

河川の横断測量データに基づく 水面比高分布を用いた生息場評価法

RIVER HABITAT EVALUATION BASED ON CROSS-SECTIONAL
BED PROFILE AND FREQUENCY DISTRIBUTION OF RELATIVE ELEVATION

竹門康弘¹・小林草平²・崔 美景³・寺田匡徳⁴・竹林洋史⁵・角 哲也⁶
Yasuhiro TAKEMON, Sohei KOBAYASHI, Mikyoung CHOI, Masanori TERADA,
Hiroshi TAKEBAYASHI and Tetsuya SUMI

¹正会員 理博 京大防災研究所 水資源環境研究センター准教授 (〒611 京都府宇治市五ヶ庄)

²非会員 農博 京大防災研究所 水資源環境研究センター (〒611 京都府宇治市五ヶ庄)

³非会員 工修 京大防災研究所 水資源環境研究センター (〒611 京都府宇治市五ヶ庄)

⁴非会員 工学 京大防災研究所 水資源環境研究センター (〒611 京都府宇治市五ヶ庄)

⁵正会員 工博 京大防災研究所 流域災害研究センター准教授 (〒612 京都市伏見区横大路)

⁶正会員 工博 京大防災研究所 水資源環境研究センター教授 (〒611 京都府宇治市五ヶ庄)

Frequency distribution of bed relative elevation (relative to normal water level) determines the potential habitat availability of sediment bars for various biotic communities in rivers. We developed a method to examine the frequency distribution in the past and present by using data of cross-sectional bed profiles, which have been routinely measured for several decades by river managers.

In 0–24km reaches of the Kizu River, where channel has been degraded since 1960's, cross-sectional shape of bars changed from concave-type in 1960's to convex-type in recent decades. Accordingly, the frequency of low relative elevation (0–0.5m) decreased, while that of high elevation (>2.5m) increased. The frequency of a middle elevation (0.7–1.5m), which maximize the habitat suitability of "tamari (floodplain ponds)", showed a unimodal change with a peak in 70's to early 90's. Thus, in case of using tamari as an index of ecosystem health, the sediment conditions in 70's to early 90's are suggested to be preferable for the Kizu River ecosystem.

Key words: channel degradation, sediment bars, cross-sectional profiles, relative elevation, habitat suitability, historical change

1. 序論

河川では、砂州上の比高に応じて底質、土壌水分、冠水、攪乱頻度などが異なる^{1) 2) 3)}。このため、生物生息場の観点から、砂州上に存在する各比高（とくに水面からの比高）は重要な意味を持っている^{4) 5)}。河川の断面形状は、砂州比高の特徴を示す特性の一つであり、生息場としての砂州の好適性を表す指標としての利用価値があると考えられる。しかし、これまで河川の断面形状は、単断面、複断面、船底型など定性的な表現に留まっていた³⁾。断面形状を生態的に意味のある数値として定量的に表現できれば、河川環境の定量評価に大いに役立つものと思われる。

ここで、河川断面形状は標高値の集まりである。断面形状を単位幅で区切れば多数の標高値が得られ、さらに

標高値を水面からの比高値に変換できれば、各比高域の多さ（頻度）が求められる。断面形状を比高の頻度で表すことは、異なる断面間や年間での数値の集計や比較、また断面形状と環境要因の関係の分析を可能にする。

河川の断面形状は、全国の一級河川において、古くは1930年代から現在に至るまで、定期的に横断測量が行われてきた。河川環境の過去の情報が乏しいなか、横断測量データは過去の貴重な情報と言える。また、0.1～0.2km間隔で数十kmに渡って存在することから、統計的な見方や分析も可能である。しかし、横断測量データはこれまであまり環境評価に用いられてこなかった。

本研究は、過去の横断測量データを用いて砂州形状と生態系の経年変化を評価する手法を提案することを目的とした。本稿で対象とするのは、1960年代より砂利採取や上流のダム建設等により河床低下が進んだ木津川の下

