

## 報告書概要

技術研究開発 課題名	河道整備・管理に関する技術研究開発
技術研究開発 テーマ名	河川環境のための河床地形管理手法に関する技術開発
研究代表者	
氏名	所属・役職
竹門 康弘	京都大学防災研究所・准教授
共同研究者	
氏名	所属・役職
角 哲也	京都大学防災研究所・教授
藤田 正治	京都大学防災研究所・教授
堤 大三	京都大学防災研究所・准教授
竹林 洋史	京都大学防災研究所・准教授
武藤 裕則	徳島大学大学院建築工学研究科・教授
石田 裕子	摂南大学理工学部・講師
<b>【1】背景・課題</b> 治水安全度の確保・向上、良好な河川環境の保全・復元等のため、ダム・堰等の構造物の設置・撤去や、河道の掘削・引き堤・置土等の河道に加えられる改変が、河床の縦横断形状、瀬・淵等の地形、河床材料、植生などに及ぼす影響、堤防をはじめとする河川管理施設の長期的な機能維持に与える影響、そしてハビタットの量・質の変化を通じて河川環境に与える影響等を明らかにすることが求められている。とりわけ礫床河川においては、河道整備や管理の結果生じる河床の縦横断形状や砂礫供給量・移動量の変化など個別多様な改変に対する河道の応答予測モデルと、その結果としての治水への影響（流下能力確保のための維持掘削量、既設護岸の局所洗掘や流れに対する安定性、樹林化の進行に伴う粗度増加など）および河川生態系を支える物理基盤への影響（保全対象となるハビタットの変化、砂州の固定化や植生の安定的繁茂に伴う河原の喪失など）の評価手法とを組み合わせ、河道整備・管理がもたらす結果を総合的に把握し対策を検討するために活用可能な技術開発が重要である。	
<b>【2】技術研究開発の目的</b> 本研究開発は、河川環境保全のための河床地形の評価基準を定める手法の開発と目標となる河床地形を形成・維持するために必要な土砂供給条件を知るための技術開発とを通じて「河床地形管理の考え方と手法」を提案することを目的としている。そのために、木津川流域を調査対象に設定し、1) 木津川上流域からの流送土砂量の推定、2) 木津川本川の流送土砂量の推定、3) 河川環境保全のために必要な河床地形の評価基準の開発、4) 好適な河床地形を維持するために必要な流送土砂量の推定の各課題を、図-1のように連関させて実施する。これによって、山地から三川合流までの土砂動態の現状を把握するとともに、木津川の河川環境を好適に維持するために要請される流況や土砂管理目標についての判断材料を提供するものである。	

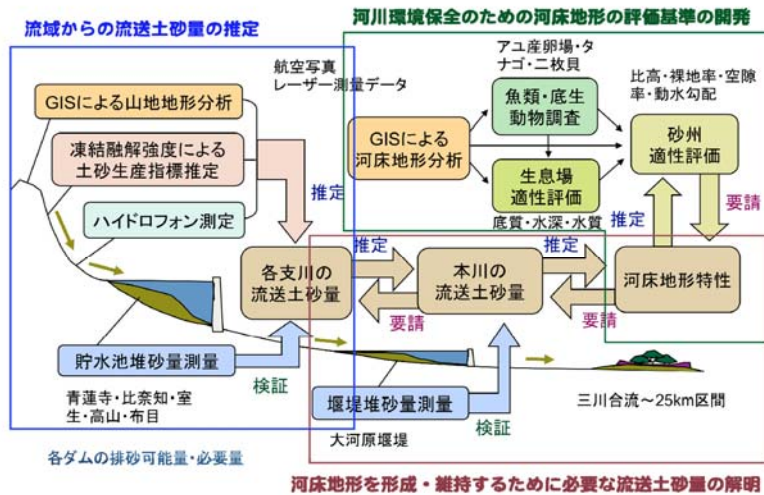


図-1 河川環境のための河床地形管理手法に関する技術開発における課題連関図

### 【3】技術研究開発の内容・成果

#### (1) 木津川上流域からの流送土砂量原単位の推定

木津川上流域（図-2）からの流送土砂量原単位の推定には、当初予定したハイドロフォン観測値ではなく、凍結融解強度指数とダム貯水池の堆砂実績を用いた。その理由は、2011年に受けた台風被害によって継続観測できたハイドロフォンが布目ダム上流（図-2参照）の1カ所であったため、観測値と各ダム貯水池の堆砂量の回帰分析が困難であったことによる。一方、2012年には木津川の全ダム流域ならびに本川流域について凍結融解強度指数の算出が完了したことから、比凍結融解強度指数（総凍結融解強度指数/流域面積） $[\text{m}^3/\text{km}^2/\text{y}]$ とダムの比堆砂量（堆砂量/流域面積） $[\text{m}^3/\text{km}^2/\text{y}]$ の回帰式に基づき、全流域の流送土砂量原単位の推定が可能となった（図-2）。



図-2 河川環境のための河床地形管理手法に関する技術開発における各課題の調査研究地点図

#### 1) 凍結融解強度指数による流送土砂量原単位の算出

流域における恒常的な土砂生産過程として、冬期間の凍結融解により裸地斜面の風化基岩が破壊されて土砂化する現象が要因として重要であることが、既往の研究によって明らかとなっている。山地域で生産される土砂量は、河道の土砂動態と河川生態系との連関を究明するために不可欠の境界条件となる。そのため、本技術研究開発では、熱伝導の観点から算出した凍結融解強度指数を土砂生産量の指標として、流域における土砂生産の傾向を把握することを目的として検討を進めた。凍結融解強度指数は、図-3に示したように地盤内の凍結融解の繰り返し回数を深さ方向に積分した値として算出する。

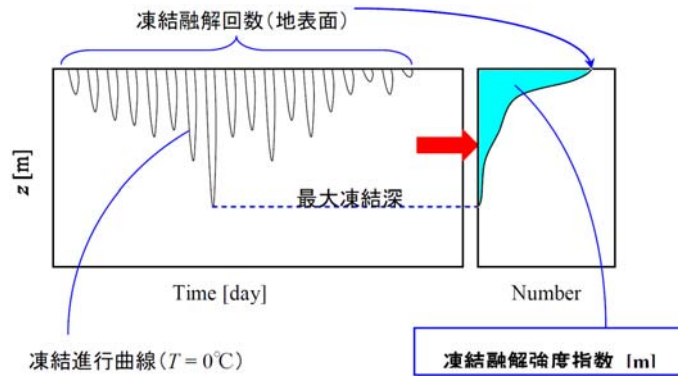


図-3 凍結融解強度指数の定義を表すための模式図：左の凍結進行曲線（凍結温度の存在する深さの変化）を時間方向に積算し、凍結融解回数の深さ方向のプロファイルを求め、その曲線を積分する事で凍結深さと凍結融解回数の両者を加味した凍結融解強度指数を求める。

