

木津川における底生動物生息場としての瀬の形態の歴史的変遷

Historical Changes of Riffle Morphology for Benthic Invertebrate Habitats in the Kizu River

小林草平・竹門康弘

Sohei KOBAYASHI and Yasuhiro TAKEMON

Synopsis

To understand qualitative and quantitative changes of riffles as habitat for invertebrates associated with channel degradation, field surveys of riffles and aerial photo analyses were conducted in the Kizu River. We classified 4 types of riffles based on geomorphologic characteristics. Taxonomic richness and biomass of invertebrates differ largely among the 4 types, and they were greater for the types with coarser bed materials, which provide sufficient stability and interstices for invertebrates. Aerial photo analysis suggests that despite the decrease of total riffle area since 1948, invertebrate biomass and taxonomic richness at reach-scale have recently increased in the Kizu River.

キーワード: 河川, 河床低下, 瀬, 河床粒径, 底生動物

Keywords: River, Channel degradation, Riffles, Bed materials, Benthic invertebrates

1. はじめに

国内の多くの河川で、砂利採取やダム建設により河川内土砂量が減少し河床が低下している（末次, 2009）. 河川では水流と土砂が織り成す河床地形が、生物の生息場として機能し、生物の生産力や多様性を高めている（Takemon, 1997; Bilby et al., 2003）. 河川内の砂利採取や上流のダム建設に起因する過度な土砂の減少は、特定あるいは様々な生物の生息場を消失させる恐れがある. 例えば、サケ科魚の産卵床は、適度な小礫と流速の存在のもとに形成されるため、十分な小礫の供給及びその入れ替えがないと産卵床としての質が失われる（Coulombe-Pontbriand and Lapointe, 2004; Moire et al., 2008）. 河床低下が生態系に及ぼす影響に対しての関心は増えつつあるが、そのプロセスである河床地形や生息場の分布や質の変化についての理解は十分ではない.

河川では、河床土砂の侵食と堆積により、瀬淵構造という瀬（流れが速い浅場）と淵（流れが遅い深場）が交互に出現するパターンが見られる（可児, 1944; Leopold et al., 1964）. 瀬は底生無脊椎動物（以

降、底生動物）の生物多様性と生産力の高い場であり（Grubaugh et al., 1997; 西村ら, 2001）, 魚類の食物の観点からも重要である. また、瀬の河床による流下有機物の捕捉や底生動物による有機物の消費は、河川内有機物の除去を意味する（Takemon et al., 2008; Ock et al., 2010）. 生物生息場としての瀬の質は礫径など河床条件によって大きく異なるが（小林・竹門, 2012）, 近年の砂礫の減少に伴い瀬の量や質がどのように変化しているかの知見は少ない.

本研究は、近年河床低下が進む木津川において、瀬の底生動物生息場としての量と質の変遷を明らかにすることを目的とした. 過去の生態系を把握するのは難しいが、現在見られる河床地形と底生動物群集の対応関係と、過去の航空写真上の河床地形情報を基に、木津川における瀬の変遷を推論した.

2. 方法

2.1 調査地

調査対象は淀川水系の木津川の下流部（0~25km 区間）である. 木津川の下流部において流れは北上

し最終的に宇治川・桂川からの流れと合流する。0～25km区間において、河道幅は300-500m(一部800m), 河床勾配は1/1200-1/1000, 平均年最大流量は1800m³/s, 平水時の流量は25m³/sである。花崗岩が多い地質のため細かい河床材料 (<16mm) が優占する。この区間の中においても河道特性や瀬の形成に河川縦断的な違いがあるため、本研究では河川の景観や横断形状に基づき11k付近を境に上流と下流の区間に分けた [Fig. 1]。既存データによると、流心部における河床粒径 (D₅₀) は、下流で4.3±2.2mm, 上流で8.1±7.0mmであった (国土交通省, 未発表データ)。

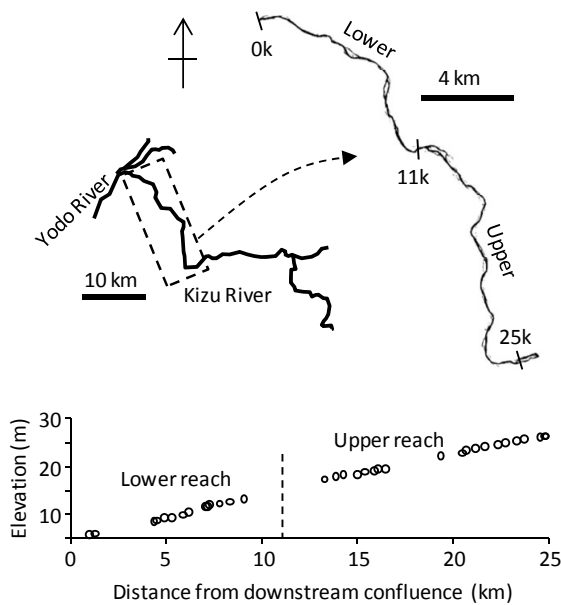


Fig. 1 A simple map of study river (up) and the longitudinal location of study riffles (down).

