

# ダムからの土砂供給に伴う水生生物の応答 と予測・評価の枠組み

萱場祐一・堀田大貴・森 照貴

## 1. はじめに

ダム貯水池における堆砂問題の解決とダム下流における環境改善等を目的として、ダム貯水池に堆積した土砂を下流へ流す取り組み（以下「土砂供給」という。）が幾つかのダムで実施、計画されている<sup>1)</sup>。土砂供給にはダム下流に置き土を行う土砂還元、排砂トンネルによる供給等幾つかの方法があるが、供給する土砂の量・質（粒径等）、流量（ $Q$ ）に対する土砂供給量（ $Q_s$ ）やこれらの時間変化など（以下「土砂供給方法」という。）が自然状態と異なるため、ダム下流の河川生態系に影響を及ぼす可能性がある。そのため、その影響を予測し、影響が大きいと評価された場合には、必要に応じて土砂供給方法の再検討、影響軽減の検討が必要となる。

土木研究所自然共生研究センターでは平成23年度より上記視点に立った研究を本格的に開始した。本研究では、土砂供給地点となるダム直下およびその下流域を対象とし、大礫・巨礫から構成される河床（粗粒化した河床）に砂～小礫程度の細粒土砂を供給した場合を想定し、河床環境（河床材料の粒度組成、河床近傍の流速等）の変化に対する水生生物の応答を予測・評価する手法の構築を行ってきた<sup>2),3)</sup>。本稿では、この中から土砂供給に伴う水生生物の応答を概説した上で、予測・評価の基本的な枠組みを示す。なお、付着藻類・底生無脊椎動物・魚類を対象とした予測・評価の具体的な手法の解説は別報<sup>4)</sup>に譲る。

## 2. ダム下流における粗粒化と生物の応答

ダムが建設されることで、ダム下流の河床環境が変化するという報告があり、その主たる要因として流況の変化と土砂供給量の減少が挙げられている<sup>5)</sup>。特に、土砂供給量の減少は、ダム下流河道での河床の粗粒化を引き起こすことが知られて

いる<sup>5)</sup>。粗粒化が水生生物に及ぼす影響に関しては幾つかの報告が見られる。例えば、付着藻類については、出水時の流量減少と相まって、付着藻類の剥離・更新頻度が減少し、餌資源としての質が低下する可能性が指摘されている<sup>6)</sup>。また、底生無脊椎動物については大礫や巨礫に固着する種が増加する一方で、砂や小礫に依存する種が減少することが報告されている<sup>6),7)</sup>。適度な量の土砂供給は、このような粗粒化によって引き起こされる生物の応答を緩和する効果があるが、供給量が過大になると河床が細粒化し水生生物に影響を及ぼす可能性がある<sup>7)</sup>。

## 3. 土砂供給による生物への応答経路

土砂供給による水生生物への影響を予測・評価する際の考え方を明確にするため、土砂供給によって惹起される現象を、①供給された土砂が流砂として河床上を移動する、②供給された土砂が河床に堆積する、の2つに分けて<sup>8)</sup>、代表的な分類群に対する影響を整理する。付着藻類に着目すると、河床上を移動する細粒土砂は、河床を構成する大礫・巨礫等に衝突・摩耗することで付着藻類の剥離を引き起こす。付着藻類は、剥離と生長を繰り返すことにより餌資源としての質が維持されるため、土砂移動量が適切であれば藻類食者の餌の質を向上させる<sup>9)</sup>。しかし、移動量が大き過ぎると、剥離作用が強く働いて餌量を減少させてしまう可能性がある。また、河床を構成する大礫・巨礫等が細粒土砂で埋没すると、付着藻類の生育できる面積が縮小し、結果として、藻類食者にとっての餌量の減少を引き起こす（図-1）。つまり、付着藻類の応答については、①と②の経路を考慮する必要がある。一方、移動能力を有する底生無脊椎動物・魚類は土砂移動を伴う洪水に対する忌避行動を取るため<sup>9),10)</sup>、付着藻類と比較すれば①の経路に伴う影響は小さいと考えられる。②の経路は、礫間や礫下を生息空間とする種の減少を引き起こす一方、砂・小礫への依存度が高い種を増加させるだろう<sup>11)</sup>。減少する種としては

