

13.10 土砂還元によるダム下流域の生態系修復に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 21

担当チーム：水環境研究グループ（自然共生）

研究担当者：萱場祐一、片野泉、皆川朋子

【要旨】

本研究は、ダム下流域における生態系劣化状況の解明、土砂供給量減少に伴う指標生物とその環境要因の関係の解明、及び土砂還元の定量的な効果推定手法の確立を目的としている。平成 20 年度は、土砂還元の定量的な効果推定手法の確立をめざして、土砂還元による細粒河床材料の増加を適切に指標する指標種を抽出することを目的とし、近畿地方の複数のダム河川において野外調査および解析を行った。なるべく多くのダム河川に適應できる普通種であること、見付けやすく調査が容易・安価であること、河床に強く依存して生息することなどの条件から、携巢型・掘潜型の底生動物を候補として GLMM による解析を行った結果、ヤマトビケラが最も指標として有用であることが示された。土砂還元の効果的な生態系機能修復効果を持たせるため、ヤマトビケラの生息密度を指標として、還元土砂量や還元頻度などを十分に検討すべきであることが示唆された。

キーワード：指標種、土砂還元、細粒河床材料、GLMM、ヤマトビケラ

1. はじめに

ダムは河川流砂系の連続性を遮断するため、ダム上流やダム湖内では細粒河床材料（小礫・砂等）が過剰に堆積する一方、ダム下流では細粒河床材料の欠乏などを主な要因として、ダム下流に生息する底生動物相も大きく改変される^{1), 2)}。しかし近年、ダム下流において支川が合流し細粒河床材料が再供給された後には、底生動物相も改善されることがわかってきた^{3), 4)}。このように、ダムによって分断される下流への細粒河床材料供給を元に戻してやることで、劣化したダム下流の生態系機能を改善できる可能性は高く、近年いくつかのダムで行われ始めた「土砂還元」は、ダム下流の劣化した生態機能に対する高い修復効果を持つのではないかと期待されている⁵⁾。しかし、これまでのところ、土砂還元の生態系機能への効果を客観的に評価する手法はない。そのため、効果的な土砂還元手法もまた未確立である。

自然に対する人工的なインパクトレスポンスを評価するためには、本来、環境や生息する生物など広い観点に立った総合的な評価軸が重要である。しかし実際にはコストや手間などの問題から、インパクトごとに詳細な調査を行うことは現実的ではなく、指標種などの簡便な評価軸を用いることが多い（もちろん指標種の示す情報には限界があり、評価軸を指標種だけに頼るのは危険である）。河川生態機能に対する土砂還元の効果も、指標種を用いることで客観的な評価が可

能になることが予想され、土砂還元にかかわる指標種を設定することは急務であると考えられる。そこで、平成 20 年度の本研究では、土砂還元によって粗粒化した河床に細粒土砂が復活した条件下で生息可能になる指標種を選定することを目的として解析を行った。指標種には、希少な生物や、食物連鎖の上位種（河川では魚類等に当たる）を設定することが多いが、本研究では、①なるべく多くのダム河川に適應するため、地域特性をもち、日本の自然河川では普通種として生息する当たり前の生物であること、②素人でも見つけやすく、調査採集が容易・安価であること、③水質等他の要因変化への反応と比べ、河床環境変化に対する反応が最も強いと考えられる生物であること等を考慮して、水生昆虫を主とした底生動物の中から指標種を設定することとした。土砂還元を実施しているダムはまだ少ないことから、中部・近畿地方の 7 つのダム河川（土砂還元をしているかどうかに関係なく選定）に設定した複数の調査地点において河床環境および底生動物の調査を行い、そこで得られたデータから指標種の抽出を行った。

2. 調査地概要と方法

調査地として、蓮ダム、比奈知ダム、安濃ダム（三重県）、室生ダム、上津ダム（奈良県）、犬上川ダム、永源寺ダム（滋賀県）の 7 ダム河川を設定した（図 1）。各ダム河川は、ダム下流数キロメートル以内に

流入する支川を持ち、その流入前後において河床の細粒土砂量が変化することが予測されたので、調査地点を流入口周辺に設定した。すなわち、支川流入の上流地点（UT: upstream of tributary confluence）、支川流入の下流地点（DT: downstream of tributary confluence）、支川（TR: tributary）の3つである。また、ダムから1km以上下流に下って初めて最初の支川が流入する蓮ダム、比奈知ダム、上津ダム、犬上川ダムの4ダムにおいては、UTにおいてダムの影響が軽減している可能性があるため、ダム直下（DD: downstream of dam）も調査地点に加えた。

