



土木の日  
DOBOKU DAY  
NOVEMBER 18



日本の  
ひなた  
宮崎県

# *ECS* 第11回 応用生態工学会 全国フィールドシンポジウム in 耳川

いい耳川をめざして！

流域一体となった総合土砂管理による河川生態系の再生

～世界初！3ダム連携通砂事業の現場を見る～



斜面崩壊



土砂堆積



住民ワーキング



山須原ダム



西郷ダム



大内原ダム

主催：応用生態工学会 普及・連携委員会

後援：国土交通省九州地方整備局・宮崎県・九州電力(株)

## 開催趣旨

耳川は、宮崎県の北部を東流し日向灘に注ぐ二級河川であり、古くからダム開発が行われてきました。最初のダムは、1929 年(昭和 4 年)に建設された西郷ダムであり、その後 1932 年(昭和 7 年)には山須原ダム、1938 年(昭和 13 年)には塚原ダムと続き、現在、耳川水系には支流を含め 8 カ所にダムが建設されています。

こうした電源開発により九州有数の電源地帯に成長した耳川ですが、台風時にしばしば氾濫し、山腹崩壊が発生して、度々被害に見舞われてきました。特に 2005 年(平成 17 年)の台風 14 号では、河川周辺の約 470 カ所で山腹崩壊が発生し、塚原ダムの直下流では大規模な山腹崩壊が発生して、山須原ダムに大量の土砂が流れ込みました。これらにより、山須原ダム上流に位置する諸塚商店街や九州電力(株)の塚原発電所等が浸水するなどし、耳川流域一帯でも大変大きな被害となりました。

これを受け、宮崎県では河川整備計画を 2009 年(平成 21 年)に変更し、上流域において、河道掘削や宅地嵩上げなどの治水対策と、既存のダムを改造して大規模出水時に河川やダムに流れ込む土砂を下流に流下させる「ダム通砂」とを組み合わせた整備手法を位置づけました。また、2011 年(平成 23 年)に策定した耳川水系総合土砂管理計画では、ダムがあることを前提として、多様で豊かな生物が人と共生でき、人が川と親しめるような川の機能の再生を目指し、「耳川をいい川にする～森林(もり)とダムと川と海のつながり～」を流域共通の目標に設定しました。この目標を実現するために、山地領域、ダム領域、河川領域、河口・海岸領域のそれぞれの領域における流域関係者の役割分担を明確にして行動し、そのモニタリング結果をもとに宮崎県、地域住民、九州電力(株)、学識者等が意見を交換するワーキンググループ会合や評価・改善委員会等を毎年開催して、4 領域での行動を見直しながら、流域が一体となった総合土砂管理を進めてきました。

中でも、九州電力(株)では、宮崎県中部流砂系の課題解決に向けた総合的な取組の中で、今後も大量に流入する恐れがある土砂を安全に下流に通過させるために既存の 2 ダムを改造し、世界でも初となる山須原ダム・西郷ダム・大内原ダムの 3 ダム連携通砂事業に着手しました。2017 年(平成 29 年)には、先行して西郷ダムと大内原ダムによる通砂を開始し、通砂の効果と影響を科学的に評価しながら、「いい川づくり」に取り組んでいます。

今回のシンポジウムでは、ダムの土砂管理に関する最新の知見や、宮崎県の川づくりについてご講演いただくとともに、近年多発する土砂災害、耳川の総合土砂管理計画とダム通砂、そして土砂動態と生物の関わりについてご紹介いただき、流域一体となって「いい川づくり」をめざす総合土砂管理について、応用生態工学的な観点から議論したいと思います。

## プログラム

### ■シンポジウム

---

○日時: 11月14日(木) 13:30～17:30

○場所: 日向市中央公民館

・13:35～13:40 開会挨拶

・13:40～14:10

【特別講演】 いかに関から下流に土砂を届けるか? ～世界の挑戦とその分類～

角哲也 氏(京都大学 教授)

・14:10～14:40

【基調講演】 宮崎県のいい川づくり・多自然川づくり

杉尾哲 氏(宮崎大学 名誉教授)

・14:50～17:20(16:10～16:20 休憩)

【パネルディスカッション】

・14:50～15:10 災害と土砂

島谷幸宏 氏(九州大学 教授)

・15:10～15:30 耳川水系総合土砂管理を通じた川づくり 高橋健一郎 氏(宮崎県県土整備部河川課長)

・15:30～15:50 耳川ダム通砂事業

中山浩章 氏(九州電力(株)耳川水力整備事務所長)

・15:50～16:10 ダムによる土砂動態の変化と生物 中野大助 氏((一財)電力中央研究所 上席研究員)

・16:20～17:20 総合討議 流域一体となって「いい川づくり」をめざす総合土砂管理とは

コーディネーター: 鬼倉徳雄 氏(九州大学 准教授)

コメンテーター : 黒田明 氏(耳川広域森林組合 部長)

・17:20～17:25 閉会挨拶

※CPD 証明書は 13:35～17:25(休憩時間除く)を対象としています

### ■懇親会

---

○日時: 11月14日(木) 18:15～20:15

○場所: ホテルベルフォート日向 別館 4階ゴールドデンホール

※当日飛び入り参加希望の方は受付でお申し込みください(参加費¥5,000)

### ■フィールドツアー (バスツアー)

---

○日時: 11月15日(金) 8:30～15:30(8:00 から受付)

○受付・出発場所: ホテルベルフォート日向

○帰着場所: 日向市駅

○視察場所: ①塚原ダム下流地滑り現場、②諸塚商店街浸水箇所、③山須原ダム、④西郷ダム、

⑤西郷ダム下流河川(ダム直下)、⑥大内原ダム下流河川(山陰地区)

○その他: 弁当と飲み物 500mlを準備しております

## 【特別講演】

### いかにダムから下流に土砂を届けるか？～世界の挑戦とその分類～

京都大学教授

角哲也

世界のダムの現在の総貯水容量は約 6,100km<sup>3</sup> であり、この容量の内約 2,000km<sup>3</sup> (33%) は堆砂のために失われており、2050 年には半分以上の容量が失われることが予測されている<sup>1)</sup>。堆砂は世界の貯水池の持続可能性にとって重要な課題であり、2018 年 6 月にウィーンで開催された国際大ダム会議 (ICOLD) 第 26 回大会における記念すべき第 100 番目の大会課題「堆砂対策と持続的な開発 (Reservoir Sedimentation and Sustainable Development)」でも重要な報告と議論が行われた。筆者は、その総括報告を行う貴重な経験をさせていただいたが、そこでの主要な討議課題は以下の 4 つであった。

