

3. ダムと下流河川の物理環境との関係を分析する際に 理解しておくべき日本のダムの基本特性

3.1 ダム貯水池がその地点において河川に為す基本的作用について

3.1.1 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。環境保全上必要な水量の確保も目的となりうる。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、1.1、1.2で説明したように、上記①～④のうち①と②を対象にしていることになる。

3.1.2 ダム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、上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かを理解することになる（図 3.1-1 参照）。「ダム地点で生じる現象」だけの分析からダムの下流影響を議論することは、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。

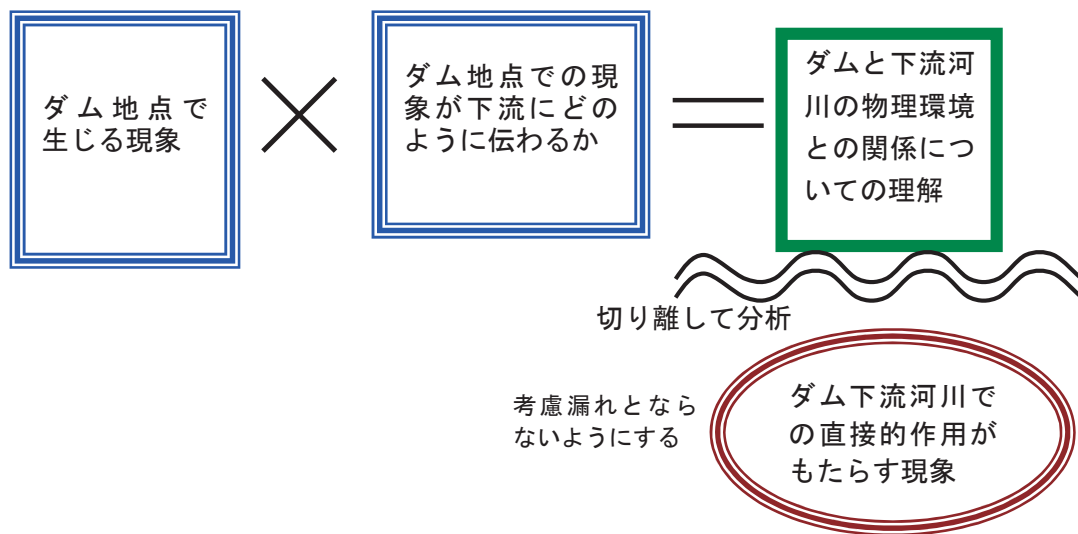


図 3.1-1 ダムと下流河川の物理環境の捉え方と留意事項

3.1.3 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 3.1-1 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。

3.2 変換装置としてのダムの基本特性（流量と土砂について）

以下に示すデータに関する出典等は国総研資料 445 号に記されているので、必要に応じ参照されたい。

3.2.1 流量の変化

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、その起こり方や程度は以下に示すように一律ではない。

(1) 出水時ピーク流量の減少（攪乱強度の減少）

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、具体的調節法が定められている。図 3.2-1 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。

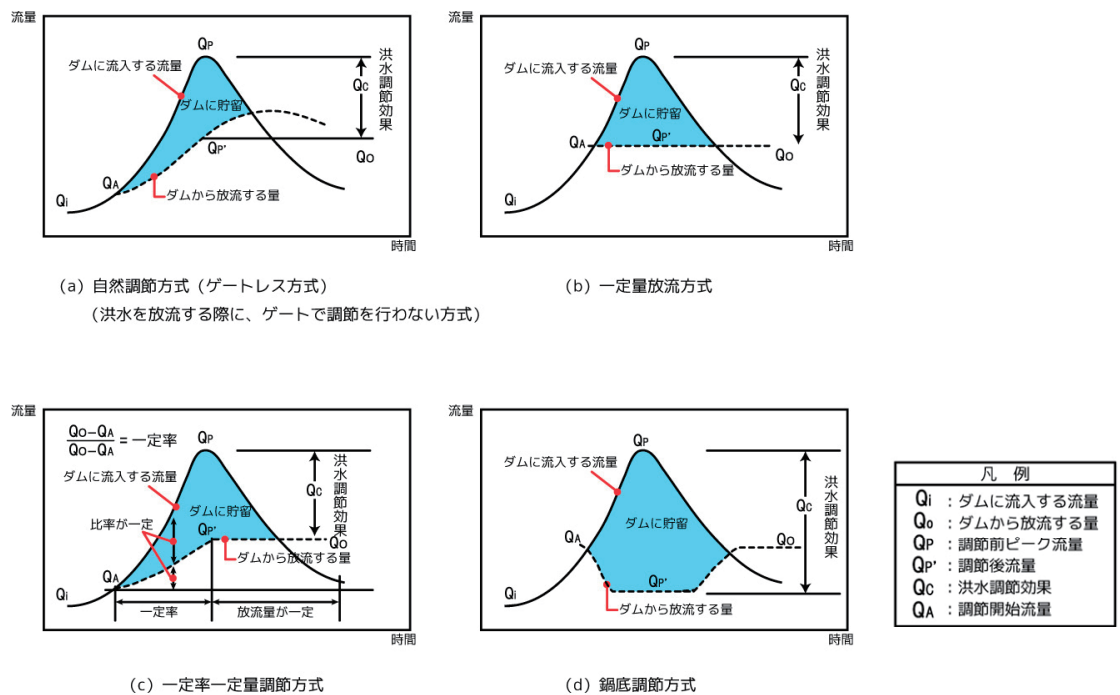


図 3.2-1 ダムによる出水時の流量調整方法

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割合が分析されている（大沼ほか 2006）。以下、その内容を紹介する。

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

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3.2-2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もることはできない。この点については、3.3でさらに詳しく述べる。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ため、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3.2-2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。

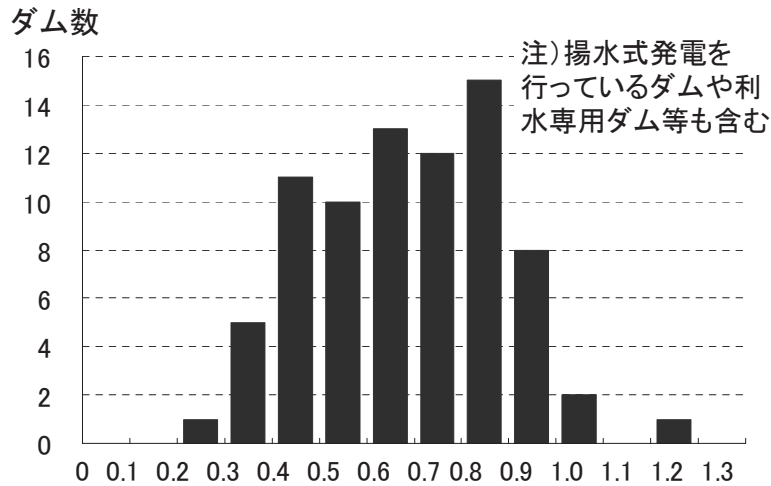


図 3.2-2 年最大放流量/年最大流入量のヒストグラム (流量は瞬間値)
最近10年間に生じた年最大放流量であり、計画規模のような大洪水のカットは含まれていない

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)

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

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については、国総研資料445号 pp.12-14 に詳述している。

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3.2-3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。

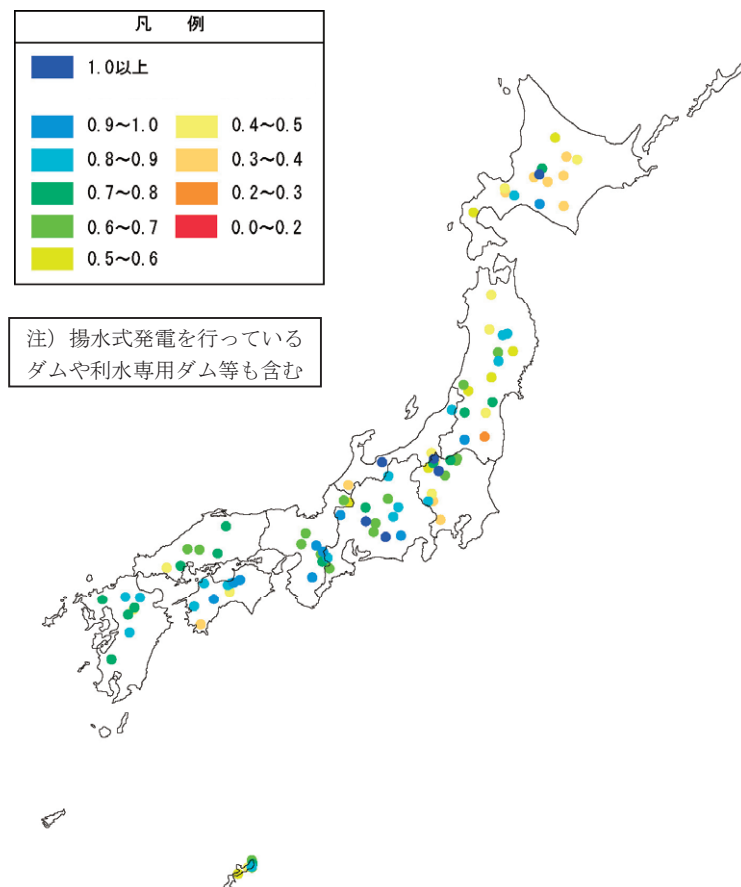


図 3.2-3 既設ダムにおける〔年最大放流量/年最大流入量〕（流量は瞬間値）

(2) 平水時の流量平滑化と短時間変動の付加

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、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、発電のためにも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。渇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ヶ月以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3.2-5に示す（大沼ほか2006）。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3.2-4参照）。この日数は、10日間程度よりも小さい（たとえば数日程度の）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、「-」の数値が大きいほど、変動付加の度合いが大きいことを示す。

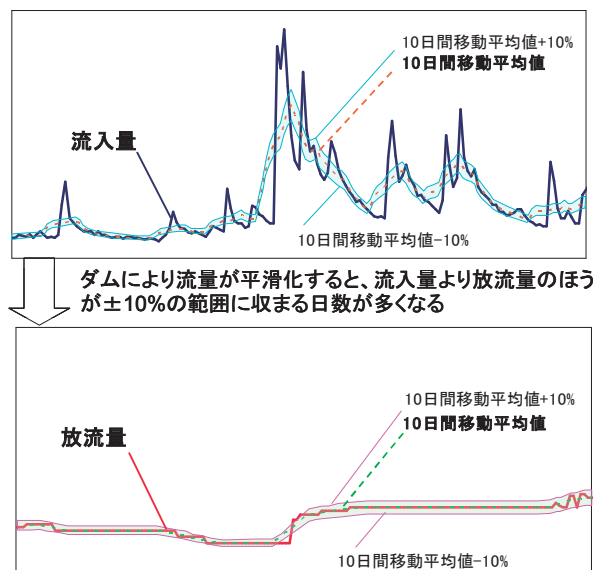


図 3.2-4 流量平滑化指数の概念説明図

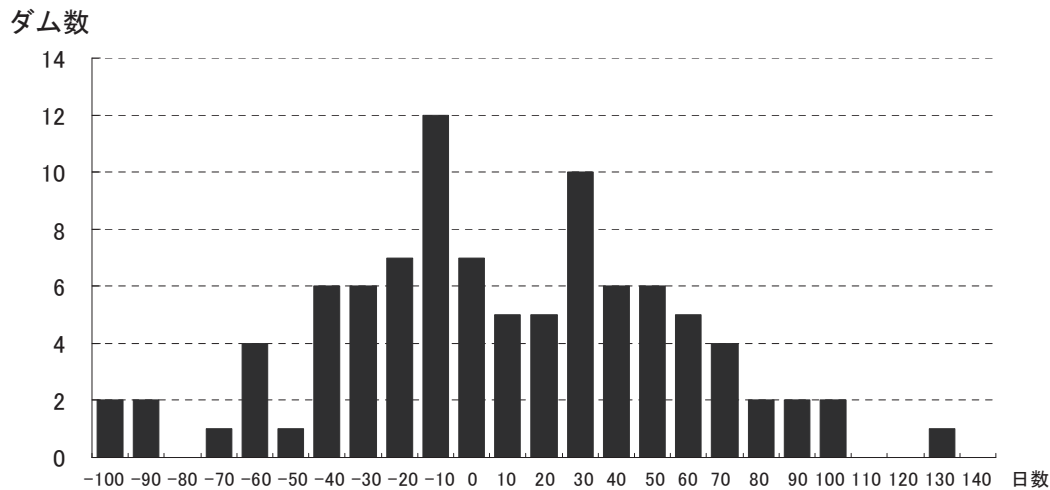


図 3.2-5 流量平滑化指数のヒストグラム（日流量に基づく）

図 3.2-5 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)、下笠(-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、下笠、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。