流区間である。木津川では、希少種のタナゴやそれが産卵する貝類が生息する一時的止水域「たまり」が重要な生息場となっている⁵⁾。タナゴ類の生息場選択指数の分布(図-1a)から、比高が0.8-1.4mの範囲で選択指数が0.5を越え、比高が高すぎても低くすぎても低下することが知られている⁵⁾。また、こうした好適な比高のたまりは、低水路が平坦で横断的に凹型の砂州や、河床侵食により高水敷化が進んだ凸型の砂州ではなく、緩やかな斜面を持つ砂州で形成されると考えられる(図-1b)。本稿では、好適なたまりを形成する砂州上の比高の頻度や砂州の凸凹性等を指標として、過去からの生態系の変化、土砂移動量と生態系の関係性を評価した。

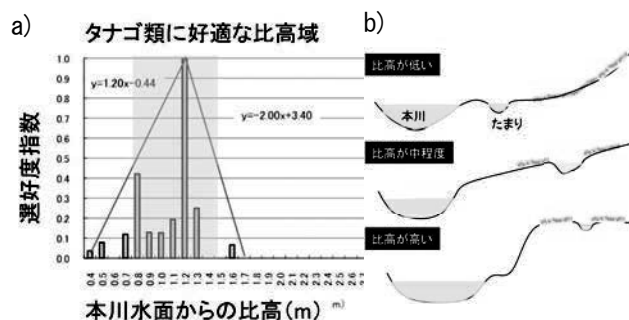


図-1 木津川砂州におけるタナゴ類の比高選好 (a)⁵⁾と河川断面形状による砂州比高分布の違いを示す模式図 (b)

2. 方法

(1) 対象データと作業概要

木津川0～23.8kp区間(図-2)で作成された国土交通省の定期横断測量データ(0.2kp間隔)計14年分(1965, 68, 71, 76, 80, 82, 84, 90, 95, 98, 2000, 06, 08, 10)を対象とした。この区間で河床勾配は1/1200～1/1100、河道幅は300～500m(一部800m)である。この区間の上流では主に60・70年代に、下流では90年代以降を中心に河床低下が進んでいる。分析は主に4区間(1:0～3.8kp, 2:4～9.8kp, 3:12.4～17.8kp, 4:18～23.8kp)に分けて行い(10～12.2kpは鉄道橋梁の前後で河床地形等が特殊であるため分析から除いた)、計106横断×14年が対象となった。

最終的に評価するのは、特定の断面ではなく、河川あるいは区間全体としての断面形状である。言い換えれば、ある河川区間における代表的(平均的等)な断面形状を評価することが目的である(図-3)。異なる断面間で数値を集計するには、まず各断面で標高値を比高値に変える必要がある。比高値に変換すれば、対象区間の全断面について各比高の頻度を集計することで、その区間の代表的な比高分布を作成することができる(頻度は最終的に断面数で割ることで、多数の断面を含んでも標準化される)。

