

1. 日本におけるダムの基本的位置づけを、日本の治水・利水の歴史的・地理的特徴から理解しておくことが大事である。一序論として—

1. 1 日本の河川・流域の地理的特徴

細長い国土に急峻な脊梁山脈を持つ島国の日本では、大陸の河川に比べ、地形が複雑で流域のスケールが小さく、河川勾配は概して急である。また、モンスーンアジアの影響下にある温暖湿潤気候に属し、台風の影響をしばしば受け、年間を通じて降雨量は多く（全国平均で年間およそ1700mm）、晩春から初秋にかけては豪雨も頻発する。この2つの条件が合わさって、洪水は長くても数日の、しかし平水流量に比べ大きな流量を持つフラッシュ型となり、河状係数は 10^2 のオーダーを持つのが普通である。洪水時に流出する水量は年間を通した川の全流出量の相当部分を占め、つまり、使いやすい非洪水時（平水）の水は流出総量の割に少ない。こうした特徴を表す一例を図-1に示す。

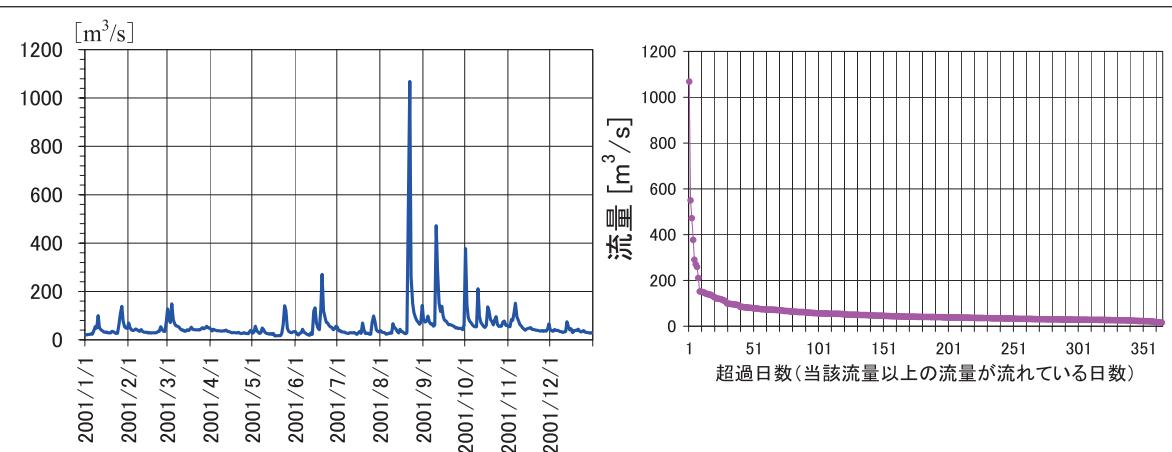
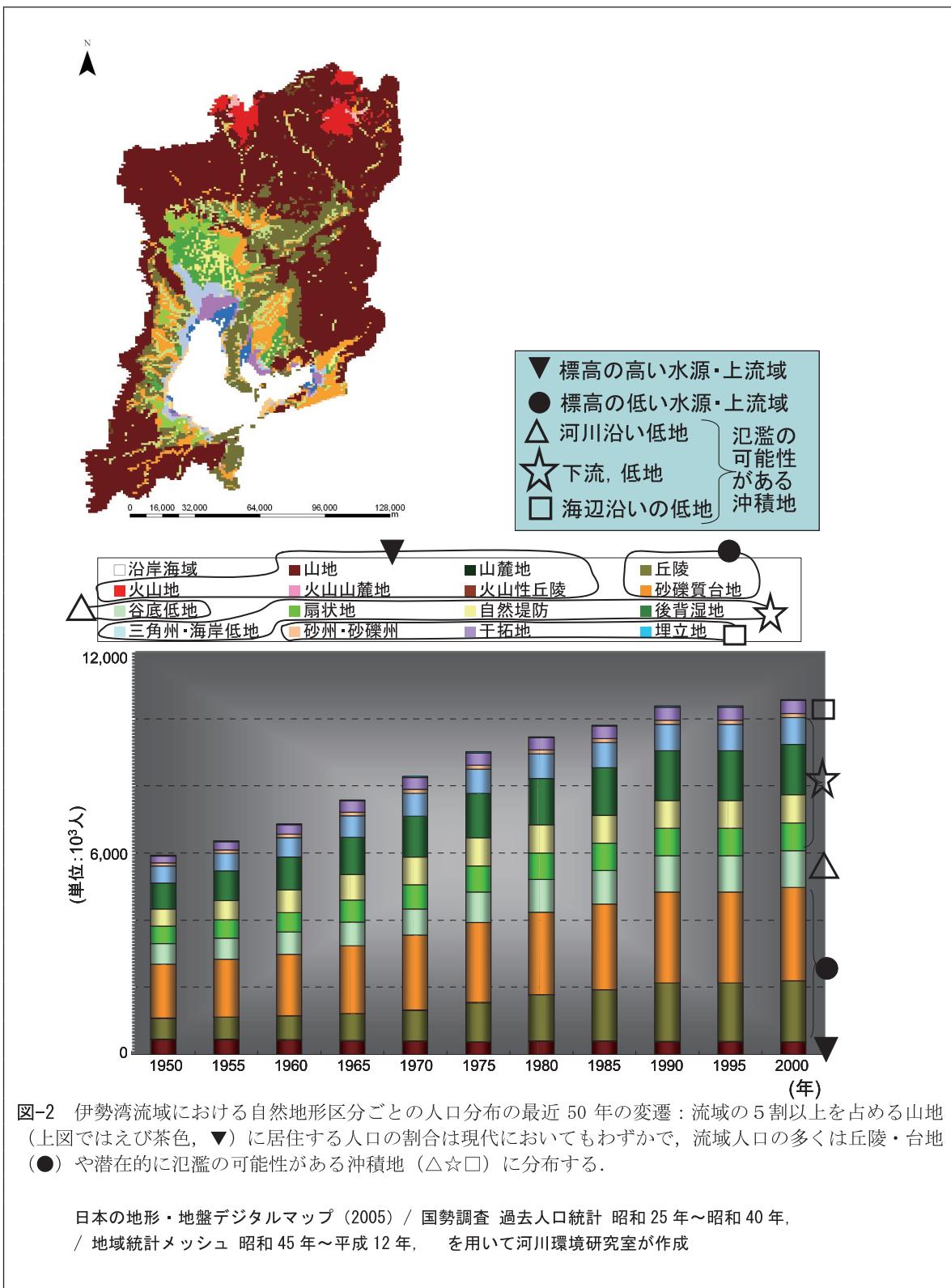


図-1 河川流量の年間時系列の一例：左は流域面積およそ 1800km^2 のP川の基準地点での日流量を2001年について表示したものであり、右はその流況曲線（年間の日流量を多い順に並べたグラフ）である。まとまつた降雨の発生に応じた短期間の「出水（洪水）」群と、それよりはるかに小さい流量だが常時流れ、年間の大部分を占める「平水」の2つの対比がよくわかる。なお、ここで示した流量は、流量調節や取水などの人为的影響を推算により取り除いたものである。この方法については付属資料2を参照されたい。

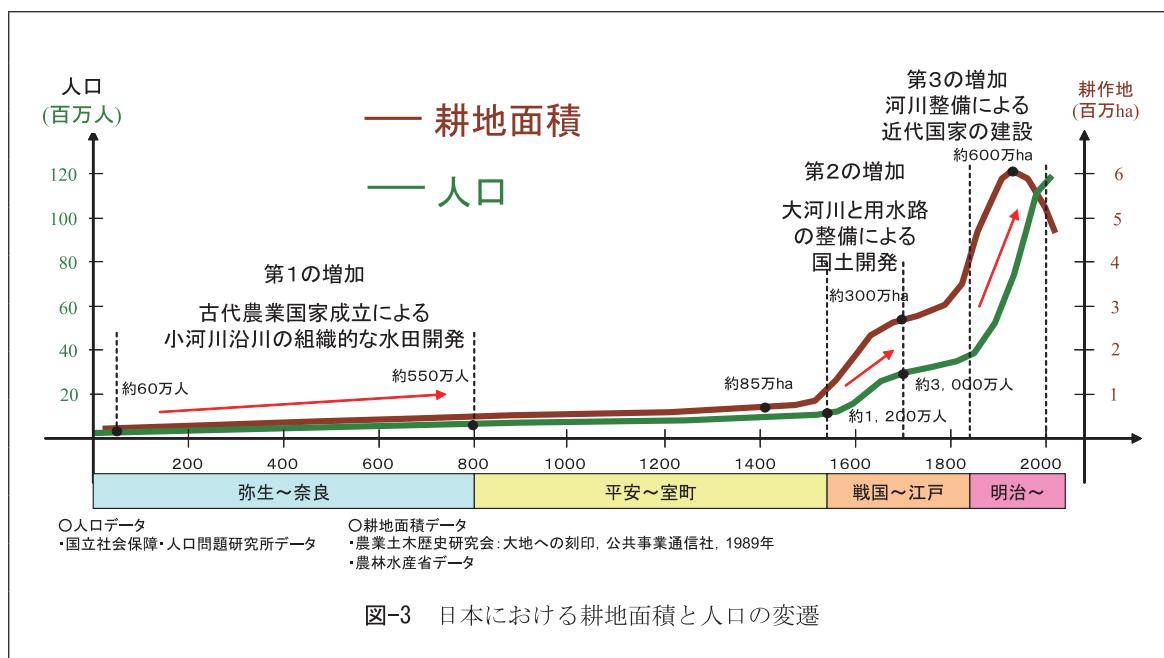
また日本は、山地が国土の7割ほどを占める山国であり、山地は概して急峻で、平地との区分は明瞭であり、土地利用状況を森林から変えてしまうような開発は主に山地以外（沖積平野、台地など）で展開されてきた。（図-2参照）したがって、過度な伐採等により一時期一部で荒廃することはあるても、あるいは大都市流域を除けば、河川の主たる水源である山地は今日に至るまで基本的には森林であり続け、図-1の事例にも示されるとおり、洪水はフラッシュ型である一方、平水時には変動はあっても常にそこそこ水が流れる状況にある。



1. 2 近世までの川と人のかかわり

こうした地理的状況から、近世（16世紀後半～19世紀中盤）までの河川と人との関係は、洪水をやり過ごし、もっぱら平水を利用するというものであり、生計の基盤である稻作灌漑農業への悪影響という意味で、平水流況における渴水が、洪水被害や冷害と並んで、ずっと長い間、人々の大いなる、命に関わる心配事であった。

逆に言えば、近世までの日本の国力は、安定的な灌漑が可能で、洪水被害を一定程度におさえられる水田の確保と一体不可分であったと言え、実際、19世紀までの日本の人口の増加と耕地面積（主に水田）の増加には、図-3に示すように高い相関がある。耕作地の大幅な増加には、溪流や小河川沿いの水田を越えて、より大規模な沖積平野に進出し、氾濫常習地を水田として馴致することが不可欠となる。近世に入って、大幅な人口増加すなわちより多くの人々の命を支える国土づくりに積極的に踏み出していく中で、沖積平野を水田に変え、稻作灌漑用水を河川から取り、洪水被害を低減する営みが数百年にわたり様々な積み重ねられた。この間、渴水や洪水との闘い、これらに関わる社会的摩擦の激化と調整が繰り返された。こうして、治水、利水のシステムが社会制度面も含め形成され、日本の社会に深く根を下ろすこととなった。特に、稻作灌漑農業にかかる強固な水利秩序は、今日においても重要な影響を有している。

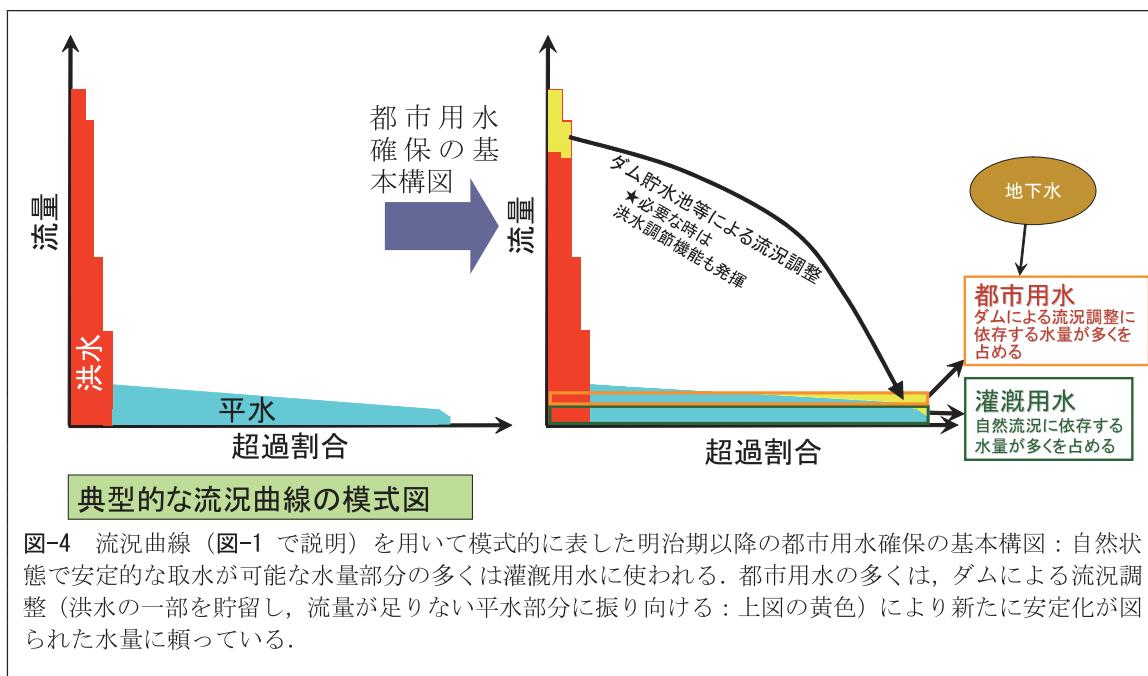


1. 3 明治期以降の工業化・都市化の時代における川と人のかかわりとダムの位置づけ 都市用水確保の基本構図

明治期以降の近代（19世紀後半～）に入ると、工業化・都市化という新たな国づくりの方向が加わり、実際日本は、近代国家として急速な発展をとげる。これに伴い、当然、都市用水や発電用水という新たな水需要が生じた。しかし、工業化・都市化を迎えての新規

水需要を既存の農業用水を削って確保することは、上述の用水確保の歴史的経緯から現実的でなかった。このため、既存の農業用水取水を優先させ、それに影響を与えない形で都市用水や発電用水を新たに確保するという構図となった。近代以降今日に至るまでこの構図は基本的に維持されている。そこで都市用水は、地下水やダム貯水池等による流況調整に頼ることとなった。なお、地下水への依存は、地盤沈下問題により、高度成長期以降今日まで抑制される方向で来ている。現在、都市用水のうち自然の河川流況に依存しているのは2割強に過ぎず、3割弱を地下水に、半分強をダム貯水池等による流況調整（水資源開発施設による開発水量）に頼っている（平成18年版 日本の水資源）。

こうした構図を典型的な流況曲線を用いて模式的に表したのが図-4である。



マクロな水収支・水利用

以上のような水利用が河川の流況にどのような影響を与えていたかを、最近の状況についてマクロな視点で見ていく（平成18年版 日本の水資源）。図-5を参照されたい。日本の水資源賦存量（降水量－蒸発散量：純自然状態の河川・地下水総流出量に相当）は平均すると4200億m³/yrである。水利用は、農業用水が600億m³/yr弱、都市用水が300億m³/yr程度である。地下水利用を除き河川水からだけにすると、それぞれ500億m³強と200億m³強になる。すなわち水利用は、水資源賦存量の2割強（河川水利用に限定すると2割弱）にとどまる。そして、河川水利用に占める農業用水の割合は7割ほどであり、今日においても大きく、また前述の構図から、その多くが河川の元々の基底的流量から取水される。一方、ダム貯水池などによる開発水量に多くを頼る都市用水については、次の点をおさえておく必要がある。

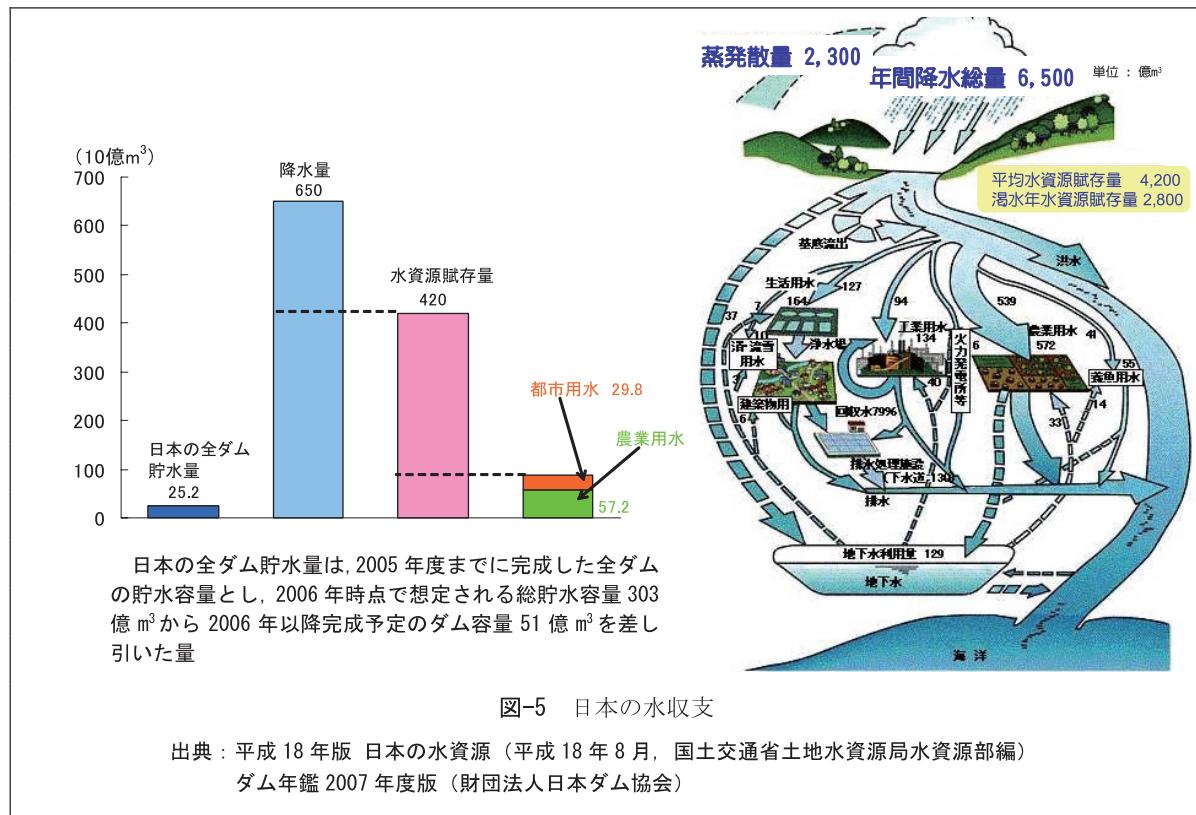


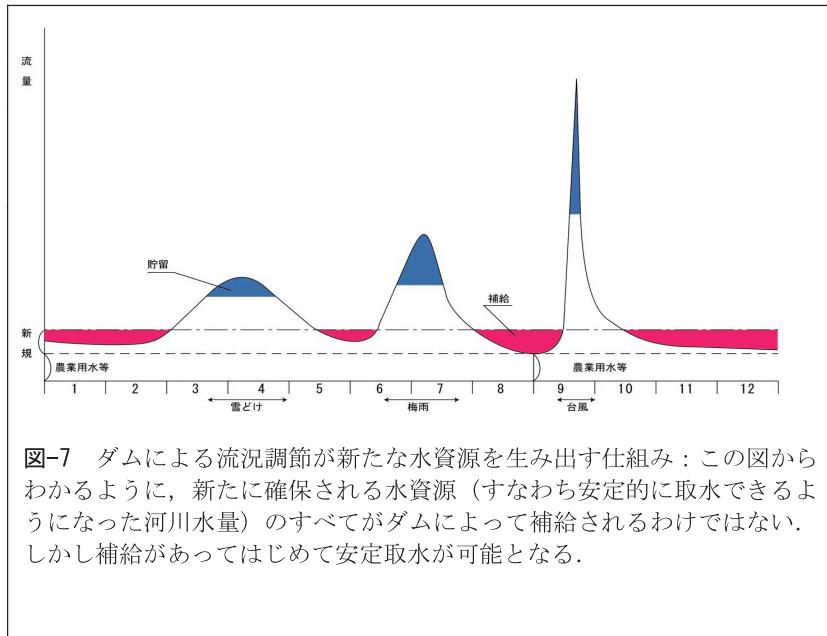
図-5 日本の水収支

出典：平成18年版 日本の水資源（平成18年8月、国土交通省土地水資源局水資源部編）
ダム年鑑2007年度版（財団法人日本ダム協会）

ダム貯水池と下流河川流況とのマクロな視点からの基本的関係

日本では、前述の地形的条件などから、ダムが造られるのは一般に急峻な山地部であり、ダム貯水池の“貯める力”は量的にはさほど大きくない。たとえば、日本のダムの総貯水容量は、図-5に示すとおり、発電や洪水調節用も含め単純に合計しても約250億m³であり、上記の水資源賦存量の6%程度に過ぎない。したがってマクロに見れば、年間の洪水を丸ごと貯め込むような容量からはほど遠い。