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

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 3.2-6 に示す。

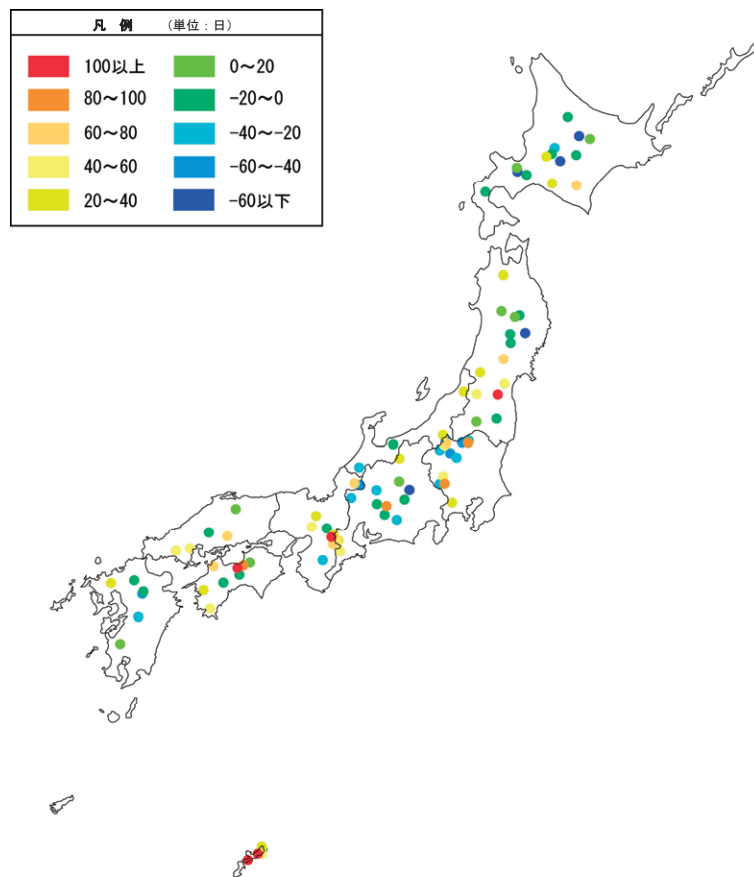


図 3.2-6 既設ダムにおける流量平滑化指数（日流量に基づく）の全国分布

3.2.2 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 3.2-7 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。

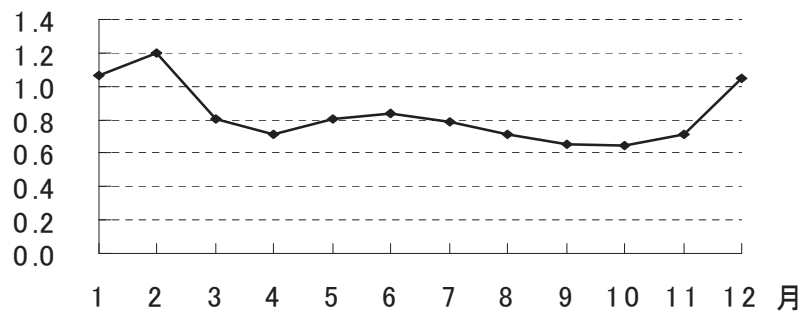


図 3.2-7 月別最大放流量の総和／月別最大流入量の総和の平均値（瞬間値ベース）

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)。
- ー : 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 3.2-8 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 3.2-8 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。

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

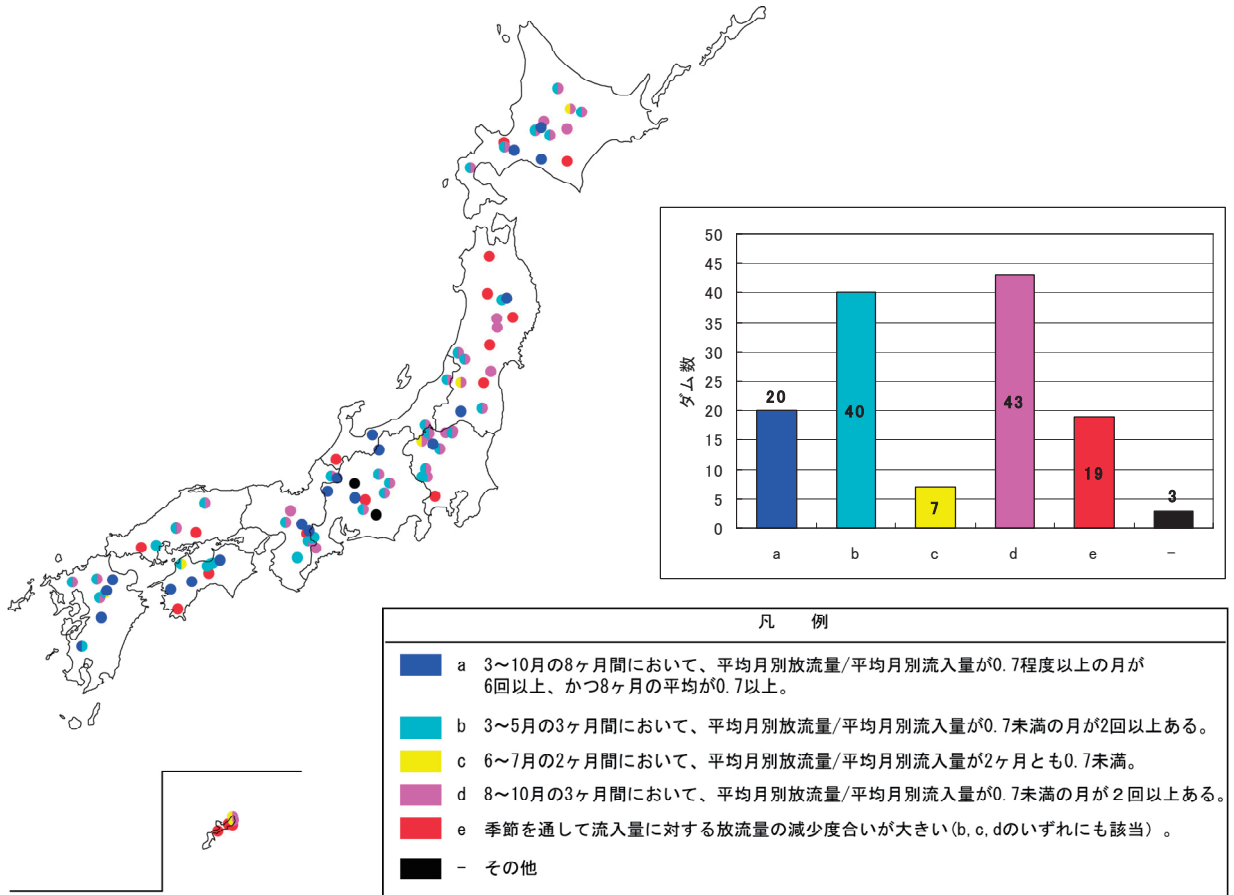


図 3.2-8 季節別の違いを考慮したダムによる流量制御パターンの分類と該当ダムの分布状況

3.2.3 土砂供給の変化

(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扞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、その多くが扞止されると考えて良いであろう。

図 3.2-9 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、実績堆砂容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。

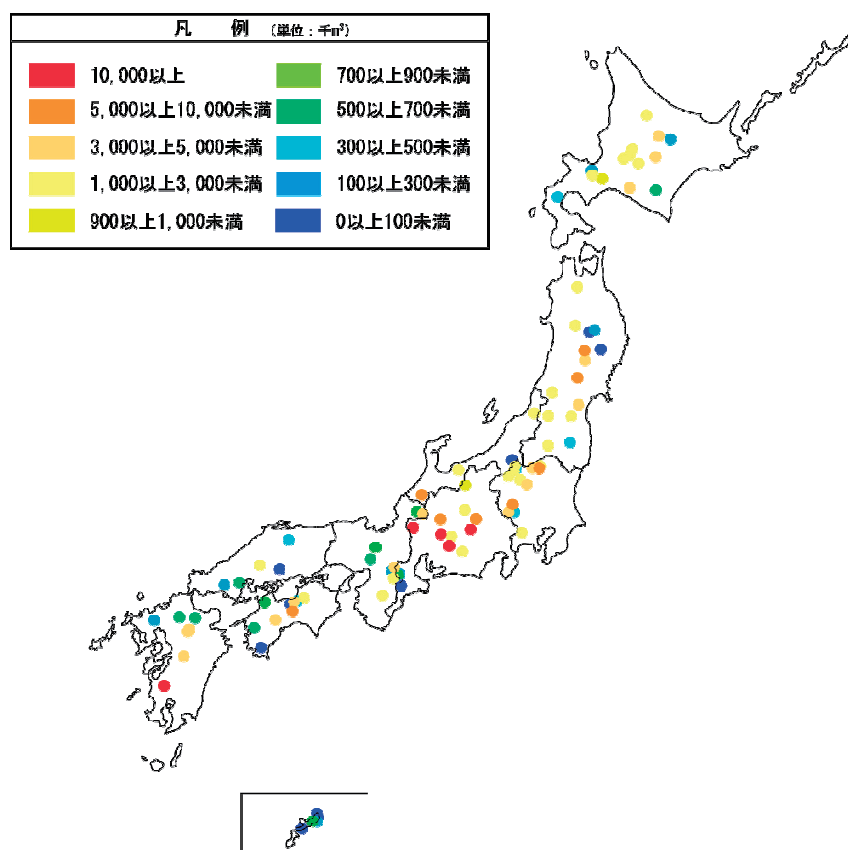


図 3.2-9 平成 13 年時点における各ダムの堆砂量

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

図 3.2-10 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 千 m³/km²/年 (=mm/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。

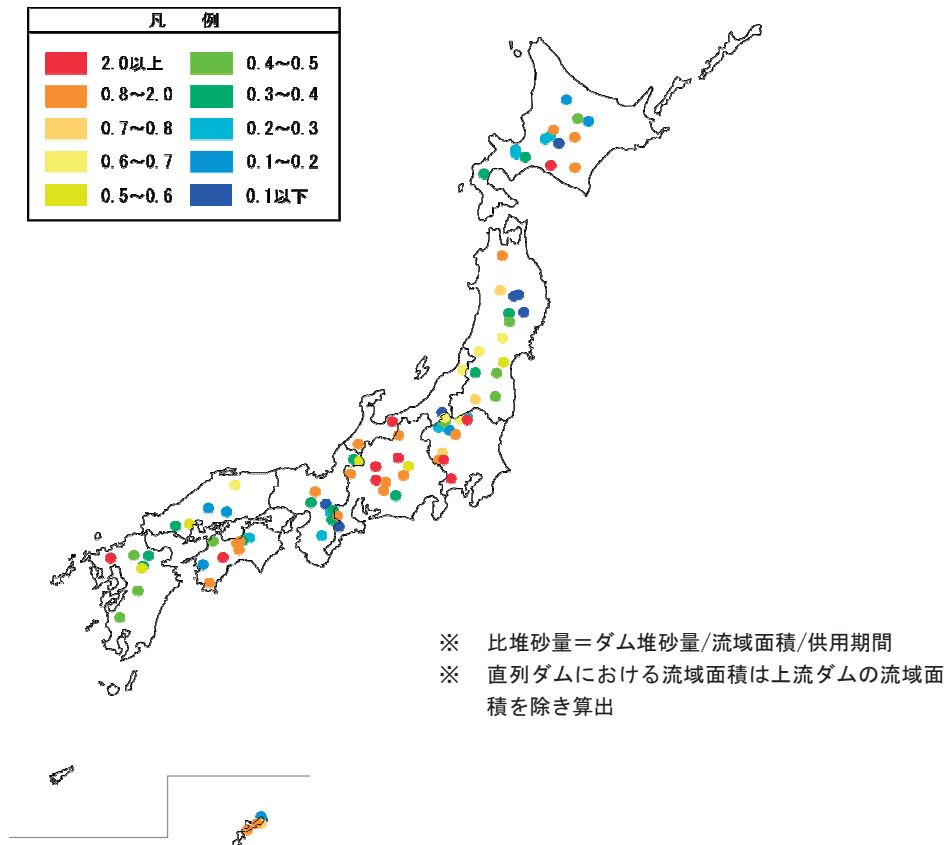


図 3.2-10 各ダムの比堆砂量 (mm/年)

