

特集：水系一貫した土砂輸送に向けて

土砂供給量の変化が底生動物相に及ぼす影響 ～矢作第2ダム下流域の底生動物相の調査結果から～

萱場祐一* 皆川朋子**

1. はじめに

洪水時に流下する流砂は流水との相互作用により瀬・淵をはじめとする河川地形の形成、河床の粒度組成を支配し、魚類を始めとした水生生物の生息環境に影響を及ぼす。また、河床近傍を流下する掃流砂は、付着藻類の剥離を促進し、付着藻類を摂食する水生生物に影響を及ぼす。

提高の高い貯留型のハイダムは、土砂の流れに影響を与え、幾つかの経路を経てダム下流域の生物に影響を及ぼす可能性がある。しかし、ダム下流の水域生態系の応答は、土砂の流れだけでなくそれ以外の幾つかの要因が複合的に作用した結果であることに注意する必要がある。

例えば、付着藻類、底生動物、魚類といった主として水中で生活する生物相への影響を検討する際に考慮すべき環境要因としては、流況、土砂供給（結果として生じる土砂動態）、濁度、水質、水温、餌資源があげられる。これら環境要因の改変に伴う生物相への応答プロセスは、①生物への直接的経路、②地形、底質、餌資源を介した間接的経路、③生物相互間の関係に伴う経路、が想定される。従って、土砂の流れを人為的に改変し、生物相への応答を評価する際には、1) 土砂の流れ以外に改変される環境要因はないか？、2) 土砂の流れを含む環境要因の人為的な改変は、どの経路を通して生物相に影響するか？の2点について、十分整理しておく必要がある。

図-1に、各環境要因が付着藻類、底生動物、魚類に影響を及ぼす経路を整理した。全ての経路について両者の関連性が報告されているわけではないが、ここではダム下流のインパクトを系統的に整理することを目的として、想定し得る経路を全て記載した。各環境要因が水生生物に直接影響する経路だけでなく、土砂の改変が地形・底質（河床材料の粒度組成、浮石・沈石等の違い）の

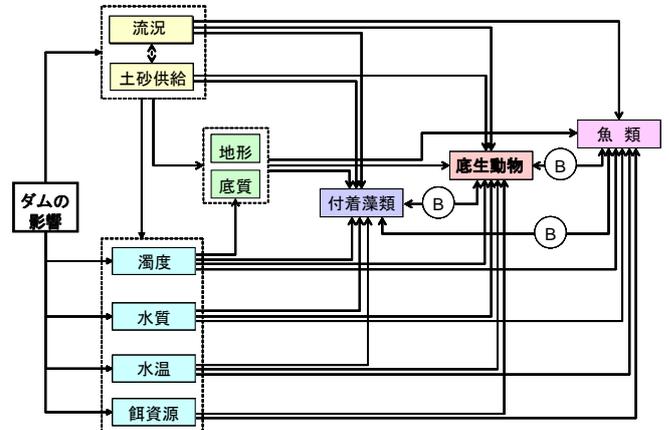


図-1 ダム下流における環境要因の変化と水生生物の応答経路の例 (ⓑは生物相互作用の経路を示す)

変化を介して水生生物に影響を及ぼす間接的経路が示されている。ただし、間接的経路については今のところ研究事例が極めて少なく、その詳細は明らかになっていない。ダム下流における付着藻類-底生動物-魚類間の生物相互作用を介した経路についても研究例は少なく、その実態は判然としない。しかし、自然河川における付着藻類の成長・質が底生動物や魚類に影響を及ぼす効果（ボトムアップ効果）、魚類が底生動物や付着藻類に影響を及ぼす効果（トップダウン効果）についての研究、すなわち、図中のⓑとなっている経路については研究例は比較的多い。

さて、以下からは、中部地方の矢作第2ダム下流において実施した底生動物の生息状況と環境要因との関係についての調査結果¹⁾を紹介しよう。この事例では、土砂を含む底生動物の生息に関する環境要因に関するデータを取得し、ダムによる土砂供給量の減少が底生動物に及ぼす影響を有る程度分離することに成功している。特に、ダム下流に流入する支川明智川からの土砂供給がダム直下に見られる底生動物相の回復に寄与する傾向が見られる点に注目してほしい。ただし、本事例は、河道内の瀬における底生動物の応答のみを対象としたため、図-1に見られる全ての経路を明らかにしていない。

Effects of altered sediment supply on benthic macroinvertebrates, in the downstream sections of the Yahagi 2nd dam.