実際、1つの水系に着目した場合のダム（群）による流況調整の効果は、沖積平野の中心地まで下ってくると、洪水流況や平水流況を丸ごと変えるものにはなっていないことが多い。その代表的パターンの1例を説明したのが図-6である。日本のダム貯水池は、総じて、その限定的である容量を最大限発揮すべく、洪水丸ごとではなくその一部（被害の防除・軽減に最も効く洪水ピーク部分など）をターゲットに調節し、また、渴水時に水を補給するという制御を“丁寧に”行う性格を元々持たされていると言える（図-7）。



2. ダム下流河川の物理環境とダムとの関係は、「ダム地点で生じる現象」と「その現象が下流にどのように伝わるか」の2つの要素の掛け合わせによって決まる。前者だけでなく、後者の要素も組み込んで考えることが必要である。また、下流河川における直接的作用がもたらす現象と混同しないことも大事である。

2. 1 ダム地点で生じる現象

ダムは、治水・利水（人間のより良い生活）の目的を達成するために、その地点において水を貯留し、貯留した水をコントロールして放流する。時には、環境保全上必要な水量の確保も目的となる。これに伴い、ダム地点では次の変化が生じる。ただし、その変化の程度は流域の特性、ダムの規模、ダムの目的と運用などによって様々に異なる。

①流量の変化

出水時における流量の変化（ピーク流量の低減、出水頻度の低下、出水時期・タイミングの変化等）と、平常時における流量の変化（流量の平滑化、それとは逆の流量変動の付与等）がある。

②土砂供給の変化（多くの場合、大幅低減や遮断）

水を貯留し、常時貯水池を有するダムは、基本的に多くの流入土砂を貯め、貯められた土砂は自然な状態ではダム下流に移動しないので、下流への土砂の供給が大幅に低減し、場合によってはほとんど止まる。

③物質の変化

通常、河川には山地などから供給される物質が水とともに流送されている。それらの物質がダム貯水池に滞留することにより、物質フラックスが変化し、さらに物質そのものが変化して下流に出て行く場合がある。窒素やリン等の栄養塩類の滞留により植物プランクトンの生産が増大し、それがダム下流に流れる現象などはこの一例である。

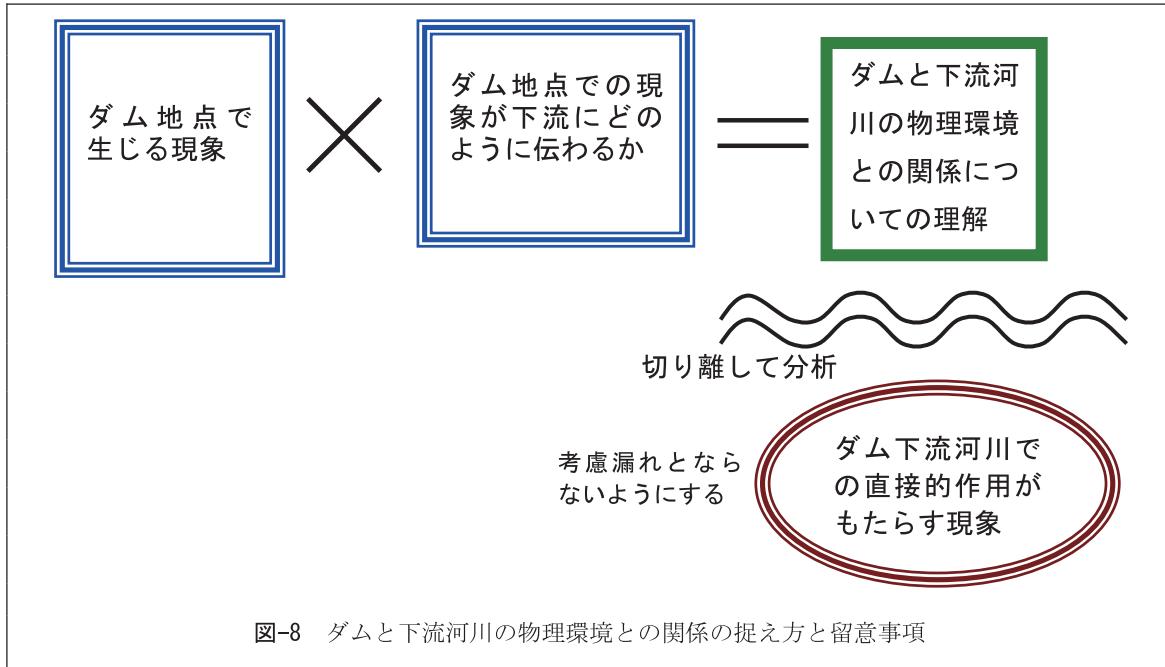
④水質の変化

上記①②③により、放流される水質が変化する。物質の濃度・種類、濁度に加え、水温が有意に変化することも珍しくない。

ダムと下流河川の物理環境との関係について整理・分析している本資料は、上記①～④のうち①と②を対象にしていることになる。

2. 2 ダムと下流河川の物理環境との関係の捉え方

ダムと下流河川の物理環境との関係を整理・分析するには、まず、2.1に示したようなダム地点での現象について、その実態を知っておくことが必要である。その上で、ダム地点での現象が、下流にどのように伝わり、どのような現象となって出現するのかを理解することになる（図-8 参照）。「ダム地点で生じる現象」だけを分析することは、ダムと下流河川の物理環境との関係の適切な理解を遠ざけることになるので避けなければならない。



2. 3 下流河川における直接的作用との混同について

ダムと下流河川の物理環境との関係を分析する際に、下流河川での直接的作用がもたらす現象を分離せずに含めてしまうこと、あるいはそれを考慮しないことは、やはり現象の適切な理解を遠ざけることになるので避けなければならない（図-8 参照）。

たとえば、河川からの取水は流量減少を、砂利採取はその区間で河床低下をもたらすが、いずれも上流ダム地点で生じる現象とは無関係である。ダム一般が原理的に起こしうるものと同じ種類の現象が下流河川で生じているからといって、それだけをもって短絡的にダムの存在と結びつけた解釈をしてしまうのは当然のことながら不適切であり、下流河川に直接的作用が存在する場合、それがもたらす現象を特定しつつ、ダムと下流河川の物理環境との関係を分析しなければならない。これらの事例については、後ほど7.で詳述する。

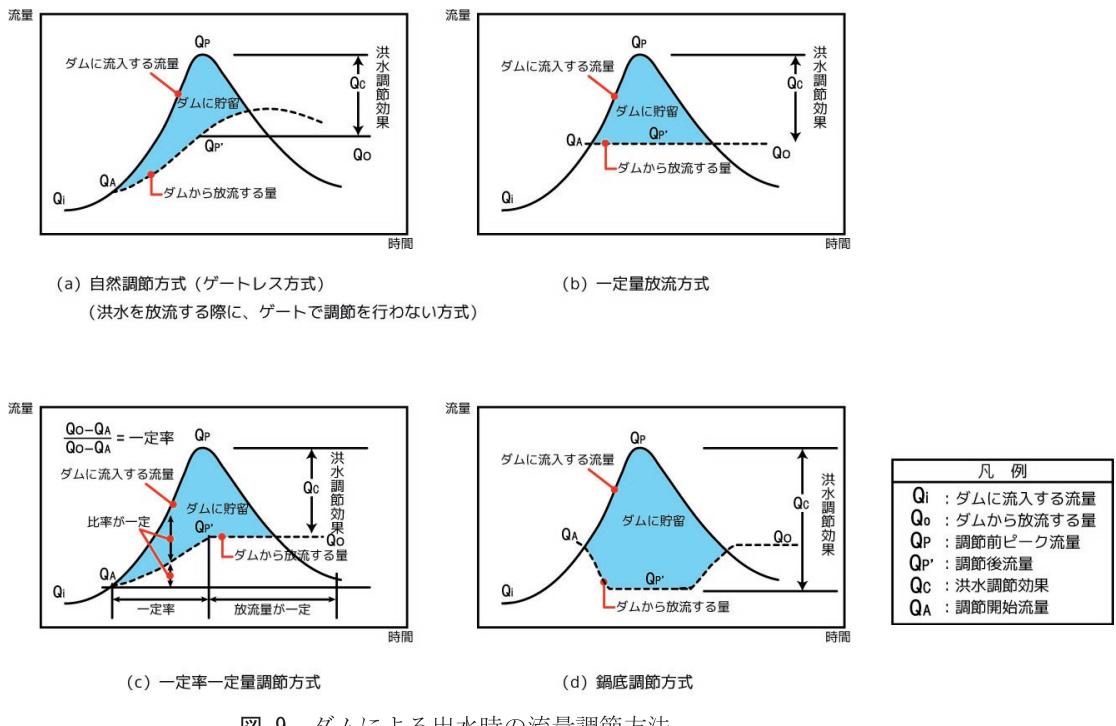
3. 実態その1

ダム貯水池を挟んだ上下流の流量の違いには様々なパターンがあり、ダム毎に異なる

ダム地点においては、ダムに課せられた本来的役割から、出水時における流量の変動に関して、また平水流況に関して、上下流で大なり小なり違いが生じる。しかし、その起り方や程度は以下に示すように一律ではない。

3. 1 出水時ピーク流量の減少（攪乱強度の減少）に関して

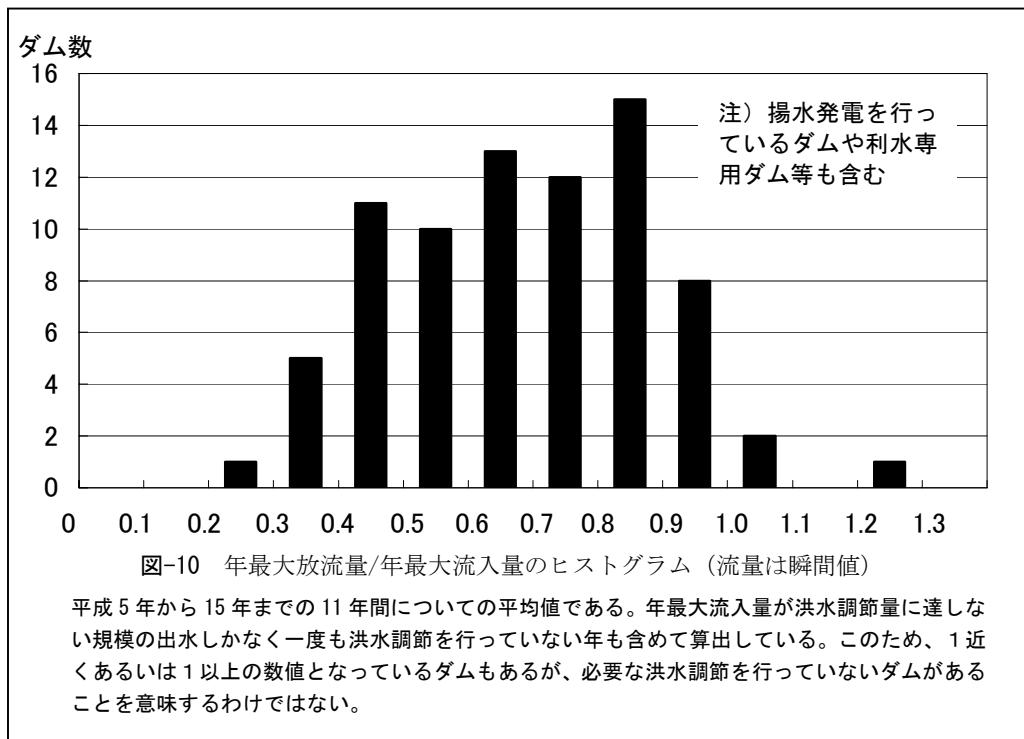
治水目的を持つダムは、洪水時に下流河川の流量をダムの操作により低減させることで、下流域の洪水被害を防止・軽減する。ダム毎に操作規則があり、洪水調節を行う方式（自然調節方式、一定量放流方式、一定率一定量放流方式など）や洪水調節開始流量、具体的な調節法が定められている。図-9に、ダムによる出水時の流量調節方式の説明を示す。調節の方法はダムにより様々である。



国土交通省および水資源機構が管理する既設ダム（全 98 ダム、平成 15 年度時点）のうち、平成 5 年から平成 15 年の 11 年間の流量データがそろっている 79 ダムを対象として、ダムによる出水時のピーク流量の減少の度合いが分析されている（大沼ほか 2006）。以下、その内容を紹介する。なお本章と 4. の分析の対象にしたダムの一覧は付属資料 1 にある。

このピーク流量の減少の度合いを示す指標として、平成 5 年から平成 15 年の 11 年間に

おける[年最大放流量／年最大流入量（いずれも瞬間値）]の平均値を用いた結果が図-10である。なお、新豊根ダムは揚水式発電を行っているため 2.44 と突出して高く、このグラフからは除かれている。この指標値が小さいほど攪乱強度の減少度合いが大きいことを、1 に近づくほど攪乱強度の減少が小さくなることを示すことになる。ただし、河川によって、河床勾配、河川の幅、河床構成材料の粒径分布等が異なるため、流量の減少度合いだけで攪乱減少の絶対量を見積ることはできない。また、流量による重み付けをせず各年の比を単純に平均しているので、流量規模の違いがもたらしうる影響までは考慮できないことに留意されたい。図-10 によれば、年最大放流量/年最大流入量の平均値は幅広く分布しており、攪乱強度の減少度合いはダム毎に大きく異なっている。



攪乱減少の度合いが小さい指標値 0.9 以上のダムは、概ね次のいずれかに該当している。

- ①揚水式発電を行っている：新豊根(2.44)，矢木沢(1.27)，天ヶ瀬(0.92)
- ②目的に洪水調節が含まれていない：芦別(1.04)，猿谷(0.93)
- ③流入量が洪水調節開始流量を上回る頻度が比較的小さい：菌原(1.03)，丸山(1.00)，横山(0.95)，高山(0.92)，新宮(0.93)
- ④洪水調節を一定率一定量方式で行っているダムでかつ流入量の増分に対する放流量の増分の割合が大きい：大渡 (0.92)，大川(0.90)
- ⑤流入量に対して貯水容量が小さい（高回転率）ため、ほぼ流入量と放流量が等しい：池田(0.98)

これらのうち、新豊根、矢木沢、芦別、菌原は指標値が 1.0 を上回っている。このこと

が治水と矛盾する流量調節を行っているわけではないことを次に具体的に説明する。

新豊根ダムは揚水式発電の上池であり、下池は佐久間ダムである（図-11）。新豊根ダムの場合、放流量は発電のための上池から下池への放流量も含まれているデータである。分析対象とした平成5年から15年のうち、年最大放流量／年最大流入量が1を越えているのは平成15年以外の全てであるが、このうち年最大流入量が最も大きい平成6年のデータを見ると、最大流入量 $534 \text{ m}^3/\text{s}$ が生じた時の下流河川への放流量は $30 \text{ m}^3/\text{s}$ となっており（年最大放流量は $645 \text{ m}^3/\text{s}$ ），洪水調節が行われている。このように、新豊根ダムでは下流河川に対しては一定率一定量方式の洪水調節を行っているが、揚水式発電におけるこのような放流量データの特質から指標値が大きくなっている。

矢木沢ダムも揚水式発電の上池であるが、下池はその直下にある須田貝ダムであり、さらにその直下に藤原ダムがある。分析対象とした11年間の月別の最大流入量と最大放流量のデータ（図-12）

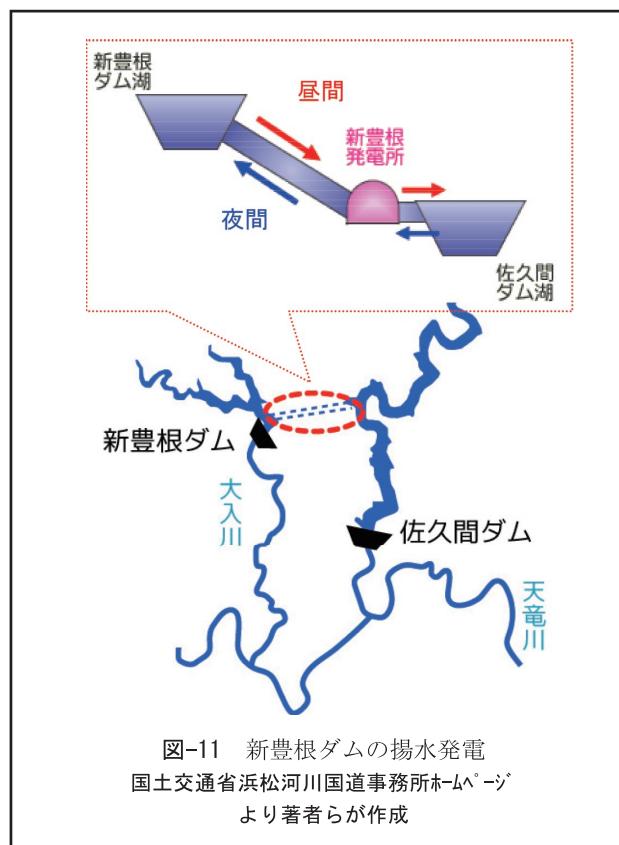


図-11 新豊根ダムの揚水発電
国土交通省浜松河川国道事務所ホームページ
より著者らが作成

を見ると、月別最大流入量は洪水期に高い傾向が見られるのに対して月別最大放流量には季節性が見られず、最大放流量は $300 \text{ m}^3/\text{s}$ を越えることは一度もないことがわかる。この $300 \text{ m}^3/\text{s}$ とは、計画最大放流量であると同時に矢木沢発電所の最大使用水量である。洪水時には放流量が流入量を上回ることがないよう洪水調節を行い（一定率一定量方式）、洪水でない時に最大使用水量である $300 \text{ m}^3/\text{s}$ を上限とする発電放流を行っている。分析対象の11年間のうち年最大流入量がこの $300 \text{ m}^3/\text{s}$ を越えているのは平成10, 11, 13, 14年しかなく、これらについては年最大放流量／年最大流入量が1を下回っているものの、他の7年でこれが1を上回っていることから、11年間平均である指標値は1.27と高くなっている。すなわち、洪水調節は行っているものの、流入量と比較して発電所の最大使用水量が大きい（計画最大放流量並）ことから指標値が高くなっている特殊なケースと言える。

芦別ダムは、桂沢ダムに導水して発電を行うダムであり洪水調節は導水先の桂沢ダムで行っている。

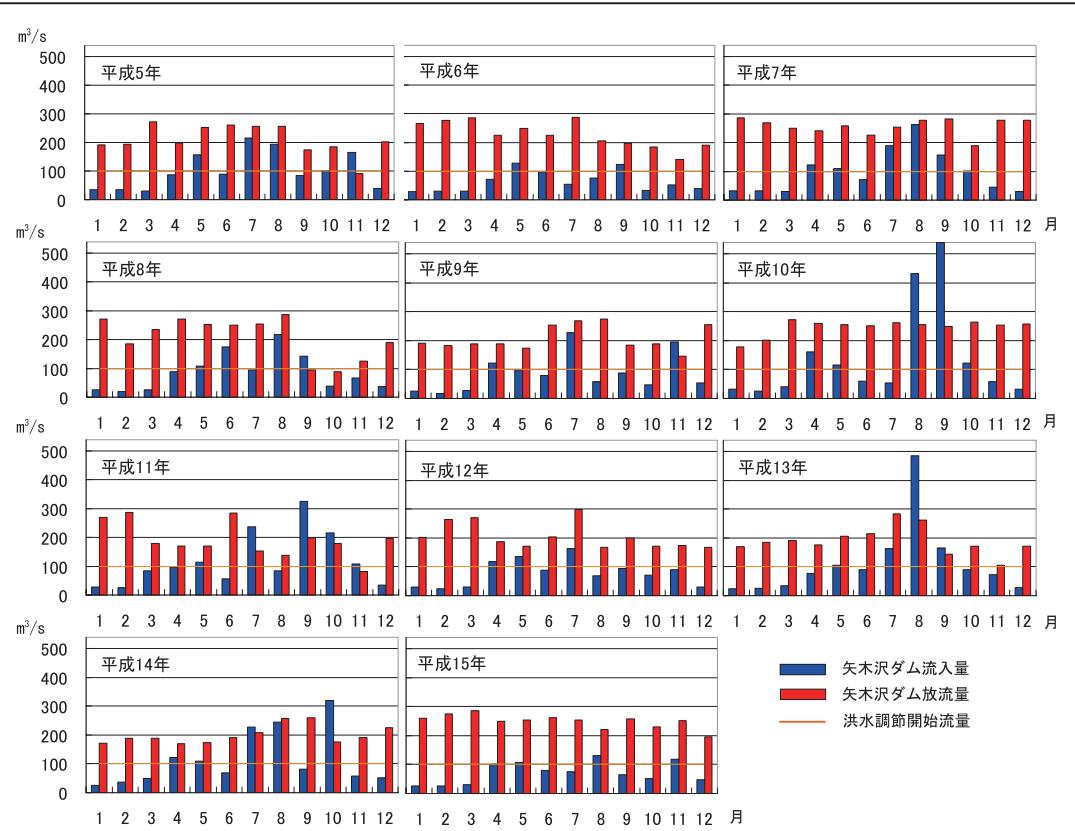


図-12 矢木沢ダムの月別の大流量と最大放流量（流量は瞬間値）

月別最大流入量は洪水期に高い傾向が見られるのに対して月別最大放流量には季節性が見られず、最大放流量 $300 \text{ m}^3/\text{s}$ を越えることは一度もないことがわかる。この $300 \text{ m}^3/\text{s}$ とは、計画最大放流量であると同時に矢木沢発電所の最大使用水量である。洪水時には放流量が流入量を上回ることがないよう洪水調節を行い（一定率一定量方式）、洪水でない時に最大使用水量である $300 \text{ m}^3/\text{s}$ を上限とする発電放流を行っている

