

9.2 ダムからの土砂供給に伴う河床環境の変化が水生生物に及ぼす影響に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水循環研究グループ

（自然共生研究センター）

研究担当者：萱場祐一、宮川幸雄、小野田幸生、
高木哲也

【要旨】

ダム下流における人為的な土砂供給に伴う河床環境の変化と水生生物の応答との関係を調べ、河床環境や土砂供給シナリオの評価技術の検討に資する知見を提供した。水生生物のうち、付着藻類については、観測データが多い矢作ダム下流を対象として、河床環境と付着藻類現存量の関係について分析したほか、モデルを用いた付着藻類の現存量の予測を行い、観測データの再現性を検証した。矢作ダム下流では、河床に細かな粒径が多いほど現存量の最大値が低くなる傾向が見られた。また、モデル予測では、出水時に付着藻類が剥離し、現存量が急減する現象が再現されたが、剥離後における現存量の再現性は高くないため、より多くの調査が必要であることが示唆された。魚類については、生息場所を評価するのに利用される適性値がダム周辺の河川においても適用可能かどうかを検証した。ダム現地調査による適性値と既存研究の適性値はおおむね似ていたことから、ダムからの土砂供給に対する影響評価に際しても、適性値を利用できることが示唆された。また、各魚種が産卵期・被産卵期に利用する河床材料の粒径をもとにクラスター解析を行い、河床環境の変化に対して影響を受けやすいと考えられるグループを抽出した。このグループ分けによって、評価対象種の選定に根拠を持たせることが可能になるだけでなく、その評価対象種への影響に関する知見からより一般性の高い影響を推測することも可能になると考えられる。

キーワード：付着藻類、河床環境、土砂供給、生息場所、適性値、適用可能性

1. はじめに

ダムは土砂をせき止め、下流への土砂供給量を減少させるため、細粒土砂成分が選択的に流され、粗粒化が顕在化している場合もみられる¹⁾。粗粒化した河床では、本来供給されるべき土砂が欠乏した状態であるため、河床物理環境の変化を通じた水生生物への影響が懸念されている²⁾。

その解決策として、ダム下流への土砂供給が検討されている。土砂供給は、土砂輸送の連続性を回復させる一助となるため、粗粒化による水生生物への影響を緩和することが期待される。ただし、人為的な土砂供給であるため、場合によっては砂などが大量に堆積する等の自然状態の土砂動態とは異なる状態になる可能性もある³⁾。

したがって、土砂供給の円滑な実施に向けて、土砂供給による河床環境の変化が水生生物に及ぼす影響についても評価し、土砂供給による効果の確認やインパクトの少ない手法の選択につなげていく必要がある。それと同時に、粗粒化した河床が水生生物に及ぼす影響を評価し、

土砂供給の必要性の判断材料の一つとして利用する必要もある。このように、粗粒化河床および土砂供給後の河床のどちらの影響評価の場合にとっても、河床物理環境の変化に対する水生生物の応答特性を体系的に解明することが重要となる。

これまで、粗粒化の影響として付着藻類、底生動物、魚類といった広範にわたる水生生物への影響が報告されてきた⁴⁾²⁾。例えば、付着藻類では、流砂フラックスの減少による藻類の更新阻害や糸状藻類の異常繁茂などが知られている⁴⁾⁵⁾。また、底生動物では、ダム下流において造網型の割合が高くなるなど群集構造の変化が生じる場合が多い⁶⁾。さらに、岩盤化によるサケ科魚類の繁殖への影響なども知られている⁸⁾。一方、土砂供給の影響評価では、付着藻類の剥離効果に着目したものが多く、事後的知見が集積されている⁷⁾。

しかしながら、付着藻類の現存量に対しては底質以外の影響も混在しているため、土砂供給前後の条件に対する現存量を予測することが困難である。その解決には、

付着藻類の現存量に影響しうる要因の影響を分離して整理することが必要となる。また、底生動物群集と河床物理環境との関連性についてはある程度の知見があるものの^{5,8)}、その一般性を検証し他のダムにも適用可能かを検討する必要がある。魚類に対する影響はアユの餌資源としての付着藻類の変化として評価されることが多く⁹⁾、生息場所の変化として評価される事例は多くない。

以上の研究背景を踏まえて、前年度の研究では、付着藻類の現存量を予測するモデルを精査し、予測値の範囲が実河川での実測値をほぼカバーする等、汎用性の向上が確認された。しかし、前回観測した実測値は、ダム下流で観測されたものではなく、ダム下流で起こる現象(出水による放流等)を再現した場合のモデルの精度は未だに不明である。また、魚類の応答については、生息場所の選考性が魚種ごとに異なるため、土砂供給による底質の変化が魚類に及ぼす影響を評価するには、影響を受けやすい魚種を抽出する必要がある。このため、前年度の研究では、魚類の底質に対する選好性について、魚種ごとの整理が必要であることが提案された。

そこで、平成26年度は以下のことに取り組んだ。まず、付着藻類については、ダム下流を対象として観測データを収集し、河床環境と付着藻類現存量の関係について分析したほか、モデルを用いた付着藻類の現存量の予測を行い、観測データの再現性を検証した。(2章)。また、魚類については、生息場所を評価するのに利用される適性値がダム周辺の河川においても適用可能かどうかを検証した(3章)。さらに、各魚種が産卵期・非産卵期に利用する河床材料の粒径をもとにクラスター解析を行い、底質の変化に対して影響を受けやすいと考えられるグループを抽出した。(4章)。以下にその詳細を記述する。

2. ダム下流における河床状況と付着藻類の関係およびモデルを用いた付着藻類現存量の予測

2.1 背景

付着藻類の状態は、藻類の生長開始から測定時までには周辺の物理環境がどのように変動してきたかにより決定される。この変動の履歴を把握するには、物理環境および付着藻類の長期にわたる観測データが必要となる。ダム下流において、付着藻類を長期的に観測した例は限られており、国内では矢作ダムでの事例がある。