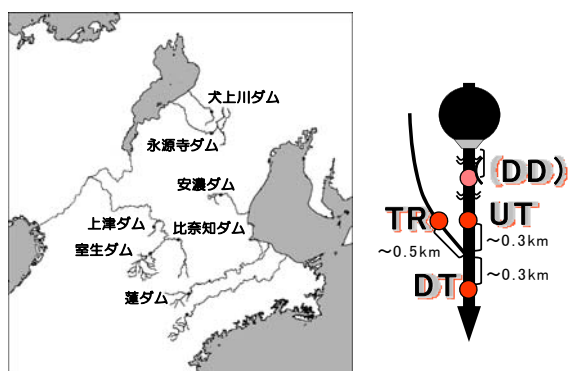


図1 調査ダム河川と調査地点

調査は3月末～4月中旬までの間に行い、各調査地点で河床環境測定と底生動物採集の両方を行った。25×25cmのコドラートを3箇所設定し、各コドラートでは、水深流速、河床材料割合（巨礫・大礫・中礫・小礫・砂）、底質粗度の測定を行った。0.25mm-meshサーバネットを使用し、コドラート内底生動物をすべて採集した。採集物はホルマリン固定した後に実験室に持ち帰り、ソーティングの後に可能な限り細かいレベルまで同定、個体数を測定して、後の解析に用いた。

解析は、河床に存在する細粒河床材料の量に対し、生息密度が良く反応する種を抽出し、それらから土砂影響を予測できるモデルを構築することを目的とした。過去の文献などから、細粒河床材料を利用して生活していると考えられる種（生活型が掘潜型・携巣型に分類されるもの⁶⁾）を目的変数に、また、低質粗度・砂被度・小礫被度（%）を説明変数（平均=0、SD=1に標準化）とした、一般化線形混合モデル（GLMM）を用いて、予測式を構築した。GLMMとは、ランダム効果と固定効果の混合モデルであり、ランダム効果としてランダム切片や傾きを扱うことができる。GLMMはポアソン分布を誤差分布として用い、7ダム間および、UT・DTなどサイト間の効果を、階層

性のあるランダム切片とした。これにより、複数ダムでの様々な生息場所における、ある程度一般的な土砂の影響を考慮することができると考えられる。固定効果として砂割合、小礫割合、底質粗度の各要因を組み込んだ。

予備的に、負の二項分布モデルやGLM、ランダム効果1つのモデルなども検討したが、GLMMを用いた場合にAIC（赤池情報量基準）が最小となったため、GLMMを採用することとした。例えば、ヤマトビケラ科を例にあげると、ダムと調査地の効果を考慮したGLMMではうまく予測できているが、ランダム効果1つのGLMMやGLMでは土砂環境要因によってヤマトビケラの個体数がうまく予測できていないことがわかる（図.2）。このことは複数ダムでの結果をまとめる際に、GLMMなどのランダム効果を考慮したモデルを検討する必要があることを示唆している。

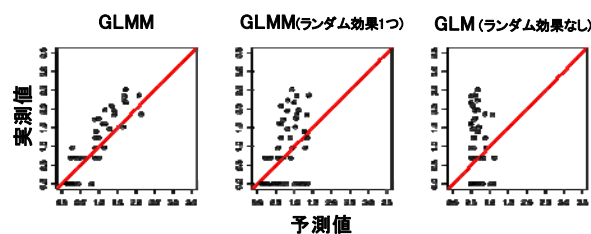


図2 ヤマトビケラ科に対する各モデルの予測値と実測値の関係：GLMM（ランダム効果1つ）はランダム効果としてダム間の違いを含めている。

3. 結果と考察

GLMMで構築したモデルの結果、トビケラ・二枚貝・甲虫など多くの分類群の種が、土砂指標モデルとよくフィットし、指標種となる可能性があることが示唆された（図.3）。その中でも色丸で示された、小礫や砂などの中に潜って生息するシジミ科、トビイロカゲロウ科、ヒメドロムシ科、また、砂を巣材として用いるヤマトビケラ科、ヒメトビケラ科、グマガトビケラ科の各種類では $R^2 > 0.7$ となり、河床に存在する細粒河床材料の量によって、その種の生息密度（分布）をよく説明できることが明らかとなった。これら6種の底生動物は、河床に存在する細粒河床材料の指標として扱える可能性が高い。そこで、実際にこれら6種が指標となりうるかどうかを、これまで我々が河床環境と底生動物の調査を併せて行ってきた中部地方の