0～25km区間においては、下流や淀川本川における砂利採取や上流のダム建設により、1960年代から河床低下が生じている [Fig. 2A]。河床低下は上流区間では1960年代に急激に進行し、下流区間では現在に至るまで比較的均一の速度ないし90年以降にやや加速する形で進行している。これと共に河川の横断形状も変化した。区間による多少の違いはあるものの、大まかには、以前は平坦だった河床が現在は流路に相当する部分が掘られ河道内に高低差が生じた [Fig. 2B]。流路と高低差が生じることで高水敷化した場所では、出水による攪乱に晒される頻度が減少したため植生が繁茂し、1960年以前と比べると河道内の裸地面積は半分以下に減った (河川生態学術研究会木津川グループ, 2003; 崔美景, 未発表データ)。

2.2 瀬の定義

瀬は通常砂州の前縁部に生じ、縦断的に見て河床が盛り上がった部分に相当する (Gordon et al., 2004)。

瀬は野外においては、速い流速と浅い水深に伴って、水面が十分に波立った場として他の場所 (淵など) と区別される。また、瀬ではその上流や下流よりも水面幅が狭まり、水面が縦断方向に勾配を持つことが多い。航空写真上においても、河川内の砂州の前縁部、相対的に縮小した水面幅、流路方向の急激な変化によって認識することができる。

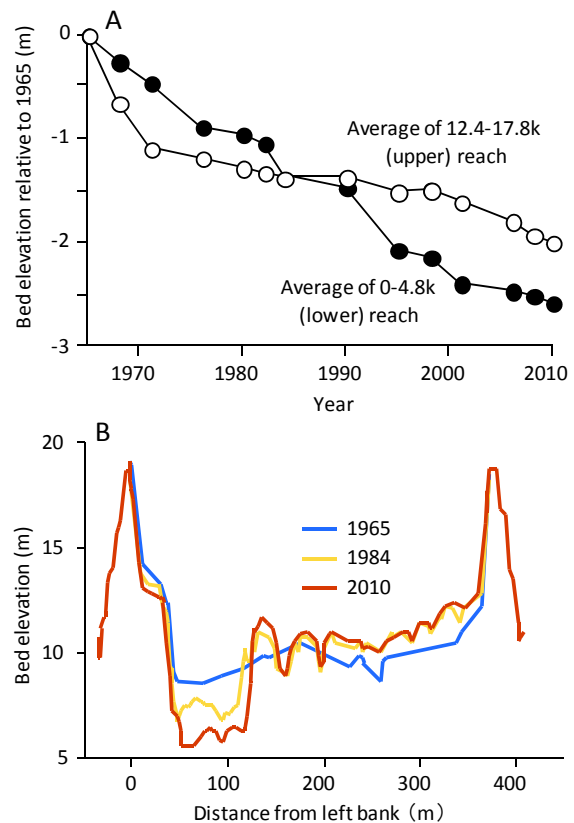


Fig. 2 (A) Changes of river bottom elevation in the Kizu River, (B) Cross-sectional profile of a site (2.0k) in different years.

本研究では木津川におけるこれまでの観察から、砂州前縁部の河床形状を基に4タイプの瀬 (拡散I, 拡散II, 横断, 集中) に区分した [Fig. 3]。流れが砂州前縁を横切るときの水面幅が広く、横切り方も平行に近い形である場合、その中に形成する瀬を「拡散型: Diverge」とした (砂州の前縁部や水面幅の狭まりが明瞭でないものをI型, 明瞭なものをII型とした)。流れが砂州前縁を横切るときの水面幅は広いが、横切り方が垂直に近い形である場合の瀬を「横断型: Traverse」とした。横断型の瀬では、瀬の前後で流向がZ形のように変わるのが特徴である。流れが砂州前縁を横切るとき水面幅が狭い場合の瀬を「集中型: Converge」とした。流れは砂州前縁を垂直に近い形で横切り、瀬の前後で流れがS字に折れ曲がるのが特徴である。

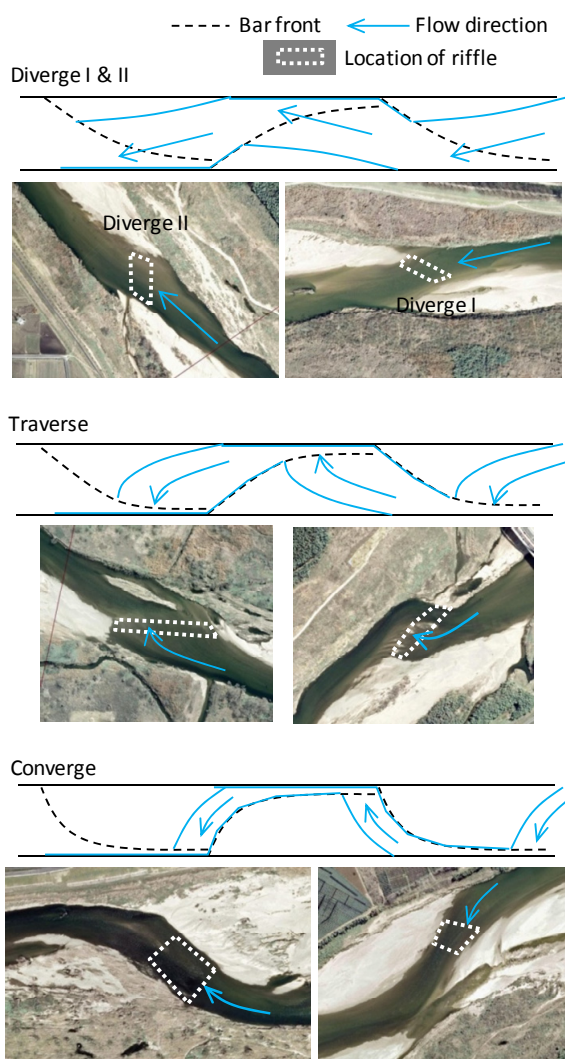


Fig. 3 Schematic view and aerial photos of 4 riffle types in the Kizu River. See text for the definitions.