矢作ダム下流では、1990年代に大型糸状藻類であるカワシオグサが大量発生する¹⁰⁾等、付着藻類の変化が河川環境に悪影響を及ぼす事例が発生している。このような

付着藻類の変化が河川環境に及ぼす影響を把握するため、現存量等の付着藻類に関する観測データが、矢作川研究所のHP¹¹⁾等にて、長期的に集約されている。また、観測データをもとに、付着藻類の変化の要因についても考察されている。内田らは、糸状藻類は付着藻類群落の遷移の最後に定着することから、糸状藻類の繁茂の要因として、河床の長期安定化(河床の攪乱の減少)をあげている¹⁰⁾。また、野崎・志村は、周辺河川(土岐川)の方が矢作川よりも栄養塩濃度が倍以上高いにも関わらず、土岐川の現存量が矢作川よりも低くなった結果を受け、土岐川の方が河床の粒径が細かく河床が不安定だったために、現存量が低く抑えられたと考察している¹²⁾。これらの考察から、矢作ダム下流でも、河床の砂礫の移動による付着藻類の剥離が、付着藻類の現存量を左右する要因として注目されるが、河床の粒径の細かさや付着藻類の現存量との因果関係について、長期的なデータをもとに分析した事例はほとんどない。そこで、本研究では、矢作ダム下流を対象とした過去の複数の観測データを集約し、河床粒径分布と付着藻類現存量の関係について明らかにする。

また、ダム下流における河床の長期安定化に対し、人為的に土砂を供給することで、河床環境を変化させ、付着藻類の変化を抑える効果が期待されている。このとき、付着藻類は河床環境の変化だけでなく、栄養塩¹³⁾や、洪水などの攪乱¹⁴⁾等の影響も受ける。このため、河床環境の変化が付着藻類に及ぼす影響を評価する場合、付着藻類の現存量に影響を及ぼす要因ごとに分離して評価できるようにした方が、より正確に予測できる。付着藻類に作用する要因とその経路はおおよそ把握されているため、それを考慮した現存量を算出するモデルを構築することで、河床環境の変化とそれ以外の環境の変化を分けて評価することが可能となる(図1)¹⁵⁾。そこで、前年度までの研究では、各要因の変化による影響を的確に予測するため、長期的な観測データを有する自然共生研究センターの調査をもとに、モデルの構築および精度の向上を行った¹⁶⁾。モデルの中で、河床環境は、河床粒径分布として、付着藻類が剥離される量を決定する変数として組み込まれている。このとき、河床変動が最も大きくなるのは、流量、流速が極大となる出水時のため、出水による付着藻類の剥離の影響は無視できない。しかし、自然共生研究センターの調査には出水時の観測データがなく、精度の検証が十分でない部分もある。そこで、本研究では、出水時のデータが存在する矢作ダム下流を対象として、観測データとモデルによる予測値を比較し、特に出

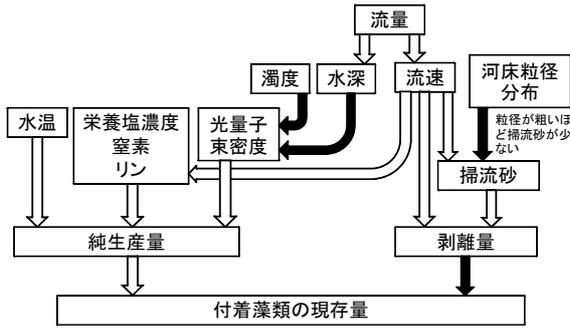


図1. 付着藻類の現存量モデルの概念図¹⁶⁾
 (矢印は、作用する方向を示す。白い矢印はプラス、黒い矢印はマイナスに働くことを示す)

水時の剥離量に注目してモデルの再現性を検証した。

2.2 方法

2.2.1 矢作ダム下流における河床粒径分布と付着藻類現存量の関係の分析

矢作ダム下流を対象とした調査および研究の中で観測された河床粒径分布および付着藻類現存量を利用した¹¹⁾。データは2001年～2010年のものを集約した。そして、横軸に平均粒径 (D_{60})、 D_{10} および均等係数 (D_{60}/D_{10})、縦軸に現存量をとりグラフ化した。このとき、現存量はクロロフィル *a* 量を指標として測定されたデータを用いた。また、大型糸状藻類の繁茂地点における河床粒径分布は2000年の東海豪雨以降ほとんど変化がないことから¹⁷⁾、河床粒径分布は2001年～2010年まで一定と仮定した。このため、現存量と同時期に測定された河床粒径分布がない場合、別の時期の河床粒径分布のデータを用いた。

2.2.2 矢作ダム下流における付着藻類現存量の予測

矢作第2ダム直下を対象として、観測データが最も多い2002年の1年間の現存量の変化をモデル計算し、観測データと比較した。モデル計算に必要な観測データは、水深、流速、光量子束密度、栄養塩濃度(窒素濃度、リン濃度)、河床粒径分布である。河床粒径分布以外の観測データの取り扱いについては以下のとおり。水深は2002年の小渡観測所の水位データ¹⁸⁾および矢作ダムの放流量データから $H-Q$ の関係式を推定し、放流量 Q を説明変数として水深 H を求めた。流速は小渡観測所周辺の河道断面データと放流量データを用いた等流計算により求めた。光量子束密度は小渡観測所の近くにある稲志観測所の日射量データ¹⁹⁾を用いた。栄養塩濃度および濁度は時瀬観測所のデータ¹⁸⁾を用いた。現存量の初期値は、2.2.1

で利用した矢作ダム下流の現存量データの平均値である、 30 mg/m^2 に設定した。

2.3 結果と考察

2.2.1の分析の結果、平均粒径 (D_{60}) と付着藻類現存量には特段の関係が見られなかった一方、 D_{10} が細かいほど、また、均等係数 (D_{60}/D_{10}) 小さいほど、現存量の測定値が幅広い値をとる結果となった(図2、3、4)。このことから、河床に細かい粒子が存在するほど現存量が低く抑えられることが示唆される。したがって、細かい粒子がない河床においては、付着藻類が剥離されず過剰