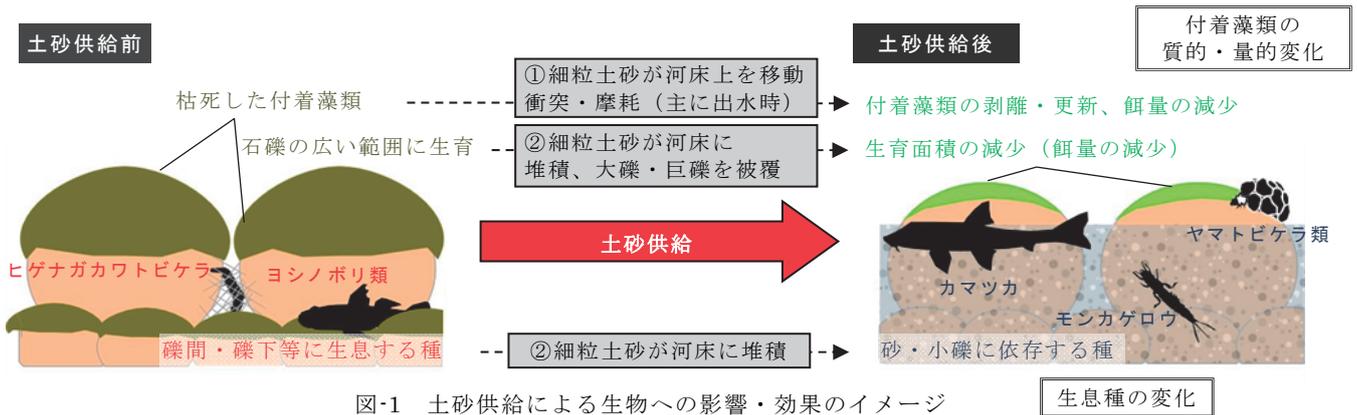


図-1 土砂供給による生物への影響・効果のイメージ

礫間に固着巣を形成するヒゲナガカワトビケラや礫間や礫下を生息場所とする底生性魚類のヨシノボリ類が挙げられ、増加する種としては砂・小礫を巣材とするヤマトビケラ類、砂の中に身を潜めるカマツカが挙げられる(図-1)。

このように、土砂供給が水生生物に及ぼす影響を検討する場合には、付着藻類については①と②の経路に沿った応答を、底生無脊椎動物・魚類については②の経路に沿った応答を、詳細に検討することが必要となる。ただし、付着藻類についても簡易的に予測・評価する場合には②の経路だけを考慮すればよいだろう。これは、①は主として出水中のみに出現する経路であり、出水中に影響を受けたとしても、付着藻類は1~3週間程度で回復するため影響は短期的であると考えられること<sup>12)</sup>、一方、②は出水後も継続する可能性があり、影響が長期にわたる可能性がある経路であること、が理由である。なお、①の経路に沿った予測には、付着藻類の一次生産速度に加えて、流砂・流水に伴う付着藻類の剥離等を各時刻で求める必要があり、予測プロセスが複雑で適用が難しいといった課題もある。

#### 4. 土砂供給による影響の予測と評価

##### 4.1 予測・評価の基本的流れ

予測・評価の流れは以下のとおりである。まず、土砂供給による河床の地形および河床表層の粒径の変化を河床変動計算等から予測し、対象分類群別に河床の変化に対する生物の応答を既往の研究成果等から予測する。次に、予測した生物の応答が、個体群の維持や水産資源の保全等の観点から許容できるかどうかについて評価する。生物の応

答が許容できないと判断された場合には、必要に応じて土砂供給方法の再検討、影響の軽減の検討を行う(図-2)。

土砂供給には粗粒化を改善する効果があることも評価に加えていく必要がある。ダム直下では土砂供給量の減少により、河床の粗粒化が生じ、その程度が甚だしい場合、付着藻類の餌資源としての質、砂・小礫に依存する底生無脊椎動物・魚類の生息密度が低下する可能性がある<sup>6),13)</sup>。このような場合、土砂供給は河床の粗粒化を改善し、河川生態系の回復に資する効果が期待できる<sup>11)</sup>。

