

耳川水系ダム通砂に向けた河川環境調査結果に基づくモニタリング計画の概要

OVERVIEW OF RIVER ENVIRONMENTAL RESEARCH-BASED MONITORING PLAN FOR SEDIMENT SLUICING AT DAMS IN THE MIMIKAWA RIVER BASIN

川上馨詞¹・吉村 健¹・新屋裕生¹

Keiji KAWAKAMI, Takeshi YOSHIMURA and Hiroki SHINYA

¹会員 工修 九州電力㈱ 耳川水力整備事務所 (〒883-8533 宮崎県日向市北町1-112)

“Mimikawa River Basin Integrated Sediment Flow Management Plan” was compiled in 2011 by the Miyazaki Prefecture, as triggered by the huge sediment disaster due to the Typhoon Nabi, in 2005. Kyushu Electric Power Company, which is responsible for dam installations, is as part of the Management Plan aiming to restore the original sediment flow, which has been intercepted by dams up until now, and has drawn up a plan for sediment sluicing, incorporating Yamasubaru Dam, Saigou Dam, and Oouchibaru Dam. It is assumed that in response to the change in the amount of flow of sediment due to sediment sluicing at dams, there will be changes in the river environment. This paper reports overview of river environmental research-based monitoring plan for sediment sluicing at dams in Mimikawa River Basin.

Key Words : *integrated sediment flow management, dam sluicing, monitoring*

1. 耳川水系ダム通砂の概要

宮崎県北部を流れる耳川は、九州脊梁山地の1,700m級の高峰連山に源を發し、日向灘に注ぐ流路延長94.8 km、流域面積884.1 km²を有する二級河川である。耳川水系には、九州電力㈱が有する7つのダムと発電所があり、九州地方有数の水力発電地域となっている。

耳川水系では、平成17年台風14号災害を契機に、宮崎県が耳川水系河川整備計画を見直し、それに基づいて耳川水系総合土砂管理計画を策定した(平成23年10月)¹⁾。同計画の事業の一部として、九州電力㈱は、山須原、西郷及び大内原ダムによる3ダム連携のダム通砂を計画している²⁾。ダム通砂とは、台風による大規模出水時に貯水池内の水位を低下させ、ダムに流れ込む土砂をそのまま下流に通過させるものである(図-1)。

現状の耳川では、ダム上下流における土砂の連続性が遮断されているため、特にダム直下流において河床の粗粒化が進行し、生物は礫石を好む種が大半を占めている。今後は、ダム通砂により土砂の流下が促進されることで、瀬・淵の維持・再生、多様なハビタットの保全、生物生

息環境の再生などの効果が期待されている。一方で、現況から河川の土砂動態が大きく変化するため、ダム上下流の環境への影響等に配慮したダム通砂を計画する必要がある。

そのため、平成29年度からのダム通砂の実施に向けて各種調査を実施し、調査結果に基づく運用方法及びモニタリング計画を検討している。このうち、本稿では、ダム通砂に向けて実施している河川環境調査結果とダム通砂の影響予測に基づくモニタリング計画の概要について報告する。

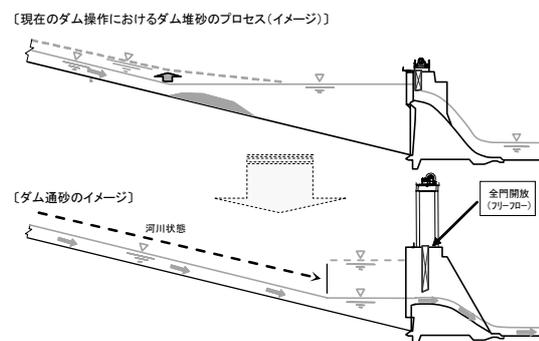


図-1 ダム通砂のイメージ

2. 現況把握のための河川環境調査

(1) 河川環境調査の内容

耳川におけるダム通砂に伴う河川環境への影響評価は、BACIデザイン³⁾等を参考に、ダム通砂前後での比較・評価（BA評価）を基本設計とした。そのため、ダム通砂実施前の段階である現在においては、耳川の現況を把握することを目的とした河川環境調査（物理環境・生物）を平成19年度より実施している⁴⁾。

