

5. 調査・分析に関する事項

5.1 調査目的を踏まえた調査計画・デザインの重要性

調査は、ダムと下流河川との関係についての分析、予測さらには評価を行うための基本的な作業であり、この後に述べる既設ダムを対象にした下流河道との関係分析（5.5）や新規ダム築造後の状況予測（第6章）も、その成果が土台となる。したがって、調査の計画・デザインが的確になされることは、ダムと下流河道との関係を捉える上できわめて重要なステップとなる。なお、ここで言う調査には、現場での調査・観測とともに、資料等の収集・整理、調査結果の一次分析を含むものとする。

調査の全体像を図 5.1-1 に示す。調査の全体像は、概略調査、インパクト～レスポンス関係把握のための調査、集中調査の3つに分けると掴みやすい。概略調査は、対象となる河川とその流域、ダムと貯水池などの状況を幅広く把握するものであり、残り2つのより詳細な調査の計画等を立てるための基礎情報となる。概略調査は必須ではあるが、これ自身がダムと下流河川との関係を直接明らかにするものではない。

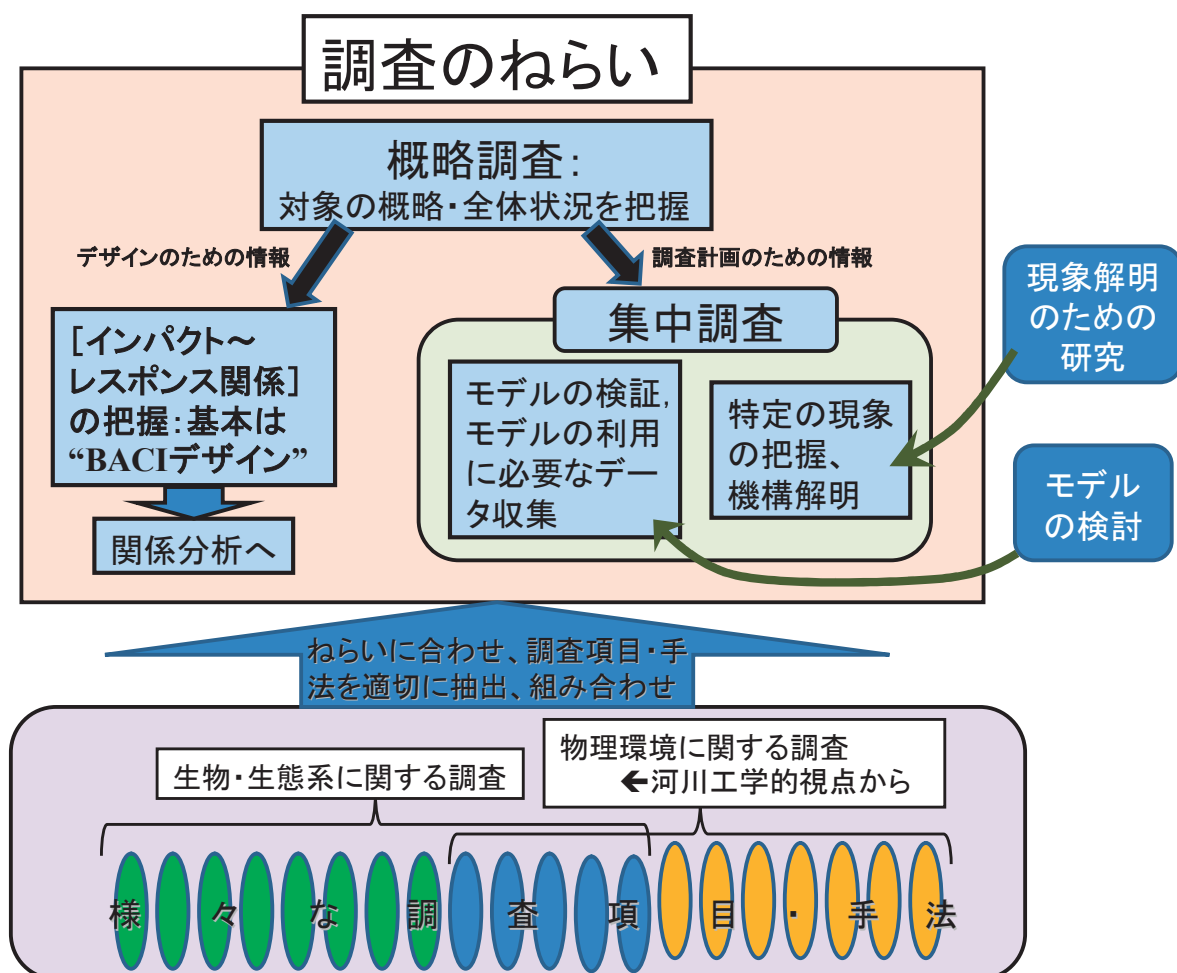


図 5.1-1 調査の種類と構成

インパクト～レスポンス関係を把握するための調査は、ダムを設置というインパクトに伴って下流河川でどのような現象がどの程度生じるかを主題とする以上、主役となるものである。すなわち、既設のダムが現在までに下流河川にどのような現象をもたらしたかを客観的に明らかにする、あるいは、これから造られるダムに関して同様のことを、将来にわたる調査（この場合モニタリングと呼んだ方が良いかもしれない）によって将来のある時点で客観的に明らかにする、というような目的に際して、インパクト～レスポンス関係を把握する調査が必須となる。この調査の目的は、因果関係を客観的・科学的に明らかにすることであるから、そのデザインは十分に練られたものでなければならない。その要諦は「BACI デザイン」に集約される。このデザインが甘いままに調査を行い、あるいは調査の制約からデザインに不十分さを残さざるを得ない場合で、その不十分さを考慮したり補完したりすることもなく、単純な考察で関係分析を行い、結論を急ぐことは不適切である。ダムと下流河川との関係を分析という目的を設定する場合には、それに合ったレベルの調査が求められることを肝に銘ずべきである。

さて、ダムと下流河川との関係については、1.1 で述べたように、まだ研究開発の発展途上であるので、モデルを用いた分析・予測・評価が広範に行える状況にはない。特に生物そのものを指標にする場合、このことは一層当てはまる。これが、実態調査を中心に因果関係を分析する「インパクト～レスポンス関係の把握」に頼ることになる所以である。しかし、特に物理環境に関しては、部分的にでもモデルという道具を用いた検討が行える可能性が比較的高い。そのような場合にモデルを有効に使うには、モデルの性質や要件、限界、使用目的を踏まえた調査が必要となってくる。また、解明すべき現象が絞られている場合に、そのターゲットと解明のアプローチに応じた調査を詳細に行う場合も出てこよう。これらを、図 5.1-1 ではまとめて「集中調査」と呼んでいる。6 章で取り上げる予測では、こうした集中調査に基づくモデル適用が根幹的役割を果たす。

集中調査とその活用は、インパクト～レスポンス関係の把握ではカバーしきれない部分を補い、また調査の効率化・合理化に資するという面で、保全措置や環境再生方策を案出・評価する上で、さらに現象解明を進め研究開発を促進するという意味で、今後重要度を増していくと考えられる。すなわち、いつまでもインパクト～レスポンスの分析に頼る状況に安住してはいけないという意識も持つべきであろう。このことは、「1.4 ダム貯水池による下流物理環境の変化に関する研究動向」で述べたとおりである。

さて、今まで述べてきた大きく 3 つに分かれる調査をそれぞれに実施する際には、生物・生態系にかかわる調査、河川の物理環境にかかわる調査の中から、目的と状況に即して、適切な調査項目と方法、必要な場合には一次分析法を選定し、適切に組み合わせるようになる。生態系の調査のある部分は河川の物理環境の調査と重なってくるので、図 5.1-1 ではそのような表示にしている。この重なった部分の調査を整

合的に進めることは（無駄な重複調査の排除、それぞれの調査から得られる関連の深い情報を有機的につなげることを意識した調査デザインなど）、調査の効率化からも、また、よりの確な調査成果を得るという点からも重要である（本節末尾の「河床材料・底質調査における粒径分類と呼称の統一の重要性」も合わせて参照されたい）。

以上の整理を踏まえ本章では、まず 5.2 で、ダムと下流河川との関係を捉える上で主役になる「インパクト～レスポンス関係を把握するための調査」を適切に実施する上で不可欠な BACI デザインの考え方を説明する。次に 5.3 と 5.4 で、図 5.1-1 の下の部分、すなわち河川の物理環境および生物・生態系に関する調査項目・内容・方法・一次分析の方法を示す。なお、どのような調査項目が必要になるかは、調査のねらいや対象とする河川の状況等によって大きく異なるので、すべての調査項目について、それらの相互関係や優先度を含め体系的、マニュアル的に示すことは少なくとも現時点では難しい。そこで本資料では、調査法の要諦を掴むのに適する代表的な調査項目に絞り、上記の内容を“道具箱”的に示すこととした。生物・生態系については、1 章で述べたスタンスに従い、付着藻類と底生動物を対象を限定している。最後に、5.5 において、BACI デザインの考え方にしたがって既設ダムを対象に行われた実態分析の事例を示し、BACI デザインを表面的でなく実質的に行うことが、生物・生態系に限らず、物理環境に関する分析においても同様に重要であることを理解するための助けとする。

【河床材料・底質調査における粒径分類と呼称の統一の重要性】

同じ対象について、河川工学的視点と生物・生態系を調べるという視点の両方から物理環境を調査する場合（図 5.1-1 の「調査項目・手法」の青色楕円に相当）に、それぞれの視点からの調査において、粒径の分類・呼称について異なる尺度が用いられてしまうと、同じ対象についての物理環境調査であるにもかかわらず、互いの結果の比較や統合に際して大きな障害となり、河道特性の解釈や分析に不効率を招く恐れがあるので、極力同じ尺度を採用するか、少なくとも、両者の関係が簡単につくようにしておくことが必要である。さらにその上で、河川工学的調査と生物の生息・生育場に関する調査自体の統合化を図っていくことも重要である。同じ河床という場を対象にしているのであるから、河川工学、生物というような分野毎の縦割りの発想にとらわれず、調査計画の策定を表 1.6-1 に示す共通の尺度を用いつつ統合的に検討することがもっと行われて良いはずである。本章において、5.3 では主として河川工学的視点から河道の物理環境を、5.4 では付着藻類と底生動物との関係を重視して河道の物理環境を調査する方法を説明している。これら 2 つの節において、粒径の分類・呼称について表 1.6-1 に示す共通の尺度が用いられている。（以上、1.6 の記述主旨の再掲）

例えば、事前調査を洪水直後に実施すれば、洪水攪乱の強い影響を受けた時期との比較となり、誤った結論を導くことになる（図 5.2-1 (A)）。また、CI デザインの場合、ダムサイト上流、同一流域内の支川、隣接する似通った流域内に対照区（コントロール区）を設定することになるが、インパクト区（ダム下流の検討区）とは全く同一の環境・生物相を探すことは難しく、厳密な比較とならない場合が多い（図 5.2-1 (B)）。

このような状況を回避するために推奨されるのが BACI デザインである。この手法ではインパクト区とコントロール区の双方において事前・事後の比較を行い、インパクト区とコントロール区のそもそもの差異（事前での差異）をベースとしながら、事後の差異を評価していく（図 5.2-1 (C)）。

新設ダムでこれから予測・評価を行い、竣工後にモニタリングを実施する場合には BACI デザインの採用を基本とし、既設ダムで事前データを活用できない場合には CI デザインとすることが基本となる（図 5.2-2）。後者の場合はコントロール区の設定によって影響の検出の成否が左右されることに留意することが必要である（詳細は後述）。なお、安田ら（安田・一柳 2000）の報告に詳しい。

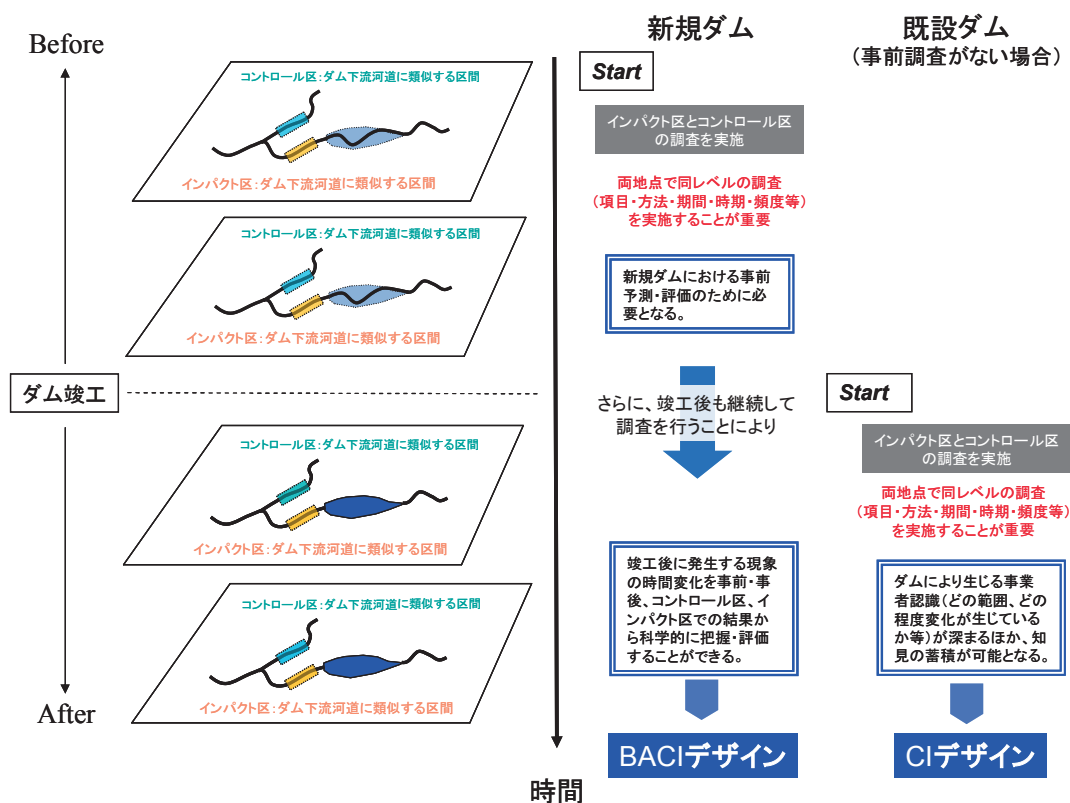


図 5.2-2 新設ダム、既設ダムにおける調査デザイン

5.2.2 デザインの組み立て方

(1) コントロール区の設定について

影響の実態を把握するためには、BA デザインを採用する場合を除けば、コントロール区の設定が不可欠である。コントロール区はダムが存在する前のインパクト区と同様の環境を有していることが必要である。このためには、川の骨格となる流域特性、河川特性が類似している区間に設定することが推奨される。具体的には流域の地質、地形、ダムの有無、河床勾配、川幅、流量、平面形状（蛇行の程度）、瀬・淵構造、キャノピー（樹冠が河道をどの程度覆っているか）の多寡等が含まれる。当然のことながら集水域に他のハイダムが存在している場合にはコントロール区の設定を避けるべきである。河道内に形成される瀬・淵構造は、このような流域～河川の特性に支配されることが多いため、まず、概略調査などを通じて得た資料等を用いて上述した特性を確認し、インパクト区と特性が類似の区間にコントロール区の候補地を設定し、次に、予備踏査によって全体的な景観を確認して、インパクト区とコントロール区があまり変わらないこと、そして、平常時の流量、瀬・淵構造、キャノピーの多寡といった生息場所の構造を確認して場所を決めると良い。

コントロール区の候補の具体例としては、同一流域内のダム湛水域上流や支川、近接する他流域の対応するセグメントが挙げられる（図 5.2-3）。

コントロール区を設定する際に、ダムが上流にないことを主たる根拠にコントロール区に選んでしまう調査デザインを時々見かけるが、このやり方は誤った結論の導出につながりうるので十分な注意が必要である。第2章で述べた山地河道の特性から理解されるように、ダムが造られる山地河道は、沖積河道と異なり、場所によってその特性が大きく異なる場合が少なくないので、上流にダムがないなどのマクロな定性的属性だけで、物理環境などがダム建設前のインパクト区と同様と判断するのは不適切である。また、たとえば、ダムの直下とそれより一定距離下流に行った地点の河道状況の比較を主な根拠に粗粒化現象の有無を判断するようなアプローチも、ダムができる前からダム建設地点付近の粒径が粗かった可能性を排除できず（このことはダム建設地点の要件から十分考えられることである）、不適切である。

こうした物理環境を対象にする場合はもちろん、生物を対象にする場合でも、以上の注意点が免除されるわけではない。なぜなら、1章や4章で説明したように、生物が物理環境の変化を介して変化するシナリオも一般的には有力だからである。したがって、物理環境、生物のどちらを扱う場合でも、ダムが無い場合のインパクト区と同等の特性をそのコントロール区が有しているかについて、目的とする因果関係分析を正当化するのに必要なレベルでの根拠付けがなされる必要があり、一般には、この根拠付けに物理環境の定量的検討も含めるべきである。すなわち、生物現象を目的としているからといって、物理環境の面でコントロール区の要件を満たしているかの検討が吟味もなく最初から甘くなってしまうのではないのである。

そのような条件を満たすコントロール区が設定できず、いくつかの条件が満足されない区間をコントロール区とせざるを得なかった場合には、そのことを分析にお

いて適正に考慮しなければならない。以上の点の重要性については、5.5で事例に基づいて再度説明するので参照されたい。なお、コントロール区の設定の困難さを決定的な隘路とみなす必要はなく、インパクトレスポンス分析だけに頼らない集中調査を通じた調査・分析の重要性・有用性は既に述べたとおりである。

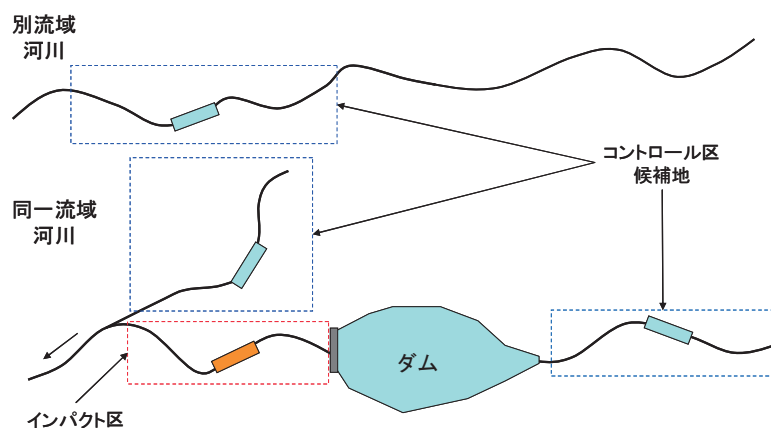


図 5.2-3 コントロール区の設定について

コントロール区は同一特性を持つ他流域河川、もしくは、ダム上流、支川に設定することになる。厳密に同一なコントロール区の設定は不可能であるが、なるべく同一に近いコントロール区を設定するために、地質、起伏量といった流域特性、流量、川幅、平面形状、河床勾配、河床材料の粒径、キャノピー（溪畔林等によって河道が被覆されているかどうか）の程度等についてインパクト区の事前状態を想定し、これに近い場所をコントロール区とすると良い。特に、事前データが取れず CI デザインとなる場合には、このプロセスはより重要になる。

(2) インパクト区の設定について

インパクト区の設定は目的によってその考え方が異なる。監視すべき漁場等影響を重点的に見るべき場所が特定されている場合には当該地点とその近傍にインパクト区を配置すれば良いが、本節の前提条件となるダム下流の変化の実態を把握する場合はダム直下から下流に向かって幾つかのインパクト区を配置する必要がある。ダム直下はダムの存在に伴う影響が最も大きい場所であることから最初のインパクト区を配置し、それより下流については、ダム下流の影響が比較的短い区間で変化していくこと、特に、支川合流地点前後で影響の程度が大きく緩和されることに留意し、支川合流地点前後にインパクト区を重点的に配置する。この配置において前後するインパクト区の距離が大きくなる場合（ダムサイトから 3km 下流までは川幅の 20 倍、それより下流は 40～50 倍を目安とすることを試案として推奨するが、今後の研究の進捗に応じて変化する可能性がある）には、適宜インパクト区を追加すると、縦断的な影響の変化を把握できるようになる。

インパクト区をどの程度下流まで設置するかについては現在のところ明確な提案ができない。あまり下流に配置すると、河床勾配やキャノピーの多寡等の河川特性そのものが変化してしまうだけでなく、他の人為的な影響も加わり対象とするダムの影響を検出することが難しくなってくるからである。

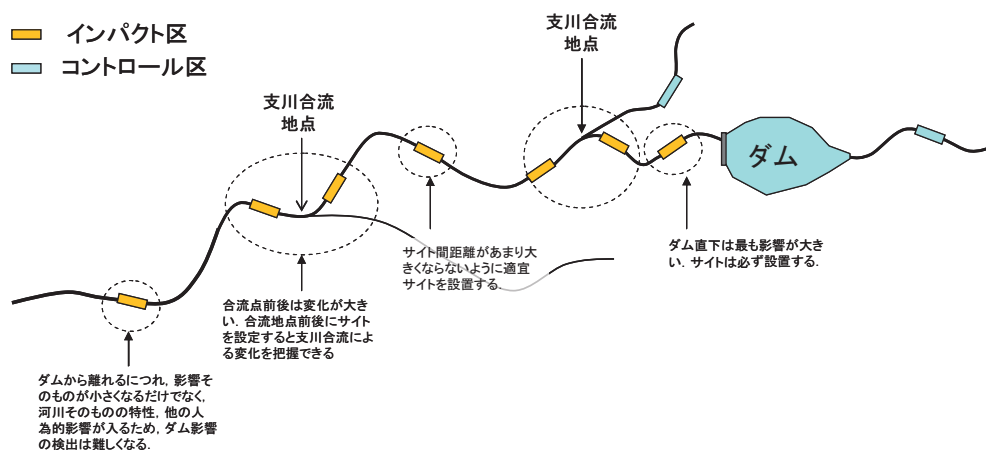


図 5.2-4 インパクト区の設定について

ダム直下に最初のインパクト区を設定し、その下流には支川合流地点前後に重点的に配置する。この配置により連続する 2 つのインパクト区が離れ過ぎる場合には、適宜インパクト区を追加すると良いだろう。“離れ過ぎる”を明確に定義することは現段階では難しいが、今までの土木研究所が実施した調査実績から考えると、川幅（河道幅）の 20～50 倍程度を目安にすると良いだろう（本文参照）。下流方向への影響の変化は我々が考えるよりも短い距離で生じることに留意して、インパクト区の配置を検討することが基本となる。

(3) 繰り返しをとることの重要性

1) 空間的繰り返し

同一の特性を有していると見られる生息場所を検討区間として選定し調査を行ったとしても対象区間内での生物相と生物を取り巻く環境（流速、水深等）は空間的に均一でない場合がほとんどである。統計学的に2つの検討区間で有意差を確認するためには、平均値だけでなく、個体数や湿重量、流速、水深が検討区間内でのどのような分布形を示すかが情報として必要となる。このためには、検討区間内に幾つかのサンプリング地点を設けて、対象とする指標値の分布形を明らかにしなければならない。

例えば、2つの瀬を対象（図 5.2-5(左)中のサイトA、サイトB）とし、その中にコドラートを複数設置し底生動物をサンプリングすると、コドラートによって採集される底生動物の種類や量にはばらつきがある。このため、2つの瀬（サイトAとサイトB）における調査結果の比較を1サンプル（この場合、C地点）で行うと誤った結論を導くことになる。また、幾つかのサンプリング地点を設定し、その平均値に差が見られたとしても、2つの瀬内での種類数や量のばらつきが、瀬間での平均値の差と比較して大きい場合には、サイト間での差を有意と認めることができない（図 5.2-5（右））。調査デザインを設定する際には、この点を考慮し、同一の特性を有する空間内に複数のサンプリング地点を設けることを原則としたい。

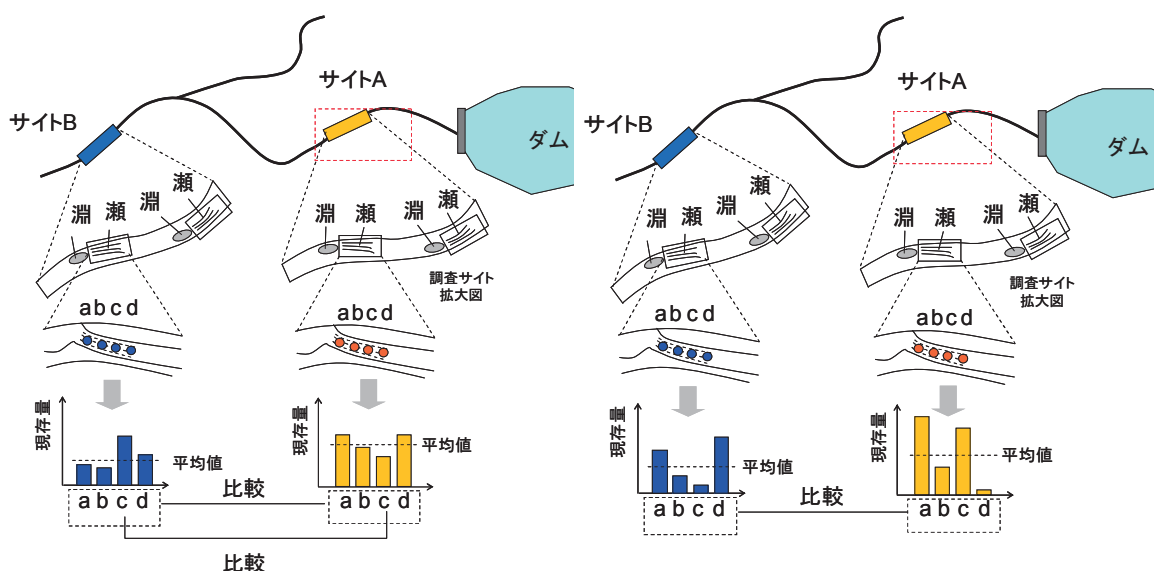


図 5.2-5 空間的反復のデザイン

2つのサイトで統計的な有意差を検出するためには、幾つかのサンプルを採取し、平均値とそのばらつきを議論する必要がある。例えば、1サンプルだけでの比較は平均値そのものの議論ができない（左）。また、幾つかのサンプルを採集しても、サイト間の差に対してサイト内でのばらつきが大きければ、確率的に有意な差があるとは認められなくなる。詳細は統計学の教科書を参考にして下さい。

2) 時間的繰り返し

自然現象は時間的にも変動するため、時間的にも繰り返しを取って各区の変動に伴う影響を受けないように努める（図 5.2-6）。時間的な変動は年変動、季節変動、日変動等様々だが、コントロール区とインパクト区において同調している変動については調査を同じ時期に行うことで（図 5.2-6 (C)）、この変動に伴う影響を小さくすることができる。

年変動が大きい場合には調査年について繰り返しを取り、調査時期を同期させることが必要となり（図 5.2-7 [C]）、季節変動が大きく、しかも、その変動特性が事前に理解できない場合には季節的な繰り返しを取り、出来る限り調査日を同期させる必要がある（図 5.2-7 [B]）。ただ、冬季における底生動物群集のように、流況が安定し群集に大きな変動がないと明らかな場合は、調査時期を同期させた 1 回の調査でも、影響の検出が可能な場合もある。

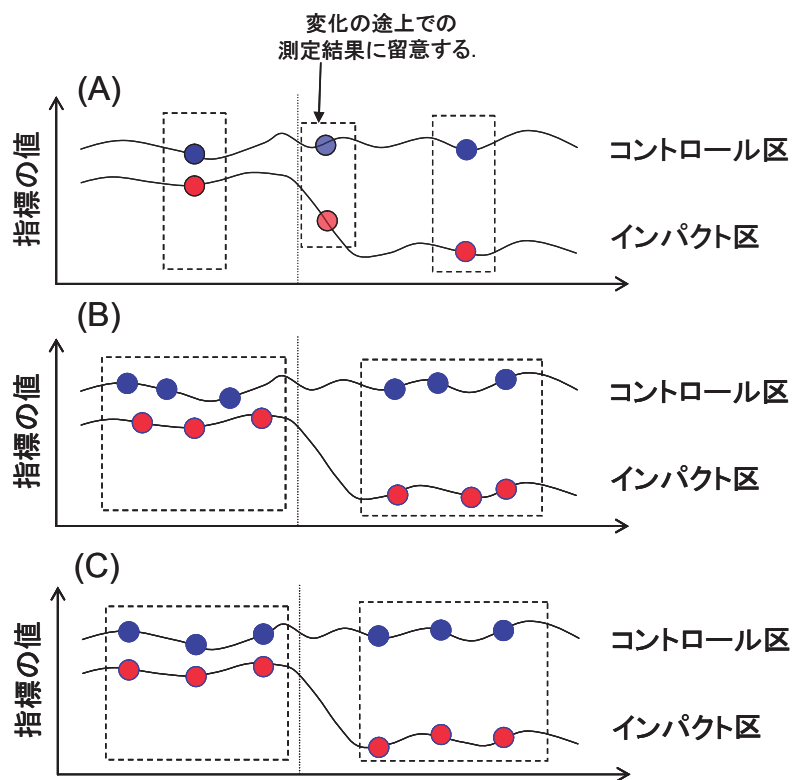


図 5.2-6 時間的反復のデザイン（安田・一柳 2000）

事前・事後 1 回のみの調査の場合、時間的に変動する現象のどの部分を把握したかが見えてこない (A)。可能なら事前・事後で時間的な繰り返しを取り、現象の変動の幅を把握したい。この場合、コントロール区とインパクト区で時間を同期させないでデータを取った場合 (B)、同期させてデータを取得した場合 (C) が考えられる。自然現象には年変異、季節間変異、季節内変異があり、これらが近隣で同調する場合には、調査時期を同期させれば、変異に起因する誤差を小さくすることができる。なお、インパクト区ではダムの影響が下流方向に伝搬途上である可能性もあるため (A)、注意を要する。

なお、図には示していないが、日変動が大きいと思われる現象（例えば、水温、溶存酸素濃度、流下有機物量等）については一日の中で調査時間を同期させ、かつ、繰り返しを取ることが求められる。いずれにしても、調査デザインを組み立てるときには、当該現象の変動特性をよく考えてみることが重要である。

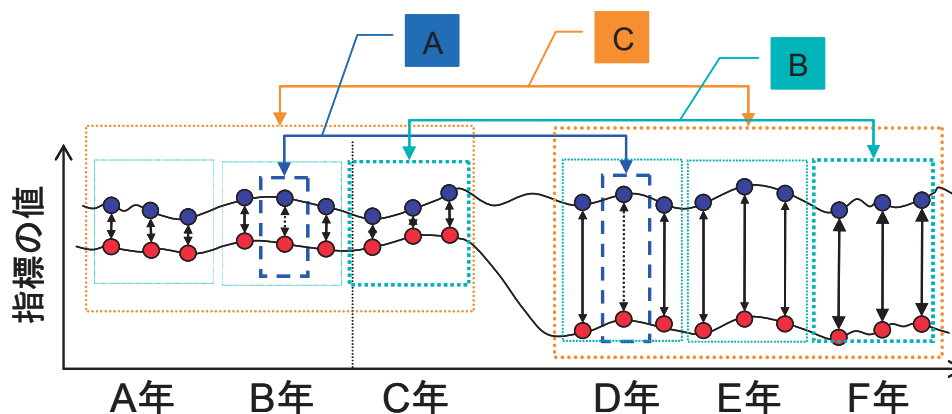


図 5.2-7 時間的反復のデザイン（その2）

時間的な繰り返しがないと、季節変動、年変動の影響を受けてダムが存在に伴う影響を検出できない可能性がある[A]。対象とする現象の季節変動が大きく、事前にその特性が理解できない場合[B]には季節に対して繰り返しを取ることが必要となる。また、年変動がある場合には数年間の繰り返しが必要となる[C]。

5.2.3 まとめ—効果的な実態調査に向けて

以上、BACI デザインに基づくデザインについて説明してきた。実態調査を行っても、調査目的が不明確であったり、目的に沿った適切な調査デザインが設定されていなかったりすると、折角取得した膨大なデータが全て台無しになることもある。調査デザインの重要性を良く認識し、必要に応じて専門家の意見を採り入れて調査・分析のデザインを組み立てる必要がある。