2.3 野外調査と採集

瀬の物理特性の調査と底生動物の採集を2012年の8月の平水時に行った。木津川の対象区間において多数の瀬を調査するため、ボートを使用し上流から下流の瀬へ移動し、移動時間の短縮を図った。上流と下流区間で計32の瀬を調査した[Fig. 1]。

各瀬においては、瀬の位置を携帯GPS (eTrex20J, ガーミン社) で記録し、瀬の長さや水面勾配をレーザー距離計 (Impulse200, レーザーテクノロジー社) により計測した。瀬の始まり (上流点) と終わり (下流点) は川幅全体に広がる波立ちにより特定した。河床粒径の評価を行う目的で、川縁沿いの河床5箇所についてデジカメで撮影した。どの瀬も、上流側より下流側に位置する砂州の川縁で河床材料が粗い傾向にあり、本研究では基本的に下流側砂州の川縁で河床を撮影した。

瀬の3箇所まで底生動物の採集を行った。瀬の中において縦断方向 (上流側と下流側) や横断方向 (流心

部と川縁部) の底生動物群集の違いが考えられるため、基本的に上流側の流心で採集した。いずれも30cm 方形枠を河床におき、下流側にDフレームネット (開口部: 50×50cm, 網目: 0.25mm) を構え、枠内の石に付着したり、間隙に潜む底生動物をネットに洗い流した。3箇所から得られた底生動物サンプルは1つにしてエタノール80%で固定・保存した。

2.4 室内作業および解析

底生動物サンプルは1mmのフルイ上で洗浄し、フルイ上に残ったものについて底生動物とそれ以外の有機物に区分した。底生動物は可能な限り属や種レベルまで同定し個体数を計数した。分類群ごとに、余分な水分を取り除いた後に重量 (湿重) を0.1mgまで計測した。湿重は採集面積である0.09m²で除し、現存量 (g/m²) として表した。底生動物以外の有機物 (>1mm) は60℃で48時間乾燥後に乾燥重量を1mgまで測定し、採集面積0.09m²で除して堆積有機物量 (g/m²) として表した。

分類群ごとに重量を出現個体数で除して平均体サイズ (mg) を求めた。また、各分類群が好む河床粒径の指標 (S) として、現存量で重み付けをした出現サンプルの河床粒径の平均値を算出した。

$$S = \Sigma (B_i \times D_i) / \Sigma B_i \quad (1)$$

ここで B は現存量、 D は河床粒径 (下記参照)、 i はサンプルである。

河床材料のデジカメ画像はImageJ (Schneider et al., 2012) を用いて粒径の計測を行った。画面上で格子を表示し、格子点に重なる粒子の25個分について長径 (最長軸) と短径 (最長軸と直交する軸) を計測し2径の平均値を求めた。各瀬において5枚の画像から計125の礫径を数値にした。

瀬の物理特性 (長さ、水面勾配、粒径、有機物量) や底生動物群集の特性 (分類群数、現存量) における4タイプ間の違いを検証するため瀬タイプ (4水準) と区間 (2水準) を要因とする二元配置分散分析を行った。瀬タイプの影響が有意と認められた場合、Tukey's testによる多重比較を行い、違いが有意であるタイプ間を特定した。また、特性間に関係があるか検証するためSpearmanの相関係数 (R_s) を求めた。

2.5 航空写真の解析

木津川の上空で撮影された1948年～2012年の7年分の航空写真において瀬を抽出し瀬の面積を求める作業を行った。他の年の航空写真も存在したが、平水時以外の撮影であったため瀬の判断には不適であり本研究では用いなかった。前述の定義に基づき、

Table 1 Physical characteristics of riffles with different types and results of ANOVA test

	Upper reach				Lower reach				Significant difference by ANOVA
	Di I	Di II	Tr	Co	Di I	Di II	Tr	Co	
Surveyed number	4	4	5	5	6	3	3	2	
Longitudinal length (m)	53.5 (13.7)	68.5 (28.3)	35.6 (13.4)	58.9 (33.5)	69.4 (40.4)	72.9 (21.6)	37.7 (12.5)	108.4 (7.3)	
Water surface slope (%)	0.06 (0.05)	0.22 (0.24)	0.67 (0.53)	0.80 (0.45)	0.03 (0.02)	0.15 (0.06)	0.49 (0.19)	0.27 (0.11)	Co > Di I, Di II Tr > Di I
Bed material size, D ₆₀ (mm)	37.7 (21.0)	43.9 (8.7)	71.3 (17.1)	99.2 (34.6)	16.7 (4.8)	30.7 (19.4)	38.4 (10.9)	56.9 (5.9)	Co > Tr, Di I, Di II Tr > Di II
Benthic POM (g/m ²)	0.93 (0.87)	0.80 (0.43)	4.59 (2.73)	4.84 (1.95)	0.62 (0.27)	0.83 (0.36)	1.27 (0.79)	5.89 (5.19)	Co, Tr > Di I, Di II

Di I: Diverge I, Di II: Diverge II, Tr: Traverse, Co: Converge

航空写真上でも、砂州前縁部において水面幅が前後より狭まった場所、あるいは急激に流れの方向が変化している場所を瀬とした[Fig. 3]。同様に、定義に基づき瀬をいずれかのタイプに区分した。GISソフト (ArcGIS version10, エスリ社) を用いて、航空写真上に瀬のポリゴンを作成して面積を計算し、上流と下流区間別に瀬タイプごとに総面積を算出した。総面積は区間距離で除して標準化 (ha/km) した。