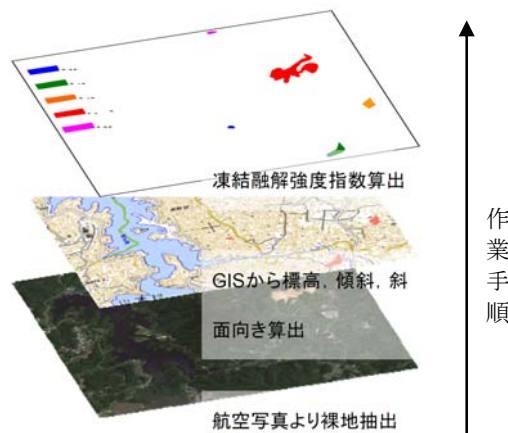


図-4 対象流域の凍結融解強度指数算出手法の概念図

平成 24 年度は、大河原堰堤流域、高山ダム流域、布目ダム流域、高山ダム流域内の室生ダム流域、青蓮寺ダム領域、比奈知ダム流域の各流域において凍結融解強度指数を算出した。具体的には、航空写真から裸地を抽出し、その標高、傾斜、斜面向きを DEM データから算出し、気温、日射量、風速のデータを入力値とする地盤の熱伝導解析によって、凍結融解強度指数  $I_f$  を全裸地ごとに算出し、裸地面積の積の総和を流域全体の凍結融解強度指数  $I_{total}$  とした（図-4 参照）。

平成 24 年度は、この解析を木津川の各ダム流域において実施し、比凍結融解強度指数（総凍結融解強度指数/流域面積） $I_{total}/A$  [ $m^3/km^2/y$ ]とダムの比堆砂量（堆砂量/流域面積） $S_{total}/A$  [ $m^3/km^2/y$ ]とから得られた回帰式  $S_{total}/A = 9.9751 \times I_{total}/A$  を用いて、全残流域の土砂流出量を推定した。これらを合計した木津川流域全体から流出する土砂量はおよそ 17.8 万  $m^3/y$  と推定された（表-1）。

表-1 比凍結融解度指数とダムの比堆砂量とから求めた土砂流出量の推定結果（推定式は本文参照のこと）

	相関係数	流域面積 $A$ [ $km^2$ ]	比凍結融解強度指数 $I_{total}/A$ [ $m^3/km^2/y$ ]	比土砂流出量 [ $m^3/km^2/y$ ]	土砂流出量 推定値 [ $m^3/y$ ]
大河原堰堤流域	9.9751	1,188	42.1	419.8	498,876
高山ダム流域	9.9751	632	53.3	531.6	335,836
布目川流域	9.9751	89.7	47.3	472.3	42,372
布目ダム流域	9.9751	70.0	60.5	603.4	42,244
残流域	9.9751	321	4.8	47.6	15,287
木津川流域		1,599			178,455
川上ダム流域	9.9751	55.1	187.5	1870	103,066

## 2) ハイドロフォン観測による流送土砂量の推定

蓮寺ダム、室生川堰堤、布目ダム上流と下流において、濁度とハイドロフォンのモニタリングを行ったが、2011年9月に日本に上陸した台風12号と15号によって室生川、青蓮寺川の機器に大きな被害を受け、布目ダム下流は埋没の結果データの取得が困難になった。本報告書では、2年半にわたるハイドロフォン観測ができた布目ダム上流のデータを布目ダムの年間堆砂量と比較することによって、布目ダムに流入する年間の土砂量と流入のタイミングについて推定することができた。また、同ハイドロフォン地点で行った3回の土砂投入実験の結果、ハイドロフォンで検知される流砂の径が2mm以上であり、最も検知率が高いのは10mm以上であると考えられた。また、同じ流砂量であっても、粒径、単位時間の衝突の密度、流量や水深によってハイドロフォンの音圧やパルスが変わることが示された。最も土砂量と最も関係が強かった増幅率8倍または16倍のチャンネルのパルス数を用いて、ハイドロフォンと土砂量の検量線を作成した(図-4)。

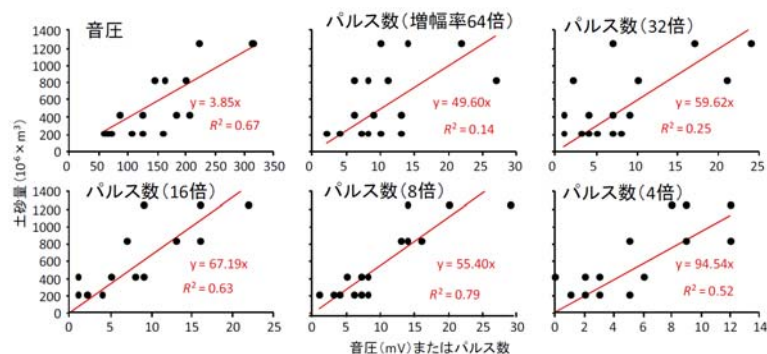


図-4 ハイドロフォン衝突音と土砂量の検量線

これを用いて推定された年間流砂量は、2011年では10,959 m<sup>3</sup>、2012年では8,715 m<sup>3</sup>であった。布目ダム副ダムの年間浚渫量は5,000~10,000 m<sup>3</sup>であり、オーダー的には概ね一致する推定結果であった。ハイドロフォンによって流砂量の推定値が得られると、出水イベントごとの土砂流出量が推定可能となる。2011年と2012年の年間ダム堆砂量に対する台風による出水イベントの寄与は31-39%と推定され、濁度計から推定された土砂量は42-47%であった。また、増幅率16倍、4倍、2倍のチャンネルはそれぞれ、砂利小、砂利大、礫に反応していた(図-5)。これらのチャンネルの消長により、出水規模による移動土砂粒径の限界値を判断できることがわかった。

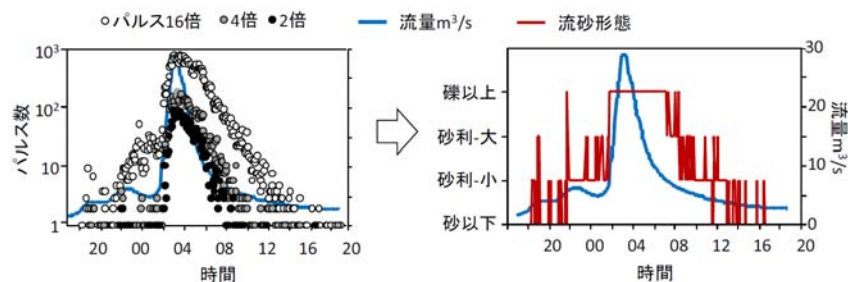


図-5 パルスから推定される流砂の形態 (2012/6/6 のイベントの例)

## (2) 貯水ダム下流域で実現可能な土砂還元量の評価手法の開発

### 1) ダム長寿命化と土砂流送可能性を踏まえた土砂還元量の評価

木津川ダム群を、水および土砂の回転率のパラメータ (CAP/MAR (いわゆる貯水池回転率の逆数) = 総貯水容量 / 年間総流入量 および 先述の CAP/MAS (貯水池寿命) = 総貯水容量 / 年間総流入土砂量) で整理したところ、貯水池の寿命評価 (CAP(総貯水容量)/MAS (年平均流入土砂量) で全国平均の中間的な400~1,000年に該当した(図-6)。このため、仮に寿命1000年のダム管理を目指すには、概ね流入土砂量の1/2を排出できればよいと推定された(図-7)。