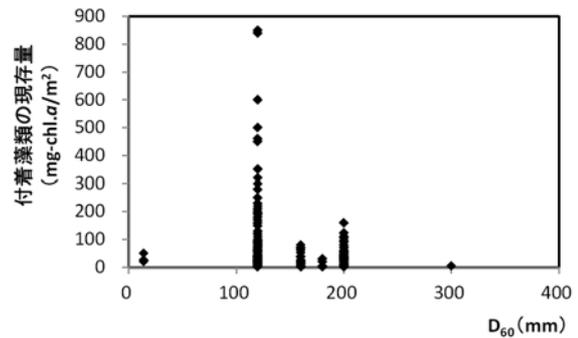


図2. D_{60} と付着藻類現存量との関係

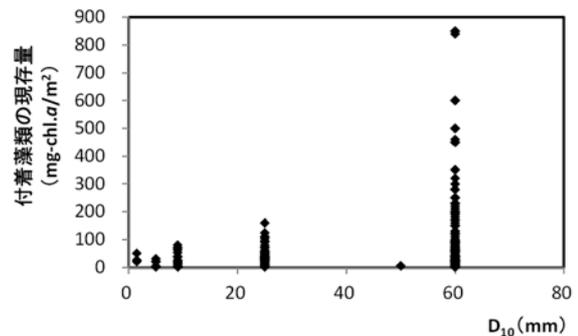


図3. D_{10} と付着藻類現存量との関係

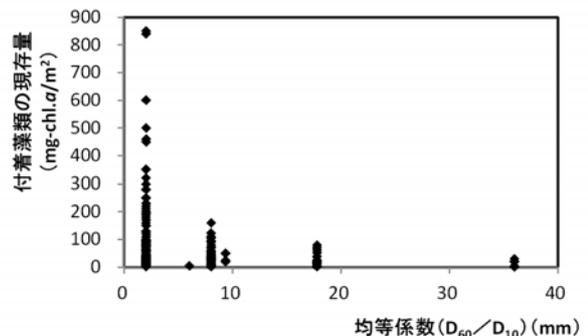


図4. 均等係数 (D_{60}/D_{10}) と付着藻類現存量との関係

に生長し、大型糸状藻類が発生しやすい環境であると考えられる。このため、土砂の移動による付着藻類の剥離効果は、河川の付着藻類の現存量をコントロールする上で重要であると考えられる。土砂の移動は、主に出水時に発生することから、出水時の土砂移動の結果生じる河床の変動および、河床の変動に伴う付着藻類の変化を精査することで、付着藻類の現存量をより正確に予測することが可能になると考えられる。

そこで、2.2.2における出水時（7月中旬）の現存量をみると、モデル計算では剥離が進み、現存量がリセットされる結果となった（図5）。しかし、出水時の観測データはなく、直近の観測データは出水後から半月程度経過しているため、出水後に河床がどのように変化し、それに伴って付着藻類がどのように変化したのかを精査するには十分とはいえない。したがって、出水による河床の変動を精密に再現した上で、そこで生じる付着藻類の変化を測定する調査が必要であると考えられる。

また、2.2.2における出水時以外の現存量をみると、全体的に予測値が観測値よりも高い傾向を示した。この原因は、2002年の6月および9月に時瀬観測所で観測された栄養塩濃度が例年と比べて高く、それが計算結果に反映されたためと考えられる。例えば、2001年から2010年までのリン濃度は年間を通じて0.016 mg/L程度だが、2002年の6月では0.04 mg/L、9月では0.07 mg/Lであった¹⁸⁾。しかし、そのときに観測された現存量は他の月に比べて特に高いわけではない。このため、栄養塩濃度に対する現存量の応答について、モデルの感度が大きすぎた可能性がある。また、栄養塩濃度の観測頻度は月1回のため、栄養塩濃度が短期的に高いときの観測データを適用した可能性もある。この点の精査については、時間スケールをより細かくした調査データとの照合が必要であると考えられる。

3. ダム下流への魚類の適性値の適用可能性

3.1 背景

土砂供給などに伴う河床変化が魚類に及ぼす影響や効果を評価する際には、対象となる魚種の密度変化を用いることが直接的であり分かりやすい^{20,21)}。ただし、河床環境の変化に対する魚類の応答として、密度変化をいつでも利用できるとは限らない。なぜなら、魚類は移動性が高いため、河床環境の変化に対して忌避し消失する可能性が考えられる一方で、同じ区間内で避難場所を見つけ出し耐える可能性も考えられるためである。

そのため、河床などを含む物理環境の変化による影響や効果を評価する手法として、魚類の生息場所の質と量の変化を予測し、潜在的な影響を評価する手法が考案されてきた。たとえば、PHABSIMは、流量の変化後の物理環境に対して対象生物の選好性などをもとにした適性値を当てはめてその影響を定量化する手法であり、魚類についても適用されてきた²²⁾。ダムからの土砂供給に対しても、想定される土砂供給後の物理環境に対してPHABSIMを援用することで、生息場所の変化を評価できると考えられる²³⁾。

このPHABSIMにおいて、適性値の正確さは魚類への影響予測の精度に直接的に関係するため重要である。一般に、PHABSIMで用いられている適性値は、多くの河川での調査結果や文献情報を集約したものであり、魚類の生息場所要求を反映した汎用性の高いものといえる^{24,25)}。従来から集積されてきた適性値が、土砂供給に伴う河床環境の変化による影響や効果の予測に利用できれば、生息する魚種の情報のみでも影響予測が可能となり、評価プロセスの省力化に寄与できると考えられる。