5.3 河道の物理環境を検討するための調査に関する事項―調査の工具箱 1

本資料では、物理環境として、河道形状、河床材料、流況（主に掃流力など土砂流送や河道形成を司る営力という観点からの）、土砂流送を中心的に取り上げており、調査にはこれらの把握が求められる。考えられる調査事項を表 5.3-1 にまとめて示す。

調査事項は、必須となる基本的な調査、必要に応じて実施する調査（より詳細な内容を持つことが多い）に分けられる。また、本分野は今後の展開が期待されることから、新しい調査を積極的に試行していくことも重要であり、そうした意味で同表には「今後の研究開発を見据えて試行する調査」の欄も加えている。なお、この仕分けは絶対的なものでなく、調査事項選択の際の参考情報としてとらえてほしい。

表 5.3-1 物理環境の調査に関する事項一覧

				必須となる 基本的な調査	必要に応じて 実施する調査	今後の研究開発 を見据えて試行 する調査
5.3.1 流域・水系の視 点からの調査	(2) 本支川流域の位置・面積			●		
	(3) 地質			●		
	(4) 地形			●		
	(5) 砂防指定区域等の状況				●	
5.3.2 河道の調査	(2) 河床構成材料	1) 河床構成材 料の粒径（粒 度分布）	b) 面積格子法・線格子法	●		
			c) 画像処理法		●	●
		2) 河床構成材 料の平面分布	a) 広域的な整理・分析	●		
	b) リーチスケールの平面分布調査			●		
	(3) 河川測量	2) 水準測量		●		
		3) レーザ・プロファイル調査			●	●
	(4) 堆積層厚調査			●		●
	(5) 支川の河床材料調査				●	
	(6) 人為的影響の実態調査			●		
	(7) 河道の歴史的変遷			●		
(8) 類似ダムにおける調査（リファレンス情報として）				●		
5.3.3 外力（流量・土 砂流送量）に関 する調査	(1) 出水時流量			●		
	(2) 平水時流況			●		
	(3) 土砂移動量調査				●	●

※記述中の番号は、以降の解説の目次番号

表 5.3-1 に示す項目のうち、「5.3.2 河道の調査」に分類される項目の多くは、現在の河川がどのような状態かを直接的に把握する情報として重要である。特に「河床構成材料」「河川測量」は基本的な情報であるため整理が必須である。「河道の歴史的変遷」については、過去の情報の蓄積状況に左右されるので、状況によって整理のレベルに差が出るのはやむを得ないが、やはり、重要な情報として扱うべきである。「堆積層厚」「本支川合流点の河床形態」は、調査法が簡単ではなく、判断にも技術力を要するので、すべてのケースについて高い精度あるいは詳細度で実施することにはならないが、これらの事項が分析や予測・評価の結果に大きく影響する場合には、やはり優先的に行うことになる（例えば堆積層の厚さがダムの影響評価に重要な要因となってくる場合など）。

表に示した各調査事項が互いに関連し、したがって一体的に調査計画を吟味すべきことにも留意してほしい。

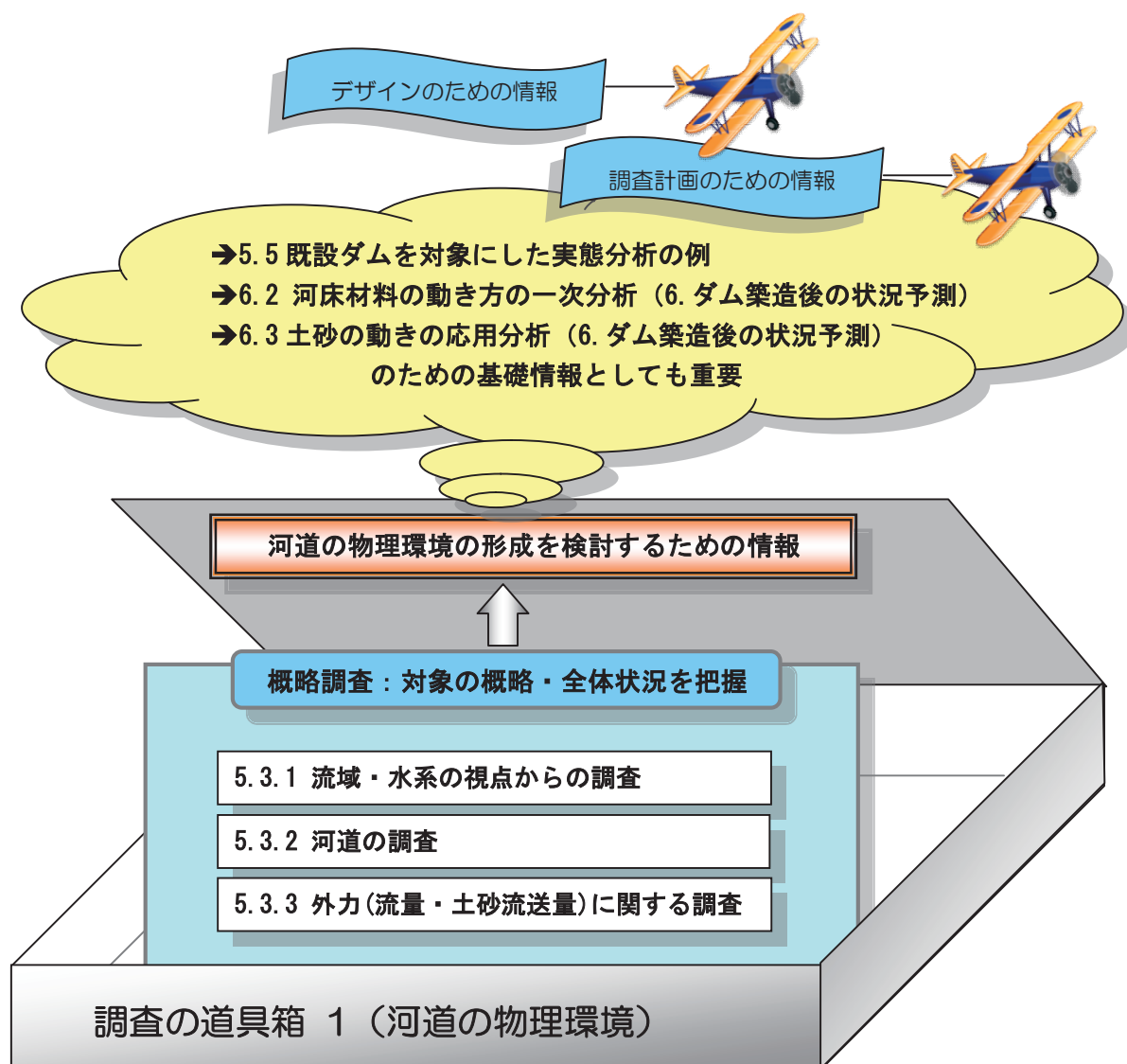


図 5.3-1 河道の物理環境調査の工具箱の全体像と分析及び関連調査の関係

5.3.1 流域・水系の視点からの調査

(1) 基本的な考え方

ダムが建設されるのは山地部であり、2.7.1に示したとおり、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。また、流域・水系のどの位置にダムが建設されるかが、下流河道における変化の出方を大きく左右する。しかし山地河道は、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いないため、十分な情報が行政により蓄積されていない。以上のことから、ダム周辺の河川の特性を流域と水系の視点から新たに把握することが、沖積河川を対象にする場合よりもはるかに重要になる。

(2) 本支川流域の位置・面積

多くのダムは、供用によりダム上流域からの砂礫供給を遮断する。ダム直下流では、供給される砂礫がほとんどなくなることから、河床への影響は直接的なものとなる。

またこれより下流において、比較的規模の大きい支川が合流する場合、支川から砂礫が供給されることから、ダム直下流で減少した砂礫供給の一部が補給される場合がある。この復元は、支川の流入が多いほど効果が大きい

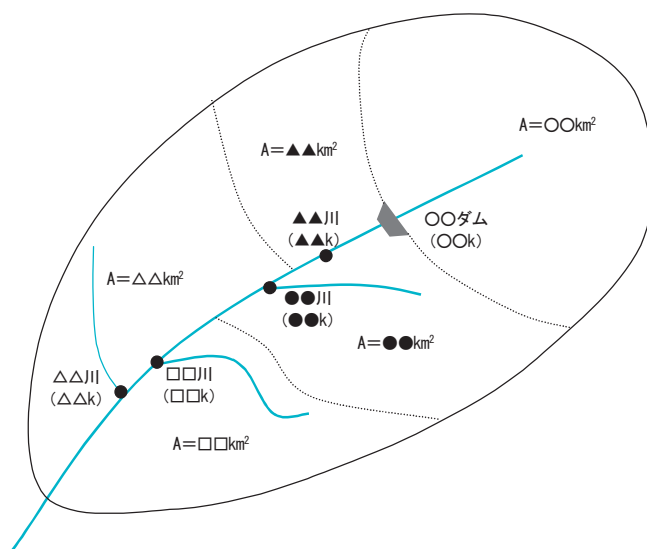


図 5.3-2 本支川流域の位置、面積

いことが考えられ、下流における流域面積の大きさ及びその流入位置が、物理環境が変化する区間に関係することが考えられる。このことは、前出 3.3.1 にも示したとおり、評価する地点におけるダム集水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なりうることから、以下の事項の整理を行うことが必要である。

- ・ ダム建設位置(本川ダム、支川ダム)
- ・ 本支川合流位置(ダム直下～支川合流までの区間距離)
- ・ 本支川の面積

(3) 地質

河川に供給される砂礫の量や質、砂礫形状やその大きさは、供給源となる流域の地質性状に関係する場合がある。河川に流下する砂礫の質や量を把握する方法の1つとして、地質構成を把握することが考えられる。

調査の視点として、「流域を構成する地質の分類」と「構成する地質の風化・崩壊状況の分類」が挙げられる。前者は発生する砂礫の成分としての質に関係し、後者は砂礫の大きさ（粒径という面から見た質）及びその量に関係する。

1) 流域を構成する地質

流域から発生する砂礫（成分としての質）に関する情報として、以下の資料等から流域の構成地質を把握することができる。

- ・ 土地地質図（各都道府県）（経済企画庁監修）
- ・ メッシュ情報（国土細密数値情報）（国土地理院監修）

なお、メッシュ情報における地質の分類は、大きく以下に大分して整理されている。

- ・ 未固結性堆積物
- ・ 固結性堆積物
- ・ 変成岩
- ・ 火成岩

このうち、火成岩は「火山岩」と「深成岩」に分かれ、砂礫の発生は、後に示す風化の特性（表 5.3-2）からみて、これらの間で違いが生じている場合がある（島ほか 1994）。したがって、メッシュ情報を使用する場合は、必要に応じこの違いを土地地質図で確認する。

表 5.3-2 岩石の風化特性等（小出（1973）による岩石の風化作用の記述から西田・福田（1973）が図を作成、著者らが一部改）

岩種	粒度変化	備考	風化物（砂以下の土砂）の発生
花崗岩 閃緑岩	$\nearrow$ 岩塊→礫→砂 基岩 $\searrow$ 砂→シルト	風化層が厚く、マサになりやすい。花崗岩よりも閃緑岩のほうが風化しやすい。粘土分は少なく、大部分カオリン系である。不連続粒度を示す。	大
斑れい岩	基岩→岩塊→粘土	極端に粘土化する。カオリナイト・ハロサイト、Al、Fe の酸化物が多い。	小
蛇紋岩	基岩→岩塊→粘土	極端に粘土化して吸水膨張する。	極小
石英斑岩 流紋岩	基岩→礫→砂	一般に風化しにくく、風化層は薄い。流紋岩とされるものの中で、凝灰質なものは風化し、モンモリロナイトも少量みられる。	やや大
安山岩 玄武岩	$\nearrow$ 岩塊 基岩 $\searrow$ 岩塊→粘土	ち密なものは風化しにくい、やや粗粒なものは細粒化する。	やや大
粘板岩 頁岩 泥岩	$\nearrow$ 礫→砂→粘土 基岩 $\searrow$ 粘土	粘板岩は礫・砂を経て粘土になるが、頁岩・泥岩は直接粘土になることが多い。風化層は厚い。	大
砂岩	$\nearrow$ 礫→砂 基岩 $\searrow$ 砂	古生層、中生層のものは礫から砂へ、第三紀層のものは直接砂へ。	やや大
珪岩 チャート	基岩→岩塊→礫 $\searrow$ 砂	風化しにくく、礫または砂粒として残る。風化層は薄い。	小
凝灰岩	基岩→岩塊→礫 $\searrow$ 砂→粘土	古生層、中生層のものは風化しにくい、第三紀のものは粘土化しやすくモンモリロナイトなどの地すべり粘土になる。	大
片麻岩 結晶片岩	基岩→岩塊→礫→砂 $\searrow$ 粘土	片埋面から剥離して細粒化する。片麻岩は風化層が厚い。	大

表 5.3-3 切土法面における岩石の風化速度の目安（島ほか 1994、一部改）

風化速度	岩種・状態
はやい $\updownarrow$ おそい	新第三紀層の頁岩・泥岩・砂岩など、段丘礫層、ローム、シラス、半固結状態の火山砕屑岩類
	新第三紀以前の頁岩、礫岩、圧砕岩、凝灰岩、凝灰角礫岩（集塊岩）、蛇紋岩、かんらん岩、グリーンタフ
	粘板岩、千枚岩、輝緑凝灰岩、輝緑岩、結晶片岩類
	ホルンフェルス、砂岩、深成岩類、片麻岩類、火山岩溶岩類（安山岩、玄武岩、石英安山岩、流紋岩）
	珪岩、チャート、石灰岩

2) 構成する地質の風化・崩壊状況の分類

砂礫の大きさ（粒径という面から見た質）およびその量に関する情報を、以下の資料等から把握する。

- ・ 表層地質図（各都道府県）（経済企画庁監修）
- ・ 断層位置図（活断層研究会監修）
- ・ 崩壊地の状況（国土地理院監修）（現地調査、航空写真、森林基本図等からの判読）
- ・ 森林基本図・植生図（林野庁）

例えば表層地質図であれば、表層を構成する地質の状態を「岩体・岩片の硬さ」の観点から３段階で分類している。また岩体の軟い層（風化殻）の形成層厚を「風化殻の深度」の観点から３段階に分類している。一般には岩体の軟らかい風化殻が厚く堆積した状態の表層地質で形成される地域では、出水時において表流水とともに多くの土砂が発生する場合がある。また、このような地質の場合、河川沿いの斜面からは出水時の表流水によらない（例えば地震や人為的な行為等による）崩落土砂が発生することもあり、土砂の縦断的な分布の特徴を定性的に判断する上で有用な情報となりうる。この情報と、先の流域を構成する地質（成分としての質）を重ね合わせることで、出水時をはじめとするイベントにおいて、どのような大きさ（粒径という面から見た質）の砂礫がどの程度発生する可能性があるかについて定性的な判断に役立てることができる。

また、河川沿いの斜面における地質が安定的であり斜面崩壊を生じさせにくい地形であるかなどの判断に役立てるため、現地調査や航空写真、森林基本図等を用いて、以下の観点から崩壊地の状況を整理することが考えられる。

- ・ 斜面崩壊に伴う裸地の出現状況
- ・ 斜面被覆の状況およびその植生の状態 等

(4) 地形

流域から供給される土砂は、前出の地質に加え、形成される地形形状に影響を受ける。土砂は、主に沢・河川を介し下流に供給されるものと、斜面崩壊その他の局所的な地形形状により縦断的に不規則に供給されるものに分けられる。前者は流域を構成する地形形状（流域勾配）に、後者は河川沿川に形成される斜面の形状や崩壊状況等に関係すると考えられる。地形形状（流域勾配）は、流域の地形の特徴を把握する上でも有用となる場合がある。

地形勾配を把握するために、以下の資料を整理する。

- ・ 地形図（国土地理院監修）、メッシュ情報（国土細密数値情報）（国土地理院監修）

※メッシュ情報の例として以下がある。

- ・ 地盤高

- ・ 傾斜度（国土地理院監修）
- ・ 起伏度（国土地理院監修）

【トピックス】土砂発生の可能性とその推定

河川に供給される砂礫の量や質、砂礫形状やその大きさは、供給源となる流域の地質性状に関係する場合がある。たとえば風化の進んだ深成岩（花崗岩等）で形成される流域や、摂理が多く入った裸地斜面などを有する流域や河道区間では、出水時において大小さまざまな粒径の礫や砂が多く発生する可能性がある。

調査にあたっては、机上でその特徴を把握した上で、現地での確認により土砂発生の可能性を推定するなどの整理を行うことが考えられる。また近年では、発生土砂量を流域の地質や地形（起伏度）、崩壊地の面積等から多重相関により算出する方法や、近傍類似ダムの実績堆砂量をもとに確率評価する方法等が提案されている（国土交通省河川局治水課・河川環境課 2005）。発生土砂量の推定を行うにあたっては、これらの方法を有効に使いながら検討することも考える。

(5) 砂防指定区域等の状況

先に示した地質や地形から見られる河川への土砂発生の可能性は、直轄または自治体が指定する「砂防指定区域」の存在や設置施設の状況からも推定できる可能性がある。

地形・地質の特性からこれまで土砂供給が多く発生する地域では、土砂災害の可能性の公開及び重点対策の実施範囲の明確化を目的とした砂防指定区域の設定がなされている。

1) 机上での確認

砂防指定状況については、土砂災害にかかるハザードマップ等で一般に公開されている場合があるので、これを対象に以下の情報を整理する。

- ・ 砂防指定対象区域
- ・ 砂防堰堤等の位置

なお、砂防堰堤等については比較的規模の小さいものも多く見られるため、実際には図面等で整理することが難しい。このため、現地での把握とあわせ整理することが望ましい。

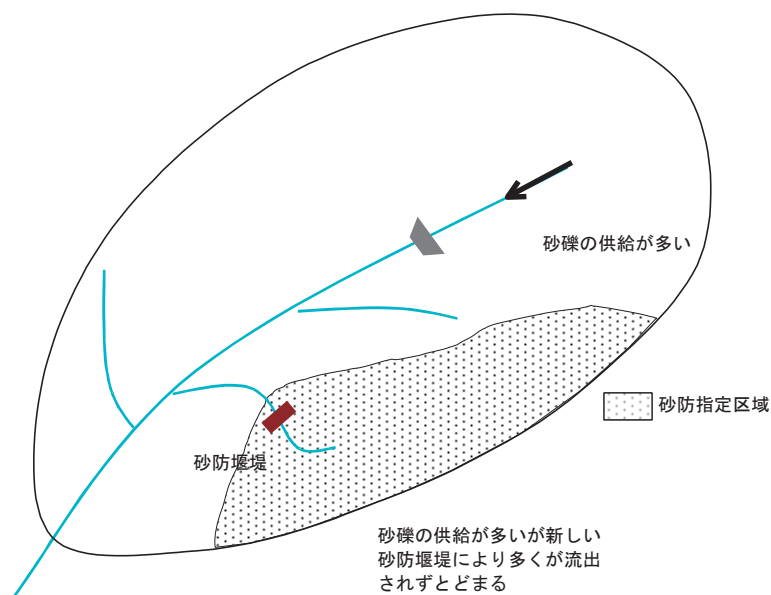


図 5.3-3 砂防指定区域の整理例

2) 現地での確認

机上で整理した砂防指定区域および設置されている砂防堰堤等の規模とその後（現在）の状況について、現地調査により把握を行う。調査内容は次頁の項目が考えられる。

- ・ 砂防堰堤の形式および規模（高さ・幅）

- ・ 砂防堰堤の個数（縦断基数）
- ・ 砂防堰堤の上流湛水地における砂礫の堆積状況

なお、砂防堰堤のうち、近年設置例が多いスリット型構造は、コンクリート構造の堰堤とは土砂流下の観点で異なる特性を有するので、この点を考慮する。整理にあたっては、こうした堰堤の形式についても分類して整理する。

【トピックス】現地での確認におけるその他の留意事項

河川近傍に、たとえば採石場のある地域では、堆積していた砂が洪水時に河川に流入することが考えられる。平常時であっても堆積砂が河川に流入している場合もある。

砂は通過型（2.4 参照）であり、河床材料 m に与える影響は小さいが、材料 t としての局所的な砂のパッチの有無が動植物の生息に重要な要件となりえる場合においては、砂の供給源を明確にし、物理環境への影響度を把握しておく必要がある。この一例に示されるように、局所的かつ個別的事象を現地調査によって把握・確認しておくことが重要になる場合もある。



5.3.2 河道の調査

(1) 基本的な考え方

先に示した「5.3.1 流域・水系の視点からの調査」を踏まえ、現在形成されている河床の特性を縦横断的に捉える。これにより、動植物の生息場に供されている河道の物理的な環境を把握する直接的資料とする。

(2) 河床構成材料調査

1) 河床構成材料の粒径（粒度分布）

a) ダム下流河道を対象にした河床構成材料調査のポイント

2.7 の内容からわかるように、山地部にあることが多いダム周辺および下流河道の材料には、沖積平野の河川と異なる以下のような特徴がある。河床構成材料の調査は、この特徴を適切に反映できるように組み立てられなければならない。

- ・ 特徴 1：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 がいくつかの粒径集団からなり、場所によって粒径集団が異なる。そして、同じ材料 m の中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もあげられる。

沖積河川のように材料 m の平均的な粒度分布を求めるだけでは不十分であり、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、それらの粒径集団がそれぞれどのように平面的に分布しているかを知る必要がある。

- ・ 特徴 2：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。岩盤までの厚さが小さい場合、その厚さの平面分布を把握しておく必要がある。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も、表面の河床材料変化も、ハビタットの機能も大きく変わってくる。

b) 面積格子法・線格子法

ダム下流河川の物理環境検討では、表面の河床材料の把握を基本とする。そして、河床構成材料の調査方法は面積格子法または線格子法(建設省河川局監修 1997)を採用することを原則とする。必要に応じて、別途、通常の河床材料調査法（表層下の材料を、一定容積の分、丸ごと採取し、重量百分率で整理；以下「容積サンプリング法」と呼ぶ）を行い、表層下の河床材料の粒度分布として整理し、表面の粒度分布と比較できるようにする。

なお、その他の方法として平面採取法がある。この方法は河床表面にあるすべての石を採取することから、表層の河床材料調査法として一見優れているように見えるが、採取すべき石の定義が難しく、母集団の意味が曖昧になるという欠点を持つので、ここでは調査手法メニューとして取り上げない。

また、面積格子法または線格子法と平面採取法を1つの調査地点（コドラート）で併用し（たとえば、ある粒径以上を格子法で行い、それ以下を採取するなど）、2つのデータを合わせて粒度分布を得ることは行ってはならない。これは、両者のデータの重み付けについて合理的な方法が存在せず、結果に意味を持たないからである。

ア 面積格子法

図 5.3-44 のように適当な大きさの枠を用いて、測定対象河床上の最大礫径間隔程度で糸を張り、糸の交点下の粒を採取する（真下の粒を忠実に採取する。それが礫なら礫粒を、砂なら砂粒を、シルト・粘土ならそれを採取する。礫に対象を絞っているわけでは無いので、真下が砂粒径以下なら、素直にその材料を採取すること。“石”だけを取るものと誤解して、真下が砂あるいはシルトであるにもかかわらず、すぐ横の礫粒を採取してしまうようなことはあってはならない）。枠や糸間の大きさは、河床に分布する礫の粒径から判断するものとする（少なくとも最大粒径以上）。一般には枠の大きさを1mとし、糸間を100mmとする場合が多い。この場合、全採取量は100(10×10)個となり、粒径加積曲線を描くための点数としておおむね十分な数となる。なお、河床に分布する材料の粒径が大きく、1mの枠では採取量が少なくなってしまう場合は、枠の大きさを広げるなどして、試料点数を確保する必要がある。多くの河川の例では、試料点数を100点程度採ることで、粒径加積曲線を滑らかに描いている。

調査にあたっては、河村ほか（1970）、山本(1976)が参考になる。

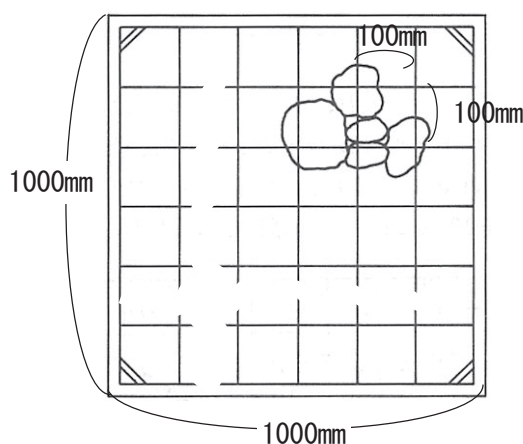


図 5.3-4 面積格子法によるサンプリング

集計にあたっては、以下の手順をとる。

(作業-1) 採取した礫はノギス等で3径計測し平均粒径を算出

採取した砂はノギスのほか粒径が計測可能な方法で粒径を算出



(作業-2) 小さい順に並べ、粒径頻度（個数百分率）を整理

★粒径加積曲線は個数によって作成すること。すなわち、その粒径より細かい粒子の個数が全体の個数の何%かを表示する。決して重量で行ってはならない。重量で行うと、容積サンプリング法による重量百分率と原理的に差を生じ（粒径が大きい方にずれる）（山本 2004）、調査法の違い以前に、得ようとする情報の種類自体が原理的に異なってしまう。容積サンプリング法で得るものと同種の情報を、河床表面について得ようとしているので、上記の方法が必須となる。



(作業-3) 対数確率紙にプロット

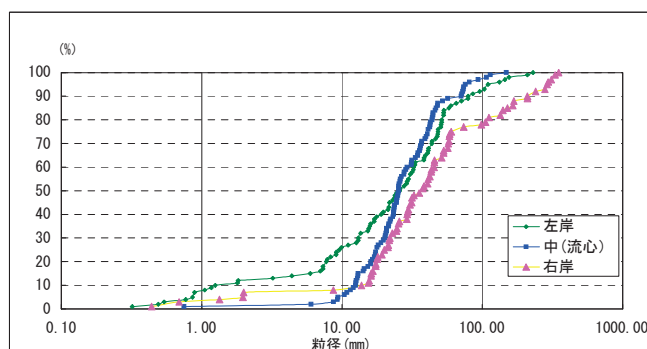
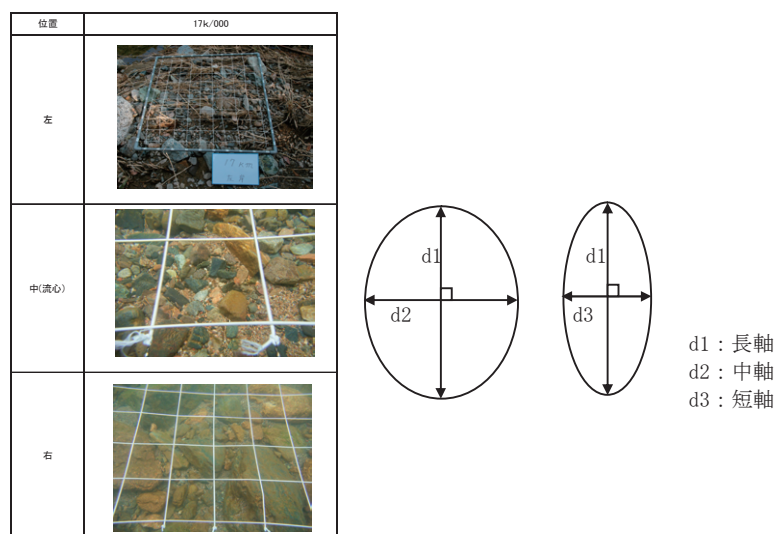


図 5.3-5 面積格子法による調査結果例

イ 線格子法

図 5.3-6 のように河床上に巻尺等で直線を張り、一定間隔（河床材料の最大径以上に設定）にマークして、その直下にある材料の粒径をはかる（真下の粒を忠実に採取する。それが礫なら礫粒を、砂なら砂粒を、シルト・粘土ならそれを採取する。礫に対象を絞っているわけでは無いので、真下が砂粒径以下なら、素直にその材料を採取すること。“石” だけを取るものと誤解して、真下が砂あるいはシルトであるにもかかわらず、すぐ横の礫粒を採取してしまうようなことはあってはならない）。巻尺の長さは、十分な粒径データ数が確保される長さとする。面積格子法の場合と同じに、重量でなく個数により粒径加積曲線を作成する。なお、河床材料の平面分布を把握するには、アの面積格子法の方が向いている。

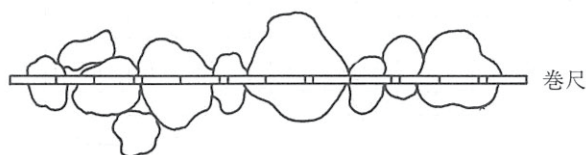


図 5.3-6 線格子法によるサンプリング

ウ 調査位置

河床構成材料の縦断方向の調査は、原則として、1km ピッチなど、一定間隔で機械的に行う。支川や沢の流入、蛇行、頻繁な勾配変化などにより河床材料が頻繁に変化する河川区間では、必要に応じ、ピッチを数百 m 毎など短めに設定する。

また横断方向の調査は、原則として右岸・流心・左岸の 3 ヶ所の材料を採取することが望ましい。河川が湾曲したり、みお筋蛇行している場合、左右岸のいずれかが存在しない場合がある。また複列化した河川では、みお筋の複数化により「左岸、みお筋、中州、みお筋、右岸」というように横断方向でそれぞれ多様な河床形態をなす場合がある。これらの場合においては横断方向の調査地点を追加（重点化）したり簡素化したりするなどの方法をとるものとする。

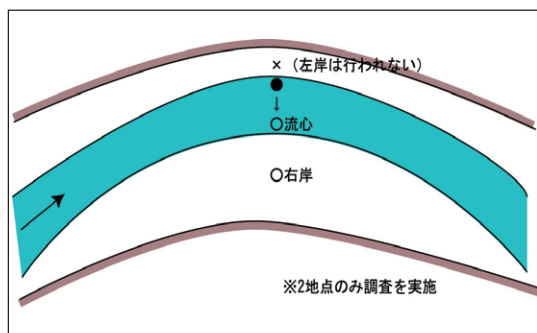


図 5.3-7 河床材料調査地点の簡素化

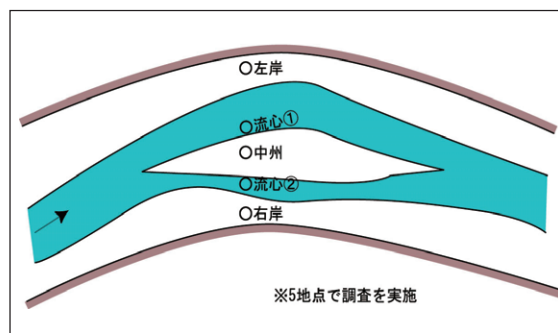


図 5.3-8 河床材料調査地点の追加

なお河川によっては、みお筋付近を除き河床が草本や樹林で覆われている（植生域の）場合がある。この場合、みお筋付近の礫露出域のみを基本に調査を行う。これは、植生域の河床表面が主に材料 s により構成されていることが多く、後述（6.2.2）する材料 m の動き方を予測するためのデータとして適切ではないことによるものである。なお、材料 s が予測上重要となる場合は、必要に応じ植生域の材料調査を追加することが望ましい（たとえば、山原ほか 2007）。

鉛直方向位置については、前述のように原則として表面の調査とする。ただし、必要に応じて、通常の河床材料調査（表層材料を剥いで、その下の河床材料を丸ごと採取して重量百分率に基づく粒度分析を実施→容積サンプリング法）を別途行い、表面とは別の粒度データとして整理する。これには、1) 過去に河床材料調査を行っていて、その調査方法が通常の河床材料調査法による場合で、粒径の経年変化を把握したい場合、2) アーマリングの進行度合いなどを把握するため、表面とその下の粒度分布を比較したい場合、3) 混合粒径の河床変動計算を実施するに際して、表面に加え、その下の粒度分布の情報も必要な場合、などが考えられる。

また、流心付近は水深が大きく、調査が困難な場合がある。その場合、以下の方法により粒径分布を把握する。

- 流心付近を目視及び写真撮影し、場の粒径分布状態を確認した上で、類似の状態の場を作業のしやすい水際等で抽出し分析する。
- 格子を当てた河床を写真撮影し、机上にて画像処理により判読し集計する（次に示す 5.3.2(2)1) c) を参照）。