菌原ダムは、洪水調節開始流量である $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ に流入量が達したのがこの間平成 10 年の 1 回だけで、洪水調節を行う頻度が小さく、中小規模よりもむしろ大規模な洪水に対して効果を発揮するダムと言える（図-13）。さらに、平成 12, 13, 15 年では流入量が洪水調節開始流量を下回っていて年最大放流量が年最大流入量を上回っているが、いずれも放流量のピークが流入量のピークの前に生起しており、なおかつこの時一時的に貯水位が低下して制限水位を下回り予備放流水位に近づいていることから、予備放流（洪水が予想される場合に、必要な洪水調節容量を確保するため、事前に放流するこ

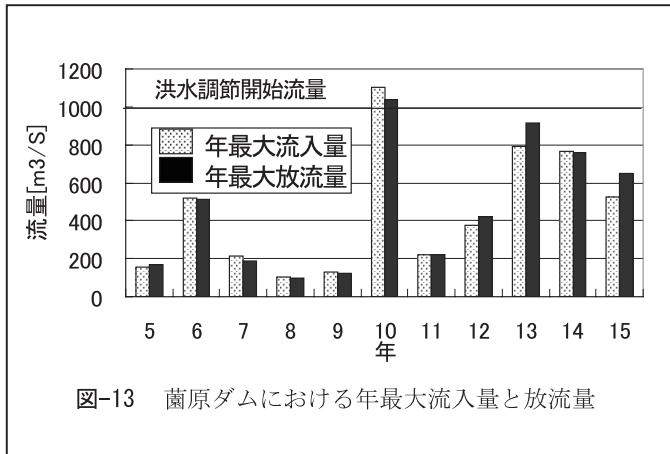


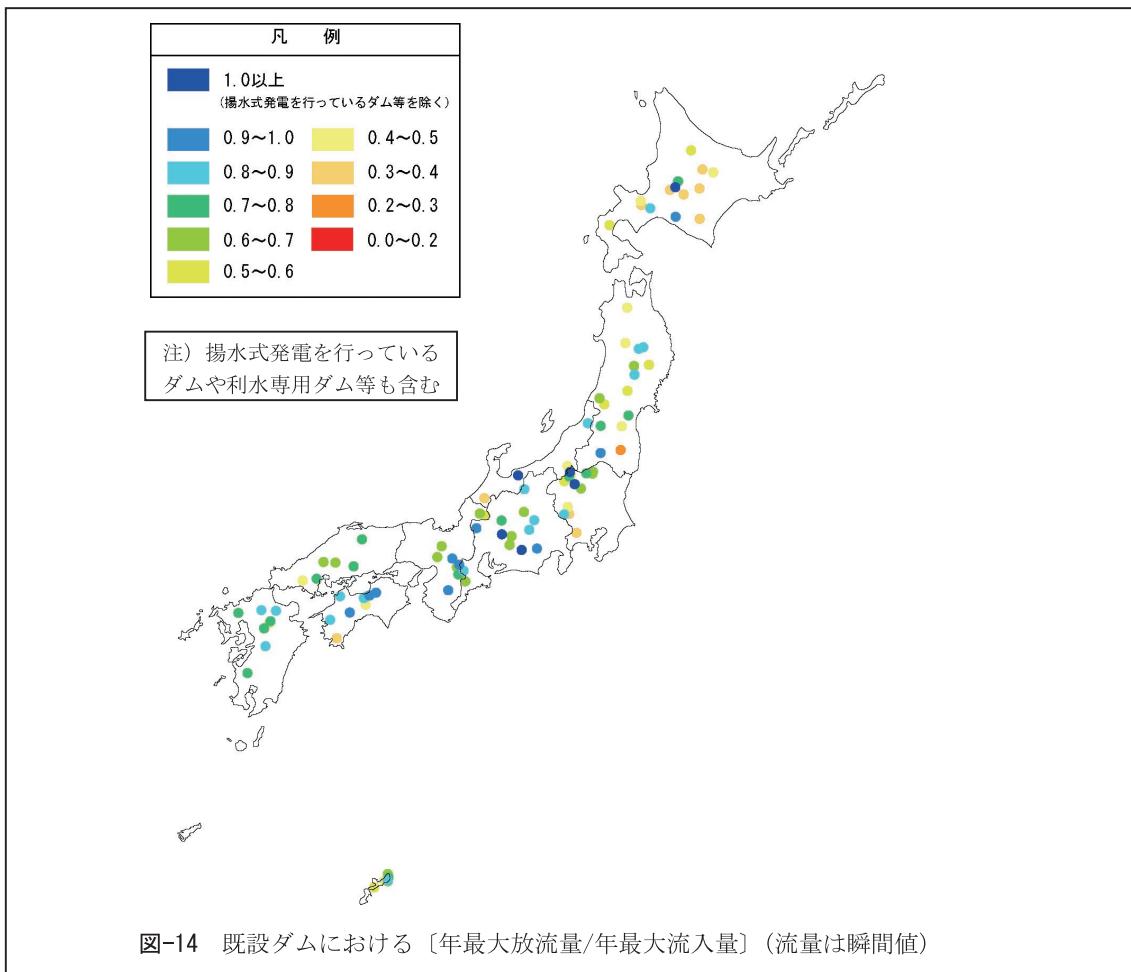
図-13 菌原ダムにおける年最大流入量と放流量

と)を行っていることによる現象と推察できる. 以上から, 指標値が 1 を上回る結果となっている.

次に, 指標値の年最大放流量／年最大流入量の平均値が低いダム, すなわちダムによる出水時のピーク流量の低減度合いが大きいダムについては, 年最大放流量の傾向として次に示すパターンがある.

- ①利水放流施設能力で頭打ちになる
- ②洪水調節開始流量程度で頭打ちになる
- ③洪水調節開始流量未満で放流されることが多いが, その値はまちまちである
- ④流入量の大小に応じて放流量が変化する

平成 5 年から平成 15 年の 11 年間のデータがそろっている 79 ダムに, 2 年間以上の流量データがあるダムを加えた既設 98 ダムの[年最大放流量／年最大流入量]の平均値を全国的分布状況として図-14 に示した. このうち, 1.0 以上となっているダムは, 前述のとおり, ①揚水式発電を行っている, ②目的に洪水調節が含まれていない, ③流入量が洪水調節開始流量を上回る頻度が比較的小さい, に該当するダムである.



3. 2 平水時の流量平滑化と短時間変動の付加に関して

多くのダムでは洪水時の流量調節機能だけでなく、利水を目的に運用されている。利水補給を担っているダムでは、1.3で述べたように、下流河川へ貯留水を適切な量・タイミングで放流し、下流河川の流量の安定化をはかり、河川から取水する農業用水、都市用水（水道用水、工業用水）の確保などを行っている。また、発電のためにダム貯水池の水が利用される。こうした水利用により、ダム下流河川ではダムから放流する河川流量の平滑化や、逆に頻繁な変動（短時間変動）の付加が起こることがある。

このうち流量の平滑化は、維持流量の確保や都市用水等の利水を目的として放流が行われる場合に生じやすい。渴水時に行われる維持流量確保のための放流は、下流河川の極端な流量減少を緩和する効果を持つ。もう一方の短時間変動は、発電用水を目的として放流が行われる場合に生じやすい。

国土交通省及び水資源機構が管理するダムの平成5年から15年を対象として、2ヶ年以上上流量データがある96ダムについて、「流量平滑化指数」を算出した結果を図-15に示す（大沼ほか2006）。

ダム数

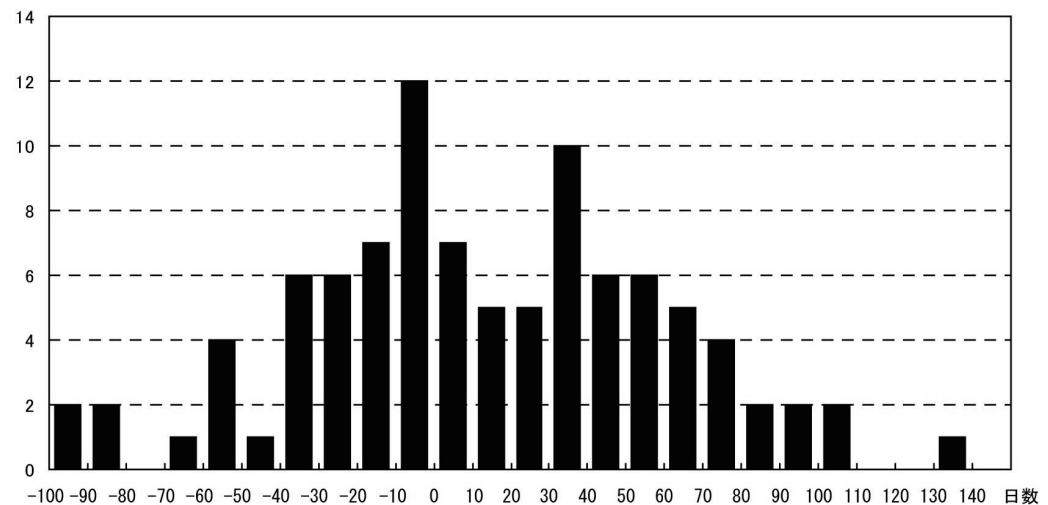


図-15 流量平滑化指数のヒストグラム（日流量に基づく）

ここで「流量平滑化指数」とは次のように定義される。ある1年間の日流量のうち、10日間移動平均値との乖離率が10%以内となる日数の平均を流入量と放流量について求める（図-16）。この日数は、10日間程度よりも小さい（たとえば数日程度）周期を持つ流量変動成分があまり効いていない年間日数を表し、これが大きいほど、細かな流量変動が見られない期間の割合が大きいことを意味する。放流量についてのこの日数から流入量についての日数を差し引いた日数を、ダムによる流量の平滑化の度合いを示す指標すなわち流量平滑化指数とする。この指数（日数）の+の数値が大きいほど、平滑化の度合いが高いことを、-の数字が大きいほど、変動付加の度合いが大きいことを示す。

図-15では、流量平滑化指数が突出して大きくなっている福地ダム（247日）、漢那ダム（240日）を除外している。これは、ダム群とトンネルにより連結されていて、トンネルからの流入量や放流量が含まれたデータとなっているからである。さて、流量平滑化指数の中央値は、0日より大きい+11日であり、全体的にはダムにより流量はやや平滑化される方向にあると言える。しかし、ヒストグラムは±100日以上にわたり幅広く分布しており、ダムが一般に平水時の流量平滑化を

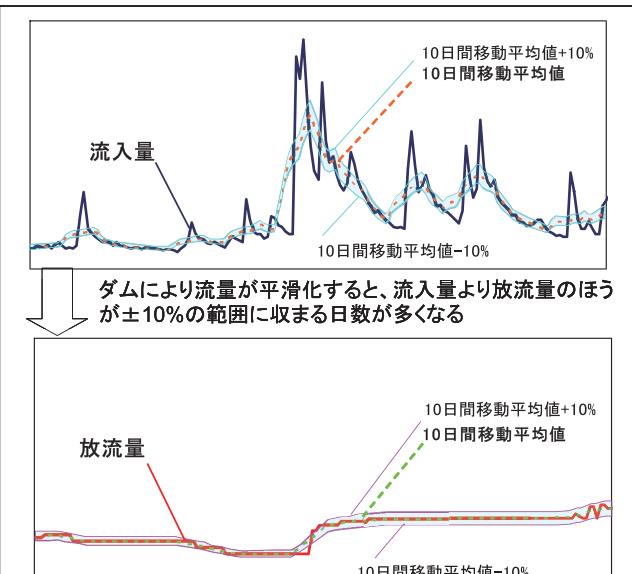


図-16 流量平滑化指数の概念説明図

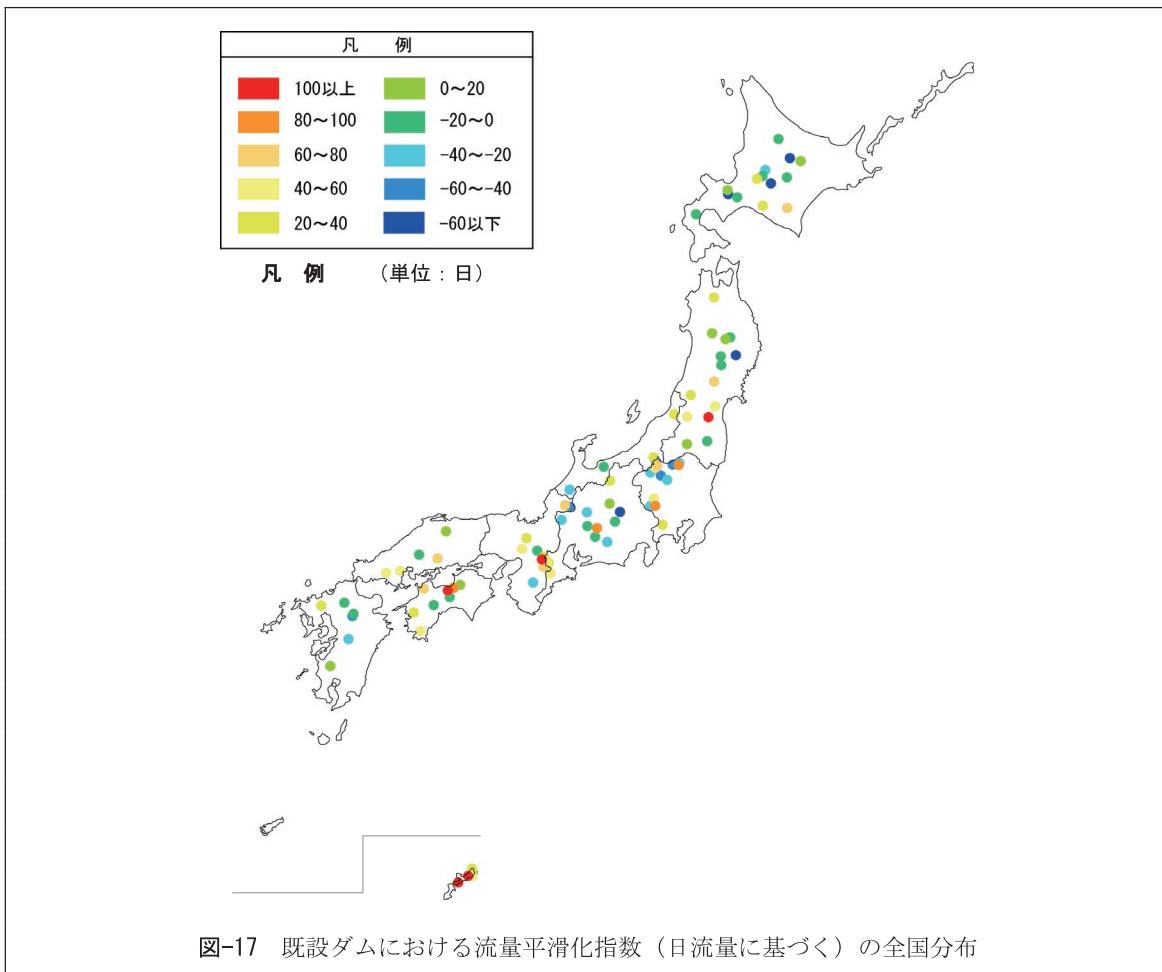
もたらすと単純に言える状況ではなく、攪乱強度の減少の場合と同様、ダム毎の違いに着目することが大事であることがわかる。

+80 日以上の上位のグループに属するものとして上から、福地と漢那（図からは除外）、富郷（140 日）、七ヶ宿（109 日）、布目（104 日）、川治（93 日）、新宮（91 日）、浦山（86 日）、阿木川（82 日）が挙げられる。これらのダムは、有効貯水容量に対する都市用水容量の占める割合が全て 50%以上になっており、流量の平滑化は都市用水のウエイトの高さと関連が深いことがうかがえる（ここで、洪水期と非洪水期の目的別容量が異なるダムについては、より期間が長い非洪水期の容量を採用している）。

一方、この指標値のマイナス値が大きいグループに属するものとして、下から、金山（-95 日）、美和（-91 日）、豊平峡（-87 日）、大雪（-86 日）、田瀬（-67 日）、川俣（-57 日）、矢木沢（-53 日）、下筌（-52 日）、九頭竜（-50 日）、菌原（-49 日）が挙げられる。これらのダムは全て目的に発電を含んでいる点で共通している。他の水利用に関係なくできる非従属発電を行う場合は特に、放流量の変動が大きくなるのは当然であり、金山、美和、大雪、田瀬、矢木沢、下筌、九頭竜は非従属発電を行っている。豊平峡、川俣、菌原は、発電を他の水利用（灌漑用水、都市用水、不特定用水）に従って行う従属発電方式をとっているダムであるが、発電以外の利水のための放流の必要がない時は、非従属発電と同様に発電需要に応じて放流することがあり、このような場合には従属発電方式のダムでも、放流量が短時間に大きく変動する。

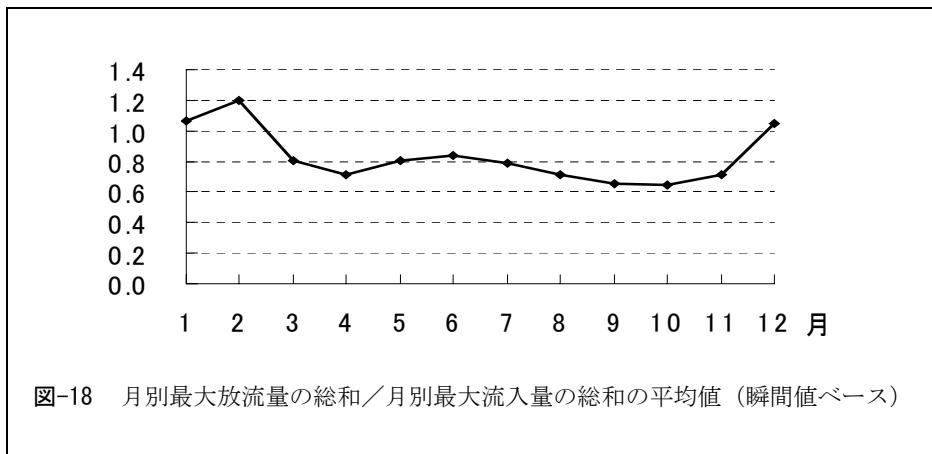
先述のように、発電放流量は、発電需要に応じて短時間の間に変化することが多い。したがって、毎正時の平均である日放流量が安定していても、時刻流量は大幅に変化している可能性がある。さらに、発電による減水区間は流量が安定しているが、発電用水が合流後した後は変動が大きくなり、さらに支川が流入するごとに変動割合が緩和される等、下流河川の流況に与える影響は区間毎に様相が異なる。詳細に短時間の流量変動を分析するためには、時刻ごとの発電取水量データを入手し、発電用水の放流地点を把握するとともに、支川の流入地点およびその支川の流域面積等を把握する必要がある。