3. ダムと下流河川の物理環境との関係を分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

図 3.2-11 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。

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

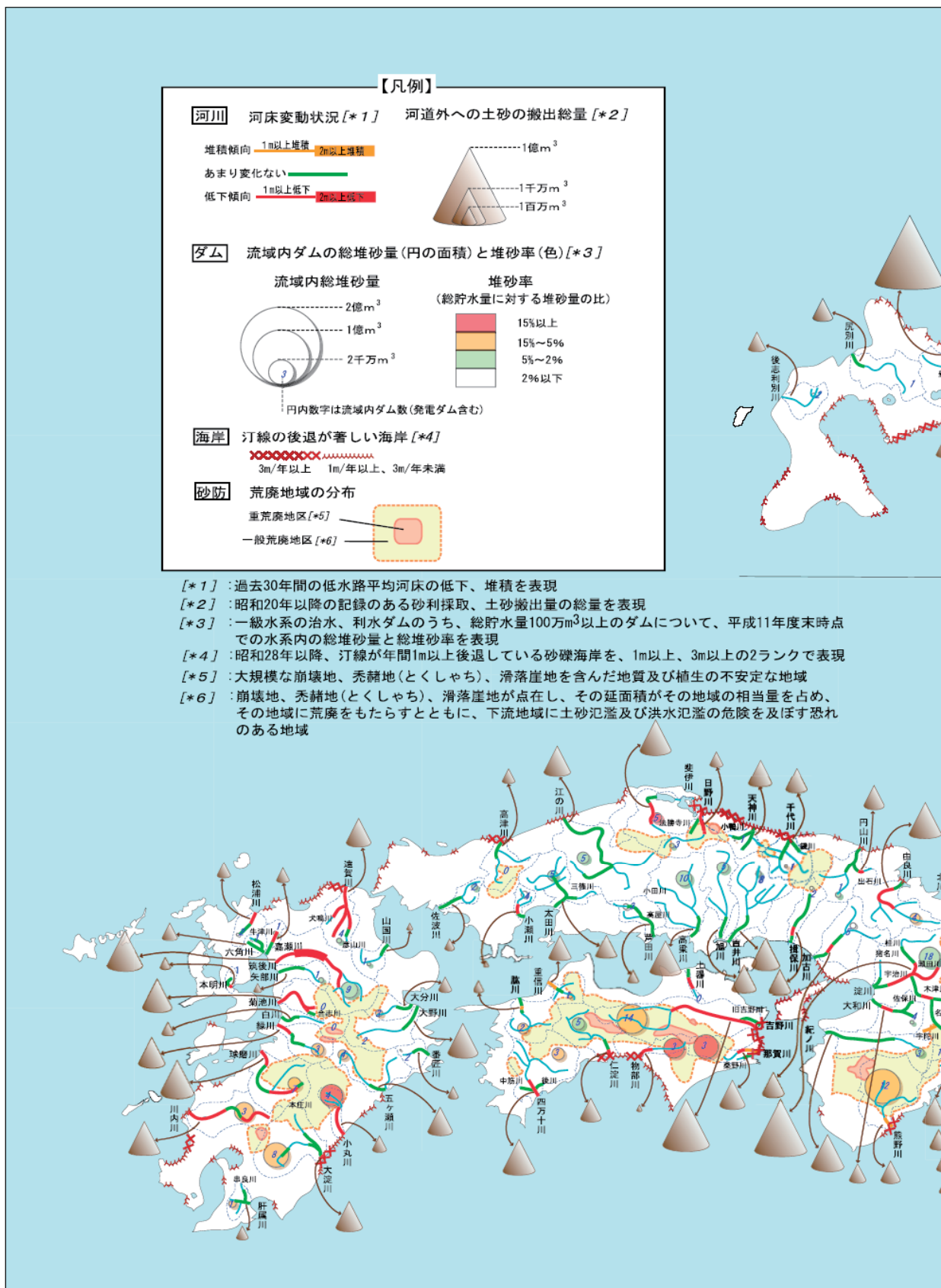
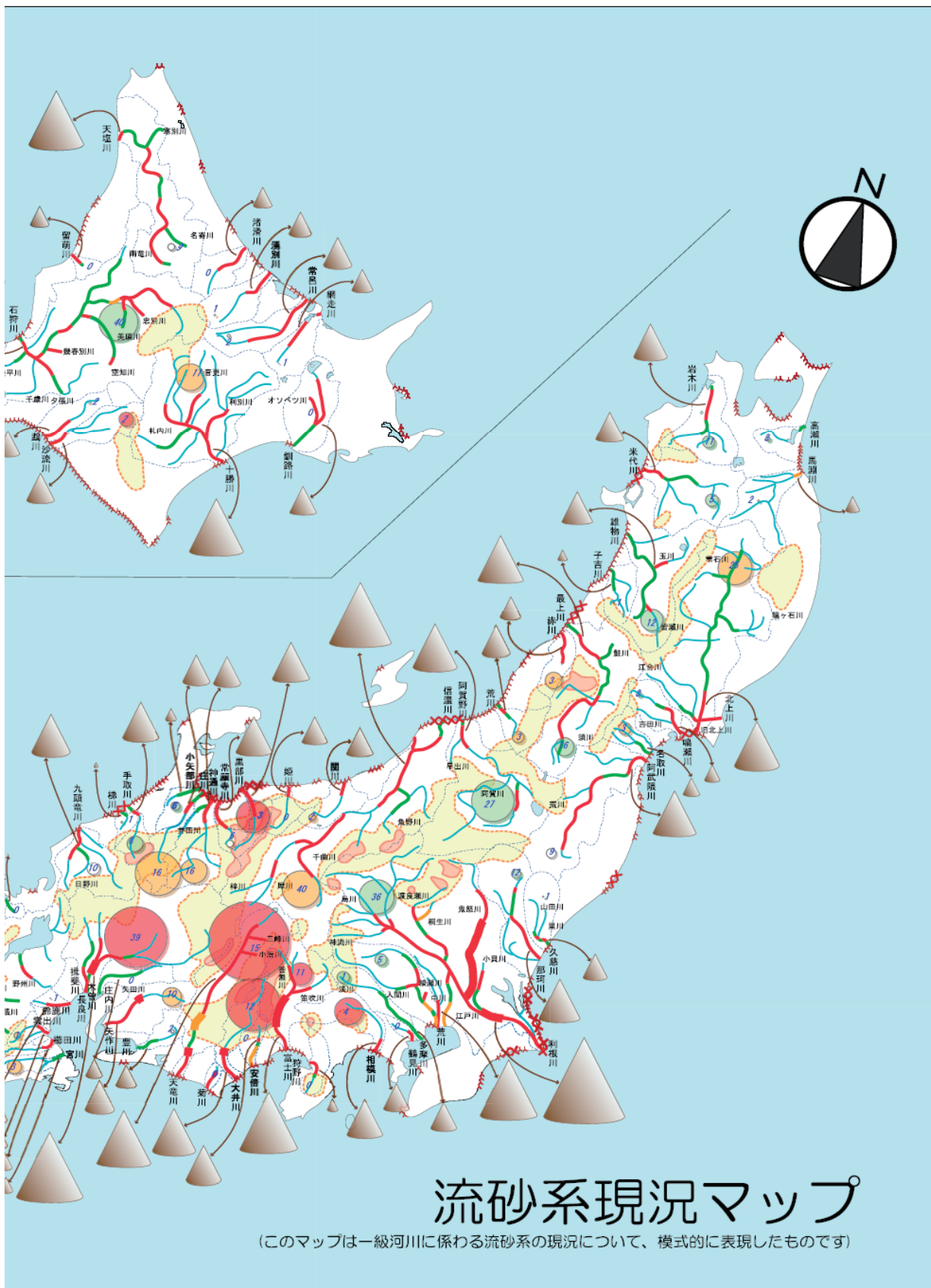


図 3.2-11 流砂系現況マップ

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性



(国土交通省 2002)

(2) ダム貯水池に堆積する土砂の粒度

図 2.3-3、図 2.3-4、図 2.5-2 を参照されたい。2.3 で述べたように、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、ダムによる土砂扞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ても、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、かえっ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 2.5 で詳述しているので参照されたい。

3.3 ダム地点での変換が下流にどのように伝播していくかを考える上での いくつかの重要事項

3.3.1 ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ

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扞止されたとしても、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、ダムとの関係进行分析の上で、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 et al.(1993)によれば、ダム下流における環境影響は、ダムの無い川（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]（もちろん重複は排除）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、河川延長が無人大であれば、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ることから（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 3.3-1 に全国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（国土交通省および水資源機構が管理する既設ダム、平成 15 年度時点）に加え、出水時にも土砂の流下を有意に抑制す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。したがって、一級水系でも、これらのダムが無い場合には図化の対象としていない。

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。日本の山地部は空間的にきめ細かく変化する地形特性を持つので、ダム集水面積が大

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

陸のダムに比べれば小さい一方、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っ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ことは適切でないが、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。なお、ダム貯水池による洪水調節や平常時の水の補給においては、こうした特性を十分踏まえ、丁寧な計画・設計・運用がなされる。すなわち、所定の効果が得られるようにダム貯水池の計画・設計がなされ、必要な制御が行われ、目的としている治水・利水機能が発揮されている。

