

ダム下流河道の物理環境を検討する手法の 体系化についての取り組み



Integrating the knowledge of geomorphic downstream effects of dams on rivers into an engineering guideline for environmental impact assessment

ふじ た こう いち
藤田光一*
Koh-ichi Fujita

1. 取り組みのねらい・達成目標

ダムが供用されることにより、下流河川に生じるインパクトとして、「流量の変化」(ピーク流量の低減、出水頻度の低下、出水のタイミングの変化など)、「土砂供給量の遮断・低減」、「流量Q～土砂フラックス Q_s 関係の変化」などがある。これらは、程度の差はあっても、下流河道の物理環境に何らかの変化をもたらさう。

物理環境の変化は、生物の生息・生育場の変化を意味し、下流河川の生物・生態系への影響予測において重要な部分を占める。物理環境の変化が生物・生態系に与える影響に関しては未解明な部分が多く残されているが、少なくとも、河床形状、表面付近の河床構成材料、洪水等による攪乱特性にどのような変化が起こるかは、影響予測に最低限必要な事項と言える。

また、流量や土砂供給の変化が河道の物理環境に与える影響予測については、沖積河道の河道処理のために培われた河川工学の知見が相当程度応用できるはずであり、その点で、生物への影響予測に比べ恵まれた状況にあると言える。それだけに、現在に手に入る知見によりどこまで体系的な手法として提示できるかをその限界とともに先行して示すことが求められる。

以上を踏まえ、「ダム環境プロジェクト」の一環として、「ダムが下流河道の物理環境に与える影響についての捉え方(仮題)」(以下「捉え方

と略称)を、今年度中に次のスタンスでとりまとめるべく検討を進めている。

- ・とりあえず1回、体系的にまとめて、多くの人に見てもらい、指摘を受け、不充分なところを良くしていくという状況を作る(物理環境についても、簡単に100点満点のものができる状況ではないことから)。
- ・現時点での現場への検討作業の指針とする。
- ・生物への影響の検討に対して、物理面での変化の全体像や基本メカニズムの枠組みを示し、両者のすりあわせや互いの研究開発成果のフィードバックを活性化することに役立てる。
- ・現状では未確立で、早期に開発すべき技術等も書き込み、課題解決に向けての研究開発を活性化する。

2. 体系化の基本的流れ

現在、以下のような基本構成のもとで、「捉え方」の作成作業を進めている。

「土砂の動きと河床材料の捉え方の基本事項」	「調査に関する事項」	「分析に関する事項：	基礎分析に関する事項
			応用分析に関する事項
	「土砂の動きと河床材料の捉え方の基本事項」		

「土砂の動きと河床材料の捉え方の基本事項」は、ダムによって起こりうる下流河道の物理環境変化を検討する際に知っておくべき土砂動態の基本的特性を説明するものであり、引き続き述べられる調査、分析の土台となる。「分析に関する事

* 国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部河川環境研究室室長
Head, Dr. Eng., River Environment Division, Environment Department, National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT

項」は、現況の物理環境の特性理解と、それに基づく将来予測を目的として行うものであり、共通して必要と考えられる最低限の検討を示した「基礎分析に関する事項」と、ダムによる物理環境変化のパターンや予測の重点項目などに応じて適切な手法を選択し、より詳細な検討を行うための「応用分析に関する事項」に分けて記述している。

ところで、ダムが下流河道にもたらす変化として、河床（あるいは滯筋）の低下や河床構成材料の粗粒化（いわゆるアーミング）がしばしば指摘される。しかし、ダムによる流量変化には様々なパターンがあり、また、物理環境のレスポンスは、下流河川の元々の特性や、下流で合流する支川の影響度によっても大きく変わりうる。このことから、「河床構成材料の粗粒化」や「河床低下」だけを最初から想定するのではなく、様々なパターン・程度のレスポンスがあることを考慮すること、ダム下流河道の物理環境のレスポンスを支配しうる要因を総合的にとらえて、個々の河川区間でどのような変化が起こりうるかを実態に即して検討していくことが肝要である。「捉え方」においても、そうしたスタンスを重視している。（後述5. 参照）