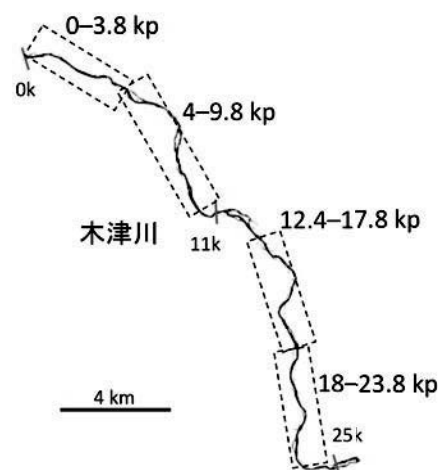


図-2 木津川における調査対象流程の地図。kpは三川合流点からの距離を意味する

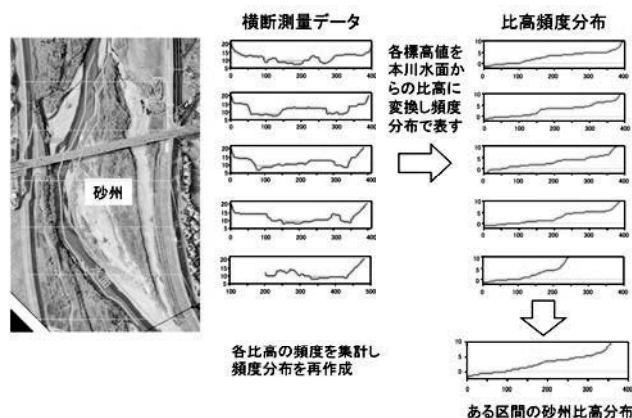


図-3 河川の横断測量データを用いて区間あたりの砂州比高頻度分布を求める方法

(2) 砂州比高頻度分布の作成

a) 各断面における対象域の設定

各断面で対象域(幅)を全年を通して揃える必要がある。基本的には左岸と右岸の堤防の間(堤外)を対象としたが(図-4a)、堤外の中でもいずれかの年に畑地や支流の水路等である場所は対象外とした。

各断面で全年のデータを同時に並べると、年による堤防位置のずれや、飛び外れた標高値等が確認される。多少の補正で位置のずれが解消される場合には補正を加えた。他年と比べて大きく逸脱する標高値(ほぼ垂直に突き出る・窪む標高値など)は除去した。

b) 各断面における1m間隔での標高値の割り当て

年度により測量点の数や位置が異なる。分析前に標高値の数と位置を全年を通して揃える必要がある。各断面において1m間隔で標高値を与えるため、各1m区画の標高を元データにおける位置的な前後2点の標高値から線形補間により求めた(図-4b)。断面の対象域が500mであれば、500点の標高値を求めることになる。

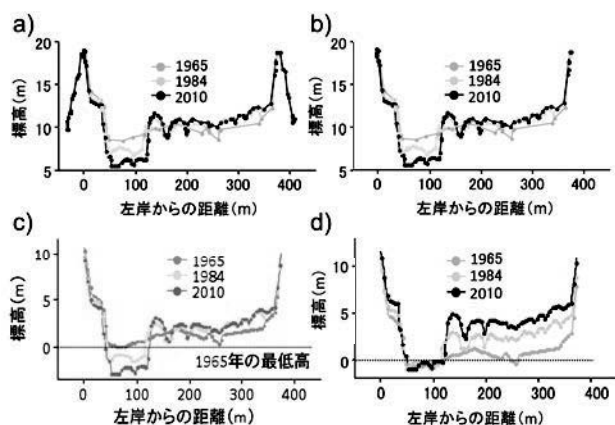


図-4 木津川の2.0km地点の比高値横断測量データから水面比高に変換した事例。a) 元の横断測量データ、b) 堤防間を1m間隔に線形補完したデータ、c) 1965年の最低河床高を基準標高とした比高分布図、d) 各年の平水時水面からの比高分布図。

c) 比高値への変換1：各断面基準標高からの比高

全年共通の基準標高からの比高を求めることで、どのような場所の洗掘・堆積により砂州形状に変化が生じたかを検討することができる。本研究では、各断面において初年（1965年）の最低河床高を基準標高として、そこからの比高を全年について求めた（図-4c）。木津川において1965年の河床は平坦であったため、ある断面にたまたま存在した深掘れが比高値に大きな影響を与える心配はない（さらに、最終的に多数の断面の集計により影響は緩和される）。

d) 比高値への変換2：各年水面からの比高

木津川の1995年以前の測量データには、本川水面の位置情報がなかったため、各断面における平水時水面の標高を、一次元の定常不等流の計算により推定した。各年の0～23.8kpの断面形状を流路として全14年分の流れの計算を行った。上流端の流量としては、木津川16kp付近の飯岡水位観測所における流量データから1970～2010年における平均の平水流量（1年のうちの上位185番目の流量）である25.8 m³/sを用いた。下流端の水位は等流計算により求めた。河床粗度は0.03を与えた。各年について全106断面の水面標高を得て、各標高値をその水面からの比高へ変換した（図-4d）。

e) 比高頻度分布曲線の作成

区間ごとに含む全断面の比高を集め、比高の小さい順に並べて頻度分布曲線を作成した（図-3を参照）。最終的に頻度は断面数で割り、一断面あたりの頻度（＝単位幅に相当）に標準化した。

比高頻度を-0.5m以下、-0.5～0m、0～0.7m、0.7～1.5m、1.5～2.5m、2.5～3.5m、3.5m以上ごとに集計した。この集計値は断面あたりの各比高域の幅に相当する。例えば、前2つの区分は水面下に当たるため、これらの集計値の和は平水時の水面幅に相当する。