本稿では土砂供給によって想定される負の影響を中心に概説しているが、正の影響(効果)も評価し、効果の最大化を念頭において土砂供給方法を検討することも大切な視点である。この点については現中長期プロジェクト研究「土砂供給に伴う河川環境影響評価およびダムからの土砂供給技術の運用手法に関する研究」で検討を行っており、今後、成果が得られ次第報告する予定である。

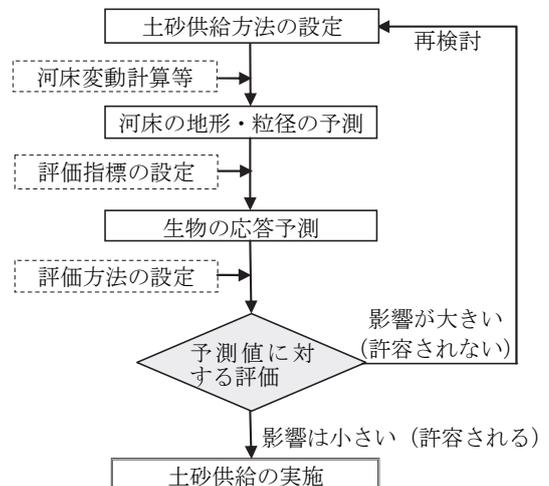


図-2 予測・評価の基本的な流れ

4.2 予測・評価の対象となる生息場所タイプ

河川上中流域に見られる生息場所のタイプを、河川を横断および縦断方向に捉えることで以下のように区分する。まず、川を横断方向に見ると河岸の影響を受けない流心部と影響を受けて水深・流速が低下する水際部に区分することができる。また、流心部を縦断方向に見ると瀬と淵に区分することができる。個々の生息場所のタイプが同じであれば、物理環境も大きく変化しないと考えられるため、土砂供給が水生生物に及ぼす影響の検討も瀬・淵・水際部を基本単位として行うとよい。ただし、分類群等（付着藻類・底生無脊椎動物・魚類）によって重要な生息場所タイプが異なるために、予測・評価する上で適切な生息場所タイプを選定する必要がある（表-1）。

瀬は大礫・巨礫から構成されていることが多い。また、水深も比較的小さく、光が河床に届きやすいため、付着藻類による高い一次生産力を有する。このため、瀬の河床は、アユ等の遊泳性魚類や水生昆虫等の付着藻類を摂食する生物や、礫間を利用する底生性の生物等（底生無脊椎動物・底生性魚類）にとって重要な場となる。土砂供給により細粒土砂が流下・堆積した場合、瀬の河床表層で粗い材料が減少することで、これらの材料に依存する底生無脊椎動物・底生性魚類が減少するなどの影響を受け、付着藻類の一次生産力も低下する可能性がある。したがって、瀬においては、付着藻類・底生無脊椎動物・魚類（底生性・遊泳性）

を対象として予測・評価を行う必要がある。

一方、淵は瀬と比較すると河床は細かい粒径から構成されるため、瀬のように大礫・巨礫に依存する底生性の生物は少ない。また、水深も大きいために一次生産力も小さい。このため、淵においては、付着藻類、底生無脊椎動物・底生性魚類を対象とした予測・評価を行う必要性は低い。ただし、淵は洪水後期（流量低減期）に、掃流力が瀬と比較してより小さいレベルで推移するため、供給土砂が淵に堆積し、平常時の水深が低下する可能性がある。体サイズの大きな遊泳魚ほど、深い淵を利用する傾向が報告されており<sup>3)</sup>、このような大型個体は水深の低下による影響を受ける可能性がある。以上から、淵においては、遊泳性魚類を対象とした予測・評価を行うべきである。

水際部は水位変動の影響を受け易く、流心部に比べて流速・水深が変化しやすいと考えられる。また、水際部は瀬と比較すると洪水時の流速が小さいため、シルト・砂・小礫といった細粒土砂から河床が構成されている場合が多く、細粒化に伴う影響を受けにくい。このため、現段階では、予測・評価を行う生息場所タイプから除外してもよいと考えている。ただし、遊泳魚の仔稚魚にとっては、水際部の低流速域が重要な生息場所タイプとなる。このため、今後の研究において、土砂供給により水際部の形状等が変化し、仔稚魚に影響を及ぼす経路が示唆された場合には予測・評価対象に含めるべきである。