a) 調査地点

図-2に調査地点の概要を示す。調査地点は、「ダム通砂を実施するダムの上下流」、「代表的な支川の合流前後」を基本として設定した。

また、ダム通砂の影響を受けないコントロール区の位置づけとして、山須原ダム貯水池末端部より上流の河道区間である①恵後の崎地点、及び支川の中でも流域・河道特性が本川と類似する地点である⑭セツ山川地点と⑮坪谷川地点を設定した。

b) 調査内容

河川における調査の項目と内容を表-1に示す。これらの項目は、ダム通砂により想定されるインパクトである「ダムを通過する砂や礫の増加」に伴い想定されるレスポンスを想定した上で設定した。

平成19年から平成23年までの調査を通じて、平常時の耳川における物理環境と生物との関係性が徐々に明らかとなってきた。一方で、出水時及び出水後のデータは不足していたことから、平成24年より出水時及び出水後の調査内容を追加・充実させるなど、現況環境の把握に向けた調査内容の適宜見直しを行っている。

また、河床構成材料について従来のサンプリング調査では調査地点（点）の情報を得ることはできるが、それらの結果を用いて「平面的」な評価をすることが課題であった。そこで、平成24年までの調査結果から耳川の河床構成材料を図-3及び写真-1のとおり4つに分類し、マルチコプターによる空撮と現地踏査を組み合わせることでこれらの分類による平面的な河床構成材料を把握した。

なお、今回は報告の対象としないが、河口周辺海域においても、水質（定期・出水）、底質、底生動物、藻場の調査を行っている。

表-1 調査の項目と内容（河川）

項目	時期		調査内容（H24～H28）			
	定期	出水	頻度	地点	調査事項	
物理環境	水質	○	—	1回/2か月	全域	・現地測定 ・分析
		—	○	1回/出水時	全域	・現地測定 ・分析
	河床材料	○	—	1回/年（2月）	全域	・粒度分布 ・河床材料調査
		—	○	1回/出水後	全域	・粒度分布 ・河床材料調査 ・化学分析
河道形状	○	—	1回/年（11月）	河川区間	・セグメント分類 ・瀬淵の分布	
生物生態環境	魚類	○	—	2回/2年（7,10月） H25,27	全域	・種構成 ・現存量 ・分布
		○	—	1回/年（11月）	坪谷川合流点下流	・産卵床の分布 ・産卵の有無 ・瀬の物理環境
	底生動物	○	—	2回/2年 H25,27 1回/2年 H24,26	全域	・種構成 ・現存量 ・分布
		○	—	(H21～23年度調査済)		
	植物	付着藻類	○	—	2回/出水後	全域
河岸植生		○	—	1回/5年 H25	大内原ダム下流	・分布