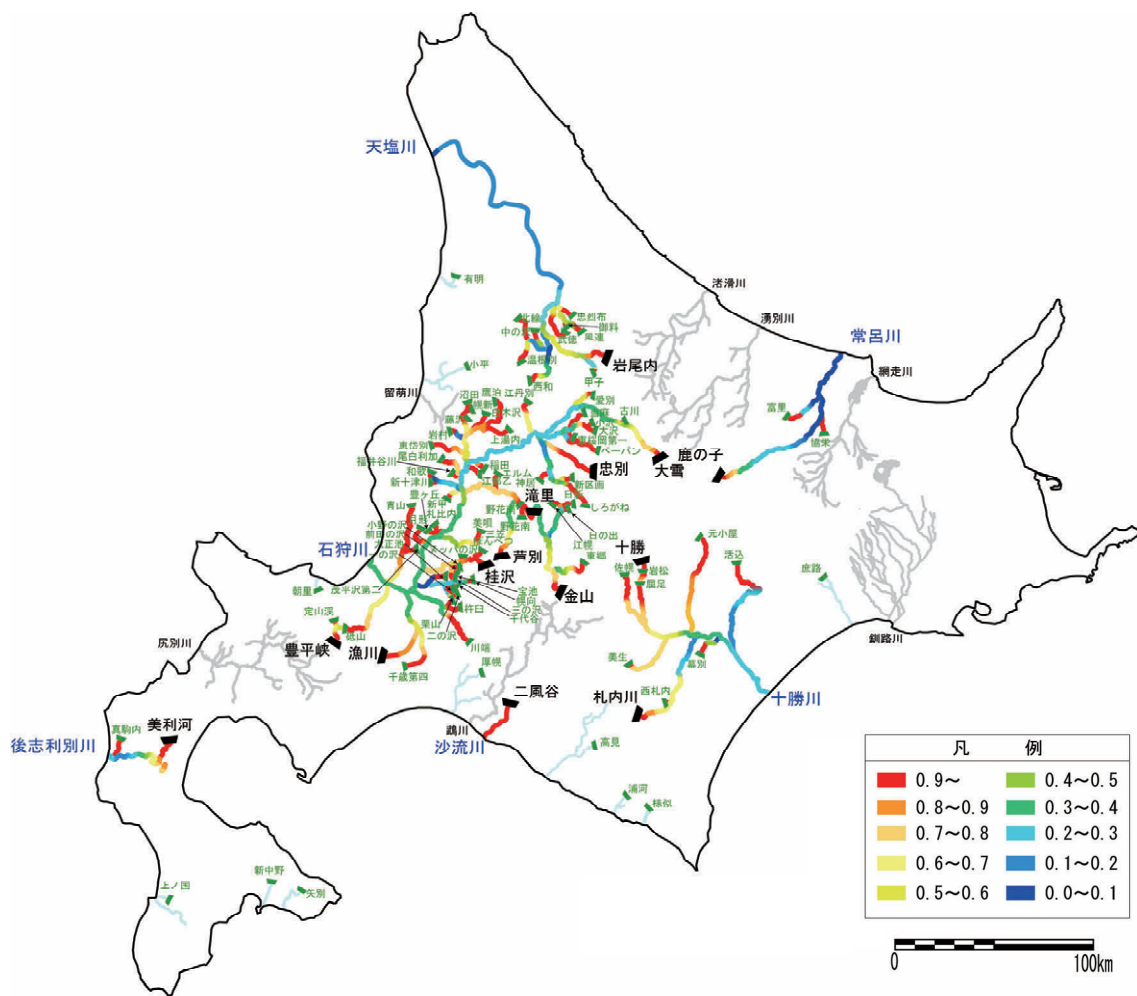


図 3.3-1 a) ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ（北海道地方の作成例）

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

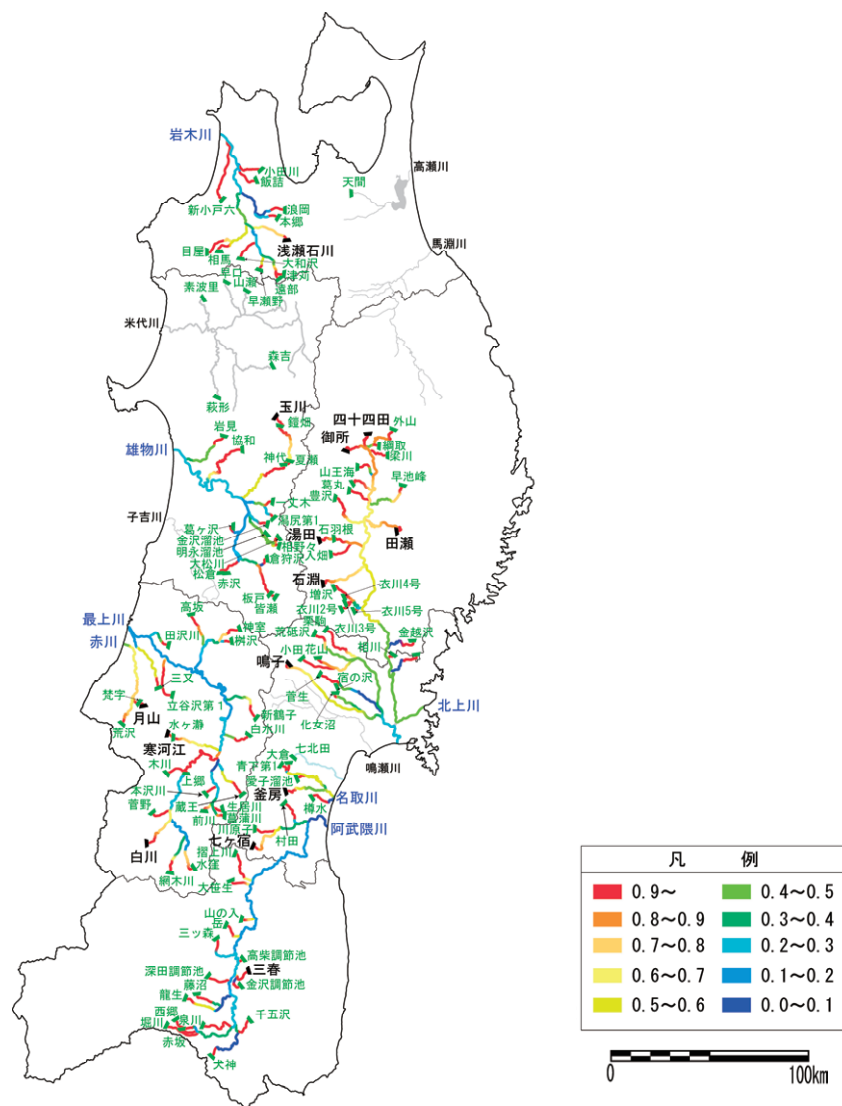


図 3.3-1 b) ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ（東北地方の作成例）

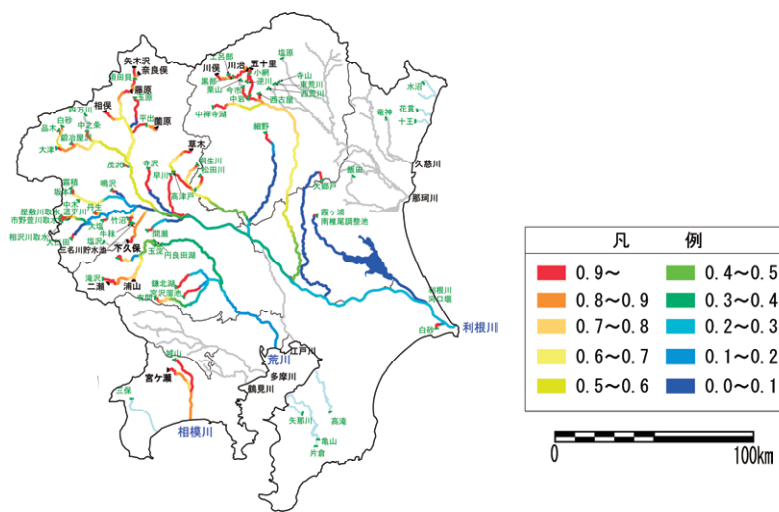


図 3.3-1 c) ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ（関東地方の作成例）

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

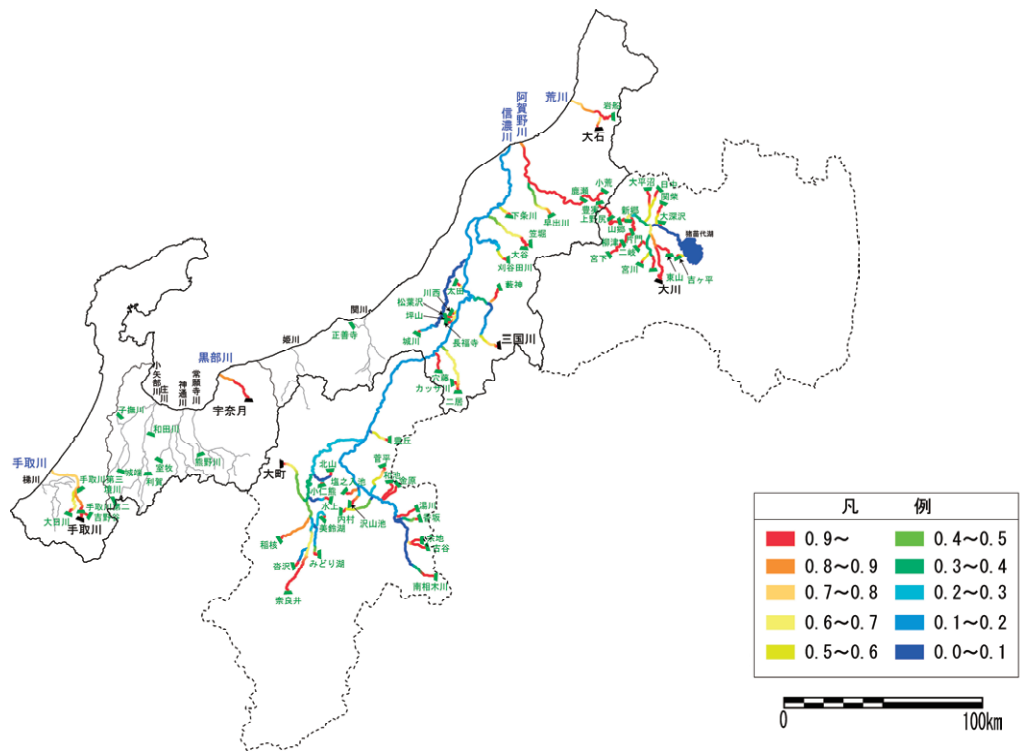


図 3.3-1 d) ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ（北陸地方の作成例）

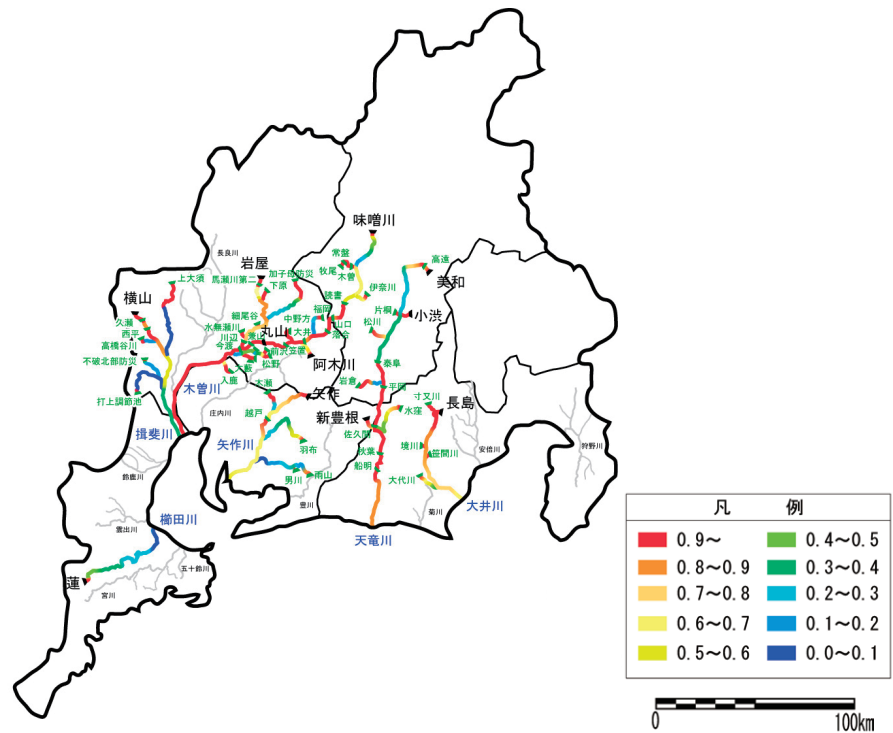


図 3.3-1 e) ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ（中部地方の作成例）

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

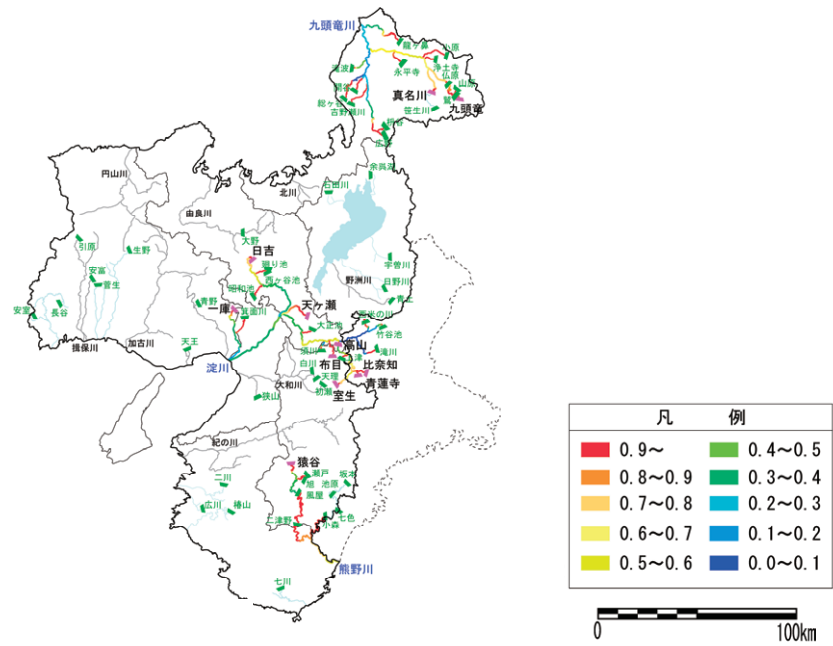


図 3.3-1 f) ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ（近畿地方の作成例）

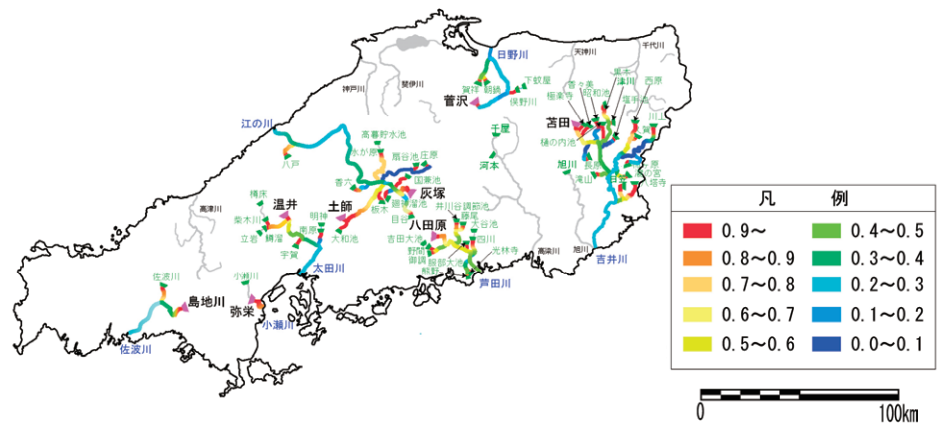


図 3.3-1 g) ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ（中国地方の作成例）

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

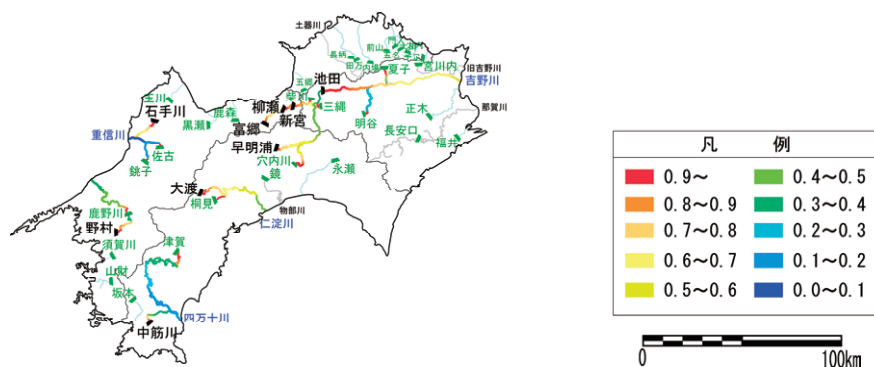


図 3.3-1 h) ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ（四国地方の作成例）

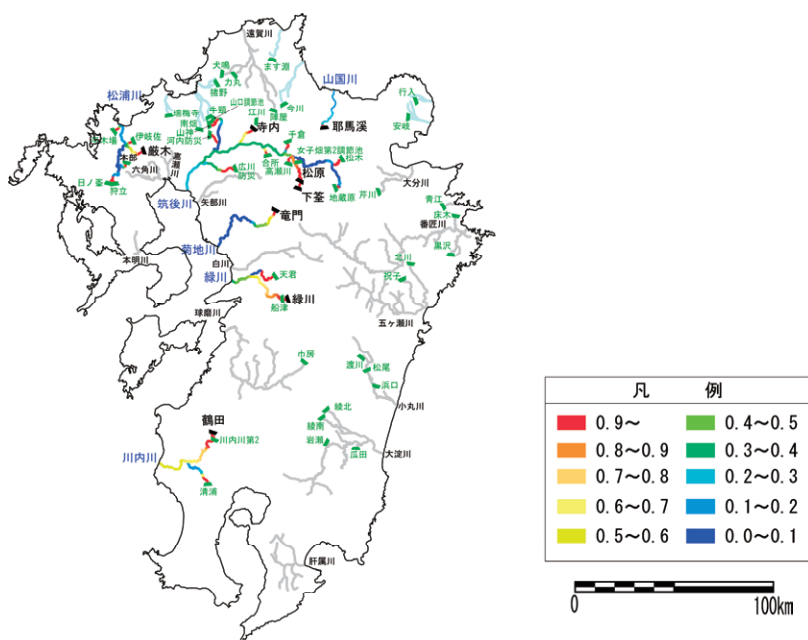


図 3.3-1 i) ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ（九州地方の作成例）

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

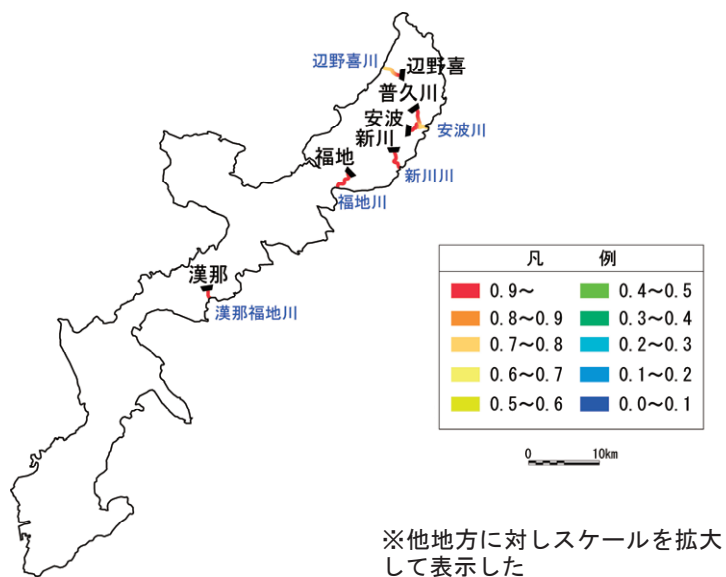


図 3.3-1 j) ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ（沖縄地方の作成例）

3.3.2 ダムー下流河道関係を大局的に把握する手法

(1) ダムの有無に関する土砂流送比と流量比を指標にした「ダムー下流河道関係把握図」の説明

ここでは、ダム集水域面積割合に関する河川水系マップを一步前進させ、変化が無視できる状況も含め、ダムが下流河道にどのような変化をもたらさうかを検討する際に役立つ「ダムー下流河道関係把握図」について説明する。このような図が必要なのは、今まで述べてきたように、一口にダムといっても、その変換作用は様々であり、下流で起こりうる変化の度合いにも性質にも大きな幅があることから、まずは、当該河道区間において、どのような河道変化が起こりうるのか（起こらないことも含めて）をおおざっぱに把握する簡便な手法が有用となるからである。