そのためには、適性値がダム周辺においても利用可能かについて確認する必要がある。適性値は各魚類の選好性を基に作成されたものであるため、利用可能な環境の

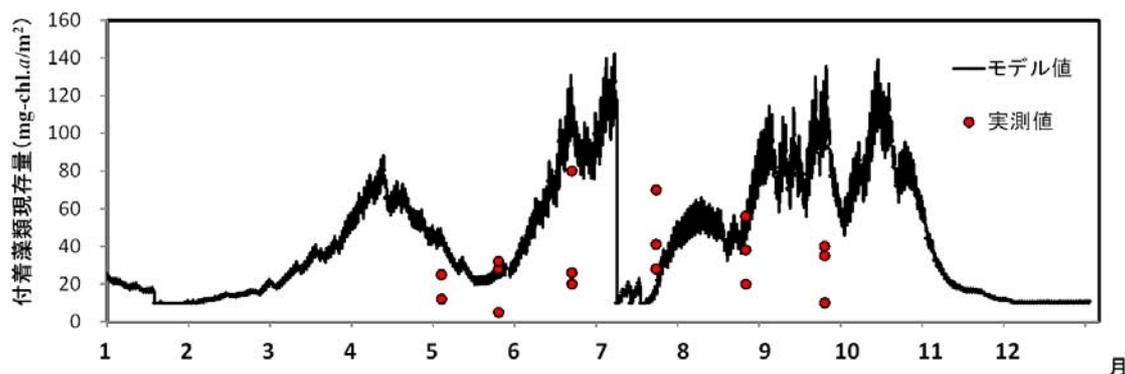


図5. 2002年の矢作ダム直下における付着藻類現存量のモデル値

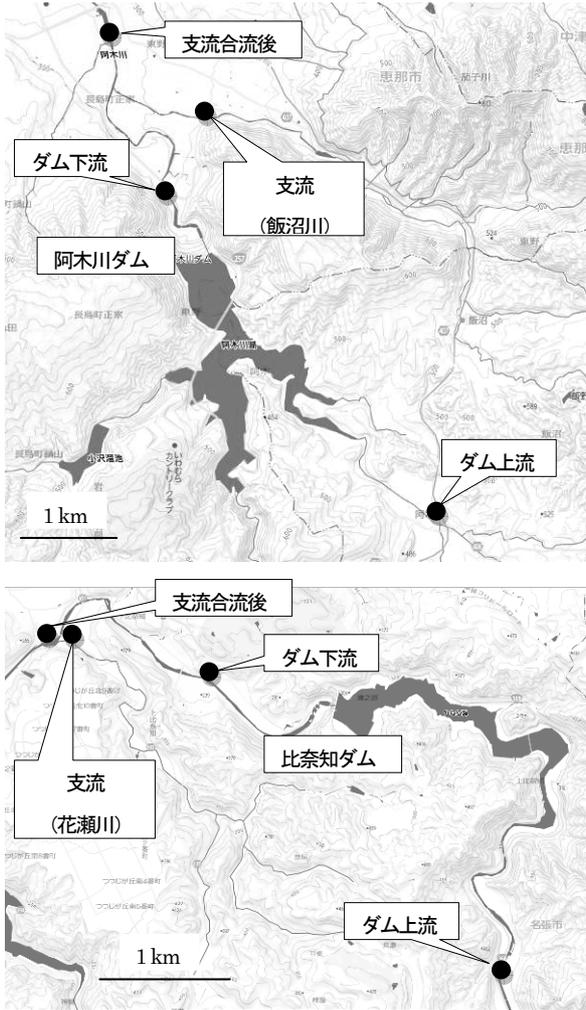


図6 調査地 (上: 阿木川ダム, 下: 比奈知ダム) .

幅の影響を受ける恐れがある²⁶⁾。特に、ダムから土砂が供給される区間では、自然河川で見られないような極端な河床条件が出現する場合もあり^{20,27)}、既存の適性値を適用できないことも考えられる。しかしながら、ダムの上下流やその周辺の河川において、既存の適性値が適用可能かについて検討された例はほとんど見られない。そこで、本研究では河床環境に差異があるダム周辺での現場データから得られた適性値と既存の適性値とを比較することで、その適用可能性について検証した。

3.2 方法

調査対象のダムとして、阿木川ダム (流域面積 81.8 km²) と比奈知ダム (同 75.5 km²) を選定した (図 6)。選定にあたっては、置き土等を実施したことがあり、河床の粗粒化の顕在化が予想されることや、ダムの流域面積が 100 km² 以下と川の規模が大きすぎず、物理環境と魚類との関連性の調査が実施可能であることなどを考慮した。調査地点は、ダムによる土砂停止の影響の有無を

表 1 調査で確認された魚種の一覧

	合計 度数	阿木川ダム				比奈知ダム			
		ダム 上流	ダム 下流	支流 合流後	支流	ダム 上流	ダム 下流	支流 合流後	支流
ヨシノボリ属	414	5	274	44	10	33	2	39	7
オイカワ	336	0	162	0	0	149	10	15	0
カワムツ	222	0	0	117	3	0	44	6	52
コイ科	49	0	0	45	0	0	0	4	0
ヌマチチブ	47	0	0	0	0	0	43	4	0
カマツカ	8	0	0	1	0	1	0	0	6
アカザ	3	0	0	0	1	1	1	0	0
ガンカ	3	0	0	0	0	0	1	1	1
ムギツク	2	0	0	0	0	0	2	0	0
アマゴ	1	1	0	0	0	0	0	0	0
ウグイ	1	0	1	0	0	0	0	0	0

反映したダム上流とダム下流、周辺の対照河川としてダム下流部に流入する支流、支流からの土砂供給を受ける支流合流後の 4 地点をダムごとに設定した (図 6)。これによって、ダム周辺の河床環境を幅広く収集できるように努めた。各調査地点では瀬を対象に調査を実施した。本研究では、適性値の適用可能性を検証することが目的であるため、流速や水深等を計測しやすく、適性値の事例が多い瀬を対象とした。

阿木川ダムでは 2014 年 10 月 27 日に、比奈知ダムでは 10 月 24 日にデータを収集した。各調査地点の瀬において川幅を計測し、1 m 四方のメッシュが 100 個程度になるように縦断方向の範囲を定めた。その後、シュノーケリングによって遊泳魚および底生魚のセンサスを行い、魚類が確認された地点に番号付きの錘を置いて目印とした²⁸⁾。魚種は可能な限り細かく同定したが、水中で同定が困難な魚種については、科や属までの同定とした。その後、調査範囲のメッシュごとに物理環境 (水深、流速、底質) を調査した。水深は各メッシュの中央で 1 cm 単位で計測した。流速は水深計測地点の 6 割水深において、電磁流速計 (VET-200-10P, ケネック社) を用いて 3 秒平均で 3 回計測し、平均値を算出した。底質は Wentworth の粒度区分²⁹⁾ (silt : <0.063 mm, sand : 0.063-2 mm, gravel : 2-16 mm, pebble : 16-64 mm, cobble : 64-256 mm, boulder : >256 mm) ごとに表面積に占める面積割合を 10 % 単位で記録した。メッシュ内で錘が見つかった場合にはその番号も記録し、魚類が利用したメッシュであることが分かるようにした。

現場データをもとに選択指数を算出し適性値に変換した方法を以下に示す。収集されたデータを基に水深・流速・底質ごとに Manly の選択指数 α_i を以下(1)の式より算出した³⁰⁾。

$$\alpha_i = \left(\frac{r_i}{n_i} \right) / \sum \left(\frac{r_i}{n_i} \right) \quad (1)$$

ここで、 α_i はある環境項目（例：水深）の階級*i*（例：0-10 cm）に対する選好性、 r_i は全利用頻度に対する階級*i*の利用頻度、 n_i は環境中の全頻度に対する階級*i*の頻度を表す。算出される選択指数と既存適性値とを比較するため、gravel(2-16 mm)と pebble(16-64 mm)を合わせて砂利として扱い、谷田・竹門の簡便階級³⁰⁾と合わせるようにした。また、選択指数 α_i はその和が1となるため、選択指数の最大値が1となるように最大値で割ることで換算した。この値を、ダム周辺における「現場の適性値」とした。