以下、基本構成各要素のポイントを説明する。

3. 「土砂の動きと河床材料の捉え方の基本」のポイント

ここでは、粒径範囲が異なり、河道に対し違った動きをする土砂集団すなわち粒径集団ごとに土砂の動きを見ていくことを前提にした上で、以下のポイントを強調している。

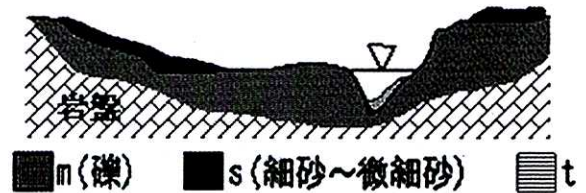
材料m、s、tを理解する

材料mとは：横断面内で、流れを頻繁に受ける低い河床領域にある、最も粗い粒径の集団。材料mは、安定的に存在し、河道の骨格である縦断形状や砂州形状、低水路の粗度係数、ハビタットの評価に重要な瀬・淵の形態などを規定する。

材料sとは：材料mが存在する場所の脇の河床部分にあり、材料mの平均粒径よりも1オーダー以上細かい材料。浮遊してきた細粒土砂を堆積させることで材料sからなる河床ができる。山地

部河道やセグメント1での材料sの堆積は、あっても一般に薄い。しかしここでは、材料mである礫が露出している場所に比べ植物がずっと生育しやすい。植物の立地条件を考える上でも、材料sは重要となる。

材料tとは：平水時に水面下となる河床部分の一部に存在するもので、材料mの上に（多くの場合薄く）乗った材料であり、粒径は材料s程度あるいはさらに細かいこともある（粒状有機物もこれに含めて考え得る）。材料tの存在は、一時的で不安定なことが多く、ちょっとした出水があるとフラッシュされることが多い。したがって、粒度のほかに、存在範囲とそのタイミングの把握が重要になる。



〈図一〉山地部やセグメント1河道における材料m、s、tの存在状況のイメージ

「通過型」、「混合型」を理解する

混合型とは：その場所の主河床材料（材料m）と有意に混じり合いながら輸送される。河床変動に寄与し、その分、自身の流量も縦断的に変化する。材料mの流送はその定義から混合型である。河床材料を起源とし、掃流あるいは浮遊形態で流送される。

通過型とは：その場所の主河床材料（材料m）と有意には混じり合わない（せいぜい材料mの隙間を満たす程度）。材料mにかかわる河床変動にほとんど寄与できない。その場所は“通過区間”で、自身の流量の縦断変化は小さい。一部が材料s、tになるが、その量は一般に全フラックスに比べればごく小さく（材料s）、あるいは堆積が一時的（材料t）なので、マクロにとらえて材料s、tも通過型に分類できる。ウォッシュロードあるいはそれに似た輸送形態を持つ土砂を起源とし、出水時には浮遊形態で運ばれるが、平水時には材料mの上を筋状に掃流形態で運ばれるのを目にすることもある。

「通過型・混合型」「材料m、s、t」を区分しての調査・分析を行う

土砂を一括して同じ手法で機械的に取り扱わず、粒径集団に分けて考え、それぞれの粒径集団の動態に適した手法を採用する。対象としている各粒径集団の粒径範囲を明らかにした上で、「通過型、混合型」の区別、「材料m、s、t」の区別を各粒径集団について行っておく。

混合型の粒径集団について供給土砂量を設定するときには、材料mの粒度分布に基づく流砂量計算から与えることを基本にする。川底であっても、河床材料の粒度分布には、細粒側に材料sや材料tに相当するものを多少含んでいる（ふつう1割以下だが幅がある）。混合型である材料mの流送や河床変動の計算をする場合は、これらの粒径範囲を除去した上で流砂量計算を適用することを原則とする。

一部が材料sあるいはtになる通過型の粒径集団の供給量を設定する場合は、それらが流域等からウォッシュロード的に供給されることを前提にし、具体的には、流量 Q ～当該粒径集団の土砂フラックス Q_{si} 関係の利用（観測データが必要）、流域地質を加味した推定法、ダム堆砂量推定法などの応用を考える。

4. 「調査に関する事項」のポイント

流域・水系の視点からも調査する

ダムが建設されるのは山地部であり、山地部の河川は、沖積河川に比べ流域の地形地質の影響をより直接的に受けている。また、流域・水系のどのような位置にダムが建設されるかが、下流河道におけるダム供用の影響の出方を大きく左右する。たとえば、ダム地点から下流に行くにしたがい急速に流域面積が増えるケースとなかなか増えないケースとではダムの影響が異なると予想される。したがって、ダム周辺の河川の特性を流域と水系の視点から把握しておくことが、沖積河川を対象にする場合よりもはるかに重要になる。本支川流域の位置・面積、地質・地形分布、砂防指定区域等の状況、流域における人為的改変状況などを机上および現地調査の両方から把握しておくことが大事となる。