表-1 代表的な生息場所タイプの特徴と土砂供給時に予想される影響の概要

分類群	流心部		水際部
	瀬	淵	
付着藻類	●一次生産力が高く、餌資源を供給する重要な場である。 ■表層材料の細粒化等により一次生産力が低下する可能性がある。	●水深が大きく、流速も小さく、基質となる礫も少ないため一次生産力が小さい。 ■砂・小礫の堆積による一次生産力の低下と生態系への影響は想定しにくい。	●元々細粒土砂が多いこと、一次生産力が小さい、また、水位変化の影響を受け流速・水深が変化しやすく一次生産力は時間的に不安定であり、餌場としては重要でない。 ■上記理由から砂・小礫の供給の影響を受けにくい。
底生無脊椎動物	●種数が多く、現存量も大きい。重要な生息場である。 ■表層材料の細粒化等により群集構造が大きく変化する可能性がある。	●瀬に比べ生息する底生無脊椎動物の種類数・個体密度は小さい。 ■もともと細粒土砂が多いこと、上記理由から砂・小礫供給の影響を受けにくい。	●水位変化の影響を強く受けるため、流速・水深が変化しやすく、不確実性が大きい。 ■もともと細粒土砂が多く、砂・小礫供給の影響を受けにくい。
魚類 (底生性)	●礫間が多く種に利用される。重要な生息場である。 ■礫間が細粒土砂で埋まることにより、ここに依存する種が影響を受ける可能性がある。	●もともと細粒土砂が多く、細粒土砂に依存する魚種が多い。 ■もともと細粒土砂が多いこと、上記理由から砂・小礫供給の影響を受けにくい。	●水位変化の影響を強く受けるため、流速・水深が変化しやすく、不確実性が大きい。 ■もともと細粒土砂が多いこと、上記理由により砂・小礫供給の影響を受けにくい。
魚類 (遊泳性)	●生息場所として多くの魚種に利用される。特に、藻類食者の採餌場として重要 ■表層材料の細粒化等により、特に、ここを餌場とする種が影響を受ける可能性がある。	●体サイズの大きな個体の生息場所として重要である。 ■細粒土砂の堆積により水深が減少すると体サイズの大きな個体が影響を受ける。	●遊泳能力の小さい仔稚魚の生息場所となる。 ■水位変化の影響を受け、流速・水深が変化しやすく、河床変動計算等で物理環境変化を予測しにくい。

注1) 適：評価対象として適している 不適：評価対象として適していない。  
 注2) ●：生息場所の特徴、■：土砂供給を行った際に予想される影響の概要

### 4.3 予測・評価の対象種群

環境影響評価法に基づく基本的事項<sup>14)</sup>では、生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全を旨として予測・評価されるべき環境要素として動物・植物および生態系が挙げられている。ダム事業に係る環境影響評価に関しても、主務省令<sup>15)</sup>でその旨が規定されている。そのため、土砂供給による影響の予測・評価を行う場合においても、同様の考え方を基本として、予測・評価の対象種群等の設定を行うことが妥当であろう。

動植物については、国土および地域スケールで希少になっている種と学術上貴重な種を対象として種を選定する。例えば、環境省・地方自治体版のレッドリスト掲載種、「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」における指定種や「文化財保護法」で天然記念物に指定されている種等が対象となる。ただし、国土や地域スケールでは減少していない種であっても、当該河川において個体群としての存続が危ぶまれている種も存在する。生物相に関する長期データがある場合には、減少しつつある種の抽出を行い、減少している種も重要種に準じる扱いとすべきである。