3. 結果

3.1 瀬のタイプと物理特性

調査した瀬の数は、拡散I型が10 (上流4, 下流6), 拡散II型が7 (上流4, 下流3), 横断型が8 (上流5, 下流3), 集中型が7 (上流5, 下流2) で、計32であった。

瀬の長さにおいては、タイプ間で有意な違いは認められなかった[Table 1]。一方、水面勾配と河床粒径 (D_{60}) は、拡散I型とII型に比べて横断型と集中型で有意に大きかった。現地において横断型や集中型の瀬は常に水面の波立ちが大きいことが確認され、水面勾配や河床粒径の大きさが関係していると考えられる。河床粒径について言い換えると、拡散I型やII型の多くは砂利 (2-16mm) や礫 (16-64mm) で、横断型や集中型の瀬の多くは石 (64-128mm) で構成されていた。また、各タイプでは、下流区間よりも上流区間で水面勾配や河床粒径が大きかった。瀬の水面勾配と河床粒径には有意な正の相関があった ($R_s = 0.70, p < 0.001$) [Fig. 4A]。つまり、水面勾配が大きい瀬は河床粒径も大きく、こうした瀬が横断型や集中型であった。

河床有機物 (ここでは1mm以上の粒状有機物, Benthic POM) の量も、拡散I型やII型に比べて横断型

や集中型で有意に大きかった[Table 1]。河床有機物量は、河床粒径と有意な正の相関関係にあった ($R_s = 0.72, p < 0.001$) [Fig. 4B]。つまり、粒径が粗い瀬ほど有機物量も大きく、そうした瀬が横断型や集中型であった。

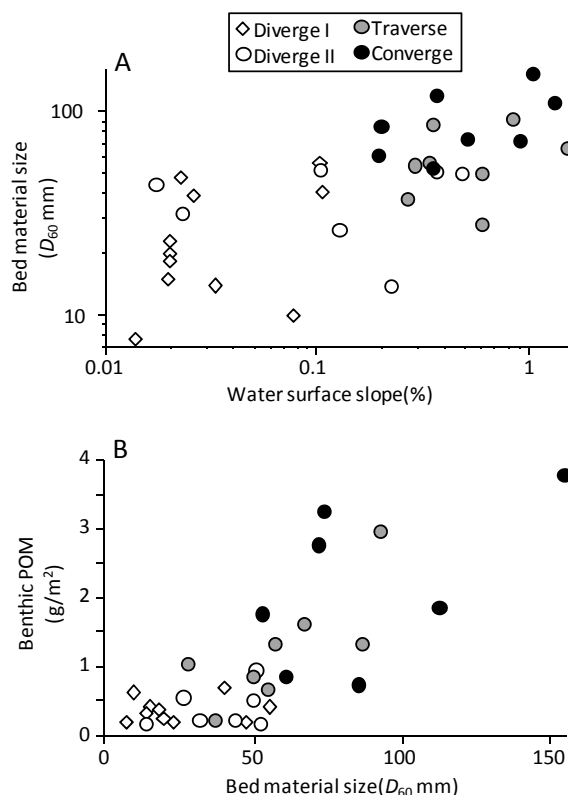


Fig. 4 Relationship between riffle characteristics

3.2 瀬のタイプと底生動物群集

底生動物現存量 (湿重量/m²) 及び分類群数 (サンプルあたり) は、拡散I型やII型に比べて横断型や集中型で有意に大きかった[Fig. 5]。現存量においては、

平均値が最大の集中型と最小の拡散I型の差は10-30倍であった。出現分類群数は、拡散I型に比べて集中型で多く（上流、下流区間とも13分類群）、拡散I型に出現せず集中型に出現する分類群は多くいたが、逆の傾向の分類群はいなかった。各タイプにおいて、下流区間よりも上流区間で現存量や分類群数が大きかった[Fig. 5]。現存量と分類群数はそれぞれ河床粒径と強い正の関係にあった（現存量と粒径： $R_s = 0.84$, $p < 0.001$, 分類群数と粒径： $R_s = 0.86$, $p < 0.001$ ）[Fig. 6]。河床粒径が大きい瀬が底生動物も多いことを示しており、こうした瀬が横断型や集中型であった。

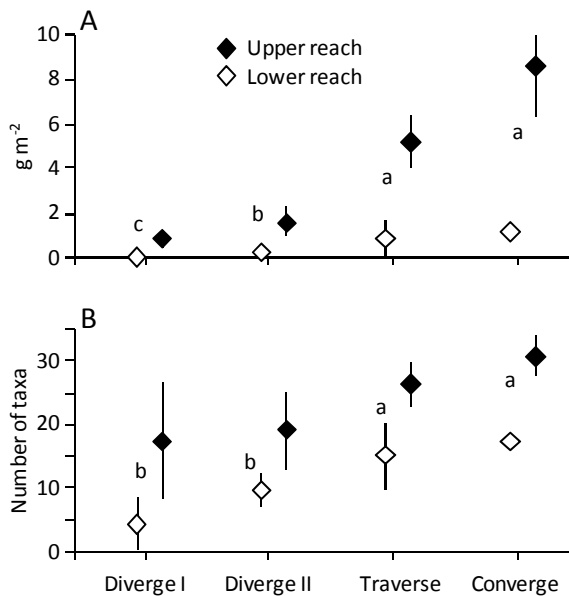


Fig. 5 Mean ($\pm 1SD$) biomass (A) and taxonomic richness (B) of benthic invertebrates in each riffle type.