「ダムー下流河道関係把握図」の基本は次のようである。（図 3.3-2 参照）縦軸には、「流量比」をとる。すなわち、ダム下流のある地点での〔ダムなしの洪水流量に対するダムありの洪水流量の比〕をとる。横軸には、「最小土砂流送比」をとる。すなわち、ダム下流のある地点での〔ダムなしでの土砂流送量に対するダムありでの最終的な土砂流送量の比〕を取る。ここで、「最小」「最終的」という言葉を加えているのは、流量と違って土砂の場合、粒径によっては、ダムによる土砂流送量減少の下流への伝播速度が非常に遅いので、すぐにはその比で流送量が減少するわけではないことを示す必要があるからである。

Grant et al. (2003) は、縦軸にダムより上流での土砂供給量に対するダムから下流対象地点までの土砂供給量の比をとり、横軸に、土砂流送を起こす流量の発生頻度のダム建設に伴う変化率（ダム建設前に対する建設後の比）をとり、これら2つの無次元量の組み合わせから、ダムが下流河川に与える影響を流域地質の観点から検討する基本的枠組みを提示している。この枠組みは、流域地質の要因が重要となる状況を見いだすことに主眼があり、また、軸として選定した変数には違いがあるものの、ダムの作用を規定する少数の重要因子を単純に表現し、下流河道のダムに対する応答を分析するための基本的方向性を得るという点で共通しており、本資料で示している方法も含め、このような大局的な分析の道具が今後重要になっていくと考えられる。

さて、縦軸、横軸を上記の定義通りにすると、その算出に労力がかかりすぎ、簡便さという主旨が失われる恐れがあるので、ここでは、それぞれを次のように簡略化した表現で代用する。まず、縦軸には次式を用いる。

$$\text{簡略化した「流量比」} = (Q_{\text{out}} + Q_{\text{支川}}) / (Q_{\text{in}} + Q_{\text{支川}})$$

ここで、 Q_{out} 、 Q_{in} には、それぞれ、ダム貯水池から放流される平均年最大流量とダム貯水池に流入する平均年最大流量を与える。 $Q_{\text{支川}}$ はダム下流河川に流入する支川からの洪水流量であり、ここでは、 Q_{in} とダム集水域面積から算出されるダム地点での比洪水流量にダム下流の残流域面積（ダム集水面積を除いた流域面積）を掛けて求める。ダム下流で合流する支川にもダム貯水池がある場合には、そのダム貯

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

水池の作用を同じ方法で考慮して、分子の $Q_{支川}$ は支川ダムありの条件で、分母の $Q_{支川}$ は支川ダム無しの条件で、それぞれ算定する。

次に、横軸には次式を用いる。

$$\text{簡略化した「最小土砂流送比」} = 1 - A_d/A$$

ここで、 A_d/A ：ダム集水面積割合、である。ダム下流で合流する支川にもダム貯水池がある場合には、そのダム貯水池の作用を同じ方法で考慮して算定する。

いずれの簡略化も、比供給土砂量、比洪水流量が流域で一定と仮定しているの、場合によっては誤差が大きくなり、また、降雨や土砂流出に関わる流域特性の空間分布を踏まえたきめ細かな検討を行うには適さない。また、洪水規模の違いの影響も考慮できない。しかし、分析の第一歩としてダム下流河道の変化可能性を探る際には、それなりの意味があろう。必要な場合には、労力を要するが、定義に厳密に従った調査・分析・算出を行えばよい。以後の「ダムー下流河道関係把握図」の例示では、以上の主旨の下、すべて簡略化表現を用いている。

