

ダムの試験湛水時における流況変動と 底生動物群集の応答関係に関する研究

INFLUENCE OF FLOW REGIME MODIFICATION DURING THE FIRST FILLING WATER ON BENTHIC COMMUNITIES IN DOWNSTREAM OF A DAM

大杉奉功¹・福田圭一²・泉田武宏³

Tomonori OSUGI, Keiichi FUKUDA and Takehiro IZUMIDA

¹正会員 (財) ダム水源地環境整備センター 研究第一部 (〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-14-2)

²正会員 建設省近畿地方建設局河川部 河川工事課長 (〒540-0008 大阪府大阪市中央区大手前 1-5-44)

前: 建設省近畿地方建設局河川部 河川管理課長 (〒540-0008 大阪府大阪市中央区大手前 1-5-44)

³正会員 水資源開発公団富郷ダム建設所 管理課長 (〒799-0645 愛媛県伊予三島市富郷町津根山 353-6)

前: 水資源開発公団木津川ダム総合管理所 比奈知ダム管理所長

(〒518-0412 三重県名張市上比奈知字熊走り 1706)

We demonstrate the necessity of monitoring researches both before and after dam construction and advantage of researches during the first filling water to understand effects of dam construction on stream environments, because flow regime is modified extremely at that period. This study also showed that researches in view of not only longitudinal pattern, such as riffles and pools, but also cross section pattern are necessary to recognize unique habitats. Water velocity, depth, materials of a stream bed, total area of stone surface and abundance of POM influences the benthic community structure. We examined the availability of "the *H S I* model" which can predict number of taxa or population density of each taxon in respective area from the environmental factors.

Key Words : Dam, , benthic community, first filling water, monitoring researches, environmental factor, *HSI*(habitat suitability index)

1. はじめに

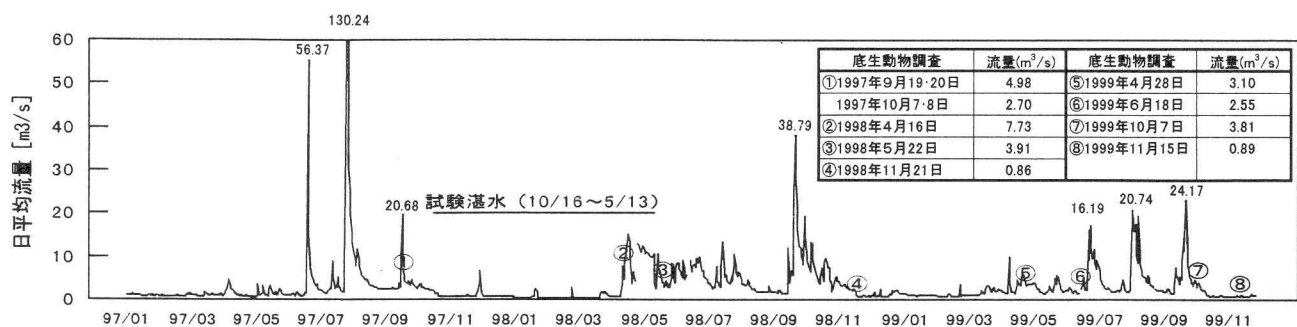
河川においては、大小様々な出水の侵食・堆積作用の繰り返しのにより、瀬や淵など河川の構造が形成される事が大きな特徴であり、その攪乱作用が河川生物の種や生息環境の多様性を維持していると考えられている¹⁾。ダムは洪水調節などの機能を担っているため、ダム建設・運用により、下流の流況は自然状態に比べて平滑化し、攪乱作用が低下することが指摘されている²⁾³⁾。実際にダム下流河川の底生動物の生息状況変化については多数の報告がなされている⁴⁾⁵⁾。それらの研究は、ダム建設後の下流環境について、上流河川や近隣河川との比較を行ったものが多い。しかし、ダムの建設前から継続して河川環境の変化をモニタリングする事で、下流河川の変化をより明確に捉えること