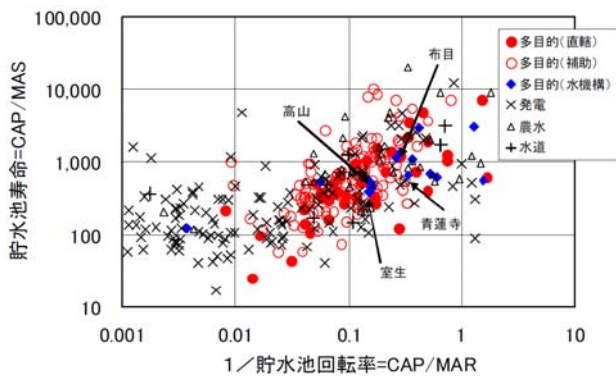


図-6 木津川ダム群の堆砂対策の選択

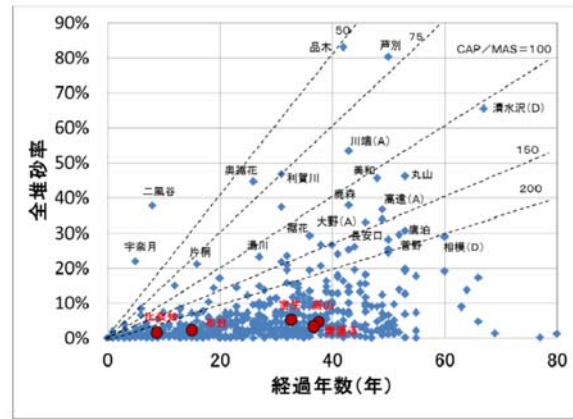


図-7 全堆砂（総貯水容量ベース）で評価した木津川ダム群の堆砂進行度

いっぽう、ダム下流ではピークカットの結果、増水時の掃流力が低下しているため、掃流できる土砂量に限界があると考えられる。LQ式を用いて、ダム下流において掃流可能な土砂量を評価したところ、布目ダムでは、流入土砂量の60%が上限値であり、生起確率1.75回/年の流量1,000 m<sup>3</sup>では44%、3.25回/年の500 m<sup>3</sup>では30%まで低下することがわかった（図-8）。これを高山ダム、青蓮寺ダム、比奈知ダムに適用させた結果、ダムの可能最大供給土砂量は50~60%であり、布目ダムを対象に検討してきたものと同様な傾向が得られた（図-9）。

高山ダムについて、長寿命化と土砂掃流可能性の両観点から妥当な土砂還元量を推定したところ、100年後の堆砂率を100%に抑えるには66,000 m<sup>3</sup>、貯水池寿命を1000年にするには57,000 m<sup>3</sup>が必要であると推定された（図-10）。ダム下流の掃流力から推定される可能最大供給土砂量は84,000 m<sup>3</sup>であることから、これらの排砂必要量を十分に掃流できることが分かった。

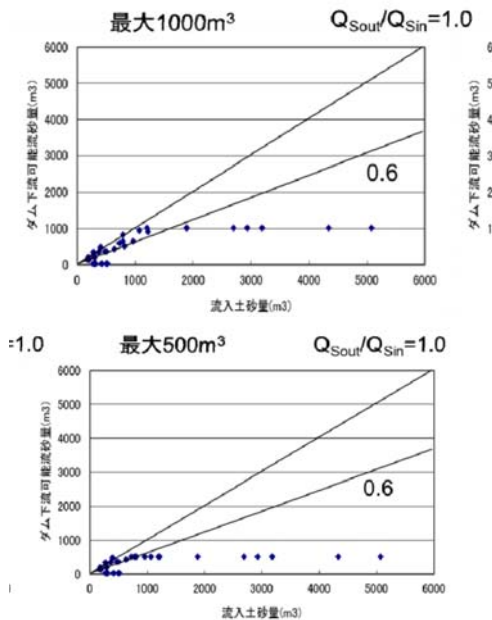


図-8 布目ダム下流への土砂供給量（置き土量を1000 m<sup>3</sup>、500 m<sup>3</sup>に制限した場合）

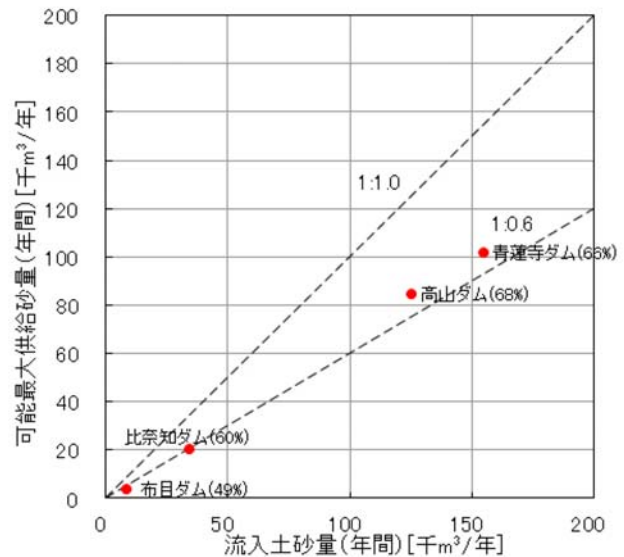


図-9 木津川上流ダム群のダム下流への可能最大砂供給量

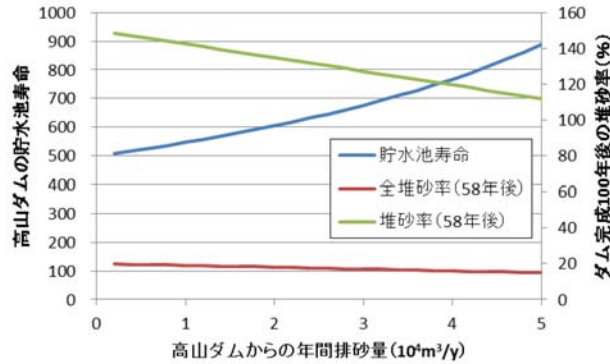


図-10 木津川上流ダム群のダム下流への可能最大土砂供給量

### (3) 木津川本川の流送土砂量の推定

#### 1) 流送土砂量の過去からの変遷

高山ダムでは1990年前後を境に堆砂速度の変化が見られるので、1990年までの平均の年堆砂速度を求めるとおおよそ $150,000\text{m}^3/\text{年}$ であった(図-11)。このうち砂礫成分( $<0.075\text{mm}$ 以下)を5割とすると、流砂量は $80,000\text{m}^3/\text{年}$ 弱、木津川本流からも名張川と同じオーダーの土砂量があったことを仮定すると、高山ダム建設以前には、下流へ少なくとも $100,000\text{m}^3/\text{年}$ かそれを上回る流砂量があったと推測された。

木津川下流の掃流土砂量について、江頭ら(2000)ならびに国土交通省近畿地方整備局の推定値を基に累乗の曲線回帰を行った結果、現時点の平均流砂量は $20,000\text{m}^3$ 弱に減少したと推定された。木津川においては1960年代から90年代までの間に流砂量が大きく減少し、2000年以降も減少率は小さくなったものの減少が続いていると推測される。