96 ダムの流量平滑化指数の全国的な分布状況を図-17 に示す。



3. 3 季節による違いについて

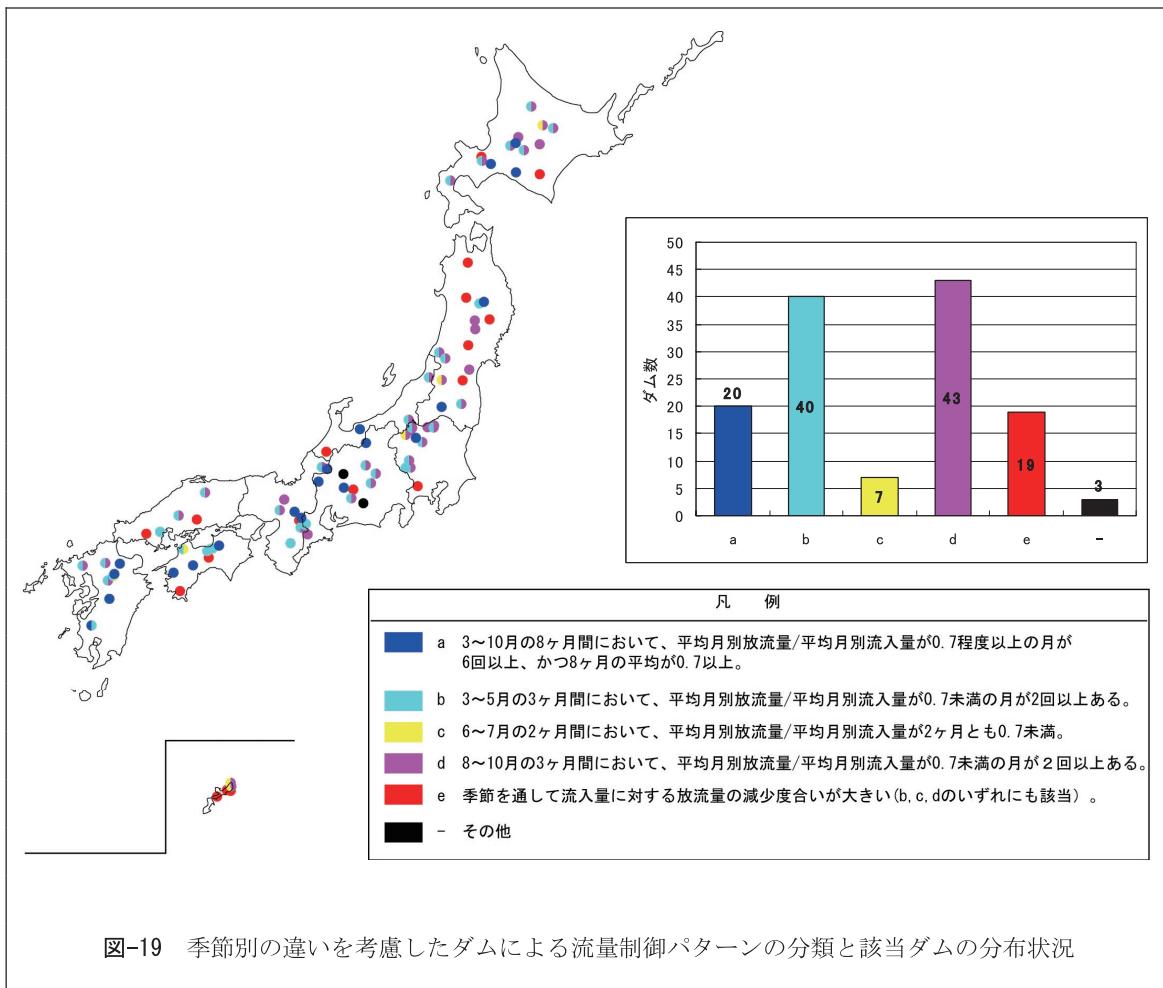
国土交通省および水資源機構が管理する既設ダム（全 98 ダム、平成 15 年度時点）のうち、平成 5 年から平成 15 年の 11 年間の流量データがそろっている 79 ダムを対象として、平成 5 年から平成 15 年を対象に、各ダムで月別最大流入量（瞬間値）の合計値に対する月別最大放流量（瞬間値）の合計値の比を算出し、その全国平均を月別に算出した結果を図-18 に示す（大沼ほか 2006）。なお、合計値の比は、各年の最大放流量と流入量の比を流入量で重み付けして平均したことを意味する。4 月と 10 月が低く、冬と 6 月が高くなる傾向が見られる、すなわち W 形状になっている。



次に、平均月最大流入量と平均月最大放流量を基に、流量制御パターンについて季節別の違いも考慮して以下の 6 つに分類した。

- a : 季節を通して流入量と放流量の差が小さい (3~10 月の 8 ヶ月間において、平均月最大放流量/平均月最大流入量が 0.7 程度以上の月が 6 回以上、かつ 8 ヶ月の平均が 0.7 以上).
- b : 3~5 月 (主として融雪期) に流入量に対する放流量の減少度合いが大きい (3~5 月の 3 ヶ月間において、平均月別放流量/平均月別流入量が 0.7 未満の月が 2 回以上ある).
- c : 6~7 月 (主として梅雨期) に流入量に対する放流量の減少度合いが大きい (6~7 月の 2 ヶ月間において、平均月別放流量/平均月別流入量が 2 ヶ月とも 0.7 未満).
- d : 8~10 月 (主として台風期) に流入量に対する放流量の減少度合いが大きい (8~10 月の 3 ヶ月間において、平均月別放流量/平均月別流入量が 0.7 未満の月が 2 回以上ある).
- e : 季節を通して流入量に対する放流量の減少度合いが大きい (b, c, d のいずれにも該当).
- － : その他 (流入量より放流量が大きくなるものであり、揚水式発電を行っているなどのダムに該当).

各パターンの分布状況を図-19 に示す。なお、ダムによっては、放流パターンがひとつに限定できない場合もあり、総計は整理対象ダム数より多くなっている。図中では複数の着色によりこれが分かるよう図化している。図-19 から、やはりダム毎にパターンが随分異なっていることがわかる。



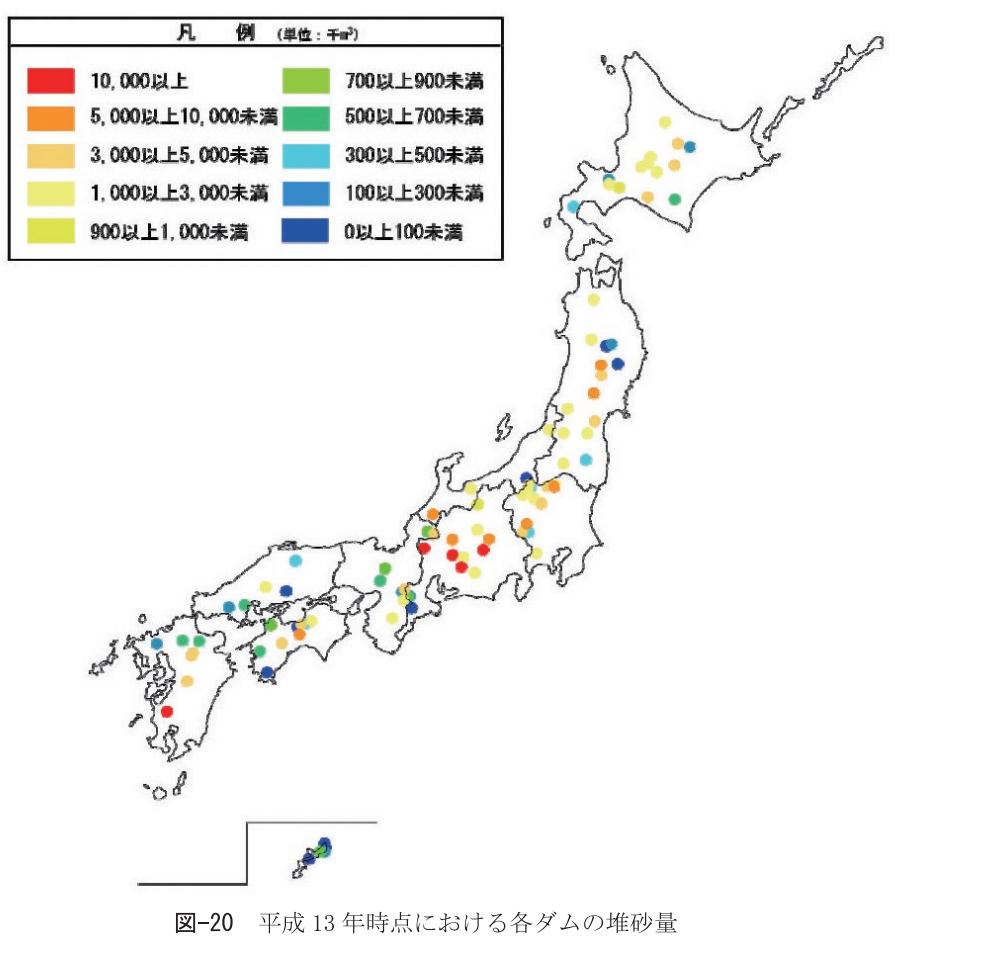
4. 一実態その2—

ダムにより扣止（かんし）され貯水池に堆積する土砂の量は、ダム毎に大きく異なる。またその粒度は、シルト・粘土～砂～礫と幅広い分布を持ち、[シルト・粘土+砂]の割合が礫に比べずっと大きいことが一般的である。

4. 1 ダム貯水池に堆積する土砂の量

この土砂はダムが無ければ下流に供給されていたもの、言い換えれば、ダムの存在に伴う土砂供給減少分であり、その量と粒度分布を把握することは、ダム地点で生じる現象を知る上で重要である。なお、ここで対象としている一定規模以上の貯水池を常時持つダムであっても、土砂の一部（シルト粒径以下の土砂のうち粒径の小さいもの）はダムを通過しており、ダムが流入する全ての土砂が扣止されるわけではない。しかし、河道を構成する材料に相当する粒径範囲については、その多くが扣止されると考えて良いであろう。

図-20 に、国土交通省および水資源機構が管理する既設 98 ダムのうち、実績堆砂量が整理されている 94 ダムの実績堆砂量（平成 13 年時点）を示す。ダム貯水池に堆積する土砂



量は、流域の規模、地形・地質特性、ダム貯水池の諸元や諸特性、ダム建設後の経過年数、出水の発生状況などにより異なるので、この図に示されるとおり、堆砂量がダム毎に大きく異なるのは当然である。

図-21 には、比堆砂量（堆砂量/流域面積/年）の形に整理したものを示す。対象とした94ダムにおける比堆砂量平均値はおよそ $0.78 \text{ 千 m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ ($=\text{mm}/\text{年}$) である。また、比堆砂量の形にしてもダム毎に値が大きく異なっている。

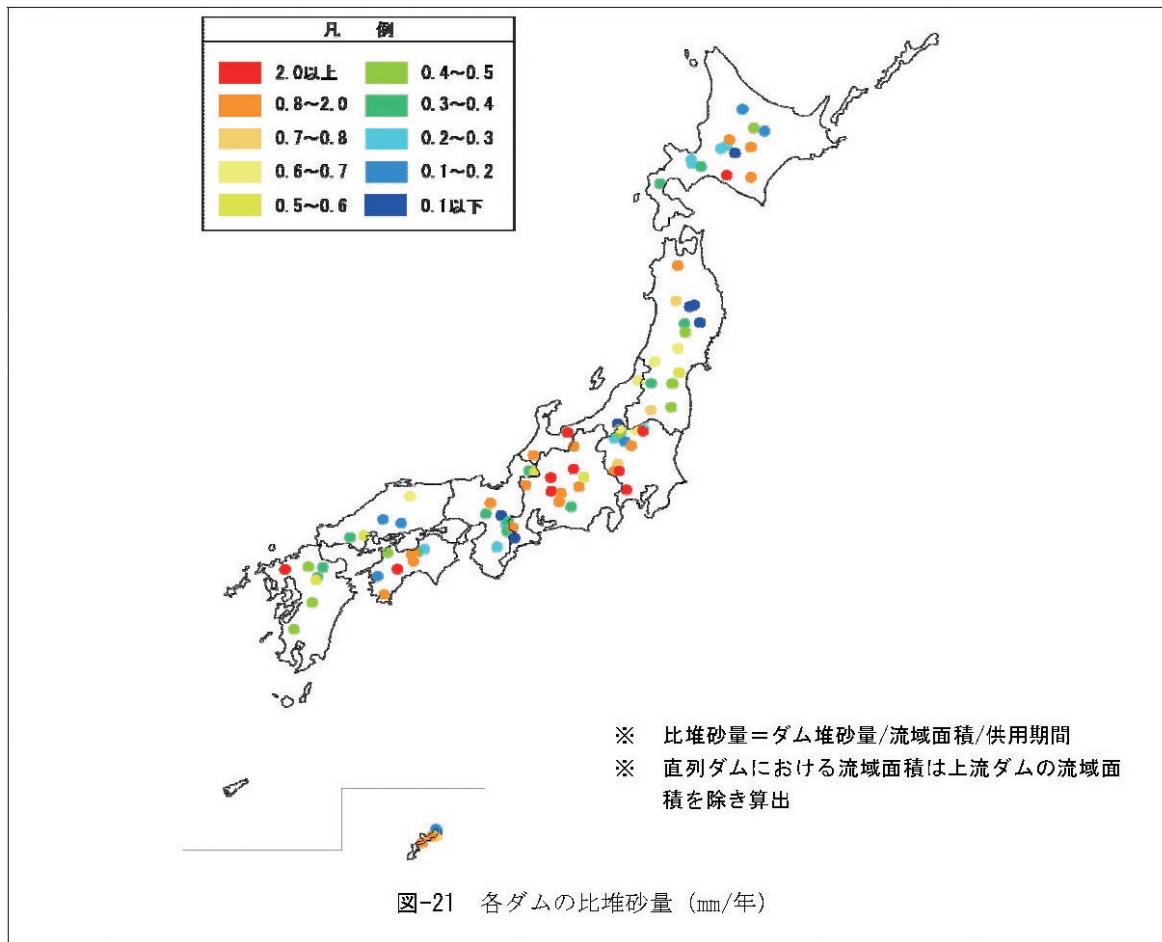


図-22 は、一級河川に関わる流砂系の現況特性を実測データに基づき集計し、一括して表現したもので、流砂系現況マップと呼ばれる（国土交通省(2002)）。この図から、流域毎のダム総堆砂量と堆砂率を読み取ることができる。この他、水系ごとに、河道変化傾向（河床低下か河床上昇（堆積）か）、汀線の状況、河道外への土砂の搬出総量（昭和 20 年以降の記録のある砂利採取、土砂搬出のデータを集計）などが示されており、本マップは、日本の流砂系の全体状況を大局的・俯瞰的に把握するための出発点になるべき基本情報である。

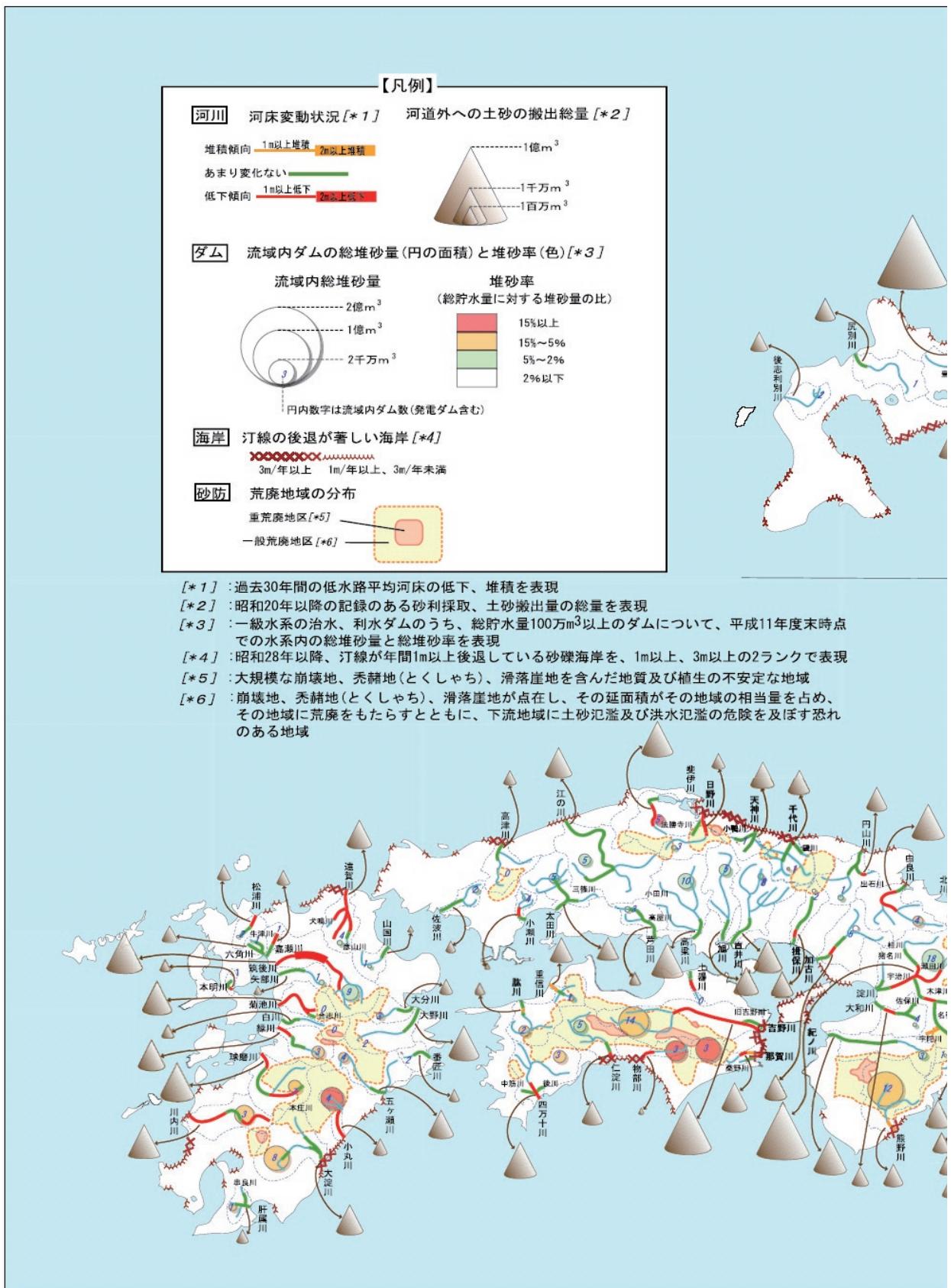
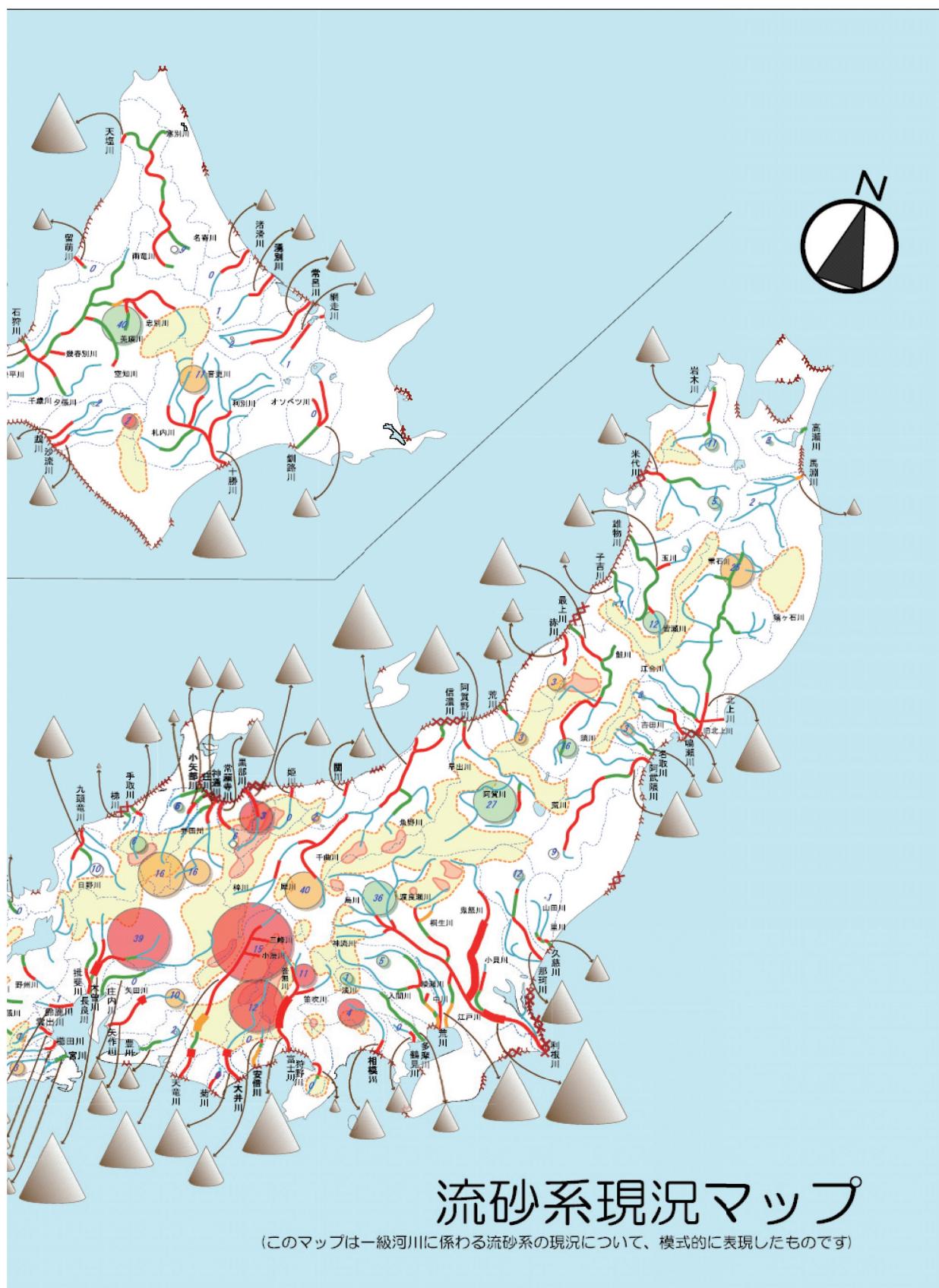