比較対象の「既存の適性値」として、既往文献^{22),24),25),32)}などで掲載された適性値を拾い出し、魚種および季節ごとに平均化したものを用いた。季節は、繁殖期であることの多い春（3-5月）と活動が低下する冬（12-2月）以外（夏（6-8月）、秋（9-11月）、および季節不明）を利用し、魚類の一般的な場所利用を反映できるようにした。なお、ヨシノボリ属の適性値として、同属のカワヨシノボリの適性値も参照した。既存の適性値の最大値が物理環境の計測範囲内で1とならない場合には、選択指数と同様に最大値で割ることで換算した。

適用可能性については、現場の適性値が既存の適性値の最大値に収まるかどうかで検証した。これは、利用可能な環境の範囲が異なっても、魚種本来の環境利用に普遍性があれば、既存の適性値でカバーできるという考えによるものである。

3.3 結果

全調査地を通じて観察された魚類は11分類群におよび、観察個体数の合計は1086個体だった（表1）。観察個体数が多い順にヨシノボリ属（観察数414）、オイカワ（同336）、カワムツ（同222）、コイ科稚魚（同49）、ヌマチチブ（同47）であり、このうち多地点（3地点以上）で確認されたヨシノボリ属、オイカワ、カワムツを評価対象種として選定した。

次に現場の適性値と既存の適性値を比較した結果を示す（図7）。水深の結果を概観すると（図7a）、現場の適性値は20-60 cmの範囲でピークを持つものが多く、既存の適性値の最大値内に収まった。ただし、比奈知ダムの支流のカワムツは10-20 cmの浅い水域を利用し、既存の適性値よりも現場の適性値が高かった。

流速の結果を概観すると（図7b）、現場の適性値は40 cm/sまでの低流速の範囲にピークを持つものが多く、既

存の適性値の最大値内に収まった。ただし、両ダムの上流で観察されたヨシノボリ属の現場の適性値は、100 cm/s以上で適性値が最大となり、既存の適性値を超えた。

底質の結果を概観すると（図7c）、現場の適性値が既存の適性値の最大値に収まる部分と、そうでない部分の両方が見られた。ヨシノボリ属では粒径の大きい石や巨石で現場の適性値が最大となり既存の適性値と似た傾向がみられた。例外は、阿木川ダムの上流において、砂で現場の適性値が最大となった点のみだった。カワムツでも砂利・礫以上の粒径の大きな底質で現場の適性値が最大となり、既存の適性値と同様な傾向を示した。例外は、比奈知ダムの支流において砂で現場の適性値が最大となった点のみだった。それに対して、オイカワでは観察されたすべての地点において、巨石で現場の適性値が最大となり、砂〜石で最大を示す既存の適性値とはやや傾向が異なった。

3.4 考察

現場の適性値を概観すると（図7）、地点や種によって多少の変動が見られたものの、現場の適性値の多くが既存の適性値に収まった。さらに、各環境変量の現場の適性値のピークがある一定の範囲に収まり、全体で一峰性の分布となる傾向がみられたことは、現場の適性値が対象魚固有の選好性を反映していることを示唆する。つまり、対象魚の選好性はダム周辺の河川においてもある程度維持されると考えられる。これらのことから、選好性等を基に作成された既存の適性値の適用可能性は高いと考えられる。多河川で適性値を調べ比較した石川ら³³⁾も、完全とは言い切れないものの適性値の普遍性を認めている。したがって、ダム周辺の河川においても既存の適性値を利用することは可能だと考えられる。

ただし、既存の適性値でカバーできなかった部分もあった。たとえば、比奈知ダムの支流合流後におけるカワムツは浅い水深で現場の適性値が高かった（図7a）。この理由として、観察個体数が6と少なく（表1）、偶発的な場所利用を検出した可能性が考えられる。阿木川ダムの上流におけるヨシノボリ属の流速の現場の適性値が高流速で高かったのも（図7b）、観察例数が5と少なかったことが影響しているかもしれない。ただし、比奈知ダムの上流ではヨシノボリ属が33個体観察されていても（表1）、同様に高流速で現場の適性値が高かったことから（図7b）、別の理由が考えられる。それは、本研究では6割水深での流速を計測しており、底生魚であるヨシノボリ属が利用する底層の流速²⁸⁾を評価できていなかった可能性である。その推測を裏付けるように、6割水深

の流速であっても、遊泳魚のオイカワとカワムツの流速の現場の適性値は、既存の適性値の範囲内に収まっていた (図 7b)。このことは、対象魚の利用空間に応じた流速の評価が必要であることを示唆している²⁶⁾。底質の現場の適性値の結果は (図 7c)、利用可能な環境要素の幅が小さい場合には、対象魚類が本来の生息場所を利用していない場合があることを示しており、注意が必要である。それが最も顕著だったのが、巨石しか利用できなかった比奈知ダムの下流である。ここでは、現場の適性値が自動的に巨石で最大値の 1 を示すことになるため、既存の適性値と一致しないオイカワのような例がみられた (図 7c)。

このように、部分的に注意すべき点はあるものの、既存の適性値の適用可能性は高く、ダムからの土砂供給による魚類への影響を検討する際にも、既存の適性値を利用可能であることが示唆された。また、既存の適性値を利用しつつも、より現場に即した詳細な適性値を必要とする場合には、観測個体数を確保した上で現地調査を行うことに注意を払う必要がある。さらに、現地調査地点に、支流や支流合流後などを含め、利用可能な環境の幅が小さくならないようにする必要も示唆された。

4. 魚類が利用する河床材料粒径に基づく類型化

4.1 背景

ダムからの土砂供給に伴う河床環境の変化が魚類に及ぼす効果や影響を検討する際、すべての魚種について重点的な検討が行われるのが理想的である。ただし、時間的・経済的な制約もあるため、指標種を抽出し検討するのが現実的な方策となっている。その際に問題になるのが、指標種を選ぶ根拠が少ないことである。置き土に用いた粒径に着目しウグイの産卵可否を調べた事例³⁴⁾などがあるものの、河床材料の粒径の変化に対応した指標種を選定するのは難しい。その解決のためには、評価対象となる区間に生息する魚種が利用する河床材料の粒径について整理することが必要となる。その背景に鑑み、過年度の研究では各魚種が利用する粒径についての記述を図鑑³⁵⁾の解説文から抽出し網羅的に整理した。

これにより、影響を受けやすい魚種を指標種として選定することが可能になったものの、指標種の検討結果から他の魚種への効果や影響を推測するまでには至っていない。その解決のためには、利用する河床材料の粒径に基づいた類型化を行い、ギルドを用いた解析が有用かもしれない³⁶⁾。指標種と似たような河床利用をする魚種で