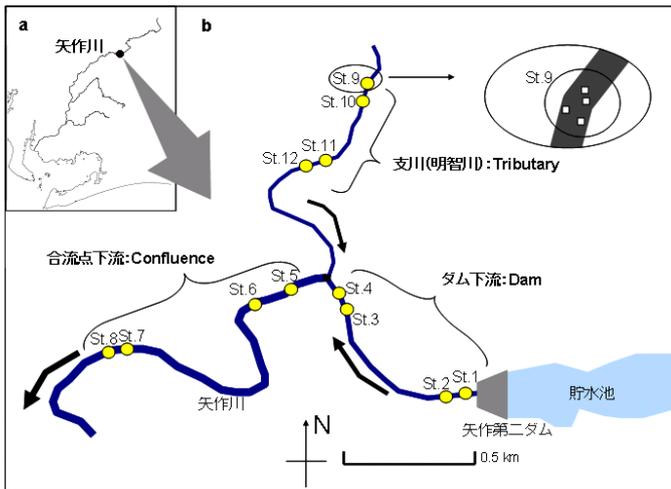


図-2 3つの調査区と調査サイト (St.1~12)

2. 調査方法

2.1 調査地概要

矢作第二ダムは、伊勢湾に注ぐ矢作川（流路延長117km、流域面積1830km²）の上流部（河口より78km地点、海拔約200m）に位置する発電を目的とした重力式コンクリートダムで、1970年に竣工した。流域の周辺地質は両雲母花崗岩で、土砂が河川に供給されやすい砂河川である²⁾。なお、矢作第二ダムの直上流部には、洪水調節、かんがい、水道用水の供給および発電を目的とした矢作第一ダム（集水面積504.5km²、竣工1970年）がある。

調査区間は、矢作第二ダム直下から支川（明智川、集水面積89.5km²）が合流するまでの約0.8km区間（ダム下流）、支川下流部約0.5km区間（支川）、および支川合流点から下流約1.2km区間（合流点下流）の3区間とした（図-2）。各調査区には明瞭な瀬淵構造が見られたが、平均河床勾配、水深および流速といった物理環境要素を揃えるため、調査対象サイトは早瀬に限定し、それぞれ4サイト、計12の調査サイト（St.1~12）を設けた。底生動物の採取地点は各調査サイトにランダムに4地点設けた。

2.2 調査方法

調査は、ダムからの放流量が比較的少なく流量の安定した冬季の2004年2月に実施した。調査項目は、底生動物とその生息に関する環境要因とした。

2.2.1 物理環境の計測

底生動物採取地点（コドラート50cm×50cm）

表-1 調査区概要

	ダム下流	合流点下流	支川
河床勾配	1/104	1/170	1/112
川幅(m)	13.1	12.6	9.4
水深(cm)	34.9	30.2	31.5
流速(cm/s)	49.8	41.8	57.4

の流速、水深を測定し、表層河床に占める砂 (<2mm)、小礫 (2-16mm)、中礫 (17-64mm)、大礫 (65-256mm)、巨礫 (>256mm) の割合を目視で読み取り記録した。表-1に各調査区の河床勾配、川幅、底生動物採取地点の水深、流速の平均値を示す。

また、各調査区間のそれぞれ2サイト（St. 1、3、5、7、9、11）の河床に3基の流下土砂トラップ（間口20×30cm、メッシュサイズ250μm、長さ1m）を設置し掃流砂を採取した。