テーマ 1：流域管理と土砂除去技術分野における適切な土砂管理オプションとベストプラクティス

テーマ 2：密度流排出を含む土砂フラッシングとルーティング、スルーリング及びバイパスの手法における新しいアプローチ

テーマ 3：貯水池堆砂及び貯水池管理の地形的・生態学的影響

テーマ 4：気候変動と貯水池堆砂を考慮した貯水池の持続可能な発展の総合的な評価

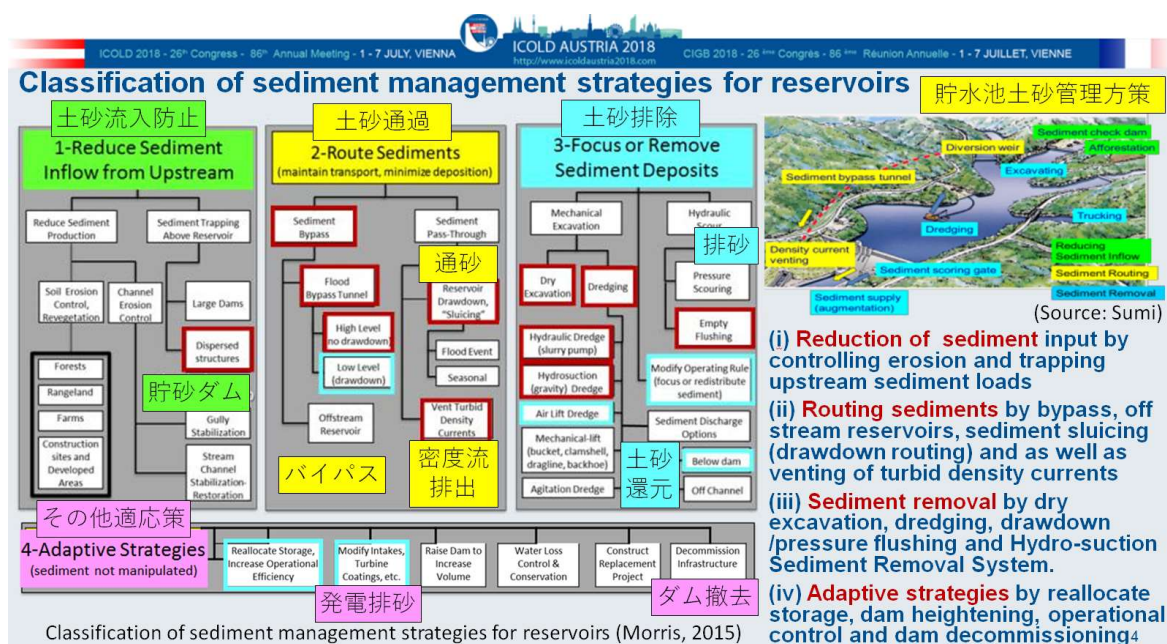


図-1 貯水池土砂管理（ダム堆砂対策）の分類

図-1 に ICOLD で議論されている貯水池土砂管理（ダム堆砂対策）の分類を示す。このうち、テーマ 1 では、堆砂対策に関する個別要素技術（土砂吸引工法、堤内仮排水路の排砂ゲートへの改造、貯水池内の土砂ガイド水路の構築など）の最新の話題が報告された。テーマ 2 では、日本が最先端を走る土砂通過対策（九電耳川の通砂対策や排砂バイパス対策を用いたアプローチ）が紹介された。ダム建設当初から排砂ゲートを設置しているダムは世界にも多くみられるが、堆砂進行後に土砂を通過させるために洪水吐ゲートを改造した事例は世界的に少なく、耳川の取り組みは特筆される。

一方、土砂バイパス技術は、スイス、日本、台湾の 3 か国が世界をリードしており、2015 年スイス、2017 年日本に引き続いて 2019 年 4 月に台湾・台北市において第 3 回排砂バイパストンネル国際ワークショップが開催された。現在台湾では、石門ダム、曾文ダム、南化ダムの 3 ダムにおいてバイパストンネルを新設する事業が進行中であり、特に、台風襲来時の高濁度の密度流を貯水池低部から洪水流とともに排



出するスルーシングトンネルの建設が進められている。図-2 に貯水池土砂管理の分類と土砂を通過させる効果を整理するが、それぞれの対策に応じて土砂を通過させることのできるレベルは異なり、ダムごとの解決すべき課題に応じて適切な対策手法を選択する必要がある。

分類	常時湛水	水位低下レベル	土砂通過頻度	土砂通過		適用例	
				粗粒分	細粒分		
通常の貯水ダム		○	なし	なし	ほぼなし	—	
土砂還元(置き土)		○	なし	数回／年	一部通過(集中)	一部通過(集中)	日本、フランス、スイス、カリフォルニア州
フラッシング排砂		○	全体	1回／年	通過(集中)	通過(集中)	黒部川(排砂)、中国、インド、イラン、中南米など
通砂(スルーシング)		○	半分以上低下	数回／年	ほぼ通過(やや集中)	通過(分散)	耳川、瀬戸石、鮎石川、黒部川(通砂)など
排砂パイパス		○	なし	数回／年	ほぼ通過(分散)	一部通過(分散)	スイス、日本(旭美和、小浜、松川など)、台湾など
流水型ダム		なし	全体	—	ほぼ通過(自然)	通過(自然)	日本、米国、オーストリア、スイスなど
ダム撤去		なし	—	—	通過	通過	荒瀬、米国、フランスなど

図-2 貯水池土砂管理の分類と土砂を通過させる効果

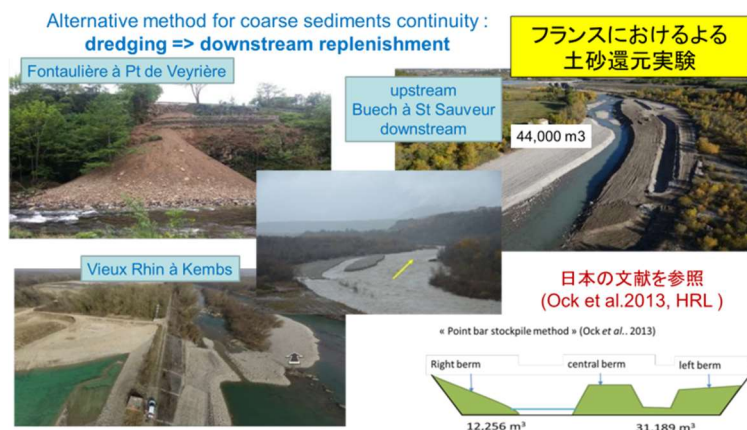


図-3 フランスにおける土砂還元

テーマ3では、日本と欧州の独壇場である。ようやく ICOLD でもダム下流の環境改善と貯水池土砂管理の連携が認知されてきており、土砂還元あるいは置き土（英語では Sediment Replenishment あるいは Sediment Augmentation）が技術用語として定着しつつある。フランス（図-3）やスイスでは、河床地形、ひいては、魚類のハビタットを形成する掃流砂の上下流連続性の維持の重要性が認識されてきており、これをダム設置者に義務化する動き（「Bed Load Budget（掃流砂の土砂収支）」の変化を評価し、この回復を目指す方針）が出てきている。米国でもカリフォルニアのサクラメント川などでは歴史がある。日本の場合は、海岸浸食対策とのつながりから、あらゆる土砂の収支の改善を目指す総合土砂管理が理念として謳われているが、まだまだ任意事業の域を出ていない。これを一歩も二歩も進めるためには、1）土砂供給の価値を長期的なダム管理コストの低減として認識すること、2）受け入れる側の下流の河川管理者や地元住民の意識改革を進めること（河道内の一時的な土砂堆積を洪水リスクとしないこと）、が極めて重要である。さらには、そもそもなぜ河道に土砂が必要なのかを環境価値の面から科学的に説明することが重要である。

一般に、土砂供給は増水時の河床礫表面の平滑化（クレンジング）に貢献するとともに、粗粒化の緩和などに寄与することが期待されている。さらに一歩進んで、天竜川における我々の調査では、アユ産卵環境の再生には、小砂利（30-50mm 程度）と酸素を十分含んだ清澄な水の供給が重要であることを示した<sup>2)</sup>。

そのためには、砂州が年数回の洪水で常にリフレッシュし、砂州内間隙を流れる伏流水 (Hyporheic flow) が健全に維持されることが重要である。これが汚濁物質 (濁水や粒状有機物) のフィルタリングと浄化に働くとともに、砂州下流部の湧水に伴う上昇水が、産卵床に好適な軟らかい河床を形成・維持することになる。熊本県の球磨川荒瀬ダムでは、ダム撤去時にダム上流からの粗粒土砂の流出によってダム直下に新たな砂州が形成され、新たな湧水環境が創出されるとともに、下流の砂州では近年にないアユの産卵数が確認された (図-4)<sup>3)</sup>。同様な効果は、耳川の西郷ダム下流でも報告されている<sup>4)</sup>。しかしながら、このフィルタリング効果も時間とともに砂礫内部の目詰まりによって効果が低下してしまうために、定期的な洪水によるリフレッシュと、継続的な土砂供給が必要である (図-5)。