生態系の保全では、河川生態系のエネルギー基盤としての藻類に加え、群集として底生無脊椎動物・魚類群集の保全を図ることが重要となる。

付着藻類については餌資源の量・質という視点から、現存量に加えて、有機物量（強熱減量）や無機物量、種組成が重要になる<sup>16)</sup>。底生無脊椎動物・魚類については、主務省令<sup>15)</sup>における上位性・典型性・特殊性の観点から注目種を選定し、これらの生息可能性によって生態系を評価するアプローチを採ることが一般的である。本アプローチはダムにおける環境影響評価で数多くの実績があるため、土砂供給における予測・評価でも有効な手法となり得るだろう。ただし、近年、群集解析の技術が飛躍的に向上し、採集されたすべての種と個体数を用いて群集の違いを検出すること等が可能となってきている。このため、定量調査が可能な底生無脊椎動物については、注目種だけでなく群集構造の変化にも着目して予測・評価を行うことも選択肢の一つになるとよい<sup>17)</sup>。

### 4.4 予測・評価の考え方

#### 4.4.1 予測の考え方

予測においては、一次元河床変動計算によって、

土砂供給に伴い河床が上昇する区間と上昇しない区間に区分する。河床が上昇する区間では瀬の河床表層における大礫・巨礫等の埋没と極度の細粒化、淵の縮小が生じると予想されるため、後述する「評価」において影響を受ける区間として取り扱ってもよいだろう。ただし、一次元河床変動計算結果に基づく河床の上昇量と瀬・淵の状態の変化については不明な点が多い。今後一次元河床変動計算結果から得られる結果をどのように解釈するかについては研究が必要である。一方、河床が上昇しない区間においては、二次元河床変動計算等を行い瀬における河床表層粒度の変化、淵の堆積の程度を予測する必要がある。

予測される瀬・淵での河床の変化に対して、生物がどのような応答を示すかの予測は、「4.3. 予測・評価の対象種群」で述べた種等を対象として、既往研究や現地調査に基づく河床の状態と対象種等との関係性を基に行う。

河床の状態を示す指標は、生物の生息との関連性が明瞭であること、そして、研究者や土砂供給を行う事業者等が現地において簡易に測定できることが必要である。とりわけ、河床に生息する生物にとって重要な生息要因と考えられる河床表層粒度に関して、上記の点に留意した指標を用いることが肝要である。比較的よく用いられる指標としては、対象区間の瀬に方形区（コドラート）を設定し、コドラート内における粒径区別の面積被度割合を求めたものや<sup>18)</sup>、各粒径区分に順位変数を与え、被度割合で重み付けした平均値を求める底質粗度<sup>19)</sup>等がある。いずれも付着藻類・底生無脊椎動物・魚類との関連性がある程度明確になっているだけでなく<sup>17),20)</sup>、現地において容易に観測できる。河床の粗粒化、細粒化に対しては同じくコドラート内の砂・小礫の被度割合（面積割合）、大礫・巨礫の被度割合がよく用いられている。また、大礫・巨礫が河床から露出している高さ（露出高）を指標とし、アユの摂食との関係性を明確にする試みも行われている。ただし、現地での露出高の測定は容易ではないため、この指標と粒径区別の面積被度割合等の指標とを関連付け、実務に取り入れやすい指標とすることも大切である。

土砂供給に伴う生物の応答の中には、河床の状態の変化を介した経路だけではなく、他の経路も

存在する。例えば、魚類の生息場の適性を考える際、物理環境として流速・水深、カバー（隠れ家となるような空間）についても考慮する必要がある<sup>21)</sup>。土砂供給による河床の状態の変化に付随して、これらの要因も変化する場合には、これらの要素を組み合わせる生物応答を予測することが求められる。なお、土砂供給による淵への土砂堆積に対し、予測される魚類の応答については別報<sup>4)</sup>を参照して欲しい。