分類群によって河床粒径との関係が異なった。造網性トビケラの仲間 [ウルマーシマトビケラ (*Hydropsyche orientalis*), オオシマトビケラ (*Macrostemum radiatum*) など] は、横断型や集中型で特に多く、河床粒径と現存量の関係は強かった。一方、カゲロウの仲間の多く [ミジカオフトバコカゲロウ (*Acentrella sibirica*), ヒメヒラタカゲロウ (*Rhithrogena sp.*) など] は、タイプ間で現存量の違いは不明瞭で、現存量は中間的な粒径の瀬に多い傾向にあった。

各分類群の平均体サイズ (mg) と選好粒径 (定義は方法を参照) には正の相関がみられた ($R_s = 0.63$, $p < 0.001$) [Fig. 7]。ただし、生息型によってその傾向には若干の違いがあり、造網型 (net-spinners) は体サイズに関わらず、比較的大きな粒径を選好する一方で、石の裏面の砂や石と石の間の空隙を利用する掘潜型 (burrowers), 匍匐型 (clingers), 滑行型 (gliders) は体サイズとともに選好粒径が増大する傾向にあっ

た。石の表面を主に利用する遊泳型 (swimmers) は体サイズと選好粒径の関係性はみられなかった。

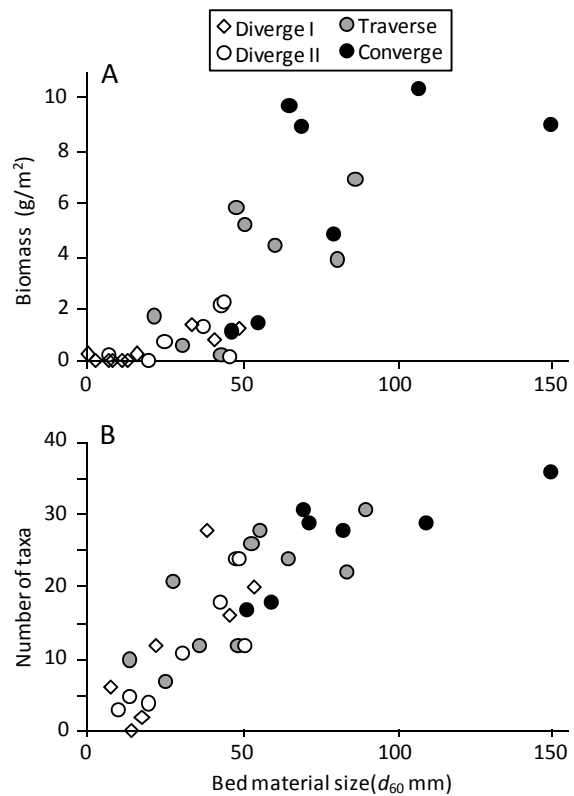


Fig. 6 Relationship between bed material size and invertebrates (A: biomass, B: number of taxa)

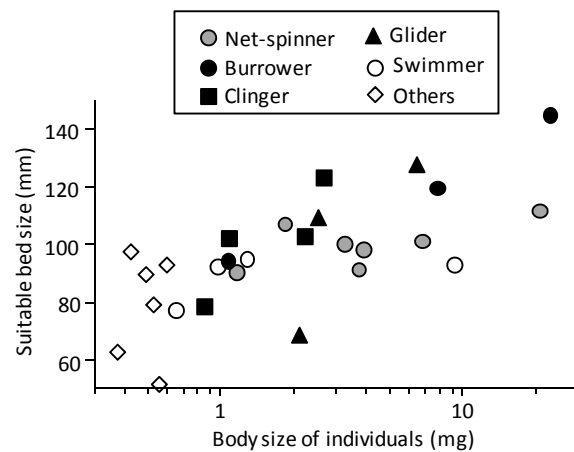


Fig. 7 Relationship between body size and suitable bed size among invertebrate taxa

3.3 瀬の面積とタイプの変遷

航空写真上において、上流も下流区間も瀬の総面積は1945年に最大であった[Fig. 8]。60年代と70年代にかけて総面積は減少する傾向にあった。2000年以降の瀬の総面積は下流区間では大きな変化はないが、上流区間では増加する傾向にあった。

上流区間も下流区間においても、1945年には瀬の

大部分を拡散I型が占めていたが、このタイプは年とともに減少した。下流区間よりも上流区間で横断型や集中型の瀬の割合が大きかった。これら2つのタイプは上流区間において2000年以降に増加していく傾向にあった。

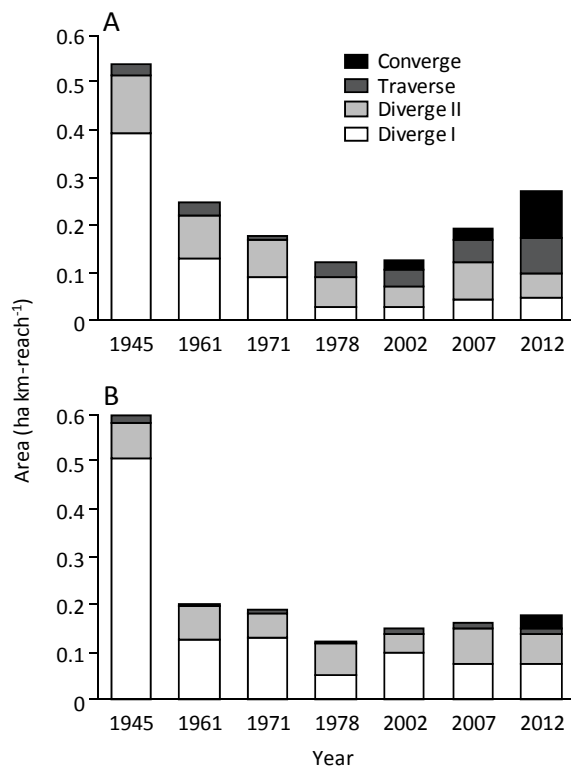


Fig. 8 Historical changes of riffle area and type composition determined by aerial photos (A: upper reach, B: lower reach)