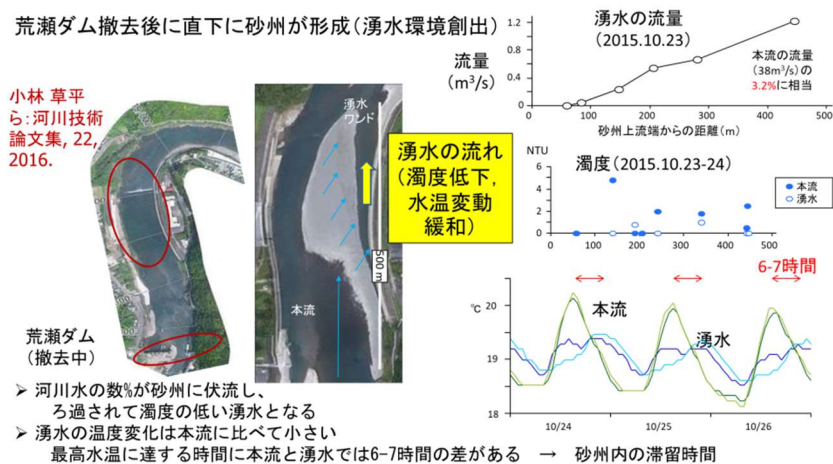


図-4 荒瀬ダム (球磨川) 撤去後に創出された砂州による効果

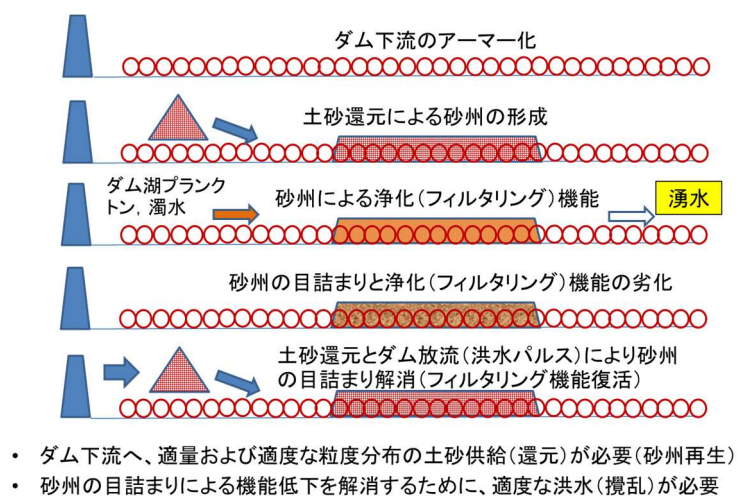


図-5 ダム下流における新鮮な砂州の形成とフィルタリング効果

テーマ4は、気候変動が100年スケールの課題であるとするれば、ダム堆砂問題も同時に考える必要があるとするものである。気候変動は、日本では異常豪雨に伴う水災害の増大として捉えられているが、世界的には降水量の減少によって異常渇水のリスクが増大すると捉えられており、特に北アフリカなどの半乾燥地では問題が深刻である。図-6はG. Morrisが提案した図式であるが、気候変動によって1)年間総流入量 (MAR) が変化し、さらに、2)その変動 (Cv) が增大することが考えられる。一方で、3)降雨強度の変化によって年間土砂流入量 (MAS) が変化することが考えられる。ここで、G. Annandaleによれば、年間平均流量の何%の水供給が可能となるかは、年間総流入量に対して何倍分の総貯水量 (CAP) があるか (CAP/MAR) によって異なり、変動が小さいうちは貯水容量の効果は小さいが、変動が大きくなる (Cv 増大) と、貯水容量が小さい (CAP/MAR 小) と、増水時に貯水しきれずに無効放流が生じてしまい、逆に、

渇水時に補給すべき貯水量が残っていない事態となってしまう<sup>5)</sup>。これにダム堆砂の影響が加わって、将来的に貯水量が減少してしまうと、気候変動の影響による流量変動がますます調整できなくなってしまうことになる。そこで G. Morris は、その適応策として、土砂管理を行って堆砂進行を遅らせたり、嵩上げなどを行って貯水容量を増やしたりするハード対策を提案しており、それでも難しい場合には、発電運用の工夫や灌漑用水網の効率向上などによって水供給量の最適化を行うソフト対策が必要であることを指摘しており、最終的には、こうしたハード、ソフトの適応策の効果を経済性を踏まえて総合的に評価する必要がある。

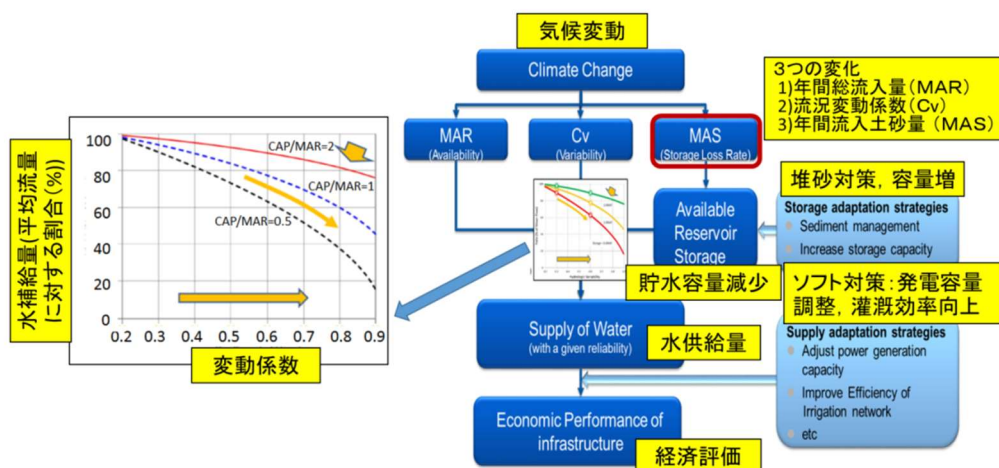


図-6 気候変動適応策としてのダム堆砂対策

(Climate Change Analysis for Supply of Water (Morris 2017)に加筆)

国際大ダム会議での Q100 の課題に対しては、耳川の報告を含めて日本からは 7 つの論文が提出され、世界の中でも最も貢献度が高い国であった。その理由は、限られた国土で、限られた貯水容量のダムを数多く建設・管理してきており、それぞれの管理者が日夜ダム堆砂問題に取り組んできている結果と考えることができる。ダム堆砂進行による影響は、今後 50～100 年スケールで効いてくることになり、地球温暖化による影響のように不確実性を議論する余地のない、確実な現象と認識する必要がある。

このような長期間にわたる課題は、「世代間の衡平(Intergenerational equity)」に関する問題と呼ばれ、地球環境問題がそうであるように、現役世代が将来世代に対して社会基盤施設を良好な財産として社会および自然環境に適合する形で引き継ぐ必要がある。今後は、貯水池土砂管理が、単なるダムの貯水容量の維持のみならず、ダム下流の河川環境の改善や、気候変動適応策の有力メニューの一つとしても位置付けられ、土砂還元や土砂バイパスなど、日本の得意とする技術の開発と普及が一層進むことを期待したい。

- 1) Tetsuya Sumi, GENERAL REPORT Q100, RESERVOIR SEDIMENTATION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 26<sup>th</sup> ICOLD Congress, Vienna, 2018
- 2) 泉 公祐, 竹門 康弘, 兵藤 誠, 喜多村 雄一, 角 哲也: 天竜川における副流路の湧水環境創出によるアユ産卵床の造成実験, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 72, No. 4, I\_439-I\_444, 2016.
- 3) 小林 草平, 角 哲也, 竹門 康弘: ダム撤去後に下流に形成した砂州の生物生息場機能, 河川技術論文集, 22, 463-468, 2016.
- 4) 小林草平, 角 哲也, 竹門康弘: ドローンとサーモグラフィを組み合わせた砂州の湧水ポテンシャルの評価, 河川技術論文集, 23, 621-626, 2017.
- 5) George Annandale, Storage-Yield-Reliability relationships for varying hydrologic variability (i.e. coefficient of variation) and 99% reliability, 2013.