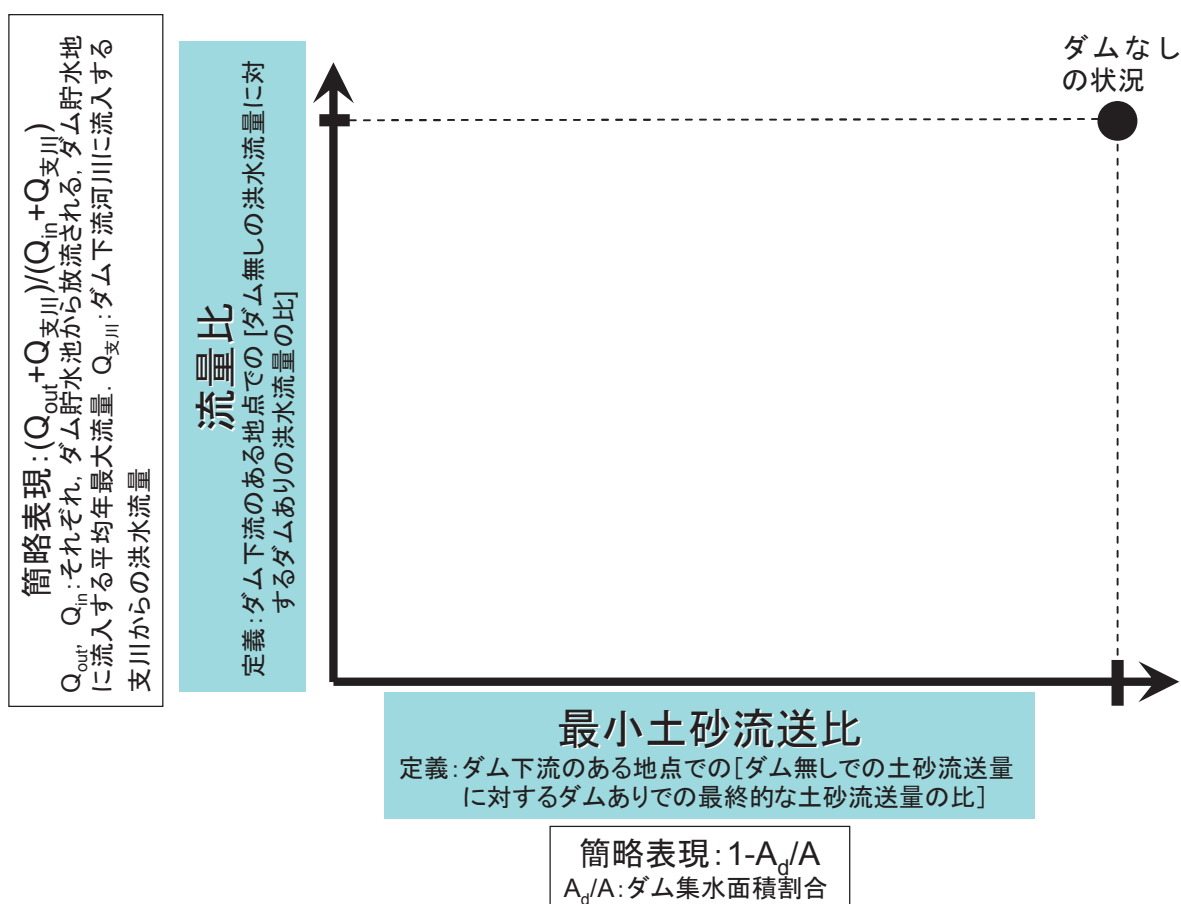


図 3.3-2 ダムー下流河道関係把握図の軸の説明

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

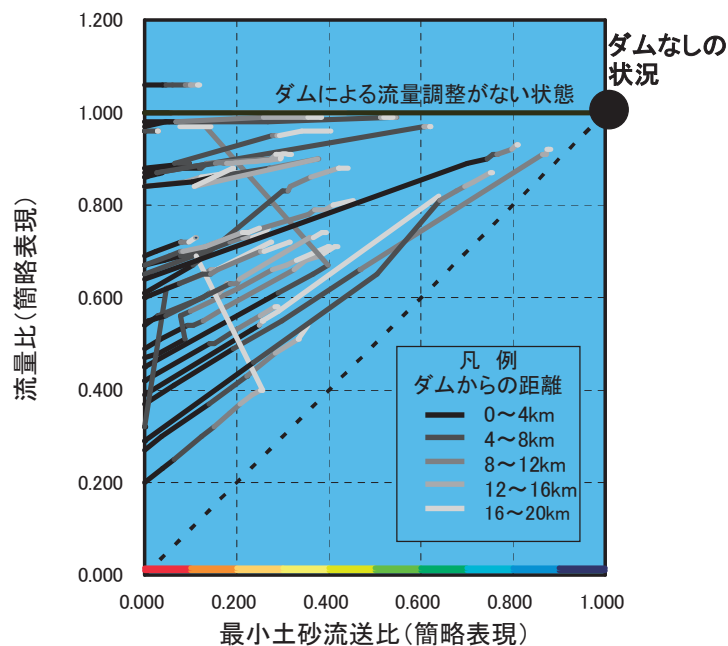


図 3.3-3 ダムー下流河道関係把握図へのプロット例

以上を縦軸、横軸に持つ図に、当該ダム貯水池から下流に向かって移動するにつれて、図上のプロット位置がどのように動くかを表現することで、「ダムー下流河道関係把握図」を用いた検討の準備が整う。その例示が図 3.3-3 である。ここで対象とした既設ダムは、上流に洪水調節を目的としたダムが存在しない直轄・水資源機構の管理ダムであり、各地方整備局あたり 3 ダム程度を任意に抽出したほか、近年運用を開始した 3 ダムも加え、計 30 ダムでの整理の結果が示されている。ダム貯水池に流入する、あるいはそこから放流される洪水流量は、1993 年～2003 年の実績流量（年最大流量）の平均値とした（ただし新規 3 ダムは、運用開始が 1993 年以降なので、より短い年数の平均値である）。図中にある折れ線の色は、ダム地点から下流に向け 4km ごとに 20km までを着色したものであり、薄い色ほどダムから下流に離れる。両軸の値とも簡略化した表現により算出しているため、図中の (0,0) と (1,1) を結ぶ直線より右下の領域は出現し得ない。両軸の値を厳密に算出すれば、この領域にプロットされる場合もでてくる（ただし、そのような条件を持つ水系は少ないと考えられる）。参考として、前出の「ダム集水域面積割合に関する河川水系マップ」におけるダム集水面積割合の色づけと全く同じものを横軸に併記した。

図中において、線が急に反転するのは、合流する支川または本川（支川にあるダムからスタートしている場合）の上流にある別のダムによる変化である。また、縦軸が 1.0 をわずかに超えるプロットは、中小出水では洪水調節を行わないダムであり、整理した期間には洪水調節の対象となるような規模の洪水が起きなかったケースである。

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

図 3.3-3 を見ると、ダム地点から下流に進むにしたがい、図上で全般に右ないし右上方向に遷移する傾向にあるものの、その遷移の速さは河川によって大きく異なっており、ダムから数 km と短い距離で右上方に移動するものもあれば、20km 下流であっても右上方に至らないものもある。これは、規模の大きな支川の合流の有無によるものである。また、ダムによって流量比が異なるため、図上の線は、(0,0) と (1,1) を結ぶ直線より左上の三角形領域において、幅広く散らばっている。

(2) 「ダム—下流河道関係把握図」を用いた簡易判定法

さて、この図の成り立ちから、図中のどの領域にプロットが来るかによって、下流河道にどのような変化が起こりうるか（あるいは有意な変化は起こらないか）について、次のようなことが概ね言える。図 3.3-4 と合わせて参照されたい。なお、以下のうち領域Ⅰ、Ⅱで起こる現象については、3.3.3において、より詳細に記述しているので参照されたい。

<礫を材料 m とする河道区間において、材料 t や s としてふるまう砂について>

・[領域Ⅰ：左上方]に来る場合：流量比が大きく（1 に近い）、最小土砂流送比が小さい

材料 m を構成する礫の間にある砂が比較的早く抜け出す可能性がある。植生域に材料 s として堆積している砂が抜け出す可能性がある。

・[領域Ⅱ：左下方]に来る場合：流量比も、最小土砂流送比も小さい

材料 m を構成する礫の間にある砂がゆっくり抜け出す可能性がある。植生域に材料 s として堆積している砂がごくゆっくり抜け出す可能性がある。

・[領域Ⅲ：右上方]に来る場合：流量比も、最小土砂流送比も大きい（1 に近い）

砂の挙動に大きな変化は起こらない可能性が高い。材料 m を構成する礫の間にある砂が抜け出すとしても、ごくゆっくりである可能性が高い。

・[領域Ⅳ：右下方]に入り込む場合：流量比が小さく、最小土砂流送比がやや大きい（★(0,0) と (1,1) を結ぶ直線より右下側のプロットは、簡略表現により軸の値を計算した場合は、理論上出てこない）

材料 m を構成する礫の間にある砂の量が少し、場合によっては相当増える可能性がある。極端な条件では、砂が河床を覆う場所が出てくる可能性がある。

<材料 m を構成する礫の材料の挙動について>

・[領域Ⅰ：左上方]に来る場合：流量比が大きく（1 に近い）、最小土砂流送比が小さい

次のイ、ロのどちらかの可能性がある。

- イ) 河床材料が従前（ダム建設前）と同じでありあまり動かない状態が維持される。
- ロ) 粗粒化がごくゆっくり、ゆっくり、あるいは比較的早く進行する。ある程

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

度あるいは若干の河床低下を伴う可能性もある。粗粒化が進んだ場合、材料 m の動きの活性度が低下する。場合によっては河床形態が固定化あるいは不鮮明になる可能性がある。

・[領域Ⅱ：左下方]に来る場合：流量比も、最小土砂流送比も小さい

次のイ、ロのどちらかの可能性がある。

- イ) 河床材料が従前(ダム建設前)と同じでありあまり動かない状態が維持される。
- ロ) 従前(ダム建設前)はそこそこ動いていた河床材料の動きがやや鈍くなり、この際粗粒化を伴う可能性もある。場合によってはほとんど動かなくなる(この場合、粗粒化は伴わない)。いずれにしても、材料 m の動きの活性度が低下する。場合によっては河床形態が固定化あるいは不鮮明になる可能性がある。

・[領域Ⅲ：右上方]に来る場合：流量比も、最小土砂流送比も大きい(1に近い)

大きな変化は起こらない可能性が高い。

・[領域Ⅳ：右下方]に入り込む場合：流量比が小さく、最小土砂流送比がやや大きい (★(0,0)と(1,1)を結ぶ直線より右下側のプロットは、簡略表現により軸の値を計算した場合は、理論上出てこない)

材料 m の堆積により河床が(支川合流部などを中心に局所的に、あるいは一定範囲で)上昇する可能性がある。

<材料 m を構成する砂の挙動について(ダムが置かれるセグメント M、その下流の G セグメントのさらに下流の S セグメントを想定)>

・[領域Ⅰ：左上方]に来る場合：流量比が大きく(1に近い)、最小土砂流送比が小さい

S セグメント内の上流から河床低下が進行する可能性がある。

・[領域Ⅱ：左下方]に来る場合：流量比も、最小土砂流送比も小さい

S セグメント内の上流から河床低下がゆっくり進行する可能性がある。

・[領域Ⅲ：右上方]に来る場合：流量比も、最小土砂流送比も大きい(1に近い)

大きな変化は起こらない可能性が高い。河床低下が起こるにしてもごくゆっくりである可能性が高い。

・[領域Ⅳ：右下方]に入り込む場合：流量比が小さく、最小土砂流送比がやや大きい (★(0,0)と(1,1)を結ぶ直線より右下側のプロットは、簡略表現により軸の値を計算した場合は、理論上出てこない)

多くの砂を供給する支川の合流点付近を中心に、堆積により河床が上昇する可能性がある。

<礫を材料 m とする河道区間において、材料 t としてふるまうシルト・粘土などの細粒土砂について>

・[領域Ⅰ：左上方]に来る場合：流量比が大きく(1に近い)、最小土砂流送比

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

が小さい

有意な変化が起こらない可能性が高い。

・[領域Ⅱ：左下方]に来る場合：流量比も、最小土砂流送比も小さい

有意な変化が起こらない可能性が高い。

・[領域Ⅲ：右上方]に来る場合：流量比も、最小土砂流送比も大きい(1に近い)

有意な変化が起こらない可能性が高い。

・[領域Ⅳ：右下方]に入り込む場合：流量比が小さく、最小土砂流送比がやや

大きい (★(0,0)と(1,1)を結ぶ直線より右下側のプロットは、簡略表現により軸の値を計算した場合は、理論上出てこない)

縦軸の値が0の近傍にまで極端に下がる場合、一時的に、あるいは相当期間、材料mを構成する礫の間に細粒土砂がたまる・詰まる可能性がある。

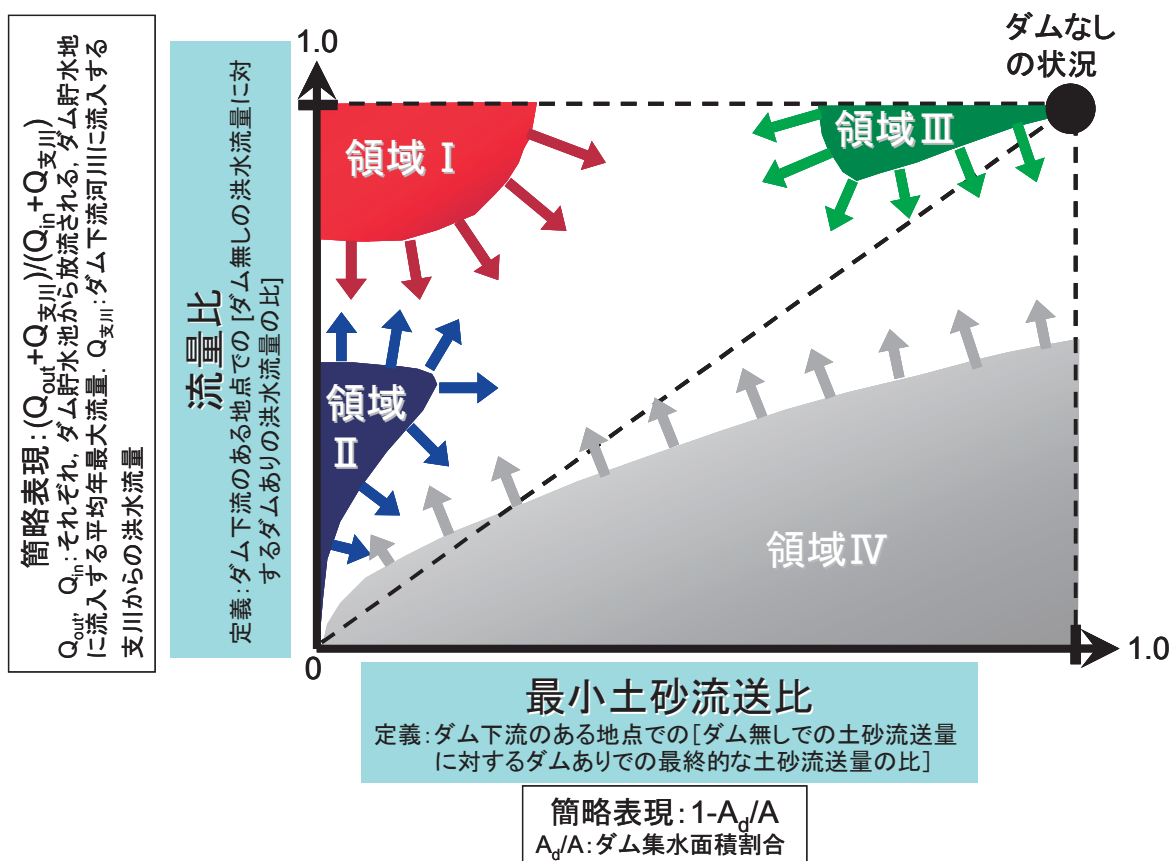


図 3.3-4 ダム—下流河道関係把握図の領域区分

領域区分は明確に分かれるものではなく、境界は状況によって移動しうる。また複数の領域の中間的な性質を持つ場合もあり得る。こうしたことを図中では矢印群で表現している。

(3) 材料 m に関する無次元掃流力を把握できる場合に実施可能な追加判定

上記(1)、(2)で説明した「ダムー下流河道関係把握図」は、各軸の値の算定を簡略表現により行う限り、下流河道についての詳細な情報を必要としないので、作成にあまり労力を要しないという利点がある。その一方、河道に関する情報が直接的には考慮されていないので、得られる情報に制約がある。その代表は、(2)で説明した判定法において、イ)とロ)のどちらになるかがわからないことである。これは、ダムによる河床材料の動きの変化が流量変化だけに規定されるのではなく、もともと有していた動きやすさにも大きく左右されるからである。そして、河床材料の動きやすさは、洪水時に作用する無次元掃流力により表現される。