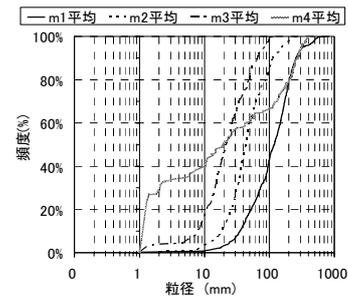


図-3 耳川の河床構成材料（粒径加積曲線）

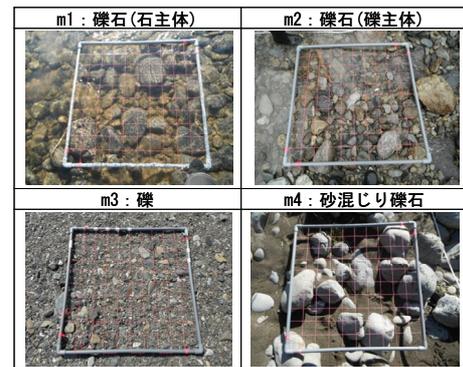


写真-1 耳川の河床構成材料

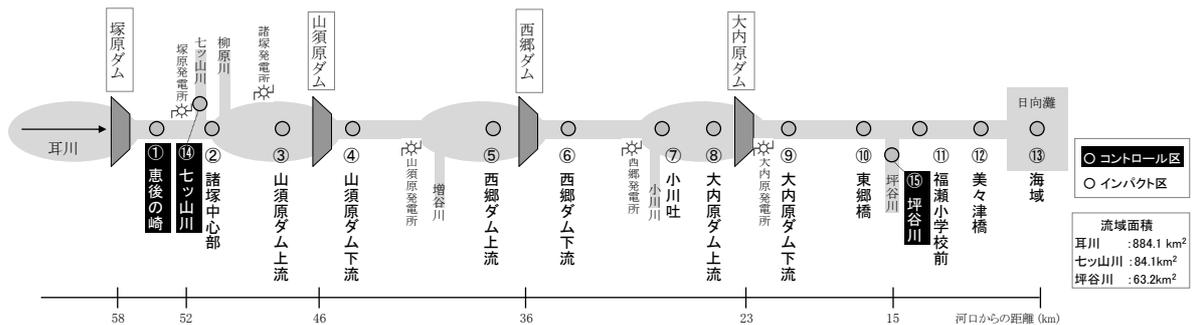


図-2 調査地点の概要



区 間	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	
	塚原ダム 下流河道	山須原ダム 貯水池	山須原ダム 下流河道	西郷ダム 貯水池	西郷ダム 下流河道	大内原ダム 貯水池	大内原ダム下流河道					
河口からの 距離	58k000- 51k600	51k600- 46k000	46k000- 42k200	42k200- 36k200	36k200- 30k800	30k800- 23k600	23k600- 18k800	18k800- 14k800	14k800- 4k800	4k800- 1k200	1k200- 0k000	
区間距離	6.4km	5.6km	4.5km	5.0km	6.4km	7.2km	4.8km	4.0km	10.0km	3.6km	1.2km	
淡水・汽水	順流区間									感潮区間		
河床勾配	1/130	1/400	1/200	1/500	1/330	1/600	1/540	1/380	1/330	1/670	1/260	
A：土砂動態の 特徴	～	砂分捕捉 (12%) 礫分捕捉 (100%)	～	砂分捕捉 (8%) 礫分捕捉 (86%)	～	砂分捕捉 (23%) 礫分捕捉 (100%)	～	～	～	～	～	
B：河道 形状の 特徴	砂州面積の 経年変化 (S22～H19)	—	—	維持傾向	—	減少傾向	—	減少傾向	減少⇒ 維持傾向	減少⇒ 増加傾向	—	—
	瀬・淵 の数 (H27現在)	39	—	22	—	25	—	11	11	35	3	—
C：河床粒度の 特徴 (H27現在)	石主体	直上は中砂	石主体	直上は 中砂～粗礫	砂礫 (バラエティに富む)	直上は シルト～細砂	石主体	礫石	礫、砂	礫、砂	礫、砂	礫、砂

図-4 耳川の現況 (物理環境)

(2) 現況把握の結果

図-4にこれまでの河川環境調査結果等を踏まえた耳川における物理環境の現況について整理した。

下流3ダムで連携して実施するダム通砂では、評価対象区間が長大且つ広範囲に亘るため、河床勾配の変化点や支川合流点等に着目し、対象区間を11区間に分類した。その上で、それぞれの区間において土砂動態、河道形状及び河床粒度の特徴について整理した。

土砂動態は、ダム堆砂量を把握するために毎年実施している深淺測量結果を基にした河床変動計算結果を分析した。河道形状は、過去の航空写真から砂州の面積を抽出することで、経年変化を分析した。河床粒度は、対象区間全域において実施した平面的な河床構成材料調査結果等を分析した。

また、全調査項目の現況の特徴を表-2に示す。

(3) 西郷ダム下流河道における現況の変化

通砂対策工事を実施している西郷ダムでは、工事期間中、仮設ゲート(SR堰)による運用を実施している(図-5)⁵⁾。この運用では、洪水時にゲートを全倒伏させるため、これまでの洪水時に比べて水位が低下し、流速が増加することで、ダムを通過する土砂が増加している。当該状況は、今後計画しているダム通砂による影響と同様の傾向であり、通砂による影響を予測する上での参考になると考え、以下のとおり詳細に評価した。

a) 仮設ゲート(SR堰)運用による土砂動態の変化

仮設ゲートによる運用は、平成25年から開始している。平成25年の運用により、西郷ダム貯水池内の土砂が63千m³程度ダムを通過したことが、ダム貯水池内の深淺測量

表-2 耳川の現況 (全調査項目の結果)