(3) 砂州の凹凸性の評価

図-1で表したような砂州形状を数値で表すため、砂州の凹凸性を以下のように求めた。各比高が一樣に分布する（頻度分布が直線になる）場合に比べて実際の分布が低比高に偏るのか（図-5a）、または高比高に偏るのか（図-5b）、偏りの度合いがどれくらいかを、比高分布の積算値の差 $[(b-a)/a]$ により求めた。この指数は、砂州が凹型であれば-の値、凸型であれば+の値となり、偏りが大きいほど絶対値が大きくなる。積算する範囲は各年の水面比高0から全年共通の地形の変曲点（任意に決定）とした。

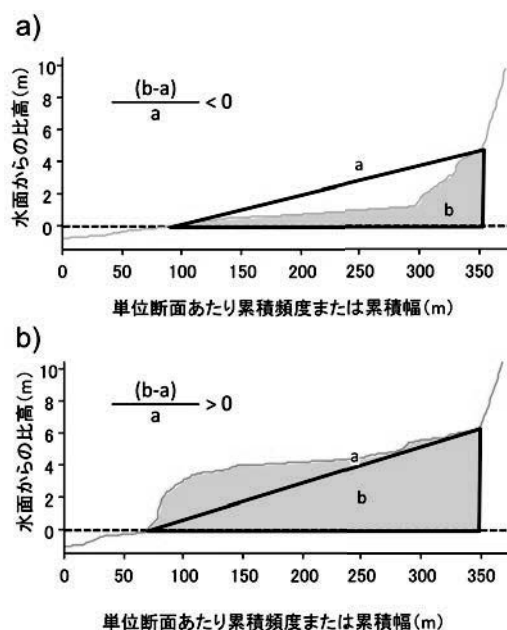


図-5 比高頻度による砂州の凹凸性の評価手法。a) 砂州比高が凹の場合、b) 砂州比高が凸の場合。

3. 結果と考察

(1) 砂州の比高分布の経年変化

図-6aに水面からの比高の頻度分布を示す。曲線において傾きが急になっている部分ほど、対応する比高域（y軸）の頻度が少ないことを示している。4区間で経年変化パターンは多少異なるが、いずれにおいても、年とともに低比高の頻度が少なくなり、比高分布の形としては1960年代に対して近年は起き上がった状態となっていた。水面下の深さに決まった変化は見られないが、水面に達するまでの頻度（＝平水時の川幅に相当）はいずれの区間においても年とともに減少し、特に上流3区間ではその変化の度合いが大きかった。