[留意事項]

河床材料の調査地点を設定するにあたっては、以下に配慮する。

- 調査地点（コドラート）は、周辺河床のうち特異な状況となっている箇所を選ばないこと
- 面積格子や線格子を当てる場合、目視上河床を構成する材料に砂や大礫が恣意的に外されることのないよう注意すること
- 流心付近の流れは速い場合が多い。作業には危険が伴うので、安全性には十分に注意すること

[調査位置を以上のように選定している理由について]

ここでは、表面の河床材料を大局的に把握し、ダム下流の縦断方向の変化特性をつかみ、また、当該河道区間が全体としてどのような粒径集団から構成されているか、また各粒径集団がどのような粒度分布を持っているかを把握することを目的としている。河床材料は、空間的に変化しており、前述のように山地河道ではその変化幅が特に大きい可能性が高い。そして、こうした空間分布は、流路の平面形、砂州、みお筋、瀬・淵の組み合わせなど、河床構造における相対的位置関係と深いかわりを持つことが一般的である。このため、材料調査ポイントの空間配置を、河

床構造との関係を考慮して適切な代表性が得られるようにするのが理想的である。しかし、こうした観点から、現場の河床構造を観察しつつ、偏らず調査ポイントを選定するには高い技術力を要し、それを標準的手法にしてしまうと、かえって、偏った材料調査点群が選定されてしまうことも考えられる。そこで、ここでは、機械的に一定間隔で位置選定を行い、多点で材料を調査し、多くの粒度分布を合わせて見ることにより、上記の目的を達成しようと考えている（5.3.2(2)1) d) を参照）。

河床構造と河床材料の平面分布との関係を踏まえた分析を目的とする場合には、5.3.2(2)2)a) で説明する河床材料の平面分布を把握する概略調査を行う。さらに精密な情報が必要となる場合は、リーチスケールにおいて河床構造がわかるような河床縦横断・平面形状の測量を行い、さらに河床材料調査を平面的にきめ細かく行うことになる（5.3.2(2)2) b) に示すリーチスケールの平面分布調査を参照されたい）。その際においても、5.3.2(2)1) d) で述べるように、ここに示した河床材料調査の結果を整理・分析して得られる粒径集団の特性が基本情報として用いられる。

5.4.3(3) で述べる付着藻および底生動物調査の一環で行われる河床材料調査は、基本的に瀬を対象に生物との関係を分析するためのものであり、当該河道区間の河床材料の特性そのものを全体的に把握する目的は有していない。したがって、ここで述べた河床材料調査と 5.4.3(3) の生物調査の一環としての河床材料調査は、直接的には、互いに代用できるものではない。しかし、同じ河床状況に関するものであり、両方の分析結果を合わせて見ることにより、互いに補完的な情報として活用することがのぞましい。

なお、河床にある大きな礫は、河床変動特性や河床材料の移動特性を分析する上で重要であり（たとえば福岡 2008）、現場で材料を採取するのが難しいからと、それを避けるような調査を行うことは絶対にあってはならず、その意味でも、そうした調査上の制約が無く、大きな礫まで容易に測定できるという面積格子法や線格子法の特長を生かすことが大事である。

エ 調査時期と出水のタイミング

比較的大きな出水の直後では、一般に出水時に送流された多様な粒径の砂礫が一時的に堆積している場合が多い。これらは、平常時の状況や小出水等により徐々に流下し減少していく場合が多い。このため、調査時期が出水後どの程度経っているかを、分析において考慮することが必要であり、調査時期の選定においてもこのような観点からの留意が必要である。出水時における支川の土砂供給の可能性を推定する材料として、河床材料調査結果を用いるのであれば、出水直後の河床材料を分析することも有効である。

【参考】

「容積サンプリング法」、「面積格子法・線格子法」に相当する調査法は、米国ではそれぞれ bulk sample, Wolman point count sample と呼ばれる。また、平面採取法に似た方法とし

て、Klingeman surface sample がある。ただし、この方法では、表面に露出している石の最大粒径の少なくとも 5 倍程度の半径を持つ円を河床表面に設定し、その最大の石を取り除いた後に露出する河床深さまで、円内にある全ての材料を採取するというものである。平面採取法に比べ、採取する材料の範囲・深さが明確であり、石以外の細粒の土砂も採取対象になると言う長所がある。しかしそれでも、種々の粒径の石がある中で、決められた一定の深さまでの材料をきれいに採取することは実際には難しく、どの材料まで採取するかの判断に難しさ、ばらつきが残ると思われる。ちなみに、米国では、Wolman point count sample は表面の粗度の分析に適し、Klingeman surface sample は、大粒径まで動く水理条件下での土砂輸送に供される材料（いわゆる交換層の材料）の把握に適すと言われている。（Parker 2008）

なお、容積サンプリング法においては、最大粒径粒子に対して十分な量の材料を採取する必要がある。ここで対象としているような山地部河道では、巨礫が存在することが珍しくないなど最大粒径が大きいことが一般的なので、適切な丸ごと採取を行うには、狭い河道で大量の掘削を行うことになり、實際上難しい。この点においても、採取を必要としない表面の河床材料把握を基本にすることには合理性がある。それでも容積サンプリング法を選択することは構わないが、最大粒径に対して極めて不十分な量の材料しか採取しないなど手法の主旨に合わないやり方で、形だけの（活用が難しい）データを作るような態度は厳に慎むべきである。

【トピックス】面積格子法による調査の例

みお筋付近の調査を面積格子法で行う場合、その多くが水中作業となる。河川の流速が比較的緩やかであり、安全管理上調査が可能と判断された場合は、以下の方法で調査を行うことが望ましい。

【水深が膝下程度の場合】

格子点の下にある材料を正確に採取するにあたり、流水による波立ちや太陽光の乱反射を防ぐため、箱眼鏡等を用いて調査を行うなどの工夫が必要である。



水深の浅い箇所の面積格子調査

※光の反射を防ぐため箱眼鏡で格子点下の材料を確認し採取

【水深が腰高以上の場合】

ダイバーによる潜水作業により行う。調査にあたっては、ダイバーが調査可能な流速・水深であること、格子枠が浮き上がらないよう工夫することなどが必要である。



水深の深い箇所の面積格子調査

※ダイバーにより水中内で作業

なお、調査に当たっては調査員自らが河床を攪乱することがないように配慮する必要がある。

また、調査には危険が伴う。少しでも安全管理上問題がある場合は、水中の材料と類似した場を浅瀬や水際等に求めるなど、調査を安全に行うよう十分考慮する必要がある。

c) 画像処理法

河床構成材料の調査は、作業に時間と手間がかかるほか、経済的な負担が大きいといった課題がある。また、調査結果は現況河川の分析や計画等に重要な意味をもつが、単独では「データの積み上げ」という位置づけになりがちであり、分析が後送りになりがちである。

このため、一部の河川では、河床に分布する材料を巨視的にとらえ、これをグルーピングすることで調査地点の選定を行うとともに、その地点の材料を画像処理することで調査の効率化を図っている。この方法は精度的に見てまだ検討段階であるが、考え方として紹介する。

対象区間の河床に分布する材料の粒径の撮影は、以下が実用化されている。

- ・衛星写真（ICONOS データ、解析限界 1m）
- ・セスナ、ヘリコプターによる空中写真（解析限界 飛行高度より 0.5m が可能）
- ・バルーン、ラジコンヘリによる空中写真（解析限界 飛行高度より 0.05m が可能）

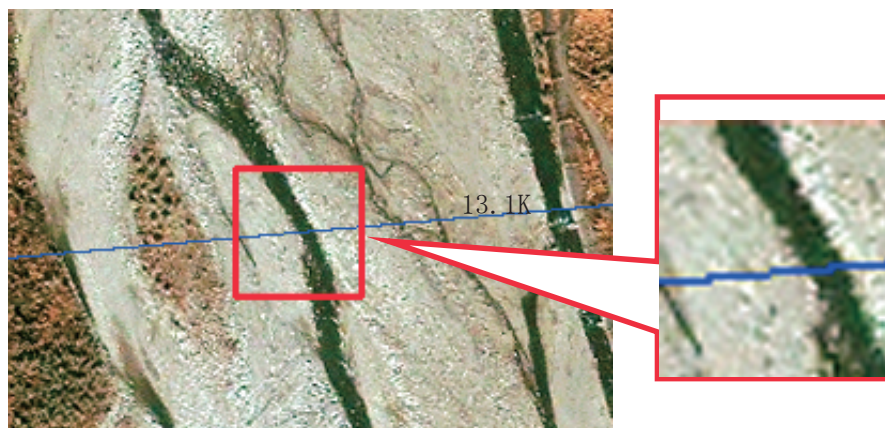


図 5.3-9 (1) 衛星写真（ICONOS）による

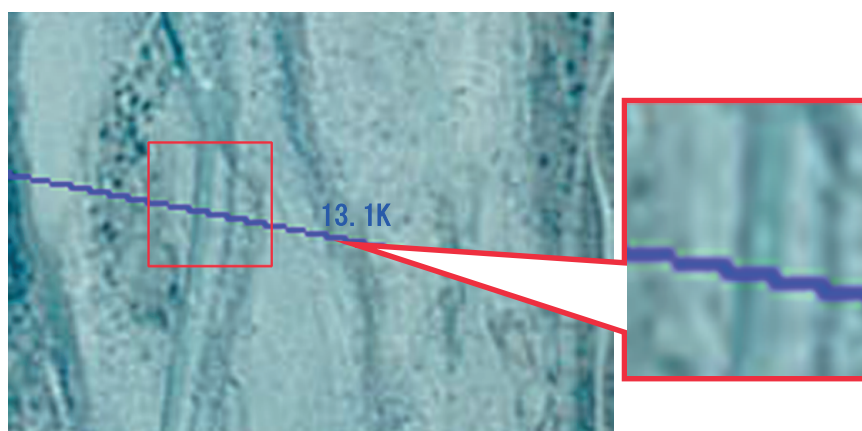


図 5.3-9 (2) セスナ、ヘリコプターによる



図 5.3-9 (3) バルーン、ラジコンヘリによる

撮影された航空写真が高解像度の場合、この画像を用いて画面上で粒径区分を行う。具体的には、撮影された画像をゆがみ補正したうえで、材料を画面上でトレースするとともに着色する。その後にスキヤニングを行い、色ごとの材料の投影面積を読み取り、直径を算出する。ここに直径は材料を正円と仮定し面積式 ($A=\pi r^2$) から求める。着色する色は、スキヤニングするソフトに対応したものとすることで、粒径毎の判読が可能となる (図 5.3-10 参照)。集計は面積格子法と同様、個数百分率により行う (図 5.3-5 参照)。

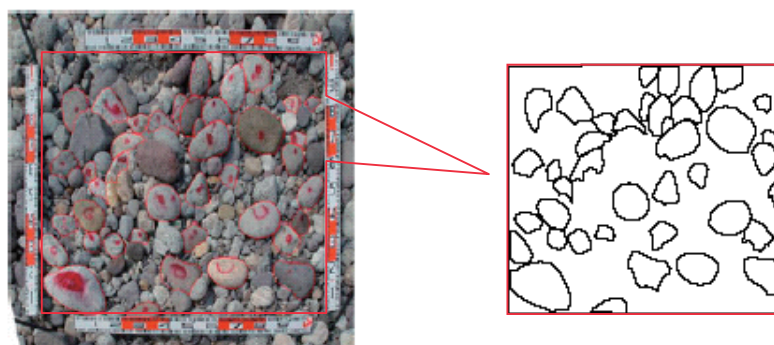


図 5.3-10 礫の画像処理による分析イメージ (山崎ほか 2007)

この方法のメリットは、画面上で粒径区分が整理できることであり、デメリットは、細粒材料に対する判定が難しい場合があることと (解像度の問題)、画面上での作業に時間を要することである。「画面上での作業に時間を要する」とは、撮影した画像にある礫の粒径をすべて計測する必要があることをさす。個別の礫の粒径を自動的に画像認識させる技術の開発が望まれる。

d) 河床構成材料の定量的分析

河床構成材料の分析においては、2.2で説明したように、材料m、材料s、材料tに分けて考えることが重要であり、分析の第一歩となる。河床材料調査から、これらの区分を行った事例を以下に示す。

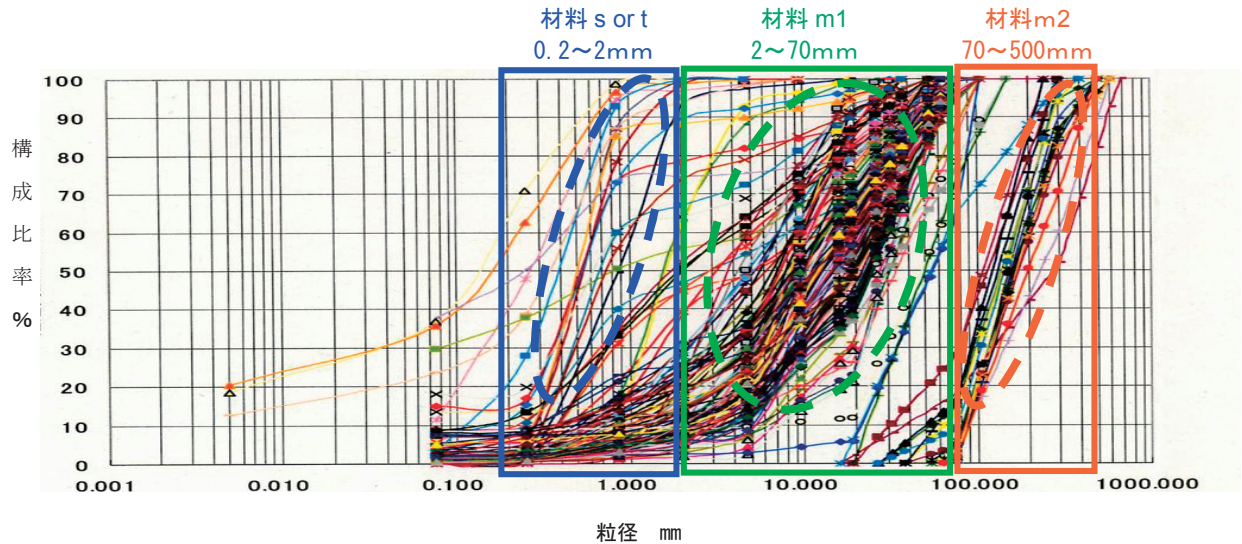


図 5.3-11 粒径加積曲線と材料 m, s, t の例 1 (再掲)

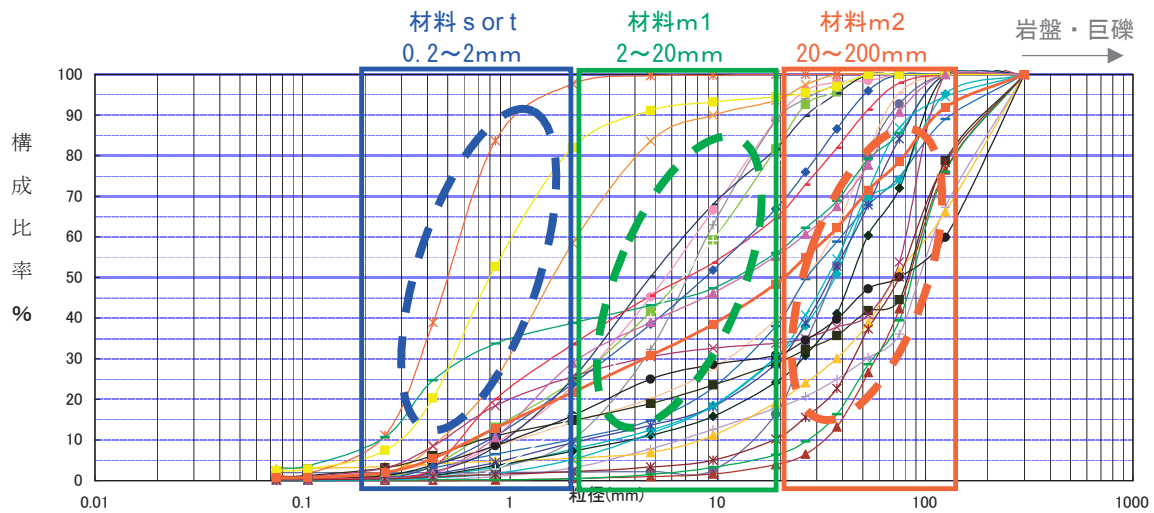


図 5.3-12 粒径加積曲線と材料 m, s, t の例 2 (再掲)

図 5.3-11、図 5.3-12 に示す粒径加積曲線の 2 つの例は、それぞれ同一セグメント区間における河床表面に関する材料調査から得られた粒度曲線を全て重ね合わせたものである。このように全て重ね合わせて 1 つの図に表すことで、当該区間の材料分布の全体像を掴むことができる。材料 **m** は図中の緑や橙から、あるいはその両方から構成されていると見ることができる。図中の青は、湾曲部の内側に形成されている砂州や岩盤・巨礫の裏側（下流側）、堰の直上流部に分布している場合が多く、これらは材料 **t** に分類される、あるいは材料 **s** になるものと分類できる。

図 5.3-1 のデータにおいて、**m2** は **m1** に対してかけ離れて大きい。実際、山腹からの直接供給が原因であり、上流から流送されてそこにあるものとは違うと見ることができる。このように、材料 **m** の中でも、動きの特性が根本的に異なる集団を特定することが大切である。

以上の整理・分析は、河床材料の特性を理解する上で極めて重要であり、また、この結果は、次項 5.3.2(2)2 で説明する河床構成材料の平面分布特性の把握に用いられる。

2) 河床構成材料の平面分布

a) 広域的な整理・分析

検討対象とする区間における河床材料の状態やこれにより形成される瀬淵の分布等を概略的に把握することを基本とする。整理・分析の項目は以下とする。調査の流れを図 5.3-13 に示す。

- 河床構成材料の平面分布（材料 **m** (**m1**, **m2**, ...)、**s**, **t** などの平面分布）
- 浮石、はまり石等の分布
- 瀬淵の分布

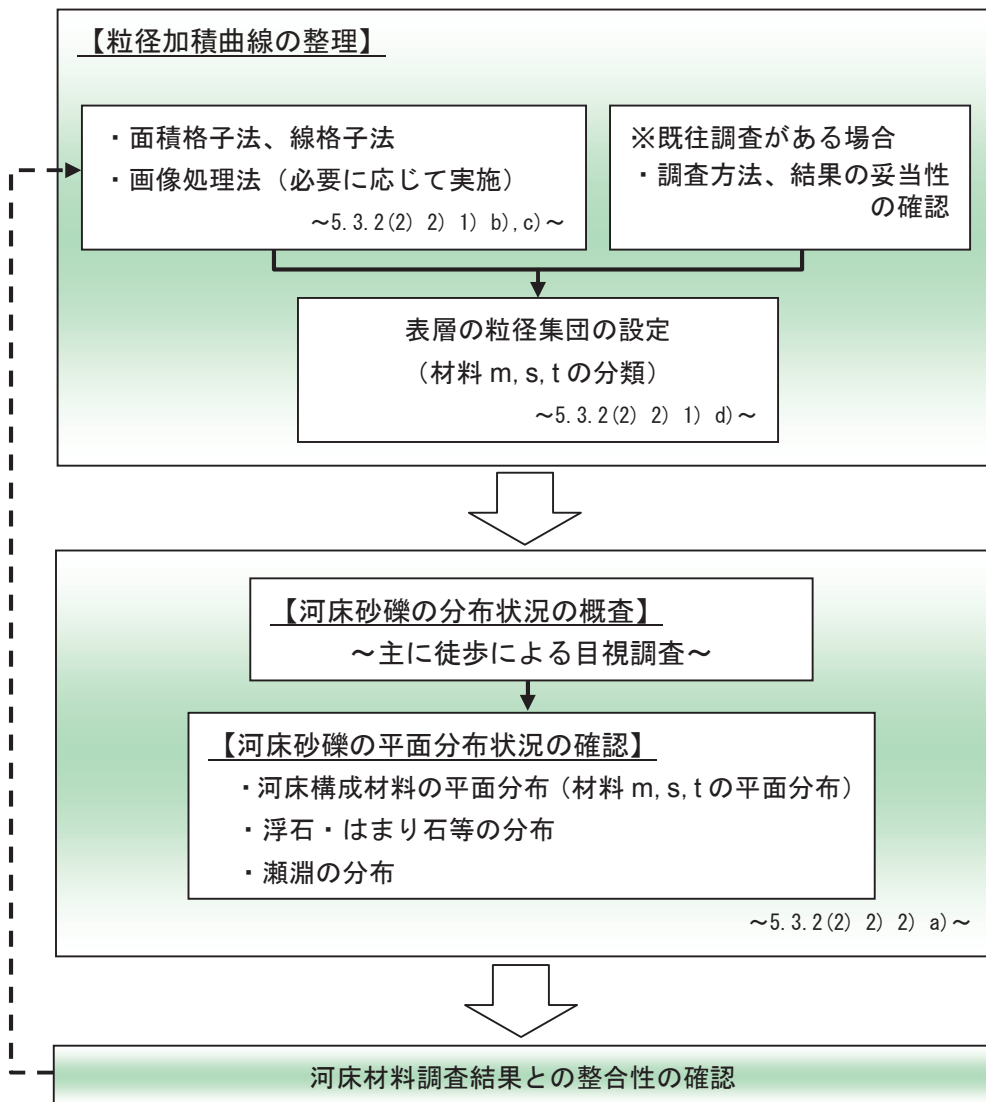
河床構成材料の平面分布には、上記に加えて、岩盤・構造物・巨礫の局所的集積など粒径集団で表せないものを入れることが必要である。特に岩の存在は、山地河道において重要な情報となるので、その分布を適切に把握することが大事である。

図 5.3-13 に示すように、ポイントでの河床材料の粒径分布の調査結果、それに基づく粒径集団の特定、その粒径集団を単位とした平面分布の把握が基本となる。これらを一方向的に 1 サイクル行えば満足な結果が得られるとは限らず、これら 3 つの要素が整合するよう、必要に応じて各調査を繰り返し、現場状況把握の精度を高めていくことが重要である。このプロセスを経ることで、当該河川区間の河床材料の成り立ちについての理解を深めることができると期待される。逆に、一通りの調査を終えた段階で、不整合があるのに平面分布を確定してしまうような形式だけの調査は避けなければならない。

- ・河床構成材料の粒径（粒度分布）の調査（5.3.2(2)1 b）、場合によっては c）も）
- 既往調査がある場合には、調査法の妥当性の確認



- ・当該河川区間の河床を構成する粒径集団の整理・分析・特定（5.3.2(2)1) d)）
- ↓
- ・河床砂礫の平面分布状況の概査（本項 5.3.2(2)2) a)参照）
- ↓
- ・河床砂礫の平面分布状況の把握→材料 m (m_1 , m_2 , ...) s , t の平面分布（必須）、
岩盤・構造物・粒径集団で表せないもの（必須）、浮き石・はまり石等の平面分布
（必要に応じて）、瀬・淵等の河床形態の平面分布（基本的に実施）
- ↓
- ・河床材料調査結果との整合性の確認→整合性に問題があれば、必要に応じて追加
調査を行い、ポイントの調査結果（粒度）と平面分布の調査結果が大局的に整合す
るレベルの調査に到達するようにする



図中の番号は章及び項番号

図 5.3-13 河床構成材料の平面分布調査方法

ア 浮石、はまり石等の分布（必要に応じて調べる）

浮石、はまり石の定義は図 5.3-14 に示すとおりである。その定量的な根拠は明確ではない。現地調査により、目視確認を行うなどにより整理する。調査は、図 5.3-13 における「河床砂礫の分布状況の確認」時にあわせて行うことが望ましい。

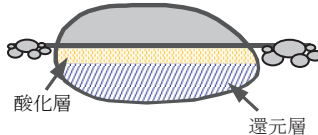
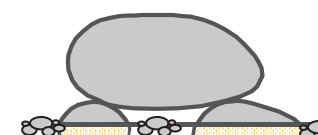
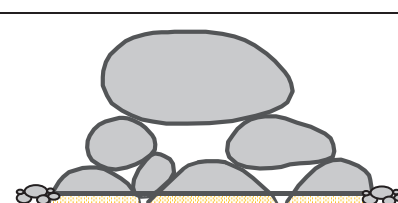
物理的分類	生物学的分類	礫の状態
↑ はまり石	はまり石	
	載り石	
↓ 浮き石	浮き石 (小隙間)	
	浮き石 (大隙間)	

図 5.3-14 礫の状態の定義（竹門ほか 1995 一部改）

イ 瀬淵の分布（基本的に、調べておくのがよい）

瀬淵の定義は、河川生態学では一般に以下によっている場合が多い（水野・御勢 1972）。

早瀬：水深が浅く流速が早い。水面には白波が立ち河床は礫が浮石。

平瀬：水深は浅く流速は比較的早い。水面はしわのような波が立ち河床は沈み石。

淵：水深は深く流速は緩い。水面は波立たず河床は砂で覆われていることもある。

現地調査により、目視確認を行うなどにより整理する。調査は図 5.3-13 における「河床砂礫の分布状況の確認」時にあわせて行うことが望ましい。なお、これらは観測する流量や観測者の感覚に依存する場合が多い。したがって、瀬淵の調査にあたっては、どのような状態を持ってこれを位置づけるか、事前に定義付けを行うとともに、現地においてこれが判断可能となるよう調査手法に工夫をくわえる必要がある。

