

土砂還元による礫河原回復に伴う 陸生生物の生息環境の改善

坂口 幸太¹・大島 正憲²・松浦 崇裕³・有田 由高⁴

¹ 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)
E-mail: yt-sakaguchi@yachiyo-eng.co.jp

² 正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)
E-mail: ms-oshima@yachiyo-eng.co.jp

³ 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)
E-mail: tk-matsuura@yachiyo-eng.co.jp

⁴ 四国地方整備局 那賀川河川事務所調査課 (〒774-0011 徳島県阿南市領家町室ノ内 390)
E-mail: arita-y8810@mlit.go.jp

長安ロダムでは、貯水池の堆砂対策や下流河川の環境改善を目的として、堆砂した土砂を掘削しダム下流へ運搬・置土して下流河川へ土砂還元を実施している。本論文では、土砂還元による河道の陸域環境への改善効果を把握するために、陸上昆虫類と河床材料の多様度の関係について分析した。既往の昆虫類調査結果と河床材料調査結果を基に、上流にダムがなく自然的な土砂供給がある上流区間、土砂供給が少なく河床の粗粒化が進んでいる区間、土砂還元が行われている区間、還元土砂が未到達区間、以上の 4 区間に分けて比較検討した。結果として河床材料の多様度が高いほど、陸上昆虫類の種数・個体数が増加する傾向が見られた。これは土砂還元による礫河原回復が、陸域生態系の基部に位置する陸上昆虫類の種数・個体数の増加をもたらし、河道の陸域環境改善へ及ぶことが示唆された。

Key Words: sediment supply, Simpson Diversity index, terrestrial environment, terrestrial insects

1. はじめに

ダム貯水池の堆砂問題は、ダム本来の機能を適切に発揮させていく上で重要な課題となっている。また、ダムの存在により上流からの土砂移動が遮断され、ダム下流河川の河床のアーマースコート化を引き起こすなど、課題となっている例もある。これらの対策の一つとして、ダム貯水池に流入・堆砂した土砂を掘削し、ダム下流河道へ運搬・置土し、出水により下流河川へ土砂を還元する事業が施行されている（土砂還元）。近年では、堆砂対策と合わせて下流の河川環境の改善を目的として土砂還元を実施している事例が多くのダムで報告されている。

この土砂還元により下流河川では、河床低下の抑制やアーマースコート化の解消等の物理環境の変化が想定できる。これまで土砂還元による河川内の物理環境変化（瀬淵環境の創出等）が魚類や底生動物等の水生生物の生息環境を改善する効果は把握されてきた¹⁾²⁾。一方、土砂還元が下流の陸生生物の生息環境に与える効果について明確に分析・検証された事例は少ない。

本研究では、国内で最大規模の土砂還元を実施している那賀川（図-1 参照）の事例を対象に、河川の物理環境および生息生物等のモニタリング調査結果を整理し、土砂還元による河川環境の変化が陸上昆虫類に与える効果について明らかになったことを報告し、土砂還元の実施と陸域生態系の関係性について考察する。