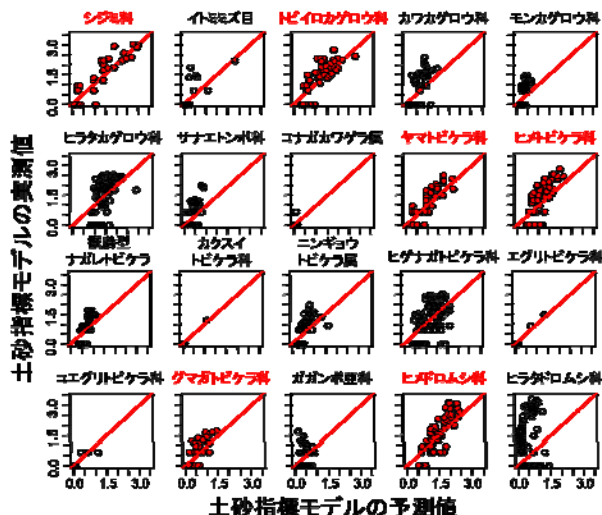


図 3 GLMMで構築された土砂指標種モデルの予測と実測値の関係：色丸で示された種は、当てはまりがよい種類を示す。

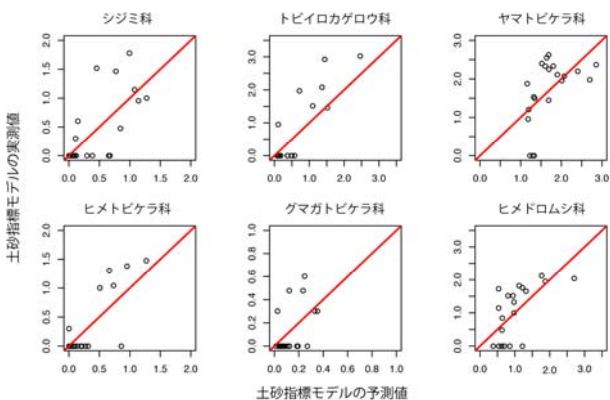


図 4 阿木川、矢作川でのデータを用いた GLMM で構築された土砂指標種モデルの予測と実測値の関係

ダム河川 2 つ（阿木川ダム⁴⁾ および矢作第 2 ダム³⁾）においても GLMM を用いて検証した。その結果、6 種ともが土砂指標モデルと有意によくフィットしたことから（図. 4）、これら 6 種の底生動物が細粒河床材料に関する指標種となりうることが示された。

しかしここで「はじめに」で触れた指標種選定の条件「②見付けやすく調査が容易であること」を考えると、河床を掘り返さなければ発見できない掘潜型のシジミやヒメドロマシよりも、河床表面に生息する携巢型のほうが、見つけやすいという条件をより満たしていると考えられる。また、その携巢型の中でも比較的大きなサイズの携巢を持つヤマトビケラは、礫表面に分布していることが多いため非常に見つけやすい。そのため、ヤマトビケラは細粒河床材料に関する指標種として最も適していると考えられる。

そもそも、ヤマトビケラ科は自然河川に広く分布す



図 5 ヤマトビケラ（右）とその携巢（左）：携巢を脱がせた状態で撮影。通常は体全体が巢の中にある。バーは 1 mm

る普通種で、どのような川にも普通に見ることができ（図. 5）。しかしその一方で、ダム下流においては、生息密度が非常に小さくなることが報告されている種でもある⁷⁾。この種は主たる巢材として極粗粒砂（φ1~2mm：片野未発表データ）を用いることから、生息場所にはある程度の細粒河床材料が存在していることが必要であると考えられる。一方で、ヤマトビケラは付着藻類を強力に摂食する藻類食者であり、付着藻類がよく生える安定した大礫や巨礫などの大きな河床材料も生息場所として必要であると考えられる（細粒河床材料だけの河床では、餌である付着藻類が不足する場合が多いと考えられる）。すなわち、ヤマトビケラが普通に生息する状態は、河床に細粒から粗粒までの河床材料が適度に揃う状態を指標していると想定できる。加えて、昨年度の報告書においても報告したことであるが、阿木川ダム下流での土砂還元の前後で、ダム下流の底生動物相を調査した結果、土砂還元前にはダム下流においてほとんど生息していなかったヤマトビケラが、土砂還元後には第 1 位の優占種として生息するようになった（表 1）⁵⁾。このことから、ヤマトビケラは土砂還元による細粒河床材料の増加に対し顕著に反応する種であり、指標種として有用であることがうかがえる。