項目	現況 (H19～H27の調査でわかったこと)
平常時 水質	・ 全ての調査項目(pH,CODIほか計14項目)において、環境基準を概ね満足
出水時 水質	・ 出水時の濁質の挙動は、ダム上下流において急激な変化は見られず、ダム貯水池に流入する濁質はほぼそのまま通過 ・ 出水時のDOは、平常時と同程度
河床材料	・ 区間【7】は、アーマリー化(石主体の材料で粗粒化傾向) ・ 区間【5】は、H25年からのSR堰運用による砂礫供給量増加に伴い、バラエティに富んだ河床材料構成 ・ 化学的性状は、全地点で汚れの目安値を満足
河道形状	・ ダム下流河道は、経年的に砂州の面積が減少傾向 ・ 特に、区間【7】は砂州の面積の減少が大きく、瀬・淵が明瞭ではない
付着藻類	・ 河道区間における優先種の大部分は、ピロウドラソウ(清水性の種) ・ 出水により、剥離・更新が発生
底生動物	・ 509種を確認 ・ 区間【7】では、砂礫環境を選好するヤマトビケラは殆ど確認されておらず、安定環境を選好する造網型の種が多数確認
魚類	・ 60種を確認 ・ 区間【7】では、砂地の環境を選好するカマツカは殆ど確認されていない
アユ 産卵床	・ 区間【9】において、9箇所(瀬)で産卵を確認 ・ 産卵が確認された瀬の物理環境は粒径が小さく、河床が軟らかい(浮石状態)特徴を有している
河岸植生	・ H25年結果はH20年結果と比較して、河道内の裸地面積が減少し植生面積が増大(大部分がツルヨシ、ヤナギタデ)

結果及び河床変動計算結果よりわかった。出水規模が同程度であった平成24年と比較すると、特に、礫分のダム通過土砂量の増加が顕著であった(表-3)。これらの通過土砂量はダム通砂での予測と同程度であり、下流河道において、以下の変化が現れている。



図-5 仮設ゲート(SR堰)の概要

表-3 西郷ダム通過土砂量 [千m³]

	平成24年(従来)	平成25年(仮設ゲート運用)
全粒径	40.6	62.6
シルト・粘土	20.8	20.0
砂	19.1	19.7
礫	0.7	22.9

(深淺測量及び河床変動計算による推定)

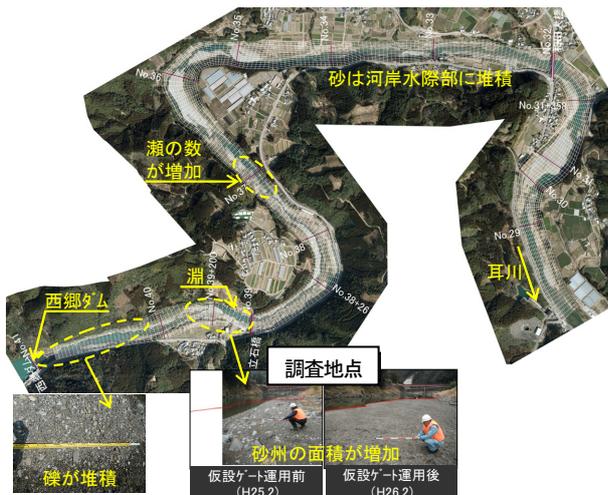


図-6 区間【5】における物理環境の変化

表-4 区間【5】における生物の変化

[凡例] 最小値 - 平均値 - 最大値

項目		時期	データ
付着藻類	出現細胞数 (万細胞/cm ²)	H19-23(定期調査)	0.6 - 263 - 987
		H25 出水9日後	18
		H25 出水23日後	385
底生動物	ヤマトビケラの生息密度 (個体/m ³)	H19-24・冬季	16 - 213 - 413
		H25・冬季	651
	多様度指数 (Shannon-Wiener H')	H19-24	2.74 - 3.78 - 4.84
		H25	3.29
魚類	カマツカ採捕数 (個体)	H19-23	37 - 49 - 79
		H25	89
	多様度指数 (Shannon-Wiener H')	H19-23	1.93 - 2.39 - 2.81
		H25	2.35