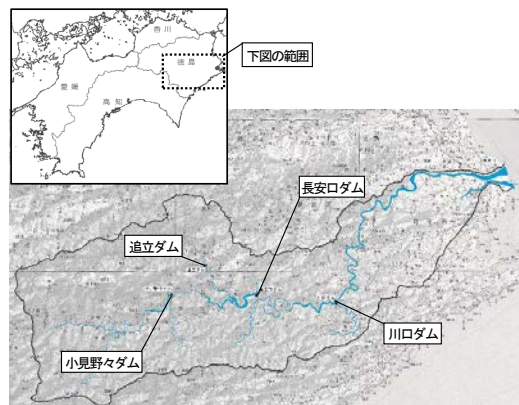


図-1 那賀川流域

2. 研究内容

(1) 長安ロダムにおける土砂還元の取組み概要

那賀川は徳島県南部に位置する一級河川である。上流域は急峻な山地で秩父帯の脆弱な地質が分布しており、全国有数の多雨地帯でもあるため土砂生産が活発である。特に昭和 51 年及び平成 16 年をはじめとした土砂災害を伴う洪水によって、大量の土砂が長安ロダムに流入して堆砂が進行し、流域の治水安全度に関する大きな課題となっている。このような状況の中、長安ロダムは治水・利水・環境面の機能改善を行う長安ロダム改造事業に着手し、堆砂対策として、堆砂の掘削除去および堆砂掘削土砂を長安ロダム直下に置土し土砂還元を実施している。この土砂還元は平成 19 年度以降、令和 2 年度まで約 1,200 千 m^3 が流下している（図-2 参照）。

土砂還元の取組にあたっては、那賀川流砂系の土砂問題解決に向けて、関係機関がより一層の連携を図るための「那賀川総合土砂管理検討協議会」や技術的見知からの助言を行うための「那賀川総合土砂管理技術検討会」を平成 28 年から実施している。また、以上の取組内容は「那賀川の総合土砂管理に向けた取り組み 中間とりまとめ（H30.3）」³⁾で現状と課題、モニタリング内容について具体的な情報を発信している。

(2) 土砂還元による河川環境の変化

長安ロダム下流から川口ダム上流の区間（川口ダム上流区間）は、出水による置土の流下に伴い、物理環境の変化が生じている区間である（図-3、図-4 参照）。そのため、土砂還元による河川環境への影響を把握することを目的として、平成 20 年度より環境調査を実施し、長安ロダム下流域の河川環境の実態把握を行っている。特に、平成 26 年に戦後最大、平成 27 年に戦後第 3 位の大規模出水が生じ、河原の河床材料や河床形状・瀬淵分布に大きな変化が生じている（図-3 参照）⁴⁾。この河川環境変化を受けて、土砂還元による河川環境変化の効果を把握するため、平成 27 年～平成 29 年に川口ダム上流～長安ロダム区間において環境調査を集中的に実施した。この環境調査と平成 29 年度に実施したグリーンレーザー測量（ALB）の結果から土砂還元による瀬環境の増加が魚類の多様度を上昇させることが明らかになってきた⁵⁾。

(3) 現地調査の概要

平成 27 年～平成 29 年に実施した環境調査に続き、平成 30 年から図-4 に示す地区で、陸上昆虫類調査と河原の河床材料調査を実施している。陸上昆虫類の調査地区の特徴は以下の通りである。

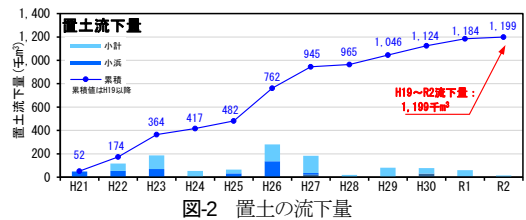


図-2 置土の流下量



図-3 置土実施前後の河床状況の変化（H21，H29）

- (i) 上平地区：小見野々ダム上流に位置し、自然状態の土砂供給があり、石、礫、砂等が幅広く確認される。
- (ii) 小見野々ダム下流地区：土砂供給が少なく、岩や大石等が多くを占め、それらの間に砂や細礫がわずかに確認され、粗粒化が進んでいる。
- (iii) 小計地区：置土の礫が到達しており、礫間に細礫や砂が堆積しているのが確認される。
- (iv) 仁宇地区：置土の礫が未到達であり、大～中サイズの石が優占し、礫間に砂の堆積が確認される。

陸上昆虫類調査は各調査地区において、任意採集法、ベイトトラップ、ピットホールトラップで実施している。調査時期は、平成 30 年度は秋季、令和元年度と令和 2 年度は夏季に実施した。

本研究では上流にダムが存在しない上平地区を対照区とし、置土の礫が到達している小計地区、土砂供給が少ない小見野々ダム下流地区や置土の礫が到達していない仁宇地区の陸上昆虫類相と河床材料の関係性を比較検討することで、土砂還元による河川環境の変化が陸上昆虫類に与える効果を分析した。

