

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

坂口 幸太¹・大島 正憲²・武藏由育³・小林真之⁴・青木朋也⁵

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: musashi@yachiyo-eng.co.jp

⁴ 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: msy-kobayashi@yachiyo-eng.co.jp

⁵ 四国地方整備局 河川部（〒760-8554 香川県高松市サンポート 3 番 33 号）

E-mail: aoki-t8810@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・置土し下流河川へ還元する土砂還元を実施している。本論文では、土砂還元による河川環境の改善効果を把握するために魚類の選好性・多様性について分析した。まず、グリーンレーザー測量（ALB）成果を活用し、瀬淵分布のサブユニット毎の面積・容積を定量化した。面積・容積・流速・水深データから那賀川を代表する魚類の選好曲線を作成し、多様な魚種が生息可能だと考えられる物理環境の範囲について、今後の環境調査結果の指標として整理した。また、土砂還元実施前後の瀬淵分布と魚類の多様度を算出し比較することで、土砂還元による河川環境改善効果を確認した。

Key Words: sediment supply, airborne laser bathymetry, fish preference and diversity, riffle pool

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、ダム下流側の河床のアーモコート化等を引き起こすなど、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。近年では、下流の河川環境の改善を目的としてダム下流に置土を行い、洪水時に土砂を流下させている事例が多く、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モコート化の解消等の物理環境の変化が想定できる。一方、置土の材料・粒径にもよるが付着藻類の剥離・更新や底生動物・魚類の生息環境に変化が生じる可能性がある。しかしながら、土砂還元による物理環境の変化に伴う魚類等の生物環境への影響や効果について明

確に分析・検証された事例は少ない。

本論文では、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、

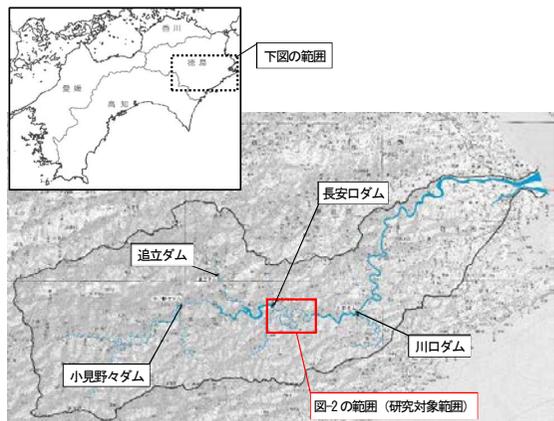


図-1 那賀川流域

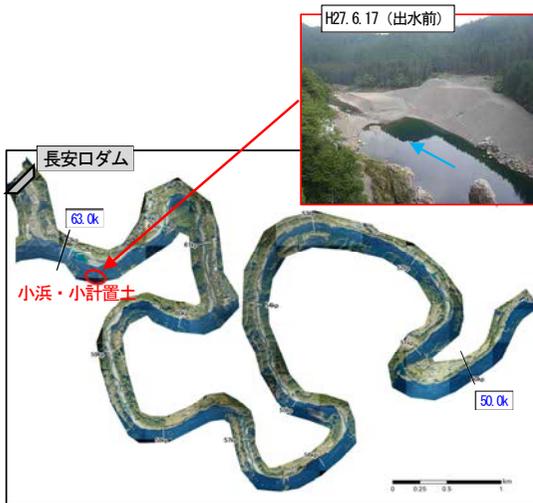


図2 置土位置および研究対象範囲

土砂還元による河川環境の変化について明らかになったことを報告する。また、併せて、那賀川で実施されたグリーンレーザ測量（以下、ALB 測量）成果を活用し、土砂還元による河川環境の改善効果等を把握するために、物理環境と那賀川に生息する魚類の生息状況（選好性・多様性）の関連性を分析した結果を報告する。

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の小浜・小計地区（図-2 参照）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、年最大 297 千 m³の土砂還元により、平成 29 年度まで掘削した堆砂土砂約 1,419 千 m³を置土し、このうち約 1,046 千 m³が流下している（図-3 参照）。