区間により変化の度合いや生じた年が異なった。比高分布形の変化が最も大きいのは区間1（0～3.8kp）で、

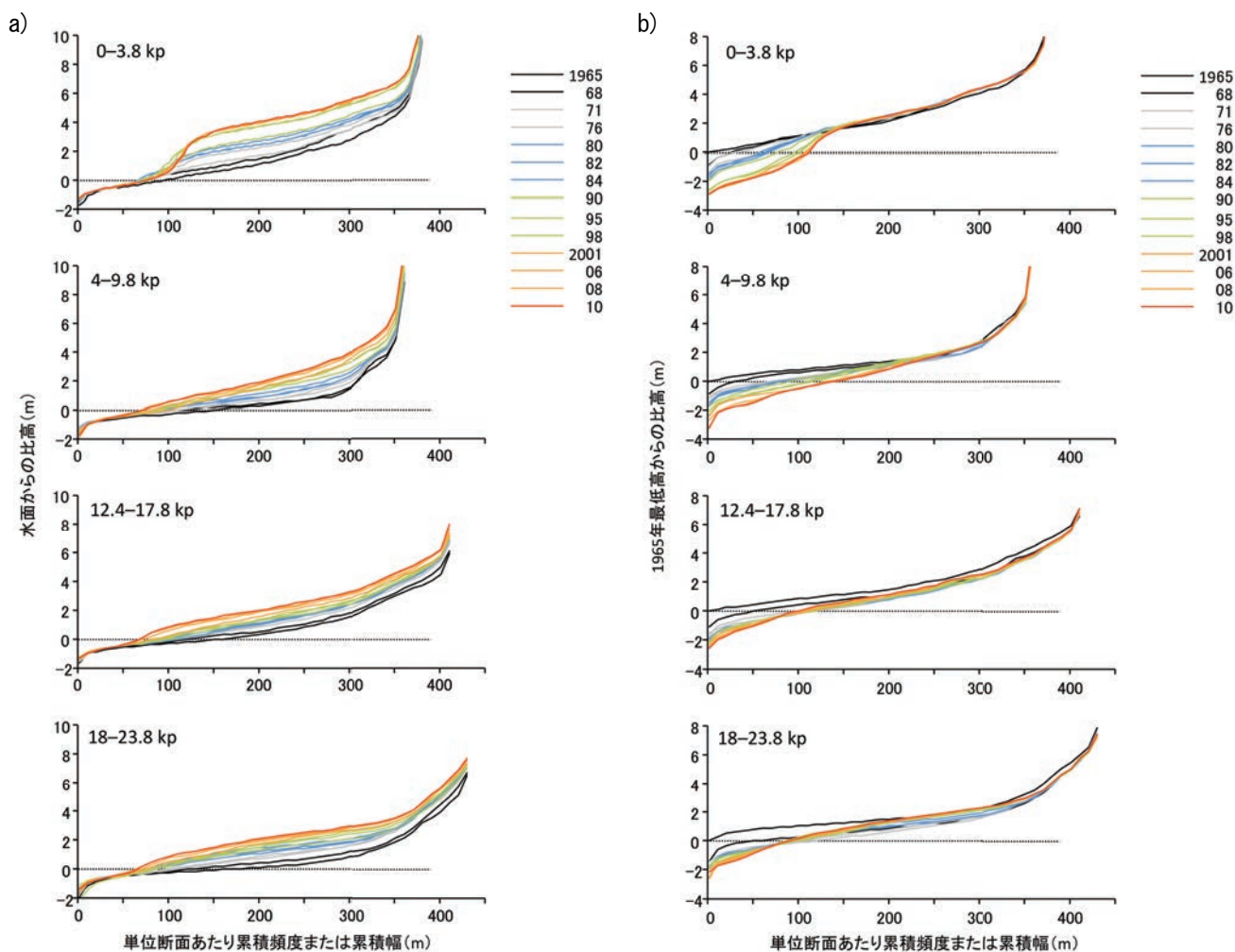


図-6 木津川の4区間における比高分布の経年変化図. a) 各年の平水時水面から比高頻度分布, b) 初年(1965年)の最低比高からの比高頻度分布.

次いで区間4 (18～23.8kp) や3 (12.4～17.8kp) であった。また、区間2 (4～9.8kp) では変化が比較的均一に進む一方で、区間1では70年代と90年代に大きく変化した。さらに、区間3や4では、1970年代までの変化が大きいが、1980年代以降も徐々に変化が続き、2000年以降も特に低比高域が大きく変化した。こうした結果は、これまで示されてきた河床低下の経年変化（例えば上流区間では1960年から1970年前半にかけて、下流区間では近年、河床低下が大きい）⁶⁾に対応するとともに、より具体的な地形の形状変化を示すものと考えられる。

図-6bに示す初年最低河床からの比高から、横断的にどの場所における侵食・堆積が、先に示した水面比高分布の変化をもたらしたのかが分かる。例えば、区間1では、主に低比高の部分において侵食が進んだ一方で、高比高の部分における変化はほとんどない。区間2では、より全域に渡って低下が進んだが、やはり低比高の場所ほど低下の度合いが大きかった。これらと区間3と4とでは変化の過程が異なっていた。区間3と4では1970年前半までは全域に渡って一律に侵食により低下し、それ以降

の変化速度はやや小さいものの、低比高の部分ではさらに侵食による低下が進む一方で、高比高の部分では堆積による上昇が進んだ（特に区間4で顕著である）。これにより、下流区間では低水路を中心とした侵食による河床低下、上流区間では低水路の侵食と高比高部における堆積の両方によって、図-6aに示す地形変化が生じたこと明らかである。