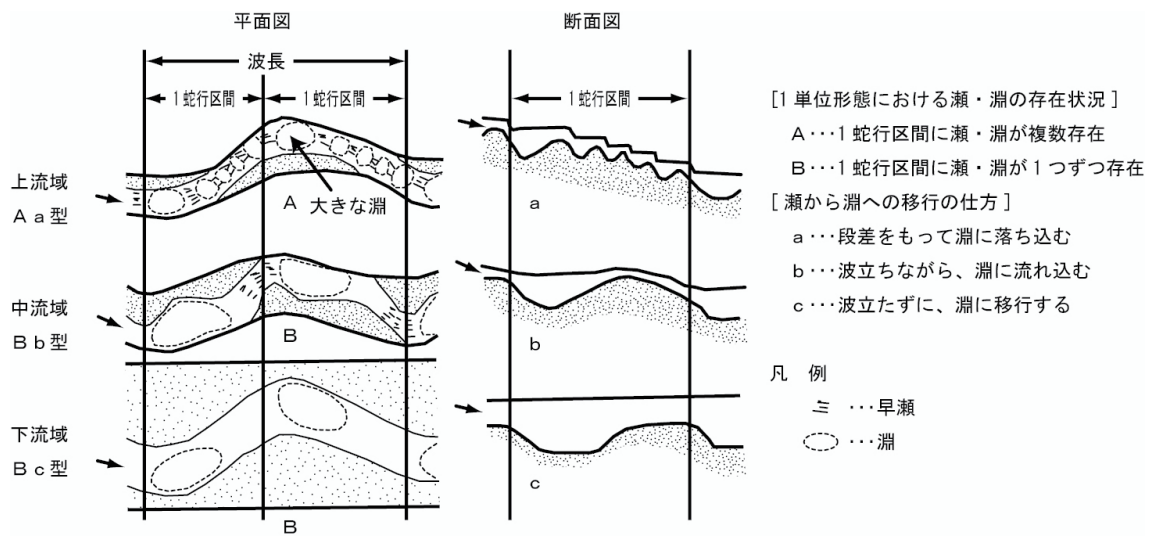


図 5.3-15 河川形態の基本的な 3 型の模式図（可児 1944 一部改）

ウ 調査結果の整理

図 5.3-16 に整理例を示す。

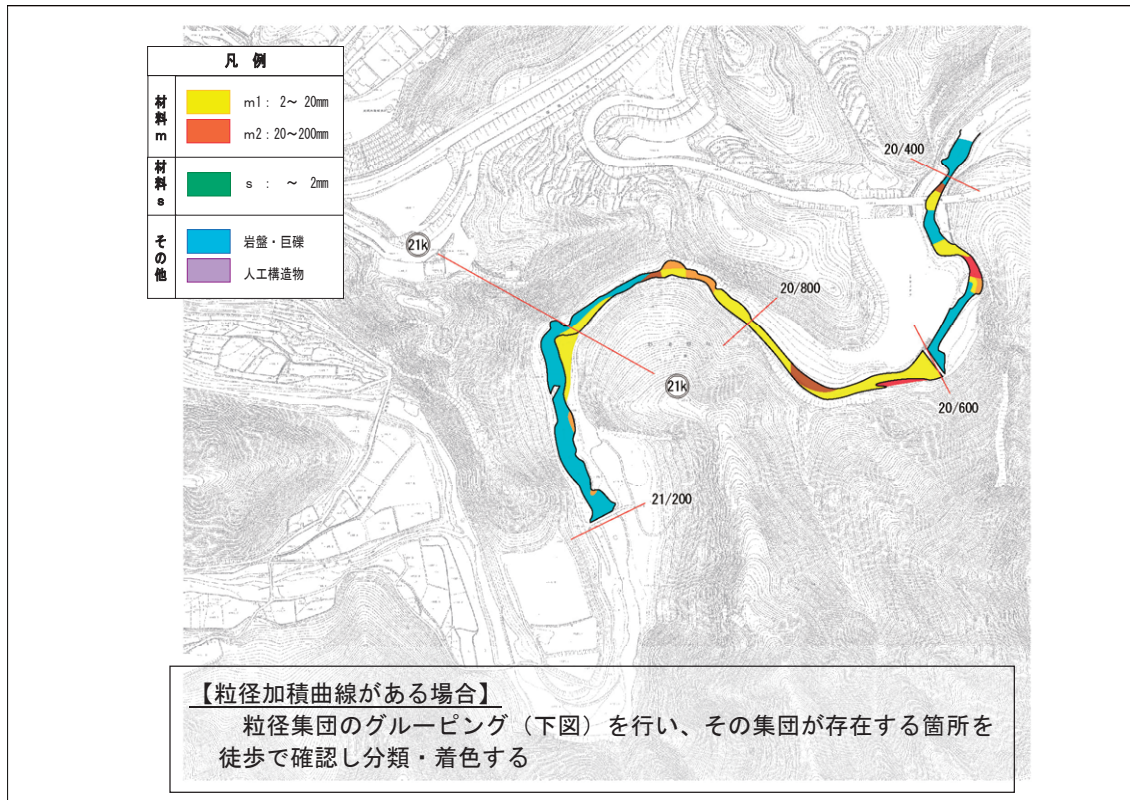


図 5.3-16 (1) 河床構成材料の平面的分布の把握（材料 m, s, t の分布）

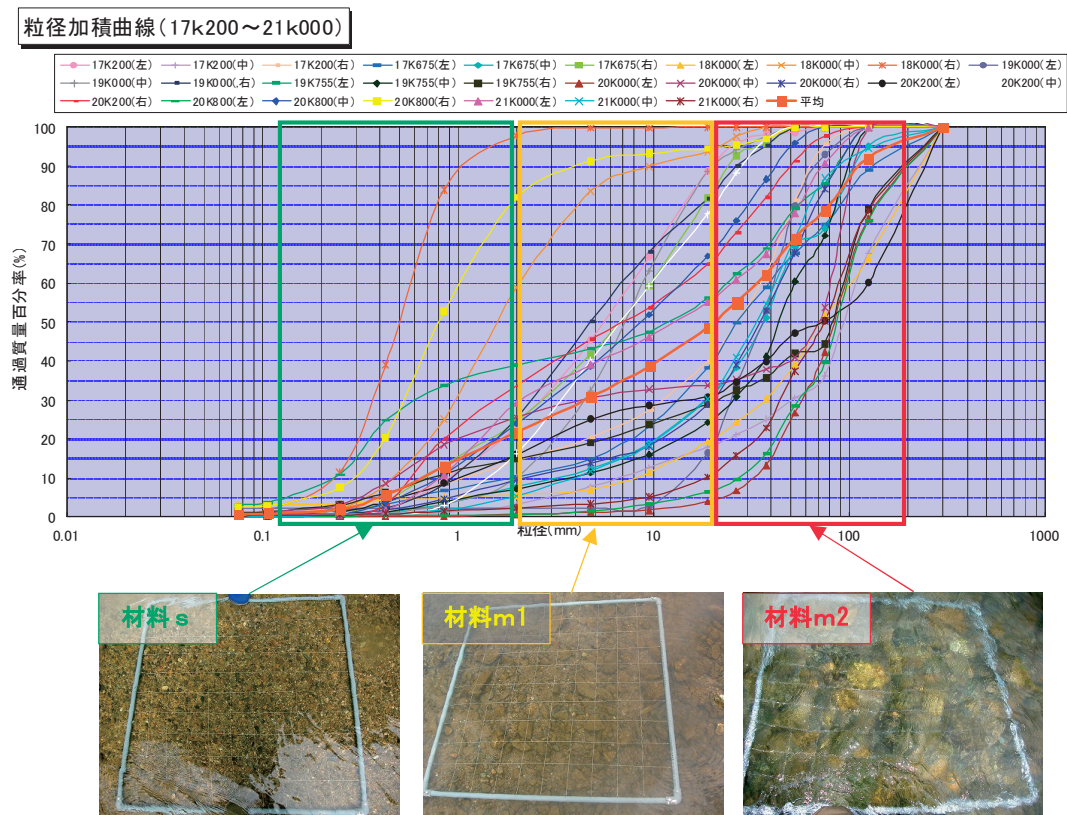


図 5.3-16 (2) 河床構成材料の粒径分布の把握（材料 m, s の分布）

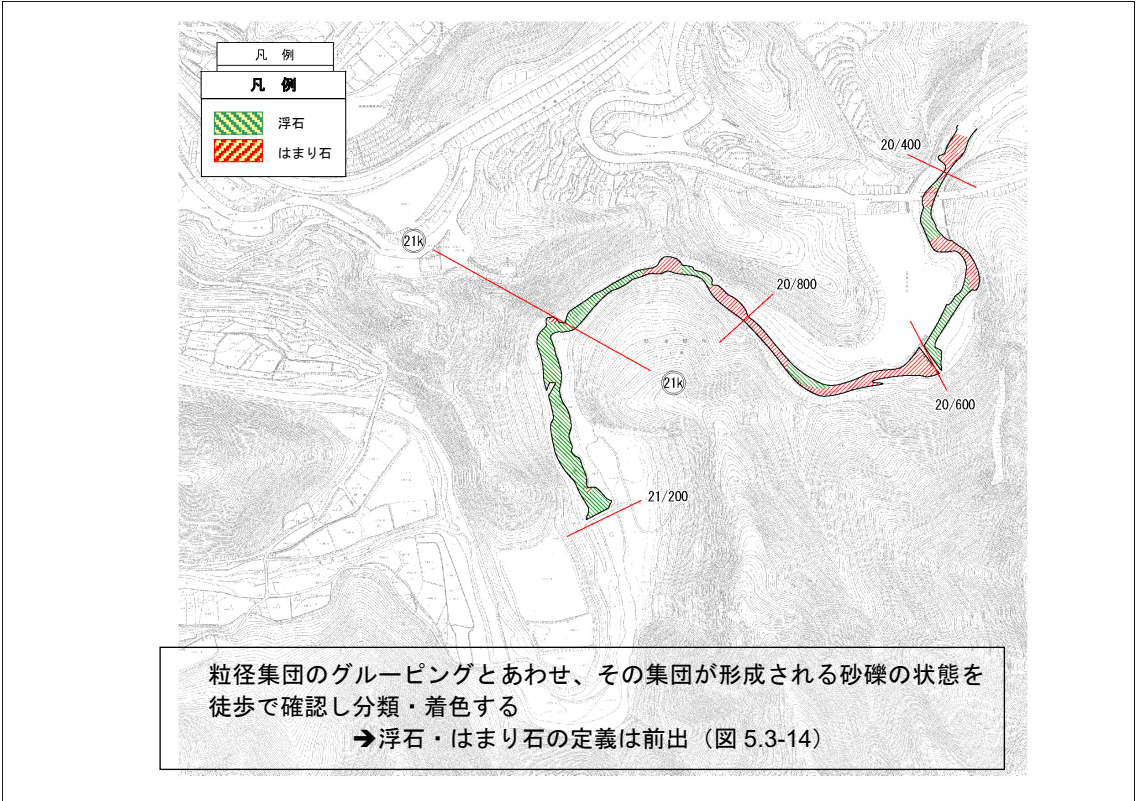


図 5. 3-16 (3) 河床構成材料の平面的分布の把握（浮石・はまり石の状態の区分）

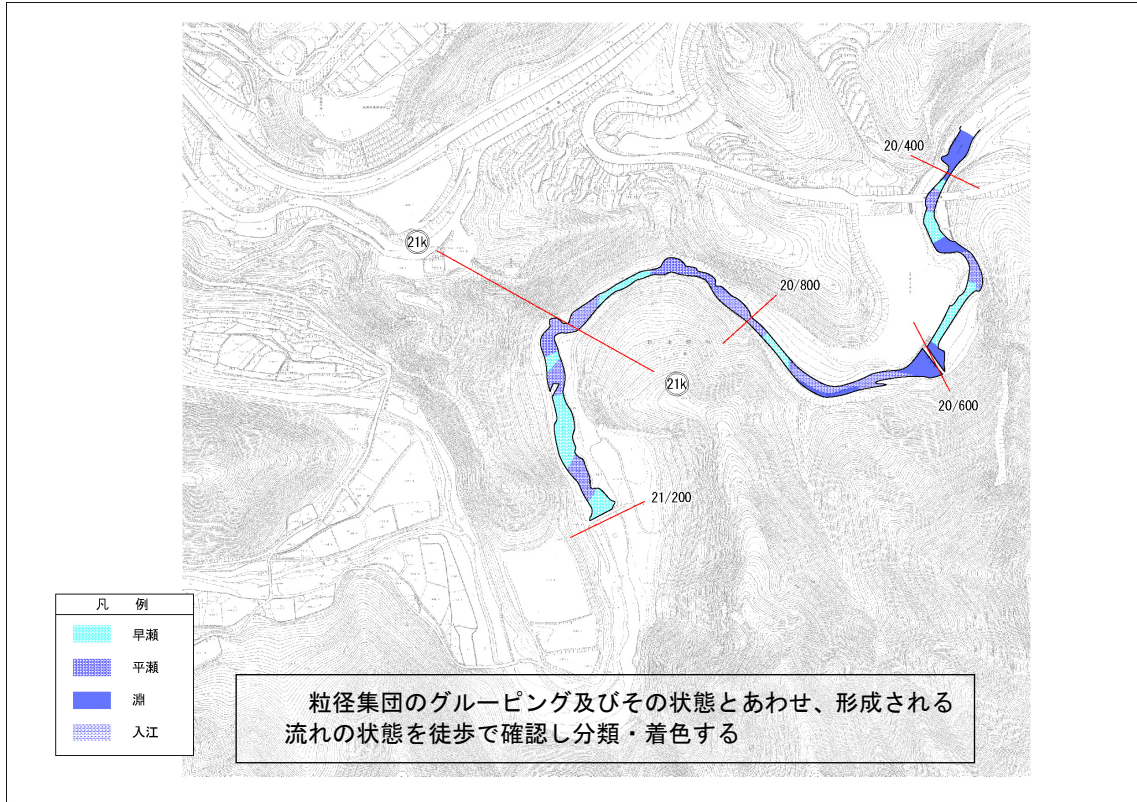


図 5. 3-16 (4) 河床構成材料の平面的分布（瀬淵の形成区分）

【トピックス】砂州の形成、階段状河床の形成

一般にダムは山間部に建設される場合が多く、河川は単列砂州形状をなす場合が多い。しかし場合によっては、ダムサイト付近が複列砂州の形状をなし、みお筋が出水により大きく変化する場合もある。

単列砂州には、曲がりの平面形状によりできる固定砂州と交互砂州により形成される砂州がある。このような河川では、平瀬・早瀬・淵が縦断方向に概ね規則的に出現することが多い。

またダムは、射流が生じるような河床勾配でかつ川幅の狭い山間溪谷地に建設される場合も多い。このような河川では、大礫や巨礫が横断方向に並び、肋骨のようなステップが複数形成された階段状河床が見られる。流れは下流の比較的浅いプールに落ち込み、直後に跳水を起こす（長谷川 2005；目黒ほか 2001；滝澤ほか 1998）。

階段状河床の形成条件として、芦田ら（芦田ほか 1984）は、①河床材料が混合砂であること、②流れが射流であること、③初期河床で平均粒径以上の砂礫が移動し、分級活動が活発に起こること、④最大径の礫が移動しないこと を指摘している。この形態は比較的強固であり、形成時の流量が大きなものほど壊れにくい。

ダムの供用により、河床の洪水流量が減少する場合には、こうした砂州や階段状河床という河床形態を形成させる作用が弱くなることから、種々の要因により乱され変形させられた場合、元の形が徐々に不鮮明になることが考えられる。あるいは、砂州を移動させる作用が弱まり、固定化することも考えられる。攪乱が小さくなり、砂州や階段状河床の固定化や砂州の樹林化といった現象が生じる可能性がある。

河床構成材料の調査や河川測量を実施するに当たっては、あわせて砂州や階段状河床の形成状況や現在の攪乱の状況を推測できるような痕跡等を把握しておくことが望ましい。

b) リーチスケールの平面分布調査（参考的例示）

ア 調査目的

例えば動植物の生息場として河床砂礫を見た場合、5.3.2(2)1)b)で示した1km間隔などの調査位置設定では、空間的に粗すぎ、生息場の材料mの粒径やその面的な分布状態を正確には把握できない。このため、動植物の観点から生息場を詳細に把握する必要がある場合は、河床材料の面的な分布を、リーチやマイクロハビタットのスケールで把握する必要があるが出てくる。このために、調査地点や頻度を増やすなどの詳細化が必要となる。

以下に示すリーチスケールの面分布調査の参考例は、河床砂礫の平面分布の経年的変化を把握することにより、ダム下流河川の河床形態の変化特性に関する基礎資料を得ることを目的とするものである。こうした調査手法はまだ確立されておらず、試行しながらより適切な方法を見いだしていくというスタンスが求められる。

イ 調査地域

- ・瀬淵の1セット（平瀬～早瀬～淵）を把握可能とする河道長
- あるいは
- ・支川の合流前後の変化が把握可能な河道長

ウ 調査方法

河床を5m（横断方向）×10m（縦断方向）のメッシュに分割し、その交点に分布する砂礫の粒径分類を整理する。主な調査範囲は、洪水の影響を強く受ける領域とし、樹木が生育する箇所は除外するなどの配慮が望ましい。なお、中州や高水敷等、容易に冠水しない箇所は、省くか、横断調査ポイントを粗く設定するなど、省力化をはかる。

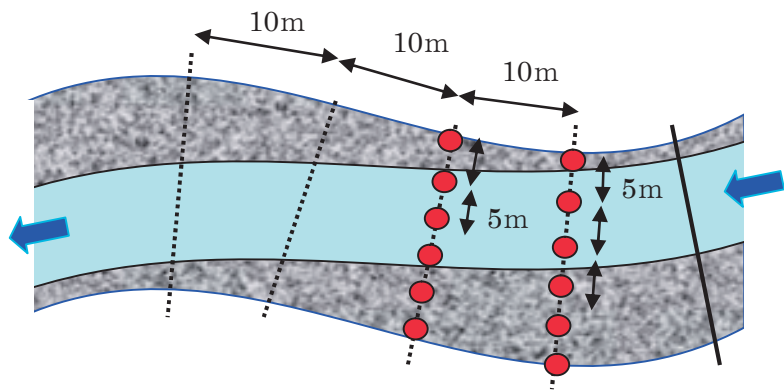


図 5.3-17 リーチスケールの面分布調査地点（例）

砂礫の粒径をあらかじめいくつか分類しておき、それぞれの割合の平面分布状況を調査して整理する。



	砂	小礫	中礫	大礫	状態
比率 (%)	10	70	20	0	はまり石

	砂	小礫	中礫	大礫	状態
比率 (%)	20	30	30	20	浮石

2 mm以下（砂）
2～16 mm（小礫）
16～64 mm（中礫）
64～256 mm（大礫）

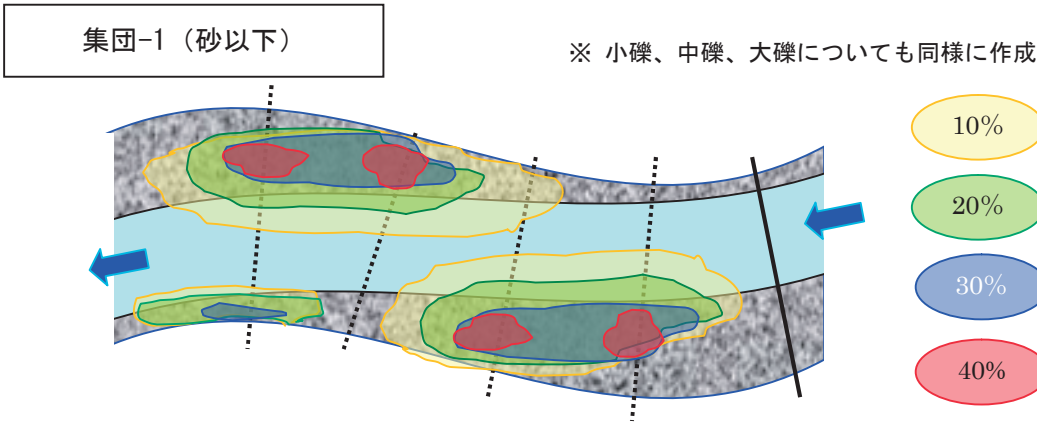


図 5.3-18 面分布調査結果の整理例

(3) 河川測量

1) 河道測量の必要性

河道に働く物理諸量を把握する上で、河道の縦横断測量成果は必須である。河道の基本諸元として、近年の河道形状（縦横断形状）を整理する。現況の分析に用いることから、至近年であることが望ましい。なお、場合によっては測量がなされた最新年が過去数ヶ年にまでさかのぼる場合がある。その際は、測量がなされた年以降、近年までに大きな洪水等による変化（被災や災害復旧による改修等を含む）が生じていないことを確認する。

また、河川管理区分から、必ずしも事業者が全ての必要調査区間における測量成果を有していない場合がある。その際は、関係する管理者（例えば都道府県など）から資料を入手するなどの対応が必要である。なお、関係する管理者も測量の成果を所有していない場合は、事業者が新たに測量を実施するなどの対応も必要である。

測量区間は「1.3 調査対象範囲について」を参照する。

たとえばダム直下流における砂礫の流送特性を把握することが必要な場合（たとえば河床変動計算を実施する場合の上流境界条件としてなど；6.3.3 参照）において、ダムサイト付近の河床勾配が縦断的に連続せず急変する場合は、ダムサイトより上流の河道の検討も必要となる。この場合には、ダムサイト上流（背水区間より上流の流水区間で上流からの土砂流送を追跡可能な区間）までの測量を実施する必要がある。

2) 水準測量

河川形状の調査は、多くの河川で定期的に行われている水準測量を基本とする。

測量の区間距離は、河川管理等において用いられる間隔を基本とする。過去の測量成果との重ね合わせを可能にすることにも配慮する。

なお、以下の場合は測量区間の重点化・簡略化が考えられる。

【重点化】

河床構造と河床材料の平面分布との関係を踏まえた分析を目的とする場合で、精密な情報が必要となる場合は、リーチスケールにおいて河床構造がわかるような河床縦横断・平面形状の測量を詳細に行い、さらに河床材料調査を平面的にきめ細かく行う（5.3.2(2)2) b)を参照されたい）。

【簡略化】

河床形状がおおよそ一様であり、関係する資料から河床勾配に大きな変曲点が無いことが明らかな河川を対象にする場合、以下の点を踏まえつつ簡略化を考える。

- ・過去の測量成果がある場合は、その測量線と合わせる（過去からの形状変化を分析する資料ともなるように）。
- ・河床形状の変化を適切に表現できること。

3) レーザープロファイラ調査

過去に測量実績が無いか不足していて、かつ社会経済的に見て定期横断測量の新規の実施が難しい河川では、LP（レーザープロファイラデータ）を用いた河川測量が用いられている（たとえば、中小河川整備状況評価手法検討国総研チーム 2006）。LP（レーザープロファイラデータ）は地表に向かってレーザーを発射し地表の高さを調べる方法である。この方法は、調査が定期測量に比べ安価で早いことから、一部の平地河川において採用されている。

この調査方法は以下の点で課題が残されている。

- 樹林が繁茂する山間溪谷部の横断形状把握が難しいこと
 - 水面下の形状が把握できないこと（ただし山地河道では水深がさほど大きくないので、その点では有利である）。
 - 河道内植生をある程度認識できるが、その精度にばらつきがあること。
- これらについては、今後一層技術開発が必要となる。

(4) 堆積層厚調査

2.7 に述べた山地河道を考える上でのポイントからもわかるように、堆積層厚は、ダムの供用による河床砂礫の変化を予測するために重要な項目である。たとえば、堆積層厚が厚く堆積している河床では、ダムの供用により材料の流出が供給を上回れば、河床は低下し材料 m が変化することが考えられる。しかし、堆積層厚が薄く堆積している場合は、河床低下は小さく材料 m はなくなり露岩化するといった現象が生じるかもしれない。

また、これらの現象を後述（6.3.3. (1)）する河床変動計算により予測する場合、予測結果は堆積層厚の設定により異なることになる。

堆積層厚は、現存する横断構造物（橋梁、堰堤等）の工事におけるボーリング調査図面を基本とする。またこれらの資料が存在しない場合は新たにボーリング調査を行うことが考えられる。あるいは兩岸ともに岩盤に囲まれているか、地質上同様な、といった観点から堆積層厚を簡易に推定することも検討する。

(5) 支川の河床構成材料

河川によっては、ダム下流河道とこれより下流に合流する支川の河床構成材料や土砂供給特性が異なる場合がある。たとえば支川の地形が急峻で、風化の進んだ地質により構成されていたり、河岸の土砂崩壊が著しい場合には、出水時に多くの土砂がダム下流河道に合流すると考えられる。

支川からの土砂流入が、ダム下流河川において生じる材料変化の傾向に有意な影響を持ちうると考えられる場合には、支川の河床構成材料やその発生源について整理することが望ましい。分析の観点については、第3章末尾に参考として示したので参照されたい。

河床構成材料の調査方法は、5.3.2(2)と同様である。

(6) 人為的影響の実態調査

河道は、治水上の洪水防御や利水上の安定取水、さらには河床材料の利用等を目的として改変が行われてきた。この改変は、出水等による自然の攪乱とは異なるため、場合によっては河床形状や河床構成材料が自然の作用によるものとは異なった状態になる場合が見られる。このような河川では、後に実施するダムによる河床形態の変化を分析する上で、その影響を考慮することが大事になる。このため、河川の整備履歴やこれまで受けてきた様々な人為インパクトを整理する必要がある。

対象としては以下が考えられる。

- 砂防堰堤（不透過型、透過型）
- 既設ダム（貯留型ダム、流水型ダム）
- 利水用取水施設（農・工・上水用、発電用）
- 河川改修（堤外地の掘削）

1) 砂防堰堤（不透過型・透過型）

ダム上流や支川に設置されている砂防堰堤は、現在の土砂供給特性を把握するために重要な情報であることから、以下について調査を行うことが望ましい。

- 堰堤の構造
- 堆砂の状況（堆積する土砂粒径、堆砂形状、堆砂量）
- 堰堤上下流（いずれも流水区間）の河床材料
- 砂防指定区域の状況

2) 既設ダム（貯留型ダム、流水型ダム）

対象ダムの上流に既設ダムが存在する場合、ダム供用年数にもよるが、既にその河川は既設ダムの影響を受けた河川である場合が考えられる。

既設ダムが存在する場合は、以下について調査を行うことが望ましい。

- 既設ダムの建設年、供用期間
- 既設ダムの洪水調節方式（計画）及び流量調節実績

- 既設ダムの平常時放流量（減水区間の有無とその区間）
- 既設ダムの堆砂状況→発生土砂量及び土砂粒径の推定に重要

3) 利水用取水施設

利水用取水施設は、大きく「ダム型」と「堰堤型」に分けられる。このうちダム型は、主に農業用ダムや水力発電用ダムとして供用されており、堤高 15m 以上の貯留型構造である。ダム型は土砂を止めるという観点で見れば、基本的に前出の「2) 既設ダム」と同じインパクトであることから、ここでは、「堰堤型」を対象とし、以下に「利水堰」という。

対象ダム上下流に利水堰が存在する場合は、以下の状況について調査することが望ましい。

- 利水堰の建設年、使用期間
- 利水堰の構造（ゲート敷高と河床高の関係）
- 利水堰の運用方法（開閉操作規定）
- 湛水池の堆砂状況（湛水池河床高、堆砂量と経年変化）
- 湛水池の河床材料
- 湛水池上下流（いずれも流水区間）の河床材料

4) 河川改修

現在護岸施工や掘削、砂利採取などが実施されている河川では、工事により一時的に攪乱されることで出現する細粒砂礫が、材料 m 及び材料 t の空間的な広がりを誤って理解させる要因ともなりえる。このため、ダムによる変化と直接改変である護岸工事による変化を分離することを目的として、以下の調査を行うことが望ましい。

- 工事範囲及びその工法（仮設工法を含む）
- 過去（近年）の工事实施の有無
- 土砂掘削位置及びその期間
- 土砂掘削量及びその時期
- 掘削した材料の粒径



— : 護岸区間 — : 山付区間 — : 低水路護岸区間 — : 人工構造物（堰・床止め・ダム）

図 5.3-19 護岸の整備状況の整理例

(7) 河道の歴史的変遷

1) 過去の洪水履歴

河川においては、過去に大小さまざまな出水が繰り返し発生することにより、流量や河床構成材料に変化を及ぼし、現在に至っている。この変化を及ぼす外力として、過去にどのような出水が発生してきたか把握することを目的とし、過去の洪水履歴を整理する必要がある。ここで言う洪水履歴とは、過去に発生した洪水流量の大きさおよびその頻度、これにより発生した洪水被害の概況をさす。

a) 洪水流量

採用する流量は、各河川で観測される主要な地点の時間流量とし、これを年発生状況がわかるよう時系列に並べることにより整理する。

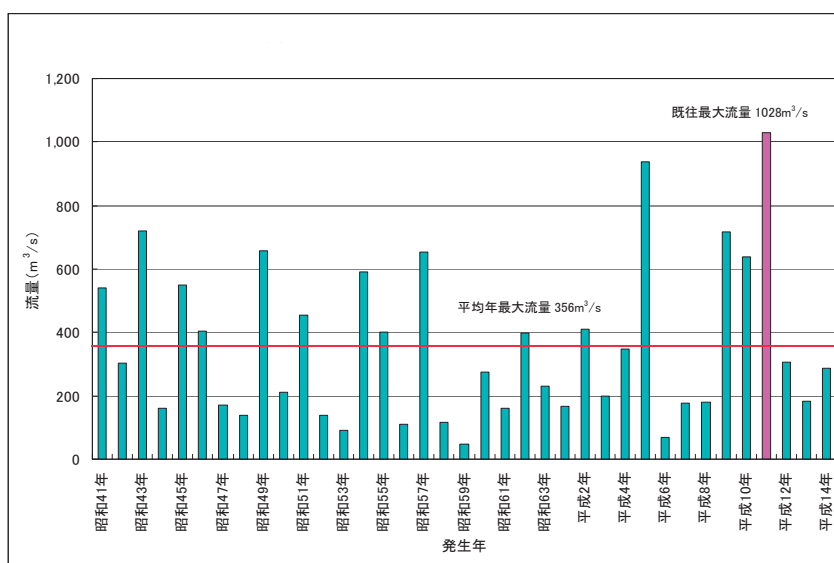


図 5.3-20 年最大流量の時系列と平均年最大流量

流量整理の単位として、時間流量を採用するのは、出水における瞬間最大値を把握することを目的としたためである。日流量は、一般に毎日の定時流量であるため、必ずしも発生流量の大きさを表したものとなりえないため、そのデータは参考程度にとどめる。なお、時間流量であっても十分にピークをつかむことができない場合において、過去から現在に渡る継続的な流量の整理が可能な場合は、より細かい観測時間単位での値（例：10分ごとの観測値の最大値）を使用してもよいが、その際には既往の整理結果との関係に注意が必要である。

流量観測データが存在しない場合は、流出計算に基づき算出した値をもって整理せざるを得ない。

山本（1994）によれば、平均年最大流量は沖積河川において、河道のスケールや、平面形態を規定する流量として適切なものとしている。本検討で対象となる場合が多い山間河川において、上記が成り立つとは限らない。まずはこの流量や、河床に

変化をもたらす可能性のある相当流量（たとえば既往最大流量や代表的な確率規模見合い流量（1/2、1/3、1/10 等）を対象に検討を行う。

なお、洪水流量については 5.3.3 外力（流量・土砂流送量）に関する調査においても述べる。

b) 洪水被害の履歴

発生した洪水により、河川施設や堤内地にどのような被害が生じたか確認する。これは、流量データだけではわからない、河道内外の攪乱の発生状況を推定する資料に資するものである。河川施設においては、これまでの関連する検討で整理されてきた治水史や改修記録等から、被害の状況を把握することで、河道内において生じた攪乱の大小を推定する。また堤内地では、堤防溢水や破堤といった、内水被害の発生状況から、河道特に堤防等に及ぼしていたと考えられる外力を推定する資料とする。

2) 河道平面形の経年変化

平面形状は、過去の測量成果が十分蓄積されていないことが多いことや、地形図では記述方法やスケールから河道の変化を捉えにくいことから、その変化を把握しにくいことも多い。このような場合には、国土地理院が蓄積する航空写真の重ね合わせが有効となる場合がある。国土地理院では、戦後間もない昭和 25 年以降から、およそ 5～10 年ごとに定期的な航空写真撮影を行っており、一般に購入可能である。

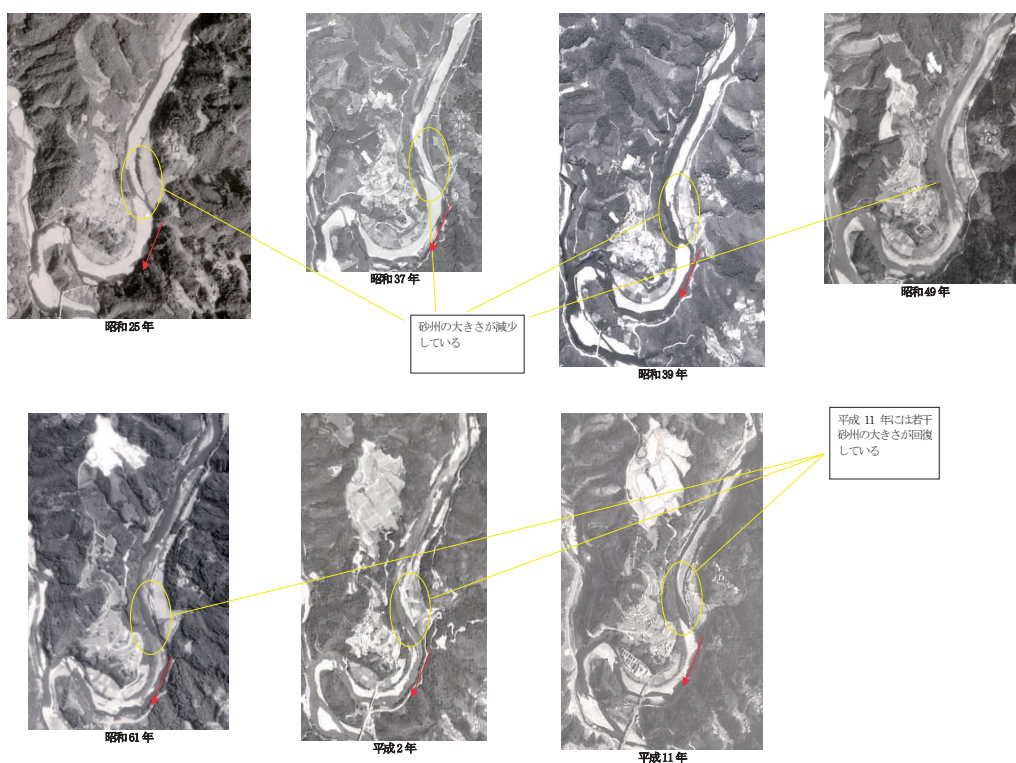


図 5.3-21 航空写真の重ね合わせ

3) 河道縦横断形の経年変化

河道平面形状の変化と同様に、河道形状の経年的な変化を把握することを目的とし、過去の縦横断測量成果の重ね合わせを行い、形状変化や河床高の変化を把握する。

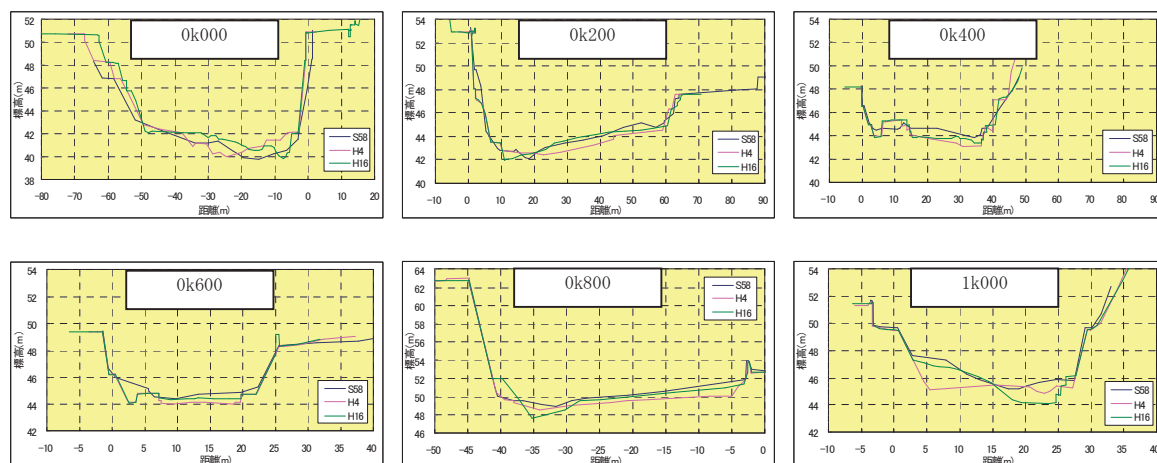


図 5.3-22 河道縦横断形状の重ね合わせ

(8) 類似ダムにおける調査（リファレンス情報として）

予測には不確実性を伴う。このため、類似ダムの下流河川において生じている現象について調査を行い、対象ダム下流河川に関する予測の補足情報とすることが考えられる。ここに類似ダムとは、以下の観点から抽出することが考えられる。

- ダム上流域の地形地質
- 河川スケール（流量規模・河道幅）
- 河床勾配
- ダムの運用方法（出水時洪水調節方法、平常時ダム補給量）
- ダム下流における取水堰堤等構造物の存在状況

既設ダムの下流河川において生じている現象は、以下の観点から整理する。

- ダム下流の河床構成材料の平面分布（特に細粒材料の存在割合とその分布）
- ダム下流の河床材料の縦断変化

なお、類似ダムにおけるリファレンス情報は、物理環境のみならず生物環境においても有効である。このため、生物の調査においても同様な考え方が役立つ場合が考えられる。ただし、リファレンスとする類似ダムとその下流で生じた現象との間の因果関係を正確に把握するには5.2で述べたBACIデザインに基づく調査が必要であり、その結果を当該ダムに関わる将来予測の参考にする段階でも、外力条件が同じと想定して良いかなど、種々の制約が出てくる。したがって、類似ダムの調査を組み入れる場合には、その情報への頼り方をあらかじめ吟味し、過度な活用にならないようにする必要がある。

5.3.3 外力（流量・土砂流送量）に関する調査

(1) 出水時流量

河道を形成する外力として、洪水時に発生する流量の大きさ及び発生頻度を整理する。流量は、平均年最大流量や既往最大流量、確率規模見合い流量（1/2、1/3、1/10等）を対象に検討を行う。なお、ダムの供用による、出水時流量の変化も合わせて整理する。

算出にあたっては、過去に流量観測が行われている地点を対象とした検証がなされる必要があり、河川の計画と整合した確率処理方法にて河川流況を求めることが望ましい。またこのときの各区間の流量配分は、本支川の流入状況を考慮のうえ、河川の計画と整合した考え方により設定するものとする。