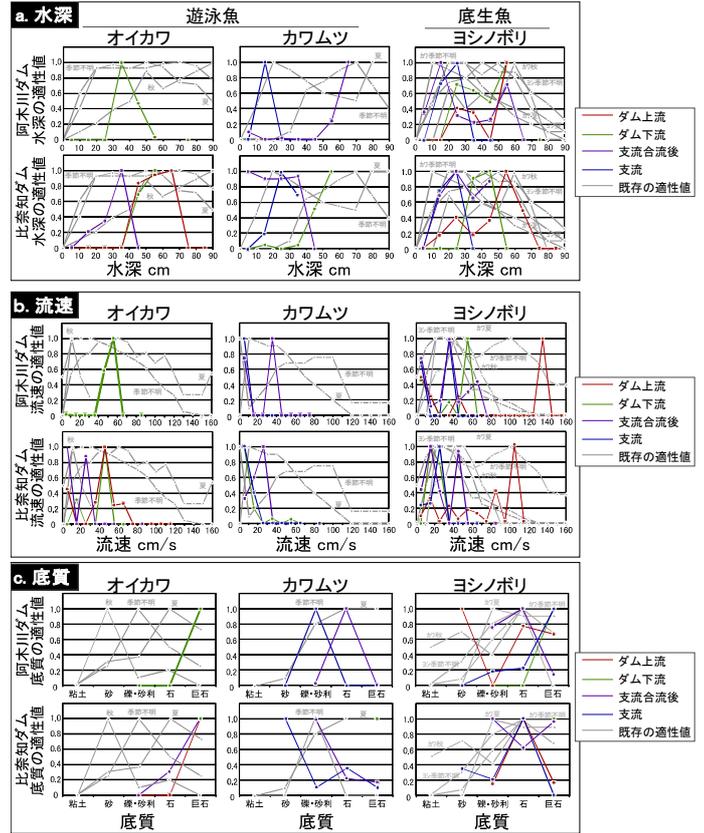


図 7 現場の適性値と既存の適性値との比較

(a : 水深, b : 流速, c : 底質)。

は、似たような効果や影響があると考えられるからである。この解析が進めば、他の魚種への効果や影響を予測する場合についても、客観的な根拠の一つとして利用可能となる。しかしながら、日本産淡水魚について河床利用に基づいた類型化を行った事例は見られない。

そこで、本研究では魚類が利用する河床材料の粒径に基づいた類型化を行い、河床環境の変化の効果や影響を受けやすい種群を把握するとともに、他の魚種への効果や影響を予測するための知見を提供することを目的とした。

4.2 方法

魚類によって利用される粒径の情報収集に当たっては、厳密には個別の研究知見を統合する必要があるが、ここでは多くの魚種について、生態情報が網羅されている図鑑³⁵⁾を利用した。図鑑の解説文や写真の説明文などから、「砂礫底」など河床材料に関する単語をすべて拾い出した。

粒径区分の利用は、「産卵場」と「その他」に分けて整

表2 魚類が利用する粒径区分に基づくクラスター解析の結果（上段：産卵場としての利用、下段：産卵場以外の“その他”の利用）。表中の数字は、そのクラスターに含まれる総種数に対して、各粒径区分を用いる種数の割合を示す。

	粘土	泥	砂	砂利	礫	石	巨石 (岩)	岩盤	例と種数
産卵場									
Cluster 1	0	0.87	0.60	0.13	0.2	0.13	0	0	ドジョウなど15種
Cluster 2	0	0	1	1	1	0	0	0	アユ、オイカワなど14種
Cluster 3	0	0	0	1	0	1	0	0	ヨシノボリ属など11種
Cluster 4	0	0	0	0.17	0.52	0.52	0.22	0.04	カジカなど23種
産卵場以外 (その他)									
Cluster 1	0	1	0	0	0	0	0	0	ヤツメウナギなど25種
Cluster 2	0	1	1	0	0	0	0	0	スジシマドジョウなど21種
Cluster 3	0	0.31	1	1	1	0	0	0	オイカワなど13種
Cluster 4	0	0.25	1	0.44	0.50	0.69	0.13	0	ニゴイ、ドジョウなど16種
Cluster 5	0	0	0	0	0	1	0	0	ギギ、ヨシノボリ属など17種
Cluster 6	0	0	0	0	0	0	1	0	イワナ属など12種
Cluster 7	0	0	0	0	0.25	0.58	0	1	アユなど12種
Cluster 8	0	0.27	0.12	0.04	0.50	0.62	0.58	0.08	残りの26種

理した。「その他」には、おもに退避や採餌といった行動時の河床利用が含まれ、成長段階によって異なる粒径区分を利用する場合には、複数の粒径区分を利用するものとして整理した。なお、湖など河川以外の河床利用の記述は対象外とした。

河床材料の粒径区分は、基本的にWentworth²⁹⁾の粒度階級を訳した竹門³⁰⁾に従い、粘土、泥、砂、砂利、礫、石、巨石および岩、岩盤の8種類とした。これ以外の言葉で利用粒径が表現される場合には、文脈から一番近いと思われる区分に整理した。たとえば、「大きな石」は「巨石および岩」に、「小石」は「砂利」として扱った。「岩」については、単体の石なのか岩盤なのかを文脈から判断し、前者なら「巨石および岩」、後者なら「岩盤」とみなした。

以上の方法によって、魚種ごとの粒径区分の利用の有無を整理し、利用する粒径区分に基づく魚種の類型化を試みた。各魚種、各粒径に対して利用の有無をダミー変数（利用あり：1、利用なし：0）で表し、Ward法によるクラスター分析を行うことで、魚類による河床材料の利用パターンを検討した。

4.3 結果

産卵場の河床利用に関する記載は63魚種に認められ、クラスター解析の結果、4つのクラスターに分けられた（表2上段）。小さい粒径を利用するグループ順に並べると、クラスター1には泥や砂などを主に利用する魚種が含まれ、ドジョウなど15種が分類された。続くクラスター2には専ら砂礫底を利用する魚種が含まれ、アユ、オイカワなど14種が分類された。次のクラスター3には、