土砂還元の取組にあつては、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計画に向けた取り組み 中間



図-3 置土の流下量



図-4 置土実施前後の河床状況の変化 (H21, H29)

報告 (H31.3)」¹⁾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) モニタリング調査の概要

長安ロダム下流から川口ダム上流の区間は、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。そのため、土砂還元による河川環境への影響の有無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起し、河床材料・河床形状・瀬淵分布に大きな変化が生じている²⁾（図-4 参照）。このことより、土砂動態変化に伴う河川環境変化の解明に向けて、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ている。

この結果、河床材料の分布、河川形態（瀬淵の存在）の分布の多様化という物理環境の変化が明らかになってきている。一方で、魚類等の生息生物の個体数の増加や、これまで確認されていなかったアユの産卵が確認されるなど、生物環境の改善の兆候がみられた⁴⁾。しかし、環境調査により生息魚類の分布状況等は把握されているが、瀬淵分布等の物理環境の変化による魚類への影響や効果は十分に把握されていない状況であった。

(3) 研究対象範囲

本研究では、詳細な物理環境・生物環境のデータを取得している長安ロダム下流の置土箇所から川口ダム貯水池上流端である 63.0k～50.0k（那賀川河口からの距離標）区間を対象とする（図-2 参照）。

また、ALB 測量については、那賀川流域で平成 29 年度に実施された成果を使用する。

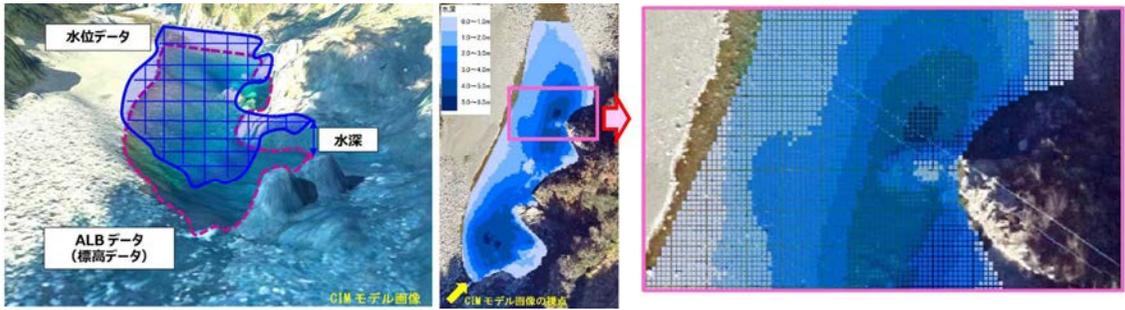


図5 淵の容積算出イメージ

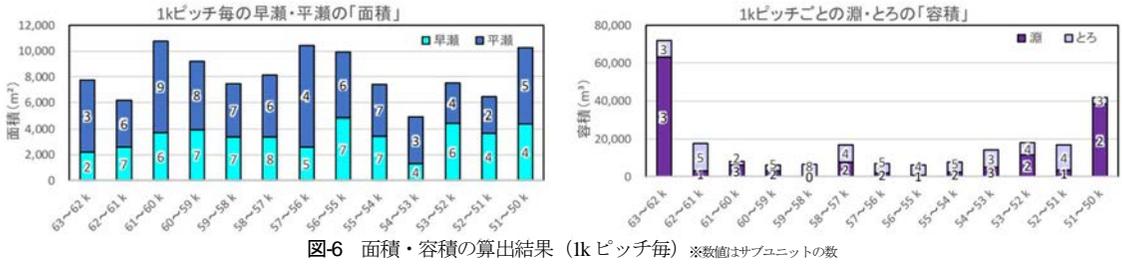


図6 面積・容積の算出結果 (1kピッチ毎) ※数値はサブユニットの数

(4) 研究内容

a) 瀬淵分布の定量化

ALB 測量の成果やモニタリング調査で得られた水深データ等の物理環境結果を利用し、瀬淵分布の定量化する手法を検討した。瀬淵分布については、ALB 測量時に撮影した航空写真を基に作成された瀬淵分布図を利用した。