b) 物理環境の変化

ダムを通過した礫分の増加に伴い、ダム下流の調査地点では砂州の面積の増加、更に下流地点では瀬の数の増加が確認された(図-6)。また、砂については河岸水際部に堆積していることを確認した。

c) 生物の変化

調査地点における付着藻類、底生動物及び魚類の結果にも変化が確認された(表-4)。

付着藻類は、洪水による剥離・更新が確認された。底

生動物は砂礫環境を選好するヤマトビケラの生息密度、魚類は砂地環境を選好する種であるカマツカの採捕数がそれぞれ既往調査結果の最大値を示した。また、生物の多様度指数を算出したところ既往結果の変動の範囲内であったことから、生物全体に対して大きな影響を与えていないが、砂や砂礫を選好する種が増加する等、部分的にダム通砂と同等の効果が現れていると評価した。

3. ダム通砂の影響予測

(1) ダム通砂による物理環境の予測

現況を踏まえ、一次元河床変動計算により対象区間毎の物理環境の予測を実施した(図-7)。

解析区間は山須原ダム上流域から河口までの59km区間、対象粒径は24粒径(0.001~200mm)、給砂箇所は17支川(0.2mm以上を平衡給砂、0.2mm未満をQ_s-Q式による)とした。計算条件は、現行操作及びダム通砂操作のそれぞれのケースに対して中長期の時間軸とし、土砂動態、河道形状及び河床粒度の観点から結果を整理した。具体的には、大小様々な出水が発生した平成6~16年の実績ハイドロを3回繰り返し、33年後における現況からの変化を予測した。

予測した結果、現状、アーマー化が進行している区間

【7】において河道形状及び河床粒度の変化が最も大きく現れることがわかったため、当区間を重点評価区間とし、詳細評価を実施した。

(2) 重点評価区間(区間【7】)における予測

a) ダム通砂による物理環境の予測

区間【7】を対象とした平面二次元河床変動計算モデルを構築し、予測を実施した。計算の対象流砂形態は掃流砂及び浮遊砂であり、対象粒径は26粒径(0.001~750mm)、給砂箇所は大内原ダムとし、土砂供給方法は上述の一次元河床変動計算結果のダム通過土砂量を用いた。計算条件はダム通砂による当該区間の河道形状及び河床粒度への影響が最も大きく現れる条件(ピーク流量:1/5確率流量;大内原ダム地点2,100m³/s,ダム通砂時間:実績波形のうち最緩波形;ダム通砂時間が長い条件)とした。

ダム通砂による効果については、計算結果と過去の航空写真を比較することで、ダム通砂によりダムが設置されるより以前に砂州が発達していた箇所に砂礫が堆積する傾向を示したことから、次第に過去の河川環境へ変化していく方向性を確認した(図-8)。また、ダム通砂による影響については、計算結果を「河道の砂化」、「淵の埋没」、「淵へのシルト堆積量の増加」の観点から評価した結果、影響は小さいことを確認した⁶⁾。