## 【基調講演】

### 宮崎県のいい川づくり・多自然川づくり

宮崎大学名誉教授

杉尾 哲

#### 1. はじめに

平成9年の河川法改正によって河川事業の目的に「治水」と「利水」に「河川環境の整備と保全」が加えられて、各地でいい川づくり・多自然川づくりが推進されている。宮崎県においても、平成19年に宮崎県河川課とNP0法人大淀川流域ネットワークとの協働事業として「宮崎県自然豊かな水辺の工法研究会」を立ち上げて、行政や企業の土木技術者に対して河川環境に関する知見や技術を学ぶ機会を提供している。そのような状況の中で、産官学民が連携して耳川をいい川にする取り組みが推進されている。この産官学民の連携は、耳川で突然に開始されたのではなく、一ツ瀬川での濁水軽減対策検討や北川での河川生態学術研究などのそれまでの経験や努力の成果である。以下に、その経緯で紹介する。

#### 2. 一ツ瀬川での濁水軽減対策の取組み(前期)

一ツ瀬川は、流域面積852km<sup>2</sup>、幹川流路延長 88km の宮崎県有数の二級河川である。この中流域に、九州最大のアーチ式コンクリートダムが九州電力の発電用ダムとして昭和38年に竣工した。その直後の昭和40年に長期濁水が発生して以来、濁水継続日数の短縮が流域の社会的な課題になっていた。それまでも選択取水施設の設置など種々の対策が講じられてきたが解決には至らず、平成5年に下流域で203日間の長期濁水が発生した。そのような中、宮崎大学に地域共同研究センターが平成6年に発足し、流域の西都市からの要請で宮崎大学が平成7年から宮崎県・流域市町村・九州電力と濁水軽減対策の検討を開始し、西都市が事務局となって平成9-10年に共同研究を行った。その成果を基に、流域における短期・長期の濁水軽減対策をまとめ、平成11年に「一ツ瀬川濁水軽減対策計画」が策定されて、流域一体となった体制により軽減対策を実施することとなった。



図1 一ツ瀬川の濁水状況

#### 3. 北川激特事業の順応的管理

北川は、一級河川五ヶ瀬川水系の支川であり、流域面積574km<sup>2</sup>、流路延長 51km の河川である。平成9年に台風19号の豪雨により流域に甚大な被害が発生し、北川激甚災害対策特別緊急事業が実施された。

この激特事業は、河川法改正後に河川環境を保全しつつ治水機能の向上を図ったわが国最初の大規模河川改修であり、平成9年の「北川「川」づくり検討委員会」による計画立案に引き続いて平成10年に「北川モニタリング委員会」を設置して、計画や工事内容を積極的に見直す体制



が構築された。さらに、平成7年に発足していた「河川生態学術研究会」が、激特事業によるインパクト・レスポンスの解明を目的に平成10年に北川研究グループを設置したことに伴い、この研究グループとも連携して、河川生態系に及ぼす事業の影響を最小限にとどめながら多自然川づくりが順応的に実施された。

#### 4. 耳川での住民との合意形成

耳川は、流域面積884km<sup>2</sup>、幹川流路延長91kmの宮崎県有数の二級河川である。平成9年台風19号の豪雨により、下流域の平地部において大きな被害が発生した。平地部の洪水氾濫に因る被害を軽減させるため、16年に「耳川水系河川整備計画」が策定された。ここに、計画対象の11地区においては宅地嵩上げ方式と輪中堤方式のいずれかで整備する計画となった。両方式にはそれぞれ長所と短所があり、地区によって住民の判断が異なるので、地区ごとに住民が方式を選択することとした。このことは、治水事業に流域住民が計画段階から参加することであり、事業実施後の治水効果を理解させるのに非常に重要であった。

#### 5. 一ツ瀬川での濁水軽減対策の取組み(後期)

平成16年、17年に2年連続して長期濁水が発生した。特に、17年は上流域で大規模な山腹崩壊が生じ、過去最大の241日間の長期濁水となった。そこで、北川激特事業の順応的管理を参考にして、九州電力は、平成17年に宮崎大学と11年策定の「一ツ瀬川濁水軽減対策計画」を評価し、翌18年に濁水専門研究者で構成される「一ツ瀬川濁水長期化対策技術検討会」を開催して、①森林施業による濁水発生の防止と②濁水継続日数短縮のための高濁度ダム貯留水の排水が必要であるとする報告書をまとめた。この②案を九州電力が河川管理者の宮崎県河川課に相談したことを契機に、平成18年に宮崎県環境保全課が事務局となって宮崎県・流域市町村・九州電力・宮崎大学による共同研究を実施し、その結果を基に、中・下流域拡大WGを開催して関係団体(漁協、土地改良区、水利組合等)の同意を得て、新たな取組みをまとめて、20年に「一ツ瀬川濁水軽減対策計画」が改訂された。さらに、流域住民向けに「一ツ瀬川清流化フォーラム」を開催して、新たな取組みについて説明した。翌21年には、宮崎県・流域市町村・九州電力・宮崎大学で構成される「一ツ瀬川水系濁水対策評価検討委員会」を宮崎県が設置し、毎年の計画実施状況等の取組みの評価改善を継続して推進している。

上記のダム貯留水の排水は、九州電力のそれまでのダム貯留水の運用を、発電優先から地域との共存・共栄に大きく方針転換する画期的な内容である。この方針転換を宮崎県が高く評価して、宮崎県・宮崎大学・九州電力の産学官の連携が成立した。この連携は、一ツ瀬川の濁水軽減対策を前進させただけでなく、後述する耳川の河川整備や管理の検討の中で強化され、耳川の総合土砂管理の取組みを前進させる大きな原動力となった。



図2 一ツ瀬川水系濁水対策評価検討委員会

## 6. 耳川の河川整備計画の変更

平成 17 年の台風 14 号の豪雨は、耳川でも大きな被害を発生させた。特に、上・中流域の九州電力の 6 ダムが連続する区間では、川沿いの大小約 470 箇所では山腹崩壊が発生して約 1,060 万 m<sup>3</sup> の大量の土砂が河川に流出し、中流域の諸塚村を中心に家屋の流失や発電所の浸水が多数発生した。中流域の洪水氾濫に因る被害を軽減させるため、河川整備や管理のあり方を検討した結果、中流域と下流域の土砂流入による治水安全性を確認した上で、宮崎県による築堤・宅地嵩上げ等と、九州電力によるダム改造・ダム通砂運用を組み合わせることでまとめ、平成 21 年に「耳川水系河川整備計画」が変更されて、組み合わせた整備手法を位置付けるとともに、関係機関の連携の下、流域の関係者が一体となって総合土砂管理に取り組んでいくことを明記した。