那賀川の瀬淵分布は、河川形態のそれぞれのサブユニットで早瀬、平瀬、とろ、淵に分類されている。

早瀬:水面に白波がみられる浮き石上の浅く速い流水域
平瀬:水面に皺波がみられる沈み石上の浅く速い流水域

とろ:水面に波がみられない、やや深くゆるい流水域
淵:水面に波がみられない、深くゆるい流水域

ここでは、瀬環境として‘早瀬・平瀬’は水深が小さいため面積を算出し、淵環境として‘とろ・淵’は容積を算出することとした。

‘早瀬・平瀬’の面積については、GIS ソフトを利用し算出した。‘とろ・淵’の容積については、算出イメージを図-5 に示す。まず、メッシュ毎の標高データを抽出するため、瀬淵分布に 3 次元 ALB 測量データの標高値を投影させ、‘とろ・淵’区間のメッシュを抽出した。最終的な淵の容積を算出するために、既往のメッシュ毎の標高値とモニタリング調査において測定されたサブユニット毎の代表的な水位データの差分をとることで水深を算定できる。瀬環境では水面勾配が大きい、‘とろ・淵’環境の水面勾配は極めて小さいので、各サブユニットの水位は一定とした。また、ALB 測量のデータは 0.5m×0.5mのメッシュであったことから各メッシュの面積は 0.25m²である。

よって、以下に示す算定式から‘とろ・淵’の容積を

算出した。V: 容量 (m³)、H: 水位 (m)、z: 標高 (m)、a: メッシュの面積 (0.25m²)、Σは各サブユニットの淵・とろのメッシュの合計である。

$$V = \sum (H - z) \cdot a \quad (1)$$

1km ピッチ毎に算出した面積、容積の結果を図-6 に示す。‘早瀬・平瀬’の面積については、全区間に広く分布しており、早瀬・平瀬ともに 1,000m²以下の数が多い状況である。また、平瀬と比較して早瀬の方が小さい面積 (150~450m²) の数が多い結果であった。‘とろ・淵’の容積について、‘とろ’は全区間に広く分布しており、3,000m³以下の数が多く、5,500m³以上はほとんど存在しない結果であった。淵の数は‘とろ’より少なく、大小様々な淵がピッチ毎に少数存在している、最上流の 63~62k 区間および 51~50k 区間に大きい淵が存在している。

魚類にとって、早瀬や淵は重要な生息場所であるとされている⁹⁾。当該区間では、土砂の供給により瀬環境が創出され、早瀬も広く分布していることが確認できた。しかし、淵については限られた数しか存在しておらず、土砂供給により埋没してしまうような懸念が想定されるため、淵の継続的な存在について注視する必要があると考えられる。

b) 那賀川の代表魚種の選定

魚類の選好性・多様性を分析するにあたって、対象とする魚種は、モニタリング調査での確認個体数、河床材料との係り、水産対象種等を参考に那賀川で普遍的に生息する魚種を選定した。選定手順は、川口ダム上流区間 (長安口ダム~川口ダム) と中流域 (川口ダム~十八女

大橋)，または下流域(十八女大橋から下流)の二つ以上の領域に分布する魚種から以下の条件を勘案して設定した。

- ① 代表種として確認個体数が単位距離(100m)当たり 20 個体以上生息し、生息情報等を得るためのデータ分析等を行いやすいこと。
- ② 生息環境または産卵環境が河床の土砂に依存するとともに、生息環境が早瀬、平瀬、とろ、淵のそれぞれのサブユニットに依存している魚種。また、遊泳魚と底生魚のそれぞれから選定。