b) ダム通砂による生物の予測

物理環境の予測に基づく生物の予測を実施するため物

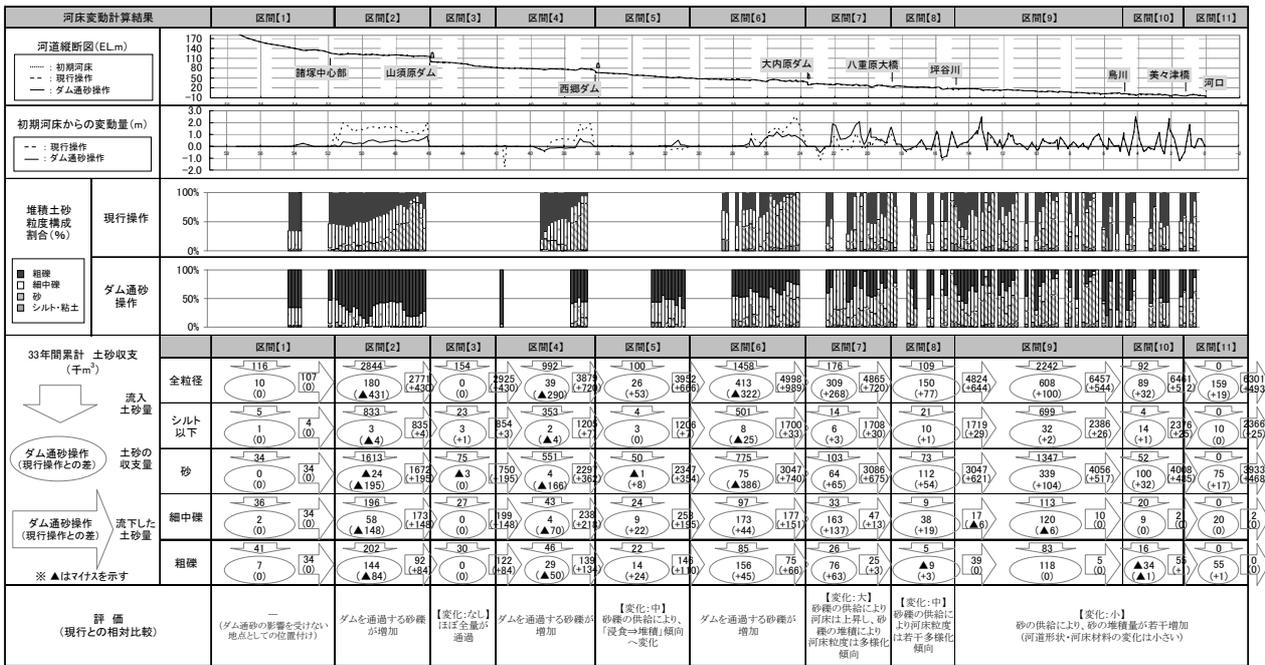


図-7 ダム通砂による物理環境の予測 (河床変動計算結果)

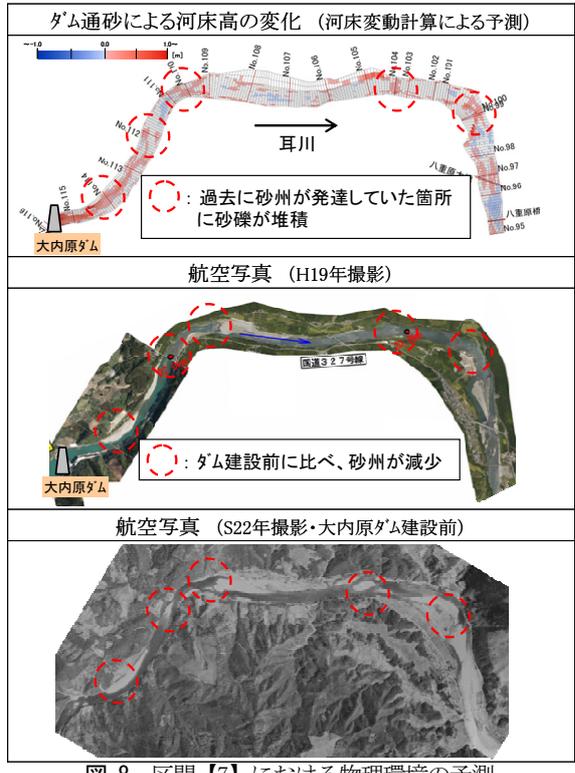


図-8 区間【7】における物理環境の予測

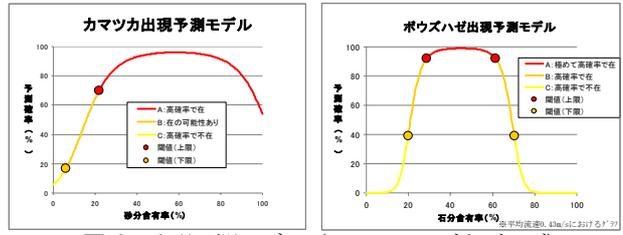


図-9 出現予測モデル (カマツカ, ボウズハゼ)