2.2.2 流下粒状有機物の採取

流下粒状有機物は、濾過食者（懸濁態有機物を網や口器など体毛で濾過して食べる底生動物群）の餌資源として利用される。掃流砂の採取と同じサイトにおいて、ドリフトネット（開口25×25cm、メッシュサイズ250μm、長さ0.8m）を3つ設置し採取した。採取した粒状有機物は、0.25mm以上1mm未満のもの（FPOM; Fine Particulate Organic Matter）と1mm以上のもの（CPOM; Coarse Particulate Organic matter）に分け、さらにFPOMから動物プランクトンを取り出し、動物プランクトンの乾燥重量、流下FPOM及び流下CPOMの強熱減量を測定した。

2.2.3 底生動物と堆積有機物の採取

底生動物と堆積有機物の採取は、サーバーサンプラー（コドラート50cm×50cm、メッシュサイズ500μm）を用いて深さ10cmまでの河床材料を採取した後、底生動物と粒状有機物をソーティングした。底生動物は同定・計数し、タクサごとの湿重量を測定した。粒状有機物はFPOM（堆積FPOM）とCPOM（堆積CPOM）に分けた後、強熱減量を測定した。なお、堆積有機物は、堆積物食者（堆積粒状有機物を摂食する底生動物群）の餌資源として利用される。

上記の他、水質、水温を調査したが、底生動物相に影響を与えるほどの違いはみられなかった。

3. 底生動物相と環境要因の関係

3.1 環境要因の特徴

調査区間で差が認められた環境変量は、砂、小礫の割合、掃流砂量、流下動物プランクトン量（主にゾウミジンコ）及び堆積FPOM量であった（図-3、4）。ダム下流では、砂や小礫の抜けおちが生じ、巨石の割合が大きく、粗粒化の傾向がみられた。また、掃流砂量はダム下流では小さく、支川では大きかった。これに対し、支川合流点下流では、粗粒化の傾向はやや緩和され、掃流砂量もダム下流より大きかった。これらは支川から土砂が供給されたことによるものと考えられた。ダム湖で増殖した動物プランクトン流下量については、ダム下流で大きく、合流点下流では約半分に減少していた。堆積FPOM量は、ダム下流及び合流点下流では大きく、支川では小さかった。

3.2 底生動物相の特徴

図-5に各調査区の出現タクサ数、総個体数、Simpsonの均衡度³⁾、表-3に優占5位までのタクサ（分類群）とそれらの「生活型（底生動物の形態や生活の仕方による分類）」及び「摂食機能群（底生動物の餌の種類や摂餌方法に着目した分類）」、図-6に各摂食機能群の割合（現存量）を示した。ダム下流の底生動物相の特徴として、①出現タクサ数は小さく、現存量は大きく、Simpsonの均衡度が小さいこと（一部のタクサの現存量が大きい）、②生活型では造網型（石面に

流下有機物を捕らえる網と巣を造り生息する）や固着型（石面に固着あるいは巣を固着させその中に生息する）、③摂食機能群では濾過食者や堆積物食者の現存量が大きいことがあげられた。一方、支川や合流点下流では、匍匐型（石面を歩いて移動する）、刈取食者（石面の付着藻類を摂食する）や補食者（生きた動物を摂食する）が優占し、ダム下流とは異なっていた。特に支川優占1位、合流点下流優占3位のヤマトビケラ属（刈取食者）は、ダム下流ではほとんど確認されなかった。

3.3 底生動物相と環境要因との関連性

2元指標種分析（TWINSPAN; Two-way Indicator Species Analysis）により、各試料の底生動物群集とタクサを分類した結果、合流点下流の底生動物相は支川に類似し、ダム下流の底生動物相とは異なっていた。また、底生動物相と環境要因との関連性について解析（群集の類似度を非計量的多次元尺度構成法（NMS; Non-metric Multidimensional Scaling）で解析した後、NMSスコアと環境要因を相関分析した）した結果、河床材料の粒度組成、動物プランクトンの流下量及び堆積FPOM量の違いが、調査区間の底生