4. 考察

4.1 瀬のタイプによる底生動物群集の違い

本研究から木津川において瀬のタイプによって底生動物群集は大きく異なることが示された。底生動物の現存量や出現分類群数が大きかった横断型や集中型の瀬は、水面勾配や河床粒径が大きく、また波立ちも大きく、一般に認識されている瀬の特徴が最も強く表れる瀬であった（つまり、もっとも瀬らしい瀬であった）。木津川の0~25km区間においては、どの瀬も似たような水温・水質条件下にあり、且つタイプごとに分布が特定の区間に集中するわけではないので、タイプ間の群集の違いに対する水温・水質の影響は小さいと言える。タイプ間の群集の違いには、瀬の形状に関わる物理環境（流れや底質）が大きく影響していると考えられる。

瀬のタイプによる底生動物群集の違いに粒径が強く影響していることが考えられる。これは、底生動

物の現存量も分類群数も河床粒径と強い正の相関関係にあり、横断型も集中型も河床材料が大きいことから伺える。一地点内において、河床材料が泥や砂 (<2mm) から石 (64-256mm) へと大きくなるほど、底生動物の現存量や分類群数も増加することは世界の河川を通じて一般的であることが、著者らによって示されている（小林・竹門, 2012）。本研究は、こうした関係が瀬を単位にしても見られることを示すものである。

瀬の底生動物にとって河床粒径が大きくなることには2つの大きな意義があると考えられる。一つは河床安定性の増加である。河床粒径が大きくなると、住処としての安定性が高まり、特に巣を張るなど基質に固着した生活を送る底生動物の生息が可能になる（小林ら, 2010）。本研究においても、ウルマーシマトビケラをはじめとする造網性トビケラの仲間は特に粒径と現存量の関係が強かった。造網性トビケラでなくても、ある程度の河床安定性が底生動物の生息には欠かせない。例えば、多くのカゲロウの仲間は食物とする付着藻類が成長するには、生える基質（石）が一定の期間攪乱を受けずに安定的に存在する必要がある。また、移動はあまり行わずに縄張りを構える分類群もいて、そうした生活にはやはり基質の安定性を必要とする。

また、河床粒径が大きくなると、底生動物が潜める河床の空間（隙間）が増大すると考えられる。分類群ごとに選好する粒径を求めたが、底生動物の生活型によって体サイズと選好粒径の関係は異なった。造網性の底生動物は、体サイズに関わらず比較的大きな粒径を好んだ[Fig. 7]。自由に移動する底生動物の中でも、掘洗型、匍匐型、滑行型の分類群は、体サイズとともに選好する粒径が大きかった。これらは河床の空隙を必要とするグループである。一方、河床表面を主に利用する遊泳型の底生動物は、体サイズと選好粒径に関係性は見られなかった。こうした生活型による違いは、特に河床の隙間を利用する底生動物にとって、粒径により決まる隙間の大きさが生息を規定していることを示すものである。河床の粒径とともに有機物量が大きくなるのは、粒径とともに河床の空隙が増加し捕捉される有機物が多くなることを示している。

瀬のタイプによって水面勾配が異なることから、河床粒径だけではなく流速等の水理条件も異なると考えられる（本研究では流速は評価しなかった）。水理条件の違いや代表粒径では評価されない粒度分布なども底生動物群集に影響しうる要因である。

4.2 瀬のタイプの変遷

木津川において50年の間に瀬の面積やタイプ構成

が大きく変化したことが示された。瀬の面積は1945年に圧倒的に大きかったが、この時代のほとんどが拡散I型と判定される瀬であった。1945年の河道は、うろこ状あるいは網状で、各砂州が小さく高頻度にあるため、砂州の前縁部が散在していて捉えにくい。全ての小砂州の前縁に瀬が発達していない可能性もあり、その場合は今回の推定は過大評価となる。ただし、1960年代は浅場が多かったことは明らかであり（竹門ら、2013）、少なくとも本研究の瀬の定義（ここでは浅くて流速が大きく波立つ場）に近い条件の場合は、広く存在していたはずである。

近年になって横断型や集中型の瀬が増加しているのには、砂州形状や河床粒径の変化が関係していると考えられる。1970年代まで優占して見られるうろこ状、網状、複列砂州の河道では基本的に河床が平坦で（標高の高低差がない）、流路は広くまた流向は河道の向きとほぼ平行である。こうした河道条件において見られる瀬は、拡散I型やII型がほとんどである。一方、横断型や集中型のほとんどが単列砂州にのみ見られる。近年木津川で優占して見られる単列砂州の河道では、砂州の一部は植生に覆われるほど個々の砂州は安定して存在し、また砂州と流路の間には高低差が生じている。そのため、砂州が流路の幅や向きに強く影響しており、流路の一部は川幅が狭まり、流向も大きく屈曲している。横断型や集中型の瀬の増加には、こうした砂州形状の変化（砂州の高低差の発達）が大きく関わっていると考えられる。

木津川においては河床低下に伴い河床粒径も大きくなっていると考えられる。横断型や集中型の瀬は河床粒径とともに水面勾配が大きいのも特徴である。大きな水面勾配を保つには、その水面勾配が生じる流れに対し安定的な河床材料が必要である。したがって、木津川において河床低下に伴う河床の粗礫化によって横断型や集中型の形成が可能になったことも考えられる。