図 3 平成 17 年台風 14 号による被災状況

## 7. 耳川での総合土砂管理の取組み

耳川水系の土砂管理について技術的な検討を行うために、平成 20 年に宮崎県が「耳川水系総合土砂管理に関する技術検討会」を設置し、さらに流域住民代表、関係団体が参加して議論する場として、山地領域、ダム・河道領域、河口・海岸領域の 3 つのワーキンググループを設置した。また、変更した河川整備計画とダム改造についての流域への説明会を、宮崎県河川課と九州電力が平成 21 年から多数回実施して、流域の合意形成に努めた。その結果、流域共通の目標を「耳川をいい川にする～森林とダムと川と海のつながり～」と設定し、各領域の目指すべき方向と目標実現のための役割分担（行動計画）を明確にした「耳川水系総合土砂管理計画」が 23 年に策定された。さらに、平成 24 年に流域住民や関係団体が参加する山地領域、ダム領域、河道領域、河口・海岸領域の 4 つのワーキンググループと、その代表が参加する「耳川水系総合土砂管理に関する評価・改善委員会」を宮崎県が設置し、土砂に起因する問題・課題の状況についての各年のモニタリング結果を検討協議する評価改善システムを構築した。これによって、各年の領域毎の行動計画の実施効果を評価し、行動計画を順応的に改善しながら、産官学民が連携して流域一体となった取組みを推進している。



図 4 地域住民等ワーキンググループ



図 5 総合土砂管理評価改善委員会

この間の流域への説明会は、確認できるだけで市町村に対して 14 回、住民に対して 31 回実施している。きめ細やかに流域の将来像を明確に示したことで、流域の宮崎県河川課や九州電力に対する信頼が増し、住民を含めた流域の連携体制が構築できた。また、総合土砂管理計画の目標については、そもそも治水安全度を確保する土砂管理であったが、ダム通砂運用によって河道のダイナミズムが回復することを色々と検討の結果、全委員の英知と努力で河川の自然再生を目指すことになった。これらの宮崎県と九州電力の取組は、今後の河川事業の模範となる画期的なプロジェクトとして高く評価され、平成 27 年度土木学会環境賞(II グループ)を受賞した。

## 8. 河川生態学術研究会五ヶ瀬川水系研究グループの研究成果

上記の北川研究グループは平成 10 年から活動していたが、17 年の台風 14 号の豪雨災害によって五ヶ瀬川激甚災害対策特別緊急事業が実施されたことにより、研究フィールドを 21 年から五ヶ瀬川水系に拡大して活動し、24 年 3 月に活動を終了した。その代表的な研究成果が河川生態系変動予測モデルの構築であり、ハゼ類や甲殻類、哺乳動物の生息を物理変数で定量的に表現した。それまで、河川生態系は複雑に絡むシステムで理解が困難とされてきたが、流速と水深、河床材料の多様さが川の生き物の生息に深く関わっていて、川づくりを工夫すれば河川生態系を保全再生する可能性が高くなることを示した。これが科学的根拠となって、耳川においてダム通砂運用による土砂供給によって河道のダイナミズムの再生が期待され、流域共通の目標である「耳川をいい川にする」の実現に向けての取組みの支えとなっている。

## 9. むすび

川のあるべき姿を考える時、流速と水深、河床材料の多様性の保全と改善が重要である。耳川においては、ダムの改造によって土砂移動の連続性が回復されるので、流速と水深、河床材料の多様性が改善されて河道のダイナミズムによりダム下流域の河川生態系が再生されると期待している。今後も、産官学民が連携するいい川づくりの取組みを有効に機能させて、自然が豊かで多様な耳川を次世代に受け渡すことができるよう努めたい。

## 災害と土砂（九州北部豪雨災害）

九州大学教授

島谷幸宏

2017年7月5日、筑後川中流部右岸地帯では大変な災害となった。午前11時ごろから降り始めた雨は午後から猛烈な雨となった。被害が大きかった朝倉市松末地区の状況を見ると、大雨洪水警報の発令は13:14、松末地区への避難勧告14:26、避難指示16:20である。14:00ごろにはこの地区を流れる赤谷川支流乙石川沿いの中村地区周辺の道路が通行不能となり14:08には基地局が使えなくなる。14:30頃には松末小学校横の乙石川は氾濫を開始し、16時過ぎ以降がピークとなる。住民が避難を開始したのは氾濫事象に遭遇し、身に危険を感じてからであり、公的な情報はほとんど活用できなかった。中小河川の場合、降雨直後に氾濫が発生するため、避難情報は後手に回ることとは否定できず、これを回避する手段は現状では難しく、個々人での判断によって避難活動は行われた。

死者行方不明者は41名、全壊家屋197戸と非常に大きな被害となった。山地崩壊により約1000万 $\text{m}^3$ の土砂と約20万 $\text{m}^3$ の流木が発生した。特に災害がひどかった、赤谷川では谷底平野全体が大規模な浸食と堆積および谷という谷の崩壊に伴う土砂と流木により、壊滅的な被害を受けた。

赤谷川そばの松末小学校の観測所では1時間当たり137mmの雨を、黒川の北公路公民館では9時間で777mmの雨を記録した。国土交通省の解析によると3時間雨量で300mmを超える地区もあったと想定されている。生起確率は200年確率をはるかに上回り、被害が大きかった赤谷川支流乙石川では高木神社が創建(1563)以来はじめて水害を受けたことから、数百年に1度の未曾有の水害であったことが分かる。

降雨が集中した広蔵山（ひろぞうやま）を源流に持つ筑後川より北側の支川が軒並み大きな被害を受けた。地形条件により被害の様相は異なる。西側に位置する桂川、荷原川（いないばるがわ）、妙見川では堤防が破堤しその下流で、氾濫原への氾濫が広がった。

一方、広蔵山周辺の山地では夥しい崩壊が発生し、谷底平野の集落は土砂による埋没、流木による破壊などにより大きな被害が発生した。黒川、北川、百目木川、寒水川、白木谷川、赤谷川などでの被害は甚大である。また、東峰村の大肥川、日田市の小野川などでも大きな被害が出た。

また構造物関係では寺内ダムが流木の補足及び洪水流量の低減に大きな効果を発揮した。ダムより上流では大きな災害となったが、ダムより下流ではほとんど被害がなかった。砂防ダムも効果を発揮したが、一部では土砂や流木が砂防ダムを越え、人的被害をもたらしたのも見られた。奈良ヶ谷川では、ため池が決壊し、下流に大きな被害をもたらした。

ここでは、九州北部豪雨がどのような災害であったかを報告するとともに、現在の復旧の状況について言及する。



# 耳川水系総合土砂管理を通じた川づくり 耳川をいい川にする～森林とダムと川と海のつながり～

宮崎県県土整備部河川課長  
高橋健一郎

## 1. はじめに

耳川は、宮崎県北部に位置し、平家落人伝説を伝え、神楽やひえつき節をはじめとする伝統文化で有名な東臼杵郡椎葉村に源を発し、神話に由来する日向市美々津から日向灘に注ぐ約 100km の二級河川

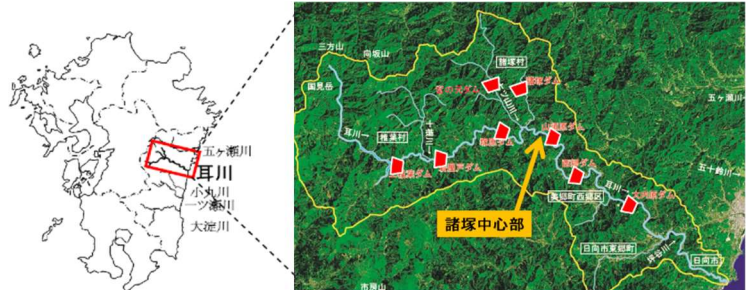


図-1 耳川水系ダム位置図

であり、昭和 4 年に建設された西郷ダムをはじめとし、8 つの九州電力ダムがある。平成 17 年 9 月の台風 14 号により、流域全体で大小約 500 箇所の斜面崩壊が発生し、諸塚村で甚大な被害を受けるなど、耳川流域で大規模な浸水被害を受けた。大雨の度に繰り返される斜面崩壊により発生する土砂が、河川やダムへ流入することが被害拡大の原因の一つであり、河川管理者のみならず、ダム管理者である九州電力にとっても、長年の懸案事項となっていた。