ができるものと考えられる。さらにダムの試験湛水時においては、貯水により維持流量条件が長期間に渡り、その後、貯水位低下のための放流がなされるなど、ダム下流は極端な流況条件下に置かれる。そういった極端な条件の元では、流況と河川環境との関係が捉えられやすいことが予想される。

以上のことから、著者らは、試験湛水時のダムを対象とした調査検討方針を提案し⁶⁾、調査を実施している⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

本研究は、それら調査結果のうち、試験湛水中の底生動物群集の変化について報告するとともに、底生動物の生息環境として重要な環境要因を抽出し、それらを用いて流量と底生動物との応答関係に関する解析手法を提案するものである。

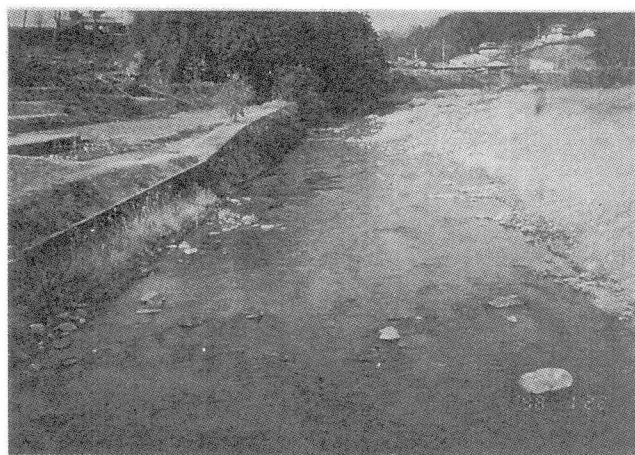
2. 調査の概要



図－1 調査地点の流量時系列と調査時期

(1) 調査地点

調査は木津川水系の名張川において、水資源開発公団が管理している比奈知ダムの下流約 3km の四間橋地点で行った。この地点は写真－1 に示すとおり、右岸は人工護岸となっているが、左岸に砂礫地、ツルヨシ群落などが存在し、多様なハビタットが形成されていると想定される。なお、このような河川景観は、調査期間中の流況では、大きな変化はなかった。



写真－1 調査地点の河川景観

(2) 調査時期

現地調査は、比奈知ダムにおける試験湛水計画に合わせ、自然流況下の 1997 年 9 月、試験湛水中維持流量条件下の 1998 年 4 月、試験湛水の水位低下に伴う放流直後の 5 月に実施した。さらにダム運用後において前調査とほぼ同じ季節の 1998 年 11 月、1999 年 4 月、6 月、10 月、11 月の計 8 回の調査を実施した。調査期間中の流況と調査時期を図－1 に示す。

(3) 調査方法

a) 物理環境調査

調査地点の物理環境については、調査範囲とした約 100m の河道区間において、縦断方向に 2m グリッド、

横断方向には 1m グリッドで深浅測量、流速測定、河床の底質の目視判定を行った⁶⁾。

b) 底生動物調査

調査は、底生動物の多様なハビタットを考慮して、各調査時期において、20 地点程度において、25cm×25cm (面積 0.0625 m²) のコドラート内の砂礫等を採取し、目合 0.25mm 以上の底生動物を採集した。得られた試料は、底生動物を同定し、種別個体数を計測した。コドラート内の採取した礫については、長径 5cm 以上のものは長径(L)、短径(W)および高さ(H)を測定し、長径約 2cm～5cm のものは、計数し、 $S=30m^2$ (L=4cm, W=3cm, H=2cm) と仮定して個数から総表面積を算出した。長径 5cm 以上の礫の表面積(S)は次式で近似した⁹⁾。

$$S=1.15(LW+HW+HL) \quad (1)$$

また、サンプル中の枯葉等の粒状性有機物については、3段階の篩に掛けて、①4.75mm 以上(粗粒状性有機物, CPOM)、②1～4.75mm (中粒状性有機物, MPOM)、③0.25～1mm (微粒状性有機物, FPOM) にサイズ区分し、各区分ごとの乾重量を測定した。