4.3 木津川全体の瀬の底生動物群集の変遷

航空写真の解析結果は、木津川において瀬の面積は河床低下とともに減少したが、底生動物の現存量や分類群数の観点から好適な横断型や集中型の瀬が増加してきたことを示している。すなわち、底生動物の生息場としての瀬の質は高まったことを示している。各タイプの面積にそのタイプの底生動物現存量をかけることで、区間全体での瀬の底生動物現存量を推定したところ、それは年とともに増加する傾向にあり、2012年の現存量は1945年の2.1倍、1971年の5.4倍と推定された[Fig. 9]（下流区間はどのタイプも現存量が小さいので上流に比べて推定現存量が

なり小さい）。瀬以外にも底生動物は生息しているが、瀬以外は基本的に砂河床で底生動物が少ないこと、またそういう場所でも瀬と同様の河床材料の変化が生じていることは十分に考えられることから、瀬だけでなく区間全体として底生動物現存量に同様の傾向が生じている可能性は高い。

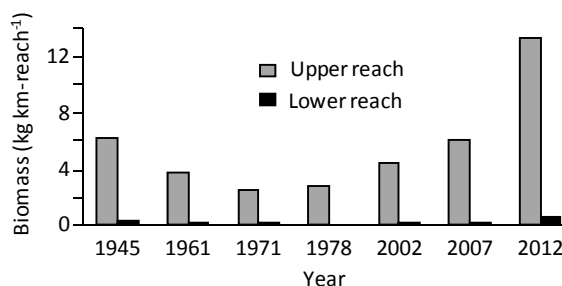


Fig. 9 Estimated invertebrate biomass at whole reach

分類群数についても年とともに増加している可能性がある。横断型や集中型で分類群数は高いので、分類群数が高い瀬が増加したことは確かである。また、瀬の数を増やしていけば合計の分類群数は増え、横断型と集中型の瀬では今回の調査で見られた全ての分類群が確認できたが、拡散I型とII型は全瀬を足しても7分類群が欠如していた。このことは、木津川において横断型や集中型の瀬の出現によって生息種が増加した可能性がある一方で、拡散型の瀬の減少によって生息種が減少する可能性は小さいことを示している。

木津川の瀬において過去に底生動物が少なかったことは、1970年代の環境調査資料からも伺うことができる。京都府では水質の影響を調べる目的で、木津川において底生動物の定量採集（瀬を対象に行われる）を、しかも本研究の上流区間にあたる場所で同時期（8月）に行っている[京都府衛生部公害対策室、1980]。この調査結果と本研究を比較すると、過去の底生動物群集は本研究における拡散I型やII型と似た特性を持っていたことが明らかである[Fig. 10]。例えば、定住した生活を送るトビケラよりも自由移動の生活を送るカゲロウ類が多かった。また、サンプルあたりの現存量や分類群数は本研究における拡散I型やII型と同等であり、横断型や集中型と比べるとかなり低い値であった。1970年代は全国的に水質汚染がひどかった時期であるが、汚水に比較的耐性を持つトビケラの仲間よりも比較的きれいな水に生息するカゲロウの仲間が優占しており、群集構成からは1970年代の木津川において水質が悪かったことは考えにくい。

本研究の結果は河床低下によって瀬の生息場としての質が高まったことを示す結果となったが、全国

の河川を見ると木津川の例は特殊であるかもしれない。木津川は本来砂河川であり、河床材料は平水時でも不安定で、本流は底生動物が住み難かったことが容易に想像される。また、うろこ状や網状の河道であったときは、瀬と淵の区分がつきにくいなど、川の中は比較的単調な環境であったことも想像される。木津川においては河床低下が起こることで、河床の安定性と生息環境の不均一性が高まったと見ることできる。砂河川であれば同様の遷移が生じている可能性はあるが、日本に多い礫河川では河床の安定性や生息環境の不均一性が本来備わっている状況が多いと考えられる。そのような河川で河床低下が起こると、安定性が過度に高まったり、岩盤下などを含め河床材料の粗礫化が進みすぎること、瀬の底生動物の現存量や分類群数が低下する可能性がある（小林ら，2011）。生息場の変遷の事例数を高めること、また様々な生息場を扱っていくことで河床低下が河川生態系に及ぼす影響がよりの確に理解することになると思われる。

5. まとめ

本研究では1960年代より河床低下が進んでいる木津川において、瀬の底生動物生息場としての変遷を現地調査と航空写真解析により推論した。拡散I型、拡散II型、横断型、集中型という4タイプの瀬を定義し比較を行い、水面勾配や河床粒径が大きい横断型や集中型の瀬は、拡散I型やII型よりも底生動物の現存量や分類群数が大きいことを明らかにした。瀬の河床粒径が大きいことは河床の安定性や空隙の量を高め、多くの底生動物にとって好適な条件になると考えられた。航空写真分析より、木津川においては過去より瀬の総面積は減少しているものの、全瀬に占める横断型や集中型の割合は増加していることが明らかとなった。このことは、河床低下による生息場多様性の減少が懸念されている中、木津川の瀬に限っては年々底生動物生息場としての質が高まっていることを示している。

謝辞

本研究は国土交通省建設技術研究開発助成制度の河道整備・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。研究に協力・助言いただいた角哲也教授、崔美景氏、寺田匡徳氏、野町和平氏にお礼申し上げます。