## 2. 計画策定の経緯・合意形成

県と九州電力が連携し、平成 18 年度に技術検討会を開催。治水安全度を確保するために、河川整備の方向性を決定し、県では土地利用一体型水防災事業による宅地かさ上げを行い、さらに、九州電力では出水時にダム通砂を行い、河床の安定化を図るという対策を実施することを決定した。しかしこのような対策を効果的に推進していくためには、土砂発生源の抑制対策やダムの排砂による環境や利水、治水への影響を把握するなどの施策展開やモニタリング等が必要となることから、山地から海岸を含めた耳川流域全体での総合土砂管理について検討することとした。

総合的な土砂管理の問題解決に向け、学識者からなる技術検討委員会を設置した。また、このような対策の効果的推進にあたっては、中流域・下流域それぞれの問題を解消し、関係市町村や地域住民の合意形成が重要であることから、地域の方々を含めて議論する場としてワーキンググループを設置した。ワーキング段階でも学識者も交えた意見交換を行い、学識者の技術的助言を根拠に、河川環境が必ず改善することを説明できたことが、合意形成を図る大きなポイントであった。

このような過程を経て、「耳川水系総合土砂管理計画」を平成 23 年 10 月に策定した。

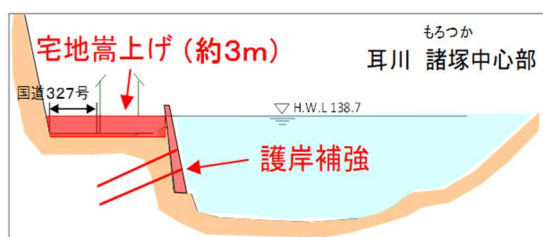


図-2 諸塚中心部嵩上げのイメージ

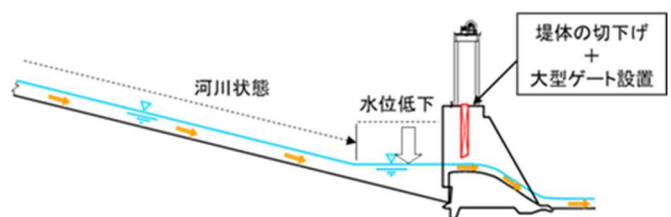


図-3 ダム通砂のイメージ

### 3. 耳川水系総合土砂管理計画

この計画の基本的な考え方として、多様な生物が共生でき、人と川が親しめるような、川の機能の再生を目指した包括的な目標として、「耳川をいい川にする。～森林（もり）とダムと川と海のつながり～」と設定した。

総合土砂管理計画では、山地から河口・海岸までの各領域において、土砂に関わる 33 の問題・課題を抽出し、それらに関してそれぞれが取り組む 60 項目の行動計画を作成し、発展的に継続させる仕組みとして、PDCA サイクルを構築している。まず、行動計画に基づき行政機関や九州電力、漁協組合などの事業者が 31 項目のモニタリングを行い、耳川の現状を把握する。その結果を基に、領域ごとに問題・課題を評価し、適宜行動計画を改善していくことで、継続的に評価・改善している。本計画では、地域住民の方々に評価をお願いしていることから、分かりやすい評価方法を目指しており、モニタリングなどの結果を基に、近年と比較して耳川がどう変わっているかの方向性評価と、耳川そのものの状態がどのレベルにあるかの状態評価の 2 つの視点で評価を行い、それぞれに重み付けを行った後に各評価の重心を算出し、視覚的にとらえやすい工夫をしながら、その値を以て評価値としている。



図-4 耳川あるべき姿のイメージ

### 4. まとめ

「耳川をいい川にする」を実現するためには、各関係機関とともに、地域住民参加による地域に根ざした川づくりを推進していく必要がある。この計画の優れている点として、流域住民が計画策定から参加しており、評価対象は県や市町村・九電・森林組合・内水面組合など幅広く設定していることや、分かり易い評価方法を採用し、住民が継続的に取り組めるシステムを構築していることが挙げられる。また、地域と連携した継続的なイベントである耳川フェスティバルを開催し、地域住民などに耳川と触れ合いながら、事業の紹介をすることで、総合土砂管理が持続可能な取組として周知され、定着してきている。耳川においては、今後も地域と連携した事業と情報共有を推進し、地域住民を交えた総合土砂管理を実施していく。

## 耳川ダム通砂事業

九州電力(株)耳川水力整備事務所長  
中山浩章

### 1. はじめに

宮崎県の耳川水系(図-1)では、2005年台風14号に伴う記録的な豪雨により、流域の広範囲で斜面崩壊や浸水被害が発生した。この災害において、多数の斜面崩壊により大量の土砂が河川に流入した。九州電力は、今後も多くの土砂がダムに流れ込んでくることや、この台風と同規模の降雨が予想されることから、河川管理者(宮崎県)や学術機関と抜本的な対策について協議を行った。

河川管理者である宮崎県は、甚大な浸水被害を踏まえ、河川整備計画を見直した。また、土砂に起因する様々な問題を流域全体で正しく捉えて対応していくため、『耳川水系総合土砂管理計画』を策定し、各流域関係者の役割分担を明確にした行動計画を示した。

ダム設置者である九州電力では、ダム上流の堆砂抑制のため、同計画の中核事業であるダム通砂運用を下流3ダムで実施することを決定した。ダム通砂運用とは、台風出水時にダム水位を低下させ、貯水池の水の流れを本来の川の状態に近づけることにより、上流から流れ込む土砂をダム下流に通過させる運用である(図-2、3)。

### 2. ダム通砂に向けた工事と環境モニタリング調査

ダム通砂運用の実施に当たり、既設ダムの構造では上流から流れ込む土砂が通過できないため、九州電力は、ダム中央部のコンクリートを構造的に問題の無い範囲で切り下げ、大型ゲートを設置するダム改造工事(図-4)を実施している。また、ダム通砂初期における河川への影響を抑制するため、ダム貯水池内に堆積した土砂の移動工事を行った。

ダム通砂運用の効果としては、ダム上流の堆砂抑制による治水安全度向上の他、ダム下流においては、土砂が通過することによる河床材料の多様化や瀬淵の明瞭化などの物理変化が生じることで、生物・生息環境の多様化・再生など環境面での変化も期待されている。一方で、ダム下流の治水安全度や利水面への影響は小さいと想定されている。九州電力では、ダム通砂の影響確認のため、ダム通砂運用開始前の2007年度から、水質、河床材料、魚類などの環境モニタリング調査を継続的に実施している。