3. 底生動物の出現状況

全調査(296 サンプル)を通じて、昆虫綱 139、ミミズ綱 16、マキガイ綱 6 をはじめ計 181 種類 97015 個体が採集された。平面的な底生動物群集分布の違いや調査時期ごとの群集組成の変化を把握するため、それらサンプルを用いて重複度指数 C_H を計算し¹⁰⁾、Mountford 法によるクラスター分析を行った¹⁰⁾。底生動物群集の季節変化を考慮し、春季(4・5・6月)と秋季(9・10・11月)の2季に分けて分析を行った。本解析においては、議論を単純化するため、各種の羽化期・令構成などは考慮しなかった。

底生動物群集を $C_H=0.3$ の水準でクラスタリングすると、秋季は 11 群集、春季は 9 群集のクラスターにそれぞれ分けられた。いずれも流心部である早瀬や平瀬では、広く分布する群集が優先し、砂礫地やツルヨシ群落内、人工護岸などでは、特異な群集型が形成

表－2 主成分分析結果

主成分	秋季（上層） N=86			有意な相関のある 環境要因（ $P<0.01$ ）*	主成分得点の 上位3種
	固有値	寄与率	累積寄与率		
PC1	8.646	0.279	0.279	MPOM(+), FPOM(+), CPOM(+), SA(+)	マダラカゲロウ科(+) クダトビケラ科(+) ウスバヒメガガンボ属(+)
PC2	3.339	0.108	0.387	MPOM(+), FPOM(+), CPOM(+), SA(-)	エリユスリカ属(-) ヒメビケラ属(-) ハモンユスリカ属(+)
PC3	2.608	0.084	0.471	—	クロヒメガガンボ属(+) ナガレユスリカ属(+) コガタシマトビケラ属(+)
PC4	2.361	0.076	0.547	—	クラドタニカス属(-) ユビケミズ属(+) コガゲロウ科(+)
PC5	1.671	0.054	0.601	—	—

主成分	春季（上層） N=79			有意な相関のある 環境要因（ $P<0.01$ ）*	主成分得点の 上位3種
	固有値	寄与率	累積寄与率		
PC1	7.221	0.226	0.226	MPOM(+), ϕ (-), SM(-), SA(+), FPOM(+)	マダラカゲロウ科(+) コガゲロウ科(+) ウスバヒメガガンボ属(+)
PC2	3.635	0.114	0.339	SM(+), SA(-), ϕ (+), V(-)	ヨゴレミズ属(+) ヤドリミズミズ属(+) ステイクロノムス属(+)
PC3	2.833	0.089	0.428	—	エリユスリカ属(+) ヒゲユスリカ属(-) ヤドリミズミズ属(+)
PC4	2.090	0.065	0.493	FPOM(+), MPOM(+)	ヒメミズ科(-) クロヒメガガンボ属(-) クラドタニカス属(+)
PC5	1.865	0.058	0.551	CPOM(+), FPOM(+), MPOM(+)	—

標本数－秋季（上層）：31種（タカサ），春季（上層）：32種（タカサ）
環境要因は左から、主成分得点の上位種は上から、値（絶対値）の高い順に並べており、+、-記号は正（+）・負（-）を表す。
*環境要因の記号については図－3を参照のこと

5. 主成分分析および相関分析

底生動物群集型の平面的な分布様式の違いが生息環境の違いによるものと考え、底生動物群集組成と環境要因との関係を明らかにするため、底生動物の出現傾向について主成分分析を行い、得られた各成分と環境要因との相関分析を行った結果を表－2に示す。