図-22 流砂系現況マップ

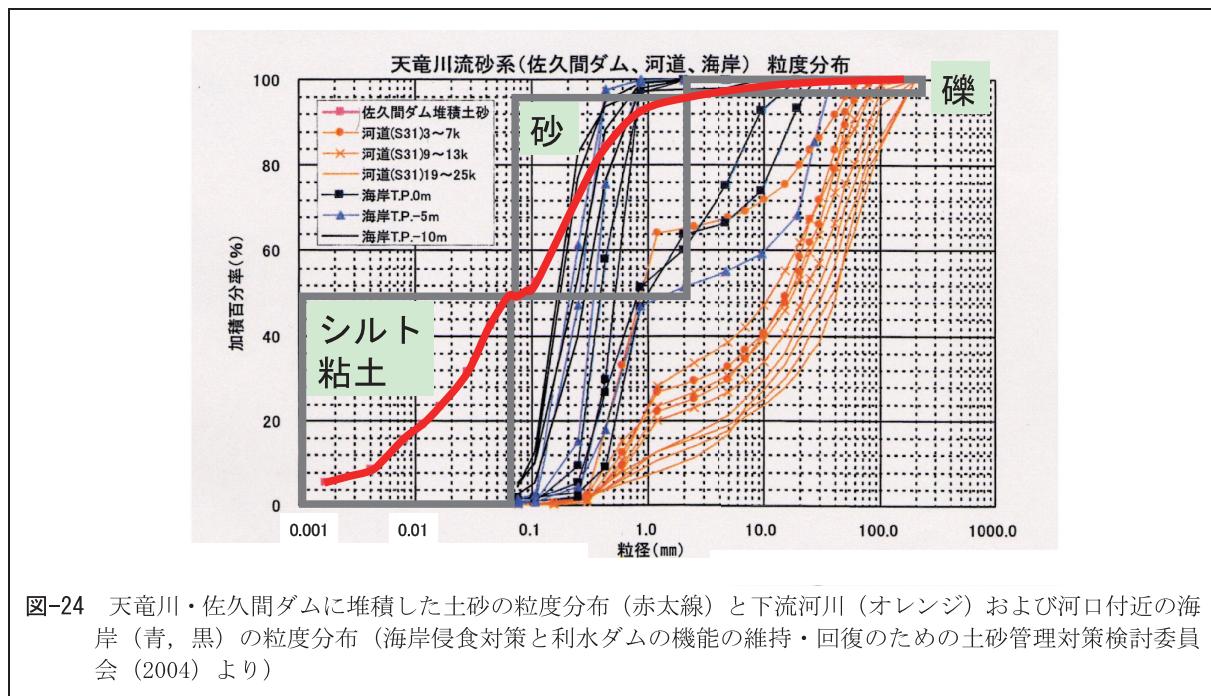
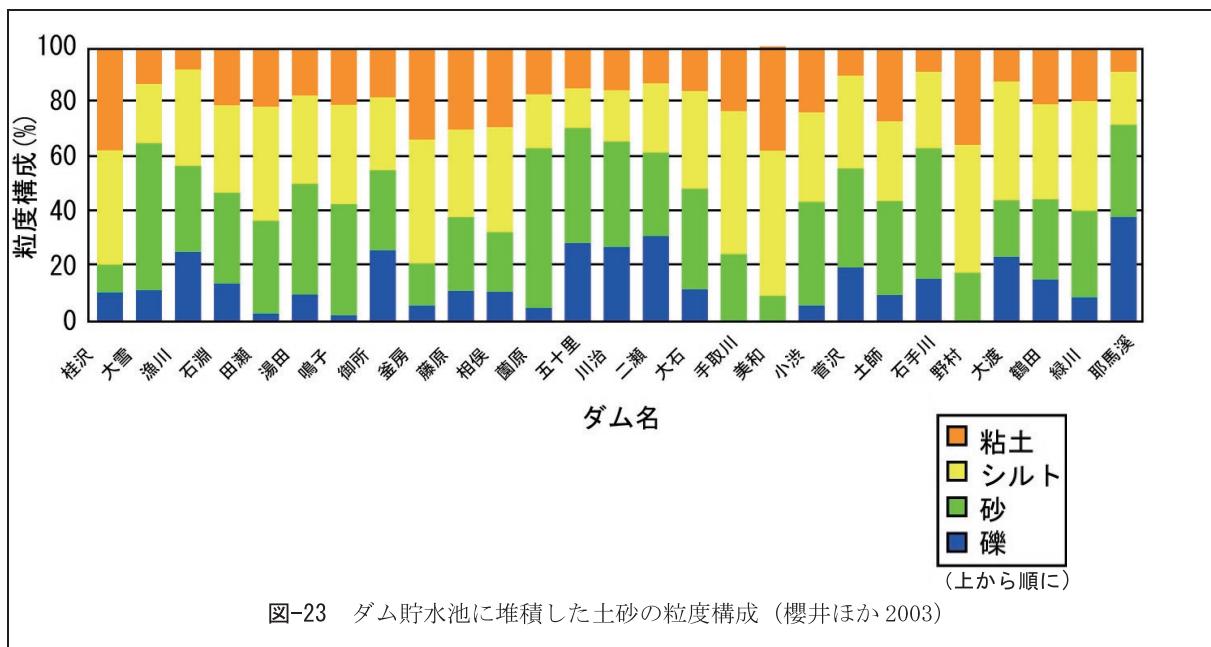


(国土交通省 (2002))

4. 2 ダム貯水池に堆積する土砂の粒度

図-23 は、既設のダムにおけるボーリングデータから求めたダム貯水池に堆積した土砂全体の粒度構成である（櫻井ほか 2003）。図-24 は、やはりボーリングデータによる天竜川の佐久間ダムに堆積した土砂の粒度分布である。これらの図からわかるように、ダム貯水池に堆積する土砂の多くは、シルト・粘土や砂であり、それらに比べ礫はずっと少ない。

堆積土砂の粒度分布を知ることは、量を知ることと同様に、場合によってはそれ以上に重要である。たとえば、ダムによって礫の供給量がどれだけ減少したかを見積もる際に、粒度分布を考えずに堆砂量の多くが礫であるとして分析することは、遮断された礫流送量をオーダー違いで過大評価することになる。この例からわかるように、ダムによる土砂停止と下流河川の河道状況との関係を分析する場合、堆砂の量だけでなくその粒度分布を合わせて考慮することが必須となる。粒度分布までの表現をしなくとも、礫集団、砂集団、シルト・粘土集団と言うように、いくつかの主だった粒径集団に分けて調査・分析を行うことで、現象の理解は随分正確になる。逆に、堆積した量だけで分析を進めると、かえつて現象の理解を妨げることにもなりかねない。粒径集団については 6 章で詳述する。



5. ダム地点から下流に下っていくと、その地点の流域面積に占める当該ダム集水面積の割合が減少していく。この状況は、ダム地点での現象が下流にどのように薄まって伝わるかを分析する際の基本情報の1つとなる。

ダム地点から河川沿いに下流に進み、流域にダムの無い支川の合流が増えてくると、一般的にはダム地点で生じた現象の河川への出方が小さくなっていく。たとえば、ダム地点でそれまで流送されていた主要な土砂が停止されたとしても、下流で支川からの土砂供給を受けるにしたがい、ダムによる土砂供給減少の割合は減っていく。また、たとえば水温の変化があったとしても同様のことが言える。支川合流がまだないダム地点直下の河川状況と、ダム集水面積に匹敵する大きな支川（ダムの無い）が合流した後の河川状況とでは、ダムとの関係を分析する上で、その基本的な条件が異なると考えなければならない。さらに、Petts(1993)によれば、ダム下流における環境影響は、ダムのない川（支川）と河畔からの物質の供給により下流方向の影響が縮小されることを指摘しており、ある地点におけるダムの影響は、その地点の集水面積に対するダム集水面積割合によって指標化できると述べている。

このような意味で、「ダム集水面積割合」という指標は、簡易であるが便利かつ重要である。

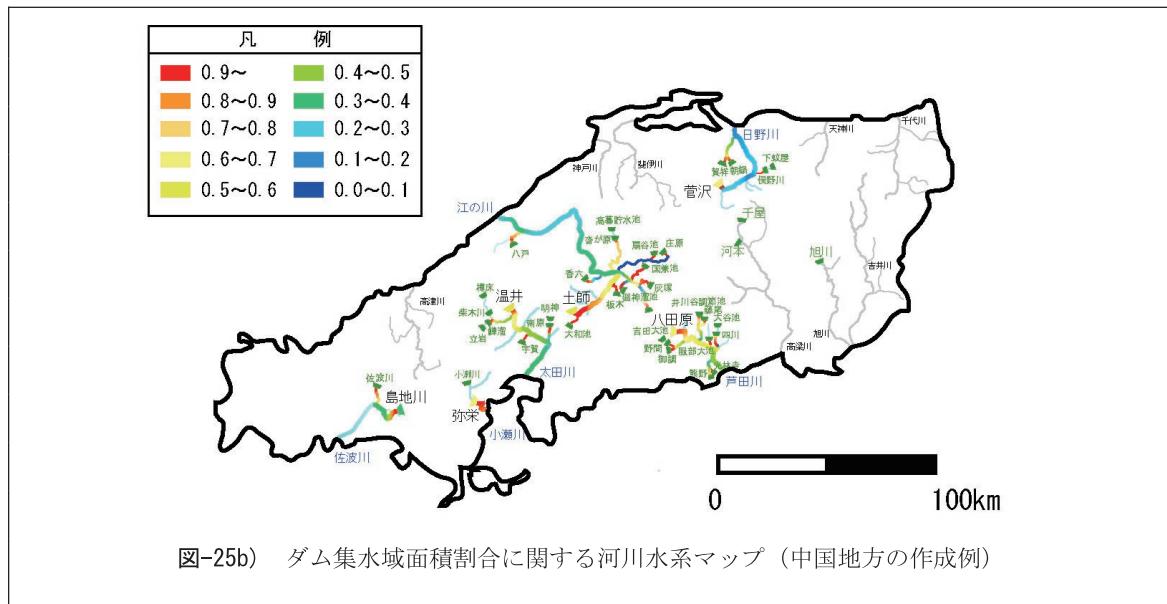
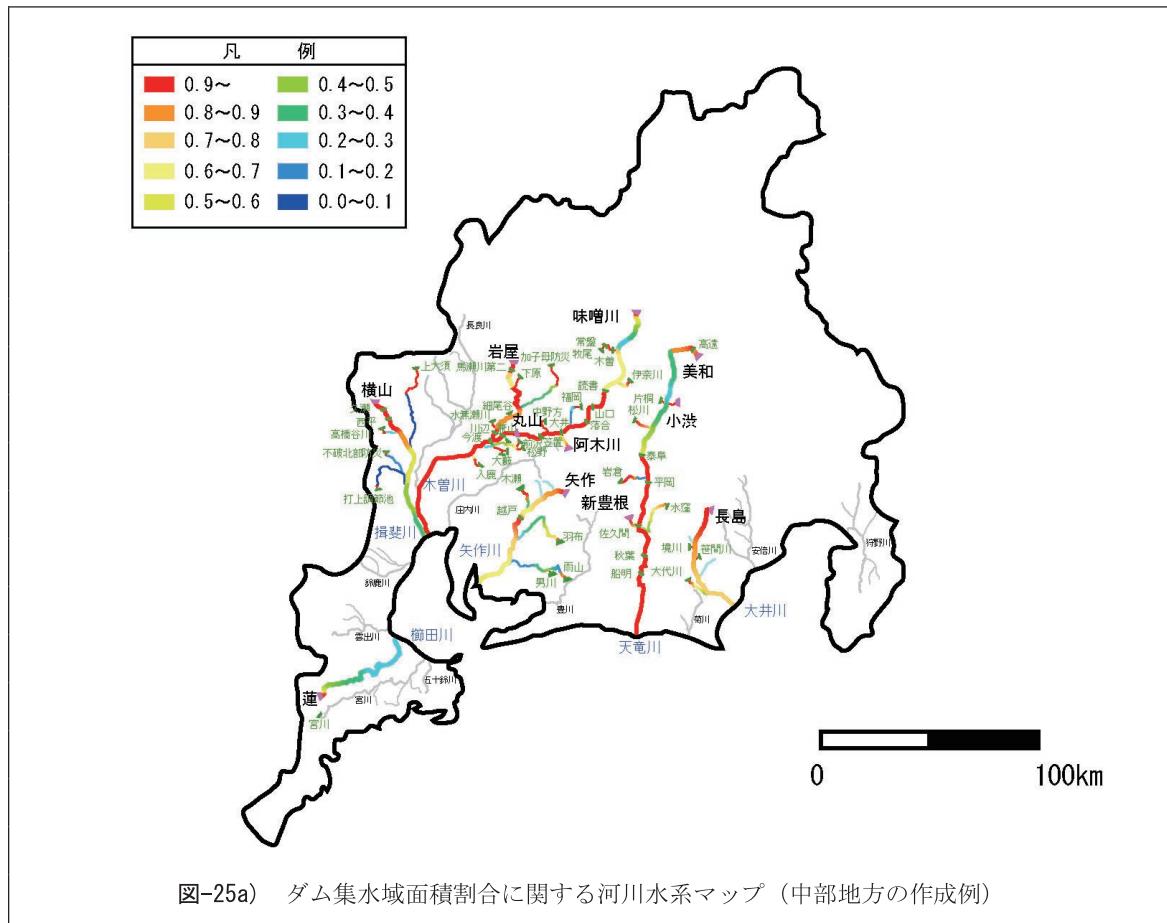
「ダム集水面積割合」とは、「ダム貯水池下流の河川のある地点についての全流域面積[A]に対する上流ダム（群）の総集水面積[A_d]の占める割合[A_d/A]」を指し、ダム集水域面積割合に関する河川水系マップとして図化すると特徴がよりつかみやすくなる。この割合は、ダム直下が1.0であり、下流に下ってダム集水域以外の流域面積（残流域）が加わるにつれ低下し、河川延長が無限大であれば、0に近づいていく。

もちろん、ダム貯水池の下流河川に及ぼす影響の薄まり具合が、ダム集水域面積割合に応じて決まるとは限らないので、この数字だけでダム貯水池の影響を短絡的に見積もることにはならない。しかし、マップの作成原理が単純であり、ダム集水域面積割合がダム貯水池の影響度を検討する際の有力な情報の一つにはなりうことから（この割合が小さければダム貯水池の影響が薄まっている可能性が高いと大局的には言える）、ここで取り上げている。

図-25に中国地方と中部地方のダム集水域面積割合に関する河川水系マップの作成例を示す（平成15年時点）。対象ダムは、先の98ダムに加え、出水時にも土砂の流下を妨げると判断できる堤高15m以上のダム（補助ダム・農業用ダム・発電ダム等）とした。なお、対象とした水系は、国土交通省および水資源機構が管理するダムが存在する一級河川水系とした。

これによれば、水系によってマップの状況が相当に異なることがわかり、0.3以下の青系色が目立つ水系もあれば、0.7以上のオレンジ・赤系色が目立つ水系もある。日本のダムは、1.3でも述べたように、空間的に変化の激しい地形を持つ流域に建設されるので、流下の過程において大小さまざまな支川が流入することになり、ダム集水面積割合が下流に向かつ

て急激に減少する場合が少なくない。前述のように、この数字だけに頼って分析を進めるることは適切ではないが、この数字が示す基本的な特性を踏まえつつ分析を進めることは大事と考えられる。



6. ダム下流であれば同じパターンの河道変化が起こるのではない。ダムによる土砂の停止と下流河道との関係を分析する際には、下流河川における各粒径集団の基本的な動き方を理解しておくことが大事である。

粒径集団の基本的な動き方に関する分析事例（藤田ほか 1998；藤田 2000；藤田 2007）を基に、標記のポイントを説明する。

6. 1 粒径集団とは？

水系内で移動する土砂は、粒径集団によって、流送、河床材料との交換、河川地形への影響の仕方が大きく異なる。このため、土砂をひとくくりに扱っても河道変化の分析にはあまり役立たない。粒径集団として、細粒土砂（シルト・粘土：細砂と微細砂を含む場合もある）、砂、礫という3つを考えることから始めるとよい。この場合、礫の動きは礫床区間の河床変動を、砂の動きは砂床区間の河床変動を、細粒土砂は表層細粒土層（植物繁茂に深い関連）や河岸・高水敷の形成、河口部の低流速域での堆積などを支配すると考えられる。なお海岸の地形形成には、最下流の河道セグメントの河床構成主材料が重要な役割を果たしている場合が多いが、それよりも粒径の小さい土砂が重要になる場合もある。

ある現象の制御を考えるに当たっては、それを支配する粒径集団に着目して動態を追跡する必要があり、逆に言えば、すべての粒径集団を一律に追う必要はない。この考え方を明確にしたものとして、「有効粒径集団」（ある特定の河道変化や現象にとって有効な粒径集団のこと）という捉え方がある。

6. 2 粒径集団の基本的な動き方の分析例

シルト・粘土、砂、礫の各粒径集団の動き方とそれぞれの河道形成における役割を、急勾配礫床区間の下流に緩勾配砂床区間が接続する河道を例にあげて説明する。図-26を参照されたい。

まずここで、河道を形成する材料を、ある横断面内の存在状況に着目して m 、 s 、 t の3つに区分している。材料 m は、流れを頻繁に受けそうな低い河床領域にある最も粗い粒径の集団のことである。従来の河床材料調査は基本的に材料 m を対象にしていた。材料 s は、材料 m が存在する場所の脇の高い河床部分にあり、材料 m の平均粒径よりも1オーダー以上粒径が細かい材料からなる集団のことである。材料 t 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、あるいは材料 m の隙間にある材料であり、粒径は材料 s 程度あるいはさらに細かいこともある。

粒径集団の動き方については、混合型と通過型の2種に区分している。混合型とは、その場所の材料 m と有意に混じり合いながら輸送され、河床変動に寄与し、その分、自身の流送量も縦断的に変化するものである。材料 m の流送は当然混合型である。通過型とは、その場所の材料 m と有意には混じり合わず（せいぜい材料 m の隙間を満たす程度）、材料 m にかかる河床変動にはほとんど寄与できないものである。その場所は基本的に“通過区

間”で、自身の流送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の元となる材料も通過型に分類できる。

以上の準備のもとに、図-26から各粒径集団の動き方を次のように捉えていく。礫集団は礫床区間において混合型として材料mとなりながら流送される。砂集団は、礫床区間では通過型であり、砂床区間にあってから混合型として材料mとなりながら流送される。シルト・粘土集団は、河口付近などの一部を除けば、全区間にわたって通過型で流送される。通過型で流送されている砂集団やシルト・粘土集団の一部は前述のように材料sやtになることがある。

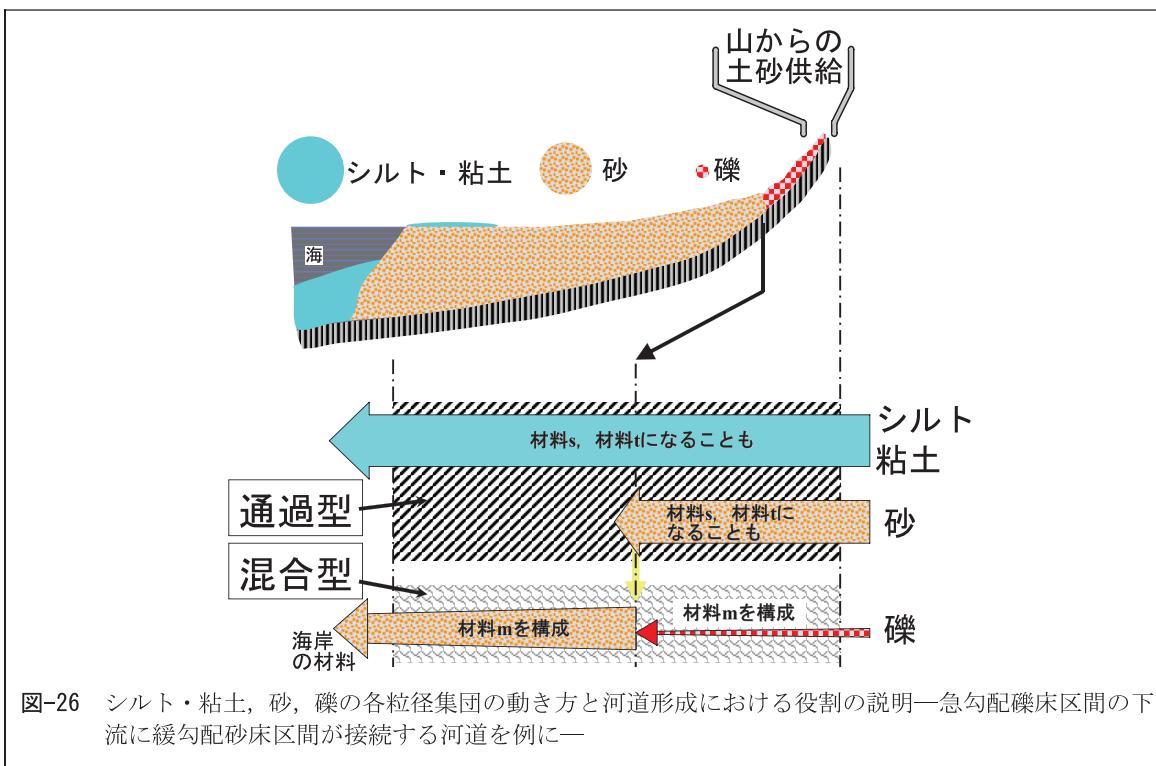


図-26 シルト・粘土、砂、礫の各粒径集団の動き方と河道形成における役割の説明—急勾配礫床区間の下流に緩勾配砂床区間が接続する河道を例に—

対象河川について整備や管理の方策を具体的に決めていく際には、さらに詳細な技術検討を行うことになるが、上記のレベルで粒径集団の基本的な動き方を理解しておくだけでも、課題把握や方策検討の方向性を大局的に誤り無く定めるのに有用である、その例を以下6.3, 6.4に示す。

6. 3 ダムによる土砂の抑止と下流河道との関係の捉え方 —砂集団の供給減少に着目した場合—

砂は、一般に、礫に比べ水系内での動きがずっと早く、図-23, 図-24からわかるように供給量、したがってフラックスもはるかに大きいので、ダムなどにより供給遮断・低減が起こると、その影響は比較的早く下流に及んで、ダム下流河道の物理環境が残流域からの砂供給量に応じて決まる状態に至る可能性が高い。砂供給減少の変化が及んだ地点では、

定性的には以下のことが起こる可能性が高い.