航空写真によると、区間1や2では1960年代まではうろこ状や網状の流路が発達していた。この時代は河道全体的に平坦で、低比高域により占められていた。それが70年代後半までに単流路に変わり、堤防沿いに植生が発達した。90年代以降になるとさらに流路が固定化され、それまで裸地であった低水路内の植生化も進んだ。その結果、流路に相当する部分のみ河床低下が進み、低水路と高水敷の二極化が進んだものとみられる。

一方、区間3と4では、1960年代までは水面幅が広い複列の流路であったが、70年代には単列砂州の状態に近づいていた。これらの区間では70年代までに比較的急激な河床低下が起こったが、河道の全域に渡って低下し

(図-6b)，低水路の平坦さはまだ維持されていたとみられる。1990年代から低水路における植生化と流路の固定化が徐々に進んだ。現在でも広い裸地砂州が存在するものの、1990年以降に流路に接する場所での植生の定着（冠水頻度が少なく安定的な証拠）や流路の急激な曲がり（砂州が流れの障害になっている証拠）が増加した。低水路において侵食する場所と堆積する場所に分かれ、砂州に高低差が生じてきたものと見られる。

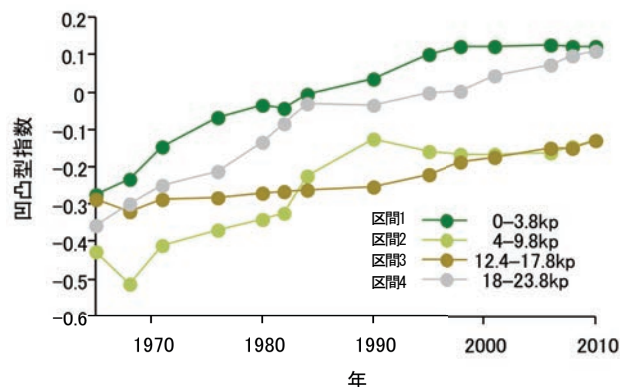


図-7 木津川4区間における砂州形状の凹凸型指数の経年変化

(2) 砂州の凸凹性の経年変化

凸凹性指数はどの区間においても年々増加し、砂州形状が凹型から直線型へまたは直線型から凸型に変化してきたことを示している（図-7）。区間1では1960年代から凹性が弱まり90年前後に直線型の状態となり、その後凸型に移行した。区間3はやや遅れた形で区間1と同様の変化が見られる。区間2は元々凹性が強かったため、年とともに直線型に近づいたが2000年以降も凹型であった。区間3は凹性が弱まる方向へ変化した。変化の度合いは小さかった。凸凹性指数は対象とする断面領域によって値が変わってくるため改良の余地があるが、こうした指数によっても砂州形状の変化を定量的に評価していくことが可能と思われる。

(3) 各比高域頻度の経年変化

図8に示す各比高域頻度（y軸）は断面あたりの幅に相当する。いずれの区間においても全体的に低比高域の頻度が減少し高比高域の頻度が増加してきたことが分かる。水深が大きい領域（<-0.5m）については、いずれの区間においても大きな経年変化は見られなかった。一方、浅瀬を指す領域（-0.5~1m）は、区間1を除き1990年までに急激に減少した。また、水面下の頻度を合わせると、1965年に比べて2010年の平水時の川幅は、区間1では80%、区間2, 3, 4では40~47%に減少したことが示された。生息場として重要な水辺移行帯を指す領域（0~0.7m）はさらに減少が激しく、1965年に比べて2010年では区間1と2で