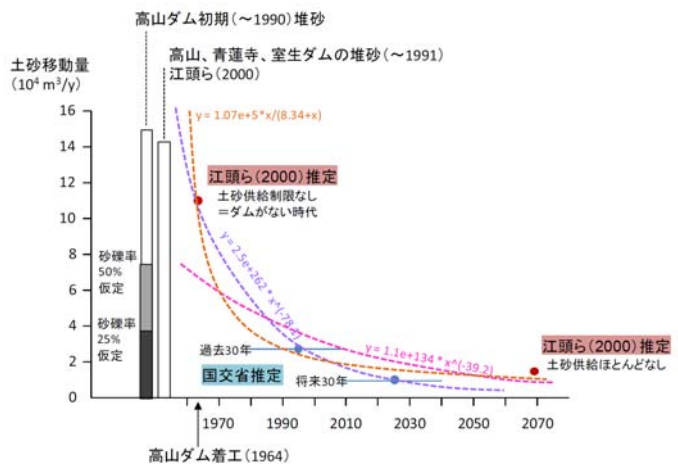


図-11 木津川における流砂量の情報

#### 2) 堰堤直上河床地形観測による流送土砂量の推定

大河原堰堤の堆砂変動量に基づいて期間累積流送土砂量を足し合わせて求められる年間流送土砂量は、2011年に約 $60,000\text{m}^3$ 、2012年に約 $3,000\text{m}^3$ と推定された。これは、2011年9月の台風12号および15号による継続時間の長い増水によって、貯水池内が掃流されて大きなポケットが形成されたことと、2012年の出水による流砂量の多くが堆砂したためと考えられた。この間の堆砂量の増分が約 $25,000\text{m}^3$ であったことから、大河原堰堤地点における平均的な流送土砂量は、おおよそ $20,000\sim 30,000\text{m}^3$ の範囲にあると推定された(図-12)。

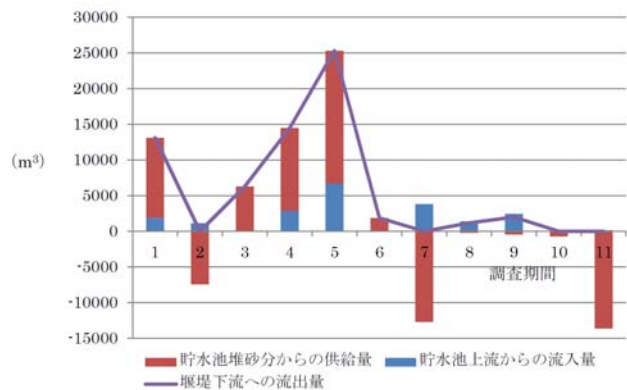


図-12 堰堤下流への流出流砂量

#### 3) 木津川本川の流送土砂量の推定

台風12号と15号の影響のあった平成23年において凍結融解度指数から求めた流送土砂量原単位を用いた木津川上流域からの土砂生産量は、 $163,040\text{m}^3/\text{年}$ と推定された。一方、大河原堰堤の2011年

の堆砂変動量から全粒径の通過土砂量については 45,000 m<sup>3</sup>/年と推定された。実際の土砂通過量は、大河原堰堤に堆積しない細粒分を考慮して、全量をその 2 倍の 90,000 m<sup>3</sup>/年と推定した。砂州環境評価地点を含む木津川下流の流送土砂量は、本川の 90,000 m<sup>3</sup>/年と大河原堰堤残流域の 27,000m<sup>3</sup>/年を合計した 117,000 m<sup>3</sup>/年と推定された(図-13)。

いっぽう、河床地形に寄与する粒径集団として砂礫のみを考慮し、その全粒径に占める割合を 40%と仮定した場合には、木津川上流域からの平年土砂生産量は 65,000 m<sup>3</sup>/年、大河原堰堤の堆砂測量から推定された平年通過土砂量は 20,000m<sup>3</sup>/年、木津川下流の平年流送土砂量は、大河原堰堤残流域からの 6,000 m<sup>3</sup>/年を併せた 26,000 m<sup>3</sup>/年と推定された (図-14)。

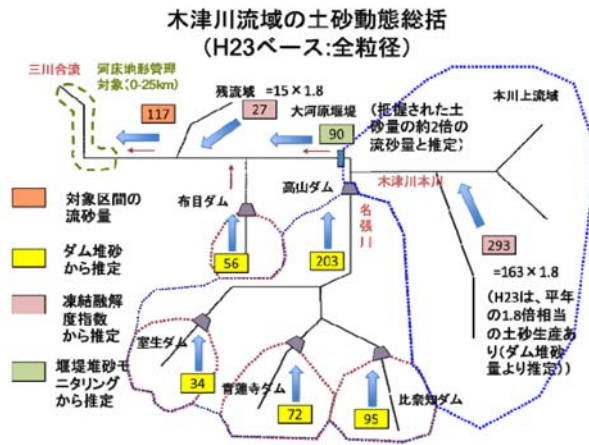


図-13 木津川本川の流砂量の推定  
(平年ベース：全粒径)

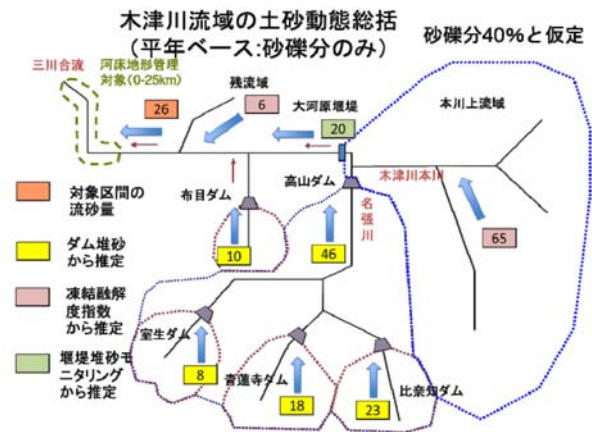


図-14 木津川本川の流砂量の推定  
(平年ベース：砂礫分 40%と仮定)

#### (4) 河川環境保全のために必要な流送土砂量推定手法の開発

##### 1) 魚類や底生動物の生息域としてのワンドを好適性と経年変化

砂州上流側に開口するワンドを砂州頭ワンド、下流側に開口するワンドを砂州尻ワンドとして区別し (図-14、表-2)、各ワンドの動物相を比較した結果、コウライニゴイ、ヨドゼゼラ、カワヨシノボリの稚魚、カゲロウ目、トビケラ目の幼虫などの流水性の動物が砂州頭ワンドを、ギンブナ、モツゴ、ヌマエビ、タイリクバラタナゴ、チビミズムシ、ユスリカ亜科の幼虫などの止水性の動物が砂州尻ワンドを選好することがわかった。