#### 4.4.2 評価の考え方

本稿で対象としているダム直下およびその下流域では粗粒化している場合が多く、土砂供給方法によっては粗粒化を軽減し、粗粒化によって生じたダム下流域の様々な課題の解消に繋がるかもしれない<sup>11)</sup>。この中には、餌資源としての付着藻類の質の改善、ダム下流で消失した種の回復が含まれる。しかし、土砂供給方法が適切でない場合には、付着藻類の現存量の減少、大礫・巨礫を生息場所とする底生無脊椎動物・魚類の減少・消失を引き起こす可能性がある（図-3）。したがって、評価を行う場合にはダム供用前の状態とダム供用後の状態（粗粒化が進行している現状）を明らかにし、2つの状態との関係に基づき予測結果を評価する必要がある。具体的には、供給土砂の増加により河床が粗粒から細粒状態に変化する中で、土砂供給前の粗粒化している状態とダム供用前の粗粒化していない状態に対して、予測結果がどのような位置にあるかを明確にする。そして、ダム供用前の状態を超えるか否かを参考にしながら影響を評価する（図-3）。なお、ダム供用前の状態を知ることが困難な場合には、ダム貯水池の流入河川やダム下流で流入する支川等にリファレンス区間を設置し、この区間の状態からダム供用前の

状態を推し量ることが必要となる。リファレンス区間とは、ダム供用前の対象区間と同様の河川類型区分に属し、現在でもダムの供用を含む人為的な影響が軽微な区間を意味する。この区間における付着藻類の状態、底生無脊椎動物・魚類群集の状態は供用前と同一ではないが、類似している可能性が高いと考えられる。各分類群についてリファレンスの状態をどのように評価するかは、別報<sup>4)</sup>に示したので参考にして欲しい。

ところで、上記の評価は、ダム直下もしくはその下流域にある一つの瀬を対象としたものである。種の保全を図るには、対象種が分布する区間、生態系が類似している区間（環境類型区分）を対象として影響が及ぶ範囲を明確にし、影響を受けない範囲における瀬の延長や面積の大きさから対象種の存続可能性を評価することが必要になる<sup>22)</sup>。ただし、種の存続を規定する生息域の大きさは種によって異なるだけでなく、その具体的な数値（閾値）に関する知見は十分でない。今後、種の存続に必要な生息域の大きさに関する閾値を明確にし、より確実な評価手法を確立する必要がある。

### 5. モニタリングと順応的管理

供給する土砂の量・質（粒径）、流量（ $Q$ ）に対する土砂供給量（ $Q_s$ ）の実際の時間変化は、予測段階と同じシナリオになるとは限らない。また、河道の地形や植物の繁茂状態を正確に計算に反映できないこと等から、対象とした場における河床の地形、表層の粒度等を精度よく予測できない可能性もある。また、河床の変化に関する予測精度を確保できたとしても、生物の応答予測には物理環境以上の不確実性が伴う。したがって、土砂供給を実施した後は、河床を含む物理環境や生物の生息状況を継続的に調査し、予測値との乖離の程度を随時検証することが必要となる。また、必要に応じて土砂供給方法の見直しを行い、予測・評価手法の修正を行う順応的な対応が不可欠である。

### 6. おわりに

本稿で述べた手法は実際の事業との関わりの中で検討したものであり、ある程度の適用性は確保されていると考えている。今後実務への適用を通じ改善を図りながら検証を行い、より確実な手法

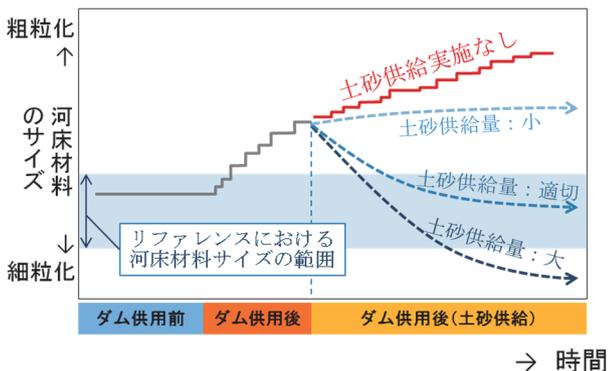


図-3 土砂供給による河床変化の概念図

へと発展させていきたい。また、本稿で対象としたのはダム直下およびその下流域における水域のみであり、より下流の流程や陸域は対象となっていない。これらの領域も対象として研究を進め、土砂供給の影響に関する総合的な予測・評価手法を構築する必要がある。