選定結果は、オイカワ、カワムツ、ウグイ、ニゴイ、アユ、シマヨシノボリ及びカワヨシノボリの7種を設定した。なお、オイカワ、カワムツ、ウグイ、ヨシノボリ類については、幼魚も分類し以下の検討を行った。

c) 選考曲線の作成

サブユニット毎に得られた魚類の確認個体数と物理環境(面積、容積、流速、水深)データからヒストグラムを作成し、選好値(SI:suitable index)を算出して選好曲線を作成した(表-1参照)。選好値について、面積・容積はサブユニットの個体数(尾)から算出した。流速・水深について、瀬環境は面積当たりの個体数(尾/m²)、淵環境は容積当たりの個体数(尾/m³)として選好値を算出した。ここでの選好値はSI=1となる範囲を最適生息地とし、0<SI≤1となる範囲を生息可能域として考察する(図-7参照)⁶⁾。

オイカワ(成魚)とオイカワ(幼魚)について、成魚は0.4m/s程度の流速で最適生息域を示し、400~1,800m²程度の瀬環境で選好値が高い数値を示している。一方、幼魚は流速が0.2m/s程度で最適生息域を示し、4,200m³程度の容積の大きい淵環境まで利用している傾向である。アユについて、0.4m/s程度の流速で最適生息域を示し、400~1,600m²程度の瀬環境を利用している傾向である。カワヨシノボリ(成魚)について、0.4m/s程度の流速が最適生息域を示し、200~1,600m²程度の瀬環境や300~1,800m³程度の淵環境を利用している傾向である。また、カワヨシノボリ(幼魚)は、成魚よりも緩い瀬環境を利用している傾向であるが、ほとんど同様の物理環境に生息している結果を得た。その他の種についても、若干のばらつきはあるものの、最適生息域や生息可能域の結果を得ることができた。

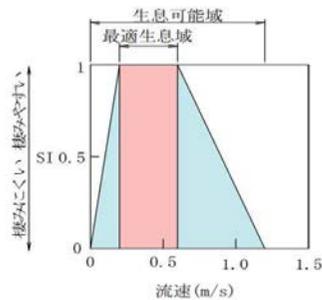


図-7 選考曲線の考え方(例)⁶⁾

表-1 魚類の選考曲線(抜粋)

魚種	面積	容積	流速	水深
オイカワ・成魚				
オイカワ・幼魚				
アユ・成魚				
カワヨシノボリ・成魚				

4. 研究の結果と考察

(1) 選好値による多様性

魚種毎の生息範囲について、選好値による最適生息地および生息可能域から表-2、図-8に示す通りまとめた。なお、生息可能域の数値は、魚類の個体数・個体数密度の合計値の下限 5%、上限 95%を閾値とし、生息可能域から除外した。

‘早瀬・平瀬’のような瀬環境の面積については、200~800m²の面積を有する瀬に多様な魚種が生息する傾向がある。なお、ニゴイについては瀬環境で確認された個体自体が少なく、面積の大きい限られたサブユニットで多く確認されたことにより、面積の最適生息域が極端に大きい範囲になった。‘とろ・淵’のような淵環境の容積については、300~2,400m³の容積を有する淵環境に