(1) 磯床区間 (材料 m が磯)

この区間では砂集団は通過型なので、河床形状変化や材料 m の粒度変化は小さく、河床表面の磯間や水裏などに一時的に存在する砂（材料 t としての）の減少が起こるというパターンが考えられる。ただし、この現象については、調査研究が進められている段階である。その一例を、このあと 6.5 で紹介する。この変化は、磯床河道や山地部河道の河川生態系に関わる物理環境の変化につながる場合があり、その検討が必要である。また、材料 s による主流路脇の河岸への堆積速度の減少も考えられる。

(2) 砂床区間 (材料 m が砂)

この区間にはいると、砂集団が混合型となるので、河床低下や縦断勾配の減少が起こりうる。こうした変化が起こる場合、その変化は、より上流にある磯床区間を飛び越えて、砂床区間から起こり始めることになる。つまり、河道の変化が上流から順番に現れるとは限らないと言うことであり、この理由は図-26 に示した各粒径集団の動き方から理解される。

ただし、こうした砂床区間の河床低下は、少数の事例（藤田・平館ほか(1999)）を除いて、必ずしも広く確認されているわけではない。この理由として、そもそも、ダムにおける砂集団の扦止による下流への変化が、河床低下を起こすレベルに至っていない、あるいは、もともと河床掘削（砂採取を含む）が卓越していて、ダムによるマクロな砂収支バランスへの影響が見えにくかった、などが考えられる（これについては 7.1 で再度議論する）。仮に後者が当てはまる場合、河床掘削（砂採取を含む）がなされない状態が長く続いている場合の砂床区間の砂集団収支や河床変化を注視することが大事になる。

また、材料 m が磯からなるセグメントが河口まで続く場合（砂床区間が無く、磯床区間がいきなり海に突っ込む形）、砂供給減少の変化を河床低下などで吸収するクッションを期待できない（砂を材料 m とするセグメントが無いため）、磯床区間を通過型で流送される砂集団のフラックス減少が海岸への砂供給減少に結びつきやすいという状況を想定できる（こうした仮説に沿った分析が文献（海岸侵食対策と利水ダムの機能の維持・回復のための土砂管理対策検討委員会（2004））でなされている）。逆に言えば、図-26 のような砂床のセグメントが存在する河川については、ダムによる砂集団の扦止の影響がまずは砂床セグメントの上流端付近に現れ、しばらくはそこからの河床低下により砂供給減少のインパクトが吸収されるので、ダムの出現がすぐに海岸への砂供給減少に結びつくことにはならないと考えられる。

このように、ダムによる土砂の扦止が海岸への砂供給の減少に至るのにも、砂集団の流送にかかわる様々なプロセスが関わることになり、またそのパターンも、ダム下流河川の特性よって大きく違ったものになりうる。こうした実態を分析しようとせず、たとえば、ダム貯水池に堆積した土砂の全量を河川から海岸への砂供給の減少量に直接結びつけるような議論を展開することは、科学的合理性とはおよそかけ離れたものである。

6. 4 ダムによる土砂の拘束と下流河道との関係の捉え方 一礫集団の供給減少に着目した場合一

この場合、専ら礫床区間が対象となる。

礫は、砂に比べ動きがずっと遅いので、上流部でダム等による供給遮断があったとしても、それによる変化が速やかに広範囲（たとえば数十 km）に下流河道に伝わることは考えにくい。それでも、ダム地点の直下流から一定の範囲では、礫供給の遮断により種々の変化が現れる可能性がある。ただし、その出方は、常にアーマリングが起きる、あるいは河床低下が起こるというようなものではなく、流量の状況、支川合流形態、元々の河道の特性など様々な要因により種々に変わりうると考えられる。たとえば、もともと礫の動きが鈍い河道にダムができる（8.1で述べるように、そのような河道は山地部では珍しくないと考えられる）、洪水流量がやや減ることで、礫の動きが大幅に減少する場合がある。このような場合には、6.3(1)に述べた砂の抜け出しが起こるかも知れないが、材料 m である礫の粗粒化や河床低下にはつながらないと考えられる。

このように、ダム下流の礫河床の変化にも様々なパターンがあることを考えなければならない。洪水調節に伴うダム下流での礫輸送能力の減少度合いの大・小、ダム下流での支川などからの礫供給の度合いの大・小を組み合わせることで、起こりうる応答パターンを大まかに分類することができる。このうち、アーマリングや河床低下が支配的原因になるのは小一小の組み合わせの場合であり、大一小の組み合わせでは礫の動きの不活発化が（上記の例）、大一大の組み合わせでは自然合流後堆積さえ想定しうる。

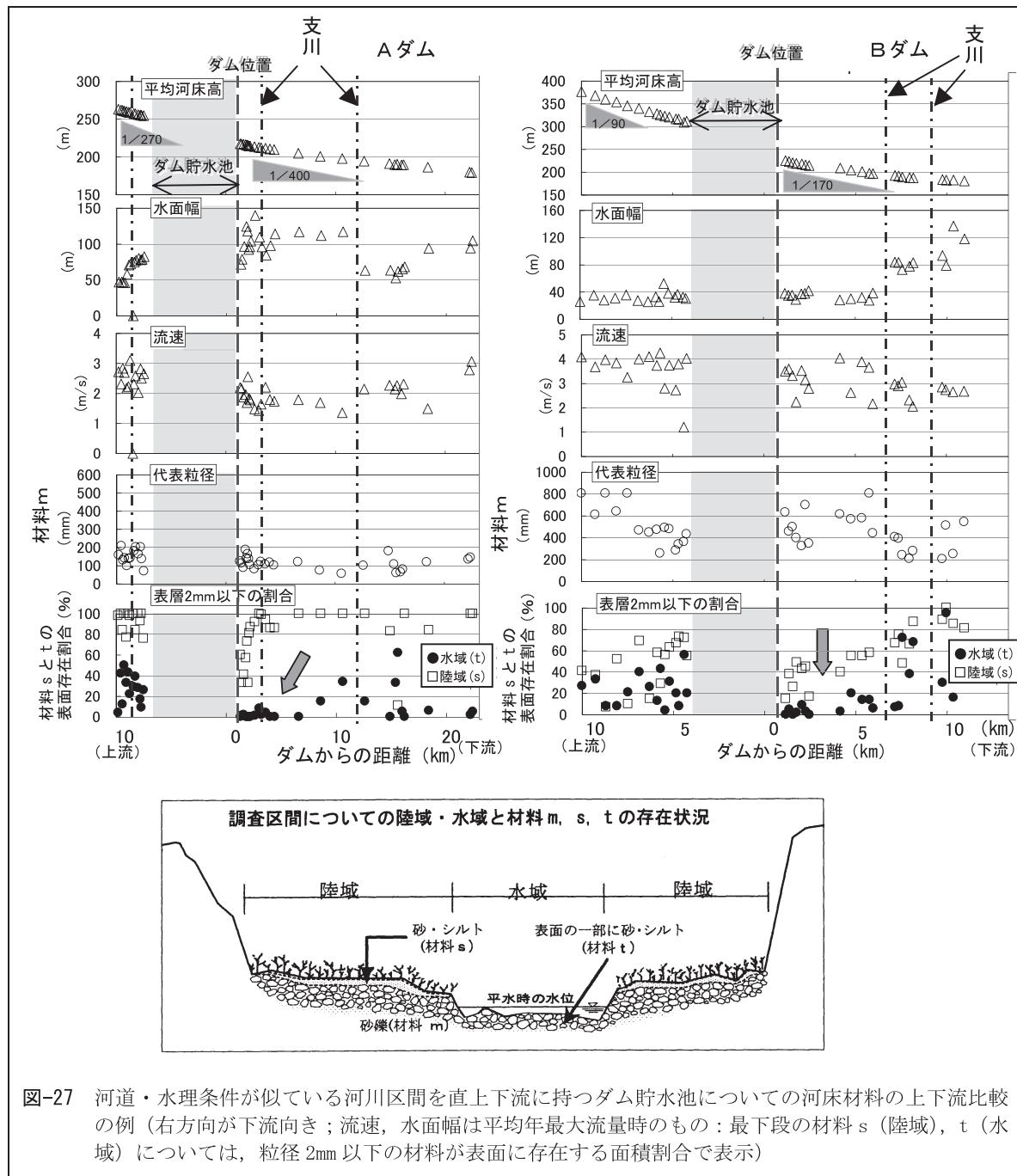
礫供給遮断地点からある程度以上離れると、礫供給遮断それ自体が河床に与える影響が小さくなる可能性が考えられる。そのような場所では、ダム等による礫供給遮断よりはむしろ河道への直接的作用、特にその過去からの履歴が、現在の河床変化特性に大きな変化を及ぼしている可能性が考えられる。直接的作用の例として、礫床河道区間における河床掘削（砂利採取を含む）や横断構造物設置（特に固定構造物）、さらにはそれらの組み合わせ（服部・瀬崎ほか 2003）が考えられる。特に、日本の規模の大きな河川の場合、ある時期に活発に行われた砂利採取によって、河道縦断形が全体的に下がったことが、現在の河道形状にも少なからず変化を及ぼしていることが考えられる（これについても 7.1 で再度議論する）。

6. 5 ダム貯水池の上下流の河床材料を比較した事例 一河道状況変化の調査分析に求められる基本スタンスを議論する材料として一

ダムの供用に伴い下流河川の表層河床材料がどのように変化したのか（あるいは変化していないのか）を調べることを目的に、その直上流、直下流河川の河道・水理条件があまり変わらないダム貯水池を選定し、上下流の河床材料を比較・整理した事例（山原・藤田ほか 2007）の概要を以下に示し、上記 6.3, 6.4 の捉え方のイメージを深めるのに役立てる。

この調査では、調査時点（2006 年 2~4 月）においてダム供用後 30 年以上経過した A ダム

ムと 10 年未満の B ダムが取り上げられ、それぞれのダム上下流の水理・河道条件とそこで河床材料が調べられ、両ダムに共通することが次のようにまとめられている。図-27 には、平均河床高、水面幅、流速、材料 m の代表粒径、水域の材料 t と陸域の材料 s の表面存在割合それぞれの河川縦断沿いの変化が示されており、あわせて参考されたい。なお材料 m, s, t の説明は 6.2 を参照されたい。また調査区間における材料 m, s, t の存在状況の概要は図-27 の下の方に図示されている。



- ・ 河床を構成する主材料 m (礫) は、ダム上下流で大きな違いがない。
- ・ 水域の材料 t (砂) の表面存在割合は、ダム直下流で明らかに小さくなっている (図-27 の太矢印で示した部分)。
- ・ 材料 t (砂) のダム直下流での表面存在割合の減少は、ダムから 4~10km 程度下流で急速に回復する。この回復の程度は、[残流域 (流域面積-ダム集水面積) /ダム集水面積]の回復よりも早いということが示されている (山原ほか 2007)。
- ・ 陸域での材料 s (砂) の表面存在割合は、ダム上下流でほとんど変わらない。なお、陸域は、ツルヨシなどの植生に覆われている。

これらの結果は、ダム下流の表層河床材料について、材料 m はダムにより変化しないか、変化が小さく、一方、水域の材料 t はダムにより一定区間で有意に減少することを示していると見ることができる。これらの結果は、また、材料 m , s , t や陸域・水域の違いによって、ダムによる河床材料変化の有無や起り方が大きく異なる事例と言える。そして、ここで現れた河床材料の状況は、6.3(1) と 6.4 の捉え方に沿った解釈により少なくとも定性的には説明可能と考えられる。

ここで紹介したのは 1 つの事例に過ぎず、この結果を、ダム下流の河床材料の一般的応答特性とすることは、もちろんできない。材料 m に粗粒化や流失などの有意な変化が生じているとの分析事例もある (たとえば山本 2004; 時岡ほか 2006)。大事なことは、ダム下流であれば同じような現象が起こるとの前提をとるのではなく、ダムによる河道変化の有無や変化状況を個々に実証的に明らかにしていき、その上で、ダムと下流河道との関係の全体像について分析していくことである。その際には、たとえば、対象ダムの建設前から供用後にかけて、ダム下流の同一区間で河道変化を営力とともに追跡する (BA (Before and After) デザイン), あるいは、水理・河道条件がほぼ同じ区間が当該ダムの直上下流に存在する場合の河道状況を上下流比較する (CI (Control and Impact) デザイン, 上に紹介した例), さらに、これらの設定が不完全な場合に両方を合わせる (BACI デザイン) など、現在ふつうに投入できる土砂水理学的知見のレベルに見合う科学的合理性をもって、当該ダムとその下流河川の河道状況との関係を分析できるような調査の組み立てを行うことが肝要である。

ダム貯水池が下流河道の自然環境に与える影響について理解を深めるには、生物だけではなく、河床材料変化を代表とする物理環境変化についても、一般的な捉え方にとどまるのではなく、日本のダムが置かれた河道・水系について、より実態に則した現象把握と分析が必要と考えられる。上で述べたように、ダム下流の河床材料変化は、水域・陸域や材料の種別 (m , s , t) によって、その特性が大きく異なる場合がある。その違いは、生物への影響の違いにも関係してくる可能性がある。したがって、ダム下流の河道状況についても、ステレオタイプの粗粒化にとらわれることなく、実河川での変化パターンを個々に実証的に掴み、その上で生物とのかかわりを調べていくことが求められる。工学的予測手法につ

いても、従来積み上げられてきた知見が適用できる範囲と高度化が必要な部分を特定することが重要と考えられる。

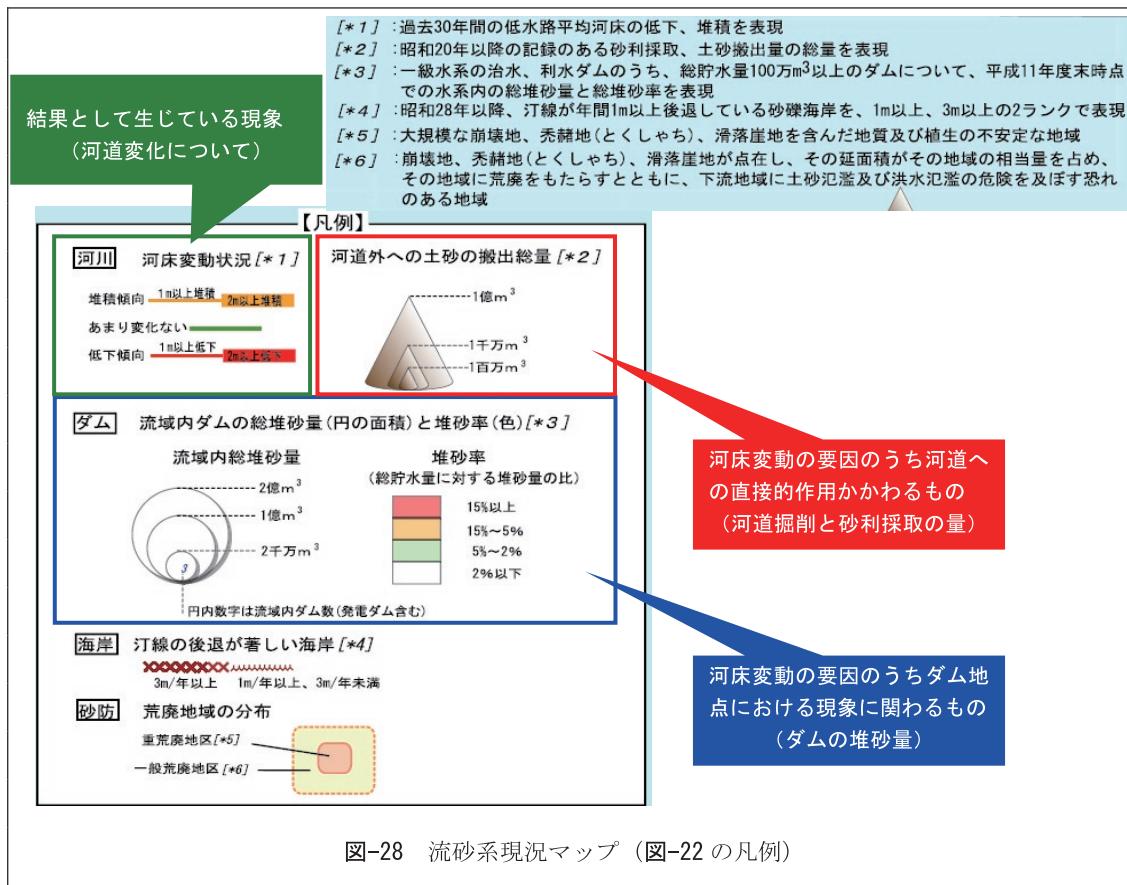
7. 下流河川における直接的作用とダムに関係する現象とをきちんと仕分けして整理・分析することの重要性を示す事例の紹介. 一下流河川における直接的作用を見落とした分析とならないためにー

2章に述べた事項の重要性を具体的に示す事例として、河道外への土砂搬出と河川水利用の2つを取り上げる。

7. 1 河川における直接的作用の例 1—河道外への土砂搬出

4.1で述べたように、図-22に示した流砂系現況マップ（国土交通省(2002)）から、水系ごとに、河道変化傾向（河床低下か河床上昇（堆積）か）、汀線の状況、河道外への土砂の搬出総量（昭和20年以降の記録のある砂利採取、土砂搬出のデータを集計）、流域内ダムの総堆砂量などを読み取ることができる。このマップは、図-28に示すように河道・海岸に結果として生じている現象（前二者）と変化の要因になりうる現象（後二者）を両方含む。

さて、図-22から、従来言われてきたとおり、日本全体で河床低下傾向が卓越していることが明確に読み取れる。また、同図からダムに堆積した総土砂量を集計すると、およそ11億8千万m³になる。これら2つのことから、ともすると、ダムによる土砂の扦止という要因の1つと河床低下という結果を単純に結びつける議論がなされたこともあったが、それは不適切である。というのは、河床低下の原因を考えるに際して、少なくとも、河川にお



ける直接的作用の1つである「河道外への土砂搬出」を要因候補に加えなくてはならないからである。やはり図-22から河道外への土砂搬出の総量を集計するとおよそ11億3千万m³となる。言うまでもなく河道外への土砂搬出は河床低下にそのまま現れる。河川では、治水のための河道掘削や砂利採取などにより河道外への土砂搬出が行われてきており、その総量は、この数字が示すように有意な河道変化を起こすに十分なものであった。

したがって、河床低下の要因分析を行うためには、少なくとも、ダムによる土砂堆積というダム地点で生じる現象と、河道掘削・砂利採取という河川における直接的作用の、それぞれの効き具合が考察されなければならない。図-29は、河道外への土砂搬出総量を右端の棒グラフに、ダムの総堆砂量を左端の棒グラフに表したものである。4.2で説明したように、ダム貯水池に堆積する土砂はシルト・粘土～砂～礫と幅広い粒度を持つ。そこで、4.2で述べたこれらの割合に関する情報（礫は5～15%，場合によってはそれ以下、砂は30～40%程度であり、残りはシルト・粘土成分）から、ダムに堆積している土砂総量のうち礫分、砂分それぞれのオーダーを推定した。それらが、左から2,3番目（礫）、4,5番目（砂）の棒グラフである。以上の準備のもとに、図-29から日本全体をマクロに見た場合の上記の「効き具合」の考察を行ってみる。