参考文献

- 河川生態学術研究会木津川グループ（2003）：木津川の総合研究—京田辺地区を中心として—，河川生態学術研究会木津川グループ
- 可児藤吉（1944）：溪流棲昆虫の生態，日本生物誌昆虫（上），pp. 171-317.
- 京都府衛生部公害対策室（1980）：自然環境保全基礎調査報告書 木津川の水生生物—付着藻類と底生動物—，京都府衛生部公害対策室。
- 小林草平・中西哲・天野邦彦（2011）：山地河川の小規模ダム下流における砂礫の減少と底生動物群集，陸水学雑誌，72巻，pp. 1-18.
- 小林草平・竹門康弘（2012）：土砂量と河床材粒径に着目した生息場評価，京都大学防災研究所年報，55号B，pp. 537-545.
- 末次忠司（2009）：現場で役立つ実践的減災読本 河川の減災マニュアル，技報堂出版，東京。
- 竹門康弘・小林草平・崔美景・寺田匡徳・竹林洋史・角哲也（2013）：河川の横断測量データに基づく水

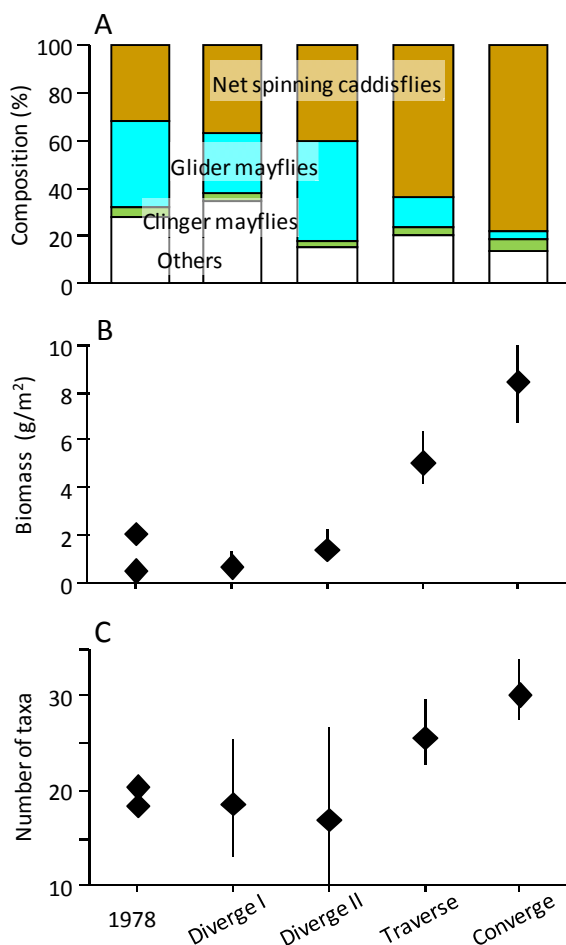


Fig. 10 Comparison of invertebrate community between a 1978-study and upper-reach of present study (A: relative composition, B: biomass, C: number of taxa)

- 面比高分布を用いた生息場評価法, 河川技術論文集, 19号, pp. 519-524.
- 西村登・信本励・三橋弘宗 (2001) : 山陰・北陸・近畿地方16河川における底生動物の現存量とそれに関連する要因, ホシザキグリーン財団研究報告, Vol. 5, pp. 161-206.
- Bilby, R.E., Reeves, G.H. and Dolloff, C.A. (2003): Sources of variability in aquatic ecosystems: factors controlling biotic production and diversity. In RC Wissmar and PA Bisson (eds), Strategies for restoring river ecosystems: sources of variability and uncertainty in natural and managed systems: pp. 129-146. American Fisheries Society: Bethesda.
- Coulombe-Pontbriand, M. and Lapointe, M. (2004): Geomorphic controls, riffle substrate quality, and spawning site selection in two semi-alluvial salmon rivers in the Gaspé Peninsula, Canada. River Research and Applications, Vol. 20, pp. 577-590.
- Gordon, N.D., McMahon, T.A., Finlayson, B.L., Gippel, C.J. and Nathan, R.J. (eds.) (2004): Stream hydrology: an Introduction for Ecologists, John Wiley & Sons, West Sussex.
- Grubaugh, J.W., Wallace, J.B. and Houston, E.S. (1997): Production of benthic macroinvertebrate communities along a southern Appalachian river continuum. Freshwater Biology, Vol. 37, pp. 581-596.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. and Miller, J.P. (1964): Fluvial processes in geomorphology. W.H. Freeman, San Francisco.
- Moir, H.J. and Pasternack, G.B. (2008): Relationships between mesoscale morphological units, stream hydraulics and Chi-nook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) spawning habitat on the Lower Yuba River, California. Geomorphology, Vol. 100, pp. 527-548.
- Ock, G., Muto, Y., Sumi, T. and Takemon, Y. (2010): Roles of riffle and pool structure in particulate organic matter dynamics in the downstream reaches of dam reservoirs. Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol. 53B, pp. 773-782.
- Schneider, C.A., Rasband, W.S. and Eliceiri, K.W. (2012): "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis", Nature Methods, Vol. 9, pp. 671-675.
- Takemon, Y. (1997): Management of biodiversity in aquatic ecosystems: dynamic aspects of habitat complexity in stream ecosystems. In T. Abe, S.A. Levin & M. Higashi (eds), Biodiversity: an ecological perspective: pp. 259-275. Springer, New York.
- Takemon, Y., Imai, Y., Kohzu, A., Nagata, T. and Ikebuchi, S. (2008): Spatial distribution patterns of allochthonous and autochthonous benthic particulate organic matter on the riverbed of a mountain stream in Kyoto, Japan. Water Down Under 2008: pp. 2393-2403.

(論文受理日 : 2013年6月11日)