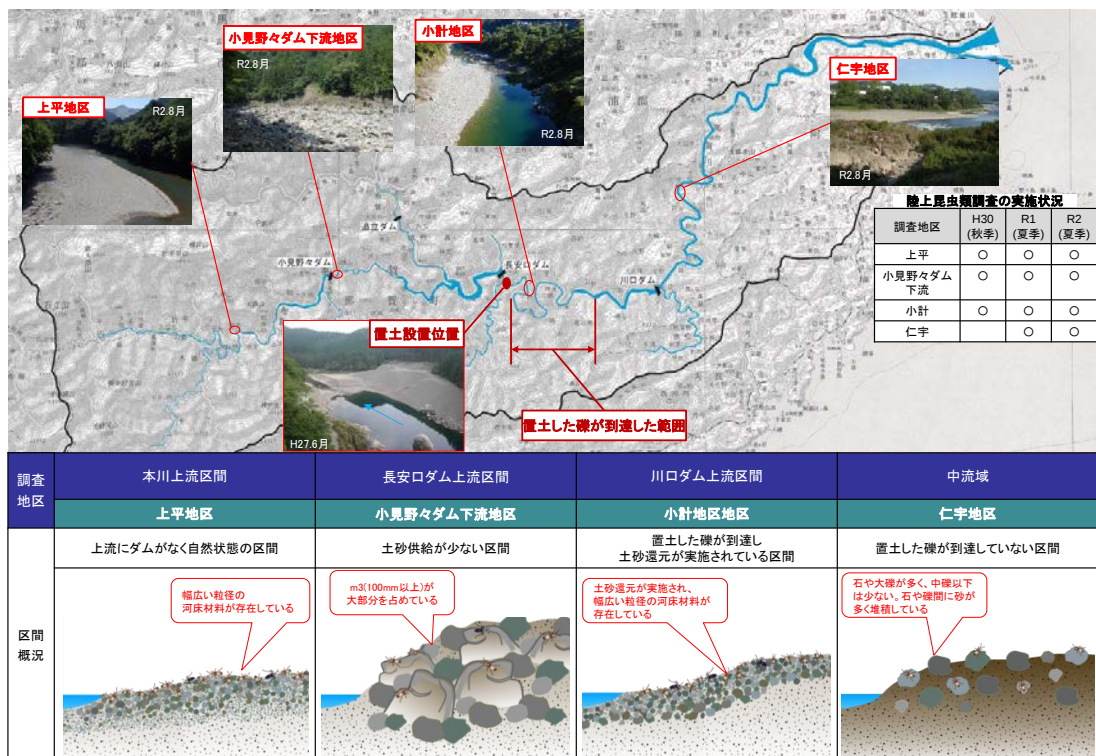


図-4 陸上昆虫類調査地点と置土設置位置、置土の流下範囲

3. 分析内容

(1) 物理環境の整理

陸上昆虫類の調査実施時に併せて調査地区の物理環境を把握するため、河原の河床材料の平面分布調査を実施している。調査範囲は陸上昆虫類の4つの調査地区周辺の河原である。調査方法は対象範囲の河床材料を2mm未満のs材、2～20mmのm1材、20～100mmのm2材、100mmより大きいm3材の4つに区分し、河原の優占河床材料を調査した。調査結果である河床材料の平面分布割合の経年変化を図-5に示す。

平成30年から令和2年にかけて置土が大規模に流下するほどの出水はなく、どの調査地区においても河床材料の大きな分布割合の変化は確認されなかった(図-5参照)。上平地区は他の地区に比べて河床材料の大きな偏りは確認されなかった。小見野々ダム下流地区は土砂供給が少ないことからm3材の粒径の大きな河床材料に偏っており、河原の河床材が粗粒化していることが示された。小計地区はm3材の割合が半数以上占めているが、粒径の小さなs材やm1～m2材も一定割合あり、置土による土砂還元の効果だと考えられる。仁宇地区はm3材が8割以上占めており、残りはほとんどがs材であり、細礫成分がほとんど確認されなかった。