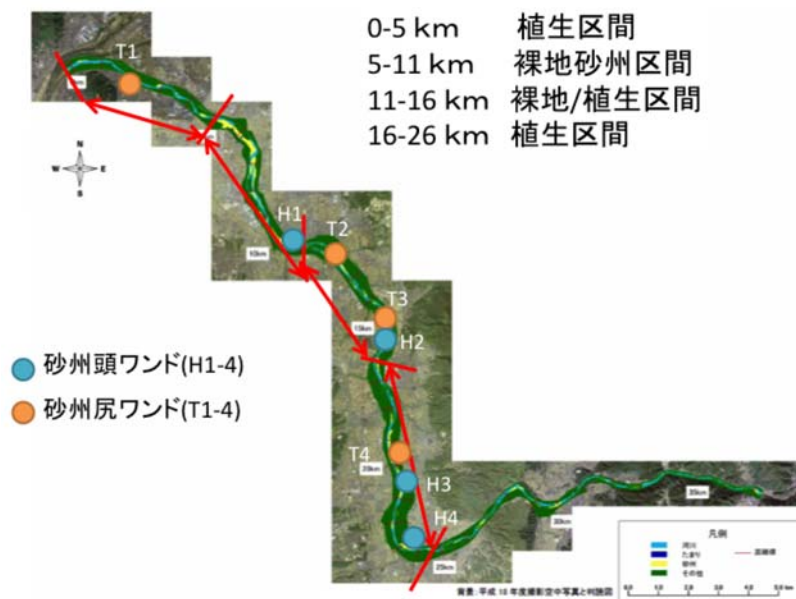


図-14 現地調査地点の分布

表-2 調査地点の位置  
調査地点までの距離は、国土交通省の距離標に基づき三川合流点からの距離で示した

T1	3.6km 地点 左岸 砂洲尻
H1	11km 地点 右岸 砂州頭 (近鉄橋梁下流)
T2	12km 地点 中州 砂州尻 (近鉄橋梁上流)
T3	15km 地点 左岸 砂州尻 (玉水橋付近)
H4	16km 地点 左岸 砂州頭 (玉水橋付近)
T4	20km 地点 右岸 砂州尻
H3	20km 地点 右岸 砂州頭
H4	24km 地点 右岸 砂州頭

一方、砂州上のワンド個数は、平均比高が2.6~3.7mで(図-15)、植被率が0.6~0.74で(図-16)最大化した。すなわち、砂州上にワンドが形成できるようにするためには、水際部分の比高を低い砂州が形成される土砂供給条件が必要であり、かつ水際にまばらに樹木が生育する程度の攪乱体制が好ましいと判断された。

ワンド数の経年変化から、1980年以降砂州頭ワンドが漸減傾向にあるのに対して砂州尻ワンドは増加傾向にあることがわかった。(図-17) 木津川の生物多様性を高く維持するには、砂州頭ワンドと砂州尻ワンドの両タイプのワンドが存続する必要があるものの、現状においては砂州尻ワンドよりも砂州頭ワンドの数を増やすような対策が求められる。そのためには、水際部分の比高が低い砂州が形成される土砂供給条件が必要である。また、ワンド環境保全のために必要な流送土砂量の目標として両タイプのワンドの個数がバランスよく多かった1979年当時の流送土砂量が妥当と判断された。

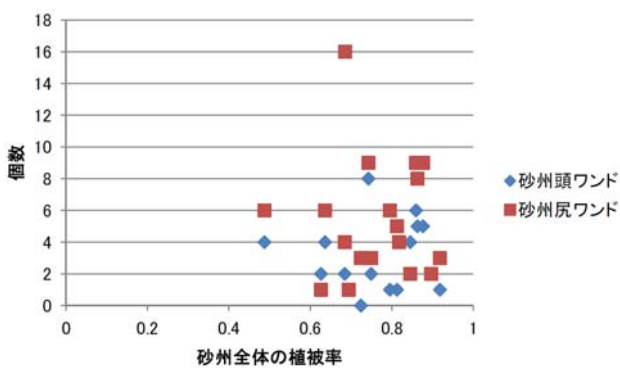


図-15 各砂州の平均比高とワンド個数の関係

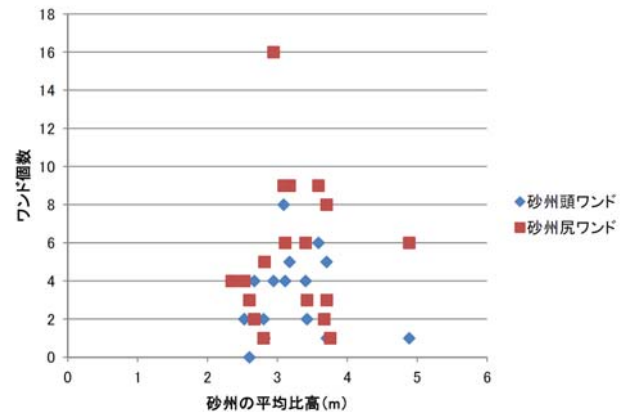


図-16 各砂州の植被率とワンド個数の関係

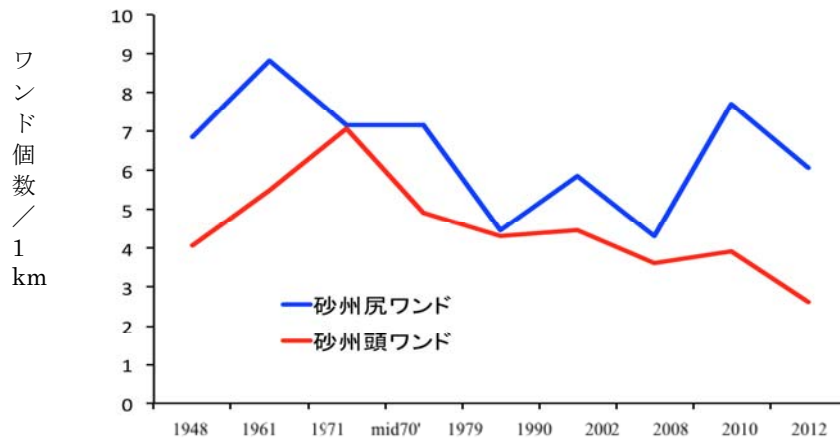


図-17 木津川 0-26km 区間におけるワンド総数の経年変化



## 2) アユ産卵場や底生動物生息場としての瀬の好適性と経年変化

アユの成長にとっては藻類生育に適した集中型の瀬が増加する 2000 年以降、アユ産卵にとっては好適な産卵床条件を提供する横断型の瀬が増加する 1990 年以降が適している (図-18) ことから、アユの生息環境を維持するためには、20,000~30,000m<sup>3</sup>の流送土砂量が適していると考えられる。さらに、瀬に生息する水生昆虫の種多様性維持の上では集中型の瀬が存在することが好適であると考えられることから、アユと同様に 20,000~30,000 m<sup>3</sup>の流送土砂量が適していると言える。

以上検討した複数の種のすべての要請を満足する掃流土砂量は存在しないものの、できるだけ共通部分を多く重ねるためには、30,000~50,000 m<sup>3</sup>の流送土砂量を目標とすることが妥当と考えられる。