専ら石と砂利を利用する魚種が含まれ、ヨシノボリ属など11種が分類された。最後のクラスター4には、石礫底を利用する魚種などが含まれ、カジカなど23種が分類された。

一方、産卵場以外（「その他」）の河床利用に関する記載は142魚種に認められ、クラスター解析の結果、8つのクラスターに分けられた（表2下段）。同様に小さい粒径を利用するグループ順に並べると、クラスター1には専ら泥を利用するヤツメウナギなど25種が分類された。クラスター2には、専ら砂泥艇を用いるスジシマドジョウなど21種が分類された。クラスター3には、主に砂礫底を利用する魚種が含まれ、オイカワなど13種が分類された。クラスター4にはもっぱら砂を利用しつつ、石も利用する魚種などが含まれ、ニゴイやドジョウなど16種が分類された。クラスター5には専ら石を利用するギギやヨシノボリ属など17種が分類された。クラスター6には、巨石および岩を専ら利用するイワナ属など12種が分類された。クラスター7には、主に岩盤を利用するアユなどの12種が分類された。クラスター8には、上記以外の26魚種が含まれ、石を中心に幅広い粒径の河床材料が利用されていた。

4.4 考察

本研究による類型化は、ダムからの土砂供給に伴う河床環境の変化が魚類群集に及ぼす影響を評価・予測する指標種の選定に寄与すると考えられる。たとえば、ダム下流では小さな粒径の土砂から流失し粗粒化した河床になりやすいため³¹⁾、細粒土砂に依存的な種群から影響を受けやすいことが予想される。そのため、小さな粒径の

土砂に依存的な魚種のグループ(表2の「産卵場」と「その他」のそれぞれのクラスター1)から指標種を選出するのが望ましいと考えられる。逆に土砂供給する場合には、大きな粒径の石や巨石などを利用する魚種が影響を受けやすいと考えられるため、その可能性に着目して評価する必要があるだろう。このように、本結果によって、ダムからの土砂供給を検討するための指標種の選定に対して根拠や客観性を持たせることが期待できる。

また、このグループ分けは河床環境の変化に対する魚類群集の応答を予測するのに役立つ可能性もある。河床環境の変化による効果や影響を詳細に調査できる魚種が限られていても、河床利用の類似した魚種では似たような応答が期待されるからである。また、他のダムで河床環境の変化に対する効果や影響を検討した知見を統合する際にも役立つと考えられ、効果や影響の一般的な理解を深めることも可能になるだろう。たとえば、Berkman & Rabeni³⁰⁾は、細粒土砂の増加に伴う影響をギルド毎に解析し、産卵では「綺麗な砂利を必要とするギルド」が影響を受けると報告したように、グループを用いた影響解析により河床環境の変化に対する一般性の高い応答の傾向を理解することにもつながると考えられる。

本結果は、図鑑³⁰⁾の解説文内の魚類による河床利用の記述を用いたものであり、より詳細な調査などによって部分的に結果が変わりうることに注意が必要である。それでも、多くの魚種について河床利用を調査し類型化することで、魚類群集を対象とした影響の評価や予測につながる点で、応用性の高い知見であると考えられる。今後、河床環境の変化の規模や継続期間によって、魚類の在否や密度にどのような影響が及ぶのかについて知見が集積されれば、魚類群集に対する影響予測の精度はさらに高まると期待される。

5. まとめ

本年度実施した研究によって以下のことが明らかとなった。

- 矢作川においては、河床の細粒土砂の割合が多いほど、付着藻類現存量の変動幅が少なく、現存量が低く抑えられる可能性が示唆された。
- モデルを用いてダム下流の1年間の現存量を予測し、観測データと比較した結果、出水後の付着藻類の変動について、より多くの観測データを用いたモデルの検証が必要であることが示唆された。
- ダム周辺の現地河川(ダム下流、ダム上流、支流、支流合流後)において、物理環境と魚類の在否を調

査し、生息場所の評価に用いられる適性値の適用可能性について検討した。その結果、現地データによる選択指数と既存の適性値との間に大きな違いは見られなかったため、土砂供給に伴う河床生息場の変化の評価に、既存の適性値を利用できることが示唆された。

- 図鑑に掲載された魚種について、河床利用を網羅的に調べ、利用する粒径に基づいた類型化を行った。産卵場については63種を4群に、産卵場以外については142種を8群に分類し、河床環境の変化を受けやすいグループを抽出した。この結果は、調査対象魚種の選定に役立つだけでなく、個別知見を集約して一般的な傾向を理解するのに役立つと考えられる。

今後は、ダム下流の粗粒化と土砂供給のそれぞれに伴う河床環境の変化に対する水生生物の応答について、これまでの知見を取りまとめるとともに、補完すべき点についてはさらに研究を深める予定である。これらをもとに、河床環境の評価技術を検討するとともに土砂供給による効果・影響の評価フローを提案し、土砂供給シナリオの立案に役立てていきたい。

参考文献

- 1) 池淵周一(編著):ダムと環境の科学I ダム下流生態系, 京都大学出版会, 2009
- 2) 藤田光一, 富田陽子, 大沼克弘, 原野崇, 小路剛志, 伊藤嘉奈子, 山原康嗣, 萱場祐一:ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方—下流河川の生物・生態系との関係把握に向けて—. 国土技術政策総合研究所資料521号, 土木研究所資料 第4140号, 2009
- 3) 清原正道, 高柳淳二:排砂の影響検討における置き土実験と覆砂実験の活用. ダム水源地技術研究所所報, pp12-20, 2010
- 4) 辻本哲郎, 北村忠紀, 加藤万貴, 田代喬:底撈乱礫床での大型糸状藻類の異常繁茂のシナリオ. 河川技術論文集8, pp67-71, 2002
- 5) 波多野圭亮, 竹門康弘, 池淵周一:貯水ダム下流の環境変化と底生動物群集の様式. 京都大学防災研究所年報 48B, 2005
- 6) Kondolf GM: Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. Environmental Management 21, pp533-551
- 7) 坂本博文, 谷崎 保, 角 哲也: 河川土砂還元を組み合わせさせた真名川ダム弾力的管理試験「フラッシュ放流」. 河川技