右端の棒グラフすなわち河道外に搬出されてきた土砂は、その相当量を占める砂利採取の目的から考えても、砂と礫が多くを占めると考えられる。ダムにより堆積された礫の量は、河道外へ搬出された土砂の半分程度が礫である仮定したとして、搬出量に比べだいぶ小さいことになる（左から2番目、3番目の棒グラフ）。したがって、礫床区間の河床低下については、河道外への土砂搬出という直接的な作用が支配的と言えそうである。一方、ダムにより堆積された砂の量は、河道外へ搬出された土砂の半分程度が砂であると仮定したとして、搬出量と同オーダーの大きさを持つことになる（左から4番目、5番目の棒グラフ）。このことからは、砂については、河道外への搬出という直接的作用とダムによる砂の堆積の両方が有意に河床低下に効いている可能性を指摘できる。なお、砂の供給減少が河床低下に実際どのような形で現れるかについては6.3(2)に述べた通りである。

以上のように、土砂量を丸ごと比較するのではなく、着目する粒径集団（上記の

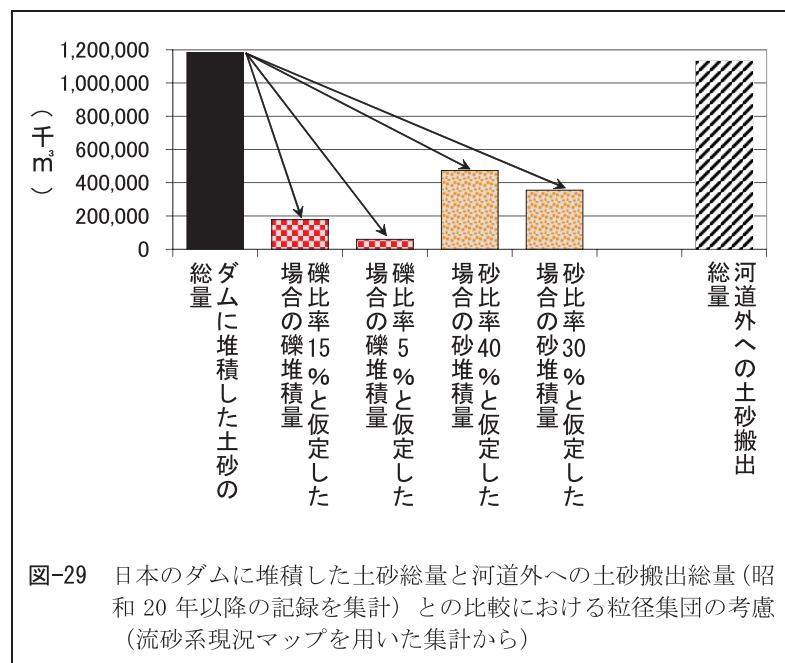


図-29 日本のダムに堆積した土砂総量と河道外への土砂搬出総量（昭和20年以降の記録を集計）との比較における粒径集団の考慮（流砂系現況マップを用いた集計から）

場合は礫と砂それぞれ)について収支を検討していくこと、また、ダム地点で生じる現象と下流河川における直接的作用を仕分けすることが、河道変化要因の分析を大局的に誤り無く行う上で不可欠である。そうでないと、たとえばダム堆砂総量を河床低下量と単純に比較する、あるいは図-29の左右両端の棒グラフをそのまま比較するなどの無意味な分析を行うことにつながる。以上のことから、下流河道の河床低下を把握するにあたっては、ダム堆砂量のみに着目するのではなく、河道外への土砂搬出量、ダム堆砂物の粒度構成、下流河川の河床材料の粒径集団などを総合的に勘案することが重要であることがわかる。個々の水系において問題の把握と対策の検討を行う際には、上記のマクロな分析だけではなく、より詳細な調査・分析が必要となるのは当然であるが、その際にも、本章の題に示した基本スタンスを持つことが大事である。

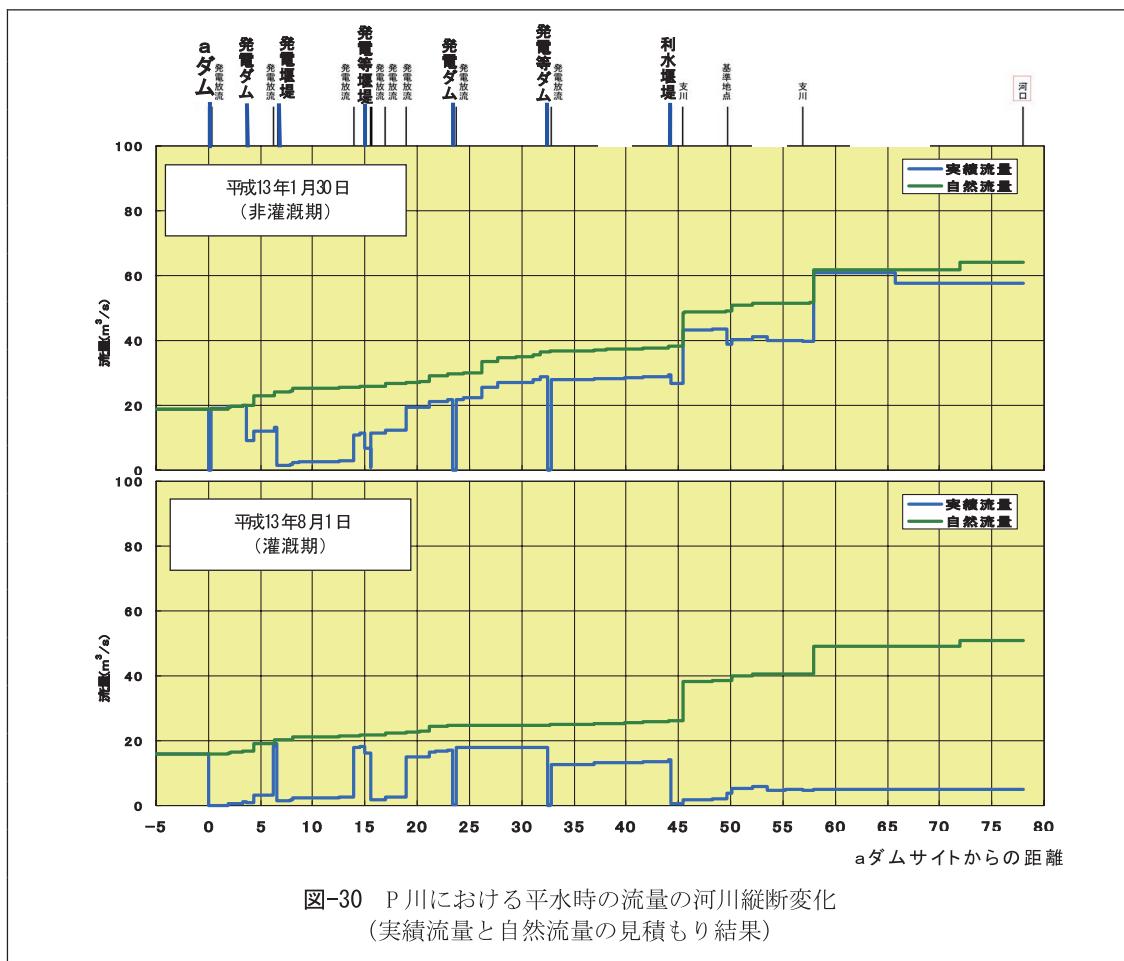
なお、河床高を下げ、洪水を流下させる断面を拡大することは、河道における治水対策において最も有力な手段の1つであり、日本の多くの河川で、河床低下の結果として、治水安全度の有意な向上が見られている。したがって、河床低下については、それが制御された形で達成あるいは誘導される場合には、そのこと自体が河道改修の主目的の1つにもなる。河床低下そのものを議論する際には、このような治水上の効果も含め、総合的な観点を持つことが不可欠である。

古い時代の砂利採取については、記録よりも実際の砂利採取量が大きかった河川区間が少なくないとの指摘がある。そうだとすれば、図-29の右端の棒グラフが幾分伸びることになり、今の河床形状に与えている河川への直接的作用(河川外への土砂搬出)の影響をより大きくとらえることになる。

7. 2 河川における直接的作用の例2－河川水利用

河川水は種々の目的に利用されており、ダム貯水池も含め河川の多くの地点で様々な形で取水が行われていることが一般的である。したがって、下流河川の流量の状況とダムとの関係を分析するために、こうした河川水利用(取水、排水)の状況も合わせて分析する必要がある。

図-30に、P川における平水時のある日の流量縦断図を示す。実績流量とは、aダムと発電ダム群および農上工水の取排水施設群による取・排水がある場合の流量の観測値である。自然流量とは、aダムの放流量を流入量と同じにし、さらに発電ダムによる取・排水と農上工による取・排水がない場合の流量を算定したものである。いずれも日流量に基づく。実績流量と自然流量の算出法については、付属資料2を参照されたい。図によれば、aダムから下流しばらくは、発電のためのバイパスによって実績流量が自然流量に比べ大幅に減少する区間が断続的に現れ、その下流では発電用水の利用が終わり、実績流量が自然流量にだいぶ近づく区間が現れる。さらに下流に行くと、農業用水や工業・上水道のための取水により、再び実績流量と自然流量との隙間が大きくなる。特に灌漑期においては、こうした取水による流量減はより明瞭である。発電取水を目的に含むダム・堰堤では、河川流



水を取水し、そのほぼ全量を下流の発電所地点において河川に放流する(戻す)。このため、発電取水のバイパス区間だけ河川流量が小さくなることが起こる。農業用水や工業・上水道の取水ダム・堰堤では、河川水の一部を取水するが、この水は人間の生活に供されているため、河川に全て戻されることはない。図-30に現れているP川の状況は図-6に示した代表的パターンに対応するものである。

以上に示した事例からも明らかなように、河川からの取水は河川流量に有意な影響を及ぼす直接的作用であるから、河川流量とダムとの関係の分析においては、河川水利用の影響をあわせて分析することが不可欠である。1.3で説明したように、ダムにより渇水時の補給が可能になることが新たな水利権付与になるという関係が、ダムと河川水利用との間に一部存在するとは言え、それはあくまで水資源開発および水利権の制度上の関係であり、上流にダムがあるからと言って河川流量の状況をもっぱらダムによる流量制御と関係づけて分析しようすることは、実現象を科学的に把握するという主旨からは筋違いである。

8. 多くの場合ダムは山地部に設置される。山地河川は、沖積平野を流れる河川とは異なる性質を持つ。そこで整備・管理を検討する際には、山地河川特有の性質を理解しておくことが不可欠である。

前章までの説明は、基本的には沖積河川を意識したものである。整備や管理の対象となる河川の中には、セグメントMの山地河川に属するものもある。山地河川は沖積平野を流れる河川とは異なる性質を持つので、そこで整備・管理を検討する際には、山地河川特有の性質を理解しておくことが不可欠である。

山地河道におけるダムと下流河川の物理環境との関係を考える際には、沖積河川を主対象にした現象の捉え方や技術的手法を単純に当てはめるのではなく、山地河道の特性を理解した上で、それに適した捉え方や技術的手法を用いることが肝要である。山地河道がそもそもどのようなものであるかがわからなければ、分析の基本的方向を誤ることにもなりかねない。

山地河道については、林学、砂防学、地形学、地質学、水理学などいくつかの学術分野の対象となり、また砂防事業が行われ、それに関わる調査と技術体系の整備がなされてきている。しかし、沖積河川区間の多くが氾濫防御のための堤防を有し、河川整備の対象とされ、日常的に管理されるのに対して、山地河道は、砂防事業区域など一部のエリアを除けば、その状況を河川管理者が継続的に把握する対象にはなってこなかった。このため、沖積河川のように一通りの河道情報が行政により蓄積され、それを調べれば全体像が概略把握できるというような状況はない。したがって、上記の学術分野や事業の技術体系などの知見から、ダムと下流河道との関係を分析する際に理解しておくべき山地河道の基本的特性を抽出・整理しておくことがまず大事になる。

以下では、十分な体系的記述に至っておらず、項目のランダムな提示にとどまっているが、沖積河川とは異なる山地河道の特性の中でも重要と考えられることを抽出してみる。ここでいう山地河道は、土石流や斜面崩壊、表面侵食などが起こる場（土砂生産源）ではなく、土砂の流送が掃流砂・浮遊砂の状態で生じる程度の河床勾配に落ち着いた後の河道のことを指す。土石流や斜面崩壊、表面侵食などによる土砂の移動は、ここで扱う山地河道に供給される土砂として扱う。いずれも、ダムの存在とは関係なく、山地河道が元々有している特徴に関するものである。なお、8.1の記述に際しては、「日本の山地河道を語る会」（参考文献欄のあとにその概要を示した）における、参加いただいた各学識者からの知見・論点および総合討議の内容と、8.1の後に付けた（参考）の記述も参考にしている。ただし、文責は著者らにある。

8. 1 山地河道特有の性質を理解する上で重要と考えられるポイント

① 流域・水系の視点、流域での地形・地質分布の視点が、分析においてより重要になる。

山地部の河川は、沖積河川に比べ、より直接的に流域の地形・地質の影響を受けている。

流域・水系のどの位置にダムが建設されるかが、下流河川における変化の出方を考える上で重要である。

② 山地河道の河床構成材料（材料 m ）は、粒径分布の幅が広く、その空間的ばらつきが大きい。

多くの場合、材料 m がいくつかの粒径集団からなり、場所によって主たる粒径集団が異なってくる。このため、材料 m の動き方に場所的に大きな差が生じうる。材料 m がどのような粒径集団から構成されるかを特定し、それぞれが平面的にどう分布しているかを知ることが必要になる。

③ 岩盤が側刻、下刻、洗掘を制約する。

谷底にある岩盤は洗掘、下刻を制約し、河道形状を規定する大きな要因となる。

河岸が山脚で岩盤になっているところが多い。こうした岩盤は側刻を制約し、河道の幅や流路の平面形状を規定する大きな要因となる。

④ 未固結堆積層の厚さが有限であり、また、時間的・空間的に大きく変化しうる。

場所によっては堆積層厚（以後、堆積層というときは未固結を指す）が薄く、川底に岩が露出しやすいところがある。ふだんから川底が岩になっているところもある。さらに、露出したりしなかったりするところがある。岩露出の有無で、河床変動や洗掘、土砂流送、表層河床材料の特性が大きく変わるので、上記の有限性（砂礫などが常に川底にあるとは限らないという意味で）は重要な特徴である。

⑤ 洪水により作用する営力の幅が広い。頻度は小さいが大きな営力が作用しうる。

沖積河川であれば、河道満杯流量以上の洪水が発生しても、氾濫原に溢れてしまい、河道に作用する営力はそこで頭打ちになる。堤防があると、流量が河道（低水路）満杯流量を超えて、洪水が堤防間にとどまるため営力の増加が続くが、低水路幅より堤間幅（堤防間距離）がずっと大きいので、営力の増大は鈍る。また堤防高を越えての営力増大はあり得ない。一方、山地河道では有意な氾濫平野を持たず川幅が山脚により規定されていることが多い。この場合、水位が上昇しても川幅があまり広がらないので、流量増に伴い営力が増加し続けることになる。このため、作用する営力に明確な上限が無く、頻度は極めて小さいが非常に大きな外力が生じうると考えられる。

掃流力が増すにつれ急速に動きが活発になるという土砂流送の特性から考えて、以上の

ことは流路や河床構造の階層性につながりうると考えられる。すなわち、頻度は小さくても規模の大きな（カタストロフィックな）洪水が河道形状の骨格を規定し、一クラス規模の小さな洪水による河道形成作用がその上に乗って骨格に肉付けをし、という状況が多段に存在する性質である。このような階層性、履歴性が卓越する場合、沖積河川で河道形成の代表的流量としてよく用いられる「平均年最大流量」のように、1つの河道形成流量で技術検討を行うだけでは足りず、複数の代表洪水流量と対応する河道形成作用を複合的に考える必要が出てくる。

⑥ 沖積河川に比べ一般に急勾配であり、射流が頻出し、水深粒径比が小さい

射流、小さな水深粒径比はともに、流れ、流砂、小規模河床波などの特性を考える上で重要な条件である。射流条件で生じる小規模河床波の一種の反砂堆は、溪流河川によく見られる階段状河床の形成機構に深く関わる。

⑦ 土砂供給源が多様である。当該河川の本川上流からだけでなく、支溪流からの供給も影響力をもちやすく、また山腹からの直接的供給も起こりうる。

上記に示すように土砂供給のルートが一律でないこと、また支溪流の土石流や山腹の斜面崩壊などにより供給される土砂がもともと幅広い粒度を持ちやすいことが、上記②の特徴が現れる理由の1つになっていると考えられる。

⑧ 土砂供給が時間的、空間的に不均一に行われる。また、土砂供給の場からの距離が近く、河道がこの不均一性の影響を強く受ける。

空間的不均一性については地質・地形分布などとともに上記⑦も関係する。時間的・空間的不均一性については、短時間強雨の出現特性や山腹崩壊の場所とタイミングなどが関係する。つまり、支溪流の土石流や山腹の斜面崩壊などによる土砂供給は、起こり方が突発的であり、その場所や発生のタイミングがランダムに近い特徴を持つ。⑧の特徴は、ある区間の河道特性を考える上で、土砂供給イベントとの時間的・空間的距離が重要であることを意味する。すなわち、有意な土砂供給が起こった場所との距離、そのイベントからどれくらいの時間が経っているかが分析のポイントの1つとなる。

⑨ 河床材料の流送量（Bed-material load：河床起源の土砂流送量）と流量との関係が、沖積河川では概ね安定的であるのに対し、山地河道では大きく変動する。

上記⑧の特徴があるため、当該区間で河床材料が流出する量と、当該区間に河床材料となる土砂が供給される量が大きく異なる場合が出てくる。[前者>>後者]の場合には、河床が低下し、ふつう河床材料は粗くなり、場合によっては岩露出にまでいたる（動きうる河床材料が枯渇した状態）。河床材料が枯渇して河床が岩ばかりとなれば、流量が増大しても

河床起源の土砂流送量は0のままである。[前者<<後者]の場合には、河床が上昇し、河床材料の堆積厚が大きくなり、ふつう河床材料は細かくなる。この状態で流量が増えれば、河床起源の流砂量も急激に増える。以上から、河床材料の粒径や堆積層厚は同一地点でも大きく変動し(④の特徴)、河床材料が枯渇して川底が岩だらけになってしまふこともあり、同じ流量が流れたときの河床材料の流送量も大きく変動する。1つの洪水の期間中でさえ、粒径や堆積層厚が時間的に大きく変化することがある。沖積河川まで下ってみると、上記⑧の非均一性がならされ、河床材料の変化幅が小さくなり、上記⑦の特徴が解消する(主たる土砂供給が当該河川上流に一本化されるので；ただし河岸侵食の役割については別途議論が必要かもしれない)ので、河床材料の流送量(河床起源の土砂流送量)と流量との間に概ね安定的な関係が見られるようになる。

⑩ 河床材料が洪水によってほとんどあるいは全く移動しない区間が珍しくない。

沖積河川であれば、一定以上の頻度で洪水により河床材料が有意に動くことを前提にものを考えて良いが、山地河道の場合には、この前提は必ずしも成り立たない。この背景として以下のことがある。

現在の河川・流域の地形は、最終氷期以降の気候変動と海水準変動から強い影響を受けている。最終氷期には、今より気温が5~10度低く、海面が100m以上低かった。その時代、山地では植生の後退や活発な凍結融解作用や氷河の作用によって礫の生産が盛んとなり、河川の上・中流部では礫の流送によって網状流が発達し、下流部では低い海面に追随して河床が低下した。しかし、後氷期(最終氷期が終わった2万年前以降)になると逆のことが起り、礫生産量が減少する一方気候温暖化により流量は増加し、河川の上・中流部は低下傾向となり、下流部では海面の上昇によって河床上昇や沖積低地や平野の形成が起った。こうして、現在見られる河川・流域の地形は、氷期に形成された地形とそれを改変した後氷期の侵食作用の2つの面から構成されている(貝塚ら(1985)ほか、図-31参照)。

すなわち山地部の河道は、後氷期(2万年前から現在にかけて)、全体としては下刻傾向を基調にしていると言える。主な河床材料となる礫の枯渇が続

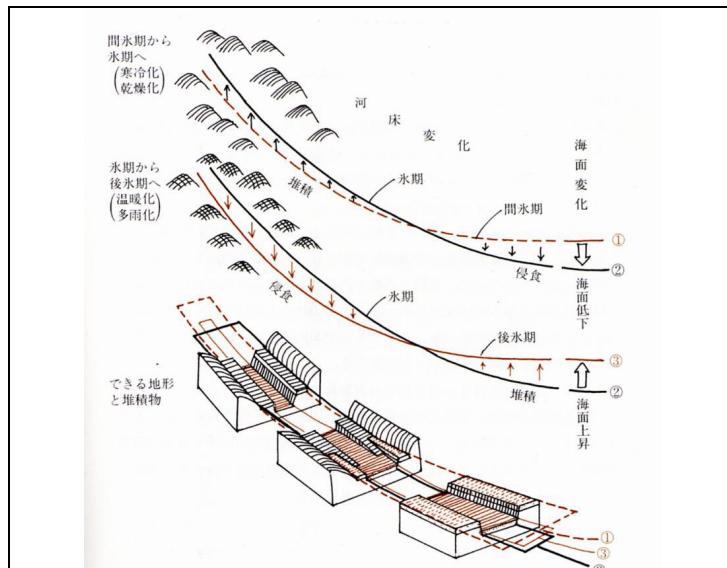


図-31 気候の変動と河床断面の変化

貝塚爽平、成瀬洋、太田陽子(1985)
日本の自然4－日本の平野と海岸、岩波新書、pp. 135

き、河床低下と粗粒化が十分に進行し、河床材料が静的安定に至った区間や岩露出に至った区間、岩の上に礫が材料的に薄くしか乗っていない（川底に礫の“残り滓”しかない）区間が珍しくないと考えられる（上記④と関連）。相対的に土砂生産が活発な水系では、十分な砂礫が今でも供給され、動きの活発な堆積層が形成されているが、少なくとも、そのような場所が一般的と考えるのは適切でない。