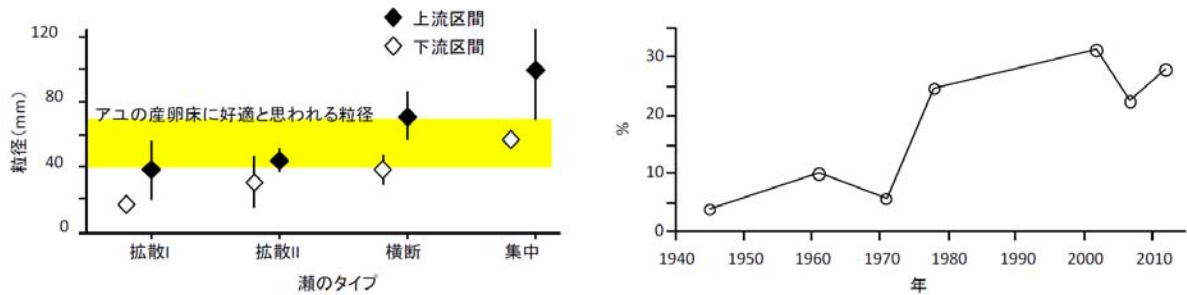


図-18 各瀬タイプとアユが選好する礫径 (左)、全瀬に横断瀬が占める割合の経年変化 (右)

## 3) 生息場好適性に関わる河床強度と空隙率の評価手法

河床の空隙率は魚類や底生動物などの生息場の質を左右する重要な要因であるが、その時空間的な分布と河床地形や水流との関係、また河床強度との関係など物理・力学特性についても不明な点が多い。

現地の砂州で河床空隙量を直接的に評価する手法、また河床強度などから間接的に推測する手法を開発し、実際の野外で空隙率の空間分布を調べた。貫入試験機による初期貫入値から空隙率を高精度に予測できることが分かった (図-19、図-20)。

室内において空隙率や河床強度に対する粒径分布や水飽和度の影響を明らかにするため、大型の円筒 (径 1m、高さ 1.5m) を用いた実験を行い、水の充填が増えると空隙率が上がるなどの知見が得られた。

また、出水前後の河床変動量の計算から、ハビタットの物理環境として重要なパラメータである河床材料の粒度の形成プロセスを考える場合は、洪水時の河床及び粒度の時間変化も把握しておく必要であることが示唆された。

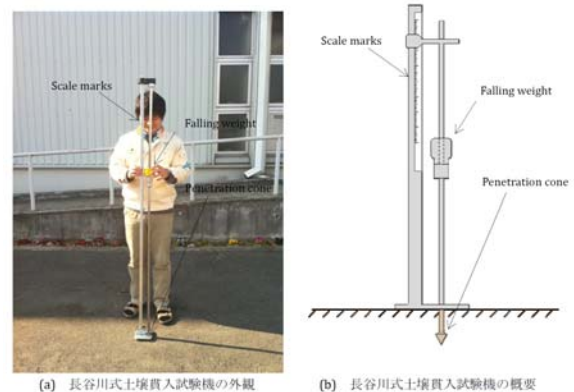
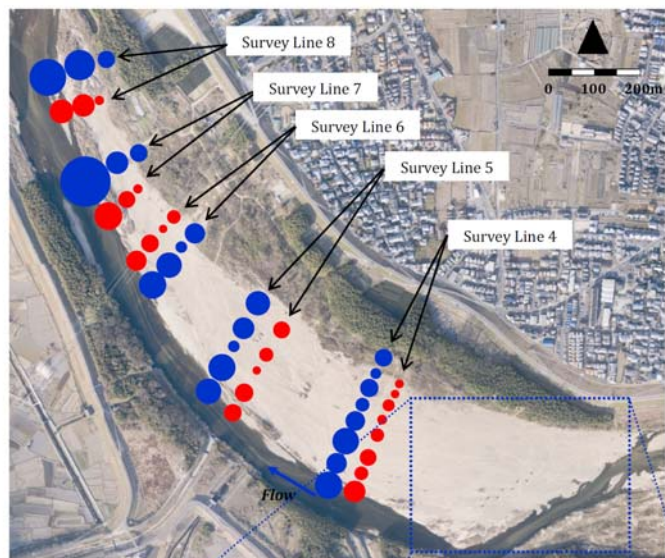
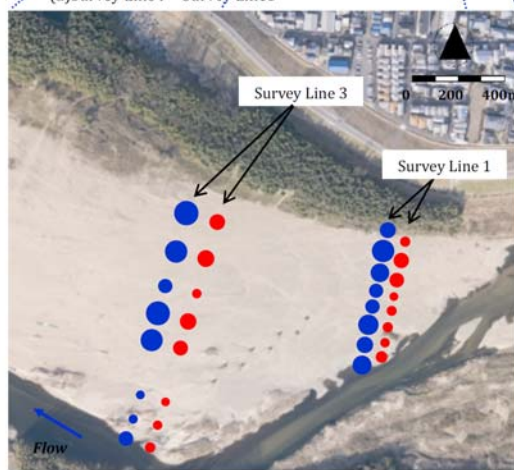
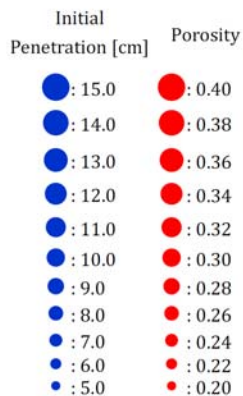


図-19 長谷川式貫入試験機の外観と概要



(a) Survey Line 4 ~ Survey Line 8



(b) Survey Line 1 & Survey Line 2

図-20 表層部における空隙率と初期貫入値の平面分布

#### 4) 砂州比高に基づく生態系の評価および必要土砂量の推定 1

##### ① 過去からの定期横断測量を用いた評価

現状の木津川においてタナゴ類やイシガイ類にとって好適なたまりの比高条件から、過去や将来の地形変化を評価する手法として、砂州の面的標高データを比高頻度分布に換算し好適な比高頻度を生息場ポテンシャルとして示す方法を開発した。この手法を用いれば、過去の横断測量データから砂州地形の好適性を定量的に評価することが可能となる。

1965年から2010年までの14年分の横断測量データに基づいて分析した結果、木津川の低水路が侵食されて年々狭くなり、低水路から離れた場所に堆積が進むことで、砂州の高低差が増大したことが示された。その結果、好適なたまりの比高0.7~1.5m域の量は、1970年代後半から1990年代前半をピークとする一山型の変化が示された。過去の流送土砂量と比高頻度の関係から(図-21)、木津川生態系にとって好適な流送土砂量は40,000~80,000 m<sup>3</sup>と推定された。

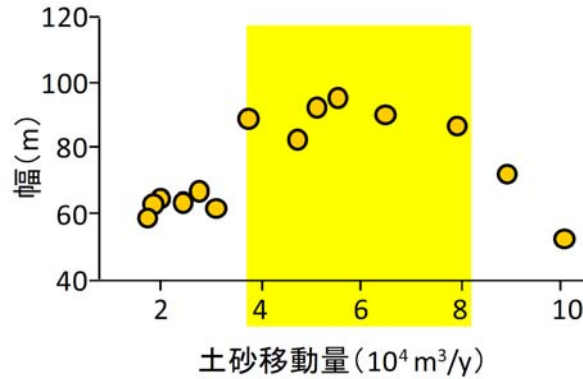


図-21 推定土砂量異動量と比高 0.7-1.5m の単位断面あたりの頻度（幅）の関係

## ②河床変動計算による評価

木津川下流域の河道条件、流況条件、土砂粒径条件を用いて、二次元河床変動計算を行い、流送土砂量の違いが砂州形状や比高頻度分布に与える影響を確かめた。

本研究では、流況 3 パターンと河床粒度布 3 パターンの計 9 通りの設定条件で流砂量に変異を生じさせ、それによって生じた砂州形状を比較したところ、木津川の環境目標である比高が 0.7-1.5m の頻度が高まる条件は、流送土砂量が 70,000m<sup>3</sup> で最大化する傾向を示し、逆に 1.5-3.5m の高い比高条件の頻度は、流送土砂量が 30,000 m<sup>3</sup> 以下で最大化する傾向を示した (図-22)。