秋季における第一主成分(PC1)は、マダラカゲロウ科・クダトビケラ科等を指標とし、粒状性有機物量(POM)・礫の表面積(SA)と正の相関が見られた。PC2は粒状性有機物量(POM)と正の相関が、石礫の表面積(SA)とは負の相関が見られた。春季においては、PC1は粒状性有機物量(POM)・石礫の表面積(SA)と正の相関が、平均粒径(ϕ)・砂(泥)の占有度(SM)と負の相関が見られた。PC2については、砂(泥)の占有度(SM)・平均粒径(ϕ)と正の相関が、石礫の表面積(SA)・流速(V)と負の相関が見られた。

これらの底生動物群集と環境要因における傾向の解釈については、今後詳細なデータ解析が必要であるが、以上のことから、底生動物の群集組成は、ハビタットを構成する環境要因のうち、流速(V)・河床材(平均

粒径 ϕ)・石礫の表面積(SA)・粒状性有機物量(POM)などとの関係が深いことが明らかになった。

6. 底生動物生息環境評価モデル

流量と底生動物との応答関係を定量的に予測評価することを目的として、生息環境適合度指数(HSI: habitat suitability index)という評価指数を新たに用いて生息環境評価モデル(HSIモデル)を作成し、底生動物の生息環境のモデル評価を試みた。モデルの基本構造は、図－3に示すとおりである。

$$Y = \left\{ \prod_{i=1}^m f_i(X_i) \right\}^{1/m} \tag{2}$$

X＝生息環境要因
（流速・水深・平均粒径等）j＝1, 2, 3, … m
Y＝生息環境適合度指数
（HSI: habitat suitability index）