そこで、ここでは、下流河道の材料 m についての無次元掃流力を算定できる場合に、どのような追加的判定ができるようになるかを説明する。無次元掃流力を算定するには、河道形状と洪水流量に基づく摩擦速度等の計算と河床材料調査が必要となるので、「ダムー下流河道関係把握図」の作成に比べ、手数はかかる。

無次元掃流力の情報の活用法を図 3.3-5 に示す。図中の左はダムー下流河道関係把握図であり、右は縦軸を流量比から無次元掃流力に置き換えた図である。これら2つの図を並べて対比させることにより、次のような判定が可能になる。なお、ここに対象としたダムは、下流河川の河床勾配や河道幅等が整理されている9ダム(忠別ダム・矢作ダム・小渋ダム・阿木川ダム・比奈知ダム・青連寺ダム・苫田ダム・土師ダム・灰塚ダム)である。掃流力は等流計算により算出し、想定流量は各ダム

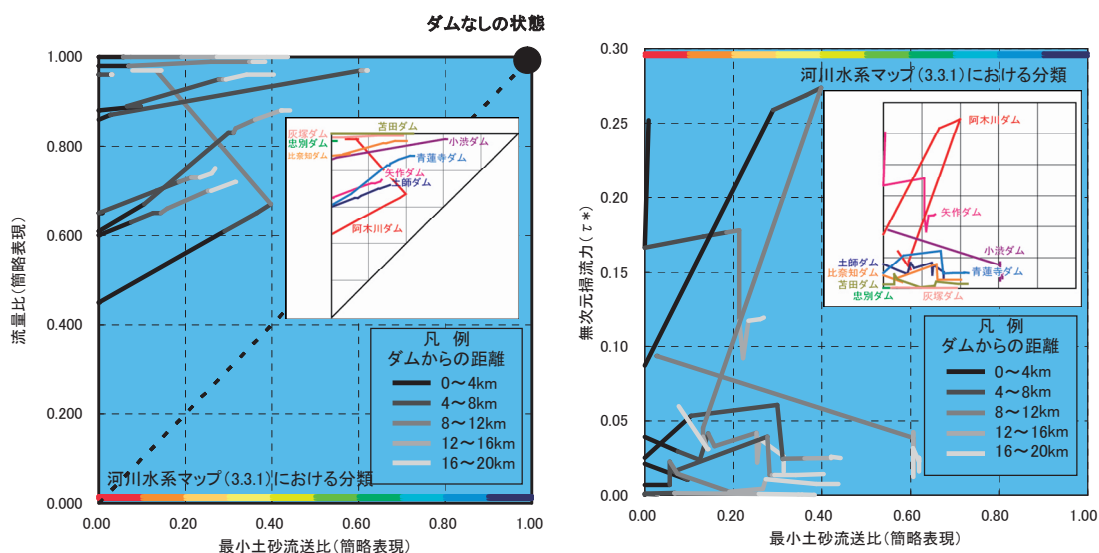


図 3.3-5 ダムー下流河道関係把握図に材料 m に関する無次元掃流力を加えて行う簡易分析

ともにダムなし条件での(あるいはダム流入量に基づく)平均年最大流量とする。無次元掃流力の意味と使い方については6.2.2(1)を参照されたい。

比奈知ダムから10km程度下流までの河道範囲は、ダムー下流河道関係把握図においては領域Iに入る。一方、無次元掃流力を見ると、0.05より低い範囲にある。し

3. ダムと下流河川の物理環境との関係を分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

たがって、材料 m の動きがダムの有無にかかわらず鈍かったことがわかる。このことから、材料 m の挙動については、イ)の「河床材料が従前（ダム建設前）と同じであまり動かない状態が維持される」という追加判定を行うことになる。実際に比奈知ダム下流の河床を見ると、材料 t である砂の減少はあるものの、概して多くの区間で中礫から巨礫まで多様な粒径の材料が確認でき、材料 m に関してダム貯水池上下流で大きな差はなく、材料 m に関する粗粒化は生じていない（山原ほか 2007）。この状況については、5.5.1 で再度詳細に説明する。

一方、阿木川ダムや矢作ダムのケースでは、ダムから下流 10km 程度までの範囲について、領域 I と II の境界あたりに位置するが、無次元掃流力は 0.05 よりかなり大きくなっており、これは流量比から見て、ダムあり状態を想定しても基本的には変わらない。したがって追加判定は、領域 I あるいは II のロ)ということになる。

以上のように、情報入手に多くの手間は必要となるが、ダムー下流河道関係把握図に無次元掃流力の情報を加えることで、判定の中味が充実すると期待できる。ただし、ここで取り上げているのはあくまで簡易判定であり、種々の技術判断がこれだけで完結できるわけではない。技術判断に資する分析については、ここに記された知見をふまえつつ、さらに実用編を参照されたい。

3.3.3 ダムによる土砂の扞止と下流河道との関係の捉え方

ダムによる土砂の扞止が下流河道全体に及ぶというケース（3.3.2の説明で言えば、下流河道全体にわたって、領域ⅠあるいはⅡに属すケース）を取り上げ、起こりうる現象の基本的性質を説明し、3.3.2の内容を補完する。あくまでダムによる土砂扞止が起こす現象のとらえ方の説明を主眼としており、領域ⅢやⅣに関わる現象は対象外であることに留意されたい。

(1) 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 2.5-2、図 2.3-2~4 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。この考え方が 6.2.3 に反映されている。

1) 礫床区間（材料 m が礫）

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、河床表面の礫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った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 5.5.1, 6.3.3(4)で紹介する。この変化は、礫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、より上流にある礫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「2.5.1 沖積河道形成の捉え方」、図 2.5-1 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扞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 3.3.4 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 が礫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、礫床区間がいきなり海に突っ込む形；図 2.2-3 のタイプ B）、砂供給減少の変化を河床

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

低下などで吸収するクッションを期待できないので（砂を材料 m とするセグメントが無い）、礫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、「2.5.1 沖積河道形成の捉え方」、図 2.5-1 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扞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、ダムによる土砂の扞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に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。

(2) 礫集団の供給減少に着目した場合

この場合、もっぱ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、常にアーミングが起きる、あるいは河床低下が起こるとい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様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て（2.7.1 で述べているように、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、3.3.2(2) や 3.3.3 (1) 1) に述べた砂の抜け出しは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（流量比で言えば小・大）、ダム下流での支川などからの礫供給の度合いの大・小（最小土砂流送比で言えば大・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、アーミングや河床低下が支配的になる可能性があるのは、図 3.3-4 を用いて説明したように、流量比が大、土砂流送比が小の組み合わせの場合であり、小-小の組み合わせでは礫の動きの不活発化が（上記の例）、小-大の組み合わせでは土砂供給が活発な支川の合流点付近を中心に堆積さえ想定しうる。

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

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な作用、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。直接的な作用の例として、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 3.3.4 で再度議論する）。

3.3.4 河川水系における直接的な作用

(1) 河道外への土砂搬出 (例-1)

3.2.3 で述べたように、図 3.2-11 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 3.3-6 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。

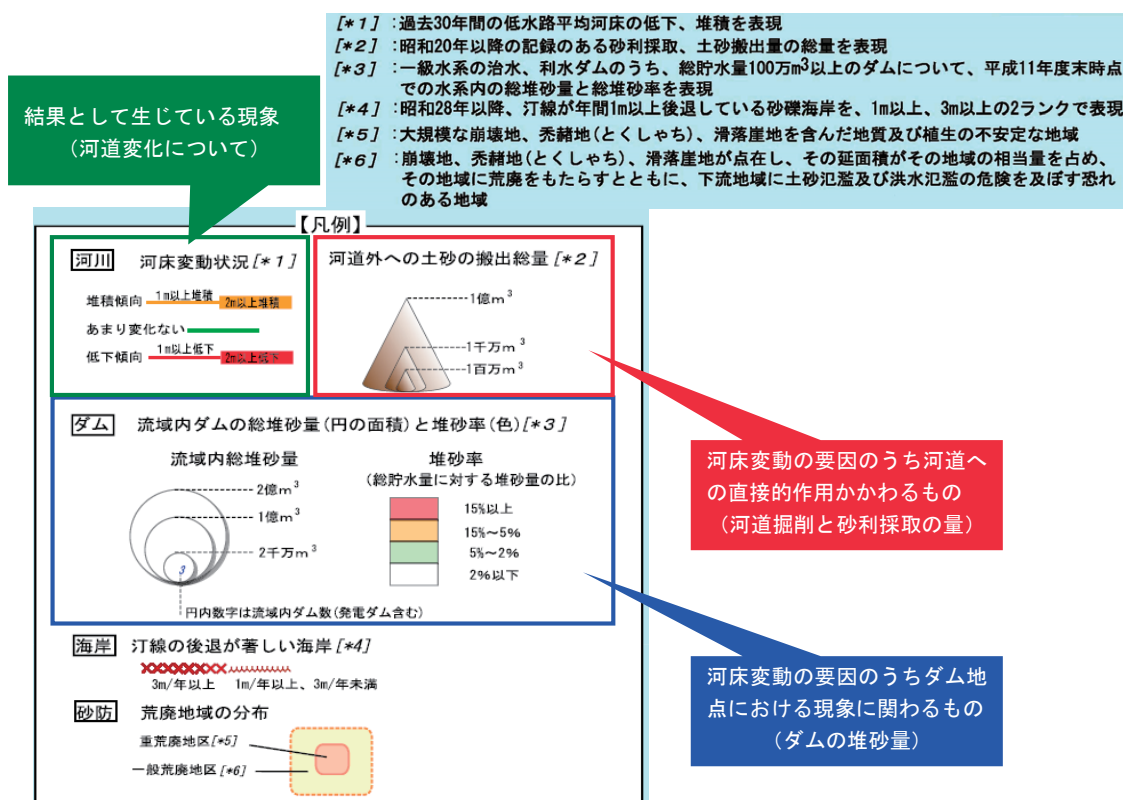


図 3.3-6 流砂系現況マップ (図 3.2-11 の凡例)

さて、図 3.2-11 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 m^3 になる。これら 2 つのことから、ともすると、ダムによる土砂の扞止という要因の 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ることもあったが、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な作用の 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 3.2-11 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 m^3 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

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

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、ダムによる土砂扞止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 3.3-7 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。3.2.3 (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、3.2.3 (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 3.3-7 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。

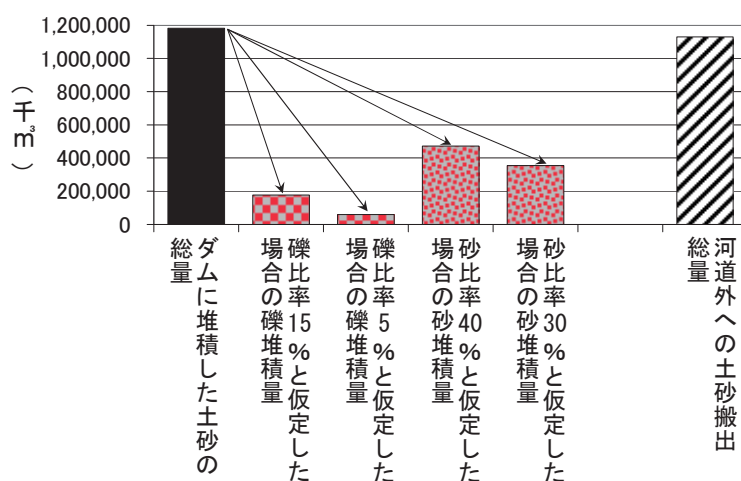


図 3.3-7 日本のダムに堆積した土砂総量と河道外への土砂搬出総量（昭和 20 年以降の記録を集計）との比較における粒径集団の考慮（流砂系現況マップを用いた集計から）

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。この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、ダムにより扞止された礫の量は、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、ダムにより扞止された砂の量は、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、砂については、河道外への搬出という直接的な作用とダムによる砂の扞止の両方が有意に河

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

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うるかについては3.3.3 (1) 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な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 3.3-7 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、下流河川における直接的な作用とダム地点における現象との仕分けをきちんと行うという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も最も有力な手段の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 3.3-7 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な作用（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。

(2) 河川水利用（例-2）

河川水は種々の目的に利用されており、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进行分析するために、そうした河川水利用（取水、排水）の状況も合わせて分析する必要がある。

図 3.3-8 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、国総研資料 445 号に記されているので、必要に応じ参照されたい。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

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

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のが起こる。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。