この結果は、比高が 0.7~1.5m の頻度が 40,000~80,000m<sup>3</sup> で最大化する木津川の現象を忠実に再現はしていないものの一定の対応関係は認められた。とくに流送土砂量が減少すると高水敷の比高の被度が増加する点は現実の現象と対応するものであるが、今回の数値計算結果では、粒径が細かいほど高水敷と低水敷の二極化が生じた点は注目に値する。

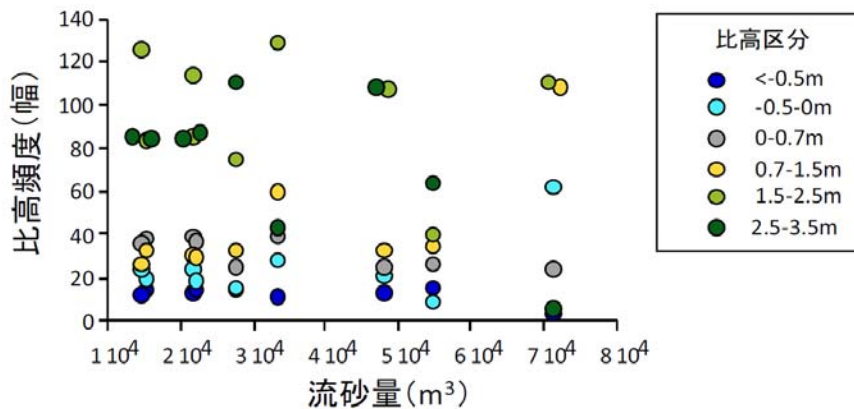


図-22 流砂量と各比高域の頻度の関係

## (5) 河床地形管理の考え方と手法の提案

河川環境のための河床地形管理の基本的な考え方は、1) 設定した河川環境目標 (特性の生物種の生息や河床の浄化機能など) に対して最も適する河床地形条件を明らかにした上で、2) 与えられた川幅条件の下で適切な河床地形条件が形成維持されるための流況条件、流送土砂量を推定し環境サイドからの要請を明確化すること、そして、3) そのような流況条件や土砂供給条件が流域のダム管理ならびに河道管理上の制約と比較考証することによって、実現可能な管理手法を提案するものである (図-23)。

河川環境の目標像設定にあたっては、当該河川の景観、河床地形、生物相などの歴史的変遷を踏まえ、いずれの時代に最も好ましい河川環境が実現していたかについて複数の視点から十分に検討をすることが重要である。木津川の場合には、イタセンパラやイシガイ類の生息するたまり環境が注目されてきたが、本研究の結果、タナゴ類やイシガイ類にとって好適なたまり環境を提供する砂州地形条

件は、1970-1990年の期間に最適であったことがわかった。木津川下流における流送土砂量の経年変化と対応させると40,000~80,000 m<sup>3</sup>/年の流送土砂量が適していると判定された。また、稚魚期の生息場として砂州頭ワンドを必要とするコウライニゴイ、ヨドゼゼラ、カワヨシノボリにとっても、砂州頭ワンドが多かった1980年前後が目標となり50,000~60,000 m<sup>3</sup>/年の流送土砂量が適していると言える。さらに、アユの成長にとっては藻類生育に適した集中型の瀬が増加する2000年以降、アユ産卵にとっては好適な産卵床条件を提供する横断型の瀬が増加する1990年以降が適していることから、アユの生息環境を維持するためには、20,000~30,000 m<sup>3</sup>/年の流送土砂量が適していると考えられる。さらに、瀬に生息する水生昆虫の種多様性維持の上では集中型の瀬が存在することが好適であると考えられることから、アユと同様に20,000~30,000 m<sup>3</sup>/年の流送土砂量が適していると言える。以上検討した複数の種のすべての要請を満足する掃流土砂量は存在しないものの、できるだけ共通部分を多く重ねるためには、30,000~50,000 m<sup>3</sup>/年の流送土砂量を目標とすることが妥当と考えられる。

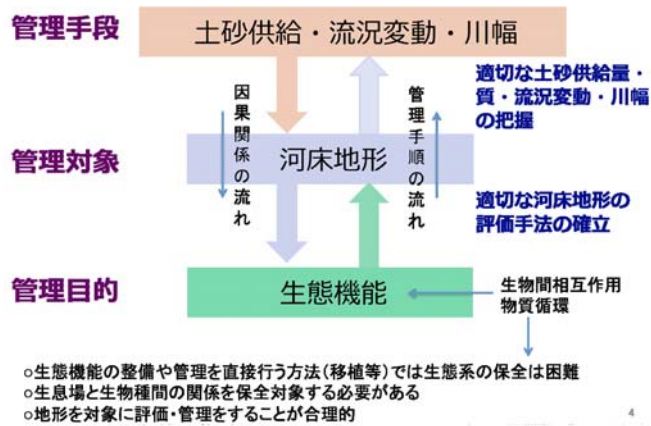


図-23 河床地形管理の基本的考え方

ついで、河川環境からの要請として提案された流送土砂量の目標値について、ダム堆砂からの移送可能性ならびに置き土をした場合の流送実現性の双方から検討する。木津川においては、高山ダムと布目ダムから年堆砂量の50%に相当する23,000 m<sup>3</sup>/年ならびに5,000 m<sup>3</sup>/年が可能と推定され、本川と残流域の流送分を併せて54,000 m<sup>3</sup>/年まで増加させることができると予測された(図-24)。

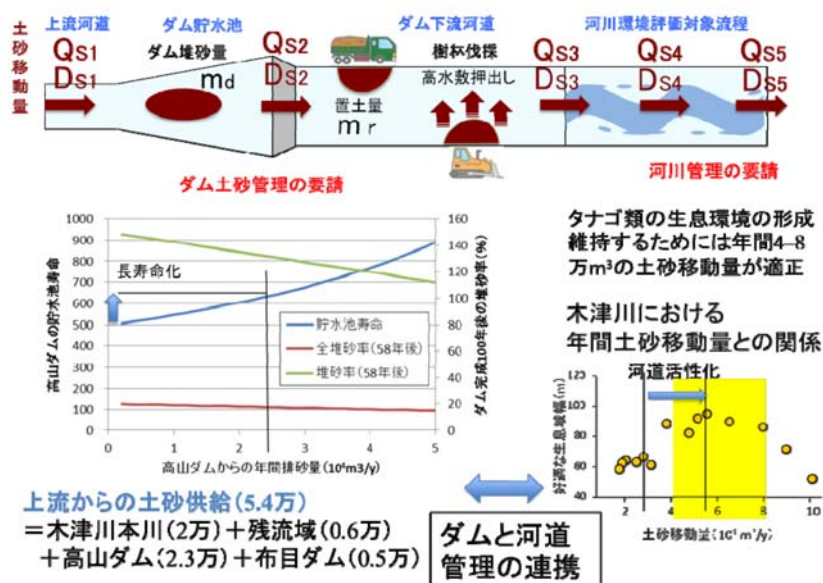


図-24 貯水池長寿化および河川地形管理を考慮した木津川本川の土砂収支(平年ベース: 砂礫分のみ)