9.2 ダムからの土砂供給に伴う河床環境の変化が水生生物に及ぼす影響に関する研究

- 術論文集 11, pp273-278, 2005
- 8) Katano I, Negishi NJ, Minagawa T, Doi H, Kawaguchi Y, Kayaba Y: Longitudinal macroinvertebrate organization over contrasting discontinuities: effects of a dam and a tributary. *Journal of North American Benthological Society* 28, pp331-351, 2009
 - 9) 小野田幸生, 遊磨正秀: 魚類生息環境としての河川河床の動態. *土と基礎* 55, pp33-40, 2007
 - 10) 内田朝子, 藤居勇, 山戸孝浩: 矢作川における大型糸状緑藻の時空間変動. *矢作川研究* No.6, pp113-124, 2002
 - 11) 豊田市矢作川研究所 HP : http://yahagigawa.jp/3_1_y_kenkyuu/
 - 12) 野崎健太郎, 志村知世乃: 矢作川と土岐川の中流域における付着藻現存量と栄養塩濃度の季節変化. *矢作川研究* No.17, pp101-105, 2013
 - 13) 内田朝子, 大八木麻紀, 加藤元海, 中西正己: 矢作川の生態系を支える付着藻類の栄養状態. *陸水学雑誌* 74, pp63-72, 2013
 - 14) 皆川朋子, 福島悟, 萱場祐一: ダム下流の河床付着膜の特徴とフラッシュ放流による掃流. *土木技術資料* 49-8, pp52-57, 2007
 - 15) 萱場祐一: 河川中流域における物理環境場が一次生産過程に及ぼす影響に関する研究. 博士論文, 2007
 - 16) 萱場祐一, 宮川幸雄, 小野田幸生, 加藤康充, 高木哲也: ダムからの土砂供給に伴う河床環境の変化が水生生物に及ぼす影響に関する研究. 平成 25 年度重点プロジェクト研究報告書, 9-2, 2014
 - 17) 内田朝子, 白金晶子, 洲崎燈子, 碓信夫, 水野修, 椿隆明: 矢作川における要注意外来生物オオカナダモ (*Egeria densa*) の繁茂状況と駆除活動. *矢作川研究* No.18, pp33-40, 2014
 - 18) 国土交通省 水文水質データベース HP : <http://www1.river.go.jp/>
 - 19) 日射量データベース閲覧システム HP : <http://app7.infoc.nedo.go.jp/>
 - 20) 小野田幸生, 萱場祐一: 石礫河床への大量の覆砂が魚類生息密度に及ぼす影響について. *河川技術論文集* 19, pp525-530, 2013
 - 21) 渡辺恵三, 中村太士, 加村邦茂, 山田浩之, 渡邊康玄, 土屋進: 河川改修が底生魚類の分布と生息環境におよぼす影響. *応用生態工学* 4, pp133-146, 2001
 - 22) アメリカ合衆国内務省・国立生物研究所原著作, 中村俊六・テリー・ワドゥル訳: IFIM 入門. 財団法人リバーフロント整備センター, 1999
 - 23) 鈴木崇正, 角 哲也, 竹門康弘, 中島佳奈: 土砂供給に伴うアユ産卵環境の変化予測. 京都大学防災研究所年報, 第 54 号 B, pp.711-718, 2011
 - 24) 川本泰生, 関根雅彦, 楊継東, 今井崇史, 浮田正夫: IFIM における河川生態環境評価法の精度と普遍性に関する一考察. *環境システム研究*, Vol.26, pp.447-452, 1998
 - 25) 川本泰生, 関根雅彦, 楊継東, 小林宏正, 浮田正夫: IFIM における魚類の選好曲線の河川間の互換性に関する検討. *環境工学研究論文集*, 第 36 巻, pp.271-276, 1999
 - 26) Facey D. E., Grossman G. D.: The relationship between water velocity, energetic costs, and microhabitat use in four North American stream fishes. *Hydrobiologia*, Vol. 239, pp.1-6, 1992
 - 27) 清原正道, 高柳淳二: 排砂の影響検討における置き土実験と覆砂実験の活用. *ダム水源地技術研究所所報*, 12-20, 2010
 - 28) 石田裕子, 竹門康弘, 池淵周一: 河川の浸食一堆积傾向と流量変動による底生魚の生息場所選好性の変化. 京都大学防災研究所年報, 第 48 号 B, pp.935-943, 2005
 - 29) Wentworth C. K.: A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, Vol. 30, pp.377-392, 1922
 - 30) Manly B. F. J.: A model for certain types of selection experiments. *Biometrics*, Vol.30, pp.281-294, 1974
 - 31) 竹門康弘: 水域の棲み場所を考える. In 竹門康弘, 谷田一三, 玉置昭夫, 向井宏, 川端善一郎 (著) 棲み場所の生態学, 平凡社, pp.11-66, 1995
 - 32) 河村三郎: 魚類生息環境の水理学. 財団法人リバーフロント整備センター, 2003
 - 33) 石川雅明, 中村俊六, 築坂正美, 東信行, 中村緩徳: 河川における魚類生息環境評価 (IFIM 適用) のための基礎調査. *木更津工業高等専門学校紀要* 29 号, pp.23-32, 1996
 - 34) 梶野健, 浅見和弘, 中寫一彦, 杉尾俊治, 林貞行, 高橋陽一: 浦山ダム下流に投入した土砂がウグイの産卵にもたらす効果について—ダム下流河川における土砂投入の効果—. *応用生態工学* 6, pp51-58, 2003
 - 35) 川那部浩哉, 水野信彦: 山溪カラー名鑑日本の淡水魚 (第 2 版). 山と溪谷社, 東京, 1995
 - 36) Berkman H. E., Rabeni C. F.: Effect of siltation on stream fish communities. *Environmental Biology of Fishes* 18, pp285-294, 1987

A STUDY ON THE EFFECTS OF CHANGES IN RIVERBED ENVIRONMENT ON AQUATIC ORGANISMS ASSOCIATED WITH SEDIMENT SUPPLY FROM DAMS

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Water Environment Research Group
(Aqua Restoration Research Center)

Author : KAYABA Yuichi
MIYAGAWA Yukio
ONODA Yukio
TAKAGI Tetsuya

Abstract : We studied relationships between changes in riverbed environment and responses of aquatic organisms to assess necessity and methods of sediment supply at downstream of dams. First, we compared observed biomass and predictive biomass of attached algae by applying the model in downstream of the Yahagi Dam. The results suggest that the biomass model can be also applied in downstream of dams. Additionally, the model should reflect decrease in biomass of attached algae after flooding in the Yahagi River. Next, we examined applicability of suitable index (SI) curves at reaches near dams by comparison between SI curves reported in literatures and those obtained from field data. The both SI values almost had similar distribution patterns and peaks, suggesting that the SI curves reported previously should have applicability to prediction of effects of changes in riverbed environments on fish habitat associated with sediment supply from dams. Finally, we classified fishes into some groups based on riverbed use at reproductive and non-reproductive seasons then searched group of fishes vulnerable to changes in riverbed environments. The classification can provide a biological basis for selection of the index species. Additionally it should be useful for prediction of general influences on fish assemblages.

Key words : Periphyton, Gravel bed river, Sand, Habitat, Suitability index value, Applicability