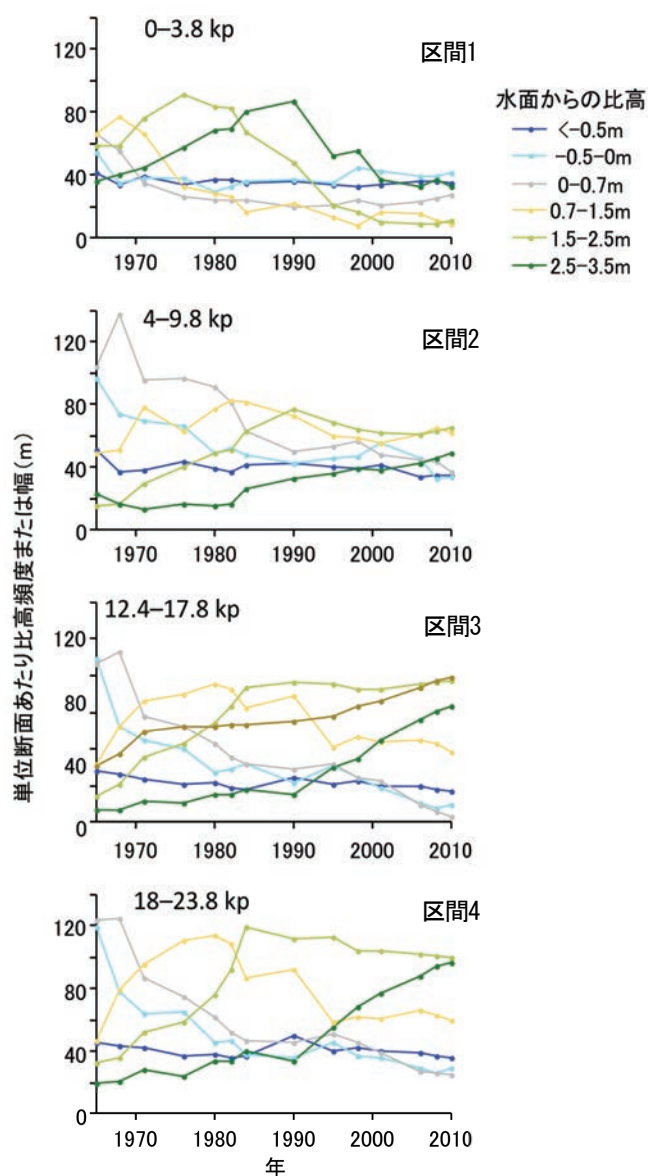


図-8 木津川の各区間における水面からの各比高域の存在量（単位断面あたりの幅：単位はm）の経年変化。

は36-41%に、区間3と4では20-22%に減少した。この比高領域は、セキレイ類やチドリ類などの採餌場や営巣場であり⁹⁾、一部のカゲロウ、カワゲラ、双翅目などの生息場でもある¹⁰⁾。これらは木津川を特徴づける生物群であるが、こうした生物の生息場は潜在的に1970年代以前に多く、年々減少してきたことを示している。

一方、本稿で注目したタナゴ類とイシガイ類にとって好適なたまりの比高領域（0.7-1.5m）は、特に区間3と4では一山型の変化を示し、ピークは1970年代から90年初頭に見られた。また、区間2, 3, 4では2010年よりも1965年の方が頻度が低いのが分かる。このことはタナゴや貝類の生息するたまりにとっては1970年代から90年初頭にかけての状態が最も良く、河床低下が起こる前の60年代以前の状態は必ずしも良くなかったことを示している。

年とともに高比高域が増えているのも明らかである。区間1以外では90年代までは比高1.5~2.5m域が、それ以降では比高2.5~3.5m域が増加している。また、図には示していないが、各区間で比高>3.5mが増加している。こうした比高域の増加は河川における植生化、樹林化と対応していると考えられる。

(4) 土砂移動量と河床地形の関係

以上のように横断形状を数値で表したことにより、各年の様々な環境要因との関連性について検討することが可能になる。ここでは図-1の生息場選好指数が0.4を超える比高0.7~1.5m域を河床地形の好適性指標として、区間3と4におけるこの比高頻度の平均値と、横断形状に最も影響する要因の1つである土砂移動量との関係を分析した。各年の土砂移動量は、江頭⁷⁾や国土交通省近畿地方整備局淀川水系総合土砂管理検討委員会資料⁸⁾による推定値を指数関数により回帰して求めた。その結果、比高0.7~1.5m域の頻度は土砂量が4~8万m³/年のときにピークとなる一山形の関係が示された(図-9)。これにより、好適なたまりを河川生態系の指標とした場合、河川環境保全に必要な土砂量の目安として4~8万m³/年が妥当であると推定される。このように、横断形状を数値化することは、環境要因との関係を理解する上で、あるいは環境の目標値を定める上で役に立つと考えられる。