表 1 阿木川ダムでの土砂還元前後における底生動物優占種：還元前は 3 月中旬、還元後は 8 月中旬の個体数ベースデータを示す。

| | 土砂還元前 | 土砂還元後 |
|----|-----------|----------|
| 1位 | エリュスリカ亜科 | ヤマトビケラ |
| 2位 | アカマダラカゲロウ | マダラカゲロウ属 |
| 3位 | フタバコカゲロウ | エリュスリカ亜科 |

N. まとめ

平成 20 年度の本研究は、土砂還元による細粒河床材料の増加を適切に指標化できる指標種を抽出することを目的として、近畿地方の複数のダム河川において野外調査および解析を行った。なるべく多くのダム河川に適応できる普通種であること、見付けやすく調査が容易・安価であること、河床に強く依存して生息

することなどの条件から、携巢型・掘潜型の底生動物を候補として挙げ、各種の生息密度を目的変数に、河床の細粒河床材料を説明変数としたGLMMによる解析を行った結果、ヤマトビケラが最も指標種として有用であることが示された。平成20年度の成果からは、土砂還元の効果的な生態系機能修復効果を持たせるため、ヤマトビケラの生息密度を指標として、還元土砂量や還元頻度などを十分に検討すべきであることが示唆された。ただし、解析方法の特性により、ヤマトビケラ密度と細粒河床材料量の具体的な数値の一致を明示的に示すまでは至っていない。底生動物の中でヤマトビケラは指標種として最も有用ではあるが、実際の指標種として扱うには、今後新たなモデルを組むなどの手法により、あるヤマトビケラ密度が、どの程度の細粒河床材料量を意味しているのかを明示的に示せるようにする必要がある。これは、今後の課題となると考えられる。

参考文献

- 1) Poff NL, and Hart DD.: "How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. *Bio Science* 52:659-668, 2002.
- 2) 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、pp.153-164、1999.
- 3) Takao A, Kawaguchi Y, Minagawa T, Kayaba Y: "The relationships between benthic macroinvertebrates and biotic and abiotic environmental characteristics downstream of the Yahagi dam, central Japan, and the state change caused by inflow from a tributary", *River Research and Applications*, 24, pp.580-597, 2008.
- 4) Katano I, Negishi JN, Minagawa T, Doi H, Kawaguchi Y, and Kayaba Y: "Longitudinal macroinvertebrate organization over contrasting discontinuities: effects of a dam and a tributary", *Journal of North American Benthological Society*, 28, in press, 2009.
- 5) 萱場祐一、片野泉、皆川朋子：「土砂還元によるダム下流域の生態系修復に関する研究」、2007年度土木研究所重点プロジェクト報告書、2008.
- 6) 竹門康弘：「底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態系評価」、*日本生態学会誌*、55、pp.189-197、2005.
- 7) Wootton JT, Parker MS, and Power ME.: "Effects of disturbance on river food webs", *Science*, 273, pp.1558-1561, 1996.

STUDY ON RESTORATION OF RIVER ECOSYSTEMS IN DOWNSTREAM REGION OF DAM BY THE SEDIMENT REPLENISHMENT

Abstract : To establish indicator species for estimating the effects of sediment replenishment on the downstream ecosystems of dams, we investigated the densities of macroinvertebrates and the factors of river bed compositions at the seven dammed rivers in Kinki region of Japan. Case-bearer and burrower families would be nominated as the indicator species, since their densities were strongly correlated to the river bed condition, especially amounts of fine riverbed materials. Generalized linear mixing models showed that many case-bearer and burrower families were able to approve as the indicator for river bed conditions, and that *Glossosoma* spp. was the most useful indicator. Such indicator density would provide important information to determine the amounts and frequency of sediment replenishment on the dammed rivers for restoration of downstream ecosystems.

Key words : indicator, sediment replenishment, fine riverbed materials, GLMM, *Glossosoma*