1) 平均年最大流量・既往最大流量等の把握

平均年最大流量は、過去において蓄積されている基準地点またはこれに準じた地点の出水時流量の年最大値をもって算出できる。ここで重要なのは観測単位を時間とする点である。河川流量は、大きく平常時流量（日流量）と出水時流量（時間流量）に別れる。このうち出水時流量は、降雨見合いで不定期に調査される流量であり、1日の24の時間流量を平均化した流量もしくは1日のうち決められた時間に観測された（例えば10時等）流量ではないことに注意が必要である。

また、観測期間に生じた最大流量もあわせて整理する。流量単位は平均年最大流量と同様に時間流量とする。

対象期間は長いほうが望ましい。なお、近年の気象変化に鑑み、特に至近年の雨量を考慮できるよう配慮が必要である。特に近年発生した、出水被害を伴うような確率規模の大きい降雨については、これを対象に加える必要がある。

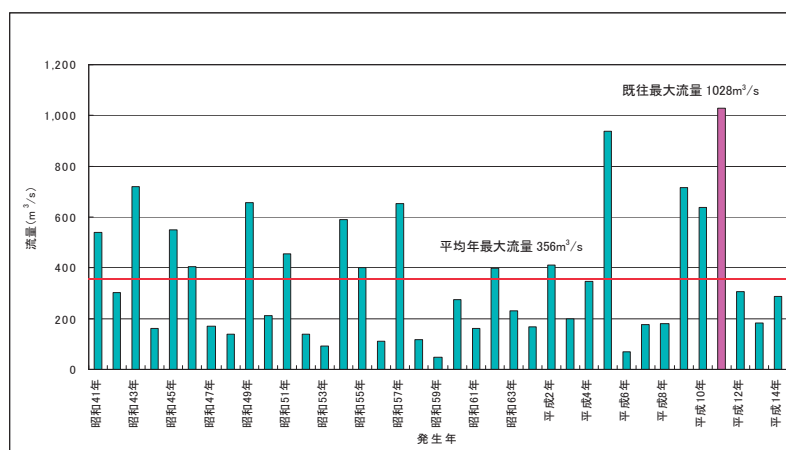


図 5.3-23 平均年最大流量の整理例

2) 確率規模別流量の算出

確率規模別流量は、以下の方法が考えられる。

- 年最大雨量をもとに確率処理を行い、基本洪水降雨波形を確率雨量見合いにより引き伸ばし設定し、これをもとに流出計算を行うことで設定する方法
- 年最大流量を確率処理することにより設定する方法

上記は、対象ダムのある河川における河川整備基本方針や河川整備計画をもとに設定すべきであり、既存計画との整合が図られるよう留意する。

表 5.3-4 確率規模別流量算出例

確率規模	ダム						合流点		
	ダムなし (m^3/s)	ダムあり (m^3/s)	洪水調節 (m^3/s)	ダムなし (m^3/s)	ダムあり (m^3/s)	洪水調節 (m^3/s)	ダムなし (m^3/s)	ダムあり (m^3/s)	洪水調節 (m^3/s)
W=1/2	170	90	80	360	260	100	380	280	100
W=1/5	290	140	150	610	460	150	620	480	140
W=1/10	360	160	200	780	580	200	800	610	190
W=1/30	480	190	290	1030	750	280	1070	790	280
W=1/50	530	200	330	1150	830	320	1200	880	320
W=1/70	570	200	370	1220	880	340	1280	940	340
W=1/100	610	210	400	1300	930	370	1370	1000	370

※確率処理：雨量確率による（昭和〇年～平成〇年の41ヵ年）
 ※流出波形：昭和51年9月型洪水（ダム計画における対象降雨）
 ※流出計算手法：貯留関数

3) 流量配分の方法

掃流力を算出するために実施する不等流計算（後述、6.2.2 参照）では、河道の各区間において流量設定が必要である。流量配分は、当該河川の河川整備計画等で設定されるものを利用することを基本にする。なお、ダムが建設される付近の流量配分が河川整備計画等で設定されていない場合は、河川流域の流出計算モデル（例えば貯留関数等）における流域分割をもとに、流量配分を設定する。

4) ダム供用後の確率規模別流量の算出

ダム供用後における下流河川の流量は、ダムの操作方法に依存する。ダムの操作方法にしたがって、ダム供用後の流量を代表的確率規模について計算し、供用前と比較できるようにする（表 5.3-4 参照）。既存資料に当該データがあれば、それを活用する。

(2) 平水時流況

4.3.3 の内容からもわかるように、平常時における流水外力を把握することも場合によっては必要となる。平常時流量は、利水計画等で検討されている、ダム下流河川における各流量（豊水流量、平水流量、低水流量、渇水流量）を、供用前と供用後について整理する。

(3) 土砂移動量調査

1) 調査に当たっての基本的視点

土砂流送が観測できれば、最も直接的な土砂移動に関する情報を得ることになり、有用である。しかし、長年にわたる多くの研究者・技術者の取り組みにもかかわらず、現場での観測そのものが依然難しく、あるいは大きな労力を伴う。また、土砂移動の全容をつかむには一定規模以上の出水イベントを（できれば複数）待つ必要がある、これには長い期間を要する可能性が高い。このことから土砂観測は、調査の主役には位置づけにくいのが実情である。このため、たとえば2.6.2で述べたように、流砂量計算やダム堆砂実績データを用いる方法により土砂移動量を間接的に推定することが、より実地的な方法として選択されることが多い。

しかし、土砂観測という方法を最初から選択肢に入れないのはやはり不適切であり、土砂観測の必要性、重要性、有効なデータが得られる可能性を常に吟味し、状況によって土砂観測を選択するというスタンスを持ち続けることが大事である。

藤田(2003)は、土砂観測戦略を検討する上での参考として、「流送土砂調査の基本的視点」を以下のようにまとめている。

a) 土砂観測戦略の重要性

土砂流送は広範かつ複雑であり、相当の労力を注ぎ込んでも、その全容を把握することは未だ容易でない。それだけに、次に示すようなポイントを踏まえて、流送土砂調査の“計画”を事前に十分吟味するとともに、調査において種々の課題が生じた時点で計画にフィードバックをかけることを通じ、労力に見合った成果が得られるよう工夫することが重要である。

b) 対象とする粒径集団とそれが起こす河床変動（あるいは現象）の明確化

何を把握したいのか、対象を絞り込むことはすべての基本である。このためにも、目的の再確認と、それまでに行われた調査結果の吟味や予備調査が大事になる。

c) 対象とする現象の時間的・空間的広がり具合の特定

リーチスケール（川幅の数倍程度）の河道区間あるいは1つの河道セグメント内の土砂流送現象を把握する場合と、流砂系の土砂動態を把握する場合とでは、調査のスタンスが異なってくる（→空間的広がり視点）。また、洪水中のある瞬間あるいは一洪水中の土砂流送を把握する場合と、数年あるいはもっと長い期間の土砂流送を把握する場合とでは、やはり調査スタンスを変える必要が出てくる（時間的広がり視点）。時間的・空間的広がり小さいほど土砂流送量観測も含めて詳細な調査が可能になり、土砂流送のミクロな現象を対象にすることができる。一方、それが大きくなると、土砂流送をマクロにとらえる視点から調査地点や項目の取舍選択を適切に行うことが重要になる。

d) ポイント b)c)を踏まえた適切な流砂量観測の実施

流砂量（土砂フラックス）の観測は流送土砂調査の中核をなす。一方、これには多くの労力を伴い、適切な方法で行わないと大きな誤差を伴ったり無意味なデータになる場合も少なくない。それだけに、ポイント b)c)および対象土砂（粒径集団）の輸送形態から、どの場所で、いつ、どの粒径集団を対象に、どのような手法で流砂量（土砂フラックス）を観測するか、事前に十分吟味することが大切である。

流砂量観測については特に掃流砂観測が難しく（あるいは大がかりな装置を必要とし）、一方、浮遊砂あるいは Wash load の形態で輸送される土砂は、採水という比較的易しい手法で観測できる。特に Wash load は流水断面内の土砂濃度の均一性が高く、表面付近の採水でもフラックス把握が可能な場合が多い。浮遊砂を観測する場合、土砂濃度と流速の鉛直分布の観測が必要となるため、機器を水中に入れることになる。流速が早い山地河川では、この作業が難しく、浮遊砂観測の隘路となりやすい。

調査の主旨に合致する範囲内で、より容易な流砂観測手法の適用箇所を増やし、掃流砂観測は限られた地点で行えば済むよう観測箇所を配置することなども、調査計画における実地的な工夫の一つである。

e) 水理量（土砂流送を起こす外力）の把握

水理量（流速、掃流力、流量、水位、水深など）を把握する必要性は次のことから来る。すなわち、対象とする現象の空間的・時間的広がり（ポイント c)）が大きく、そのすべてに渡って流砂観測を行うことが不可能な場合である。このような時は、各観測地点における水理量と流砂量との関係についての情報を用い（既知または新しく作る）、水理量の観測結果から流砂量を推定し、流砂量の直接観測への補完的データとする。一般に、水理量の観測の方が流砂観測よりも簡単なので、このようなことが行われる。

なお、通過型の土砂を扱う場合、その場所の河床に作用する力にかかわる水理量および河床材料と土砂フラックスとの対応関係は薄くなるので、水理量からの土砂フラックスの推定においては、このことに留意が必要である。

2) 各種の流砂観測装置の選定について

最近、国土技術政策総合研究所は、「健全な流砂系の構築」に向けて、土砂移動モニタリング技術についての検討を行い（国土技術政策総合研究所 2007）、以下の5つの機器について精度検証を行い、適用範囲を調べ図 5.3-24 のように選定手法を提示している。山地部においては流速 5m/s の場所が少なくないこと、礫粒径が大きいことから、機器を流水中に沈める作業および掃流形態で輸送される材料 m の流送量観測がより難しくなると考えられる。しかし、選定の考え方については参考になりうるものであり、必要に応じて本報告書を参照されたい（<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/kpr/prn0016pdf/kp0016007.pdf>）。なお、ここで

取り上げた手法とは別に、ウォッシュロードを対象にした（鉛直濃度分布がほぼ一様を想定できる）バケツ等による表面採水は簡便で実用的であり、有力な手法として位置づけられる。ただし、表面採水を、鉛直濃度分布が一様でない浮遊砂の観測にまで適用することは避けなければならない。

ア 河川水採取器

浮遊砂観測に使用する流砂量観測装置である。形状は円筒形で、鉛直翼および水平翼により流水中で安定させる構造になっている。蓋閉塞用ワイヤーロープにより瞬時に栓を閉めるため、流水をそのまま採取できる。また、固定用ワイヤーロープを調整することで任意の水深で採取可能である。1回の採取容量は3.5リットルである。

観測時にワイヤーの使用が可能な条件（観測地点に車両・重機が駐車もしくは固定式ウィンチを設置可能）で利用できる。

イ 簡易式採水器B型

浮遊砂観測に使用する流砂量観測装置である。採水速度を流水の動水圧のみで支配するように工夫しており、排気口の先端の位置を上下させることにより採水速度を調整できる。高流速の場合は重錘を取り付け安定させる。1回の採取容量は1.1リットルである。

重錘使用時は重機が必要になる。

ウ 自吸式ポンプ

浮遊砂観測に使用する流砂量観測装置である。自給式ポンプ採水器を用いて、ポンプ吸込口から延びるホースを固定した棒を流水中に挿入し採取した水をポンプ吐出口に接続したホースから採水ビンなどの容器にいれる。安価であるが、ポンプの吸込速度を流れの速度を常に一致させることが求められることから、観測地点が限定される。人力により作業を行うため、水際で安全に作業が行える護岸などに観測箇所が限られる。

エ 土研式掃流砂採取器Ⅱ型

掃流砂観測に使用する流砂量観測装置である。装置を流水中に前後の扉を開けた状態で採取器を河床に着床させ、ロープを引いて扉を閉じる。流速にもよるが、広範囲の粒径の採取が可能である。観測には装置を吊り上げる重機が必要である。

オ 金網式掃流砂採取器

掃流砂観測に使用する流砂量観測装置である。採取する箱の部分の1箇所が完全に閉口しており、それ以外は網目状になっている。閉口している部分を上流側に向け、流水中に河床に着床させ採取する。

観測には装置を吊り上げる重機が必要である。

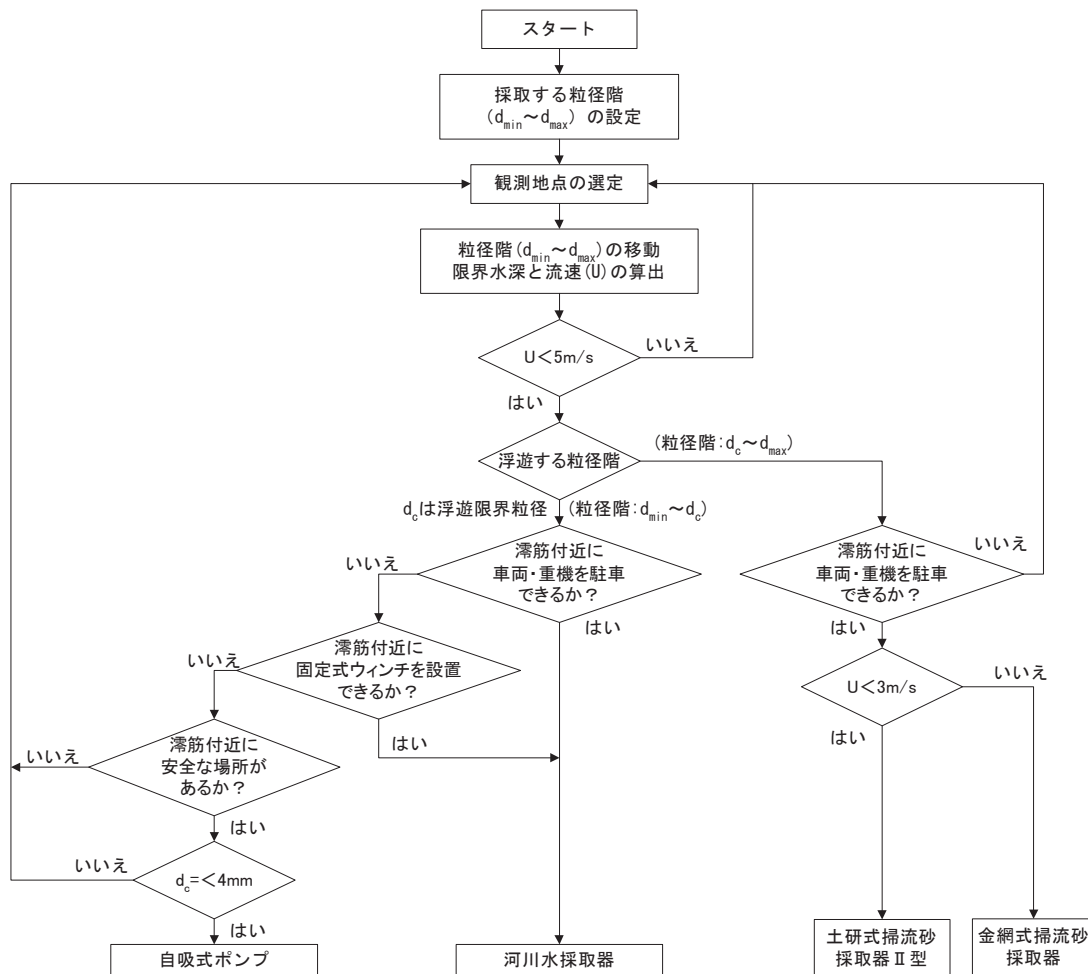


図 5.3-24 流砂量観測機器の選定フロー（国土技術政策総合研究所 2007 より）

5.4 付着藻類、底生動物の実態調査に関する事項—調査の道具箱 2

5.4.1 調査体系

付着藻類、底生動物の実態を把握するためには、調査目的に応じた調査デザインに従いデータを収集し、これを分析・解析していくことが必要となる。ただし、ダムが存在が付着藻類、底生動物相を変化させるプロセスを明確にするためには、ダムの存在により影響を受ける直接的、間接的な環境要因に関する情報も同時に収集し、両者の関係性を解析することが重要なアプローチとなる。

表 5.4-1 に調査に関する事項の分類例を示す。

表 5.4-1 付着藻類・底生動物の調査に関する事項一覧

5. 4. 3 調査と分析	(2) サイト別調査		a) 流量
			b) 河床勾配、川幅、水面幅
			c) 水温
			d) 水質
			e) 流下有機物、動物プランクトン調査
			f) 植物プランクトン調査
	(3) サブリンク調査	2) 環境変量調査	a) 水深・流速
			b) 河床構成材料
			c) 堆積物採取
			d) 開空度把握
		3) 付着藻類調査	
		4) 底生動物調査	

※記述中の番号は、以降の解説の目次番号

ダムの存在に伴い直接改変される環境要因としては、流況、土砂供給、濁度、水質、水温、餌資源の供給があり、これらの直接的改変は河道地形の変化そして河床の構造や河床上の堆積物の状態を変化させる。従って、これらの直接的な環境要因によって改変される二次的要因を間接的な環境要因として取り扱うこととする。

ところで、環境要因は時間的・空間的に変化する。このため、ある地点、ある時間で収集したデータ（既存資料から収集したデータも含む）は当該環境要因の全体の特性を示さないことに留意する必要がある。調査デザインを検討する際には、対象とする環境要因の時空間的な特性をよく理解することが重要であり、例えば、日較差が大きく、流下に従い急速に変化する要因（例えば、水温）と時間的に安定し、その空間配置も大きく変化しない要因（例えば、河道地形）では、調査デザインが異なる可能性を指摘しておく。なお、本資料では、この点を鑑み、既存資料や現地調査から得られる直接的、間接的環境要因を表す指標値を環境変量とし、環境要因と区別して用いることとする。

ダム下流域における付着藻類・底生動物は幾つかの環境要因が複合的に作用し、変化する場合が多い。また、インパクト区における事前・事後比較、インパクト区とコントロール区の比較を行う場合、想定している環境要因以外の要因に差異があり、生

物相の変化に影響する場合もある。従って、ある特定の要因のみが生物相を変化させていると想定される場合であっても、生物相が変化する経路を幅広く捉え、対応する環境要因に関連する環境変量の収集と生物相との対応を見るべきである。例えば、フラッシュ放流・土砂還元等は操作する要因に限られているが、この場合であっても流況、土砂に関する調査は勿論、他の環境要因が変化する可能性を排除せず、関連しそのような環境要因の収集を前提とした調査計画を立案することを推奨する。

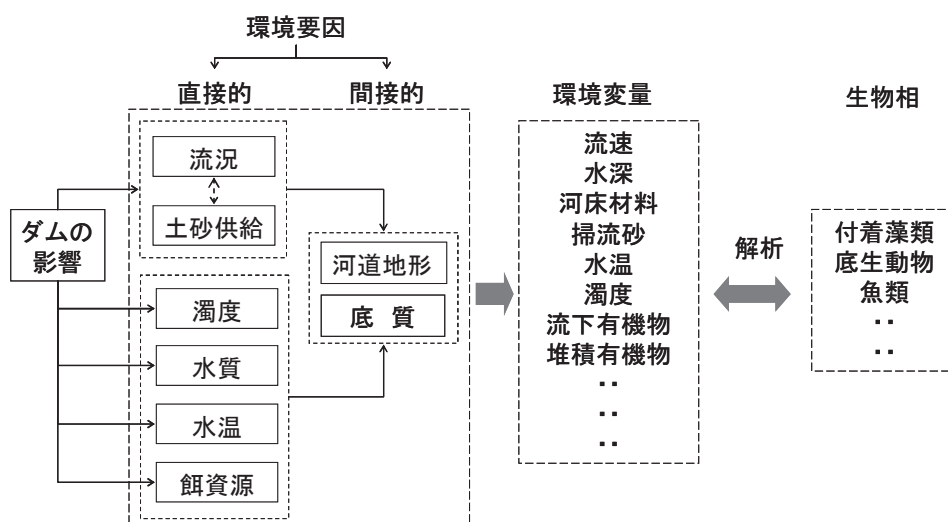
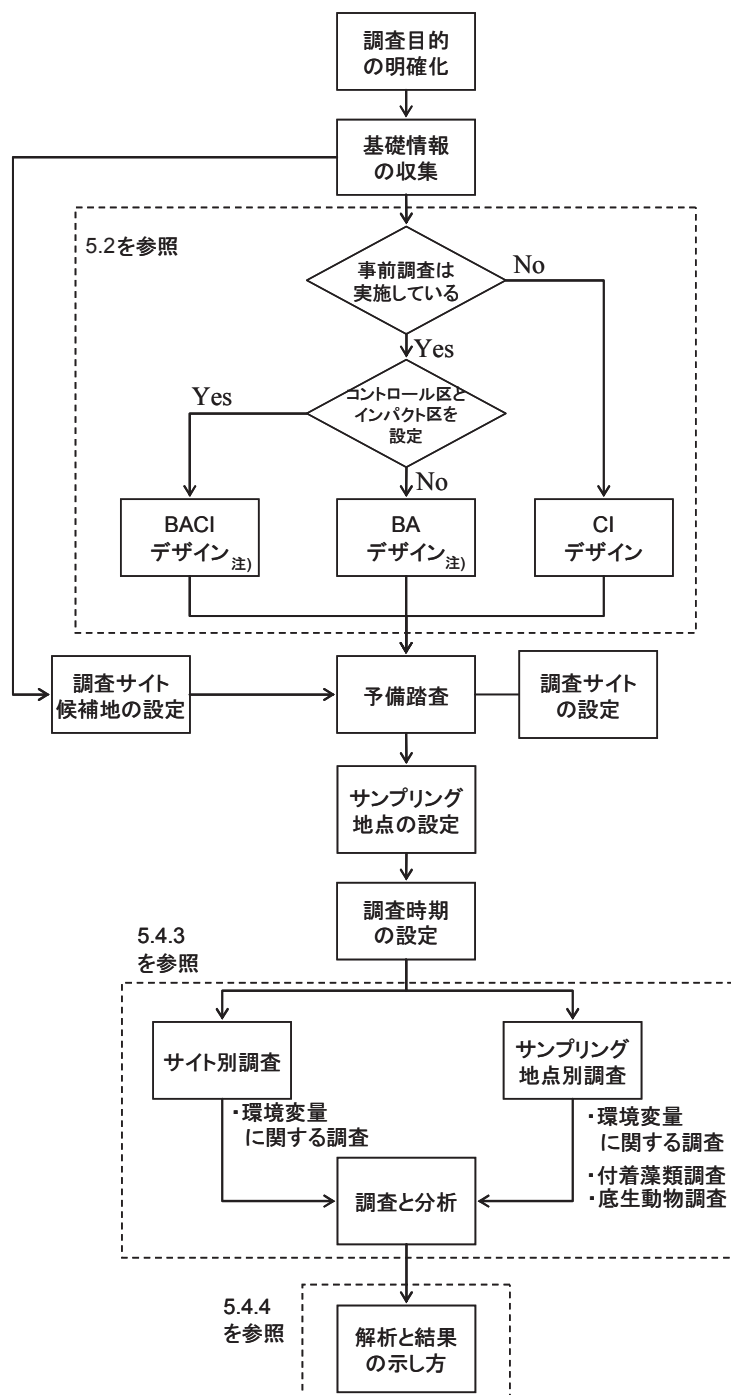


図 5.4-1 インパクトレスポンスを抽出する調査体系

ところで、ここから述べる調査に関する幾つかの“道具”はダム下流域における付着藻類、底生動物相を対象とし、インパクトレスポンス系を明らかにすることを目的としたものであり、生態系を網羅的に把握することを目的としていない。従って、魚類等移動性が高く、その場の環境要因のみに支配されない生物についてはデザインを修正する必要があるだろう。また、付着藻類・底生動物を指標とするため、検討区の設定を“瀬”の部分に限定している。付着藻類・底生動物の双方もしくはいずれかのレスポンスは、流況、土砂、底質、水温、水質、餌資源に応答するため、これらの環境要因の変化をある程度検出することができる。しかし、地形変化、例えば、瀬・淵構造・水際構造の変化や河道全体の植被の変化についてはその影響を検出できない。ダム下流全域において影響を面的に把握するためには、別途異なる調査体系を適用する必要がある。これには、異なる特性を持つ種々の河道内ユニットごとに、環境要因変化とそれを介した生物応答を追跡し、さらにはユニット間の相互作用も考慮し、それらを総合するというような方法が考えられる。検討区の設定を瀬の部分に限定したここでの調査は、もっとも影響を分析しやすい種類のユニットについてまず[ダムー環境要因ー生物応答]の関係を掴むというアプローチと位置づけられ、今後、河道を構成する複数のユニットについて総合的に検討を行う方法に展開する際にも参考になると期待される。

5.4.2 調査の流れ

調査フローを示す点線内は 5.2、5.4.3、5.4.4 に詳述したので、ここでは、この部分を除く各プロセスについて次頁より詳述する。また、5.4.3 内フローのサイト別、サンプリング地点別調査は 5.4.3 に詳細フローを添付したので参考にしてほしい。



注) インパクト区の事前調査において問題がある場合は、CI デザインとした方が良い場合がある。

図 5.4-2 調査フローチャート

(1) 調査目的の設定

本資料では、ダム竣工に伴う下流河道のインパクト・レスポンスの把握を主目的としているが、より具体的な目的を設定できる場合には、目的に沿った調査デザインを設定し、コストの削減、精度の高い結果を得られる場合がある。従って、調査デザインを立案にする前に、一旦立ち止まり“何を明らかにすべきか”を明確にすることが重要となる。具体的な目的例としては、

1. 新設ダムにおける下流のレスポンスの程度・範囲を予測したい。
2. 既設ダムにおけるレスポンスの程度・範囲を把握したい。
3. 既設ダムにおける重要地点（アユの漁業）へのレスポンスとその環境要因を知りたい。
4. 既設ダムにおける影響軽減対策（フラッシュ放流、土砂還元）の効果を把握する。

等が考えられる。本資料ではダム竣工に伴うレスポンスの空間的範囲を明確にすることを念頭に置いた説明をするため上記 1、2 は以下に述べる調査デザインで目的を達成できるが、3、4 はインパクト区、コントロール区の設定、事前・事後の考え方に違いがあるので、調査体系を再考することが必要になる。

(2) 調査デザインを選定する。

既設ダムで事前データがない場合であれば CI デザイン、事前データの取得がある場合、取得が可能な場合には BACI デザインを前提としたい。ただし、事前データを取得した場合においてコントロール区の設定が難しい場合には BA デザインを軸とした調査デザインとなる場合もある。なお、これらのデザインについては 5.2 に詳述したので、参照してほしい。

(3) 基礎情報の収集

基礎情報として以下の①～⑥を収集する。この中で①から⑤については 5.3「河道の物理環境調査」で情報を収集・整理している内容である。「河道の物理環境調査」と「生物群集・生態系調査」は相互に関連していることを意識し、「生物群集・生態系調査」においても「河道の物理環境調査」における情報を活用する。

- ① 流域・水系に関する情報：本支川流域の位置・面積
- ② 土砂供給量に関する情報：地質・地形、堆砂量及び砂防指定区間の状況
- ③ 流量に関する情報：出水時・平常時流量
- ④ 河道環境に関する情報：河川測量結果、瀬・淵の分布
- ⑤ 河床構成材料に関する情報：本川、支川の河床構成材料の縦断分布
- ⑥ 水環境に関する情報：流入放流水における水質、水温、濁度等に関するデータ

(4) 調査サイト候補地の設定

(1)調査目的、(2)調査デザインに沿って、(3)で収集した基礎情報に基づき、インパクト区、コントロール区のそれぞれについて調査サイト候補地を設定する。最終的なサイトの絞り込みは予備踏査に基づき決定するので、この段階では(3)で得られている流域スケール、河道区間スケールに関する情報を活用し、候補地を数カ所設定する。候補地設定のポイントは以下のとおりである。

- ① コントロール区のサイトは、インパクト区における環境条件と似通っている区間に設定する（既設ダムの場合はインパクト区におけるダム影響を受ける以前の状態を想定する必要がある）。具体的には以下に示す項目について具体的検討を行い、類似性をチェックする。
 - ・ 流域スケールに関する項目：流域の地質、流域面積
 - ・ 河道区間スケールに関する項目：平均河床勾配、河道幅、平面形状
- ② インパクト区はダム下流に設置するが、支川の合流によってダム下流の影響は緩和される場合が多いこと、また、ダムの影響が下流方向に急速に変化することから、ダムの直下近傍に最初のインパクト区のサイトを設定する。
- ③ ダム影響の下流方向への範囲を知るためには、インパクト区を下流方向に幾つか設けることが必要となる。支川合流前後では環境変量、生物相の変化が著しい可能性が高いため、支川合流点の前後には重点的に調査サイトを設定すると良い。合流点がない場合には一定の間隔を置いてサイトを設定することになるが、サイト間距離が大きくなると、河川特性がそのものの違いによって環境要因、生物相が異なるため注意する。

(5) 予備踏査

調査サイト、サンプリング地点の設定のため予備踏査を行う。予備踏査では(4)で設定したサイト候補地を中心に現況把握を行うが、河道に沿っての移動が可能な場合にはサイト候補地を含むより広範な区間を踏査し、付着藻類、底生動物、環境要因の状況を観察することを推奨する。

予備踏査では以下に示す項目を勘案し、サイトの絞り込みを行っていく。

- ① 検討対象区間における代表性

調査サイトは検討対象区間（例えば、インパクト区としての「ダムの直下流区間」、「支川合流後区間」、コントロール区としての「支川区間」等）を代表している必要がある。具体的には、サイトの河道幅、河床勾配、瀬・淵の状況（流速・水深・河床材料）、瀬の河床構成材料の状況、キャノピー（河畔木の樹冠が河道をどの程度覆っているか）の程度、付着藻類、底生動物の生息状況を確認し、以上の要素が検討対象区間の平均的な状況であることを確認する。

② アクセスの容易さ

サイトまでのアクセスが安全かどうかは調査員の安全の確保だけでなく、収集資料の運搬の可否、調査コストと調査精度に関わる重大な要素である。他の条件が満たされてもアクセスが困難に感じられる場合には、サイトの設定を断念することもある必要となる。

③ サンプリング地点の設定の難易

瀬の面積が小さい場合、流速・水深が大きい場合には一つの瀬内に必要なサンプリング地点数の確保が困難になる場合がある。従って、予備踏査時にはサイト流心部まで踏査し、具体的なサンプリング地点を想定して（ペグ等で印を付けると良い）必要地点数が確保できるかどうかの確認を行う（詳細は(6)を参照）。また、必要に応じて流速・水深・河床材料の粒径を把握して、各サンプリング地点でこれらの環境変量に著しい差異がないことを確認しておくという。

④ サイトの区間長

2つの瀬にサンプリング地点を設定する場合が多いため、当該サイトの区間長は瀬と淵の組み合わせが2セット確保できることが望ましい（図 5.2-5）。なお、理由は(6)を参照のこと。

(6) サンプリング地点の設定

各区内の瀬にサンプリング地点を配置する。付着藻類・底生動物群集そして環境変量には空間的変動があるため、変動の幅を小さくするため、サンプリング地点は流心部に配置し、必ず繰り返し（最低3箇所、可能であれば4箇所）を確保する（図 5.4-5）。設定に際しては予備踏査の結果に基づき、河床材料の採取、環境変量調査が可能かどうかを再度確認する（前述したように流速、水深、河床材料のいずれかが大きい場合には調査が不可能となる）。底生動物のコドラートを設置する場所が確定したら（後述するように50cm×50cmのコドラートを用いる）、4隅の1箇所にペグ等を打ち目印にすると良い。付着藻類の採取地点はこのコドラート近傍に設定するので、底生動物のコドラートさえ確定すれば調査の実施が可能となる。なお、調査ポイントの設定は現地調査を行う前日等現地調査と併せて実施すると良い。

また、同一区内であっても瀬によって群集組成、環境変量が大きく異なる可能性があるため（例えば、瀬の局所的な勾配、河床材料の大きさによって変化する）、調査に余裕があれば同一サイト内のもう一つの瀬にも同様にサンプリング地点を設定するとより信頼できるデータの取得が可能となる（図 5.4-3）。