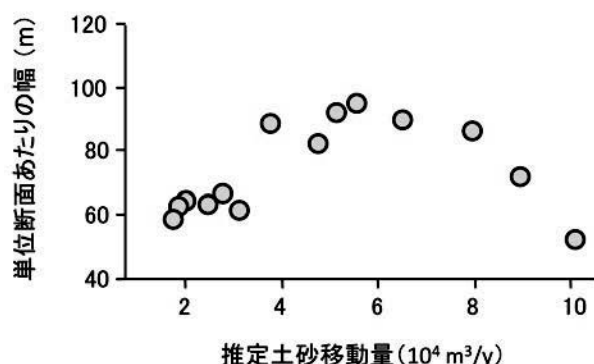


図-9 木津川における比高0.7~1.5m域の単位断面あたりの幅と推定土砂移動量と関係。

4. 結論

- ・横断測量図から比高頻度分布を作成し過去の河川環境を評価する手法を考案し、1965年から2010年までの14年分の横断測量データに基づき、河川生態系の変遷を評価する分析を行った。
- ・木津川において低水路に相当する場所が年とともに侵食され狭くなり、また低水路から少し離れた場所に堆積が進むことで、砂州の高低差が大きくなっていったことが分かった。

- ・1965年から1990年にかけて、水深の浅い場と陸の低比高の場である水辺移行帯が急激に減少したことが明らかとなった。
- ・タナゴ類やイシガイ類の生息するたまりにとって好適な比高0.7~1.5m域の多さは、1970年代後半から1990年代前半にピークとなる一山型の変化を示した。
- ・砂州の横断形状は当初は凹型であったのが直線型へ、近年は凸型に移行していることが数値として表された。
- ・過去の推定流砂量と比高頻度の関係を基に、たまりを指標とした場合の生態系にとって好適な流砂量は4~8万m³/年と推定された。

謝辞：本研究は国土交通省河川砂防技術研究開発制度の平成22~24年度河道整備・管理に関する技術研究開発「河川環境のための河床地形管理手法に関する技術開発」のもと行われた。また、航空写真とレーザ測量データならびにたまりの物理環境・生物相データについては、淀川河川事務所ならびにアジア航測株式会社にご協力いただいた。以上の方々に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 福岡捷二：これからの河川管理を考えるー自然河川に学ぶ、河川2010年3月号，pp. 3-9，2010。
- 2) Brierley G.J., Fryirs K.A.: Geomorphology and river management: applications of the river styles framework, Blackwell, UK, 2005。
- 3) 福岡捷二：治水と環境の調和した治水適応策としての河幅、断面形の検討方法，河川技術論文集，Vol. 16，pp. 5-10，2010。
- 4) 伝田正利，萱場祐一，島谷幸宏：千曲川における後背水域の冠水頻度推定方法，応用生態工学，Vol. 2，pp. 63-72，1999。
- 5) 寺田匡徳，竹門康弘，池田 欣子，西井 一浩角哲也：木津川の砂州環境条件によるたまりの生息場評価に関する研究。応用生態工学会第15回研究発表会講演集，pp. 45-46，2011。
- 6) 芦田和男，江頭進治，中川一：21世紀の河川学 安全で自然豊かな河川を目指して，京都大学学術出版会，2008。
- 7) 江頭進治，金海生，竹林洋史，池田晶，永田徹：木津川下流域の河床変動と土砂収支，水工学論文集，Vol. 44，pp. 777-782，2000。
- 8) 国土交通省近畿地方整備局：平成21年度淀川水系総合土砂管理検討委員会資料，2009。
- 9) 竹門康弘，松原始，江崎保男，若園美佐子：鳥類の糞から得られた餌動物の特徴，木津川の総合研究II，河川生態学術研究会木津川研究グループ pp. 121-134，2006。
- 10) 竹門康弘，土居秀幸，谷田一三：木津川砂州における河川水流入部の水質環境と間隙動物の分布様式。木津川の総合研究，河川学術研究会木津川研究グループ，pp. 263-270，2003。

(2013. 4. 4受付)