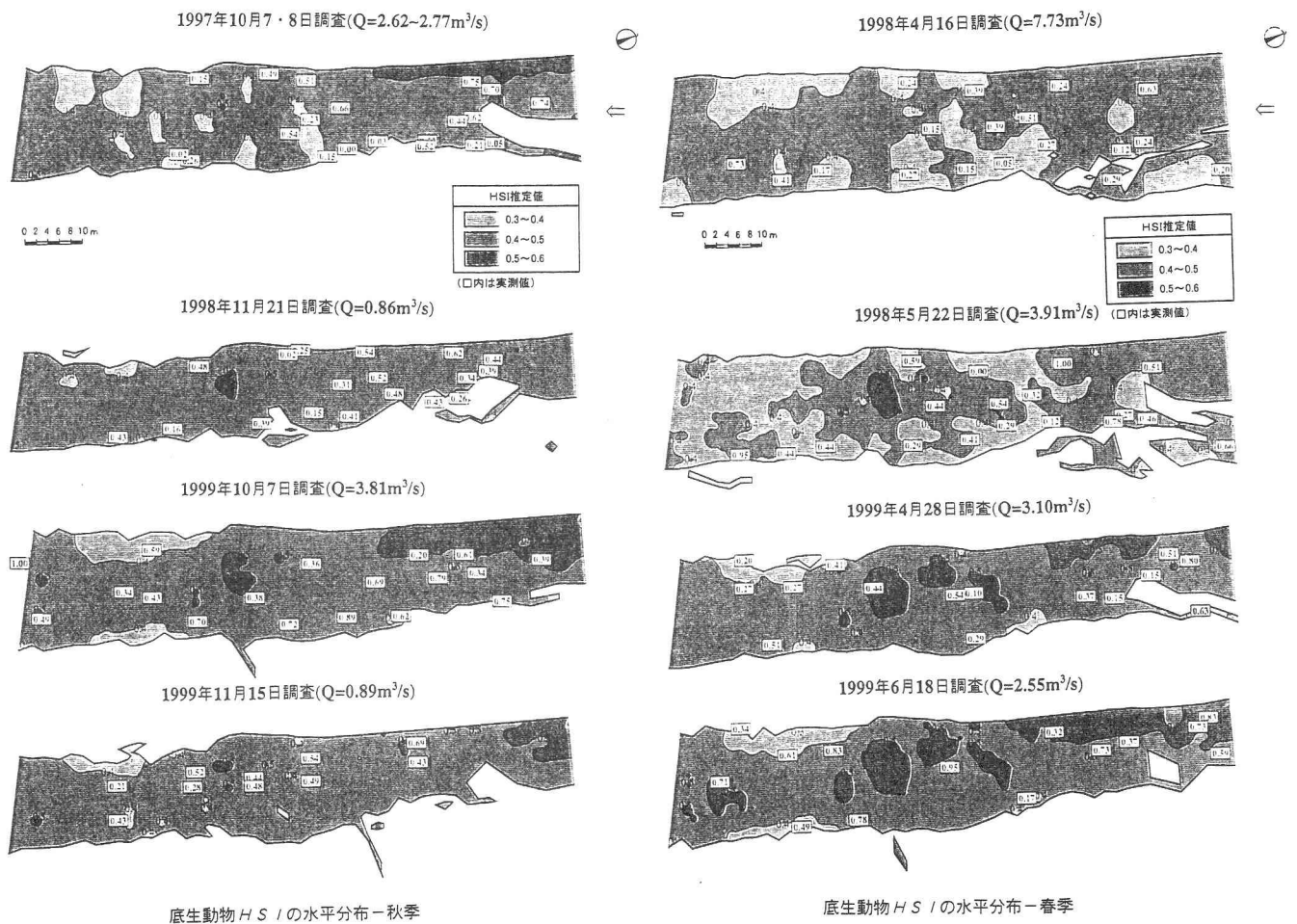


図-4 H S I(タクサ数)の試算結果

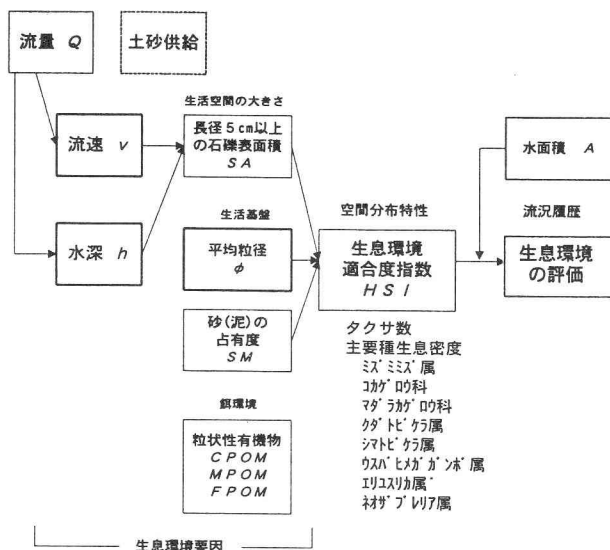


図-3 底生動物の生息環境評価モデル

流量と底生動物の応答関係を直接的に関数化することは難しく、環境要因との関数化にあたり、ここでは第1次検討として6.の相関分析結果をもとに、流量と直接関係する変数である流速・水深等を介して、生

息空間の大きさを表す石礫の表面積(SA)との関数化を図り、さらに底生動物の生息基盤としての河床材(平均粒径 ϕ)、砂泥の占有度(SM)の計3因子を抽出して、それらの重回帰式により HSI を計算した。粒状性有機物量(POM)については、流量(水深・流速)との関数化ができなかったため、今回の検討からは除外した。

HSI の試算として、タクサ数(種数)についての計算を行った結果を図-4に示す。

タクサ数の HSI は、粒度組成(ϕ)が粗く、石礫の表面積(SA)が大きく、砂の占有度(SM)が少ない早瀬環境で高い結果が得られた。

$$HSI_{秋} = 1.1 \cdot 10^{-2} \phi + 4.89 \cdot 10^{-5} SA - 2.51 \cdot 10^{-2} SM + 5.32 \cdot 10^{-1} (R^2 = 0.41, N = 66, p < 0.05),$$

$$HSI_{春} = 2.2 \cdot 10^{-2} \phi + 2.86 \cdot 10^{-5} SA - 3.78 \cdot 10^{-2} SM + 6.37 \cdot 10^{-1} (R^2 = 0.51, N = 65, p < 0.01)$$