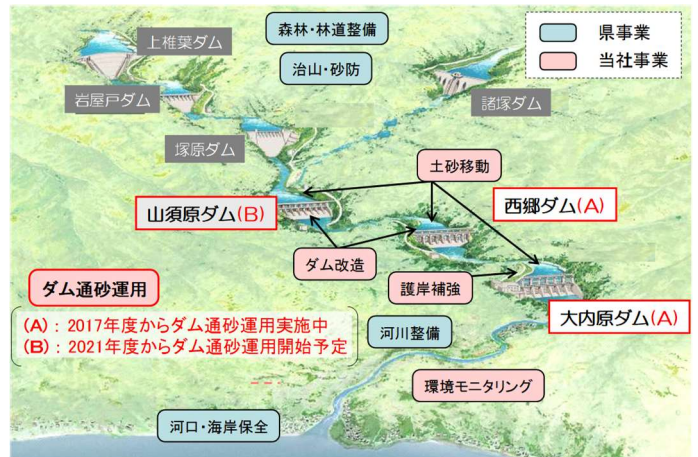


図-1 耳川水系におけるダム位置及び実施事業

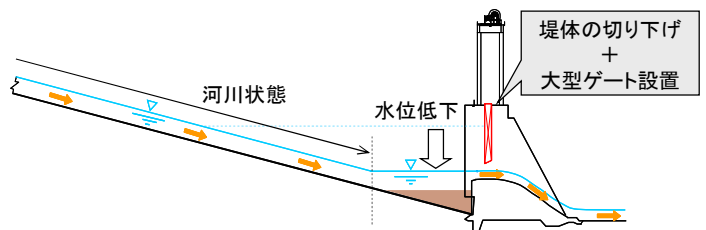


図-2 ダム通砂運用のイメージ



図-3 西郷ダム通砂状況(2017年度)



山須原ダム	改造前	改造後(イメージ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既設ラジアルゲート8門のうち、中央2門を撤去</li> <li>・越流天端を約9m切下げ、大型ゲート1門を新設</li> </ul>
	改造前	改造後	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既設ローラゲート8門のうち、中央4門を撤去</li> <li>・越流天端を約4m切下げ、大型ゲート2門を新設</li> </ul>

\* 大内原ダムについては、ダム堤体が低く、既設構造でもダム通砂運用を行えるため、改造工事を行わない

図-4 ダム改造工事

### 3. ダム通砂運用後の河川環境変化

ダム通砂運用は、2017年度から西郷ダムと大内原ダムの2ダムで実施しており、河川への影響を見極めながら、段階を踏んで本運用に向けて実施している。山須原ダムの改造がほぼ終了する2021年度からは、山須原ダムを含む3ダム連携での運用を予定している。

ダム通砂の効果が河川全体に現われるには長い期間を要するが、過去2回のダム通砂後、ダム上流では堆砂が抑制され、治水安全度が維持または向上したことが確認された。西郷ダム下流においては、土砂供給による砂州の拡大と瀬の形成が確認され（図-5）、概ね当初想定していた通りの結果となっている。なお、ダム下流の治水安全度についても維持されていることが確認された。大内原ダム下流においては、砂分が供給され、粗粒化が解消されていく傾向が確認されている。一方で、河床を構成する礫を主体とした掃流砂成分は西郷ダム下流に留まっており、大内原ダム下流にはまだ到達していないことも明らかになった。

ダム通砂運用による生物への影響については、今のところ大きな変化が確認されていないが、物理環境の変化に比べて時間がかかると想定されるため、今後もデータの収集を継続する。

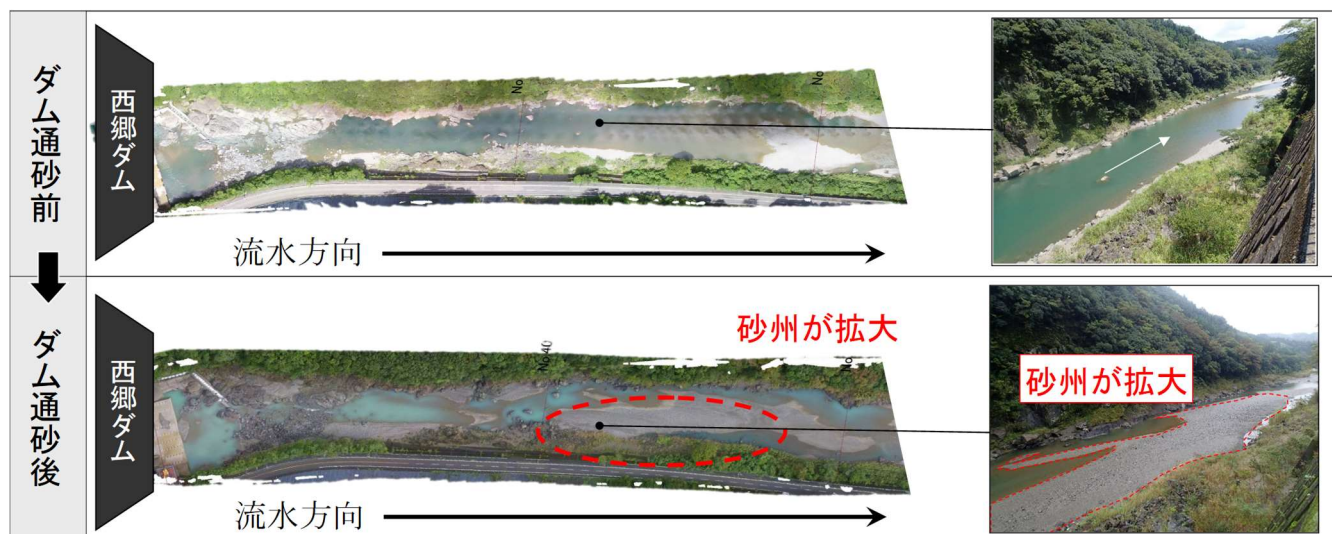


図-5 西郷ダム下流の変化（2017年度）



## ダムによる土砂動態の変化と生物

(一財)電力中央研究所 上席研究員  
中野大助

### 1. ダムによる環境影響と土砂動態の復元

ダムは治水・利水の両面において人々の生活や産業に大きな受益を与えている。その一方で、水温・水質や流況および土砂動態の変化、動物の移動阻害といったダムの環境影響が報告されている。選択取水設備や魚道の設置は、水温・水質の変化や移動阻害の解決や緩和を目的としたものである。この20年間、自然流況の回復を念頭に維持流量や人工出水などの環境に配慮したダム運用による流況の再生が先進国を中心に行われている。これらの試みは効果を上げたものも多いが、効果が限定的であったり、反対に状況をより深刻にしたりする事例も報告されており、近年は流況だけでなく土砂動態もセットで復元することの重要性が指摘されている。

### 2. 河川生態系における土砂動態の重要性

河川で生活する水生生物の生息場所形成には土砂動態が密接に関わっている。河川水中における主要な生産者および消費者である付着藻類と底生動物は、各種の生態に応じた河床材料への嗜好性を持っている。底生魚も巨礫の間隙や砂床など好みの河床材料構成を持ち、一方遊泳魚の多くは土砂動態により形成された瀬や淵といった河川地形ごとの水流環境の違いにより生息場所を選択している。二次流路やワンドといった特定の生物に好適な生息場所も土砂動態により形成されるものである。また、土砂動態は水域のみならず砂州や礫州の形成を通して河畔に様々な陸生生物の生息場所を創り出している。これらの生息場所に生息するマクロな生物には人間にとって有用な種も多く生態系サービスの要の一つである。さらに河床間隙水域はミクロな生物の生息場所となっており呼吸速度が大きく物質循環や河川の自浄作用にも貢献しているが、この間隙水域の特性を決めるのは河床材料の構成であり、これも土砂動態によって決定するものである。このように河川生態系の構造と機能に土砂動態が果たす役割は非常に大きい。

### 3. ダムによる土砂動態変化と生物

ダムは非常に細かいウォッシュロード成分（主に粘土やシルト）を除いて砂礫を貯水池に留めてしまうため下流の土砂動態を変化させる。ダム下流河川では、上流からの砂礫供給が止まり河道における砂礫の量が減少する。さらに出水があると粒径の大きな礫より小さな砂の方が流出しやすくなるため大きな礫が河道に優占する粗粒化という質の変化も生じる。これらの土砂動態変化に対する生物の応答として大型の礫を好む生物は増加し、砂を好む生物は減少することが予測される。前者としては、ボウズハゼや造網型のトビケラ類（ヒゲナガカワトビケラやシマトビケラ、コガタシマトビケラ等）、後者としては、カマツカや掘潜型のカゲロウ類（モンカゲロウ等）が代表的な生物と考えられる。確かに造網型トビケラは、ダム直下において高密度になることが様々な調査・研究から知られている。他方、巢材に細礫（粒径2~4mm）を利用する携巢型トビケラのヤマトビケラはダム下流で密度が大きく減少することが知られており、巢材の不足が原因ではないかと考えられている。