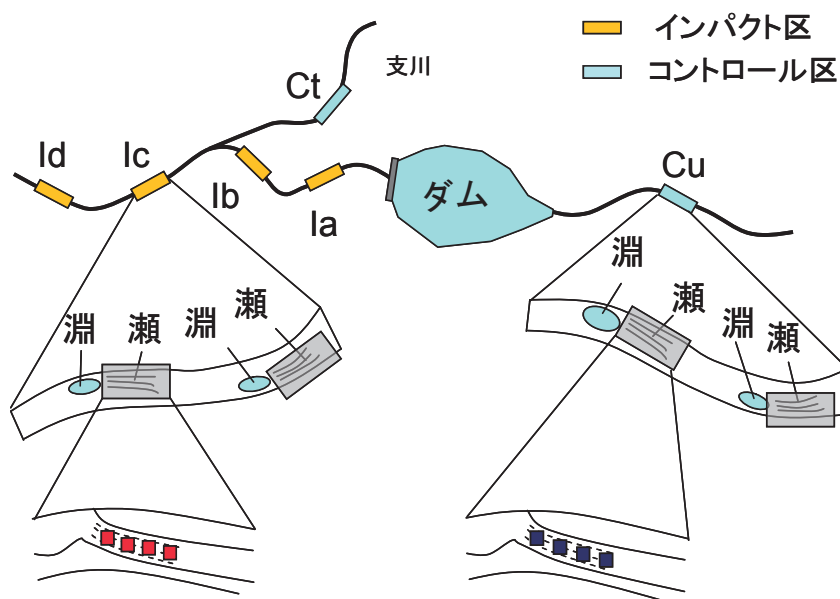


図 5.4-3 サンプルング地点の空間配置

ここでは、インパクト区、コントロール区とも2つの瀬が入る程度の長さとして設定している。サンプリング地点は瀬の流心とし、最低でも3箇所、可能なら4箇所のサンプリング地点を確保する。また、調査対象とする瀬をもう一つ設け、同様にサンプリング地点を設定するとより信頼度の高いデータの取得が可能となる。

(7) 調査時期の設定

1) 付着藻類の調査時期

- ・ 調査回数は年2回もしくは1回とする。
- ・ 冬季と夏季に実施する。実施する時期は、ダムからの放流量（流況）を考慮し、台風等出水後（大規模な放流後）は避け、なるべく流況の安定している時期に実施する。
- ・ アユの餌資源としての質・量を評価したい場合には、夏季から秋季に複数回実施することが望ましい。
- ・ 底生動物の摂食は河床付着膜の影響要因となるため、底生動物の調査も併せて実施することが望ましい。その場合2つの調査は同時期に行い、環境要因に関する調査も併せて行うこと。

2) 底生動物に関する調査

- ・ 調査回数は年2回もしくは1回とする。
- ・ 年1回の場合は冬季(12～3月)に行うことがのぞましい（夏季の水生昆虫は、体サイズの小さい個体が多く精度の高い同定が困難と予想されるため）。また、利水目的を含むダムでは、冬季は流況が安定することが多く、ダムとしての影響が顕著である時期に調査を行うことになる。

- ・ 年2回調査が可能な場合には、冬季と夏季とする。ただし、夏季の調査は、台風等出水後（大規模な放流後）は避け、なるべく流況の安定している時期に実施する。
- ・ 底生動物の調査実施時には併せて付着藻類の調査も実施すること。2つの調査は同時期に行い、環境要因に関する調査も併せて行うこと。
- ・ 環境要因についても上記と併せて調査を実施する。
- ・ 調査は連続して行い、できるだけ短期間で終了させることを基本とする。

5.4.3 調査と分析

(1) 概要

調査はサイト別調査とサンプリング地点別調査がある。サイト別調査は一つのサイト内で環境変量の空間的変化が小さい項目について実施する調査である。具体的には各サイトの流量、水質、流下有機物（POM）、流下動物・植物プランクトン、流下土砂量、対象区間の河床勾配が対象となる。サンプリング地点別調査は一つのサイト内において空間的差異が見られる項目が対象となり付着藻類、底生動物の採集に加えて、各地点の流速、水深、河床材料の粒径、河床における堆積有機物、開空度、光量子量が対象となる。以下にサイト別、サンプリング地点別調査の方法を述べる。

(2) サイト別調査

サイト別調査フローを示した（図 5.4-4）。サイト別調査は対象サイトにおける環境変量の取得を目的とした調査であり、流下有機物、動物・植物プランクトン、流下土砂量、流量測定、測量が測定項目となる。サイト別調査は付着藻類、底生動物への影響を避けるためサンプリング地点別調査終了後に実施する。以下に各調査項目を記す。

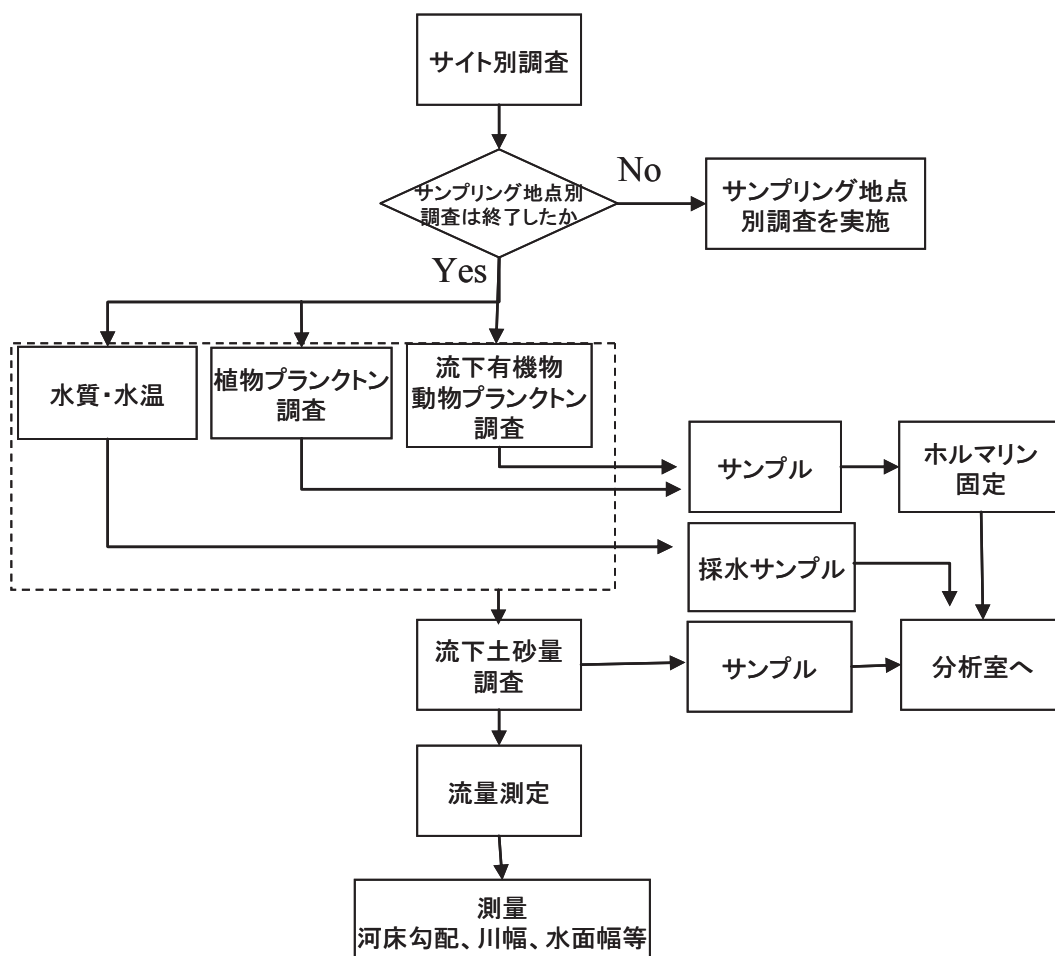


図 5.4-4 調査フローチャート B（サイト別調査）

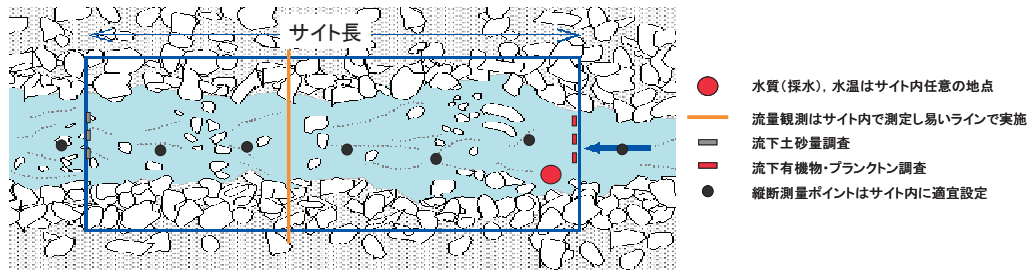


図 5.4-5 調査サイト内での各想定項目の測定位置等

実際の調査位置は現場の状況を見て測定しやすい箇所を適宜選定する。

a) 流量

各サイト内において流量観測しやすい断面で測定する。

b) 河床勾配、川幅、水面幅

各サイトの縦断・横断測量を実施し、河床勾配、川幅、水面幅を測定する。川幅、水面幅は、横断側線を3側線設定し、測定する。

c) 水温

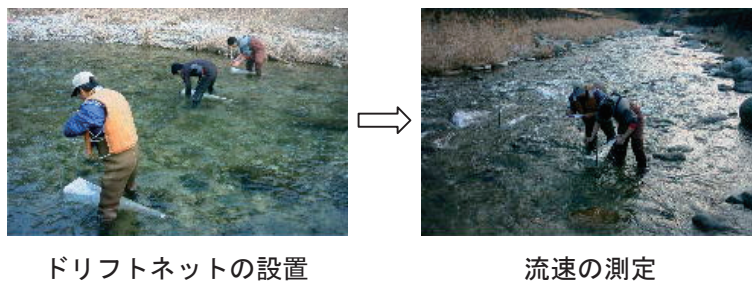
ロガー式の小型自記水温計を設置し長期データを収集すると良い。不可能な場合に全サイトで同一の時間帯にデータを取得できるよう工夫する。

d) 水質

濁度、T-P、T-N、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TOC、DO、EC、SS、VSS、chl.a、etc が対象となる。日変動が大きな項目については水温同様長期データの取得が望ましい。

e) 流下有機物・動物プランクトン調査（写真 5.4-1）

流下物量の日内変動を考慮し、調査は早朝（6～8 時）、正午（11～13 時）、夕暮れ（17～18 時）、真夜中（23～24 時）の各 1 回、計 4 回実施することを基本とする。調査対象地点の上流端にドリフトネット（25cm×25cm（大きさは任意）、目合い 0.25mm）3 基を河川流心で河川横断方向に横並びに設置して、流下する有機物（流下有機物）、動物プランクトン、底生動物を採取する。ドリフトネットは、枠の高さ 25cm のうち水面下に 22cm を水没させて約 20～30 分間設置する。なお、設置時間は、ネットの目詰まりの程度により増減させる。設置中に水没しているドリフトネットの間口の中央（水深 11cm）で、設置直後、設置後 15 分、回収直前の流速を測定する。採取するサンプルは、ネットごとに 1 検体とし、500mL クリアビンに保存後、5%ホルマリンで固定して分析室へ持ち帰り、ソーティング後、動物プランクトン、底生動物、流下有機物 POM（FPOM：0.25mm 以上 1mm 未満、CPOM：1mm）に分類する。



ドリフトネットの設置

流速の測定

写真 5.4-1 作業状況（流下物調査）

※ ドリフトネット設置時や流速測定時には土砂の巻き上げに注意すること。

※ 目詰まりによりネットを回収する場合は、設置時間を記録する。

f) 植物プランクトン調査

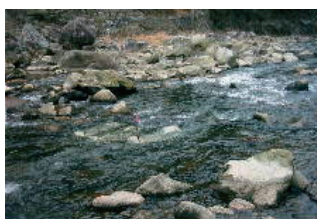
水質調査と同一場所において表層水を採水(植物プランクトン2～5L ポリ1本)する。植物プランクトンはホルマリンで固定(2%)し、分析室へ持ち帰り、植物プランクトンの同定、計数を行う。

g) 流下土砂量調査（写真 5.4-2）

調査サイト下流側（流下物採取調査の影響が及ばないように配慮）に掃流砂トラップ（例えば、25cm×25cm（大きさは任意）、目合い0.25mm）を3つ、河川横断方向に横並びに1時間程度設置して、掃流砂を採取する。なお、設置時間は、目詰まりの程度により増減させる。流下土砂トラップは、両端にステンレス杭などで河床に密着させ固定する。また、各トラップの間口の中央で設置直後、設置後約30分、回収直前に流速を測定する。採取したサンプルは、流下土砂トラップ1つを1検体とし、分析室へ持ち帰る。



設置作業



設置状況



回収作業

写真 5.4-2 流下土砂量調査

(3) サンプルング地点別調査

1) 調査フロー

サンプルング地点別調査のフローを示す（図 5.4-6）。

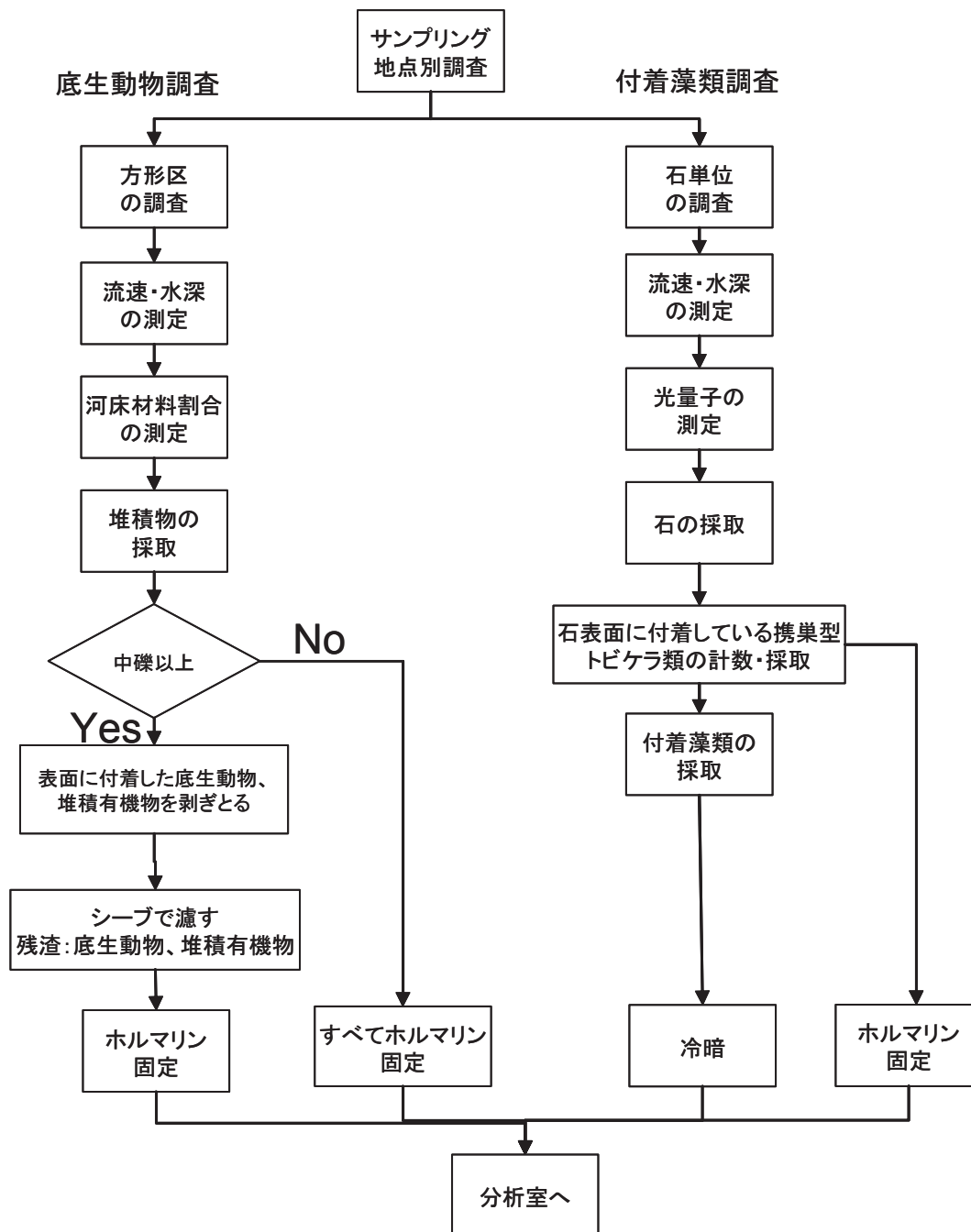


図 5.4-6 調査フローチャート B（サンプルング地点別調査のフロー）

サンプルング地点は石単位調査区、方形区調査区のそれぞれのサンプルング地点を、サイト内の流心部において流速・水深・河床材料が似通った地点に設定する（図 5.4-7）。詳細は 5.4.3(3)3)、5.4.3(3)4)を参照してほしい。

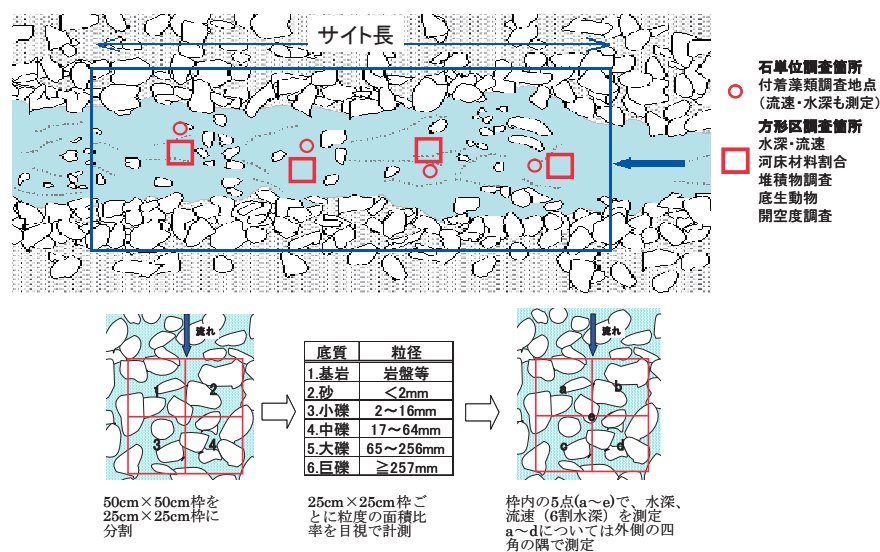


図 5.4-7 サンプルング地点の配置状況

方形区は流心部に設定する。それぞれ流速・水深・河床材料が同程度の場所に設定する。付着藻類の調査を行う“石単位調査区”は方形区に隣接し、方形区と水深・流速、河床付着膜の状態が類似した地点に設定する。

2) 環境変量調査

a) 水深・流速（写真 5.4-3 参照）

50cm×50cm の方形区の四隅と中心の 5 点の水深、流速（6 割水深）を計測する。

b) 河床構成材料（図 5.4-7、写真 5.4-3 参照）

a)の後、箱めがね等を用いて、方形区内の河床を鉛直方向に写真撮影した後、方形区を 25cm×25cm の 4 つの方形枠に区切り、それぞれ方形枠内の底質の優占粒径を 1：基岩、2：砂（<2mm）、3：小礫（2-16mm）、4：中礫（17-64mm）、5：大礫（65-256mm）、6：巨礫（≥257mm）の 6 段階で区分し、面積に占める割合を 5%単位で目視により読みとり記録する。



水深の測定

流速の測定

河床材料割合の観察

写真 5.4-3 水深・流速・河床材料の調査

c) 堆積物採取（底生動物と堆積有機物（BPOM））

現場にて、コドラート直下にサーバーネット（50cm×50cm 枠、0.25mm メッシュ）を用い、河床材料ごと堆積物（底生動物を含む）を採取（深さ約 20cm）する。

※ 詳細は 5.4.3(3)4)を参照のこと。

d) 開空度把握

各サンプリング地点において水面に近い位置から、魚眼レンズを用いて開空度把握のための写真撮影を行う。なお、撮影にあたっては、コンパス等を用いて北が写真の上方向になるよう統一する。

3) 付着藻類調査

a) 現地調査からサンプル処理まで

天候、気温、水温、水質（簡易水質測定器を使用する。項目は濁度、pH、電気伝導度等）を測定し、調査時刻を記録する。

底生動物等を採取した方形区近傍で、方形区の水理量や河床付着膜の状態が同程度の地点から 2 個（最低でも 1 個）の石（ ϕ 15～20cm 程度）を選定する。（各石について、水深、河床面からの石の突出の程度、流速（6 割水深及び底層（石上 1cm 程度））、光量子密度（水面直上、水面直下、6 割水深、川底）を測定する（※1）。なお、光量子密度測定時には天候、雲量等についても記録し、なるべく測定地点が雲等で陰になっていないときに測定を行うものとする。

その後、選定した石を採取し、石上面に付着物を採取するためのコドラート（5cm×5cm、付着物が少ない場合は 5cm×10cm）を記し、スケールを置き、写真を撮影する（サンプル名がわかるよう工夫する）。また、石表面（上面や側面）に付着藻類を摂食する携巢型トビケラ類（ヤマトトビケラやコンギョウトビケラ等）の生息が確認された場合には、石上面 10cm×10cm 内の個体数を計数した後採取し、5%ホルマリンで固定し持ち帰る（※2）。

携巢型トビケラ類を採取後、コドラート内（5cm×5cm あるいは 5×10cm）の付着物をブラシで擦り落とし、蒸留水で洗い採取する。なお、付着物にガガンボの巣（膜）が含まれている場合、その旨記録しておく（場合によっては、膜の数を計数したり、分析時にサンプルに含まれる膜や底生動物を除去する等の対応が必要になる）。また、肉眼で糸状緑藻の繁茂が確認された場合にはその状況を記録しておく。

付着物採取後、石のサイズ（縦、横、高さ）を測定する。

採取したサンプルは直ちに冷暗条件（アイスボックス内など）で保管し、速やかに分析室に運搬する。

- ※ 1：光量子密度を測定しておく、光合成速度に関わる日射が河床にどれくらい届いているかを定量的に評価することができる（例えば、濁度が高い場合、河床に届く日射量の減衰が大きくなる）。
- ※ 2：固定し持ち帰った底生動物は、必要に応じて同定等を行う。



水深の測定



流速の測定



付着物の採取



採取する石サイズの計測

写真 5.4-4 作業状況（付着藻類調査）



写真 5.4-5 光量子計（左）と光量子の測定状況（右）

b) 分析

以下の分析を行う。

■クロロフィル a、フェオフィチン

試料の一部をガラス繊維ろ紙で濾過し、90%アセトン溶液で抽出し、クロロフィル a 及びフェオフィチン（死滅した付着藻類の目安となる）を単波長吸光光度法により測定する。また、あわせて3波長吸光光度法を併用し、chl.a、chl.b、chl.c を測定しておくとい（※）。ただし、より精度の高い測定が求められる場合には、高速液体クロマトグラフ法を用いることが望ましい。

（※）：クロロフィルには、chl.a、b、c、d の4種類があり、chl.a は、すべての藻類に含まれ、chl.b は、緑藻や緑虫類、chl.c は、珪藻、黄色鞭毛藻、渦鞭毛藻類、chl.d は、紅藻類に含まれ、藍藻類は chl.a 以外を含まない。したがって、緑藻に含まれる chl.b や珪藻に含まれる chl.c 等、含まれる色素の違いを利用することにより、藻類群を構成する緑藻や珪藻の割合をある程度示すことができる。

■乾燥重量、強熱減量

試料の一部を、ガラス繊維ろ紙で濾過した後、60℃で 24 時間乾燥させ、乾燥重量を測定する。その後、マッフル炉で 550℃、2 時間燃焼させた後、再度重量を測定し、強熱減量を算出する。強熱減量は有機物量の目安となり、燃焼せずに残った残留物は無機物量（微細土砂、珪藻の殻も含まれる）の目安となる。

■藻類の同定・計数

ホルムアルデヒド溶液を約 5%容量になるように加えて保存した試料の一部を、顕微鏡（600 倍）を用いて、種レベルあるいは属レベルで、少なくとも 400 個以上同定し、各種の細胞数を計数する。同定は、基本的に生細胞を対象とするが、珪藻など、同定が困難な場合は、処理を行い、プレパラートを作成して行う。なお、すべての試料について藻類の同定・計数を行うことが困難な場合は、サイトで採取した試料を同じ割合で混合させ 1 サンプルとして分析する。

4) 底生動物調査

a) 現地調査からサンプル処理まで（図 5.4-6 参照）

- ① サーバーネット（50cm×50cm 枠、0.25mm～0.5mm メッシュ）を用い、方形枠内の底生動物及び堆積有機物を河床材料ごと採取する（深さ約 20cm）。
- ② 採取した試料のうち、中礫以上の礫表面に付着している堆積有機物と底生動物を、タワシ等を用いて洗い落とし（底生動物を潰さないように注意する）、これをサーバーネットと同メッシュサイズのふるい（シーブ）で濾し、残渣をホルマリンで固定し、分析室に運搬する。
- ③ 巨礫・大礫・中礫以外の試料（底生動物、堆積有機物を含んだままの小礫（17mm～）以下の河床材料）については、ホルマリンで固定し分析室に運搬する。
- ④ 採取後の、河床コドラート内の状況を、箱眼鏡等を用いて撮影する。

b) 分析方法（図 5.4-8、図 5.4-9 参照）

分析室では、上記 a-②中礫以上の河床材料から洗い落したサブサンプル、および a-③小礫以下の河床材料サブサンプル（底生動物・堆積有機物が混じっている）について以下の作業を行う。

a2 中礫以上の河床材料から洗い落したサブサンプル

- ① 1mm メッシュと 0.25（または 0.5）mm メッシュのシーブを重ねて濾す。
- ② 1mm メッシュ上の残渣から、すべての底生動物をソーティングし、底生動物は同定、カウントする（個体数①）。ソーティング残渣は強熱減量を測定する（BCPOM①）。
- ③ 0.25（または 0.5）mm メッシュ状の残渣は分割器を用いて適宜分割（2ⁿ）する。
- ④ 分割後のサンプル（1/2ⁿ 量）からすべての底生動物をソーティングし、底生動物は同定、カウントする（個体数②）。ソーティング残渣は強熱減量を測定する（BFPOM①）。

a3 小礫以下の河床材料サブサンプル（底生動物・堆積有機物が混じっている）

- ⑤ 1mm メッシュと 0.25（または 0.5）mm メッシュのシーブを重ねて濾す。
- ⑥ 1mm メッシュ上の残渣から、すべての底生動物をソーティングし、底生動物は同定、カウントする（個体数③）。ソーティング残渣は強熱減量を測定する（BCPOM②）。
- ⑦ 0.25（または 0.5）mm メッシュ状の残渣は分割器を用いて適宜分割（2ⁿ）する。
- ⑧ 分割後のサンプル（1/2ⁿ 量）からすべての底生動物をソーティングし、底生動物は同定、カウントする（個体数④）。ソーティング残渣は強熱減量を測定する（BFPOM②）。

分析後、1 サンプル中の個体数、BCPOM 量、BFPOM 量は以下の計算で得られる。

$$\text{個体数} = \text{個体数①} + 2^n \cdot \text{個体数②} + \text{個体数③} + 2^n \cdot \text{個体数④}$$

$$\text{BCPOM 量} = \text{BCPOM①} + \text{BCPOM②}$$

$$\text{BFPOM 量} = 2^n \cdot \text{BFPOM①} + 2^n \cdot \text{BFPOM②}$$

なお、種の同定、湿重量の測定に際しては以下に留意する。

同定精度：可能な限り細かいレベルまで同定を行う（カゲコ、カゲラ、トビケラに関しては生態学的な基礎情報も多いことから、属・種レベルまでの同定が

望ましい)。ただし、同定が不確かなタクサに関しては、無理に同定せずその上のレベルで同定を止めるように指示すること。

湿重量：生物量を比較する際に有用であるので、可能であれば測定するのが望ましい。

指標種：現時点では、どのタクサが指標種となるか統一した見解がない。ある種だけの計測では不十分であろう。群集内の生活型・摂食機能群等、全体のバランスを見ることのほうが有用であると考え。

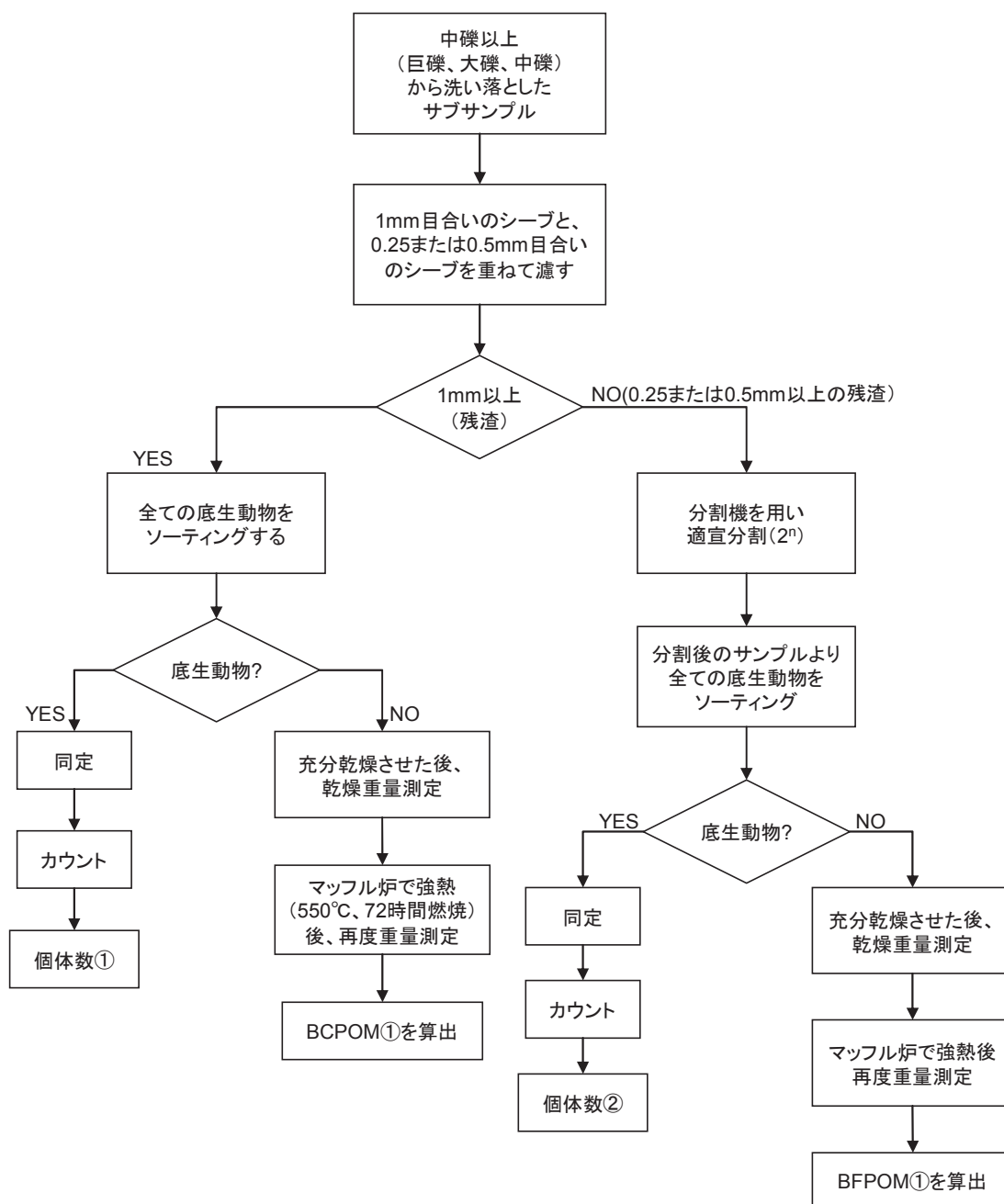


図 5.4-8 調査フローチャート C-1 (分析室でのフロー)

