダム水源地環境整備センター・佐藤宏明（現・建設省東北地方建設局）、大杉奉攻氏はじめ関係各位にさまざまな便宜を図っていただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 大杉奉攻・高木多喜雄・横田雅良：流況変動に着目したダム下流河川環境改善のための環境調査について、第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集, pp.153-158, 1998.
- 2) 横田雅良・高木多喜雄：河川のダイナミズムの復元に向けて河川環境と河川生態系の相関関係調査, 河川, 日本河川協会, No.627, pp.34-41, 1998.
- 3) 石川浩：コロラド川における自然環境回復への取り組みグレン・キャニオンダムの試験洪水, 河川, 日本河川協会, No.619, pp.39-45, 1998.
- 4) 辻本哲郎：米国グレンキャニオンダムの実験洪水と比奈知ダムを例とした流況変動研究について, 第1回水源地生態研究セミナー講演集, ダム水源地センター, 61-74, 1998.
- 5) Nestler, J.M., R.T. Milhaus and J.B. Layzer : Instream habitat modeling techniques, *Alternative in Regulated River Management*, edited by J.A. Gore and G.E. Petts, CDC Press, 1989.
- 6) 辻本哲郎・永禮大：魚類生息環境変質の評価のシナリオ, 水工学論文集, 第43巻, pp.947-952, 1999.
- 7) 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.
- 8) 長田信寿・細田尚・村本嘉雄・M.M. Rahman：河岸侵食過程における流砂の非平衡性を考慮した流路変動の数値解析, 水工学論文集, 41, pp.889-894, 1997.

(1999.4.26受付)

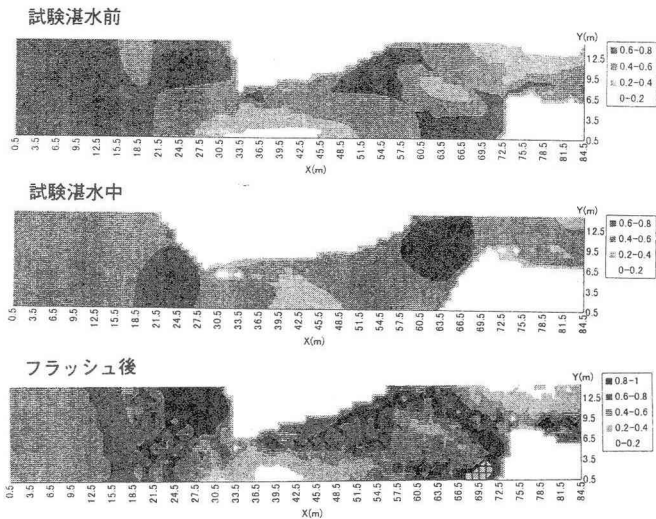


図11a カゲロウ目の生息環境評価値分布の変化

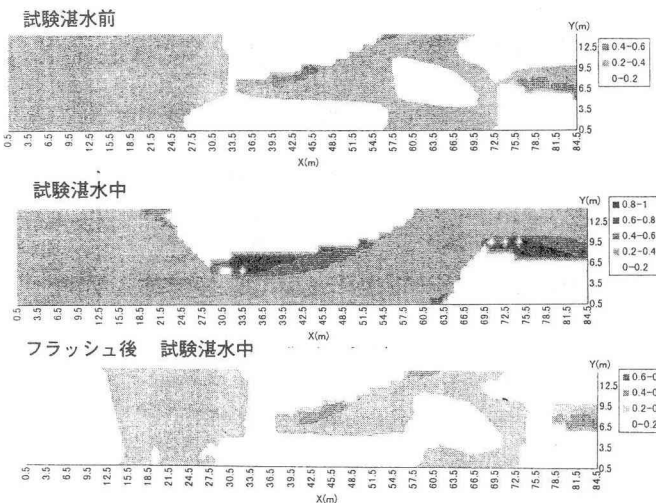


図11b イトミズ目の生息環境評価値分布の変化

計算される生息環境適性評価値 Ξ_k を描いたもので、試験湛水、フラッシュ洪水の効果が表現されている。

$$\Xi_k = \sqrt[p]{\prod_{j=1}^p \eta_{jk}} = \sqrt[p]{\prod_{j=1}^p f_j(\xi_{jk})}$$

ここに、 ξ_j ：環境指標値、 η_j ：評価値、 $f(\xi_j)$ ：選好曲線を表す関数、 p ：指標の個数、 k ：位置を表す添え字である。なお評価値の空間平均は規格化されたWUA (weighted usable area) で、これによって様々な種の応答を見ることが出来る。