山地部河道と沖積平野河道との違いを理解する

ダム下流河川は山地部にあることが一般的で、山地部の河道は、沖積平野の河道特性と比べて時、共通性ととともに、山地部ならではの特性も多く持つ。特に、河床材料調査に際して、山地部河道ならではの次の特徴を理解しておくことが重要である。

まず、材料mであっても、その粒径の空間的ばらつきが大きい。材料mの中で、さらにいくつかの粒径集団に分かれ、場所によって卓越する粒径集団が異なるという状況が出てくる。この結果、同じ材料mでも場所によって動きが随分異なることが起こりうる。この原因には、上流から幅広い粒径分布が供給され分級することだけでなく、支溪流からの岩石崩落など、土砂の供給源・ルートが多様なことがあげられる。

また、場所によっては堆積層厚が薄く、すぐ岩盤になるところがある。岩盤が露出するかどうかで、河床変動および土砂流送特性、河床材料、ハビタット機能も大きく変わってくることから、堆積層厚（岩盤位置）を把握することが重要な場合も出てくる。

河床材料調査は原則表層を対象とし、あらかじめ決めた間隔等に従って機械的に行い、その上で種々の整理を行う

生物が息息・生育する河床表面（表層）の状態の変化予測が重要であることから、河床構成材料の調査は面積格子法または線格子法を採用することを原則とし、必要に応じて通常の河床材料調査法（表層下の材料を採取）を併用する。

河床材料調査は、検討対象区間の河床材料の全体的傾向を把握するのに十分なサンプリングを行うという観点を基本に、原則として縦断方向に一定間隔で機械的に行う。横断方向の調査も、右岸・流心・左岸などやはり一定のルールに則り行うことを原則とする。

得られた粒度曲線を全てプロットし、対象区間の河道を構成し、あるいはそこで流送されている各粒径集団の粒径範囲を特定し、それぞれについて材料m、s、tの区分を行う。材料mに区分される粒径集団には、山腹などから直接供給されたために、河川縦断方向に有意に移動し得ない集団が

入ることがあり、これも山地部河道の特徴である。

以上の結果を用いて、各粒径集団の平面分布状況を材料m、s、tの区分を付けて河道平面図上に表す。これにより、材料mであっても、複数の粒径集団からなり、しかもそれが平面的に分かれて存在するという山地部河道特有の状況を把握することができるようになる。さらに必要に応じて、浮石・はまり石や瀬・淵の平面分布情報も加える。

支川合流点の河床状況を把握する

支川からの土砂供給が、合流点付近から下流におけるダムの影響の出方を大きく支配することもあり得るので、支川の影響度を把握するための調査が重要となる。支川からの材料mの供給に関する影響度の強さは、合流点付近の河床の状態を分析することで、ある程度推定できる。

ダムによる流量変化の詳細な把握

ダムが流量をどう変えるかは、下流河道への影響予測において最も重要な因子となる。ダムによる流量変化と言っても様々なパターンがあり、豊・平・低・渇水流量や年最大流量の発生確率の変化だけでなく、実際にどのような“流量ハイドロ変換装置”として当該ダムが働くかを具体的に見て、その特性をまとめておくことが大事である。

5. 「分析に関する事項」のポイント

各粒径集団の動態がダムの供用によって大局的にどのように変わるかの把握—基礎分析—

材料mについては、代表的規模の洪水による掃流力と各粒径集団の代表的粒径に関する限界掃流力を各地点で比較することにより、各粒径集団の動きやすさがダム供用によりどのように変わるか、この変わり方が場所によりどう異なるかを分析する。

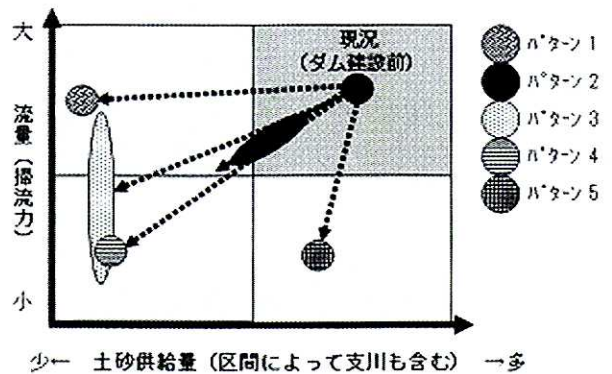
材料sやtは通過型であり、ダム供用によっても混合型に変わることはまれと考えられるので、河床に作用する掃流力からではなく、供給源である本支川流域の特性とダム地点での土砂流送遮