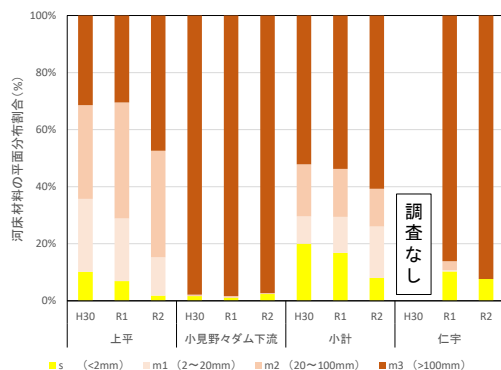


図-5 河床材料の平面分布割合の経年変化

(2) 陸上昆虫類調査の整理

平成30年から令和2年に実施された陸上昆虫類調査で10目83科221種が確認された。調査地区ごとの目別の陸上昆虫類の個体数を図-6に示す。上平地区ではコウチュウ目の割合が高く、コウチュウ目の中でもオサムシ科とゴミムシダマシ科が優占していた。小見野々ダム下流地区ではハチ目、特にハチ目アリ科が優占していた。小計地区では総個体数は比較的少ないが、上平地区同様にコウチュウ目の割合が高く、オサムシ科とコメツキムシ科が優占していた。仁宇地区は個体数のバラツキが大きく、令和元年度はハチ目が優占し、令和2年度はハチ目とコウチュウ目が優占していた。