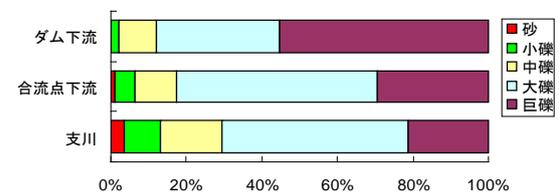


図-3 表層河床材料の粒度組成

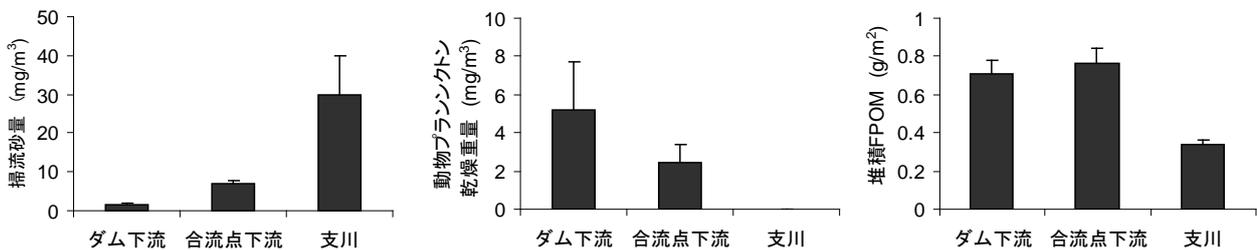


図-4 各調査区の掃流砂量、流下動物プランクトン量、堆積FPOM量（平均値及び標準偏差）

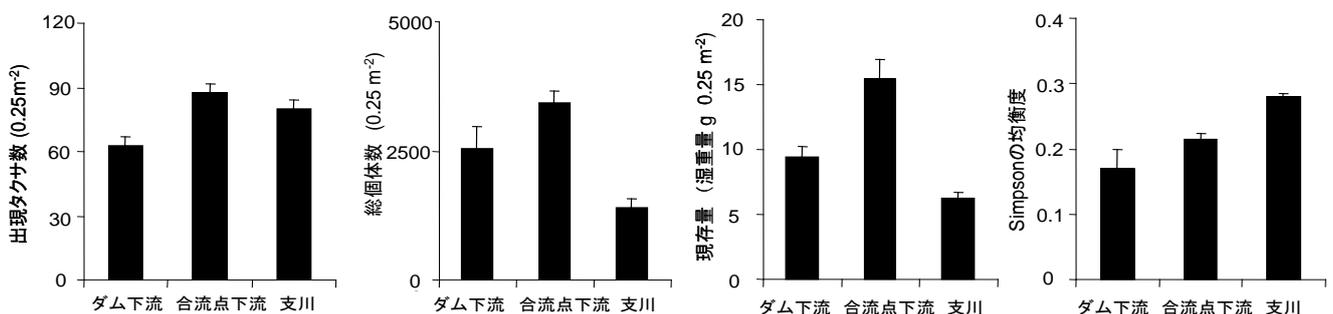


図-5 各調査区の底生動物の出現タクサ数、総個体数、現存量、Simpsonの均衡度（平均値及び標準偏差）

表-3 優占タクサとそれらの「生活型」と「摂食機能群」

調査区	順位	タクサ	生活型*1	摂食機能群*2
ダム下流	1	ヒゲナガカワトビケラ	造網型	濾過食者
	2	ウスバヒメガガンボ属	固着型	堆積物食者
	3	ウルマーシマトビケラ	造網型	濾過食者
	4	アシマダラブユ属	固着型	濾過食者
	5	コガタシマトビケラ属	造網型	濾過食者
合流点下流	1	ヒゲナガカワトビケラ	造網型	濾過食者
	2	チャバネヒゲナガカワトビケラ	造網型	濾過食者
	3	ヤマトビケラ属	匍匐型	刈取食者
	4	ナカハラシマトビケラ	造網型	濾過食者
	5	ウルマーシマトビケラ	造網型	濾過食者
支川	1	ヤマトビケラ属	携巢型	刈取食者
	2	ナミヒラタカゲロウ	匍匐型	刈取食者
	3	カミムラカワゲラ	匍匐型	捕食者
	4	ヒゲナガカワトビケラ	造網型	濾過食者
	5	オオマダラカゲロウ	匍匐型	捕食者