断・低減作用に基づき、当該水系における土砂動態マップ（土砂フラックスを太さで表した水系図）としてダム供用前後について表現することを基本とする。

下流河川の物理環境変化のシナリオ吟味とそれに基づく応用分析手法の選択

基礎分析の結果から、どのような物理環境変化が現れるかについてのシナリオを描く。「捉え方」では、シナリオ特定の助けとなるように、代表パターンの提示を以下のような方向で行うべく検討を進めている。すなわち、供用後、

- (0) 大きな変化は起こらない。
- (1) 材料mが変わらず動き、その一方でその供給が急減し、河床低下やアーマー化が生じる。
- (2) 上記のような現象が現れるとは限らないが、材料mの粒径変化、河床形状変化が起こる。
- (3) 材料s、tがダム供用後も通過型として動き続け、材料s、tが河床から抜け落ちていく。
- (4) ダムによる洪水ピーク流量の低減効果が大きい場合、材料mが動かなくなる。あるいは、動く頻度が大きく減る。これに伴い裸地河原への植生域拡大が進む可能性がある。
- (5) 一時的、局所的に材料s、tが河床を覆い、場合によっては堆積が進む。



〈図—2〉 河道変化のパターンに関する模式図

これらのパターンを、ダム供用による流量と土砂供給量の変化を軸とした座標上の動きにより模式的に表すと〈図—2〉のようになる。図の横軸で、供給量があまり減らない範囲まで入れているのは、土砂流入の多い支川の合流点より下流区間

や土砂還元なども想定しているからである。

基礎分析を踏まえ、さらに詳細な、あるいは定量的な応用分析に入っていく場合、そこで用いる手法は上記パターンによって大きく異なってくる。たとえば、材料 m が主対象となる混合粒径の一次元河床変動計算は、ある程度上記(1)、(2)に有用と考えられるが、それ以外には効果を発揮しにくい。本稿の次で取り上げている植生消長シミュレーションソフトは、(4)の植生域拡大の見通しを得るのに役立つ可能性がある。(5)については、材料 s 、 t の流送・堆積計算が有用となるかもしれない。

以上からわかるように、ダム供用に伴って起こる下流河道の物理環境変化には、様々なパターンが考えられることから、たとえば、どのようなケースでも河床変動計算を行うというようなスタンスではなく、特定されたシナリオに応じて、予測に役立つ分析手法を見極め選択するというプロセスが重要となる。「捉え方」において、基礎分析と応用分析の間にシナリオ吟味という項目を入れたのは、こうした意図に基づく。

「捉え方」の作成においては、手法選択の考え方の参考になるように、現時点で想定できるシナリオに応じた手法選択のひな形を示すべく検討を進めている。ただし、たとえば、材料 s 、 t の抜け落ち現象の予測手法、材料 s 、 t の一時的、局所的堆積現象の予測における境界条件の与え方、さらには前述の(1)や(2)であっても、材料 m が複

数の粒径集団からなり、材料や河床形状の平面分布まで知ることが求められる場合などについては、実用的な手法は確立されていない。「捉え方」では、こうした項目についても言及し、効率性という点で課題となっている調査手法などとあわせて、進めるべき研究開発の課題と位置づけを極力明確にするよう努めている。

6. おわりに

本分野は、実務面での本格的な検討が始まって日が浅く、まだ多くの技術的蓄積を必要とする。前述のシナリオに関するパターンや分析手法選択の方向についても、個々のダムについてモニタリングを含む具体的な検討が進む中で、新たな視点や方法が見出され、改良すべき点が明確になることも大いにあり得る。そうした意味で、この「捉え方」は、現場での様々な検討の成果を集約して共有化するための“協働作業場”であり、実ケースでの検討過程や生物への影響に関する知見との活発なキャッチボールができて、はじめて本格的な指針に成長できる。

【参考文献】

- 1) 藤田光一：流砂系における土砂動態のとりえ方と広域土砂動態制御への展望，第36回水工学に関する夏期研修会Bコース講義集，2000.
- 2) 大沼克弘：植生消長シミュレーションソフトの開発について，河川，2005.12