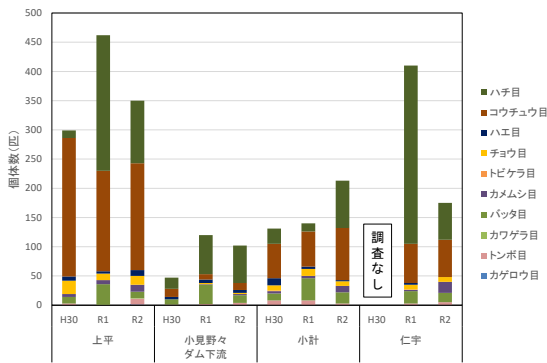


図-6 調査地区ごとの目別の陸上昆虫類の個体数

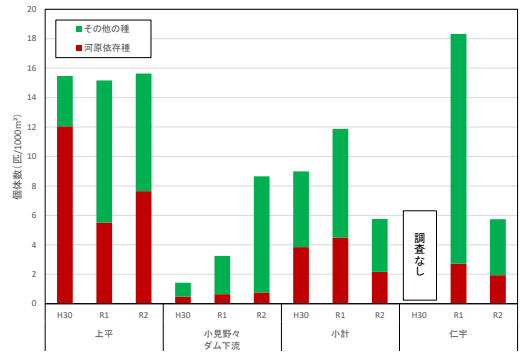


図-7 河原の単位面積当たりの個体数

表-1 これまで確認された河原依存種とそれらが依存する河床粒径・生息環境

No.	目名	科名	和名	H30 秋季			仁宇	R1 夏季			仁宇	R2 秋季			仁宇	依存する河原の河床材料(mm)			
				上平	小見野々ダム下流	小計		上平	小見野々ダム下流	小計		上平	小見野々ダム下流	小計		シルト ~0.075	砂 0.075~2	礫 2~100	石 100~500
1	バッタ目	ヒバリモドキ科	カワラスズ	1	6	0		9	17	2	1	1	0	0					
2		ビシバタ科	ニセハネナガヒシバタ	0	0	0		1	0	1	0	0	0	0					
3	コウチュウ目	ホソクビゴミシ科	コホソクビゴミシ	68	1	8		11	0	8	1	14		12	4				
4		オサムシ科	コアオマルガタゴミシ	0	1	0		0	0	0	0	0	0	0					
5			スジズアトギリゴミシ	0	1	2		1	0	0	0	1	4	10	0				
6			ヨソボシズギワゴミシ	2	0	0		0	0	0	0	0	0	0					
7			カワチゴミシ	45	1	3		0	0	0	0	0	0	0					
8			ヒメカワチゴミシ	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0					
9			クロヒゲアオゴミシ	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0					
10			ノグチアオゴミシ	8	0	0		42	0	16	18	122	0	20	2				
11			カワチマルクビゴミシ	1	0	2		0	0	0	0	0	0	0					
12			オオマルクビゴミシ	18	0	7		0	0	0	0	0	0	0					
13			ヒラタコズギワゴミシ	0	0	0		0	0	1	0	0	0	0					
14		ハンミョウ科	ナミハンミョウ	1	5	8		0	7	7	2	1	4	3	0				
15			ヒメサビキコリ	7	0	2		26	0	4	1	1	0	28	35				
16			Fleutiauxellus属	0	1	0		1	0	14	0	0	0	2	1				
17		ゴミシシダマシ科	ヒメスナゴミシシダマシ	73	0	24		69	0	0	2	16	0	4	0				
18			ホソスナゴミシシダマシ	8	0	0		8	0	0	36	13	0	1	17				
種数の合計				10	7	8	-	9	2	8	7	9	3	8	5	S	m1	m2	m3
個体数の合計				233	16	56	-	168	24	53	61	171	9	80	59	2以下	2~20	20~100	100以上

本研究では河川の物理環境（河原の状況）と陸上昆虫類の関係を分析するため、河原環境に依存する種を対象とした。本研究では、河原依存種とは、既往文献^{9)~10)}を基に河原を構成する粒径等に関する生息環境を持つ種とした（表-1を参照）。調査で確認された河原依存種の中では砂礫に依存する種が多い傾向（18種中10種）があるものの、石やシルトに依存する種も含まれていた（表-1を参照）。

次に調査地区ごとの河原依存種の出現状況を確認する。上平地区で主な確認種は、砂に依存するヒメスナゴミシシダマシや礫に依存するノグチアオゴミシ、石に依存するコホソクビゴミシであった。小見野々ダム下流地区では確認された河原依存種の総個体数が約10~20と少なく、主な確認種は礫に依存するカワラスズであった。小計地区で主な確認種は、砂に依存するヒメスナゴミシシダマシや礫に依存するノグチアオゴミシと上平地区と類似した結果であった。仁宇地区で主な確認種は、砂に依存するホソスナゴミシシダマシやヒメサビキコリであった。

定量的な分析をするため確認個体数を密度で評価した。調査地区ごとの陸上昆虫類の個体数を図-7に示す。上流にダムがなく自然状態である上平地区では個体数密度

が安定しており、河原依存種の割合も高い傾向であった。一方、土砂供給が少ない小見野々ダム下流地区では年によって個体数密度の変動が大きく、河原依存種の個体数密度は一貫して低い水準であった。

(3) 河原依存種と物理環境の関係分析

一般に生息環境が多様なほど同所的に生息できる種数が増加することが知られている。ここでは河床材料を河原依存種の生息環境として扱い、その多様性と河原依存種の種数や個体数の間の関係性を分析した。

関係性を分析するに際し、河床材料の多様性については、河床材料の粒径分布から多様度を算出した。河床材料の多様度を算出するに際して、以下の式(1)に示すSimpsonの多様度指数⁹⁾を使用した。

$$1 - \lambda = 1 - \sum_{i=0}^S \left(\frac{n_i}{N} \right)^2 \quad 0 \leq 1 - \lambda < 1 \quad (1)$$

この多様度指数は0~1の範囲内で、1に近づくほど多様性が高いと評価できる。1-λ：Simpsonの多様度指数、S：4（s材、m1材、m2材、m3材）、n_i：河床材料毎の面積、N：対象範囲の河原の総面積である。

4. 研究の結果と考察

(1) 河床材料の多様度と河原依存種の種数・個体数の関係

調査地区の河床材料の多様度と確認された河原依存種の種数との関係について図-8、個体数との関係について図-9に示す。

河床材料の多様度と河原依存種の種数・個体数との間に正の相関があると考えられる(図-8, 図-9を参照)。特に河床材料の多様度が0.6以上で河原依存種の確認種数、個体数が多い傾向が確認された。