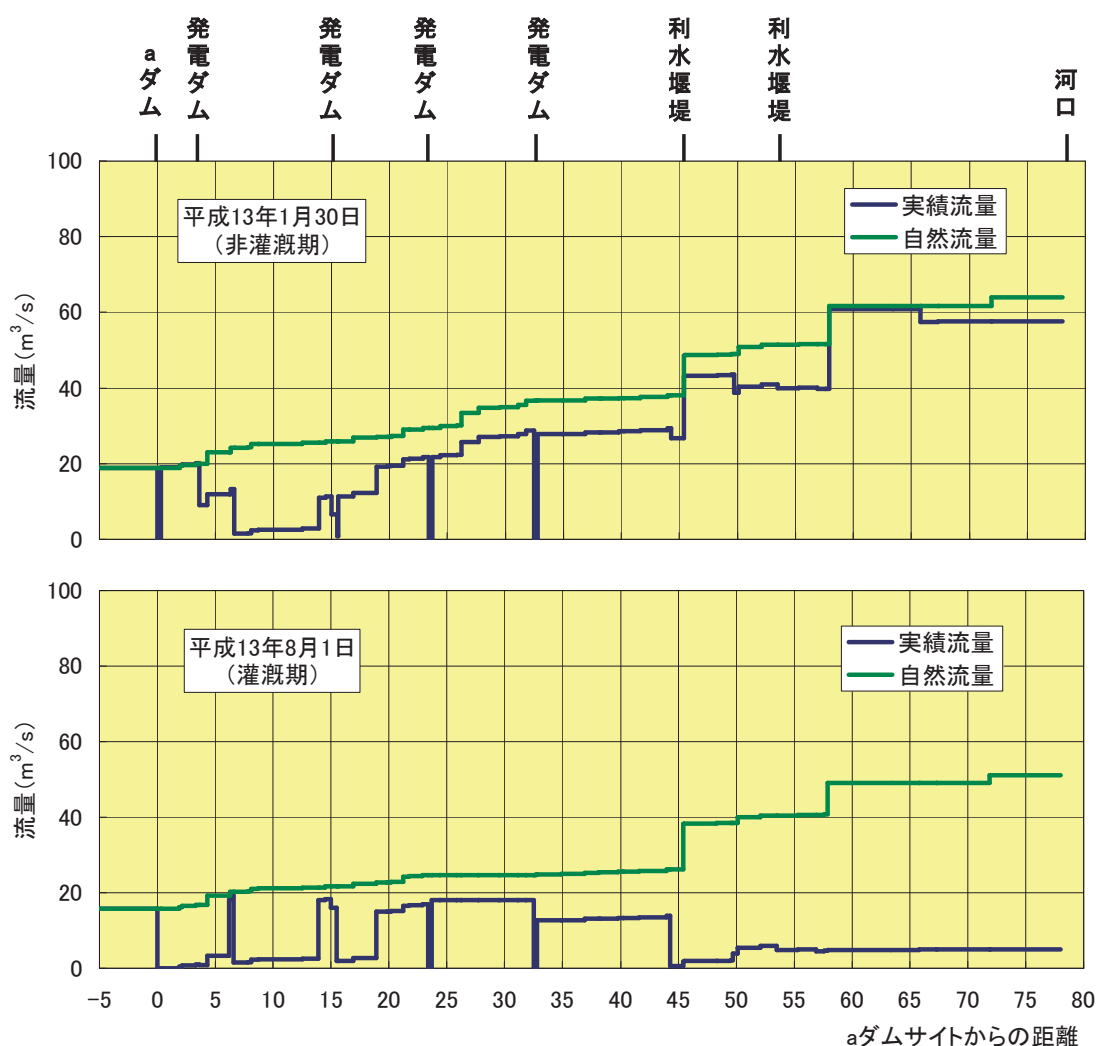


図 3.3-8 P川における平水時の流量の河川縦断変化
(実績流量と自然流量の見積もり結果)

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

3. ダムと下流河川の物理環境との関係を分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

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。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、ダム貯水池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、上流にダム貯水池があるからと言って河川流量の状況をもっぱらダム貯水池による流量制御と関係付けて分析しようとするのは、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。

〈参考〉規模の大きい支川の流入が河川の物理環境に与える影響の見方

ダム直下流に規模の大きい支川が流入する河川では、一般に支川から出水時に流下する土砂により、合流点下流の河道に分布する材料はこれより上流と異なったものとなる場合がある。

本支川の土砂供給の関係については、合流点付近の河床の状態を分析することで、支川影響の強さをある程度推定できる。以下に考えられる視点を示す。なお、この分析だけでは支川の土砂供給特性を定量評価できないため、他調査・分析との組み合わせで使用する必要がある。

・分析の観点(1) 形成される砂州の形状

支川の流域面積が本川の支川合流点上流の流域面積に比べ大きい場合や、支川の河床勾配が本川の支川合流点上流の河床勾配に比べ急峻である場合、支川の河床に堆積物が厚く堆積している場合等では、支川からの発生土砂量が本川に比べ多い可能性がある。この場合、砂州の形状は支川合流点の上下流に広く形成される場合がある（参考図-1 a)参照）。

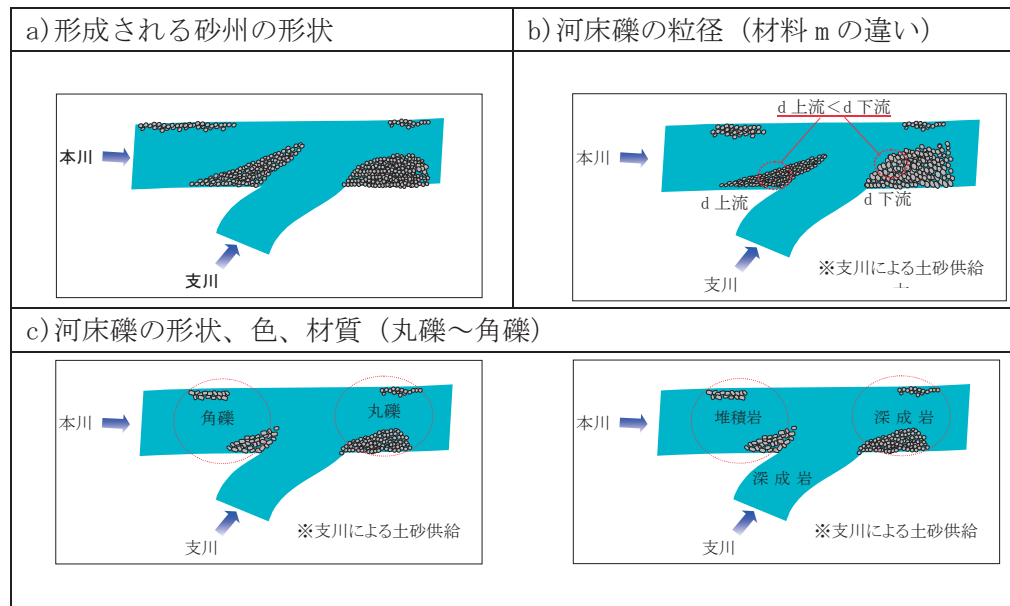
・分析の観点(2) 河床礫の粒径（材料 m の違い）

本川の支川合流点下流の主な河床材料（材料 m）が、本川上流の材料 m と異なっており、かつ合流する支川の材料 m と比較的類似する場合は、支川からの流入土砂が下流の材料 m の形成に支配的に働いていると考えられる。この場合、合流点上下流に形成される砂州の材料 m を見ることで、その傾向を把握できる場合がある（参考図-1 b)参照）。

・分析の観点(3) 河床礫の形状、色、材質（丸礫～角礫）

支川流域の地質性状が本川の支川合流点上流の地質性状と異なっている場合や、支川の地質の風化状況が本川の支川合流点上流の地質の風化状況より進んでいる場合等では、材料の形状（角礫・丸礫等）や質（岩質・色等）が本川の支川合流点上下流で異なる場合がある。この場合、本川の支川合流点より下流側に分布する材料との類似性から、本支川の土砂供給の関係を把握できる場合がある（参考図-1 c)参照）。

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性



参考図-1 支川合流点における砂州の形成例

以上を踏まえ、支川合流の影響を分析するにあたっては、合流点付近の本川と支川の河床の状況や粒径分布が詳細に把握できるよう工夫する。整理例を参考図-2に示す。

3. ダムと下流河川の物理環境との関係进行分析する際に理解しておくべき日本のダムの基本特性

支川：河床勾配 1/100

河道幅 20m

平均年最大流量 $80\text{m}^3/\text{s}$

河床材料 みお筋部 m2+m3 (載り石)

砂州部 m1+m2 (はまり石)

本川（支川合流地点上流）

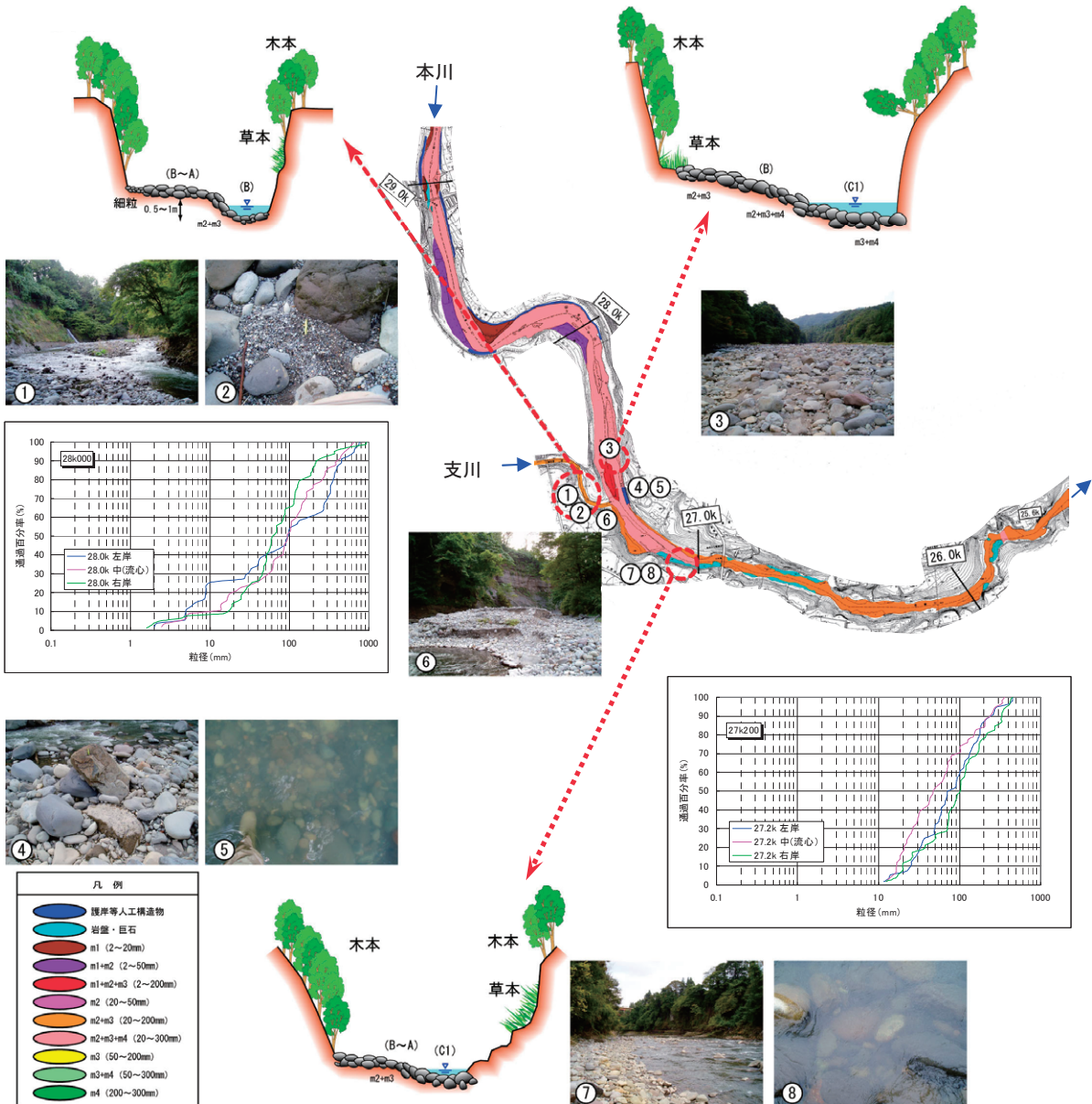
河床勾配 1/200

河道幅 100m

平均年最大流量 $350\text{m}^3/\text{s}$

河床材料 みお筋部 m3+m4 (浮き石)

砂州部 m2+m3 (+m4) (はまり石)



本川（支川合流地点下流）

河床勾配 1/150

河道幅 120m

平均年最大流量 $430\text{m}^3/\text{s}$

河床材料 みお筋部 m2+m3 (載り石)

砂州部 m2+m3 (はまり石)

参考図-2 支川影響を分析するための本支川合流点付近の河道状況表示例