*1 底生動物の形態や生活の仕方に着目した分類(津田 1962)

*2 底生動物の餌や摂餌方法に着目した分類(Merritt & Cummins 1996)

動物相の違いを説明する主な因子であることが明らかになった。ダム下流で優占した固着型のウスバヒメガガンボ属、アシマダラブユ属などは、大きな礫に好んで生息すると言われている⁴⁾。ダム下流におけるこれらの増加には、巨礫の割合が大きいことが関与していると考えられた。一方、支川や合流点下流で優占したヤマトビケラ属は、河床表面の砂を口から吐いた絹糸で固め巣を造り、これを携巢しながら移動し、礫表面の付着藻類を摂食する。齢期ごとに古い巣を破棄し新しい巣を造るため、その生息には粒径2mm以下の砂が必要であるとされている⁵⁾。砂がみられないダム下流ではその生息が阻害され、支川合流後は、支川からの供給土砂によって砂が増加し、生息が可能になったものと推察された。これらのタクサは、巨礫の割合の増加や砂分の抜け落ちなどの河床材料の粒度組成の変化を示す指標種となり得るものと考えられた。また、ダム下流で優占した濾過食者は、流下動物プランクトン量との間に強い対応関係がみられ、ダム湖で増殖した動物プランクトンの流下が、有機物を摂食する濾過食者の餌環境を有利にしたと考えられた。堆積物食者については、それらの餌となる堆積FPOM量と対応関係がみられた。

4. おわりに

生物相の変化は幾つかの環境要因の変化が複合的に作用した結果として引き起こされる。今回のケースでは、土砂供給量の減少、動物プランクトンの増大などに起因しダム直下の底生動物相が変化していた。ただし、支川合流によって、これらが緩和される傾向を示したことから、環境要因と

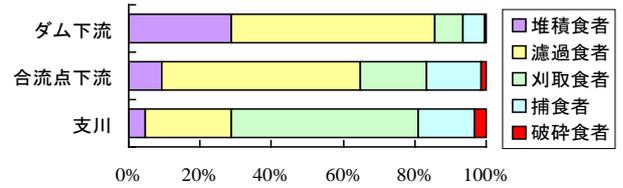


図-6 各摂食機能群の割合

生物相との関連性は流下方向にきめ細かく評価する必要があるだろう。特に、相対的に小さい集水面積（本ケースでは本川に対しておよそ20%の集水面積）の支川流入であっても、底質の改善と底生動物相の回復に寄与する可能性が確認できたことから、支川合流に伴う土砂供給量の増加を今後適切に評価することが必要になるだろう。また、ヤマトビケラ属等の刈取食者の減少が付着藻類相を変化させることは既に数多く報告されている。今後これらの生物相互関係を加味し、土砂供給量減少の影響を生態系の変化として捉えていくことも必要になるだろう。

参考文献

- 1) Takao A, Kawaguchi Y, Minagawa T, Kayaba Y, and Morimoto 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
- 2) 森山昭雄、浅井道広：矢作川河床堆積物と給源岩石の造岩鉱物との粒度組成関係、*地理学評論* 53, pp. 557-573、1980
- 3) Simpson E H.: Measurement of diversity. *Nature*, 163, p.688, 1949
- 4) 津田松苗：水生昆虫学、pp239-240、北陵館、1983
- 5) Statzner B, Merigoux S, Leichtfried M.: Mineral grains in caddisfly pupal cases and streambed sediments: resource use and its limitation through conflicting resource requirements, *Limnology and Oceanography* 50, pp.713-721, 2005

萱場祐一*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ自然共生研
究センター 総括主任研究
員、博士(工学)
Dr. Yuichi KAYABA

皆川朋子**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ自然共生研
究センター 主任研究員、
博士(工学)
Dr. Tomoko MINAGAWA