池田（2001）は、「岩川」、「石川」という表現により、山地河道において、動きの活発な堆積層が存在する区間（石川）と、未固結の堆積層が有意には残っておらず、河床材料の動きがほとんど無い区間（岩川）を区別する見方の重要性を強調し、岩川、石川それぞれの河道形成過程の違いを指摘している。山本（2004）は、河道に礫層が広がっている場合の側刻作用と、礫層がない場合の下刻作用が河川地形形成に果たす役割を説明している。

以上のような⑩の特徴は、簡単な水理分析でもある程度定量的に確認できる。たとえば、山地河道について河床材料（材料 m ）の動きやすさを、代表的洪水流量の下での無次元掃流力から調べると、 $1/10$ 確率の洪水流量でもほとんど動かないと判断される区間もあれば、 $1/3$ 確率でも動くと判断される区間も存在するなど、無次元掃流力の値が区間によって大きく変わる結果をしばしば得る。

ダム下流において巨礫や大石からなり、河床材料が動かない状況になっていたとしても、上記のようにダム建設前からそのような区間であった可能性もあり、このようなことからも、元々の検討対象河道区間の特性を何らかの形で考慮することは、山地河道におけるダムと河道との関係分析に求められる大事なポイントの1つと言える。

⑪ 河床材料として流送される過程での礫の破碎・摩耗が河床材料、土砂収支などに与える影響を、場合によっては検討する必要がある。

礫の岩質やその流送状況などによっては、上記の効果を考慮した分析が必要となることが考えられる。その際には、その効果に関する定性的なシナリオを、河川技術として扱えるように定量的に分析・検証することが重要となる。土砂動態を捉える上で、土砂水理的なアプローチが依然として主軸になると考えられるが、礫粒が変形しないことを前提にした収支議論を絶対視しないことも求められる。

⑫ 山体あるいは川底を構成する岩といえども、一律に不变と考えるのでなく、その変化まで考慮すると、山地河道の形成機構への理解が深まる。

未固結堆積層の動きとは意味合いが異なるものの、岩の“動き”も、山地河道の河道形成過程を考える際に大事になる場合がある。“動き”的例としては、風化、河岸を構成する山脚の侵食、山腹崩壊、川底の軟岩の洗掘・侵食、山体の隆起などである。これらの動きを起こす要因としては、岩質やその組み合わせ、石川と岩川（池田 2001）の洗掘・侵食作用、植物の作用・役割、気候・気象条件、岩のフレッシュさなどが考えられる。これらの影響度を把握し、対象とする河道に関する“岩の変化”的形態、速度の評価につなげ、河

川技術的にどれほど重要なかを考える事が場合によっては必要となる。

(参考) 山地斜面からの直接的な土砂供給と輸送

ここでは、流域における土砂生産の場である山地斜面から河道に供給される土砂について、その仕組みを新谷ら（2006）を引用して次に述べる。

一般に山地河川では斜面と河床が接している。沖積平野の河川では斜面と河床は離れて位置することが多い。このため、山地河川では斜面変動と河床変動の間に直接的な関係がある。斜面と河床が接したところでは、斜面変動による崩落土砂が河床に接して崖錐（土石流の場合には沖積錐）を形成する。この堆積物は洪水時に土砂として河川に入るが、河口に達するまでの時間は土砂の粒径によって極端に異なる（6.2～6.4 参照）。

斜面変動と河床変動の関係について、大井川上流の崩壊地「赤崩」の事例がある。赤崩は、標高 1,300m～1,900m に位置し、崩壊面積は約 39ha であり、崩壊地の下には沖積錐がある（図-32）。

地質は四万十層群の砂岩・頁岩の互層で、構造運動の影響で破碎されている。冬から春にかけて、凍結・融解により落石が崩壊地斜面から頻発し、このため植生が侵入・定着できず脆弱な岩盤が崩壊地斜面全体に露出している。

赤崩における斜面変動と河床変動との関係は次のようにある。

- ・ 凍結・融解による脆弱な岩盤斜面からの落石あるいは雨による小規模な崩落により、崩壊地基部には崖錐が発達する。
- ・ そこに大雨が降ると、崖錐は飽和岩屑流となってゆっくり流動し、勾配約 21 度の沖積錐を形成する（池田ら（1993））。
- ・ 河道に張り出した沖積錐の一部は、洪水時に河道に入り土砂礫として河床変動に寄与する。

岩盤斜面→崖錐→沖積錐→河道という道筋であり、崖錐が発達していなければ土砂礫は河道には入らない。

現在の日本においては、火山活動の活発な斜面を除く山地斜面は森林で覆われているので、山地斜面における顕著な土壤侵食の問題は発生していない。しかし、森林土壤の発達は、崩壊可能物質を増大させ、土壤の高い浸透能が豪雨時に雨水の多くを地中流とすることから、一回に大きな崩壊を起こしやすくなっている。はげ山が多く土壤侵食が盛んだつた明治期は、土砂の生産の頻度は高いが規模は小さいというものであったが、現在は、頻

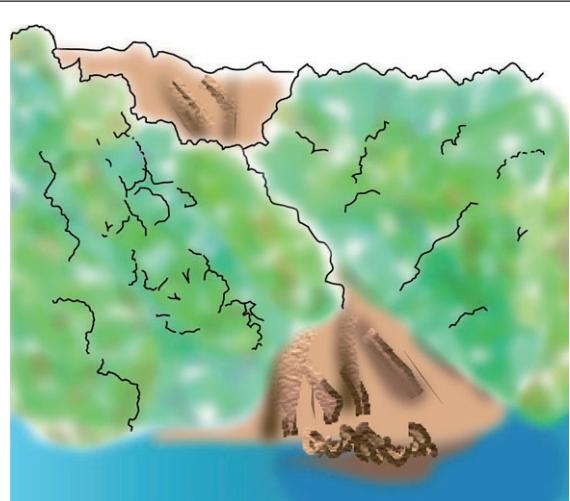


図-32 大井川上流の崩壊地（赤崩）のイメージ

度は低いが規模は大きいというものに変化している。

一般に、上流にいくほど急傾斜の山腹斜面や支流が本川河川に直接流れ込むことが多く、下流にいくほど河川は斜面から遠ざかって平坦な沖積平野の中を流れる。すなわち、河川の上流ほど斜面や支流から一時的に集中的に土砂が供給される機会が多く、同時に、上流ほど流域面積は小さくなるので土砂を運搬するための流水量は少なくなる（=供給された土砂量に対して流水による土砂運搬力に上限が生じる）。

一般に山地河川は礫床河川か岩盤河川である。大局的には山地河川は土砂の通過域にあるので、岩盤河川になっていたり、礫床でも堆積層がさほど厚くないことが多い。すなわち滞留土砂が少ないので全体的な傾向である。これは流水の土砂輸送能力に比べてその場に供給される土砂量がずっと少ないので一般的であるため、山腹崩壊などにより一時的に土砂供給・堆積が起こっても比較的早く下流に流される。

山地河川では、土石流などの集合運搬により土砂が供給されることが多い。集合運搬による土砂供給が起こると河床に一時的に土砂堆積が起こるが、この土砂は順次下流に流送され、河床はもとの滞留土砂の少ない状態に戻る。洪水の土砂輸送能力がいくら高くても、運ぶべき土砂が河道に存在しないことがよくあり、河道に土砂が十分供給されてはじめて、輸送能力に見合う土砂流送が行われるというのが山地河川の特徴であるといえる。

8. 2 調査・分析の体系化への含意

8.1と8.2の内容からは、山地河道の調査・分析に際して次のようなことが重要になるとと思われる。

まず、流域・水系、その中の地質・地形の分布を視野に入れ、検討対象区間の“空間的位置”的意味を把握することである。スケールダウンすれば、当該区間への土砂供給源や供給ルートの特定もこれに入ってくる。

当該区間の“時間的位置”的意味を把握することである。すなわち、関係する土砂供給イベントを把握し、それと当該区間との時間的・空間的距離を調べ、これに基づき、たとえば、対象区間の河床材料に関して、供給枯渇状態か、供給過多状態か、動的平衡状態か、静的平衡状態（河床材料の動きがほとんど無い）かを把握する。河床状況が変化過程にある場合、その速度や最終到達状態、そこに至るまでの時間などを推定する。

営力に関しては、検討対象とするレンジを頻度の小さい高外力まで幅広く取り、様々なレベルの営力が起こしうる河床形成作用とその履歴性を検討する。その上で、河床が階層構造を持つかどうかを調べ、それがはっきりしている場合には、当該区間に作用しうる営力のレンジから各階層を支配する代表流量とそれがつくる河床構造を掘んでいく。

河道状況の中で特に調べる必要があるのは、河床材料の平面分布状況（複数の粒径集団の平面分布など）や、岩の位置と未固結堆積層の厚さ・材料の把握である。

礫の破碎・摩耗による変化や山体や山脚、谷底を構成する岩の変化速度については、当

該河道区間の河川技術的取り扱いにおける重要性を、これらの変化速度と対象とする事象の時間スケールなどから判断することがまず必要である。

全体として、様々な定性的な情報を河川技術的取り扱いに組み込めるように整理し、定量化することが鍵となる。また、今まで述べてきたように、山地河道の特性には多くの要因が関係し、影響の仕方も多様かつ複雑で、その一方、既往の河道情報の蓄積は十分でない。このため、それら全てを高い精度で調べることは、実際に投入できる調査分析の労力から考えて実務的には困難と考えられる。したがって、山地河道の調査分析については、調査の合理化、簡略化も重要な課題となる。このためには、まず、河川技術の観点も取り込んだ山地河道の類型化が不可欠である。類型化の視点を検討する上で、8.1に示したポイントも参考になろう。また、重点的に検討するべき事象を抽出するために、主要な事象について大まかに変化速度を見積もることができるようにして、河川技術的に取り扱うべき変化速度のレンジに入ってくる事象を特定しやすくすることも大事と考えられる。こうした取り組みと並行して調査、モニタリング技術の高度化を追求していくことになる。

9. 課題を解決するための施策の議論を行う際には、関心事項にかかわる現象だけを考えるのではなく、対象とする川と人とのかかわりの全体的状況をつかみ、ある施策を適用することが他にどのような影響を及ぼすかもあわせて考慮した上で、川と人との関係を全体として良くしていくという観点からの議論につなげていくことが肝要である。

水資源確保および水利用と河川流況にかかわる課題認識と取り組みを概観することを通じて、上記のポイントの重要性を説明する。1.の内容とつなげて読んでいただければ、より理解しやすくなる。

農業用水に関する議論の整理

今日においても河川水利用の7割を占める農地への灌漑は、確かに平水流況に大きな影響を与えており、しかしそれは、前述のように、近世までに長い年月を経て人々の間で積み上げられてきた水利秩序に根差すものであり、たとえば環境再生目標を100年前に置いたとしても、その時代、マクロには今と同様な取水がなされていたことになるから、再生のために川に戻すべき水ということにはなりにくい。農業用水の扱いは、今後の農業・農村・食糧政策の方向性の議論とも相まって、都市化の趨勢の中で最適水利用とは大きく乖離しているといった単純な論理や経済合理性重視だけで処理するにはあまりにも深い内容を持っている。それでも、農地減少や水利用の合理化に伴い他目的へ転用を図る地道な調整が続けられている。

農業用水の取水については、水域生態系に不利な状況をもたらすだけという見方が適切でなく、用水を行った先において、水田とその用排水路系統とともに固有の農村景観および生物・生態系の基盤になっていたとの議論もある。近代的な農業水利施設が整備される以前は、用排水路として小河川や河川の旧流路が使われていた事例が少なくなかったことも考え合わせると、このことはより理解しやすくなる。その論に従えば、水田灌漑システムや農法の近代化・合理化が、同じ水量の河川水を導入した時に生じる生物活動を大幅に不活性化させたことが課題であり、用水が流れる“器”的改善によって、近世まであった固有の農村生態系を再生させることが重要となる。農業水利施設の整備・管理に際して、そのような多面的機能の確保を考える取り組みが少しづつ広がりを見せている。

※ 施策例：農業・水・環境保全向上対策（農林水産省）, <http://www.inakajin.or.jp/midorihozen/>

河川の器の劣化と多自然川づくりや自然再生

水量だけにとらわれず器の変質にも目も向けるべきという議論は、実は、河川自体にも当てはまる。明治期に入って、大きな洪水被害が頻発し、社会経済的状況からも高い治水安全性が求められる中で、機械力と近代的河川工法を導入しての本格的な治水のための河川改修が始まった。国土面積のわずか10%の沖積平野に人口の半分、資産の3/4が集中する日本において、洪水被害の防除・軽減は今日なお切実な政策課題である。河川改修は、その目的から、河道の動きを抑え、単純な形に整正し、あるいは自然の営力によるものと

は異なる形状に変え、河川域とその周辺との境界を明瞭にする。そのような改修が洪水被害の発生頻度を有意に下げる効果をもたらした一方で、河川水域固有の生物・生態系の基盤やネットワークを相当程度変質・劣化させて来た。このような認識に立って、多自然川づくりや自然再生プロジェクトなどを通じ、洪水被害軽減という人々の長年の希求との調和を図りつつ、河川の自然環境を保全・復元する取り組みが1990年代から本格化している

※施策例 多自然川づくり（国土交通省），http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/05/051013_.html

河川流量の過度な減少とその回復への取り組み

農業用水の取水は、はるか以前に始まっているとはいえ、取水に伴う課題を今日的観点から個別具体に把握することは重要である。特に、大規模な取水地点の下流など、取水形態や用水利用形態の“合理化”などによって、特定箇所・区間に強い環境的負荷をかける状況になっているとすれば、その改善が急務となる。このことは、都市用水の取水についても同様である。発電のための取水により極端に河川流量が少ない区間が主として山地河川に断続的に出現する問題については、すでに維持流量を川に確保する施策が講じられている。

※施策例 発電ガイドライン（国土交通省），<http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai/shakai/030718/pdf/s5-1.pdf>

ダム貯水池による洪水流況の調整は、前述のように、沖積河川の主要区間まで来れば、顕著な影響をもたらしていない場合が多いと考えられるが（たとえば図-6. 7.2 も合わせて参照されたい）、ダム貯水池の直下流区間では影響が出やすく、過度な洪水流況変化や流量の平滑化、攪乱頻度の低下などが起こっている可能性も下流に比べ高くなる。いくつかのダム貯水池で、弾力的運用により下流に様々な形で付加的に水量を流し、効果を把握する取り組みが実施されている。

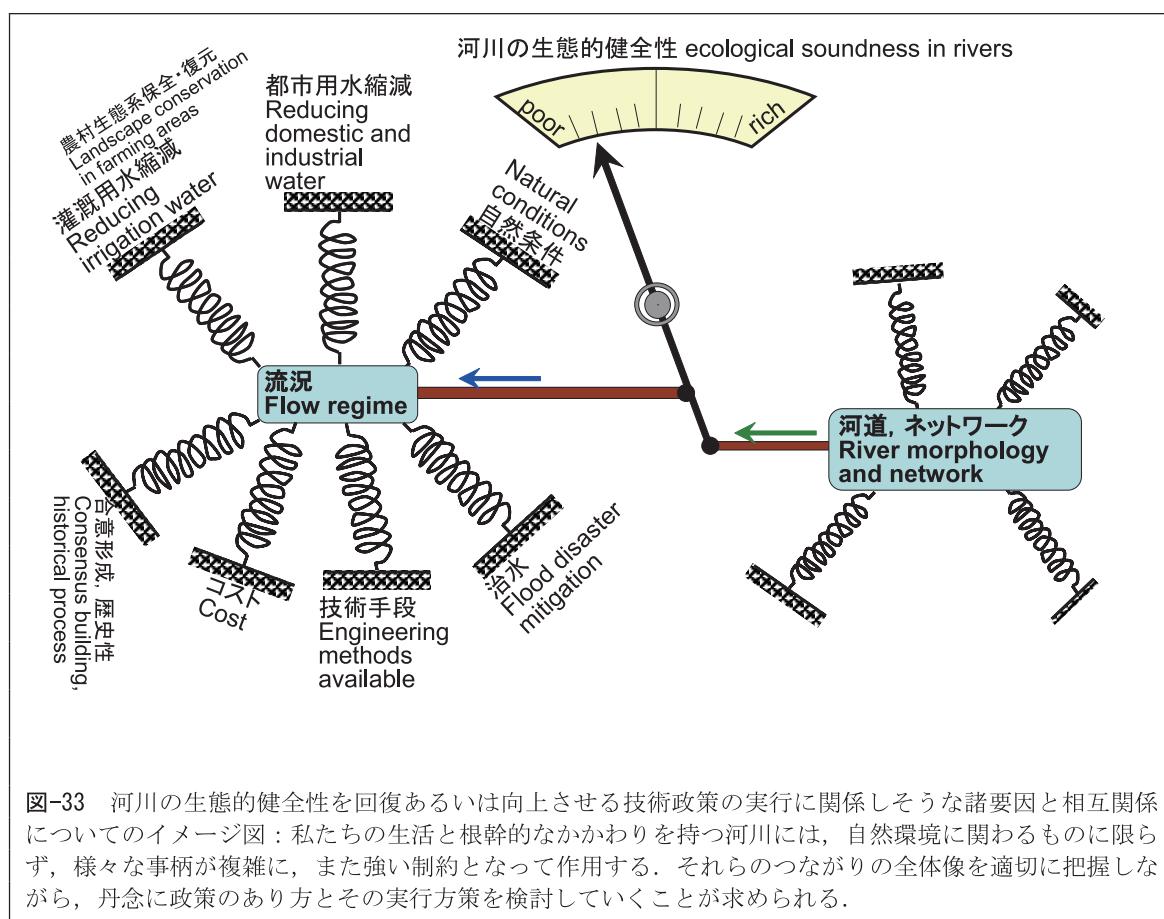
※施策例 ダムの弾力的管理試験の実施について（国土交通省），http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/05/050618_.html

河川流量のあり方に関する議論

以上に示した課題や論点の中で、環境保全上河川が持つべき流量を正面から取り上げているのは「維持流量」である（国土交通省河川局監修日本河川協会編（2005））。それを決める技術的な検討を行っても具体的な確保方策に苦慮している河川が少なくないという実務上の課題に鑑みても、維持流量の役割は過小評価すべきでない。しかしその一方、最低確保すべき“定常的”流量の設定が主眼で、洪水を含む流量変動パターン全体に対する考慮がなされていないという課題の指摘も重要である。これには、厳しい渇水の下でも同一の維持流量を確保すべきかの議論も関係してこよう。1.3で述べたように、日本の河川・流域の地理的特徴から、ダム貯水池の流況調整による洪水流況変化が水系全体では目立ちにくい状況があるとしても、日本の河川の特性に合った流量変動のあり方を本格的、能動的に検討することが大事になってきている。ただしその際には、環境劣化が流量だけでなく河川の器やネットワークの変質など様々な要因の複合作用による結果であること、水系内

の各区間における流量（変動）確保対策の優先順位や位置づけの明確化、治水上の安全性に与える影響、に留意すべきである（図-33 参照）。

河川流量を変えることに関する自然、社会、歴史の各側面で強い制約があり、河川環境劣化の要因が複合的で、密接かつ複雑な関係が川と人との間にあり、そこに歴史的重層性も見られることが一般的な日本の河川においては（図-33 参照）、対象とするその河川・流域・水系の実情を丹念に調べ、情報を共有し、診断し、問題解決の方向性を定め、改善に一歩踏み出す方策を見出し、流域住民と専門家、河川管理者が協働で順応的にそれを適用していく姿勢が、そして培われたローカルな知恵と普遍的な知見をよく混ぜあうことが、とりわけ求められていると言えよう。



謝辞

「日本の山地河道を語る会」において、池田宏先生（独立行政法人土木研究所招聘研究員）、辻本哲郎先生（名古屋大学教授）、山本晃一先生（財団法人河川環境管理財団河川環境総合研究所所長）、水山高久先生（京都大学教授）、長谷川和義先生（財団法人河川環境管理財団研究顧問）、藤田裕一郎先生（岐阜大学教授）よりいただいた知見・論点は、8章の内容に大変参考になりました。また、本会の運営に際しては、（独）土木研究所 水工研究グループ 河川・ダム水理チームの協力を得ました。

ここに記して御礼申し上げます。