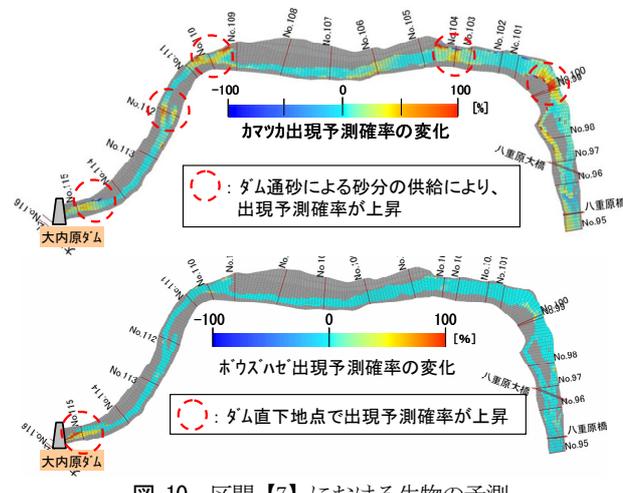


図-10 区間【7】における生物の予測

理環境と生物（魚類）を定量的に関係付けるモデルを構築した。

これまでの調査結果を用いて、河床材料への依存が高い魚類をクラスター分析や序列化などの統計解析により抽出した。砂環境に依存する種としてカマツカ、石環境に依存する種としてボウズハゼが抽出されたことから、生物の予測評価としてダム通砂により供給される砂や礫が両種に与える影響を評価した。

カマツカ及びボウズハゼの出現予測モデルは一般化線

形モデルを用いて構築した(図-9)。カマツカは砂分含有率のみで説明可能なモデル、ボウズハゼは平均流速及び石分含有率で説明可能なモデルを採用した。

これらの出現予測モデルを用いて物理環境の予測結果と重ね合わせることでダム通砂による生物の予測を実施した。図-10は、ダム通砂ケースにおける生物の出現予測確率から現行ケースの場合の差分を表している。その結果、ダム通砂で砂分が増加することで、カマツカの出現予測確率はスポット的に上昇した。一方、ボウズハゼ

表-5 モニタリング計画の一例（期待している効果が現れているかの視点）

項目	変化予測	評価の視点	評価項目	モニタリング内容（いつ、どこで、どのように）	
物理環境	河床材料	粗粒化・アーマー化の解消 (河床粒度の多様化)	河床構成材料の砂礫主体への変化 (特に区間【7】)	河道に占める砂礫の分布割合	1回/年(11月), 大内原ダム下流河道, 平面的な河床構成材料調査
	河道形状	砂州の発達及び瀬・淵の明瞭化	砂州の発達 瀬・淵の増加	砂州の面積 瀬・淵の数	1回/年(11月), 河川区間, マルチコプター空撮画像からの判読 1回/年(11月), 河川区間, 現地調査
生物生育環境	付着藻類	剥離・更新の促進	剥離・更新の促進	細胞数, クロロフィルa	2回/出水後, 全域, 定量採取・分析
	底生動物	砂礫を嗜好する種の増加	ヤマトビケラ科個体数の増加	ヤマトビケラ科個体数	2回/年(7.1月), 全域, 現地調査・分析
	魚類	砂礫を嗜好する種の増加	カマツカ個体数の増加	カマツカ個体数	2回/年(7.10月), 全域, 現地調査
	アユ産卵床	産卵を嗜好する瀬の増加	産卵箇所数の増加	産卵箇所数	1回/年(11月), 区間【9】, 現地調査