表-2 魚類の最適生息域および生息可能域一覧

魚種	物理環境の選好値	物理環境の選好値			
		面積(m ²)	容積(m ³)	流速(m/s)	水深(m)
遊泳魚	オイカワ 成魚	600 ~ 800	1,500 ~ 1,800	0.3 ~ 0.4	0.5 ~ 0.6
		200 ~ 3,200	600 ~ 7,200	0.0 ~ 0.6	0.3 ~ 1.7
	オイカワ 幼魚	600 ~ 800	1,200 ~ 1,500	0.1 ~ 0.2	0.4 ~ 0.5
		200 ~ 3,200	300 ~ 7,200	0.1 ~ 0.5	0.4 ~ 1.3
	カワムツ 成魚	400 ~ 600	2,100 ~ 2,400	0.3 ~ 0.4	0.6 ~ 0.7
		0 ~ 1,600	300 ~ 7,800	0.1 ~ 0.7	0.3 ~ 1.0
	カワムツ 幼魚	400 ~ 600	600 ~ 900	0.2 ~ 0.3	0.5 ~ 0.6
		200 ~ 2,400	0 ~ 7,200	0.1 ~ 0.6	0.3 ~ 1.5
	ウグイ 成魚	400 ~ 600	1,500 ~ 1,800	0.3 ~ 0.4	0.5 ~ 0.6
		200 ~ 1,800	300 ~ 7,200	0.0 ~ 0.7	0.3 ~ 1.7
	ウグイ 幼魚	400 ~ 600	600 ~ 900	0.3 ~ 0.4	0.6 ~ 0.7
		0 ~ 2,000	300 ~ 5,100	0.1 ~ 0.7	0.3 ~ 1.2
ニゴイ	3,000 ~ 3,200	300 ~ 600	0.1 ~ 0.2	0.9 ~ 1.0	
	200 ~ 3,200	300 ~ 7,200	0.0 ~ 0.4	0.5 ~ 2.1	
アユ	400 ~ 600	4,200 ~ 4,500	0.3 ~ 0.4	0.4 ~ 0.5	
	200 ~ 2,600	300 ~ 4,800	0.1 ~ 0.6	0.3 ~ 1.1	
底生魚	シマヨシノボリ	600 ~ 800	1,500 ~ 1,800	0.2 ~ 0.3	0.5 ~ 0.6
		200 ~ 2,400	300 ~ 7,200	0.0 ~ 0.6	0.3 ~ 1.6
	カワヨシノボリ	200 ~ 400	1,500 ~ 1,800	0.3 ~ 0.4	0.6 ~ 0.7
		0 ~ 2,400	300 ~ 7,200	0.0 ~ 0.6	0.3 ~ 1.3
	ヨシノボリ類 幼魚	200 ~ 400	600 ~ 900	0.2 ~ 0.3	0.5 ~ 0.6
		200 ~ 2,600	300 ~ 7,200	0.0 ~ 0.6	0.3 ~ 1.6

※物理環境選好値の上段は最適生息域、下段は生息可能域



図-8 多様性を踏まえた物理環境の範囲

多様な魚種が生息する傾向がある。なお、アユについては淵環境で確認された個体自体が少なく、容積の大きい限られたサブユニットで多く確認されたことにより、容積の最適生息域が極端に大きい範囲になった。また、アユが休息場等で淵を利用している可能性がある。流速については0.1~0.4m/s、水深については0.4~1.0mの環境でそれぞれの多様性が確認できた。

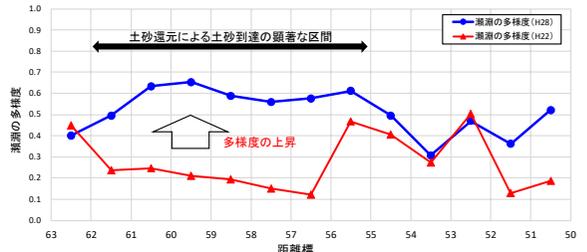
本研究で得られた物理環境毎の生息範囲の数値は、今後の那賀川のモニタリングを実施する上で、調査結果とりまとめ時の一つの指標として活用できる。

(2) 瀬淵の多様性と魚類の多様度の関係

出水による置土の流出により物理環境に大きな変化が生じる前後である平成 22 年と平成 28 年について、瀬淵の多様性と魚類の多様度の関係性を以下の式(1a)に示す Simpson の多様度指数⁷⁾を算出し比較を行った。

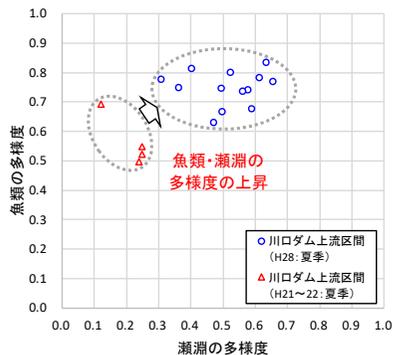
この多様度指数は0~1の範囲内で、1に近づくほど多様性が高いと評価できる。I-λ : Simpson の多様度指数、魚類の場合は S : 種数、ni : 種毎の個体数、N : 全個体数、瀬淵の場合は S : 3【早瀬・平瀬・淵】(H22 時点では‘とろ’の区分がなかったため)、ni : サブユニット毎の合計面積、N : サブユニットの全面積である。