地区ごとに傾向を見ると、小見野々ダムの上流に位置する上平地区が最も種数、個体数ともに高い値が示された。その次に、高い値を示したのが小計地区であった。仁宇地区では河床材料の多様度が低く、種数・個体数ともに比較的少ない結果であった。小見野々ダム下流地区は河床材料の多様度が最も低く、個体数も他の地区に比べて低い結果であった。

河床材料の多様度が比較的近い上平地区と小計地区の結果には以下のような特徴がみられた。種数に関して、小計地区は上平地区とほとんど差がないのに対して(図-8を参照)、個体数に関しては小計地区と上平地区の間に大きな差が見られた(図-9を参照)。この上平地区と小計地区の個体数の差については、河原の攪乱頻度や周辺地域のソース個体群の規模の違い等、様々な周辺の環境要因が考えられる。

また、小見野々ダム下流地区では河床材料の多様度が低いにも関わらず、平成30年度は7種と比較的多くの種が確認された。これは偶発的に確認された種(1種1個体のみ:コホソクビゴミムシ、コアオマルガタゴミムシ、カワラチビゴミムシ等)が7種のうち5種と多く、高い値を示した(表-1を参照)。このように種数と河床材料の多様度を検討すると偶然確認された種が混在する可能性があり、個体数に比べて弱い相関関係になると考えられる。

(2) 土砂還元による物理環境変化が陸域生態系に与える効果

現在、置土の礫が到達している長安口ダム下流～川口ダム上流の区間(川口ダム上流区間)について、置土の礫未到達時(平成21年)は、現在の中流域(本研究では仁宇地区が相当する)と類似した瀬淵分布や河床材料分布であった。このことと、本研究における中流域の河床材料の多様度および河原依存種の種数・個体数の関係に基づくと、土砂還元前の川口ダム上流区間も河原依存種の種数・個体数が少なかったことが予測される。その後、現在まで土砂還元が継続的に実施され、河床材料が多様化することで河原依存種の生息に適した物理環境に

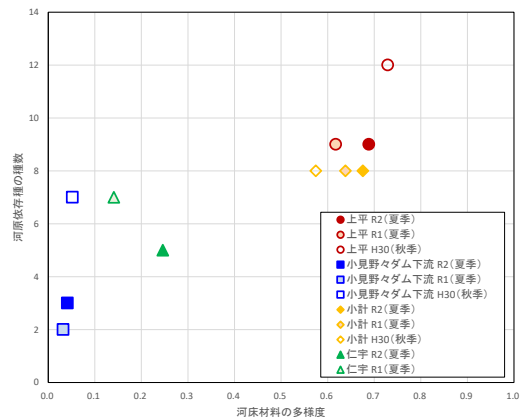


図-8 河原依存種の種数と河床材料の多様度の関係

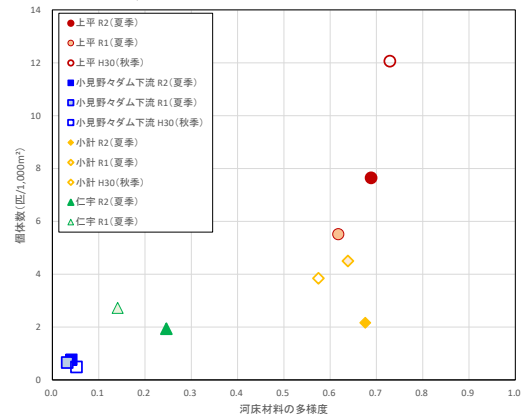


図-9 河原依存種の個体数と河床材料の多様度の関係

変化し、那賀川本来の自然的な環境である上平地区の環境に近づきつつあることが本研究で示唆された。

陸上昆虫類は陸域生態系の基部に位置し、陸上昆虫類が多様化することで上位の生態系への効果にも期待ができる。本研究においては、河道の陸域生態系として河原依存種に着目して分析し、那賀川の陸域生態系への改善効果や保全対策として、土砂還元による礫河原回復が有効な手法の一つとなり得る可能性が示された。