#### 4. 耳川通砂運用による生物の応答

宮崎県北部を流れる耳川の西郷ダムと大内原ダムでは、2017 年度より通砂運用を開始している。2018 年度までのダム通砂により、西郷ダム下流では、上流から流下してきた礫主体の掃流砂成分が供給され、下流にある大内原ダム貯水池末端に到達した。一方、大内原ダム下流では砂のみが供給され、粗粒化解消の傾向が見られた。

通砂後、西郷ダム・大内原ダムの両方において砂成分供給に応答して増加すると予測されたカマツカの増加は認められず、また、減少が予測されたボウズハゼの減少も認められなかった。河床材料の変化がこれらの魚類の応答にまだ十分でないか、応答には再生産など個体数増加のための相応な時間が必要なのことが原因かもしれない。

底生動物群集の種組成は、礫供給が認められた西郷ダム下流で顕著に変化したのに対し、砂しか供給されていない大内原ダムと通砂を行っていない山須原ダムの下流では大きな変化は認められなかった。西郷ダムから 0.8km 下流の坂本、同 3.0km の組崎、同 4.5km の和田では、通砂運用後に概ねヤマトビケラ密度の増加が認められた（図 1）。

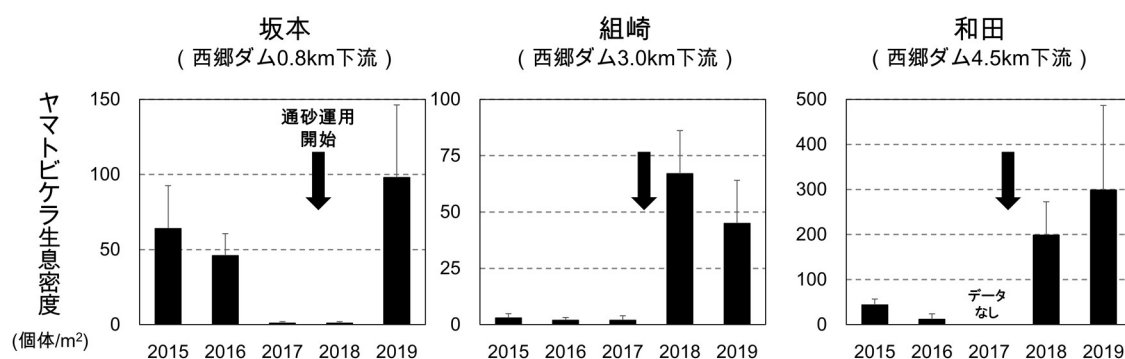


図 1 西郷ダム下流 3 地点のヤマトビケラの生息密度変化（エラーバーは SE）

また、大きな礫を生息場所とする剥取食者のヒメヒラタカゲロウやミヤマタニガワカゲロウも通砂後に増加しており、餌である付着藻類を介した砂礫供給の間接効果が存在するのかもしれない。一方、ダム直下の坂本では、最初の通砂運用後の 2018 年の冬、造網型トビケラやヤマトビケラが大きく減少し、トビイロコカゲロウ等が優占する貧相な群集組成となった。この原因として小さな礫が河床を被覆し、造網型トビケラの生息場所となる巨礫が埋没したことが考えられる。2019 年には造網型トビケラやヤマトビケラが回復したことを考えると、この小さな礫は一連の出水イベントによりさらに下流へと移動したと思われる。河川生態系における出水攪乱の重要性は広く認識されている。この攪乱を考える上で、ある場所の河床材料が動くことも当然重要であるが、ある場所の大きな材料は動かなくても上流からより小さな材料により埋め尽くされると極めて大きな攪乱インパクトになると考えられる。土砂はパルス状に移動するため、点の調査では土砂パルスの影響を検出できない場合も生じる。土砂供給による影響を把握するためには面的な調査が必要と考えられる。

耳川通砂運用開始から約 2 年、魚類には未だ明瞭な変化が見られないものの、底生動物では通砂による効果と考えられる現象がいくつか確認できた。今後、山須原ダムを含めた 3 ダム連携通砂も予定されており、土砂動態に関連する重要指標については河川環境モニタリングを続けていくことが望まれる。

## 登壇者プロフィール

### ○角 哲也

1995 年土木研究所水工水資源研究室主任研究員、1998 年京都大学大学院工学研究科土木工学専攻助教授、2009 年より京都大学防災研究所水資源環境研究センター教授。近年は気候変動やダム堆砂による水資源システムの長期脆弱性評価や持続可能な流砂系総合土砂管理の観点から、ダム貯水池における水量・水質・流砂の現状評価と実行可能な改善方策について、理論的・実践的な研究を行う。

### ○杉尾 哲

1989 年宮崎大学工学部教授、1994 年宮崎大学地域共同研究センター長、2009 年より宮崎大学名誉教授。現在は NPO 法人大淀川流域ネットワーク代表理事、一ツ瀬川水系濁水対策評価検討委員会専門委員、耳川水系総合土砂管理に関する評価・改善委員会会長等を務め、流域ネットワークの強化や河川環境の保全に取り組む。応用生態工学会理事。

### ○島谷 幸宏

1993 年土木研究所河川環境研究室長、2001 年国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所長、2003 年より九州大学工学研究院教授。平成 29 年 7 月九州北部豪雨では、応用生態工学会災害調査団の団長を務め、持続的で豊かな暮らしと環境を再生するための緊急提言をとりまとめる。応用生態工学会理事。

### ○高橋 健一郎

2018 年延岡土木事務所次長、2019 年より宮崎県県土整備部河川課長。2008～2010 年に宮崎県県土整備部河川課主幹として耳川水系総合土砂管理計画策定に向けて努め、計画策定後の 2014～2015 年には宮崎県北部港湾事務所工務課長として総合土砂管理に関するワーキンググループに関わる。また、2017 年には宮崎県県土整備部河川課長補佐としても、宮崎県の河川行政に携わる。

### ○中山 浩章

2016 年九州電力株式会社耳川水力整備事務所副所長兼防災・環境グループ長、2018 年より九州電力株式会社耳川水力整備事務所長。1987 年に九州電力株式会社に入社以来、主に水力発電所の調査・計画・設計・建設・保守業務に携わる。

### ○中野 大助

2012 年 Cary Institute of Ecosystem Studies (米国・NY 州) 客員研究員、2019 年より一般財団法人電力中央研究所上席研究員。自然再生事業の評価や利水施設に被害をおよぼす外来種の生態ならびに対策に関する研究を行う。近年は貯水池堆砂対策に伴う土砂還元が河川や沿岸の生物と生態系機能に与える影響に関する研究を進める。

### ○鬼倉 徳雄

2004 年 12 月九州大学大学院農学研究院助手、2007 年同助教、2017 年より同准教授。魚類の生態とその保全に関する研究や、陸水生態系/干潟生態系の構造と機能を解明し、その保全に資する研究を行う。球磨川では、荒瀬ダム撤去に伴う土砂供給に着目し、干潟生態系の維持基盤の解明に取り組む。

### ○黒田 明

2014 年耳川広域森林組合(椎葉支所長)、2018 年より耳川広域森林組合部長。幼少より森林環境に親しみ、地元林業の発展に邁進する。

[illegible]