表-6 モニタリング計画の一例（悪い影響を及ぼしていないかの視点）

項目	変化予測	評価の視点	評価項目	モニタリング内容（いつ、どこで、どのように）	
物理環境	出水時水質	ダム通砂による影響は小さい	ダム底質の巻き上がりによる濁りの増加及びDOの低下	濁度, DO	出水時, 全域, 採水・分析
	河床材料	粘土・シルト分の異常堆積及び河道が砂化する可能性は低い	粘土・シルト分の異常堆積 河道の砂化	粘土・シルト分の含有率 河道に占める砂の分布割合	1回/年(11月)・出水後, 全域, 土砂サンプリング 出水後, 河道区間, 平面的な河床構成材料調査
	河道形状	淵が埋没する可能性は低い	瀬・淵の減少	瀬・淵の数	1回/年(11月), 河川区間, 現地踏査
生物生育環境	付着藻類	付着藻類相への影響は小さい	濁水やシルト等の堆積による生育阻害	種数, 細胞数, クロロフィルa	4回/年(5.8,11.2月), 全域, 定量採取・分析
	底生動物	底生動物相への影響は小さい	種数の減少	種数	2回/年(7.1月), 全域, 現地調査・分析
	魚類	魚類相への影響は小さい	種数の減少	種数	2回/年(7.10月), 全域, 現地調査
	アユ産卵床	アユ産卵床への影響は小さい	産卵箇所数の減少	産卵箇所数	1回/年(11月), 区間【9】, 現地調査
	河岸植生	植生群落への影響は小さい	群落の減少, 消失	群落数	1回/4年(7月), 大内原ダム下流河道, 現地踏査

の出現予測確率は主にダム直下地点で上昇した。

これらの結果から、ダム通砂により砂や石を嗜好する多様な生物が共存可能な河川環境に変化していくことが予測された。

(3) ダム通砂による環境予測のまとめ

ダム通砂により、ダム下流に砂礫が供給され、河床材料が多様化し、砂礫を嗜好する種が増加すると予測された。一方、河道の砂化や淵の埋没など、河川環境へ悪い影響を及ぼす可能性は低いものと予測された。

4. 河川環境モニタリング計画

前述の通り、ダム通砂に伴う環境影響評価については、ダム通砂前後でのデータの比較を基本とするため、表-1に示す調査内容の継続を基本とするが、各項目の具体的な評価項目を抽出するため、改めて評価方法を整理した。

評価は、①予測評価のとおり期待している効果が現れているかの視点、及びダム通砂により悪い影響を及ぼす可能性は低いと予測しているが、実際に②悪い影響を及ぼしていないかの視点で行うことにした。これらの視点で項目ごとに具体的な評価項目を抽出し、モニタリング内容を設定した（表-5, 6）。

なお、宮崎県は、総合土砂管理計画に基づく関係者の事業の効果をモニタリングを通じて評価し、必要に応じ事業の改善を図ることを目的に、流域住民らをメンバーに加えた評価・改善委員会を平成24年に設立した¹⁾。ダム通砂に向けて現在実施している環境調査の一部は、同計画におけるモニタリングとしても位置づけられており、

その結果の一部は、本委員会を通じ流域関係者で共有されている。平成29年度より予定しているダム通砂は、モニタリングの結果や本委員会での流域関係者からの意見を踏まえながら、段階的に実施していく予定である。

謝辞：環境調査の実施及びモニタリング計画の策定にあたり、ご指導・ご協力を頂いた宮崎県、宮崎大学、京都大学、九州大学、熊本大学、香川大学、流域関係漁協、電力中央研究所及び西日本技術開発(株)の関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 耳川流域における総合土砂管理について。宮崎県 HP(<http://www.pref.miyazaki.lg.jp/kasen/shakaikiban/kasen/page00135.html>)。2016. 3月閲覧。
- 2) 朝崎勝之, 加来睦宏, 山上裕也：ダム貯水池における堆砂問題とその対策(第6回)―耳川水系での取り組み―, 電力土木, No.360,pp.115-118,2012.7月。
- 3) 国土技術政策総合研究所；土木研究所：ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方。2009. 2月。
- 4) 川上馨詞, 鈴木準平, 吉村健：耳川水系ダム通砂に向けた河川環境モニタリング計画・調査の概要, 電力土木, No.369,pp.32-36,2014.1月。
- 5) 前島龍三, 向原秀樹, 山木勝彦：西郷ダム改造工事における仮設ゲート(SR堰)の設計と運用, 電力土木, No.367,pp.82-86,2013.9月。
- 6) 川上馨詞, 吉村健, 新屋裕生：耳川水系ダム通砂基本操作策定に係る河川環境面からの検討アプローチ, 電力土木, No.381,pp.31-35,2016.1月。

(2016. 4. 4受付)