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



※瀬淵の多様度は、1kピッチ毎の瀬淵面積から算出

図-9 瀬淵の多様度の変化状況 (土砂還元前後)



※過年度調査では、夏季の調査が多かったため、それぞれ夏季調査結果を使用

※魚類の多様度は、川口ダム上流区間(H28)は1kピッチ範囲の調査結果から算出、川口ダム上流区間(H21~22)は各調査範囲の調査結果から算出

※瀬淵の多様度は、1kピッチ範囲の瀬淵面積から算出

図-10 魚類・瀬淵の多様度の相関関係 (土砂還元前後)

まず、対象区間において 1k ピッチの瀬淵の多様度を比較したところ、土砂還元による土砂到達の顕著な 62k ~55k 付近で多様度の上昇傾向を確認できる (図-9)。これは、土砂還元前は淵環境が卓越しており瀬環境があまり見られなかったが、土砂還元後は瀬環境が創出され、瀬淵の多様性も改善されたと考えられる。

また、魚類の多様度と瀬淵面積の多様度の相関関係について比較したところ、土砂還元前の川口ダム上流区間は瀬淵面積・魚類の多様度どちらも低い傾向であるが、土砂還元後はどちらの多様度も上昇している (図-10)。これは、物理環境の多様度の上昇により魚類の多様度も上昇したことが考えられ、河川環境全体の多様性が上昇した効果と考えられる。

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) 瀬淵分布の面積・容積の算出により魚類等の生物環境の基盤となる物理環境の定量化の手法を明示した。
- (2) 魚類が生息する物理環境の選好値から、多様な魚種が生息可能だと考えられる物理環境の範囲を定量化し、今後の環境調査結果の指標として整理した。
- (3) 土砂還元実施後の瀬淵分布と魚類の多様度の上昇を確認したことから、土砂の堆積により瀬環境が創出され魚類の多様性が向上した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魚類の物理環境毎の選好性、多様性を分析したことで、土砂還元により河川環境が改善されつつある効果を確認した。

また、平成 21 年から平成 28 年までの魚類調査では、過去に確認された魚種は消失していないことが確認されており、今後も土砂還元による物理環境変化が川口ダム上流区間における魚類等の生息環境に影響を及ぼして

いないかどうかモニタリングするとともに、確認個体数が少ない重要種等の生息環境の把握と保全策について確立していく必要がある。

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、土砂動態の変化が川口ダム下流河道に及ぶことが想定されるため、川口ダム~長安口ダムで得られた知見を基に、川口ダム下流の河川環境改善に反映していく必要がある。

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) 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
- 2) 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)
- 3) 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))
- 4) 那賀川河川事務所：土砂還元による河川環境の改善効果, RIVER FRONT Vol.88
- 5) ARRC NEWS—特集：魚の棲む川へー, 独立行政法人 土木研究所自然共生研究センターのニュースレター
- 6) 伊藤, 関根, 中村, 神野, 山本, 樋口, 今井：中小河川における魚類生息場評価のための生態環境多様性指数の提案, 土木学会論文集 G(環境), Vol.72, No.1, 1-11, 2016.
- 7) 大垣：多様度と類似度, 分類学的新指標, Argonauta 15: 10 -22 (2008) .

(Received June 19, 2020)

ANALYSIS OF FISH PREFERENCE AND DIVERSITY USING AIRBORNE LASER BATHYMETRY

Yuta SAKAGUCHI, Masanori OSHIMA, Yoshiiku MUSASHI, Masayuki KOBAYASHI and Tomoya AOKI

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 study, fish preference and diversity were analyzed in order to understand the improvement effect of river environment by sediment supply. First, by utilizing the results of airborne laser bathymetry, the area and volume of the riffle pool structure were quantified. From the area, volume, flow velocity, and water depth, we created a preference curve for the fish of the Nakagawa, and organized the range of physical environment in which various fish species could live, as indicators of future environmental survey results. In addition, the river environment improvement effect of sediment supply was confirmed by calculating and comparing the riffle pool structure and the diversity of fish before and after the sediment supply.