5. おわりに

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- (1) 河原の河床材料の多様度が高いほど、河原依存の陸上昆虫類の種数・個体数が多くなる傾向を示した。
- (2) 土砂還元が礫河原回復を介して、陸生生物の生息環境を改善し、河川の水域生態系にとどまらず陸域生態系への効果があると推察される結果を得た。

以上の結果から那賀川に生息する陸上昆虫類と河原の河床材料の多様度を分析したことで、土砂還元により河道の陸域生態系が改善されつつある効果を確認した。

さらに、今後の長期的な土砂還元の継続と土砂還元量

の変化に伴い、現在置土した礫が到達していない仁宇地区などの中流域～下流域にも礫が到達し、河床材料が多様化することで河原依存種の種数・個体数が増加することが想定される。

今後、中流域～下流域の河川環境が変化した際には、モニタリングを継続するとともに本研究で得られた河床材料の多様度等の物理環境指標を活用して陸上昆虫類を評価していくことが有効であると考えられる。また、今後のモニタリング結果も含めて分析することで物理環境と陸上昆虫類の関係性の精度を高め、土砂還元による那賀川の陸域生態系への改善効果について把握していく。

謝辞

本稿で使用した資料は、国土交通省四国地方整備局那賀川河川事務所から貸与して頂いたものである。また、本稿に示した調査・解析、資料整理については那賀川河川事務所の発注業務の一部として実施したものを含んでいる。ここに記して御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 坂口, 大島, 武蔵, 小林, 青木: グリーンレーザー測量 (ALB) を利用した魚類の選好性・多様性の分析
- 2) Katano, Negishi, Minagawa, Doi, Kawaguchi, Kayaba: Effects of sediment replenishment on riverbed environments and macroinvertebrate assemblages downstream of a dam, *Scientific reports*, 11, 7525 (2021)
- 3) 那賀川河川事務所: 那賀川の総合土砂管理に向けた取り組み 中間とりまとめ, 2018
- 4) 那賀川河川事務所: 那賀川の土砂還元による河川環境改善効果の評価手法について (中間報告)
- 5) 武蔵, 中田, 鈴木, 大島, 出水: 土砂還元によるダム下流河川の河床環境変化の実例 (ICOLD 第 84 回年次例会発表論文(ヨハネスブルグ))
- 6) 日本直翅類学会, 町田: 日本産直翅類標準図鑑, 学研 (2016)
- 7) 財団法人日本野生生物研究センター: 動物調査のための基礎資料 (1985)
- 8) 黒沢, 久松, 佐々治: 原色日本昆虫図鑑Ⅲ (1985)
- 9) 大垣: 多様度と類似度, 分類学的新指標, *Argonauta* 15: 10 -22 (2008) .

(Received June 9, 2021)

RECOVERY OF THE GRAVEL BEDS BY SEDIMENT REPLENISHMENT IMPROVED HABITATS OF TERRESTRIAL INSECTS.

Yuta SAKAGUCHI, Masanori OSHIMA, Takahiro MATSUURA
And Yoshitaka ARITA

At the Nagayasukuchi Dam, collected sediment is transported and placed downstream of the dam and returned to the downstream river for the purpose of countermeasures against sedimentation of the reservoir and improvement of the downstream river environment. In this paper, we analyzed the relationship between terrestrial insects and the diversity of riverbed materials in order to understand the effect of sediment replenishment on the terrestrial environment of rivers. Based on the results of previous insect surveys and river-bed material surveys, comparisons were made among the following sections: an upstream section where there is no dam and there is natural sediment supply, a section where sediment supply is low and the river bed is coarse-grained, a section where sediment replenishment is underway, and a section where sediment replenishment has not yet reached. As a result, the number of species and populations of terrestrial insects tended to increase with the diversity of the riverbed material. This suggests that the restoration of gravel beds by sediment replenishment leads to an increase in the number of species and populations of terrestrial insects, which are located at the base of the terrestrial ecosystem, and thus improves the terrestrial environment of the river.