さらに、試験湛水終了時における貯水位低下のための放流前後、1998年4月・5月において、 HSI 値の低いエリアが広がり、試験湛水中の維持流量条件の影響が示唆されるなど、 HSI モデルを用いた流量と底生動物群集の応答関係解析手法が有効なものであると考えられる。しかし、タクサ数による評価では、種数

の多い早瀬環境の HSI 値は高いが、特異なハビタットが形成されている岸際などの評価値は低く、ハビタットの多様性が評価できていない。今後、このようなハビタットの多様性の評価が可能な解析手法の検討が必要である。

7. おわりに

本稿において、ダム建設による河川環境変化を把握するための建設前後のモニタリング調査の重要性や試験湛水中の極端な流況条件化の調査の有効性に関する議論を行い、調査結果に関する報告を行った。

河川環境のハビタットを把握するスケールとして、早瀬・平瀬・淵のような縦断方向だけではなく、「岸際」の様な特異な底生動物群集を把握できるような河川の横断方向にも着目したハビタット把握の重要性が示された。また、底生動物群集の分布を規定する環境条件として、流速・河床材・石礫の表面積・粒状性有機物量などが重要であることが明らかになった。それらを用いたタクサ数の HSI モデルの試算により、流量と底生動物群集の応答関係解析手法の有効性が示唆された。

今後は、本研究の成果をもとに、ハビタットの分布構造および底生動物群集の関係について、流況変化との応答関係について、さらに解析を進め、流量履歴と底生動物群集の応答関係に関する予測・評価が可能なモデルの検討へとつなげて行きたいと考えている。

謝辞：本研究を進めるにあたり、貴重なご助言、ご指導をいただいた京都大学防災研究所 池淵周一教授、大阪府立大学総合科学部 谷田一三教授、神戸大学理学部 角野康郎助教授、名古屋大学大学院工学研究科 辻本哲郎教授ならびに調査研究にご協力下さった関係者の方々にこの場を借りて深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 竹門康弘, 谷田一三, 玉置昭夫, 向井宏, 川端善一郎: 棲み場所の生態学, 平凡社, 1995
- 2) 玉井信行, 松崎浩憲, 白川直樹: 潜在自然型河川の特性とそれに関する研究・河川管理のあり方について, 第3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. 147-152, 1997.

- 3) 江村敏, 玉井信行, 松崎浩憲: 生態的なフラッシュ流量に関する考察と貯水池の連結操作による流況の改善について, 環境システム研究 Vol. 25, pp415-420, 1997.
- 4) 谷田一三, 竹門康弘: ダムが河川の底生動物へ与える影響, 応用生態工学 2 (2), pp153-164, 1999.
- 5) 足立敏之, 高橋和也: ダム運用に伴う下流河川の河床状態及び底生動物群集への影響と環境影響評価の課題, 環境システム研究 Vol. 24, pp. 336-342, 1997.
- 6) 大杉奉功, 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, pp153-158, 1998
- 7) 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ー河川環境と河川生態系の相関関係調査ー, 河川, 日本河川協会, No. 627, pp34-41, 1998
- 8) 辻本哲郎, 増田健一, 寺本敦子, 田代喬: 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, 河川技術に関する論文集, 第5巻, pp81-86, 1999
- 9) Graham A A, D. J. McCaughan and F. S. McKee: Measurement of surface area of stones, Hydrobiologia, 157, pp. 85-87, 1988
- 10) 木元新作: 動物群集研究法 I -多様性と種類組成-(生態学研究講座 14), 共立出版, 1976
- 11) 谷田一三: 淡水生物の生息場所と種の保全, 土木学会誌, 83 巻, 5 号, pp. 52-54, 1998
- 12) 水野信彦, 御勢久右衛門: 河川の生態学, 築地書館, 1993.
- 13) 竹門康弘: 山地溪流の水生昆虫群集における微生息場所類型, 第45回日本生態学会講演要旨集, 1998.

(2000. 4. 17 受付)