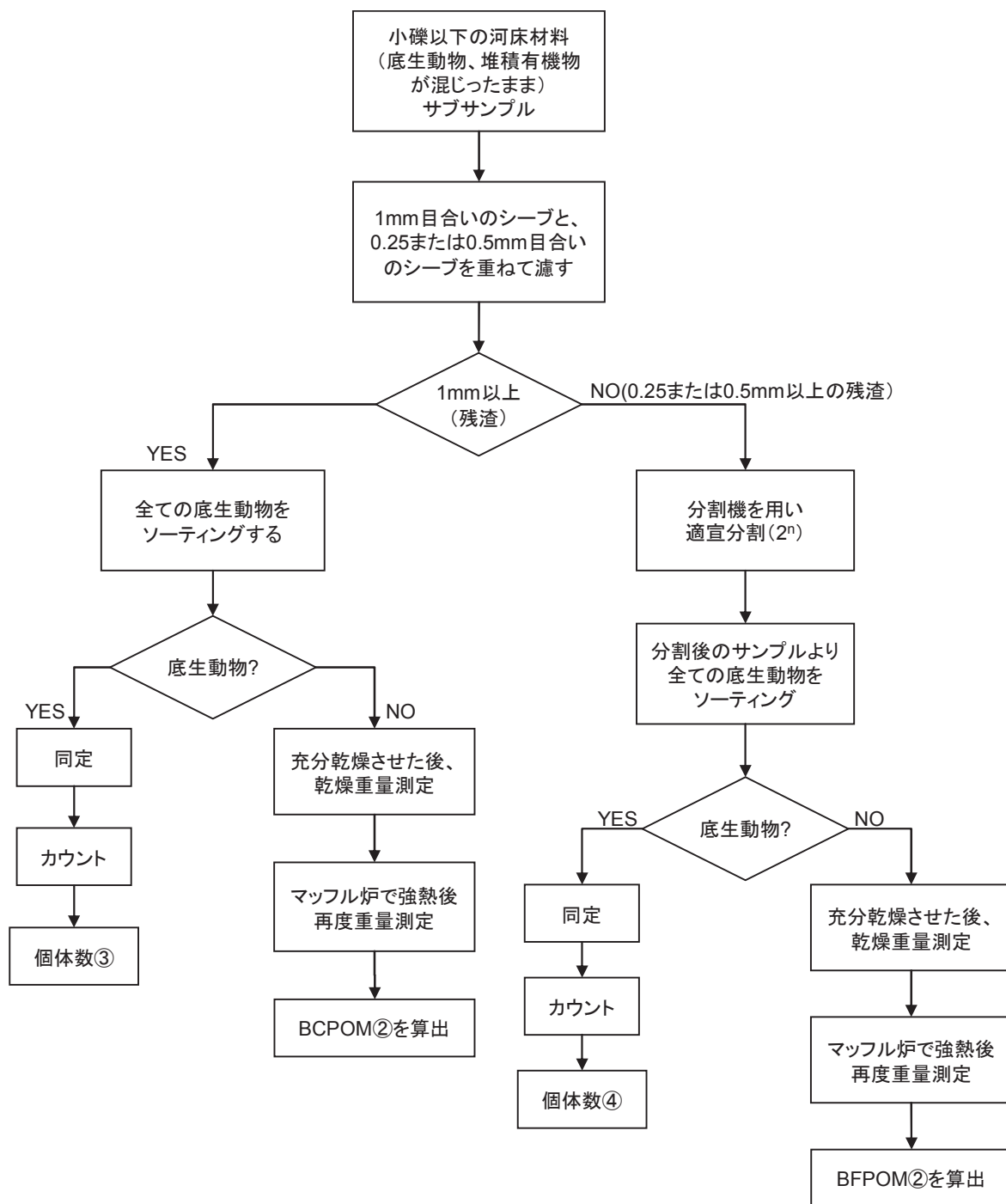


図 5.4-9 調査フローチャート C-2 (分析室でのフロー)

5.4.4 解析方法と結果の示し方

(1) 解析方法

解析では各サイト間の環境変数、付着藻類、底生動物の差異を明らかにすることを最初の目標とする。次に、差異が見られた場合には、環境変数と付着藻類・底生動物との関係を明らかにすることを目標とする。以下にその内容をステップ別に表示す。

1) ステップ 1

環境変数、付着藻類、底生動物について以下の項目について整理する。

a) 環境変数について

- ・ サイト別に各環境変数値の平均値と標準偏差を算出し一覧表を作成する(表 5.4-2)。なお、本表は参考例であり、全ての環境変数を掲載していないので注意してほしい。
- ・ ダム直下、合流点上流、下流がインパクトサイト、支川がコントロールサイトに該当する。
- ・ 出水時流量の規模や頻度も各サイトの環境変数として取り扱う場合もあるが、ここでは、平水時の環境要因のみを扱い、変数として示した。

表 5.4-2 環境要因の一覧表の例 (平均値±標準偏差)

環境変数	調査サイト			
	ダム直下	合流点上流	合流点下流	支川
水深(cm)	32.56 ± 1.68	....	30.18 ± 2.34	30.80 ± 2.98
流速(cm s ⁻¹)	48.80 ± 6.10	....	41.20 ± 3.91	52.10 ± 4.43
河床材料(表層)		....		
砂(%)	0.00 ± 0.00	....	1.02 ± 0.47	3.49 ± 0.85
小礫 (%)	2.10 ± 0.99	....	5.54 ± 1.24	9.61 ± 1.31
		~		
巨礫 (%)	53.10 ± 11.18	....	28.40 ± 5.25	21.11 ± 8.38
掃流砂 (mg m ⁻³)	1.40 ± 0.36	....	6.50 ± 0.68	27.00 ± 10.16
流下 FPOM		.....		
流下 CPOM		.....		
動プランクトン(mg m ⁻³)	4.90 ± 2.52	....	2.40 ± 1.00	0.00 ± 0.00
		~		
河床のChlorophyll a (mg m ⁻²)	4.50 ± 0.56	....	7.00 ± 3.84	12.00 ± 5.76
堆積FPOM (g m ⁻²)		.....		
堆積CPOM (g m ⁻²)	4.68 ± 0.71	....	5.35 ± 1.01	2.60 ± 0.23

* 河床材料は表層の面積割合を示す。

b) 付着藻類について

サイト別に以下の項目について平均値と標準偏差を算出する（表 5.4-3）。なお、各出力のイメージは底生動物と概ね同じであるから、表 5.4-4、表 5.4-5 を参考にしたい。

- ・ 乾燥重量、強熱減量、無機物量（＝乾燥重量－強熱減量）、強熱減量(%)
- ・ クロロフィル a、フェオフィチン、それらの割合など（例；クロロフィル a / (クロロフィル a + フェオフィチン)
- ・ AI (Autotrophic Index) = 強熱減量 / クロロフィル a
- ・ サイト別出現タクサー一覧表（出現タクサ数、細胞数）の作成
- ・ サイト別優占タクサの比較表（出現頻度 1～5 位）の作成

c) 底生動物について

- ・ サイト別出現タクサー一覧表（個体数、湿重量）の作成（表 5.4-4）
- ・ サイト別出現タクサ数、生息個体数密度の作成
- ・ サイト別優占タクサの比較表（出現頻度 1～5 位）の作成（個体数・湿重量）（表 5.4-5）
- ・ サイト別の多様度指数、均衡度、EPT 指数等（下記参照）
- ・ 多様度指数(diversity index)とは、ある生物群集内の多様性を示す数値尺度のことであり、いくつかの種類がある。現在、最も一般的に使われているのは、Shannon-Wiener の多様性指数(H')であり、以下の式で求められる。

$$H' = -\sum(p_i \times \log_2 p_i)$$

（ただし、 p_i : i 番目の種類の個体数が総個体数に占める割合）

- ・ 均衡度(Evenness, E)とは、ある生物群集の複雑さを表す数値尺度のことであり、0 から 1 の値をとる。群集を構成する種が全て同数で出現する場合、その群集の均衡度は 1 となる。

$$E = H' / \ln S$$

（ただし、 S : その群集に出現する種数）

- ・ EPT 指数 (% EPT)とは、ある河川底生動物群集の総個体数に占める、カゲロ類 (Ephemeroptera)・カゲラ類 (Plecoptera)・トビケラ類 (Trichoptera)の合計個体数の割合 (%) のことであり、その群集が採集された地点の水質の健全度や瀬・淵などの河川環境の多様性を表す指標として用いられる。豊かな種類数は河川の良好さをある程度示すものと考えられる。

$$\% \text{ EPT} = 100 \times (E + P + T) / N$$

（ただし、 E :カゲロ類個体数、 P :カゲラ類個体数、 T :トビケラ類個体数、 N :底生動物総個体数）

2) ステップ2：環境変数、付着藻類、底生動物のサイト間差異を検出する

得られた各指標（以下にその例を示す）に対してサイト間の分散分析（ANOVA）を用いて比較を行い、多重比較により差異を検出する。なお、BA デザイン、CI デザイン、BACI デザインによって、空間的・時間的な繰り返しの違いで解析手法が異なってくるので注意する。これらの解析手法の違いについては（佐川ほか 2004）が詳しい。

分散分析・多重比較の具体的方法については一般的な書籍に掲載されているので（統計ソフトが添付されていることが多い）、活用すると良いだろう。

3) ステップ3：高度な環境解析について

以上までの解析は「エクセル統計」等の汎用ソフトで対応可能であるが、より高度な環境解析は、解析に関する専門知識、付着藻類・底生動物の生理・生態に関する知識、専門の統計ソフトが必要となる。従って、ステップ3以降の解析については、専門機関との連携により行うことを勧める。

具体的に解析内容をイメージしてもらうため、底生動物について解析例を示した。

- ・ 底生動物の摂食機能群（FFG）、生活型の解析・・・その地点の環境をあらわす状況証拠として、どのような環境に適した生物がどれだけの割合で生息するか、調査地点ごとに比較する。
- ・ 底生動物の群集解析・・・生息する生物群集がどう変化するか、群集解析を行って類似度を比較することで検証する。
- ・ 環境変数と底生動物の相関・・・多変量解析（CCA など）を行い、各地点の環境と底生動物の変化を関連付けて説明する。

表 5.4-3 サイト別 付着物 結果

	ダム下流		合流点上流		合流点下流		支川	
	St.1	St.2	St.3	st.4	St.5	St.6	St.7	St.8
乾燥重量(g/m ²)	7.8±1.9	8.4±5.2	135.7±84.9	31.4±30.8	3.0±1.3	2.5±0.5	2.6±3.6	0.4±0.1
強熱減量(g/m ²)	1.8±0.7	2.2±1.7	11.7±4.4	7.9±6.7	0.3±0.1	0.3±0.2	0.3±0.1	0.1±0.0
chl.a (mg/m ²)	21.5±3.1	24.1±8.9	78.9±21.4	75.63±49.2	6.6±2.4	4.6±1.4	3.1±1.5	1.8±0.4
フェオフィチン (mg/n	6.5±0.5	7.0±2.4	31.4±8.9	22.7±25.1	1.4±0.5	1.5±0.5	1.6±0.4	1.4±0.1
.....								
AI	365±40	347±69	1613±612	606±340	413±114	661±231	573±469	226±87

表 5.4-4 サイト別底生動物出現タクサ一覧表（個体数、湿重量）（紙面の関係上一部省略して示している）

[illegible]

*ダム上流と支川の2つにコントロールサイトを設けた例。表5.4-2と調査デザインが異なるので注意する。

表 5.4-5 サイト別優占タクサの比較表

調査区	優占順位	分類群	密度			機能摂食群
ダム上流	1	エリュスリカ亜科	473.2	±	115.4	CG, SC
	2	コヒメミス	291.4	±	14.1	CG
	3	フタバコカゲロウ	215.3	±	0.9	CG, SC
	4	ヤマユスリカ亜科	98.5	±	19.0	CG, SC
	5	トゲマダラカゲロウ属	72.6	±	1.3	PR
ダム下流	1	エリュスリカ亜科	3474.6	±	799.5	CG, SC
	2	アカマダラカゲロウ	1564.8	±	31.2	CG, SC
	3	フタバコカゲロウ	1032.3	±	19.7	CG, SC
	4	ミスミス科	367.2	±	1.5	CG
	5	ウルマーシマトビケラ	239.8	±	292.3	CF
支川合流後	1	エリュスリカ亜科	2144.3	±	854.8	CG, SC
	2	フタバコカゲロウ	665.7	±	9.5	CG, SC
	3	ヒメトビイロカゲロウ	567.7	±	45.8	CG, SC
	4	ミスミス科	501.3	±	1.3	CG
	5	ウスバガカンボ属	231.8	±	65.3	CG
支川	1	エリュスリカ亜科	761.3	±	231.0	CG, SC
	2	フタバコカゲロウ	291.9	±	46.2	CG, SC
	3	ミスミス科	254.2	±	276.0	CG
	4	コヒメミス	215.2	±	391.8	CG
	5	トゲマダラカゲロウ属	175.4	±	67.7	PR

表 5.4-4 から各サイトの優占種群を整理した。摂食機能群の説明は4章のトピックスを参照。

(2) 解析結果の評価方法

以上のプロセスにより、調査サイトがダム下流の流程に沿って配置されていれば、

- * 環境変量、付着藻類相・底生動物群集の下流方向への変化を明らかにする。
- * 付着藻類・底生動物を指標として下流方向への影響範囲を明らかにする。
- * 付着藻類・底生動物の変化を環境変量との関連性から考察し、変化を引き起こした環境要因を特定する。

ことがある程度可能となるだろう。ただし、環境要因の特定はあくまでも仮説のレベルであり、本当に特定した環境要因が付着藻類・底生動物に影響を与えているか否かは、仮説を検証する操作実験等が必要となる。

ところで、ダムの影響範囲やその程度が特定できたとしても、それが許容し得る範囲内かどうかは別途異なった評価軸を必要とする。どのような評価軸を設定するかは、該当する地域の自然的、社会的、歴史的背景により異なり、ここで一般化することは困難だが、付着藻類についてはアユの餌資源、景観・レクリエーションといった観点から評価する際の参考値が設定されているので、紹介しよう。

■親水活動、景観的な観点からの評価

表 5.4-6 に、河床付着物量に対する親水利用や視覚的な観点からの基準や許容値に関する既往研究を整理した。

表 5.4-6 親水利用や視覚的な観点からの基準や許容値

項目	項目	値
親水・レクリエーション利用の基準値（ニュージーランド環境省が河川局に推奨）（New Zealand Ministry for the Environment 1992）	糸状藻類（被覆率）	<40%
	chl.a	<100mg/m ²
	強熱減量	<40g/m ²
親水・レクリエーション利用の許容値（Nordin 1985）	chl.a	<50mg/m ²
許容できない付着物量（Horner et al. 1983）	chl.a	>100-150 mg/m ²
	糸状藻類（被覆率）	>20%
視覚的に許容される河床付着物量（自然共生研究センター）（皆川ほか 2005、2006）	乾燥重量	<10g/m ²
	強熱減量	<5g/m ²
	chl.a	<20mg/m ²
きれいと感じる河床付着物の目安（平山ほか 1994）	乾燥重量	<15g/m ²
	強熱減量	<5g/m ²
	chl.a	<30mg/m ²

また、透視度や水生生物の生息状況など、河川の水質を従来の水質指標より分かりやすく評価するという観点から、「河川水質の新しい指標」（国土交通省河川局 2005）がまとめられている。

■アユの餌資源としての評価

アユの餌資源としての評価の参考として、全国内水面漁業協同組合連合会による「魚をほどよく放流するための手引き」（1992）から抜粋し示す。

- ・アユは灰分 80%程度の藻類でも利用することができるが、正常に生育するためには 50%以下が望ましい（村上ほか 1989）。
- ・灰分（強熱残留物／乾燥重量）が 60%以下であれば、肥満度が低下することはないと考えられている（大分県内水面漁業試験場 1989）
- ・河川が増水すると付着藻の剥離をもたらすが、藻類量は速やかに回復して増水があった時から 10 日以内に最高値に達し、藻類が回復した時は好漁となる（村上ほか 1989）。

以上のように、特に細粒土砂の沈積はアユの餌資源としての質にとってはマイナス要因になると考えられている。

この他、糸状緑藻もマイナス要因となることが指摘されており、カシオガサ *Cladophora glomerat* については、アユの後腸でも消化されないことから、成長阻害となる可能性が指摘されている（内田 2002）。

5.5 既設ダムを対象にした実態分析の例ー調査計画・デザインの重要性の理解のために

本節では、5.2 に示した BACI デザインの基本を踏まえ、5.3 や 5.4 に示した調査項目・方法を適切に抽出し組み合わせて行った調査結果に基づき、ダムと下流河道状況との関係の何らかの側面について分析した事例を示し、調査・分析の組み立てに関する具体イメージをつかむための情報とする。

5.5.1 ダム供用後の河川における河床材料の分析（既設ダムの事例から）

(1) 供用後十～数十年が経過したダム（物理環境変化を対象にした CI デザイン）

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（山原ほか 2007）の概要を以下に示し、3.3.2、3.3.3 で説明した捉え方のイメージを深めるのに役立てる。

ダムによる河道変化を実証的に明らかにするには、少なくとも、ダム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か（BA デザイン）、ダム上下流で水理条件がほぼ同じ区間の河道状況を比較すること（CI デザイン）が必要である。そして、上流にダムが無いことだけをもってコントロール区を設定してしまうことが不適切であることは 5.2.2(1) に述べたとおりである。本分析事例では、河床材料の分析を目的としていることから、コントロール区の設定に当たって、水理条件がインパクト区と概ね同じであることを確認しなくてはならない。逆に、こうした手続きを経ないコントロール区の設定は、信頼度の高い分析をもたらさない。

具体的には、以下のような検討を行っている（1.2 の研究紹介の再掲）。国土交通省および水資源機構が管理する全国 98 ダムの中から、まず、①対象ダムの上流域にダムが存在しないこと、②ダム下流で土砂還元を実施していないこと、の 2 条件で絞り込みを行っている。さらに、③ダム上下流の水理条件（川幅、河川勾配）に大きな違いがないこと、④ダム下流ですぐには支川が合流しないこと、⑤ダム流入河川が複数ないこと、の 3 条件を用いてスクリーニングを行っている。その結果、3 ダムが抽出された。以下に紹介するのは、こうして選定された 3 つのダムのうちの二つである。

調査時点（2006 年 2～4 月）においてダム供用後 30 年以上経過した土師ダムと 10 年未満の比奈知ダムを対象に、それぞれのダム上下流の水理・河道条件とそこでの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 5.5-1 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、あわせて参照され

たい。なお材料 m 、 s 、 t の説明は 2.2 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 5.5-1 中の下方に図示されている。

- ・ 河床を構成する主材料 m (礫) の粒径は、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 (図中の太矢印で示した部分)。
- ・ 水域の材料 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。
- ・ 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こ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、3.3.2、3.3.3 で説明した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、両方を合わせる (BACI デザイン) など、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。1.2 で述べたように、既設ダムについて、コントロール区に求められる条件をすべて満足する場所を見出すことは一般に難しい。あるべきコントロール区を設定できない多くの場合、そうした難しさを踏まえた上で、CI デザインに基づく分析を無理に行うのではなく、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調査・分析を行うというスタンスが重要であることは、1.4 で述べた通りである。

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、4章で説明したように、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。

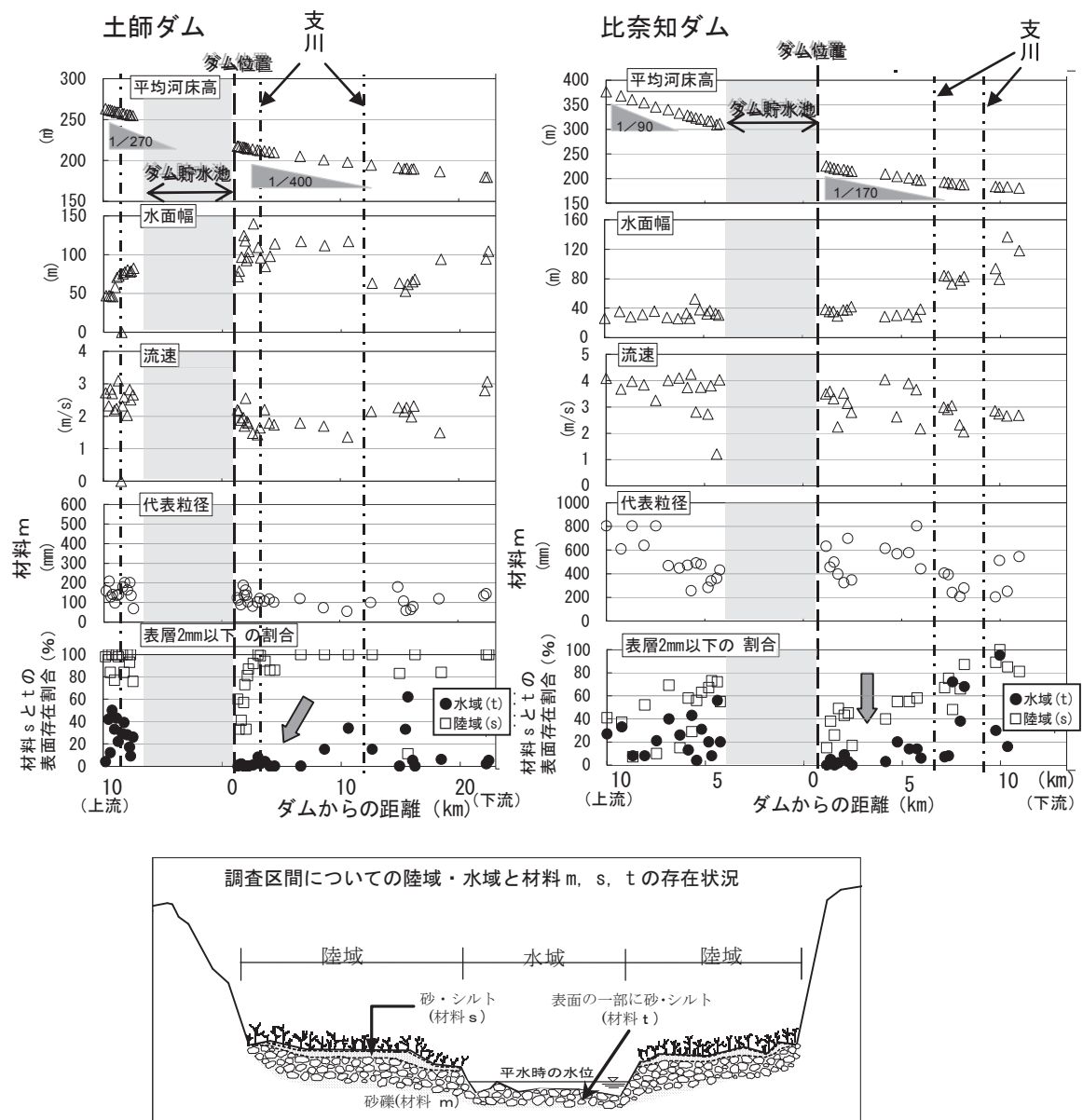


図 5.5-1 河道・水理条件が似ている河川区間を直上下流に持つダム貯水池についての
河床材料の上下流比較の例
(右方向が下流向き：流速、水面幅は平均年最大流量時のもの：最下段の材料s（陸域）、
t（水域）については、粒径2mm 以下の材料が表面に存在する面積割合で表示）

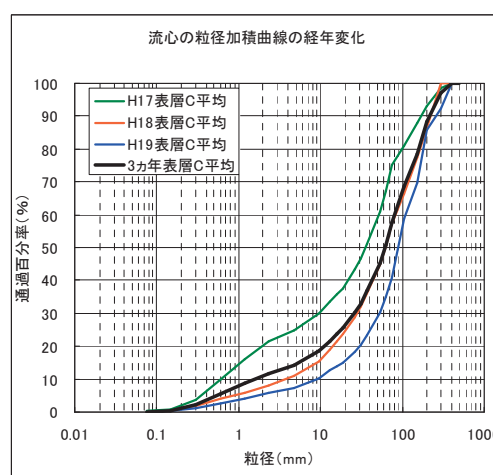
(2) 供用後間もないダム（物理環境変化を対象にした BA デザイン）

先に示した供用後十～数十年が経過したダムの下流では、水域の材料 t (砂) の表面存在割合が減少していた。この材料の変化が、ダムの供用によりどのような過程を経て生じるのか確認するための調査が、供用後間もない3つのダムで BA デザインを基本に実施されている。以下その概要を、調査デザインに力点を置いて説明する。

調査対象とした3つのダムは、それぞれ以下の特徴を持つ。d ダムは、扇状地の上流部に建設されており、土砂の供給や流量の復元が期待できる規模を有する支川はダム下流およそ 15km 程度まで見られない。河道は直線的であり、堆積層は厚く河床には大礫から小礫まで多様な粒径の材料が交互砂州を形成している。e ダムは、ダム下流約 1km 付近に支川が合流しており、左右に大きく湾曲している。河床には中礫～大礫が浮石または載り石の状態で分布しており、試験湛水前において、河床表面に砂はほとんどない。f ダムは、ダム下流約 3km 付近に支川が合流しており、左右に大きく湾曲している。河床材料は極粗砂や小礫、中礫からなり、巨礫や岩盤が露出したり浅い位置に存在する。

1) d ダムの例

図 5.5-2 に d ダムにおける試験湛水開始前（平成 17 年）、試験湛水開始後（平成 18 年）、及び供用後（平成 19 年）の粒径加積曲線（いずれもダム地点から下流 5km 区間に設定された 4 測線×横断方向約 3 点の表面材料の平均）の変化を示した。これによれば、2mm 以下の砂等の材料の構成比率が 20%から 5%まで減少している。またこの区間のうちダム下流約 2km 地点における表面材料の平面分布の変化を図



5.5-3 に示す。砂州の形状が経年的に大きくは変化していない中で、みお筋では砂の分布域や構成割合が減少している一方、比高の高いところでは変化が小さいことがわかる。

図 5.5-2 d ダム下流 5km 区間における表面の河床材料

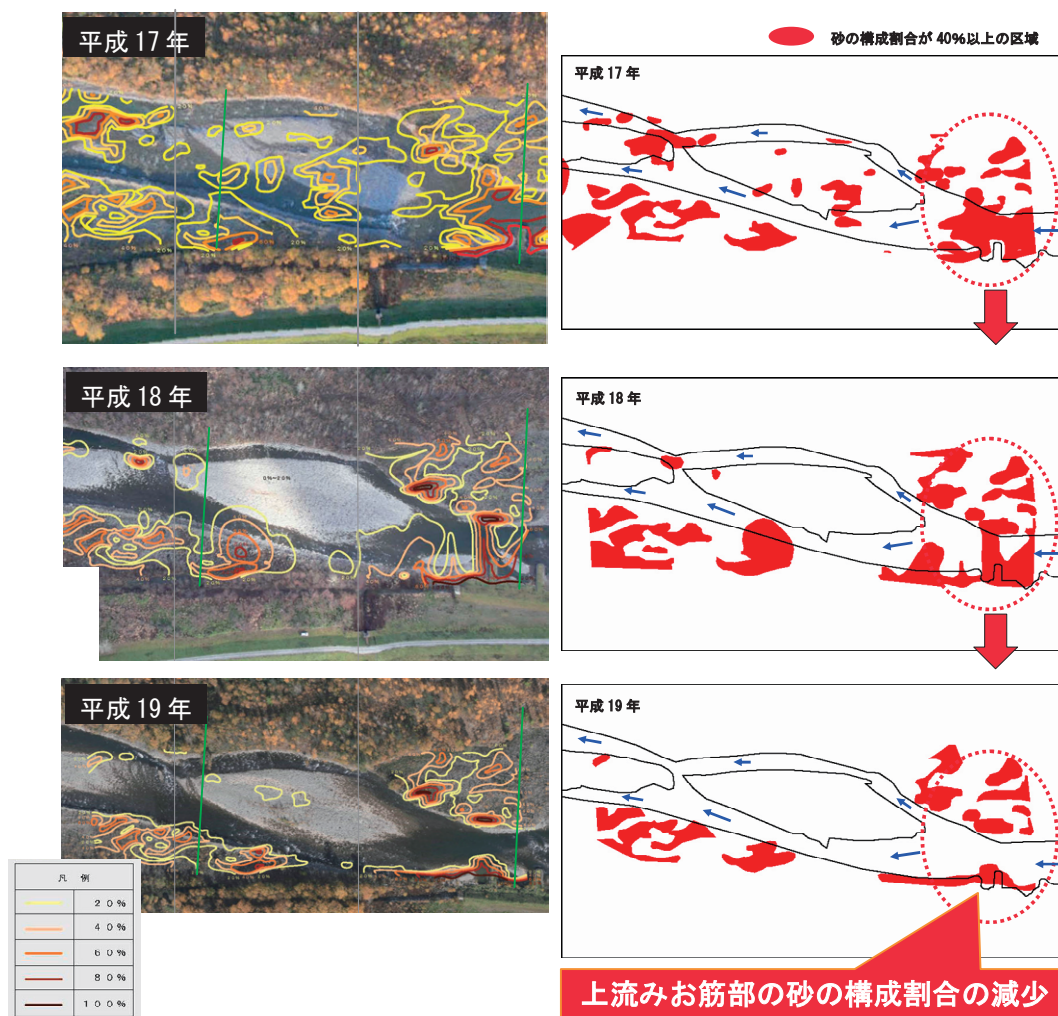


図 5.5-3 d ダム下流 2km 付近における砂泥（2mm 以下）の河床表面存在割合の変化

材料の変化を比較した期間のうち、平成 17 年は転流工を通じて上流から土砂が流下しているが、平成 18 年・19 年はともに土砂のほとんどを止めている。したがって、土砂収支上礫や砂の流下は減少しているはずであり、前出の砂の構成比率の減少の要因として、ダムの供用がまず考えられる。流入する支川はダムから約 15km 下流となる。この間、河床材料を有意に供給しえる河川や沢は存在しないことから、土砂の主たる供給源は d ダム上流に限定される。対象とした平成 17 年から 19 年の間には、平均年最大流量（ダム地点約 $200\text{m}^3/\text{s}$ ）相当の放流が 1 回発生している（日流量の時系列については図 5.5-4 参照）。この流量は、図 5.5-3 にある砂州域を冠水させる流量に相当する。この流量の継続時間は 3 時間程度であったため、砂州を十分には攪乱し得なかったと考えられる。さらに、平成 19 年は夏期において出水がほとんど発生していないため、河道内の攪乱はより限定的なものであったと考えられる。

これらが背景となって、みお筋の位置が大きくは動かない状態で、規模の小さな出水や平常時流量等において繰り返し流れの影響を受け続けたため、砂等がみお筋のみ減少したとの説明が浮かび上がってくる。