参考文献

- 1) 坂本博文、谷崎保、角哲也：河川土砂還元を組み合わせた真名川ダム弾力的管理試験「フラッシュ放流」、河川技術論文集、Vol.11、pp.273~278、2005
- 2) 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年度プロジェクト研究成果報告書、土木研究所、2015
- 3) 萱場祐一、宮川幸雄、小野田幸生、堀田大貴、末吉正尚：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27年度重点プロジェクト研究報告書、2016
- 4) 萱場祐一、森照貴、小野田幸生、宮川幸雄、末吉正尚：ダムからの土砂供給が下流河川に生息する水生生物に及ぼす影響・効果の予測・評価手法の提案、土木技術資料、Vol.58、No.10、pp.30~35、2016
- 5) 池淵周一 編：ダムと環境の科学 I ダム下流生態系、285p、京都大学学術出版会、2009
- 6) 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、Vol.48、pp.919~933、2005
- 7) 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、Vol.19、pp.525~530、2013
- 8) 萱場祐一、小野田幸生：掃流砂が一次生産速度に及ぼす影響—被覆効果と摩耗効果に着目した砂供給実験—、応用生態工学第15回金沢大会 講演集、pp.127~128、2011
- 9) 木下篤彦、藤田正治、水山高久、澤田豊明：排砂による河床への土砂堆積に伴うイワナの局所的な避難空間の減少に関する研究、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.68、I\_1117~I\_1122、2012
- 10) Sueyoshi M., Nakano D., Nakamura F.: The relative contributions of refugium types to the persistence of benthic invertebrates in a seasonal snowmelt flood, *Freshwater Biology*, Vol.59, 257-271, 2014
- 11) 片野泉、根岸淳二郎、皆川朋子、土居秀幸、萱場祐一：土砂還元によるダム下流域の修復効果検証のための指標種の抽出、河川技術論文集、Vol.16、pp.519~522、2010
- 12) De Nicola D.M., McIntire C.D., Lamberti G.A., Gregory S.V., Ashkenas L.R.: Temporal patterns of grazer-periphyton interactions in laboratory streams, *Freshwater Biology*, Vol.23, 475-489, 1990
- 13) 田代喬、辻本哲郎：河床状態の変化に着目した矢作川中流域における河道動態とそれに伴う生息場の変質—底生魚・底生動物の分布と大型糸状藻類の繁茂に関する分析—、矢作川研究、No.7、pp.9~24、2003
- 14) 環境庁：環境影響評価法に基づく基本的事項、環境庁告示第八十七号、1997
- 15) 厚生省・農林水産省・通商産業省・建設省：ダム事業に係る環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針、環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令、厚生省・農林水産省・通商産業省・建設省令第一号、1998
- 16) Hauer R., Lamberti G.A.: *Methods in Stream Ecology Second Edition*, Academic Press, 2007
- 17) 土居秀幸、岡村寛：生物群集解析のための類似度とその応用：Rを使った類似度の算出、グラフ化、検定、日本生態学会誌、Vol.61、pp.3~20、2011
- 18) Katano I., Negishi J.N., Minagawa T., Doi H., Kawaguchi Y., Kayaba, Y.: Longitudinal macroinvertebrate organization over contrasting discontinuities: effects of a dam and a tributary. *Journal of the North American Benthological Society*, Vol.28, No.2, pp.331-351, 2009
- 19) Bain M.B., Finn J.T., Booke H.E.: Quantifying stream substrate for habitat analysis studies, *North American Journal of Fisheries Management*, Vol.5, pp.499-500, 1985
- 20) 岡田久子、倉本宣、渡辺泰徳、福島雅紀：多摩川中流域の早瀬における河床礫の移動と付着藻類量の関係、環境システム研究論文集、Vol.41、II\_275~II\_281、2013
- 21) 中村太士：河川生態学、講談社、2013
- 22) 前川光司：サケ・マスの生態と進化、文一総合出版、2004

萱場祐一



土木研究所水環境研究グループ  
自然共生研究センター 上席  
研究員、博(工)  
Dr.Yuichi KAYABA

堀田大貴



土木研究所水環境研究グループ  
自然共生研究センター 交流  
研究員  
Taiki HOTTA

森 照貴



東京大学総合文化研究科  
広域システム科学系、特別  
研究員、博(環境科学)  
Dr. Terutaka MORI