#### 【4】今後の課題・展望

本研究では河川環境の健全化を目的として必要な流送土砂量を求めたが、次のステップとしては、ダム管理要請、利水要請、治水要請との照合によって、各地で求められる流域土砂生産量、支川土砂移動量、本川の土砂移動量、河床変動量の目標を追究する必要がある。このため、統合的河床地形管理の手法の図式を作成した（図-25）。

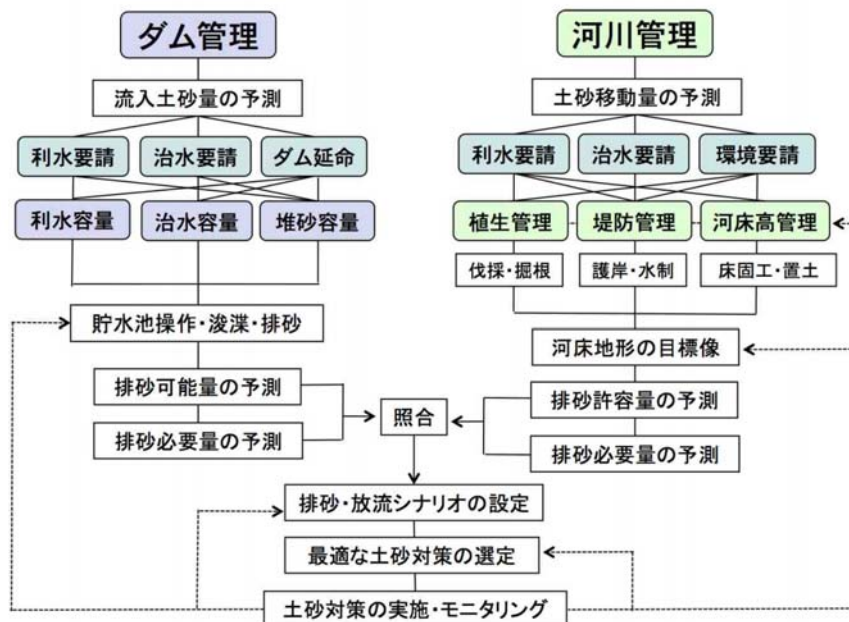


図-25 統合的河床地形管理の手法

ここで、ダム管理の部分については、本報告書において、既にダムの長寿命化の観点ならびにダムのピークカット条件下における最大流送土砂量の観点から、総合的に妥当な置き土の量を推定した。その結果ダム堆砂量の5割程度が可能であることが判明している。仮にこの置き土を実施した場合、木津川本川における流送土砂量は28,000m<sup>3</sup>/年増加して54,000m<sup>3</sup>/年程度になると推定される。なお、淀川における河道掘削土砂量は現在までに900～1000万m<sup>3</sup>で、河床低下にはダム建設よりも掘削が影響していると見積もられているが、今後これらの相対的な影響度はダム影響の方が大きくなっていく可能性があり、将来の河床環境管理のためには土砂移動に要する時間的遅れを考慮して早めに土砂還元量を増やしておくことが必要と考えられる。今後、河床地形の目標設定、必要な土砂移動量の設定手法については、本章で解説した方法を適用できるようにするためには、各パラメータの推定手法を精緻化するとともに課題間の整合性を高めて、河川環境保全のための河床地形管理を計画・実施するためのガイドライン作成に向けた情報の集約を進めることが望まれる。

河川における環境の管理目標には、一般に有用種、希少種、種多様性などの生物生態に関する保全、富栄養化防止などの水質保全、親水性や景観に関する利用面からの保全などがある。近年はこれらを生態系サービスの類型に整理されており、それらを持続的に享受することを河川環境の保全や自然再生の目標に掲げられるようになった（日本生態学会、2010）。生物種の保全や水質の保全対策においては、個々の環境要因の操作を基本としていたが、近年は景観生態学や生息場概念の浸透により自然環境保全の手法の一つとして景観や生息場の保全が重視されるようになった。自然環境の構造は各個環境要因が互いに連関していることを考えれば環境を構造的にとらえる必要があることは当然の帰結であるが、河川の生息環境評価に十分に反映されているとはいえない。例えば、現在も河川生物の分布域の決定条件として、水温、水質、底質、光条件、餌条件、捕食者といった個別要因が取り挙げられることが多い。確かに、当該生物が生理的な限界にある場合には水温、光条件、水質、捕食者密度などの要因が支配的である場合もあるが、実際は複合的に働いているのが通例である。また、生物が隠れ場所や繁殖場所などの生息場選択をするときの判断は、上述のような特定の環境要因に基づく

よりも環境の構造をセットで反映しやすい特定の地形条件に依拠すると考えられる(竹門 1991 など)。とくに、河川環境では環境の構造を水と土砂の動きが規定しているため、それらが形成する河床地形が生物の行動と密接な関係をもっている。その結果、淵尻の瀬頭、砂州頭わんど、高水敷たまりなどのように特定の地形が複数の生物種にとって重要な生息場となり、河川生物群集においてとくに生物間の相互作用が起りやすい活動中心 (center of action: 作用中心とも: Elton, 1949) として働くことが知られている。河床地形は物質循環場としても重要であり、平成 23 年度の成果では粒状有機物の捕捉効率を高めるための地形条件について検討した。その結果、瀬—淵構造や砂州地形の存在は、生息場として機能することと一体的に、有機物の生産と分解といった物質循環の働きも規定していることが明らかとなった。ただし、本研究では、捕捉率と起原の入れ替わり率についてのみの検討であり、物質循環としては、分解や生産のパラメータについても追究する必要がある。しかし、これらは、本研究業務の主旨とははずれるので、まずは捕捉率や起原の入れ替わり率を目的変数として地形条件との連関を精緻化していくことが重要であろう。将来的には、一次生産量と河床地形の関係についても、管理に応用するための知見を蓄積する必要がある。付着藻類の現存量や生産速度を規定している可能性は高いので、今後の研究課題である。応用的には、砂州上の植生管理、河川生態系における有機物の起源組成を規定している側面、砂州の自浄作用を利用して BOD や COD の適性化に活用する可能性などについても、連携研究も含めて具体化していく必要がある。さらに水温：伏流水と表流水の交換率が高いと河川水温はより平均化して地温に近づくと考えられる。したがって、伏流水と表流水の交換率を規定する河床地形条件に着目すれば、河川水温の日変動や年間変動の様式について予測できると期待される。河床地形管理の限界管理対象を河床地形に限定することによって、河道外の環境の検討が手薄になる可能性がある。たとえば、低内地に残存する三日月湖の自然再生などについては、本研究の方法の枠外で検討する必要のある課題であろう。