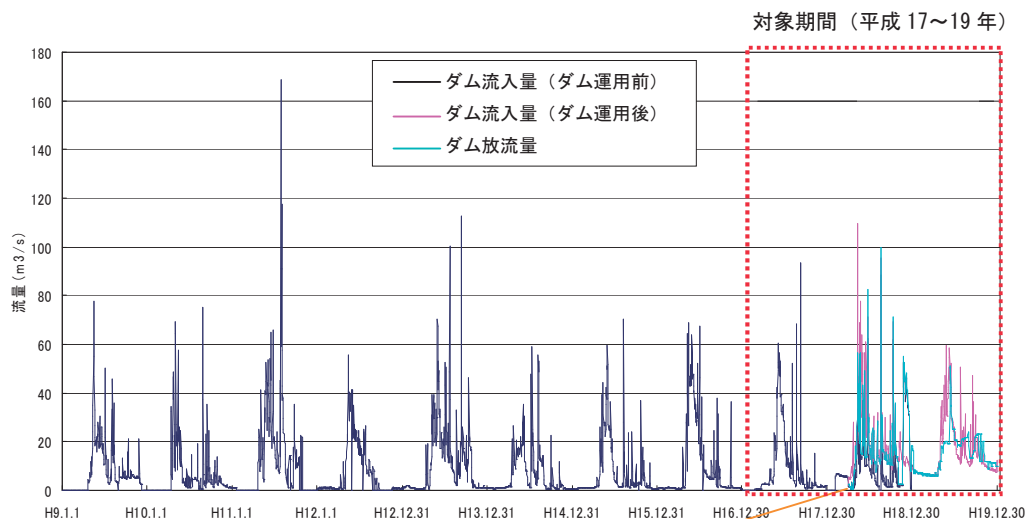


図 5.5-4 調査期間内に発生した出水の概要（流量は日流量）

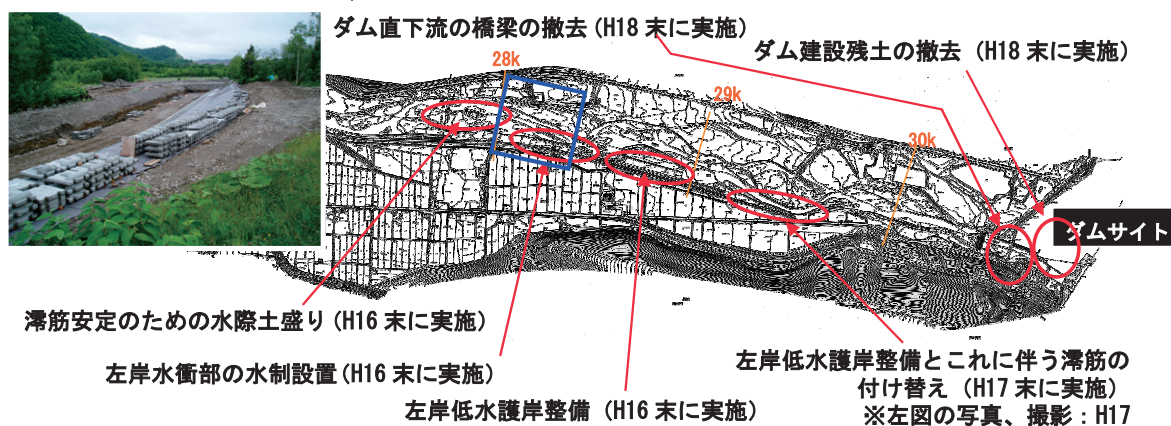


図 5.5-5 調査期間中における関連工事の状況

□は図 5.5-3 の調査地点

一方、平成 17 年は、ダム及び関連工事が実施されている最中であり（その概要を図 5.5-5 に示す）、工事に伴う土砂が多く発生していた。このことは、今回の比較において初期段階とした平成 17 年の河床材料が、自然の状態より多くの砂等の材料で構成されていたとも考えられ、前出に示した砂等の減少傾向は、場合によっては自然の状態に復元する過程であった可能性もまだ少し残る。

以上のように、d ダムで見られたみお筋の砂等の減少の要因として、ダムによる土砂の扞止が有力であるが、他の要因による可能性もまだ考えられ、的確なモニタリングをさらに続けるとともに、詳細な分析を行う必要がある。

2) e ダム・f ダム

図 5.5-6 に e ダムにおける試験湛水開始前（平成 17 年）、試験湛水開始後（平成 18 年）、及び供用後（平成 19 年）の粒径加積曲線（いずれもダム下流およそ 3km の縦横断方向計 15 測点の表面材料の平均）の変化を示す。これによれば、観測を開始した平成 17 年から 18 年までの間で 2mm 以下の砂等の材料の構成比率がほとんど見られなかったが、平成 19 年には 10%程度まで増加した。

また、図 5.5-7 に f ダムにおける試験湛水時（平成 17 年）及び供用後（平成 18 年、19 年）の粒径加積曲線（いずれもダム下流およそ 3km 区間の縦横断方向計 15 測点の表面材料の平均）の変化を示す。これによれば、観測を開始した平成 17 年から 19 年までの間に 2mm 以下の砂等の材料の構成比率が 20~30%増加した。

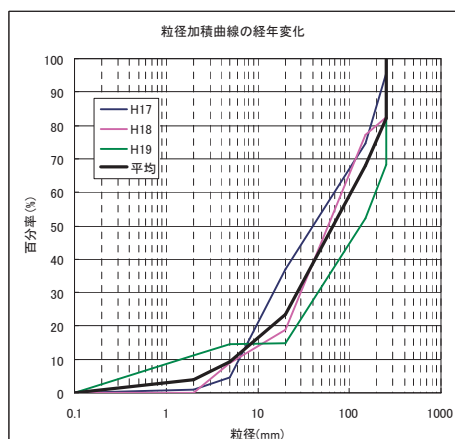


図 5.5-6 e ダム下流 3km 区間における表面の河床材料

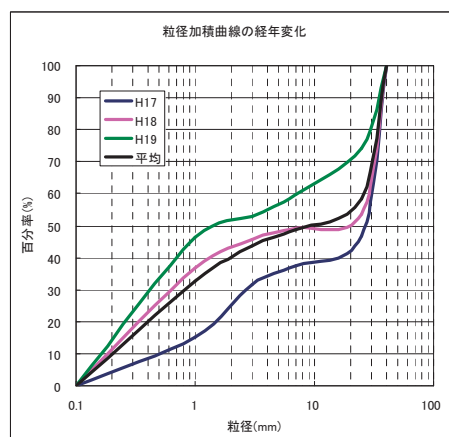


図 5.5-7 f ダム下流 3km 区間における表面の河床材料合の変化

ダムの供用によりダム上流から流下する砂等の材料の多くは、平成 17 年における e ダムを除き、すでに流下していない。ダム下流において流入する支川からは、砂等の材料の供給がある。したがって、支川が主な砂供給源となっている可能性が考えられる。対象とした期間は、d ダムと同様、夏期の降雨が少なく洪水調節を目的としたダム放流を行っていない。このため、下流河川の攪乱頻度および規模は低下していると考えられる。

以上を考えれば、e ダム及び f ダムにおいて砂等の材料の構成割合が増加した主な理由は、「出水が発生しなかったこと」に加え、「支川から材料が供給されたこと」が考えられる。しかし、支川からどの程度の砂等の材料がどのタイミングで供給されたか、など現段階では明らかになっていない点が多いので、現段階ではあくまでも「仮説」の域を出ない。

3) きちんとした調査デザインに基づく継続的な調査の重要性

ここで紹介した三事例は、いずれも確定的な分析を行うにはまだ早すぎる段階である。また、BA デザインとしては、ダム完成前の調査期間・密度が少なすぎるという課題があるかもしれない。それでも、いくつかの有益な情報が得られつつあることが分かる。現時点で結果が確定していないことが問題なのではない。BA デザインに基づいて、このような計画的な調査をさらに継続し、科学的な分析に必須の情報を漏れなく蓄積していくことで、ダムと下流河川の物理環境との関係について意味のある知見を得ていく道筋に乗っていることが重要なのである。分析目的が達成されるように“仕掛け”られた調査を実施することが肝要であり、いくら長い期間調査を行っても、元々の調査デザインが目的と整合していない場合には、良い結果が得られないことを肝に銘ずべきである。このことは、たとえば、何かのインパクトを与える前の調査が無いまま、インパクト後の調査を積み重ね、インパクトの影響をそれだけから明らかにしようとする状況を想起すれば容易に理解できる。

5.5.2 既設ダムにおける付着藻類・底生動物の実態分析について（CI デザイン）

(1) 調査のポイント

ここでは、既設ダムの分析事例として中部地方のjダム下流（集水面積 504.5 km²、竣工 1970 年）において底生動物の生息と環境要因との関連性の把握を目的として実施した調査結果を紹介しよう。この事例では、底生動物の生息に関係する幾つかの環境要因に関するデータ（環境変量）を収集し、ダムによる土砂供給量の多寡と河床材料の組成の変化が底生動物に及ぼす影響を明確にしている。特に、ダム下流に流入する支川 B 川（ダム直下から 0.8km で合流、集水面積 89.5 km²）からの土砂供給がダム直下に見られる底生動物相の回復に寄与する傾向が見られる点は興味深い。ダム下流における調査イメージを掴んで頂ければ幸いである。

(2) 調査デザイン

本調査は既設ダムの下流河道における底生動物相の変化とその要因との関係がダム下流方向にどのように変化するかを明らかにすることを目的として行った。特に、ダム下流における支川流入が下流方向への変化をどの程度緩和するかが調査の主要な目的であった。

本調査は既設ダムを対象としたものであり、事前調査が行われていないことから、コントロール区を設定し、インパクト区との比較により変化の抽出を試みた（CI デザイン）。コントロール区の設定に当たっては、ダム貯水池上流にもサイト候補地を設定し予備踏査を行ったが、平成 12 年に発生した恵南豪雨に伴う土砂流出により河床に材料 s あるいは t が堆積し、河床材料の粒度組成がダム下流で合流する B 川と著しく異なったためコントロール区の設定を見送った。

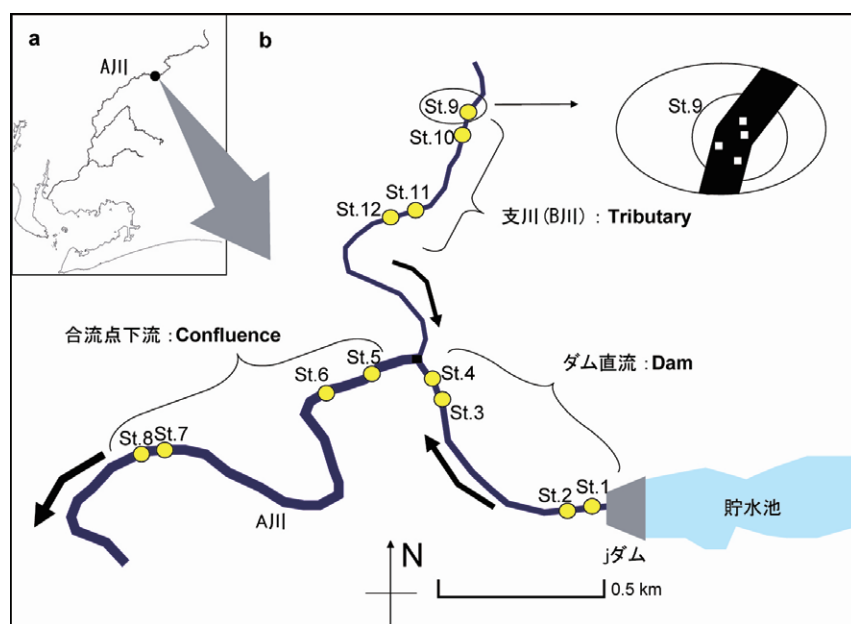


図 5.5-8 調査サイトの設定状況

ダム直流、合流点下流がインパクト区、支川がコントロール区

各調査サイトは2つの調査ステーションから構成され、例えば、St.1とSt.2がダム直下流のサイト、St.5とSt.6が支川合流後のサイトとなっている。これは5.4で説明したように1サイト内に2つの瀬を設定し、瀬間のデータのばらつきの程度を明確にし、統計的な処理をし易くすることを意図した。インパクト区としてダム直下流に2サイト(St.1・St.2)、支川合流前後に2サイト(St.3・St.4、St.5・St.6)を設定し、コントロール区として支川に2つのサイト(St.9・St.10、St.11・St.12)、合計6つのサイトを設定した。また、各調査サイト内の瀬を対象とし各瀬にランダムに4つのサンプリング地点を設けた。

(3) 調査結果の概要

1) 各サイトにおける環境変数の特徴を把握する

まず、環境変数の一覧表を作成してみよう(表5.5-1)。5.4.3で説明した環境変数を全て扱っていないが、底生動物の生息に関わる代表的な変数は網羅されている。サイト別に各変数の平均値と標準偏差を示し、最右欄には一元配置分散分析結果を示している。また、解析結果で平均値に有意差($P<0.05$)が認められる場合には多重比較を行い差が認められるサイトを明示した。各変数の添字に”a”、”ab”等の文字があり、同一文字が添えられていない場合はサイト間に差があることを示している。例えば、河床材料の「小礫」は、「ダム直下流」と「支川」では差が見られるが、支川合流点下流は”ab”であり、「ダム直下流」の”a”、「支川」の”b”と同一文字が含まれるため有意差は認められない。このプロセスから、どの環境変数に差が見られるか、そして、差が見られるサイトが明確となり、ダム下流における環境要因を具体的に明らかにすることができる。

表 5.5-1 各サイトの環境変数と分散分析結果

環境変数	サイト			一元配置分散分析	
	ダム直下流	支川合流点下流	支川	F	p
水深 (cm)	34.85 ± 1.68	30.18 ± 2.34	31.53 ± 2.98	0.95	0.42
流速 (cm s ⁻¹)	49.79 ± 6.10	41.75 ± 3.91	57.40 ± 4.43	2.73	0.08
河床材料					
砂 (%)	0.00 ± 0.00 ^a	1.02 ± 0.47 ^b	3.49 ± 0.85 ^b	15.41	<0.01
小礫 (%)	2.10 ± 0.99 ^a	5.54 ± 1.24 ^{ab}	9.61 ± 1.31 ^b	9.31	<0.01
中礫 (%)	10.05 ± 3.13	10.97 ± 1.75	16.20 ± 2.87	1.59	0.26
大礫 (%)	32.60 ± 7.59	53.20 ± 3.01	49.59 ± 5.09	3.97	0.06
巨礫 (%)	55.26 ± 11.18	29.28 ± 5.25	21.11 ± 8.38	3.63	0.07
掃流砂 (mg m ⁻³)	1.52 ± 0.36 ^a	6.90 ± 0.68 ^b	29.83 ± 10.16 ^c	37.82	<0.01
流下細粒状有機物					
動物プランクトン (mg m ⁻³)	5.22 ± 2.52 ^a	2.42 ± 1.00 ^a	0.00 ± 0.00 ^b	13.05	<0.01
残渣 (mg m ⁻³)	3.53 ± 1.88	5.14 ± 2.53	6.50 ± 1.36	1.54	0.25
流下粗粒状有機物 (mg m ⁻³)	1.31 ± 0.57	13.41 ± 3.52	26.18 ± 7.59	4.70	0.04
河床のchl-a (mg m ⁻²)	5.00 ± 0.56	7.88 ± 3.84	13.54 ± 5.76	0.27	0.77
堆積細粒状有機物 (g m ⁻²)	0.71 ± 0.07 ^a	0.76 ± 0.08 ^a	0.34 ± 0.02 ^b	13.95	<0.01
堆積粗粒状有機物 (g m ⁻²)	4.68 ± 0.71	5.35 ± 1.01	2.60 ± 0.23	3.69	0.07

ただし、統計的な有意差は一つの目安であることに注意しよう。有意水準が 0.05 を上回っても、当該変量の空間・時間的な変動が大きく差が出にくい場合がある。また、逆に時空間的に変動が極めて小さい場合には有意差が認められても生態的には意味のない場合もある（例えば、水深 50cm と 55cm で差が認められる場合等）。

j ダムの調査では、調査サイト間で差が認められた環境変量は、砂、小礫の割合、掃流砂量、流下動物プランクトン量（主にゾウシシコ）及び堆積細粒状有機物量（B-FPOM 量）であった。これらの差異を視覚化し理解しやすくしてみよう（図 5.5-99(A)、(B)）。河床材料の粒径別面積占有率を見ると、ダム直下流では砂や小礫の抜け出しが生じ、巨石の割合が大きく、粗粒化傾向を確認できる。また、掃流砂量はダム下流では小さく、支川では大きいこと、流下動物プランクトン量は支川では見られず、ダム下流で大きいこと、河床に堆積する細粒状有機物（B-FPOM）の量が支川で小さいことが理解できる。

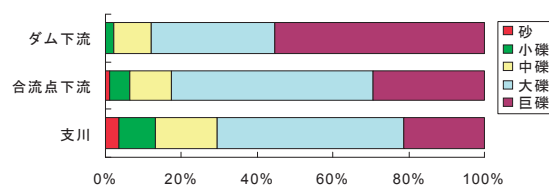


図 5.5-99 (A) 表層河床材料の面積占有率

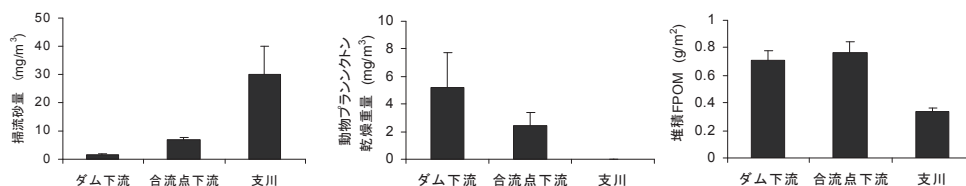


図 5.5-99(B) 掃流砂量（左）、流下動物プランクトン量（中央）、堆積細粒状有機物量（右）（平均値及び標準偏差）

2) 各サイトにおける底生動物相の特徴

底生動物のデータ整理においても、5.4.4 で示したようにサイト別のタクサー一覧表を作成し、その後各サイトにおける底生動物相の特徴を把握するため優占 5 位までのタクサ（分類群）とそれらの「生活型（底生動物の形態や生活の仕方による分類）及び「摂食機能群（底生動物の餌の種類や摂餌方法に着目した分類）」（表 5.5-2）、各調査区の出現タクサ数、総個体数、Simpson の均衡度（図 5.5-810）、各摂食機能群の割合（現存量）（図 5.5-11）を整理するとよい。本調査では、ダム下流の底生動物相の特徴として、出現タクサ数は少なく、Simpson の均衡度が小さいこと（一部のタクサの現存量が大きい）、生活型では造網型（石面に流下有機物を捕らえる網と巣を造り生息する）や固着型（石面に固着あるいは巣を固着させその中に生息する）、摂食機能群では濾過食者や堆積物食者の現存量が大きいことが理解できる（生活型、摂食機能群の詳細は 4.3.3 トピックス参照のこと）。一方、支川や合流

点下流では、匍匐型（石面を歩いて移動する）、刈取食者（石面の付着藻類を摂食する）や捕食者（生きた動物を摂食する）が優占し、ダム下流とは異なる底生動物相となった。特に支川優占1位、合流点下流優占3位のヤマトビケラ属（刈取食者）は、ダム下流では優占種として確認されなかった種である。

表 5.5-2 優占タクサとそれらの「生活型」と「摂食機能群」

調査区	順位	タクサ	生活型*1	摂食機能群*2
ダム下流	1	ヒゲナガカワトビケラ	造網型	濾過食者
	2	ウスバヒメガガンボ属	固着型	堆積物食者
	3	ウルマーシマトビケラ	造網型	濾過食者
	4	アシマダラブユ属	固着型	濾過食者
	5	コガタシマトビケラ属	造網型	濾過食者
合流点下流	1	ヒゲナガカワトビケラ	造網型	濾過食者
	2	チャバネヒゲナガカワトビ	造網型	濾過食者
	3	ヤマトビケラ属	匍匐型	刈取食者
	4	ナカハラシマトビケラ	造網型	濾過食者
	5	ウルマーシマトビケラ	造網型	濾過食者
支川	1	ヤマトビケラ属	携巢型	刈取食者
	2	ナミヒラタカゲロウ	匍匐型	刈取食者
	3	カミムラカワゲラ	匍匐型	捕食者
	4	ヒゲナガカワトビケラ	造網型	濾過食者
	5	オオマダラカゲロウ	匍匐型	補食者

*1 底生動物の形態や生活の仕方に着目した分類(津田 1962)

*2 底生動物の餌や摂餌方法に着目した分類(Merritt & Cummins 1996)

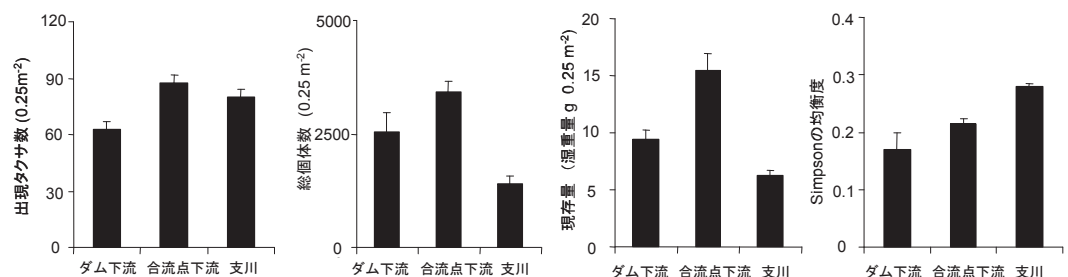


図 5.5-10 各調査区の底生動物の出現タクサ数、総個体数、現存量、Simpson の均衡度
(平均値及び標準偏差)

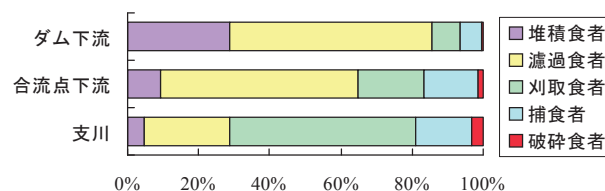


図 5.5-81 各摂食機能群の割合

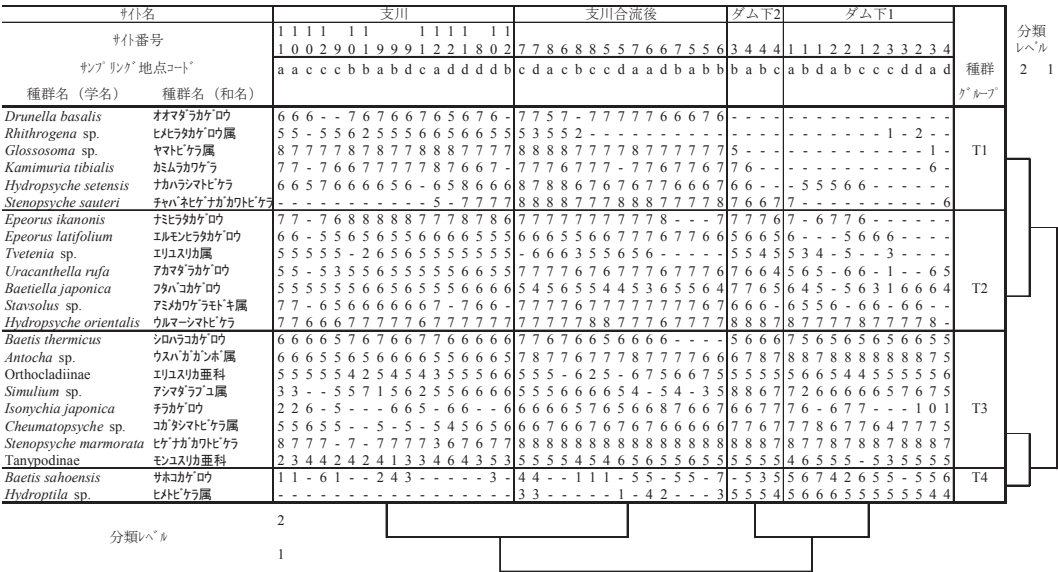
3) 底生動物相と環境要因との関連性の把握

ここまで行ってきた解析は 5.4.4 で説明したステップ 1 と 2 に相当するが、ここ
まで行った基本的な解析からだけでも、ダム下流における底生動物相の特徴と環境
要因との関連性がぼんやりと理解できることが実感できただろう。例えば、底生動
物相を見ると、ダム直下では出現タクサ数が少なく、均衡度が低下し、造網型・固
着型、濾過食者・堆積物食者が多かった。一方、支川における出現タクサ数と均衡
度は逆の傾向を示し、刈取食者・捕食者、携巢型・匍匐型が多く、合流点下流では
その中間的な群集構造を示していた。また、環境変量についてはダム下流では砂、
小礫、掃流砂量が少なく、流下動物プランクトン、堆積している細粒状有機物
(B-FPOM)が多く、支川ではその逆の傾向が見られた。造網型が流下動物プランクト
ンを濾過し、堆積物食者が細粒状有機物(B-FPOM)を摂食すること、固着型が巨礫表
面上に巣をつくり生息すること、携巢型のヤマトビケラが砂や小礫を巢材として利用す
ること等各タクサ固有の生態を知っていれば、以上で整理した結果から、ダム下流
における底生動物相の変化とその要因をある程度理解することが可能となる。

5.4.4 で説明したステップ 3 はより高度な解析手法を適用し、①生物の群集構造
からサイト間の関係性を解析する。更に、②群集構造と環境変量との関連性を明確
にする、ことを目的として行われることが多い。

表 5.5-3 2 元指標種分析 (TWINSPAN; Two-way Indicator Species Analysis) の結果
(数値は現存量を示し、数値が大きい程現存量が大きい)

図 5.5-8 の各 st に 4 つのサンプリング地点を設けているため 12st×4 サンプリング地点で
合計 48 のサンプリング地点から構成される。解析の結果、種群・サンプリング地点はそ
れぞれ 4 つのグループに分割された。サンプリング地点別に見ると支川+支川合流後、
ダム下流で分割され、次に、前者は支川サイトと支川合流後サイトに、後者は更に 2 つ
に分割された。ダム下 2 はダムサイトから遠方に位置する地点から構成され、ダム直下
から流下するに従い群集構造が変化していることが理解できる。



本事例では、2元指標種分析（TWINSpan; Two-way Indicator Species Analysis）により、各サンプルの底生動物群集構造からサイト間の類似度を解析している（表 5.5-3）。また、底生動物群集と環境変量との関連性については、群集の類似度を非計量的多次元尺度構成法（NMS; Non-metric Multidimensional Scaling）で解析し、NMS スコアと環境変量との相関分析を実施している（図 5.5-412）。

2元指標種分析の結果を見ると（表 5.5-3）、合流点下流の底生動物相は支川に類似し、ダム直下流の底生動物相は支川及び支川合流後と異なっていることが理解できる。また、ダム直下流は2つに分割され（ダム下1とダム下2）、ダムサイトからより遠いサンプリング地点が比較的類似するグループとなっている。以上の結果はダム直下流から比較的短い区間で底生動物相が変化すること、そして、支川が底生動物相の回復に寄与していることを示すものであり極めて興味深い。なお、本調査の後に実施したrダムの下流でも同様の結果が得られている。

非計量的多次元尺度構成法の解析では2次元平面図上に環境変量のベクトル、サンプリング地点、種群がそれぞれプロットされ、類似度から見たサンプリング地点や種群の相対関係、環境変量とサンプリング地点、種群との相関関係を理解することが可能となる（図 5.5-82）。本図から、3つのサイトに河床材料の粒度組成、動物プランクトンの流下量及び堆積細粒状有機物量（B-FPOM）の違いが調査サイト間の底生動物相の違いを説明する主な因子であることが解る。ダム下流で優占した固着型のウバヒガガンボ属、アサダラブユ属などは、大きな礫に好んで生息すると言われている。ダム下流におけるこれらの増加には、巨礫の割合が大きいのことが関与していると考えられる。一方、支川や合流点下流で優占したヤマトビケラ属は、河床表面の砂を口から吐いた絹糸で固め巣を造り、これを携巣しながら移動し、礫表面の付着藻類を摂食する。常に巣を補修し続ける必要があるため、その生息には粒径2mm以下の砂が必要であるとされている。砂がみられないダム下流ではその生息が阻害され、支川合流後は、支川からの供給土砂によって砂が増加し、生息が可能になったものと考えられる。これらの種群は、巨礫の割合の増加や砂分の抜け出しなどの河床材料の粒度組成の変化を示す指標種となり得ると考えて良いだろう。また、ダム下流で優占した濾過食者は、流下動物プランクトン量との間に強い対応関係がみられ、ダム湖で増殖した動物プランクトンの流下が、有機物を摂食する濾過食者の餌環境を有利にしたと考えられている。堆積物食者については、それらの餌となるB-FPOM量と対応関係が見られる点に注目してほしい。

4) 今後の課題と留意点

生物相の変化は幾つかの環境要因の変化が複合的に作用した結果として引き起こされる。今回のケースでは、土砂供給量の減少、動物プランクトンの増大などに起因しダム直下の底生動物相が変化していた。ただし、2元指標種分析からダム直下流においては比較的短い距離で底生動物相が変化したこと、そして、支川合流によって底生動物相が支川に類似した群集構造を示したこと、環境要因と生物相

との関連性は流下方向にきめ細かく評価する必要があることが理解できる。特に、相対的に小さい集水面積（本ケースでは本川に対しておよそ 20%の集水面積）の支川流入であっても、底質の改善と底生動物相の回復に寄与する可能性が確認できたことから、支川合流に伴う土砂供給量の増加を今後適切に評価することが必要になるだろう。このことは、5.5.1(1)で述べたダム下流における砂の表面存在割合の回復に関する知見とも対応しており、興味深い。また、ヤマトビケラ属等の刈取食者の減少が付着藻類相を変化させることは既に数多く報告されている。今後これらの生物相互関係を加味し、土砂供給量減少の影響を生態系の変化として捉えていくことも必要になるだろう。

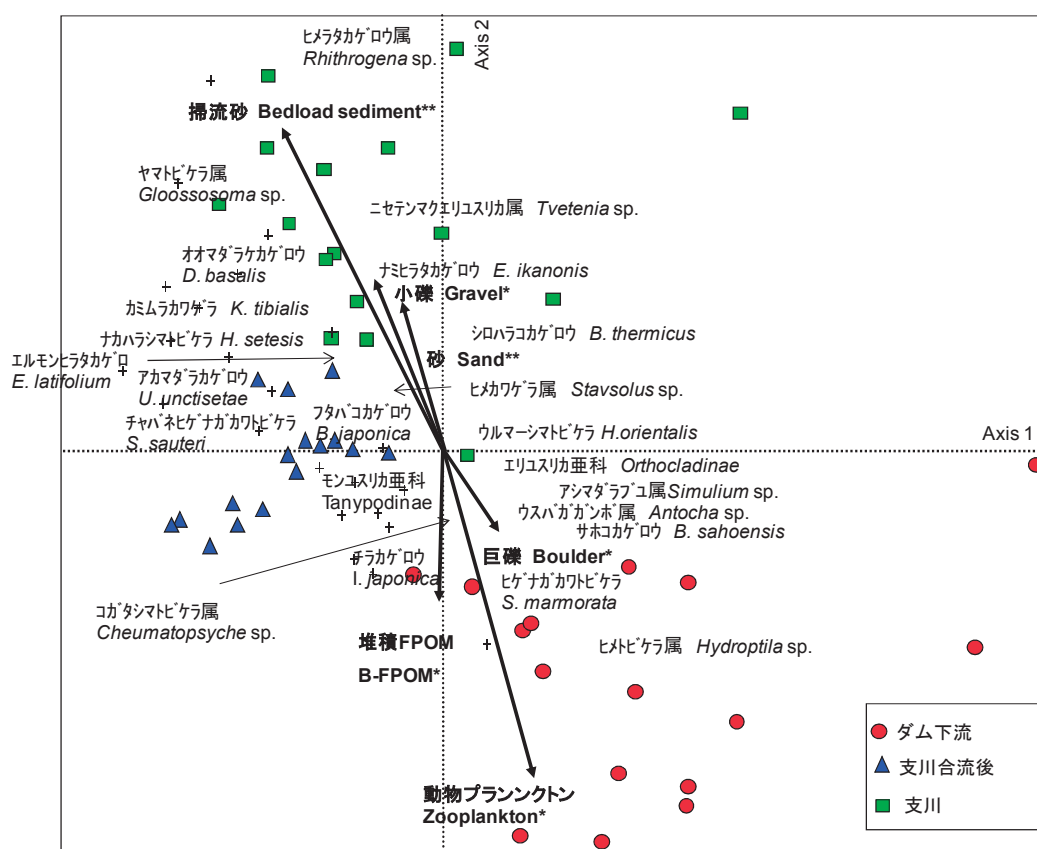


図 5.5-9 非計量的多次元尺度構成法による解析結果

3つのサイトはそれぞれまとまって分布していること、ダム直下は動物プランクトン、巨礫、堆積細粒状有機物が、支川は掃流砂、砂、小礫がその場を特徴付けていることが理解できる。支川合流後のサイトは両サイトの間的位置に分布する点が興味深い

ところで、以上、本事例で用いたツールはそれぞれ確立した手法であり、汎用性も高い。しかし、これらの手法が適用できる前提には、明確な目的と目的に沿った調査デザインの組み立て、精度の高い調査・分析があることを忘れてはならない。多くの既存調査を見ると、「コントロール区が設定していない」、「インパクト区の設定数が少ない」、「サンプリングを1地点で行っている」、「対象とする環境変量の

項目が少なすぎる」といった問題が見られ、以上に示した解析の実施が困難である場合が少なくない。以上の問題点を改善するためには、調査デザインの検討にかかる時間や調査そのもののコストが増大するといった課題も生じるが、問題を抱えたままの調査からは何の知見も得られない、即ち、実施する意味のない調査であることを強く意識することが必要である。